

我国への鉄筋コンクリート橋導入の技術史的研究

平成13年12月

3 山 根 巖

我国への鉄筋コンクリート橋導入の技術史的研究

平成13年12月

山 根 巖

我国への鉄筋コンクリート橋導入の技術史的研究

目 次

1. 序論	
1. 1. 本研究の目的と意義	1
(1) 本研究の目的	1
(2) 本研究論文の意義	2
1. 2. 従来の我国鉄筋コンクリート技術史研究の概要	6
(1) 総括的通史	6
(2) 個人的著作	6
1. 3. 本研究での時期区分と対象範囲	6
1. 4. 本研究論文の構成	7
1. 5. 本研究の特徴と成果概要	8
1. 6. 本研究の経緯	10
(1) 本研究の経緯	10
2. 大正末期(1920年)頃までの欧米における鉄筋コンクリート技術	14
2. 1. 大正末期までの欧米における鉄筋コンクリート技術の發展	14
(1) 胎動期(1825~1866) — Monier以前の状況	14
(2) 開発期(1867~1885) — Monierの特許とその限界	14
(3) 研究と受容期(1886~1902) — 独逸仏での研究と受容	15
(4) 普及と發展期(1903~1913) — 欧州各国での規準の制定	20
(5) 戦時停滞期(1914~1919) — 第一次世界大戦の影響	22
2. 2. 大正末期までの欧米における鉄筋コンクリート技術の發展の纏め	22
3. 我国鉄筋コンクリート技術の胎動期(1887~1902年)頃	25
3. 1. 胎動期のコンクリート及び鉄筋コンクリート技術の動き	25
(1) 欧米文献の抄訳又は紹介	25
(2) 田辺朔郎の鉄筋コンクリートの研究と紹介	28
(3) 大学における鉄筋コンクリート工学の講義開始	28
3. 2. 無筋コンクリート構造の導入と發展	29
(1) 無筋コンクリート構造の導入とその後の發展	29
3. 3. 無筋コンクリートへの鉄筋の挿入	50
3. 4. 鉄筋コンクリート技術の胎動期のまとめ	50
4. 鉄筋コンクリート技術の導入期(1903~1914年)頃	54

4. 1. 鉄筋コンクリート技術の導入の経緯	5 4
4. 2. 鉄筋コンクリート構造の紹介及び導入の必要性の主張	5 6
(1) 広井勇の「鉄筋混凝土橋梁」	5 7
(2) 直木倫太郎の鉄筋混凝土に関する諸論文	5 8
(3) 小川織三の「講座、鉄筋混凝土」	6 1
(4) 大河戸宗治の「鉄筋混凝土に就て」	6 4
(5) 石橋絢彦の「鉄筋混凝土通俗説明」	6 5
(6) 柴田睦作の「鉄筋混凝土に就て」	6 5
(7) 日比忠彦の「鉄筋混凝土講話」	6 6
(8) 後藤佐彦の「英米ニ於ケルこんくりーと工事ニ就テ」	6 7
4. 3. 明治末期に我国に紹介された欧米の鉄筋コンクリート技術の書籍	7 2
4. 4. 明治末期における鉄筋コンクリート構造の荷重試験	7 3
(1) 陸軍での鉄筋コンクリート桁の荷重試験	7 3
(2) 海軍での鉄筋コンクリート桁の荷重試験	7 5
(3) 京都商品陳列所の床版荷重試験	7 6
(4) 東京帝大における鉄筋混凝土に関する実験	7 7
(5) 名古屋市下水道での鉄筋コンクリート下水道管の荷重試験	7 9
(6) 大阪市下水道の鉄筋モルタル下水道管の荷重試験	8 2
(7) 横浜市の吉田橋に先立つ床版荷重試験	8 4
(8) 東京市下水道での鉄筋混凝土管の荷重試験	8 7
(9) 阿部美樹志の米国での鉄筋コンクリート桁の腹部鉄筋挿入法の試験	9 2
4. 5. 鉄筋コンクリート構造の各種用途についての外国文献の紹介	9 5
(1) 港湾工事の紹介	9 5
(2) 杭工事の紹介	1 0 0
(3) 堰堤及び水道工事の紹介	1 0 1
(4) 鉄筋コンクリート橋梁及び地下鉄工事の紹介	1 0 2
(5) 擁壁工事の紹介	1 0 7
(6) 鉄筋コンクリート工事の各種用途の欧米実例の紹介の纏め	1 1 1
4. 6. 鉄筋コンクリート構造の内国博覧会での展示	1 1 2
5. 導入期の土木関係鉄筋コンクリートの構造物への導入	1 1 5
5. 1. 各種構造物への鉄筋コンクリート技術の導入状況	1 1 5
(1) 水工構造物	1 1 5
(2) 港湾構造物	1 2 0
(3) 道路構造物	1 2 7
(4) 上下水道構造物	1 2 7
(5) 鉄道構造物	1 3 6
(6) 建築物等	1 3 8
(7) 橋梁下部躯体工	1 4 3
(8) 基礎構造物	1 4 7

(9) 鋼橋の鉄筋コンクリート床版	150
5. 2. 橋梁上部工以外の鉄筋コンクリート技術の導入の纏めと考察	154
(1) 鉄筋コンクリート技術の導入の纏め	154
(2) 鉄筋コンクリート技術の橋梁上部工以外での導入の考察	157
6. 明治末期における鉄筋コンクリート橋の導入	162
6. 1. 鉄筋コンクリート橋の導入	162
(1) 京都の鉄筋コンクリート橋	162
(2) 東京の鉄筋コンクリート橋 — 堀の内橋、都橋、宮下橋、鍛冶橋、	174
(3) 長崎の鉄筋コンクリート橋 — 新地橋、佐世保橋、岳下橋、梅香崎橋	176
(4) 神戸の鉄筋コンクリート橋 — 長狭橋、布引水源分水堰堤付属橋、	180
(5) 香川県高松市 — 高橋、	184
(6) 宮城県 — 広瀬橋、	185
(7) 熊本県 — 天神(天満)橋、春日橋、川尻橋、日和瀬橋、	188
(8) 鉄道院 — 駅館川水路橋、	190
(9) 岐阜県 — 旅足川水路橋、平田橋、	190
(10) 広島県 — 金比羅橋、八幡橋、開明橋、	194
(11) 石川県 — 石川橋、四十九本橋、香林坊橋、	196
(12) 横浜市 — 吉田橋、	200
(13) 和歌山県 — 光明橋、中津川橋、	202
(14) 高知県 — 柳田橋、狭間橋、大谷橋、	204
(15) 山梨県 — 猿橋水路橋、	205
(16) 外地(関東州、台湾、及び朝鮮)の鉄筋コンクリート橋	211
(17) その他の県の鉄筋コンクリート橋	213
6. 2. 明治末期の鉄筋コンクリート橋上部工の纏めとその技術の考察	218
(1) 各地での鉄筋コンクリート橋技術の導入と特色ある適用	219
(2) 我国鉄筋コンクリート橋の状況から見た技術レベル	220
(3) 大正初期の各府県統計書に見る鉄筋コンクリート橋数の急激な増加	221
7. 明治末期における鉄筋コンクリート構造の我国での著書と技術規定の作成	228
7. 1. 我国での鉄筋コンクリート構造の著書及び設計例	228
(1) 鉄筋コンクリート構造の著書	228
(2) 我での鉄筋コンクリート橋の設計法	231
(3) 鉄筋コンクリート・アーチ橋の著書と設計例	237
7. 2. 我国での鉄筋コンクリート橋示方書の作成過程	245
(1) 鉄筋コンクリート構造の欧米規定の紹介	245
(2) 大阪市役所の「鉄筋混凝土計算規定」	247
(3) 鉄道院の「鉄筋混凝土橋梁設計心得」	251
(4) 内務省の「鉄筋混凝土橋梁仮取締規則」	253

8. 鉄筋コンクリート技術導入の影響の考察	260
8. 1. 明治末期における鉄筋コンクリート技術導入の特徴とその影響	260
(1) 鉄筋コンクリート技術が与えた影響	260
(2) 鉄鋼橋と鉄筋コンクリート橋の技術導入時の特徴の比較	262
(3) 鉄筋コンクリート橋を採用した理由	263
(4) 設計、施工記録の発表保存と技術者の地位	263
8. 2. 鉄筋コンクリート橋の受容、普及期の特徴	264
(1) 構造形式の多様化と規模の長大化	264
(2) 日本の土木技術の発展と土木学会の発足	274
(3) 施工技術の発展とコンクリート配合理論の改革	274
(4) 土木技術の交流と発展（各種の土木技術著書や雑誌の役割）	275
9. 結論と今後の課題	278
9. 1. まとめと結論	278
(1) 鉄筋コンクリート技術の胎動期	278
(2) 鉄筋コンクリート技術の導入期	278
(3) 鉄筋コンクリート技術の普及期	279
9. 2. 土木史研究の今後の課題	280
(1) 土木文化財及び近代土木遺産の保存・活用と土木史	280
(2) 土木史の今後の研究課題と方向	283
(3) あとがき	284
10. 謝辞	286

我国への鉄筋コンクリート橋導入の技術史的研究

1. 序論

1. 1 本研究の目的と意義

(1) 本研究の目的

明治末期に欧米の先進国より鉄筋コンクリート技術が導入されて、それが日本各地に広まり普及して行ったが、本研究の目的とする所は、その技術がどのような過程で日本に導入され、どのような状況で地方へと普及して行ったかを、資料に基づいて調査研究し、技術の歴史として系統化する事である。

1968年の明治維新以後、明治政府は「文明開化」「富国強兵」「殖産興業」を掲げて、強力な政策により欧米文化や技術を積極的に採用し、これ等が地方へ急速に普及して、我国の近代化とそれに続く発展に成功した。

土木技術の分野でも欧米の学者や技術者を招聘したり、我国技術者の留学等によって、欧米の先進技術が導入され、我国の近代化に必要な社会的基盤施設である鉄道、港湾、上下水道、河川、道路、都市施設等の建設が強力に進められた。

これ等の建設史については、既に「明治工業史」や土木学会の「日本土木史」を始め、夫々の分野の技術史として取り纏められている。また、大規模な事業では夫々の事業主体により「事業史」が取り纏められており、県や市の事業部門も夫々の歴史が取り纏められている。しかしながら、それ等は夫々の目的に従って編集されており、鉄筋コンクリート構造やその橋梁の技術が、明治末期に我国に導入され普及された歴史については、調査して取り纏められたものは少ない。

特に鉄筋コンクリート構造の導入過程については断片的な情報であり、各分野で独自に欧米の原書や型録から試験的に導入しており、全体的に記述したものは少ない。更に鉄筋コンクリート橋についての資料は、各地で試験的に施工された規模の小さい橋が多く、「工学会誌」に記録された「広瀬橋」と「吉田橋」、それに「土木学会誌」に記録された「猿橋水道橋」以外には、明治期の橋の詳細な記録は残されていない。

特に地方庁にあっては、鉄筋コンクリート橋を永久橋としており、完成後は数年で資料を棄却しており、技術資料は残されていない。

しかしながら、近年次の項で論ずる様に、社会の成熟化や産業技術の急速な変化に対応して、土木技術の今後の進べき方向の探求等のため、土木技術の過去の歴史を掘り起こし「温故知新」の考え方で、日本の土木技術近代化の歴史の調査研究の必要が認められ、土木史の研究も盛んになって来た。

土木学会の「土木技術の発展と社会資本に関する研究」¹⁾なども、日本の社会や土木技術が活発化していた明治30(1897~1907)年代と、昭和30(1955~1965)年代の戦後の復興期の土木技術や社会資本の動きを歴史的に捉えて、比較検討して今後の発展の方向と方策を研究した優れた例である。

本研究は土木史の中でも未開拓の分野である明治末期の鉄筋コンクリート構造及びその技術の導入期の歴史を、特に中央及び地方の状況を全体的に調査研究して、歴史的に評価しようとするものである。鉄筋コンクリート橋の場合は現場建設であり、中央の技術指導

や技術的影響は大きいが、地方での設計、施工の技術も重要であり、地方での技術状況の調査研究も必要である事は言うまでもない。

鉄鋼橋の場合は、明治初期には欧米招聘の技術者による設計か、その指導による設計であり、その後も東京、大阪に集中した指導的技術者による設計である。明治末期に入ってから鋼板桁以外での鋼鉄橋の設計及び施工が一貫して可能になったのと対照的である。²⁾

しかしながら、先述の通り地方の鉄筋コンクリート橋の技術は資料も残っておらず、「工学会誌」に発表された仙台の「広瀬橋」の技術も、その後宮城県で継承されておらず、むしろ今日まで中央で知られていない構造物が地方独自に施工されたり、地方相互に影響されたりしている場合も見られる。

こうした事は明治末期になると、大学等の技術教育の発展により、地方にも優れた土木技術者が定着して、自発的に研究して試験的な工事を実施している。これ等の業績は歴史の中に埋もれているが、今回その一端ではあるが掘り起こされた。

我国の鉄筋コンクリート構造や、その橋梁の技術史が幾分でも明らかになる事は、明治期の我国土木技術の発達史の上でも、また我国の近代化の歴史の上でも重要な事であると考えられる。こうした事は直ちに何らかの効果があると言うものではないが、我国の土木技術者にとって、勇気付けられる事である。

本研究は以上の目的を以て始めたものであるが、明治末期の鉄筋コンクリート構造の技術資料は少なく、それ等の関連性や影響について充分なる成果は得られたとは言い難い。しかしながら、資料の発掘や取り纏めと、幾らかの体系化の目的を達成したものと考えている。

(2) 本研究論文の意義

本研究論文の意義については、初めに土木史研究の意義について述べ、次いで明治末期における鉄筋コンクリート構造及びその橋梁史の研究の意義について考察する。

1) 土木技術史研究の意義

a) 一般に歴史学は「関連の学」と言われ、歴史上の資料等に基づく事実と事実の間の関連性や、それ等の間の影響について調査し、それ等の事実やその基となっている考え方を評価して、全体の事実等の変化の流れを研究する学問と言われている。

土木史の研究の意義を位置付ければ、次の図1-1に示す様に考えられる。

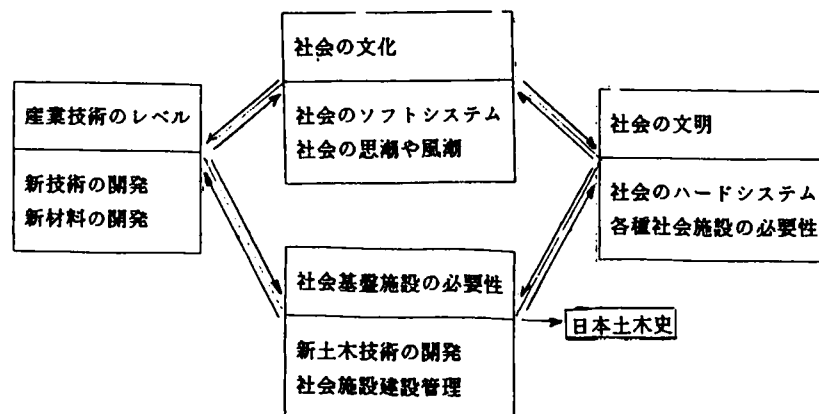


図1-1 土木技術の社会的位置付け (土木史研究の意義)

大まかな考察によれば、「社会の文化面」として「社会のソフト・システム」や、その時代の主要な「社会の思潮風潮」があり、「社会の文明」として「社会のハード・システム」その中に「各種社会施設の必要性」が存在している。一方その時代の「産業技術のレベル」があって社会の必要に対応した新技術や新材料の開発も行われている。

更に、その時代の社会の基盤施設の必要性が起り、土木技術の開発や変遷が生じて来る。そして社会の基盤施設の建設、維持管理が行なはれる。

こうした4つの大きな範疇は、相互に影響を与えながら、社会は変化して歴史が造られて行くと考えるが、土木史はこの中の社会基盤施設の必要性から、土木技術の開発、及びそれ等施設の建設、維持管理を取り扱う。土木史はこうした関係から社会の文化や、文明、そして産業技術のレベルと密接な関連がある事は言うまでもない。

本研究も鉄筋コンクリート技術に関連した社会的背景についても簡単に触れるのは、こうした理由からである。

土木史研究の意義も社会のこうした変化に応じて、土木技術者がどの様に対応して来たかを知り、今後の社会の思潮や風潮の全体的変化の方向を知り、社会基盤施設や新技術の必要性を知り、これ等に適切に対応する上で重要であるからである。

b) 土木史は非常に範囲が広いが、その中の一部である土木技術史に限ってもその歴史の研究は次世代の土木技術の方向性を示すものとして重要である。

鉄筋コンクリート技術は明治期には鉄とコンクリートの合成構造、又はコンクリートの短所を鉄筋の長所で補う複合構造として取扱われ、教授し研究されて来た。しかし、鉄筋コンクリート構造が普及し、土木施設の普通の構造とされると、一般にはこの基本的な考え方は忘れ去られてしまった。しかし新しい材料としての高張力鋼や高強度コンクリートの開発によって、昭和の初めに入ってこれ等を組合わせて力学的に利用してプレストレスト・コンクリート構造が新技術として登場して来た。

更に新しい材料としてのグラスファイバーや、炭素繊維が開発されると、再び合成構造又は複合構造としてコンクリートと結合して新しい構造を生み出している。今日では土木以外の構造材料として、グラスファイバーとプラスチックと言う異なる新材料で、その長所と短所を補う様にして新しい構造が開発されている。

こうして古いアイデアがヒントとなって古いアイデアを再生させて、新材料を開発している。工学の歴史には新技術開発のメカニズムとして、こうした古い考え方を参考にして材料を新しく組合わせたり、古い常識的な考え方を止揚した新しい考え方から発展した事例等が多い。こうした鉄筋コンクリートの技術史も、古典的な工学技術の発展例として、技術史の一部として評価されるものと考えられる。

c) 古い歴史的な土木構造物は多くの人々に利用され親しまれて来たが、時代や社会の変化でその役割を果たしたり、利用出来なくなっている例が多い。しかしそれ等は地域の人々に長年親しまれ地域景観の構成要素となり、原風景や原体験となっている事もある。そうした歴史的な構造物は公共的な文化遺産であり、維持補修して保存し活用する事は、古い文化や伝統を尊重し、精神や文化の内容を豊かにする上で必要な事である。

有名な英国コールブルックデール (Coolbrookdale) のアイアン・ブリッジは、1776年に架設された鑄鉄橋であるが、英国産業革命期の文化遺産として、また英国人の誇りとして、現在でも維持補修して利用されている。それは歴史の一時期には荒廃していたが、古い

歴史と文化の証人として、更に地域住民のアイデンティティを示すものとして尊重され保存され、同時に地域開発の一環として修復して活用され、歴史的観光施設となっている。

我国でも琵琶湖疏水は明治文化の証人として、文化遺産として維持管理され使用されている。一部の施設は明治文化の歴史的施設として、京都観光に活用されている。

最近では古い歴史的文化的土木施設の価値がようやく認められて、土木学会に委員会を設け、研究が進められた。⁴⁾そして更にこうした歴史的、文化的土木施設を保存、活用するために「登録有形文化財登録基準」が国の法令として制定された。⁵⁾

今日では横浜市の旧横浜船渠2号ドックを活用したドックガーデンや、旧小樽運河を活用した町づくり等日本各地で町の再生や、活性化のために「町づくり」が盛んになっている。こうした歴史的、文化的土木施設が地域の人々の郷土の誇りとして保存され、活用されている事例が多くなった。

こうした、土木史の研究で掘起こされた歴史的、文化的土木施設が今後増えて行き、保存し活用されて行くと見られる。

d) 土木史の研究と密接に関係ある土木工学での応用として、土木施設や、構造物の計画や、設計の際に、歴史上の施設や構造物の資料を参考に利用する事が多い。

例えば都市計画等の際には、欧米や日本各地の都市構造の成立の歴史や、公園や広場の構成や開発の歴史を研究する事は、この方面の学問では欠かせない事である。単に前例を参考にするだけでなく、長期に渉る実績や影響、その考え方の理解と都市や公園等の本質を歴史的に理解する事が必要だからであろう。⁶⁾同様の事は自然災害の研究でも言える事である。また、公園等や構造物のデザインや景観修景等では、古いデザインやその考え方をヒントとして新しいデザインを考え出す場合も多い。土木史の研究はこうした方面でも、その背景を知るために必要な事である。

e) 最後に土木工学教育の一環として、土木史教育の必要性について述べる。今日の社会的風潮の変化や、科学技術の発達に対応して土木工学や技術も大きく変化しつつある。

「自然環境との共生」や「情報社会の発展」の社会的変化の状況は、土木工学に大きな影響を与えて、社会基盤施設の建設、管理の担い手である土木技術者の考え方にも変化が現れ、対応の必要が生じている。単に社会基盤施設を造るだけでなく、それ等が自然環境や社会環境に与える影響を事前に評価して、多くの比較計画案を検討する必要が多くなっている。従来の方学系統の土木工学から、こうした社会や自然との関係を問題とする計画学や、構造物の造形や修景を問題とする心理学の分野まで、新しい分野の学問を包含する様になって来た。更に数値計算や資料分析の分野では情報工学の影響を強く受けている。

こうした土木工学の変化は社会の歴史の変わり目であり、先輩土木技術者達も緩やかながら経験して来たものである。土木技術者はこうした社会や技術の変化に敏感に対応してこそ、その役割を充分に果たすことが出来る。従って土木技術者には社会と技術の変化の歴史即ち土木史の知識が、土木に対する考え方の基礎的教養として必要であり、先輩土木技術者の考え方や行動は、大いに参考となるものである。

土木工学教育の中に土木史の科目を入れる必要は、以前から筆者の主張して来たところである。⁷⁾社会の様々な変化に対応出来る土木技術者には、近代土木史の豊富な知識や教養と広くて柔軟な考え方が重要であり、今後益々必要になって来ると思われる

2) 本研究論文の意義

鉄筋コンクリート技術は明治36(1903)年頃から我国に導入され始め、京都や東京を初め一部の地方で、構造物の一部や、小橋梁に試験的に試みられた程度で、組織的に導入されたものでなく、明治末期の大規模な採用例は少ない。

しかしながら、先進的学者や技術者の間では、欧米の鉄筋コンクリート技術の発展は早くから注目されていた。田辺朔郎は明治27(1894)年の造家学会での講演で、当時計画されていた東京高架橋のために鉄筋コンクリート・アーチ構造の耐震性の研究発表ををし、また鉄筋コンクリート構造の試験供試体の作製を行っていた。明治36(1903)年以後になると、我国へのこの技術の導入が問題となり、広井勇、直木倫太郎、石橋絢彦等の当時の指導的学者や技術者達が、その技術の利点や欧米での発展状況を論じて、その導入の必要性を国策として採用することを強力に主張している。

明治中期の20年から30年代(1887~1910)の土木構造物は、石造か煉瓦造が主流であり、橋梁は木造が主で毎年の洪水で流失していた。鉄橋は鉄道の外には都市部の道路で採用されていたが、我国の気象下では腐蝕が早く、維持管理にも費用を要した。当時は大きな鉄鋼橋は鋼板桁を除いて殆んど予備設計を日本の技術者が実施し、詳細設計や製作は欧米諸国(主に英米独)に依頼した輸入品であり、非常に高価であった。²⁾

こうした事から、1890(明治23)年頃からの欧米での鉄筋コンクリート技術の急速な発展は、我国の技術者等にも注目されて、「工学会誌」上でも紹介されている。しかし、1900(明治33)年頃までは、欧米の鉄筋コンクリート技術は、複合構造としての複雑性のため理論的混乱があり、鉄鋼構造の技術に比べて信頼性に乏しく、また欧米での工事の事故等の情報により、我国では時期早尚の議論が多く、この技術を積極的に導入しようと言う動きは少なかった。むしろ、我国の先進技術者達は、鉄筋コンクリート技術を費用を掛けて研究するのではなく、欧米先進国での技術開発や、理論化の発展を待ち望んで見守っていたと見られる。⁸⁾

奥国での大規模なアーチ構造の比較荷重試験等が行われて欧米でのこの技術の発展により、1903(明治36)年スイスの技術者及び建築家連合は「鉄筋コンクリート暫定規準」を初めて制定し、これに続いて欧州各国でも団体や、国の規準制定が行われた。³⁾こうした先進国でのこの技術の規準化の後に、我国へのこの技術の導入が始まっている。

この時期は丁度我国の基盤的社会施設としての鉄道、港湾、上下水道、河川、道路、建築等が、社会の必要に比べて低いレベルであり、更なる発展のために地方を含めて建設の必要性が認識され建設が始まっていた。鉄筋コンクリート構造の構造強力性、耐久性、水密性、耐火性、経済性等の利点を利用して、国力の発展に必要な基盤施設を建設して行く必要があり、国策として進められて行った。明治初期以来の石造、煉瓦造、無筋コンクリート構造から、鉄筋コンクリート構造へと土木構造物の基本構造が大きく変換して、主要な役割を果たし始めた過渡期の時期であった。

鉄筋コンクリート構造の歴史を研究する意義は、こうした明治末期の状況下に先輩技術者達が進んで欧米先進国の技術を導入して、この新構造を試験的又は本格的に採用して、構造物を建設した歴史を明らかにする事である。これ等の技術は大正期に入ってから全国的に普及し、我国の発展に重要な役割を果たした意義を明らかにする事であると考えられる。

先述の通り、明治末期の鉄筋コンクリート構造の資料は少なく、その構造詳細や、配筋

状況については明確ではない。従って鉄筋コンクリート工法の変遷や、構造の系統的变化は明確でなく、各分野や各地で夫々欧米技術に学んで独自に導入していた様である。その技術的背景や影響についても出来る限り調査し、その役割の評価を行っている。

1. 2 従来の我国鉄筋コンクリート技術史研究の概要

(1) 総括的通史

従来の鉄筋コンクリート技術の歴史の研究としては、総括的な通史の中で述べられたものが多い。明治期については、日本工学会の「明治工業史、土木編」⁹⁾や、大正期以後は土木学会の「日本土木史」¹⁰⁾に記録されているが、紙数の関係で総括的に概要が述べられているので充分ではない。特に明治末期の鉄筋コンクリート技術の導入期については、簡単に触れている程度である。根拠となる文献、資料の明示も少ない。

その他に土木技術の各分野で、鉄道¹¹⁾港湾¹²⁾上下水道¹³⁾河川、道路¹⁴⁾等の夫々の分野での事業史があり、その中で鉄筋コンクリートの利用状況がのべられている。これ等は鉄筋コンクリート技術の歴史は目的ではなく、夫々の分野での技術の発達のなかで、鉄筋コンクリート構造の重要性が述べられ、その利用状況が説明されている。

日本ポルトランド・セメント同業会の編集による「昔のコンクリート」¹⁴⁾では、田辺朔郎を初め昭和の初期に関西で活躍していた学者や、技術者が集まって「昔のコンクリートを語る会」を開催し、我国でのコンクリート技術の発達の歴史を語り合っている。明治末期の鉄筋コンクリート技術の導入期の状況も語られており、大変参考になる貴重な資料となった。

(2) 個人的著書

個人的な著書としては、田村浩一、近藤時夫の「コンクリートの歴史」¹⁶⁾があるが、明治末期の鉄筋コンクリート技術導入期の状況については詳しくない。中央での資料が中心になって良く纏められており参考となるが、地方の状況が不明で充分ではない。

福岡県の田上為巳の著書「鉄筋コンクリートの歴史（福岡県の古き橋の調査報告）」¹⁷⁾は、吉田徳次郎、阿部美樹志の両権威者の指導を受け、福岡県下の鉄筋コンクリート橋の発展に重要な役割を果たした技術者の記録である。福岡県下の大正期以降の資料が中心であるが、参考となる資料がある。特に内務省の「鉄筋混土橋梁仮取締規則」の存在を証明した記録は貴重である。

以上の他に明治期では「工学会誌」「工業雑誌」に資料はあるが、欧米のこの技術に関する紹介が主であり、特別の論文以外には研究と言う程のものは少ない。地方の状況は明らかではないが、中央の技術が地方に伝わる一方的な普及ではなく、地方でも中央の指導を受けながら地方の技術の研鑽を行い、地方相互に影響し合っていたと見られる。

大正期に入ると土木学会が成立すると共に「土木学会誌」「土木建築工学」等が発刊されて、鉄筋コンクリート構造も普及し始め、工事報告や試験報告も増大して資料も増える状況となった。鉄筋コンクリート橋に関する資料も、内務省土木試験所の「本邦道路橋輯覧」¹⁸⁾の様な豊富な資料が刊行された。

1. 3 本研究での時期区分と対象範囲

鉄筋コンクリート技術の歴史を記述するには、技術の導入から普及の過程を、その技術

的特徴により次の様に時期区分して述べるのが分かり易いと考える。但し本研究の対象とするのは、明治中期から大正初期までの鉄筋コンクリート技術の導入期が中心であり、明治初期のコンクリート導入期や、大正中期の鉄筋コンクリートの受容と普及期も影響範囲として関連して技術の変遷について述べることにする。

1) 胎動期〔明治20(1887)年～明治35(1902)年頃〕

欧米における鉄筋コンクリート技術の我国への紹介及び啓蒙の時期である。土木構造物の多くは、木造、石造、煉瓦造、及び無筋コンクリート造の時期。

2) 導入期〔明治36(1903)年～大正3(1914)年頃〕

欧米から鉄筋コンクリート技術が我国に導入された時期である。試験的な構造物や小規模構造物に導入され、本格的鉄筋コンクリート構造物の施工は少ない。

3) 受容普及期〔大正4(1915)年～大正12(1923)年頃〕

鉄筋コンクリート構造の設計施工の基準として鉄道院の「鉄筋混凝土橋設計心得」が制定され、内務省の「鉄筋混凝土橋梁仮取締規則」(非公式案)が作成されて、鉄筋コンクリート技術が受容され普及が始まった時期である。関東大震災以前で、構造物の耐震設計の研究が行われ、適用が始まった時期である。

4) 定着発展期〔大正13(1924)年～昭和15(1940)年頃〕

関東大震災以後で、鉄筋コンクリート構造の標準示方書が制定され、鉄筋コンクリート技術も定着し、耐震設計も行われて鉄筋コンクリート技術が発展した時期である。

5) 戦時停滞期〔昭和16(1941)年～昭和30(1955)年頃〕

戦時体制及び戦後混乱期である。

1. 4. 本研究論文の構成

本研究論文の構成は、技術史ではあるが全体を経年の順序とはせず、分かり易くするため幾つかの項目に分けて、夫々の中では経年の順序に従い、全体としてコンクリートの導入から、鉄筋コンクリートの受容と普及開始までの技術史となる様にした。

第1章の「序論」では、まずこの調査研究の目的とその意義を、土木史の一般的意義から更に鉄筋コンクリート技術の導入の歴史の研究の意義について述べた。更に従来のこの分野の諸研究との違いと、重点を置いた点について言及した。

また、我国での鉄筋コンクリート技術の発展の歴史の理解を助けるため、それに適する時期区分を設け、本研究の対象範囲を明確にした。

最後に本調査研究に至った経緯と経過について記して、関係の方々に謝辞を述べた。

第2章の「大正末期頃までの欧米における鉄筋コンクリート技術」では、我国コンクリート技術の導入及び普及に大きな影響を及ぼした欧米におけるこの技術の発展の歴史の概要を述べる。特に欧米の技術が発展の途上で一時理論が混乱した過程や、各国の特徴と、それ等が我国に及ぼした影響に付いて述べる。

第3章の「鉄筋コンクリート技術の胎動期頃」では、鉄筋コンクリート技術の以前に、欧米のコンクリート技術が導入されて、石造や煉瓦造に代わって普及し始めていた。

先ずコンクリート技術の普及状況と、それが鉄筋コンクリート技術の導入に関連している状況に付いて述べる。次いでこの時期に我国の先進的学者や技術者が、欧米の鉄筋コンクリート技術の紹介に努め、それ等が鉄筋コンクリートの導入に大きな影響を与えている

事を述べる。

第4章は「鉄筋コンクリート技術の導入期の頃」では、我国への鉄筋コンクリート技術の導入には、大学教授の指導によるもの、官庁土木技術者及び、陸海軍関連技術者によるもの、建築物での土木技術者等によるもの、民間技術者によるもの、建設業者によるものの5つの大きな経路があった。何れも土木関係では公共事業に関連したものである。一方建築関係でもコンクリート構造の設計及び施工は土木技術者の関与があったが、この技術の建築物への導入に当たっては、土木技術者が大きな役割を果たしていた事を述べる。

次に、明治末期に我国で読まれていた鉄筋コンクリート技術に関する書籍を紹介するが、日本の図書館に残っているものは少ない。また、当時我国で紹介された鉄筋コンクリート技術に関する欧米の文献の概要を記述して、その役割を評価する。

当時行われた鉄筋コンクリート構造物の荷重試験について述べる。これ等は工事に関連して行われたものであり、不十分なものではあるが当時としては貴重なものである。

第5章の「導入期の土木関係鉄筋コンクリート構造物への導入」では、橋梁上部工を除いた各種土木施設での初期の鉄筋コンクリート構造物に付いて記述するが、これ等は国策により重点的に選ばれた土木施設であり、後の土木施設に影響を与えている物である。

第6章の「鉄筋コンクリート橋の導入」では、鉄筋コンクリート構造が全国的に最も多く使用され、構造が明瞭である橋梁を別途に取り上げた。試験的な小橋梁が多く、資料が少なく位置の不明な橋が多く、今後も調査の必要がある。

第7章の「明治末期における鉄筋コンクリート構造の著書と技術規定の作成」では、先ず当時出版された著書について述べる。次いで明治末期に大阪市で、また大正初期に鉄道院や内務省で、欧州先進国の鉄筋コンクリート技術の規準を参考にして、我国での技術状況を考慮してこの技術の規準が作成された。これ等の内容を比較して技術の状況を検討し、これ等の制定が果たした役割について言及する。

第8章の「鉄筋コンクリート技術導入の影響の考察」では、明治末期における鉄筋コンクリート技術の特徴や、その技術の果たした役割等について考察する。次いで鉄筋コンクリート技術の導入により、大正4年以後この技術が急速に各地に普及して行き、橋梁構造も多様化し、大規模化して行った。この時期への影響と発展の状況について考察する。

第9章の「結論と今後の課題」では、本研究論文の結論となる全体の「まとめ」と、今後の土木史研究の課題について述べる。

今後の課題としては第一に土木施設が歴史的な文化財として位置づけられ、保存し活用されて行くための手順を示した。今後更に土木史の調査研究を進め、土木施設やその技術の相互の関連性を明らかにするための方向について提案を行った。

1. 5. 本研究論文の特徴と成果

本研究論文の特徴と成果について概要を纏めると次の通りである。

1) 鉄筋コンクリート技術の我国への導入過程について、大別して5つの経路があつた事を明らかにした。建築分野での堀勇良⁹⁾の研究に対して、土木分野の立場からの資料を纏めたものであるが、導入初期の段階では多くの資料で重複している。

2) 鉄筋コンクリート技術の我国への導入過程には、欧米先進国でのこの技術の発展と、一時的な理論研究上での混乱が強く影響している事がわかった。これが欧州でのこの技術

の規準制定の後に、我国でも先覚的技術者等により試験的に導入して実施された。この過程は国策としての強い意図の下に行なはれており、技術導入の過程として重要である。

3) 鉄筋コンクリート技術の導入に当たり、構造物の実施の荷重試験を行っている。これ等は学術的な試験ではないが、当時から技術者達は荷重試験の重要性を認識していても、費用の点から実施できない場合が多かったが、幾つかの例が発掘された。

4) 我国での明治末期の鉄筋コンクリート技術の資料は、土木分野で纏められたものはなかった。或程度の資料の存在を明らかにしたが、欧米技術の紹介が多く我国での施工例の紹介が少ない。小規模の試験的施工が多かった為と見られる。

5) 鉄筋コンクリート技術を採用した大規模な土木工事が行われたのは、我国公共事業の重点政策として鉄道、港湾、河川工事と大都市道路及び上下水道が取り上げられている。選ばれた特別な事業に重点的に資金が投入され、選ばれた土木技術者が担当している。

6) 鉄筋コンクリート橋技術の地方での普及や、発展の状況が幾らか明らかになった。具体的な実施例の資料は少なく、今後も調査研究が続けられる必要がある。

地方での小規模橋の多い理由は、地方の道路工事には余り資金は投じられず、地元負担による架設が主であり、部分的改良等で小規模の鉄筋コンクリート橋が試験的に架設された。これ等は明治末期の地方交通の状況が、大都市を除いて荷車及び馬車等が主体で大規模施設の必要がなかった事を示している。

7) 具体的な調査の成果としては、次の例が挙げられる。

a) 従来我国の鉄筋コンクリート橋の最初として、明治36(1903)年7月に京都の琵琶湖疏水での田辺朔郎のメラン式弧形桁架設の説⁹⁾と、明治36年3月の神戸の「若狭橋」の説¹⁴⁾があったが、2000年2月に筆者の 間接的な依頼で神戸市の担当者の努力により「長狭橋」が明治39年5月の架設と言う神戸市統計書の発見により、琵琶湖疏水の橋が日本最初の鉄筋コンクリート橋と言う事が確定した。

b) 長崎県の佐世保橋は日本道路史によれば、¹⁹⁾原口要の説計監督と記録されているが、「大日本博士録」²⁰⁾によれば原口要は長崎県出身ではあるが、明治39(1906)年当時清国鉄道顧問官であり、54才での橋梁設計監督は無理であると考えられる。筆者の現地調査により当時の佐世保橋架設の事情を調査した所、畑中健三が記録している通りフランスのコンクリート技術を学んだ原田碧の担当で架設されている事が分かった。²¹⁾

c) 京都府及び市では明治末期にモニエ式アーチスラブを採用した鉄桁橋が、「鉄筋橋」と呼ばれて多数架設されていた。²²⁾これ等の橋の起源は不明であったが、日比忠彦が明治38(1905)年頃京都商品陳列所の建築に当たり、その床構造に採用した形式である。工事に先立つ実物大の床構造の荷重試験には、関西の土木建築技術者を集めて見学会が開催された。こうした事から京都を中心にこの橋梁形式が一時的に採用されたが、耐荷力が高いが、高価でありあまり普及しなかった様である。

d) 仙台の広瀬川に明治42(1909)年架設された「広瀬橋」は、東京帝大教授広井勇の指導による明治期では最大の鉄筋コンクリート橋である。その工法はアンネビツク式の初期の形式の配筋工法が採用されているが、鉄筋配置や、横桁配置等英国最初のこの工法の鉄筋コンクリート橋である、Sutton排水路に架設されたHull橋(支間12.2m、幅員18.3m)²³⁾の影響を受けている事が分かった。

e) 明治末期に行われた京都三大事業の一つ第二琵琶湖疏水工事で、京都市東福寺の一之

橋川等が暗渠の交差に改築されている。これ等は三面石張りで上面だけが単純鉄筋コンクリートスラブである。この計算書が公文書に添付され、サッチャー (E. Thacher) の簡易式で計算されていた。所が同じ計算書が原田碧の「実用鉄筋コンクリート構法」の計算例にも示されていた。この工区長は琵琶湖疏水大岩橋の担当者山田忠三であり、二人は同じ原書を読んでいたと見られる。

f) 高知県史によれば、明治44(1911)年仮定県道中村宿毛線の改良工事で、鉄筋コンクリートT桁橋が3橋架設されているのが見られる。高知県庁の酒井亀次郎の著書にこれ等の橋の設計概要図が存在しているが、他の橋と異なる独自の鉄筋配置をしているのが注目される。

g) 日本外地での鉄筋コンクリート橋では、台湾総督府の土木技師、十川嘉太郎が明治42(1909)年より鉄筋コンクリート水路橋を数橋建設している記録がある。

また、関東州都督府では明治41(1908)年に大連市の中心部の跨線橋として、5径間連続鉄筋コンクリートアーチ橋の日本(ひのもと)橋を架設している。鉄道院の大河戸宗治が専門家として設計を依頼され57mのメラン式アーチ橋を設計したが、欧米留学となりその後を太田円三が引継ぎ、橋長97mに設計変更している。

h) 大正2年から5年(1913~1916)の各府県の統計書によれば、京都を除いて一部の県で大正4(1915)年又は5年に鉄筋コンクリート橋の数が急激に増大している状況が明瞭である。大正3(1914)年に鉄道院が大河戸宗治の案に基づき「鉄筋混凝土橋梁設計心得」を制定して施行した。この種橋梁の実績の多い内務省もこれに刺激されて、「鉄筋混凝土仮取締規則」の案を作成し、土木主任官会議(各県土木課長会議)に諮問して暫定的に試行していた事が分かった。これは一部の県で鉄筋コンクリート橋数が、大正4(1915)年頃から急激に増加している事からも推定される。

これについては福岡県技師田上為巳が同県の遠賀川橋での例を示しているが、¹⁷⁾ 原本が内務省にも残られておらず、道路改良会の「道路の改良」²⁴⁾ 等にその改訂案が示されている。これは土木主任会議に諮問された案であり、最終的にはft-lb単位からkg-m単位に変更されている。内務省が正式に「道路構造に関する細則」として道路の鋼橋及び鉄筋混凝土橋の規準を法令化したのは、大正15年6月の事である。

1. 6. 本研究の経緯

(1) 本研究の経緯

筆者は愛知県、日本道路公団で道路の橋梁建設に携わって来たが、土木史に関心を持ちその後名古屋道路エンジニアKK、岐阜市の大日コンサルタントの勤務のかたわら、橋梁関係の歴史の資料を集めて来た。特に大日コンサルタント勤務に当たっては、岐阜県の橋梁の歴史を調査する機会を与えられた。

これ等はスイスの近代的構造技術者マイヤール(R. Maillart)型の鉄筋コンクリートアーチ橋「宝橋」²⁵⁾ や3ヒンジアーチの「大牧橋」²⁶⁾ の論文となって、土木史研究に発表された。これ等が続いて4件の岐阜県下の橋梁について調査研究した結果を土木史研究に発表した。^{27) 28) 29) 30)}

こうした一連の土木史研究が名古屋大学名誉教授の成岡昌夫博士の目に留まり、土木史についての論文を纏める様に勧められた。当時筆者の目は日本道路公団での畏友であり、

土木史研究の先達である藤井郁夫氏の勤めもあり、日本土木史の中でも未開拓の分野である鉄筋コンクリートの導入初期の歴史に向けられ調査を始めていた。

そこではコンクリート及び鉄筋コンクリートに関する明治期の技術史の資料として、「工学会誌」が中心であり、その外に「工業雑誌」が欧米技術紹介の情報誌を務めていた。京都大学土木教室図書室では古い文献としてF, Von EMPERGER "HANDBUCH FÜR EISENBETON"³¹⁾やE, MÖRSCH "DER EISENBETONBAU SEINE THEORIE UND AUWENDUNG"³²⁾や、「昔のコンクリート」¹⁵⁾を読み続けていた。

一方成岡昌夫名誉教授からは担当指導教授として土木システム工学専攻の小野紘一教授を紹介されてその後の研究方針や、日本産業遺産研究会等の「建物の見方調べ方（産業遺産）」³³⁾に書かれた堀勇良「日本における鉄筋コンクリート建築成立過程の構造技術史的研究」を調査する様指導を受けた。

以後主として明治期の資料文献の調査を進めたが、特に地方の鉄筋コンクリート橋は橋名は残っているが、資料は写真等が残っておれば良い方で、殆ど資料は残っておらず、間接的資料から推定する以外になかった。

「工学会誌」や「工業雑誌」に発表された論文の数は可成りあるが、日本での工事實績を発表したものは少なく、殆ど欧米のこの技術の状況の紹介か、文献の抄訳が多い。

これ等をどの様に位置付けて論文中に取り入れて行くかは問題である。明治末期の鉄筋コンクリート構造物の設計計算書や、設計図が残っていれば、それ等の影響や差異を比較検討する事が出来るが、不十分ながら残っているのは「広瀬橋」や「吉田橋」「猿橋水道橋」以外には大正初期の京都の「四条大橋」「七条大橋」くらいであり、充分な検討は出来なかった。

こうした構造物の資料の発掘と、それ等相互の関係を調べて評価して行き、全体を系統化して行く作業が不十分であり、今後の調査研究に残されている。

なお、本論文中の明治大正期の古い各種文献の引用図及び表では、一部不鮮明の所があるため、筆者が呟・封度系から米・呴系に書換え、説明を加えて明確にしている。

参考文献－ 1

- 1) 土木学会（土木技術の發展と社会資本に関する研究調査委員会）「土木技術の發展と社会資本に関する研究」総合研究開発機構、技報堂、昭和60年3月。
- 2) 藤井郁夫「日本の鋼（鉄）橋製作工場について — 明治期 —」土木学会、土木史研究 No.18.1998年6月。
- 3) H, シュトラウプ、藤本一郎訳「建設技術史 —工学的建設技術への發達 —」鹿島出版会、254 頁、昭和51年11月。
- 4) 林正道「歴史的、文化的土木施設の保存・活用」積算技術、1994年4月。
- 5) 土木学会土木史研究委員会「文化財の登録制度と近代土木遺産の保存活用」シンポジウム、平成8年12月。
- 6) 土木学会編「土木工学の基礎が土木史なのか」第54回年次学術講演会講演概要集、共通セッション、132 ～156 頁、平成11年9月。
- 7) 山根巖「社会性と個性豊かな技術者の育成（21世紀にむけての土木教育）」土木学会誌VOL76-3 別冊、1991.3.
- 8) 堀勇良「日本における鉄筋コンクリート建築成立過程の構造技術史的研究」1981.
- 9) 日本工学会（田辺朔郎編集委員長）「明治工業史、土木編」昭和4年7月。
- 10) 土木学会（青木楠男委員長）「日本土木史（大正元年～昭和15年）」昭和40年12月
- 11) 日本国有鉄道公社「鉄道技術發達史」第2編、施設3、昭和34年。
- 12) 運輸省港湾局「日本港湾修築史」昭和26年4月。
- 13) 中島工学博士記念事業会「日本水道史」茂庭忠次郎、昭和2年8月。
- 14) 日本道路協会「日本道路史」（技術編第5章橋梁）昭和52年10月。
- 15) 昔のコンクリートを語る会「昔のコンクリート」コンクリート叢書24巻、日本ポルトランド・セメント同業会、昭和11年10月。
- 16) 田村浩一、近藤時夫「コンクリートの歴史」山海堂、昭和59年7月。
- 17) 田上為巳「鉄筋コンクリートの歴史（福岡県の古き橋の調査報告）昭和54年5月
- 18) 内務省土木試験所編「本邦道路橋輯覧」第1輯～第4輯、大正14年～昭和14年
- 19) 日本道路協会「日本道路史」技術編、5 橋梁、944頁、昭和52年10月。
- 20) 井関九郎「大日本博士録、第5 卷工学、發展社出版部、昭和5年9月。
- 21) 山根巖「明治末期における長崎での鉄筋コンクリート橋」土木史研究N019、1999.6.
- 22) 山根巖「明治末期における京都での鉄筋コンクリート橋」土木史研究N020、2000.6.
- 23) " FERRO-CONCRETE BRIDGE OVER THE SUTTON DRAIN,HULL. " ENGINEERING,VOL75,1903
- 24) 内務省土木局「道路法令の諮問」道路改良会、道路の改良6 卷6 号102頁、大正13年6月。
- 25) 山根巖「岐阜県船津町（現神岡町）の宝橋について —昭和初期におけるマイヤール型RCアーチ橋」土木史研究N013、331 頁、1993.6.
- 26) 山根巖「岐阜県白川村の大牧橋について」土木史研究N014、1994.6.
- 27) 山根巖「岐阜県八百津町旅足（たびそこ）橋について —我国唯一のFlorianopolis 橋型吊橋」土木史研究N016、531頁、1996.6.
- 28) 山根巖「明治末期における岐阜県下2つの水力発電用水路橋について —湯之洞水路橋と旅足（たびそこ）水路橋（八百津町） — 」土木史研究N017、175頁、1997.6.

- 29) 山根巖「岐阜県大野郡の尾神橋（尾上郷大橋）について — 日本道路公団高橋脚設計要領の由来 —」土木史研究N018、373頁、1993.6.
- 30) 山根巖、井上肇、松島秀夫「岐阜県の小里川発電所と与運橋 — 大正期の堅固な石造水力発電施設群 — 」土木史研究NO.18、415頁、1998.6.
- 31) F,Von EMPERGER "HANDBUCH FUR EISENBON "WILHELM ERNST & SOHN,BERLIN,1908
- 32) E,MORSCH "DER EISENBETONBAU SEINE THEORIE UND AUWENDUNG"WAYSS & PREYTAG A.G.1912.
- 33) 日本産業遺産研究会・文化庁歴史的建造物調査研究会 編著「建物の見方・しらべ方（近代産業遺産）」（株）ぎょうせい、60頁、1998.7

2. 大正末期頃までの欧米における鉄筋コンクリート技術

2. 1. 大正末期頃までの欧米における鉄筋コンクリート技術の発展

我国の鉄筋コンクリート技術の手本となった欧米での鉄筋コンクリート技術の発展についても、日本と同様に技術の特徴から次の様に時期区分して記述する。

(1) 胎動期(1825～1866年) —— Monier以前の状況

1824年の英人ジョセフ・アスプジン(J, Aspdin)のポルトランド・セメントの近代的製法の発明により、古くから使用されていた古典的なコンクリートに代わって品質も大いに改良されて、石造構造に代わって橋梁基礎や下部構造に無筋コンクリート構造が使用されるようになって来ていた。鉄筋コンクリート構造の発明者とされ1867年に特許を得た仏人ヨセフ・モニエ(J, Monier)以前にも、コンクリートに鉄材を内挿してコンクリートを補強する構造を試みた人は、欧米には相当いる様であるが、いずれもアイデアの試行か特許取得までで、この構造の普及には至らなかった。¹⁾

1854年には仏人ランボー(F, Lambot)は鉄網を用いたコンクリート製ボートの特許を得て、パリ万国博覧会にそのボートを出品している。(写真2-1)²⁾ 仏人フランソア・コアネエ(F, Coignet)は、1861年鉄筋コンクリート梁に関する研究報告を發表し特許を得ている。しかし鉄筋コンクリート構造のアイデア自体は当時既に珍しいものはなかった様である。^{1) 2)}

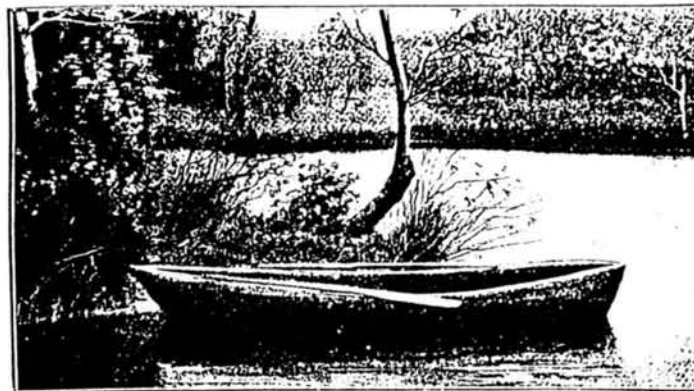


写真2-1 1854年のランボーの鉄筋コンクリート製ボート。¹⁾

米人ハイアット(T, Hyatt)は1877年鉄筋コンクリートに関する独自の研究報告をロンドンで発表した。この研究は1850年代から行われた鉄筋コンクリート梁の実験に基づくもので、この構造が曲げ材として適合し、特に耐火構造として優れている事を証明している。これらの実験でコンクリートと鉄材の熱膨張係数が同じである事を示し、米国での耐火構造としての鉄筋コンクリート建築の発展に大きな影響を与えている。この実験に使用された鉄筋コンクリート梁は、今日のT型桁の曲げ上げ筋及び肋筋に相当する構造となっているのは注目される。²⁾

(2) 開発期(1867～1885) —— Monierの特許とその限界

仏人ヨセフ・モニエ(J, Monier)は庭師の出身と言われるが、1867(慶応3)年鉄筋コンクリート製の植木鉢を考案して特許を取得した。翌年更に鉄筋コンクリート製の樋管と貯水槽の特許を取得して実際に製作した。彼の考えは「鉄筋はコンクリートで形を

造るための骨組み」であり力学的な考慮は全く無く、鉄筋は部材の中心部に格子状に配置されていたと言う。³⁾ モニエは更に鉄筋コンクリート構造の利用範囲を拡げて、1869年にはスラブ構造、1872年には鉄筋コンクリート造アーチ構造や階段の特許を得た。1875年には鉄筋コンクリート・アーチ橋（径間15.8m、幅員4.2m、写真2-2）を架設して、⁴⁾ この構造の普及に努力した。1877年には鉄筋コンクリート鉄道枕木を発明して翌年特許を得ている。これ等は「事実上のMonier特許」das eigentlich Monier Patentとして独、墺、班、耳、伊等の欧州各国に伝播して行ったが、1880年には仏リビエラ（Riviera）の地震を機会に、鉄筋コンクリート造りの耐震家屋の試作研究もやっている。³⁾ 1881年には鉄筋コンクリート平版で鉄桁を抱えた床構造と、アーチ状版で鉄桁を抱えた床構造を開発し、2種の特許を得て橋梁及び建築の床構造に応用し、普及に努力している。（図2-1参照）⁵⁾ しかしこれ等の構造物は一時的に注目を集めても、経験的で信頼性が低いために容易に受容されず、新構造に対する社会的な抵抗が大きかったと言われるが、モニエが鉄筋コンクリート構造発達の基礎を築いた功績は高く評価される。³⁾

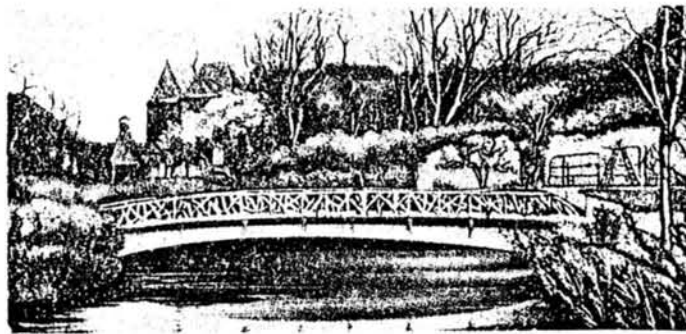
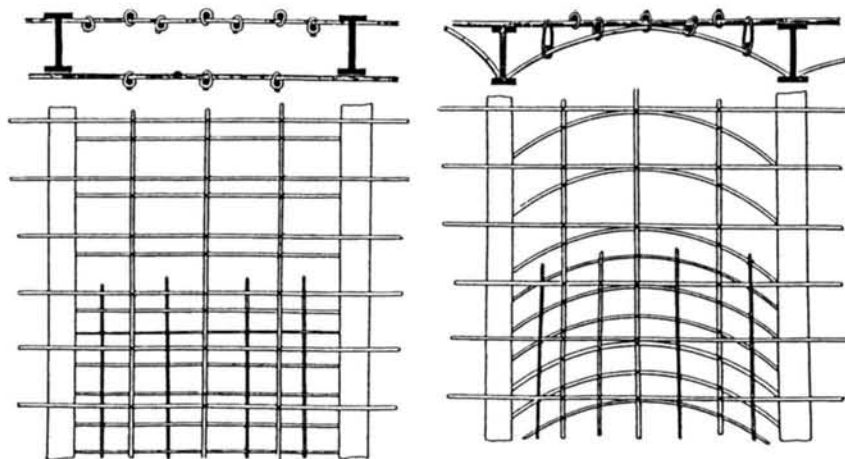


写真2-2 世界最初の鉄筋コンクリート橋（1875年、J. モニエ、シャッレー）⁴⁾



1881年のモニエ式特許の平床版図 1881年のモニエ式特許のアーチ床版図

図2-1 モニエの鉄桁を包む平板及びアーチ状床版の配筋図。⁵⁾

（3）研究と受容期（1886～1902）—— 独、墺、仏での研究と受容。

1）独、墺での研究開発。

ドイツ（当時はプロシャ）における鉄筋コンクリートは、モニエ特許を買い取った三会社により普及されたが、特に1879年鉄道技師から転身したグスタフ・アドルフ・ワイ

ス (G, A, Wayss) がベルリンに開設した鉄筋コンクリート専門会社の功績が大きい。ワイスは鉄筋コンクリートの普及のためには、先ず技術者にその利点を理解させ信頼を得る事が必要として、大規模な試験装置を設けて、官民の関係技術者を集めて鉄筋、無筋のコンクリート構造や石造、煉瓦構造の公開比較試験を実施した。当時のプロシヤ政府は、主任技師マシュー・ケエネン (M, Köenen) を実験委員に任命して実験に協力した。ケエネンは鉄筋コンクリート構造の鉄筋及びコンクリートの力学的意義を洞察して「鉄筋は張力に対して用いられ、コンクリートは圧力に対してのみ考えられるべきもの」とモニエ小冊子 (Monier Breschüre) 上で提唱した。⁷⁾ ケエネンは鉄筋を引張力を生ずる部分に挿入し、その力学的意義を正しく把握していた。そして1886年に実験結果に基づいて、断面応力分布がナビエー (Navier) の仮定に従うとして、断面の中央軸上に中立軸を置き、コンクリートの引張力を無視した鉄筋コンクリート断面の計算式を発表した。これが鉄筋コンクリート構造が、科学的に取上げられて進歩発展する端緒となったが、これは日本では明治19年の事であった。³⁾

ケエネンはワイスの会社の技師長に就任し、1886年更にモニエ式アーチの荷重試験を行い、微小変形の測定とひび割れ発生状況から断面力を算出してアーチの力学理論と比較して発表し、学会の賞賛を得ている。⁸⁾ またワイスは1890年にスイスのAargau州のビルデックの工場運河に径間37.2m、ライズ3.5mの扁平鉄筋コンクリート・アーチ橋 (写真2-3) を架設している。⁹⁾ ワイス等は鉄筋コンクリートの理論研究と共に施工技術の開発を行い、「モニエ工法」としてこの事業を欧州に拡張して行った。

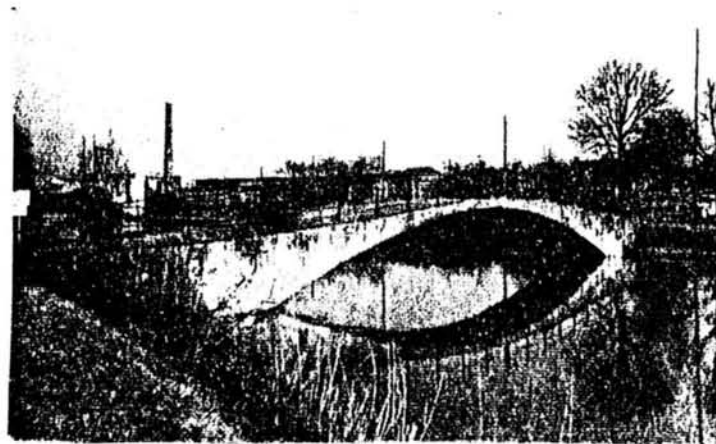


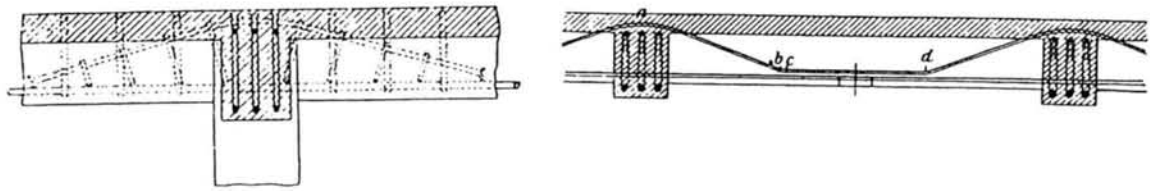
写真2-3 ワイスの架設したスイスAargau州ビルデック 近くの鉄筋コンクリート・アーチ橋。(1890)⁸⁾

喫人ジョセフ・メラン (J, Melan) は、実験により鉄筋と異なりコンクリートの弾性係数が一定でない事を1890年に発表しているが、1893年にはアーチ橋の建設に鉄骨構造を利用する「メラン工法」を開発し、特許を得て普及させて行った。³⁾

2) Hennebiqueの発明とその受容

仏人フランソワ・アンネビク (F, Hennebique) は、鉄筋コンクリート構造の家屋の建設工事中に、柱の横補強筋と梁鉄筋とを結合した一体構造として今日のラーメン構造を開発した。更に、構造物として合理性の高い鉄筋コンクリートT型梁と、その剪断力対策として帯鉄による肋筋を開発して1892 (明治25) 年特許を取得した。翌1893年に

はT型梁の主鉄筋を曲げモーメントの正負に応じて曲げ上げる「折り曲げ筋」の工法を開発して特許を得た。³⁾ (図2-2参照)



(a) アンネビクの1893年の施工 (b) アンネビクの1894年の施工

図2-2 アンネビクの1893年(a)と1894年(b)の鉄筋折り曲げ図⁴⁾

こうして鉄筋コンクリート構造の基本的工法が開発され、擁壁や貯水槽、橋梁などの土木構造物や、建築物に鉄筋コンクリート構造が合理性を持って使用され始めた。1899(明治32)年にはアンネビクはシャテルロー(Chatellerault)の3径間の鉄筋コンクリート・アーチ橋(写真2-4)を建設している。⁹⁾ アンネビクは1892年欧州各国に姉妹会社を設立して事業を拡張し、ケエネンを始めとするドイツの技術者達が行った鉄筋コンクリート構造の理論や、施工技術の研究の発展と連動して、事業は急速に発展した。アンネビクで施工した施設は、1900(明治33)年には1229ヶ所であったが、1902(明治35)年には7026ヶ所に上り、橋梁等の土木施設から工場、塔や都市建築物まで多種類に及んだ。¹¹⁾

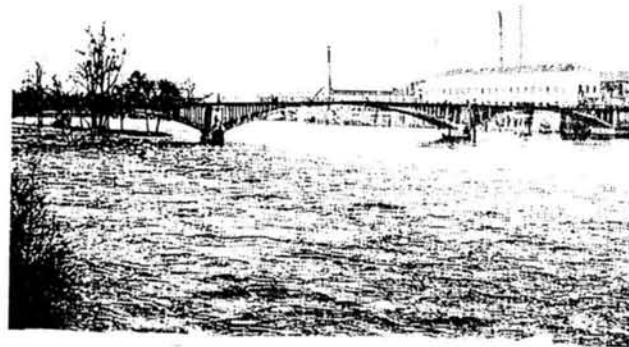


写真2-4 アンネビクの架設した仏シャテルローの鉄筋コンクリート・アーチ橋(1899年)⁹⁾

特に彼は鉄筋コンクリートの専門技術者と熟練労働者を使い、セメントや骨材の材質にも細心の注意を払って優れた構造物を建設したので、会社の信用を高めそれが更に受注を呼び起こしたと言われる。正しく設計施工された鉄筋コンクリート構造は、石造や煉瓦構造と比較して経済的で、耐火性や耐久性があるとして評価されていた。¹¹⁾

3) 欧州における鉄筋コンクリート構造理論の発達と受容

ドイツではワイスとケエネンにより鉄筋コンクリート構造の科学的研究が始められ、1890年にはコンクリート中の鉄筋の錆や、定着フックの研究を実用化している。

仏人エドモンド・コワネエ(E. Coignet)とデ・テデスコ(D. Tedesco)は、189

4年に仏土木技術者協会に提出した報文で、今日一般に使用している理論に近い鉄筋コンクリート計算法を示した。続いて1895年独人ポール・ノイマン (P. Neumann) は、鉄とコンクリートの2つの建設材料の弾性係数の比 $n = E_s / E_c$ が、それ等の合成状態の計算に重要な役割を果たす事を証明した。⁸⁾

また1890年から93 (明治23~26) 年にかけて奥国技術者及び建築家連合は、メランを中心に煉瓦造、無筋式、モニエ式、メラン式のアーチ構造の大規模かつ詳細な比較実験を行い、全載荷及び半載荷の詳細な変位と亀裂の測定により、鉄筋コンクリート理論の妥当性及両工法が略同等の耐荷力を有する事を立証した (写真2-5及び図2-3と図2-4)。¹²⁾

ウイーン近くのプルカースドルフでの第一アーチ委員会研究 (1890~1903)
(Purkersdorf)

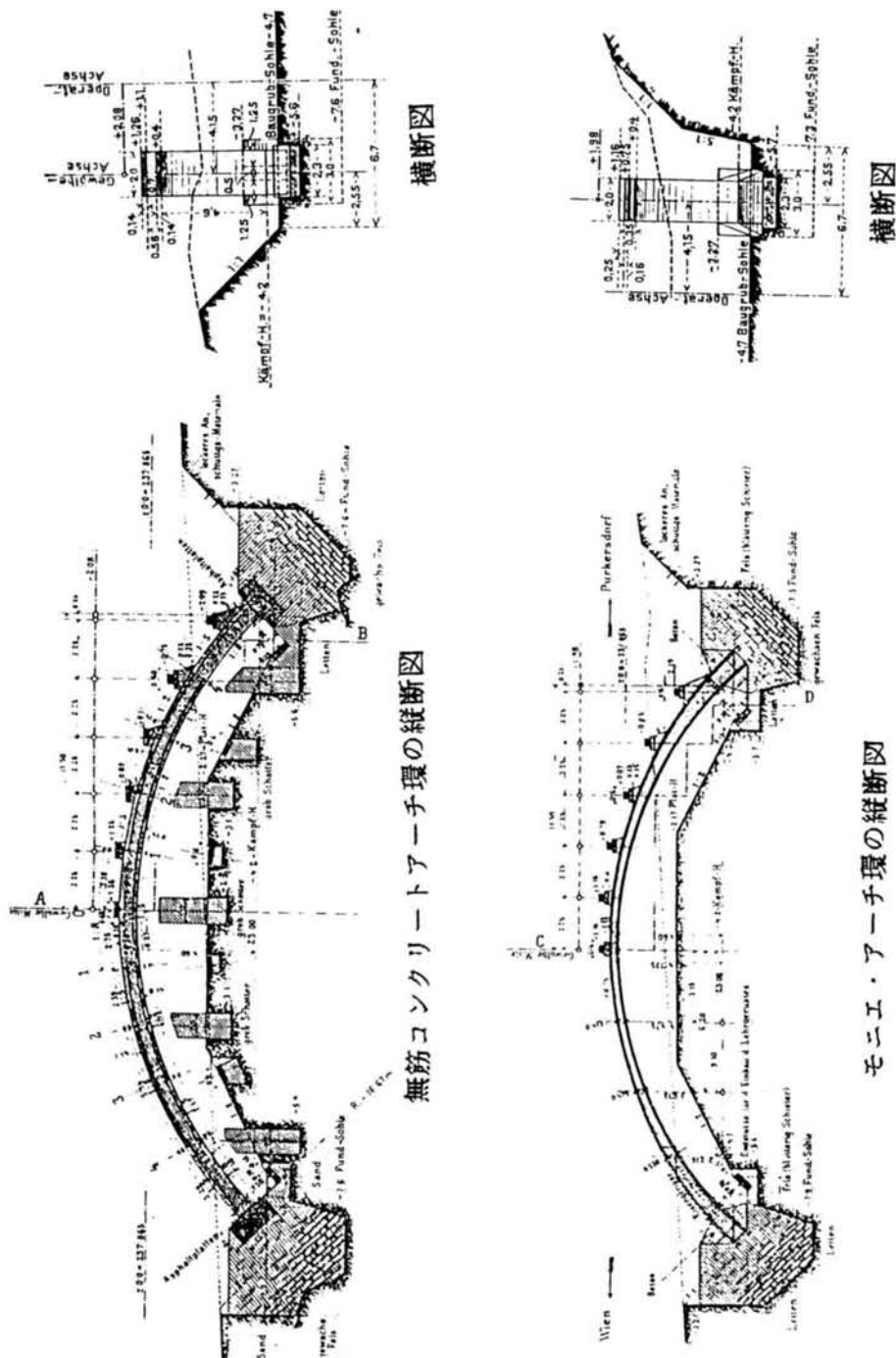
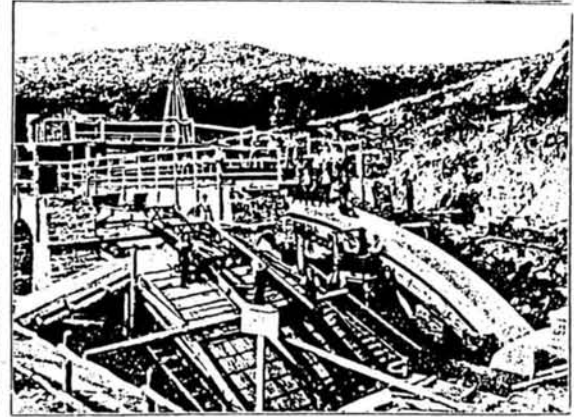
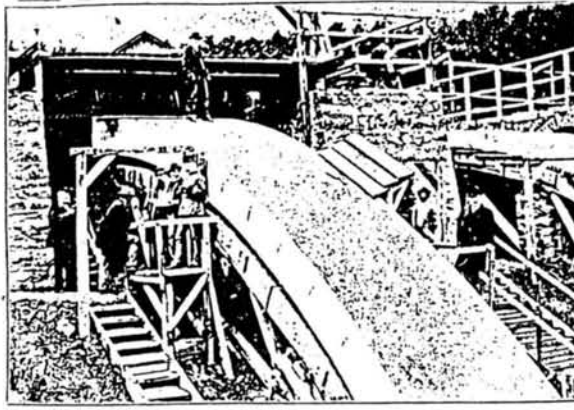
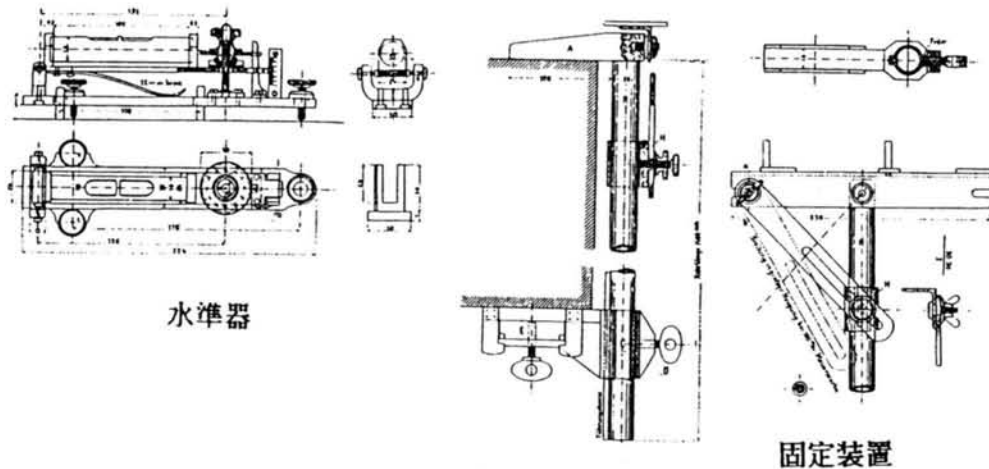


図2-3 奥国技術者及び建築家連合のアーチ構造大規模載荷試験¹²⁾



カカストルでの無筋コンクリートアーチ環の荷重試験 モニエ式アーチ環の荷重試験
写真2-5 壙国技術者及び建築家連合のアーチ構造大規模載荷試験（試験状況）¹²⁾



(Pfeufferscher)

図2-4 フォイファージェルの傾斜計（変形測定器詳細図）¹²⁾

また、独人エミール・メルシュ (E, Mörsh) や壙人エンペルゲル (F, Emperger) は1893年鉄筋コンクリートの剪断力の研究をして、アンネビックやコアネエの鉄筋折り曲げ工法が合理的である事を証明した。しかし、アンネビック工法は1903年既知の工法として、裁判により特許無効となった。¹⁴⁾ 1902 (明治35) 年に至りケエネンは、自己の研究やノイマンやメラン等の研究を纏めて、「鉄筋コンクリート構造計算の根本」を発表して、鉄筋コンクリート構造設計に大きな影響を与え、後の鉄筋コンクリート設計基準制定の基を成した。¹³⁾

1904年から5年に掛けて、独人バッハ (V, Bach) はコンクリートと鉄筋の付着力を研究して、その大きさを決定している。¹⁵⁾ また、仏人コンシデール (A, Considere) は1902年スパイラル筋で断面周辺を補強した鉄筋コンクリート柱が、帯鉄筋柱よりも非常に高い圧縮強度を有する事を発明して特許権を得た。¹⁶⁾

一方仏国土木大学校 (Ecole des ponts et chaussees) 教授フェレー (R, Feret) は、1897 (明治30) 年「コンクリート強度のモルタル密度説」を発表している。¹⁸⁾ 最終的には「コンクリートの強度は、同一材料で同一条件であればモルタル密度により、それはセメントと砂の絶対容積（空隙を除いたもの）の比の2乗に比例する。」と言うもので、我国でも吉田橋工事ではこの理論でコンクリートの配合が行われていた様で、原田碧の著

書でも紹介されている。¹⁹⁾この当時のコンクリートの配合は、経験的に強構造部材用は1:2:4、弱構造部材用は1:3:6の容積配合で、水量は気象状況や施工条件から施工し易い様に責任技術者が適当に決めていた様である。

これを理論化しようとしたものであるが大変困難で、1901（明治34）年フューラ（B. Fuller, 1862~1923）の最大密度説（最小空隙説）が発表され、¹⁸⁾1918（大正7）年にはエドワード（L. N. Edwards）の表面積法（Surface-Area Method）が出て、1918年3月にはエブラムス（D. A. Abrams）の粗粒率法（Fineness Modulus Method）が発表されている。¹⁸⁾

1919（大正8）年エブラムスが最終的に「水セメント比説」を発表するまでは、合理的なコンクリートの配合理論は無く、コンクリートの試験としては、骨材の空隙率測定やモルタルの圧縮強度試験又はコンクリートの伸張力試験が代りに行われていた。

鉄筋コンクリート構造の普及に大きく貢献したのは、1900年のパリー世界博覧会でアンネビックが大噴水「水の城」や宮殿を鉄筋コンクリート構造で建設して博覧会大賞を受賞し、これ等の公開破壊実験を披露して信頼性を高めた事であると言われている。³⁾

また、1899年にベルギーのパウル・クリストフ（P. Chrisoph）は「鉄筋コンクリート構造の応用」²⁰⁾と題した小冊誌を出版したが、この内容の一部は広井勇や直木倫太郎により我国に紹介されている。²⁷⁾²⁸⁾更にアンネビック工法の体系的説明書を含む年報のシリーズを発行して、鉄筋コンクリート構造の普及に努めた。²¹⁾この年報の一部は、1900（明治33）年に吉町太郎一により工学会誌で紹介されている。²²⁾

1902年に独人メルシュ（E. Mörsch）は「鉄筋コンクリート構造、その理論と応用」で最初の鉄筋コンクリート工学の体系的教科書を出版した。⁸⁾

1907年にはエンペルゲル（F. Von Emperger）は、鉄筋コンクリート構造の成果を集大成して「鉄筋コンクリート構造全書（HANDBUCH FÜR EISENBETONBAU）の全14巻を編集して出版している。また、雑誌「コンクリートと鉄」（Beton und Eisen）を発行して、鉄筋コンクリート構造の研究と普及発達に大きな貢献をしている。³⁾

こうして1890年代は欧州において鉄筋コンクリート技術の理論が活潑に研究されたが、鋼構造と比較して鉄筋コンクリート構造が複雑な挙動を示すため、その精密な理論化は困難であり、多数の理論が並立して一時的な混乱が生じた。

（4）普及発展期（1903~1913）—— 欧米各国での基準の制定。

1）欧州での基準の制定。

欧州での各種鉄筋コンクリート構造が普及するにつれ、事故や欠陥のある構造物が建設され、また、設計計算法も設計者により違っていた。設計施工上の混乱が生じ、鉄筋コンクリート技術の信用が低下し、採用の妨げとなっていたので、各国で設計及び施工を厳格に行うための基準の制定が必要となって来た。最初にスイスの技術者及び建築家連合（Schweizerischen Ingenieur und Architekten Vereins）が、1903（明治36）年「鉄筋コンクリート構造、暫定基準」を制定し、翌1904年独の技術者及び建築家連合（Deutscher Beton Verein）が「鉄筋コンクリート構造、暫定指導原則」を制定した。⁸⁾

独（プロシャ）政府は、1906（明治39）年鉄筋コンクリート研究者により、ドイツ鉄筋コンクリート委員会（Deutscher Ausschuss für Eisenbeton）を設立した。これは鉄筋コンクリート構造の問題点を大規模な科学的実験により解決するため設けられた組

織であり、活発な研究活動が行われた。これ等に基づいて1916（大正5）年ドイツ政府は「鉄筋コンクリート構造施行基準」を制定したが、これは欧米での設計施工基準の模範となったものであり、³⁾更に日本の鉄筋コンクリート技術にも大きな影響を与えている。

2) 英米における鉄筋コンクリートの基準制定

英国においては前述の通り早くからコンクリート構造が使用されたにも拘わらず、鉄筋コンクリート構造技術は発達しなかった。安価で便利な鉄鋼構造が発達していたから、鉄筋コンクリート技術に関心が向かなかったからと考えられる。²³⁾

一方米国では欧州とは独自にハイアットが鉄筋コンクリート梁の実験を行い、1877年にはその耐火性や弾性特性を発表している。1893年ランサム（T. L. Ransame）は独自に鉄筋コンクリート構造を開発し、冷間圧延鉄棒や、冷間振り鉄棒等の異形鉄筋を開発して、ランサム・バーとして普及させた。²⁴⁾ 塊人エンベルゲルは米国での講演の機会に、1896年米国にメラン式橋梁会社を設立して、主に米国東部でこの工法を普及させた。米人サッチャー（E. Thacher）は1911年同じくメラン式橋梁会社を設立して、主に米国西部で拡大した。³⁾

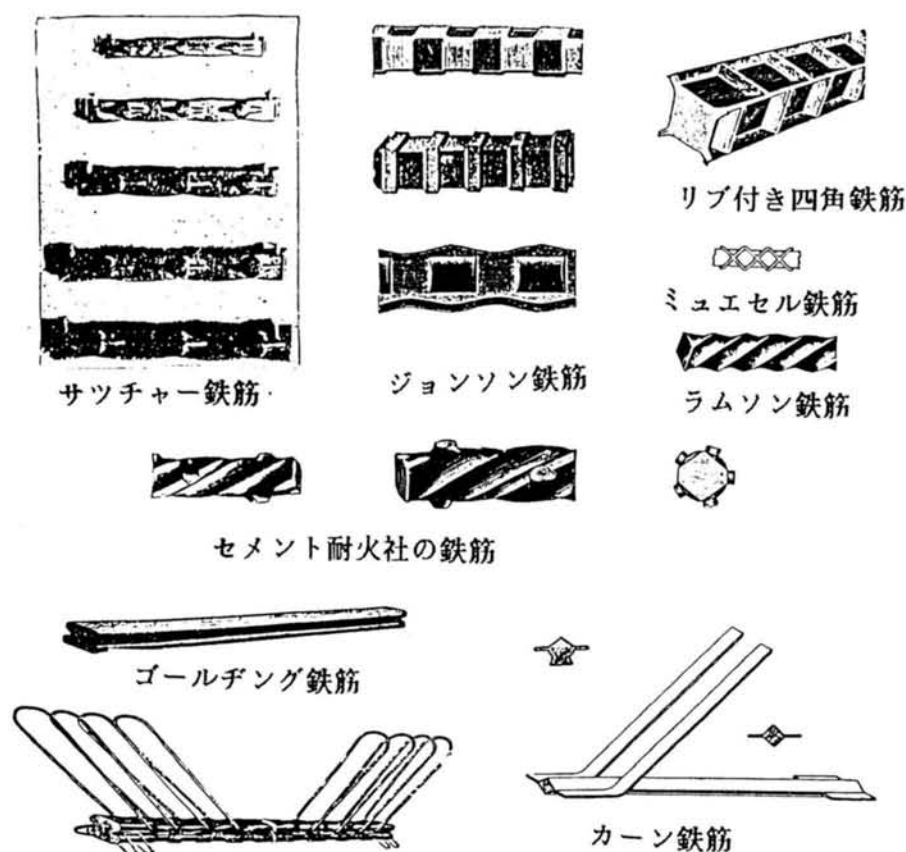


図2-5 米国における各種異形鉄筋。²⁴⁾

また、サッチャーは特異な形状の突起を有する異形鉄筋を開発した。この後米国では各種の異形鉄筋（図2-5参照）²⁴⁾が開発されて、鉄鋼材やセメント製造業の発展と共に、鉄筋コンクリート構造も普及して建築物や橋梁の他に貯蔵サイロや海洋構造物でも隆盛となった。⁵⁾

また1919（大正8）年米人エブラムス（D, A, Abrams）は「コンクリート強度の水セメント比説」を発表して、従来の水量に関係なく決められていたコンクリートの配合が著しく革新された。^{25）}これによりコンクリートの施工法が大きく合理化されて、コンクリートの所要の強度を得る為の配合設計も、水セメント比から決められる様になった。^{26）}

米国では鉄筋コンクリートの大規模な実験が行なわれて「コンクリート及び鉄筋コンクリート委員会」を設けて検討を重ねていたが、1924（大正13）年「コンクリート及び鉄筋コンクリート標準示方書」を制定した。^{3）}

（5）戦時停滞期（1914年～1919年）

1914年7月奥国はセルビアに宣戦を布告し、欧州は戦争に巻き込まれて第一次世界大戦が始まった。これに伴い建設事業も停滞して、鉄筋コンクリートの技術も停滞した。

2. 2大正末期までの欧米における鉄筋コンクリート技術の発展のまとめ。

1）胎動期（1825～1866）年頃には、モニエ以前にコンクリートに鉄材を挿入して補強する考えた人は、英米仏国等でもあったが、いずれも試験的なものであった。

米人ハイヤットは1850年頃から試験により鉄とコンクリートの熱膨張係数が同等である事を発見し、鉄筋コンクリート建築の耐火性を強調していた。

2）開発期（1867～1885年頃）、仏人モニエは鉄筋コンクリート造の植木鉢を考案し、1867年に特許権を得た。次いで鉄筋コンクリート造の樋管や貯水槽の特許権を得たが、「鉄筋はコンクリートの形を造るための骨組み」と考えて、力学的考慮も無く鉄筋は部材断面の中央に格子状に配置されていた。

次いでスラブ構造やアーチ構造を鉄筋コンクリートで造り、さらに多くの構造物でこの構造を採用して「事実上のモニエ特許」として、この構造の普及に努力したが、社会の受容には到らなかった。しかし鉄筋コンクリート構造の基礎を築いたと言える。

3）研究と開発期（1886～1902年頃）では、独人ワイスはモニエの特許実施権を得てベルリンに専門会社を起し、官民の技術者を集めて公開荷重試験を実施して理論的な研究を行った。ケエネンはワイスの会社の技師長として、鉄筋コンクリート構造の理論化に努め、1886年最初の鉄筋コンクリート構造の科学的な理論を発表した。

これに刺激されて欧州各国で鉄筋コンクリート構造の試験研究が活発化し、独、奥、仏瑞等の研究者が相次いでこの構造の複合構造としての力学特性の研究を発表し、多くの理論が並立して一時的に理論上の混乱状態が発生した。

一方仏人アンネビツクは独自に鉄筋コンクリートT桁やその肋筋及び折曲げ鉄筋の有効性を施工の中から考案して特許権をえた。これ等はアンネビツク工法として、良質な施工で信頼性を獲得し、欧州各国の代理店を通じて普及して行った。

独人ワイスの会社も各国への普及に努力していたが、その他の技術者達も独自の工法を考案し、独自の実験式を求めて発表しており、欧米ではこれ等の各種工法が競争しており、活発な競争によりこの技術が普及して行った。

4）普及発展期（1903～1913年頃）の欧州では、メランを中心とした奥国技術者建築家連合により、1890年頃に大規模で精密な石造、煉瓦造、無筋式、モニエ式、メラン式のアーチ構造の比較荷重試験が実施された。変形と亀裂の発生状況と理論解析との

一致から、理論の信頼性や各構造の耐荷力の特性が認められた。

1902年独人ケエネンは、自己の研究やノイマン、メラン等の研究を集大成して、「鉄筋コンクリートの構造計算の根本」を發表したが、鉄筋コンクリート計算法が略合意を得て統一され、各国のこの技術の規準作成の基となった。

欧米各国の鉄筋コンクリート構造の施工中の事故や、設計及び施工法の違いがあつては信頼性が得られないので、統一的な設計及び施工の規準の必要が認められた。

スイスの技術者及び建築家連合が、1903年に最初に「鉄筋コンクリート構造暫定規準」を作成して發表した。これに次いで奥、独、仏等の国の機関や団体が略同様の規準を制定したので、鉄筋コンクリート技術の安全性や、信頼性が増大して一層普及が拡大して行つた。

一方米国では独自に鉄筋コンクリート技術が各種構造物に広く採用されていたが、特に米国の状況に合わせた鉄筋の特殊工法や、異形鉄筋の開発が競争的に行われて広く採用されたが、これらの一部の工法は我国にも導入された。

1906年にはドイツにおいて鉄筋コンクリート委員会が組織されて、計画的に大規模な實驗によるこの構造の解明が行われた。この結果が1916(大正5)年「鉄筋コンクリート構造施行基準」として制定された。米国においても委員会が組織されて大規模な試験研究が行なわれ、1924(大正13)年に「コンクリート及び鉄筋コンクリート標準示方書」として制定された。

参考文献-2

- 1) M. Forster "Die Grundzug der geschichtlichen Entwicklung des Eisen betonbau F, Von Emperger" Handbuch fur Eisenbetonbau I seite 11 WILHELM ERNST & SOHN 1908
- 2) 同上 seite 12
- 3) 田辺平学、二見秀雄「鉄筋コンクリート工学」常盤書房、昭和9年2月、
- 4) 山口広、他3名；コンクリートの発展、コンクリート工学Vol.18 No.2、1980年2月
- 5) M, Forster; 1)に同じ、Seite 16,
- 6) M, Forster; 1)に同じ、Seite 20
- 7) 瓜生康一「実地応用鉄筋コンクリート工学」博文館、大正5年1月、
- 8) J, A, Spiter "Entwicklungs Geschichte Theorie des Eisenbeton", II, d) Versuche mit Gewolben. seite 303, WILHELM ERNST & SOHN, 1908.
- 9) H シュトラウブ(Hans Straub, 「建設技術史」藤本一郎訳、鹿島出版会、昭和51年11月
- 10) 馬場俊介監修、岡田憲久他3名「景観と意匠の歴史的展開」信山社、1998年9月
- 11) DAVID P. BILLINGTON "THE TOWER AND THE BRIDGE", Princeton University Press 1985
- 12) M, N, bussell "The era of the proprietary reinforcing systems", proc. Instn. Civ. Engrs Structs & Bldgs 116. Aug/Nov、p297、1996.
- 13) J. A. Spitzer "Entwicklungs Geschichte Theorie des Eisenbetons", II, d) Versuche mit Gewolben. seite 329、WILHELM ERNST & SOHN. 1908.
- 14) M, Forster; 1)に同じ、seite 20 .
- 15) M, Forster; 1)に同じ、seite 29.
- 16) M, Forster; 1)に同じ、seite 43.

- 17) M, Forster; 1)に同じ、seite 41.
- 18) 田上為巳「鉄筋コンクリートの歴史(福岡県の古き橋の調査報告)」59頁、昭和54年
- 19) 原田碧「実用鉄筋コンクリート構法」丸善(株) 89頁 大正元年8月。
- 20) M, Forster; 1)に同じ、seite 30. 「Le beton arme et ses applications」
- 21) M, Forster; 1)に同じ、seite 30. 「Annales des travaux publics de Belgique」
- 22) 吉町太郎「欧米各邦近刊会誌及雑誌所載事項中土木工学ニ関スル件摘要、材料及施工法、鉄及混凝土合成構造及其応用」工学会誌、214巻、220 巻、明治32年12月、同33年6月
- 23) M, M, Chrimes "The development of concrete bridges in the British Isles prior to 1940," proc. Instn. Civ. Engrs. 116. Aug/Nov, p404. 1996.
- 24) M, Forster; 1)に同じ、seite 45.
- 25) 吉田徳次郎「コンクリートの回顧」セメント界輯報、321号、48頁、昭和9年12月
- 26) 国分正胤「土木におけるコンクリート施工の移り変り」コンクリート工学Vol18, No6. 1980年6月
- 27) 広井勇「鉄筋混凝土橋梁」工学会誌253巻、工学会、285頁、明治36年6月。
- 28) 直木倫太郎「鉄筋混凝土ノ価値」工学会誌272～327巻、明治38年3月～38年9月。

3. 鉄筋コンクリート技術の胎動期（1887～1902年）頃

3. 1. 胎動期のコンクリート及び鉄筋コンクリート技術の動き。

（1）欧米文献の抄訳又は紹介。

1) この時期での鉄筋コンクリート技術の情報や紹介は、工学士等で組織された日本工学会が編集発行する「工学会誌」と、造家学会の編集発行する「建築雑誌」が主なものであり、民間技術者の発行する「工業雑誌」には、未だ鉄筋コンクリートに関連する記事は現れていない。ここでは土木技術者に関連深い「工学会誌」を中心に取り上げる。

2) 日本で最初に鉄筋コンクリート技術について紹介したのは、明治24（1891）年7月に帝大造家学科の中村達太郎（攻玉社出身、工部大学校造家学科、明治15年卒）の工学会誌上で「コンクリートの梁」である。これはThe Building Newsの記事を引用して、アメリカでコンクリート中に鉄棒を入れて無筋コンクリートの約5倍の強度を有する梁の特許が得られた事を紹介している。¹⁾

3) 明治29（1896）年11月に、K.I.（建築家石井啓吉とされている。）が、「巴里ニ於ケル建築構造新法」と題して2回に渉り、鉄筋コンクリート建築の紹介を行っている。²⁾ 仏国土木技師協会の新建築の鉄筋コンクリート床構造が、1階はコアネ（Coignet）工法を採用し、2階及びこれを支持する柱やアーチ構造は、アンネビック（Hennebique）工法が採用された事を記述している。（図3-1参照）また、鉄筋コンクリートの力学的原理を図3-2で説明し、T型梁でのアンネビック工法の肋筋の帯鉄の効果を図3-3で説明している。当時仏国でも鉄筋コンクリート構造は試行段階であり、色々の工法が試験的に施工されていた事を示している。（図3-1・3-2及び3-3参照）

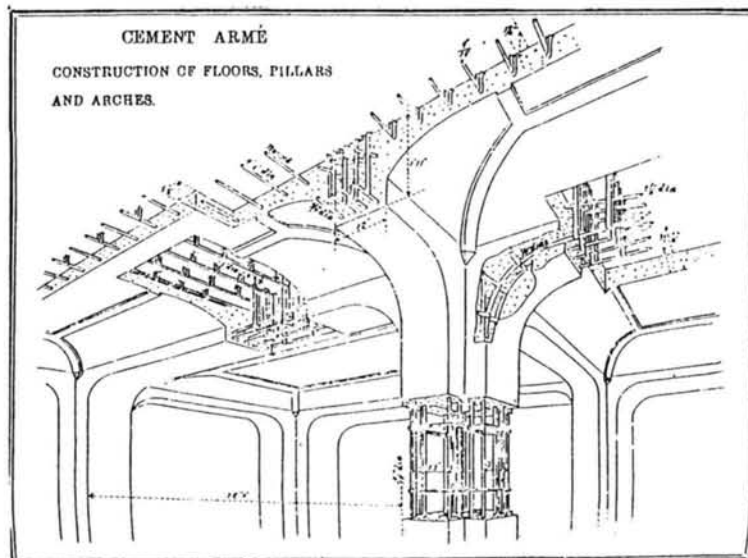
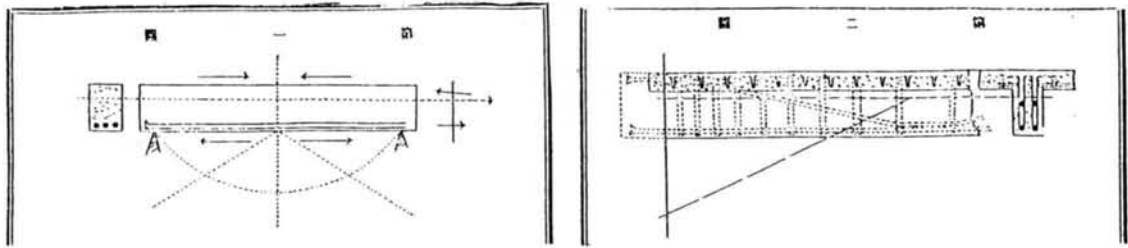


図3-1 アンネビック工法建築構造説明図²⁾

4) 明治32（1899）年6月には、S.H.（服部鹿次郎、帝大土木科明治25年卒と推定）は「欧米各邦ニ於ケル近刊会誌及雑誌所載事項中土木工学ニ関スル件摘要」に於いて「ステールにおけるメラン式橋梁」として、鉄筋コンクリートのメラン式アーチ橋を「偏平なる拱に適する。」として紹介している。³⁾ 実例として奥国Steyrにおいて径間42m



、拱矢2.85m、1/15の拱矢比で、鉄骨ラチス形拱6個をポルトランド・セメント1：2：4の割合のコンクリートで包んだ構造を成していると記している。

5) 明治32(1899)年7月の同摘要記事では、S.H.(服部鹿次郎)は「鉄筋コンクリート合成抵抗」と題して、スイス建設誌(Schweizerische Bauzeitung)に掲載されたスイス連邦工科大学(T.H.S.)のリッター(Ritter)教授の鉄筋コンクリートに関する論文を紹介している。⁴⁾ その中で鉄筋コンクリート構造を鉄材とコンクリートの合成構造として、その特性を3つ挙げている。a) 鉄または鋼とコンクリートの熱膨張率は殆ど同じ。b) コンクリートは鉄に粘着する事強く、ドイツのある試験では45 kg/cm²を示した。c) コンクリートは内挿された鉄が張力を受けるため、これに依じて亀裂を生ずる事なしに、伸長するに足る弾性を有する。

鉄筋コンクリート構造に3種あり、その名称と特徴としてイ) モニエ (Monier) 式; 網形配置の針金材をコンクリートで包む。ロ) メラン (Melan) 式; 直線又は拱形の形鉄又はラチス形構桁を骨とする。ハ) アンネビク (Hennebique) 式; 上記2者の中間に位置し梁の張力側に円桿鉄を用いる。この様に紹介している。

鉄筋コンクリート単純梁の具体的設計計算例を示して、鉄とコンクリートの弾性係数比は $\alpha = E_s / E_c = 1.0$ として大差無しとしている。また、図 3-4 の様に連続版及び剛結構造でのアンネビック式の配筋法を示し、原本ではこれ等の構造計算例を示している事を述べている。(図 3-4 参照)

特に注目されるのは、コンクリート断面の応力分布が、亀裂後に図-5の様に直線状か

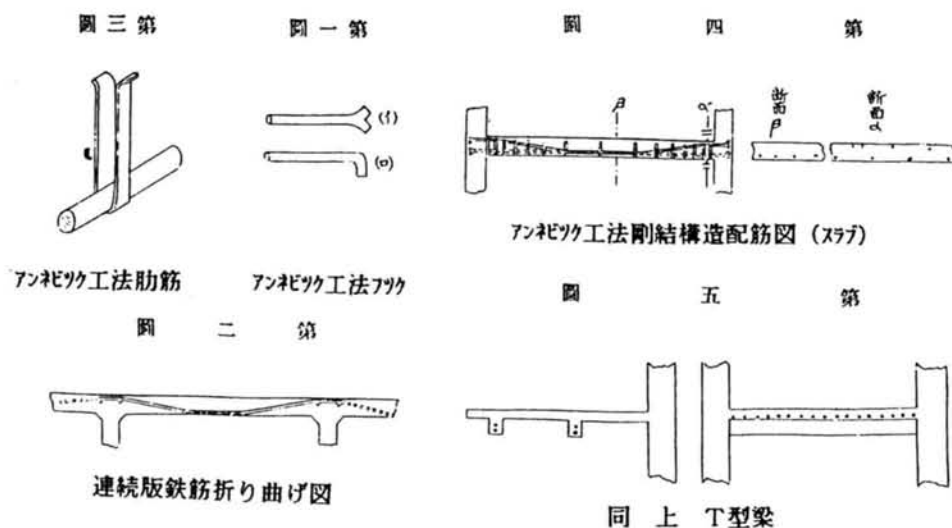


図3-4 アンネビック工法の連続版及び剛構造の配筋図⁴⁾

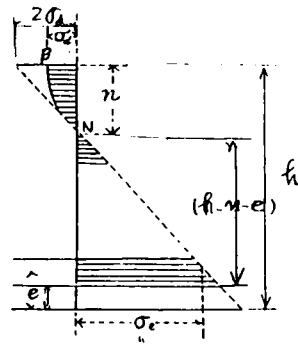


図3-5 断面の応力分布をコンクリート部で放物線状とした場合の図⁴⁾(リッター教授)

ら近似的に放物線状に変わるものとして、この場合の近似的応力計算法を示し、直線として計算した場合との差異は小さいとしている。(図3-5参照)

6) T.Y. [吉町太郎一(東京帝大土木科明治31年卒)と推定]は、上記と同じ摘要記事として、明治32(1899)年12月と同33(1900)年6月の2回に渉り、「鉄及び混凝土合成構造及其応用」と題して、ベルギー人パウル・クリストフ(paul Christophe)の1899年に出版された「Annales des travaux publics des Belgique」の第三分冊及び第六分冊を部分的に抄訳して紹介したものである。^{5) 6)}

これ等「ベルギーの公共事業年報」は資料によると、⁷⁾ アンネビックの協力でクリストフが1899年にベルギーでの「鉄筋コンクリート協会」を設立した際に、最新の鉄筋コンクリート技術の全体系や、鉄筋コンクリート構造物の発展を紹介した年報の発行を始めたもので、それが好評を得て欧州で有名になり、鉄筋コンクリートの発展に貢献したと言う。⁷⁾

吉町太郎一の紹介によると、明治32年12月の214巻では、主に鉄筋コンクリートの長所の紹介と、その欧州での発展の歴史や現況の説明、構造物への使用法と各種工法の極く簡単な紹介を行っている。⁵⁾

同33年6月の220巻では、鉄とコンクリートの合成構造としての理論の概要を説明している。特に当時最新の研究成果であるバハ(C.V. Bach)のコンクリートの「応圧力-変形曲線図」から、 p なる単位応圧に対する弾性係数 $E_p = E_c / P^{n-1}$ とし、 E_c 及び n は材料により異なる係数としている。張力に対する弾性係数は、諸家の実験結果は各々異なるが、混凝土と金属の粘着力は実験結果は乏しからずとしている。⁶⁾

また、鉄筋コンクリート部材に圧力、張力、彎曲、及び彎曲と同時に軸力を受ける4つの場合の外力と発生応力度の関係を表す公式を示して、その運用方法も示していると紹

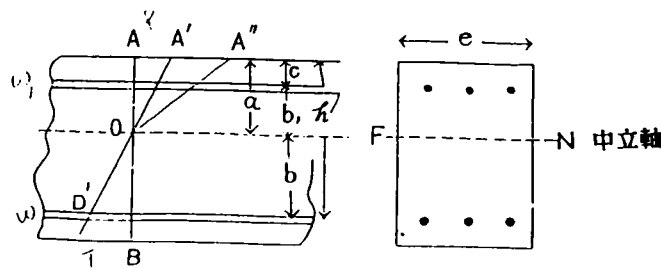


図3-6 クリストッフの鉄筋コンクリート矩形断面の応力計算図⁶⁾

介しているが、詳細な情報は紹介されていない。単純曲げを受ける矩形断面梁の鉄筋及びコンクリート縁応力度（図3-6参照）や、剪断及び付着応力度を求める式を導く過程を紹介している。

鉄橋、石造橋が加工や組立てに日数を要するのに対し、鉄筋コンクリートが各部の強度を一定にする様に設計する事も可能で、形状も簡単で加工に要する日数も少なく、監督容易にして費用は3割乃至4割の巨額を節約する事が出来ると述べている。

7)「工学会誌」上では、この他セメント・モルタル関係や、建築に関連した鉄筋コンクリート構造の紹介は、下記の通りであるが、土木関係者には一部の技術者を除いて関心は薄かったと思われるので省略する。

なお、日本で実際に使用された工法には、上記の他に米国で1902（明治35）年に特許となったカーン（Kahn）式工法がある。明治44（1911）年完成の横浜市吉田橋で、石橋絢彦が日本で始めて採用したので有名である。工学会誌上では明治36（1903）年広井勇により紹介されており⁹⁾、明治42（1909）年6月工学会誌の「雑報欄」に、カーン式工法の取扱い代理店が東京に設けられた事が記されている。⁹⁾

a)石橋絢彦「モルタル試験」西字新聞抄訳、第76巻、明治21年4月。

b)石橋絢彦「ポルトランド・セメント試験法」第115巻、明治24年7月。

c)K. I. 「コンクリート構造及ヒ其实地応用」第160巻、明治28年4月。

d)三橋四郎「膠泥混凝土ノ弁」第182巻、明治30年2月。

e)高山甚太郎「ポルトランド・セメントの応用、モニエー式建築方ニ就テ」第220巻
明治33年6月。

（2）田辺朔郎の鉄筋コンクリートの研究と紹介

明治27（1894）年10月造家学会において田辺朔郎（当時帝大土木科教授）は、「地震と迫持との関係及び耐震迫持の考案」と題する講演を行ったが、これは「建築雑誌」（造家学会誌）の同年12月号に掲載されている。¹⁰⁾この講演は迫持（アーチ）構造が耐震的に有利である事を、地震時の非対称水平荷重が作用した時の、アーチの挙動を静力学的に解析して説明したものである。この講演後の質疑応答の中で、当時計画されていた鉄道の「東京高架橋」の構造として、煉瓦アーチ構造と比較して鉄筋コンクリート・アーチ構造が耐震的である事を述べ、「システム・メラン」と「システム・モニエル」の紹介を行っている。この中で田辺朔郎は、鉄とコンクリートの伸張力と弾性係数の比が同じであれば、両者は一体として働くが、「システム・メラン」は鉄とコンクリートの摩擦に疑問があり今後研究の予定として、当面「システム・モニエル」が好ましいとしている。また、資料によれば、田辺朔郎は明治29（1896）年帝大教授を退職して、岳父北垣国道の要請に応じて北海道の鉄道計画の作成に従事する直前に、鉄筋コンクリート試験の為に4番線を入れた10cm角のコンクリート試験ブロックを作製していたが、試験をする機会がなくて3年後にもそのままになっていたと言う。¹¹⁾

（3）大学における鉄筋コンクリート工学の講義開始

大学における鉄筋コンクリート工学の講義開始は、東京帝大土木科においては広井勇教授が明治35（1902）年頃から受持講座の橋梁工学の講義の中に、鉄筋コンクリート

の計算方法の講述を始めている。¹²⁾ 明治43年には柴田睦作が欧米留学から帰朝して教授として鉄筋コンクリートの講義を始めている。

京都帝大土木科においては、大藤高彦が明治34(1901)年独逸より2年間の留学から帰朝し、教授として材料強弱学第二部で鉄筋コンクリートの講義を開始している。ただし明治35年には日比忠彦が帰朝して材料強弱学を担当する事になり、新設の構造強弱学の担当に変わっている。大藤高彦教授の講義は、鉄筋コンクリートを合成構造の一種として計算法を説明しているのが特徴であつた。¹³⁾

建築の方面では、東京帝大造家学科の佐野利器教授が、明治39(1906)年より正式に鉄筋コンクリート工学の講座が設けられて講義を開始している。¹⁴⁾

こうして明治35年頃より東西の国立大学において「鉄筋コンクリート構造」の講義が始まったが、この意義は極めて大きい。日本の社会発展の基盤となる構造物の建設のため、鉄筋コンクリート構造について学んだ新進の土木技術者達が地方に散って、各地で鉄筋コンクリート構造物の建設を始めている。最初は大学教授の指導に依ったが、自らの研鑽でこの新しい技術を積極的に取り入れ、発展させて行った。欧米の技術的な混乱の影響を一時受けているが、欧米に遅れる事僅か10年程度でこの技術を受容し普及させて行ったのは、こうした早期のこの技術の導入とそれを受容する若い優れた技術者の存在に依るものと考えられる。

3. 2. 無筋コンクリート構造の導入と発展。

(1) 無筋コンクリートの導入とその後の発展

1) 日本でセメント製造が始まったのは、明治政府の工部省が横須賀造船所の石造新ドック建造に際し、第一ドックでの輸入セメントの費用が巨額を占めた事で経済上国産セメント製造の必要を認めて、明治4(1871)年東京深川清住町に大蔵省が「土木寮摂綿篤(セメント)製造所」を設立した事による。宇都宮三郎を担当者として研究させ、明治8(1875)年より製造を開始したが、セメントの需要に対応できず、多くのセメントが輸入される状態であった。しかし、この製造開始は丁度米国の最初のセメント製造販売開始と同じ年であり、世界的にも早期の製造開始であった。¹⁵⁾

この製造所はその後工部省に移管され、明治14年には政府の財政整理政策のため廃止されたが、明治17(1884)年に浅野総一郎に払下げられて、後に浅野セメント株式会社深川工場となった。一方笠井順八は明治14(1881)年「セメント製造会社」を設立して、セメント製造を開始したが、これが後の「小野田セメント製造株式会社」となった。¹⁵⁾

国産セメントの品質も改良が進んで、高山甚太郎は明治33年に¹⁶⁾「明治20年頃ヨリ需用モ漸ク増加シ、随テ之ガ工場ハ諸所ニ勃興シ、今ヤ大小ヲ合スルトキハ実ニ三十以上ニ達セリ。」と記している。

なお、日本におけるポルトランド・セメントの規格の制定は、明治38(1905)年農商務省告示第35号による「日本ポルトランド・セメント試験法」により始めて決められた。それ以前は独仏の工業規格を準用していたが、明治35(1905)年関連八省の代表技術者よりなる協議会を作り、調査研究を重ねて独の規格を中心に日本の状況を考慮して作成された。¹⁷⁾

2) 明治政府の文明開化、富国強兵、殖産興業の政策により、鉄道、港湾、造船所、上下水道等の建設が盛んになり、セメントの需要は上昇して行ったが、明治30年頃までは国内生産体制がそれに追いつかず、多くは輸入品に依存しており高価であった。

セメントによるモルタルや、コンクリートの使用は、次の様な段階を経て拡大しており、各種構造物においてモルタルやコンクリートの利点を生かして、部分使用から本体使用へ変遷して行った。ただし、これ等の構造は設計者の技術や考え方、技術水準及び石材、煉瓦、セメント材の入手の容易さや、価格によって決められた様で、石材、煉瓦、及びコンクリート構造の併用時期であったと言える。

a) 石造又は、煉瓦構造の目地材として、更に練石積やトンネル煉瓦巻の裏込め材として使用された。

b) コンクリートが空隙充填材として、錬鉄製円杭（スクリュウ・パイル）や石造又は煉瓦造井筒の中詰材として、その他基礎均し材等石造や煉瓦造の補助材として部分的に使用された。

c) 橋台、橋脚軀体や、トンネル坑口、制水門のアーチ部分等で無筋コンクリートが本体構造となり、石材や煉瓦が表装材として使用された。

d) 構造全体が無筋コンクリート構造として使用された。試験的に補強材として鉄材を挿入する事も行はれたが、鉄筋コンクリート構造としての設計はしていない。

以下土木技術者の関与したこの時期のコンクリート構造の代表例を分野別に述べる。

3) 鉄道構造物 — a) 初期のコンクリート使用 — 資料によると、¹⁴⁾ 明治3～7（1870～74）年建設された神戸、大阪間の武庫川橋、下十三川橋等の橋梁では、木杭の上に基礎コンクリートを設け、その上に煉瓦の軀体を築造した例があり、これが重要構造物に使用された最初とされている。明治6～9（1873～76）年に建設された大阪、京都間上十三川橋、桂川橋等の橋梁においては、錬鉄製円筒の螺旋杭の中埋にコンクリートが用いられた。¹⁸⁾ 明治11（1878）年京浜間六郷川鉄橋の橋脚基礎として、直径8呎（2.4m）深さ70余尺（21m）の錬鉄製円柱を使用し、内部にはコンクリートを充填している。¹⁹⁾（図3-7参照）

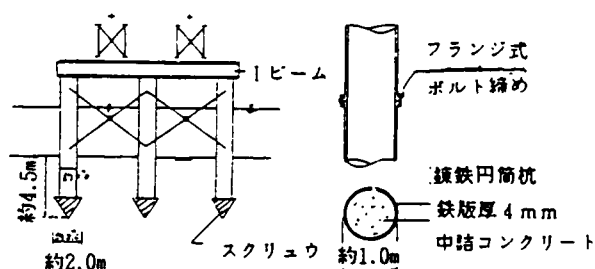


図3-7 鉄道院大阪京都間橋梁スクリュウパイル¹⁸⁾（錬鉄円筒杭内中詰コンクリートと刃口）

工学会誌にも、²⁰⁾ 明治15（1882）年長浜、敦賀間の鉄道建設で、傾斜岩盤上の煉瓦橋台基礎の均し材として、コンクリートが使用された事が報告されている。これは硬練りコンクリートの叩き仕上げで、コンクリートの自由に必要な形状に仕上げられる性質が利用されている。

b) コンクリート技術の現場教育 — 明治初期にはコンクリート設計施工の技術が未熟でしかも硬練りコンクリートであるため橋台、橋脚、擁壁等の複雑な形状の構造物には施工上無理があり、石造や煉瓦造に比べても高価であった。施工技術者の不足と未熟のために、試験施工や内部教育が盛んに行はれて、漸次この問題も解決していった。¹⁸⁾

内部誌「鉄道時報」明治32(1899)年2月25日には、モルタル(膠泥)の配合について「膠泥原料の配合はすべて容量により3:1(砂3セメント1の割合)4:1(砂4セメント1の割合)等使用ヶ所に依じて適宜加減すべし。又これに要する水の配合率は砂25%とセメントの35%の和とすべし。」と記している。これは従来水の配合量に準拠が無かったために現場の必要から決めたものであるが、配合率決定の根拠は示されていない。こうして現場で直面した問題を解決しながら、技術の向上に努力して行った様である。¹⁸⁾

c) 関西線及び東海道線での使用 — 資料によれば、¹⁸⁾ 明治26~28(1893~95)年関西線名古屋、桑名間に建設された揖斐川橋の橋脚基礎は楕円形煉瓦井筒であつた。井筒の内9個には長24呎(7.3m)の松丸太を28本打ってから水中コンクリートを施工して井筒の底面を閉塞した井筒と杭の複合構造であった。

また、資料によれば、²¹⁾ 高橋三省(通信省鉄道局)は明治36(1903)年東海道本線大垣岐阜間の穂積停車場に無筋コンクリートの道路兼水道の通路として拱橋を造ったが、径間8尺(2.4m)の放物線形のアーチであったと述べている。

d) 朝鮮鴨緑江鉄道橋 — 明治期の橋梁の無筋コンクリート構造で最大のものは、明治42(1909)年8月着工し、明治44(1911)年末竣工した「鴨緑江鉄道橋」であると考えられる。[朝鮮総督府鉄道局鴨緑江建設事務所長、山田亀治(京都帝大明治35年卒)]²²⁾ 橋長3097ft10.5in(944.232m)ワーレン型鋼構橋200ft×6連+同橋300ft×6連の歩道付き単線鉄道橋である。300ftの鋼構橋の中央に回転橋用の橋脚があり、これを中心に回転する構造となっている。(図3-8参照)

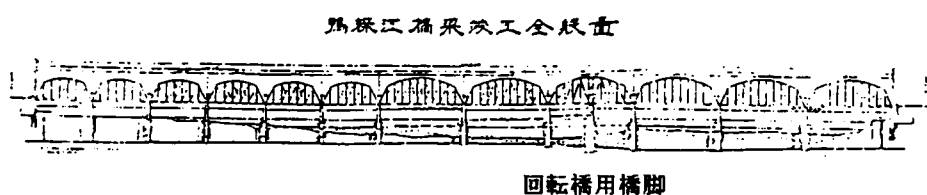


図3-8 朝鮮鴨緑江鉄道橋全体図²²⁾

橋台2基、橋脚12基の軀体は切石積とし、橋台の基礎は木杭打ちで無筋コンクリート造、橋脚の基礎は鋼製潜函の内部コンクリート充填構造である。(図3-9参照) 橋脚頂部の断面形は、回転橋脚は直径29ft(8.8m)の円形、その他は小判型で、長さ47ft(14.3m)、幅13ft(4m)及び15ft5in(4.7m)の2種類である。最大橋脚高29ft(8.8m)、最大潜函高50ft(15m)であった。

橋台、橋脚の設計は朝鮮鉄道局の直営であるが、上部工は米国技師クロホードの設計であると言う。橋脚の設計には洪水時の巨大木材の流下及び流筏の衝突、橋及び橋脚の風圧、流水圧等188t水平力を考慮している。橋脚の応力計算結果は表3-1の通りで、コンクリートの安全抗压強と抗張強は、各15t/ft²(14.7kg/cm²)5t/ft²(4.9kg/cm²)と

鴨綠江橋梁第七橋脚設工圖

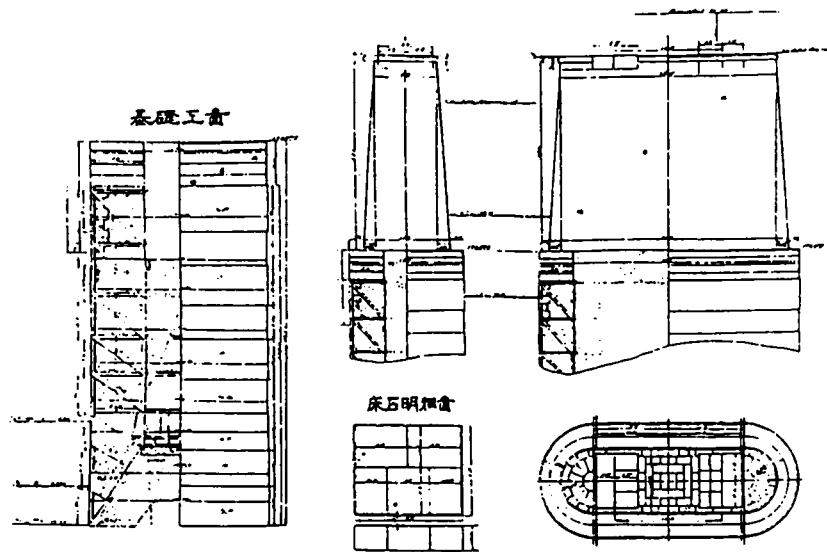
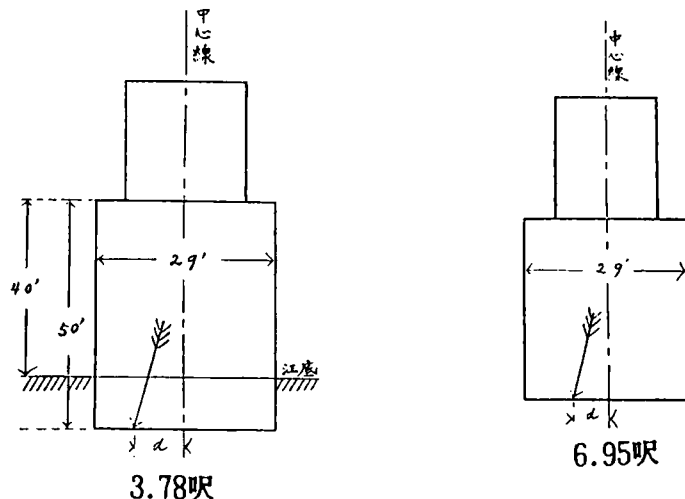


図 3-9 朝鮮鴨綠江鉄道橋、橋脚基礎潜函構造図²²⁾
(無筋コンクリート鋼製潜函切石積橋脚)

表 3-1 朝鮮鴨綠江鉄道橋、下部工設計計算結果図表。²²⁾

下部工安定計算結果			単位 (屯/呎 ²)	
位置	橋脚	時期	三脚式橋脚	開閉式小橋脚
基礎底部	洪水時	+6.43	+0.33	+5.88
	洪水時	+10.12	+0.46	+10.07
	解氷時	+8.51	+1.19	+13.91

洪水時基礎底部安定計算 解氷時基礎底部安定計算



している。²²⁾ コンクリートの抗張力が、抗圧力に比べて可成大きく取っている。

河川は常時でも流勢強く、潮汐の干満の差 15 呎 (4.6m) にも及び、流心や河床変動が激しいので、橋脚基礎の施工は鋼製潜函を吊り構造とした圧気式潜函工法によっているが、これは日本で最初の採用であった。(写真 3-1 参照)

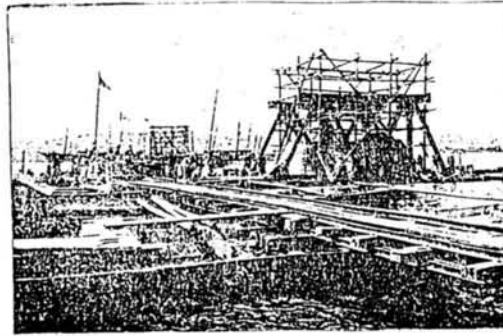


写真3-1 鴨緑江鉄道橋、鋼製潜函の施工状況。²²⁾

4) 港湾構造物 — 港湾構造物での最初のコンクリートの使用は、水中構造物としてのコンクリートブロックによる防波堤や岸壁の築造であった。日本最初の大規模なコンクリート工事であり、種々の問題を生じたがそれ等は後の工事に生かされ、コンクリート技術の発展に有益であった。

a) 横浜築港 — 横浜築港の経緯については、資料²³⁾で簡潔に分かり易く述べられているが、明治21(1888)年内務省は、英国陸軍工兵将校出身のパーマー(H.S. Palmer)に依頼して横浜築港計画を提出させ、それに基づき監督工師に任命して工事を担当させた[パーマーが明治26(1893)年没後は石黒五十二(東京大学理学部土木科明治11年卒)担当]。パーマーの計画は図3-10に示す様に、北と東の水堤(防波堤)を既成のコンクリートブロックを沈設して築造するもので、日本で始めての大規模コンクリート工事であった。(写真3-2参照)

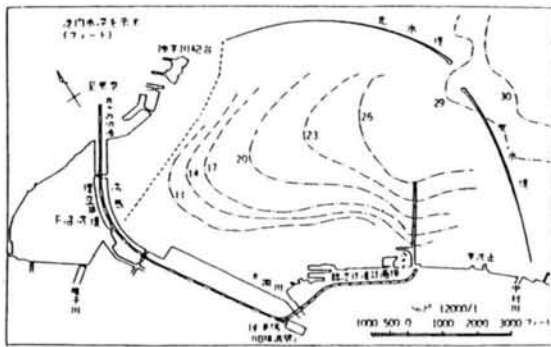


図3-10 パーマーの横浜築港計画図²³⁾ 写真3-2 横浜築港のコンクリート塊製造状況²⁴⁾

明治22(1889)年3月に着工し、明治29(1896)年5月に竣工したが、明治25年(1892)年11月に、コンクリートブロックを海中に沈設する前や後の一万二千箇中1796箇に、重大な亀裂が発見されて大問題となった。²⁴⁾翌年3月から11月まで製造を中止して、セメントの権威者高山甚太郎を始め倉田吉嗣等の技術者や、工科大学教授等5名を調査員に任命して原因調査に当たった。彼等調査員はセメントや骨材の材質からコンクリートの配合、施工方法に至まで、大規模且つ詳細な原因調査や、砂粒空隙検定、透水試験等を行つた。²⁴⁾

施工に当たっては、パーマー自ら「混凝土塊製造仕様書」を書き、職工長に伝授したと言はれる。²⁴⁾コンクリートの配合は容積配合で、セメント5、砂3、砂利10、小割栗

石15、中割栗石3、の割合であり、重量比で砂等100に付きセメントは41.66に相当していた。

混凝土塊の亀裂の状況は、破碎試験の結果図3-11の様に、水平2段又は中間1段の亀裂部分に白色変色が現れていた。これ等は海水の浸透を表すもので、白色物は水化苦土であり、海水中の苦土塩類がセメントを侵食してその石灰分を奪い水化苦土を遊離したものとしている。²⁴⁾

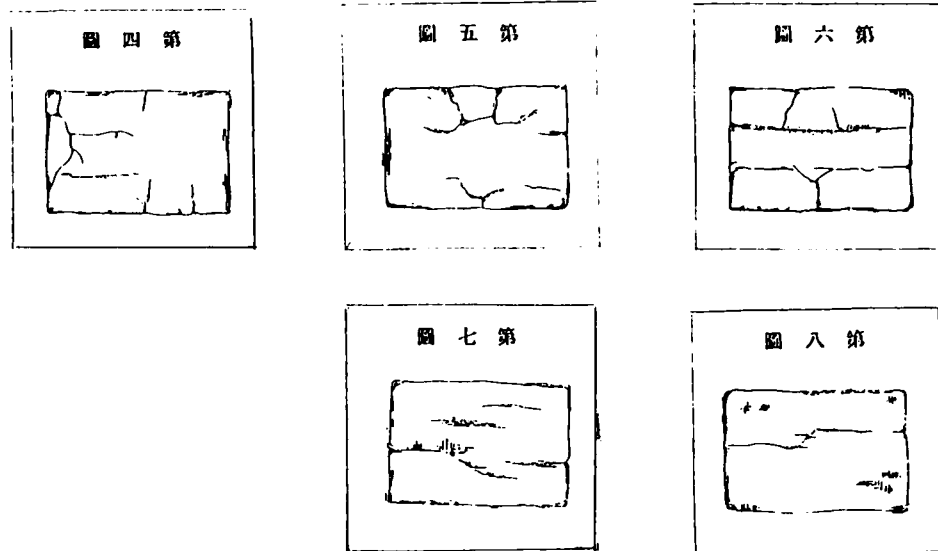


図3-11 横浜築港コンクリート・ブロックの水平亀裂例²⁴⁾

厳密な調査の結果として、イ) セメント 及び骨材は略問題は無い。ロ) 原料の配合において、セメント1に付き砂2以下の割合でなければ、充分水の浸透を防禦し得ない。

セメントの砂に対する分量がやや僅少に過ぎる。対策として外面を善良なモルタルで、充分被覆して海水の侵入を防ぐ。ハ) 原料の搗き固めが不十分で、内部に割栗石の空隙があり、粗造濫製に流れた。ニ) コンクリートブロックは製造後2週間以上静置し、硬化後に移動し、2ヶ月後海中に沈設する規定が守られず、早期移動や沈設が行はれた。²⁴⁾

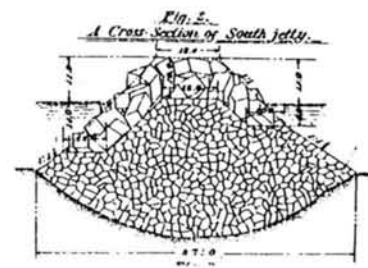
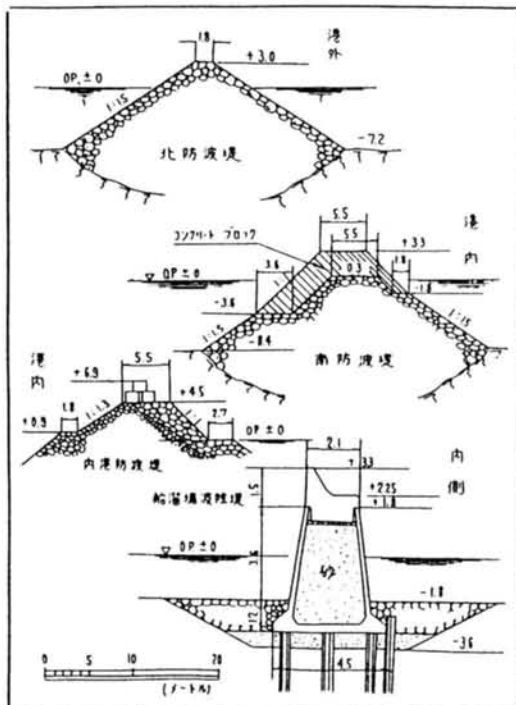
次に明治32(1879)年から38(1905)年まで、横浜港の関税繋船岸壁の海面埋立工事が行われ、鋼製移動式のニューマチック・ケーソン(潜水函)が使用された。

²⁵⁾ この移動式ケーソンは岸壁基礎地盤の掘削と、基礎コンクリートの打設用に使用された。ケーソンの構造寸法は7.2m×10.8mであり、高さは4.1m、重量247 tであった。日本で初めての工法であったが、特殊な工法であり高価であるためか、その後は使用されていないので詳述しない。

b) 大阪築港 — 大阪築港は安治川河口に設けられた南北の防波堤と大棧橋を中心とする港湾建設であり、その中突堤工事は、明治30(1897)年から41(1907)年に至る10年7ヶ月を要した。²⁶⁾ 工事長は沖野忠雄(巴里中央諸芸大学校、明治11年卒)であった。南北突堤の構造は、厚い軟弱地盤上での築堤のため図3-12の様な捨石堤の上に、これを覆う乱積みのコンクリートブロックより形成された。²⁷⁾ コンクリートブロックは長6尺、幅5尺、高4尺で重量約8屯、製造は明治32(1899)年11月から37(1904)年5月まで、総数54355箇が作製された。²⁸⁾ (図3-13)



図3-12 大阪築港平面図²⁶⁾



大阪港南防波堤構造図²⁶⁾

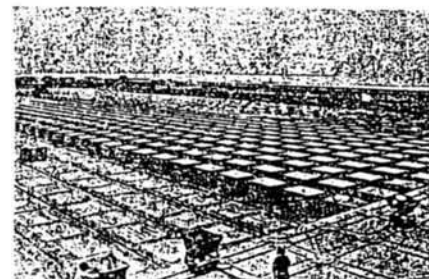


図3-13 大阪築港防波堤構造図²⁶⁾ 写真3-3 大阪築港のコンクリート塊製造状況²⁷⁾

木津川河口に大規模なコンクリートブロック製作ヤードを設置し、混凝土製造台を設け、2基の攪拌器 (Mortar Mills) と10基の混和機 (Concrete Mixers) を設置して、1日40箇の製造を計画していた。このためセメント及び骨材搬入の軽便鉄道や、ブロック積出しの機械や、棧橋等大規模な工事施設が設けられた。(図3-14参照)²⁷⁾。

コンクリートブロックの配合は、膠泥 (モルタル) は、セメント25封度 (11.34kg) に付き砂1立方尺とし、混凝土は膠泥2 (容積) に付き、砂利3 (容積) としている。

ブロック製造中明治33 (1900) 年10月に、コンクリート面に白色の滲出物のあるものや、上下に分層を呈するものが発見され、大問題になった。これ等の製法は混和機1回の練量を一層として層毎の厚さ8寸 (24cm) 毎に30分搗固めているが、打継目で特殊の処置をしないものを第1種とた。次層投入前に一旦既成層の表面を「くまで」で掻起こして後、投入したものを第2種とた。更に、各層の搗固め時間を18分とし、打継

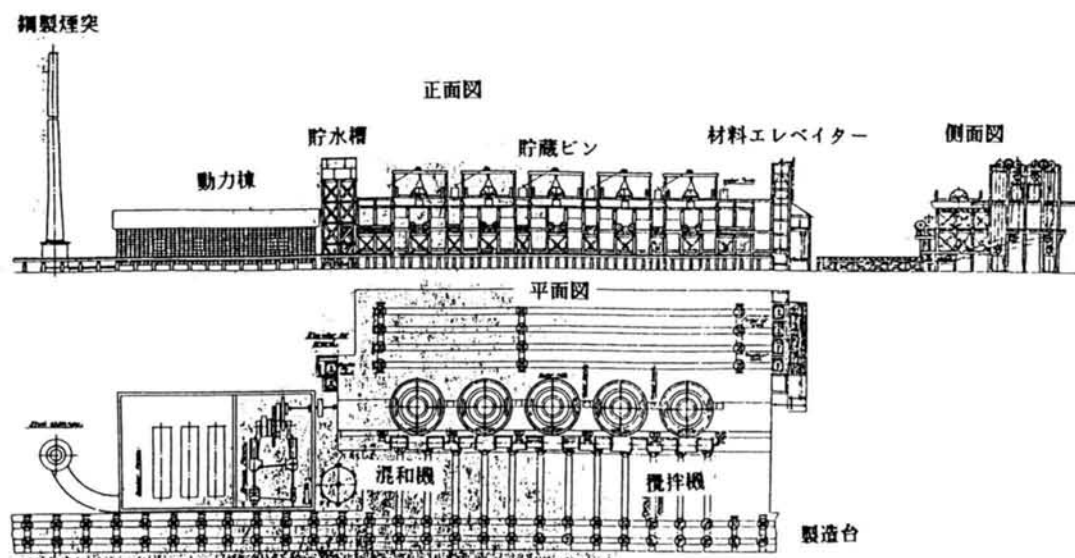


図3-14 大阪築港のコンクリート・ブロック製造施設図²⁷⁾ コンクリート・プラント

目の掻起こしを行い、空時間を設けずに投入したものを第3種として打設方法の変更を試行している。明治37(1904)年12月末の調査で、1種2種に属するもの5995箇のうち、白色線縁又は分裂層のあるものは、889箇の約15%、第3種に属するもの43954箇中、異常のあるもの僅か61箇と少なく、施工は第3種により続けられた。

築港事務所では、農商務省工業試験所長、高山甚太郎に調査を依頼した結果(イ)原料については亀裂の原因となるものはない。(ロ)塊亀裂の原因はモルタルに注加する水の過量により、搗固めの操作が充分でなく、モルタルは特に疎鬆となって海水の浸食作用に抗耐し得ない事に基因したものである。(ハ)モルタル配合割合では、海水の浸食作用に対しては、セメントの分量がやや不足し、不慮の災害を起こす恐れありとなった。²⁷⁾

c) 長崎築港 — 長崎港湾第二期改良工事は、明治30(1897)年着工し、37(1904)年竣工したが、港湾の浚渫及び護岸と埋め立てによる新市街地の形成であり、主任工師は南部常次郎(帝大土木科、明治20年卒)であった。²⁸⁾ (図3-15参照)

この工事の護岸の標準断面は図3-15に示す通り、護岸の一部でコンクリートブロックを使用している。これ等2475箇のブロックの製造には、フランスのドラフワルシュ商

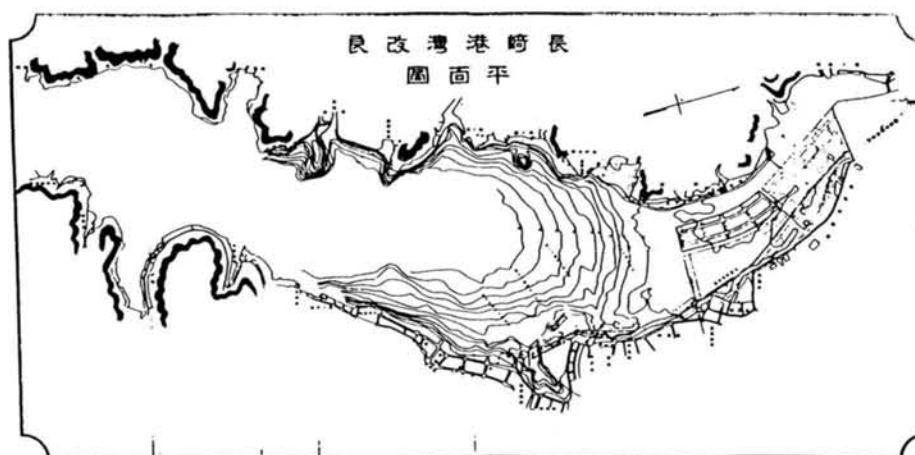


図-15-1 長崎港湾改良工事平面図(明治36年11月作成)²⁸⁾

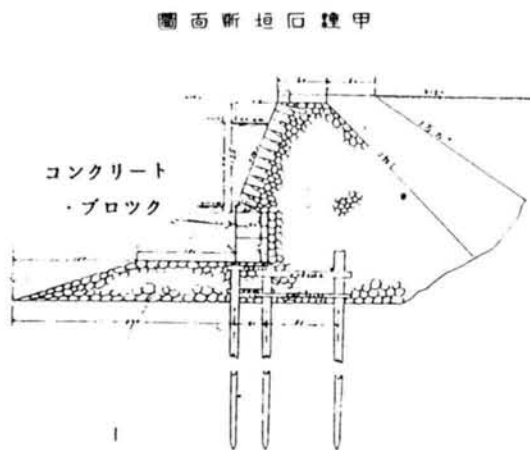


図3-15-2 第二期長崎港湾改良工事、

甲種護岸標準断面図²⁸⁾



図3-15-3 長崎港湾平面図（長崎港中心部分図）²⁸⁾

「長崎県郷土誌」（長崎市小学校職員会著、大正7年）

会の特許専売セメント「ショー・ジュウテイル」（略称ショー）を使用し、カレー・エントマダム式凝土塊製造器1台をフランスから輸入して製造している。²⁸⁾

工師沖一誠（帝大土木科、明治21年卒）の工事説明資料によると、²⁹⁾「コノ製造器ハ蒸気力ニテ運転スルモノニシテ、ソノ運転ヲ開始スレバ機械装置ニヨリ回転スル円筒内ノ両側ノバケットヨリ砂及ビ砂利ヲスクイテ、上部ヨリ「ショー・ジュウテイル」ヲ落トシ、ポンプニヨリ円筒内ニ注水サレタル水ト混合攪拌セシメタル上、コレヲ木製ノ枠ニ移シタル長5尺、高3尺、幅4尺、重4tのブロックヲ製造スルモノニシテ、原料タル砂215立坪、割砂利650立坪、「ショー・ジュウテイル」774英屯ヲ用ヒ、ブロック2475箇ヲ製造スル予定ナリ。」（句読点筆者記入）と述べている。

このコンクリートブロックの製造を星野一太郎（東京帝大土木科、明治30年卒）課長の下で担当したのが、原田碧（攻玉社土木科、明治26年卒）であり、その下に坂田時和（第三高等学校土木科、明治31年卒）がいた。原田碧等はフランスのコンクリート技術を直接導入して良く学び、明治38（1905）年以後長崎の鉄筋コンクリート橋の新地橋や、佐世保橋、梅香崎橋の設計及び監督を相次いで担当した。²⁸⁾

長崎港湾改良工事では、海中コンクリート・ブロックのセメントはフランス製の耐海水用セメントを輸入し、コンクリート塊の大きさも施工性を考慮して当初より小さい寸法に変更している。これは横浜港や大阪港での事故の影響を受けたものと見られる。こうしたフランスのコンクリート技術を直接導入した事により、そのコンクリートの配合理論や鉄筋コンクリート技術も学んだ様であり、我国の土木技術に取っても有意義であった。

d) 小樽築港 小樽築港は広井勇（札幌農学校、明治14年卒）の設計及び監督によるもので、湾口に延長七百八間（約1290m）の防波堤の捨石堆の上に、約14～23tのコンクリートブロック5380箇を積疊するものである。明治28（1895）年水深8mの位置で試験工事を行い、明治30（1897）年5月本工事を起工し、同41（1908）年4月竣工した。（図3-16参照）³⁰⁾

コンクリートブロックの配合はセメント1に付き、火山灰0.8、砂3.2、砂利及び碎石6.4の割合で、火山灰を用いて工費を節約し、且耐海水性を増進しており、積疊ブ

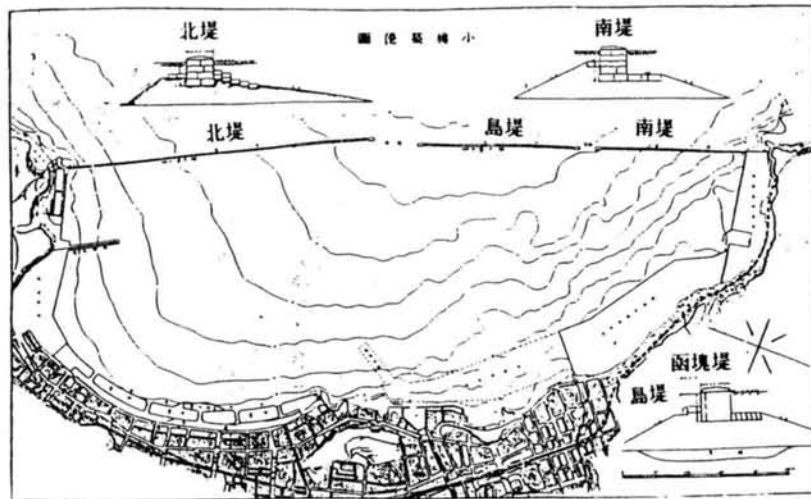


図3-16 小樽築港平面図³¹⁾

ロックを水平に対し71度34分傾斜させた事と共に、日本で最初の試みであった。³⁰⁾

また、混凝土混合機及びセメント混和機（モルタル混合用）も英国より輸入し、圧搾空気式の混凝土搗固機を考案し、製作させて使用している。大規模な混凝土塊積疊機を英国で製作して、混凝土塊の積疊に使用している。³¹⁾ コンクリートブロックが大型であり、それに対応した大型の施工機械を採用して工事を成功させている。（写真3-4参照）

更に、コンクリートへの火山灰の混入は高価なセメントの使用量を減じ、且つ火山灰の可溶性珪酸がセメントの遊離石灰と化合し固結して、耐海水性を向上させるために必要な事とされて、これ以後広く普及する様になった。

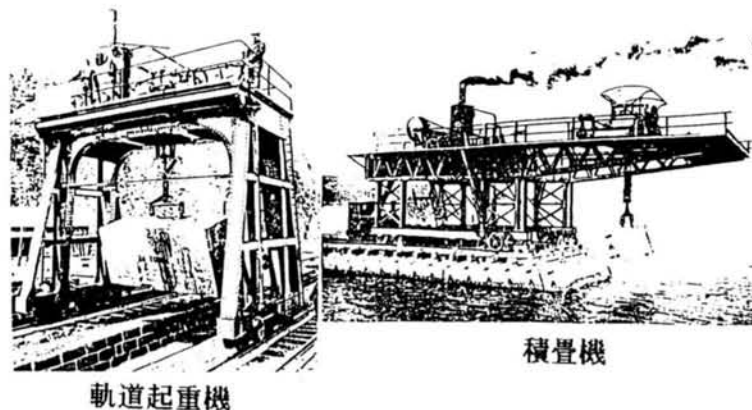


写真3-4 小樽築港の混凝土塊積疊機異及び機重機。³¹⁾

5) 船渠構造物 — a) 海軍船渠 — 江戸末期より明治5（1872）年までに仏人ヴェルニー（Verny）の指導で横須賀に2つの船渠が完成したが、コンクリートを底面に使用した石造構造であった。これ等の船渠も海軍に移管されてその後大規模な改造が行われ、呉及び佐世保の鎮守府でもヴェルニーの弟子恒川柳作の担当で船渠の建設が行われたが、基本構造は変わらなかった。明治28（1895）年8月佐世保鎮守府で竣工した石造船渠から大量の漏水があり、当時の権威者、古市公威、高山甚太郎等が調査員として調査した所、ドックの底面に打設したコンクリートに、施工方法その他の原因により海水のためセメントの分解をきたしたものと結論された。これが海水接触用セメント製造の端著となり

、耐海水用セメントの研究開発が行われた。³²⁾

この船渠の改築は恒川柳作に代わって真島健三郎（札幌農学校、明治29年卒）が土木主任として担当し、小野田セメントの開発により日本で最初に、コンクリート中に火山灰を混入して耐海水性を増して明治34（1901）年に完了した。³³⁾

更に明治35（1902）年5月には水雷艇船渠の建造にも成功した。この船渠では従来の石造船渠ではやらなかった、コンクリートが直接海水に接する構造としているが、短期試験により確認してセメント容量の四分の一の五島産火山灰をセメントに混入して使用している。明治41（1908）年にはこのコンクリート部分を露出させて、6年後のコンクリートが完全である事を確認している。³²⁾ この後の海工工事では、特に細粒火山灰をセメントに混入する様になった。

長崎市の明治21（1888）年築造の出島新橋（新川口橋）の「工事契約書」に添付された仕様書によると、³⁴⁾ 橋台石積の目地材のモルタル調合法として、火山灰1、石灰4、砂5の割合を指定しており、感潮部の石造構造物の目地材に火山灰を使用するのが、長崎の技術であった。小野田セメントもこうした長崎の技術に注目したと見られる。

b) 長崎造船所－明治政府は明治維新の際に「長崎製鉄所」の立神船渠等を徳川幕府から引継いだ。明治4年「長崎造船所」と改称して工部省所管とし、明治10（1877）年の西南戦争では艦船の修理等で活躍した。明治17（1884）年に三菱社に貸与され、3年後には全体を払下げられた。明治28（1895）年には立神の第一船渠が拡張され、飽ノ浦の第二船渠が建設された。³⁵⁾ これ等の船渠の構造は石造であり、横須賀船渠の築造技術の導入に依ったものと考えられる。次いで明治35（1902）年10月より第三船渠の建造が始まり、明治23（1890）年帝国大学を辞職し実業界に入った白石直治（東京大理土木科、明治14年卒）が、この船渠の設計及び監督に当たっている。明治37（1904）年3月に完成したが、東洋一の大乾船渠として翌年米国工学会誌に工事報告を発表している。この船渠は全長722呎、船渠体底幅88呎（26m）、最大深さ42呎（12.8m）、安山岩の岩盤を掘削して築造されたが、側壁コンクリートの厚さは船渠の三分の一で8呎、残り三分の二は4呎、であった。船渠の縁辺に当たる所の底厚は、深い溝を切り込んで厚さは14呎に達したが、他の部分は2呎の厚さであった。切石は表装や笠石、階段に使用され、石造に見えるが、無筋コンクリート造りであった。³⁶⁾

コンクリートは重要な部分は、ポルトランド・セメント1、砂2、砂利4の割合であったが、大部分はセメント1、五島産ボゾラン（火山灰）1、砂4、砂利8の割合のコンクリートであった。³⁴⁾ なお、明治35年頃より立神海岸の埋立てにより、第1～第8船渠の築造が始まり、明治末には全てコンクリートベースに改築された。³⁵⁾

c) 神戸川崎造船所－神戸市の川崎重工業の第1船渠は、国の登録文化財に指定されているが、明治29（1896）年11月に着工し、同35（1902）年11月に竣工した。石造船渠ではあるが旧湊川河口近くで、軟弱地盤の地に建設されたため、基礎には一万本からの松杭が打ち込まれ、厚さ2.7mの基礎コンクリートが打設されている。³⁷⁾

6) 水道構造物－上下水道の整備は近代都市にとって、コレラ等の伝染病の予防や、消火上、及び出入りの船舶の給水に不可欠であり、明治政府は近代化の過程で他の社会基本施設に優先して早くから整備をはじめている。特に開港場である横浜、函館、長崎、大阪

及び神戸は、最も早く上水道の建設に取り組み、更にそれ等施設の改良に努力している。

a) 横浜上水道 - 日本最初の上水道である横浜上水道は、英国工兵将校出身のパーマー (H.S.Palmer) により設計され、明治20 (1887) 年9月に竣工している。水源を相模川上流の津久井とし、給水人口10万人とし、野毛山に浄水場を設けているが、沈砂池、濾過池は基礎をコンクリート、側面石張の構造であった。人口増加に応じて実施された第1回拡張工事も、明治34 (1901) 年竣工したが、構造は同じであった。³⁸⁾

b) 東京上水道 - 東京市の上水道は、江戸期に建設された玉川上水を改良利用し、給水人口150万人として、明治25 (1892) 年12月着工し、同31年4月に第一期工事が竣工し、同32年1月から給水を開始した。浄水池を淀橋に設けて、低地には自然流下により、高地にはポンプにより直送している。淀橋浄水場の沈殿池は3ヶとし、底面は粘土混凝土の上にセメント混凝土とし、側壁には粘土混凝土の上に石張りを行っている。濾過池は18面で、底 敷の構造は沈殿池と同じで、周壁は煉瓦造りであった。³⁹⁾

c) 神戸市上水道 - 神戸市上水道は明治25 (1892) 年に内務省雇工師バルトンに設計を依頼して、給水人口15万人の計画で上水道計画を作成したが、日清戦争の影響で延期となり、明治30 (1897) 年5月に起工し、3年で竣工して同33 (1900) 年4月より給水を開始した。しかし、人口増加が急激で直ちに拡張計画を始め、給水人口を25万人として同32年より拡張工事に着手し、同38 (1905) 年5月に全体が完了した。³⁹⁾

水源としては、生田川の布引谷と、湊川上流烏原谷に粗石コンクリート堰堤を建設して二つの貯水池を築造するものであった。布引貯水池の五本松堰堤は、高さ元河床より105尺 (31.8m) であり、表面は自然石の畳石張であった。(写真3-5参照) 奥平野浄水場は配水池1箇と、濾過池8箇があり混凝土造り、配水池3箇は煉瓦と混凝土の混合構造であった。北野浄水場には粗石コンクリートの沈殿池1箇と、緩速濾過池3箇及び配水池1箇が設けられ、構造は奥平野浄水場と同様であった。⁴⁰⁾ (図3-17参照)



写真3-5 神戸市五本松堰堤現況。(平成11年筆者撮影)

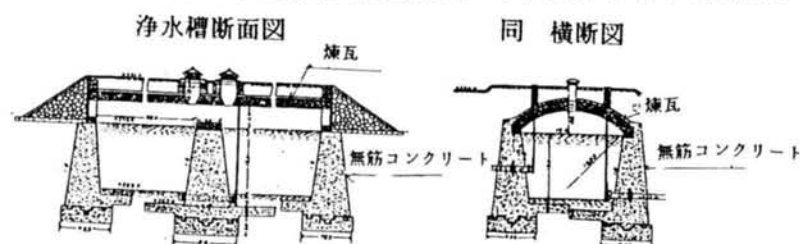
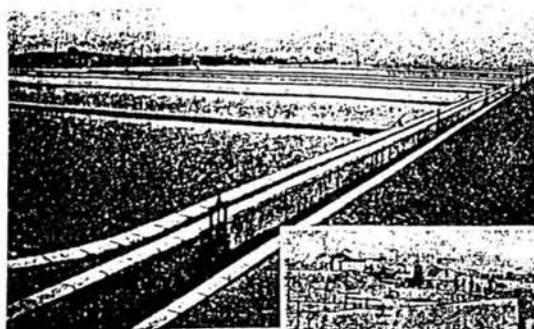


図3-17 神戸市北野浄水場濾過池構造図⁴⁰⁾

c) 大阪市上水道—大阪市は水に恵まれていたが、悪疫が流行を極め、市会の決議により上水道の建設に踏切り、明治23(1890)年野尻武助を工事長として設計を開始し、同25(1892)年8月に着工し、同28年10月に第1期工事が竣工した。水源を淀川左岸、桜の宮とし、ここに沈殿地4箇、濾過地8箇量水池等を設け、ポンプにより大阪城内の貯水池に送水し、市内に給水した。⁴¹⁾しかし、人口増大に伴い新たに柴島に水源池を設けるため、明治41(1908)年1月起工し、大正3年(1914)年3月に完成した。除砂池2個、コンクリート造り、沈殿池7箇、濾過池14箇、浄水池4箇はいずれも深さ3mの無筋コンクリート造であるが、表3-2に見る通り一部は鉄筋を入れて補強している。⁴²⁾無筋から鉄筋コンクリート構造への過渡期であり、鉄筋の構造が試験的に使用されているが、どの程度の計算して使用しているか疑問である。(写真3-6)



沈殿池



緩速濾過池築造工事



緩速濾過池

表3-2 大阪市上水道柴島浄水場、構造一覧表。

42)

区分	設備名	形状等	容積等	数量
取水設備	取水堰	レンガ石造(横四形)	長さ6.8m×幅4.5m×高さ15.2m	2基
	除砂池	コンクリート造	長さ45.5m×幅10.8m×深さ3m	2池
	取水ポンプ	三相交流誘導式電動機直結離心型ポンプ	8.5m×1,800m ³ /時×100馬力	6台
	取水ポンプ場	鉄筋コンクリート造	面積130坪 平床建	1棟
浄水設備	沈殿池	無筋コンクリート造(一部鉄筋挿入)	長さ101.8m×幅7.8m×深さ2.7m 有効容積(全池)133,000m ³	7池
	濾過池	無筋コンクリート造(一部鉄筋挿入)	長さ72.7m×幅72.7m×深さ2.9m×面積5,210m ² ろ過速度2.42m/日	14池
	浄水池	無筋コンクリート造(一部鉄筋挿入)アーチ型	長さ83.6m×幅70.9m×深さ3m 有効容積(全池)71,200m ³	4池
	送水ポンプ	ワシントン型ポンプ	45.8m×1,700m ³ /時×400馬力	9台
配水設備	送水ポンプ場	レンガ造	面積994.5坪 平床建	1棟
	発電所	レンガ造	面積121坪 平床建	1棟
	発電設備	三重電機直立式原動機直結三相交流誘導式発電機	180kW	3台
	汽機		原動機4組・送給機4台・排汽口5基	16台
	汽機場	レンガ造	面積521.7坪 平床建	1棟

写真3-6 大阪市上水道、沈殿池及び濾過池(柴島)。⁴²⁾

d) 東京市下水道—明治16(1883)年4月内務卿山田顕義からの「水道溝渠改良ノ儀」の示達を受けて、東京府は蘭人工師デレイケ(J. Drijke)や、内務技師石黒五十二の協力を得て、神田地区の近代的水道(神田下水)の計画を雨水と汚水の合流式で行い、同年11月認可を得て工事に着手した。工事は東京府土木課道路掛の担当で、第1期工事として本管延613mが敷設された。本管の形は図3-18に示す卵形渠の煉瓦造りで、外巻15cmのコンクリート現場打ちであったが、分管は円形陶管であった。第2期は同18年の同程度の延長であり、国庫補助が僅か2年で打ち切られ、工事の推進者であった長与専斎(衛生学者)は、その著「松香私志」で「されど此の挙は世に下水の効能を紹介するの目的を達し能はず、ほとんど一場の兎戯に過ぎざりけり。」と述懐している。⁴³⁾

1) (図3-18参照)

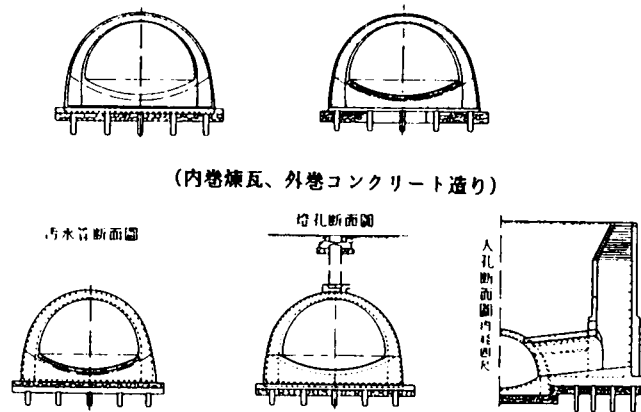
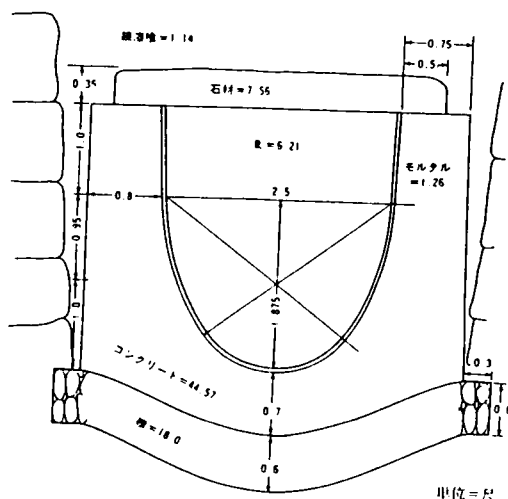


図3-18 東京市下水道、幹線汚水管断面図一例⁴³⁾

e) 大阪市下水道 — 明治25(1892)年大阪市は上水道に続いて、伝染病対策として中央部下水道改良事業を計画し、市会の議決を得て同27年12月に着工し、同32年に完成させたが、更に新市域拡張により追加工事を行い、全体を34年に完成した。⁴⁴⁾

古い石造の背割下水を改良して、不透水性の暗渠構造にして排水し、生活環境の改善を図る事を目的にしていた。そのため下水溝の内部を図3-19の様にコンクリートで改造し、表面をモルタルを上塗りして下水頂部は自然石の板石で蓋をした。1尺以下の狭い下水溝には土管を敷設している。暗渠の途中の要所には、管内点検及び清掃用の掃除口及び灯火孔がもうけられた。流下は自然排水が一般であり、低地の一部のみがポンプ場を設けて河川に排水された。(写真3-7参照)⁴⁵⁾



中央部下水道改良工事U字型溝断面図

図3-19 大阪下水道改良工事断面図一例⁴⁴⁾

表3-3 大阪市下水道のコンクリート配合表
(明治27~32年)。⁴⁴⁾

粘土使用の場合の配合(変更前)			粘土を除いた場合の配合(変更後)	
セ	メ	ン	ト	1
石		灰		1.7
	砂			5
砂		利		12.7
				18

工事に使用したコンクリートの配合は表3-3の通りであり、背面粘土は頭初浸透水が溝渠中に侵入するのを防ぐため設計したが、着工後の調査の結果不要として変更したものである。工事の途中の明治28(1895)年6月13日から3日間連続して大雨が降り、このため仕上げたばかりのモルタルに各所で亀裂が生じ、これが市会で工事の不備として大問題となった。8月にたまたま上水道工事の視察に来阪した、水道の権威者バルトン



改良後の背割下水道



南区内に現存する煉瓦積の下水道

写真 3-7 大阪市下水道暗渠（U字型及び煉瓦積部分）⁴⁴⁾

教授（当時帝大土木科教授）に鑑定を依頼した。現地視察の結果バルトン教授は、コンクリートは衛生上充分効果的であり、粘土を除いても安全であり、むしろ粘土の使用は掘削が増え却って危険であると鑑定した。⁴⁵⁾

7) 河川及び水路構造物

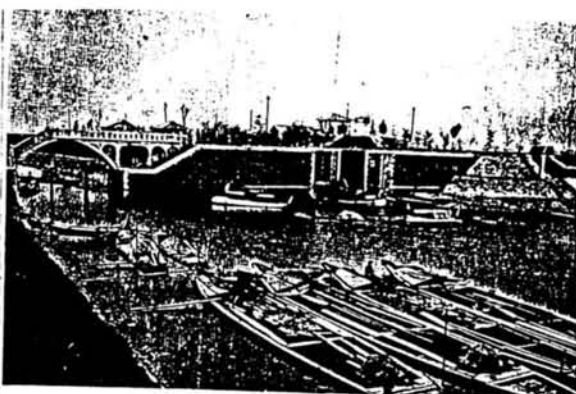
a) 琵琶湖疏水の水路トンネル 琵琶湖疏水工事は田辺朔郎の設計及び監督で、明治18（1885）年6月に着工し、明治23（1890）年4月に通水式を行っている。⁴⁶⁾

最長の長等山トンネルは2.44kmもの延長であり、当時日本最長の北陸本線柳ヶ瀬トンネルの1.3kmを大きく越えるものであった。開水路は背面粘土固めの空石積であるが、水路トンネルの煉瓦巻の背面空間には、英国より輸入された高価なセメントによるコンクリートが充填され、必要な所にはコンクリートのインパートが打設されている。⁴⁶⁾

b) 毛馬閘門及び洗堰 淀川の河川改修の一環として、毛馬において旧淀川から新淀川の本流を分派する所に、通船用の閘門及び水位調節のための洗堰が設けられた。閘門工事は



毛馬洗堰



毛馬閘門と眼鏡橋

写真 3-8 淀川毛馬閘門及び洗堰。⁴⁸⁾

明治35（1902）年12月に起工し、同40（1907）年8月に完工した。⁴⁷⁾

地質が細砂と下層は堆積層であり耐荷力が不足するため、基礎構造として煉瓦積の角形井筒を並列して沈下し、井筒中詰め及びその間の間底にも水中コンクリートを充填して耐荷力の増大及び締切りの効果を計っている。本体は閘門、洗堰共に煉瓦積であるが、隅角部やその他要所には石材を用いて耐震補強している。（写真3-8参照）

コンクリートの配合割合はコンクリート1立坪（6.01㎡）対して、モルタルが0.5〔砂3㎡、セメント2700～3240ポンド（1225kg～1570kg）〕礫0.873（5.25㎡）であり、モルタルの混合には特殊の混合機を使用している。⁴⁷⁾

洗堰は明治37（1904）年12月に起工し、井筒は長方形煉瓦造りで、沈下後に中詰めコンクリートを施工し、引続いて本体の煉瓦構造を施工して明治43（1910）年1月に竣工した。⁴⁷⁾

この他旧伝法川と安治川との連絡のために設けた六軒屋川頭部の六軒屋閘門でも、前後の両扉室はコンクリート造りとしており、明治41（1908）年10月の着工し、同43（1910）年の完工であった。⁴⁸⁾（写真3-9参照）

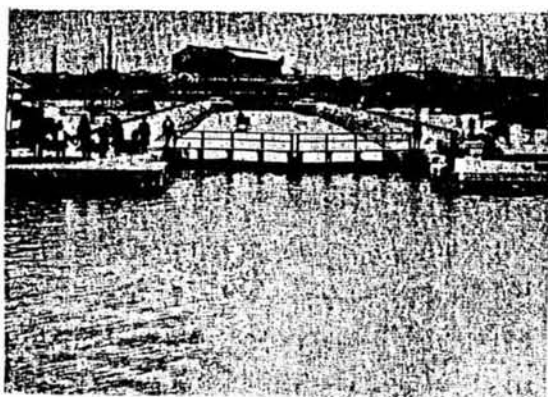


写真3-9 六軒屋川の六軒屋閘門。⁴⁸⁾

c) 長良川水力発電所及び木曽川水力発電所水路

明治25（1892）年の京都蹴上水力発電所の成功に刺戟されて、日本各地で水力発電事業が盛んになったが、大部分は1000KW以下の小規模な出力で水路式発電であり、石積又は煉瓦造りの小規模な水路を設けていた。岐阜県美濃市の長良川発電所は、名古屋電燈株式会社が自力により建設した最初の水力発電所であり、明治43（1910）年3月に完成した。当時としては大規模な出力4200KWであり、延長約4kmの水路は全て無筋コンクリートを使用している。（写真3-10参照）⁴⁹⁾

木曽川発電所（当初八百津発電所）は同じく名古屋電燈により明治45（1912）年1月に出力7500KWで送電開始したが、京都帝大藤高彦教授の指導で、延長約9.7kmの水路（トンネル内を除く）及び制水門は全て無筋コンクリート構造を採用している。（写真3-11参照）⁴⁹⁾ 山中の構造物であり美観の必要はないが、工費節約の意味もあって全面的に煉瓦等の表装のない無筋コンクリート構造が採用された近代的な構造物であった。（写真3-11参照）



写真3-10 名古屋電灯株式会社、
長良川水電コンクリート水路施工状況。⁴⁹⁾

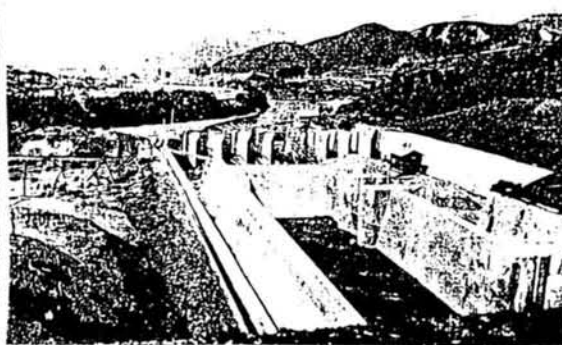


写真3-11 名古屋電灯株式会社、
木曽川水電調整池及び制水門施工状況。⁴⁹⁾

8) 橋梁下部構造

a) 東京の橋梁下部構造 - 東京の明治時代の主要橋梁として、表3-4の資料があるが、それ等の中の代表的な橋の下部構造について述べる。

表3-4 東京市の主要橋梁一覧表(明治期) ⁵¹⁾

橋名	位置	河川名	種別	架設年月
神田橋	神田区美土代町——麹町区大手町	外堀		明治17.8
万世橋	神田区小柳町——同区花房町	神田川	鉄	26.3
御茶ノ水橋	神田区駿河台西紅梅町——本郷区湯島三丁目	"	"(鉄)	24.10
日本橋	日本橋区通一丁目——同区室町一丁目	日本橋川	石造拱	44.3
江戸橋	日本橋区本船町——同区四日市河岸	"	鉄造石	34.10
京橋	京橋区銀座三丁目——同区南伝馬町一丁目	京橋川	"	34.12
永代橋	京橋区大川端町——深川区相川町	荒川(隅田川)	鉄	30.11
弁慶橋	赤坂区表町一丁目——麹町区紀尾井町	内堀	木	44.3
麩(うまや)橋	浅草区黒船町——本所区外手町	荒川(隅田川)	鉄	26.4
吾妻橋	浅草区花川戸町——本所区中ノ郷竹町	"	"	20.12
両国橋	本所区元町——日本橋区米沢町一丁目	"	"	37.11
新大橋	深川区安宅町——日本橋区浜町二丁目	"	"	45.7

このほか品海橋(目黒川)・六郷橋・高橋・万年橋・万世橋(多摩川)・大橋(荒川)・逆井橋・平井橋・中川小橋・中川橋(中川)・江戸川橋・葛飾橋・下江戸川橋(江戸川)・代田橋・菅瀬橋・多西橋(平井川)・秋留橋・秋川橋(秋川)・高都橋(成木川)・西川橋(北秋川)・浅川橋・大和田橋・水無瀬橋・高幡橋(浅川)などが郡部で架設されたが、大部分は木橋であった。

『東京府史』行政部第4巻(昭和11年)による。

明治20(1887)年12月に浅草区の隅田川に架設された吾妻橋は、橋長148.8m全幅11.3mの錬鉄製直弦フラットラスであった。(写真3-12参照) 写真を見ると橋脚躯体は煉瓦造りの門形アーチ型をしているが、基礎構造は外径4.3m、肉厚76.2cmの煉瓦井筒で、中詰コンクリートを施工している。橋台は煉瓦造りであった。⁵⁰⁾

明治24(1891)年10月完成の神田区駿河台より本郷区湯島に架かるお茶の水橋は、橋長69.8m、幅員は中央車道と両歩道を併せて11.3mと言う。中央径間45.7mのフラット・ラス橋、側径間11mの鉄板桁であり、設計等分布活荷重は439kg/m²であった。橋台及び橋脚の構造は共にコンクリート基礎の上に煉瓦積であり、一部表装に石材積が使用されている。(写真3-13参照)

明治30(1897)年11月に竣工した永代橋は、橋長182.2m、車道幅6.9m、歩道幅2×2.5mの3径間フラット・ラス橋で、日本人設計の最初の鋼橋であり、倉田吉嗣の設計であった。(写真3-14参照) 橋台は松丸太長4間、末口7寸の基礎杭で

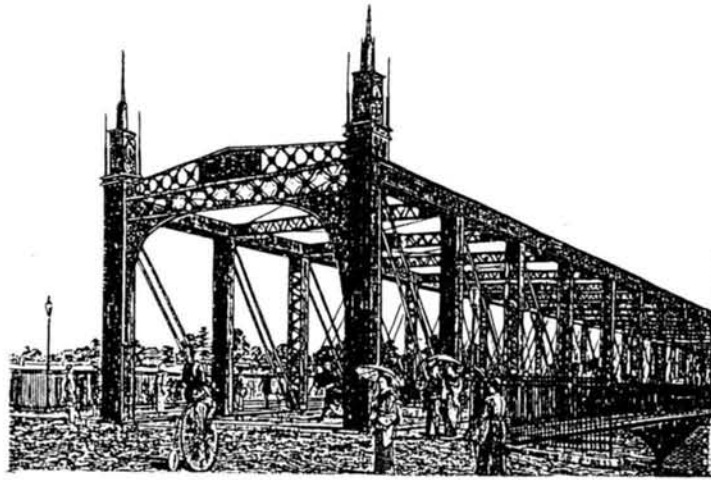


写真 3-12 明治20年架設の東京、吾妻橋（銅板画）⁵¹⁾

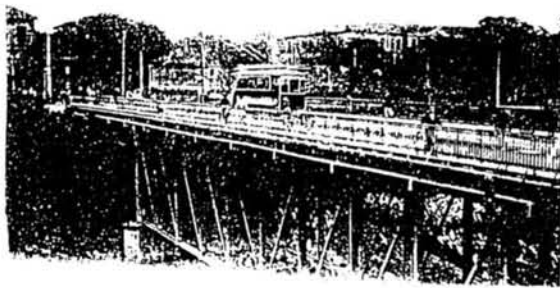


写真 3-13 東京、お茶の水橋、
（明治24年竣工）⁵²⁾



写真 3-14 東京、永代橋
（明治30年竣工）⁵²⁾

、躯体は結成石積の上に煉瓦積であり、高さは根石上26尺5寸(8.03m)であった。橋脚は2本柱から成り、煉瓦井筒の外径14尺(4.2m)内径9尺(2.7m)の円筒形で、その中心距離25尺(7.6m)であった。躯体表装は煉瓦積、内部は結成石積であり、2本柱間は耐震性を考慮して鉄材によりプルイングされていた。従来の2本柱を結ぶ煉瓦アーチ構造は、地震時アーチ部に亀裂を生じるためと言われる。⁵²⁾

日本橋区の同名の川に架かる日本橋は、日本を代表する橋の一つの2径間石造アーチ橋であるが、米元晋一の設計及び監督で明治39(1906)年着工し、明治44(1911)年竣工した。(写真3-15参照)橋長49.1m、幅員27.3mである。橋台基礎は南側では西半が5~7.3mの木杭を打込、東半と北側は割栗石の上に1.5mの

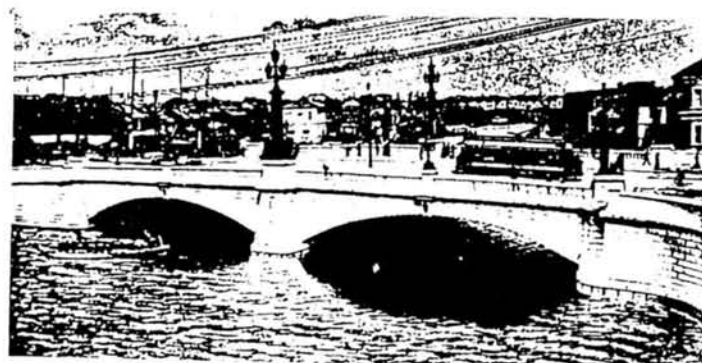


写真 3-15 東京、日本橋（明治44年竣工）⁵¹⁾

コンクリートを打設している。橋脚基礎は30.3cmのコンクリート基礎の上に、30.3cm角の生松材を縦横に3層に並べて、その上に1.5mのコンクリートを打設している。躯体は花崗岩切石積であるが、橋側裏込めにはコンクリートを打設している。⁵³⁾

明治45(1912)年7月に竣工した新大橋は、橋長173.4m(52.6+63+52.6)、幅員10.7+2×2.6mの電車線併用の3径間下路単純曲弦及び直弦プラット・トラスであるが、床版にはバックルプレートのコンクリート床版が使用されている。橋脚基礎は煉瓦井筒2本より成り、躯体も煉瓦造り2本柱でその間は鋼材ブレースで結合されていたが、大正12(1923)年9月の関東大震災で鋼材が彎曲したので、コンクリートを巻いて補修している。橋台は右岸が煉瓦井筒基礎、左岸が木杭基礎であった。⁵³⁾ 上部構のトラスの一部分が愛知県の明治村に移設されている。(写真3-16)

明治時代には東京の大きな鉄橋では基礎等の一部分に、コンクリートが補助的に使用されていただけで下部工本体には使用されていない様である。ただし、東京上池袋に明治36(1903)年に堀之内橋が、鉄道院山手線の鉄筋コンクリート跨線橋として竣工しているが、下部工はコンクリート構造であり、小橋では橋台、橋脚にコンクリート構造が採用されていたと見られる。

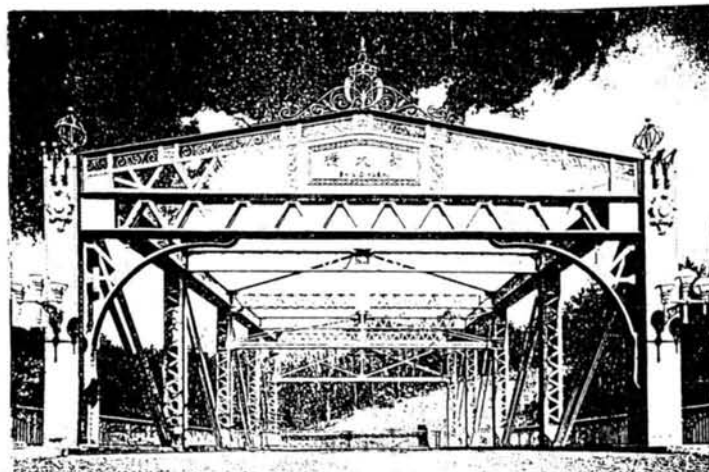


写真3-16 愛知県の明治村に移設された新大橋(明治45年竣工)の一部⁵²⁾

b) 横浜の橋梁下部工 - 明治17(1884)年に横浜市中区吉田町の大岡川に架けられた都橋は、鑄鉄製ボーストリング・トラス橋で、橋長22.2m、であったが、写真3-17の様に布石積であり、関東大震災で被災して1928年架替えられた。⁵⁴⁾

横浜市の大江橋は明治35(1903)年に架替えられたプラットトラス鉄橋で、橋長51.8m、全幅14.2mであった。大正10(1921)年に3径間の鋼アーチ橋に架替えられて、上部工のトラスは近くの山下橋に転用されている。⁵⁶⁾ 山下橋は大正11(1922)年に完成したが、橋台は煉瓦で表装した無筋コンクリート構造であり、関東大震災では写真3-18の様に被災した。⁵⁵⁾

横浜市でも橋梁下部工は明治大正の頃は、煉瓦、石造構造が普通であり、一部小橋に無筋コンクリート構造が採用されたが、関東大震災後に鉄筋コンクリート構造が導入されている。

c) 大阪市の橋梁下部工 - 大阪市は明治18(1885)年の大洪水で流失した30橋のうち5橋の上部工を鉄橋とし、14橋は木造鉄柱橋に掛替えて、洪水に備えて鉄柱橋化を

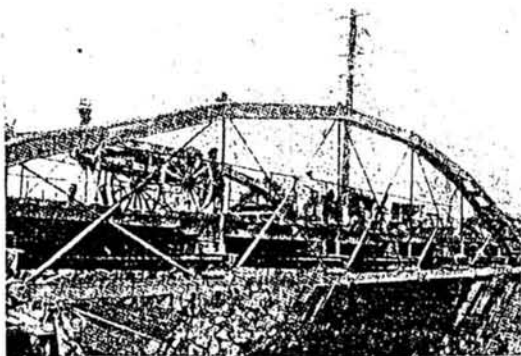


写真3-17 横浜市の大岡川に架かる都橋の震災被害（大正12年）⁵⁵⁾

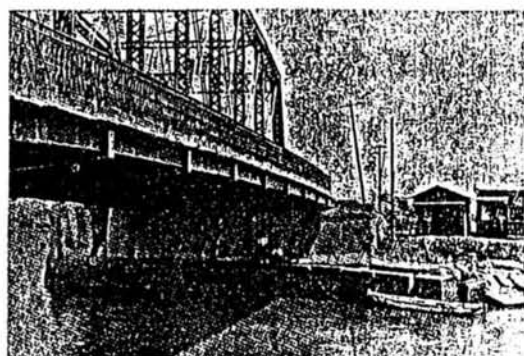


写真3-18 横浜市山下橋（煉瓦表装のコンクリート造）震災被害（大正12年）⁵⁵⁾



写真3-19 大阪市に明治21年架設された天満橋⁵⁷⁾



写真3-20 明治21年完成した天神橋⁵⁷⁾

進めた。天満橋と天神橋の両橋は明治21（1888）年12月に竣工させたが、橋台は共にコンクリート石積（表装石積コンクリート構造）で、橋脚は煉瓦井筒二本立て4脚であった。因みに、上部工は天満橋がダブルインターセクション・トラスであり、天神橋がワーレン・トラスとボウストリング・トラスと言う近代的な鉄橋であり、その立派さに

市民を驚愕させたと言われている。（写真3-19及び写真3-20参照）⁵⁷⁾

その他木津川橋は明治21（1888）年6月に完成したが、上部工はワーレン・トラ
スで橋台はコンクリート煉瓦（表装煉瓦のコンクリート造）、橋脚はスクリュウ・パイル
（鉄管柱に中詰コンクリート）2脚であった。また、肥後橋は同年8月に完成したが、上部工は
プレート・ガーダー、橋台コンクリート石積、橋脚はスクリュウ・パイル2脚であった。
⁵⁷⁾ こうして大阪市を中心部の橋梁は、都市の顔として橋梁景観にかなりの配慮が行はれ
、橋台橋脚も表面を美しく威厳のある自然石や、近代的な煉瓦で表装された。また洪水を
考慮して長大支間の鉄橋が採用され、木橋の橋脚には深い基礎杭の鉄柱（スクリュウ・パ
イル）が使用され、近代都市の景観を備えるに至った。⁵⁷⁾

9) 道路構造物（舗装及び排水工）

a) 東京市道路舗装 —東京市は明治18（1885）年馬場先通りで、碎石道、結成石道
及び玉石砂利にセメント又は石灰を混和したもの三種の試験を行い、碎石道が最も簡易で
且つ堅牢である為、同19年度に浅草蔵前通り須賀橋以北、八幡町までを碎石道に改修し
、府下道路改良の端緒をひらいた。⁵⁸⁾

明治41（1908）年には、銀座の歩道にコンクリート舗装が試みられている。⁵⁸⁾

明治43年市内道路改良費として国庫補助を得て、道路改良事業を行う事になり、市会
で次の決議を得た。

イ) 歩道は「コンクリート」となすこと。（後アスファルト三分の一、コンクリート三分
の二の割合に修正）

ロ) 車道は木道、及びアスファルトの2種とし、金額において2分する。

明治44（1911）年から大正3（1914）年まで、京橋—須田町間、神田佐柄町—
錦町間、及び本郷六町目間の車道を木道及びアスファルトで舗装した。これが東京市
での近代的道路舗装の始めである。ただし、この木道（舗木舗装）は雨水により故障が生
じ易く高価であるので、後には「アスファルト系」に変更された。⁵⁸⁾

②神戸市の舗装 —神戸市は外国人居留地の人道で、明治初年に既に石張や、煉瓦雑石舗
装を行っている。神戸市が施工した工事として、明治44（1911）年に北野町天神坂
に煉瓦雑石舗装を行い、大正4年に浜辺通りにタール・マカダム式碎石舗装を施工してい
る。また同年より大正3（1914）年の間に、北長狭通六丁目、元町通一丁目、東川崎
一丁目、栄町通四丁目等合計746mのタービヤア・コンクリート舗装を施工している。

大正3年には延長1830mのアスファルト舗装を施工し、道路舗装は試験時代であった。⁶⁰⁾

10) 建築物

無筋コンクリート構造の建築物は、これ自体が過渡的なものであり、その数は少なく試
験的なものであった。記録に残るものでは国有鉄道の長浜、敦賀間の工事で、長浜駅舎が
明治15（1882）年無筋コンクリート構造で建造されて現存している。⁶¹⁾

また、灯台では明治17（1884）年には、宮崎県の鞍崎鼻灯台が初めて洋式灯台と
して無筋コンクリート構造で建造された。⁶²⁾

3. 3. 無筋コンクリートへの鉄材の挿入

鉄筋コンクリートの知識は明治35年頃には先進技術者間に広まっており「鉄筋を入れれば、コンクリートは強くなる。」として、設計計算もせずに鉄材を入れた例もある様である。単なる知識での挿入では鉄筋コンクリートと言うのは無理であり、鉄筋コンクリート構造の設計施工には、欧米の専門図書を読破し、設計施工の実際的で詳細な知識が必要であり、この構造の採用には慎重であった。

1) 明治35(1902)年頃の永井専三(東京帝大土木科、明治30年卒)の話として、⁶³⁾ 住友別子銅山で鉱山の素石(すいし)の捨場に困って谷間に暗渠を造ったが、無筋コンクリートのトンネル坑口の所が破壊した。外国の雑誌に鉄筋コンクリートの事が載っていたので、金を掛けずに補強する方法として、鉱山エレベーターの古いワイヤーの切れ端を集めてコンクリートの中に入れて、鉄筋コンクリートを造った。

2) 高橋三省(東京帝大土木科明治34年卒)の話として、⁶³⁾ 明治39年頃元山陽鉄道の下関の門司連絡線棧橋工事で、海中25尺(7.6m)長のコンクリート角柱に軽便鉄道に使用した古レールを3本いれて、これに針金を巻いてコンクリートを打設した。この時の配合は1:3:5のものをい、縦に25尺の枠を造って、これに足場を設けて上からコンクリートを投入して打固めたが、搗固めには十能で少しずつコンクリートを入れて金棒で絶えず突いたので、切れ目なく良いコンクリートが打てた。この様に語っている。

この他にも古レールやチェーンをコンクリート中に埋め込んだ話があり、「鉄材をコンクリート中に入れば強くなる。」と言う単純な考え方が一部にあった様である。⁶³⁾

3. 4. 鉄筋コンクリート技術の胎動期のまとめ。

鉄筋コンクリート技術の胎動期の状況を纏めると、次の様である。

1) 明治維新後の明治政府の文明開化、富国強兵、殖産興業の政策により、急速に欧米文明が取り入れられ、構造物も木造や石積から目地材のある石造や煉瓦積み構造へ変化して行った。更に欧米の最新技術を取り入れたコンクリート構造が導入されて、明治中期は石造煉瓦、コンクリート構造併用の過渡期であった。

2) 明治政府の工業化政策により鉄道、船渠、港湾、上下水道等が石造又は煉瓦構造で建設が進められたが、最新の欧米での建設状況を参考に、コンクリート構造の利点が認められて、コンクリートが社会基盤施設の建設に使用されるようになった。この為セメントの需要は急激に上昇して行ったが、明治30(1900)年頃までは国内生産体制が追いつかず、多くは輸入品に依存しており高価であった。

無筋コンクリートの使用は、横須賀、長崎等の船渠に始まり、鉄道の東海道本線の建設等で普及し、橋梁基礎、煉瓦井筒や、鉄製螺旋杭の中詰、トンネル煉瓦巻き裏込め充填等、強度のある充填材として使用された。築港工事では、横浜、大阪、小樽等で海工構造物として大型のコンクリート・ブロックが積疊され、大規模なコンクリート工事に使用された。次いで、上下水道工事や水路工事では、コンクリートの不透水性を利用して、伝染病の予防のために港湾都市の横浜、神戸、東京等で沈殿池や、浄水池に使用された。水源池の取水ダムや、水路及び河川の制水門等でもコンクリートが使用された。

3) 無筋コンクリート構造は、セメントが高価であり新技術を要するため、採用に当たっては石造や煉瓦構造と工費上で競争しており、各種構造物でモルタルやコンクリートの利

点を生かして部分使用か、本体使用かを選択している。設計者の考え方、技術水準、石材、煉瓦の入手し易さと、価格等の比較の上採用されている。こうした石材、煉瓦、コンクリートの併用時期は、次の様な色々の組み合わせの構造を生み出している。

a) 石造又は煉瓦構造の目地材として、さらに練石積やトンネル煉瓦巻の裏込め充填材として使用された。

b) コンクリートが充填材として、鍊鉄製螺旋円杭（スクリュウ・パイル）や、煉瓦井筒の中詰材として、その他基礎均し材等石材や煉瓦の補助材として部分的に使用された。

c) 橋台、橋脚軀体やトンネル坑口、制水門のアーチ部分等で、無筋コンクリートが構造本体となり、石材や煉瓦が表装材として使用された。

d) 構造全体が無筋コンクリート構造として使用され表装はない。時には試験的に補強材として鉄材を挿入しているが、鉄筋コンクリートとしての設計はしていない。

4) コンクリートの配合は、欧米の経験に従って容積配合により強構造用は1 : 2 : 4で、弱構造用は1 : 3 : 6を標準として、その他に充填用にも採用されていた。

水量は明治中期までは水量の少ない硬練が多く使用されたが、中期以後は施工上から水量の多い軟練に変わって行った。水量は構造物の施工条件と打設時の気象条件に応じて、適宜変更していた様で、今日から見ると管理が充分でなく問題があった。

材料の混合は、築港工事の様な大規模コンクリート工事では、蒸気ミキサーを輸入して使用しているが、混合方法はモルタルを先に製造して、後に砂利を入れるものと、先に材料を混ぜてから水を注ぐもの等の両方式があった。大部分の工事では人力による「手練り」が普通であった。

コンクリートの技術は、各地の工事現場で工事と平行して技術教育が行はれ、新技術の講習会や試験施工等の実地教育で、技術が蓄積され普及して行った。

海水に接する部分のコンクリートに火山灰を混入して耐久性を強める試みは、佐世保鎮守府の真島健三郎により成功したが、小樽築港、長崎船渠工事でも試験して採用されており、高価なセメントの節約のために、代りに火山灰の混入が各地で試験して普及した。

横浜築港や大阪築港でのコンクリート・ブロック製造の経験は、各地の沈殿池等のコンクリート打設の施工法に生かされており、コンクリート技術の発展のためには有益であった。一方では、これ等の工事は府県議会で問題となり、京都市議会では「コンクリートの橋は壊れる。…」と言った議論で、鉄筋コンクリート橋の導入の妨げとなった。

5) 鉄筋コンクリート構造の欧米文献の抄訳や紹介は、明治24年の工学会誌上での中村達太郎の抄訳で始まっているが、この時期の簡単な紹介では詳細を理解する事は困難であり、知識として先進技術者の間に広まるに留まっていた。鉄筋コンクリート構造の採用には、欧米の専門書を読破し、設計施工の実際的で詳細な知識が必要であり、この構造の採用には慎重であった。欧米においても1900年頃までは、鉄筋コンクリートの評価は定まっておらず、安全性や、美観に対する社会的な抵抗が強かったといわれている。

それにもかかわらず、日本の一部では「鉄材を入れれば、コンクリートが強くなる。」として計算もせずに鉄材を入れた例もある様で、欧米技術導入の意欲は極めて高かった。

参考文献－3

1) 中村達太郎「コンクリートの梁」工学会誌、第117 巻、624 頁、明治24年9月

- 2) K.I.(石井啓吉)「巴里ニ於ケル建築構造新法」工学会誌、第180巻、明治29年11月
- 3) S.H.(服部鹿次郎)「スチールにおけるメラン式橋梁」工学会誌第209巻 明治32年6 月
- 4) S.H.(服部鹿次郎)「鉄筋コンクリート合成抵抗」工学会誌第210巻、明治32年7月
- 5) T.Y.(吉町太郎一)「鉄及混凝土合成構造及其応用」工学会誌第214巻、明治32年12月
- 6) T.Y.(吉町太郎一)「鉄及混凝土合成構造」工学会誌第220巻、明治33年6月
- 7) M.Foerster“Die Grundzuge der geschichtlichen Entwicklung des Eisenbetonbaues”HANDBUCH FUR EISENBETONBAU,VIER BANDEN,WILHELM ERNST&SOHN,seite 30.1908,
- 8) 広井勇「鉄筋混凝土橋梁」工学会誌、第253 巻、明治36年6月
- 9) 雑報「かん式鉄筋混凝土及 膠泥ト鉄筋トノ膠着強ニ就テノ実験」工学会誌第319巻 42頁、明治42年7月
- 10) 田辺朔郎「地震と迫持との関係及び耐震迫持の考案」建築雑誌96号明治27年12月
- 11) 昔のコンクリートを語る会編「昔のコンクリート」(コンクリート叢書第24巻) 日本ポルトランド・セメント同業会、67頁、昭和11年10月。
- 12) 昔のコンクリートを語る会「昔のコンクリート」日本ポルトランド・セメント同業会、80頁、昭和11年10月。
- 13) 創立六十年記念事業会「京都大学工学部土木工学教室六十年史」昭和32年6月
- 14) 田辺平学、二見秀雄「鉄筋コンクリート構造」常盤書店、25頁、昭和9年2月
- 15) 社史編纂委員会「七十年史、序編」日本セメント㈱、67頁、昭和30年1月
- 16) 高山甚太郎「ポルトランド・セメントの応用、(モニエ式建築方)に就て」工学会誌 第220 巻、明治33年6月。
- 17) 田村浩一、近藤時夫「コンクリートの歴史」山海堂、238 頁、昭和59年7月
- 18) 国有鉄道公社「鉄道技術発達史」第2編、施設Ⅲ、1708 昭和57年6月
- 19) 日本工学会「明治工業史、鉄道編」財)明治工業史発行所、241 頁、大正15年5月
- 20) 千種基「長浜敦賀間鉄道建設景況」工学会誌第9巻、明治15年7月
- 21) 昔のコンクリートを語る会「昔のコンクリート」ポルトランド・セメント同業会、 78頁、昭和11年10月。
- 22) 朝鮮総督府鉄道局「鴨緑江橋梁工事報告及び同付図」明治45年5月。
- 23) 長尾義三「物語日本の土木史」鹿島出版会、206 頁、1985年1月。
- 24) 高山甚太郎他4名「横浜築港工事用材料混凝土塊調査報告」工学会誌第149 巻、 明治27年5月
- 25) 坂出鳴海「横浜港岸壁工事ニ使用セシにゆうまちっく・けーそんニ就テ」工学会誌 第271 巻、明治38年2月。
- 26) 大阪市港湾局「大阪港史、第一巻」昭和34年3月。
- 27) 島重治「大阪築港ニ於ケル混凝土塊」工学会誌第272 巻、明治38年3月。
- 28) 山根巖「明治末期における長崎での鉄筋コンクリート橋」土木史研究NO.19.1999.6
- 29) 沖一誠「長崎港湾工事状況報告」長崎港湾改良工事一班、長崎県、明治31年11月
- 30) 田辺朔郎編「明治工業史、土木編」工学会。410頁、昭和4年9月。
- 31) 広井勇「小樽築港工事報文」北海道庁、明治41年7月。
- 32) 田辺朔郎編「明治工業史、土木編」工学会、873 頁、昭和4年9月。
- 33) 真島健三郎「我国セメントの發達を促した三大築港工事」小野田セメント製造 k k

- 「創業五十年史」214 頁、昭和6年9月。
- 34) 「工事請負契約書、出島新橋二基新築仕様書」長崎県知事宛、日本土木会社大阪支社長久原庄三郎、代理江森盛孝、明治20年8月。
- 35) 三菱造船株式会社「創業百年の長崎造船所」昭和32年10月。
- 36) 南海洋八郎「工学博士白石直治伝」工学博士白石直治伝編纂会183頁昭和18年11月
- 37) 西沢泰彦「明治時代に建設された日本のドライドックに関する研究」土木史研究NO 19、1999年5月。
- 38) 田辺朔郎編「明治工業史、土木編」工学会、507 頁、昭和4年9月
- 39) 同上 502 頁、
- 40) 神戸市役所「神戸市水道誌」明治43年7月
- 41) 田辺朔郎編「明治工業史、土木編」工学会、530 頁、昭和4年9月。
- 42) 大阪市水道局「大阪市水道百年史」平成8年11月。
- 43) 東京都下水道局「下水道東京100年史」下水道東京100年史編纂委員会、1989年3月
- 44) 大阪市下水道局「大阪市下水道事業誌第1巻」大阪市下水道技術協会昭和58年3月
- 45) 大阪市水道局「大阪市水道百年史」206 頁、平成8年11月。
- 46) 京都市水道局「琵琶湖疎水の100年（叙述編）」京都新聞社、平成2年4月。
- 47) 内務省土木局「淀川改良工事誌」大正2年2月
- 48) 建設省近畿地方建設局「淀川百年史」淀川百年史編纂委員会、1974年10月。
- 49) 山根巖「明治末期における岐阜県下2つの水力発電用水路橋について」土木史研究 NO.17、1997年6月。
- 50) 日本道路協会「日本道路史、技術編第5章橋梁」953 頁、昭和54年。
- 51) 小木新造ほか2名「東京空間1868 -1930」筑摩書房、151 頁、1986年11月
- 52) 宮尾しげを監修「東京名所図会、京橋区之部」陸書房、160頁、昭和43年11月
- 53) 日本道路協会「日本道路史、技術編第5章橋梁」939 頁、961 頁、昭和54年
- 54) 藤井郁夫編著「橋梁史年表」（財）海洋架橋調査会、平成4年9月。
- 55) 土木学会「大正十二年関東大地震震害調査報告書、第三巻」大正13年。
- 56) 関野昌夫「かながわの橋」神奈川合同出版、36頁、昭和56年11月。
- 57) 大阪市役所「明治大正大阪市史」第3巻経済編第7章交通、清文堂出版昭和8年5月
- 58) 東京市役所「東京市道路誌」290 頁、昭和14年3月。
- 59) 田辺朔郎編「明治工業史、土木編」大正14年5月、昭和4年9月。
- 60) 神戸市役所「神戸市史 本編（下）」462 頁、大正13年6月。
- 61) 日本科学史学会「日本科学技術史体系17巻」第一法規出版、331頁、1964.7.
- 62) 田辺朔郎編「明治工業史、土木編」工学会、912 頁、昭和4年9月。
- 63) 昔のコンクリートを語る会「昔のコンクリート」ポルトランド・セメント同業会。
71頁、78頁、昭和11年10月。

4. 鉄筋コンクリート技術の導入期（1903～1914年）頃

4. 1 鉄筋コンクリート技術の導入の経緯

鉄筋コンクリート技術は欧米の書籍や雑誌からの情報や、欧米留学生及び視察技術者の記事により、明治33（1900）年頃には日本の先進土木技術者の間では可なり知られていた。コンクリート技術は前述の通り、明治の始めの頃より船渠、鉄道、港湾、上下水道等で徐々に採用されてはいた。「あの頃（注一明治35年頃）は何でも鉄線を入れればコンクリートが丈夫になると云うのですね。」¹⁾と回顧されている様に、コンクリートに鉄材を内挿しただけで「鉄筋コンクリート」と言っている例もあり、合理的に内挿しておらず、鉄筋コンクリートの構造計算も行っていない様であり、この技術の導入時期は明確には決めれない。しかし、鉄筋コンクリート技術の我国への導入には、大きく分けて次の5つの経路があった様である。

- a) 大学教授等が欧米文献により調査研究して、地方庁や民間等を実施指導して導入したもの。この事例は多いが、土木方面では田辺朔郎、広井勇、柴田畦作、大藤高彦、建築方面では柴田畦作、日比忠彦、佐野利器等が挙げられる。
- b) 内務省、鉄道院や地方庁（外地の台湾総督府や関東州庁を含む）の技術者が、欧米の書籍で調査研究をして導入したもの。これには内務省の沖野忠雄、工部省の石橋絢彦、鉄道院の長谷川勤之助、大河戸宗治、後藤佐彦、京都市の井上秀二、神戸市の佐野藤次郎、長崎市の星野一太郎及び原田碧、台湾総督府での十川嘉太郎等が挙げられる。
- c) 土木技術者による鉄筋コンクリート建築物の導入では、神戸港倉庫建築の白石直治、佐世保鎮守府のポンプ室建築等の真島健三郎等が挙げられる。
- d) セメント製造業者が工場煙突やセメント・サイロの建設のため鉄筋コンクリート技術を直接欧米から導入したもの。これには、小野田セメントの笠井真八や、浅野セメントの浅野総一郎が関係している。
- e) 建設業者の大倉土木組が、最初にフランスからアンネビック式工法を導入するため3人の専門技師を呼びよせ、直接この工法を学んだ。清水組等は日比忠彦からこの技術の指導を受けて、建築物の建設に導入した。

鉄筋コンクリート構造の導入に当たっては、構造の部分的な使用から全体へ、小規模構造物から大規模構造物へと慎重に拡張して行っている。

1) 石橋絢彦は最初の鉄筋コンクリートの導入例として「鉄筋混凝土通俗説明」²⁾の中で「内地ニオイテ最も古キハ明治34年筑前枝光製作所（注一後の八幡製鉄所）ニ於ケルものにえー式鉄筋混凝土屋、同40年東京瓦斯会社ニテ造リタル深川猿江工場基礎（L形平鉄桿ヲ用フ）東京鉄道会社ニテ造リタル麻布古川の岸壁（古軌条ヲ用フ）深川ノ洪沢倉庫、海軍省ニテ造リタル築地工場の煙突（円桿ナリト云ウ）呉港ノ工事ナリト聞ク、他ニ昨年落成シタル宮城県広瀬橋ノ類ナリ」と述べており、広瀬橋を除いて資料は残っていない様である。誰が担当したのか、どの様な設計計算を行って鉄材を内挿したか不明である。

2) 茂庭忠次郎（東京帝大土木科、明治37年卒）は昭和11年に開催された「昔のコンクリートを語る会」に次の様な回顧録を寄せている。¹⁾

「鉄筋コンクリート工の我国に初めて行はれた時期に就いては色々の説がありまして、牧彦七博士は明治36年頃已に埼玉県の護岸工事に応用したとの御話であり、又此当時鉄道

工事等にはコンクリート中に古レールなどを挿入して補強した事例も往々ある様であります。然し実際に強度の計算を行い完全な設計の下に施工されたものは、直木博士により行はれた深川某所の煙突及横浜某工場の床版、真島健三郎博士の施工した呉（注一佐世保）海軍工廠の倉庫、井上秀二氏により行はれた京都市の小径間橋梁其他、白石直治博士の施工された神戸三菱造船所の上屋、私の前記設計を踏襲して横山徳太郎君の施工した横浜築港の排水管渠工事等を嚆矢とする様で、何れも明治39年乃至40年に竣成したと伝えられて居ります。」と記している。

3) 「工学博士長谷川勤介伝」³⁾によれば台湾北部新線の建設に当たり、長谷川謹介（鉄道寮技工生養成所、明治10卒）の次の挿話がある。「就中、見返坂墜道（注一新竹建設事務所管内）の北口は、三十六年四月の長雨が切取土の丘陵地層内に浸潤して地滑りを起し、山上百数十呎まで無数の亀裂を生じたのみならず、此地圧の為に線路は十数呎の高さに隆起するなど全く手も付けられぬ状態を呈した。依って切取の山手側法尻に古軌条を主材とし上幅三呎、高十三呎の鉄筋コンクリート土留擁壁を築造し、反対側には上幅三呎、高六呎のものを造り、この両者を線路の下で矢張鉄筋コンクリート梁を以て連結し漸くにして落付けたのである。此頃は未だ我国でも余り鉄筋コンクリートに関心を払う者なかりしを以て、博士は恐らく我国に於ける鉄筋コンクリート利用の先駆者の一人であろうと思われる。」と記している。

現場工事での困難を鉄筋コンクリートの新技術を導入して克服した、明治36（1903）年の早期の実例と言えるが、設計計算や古軌条の内挿法等の状況は不明である。

4) 台湾総督府の技師であった十川嘉太郎（札幌農学校工学科、明治25年卒）の回想によれば、⁴⁾台湾では白蟻による木造家屋の食害が激しく、これに対応するため永久家屋としての鉄筋コンクリート構造の導入が内地より早かった様である。「明治35年に台北の第一聯隊第一大隊の永久兵舎の屋根を鉄筋コンクリートにする設計を依頼され、丁度鉄筋コンクリートの原理を摘記した小さな型録を手にいれたので、種々研究したが未だ不審が残った。現在一般に行はれている様な陸屋根（注一水平の屋根）にする勇氣はなく、アングルを組み立てたトラッスを受け渡した勾配屋根の母屋に、シンダー・コンクリート（注一薄層コンクリート）の鉄筋スラップを打ち、其上に一面にアスファルトを掛けたのであった。」と述べている。この兵舎は明治35（1902）年6月に起工し、翌年3月に竣工している。

また、同氏の同じ回想によれば、⁴⁾明治38（1905）年には台湾総督府中央研究所の床を鉄筋コンクリートにする事になり、建築係の頼みで設計をした事がある。施工後依頼者から「あれは設計通りに現場に施行さしたが、コンクリートの練り方が余り硬かった為、枠を外して見たら桁の下部に砂利が露出している所もあって、設計者も充分経験があるとは思わないので自分は心配になったので、煉瓦のテストロードを置いたが、結局何の異状もなかった。」と話された。しかし、此時には既に二三冊の鉄筋本を読了していたので、自分には大して疑はなかったと述べている。ここで鉄筋コンクリート構造の導入時の状況が具体的に述べられており、特に建築物の鉄筋コンクリート構造導入で、土木技術者が設計依頼されており、構造計算は土木技術者の仕事であった事が分かる。また構造物に疑問があれば、何らかの荷重試験を実施して検証しているのは正しい判断と言えよう。

5) 大成建設KKの資料によると、⁶⁾その前身の大倉土木組のアンネビック工法導入の経

緯は次の通りであった。明治39（1906）年のサンフランシスコで大地震があり、その大きさにも拘わらず鉄筋コンクリート建築は被害が少ない事が伝えられ、佐野利器等の専門学者も渡米して、その耐震性や耐火性の優れている事を確認した。

建設業界の大手会社ではこの技術の導入の必要を感じていたが、明治37（1904）年末頃最初に入倉土木組が仏国のアンネビック（Hennebique）工法の導入を計画し、3人の専門技師を招聘して直接この工法を熱心に学んだ。ただし、アンネビック工法は1902（明治35）年に仏裁判所で「周知の工法と同一である。」として特許無効の判決を受けており、^{7）}特許導入の必要は無く技術指導に終わっている。

入倉土木組ではこの技術が将来施工の主流となる事を見越して、社内の建築関係を造家部と鉄筋部に分離した体制に改めている。社主の入倉栄馬も明治36年と43年にアンネビック工法の視察に渡欧している。なお、入倉土木組の最初の鉄筋コンクリート工事は、明治43（1910）年7月起工で翌年3月竣工の東京築地の「海軍造兵廠」の材料倉庫であった。この工事では最初に鉄筋コンクリート杭を造り、重さ5屯のスチーム・ハンマーで打込み試験を行い、基礎、屋根スラブ等を鉄筋コンクリートの新工法で施工した。関係者はこの工法の初めての工事に十分な自信が無かった様で、コンクリート・スラブを打設し仮枠を取外す段取りになっても、誰も敢えて取り外す者がなかったと言う。引渡し前に二階スラブに亀裂が発生して海軍側からの異議が出たが、強度に関係ないと言う事で説明して無事落着いている。^{6）}

6）資料によれば^{5）}笠井真三（元小野田セメント製造KK社長）と藤井光蔵（元浅野セメント技術部長）の談話として記録されているものに依ると次の通り。

小野田セメント製造KKの本社工場の鉄筋コンクリート煙突及びセメント・サイロの設計はドイツに依頼しており、サイロの設計計算書によると、1908（明治41）年4月独国デツカーホフ・ウイドマン会社による角形サイロで、セメントと壁面の摩擦角を25度として側壁の計算をしており、側壁の厚さが可なり大きくなっている。

煙突は高さ60m、口径2～3mで、独国ベトン・ウント・モニエバウ会社が、1912（明治45）年3月設計している。計算式はザリーガ（Saligür）の著書に依ったと書てある。設計条件として風圧250kg/cm²のみで、地震も温度応力も考えられていない。コンクリートは1：1.5：3の容積配合であり富配合が使用されている。

詳細設計のデータとして、

	コンクリート許容強度	コンクリート4週強度	鉄筋許容強度
サイロ	30 kg/cm ²	200～250 kg/cm ²	800 kg/cm ²
煙突	42 kg/cm ²	240 kg/cm ²	982 kg/cm ²

建築学会基準 70 kg/cm²（昭和11年頃） 1200 kg/cm²
と記録されている。

4. 2. 鉄筋コンクリート構造の紹介及び導入必要の主張

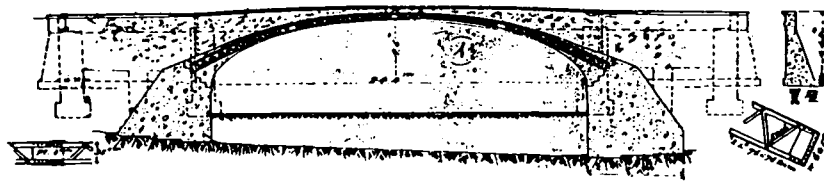
我国で最初に鉄筋コンクリート構造の導入の必要を公に主張したのは、広井勇の明治36（1903）年工学会誌上での「鉄筋混凝土橋梁」^{8）}であった。これ以後「鉄筋混凝土」と言う言葉が広く使われ定着した。この他直木倫太郎、小川紳三、石橋綾彦、等が論陣

を張っており、それ等の論点を比較する。

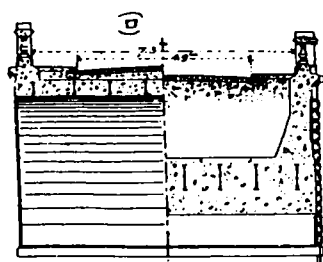
(1) 広井勇(札幌農学校工学科、明治18年卒)は明治32年東京帝大土木科教授に任ぜられたが、明治36(1903)年6月工学会誌上に「鉄筋混凝土橋梁」という論文を発表し、我国への鉄筋コンクリート橋梁の導入の必要を主張すると共に、鉄筋コンクリート構造の紹介や、設計計算法の一部を紹介した。⁸⁾

「鉄筋混凝土 (Le beton arme, The reinforced Concrete)ハ創始尚ホ遠カラスト雖モ欧米ニアリテハ今ヤ普通ノ構造ニ属シ各種工事ニシテ其応用ヲ見サルナキニ至レリ我国ノ如キ鉄材ニ乏シク而モせめんとノ製出国内ノ需用ニ超過スルノ今日ニアリテ工費ノ節約ト施設ノ耐久ヲ併得セシムルモノ蓋シ鉄筋混凝土ニ如クモノナカルヘシ」と主張している。

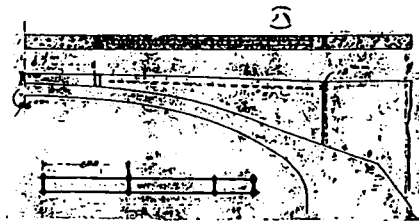
欧米の各種の代表的鉄筋コンクリート工法を紹介し、橋梁構造として平桁、肋桁、拱(註一床版、T桁、拱)の三種について説明している。(図4-1参照) 施工方法についても、図4-2の様な肋桁及び拱の模型(註一型枠)の図を示している。「混凝土ノ混合ハ所謂硬練法ニヨリ模型ニ充填スルニ当リ成ル可ク搗固ヲ施シ以テ高度ノ凝結力ニ達セシムヘシ若シ局部ニシテ搗固ノ困難ナルモノアルトキハ稍水量ヲ増加シ以テ専ラ充実ノ完全ヲ期スヘシ」と述べている。打継日の施工法として「混凝土ハ一層ノ成ルコトニ其表面ヲ搔キ粗ケ以テ層々ノ固着ヲ完全ナラシムヘシ一個ノ混凝土体ヲ製作スルニハ決シテ作業ヲ中止スヘカラス」とも述べて、当時の基本的施工法の考え方を強調している。



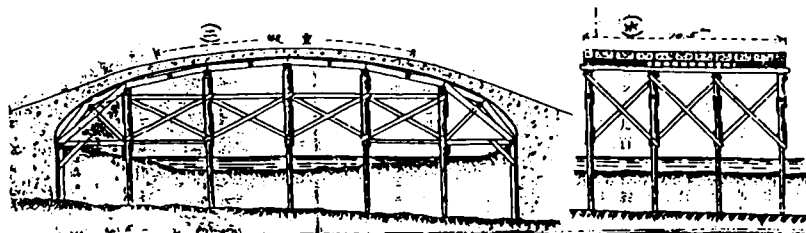
イ) メラン式鉄筋コンクリートアーチ橋縦断図(公園橋、ワシントン直括市)



ロ) 同上 横断図



ハ) 同上 側面図(目地位置に注意)



ニ) アーチ橋支保工図

ホ) 同左 横断図

図4-1 広井勇「鉄筋混凝土橋梁」のメラン式アーチ橋例⁸⁾

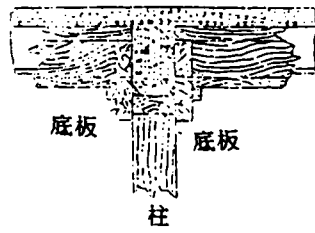


図4-2-1 肋桁模型（型枠）例⁸⁾

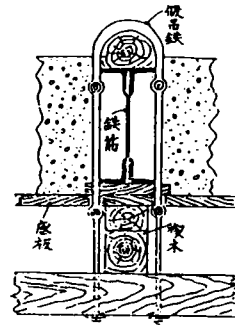
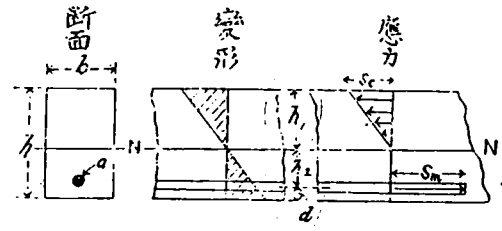
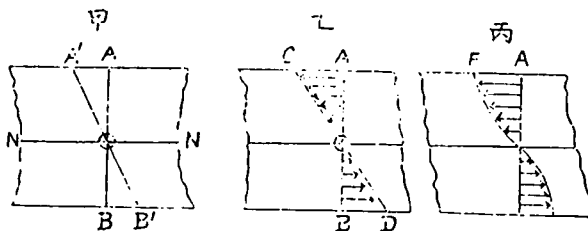


図4-2-2 メラン式拱橋模型例⁸⁾

また、強度の計算法として長方形断面の変形と応力が直線関係の考え方を述べ、更に変形及び応力の関係が放物線の多少精緻に計算する場合、及びコンクリートの抗張強度を一定値として算入する場合についても計算法を示している。（図4-3参照）未だ鉄筋混凝土の設計計算法が定説として確定されておらず、欧米における代表的な3つの考え方の計算法が採用されていた事を示している。



断面変形 弾性変形 応力分布 塑性変形 応力分布

図4-3-1 鉄筋混凝土強度計算図⁸⁾

（混凝土抗圧力直線分布、抗張力無視）

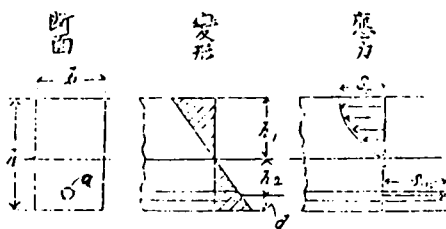


図4-3-2 鉄筋混凝土強度計算図⁸⁾

（混凝土抗圧力放物線分布、抗張力無視）

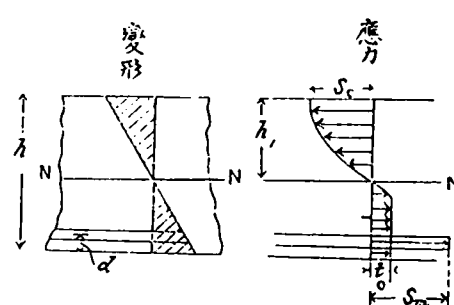


図4-3-2 鉄筋混凝土強度計算図⁸⁾

（混凝土抗圧力放物線分布、抗張力一定値）

（2）直木倫太郎（東京帝大土木科、明治32年卒）は明治34（1901）年より3年間の欧米視察及び留学から帰朝して、東京市及び横浜港等の工事で活躍しているが、当時の欧米の鉄筋コンクリート構造の発達状況に詳しく、この構造に対する理解も深く、高い立場から我国へのこの技術の導入の必要性を最も強力に主張している。

1）民間の工業技術に関する情報雑誌の「工業雑誌」の中で、鉄筋コンクリート技術導入の一般論として次の4編の論文を発表している。¹⁰⁾

- a) 工業雑誌NO.300号「鉄筋混凝土に就て」明治37(1904)年6月、
- b) 同上 NO.308号「我国ニ於ケル鉄筋混凝土工法ノ前途」明治38(1905)年1月、
- c) 同上 NO.309号「鉄筋混凝土ノ原理」明治38(1905)年2月、
- d) 同上 NO.311号「鉄筋混凝土ノ沿革」明治38(1905)年3月、

工学会誌上では「鉄筋混凝土ノ価値」と題して明治38(1905)年3月より4回に渉り、豊富な欧米の資料を使用して鉄筋コンクリート技術について説明している。

a)では鉄筋混凝土の利点として、イ)各種の外力に対する抗度の十分強大なる事、ロ)構材の硬度の多大なる事、ハ)震動激動に対する抗度、ニ)鉄筋腐蝕を防止するに加えて、混凝土の硬度を任意に選定し得るが故に構材の抗度はある程度迄次第に増大すべき事、ホ)水及び酸液、アルカリ液の為に作用せられざる事、ヘ)耐火作用十分なる事、ト)混凝土内に存するセメントの分量に応じて防水作用十分なる事、チ)家屋建築に用いる鉄材の伝音性を防止する事、リ)衛生的建築の旨に適する事、ヌ)施工の迅速なる事、ル)工費の経済なる事。以上の11ヶ条を挙げている。

コンクリートと鉄材の性質の利点と欠点を、両者が合成される事により克服されて、構造性や耐火、防水等の多くの利点が生ずる事を説明している。そして我国でも学理と実地応用の両面の研究で「日本式の鉄筋混凝土の工法」を造り出す事を主張している。この主張は他の論者になく積極的で、注目すべき論点であった。

b)では我国へのこの技術の導入が、横浜、大阪両港での防波堤用混凝土塊に亀裂の発生した事を以て、採用を疑問視する土木界の風潮を強く批判している。鉄筋混凝土技術が未だ未完成で、理論研究も不十分であり、常にコンクリートが一様な品質となり難い欠点はあるが、其の用途は多種多様で其の価値は著大である。鉄筋コンクリートがセメントの生産多く鉄材の少ない我国に適した技術であり、国家経済上からも必要な技術であると論じている。また、当時欧米各国での新工法が「偶然の啓発に出たるのみならず爾後雜然紛然として輩出せる各方式の如き、殆ど万人容易に類推想到し得べき境地をいはずして、而も各者優に一家を成し其価値と特許とを誇れるに非ずや」として日本人の知恵で新工法を加味して経済的利便を得る必要を主張している。

鉄構技術も失敗を重ねて新工法を産み出し利用されて来ており、鉄筋コンクリート構造も材料の選択、混合法、並に施工法に注意すれば亀裂の失敗は防止出来るとして、応用実施によって経験を積み工夫を重ねて、工法の改善や新工法の開発する事を主張している。

我国での鉄筋コンクリート技術の導入が遅々として進まない事に批判の目を向けており、この工法を大胆に広めて実検を重ね、我国特有の状況に適する工法並びに応用の工夫を凝らすことが、国家経済上の利益を増進する途であると格調高く論じている。

c)では鉄筋コンクリート構造に必要な鉄やコンクリートの性質を、仏人フェレ(R, Frete)や独人ワイス(G, A, Wayss)の試験結果を引用して説明しており、粘着力良好なる両者の合成体としての鉄筋混凝土は、各者の欠点を補い多くの長所を生ずるとしている。

鉄筋コンクリート構造は現在其の理論が明確ではないが、将来必ずコンクリート内に挿入する鉄筋の分量を最小ならしめ、以て最大有効作用を発揮させることを目的として、将来には「経済的設計」の必要を主張している。

直木倫太郎のこれ等論文は、現場での僅かの失敗を理由に、遅々として進まない我国への鉄筋コンクリート技術の導入に対し、その利点を具体的に論じて反対論に批判を加え、

それが国家経済上大きな損失となるとして、今後の日本の土木技術の進むべき考え方の方向を高い立場から論じた優れた論文であり、我国土木界に大きな影響を与えている。事実明治40年頃以後は多少の混乱はあっても、直木倫太郎の示した方向に徐々に進んで、鉄筋コンクリート構造の採用が増大して行った。

d)は鉄筋コンクリート構造の欧米に於ける発達を述べたものである。鉄筋コンクリート構造の1900年頃の理論研究について「加之各学者の探究を重ねし理論の如きも尚未だ不確定の譏を免る可らず。之れ畢竟仮説又は公式を發表せし数多の学者にして、序個の所見を更に実験に徴して検定することを為さざるに因し、従て計算上相互に著人の差異あるもの亦驚くに足らず。加之一方には、施工者各自の経験よりして自家方式に対する特別の計算法を帰納し来り、敢て重きを純理論家の研究に措かざりしが為め、遂に確呼たる定説を兩者協力の裡に発見し得ざりし事情あり。」として当時未だ欧米においても鉄筋コンクリート構造の設計理論が混乱していて、鉄橋の様に公認の計算法が無かった事が影響して、この工法の採用を遅らせていた事を示している。

1890年頃の欧米での鉄筋コンクリート構造の設計は、この構造の実験により破壊荷重の実験驗式を求め、安全率で割って安全荷重の式を求めていた。しかし鉄筋コンクリート構造は複合構造であり、鉄桁の様な単純な破壊状態を示さず、実験をする者毎に違った結果となるため信頼性が得られなかった。1900年過ぎ頃まで多くの破壊荷重を求める実験式が提案されているが、それ等の差異が大きく採用する設計者を悩ませていた。

1890年頃よりケエネン等の技術者や研究者により、部材断面の応力分布から材料の応力を求める許容応力法の研究が進められ、両者が併存してこの構造の設計理論が一時的に混乱していた。この事は我国にも大きな影響を与え、導入の時期尚早論を生じた。

2)次に直木倫太郎の工学会誌上での「鉄筋混凝土ノ価値」について述べる。この論文は「工業雑誌」に比べてより専門的で、欧米の試験資料をより多く使用して具体的に説明している。鉄筋コンクリート構造の土木に関連する性質だけでなく、伝熱性や伝音性等の建築に関する事項にも言及している。全体として白人クリストフ (P, Christophe) の書物⁹⁾を多く参考にしたと述べている。

鉄筋コンクリートの価値として其の長所を前掲a)の中から9点挙げているが、欠点も次の5点挙げている。 a) 其理論的研究ノ完タカラザルコト。 b) 其設計上計算法ノ全ク合理的ナラザルコト。 c) 混凝土ノ品質劃一ナル能ハザルヲ以テ、必ズシモ常ニ精確ナル強度ヲ期待シ難キコト。 d) 施工上慎重ナル注意ヲ怠ル能ハザルコト。 e) 亀裂ノ発生往々ニシテ避ク可ラサルコト。これ等は使用反対者の挙げる理由であるが、これを以て全価値を否定したり、研究完備の後を待つ必要ありと言うのは間違いで、欧米の27年に渉る経験と実績は、その実用に適する事を実証していると論じている。

これ等の反対理由に対して、欧米の試験資料や実績を挙げて各項目別に理路整然とした反論を行っているが、鉄筋コンクリートに対する理解の深い事を示している。

特に鉄筋コンクリート構造は複合材料であり、等質材料の鉄鋼材とは異なる性質があるとして、破壊試験の状況を次の4期に分けて説明している。

第1期：鉄及び混凝土が一体の如く作用して、若干の変形を生じる。

第2期：混凝土の抗張力が先ず破れて鉄筋の負担に移り、肉眼では見え難い程の微細亀裂が抗張力部に発生し、伸縮中線（注一中立軸）の位置もやや抗圧部側に移動。

第3期：伸縮中線の位置に変化なく、混凝土は漸次抗張力の全部を失い、試験荷重を取去れば、撓みは減じて当初の位置に復して亀裂も再び癒着する。

第4期（1）挿筋の断面が混凝土断面に比し小の場合：混凝土の抗压力は弾性限度に達せず、挿筋の抗張力は破壊限度に達し、その一部が急激に伸張を生じて破壊する。

第4期（2）挿筋の断面割合大の場合：二者殆ど同時に覆水変形（注一非復元変形）を生じて破壊する。又は混凝土先ずその弾性限度に達して破壊する。

と述べて「故ニ鉄筋混凝土ニ於テ微細ナル亀裂ノ発生ハ到底之ヲ避クルコト能ハズト雖トモ、其破壊ハ直ニ之ニ伴フモノニ非ズシテ、却テ一般ニ鉄筋ノ覆水変形ニ従フモノト云フバク、亀裂ノ生否ハ殆ド其強度ト関係スル処ナシ。」と結論している。

更に鉄筋コンクリートの利点として、亀裂発生から破壊までの増加荷重の割合の大きい事を、1890（明治23）年から1893年にかけて奥国技術者と建築家連合（Der Oester Ingenur und Architekten-Verein）が、カカーストルで実施した拱材試験成績を用いて示している。^{12）}これは当時ブルーフ（Bruch）工科大学教授のメラン（J. Meln）を中心に実施した大規模な各種材料のアーチ構造比較荷重試験である。この試験結果として最初の亀裂発生から破壊し終わる迄に増加した荷重の破壊荷重に対する割合をF. von Empergerの資料から引用して比較している。^{12）}その引用を次の通り紹介している。

石	拱	3割
煉瓦	拱	5割9分
混凝土	拱	3割1分
鉄筋混凝土拱		8割6分

以上の通り鉄筋コンクリート構造の利点を資料により具体的に示して、鉄筋コンクリート技術の導入を積極的に主張している。

（3）小川織三（第三高等学校土木学科、明治32年卒）は当時東京市港務課技師であったが、^{13）}「工業雑誌」上で明治41（1908）年1月から42年12月まで24回にわたり、「講習、鉄筋混凝土」と題して鉄筋コンクリート技術の原理や設計理論及び工法の種類を詳細に紹介している。^{14）}この講座の要点は、次の通りである。

1)説明の重点を鉄材とコンクリートの一体性保持のため、コンクリートに発生する剪断力より大きな両者の付着力が必要として、各種内挿鉄材の付着力試験結果を報告している。

（表4-1参照）そして米国における多数の各種異形鉄筋の付着力の効用や、その特殊な配置の形状を説明している。

カーン式鉄桿に代表されるこれ等特殊異形鉄筋は、付着力や剪断力への力学的な考慮と、配筋工事の効率化を追及して米国で開発された特許製品であり、直木倫太郎等が現場施工を通じて日本人の知恵でも開発可能としていた類の物である。

その他スラブやT桁、アーチ、連続桁等の他円管、柱や壁及び建築架構の構造に対する各種配筋法の説明を行っている。（図4-4及び4-5参照）

2)設計理論では鉄筋コンクリートの設計に当たり、純然たる理論公式を得る事は望ましいが、実験的公式でも実際と一致すれば良いとしていて、理論式としてハット教授（W.K. Hatt）の理論を紹介している。これの仮定の特徴は、コンクリートと鉄材の弾性係数の比を変動するものとして、中立軸以上の混凝土中の応圧力分布を放物線と仮定している事で

角場の組成分	鋼鐵棒の種類	一平方吋に付 極高粘着力(針度)	備考
セメント(バースト)	螺狀	一、二七八	鐵棒破壊す
同	同	一、三〇三	同
同	波形	九六八	同
同	同	九五八	同
同	同	九六〇	同
セメント一、砂一	螺狀	一、三一八	同
セメント一、砂一	波形	九七七	鐵棒引出さる
セメント一、砂二	螺狀	一、一九九	鐵棒破壊す
セメント一、砂二	波形	九三四	鐵棒引出さる
セメント一、砂三	螺狀	七〇一	同
セメント一、砂三	波形	七三五	同
セメント一、砂四	螺狀	七九六	同
セメント一、砂四	波形	五六四	同

(From water-town, Aischul Tests, 1904)

[illegible]

鐵棒の種類	最大荷重	鐵棒の斷面積(平方吋)	鐵棒の斷面積(平方吋)に付寸度	鐵棒の表面積(平方吋)に付寸度	彈性限度	備考
1" ショナ	14,940	3.0	7.42, 6.80	6.35	53,000	混凝土に溶解
同	15,110	同	7.70, 7.05	6.55	同	同
1" 同	17,175	同	8.75, 8.05	7.35	67,500	同
1" 同	21,750	同	11.00	9.15	85,000	同
1" 同	23,775	同	12.00	10.10	95,000	同
1" 同	25,775	同	13.00	11.10	105,000	同
1" 同	27,775	同	14.00	12.10	115,000	同
1" 同	29,775	同	15.00	13.10	125,000	同
1" 同	31,775	同	16.00	14.10	135,000	同
1" 同	33,775	同	17.00	15.10	145,000	同
1" 同	35,775	同	18.00	16.10	155,000	同
1" 同	37,775	同	19.00	17.10	165,000	同
1" 同	39,775	同	20.00	18.10	175,000	同
1" 同	41,775	同	21.00	19.10	185,000	同
1" 同	43,775	同	22.00	20.10	195,000	同
1" 同	45,775	同	23.00	21.10	205,000	同
1" 同	47,775	同	24.00	22.10	215,000	同
1" 同	49,775	同	25.00	23.10	225,000	同
1" 同	51,775	同	26.00	24.10	235,000	同
1" 同	53,775	同	27.00	25.10	245,000	同
1" 同	55,775	同	28.00	26.10	255,000	同
1" 同	57,775	同	29.00	27.10	265,000	同
1" 同	59,775	同	30.00	28.10	275,000	同
1" 同	61,775	同	31.00	29.10	285,000	同
1" 同	63,775	同	32.00	30.10	295,000	同
1" 同	65,775	同	33.00	31.10	305,000	同
1" 同	67,775	同	34.00	32.10	315,000	同
1" 同	69,775	同	35.00	33.10	325,000	同
1" 同	71,775	同	36.00	34.10	335,000	同
1" 同	73,775	同	37.00	35.10	345,000	同
1" 同	75,775	同	38.00	36.10	355,000	同
1" 同	77,775	同	39.00	37.10	365,000	同
1" 同	79,775	同	40.00	38.10	375,000	同
1" 同	81,775	同	41.00	39.10	385,000	同
1" 同	83,775	同	42.00	40.10	395,000	同
1" 同	85,775	同	43.00	41.10	405,000	同
1" 同	87,775	同	44.00	42.10	415,000	同
1" 同	89,775	同	45.00	43.10	425,000	同
1" 同	91,775	同	46.00	44.10	435,000	同
1" 同	93,775	同	47.00	45.10	445,000	同
1" 同	95,775	同	48.00	46.10	455,000	同
1" 同	97,775	同	49.00	47.10	465,000	同
1" 同	99,775	同	50.00	48.10	475,000	同
1" 同	101,775	同	51.00	49.10	485,000	同
1" 同	103,775	同	52.00	50.10	495,000	同
1" 同	105,775	同	53.00	51.10	505,000	同
1" 同	107,775	同	54.00	52.10	515,000	同
1" 同	109,775	同	55.00	53.10	525,000	同
1" 同	111,775	同	56.00	54.10	535,000	同
1" 同	113,775	同	57.00	55.10	545,000	同
1" 同	115,775	同	58.00	56.10	555,000	同

また、鉄筋混凝土桁内の応せん力に対する鍔形鉄（注一肋筋）の配置について、「是等の斜応力の合成力と等しき垂直及び水平力の一部分は、受張材の表面積の半ばに属する混

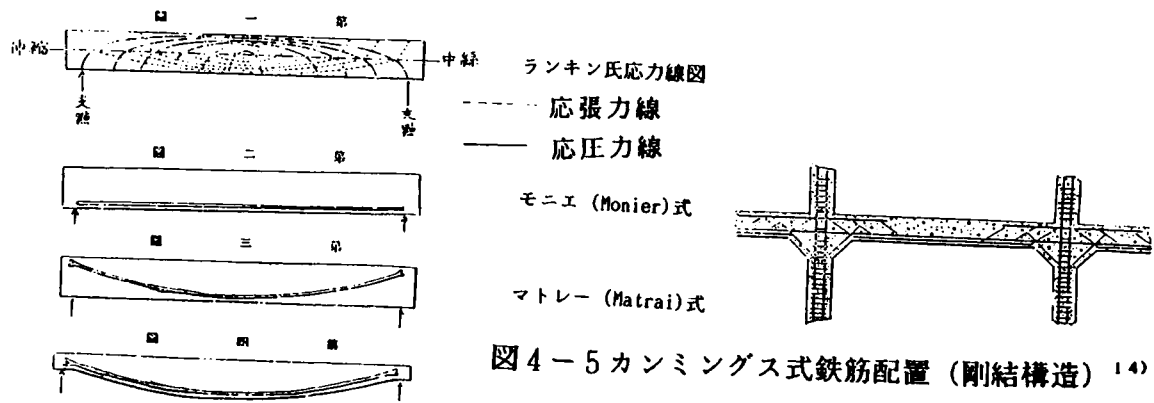


図4-5 カンミングス式鉄筋配置（剛構造）¹⁴⁾

図4-4 桁中応力分布状態と鉄筋配置図¹⁴⁾

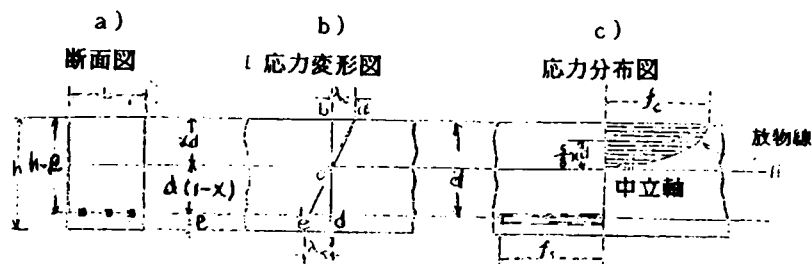


図4-6 Hatt教授鉄筋混凝土計算図¹⁴⁾

(E_s/E_c は変数として数値を決めて表により計算)

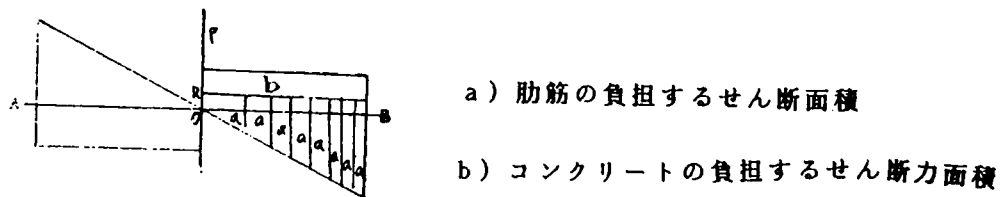


図4-7 集中及び等分布荷重のせん断力に対する鑢形鉄（筋）の配置決定¹⁴⁾

凝土の粘着力に依りて防がれ、其残余は垂直桿の横抗せん力に依って抵抗さるるものと仮定す。」と述べて図解法を図4-7の様に示している。

3)鉄筋混凝土の設計計算は、断面や鉄筋量の算出には中立軸の決定が必要であり手間が掛かるので、近似計算式が広く使用された様である。米国土木学会員のワソン (L.C. Wason) は、中立軸の位置を鉄筋中心と桁頂部との中央と仮定し、受圧混凝土の圧力中心は中立軸より桁頂部に至る高さの三分の二の処と仮定して近似式を求めている。この他ラムソン式 アンネビック式、ボンナ式等の多数の近似式があり、鉄筋混凝土管ではコアニエ式もありこうした自己流の近似式の横行が、直木倫太郎が指摘した様に鉄筋コンクリート構造の正しい理解を妨げ、日本での反対者の批判の対象となり、鉄筋コンクリート構造の採用を躊躇する原因にもなった様である。

この講座は鉄筋コンクリート構造の紹介と現場での採用を目的としていたが、各種広汎な資料の羅列が多く、返って鉄筋コンクリートの本質の理解を困難にしており、読者は採用の際の選択に困ったのではないと思われる。

(4) 大河戸宗治(東京帝大土木科、明治35年卒)は、明治43年鉄道協会において「鉄筋混凝土に就て」と題して講演を行い、それにより「帝国鉄道協会会報」に同名の論文を発表した。この論文は、明治40(1907)年より2年間の英米両国での研究成果の一部として発表したものと見られる。鉄筋混凝土の歴史や、その特性を欧米の実例により具体的に説明しており、更に欧米の鉄筋コンクリート示方書を比較して紹介している。¹⁵⁾

この論文は鉄道院内における一般土木及び建築構造物の鉄筋コンクリート構造を対象としておる事が窺われる。ここでは既に鉄筋コンクリートは是否の対象ではなく、採用を前提とした具体的な鉄筋コンクリート構造の説明である。

鉄鋼材では欧米各国の生産状況の違いで、ハイカーボン・スチールやロウカーボン・スチールへの考え方が違い、許容応力度が違っている。米国ではハイカーボン・スチールが盛んに使用されているが、仏国ではソフト・スチールが多く使用され、ハイカーボン・スチールは厳重な検査を必要としている。

セメントやモルタルの規格は鉄鋼材よりも差異は少ないが、細かい所では違っている。

コンクリートの試験法も英国及び仏国は4吋立方供試体、独国は10吋立方供試体で圧縮強度を試験する。構造物完成後の荷重載荷試験の考え方も方法も若干異なる。

彎曲率(曲げモーメント)の算出でも、英国では単純桁の支間は支点の中心距離、連続桁では支承中心間、床版では径間に床版厚さを加える。単純桁彎曲率 $wl^2/8$ 、連続桁では中央 $wl^2/24$ 、端支間 $wl^2/12$ 。仏国では部分的固定梁の彎曲率は支間中央で $wl^2/10$ とし、四方を支持された床版では径間B、横桁間隔L、縦桁間隔Bとして、単純梁の彎曲率に次の係数を乗ずる。 $1/1 + 2B^4/L^4$ 。独国では英国と同じ彎曲率を採るが、連続桁では単純桁の5分の4を採る。これ等は厳密性と利用性の考え方の差を反映している。

許容応力度では英国の考え方は、材料の強度を安全率で割って求める方法であり、独仏国は独自の考え方で決めているが、数値的には近い値になっている。厳密性を重ずれば複雑になり理由付けも難しいが、簡単にすれば厳密性はやや失はれても、使用には便利である。各国の規定の仕方の違いは、考え方の違いを表している。

こうした差異は鉄筋コンクリートの採用に当たり、設計者の判断を迷わせて採用を躊躇させるので、日本においてもこれ等の規程を制定する必要がある事を示している。

更にコンクリートの施工法の詳細についても欧州各国の示方書の比較を行っているが、この方面では厳しさに違いはあるが實際上大きな違いはない。英国では鉄筋コンクリートの発達やや遅れたが、欧米各国に比べて一般に規制が厳しく、鉄筋に予めモルタルを塗布して配筋する事を推奨しているのが特徴である。仏国では鉄筋として丸鉄と異形鉄の比較をしているが、丸鉄の利点として一定品質のものが容易に入手可能であるとし、異形鉄は入手が随時ではなく、コンクリートのまわりが悪く多くの搗固めが必要で、コンクリートを引き裂くと述べている。独国では丸鉄を使用する場合は必ず密着応力度(注一付着応力度)を検算すべしとなっている。

コンクリートの打継目の施工法として、各国とも継足すべき面を粗に搔起こし、水で洗いセメントを塗って後に、後の混凝土を施工すべしとしている。

また、鉄筋の純かぶりを桁で2cm、床で1cm乃至1.5cmとしているが、環境が違うので現在から見るとやや小さ過ぎて耐久性が劣り、問題を生じていたと考えられる。

(5) 石橋絢彦（工部大学校、明治12年卒）は明治43（1910）年神奈川県より横浜市の吉田橋の設計及び指導を委嘱され、3径間連続のカーン式鉄筋混凝土アーチ橋を採用した。同年11月工学会誌に「鉄筋混凝土通俗説明」¹⁶⁾として、吉田橋にこの橋梁形式を採用した理由を他の工法と比較して詳細に説明している。またカーン式鉄筋混凝土構造の我国での初めての採用であり、この方式のスラブの荷重試験実施の経緯についても述べている。その採用理由は次の通り。

a)鉄筋コンクリート構造はサンフランシスコ地震でも被害少なく、堅固である事が世界に広く知れ渡った。b)横浜市民のため新機軸の橋梁を建設して知識豊富の範とし、新橋の名を後世に残す。c)日本における新鉄筋混凝土橋の使用例として、カーン式鉄筋混凝土橋を建設し、全国の模範として影響を及ぼす。

カーン式鉄筋混凝土を採用した理由としては、「合剪力ニ対スル防禦ヲ備ヘ且施工容易ナルヲ以テナリ」とアメリカの特殊異形鉄筋の効用を記している。

こうした意気込みで設計、試験及び施工をしているが、設計条件として鉄筋混凝土に用いるモルタルの実用耐圧強（許容値）は、 28.1 kg/cm^2 、実用耐伸強は零とし、鉄桿（鉄筋）の実用耐伸強 1125 kg/cm^2 、コンクリートと鉄桿の実用付着力 3.5 kg/cm^2 とされている。

日本産のセメントによるモルタル強やコンクリート強の試験結果を表4-2の通りに示しているが、近時回転窯による製造が行われ、欧州諸国の製品に劣ると雖も品質等一となったと述べ、これ等は明治38（1905）年の農商務省の日本工業試験所の制定したセメント試験方法によるものであるとしている。¹⁶⁾試験結果をCGS単位で表示しているのが珍しい。（表4-2参照）

また、欧米の各種工法による鉄筋コンクリート・アーチ橋の一覧表を掲げているが、鉄筋コンクリート橋に関する情報が、当時としては豊富である事は注目される。¹⁶⁾（表4-3参照）

(6) 柴田畦作（東京帝大土木科、明治29年卒）は、明治38（1905）年工学博士を授与され、明治41（1908）年3月より2年間欧米各国に視察及び留学して、43年に帰朝し、その11月に教授に任ぜられた。翌44（1911）年「鉄筋混凝土に就て」と題して工学会において講演し、それが工学会誌に掲載された。¹⁷⁾これは当時鉄筋混凝土に関する最新の情報であり、工学会でも盛んな討論が行われた。その要点は次の通り。

柴田畦作の欧米の視察及び留学の意見として、各国で鉄筋コンクリートの実験が盛んに行われているが、実験材料のデーターが十分公表されておらず、実験結果が比較検討出来ないのが残念としている。また鉄筋コンクリート理論が純正弾性学の如く、ストレス・ストレイン関係から理論化されているのではなく、実験からの結論で理論が曖昧であると述べており、鋼橋の様な整然たる解析理論を期待している様である。

また、欧米の鉄筋コンクリート構造の現状を次の様に伝えている。

「理論と実験とは非常に不完全な有様であります。所で応用はどう云うやうな方法でやって居るかと申しますと、其用いて居る公式などは十人十色になって居り、同じ公式を用いて居てもコンスタンツなどが矢張り種々様々になって居ります。そこで各国ともに或特種の物に対しましては特種の法律を定めて、法律で或所まで支配するようになって居ります。

表 4-2 我国セメント、モルタル及び
コンクリートの試験結果¹⁶⁾
(日本セメント会社 13 製品平均値)

セメント (単位 kg/cm ²)		モルタル (単位 kg/cm ²)	
試験種別	試験結果	試験種別	試験結果
純粋セメント	一週間 四〇・六 二週間 四六・九 四週間 四八・五 八週間 四九・一 十三週間 四八・七 二十六週間 四七・九	純粋モルタル	一週間 一三・二 二週間 一七・九 四週間 二〇・一 八週間 二二・六 十三週間 二二・六 二十六週間 二二・六
純粋セメント に 純粋モルタル に 対する比	六・二 二五・四 七六 八七 八・四 一〇・一	純粋モルタル に 純粋セメント に 対する比	六・八 二四・四 七四 六・五 六・二

表 4-3 明治 43 (1910) 年頃我国に
知られた欧米の鉄筋コンクリートアーチ橋¹⁶⁾

型式	橋名	橋長	橋幅	橋脚	備考
アーチ橋	ベール・イン・デ・マール	一〇・〇	一・二	二	千八百九十八年竣工
アーチ橋	にんへんぶら	一〇・〇	一・二	二	千八百九十八年竣工
アーチ橋	さるえは	一〇・〇	一・二	二	千八百九十八年竣工
アーチ橋	うわさ	一〇・〇	一・二	二	千八百九十八年竣工
アーチ橋	さるえは	一〇・〇	一・二	二	千八百九十八年竣工
アーチ橋	さるえは	一〇・〇	一・二	二	千八百九十八年竣工
アーチ橋	さるえは	一〇・〇	一・二	二	千八百九十八年竣工
アーチ橋	さるえは	一〇・〇	一・二	二	千八百九十八年竣工
アーチ橋	さるえは	一〇・〇	一・二	二	千八百九十八年竣工
アーチ橋	さるえは	一〇・〇	一・二	二	千八百九十八年竣工

所が其法律もまた今日では寧ろ仮規則になって居りまして、始終変更をして居ります。新しい事実が発見されるとそれに対してまた改良すると云うことになって居ります。勿論此等の仮規則が国により所により非常に相異して居ります。」と記しているが、それにも関わらず鉄筋コンクリート構造の応用は非常に盛んであると述べている。鉄筋コンクリートの理論や実験式は様々で混乱しているが、各種工法で盛んに鉄筋コンクリート構造物が建設されている様子を伝えている。

各国の示方書を比較して具体的に紹介しているが、鉄鋼材料では米国ではハイカーボン・スチールが多く使われておるが、欧州ではこれを使わぬ理由として、強度は高いが脆くて、強度の高い混凝土を使わねば、これを使う効果がないとしている。

また欧州での鉄筋長は 18 m まで使用しており、鉄筋継手構造は重ねるだけ、フックを付けて重ねるだけ、これに更に針金を巻き付けた物の 3 種が行はれているとしている。

欧州では示方書等の規則が整備されて、取り締まりが比較的行はれ、構造物完成後の荷重試験も行はれているので、破損の事故は少なく、米国ではこの点充分に取締られず、不完全なものが多くて失敗例が多い様である。何れにしても、破損の原因はコンクリート構造の固有の弱点ではなく、材料が悪いのか、施工が悪いのか、設計が間違っているかの 3 点であると述べている。

最後に鉄筋コンクリート構造も今後の発展のためには、煉瓦や石材と同様に欧米技術を学んだ専門技術者と専門職人により施工される必要がある事を強調している。

(7) 日比忠彦 (東京帝大土木科、明治 30 年卒) は土木工学科の卒業であるが、建築構造学を専攻し、明治 35 (1902) 年から 2 年間独国で鉄筋コンクリート工学を研究して帰朝し、京都帝大土木科教授に任ぜられた。「鉄筋混凝土講話」¹⁸⁾ は大正元年 8 月の大

学での講演を基にして出版され、京都や欧米での鉄筋コンクリート構造の写真が示されている。

土木建築構造物の広い立場からの鉄筋コンクリート構造の利点について述べているが、建築物への採用の利点として、a)鉄筋混凝土は強力であり、柱を少なくして空間を大きく取れる。また窓を大きく取れるので採光性が良い。b)型枠に応じて自由な造形が出来るので美的価値が産み出される。c)経済性としても断面が煉瓦や石造に比べて $1/2 \sim 1/3$ の断面となり経済性が発揮される。d)サンフランシスコの1906（明治39）年の大地震での被害状況でも証明された通り、鉄筋コンクリートは部材を剛結して一体構造に造られて耐震性は非常に大きい。e)剛結構造であり、建築物の不等沈下にも強い。としている。

8) 後藤佐彦（東京帝大土木科、明治38年卒）は鉄道院に入り、明治42（1909）年早くも「鉄筋コンクリート工法」の著書を発表している。大正5（1916）年英米留学より帰朝して、「英米ニ於ケルこんくりーと工事ニ就テ」と題して土木学会において講演したが、後に土木学会誌に掲載された。¹⁹⁾

この論文は英米両国での鉄筋コンクリート構造の示方書の説明や、この構造の最新の利用状況を設計及び施工に涉って可なり詳細に紹介している。その要点を以下に記する。

設計理論の欧米に於ける混乱は、1907（明治40）年～1908（同41）年欧州の有力なる報告が発せられ、1909（明治42）年の米国での「鉄筋コンクリート連合調査委員会（土木学会、材料試験学会等によるJoint Committee、米国連合会と略称）及び英国王立建築会院が組織した英国連合調査委員会等により、権威ある示方書や検討報告がなされて略納まり、設計理論は応力線を直線と仮定する公式が決まった。示方書の細部には各国で異なる点があるが大略の方針が定まり、鉄筋コンクリート構造が更に大規模に多方面に涉って使用されている事、特に慎重であった鉄道構造物にも盛んに採用されている事を報告している。

理論面での発達、コンクリートの破壊が従来剪断力に基ずくとしていたが、剪断力を伴う腹張力（Diagonal Tension）により生ずる事が発見された。腹張力に対応してスターラップ（Stirrup）等の腹鉄筋（Web Reinforcement）の設計法が重要であるが、直剪力（Direct Shear）を算出して、これを目安とするの外未だ確実なる方法なしとしている。

鉄筋とコンクリートの付着力については、米国ウイスコンシン大学の1908（明治41）年～1909年と、イリノイ大学の1913（大正2）～1914年の報告により、付着抵抗（Adhesive Resistance）と滑動抵抗（Sliding Resistance）の2つに分けられる事が明らかにされた。前者は鉄筋中間部の従来の付着力である。後者は鉄筋両端の定着力であり、前者が主要なものである。この考え方から鉄筋の最小間隔、重ね継ぎ手長、鉄筋最純かぶり、鉄筋両端の定着方法が決められた事が述べられている。

鉄筋コンクリート拱橋設計の考え方として、タンカアノック・クリーク（Tunkhanock-Creek Bridge）鉄道橋が、コンクリート断面に引張を生じない様無筋コンクリート・アーチに近い設計をし、支点基礎の不測の沈下、温度変化の影響、及び凝結に際して生ずるコンクリートの収縮に伴う不測の張力に備えて鉄筋を適宜挿入している。鉄筋の費用は僅かであるが、アーチ橋が遙に負担力が増大するから鉄筋コンクリート構造にすると説明されている。（写真4-1参照）

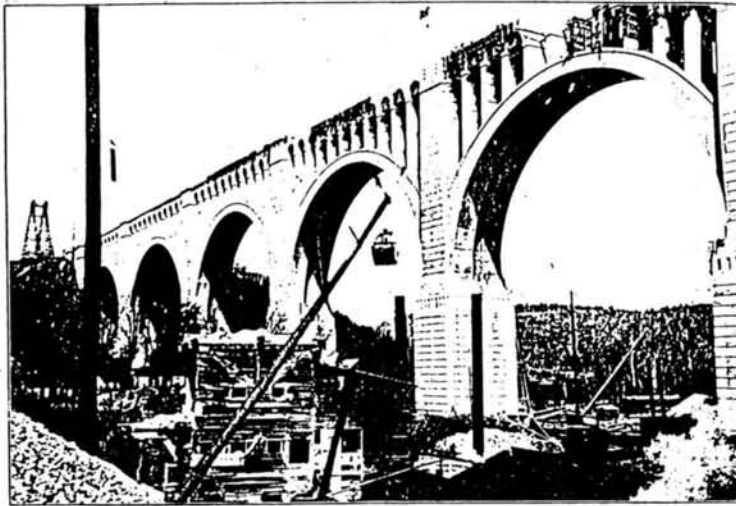


写真 4-1 Tunkhanock Creek Bridge 施工中の米国鉄筋混凝土拱橋¹⁹⁾
(橋長 724 m、最大径間 54.9 m)

当時の英米の鉄筋コンクリート・アーチ橋の設計計算がアーチの図解法の域を出ず、温度変化や乾燥収縮の影響を計算していない事を示しており、過渡期であるため欧州の最小仕事の原理等による精密計算を採用しているものとは異なる状況であった事がわかる。

なお、米国では活荷重による衝撃荷重として公道橋では活荷重の百分の 20 乃至 50 を見込んでおり、鉄道橋では百分の 50 を採用する会社が多く、これを $I = S(300 / L + 300)$ または $I = S^2 / S + D$ (但し I = 衝撃応力、 S = 活荷重大応力、 L = 各部材に於ける最大応力を生ぜしむる荷重載荷の延長、 D = 死荷重大応力、) としている会社もある。

一方鉄筋材料として英国では軟及び中硬鋼が使用され、丸鋼が多く採用されている。米国では中及び高硬度鋼が使用され、各種形状の異形鉄筋が盛んに採用されている。

両者を比較すると、軟鋼は粘靱性に富み、品質一定で入手容易であるが、やや部材が大きくなる。高硬度鋼はやや脆いが、コンクリート中では衝撃小さく危険はない。品質は定まらず、試験が必要であるが、米国では価格が比較的安い。部材やや小さくなり、鉄筋の加工手間はやや小となる。異形鉄筋は付着力を過大に見込み過ぎであり、一般には異形鉄筋を使用する必要はないが、基礎フーチングの支持面積を小さくならしむため付着強度を要する場合、又は収縮及び熱応力をうける所等の場合の外は特別に異形鉄筋を使用する必要なしと結論している。

なお、米国での施工例が多い葺状スラブ構造の基礎配筋施工状況(写真 4-2 参照)及び鋼製型枠による地下道施工状況の写真(写真 4-3 参照)を示している。

鉄筋コンクリート構造の利用では米国鉄道では、函渠が最も多く次いで拱橋及び拱渠であり、次いで橋台、橋脚であった。小径間では床版式橋梁が多く使用され、実例として 4 分割製作した 46 屯の部材を、起重機で現場に据付けて建設した鉄道橋の図を示している。

(図 4-8 参照) このスターラップ形状は、米国に多い W 字形に折曲げた形式である。

鉄筋コンクリート拱橋は小径間では単肋 (Single Rib) が多いが、近来長径間では複肋とするものが多い。拱側 (Spandrel) の構造は径間 24m 以内か、拱矢が径間の十分の一より小なる時は閉側構造で土砂填充 (Spandrel Filling) の構造を採り、径間又は拱矢が大の時は中空とするか、又は壁か柱を設けて開側としている。

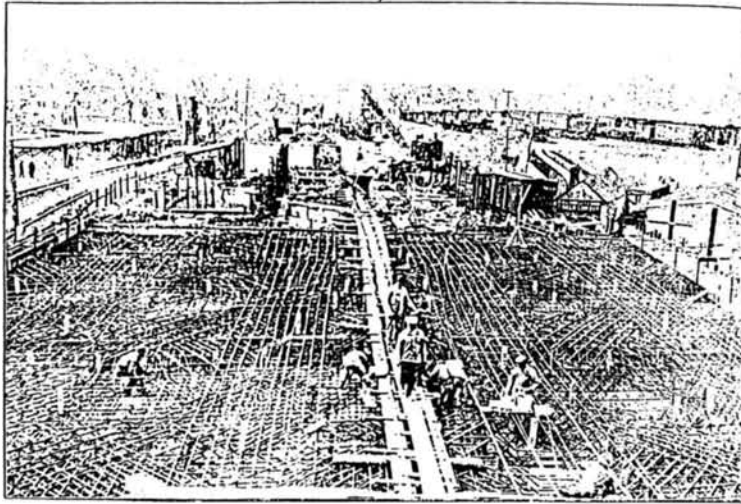


写真4-2 Mushroom Construction South Orand, N.Y.
(基礎部の配筋状況)¹⁹⁾

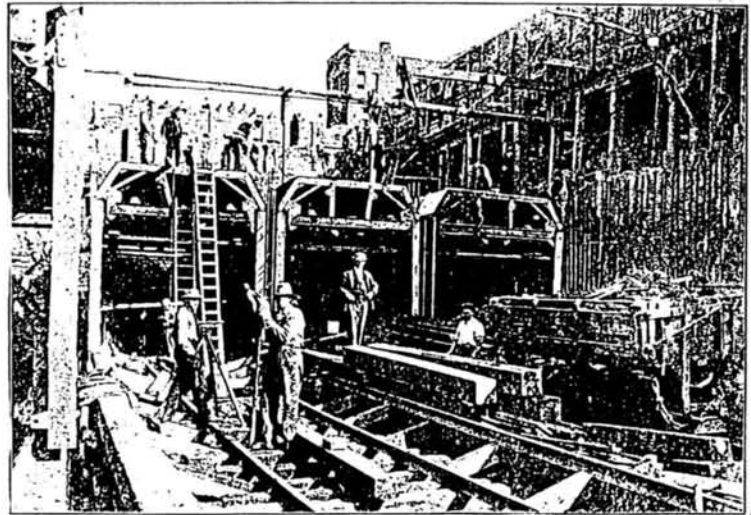
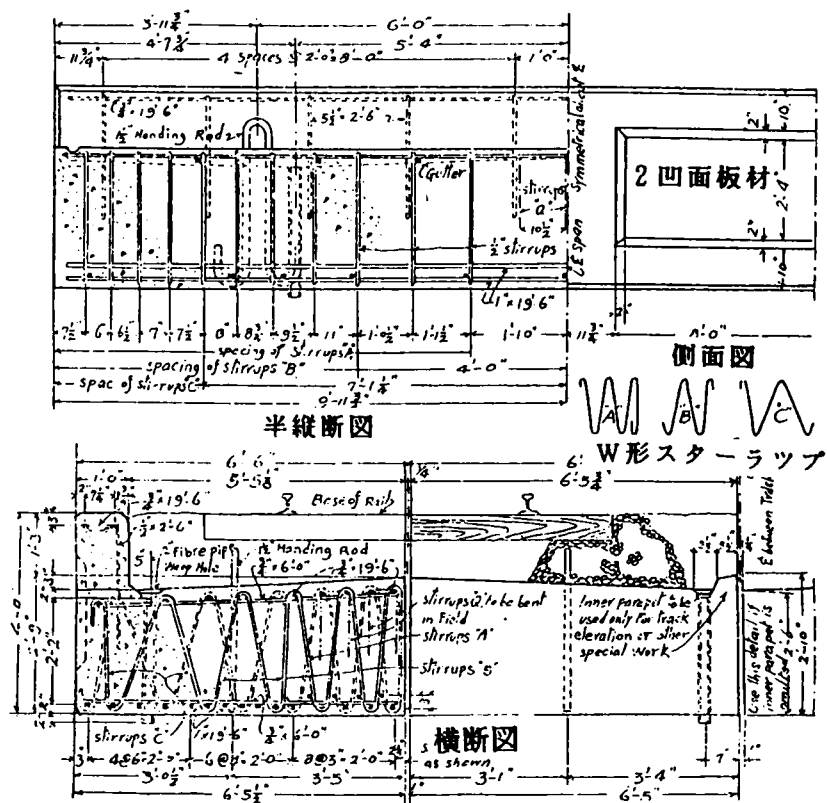


写真4-3 ニューヨーク市の鋼製型枠による地下道の建設¹⁹⁾

鉄筋コンクリートの施工方法についても、英米の材料、混合、型枠、打設の方法の状況を具体的に述べて日本の施工法の改善すべき点を指摘している。コンクリート材料の配合については、米国連合会の示方書により「砂ノ砂利ニ対スル量ハ最大密度ヲ得ルヲ主眼トスベシ。重要ナラサル工事ニアリテハ各自ノ判断ニヨリ是レヲ定メセメントヲ多少増加セバ可ナリ。重要工事ニアリテハ密度試験ヲ行フヘシ。」と記している、コンクリート強度の最大密度説を採用している様子を示している。また施工継ぎ目の施工法では、後打ちコンクリート施工前に前コンクリート面にモルタルを塗布する様に指摘している。

また鉄筋コンクリート・アーチ橋のコンクリート打設順序と、施工目地（接合面）の構造に就いて図4-9の様に示し、楔形接合と溝形接合部は隣接部の施工後7日以上経過してからこれを行うとしている。（図4-9参照）

また鉄筋コンクリート・アーチ橋の側壁に設ける伸縮目地についても、起拱線の直上及びこれと拱頂との間に設ける事が多いとしている。擁壁及び橋梁の胸壁（Parapet）には必ず伸縮接合を設け、その間隔は米国連合会の定めでは、無筋コンクリート壁で8 m～15 m、鉄筋コンクリート壁で15 m～24 mとしている。擁壁の伸縮目地構造として図4-10を



組立式鉄筋コンクリートスラブ（支間20呎）の代表例

図4-8 米国鉄筋混凝土鉄道橋（プレキャスト・スラブ縦方向2分割施工）¹⁹⁾

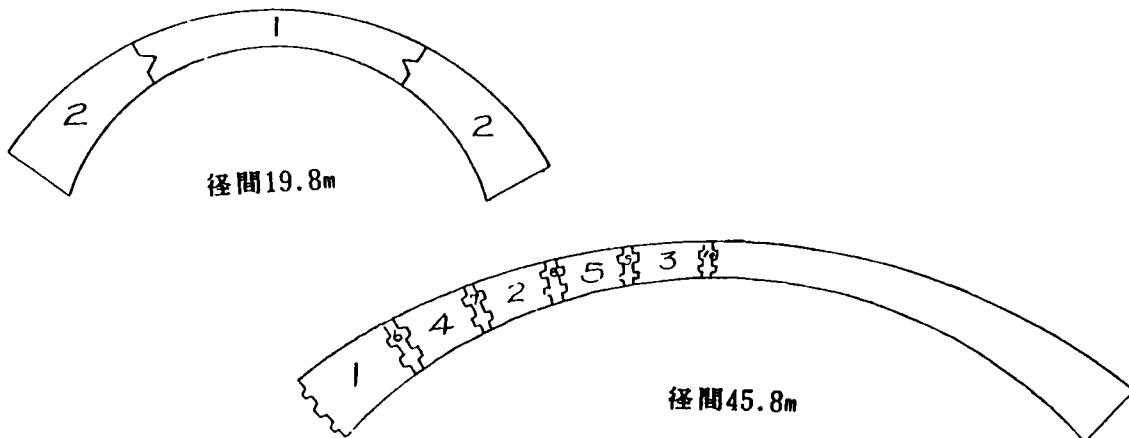


図4-9 鉄筋コンクリートアーチ橋の施工継目と打設順序¹⁹⁾

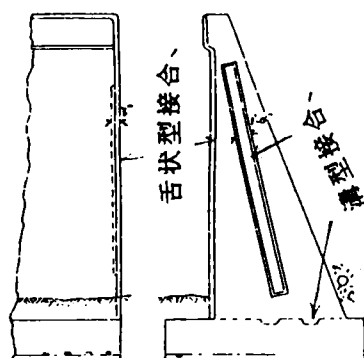


図4-10-1 扶壁式擁壁の伸縮接合（継目）構造¹⁹⁾（溝形及び舌状型）

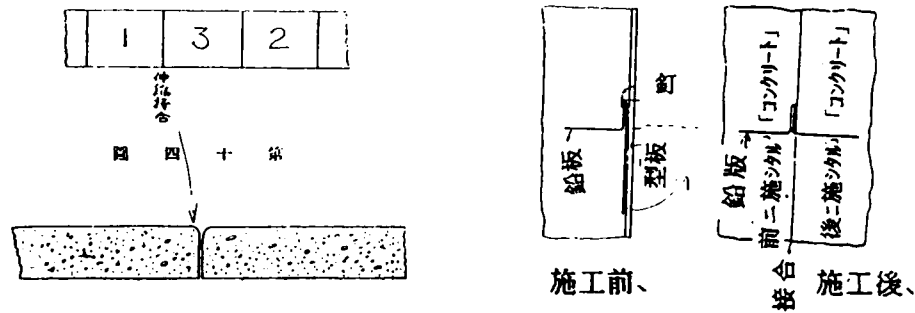


図4-10-2 伸縮接合の防水構造（鉛版使用）¹⁹⁾

示してをり、目地に防水構造を設けて排水は壁面下部の小排水管によるものとし、漏水の水結による危害の外、外面の美観を維持する目的によると云う。（図4-10参照）

後藤佐助は英米の鉄筋コンクリート構造の設計から施工まで具体的な方法を調査し、詳細に述べており、日本の鉄筋コンクリートの実務者には大変参考となる事項を記している。

〔9〕以上8人の明治末期及び大正初期の鉄筋コンクリート構造の先進者の論点を纏めると、明治40年頃以前の広井勇、直木倫太郎、石橋綾彦の論点と、それ以後の大河戸宗治、小川織三、柴田圭作、日比忠彦、後藤佐彦等の論点とは、大きな違いが見られる。

前者では鉄筋コンクリート構造の紹介をしながら、当時の日本では横浜港や大阪港でのコンクリート・ブロックに亀裂が発生した例から、鉄筋コンクリート構造に対する疑念や、早期の採用に反対する議論に対して逐一反論を加えて説明している。更により高い立場から、セメントの生産が多く鉄材の少ない日本では、国家経済の上からも鉄筋コンクリート構造を早期に採用すべき事を、欧米の理論と実施の状況の実例を挙げて主張している。

これに対して、後者では鉄筋コンクリートの導入は、問題はあっても既定の事実として容認し、その設計及び施工上の方法について、欧米の示方書の規定や施工の実例を挙げて具体的に説明している。後者では欧米における鉄筋コンクリート構造の設計理論や施工方法の混乱も、1907（明治40）年頃の権威ある独国（プロシャ）のコンクリート委員会の研究報告や、1909（明治42）年のスイス国での鉄筋コンクリートに関する「調査委員会」の基準書の公表等により、大略納まり方向が定まった事が背景となっている。

明治末期（明治40年以後）には、鉄筋コンクリート構造は鉄とコンクリートの複合構造であり、鉄構造の様な単純な性質でなく複雑な性質を有しており、鋼構造の様に安全率も明確ではないが、応力分布を直線と仮定してコンクリートの引張応力を無視した近似計算で十分安全である事が明確になり、我国でもこの事実は知られる様になった。

しかしなほ、コンクリートの配合理論はフェレー（R. Feret）流の「モルタル 最大密度説」が採用されており、容積配合により水量は気象や、配筋状況、施工条件で適宜決めていた様であり、信頼性あるコンクリートが得られる技術状況ではなかった。但し、明治初中期頃までの硬練りコンクリートは、末期には現場の必要から欧米状況に習って、軟練りに変わっていた様である。

こうして我国の鉄筋コンクリート技術は、欧米の強い影響を受けながら、しかも現場の施工条件に合わせて工夫を加えながら、次第に煉瓦や石造に代わって普及した行った。

4. 3. 明治末期に我国に紹介された欧米の鉄筋コンクリート技術の著書

明治中期から末期にかけて我国の鉄筋コンクリートの先駆者達が参考とした書物は、欧米自体がまだこの技術の研究段階であったので、纏まったものは少ない様である。

吉町太郎一は前述の通り明治33(1900)年6月工学会誌上でクリストフ(P, Christophe)の年報²⁰⁾の一部を紹介しているが、広井勇は明治36(1903)年6月工学会誌上の「鉄筋混凝土橋梁」で、参考書としてP, Christophe「Le Beton Arme ses Applications」とBerger et Guillerme「Ciment Arme」を挙げている。直木倫太郎や柴田畦作の論文もこのクリストフの書物を参考にしている事が窺はれる。

資料によれば²³⁾ 茂庭忠次郎の回顧として「此頃(注一明治37年頃)鉄筋コンクリートに関する文献の如きも、纏まったものは仏語の「クリストフ」の著書位で、其他独逸、亜米利加などの外国雑誌に部分的な研究や報告が散見せらるるのみでありました。英語の「ビーエル」の著書は明治38年に、同「マーシュ」の著書は同39年頃に始めて出版されたと記憶して居ります」と述べている。

この中で述べている様に、最初はフランス語系の書物が多く、鉄筋コンクリートの先駆者達もフランス語の習得に苦勞した様である。英語系の「ビーエル」は Buell and Hill,「Reinforced Concrete」²¹⁾であり、「マーシュ」はCharles F. Marsh「Reinforced Concrete」の事である。なお最初の鉄筋コンクリートの教科書としては、スイス・チューリッヒ工科大学(Züricher Polytechnikum)教授のメルシュ(E, Mörsch)が「Der Betoneisenbau sein Anwendung und Theorie」を1902(明治35)年に出版し、第2版を1906年第3版を1908年に出版しており、我国にも伝えられている。

鉄筋コンクリート分野の定期版行物としては資料によると、²²⁾ この分野で指導的役割を果たした「コンクリートと鉄」(Beton und Eisen)が1901(明治31)年 K.K. Bauratにより創刊され、1905年F.v. Empergerに引継がれている。その他では Le Beton Arme(システム・アンネビック、パリ)、Le Ciment(パリ)、Cement and Engineering News(シカゴ) Cement(ニューヨーク)等が鉄筋コンクリートの発展に合わせて、1900年頃より出版されていた様で、日本の先駆者達はこれ等を参考にしていた。小野田セメント製造の笠井真三の言う「私はシマンと云うフランスの雑誌で」²³⁾ はLe Cimentを指すと考えられる。

なお当時の鉄筋コンクリート技術を集大成した最高の書物は、F.v. Empergerが1907年に出版した大著「Handbuch für Eisenbetonbau」全14巻であろう。²⁴⁾

また、柴田畦作は明治44(1911)年の工学会での講演の追記として、鉄筋コンクリート術試験関係文献として次のものを挙げている。¹⁷⁾

- a) Emperger ; Handbuch für Eisenbetonbau.
- b) Engineering News.
- c) Engineering Record.
- d) Forscherarbeiten auf dem Gebiete des Eisenbetons.
- e) Journal of the Western Society of Engineers.
- f) Proceedings of the American Society of Engineers.

明治末期における鉄筋コンクリート構造の荷重試験は、学術試験として行はれたものは少なく、多くは実設計の予備試験か、又は完成構造物の实地試験であった。文字通り設計構造物の試験か完成構造物の荷重試験であり、測定等も厳密なものではなく、報告書も残っているものは少ない。

4章の台湾での陸軍兵舎の建設に当たり、明治35（1902）年に建設に先立ち兵舎屋根や床の各種コンクリート構造の比較試験をやっている。建築担当主任は福田東吾であったが、試験担当の滝大吉（東京大学造家学科、明治16年卒）が報告している。²⁵⁾ これに依ると、当時考えられる屋根構造として11種類を挙げて可能性ある次の4種について試験している。a)コンクリート弓隆（アーチ）式、b)ローブリック専売偏平式、c)コロンビヤン専売式、d)エキスパンデット・メタル式。試験装置及び供試体構造図は図4-11の2つの図の通りであり、実際の屋根構造に近づけ様と努力しているが、著しく不完全である。試験は数回行う予定であったが、事故のため一回限りの不十分なものとなっている。試験供試体は費用の関係で本来の工法の材料ではなく、入手可能な近似した鉄材を使用して造られておる。コンクリートもセメント1に石灰2等の実用される数種のものを採用している。載荷は台の上に煉瓦を載せる方法で5段階に分けて行はれ、彎曲（撓み）が測定され、破壊まで載荷されている。（図4-11参照）



(地、コンクリート穹隆式)

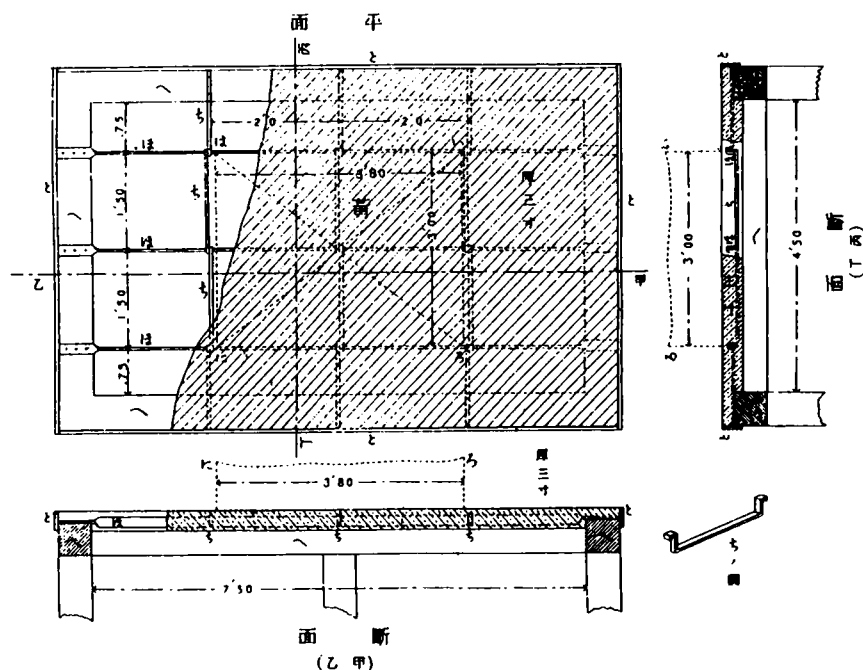


図 4-11-2 台湾陸軍兵舎屋根荷重試験図²⁵⁾

(黄、ローブリグ専売偏平式)

載荷荷重として相当中央荷重を等分布荷重に換算して破壊荷重を計算しており、安全荷重は破壊荷重に対し安全率を 4 として、1 尺角に対して a) 86.5 英斤 b) 94 英斤 c) 86.5 英斤 d) 16 英斤としている。 独国及び米国の当時の基準では建物及び床面一尺角の安全負担荷重は、住家 (米国) 40 英斤、住家 (独国) 66 乃至 90 英斤、学校及び寄宿舎 (米国) 80 英斤である。エキスパンデット・メタル以外は使用可能としているが、決定につ

表 4-4 台湾陸軍兵舎屋根構造予備試験結果一覧表²⁵⁾

記号	構 造 名	コンクリート	相当中央荷重	等分布荷重	破 壊 状 況	安全荷重
地	コンクリート 穹隆 (アーチ) 式	セメント 1 石灰 2 川砂 5 砂利 10	1297 听 (588 kg)	一尺角換算 346 听	アーチ中央破壊 上半部圧潰 下半部伸裂	一尺角等分布 荷重 86.5 听 (427 kg/m ²)
黄	ローブリグ 専売偏平式	セメント 1 石灰 0 川砂 2 砂利 5	1410 听 (639 kg)	376 听	破壊せず 荷重除去後残留 変形 4 分	94 听 (464 kg/m ²)
天	コロンビアン 専売式	セメント 1 石灰 2 川砂 5 砂利 10	1297 听 (588 kg)	一尺角換算 346 听	破壊す	86.5 听 (427 kg/m ²)
玄	エキスパンデット メタル 米国製 14 番 4 吋目	セメント 1 石灰 2 川砂 5 砂利 10	237 听 (125 kg)	一尺角 63 听	中途中止 彎曲 1 寸に達す	一尺角 16 听 (79 kg/m ²)

いては述べていない。(表4-4参照) なおここで英斤とは听と表し、封度の事である。

この荷重試験は費用の関係もあるが、事故のため可なり不完全なものであり、この結果で構造を選択するには可なり無理があるが、兵舎の建設には事故はなかった様である。

(2) 海軍での鉄筋コンクリートの荷重試験。

真島健三郎(札幌農学校工学科、明治29年卒)は明治32(1899)年より佐世保鎮守府建築科に在籍していたが、資料によると²⁶⁾かねてから鉄筋コンクリート構造に関心を持ち、クリストフ(P, Christophe)の専門書などで研究していた。明治36(1903)年9月から翌年3月まで欧米視察の機会を得て、鉄筋コンクリート構造等を視察し、この方面の資料や情報を得て来ている。荷重試験については次の様に述べている。

「斯様に数は少なかったが若干実物にも接触し得たので、帰朝後先ず自分に関係の厚い船渠方面の建物に試みんと思ひ立ち、第一着手として上長の同意を得る方便として、30尺計りのT形桁を製作加重試験を行つたのであるが、之が存外なく当って、容易に上長の同意を得られ、十川君の思い出に記載されている建物や煙突を純鉄筋コンクリートとして始めて実現するに至つたのである。」これは明治38(1905)年佐世保船渠の気筒室と汽罐室を、鉄筋コンクリート構造で建設するために明治37年に行った予備試験であるが、詳細は不明である。明治32(1899)年から44年まで佐世保鎮守府の建築科長は吉村長作(工部大学校土木科明治18年卒)であった。彼は元長崎県工師として中島川変流(第一期長崎港湾改良工事)や、長崎水道の建設で活躍しており、この荷重試験は長崎県下の先進土木技術者にも公開されたと推定される。日本では早期の鉄筋コンクリート橋の長崎県の佐世保橋(明治39年)岳下橋(明治39年)や長崎市の新地橋(明治38年)梅香崎橋(明治40年)等の建設に影響を与えたと考えられる。²⁹⁾

この他呉鎮守府の建築課技手友松仙蔵が、明治43年頃軍港施設の鉄筋混凝土構造物建設に先立ち、この構造の単純床版の荷重試験を行った事を著書²⁷⁾の中の写真4-4で示している。試験結果が示されておるが、多数の傾斜亀裂が発生しており、肋筋が少ない為と見られる。鎮守府内での試験であり、他への影響はなかったと見られる。(図4-12参照)

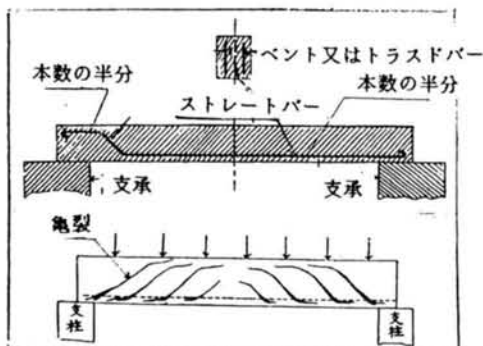


写真4-4 鉄筋混凝土版桁荷重試験²⁷⁾

図4-12 鉄筋混凝土版桁荷重試験と配筋及び亀裂²⁷⁾

供試体：幅61cm、高さ26cm、長3m、支間2.4m
コンクリート(1:2:2.5)経日数30日
(呉鎮守府、明治43年、友松仙蔵)

設計荷重：0.39t/m²(鉄筋8-φ13)
試験荷重：1.6t/m²(中央撓み1.9cm)
破壊荷重：2.0t/m²(中央撓み3.2cm)

(3) 京都市商品陳列所の床版荷重試験。

明治37年頃京都商品陳列所が近代建築として岡崎公園内に建設される事になり、当時英仏の留学から帰朝していた京都高等工芸学校建築科教授武田五一に設計が依頼された。

彼は同じ頃ドイツに留学し鉄筋コンクリート構造について研究して帰朝していた京都帝大土木科教授で、建築構造学専門の日比忠彦に建築構造の設計を依頼し、自身は建築の全体の設計を担当した。資料によると²⁸⁾当時鉄筋コンクリート構造は欧米でも評価が定まっておらず安全性が疑問視されており、陳列所の建築構造は壁や柱は煉瓦構造とし、床構造だけが鉄筋コンクリートを採用された。

日比忠彦はこの床構造として仏人モニエ (J. Monier) が1881年特許を取った、I字型鉄桁の間にアーチ形の鉄筋コンクリート床版を有するモニエ・アーチスラブ (Monier Gewölb) を採用している。この構造は欧州では建築床構造に多用され、図4-13の様な構造であり、拱矢比は約1/10を有する特徴がある。写真4-5は京都商品陳列所の床構造の施工状況である。¹⁸⁾資料によれば、建築施工に先立って多数の土木及び建築技術者を集めてこの形式の2m角のスラブの載荷試験が実施され(写真4-6参照)、設計者の日比忠彦教授もそのスラブの強い事に驚いていたと言う。²⁸⁾しかしこの試験の結果の詳細は報告されていないので不明である。この試験後この構造は橋梁構造にも応用され、京都府では「鉄筋橋」と呼ばれて小径間の橋梁に多用された。²⁹⁾(図4-13、写真4-5及び4-6参照)

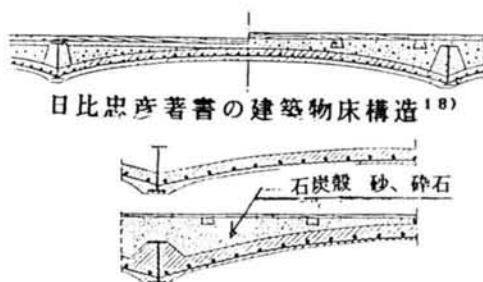


図4-13 モニエ式アーチスラブの床構造 (建築用) ²⁹⁾

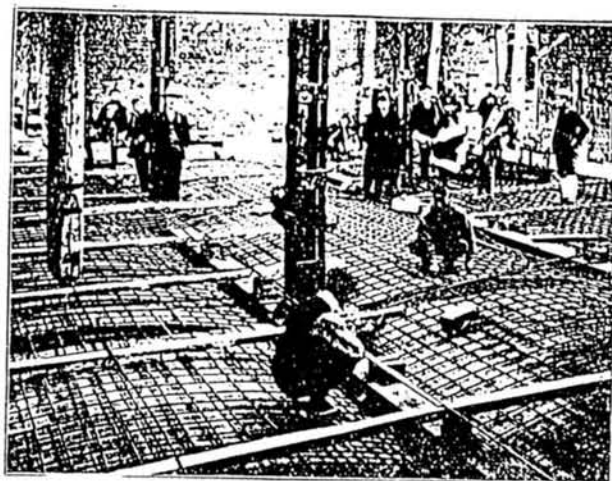


写真4-5 京都商品陳列所床構造施工中 (モニエ式アーチスラブ) ¹⁸⁾

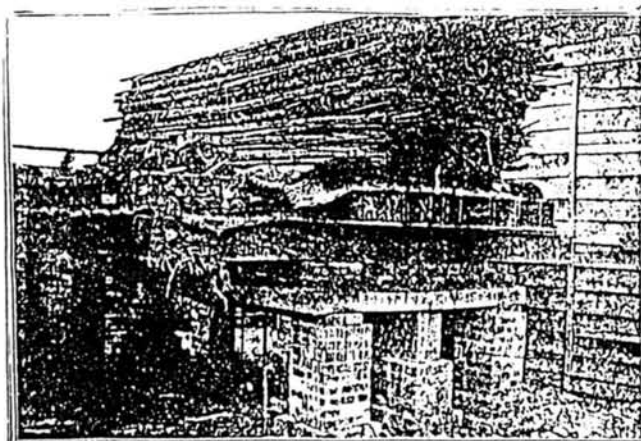


写真 4-6 モニエ式アーチスラブの荷重試験¹⁸⁾
(明治 38 年京都商品陳列所予備荷重試験)

(4) 東京大学における鉄筋混凝土に関する実験。(第一回報告)

この実験は震災予防調査会の委託により委員である広井勇と臨時委員柴田睦作により明治 39 (1906) 年から行はれ 41 年 4 月に報告された。³⁰⁾ 目的は鉄筋混凝土が耐震的で経済的であり、将来広く採用せらるるを予期し、荷重に対しその強弱を算定する方法を確立し、また混凝土も製法に関する疑問点を解決すると言うものであった。

実験の予定として次の種類が挙げられているが、その内 a) と b) だけが報告されている。

- a) 混凝土ノ製法ト抗压強度ノ関係。
- b) 膠泥及混凝土ノ強度及弾性。
- c) 鉄筋混凝土桁ノ強度。
- d) 鉄筋混凝土拱ノ強度。

この試験は我国の大学で行われたコンクリートに関する初めての学術的試験であり、材料の試験からコンクリート供試体の製法及び試験法まで厳密に行われた。

1) 混凝土ノ製法ト抗压強度ノ関係。

混凝土の製法として搗固法と練込法とあり、前者は十握立方の型枠に塊容積の 100 分の 13 乃至 15 に当たる水量を加えた混凝土を、厚さ約 3 握毎に槌で表面に水が滲出するまで打固めた後に掻き起こし、さらに次層を加えた。後者は混和水量を 100 分の 19 乃至 21 とし、コンクリートの自重による圧力で流こんだ。抗压実験は「バクトン」試験機により行っている。コンクリートは玉砂利 (甲) 碎石 (乙) 玉砂利、碎石半々 (丙) を使用し、配合を変えて 9 種のコンクリートにつき両製法を比較しており、抗压強度の平均値は確かに搗固法のコンクリートの方が高い。(表 4-5 参照)

2) 抗压実験の内 a) 抗压強度試験では甲、乙、丙のコンクリートの 2 ケ月、6 ケ月、2 年の十握立方の供試体の 6 個中の最高 3 個の平均値を示している。(表 4-6 参照)

またコンクリートの配合別の「応力度-変形度」の測定結果も示している。(表 4-7)

b) 抗压弾性実験では、膠泥 (注-モルタル) のセメントと砂量の比 S を変えた供試体で応力度 ($x \text{ kg/cm}^2$) と変形度 ($y \times 10^{-5}$ 倍) を測定し、配合毎に両者の測定資料から最小自乗法で関係式 $y = ax + c$ を求めている。(図 4-14 参照) また、上記実験から上記 S と係数 a の関係を最小自乗法により $20a - 8.95 = S^2$ として求めている。(図 4-15 参照)

表 4-5 各種粗骨材による配合別混凝土抗強度試験³⁰⁾ (供試体 10 瓩立方体搗固法)

抗壓強度試驗成績表 (一方糶ニ對スル肝)

配 合 (一、二、三)

砂石種別	二ヶ月	六ヶ月	二ヶ年
砂利	一八六、八	一五九、二	一九九、七
碎石	二二〇、五	一九〇、二	二一二、〇
砂利半碎石半	二〇七、〇	二三五、五	一九四、三
各種平均	二〇一、四	一九五、〇	二〇二、〇

配 合 (一、二、四)

砂石種別	二ヶ月	六ヶ月	二ヶ年
砂利	一七九、一	二六二、五	一九三、八
碎石	二二七、六	二二九、五	二三九、四
砂利半碎石半	一八六、二	二二五、七	二六六、八
各種平均	一九四、三	二三九、三	二三三、三

配 合 (一、二、五)

砂石種別	二ヶ月	六ヶ月	二ヶ年
砂利	一五六、五	一九一、二	一五一、五
碎石	一八三、八	一四〇、二	二五七、八
砂利半碎石半	二一二、二	二五七、四	二六八、一
各種平均	一八四、二	一九六、三	二二五、八

抗壓強度試験成績表 (一方瓩ニ對スル瓩)

表 4-6 モルタル配合別応力度-変形測定³⁰⁾

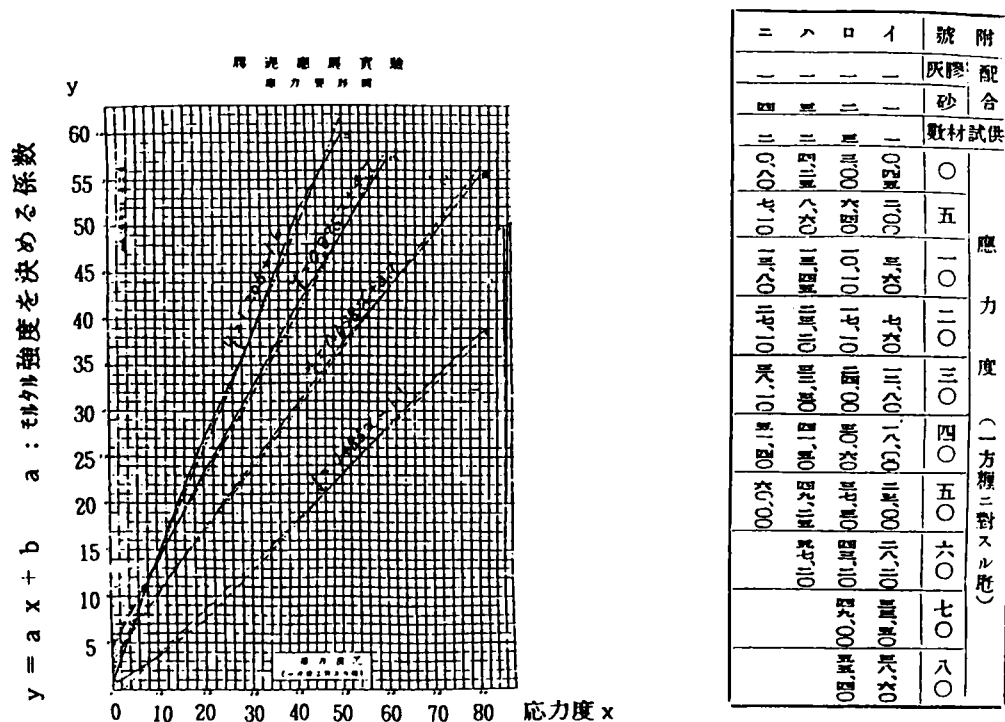


図 4-14 モルタル配合別応力度-変形度関係図³⁰⁾

(y 変形度 (10 万倍) x: 応力度 kg/cm²)

こうした実験値の関係式を統計処理により求めたのは土木分野では始めてと考えられる。次に同様にして混凝土の応力度と変形度の測定を行い、7 種の配合の平均値の関係式として $y = 0.68x + 3.62$ を求めている。(図 4-16 参照) 載荷時だけでなく除荷時の測定も行っており、学術的試験として他の実用的試験とは異なるものであった。

(応力度—変形度測定表、長45㎜断面10㎜角)

變形全長ニ對スル比 (十萬倍)

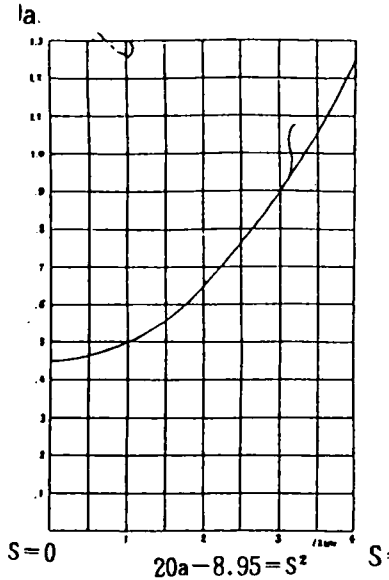


図4-15モルタルの砂の割合 (S) と
モルタル強度を決める係数 (a) との関係式³⁰⁾

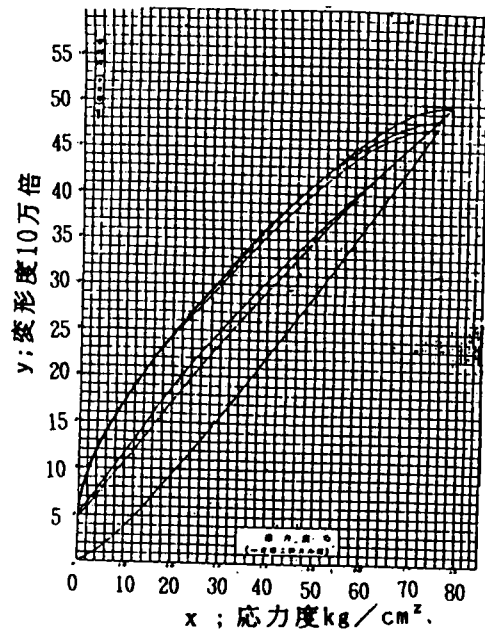


図 4-16 混凝土の応力度-変形度関係図³⁰⁾
(コンクリート配合 1 : 2 : 4)

(5) 名古屋市下水道での鉄筋コンクリート下水道管の荷重試験。

名古屋市は明治32（1899）年に、愛知県技師上田敏（帝大土木科、明治19年卒）に上下水道布設工事の計画を依頼し、明治40（1907）に至り「水道調査事務所」を設置して本格的な調査をはじめた。茂庭忠次郎（東京帝大土木科、明治37年卒）は上田敏の下で明治41年5月から11月に掛けて、鉄筋コンクリート下水道管の荷重試験を実施し、工学会誌に発表している。^{31）} 目的は採用する鉄筋コンクリート下水道管の構造、配合、製造と強度の関係を知る為に実施したもので、測定器具の不備はあるが当時としては細心の注意を払い詳細な試験を行っている。

表 4-8 鉄筋混凝土下水管荷重試験供試体一覧表³¹⁾

内径一尺七寸五分管 (内径 53 cm 厚さ 5.2 cm)

番号	配合	製法	鉄筋	製造所	試験場所	試験年月日	試験日数
第一號	1, 2, 3	流込川	01-03	庄内川	流込川	六月二日	七月廿七日 178
第二號	1, 2, 4	流込川	02-05	南通川	流込川	六月二日	七月廿七日 171
第三號	1, 2, 5	流込川	03-03	庄内川	流込川	六月二日	七月廿七日 170
第四號	1, 2, 6	流込川	—	—	流込川	六月二日	七月廿七日 168

内径二尺管 (内径 61 cm 厚さ 5.8 cm)

第一號	1, 2, 3	南通川	—	—	流込川	五月廿一日	七月廿七日 146
第二號	1, 2, 4	流込川	01-03	庄内川	流込川	五月廿一日	七月廿七日 151
第三號	1, 2, 5	庄内川	—	—	流込川	五月廿一日	七月廿七日 165

内径四尺五寸管 (内径 136 cm 厚さ 11.2 cm)

番号	配合	製法	鉄筋	製造所	試験場所	試験年月日	試験日数
1	1, 2, 3	南通川	01-03	南通川	流込川	七月十四日	十一月廿七日 129

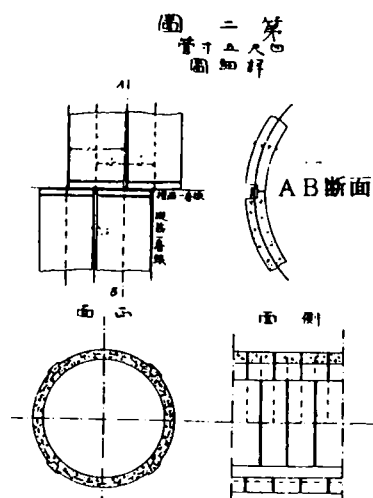
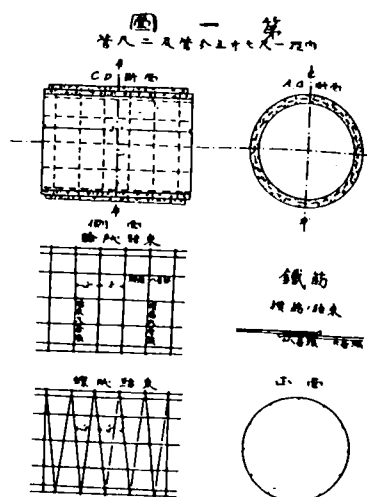


図 4-17-1 鉄筋混凝土下水管荷重試験³¹⁾ 図 4-17-2 鉄筋混凝土下水管荷重試験³¹⁾

(供試体構造図、内径 53 cm 及び 61 cm)

(組立式供試体、内径 136 cm)

供試体は内径 53 cm、4 体。内径 61 cm、3 体。内径 136 cm の 4 分割組立式 1 体である。コンクリート配合を変化させ、製法を軟練り (流込法) と硬練り (搗固法) と変化させ、鉄筋の組立法を 2 種に変化させているが、表 4-8 に供試体の一覧表を示す。また図 4-17 に鉄筋混凝土下水管の各種構造図を示す。またこれ等の荷重試験の状況を写真 4-7 に示す。荷重は写真 4-7 の様にコンクリート・ブロックを載荷して行はれた。

荷重試験結果は表 4-8 の一覧表の通りであり、結果の結論は次の通りであった。

a) 鉄筋混凝土管の破壊荷重は、初期亀裂発生荷重の約 2 倍であり、破壊荷重の二分の一を実用荷重とすれば良い。混凝土の空隙が無く鉄筋との付着が良好なら、初期亀裂時の 2 倍以上の破壊荷重があり徐々に破壊する。

b) 1 : 2 : 4 の前後の配合は実利的であり、これよりセメントが多い硬練りは搗固めが不便で、空隙を生じ易く鉄筋との付着力が弱く、砂利の径は構造厚さの五分の一以下で適宜加減する必要あり。

表 4－9 鉄筋混凝土下水管荷重試験結果一覧表³¹⁾

管 種	内 径 (cm)	番 号	初期亀裂荷重 A (ton)	長一尺ニ対シ 実用応力度	破壊荷重 B (ton)	長一尺ニ対シ 破壊応力度	荷重比 B/A	最大荷 重状況
鉄筋混凝土管	53	第一号	2.49	0.83 t	5.40	1.80 t	2.16	徐破壊
同 上	同	第二号	2.19	0.93	4.29	1.43	1.93	徐破壊
同 上	同	第三号	2.70	0.90	5.61	1.87	2.07	急破壊
鉄筋モルタル管	同	第四号	2.31	0.77	4.89	1.63	2.10	
鉄筋混凝土管	61	第一号	2.49	0.83	—	—	—	非破壊
同 上	同	第二号	3.39	1.13	—	—	—	非破壊
混凝土管	同	第三号	0.99	0.33	0.99	0.33	1.0	急破壊
鉄筋組立管	136		15.60	5.20	—	—	—	非破壊

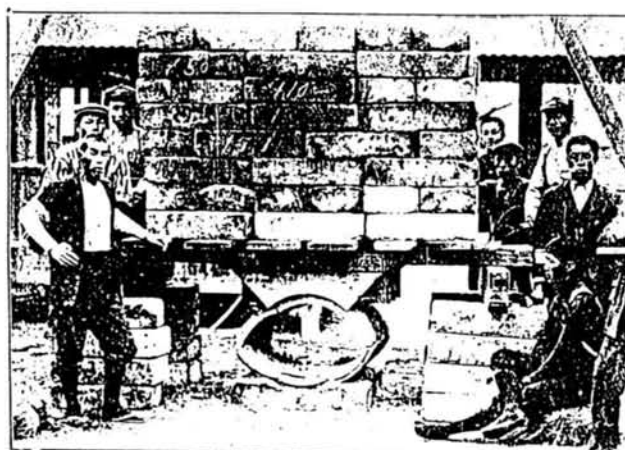


写真 4－7 名古屋市下水管荷重試験（第 2 号）³¹⁾（内径 53 cm 破壊状況）

- c) 硬練りで搗固法による場合は、軟練りで流込法による混凝土より良好な結果を得るが、極端な硬練りは返って空隙を生じ易く、破壊が早く生ずる傾向あり。
- d) 鉄筋は混凝土で完全に包被されれば酸化の恐れはない。鉄筋の縦横相互の緊結は、応力度に大きな影響を与えない様である。
- e) 亀裂は最初に管の応張力を生ずる部分に発生し、荷重の増大に従い暫次拡大してその数を増すが、位置は管の直径（注一頂部及び底部）ではなく、その両側に発生する。
- f) 良好な配合と製作の鉄筋混凝土管の変形は、その破壊荷重の直前にはその内径に対し縦四十分の一、横三十分の一以上に達する事が出来る。
- g) 無筋混凝土管は甚だ急激に破壊し、亀裂発生と破壊は略同時であり、実用荷重も鉄筋混凝土管に比べて遙に小さい。

以上が名古屋市における最初の鉄筋コンクリート下水道管の荷重試験の結果であるが、初期亀裂や、破壊荷重の大きさや状況を観察して測定し、この管の配合、製造及び鉄筋とコンクリートの破壊状況との関係を調査して判断している。変形測定方法に不備はあった

なお、この試験結果の報告は、「工業雑誌」にも掲載されている。³²⁾

この荷重試験を担当した坂田時和（第三高等学校土木科、明治31年卒）は、第2次長崎港湾改良工事で、星野一太郎、原田碧の下でコンクリート工事を担当したが、²⁹⁾ 明治38（1905）年大阪市水道課に転じ、技術顧問京都帝大教授大藤高彦の指導で、大阪市の下水道改良計画を担当していた。この試験の目的は、大阪市内で採用予定の価格上で有利なセメントの一部に火山灰等を代用したモルタルによる、鉄筋モルタル製の下水道管の強度を知るために明治42（1909）年行はれた。下水道管は内径55cm以上91cm未満の数種が使用予定であった。³³⁾

鉄筋モルタル管のモルタルとしては、セメント+砂、セメント+火山灰+砂、セメント+スラグ+火山灰+砂、と普通コンクリートで合計7種について行はれたが、水量は総重量の一割九分と二割であった。材料試験結果を表4-10に、各種モルタル配合の例を表4-11に示す。(表4-10、表4-11)水量に言及しているのは注目される。

材料試驗結果³³⁾

材料試驗成績表					
材料名	配合	耐伸強	抗張強	伸長	摘要
モルタル	セメント 七五〇、 灰山塊一 九〇、 砂二九七、八	七日廿八日		愛知 セメント	
同	セメント 火石灰 〇〇、三 七、三二八、八			同上	
同	セメント 砂 一一七〇、八 三一〇、五			同上	
同	セメント 火山灰 西五〇、五 二三〇、〇 二九二、〇			大板 セメント	
鋼筋	六分		每平方時に付 二割五分		

表 4-1-1 大阪市下水管荷重試驗排列配合表³³⁾

材料名	容積割合	重量割合	備考
セメント	一	一二七〇	第一號に同じ
砂	三	四六八三	第一號に同じ
水		一一、七	総重量ノ二割

第六號

三月十七日製造
四月二十一日破砕
經過日數三十五日

材料名	容積割合	重量割合	備考
セメント	一	八一三	第四號に同じ
スラック 火山灰	一	六六、一	第一號に同じ
砂	五	三六〇、四	第一號に同じ
水		七七、四	總重量の一割五分

第七號

三月三十一日製造
四月二十八日破砕
經過日數二十八日

材料名	容積割合	重量割合	備考
セメント	一、	七八〇	第四號に同じ
火山灰	〇、五	二七、六	第二號に同じ
砂	四、五	三二、四	第一號に同じ
水		八一、七	總重量の一割九分

荷重試験の結果の一例を表4-12に示し、亀裂の発生状況の例を図4-20に示す。

- 82 -

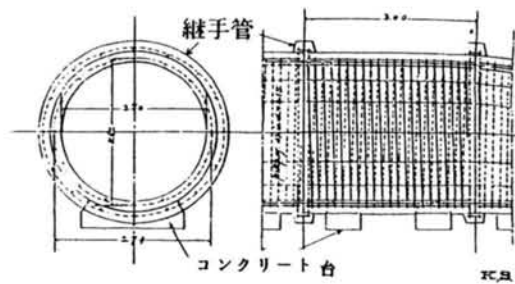


図4-18 大阪市モルタル下水管荷重試験³³⁾

(供試体構造図、内径76cm)

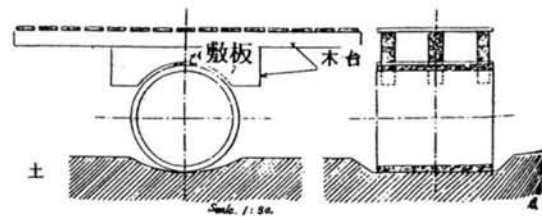


図4-19 大阪市モルタル下水管荷重試験³³⁾

(供試体載荷図)

表4-12 大阪市モルタル下水管荷重試験測定例(3号管、4号管)³³⁾

第四號管試験成績										第三號管試験成績									
試体番号	試体形状	試体寸法	試体重量	試体容積	試体比重	試体強度	試体変形	試体破壊	試体備考	試体番号	試体形状	試体寸法	試体重量	試体容積	試体比重	試体強度	試体変形	試体破壊	試体備考
第一	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0	第一	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0
第二	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0	第二	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0
第三	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0	第三	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0
第四	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0	第四	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0
第五	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0	第五	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0
第六	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0	第六	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0
第七	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0	第七	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0
第八	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0	第八	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0
第九	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0	第九	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0
第十	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0	第十	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0
第十一	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0	第十一	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0
第十二	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0	第十二	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0
第十三	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0	第十三	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0
第十四	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0	第十四	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0
第十五	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0	第十五	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0
第十六	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0	第十六	円形	φ76	10.0	0.001	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0

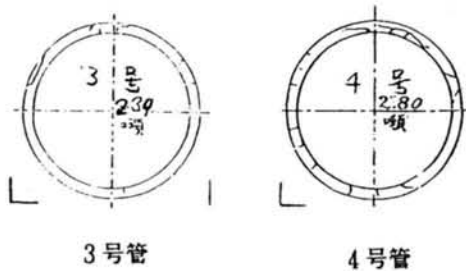


図4-20 大阪市モルタル下水管荷重試験図

(破壊時亀裂状況)³³⁾

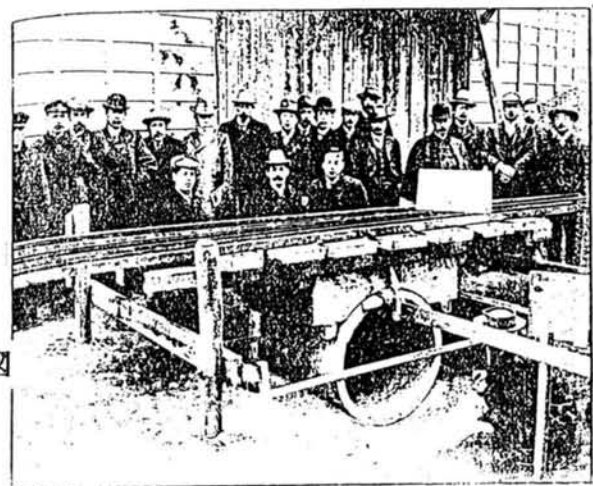


写真4-8 大阪市鉄筋モルタル下水管荷重試験(公開荷重試験)³³⁾

て集合荷重を作用させている為と見られる。試験結果の総括表を表4-13に示す。

なお、報告では下水道管の受ける圧力を幾つかの仮定の下に推算して、鉄筋モルタル管の安全率が3にやや不足するので、管厚を管内径の十分の一まで厚くする事になっている。

しかし、下水道管の受ける圧力が地中深さ5mで0になると仮定した(当時の下水管の設計計算はこの様に仮定していたと見られる。³⁷⁾ 推定計算仮定に問題があり推算結果は妥当でない。しかし、初めての鉄筋モルタル管の採用に当たって、荷重試験を実施して構造安全性の判断資料とした事は妥当と考えられる。

表 4 - 1 3 鉄筋モルタル下水管荷重試験結果一覧表³³⁾

(大阪市下水道、明治 4 2 年)

管 種	番 号	供試体配合比 (容積比)					C/W ※ (%)	初期亀裂 荷重 (屯)	破壊荷重 (屯)	備 考
		C	火山灰	石灰	砂	砂利				
鉄筋モルタル管	第 1 号	1	1	0	5	0	7 2	1. 6 1	2. 0 8	底部亀裂徐破壊
同 上	第 2 号	1	0. 7	. 3	5	0	6 4	0. 3 6	1. 2 9	敷板撤去以下同
同 上	第 3 号	1	0	0	3	0	1 0 4	1. 2 9	2. 6 7	底頂部亀裂
鉄筋混泥土管	第 4 号	1	0	0	2	4	2 4 9	0. 6 7	2. 7 9	頂部亀裂徐破壊
混泥土管	第 5 号	1	0	0	2	4	8 0	0. 6 1	0. 6 1	亀裂同時破壊
鉄筋モルタル管	第 6 号	1	1	0	5	0	1 0 5	1. 3 2	—	破壊せず
同 上	第 7 号	1	0. 5	0	4.5	0	9 6	1. 7 9	—	破壊せず

※ C/W : 配合のセメントと水の重量比 (%)

(7) 石橋絢彦の吉田橋に先立つ床版荷重試験。

石橋絢彦は横浜市の鉄筋コンクリート・アーチ橋の吉田橋にカーン・バー (Kan-Bar) を採用するに先立ち、明治 4 2 (1909) 年カーン式鉄筋コンクリート T 桁の荷重試験を実施し、工学会誌に詳細な報告を行っている。³⁴⁾ この試験の実施理由や経過については資料¹⁶⁾ に述べておるが、この中では試験方法や結果について詳細に記録しており、当時としては厳密な荷重試験をやっている。セメント及びコンクリートの試験成績は表 4 - 1 2 の通りであった。セメントは東京深川浅野セメントを使用し、標準砂を用いてモルタルを製造しその耐伸力及び耐圧力等を試験している。鉄材は米国トラスドスチール・コンクリート社製カーン式トラスド桿及びリップ鉄の 2 種を使用し、図 4 - 2 1 - 1 の様な

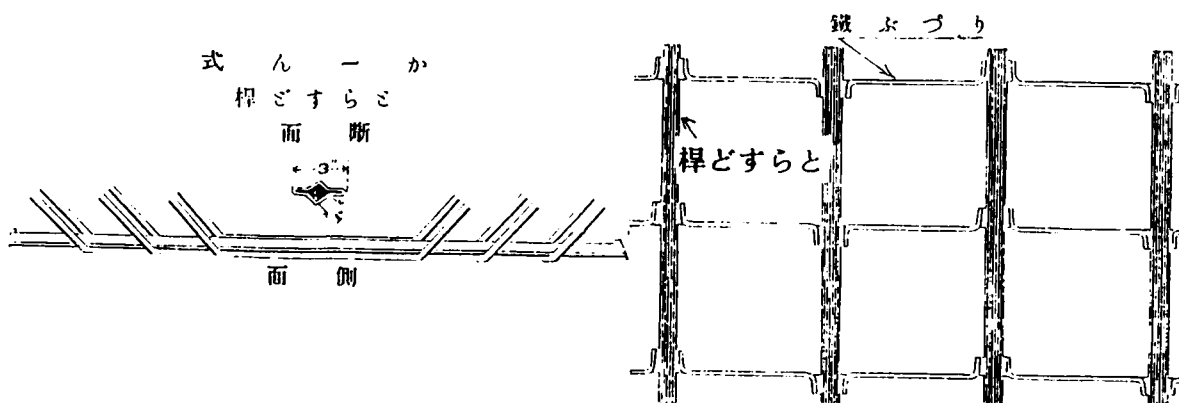


図 4 - 2 1 - 1 カーン式トラスド桿とリップ鉄の配置³⁴⁾

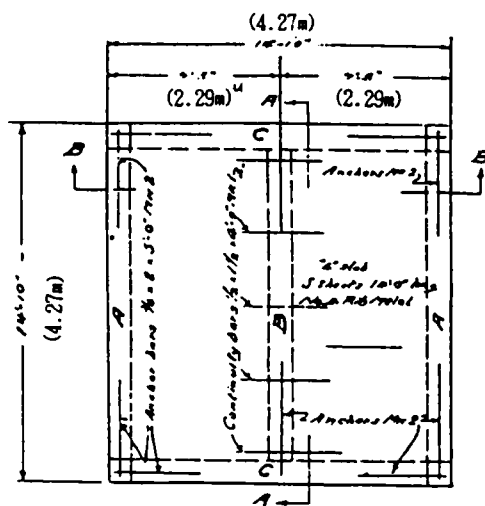
(カーン式鉄筋混凝土T桁荷重試験用)

(載荷重 431 t の状況)

(亀裂状況の調査中)

載荷方法は鉄道院から借用の軌条を使用し、中央部14呎7吋半(約4.5m)四方の載荷版上で5段階に分けて、写真4-9の様に載荷している。撓みの測定はA, B, Cの3本の梁の各支間中央に特製の精密撓度計を設置して、載荷時及び荷重除去時の両方の測定を

A 梁：兩外主桁
B 梁：中主桁
C 梁：兩橫梁



平面

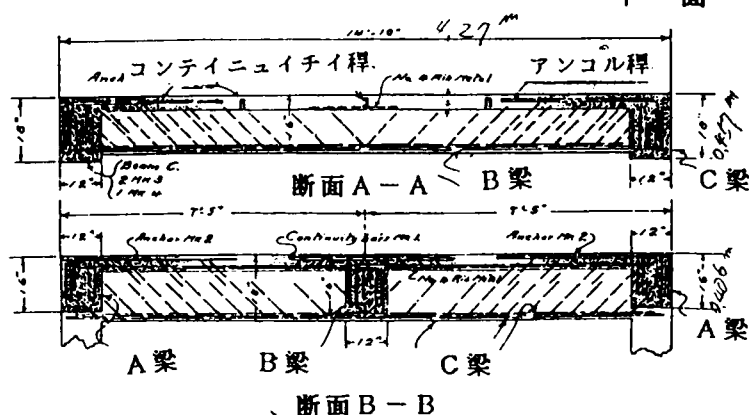


図4-21 荷重試験用カーン式T桁供試体³⁴⁾

であった。c)180屯載荷で新亀裂発生、3隅点で縦間隙が生じた（アンクル（Anchor）棒とは無関係）d)180屯載荷で横梁と床版の境に沿って亀裂発生（リップ鉄とトラスト棒との結び付き不十分を示す）e)B梁の上面に亀裂発生（ここにコンテヌイター（Continuity）棒が5本入っているにも関わらず）。

試験結果の解析を見ると、a) 亀裂状況から実際の荷重状況や、配筋の妥当性を判断しているのは妥当である。b) 試験結果を陸軍少佐セドン氏の実験結果を基に荷重分配を解析し、エリ・ホアイト氏の仮定により、コンクリート及び鉄樫の発生応力を計算しているが、(計算法は示されていない) 測定値が少なく比較して断定するにはやや無理がある。c) 3 本梁で載荷重が 30 呎の軌条では、等分布荷重とはならず、載荷板があっても両端梁に荷重が集中して床板にはあまり掛からない。床板の鉄筋が少ないのに亀裂の発生が少ないのはこのためと考えられる。d) 桁の支点構造に短柱が付いており、単純支持とは異なって、荷重は端桁に集中する。(写真 4-9 参照)

この荷重試験は吉田橋の床組構造をモデルとして試験したと推定されるが、「試験欠点」に書いている様に「試験ノ眼目ハ床ニ載セタル重量併ニ三梁ノ撓度ヲ量リ床ヲ破壊スベキ度ヲ量ラントスルニ在レバ……」であれば、供試体や載荷方法を目的に沿った構造とす

鐵筋混凝土荷重試驗圖

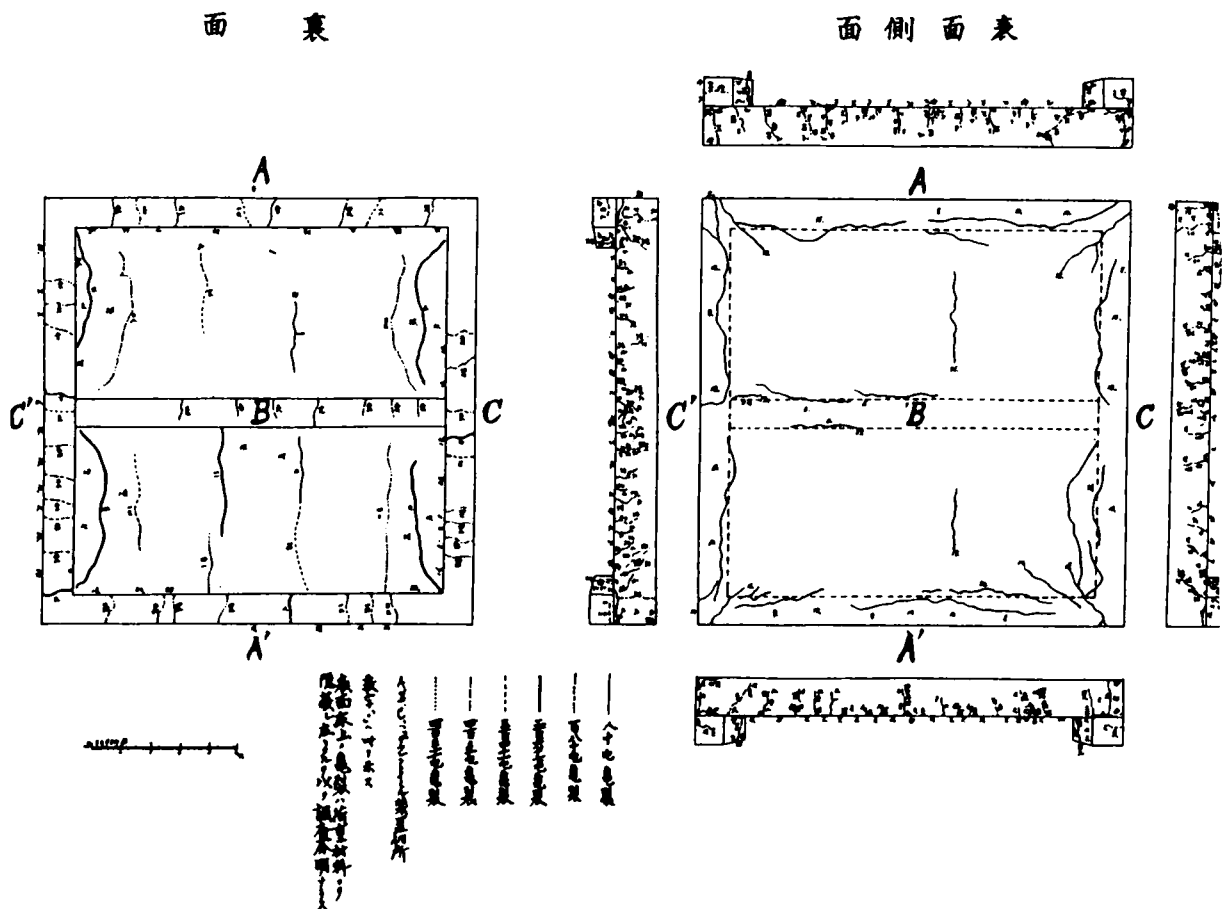


図4-22 T桁荷重試験、亀裂發生狀況図³⁴⁾

れば、もっと良い試験結果が得られていたと考えられる。

しかしながら、材料試験、載荷試験方法や測定値も詳細に報告されており、当時としては模範的な荷重試験であったと考えられる。

(8) 東京市下水道での鉄筋混凝土管の荷重試験

大正2年から3年に掛けて東京市臨時下水改良課で行はれた、鉄筋混凝土下水道管の荷重試験の結果を、担当の小野栄作（東京帝大土木科、明治43年卒）が土木学会誌に報告している。³⁵⁾

下水道管荷重試験については、既に名古屋市の茂庭忠次郎が実施しているが³¹⁾それを踏えて新しい考えの構造試験と詳細な解析を行っている。

試験の主目的はa)挿入鉄筋ノ位置ト鉄筋混凝土管ノ強度トノ関係。b)鉄筋ノ太サト鉄筋混凝土管ノ強度トノ関係。c)鉄筋混凝土管ノ弾性。d)鉄筋混凝土管ノ疲労。e)鉄筋混凝土管ノ亀裂状態、の5項目である。

鉄筋混凝土管の供試体は表4-12及び、図4-23に示す通りで、円形管と卵形管の2種類がある。それぞれ内挿鉄筋の形が円形式と楕円式があり、円形式では鉄筋が管の中央に入るが、楕円式では管厚の中で偏心して断面曲げモーメントに対し有利となる様に配置されている。卵形管でも同様の考え方で鉄筋が配置されている。

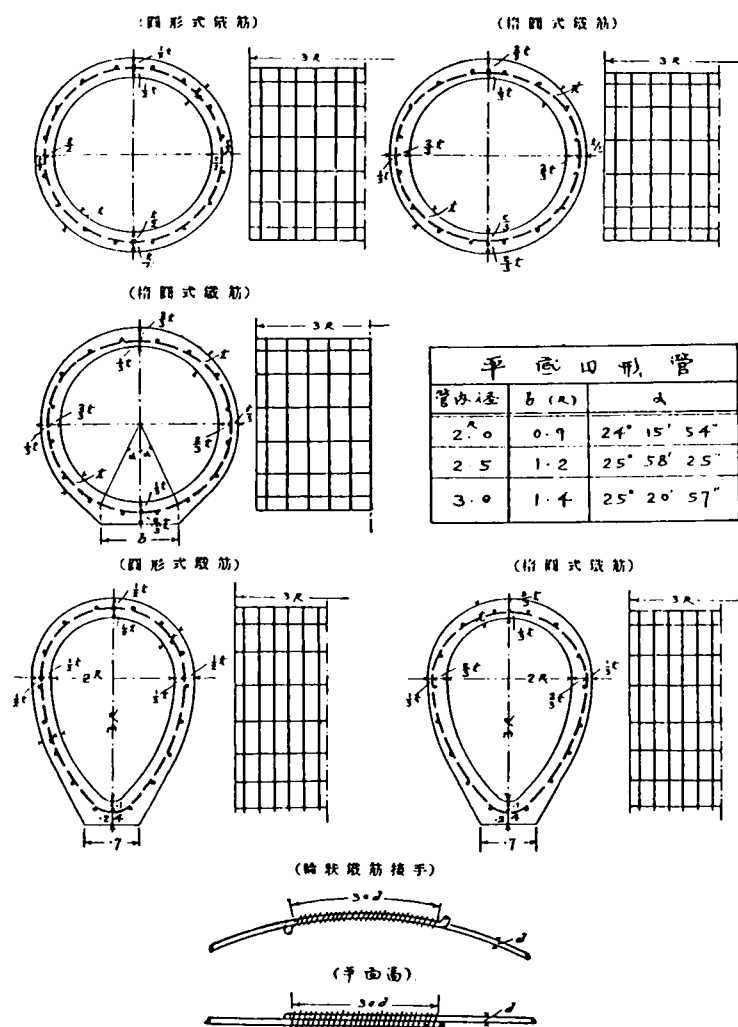


図 4-23 東京市下水管荷重試験供試体 (円形及び卵形下水管構造図) 35)

表 4-15 円形及び卵形鉄筋混凝土下水管荷重試験結果一覧表 35)

(鉄筋位置が円と楕円共に小偏位)

管種	鉄筋総重量 (kg)	横筋形状	試験番号	最初ノ破壊荷重			最後ノ破壊荷重			最後破壊荷重ノ最初破壊荷重トノ比
				1	2	平均	1	2	平均	
円形管	1.463	二番線	第一號	2.0	1.9	1.95	4.5	4.6	4.55	2.33
	1.467	三番線	第二號	1.8	2.2	2.00	4.6	4.8	4.70	2.35
	1.461	三番線	第三號	2.0	2.0	2.00	3.6	4.2	3.90	1.95
	1.465	三番線	第四號	1.8	2.0	1.90	5.0	5.0	5.00	2.63
	1.284	八番線	第五號	2.2	1.8	2.00	5.9	4.9	5.40	2.70
	1.279	八番線	第六號	2.7	2.4	2.55	6.5	6.0	6.25	2.45
卵形管	1.689	二番線	第一號	2.3	2.5	2.40	4.4	3.8	4.10	1.71
	1.694	三番線	第二號	2.5	2.5	2.50	4.5	4.0	4.25	1.70
	1.685	三番線	第三號	2.5	2.3	2.40	4.2	3.4	3.80	1.58
	1.692	三番線	第四號	2.5	2.8	2.65	4.1	4.1	4.10	1.55
管	1.483	六番線	第五號	2.5	—	2.50	6.0	—	6.00	2.40
	—	六番線	—	—	—	—	—	—	—	—
	1.465	八番線	第六號	3.0	2.8	2.90	6.0	5.0	5.50	1.90
	1.471	八番線	第七號	3.0	3.0	3.00	7.5	7.5	7.50	2.50

コンクリートは容積配合で1 : 2 : 4を使用し、水量は砂利の15%を標準として多少加減している。鉄筋は太線と細線の4種類を同量と成るよう使い分けている。(表4-15参照) 試験機は独国トインダストリー会社製の管試験機を使用し、載荷法は集中荷重であった。(写真4-10及び11参照) 垂直変形の測定器は、石橋絢彦が横浜吉田橋に関連して行った「鉄筋混凝土床版強力試験」³⁴⁾で使用した特製の精密測定器を借用しているが、水平変形は普通尺の測定器である。

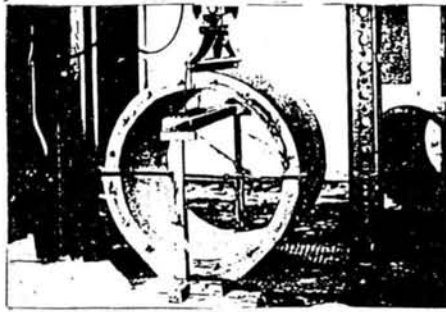


写真4-10-1 内径3尺円形管荷重試験³⁵⁾ (初期亀裂発生時状況) 写真4-10-2 内径3尺円形管荷重試験³⁵⁾ (破壊時状況)

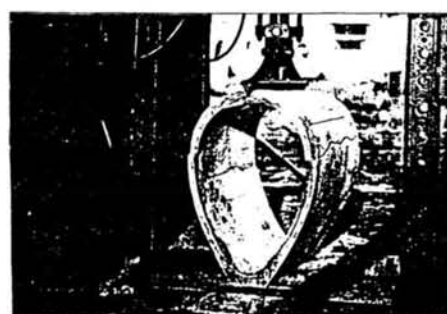


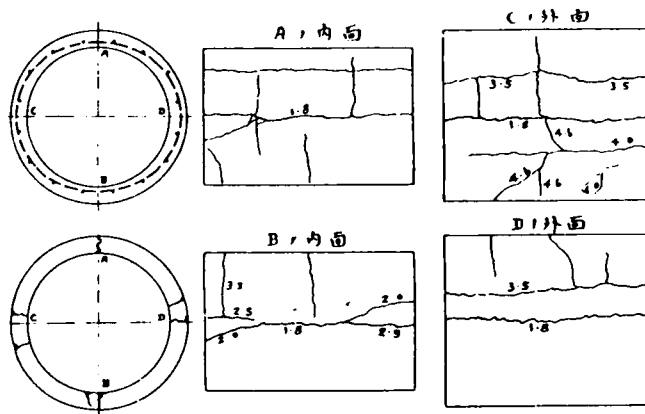
写真4-11-1 卵形管(短径2尺、長径3尺)荷重試験³⁵⁾ (初期亀裂発生時状況) 写真4-11-2 卵形管(短径2尺、長径3尺)荷重試験³⁵⁾ (破壊時状況)

また断面の応力解析として、円形及び卵形断面の断面力をカスチリアノ (Castigliano) の定理を用いて算出している。更に初期亀裂時の応力計算としてコンクリートの抗張力を無視し、抗圧力の分布を放物線状と仮定して、断面応力度や付着応力度を計算し、更に変形量も計算している。こうした計算値は測定値と比較されており、論文としては正統的な手続を経ている。(表4-16参照)

試験では亀裂が先ず管頂及び管底に発生し、次いで管側水平直径位置に発生する傾向がある。また管頂管底に亀裂が発生するとその抵抗力は著しく減少し、管側に負担が移る様で、その瞬間管側の彎曲率が増大して計算値よりも大きな応力が生ずる様子が見られるとして、亀裂の発生状況と応力解析の結果を関係付けて観察している。(図4-24及び4-25参照) また疲労試験と言うには回数が少ないが、1.5 屯の集中荷重を最大150回繰返し載荷して、亀裂の無い事を確かめ、1.8 屯の19回の繰返し載荷で亀裂が発生し、その間水平変形が増加して疲労が発生している事を確認している。

この試験は試験機として管専用の独製試験機を使用し、変位測定も石橋絢彦が製作した精密測定器³⁰⁾を借用している。下水管の試験としては明治期よりも進歩していたと見ら

圓形管試驗成績表第二號之一

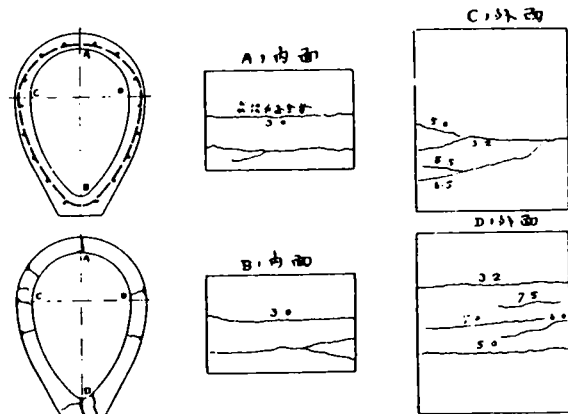


管内径 貳尺 環狀鉄筋 No.2-5 个 型誌大正二年三月廿四日
管長 貳尺 縦鉄筋 No. 16 本 試驗大正三年一月九日
管厚 一寸九分 注通口数 二百九十一口

荷重 (kg)	平均値 (kg)				最大値 (kg)				備考
	縦鉄筋	環鉄筋	縦鉄筋	環鉄筋	A	B	C	D	
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00					
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00					
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00					
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00					
1.0	0.00	0.00	0.00	0.00					
1.0	0.00	0.00	0.00	0.00					
1.0	0.00	0.00	0.00	0.00					
1.0	0.00	0.00	0.00	0.00					
1.5	0.12	0.12	0.12	0.12					
1.5	0.12	0.12	0.12	0.12					
1.5	0.12	0.12	0.12	0.12					
1.5	0.12	0.12	0.12	0.12					
2.0	0.30	0.30	0.30	0.30					
2.0	0.30	0.30	0.30	0.30					
2.0	0.30	0.30	0.30	0.30					
2.0	0.30	0.30	0.30	0.30					
2.5	0.48	0.48	0.48	0.48					
2.5	0.48	0.48	0.48	0.48					
2.5	0.48	0.48	0.48	0.48					
2.5	0.48	0.48	0.48	0.48					
3.0	0.72	0.72	0.72	0.72					
3.0	0.72	0.72	0.72	0.72					
3.0	0.72	0.72	0.72	0.72					
3.0	0.72	0.72	0.72	0.72					
3.5	0.96	0.96	0.96	0.96					
3.5	0.96	0.96	0.96	0.96					
3.5	0.96	0.96	0.96	0.96					
3.5	0.96	0.96	0.96	0.96					
4.0	1.20	1.20	1.20	1.20					
4.0	1.20	1.20	1.20	1.20					
4.0	1.20	1.20	1.20	1.20					
4.0	1.20	1.20	1.20	1.20					

図4-24 円形下水管の荷重と亀裂状況³⁵⁾

卵形管試験成績表第七號之一



管内径 貳尺 環狀鉄筋 No.2-5 个 型誌大正二年四月十九日
管長 貳尺 縦鉄筋 No. 16 本 試驗大正三年二月二十日
管厚 一寸 注通口数 三百七十四口

荷重 (kg)	平均値 (kg)				最大値 (kg)				備考
	縦鉄筋	環鉄筋	縦鉄筋	環鉄筋	A	B	C	D	
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00					
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00					
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00					
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00					
1.0	0.00	0.00	0.00	0.00					
1.0	0.00	0.00	0.00	0.00					
1.0	0.00	0.00	0.00	0.00					
1.0	0.00	0.00	0.00	0.00					
1.5	0.12	0.12	0.12	0.12					
1.5	0.12	0.12	0.12	0.12					
1.5	0.12	0.12	0.12	0.12					
1.5	0.12	0.12	0.12	0.12					
2.0	0.30	0.30	0.30	0.30					
2.0	0.30	0.30	0.30	0.30					
2.0	0.30	0.30	0.30	0.30					
2.0	0.30	0.30	0.30	0.30					
2.5	0.48	0.48	0.48	0.48					
2.5	0.48	0.48	0.48	0.48					
2.5	0.48	0.48	0.48	0.48					
2.5	0.48	0.48	0.48	0.48					
3.0	0.72	0.72	0.72	0.72					
3.0	0.72	0.72	0.72	0.72					
3.0	0.72	0.72	0.72	0.72					
3.0	0.72	0.72	0.72	0.72					
3.5	0.96	0.96	0.96	0.96					
3.5	0.96	0.96	0.96	0.96					
3.5	0.96	0.96	0.96	0.96					
3.5	0.96	0.96	0.96	0.96					
4.0	1.20	1.20	1.20	1.20					
4.0	1.20	1.20	1.20	1.20					
4.0	1.20	1.20	1.20	1.20					
4.0	1.20	1.20	1.20	1.20					

図4-25 卵形下水管の荷重と亀裂状況³⁵⁾

れる。(写真4-10及び4-11参照)

茂庭忠次郎は土木学会誌上で、この論文の問題点を次の様に指摘している。³⁶⁾
鉄筋コンクリート管の初期亀裂時の応力度計算として、コンクリートの抗張力を無視して抗圧力分布を放物線状と仮定して、コンクリート及び鉄筋の応力度を精密計算している。

(表4-16参照) これによるとコンクリートの抗圧力が3200封度/平方吋(225 kg/cm²)に達しており、その破壊強度2000封度/平方吋(140kg/cm²)を越えている。鉄筋も同様にして破壊強度97200封度/平方吋(6378kg/cm²)を越えて、107000封度/平方吋(7523/cm²)に達していると指摘している。(表4-16及び図4-26参照)

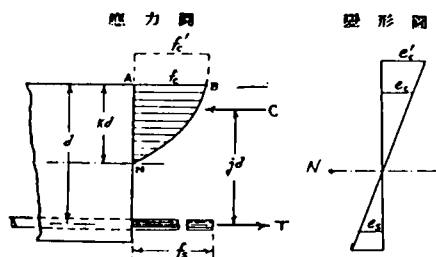
茂庭忠次郎は断面のコンクリート抗圧力と抗張力分布をそれぞれ別の放物線分布と仮定して、初期亀裂時の妥当なコンクリート及び鉄筋の応力度を求めている。(図4-26及び表4-17) また、茂庭はコンクリートの用水量と下水管の強度の関係について、小野の試験で混合水量を砂利量の15%を標準として、加減して製造していながら記述がないとして、表4-18の自己の試験記録を示している。茂庭は当時既にコンクリートの用水量と強度の間に関係のある事に注目して試験していた事が窺われる。(表4-18参照)

表4-16 円形及び管形下水管の初期亀裂発生時応力度計算値(小野栄作)³⁵⁾

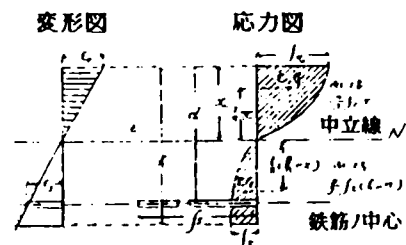
管 種	管 径	管 内 徑 (尺)	最 初 ノ 亀 裂 荷 重 ニ 對 ス ル 應 力 (毎平方吋 封度)														
			管 頂 点					管 底 点					管 側 面 点				
			k	j	f _c	f _s	u	k	j	f _c	f _s	u	k	f _c	f _s		
圓 形 管	第一號	2.00	0.3391	0.8728	1,959.4	57,200.9	18.10	0.3391	0.8728	2,314.8	61,729.2	552.5	0.1855	1,155.8	30,399.7		
	第二號	2.00	0.3035	0.8962	1,274.1	41,005.5	353.6	0.3035	0.8962	1,439.8	43,572.8	431.1	0.2250	717.8	21,583.6		
	第三號	2.00	0.3393	0.8728	2,009.3	58,671.6	156.8	0.3393	0.8728	2,263.5	66,094.4	514.5	0.1857	1,398.3	34,742.0		
	第四號	2.00	0.3037	0.8961	1,312.9	41,678.6	321.5	0.3037	0.8961	1,373.5	46,159.5	267.7	0.2251	837.0	21,140.5		
	第五號	2.00	0.3120	0.8880	2,132.9	71,412.6	351.3	0.3120	0.8880	2,433.1	80,481.0	302.2	0.1713	1,389.6	31,503.1		
	第六號	2.00	0.2785	0.9056	1,755.8	68,224.3	339.1	0.2785	0.9056	1,930.1	71,993.3	371.9	0.2074	1,008.5	32,952.6		
	第七號	2.00	0.2435	0.9296	1,195.0	68,592.4	340.4	0.2435	0.9096	1,671.3	77,543.1	384.6	0.1816	883.0	31,117.0		
	第八號	2.00	0.2696	0.8989	1,171.7	58,579.0	282.1	0.2696	0.8989	1,430.7	44,915.4	0	0.2020	971.0	31,136.8		
	第九號	2.50	0.2618	0.9067	1,118.9	46,593.4	223.5	0.2618	0.9007	881.8	36,814.7	0	0.2022	602.0	22,303.0		
	第十號	3.00	0.2333	0.8998	901.9	34,767.2	177.8	0.2333	0.8998	815.5	29,385.0	0	0.2225	601.2	17,999.7		
管 形 管	第一號	2.0×3.0	0.3181	0.8731	2,185.9	72,001.1	598.7	0.3181	0.8911	1,110.0	41,919.0	0	0.1789	1,538.4	38,212.7		
	第二號	2.0×3.0	0.2910	0.8938	1,462.5	54,690.8	432.6	0.2910	0.8914	1,181.6	43,480.0	0	0.2101	1,415.3	37,611.9		
	第三號	2.0×3.0	0.3347	0.8730	2,484.1	72,762.9	515.0	0.3347	0.8913	1,132.3	41,616.0	0	0.1775	1,417.4	31,151.6		
	第四號	2.0×3.0	0.2912	0.8927	2,316.3	52,585.0	391.8	0.2912	0.8913	1,180.6	41,791.1	0	0.2289	1,179.5	36,092.6		
	第五號	2.0×3.0	0.3128	0.8927	2,770.4	91,101.7	538.1	0.3128	0.8925	1,265.7	52,636.3	0	0.1631	1,693.0	48,630.2		
	第六號	2.0×3.0	0.3111	0.8828	3,205.7	107,272.1	511.6	0.3111	0.9001	1,157.8	60,479.0	0	0.1608	2,452.1	72,117.2		
	第七號	2.0×3.0	0.2637	0.8989	1,802.1	77,167.1	358.8	0.2637	0.8901	1,502.6	62,318.6	0	0.2043	1,322.4	45,506.1		

コンクリート圧縮強度 $f_c = 2000$ 封度/平方吋 = 141 kg/cm^2 、

鉄筋引張強度 $f_s = 97200$ 封度/平方吋 = 6378 kg/cm^2 、



(1) 小野栄作の計算



f_c = 混凝土ノ受クル単位應圧力
 f_s = 混凝土ノ受クル単位應張力
 f_s = 鉄筋ノ受クル単位應張力
 E_c = 混凝土ノ弾性係数

図4-26 初期亀裂時断面応力度分布の比較図^{35) 36)}

(2) 茂庭忠次郎の計算

表4-17 初期亀裂発生時応力度をコンクリート抗張力を考慮した時と、
しない時の計算値比較³⁶⁾

管 種	番 號	管 内 徑 (R)	彎 曲 率 (吋/呎度)	最初ノ破壊荷重ニ對スル管底Bニ於ケル應力 (毎平方吋封度)				
				小 野 君 ノ 計 算		記 者 ノ 計 算		
				f_c	f_t	f_c	f_t	f_t
圓 形 管	第 一 號	2.00	6732.9	2213.8	64729.2	1524.7	169.4	33192.7
	第 二 號	..	6889.3	1439.8	49572.8	1195.6	132.8	31958.4
	第 三 號	..	6889.3	2263.5	66094.4	1560.8	173.4	33978.6
	第 四 號	..	6577.4	1373.5	46159.6	1140.9	126.8	30496.3
	第 五 號	..	6889.3	2433.1	80481.0	1714.6	190.5	34720.7
	第 六 號	..	8566.8	1930.1	74993.3	1664.1	184.9	42983.7

第五号円管 $f_c = 2433$ 封度/平方吋 = 136 kg/cm^2 、

$f_s = 8048$ 封度/平方吋 = 5659 kg/cm^2 、

$f_c = 1715$ 封度/平方吋 = 121 kg/cm^2 、

$f_t = 191$ 封度/平方吋 = 13 kg/cm^2 (付着応力度)

$f_s = 34721$ 封度/平方吋 = 2441 kg/cm^2

表4-18 混凝土の使用水量の差による下水管の強度比較表³⁶⁾

内 徑 (R)	配 合 (容 積)	用 水 量 (砂 料 ノ 容 積 ニ 對 シ)	厚 ナ (R)	重 量 (重)	凝 結 日 数	荷 重 (英 噸)	
						破 裂	崩 壊
2.75	1:2:4	1/6	25	118.700	35	2.0	8.1
"	"	1/4	"	117.700	33	2.5	8.1
"	"	1/6	"	120.800	60	4.6	10.9
"	"	1/4	"	116.000	60	3.0	9.3
"	"	1/6	"	116.600	95	2.5	8.3
"	"	1/4	"	119.000	92	2.5	9.0
"	"	1/6	"	119.000	128	3.5	9.6
"	"	1/4	"	115.600	128	2.5	9.1
"	"	1/6	"	117.000	157	3.3	10.4
"	"	1/4	"	116.000	164	2.5	9.6
"	"	1/6	"	117.400	180	4.0	10.5
"	"	1/4	"	118.300	180	3.7	10.0

(9) 阿部美樹志の米国での鉄筋コンクリートの腹部鉄筋挿入法の研究

阿部美樹志 (札幌農学校工学科、明治38年卒) は明治44 (1911) 年より、在米農商務省実業練習生としてイリノイ州立大学のタルボット (Talbot) 博士の下で鉄筋コンクリート工学を研究し、1914年には博士の資格を得ている。

この論文は大正2 (1913) 年に作成されたと見られるが、日本では当時数少ない鉄筋コンクリート桁の荷重試験の結果を報告している。³⁸⁾

試験の目的は鉄筋コンクリート桁の腹部鉄筋の各種挿入法を実験により比較検討するものである。実験桁は全て同一寸法で、幅19.2cm、全高30.5cm、桁長1.98m、支間1.83mであり、コンクリート配合比は1:2:3、試験体製作後60日で実施している。

なお使用した鋼材は軟鋼材としているが、丸鋼や、特許製品の異形鉄筋を使用しており、それ等鋼材の材質や強度については述べていない。

1) 試験体の種類

試験体はつぎの10種類の31体の多くに及んでいる。(図4-27参照)

A桁、腹部鉄筋を挿入せず、縦鉄筋の直線のもの。(縦鉄筋端部に折曲げなし。)

E桁、腹部鉄筋を挿入せず、両端近くで曲げ込んだもの。(両端近くでループ状折り曲げ)

B桁、腹部鉄筋を挿入したもの。(腹部U字鉄筋にフックなし。)

C桁、腹部鉄筋を挿入したもの。(腹部U字鉄筋にフックあり。)

D桁、縦鉄筋の両端をナットで定着、腹部U字鉄筋にフックなし。

F桁、腹部鉄筋を挿入し、縦鉄筋を両端近くで曲げ込んだもの。

G桁、ガブリエル・ユニット式腹鉄筋。(Wトラス型折曲げ腹鉄筋。)

H桁、アメリカン・ユニット式腹鉄筋。(縦鉄筋半数両端折曲げと垂直腹部U字鉄筋。)

I桁、コルゲーテッド・バー会社式腹鉄筋。(縦鉄筋同上とフラット・トラス型折曲げ腹鉄筋)

J及びK桁、モノリス・ユニット式腹鉄筋。(V字型腹鉄筋全傾斜配置。)

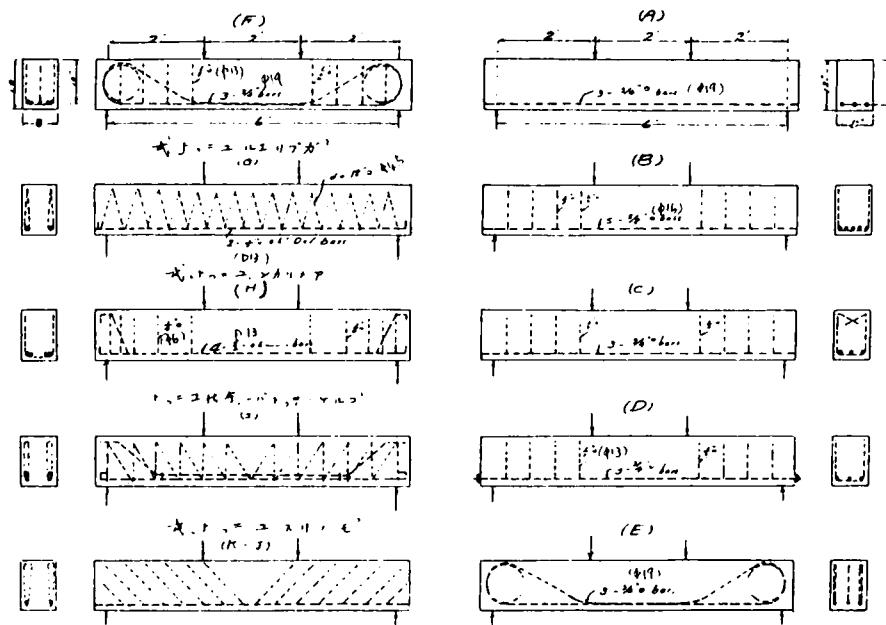


図4-27 各種鉄筋の腹部挿入法による長方形桁の強度比較実験³⁸⁾
(在米イリノイ大学1912年)

2) 実験結果

実験は図4-27に示す様に桁に3等分割の2点载荷で行われ、表4-19の様な結果となった。

a) 腹部鉄筋を挿入しないもの。

A桁、E桁ともに斜行応張力(斜引張力)により破壊せられ、载荷点と支点の中間の下部に最初の亀裂を生じたが、特にA桁は急激に破壊を生じて余裕なく危険としている。

E桁は特殊の鉄筋を使用していない桁の中では、亀裂も除々に進行して比較的優秀な結果となった。

b) 腹部鉄筋を挿入したもの。

B桁とC桁を比較すると、腹部U字型鉄筋の両端を折曲げてフックを付けたものと、そうでないものとの差は小さい。

D桁の縦鉄筋の両端をナットで定着したものは、最大荷重で良い結果が出ている。

F 桁の縦鉄筋の両端を大円形に折曲げ、更に腹部鉄筋を挿入した桁は、多少強度は上昇したが、鉄筋量の増加に比例せず効果が少ない。

c) アメリカン・ユニット式 (H 桁)

この特許工法の鉄筋挿入の効果は垂直腹部鉄筋挿入だけの桁に比して頗る高く、鉄筋量を標準として比較する時他の特許工法に比較しても 110% 以上となり、破壊も徐々に進行して良好な結果であった。

d) ガブリエル・ユニット式 (G 桁)

頗る良好な結果を呈し、強度も H 桁と同様である。

ホ) コルゲテッド・バー会社式 (I 桁)

この工法の腹部鉄筋挿入法によれば、H 桁、G 桁よりも更に強度は大であり、挿入鉄筋量を標準として比較すると、垂直腹部鉄筋のみの場合に比較して強度は 138% 多く、H 桁 G 桁に比しても 20% も多い。

f) モノリス・ユニット式 (J 及び K 桁)

この式の桁は最大強度とはなったが、挿入鉄筋量で比較すると垂直腹部鉄筋のみの桁と比較くして 24~47% の増加に過ぎず、有効性に乏しい。

表 4-19 各種鉄筋の腹部挿入法による長方形桁の強度比較実験結果³⁸⁾

実験 セ ル 桁 数 号	鉄筋挿入方法	使用鉄筋重量 (封度)			エグジー断面積対 ル鉄筋断面積 (百分率)			荷重 封度		平均 応力度 lb/寸 ²		挿入鉄筋量をエグジー 断面に対し 1% 仮定 した時の比較		
		縦鉄筋	肋筋	合 計	縦鉄筋	肋筋	合 計	最大時	初亀裂 時	平均 断力	付着 断力	最大荷 重	比較 強	単位応 力強
3	A 縦鉄筋直線状 本 腹部鉄筋なし	29.2	0	29.2	1.65	0	1.65	19370	13000	150	145	11730	1,000	1,000
3	B 縦鉄筋 5-5/8 吋 腹鉄筋 8-1/2 吋	33.9	11.6	45.5	1.916	0.655	2.571	24300	10000	188	153	9450	0.805	0.803
4	C 同上 腹部に字筋フグあり	29.2	15.2	44.4	1.65	0.859	2.509	24410	10000	188	182	9730	0.827	0.806
2	D 縦鉄筋ナット定着 腹部に字筋フグあり	29.2	15.2	44.4	1.65	0.859	2.509	32750	10000	253	245	13040	1.111	1.110
3	E 縦鉄筋両端ループ状 折曲げ腹部鉄筋なし	37.5	0	37.5	1.65	0.470	2.120	31630	12000	244	236	14930	1.273	1.265
2	F 縦鉄筋両端ループ状 折曲げ腹部鉄筋あり	37.5	15.2	52.7	1.65	1.329	2.979	34600	10000	267	259	11620	0.992	0.987
3	G ガブリエルユニット 式腹部鉄筋	23.8	8.2	32.0	1.345	0.463	1.808	37200	8000	281	257	20600	1.755	1.710
3	H アメリカンユニット 式腹部鉄筋	27.2	4.17	31.37	1.65	0.236	1.886	37970	6660	289	298	20120	1.716	1.682
4	I コルゲテッドバー 会社式腹部鉄筋	23.8	6.44	30.24	1.344	0.364	1.708	38430	12000	290	290	22500	1.920	1.870
2	J モノリスユニット式 腹部鉄筋	43.1	11.4	54.5	2.435	0.695	3.130	42800	14000	344	258	18900	1.185	1.232
2	K 同 上	43.1	26.9	70.0	2.435	1.52	3.956	46150	20000	370	278	11690	0.999	1.023

g) 各桁の彎曲度(撓み量)は桁の径間中央点で最大荷重に対し略同一の7.0~7.6 mmとなった。モノリス・ユニット式が最小であるが、鉄筋量に対する最大荷重は最少である。

3) 以上の実験の結論。

a) 腹鉄筋を挿入しない桁は、斜引張応力により突然に破壊に到る。

b) 腹鉄筋を挿入しない桁で、縦鉄筋を両端近くで折曲げると強度は増大するが、突然破壊の欠陥は除かれない。

c) 垂直腹鉄筋又は特許式腹鉄筋を挿入した桁は、それ等の無いものに比し強度増大し、突然破壊の欠点も除かれる。

d) 縦鉄筋の両端近くをコンクリート中に折曲げる方式は、腹部鉄筋を使用する場合のみ有効である。

e) 特許式腹部鉄筋を挿入した桁は、垂直腹部鉄筋のみを挿入した桁に比して強度大であるが、同量の縦鉄筋のみを使用した桁に比して70~90%の強度が増大する。

f) 同一構造にして等しき条件の下で実験せる桁の中心点撓曲度は、最大荷重の多少に拘わらず略同じである。

以上の様に報告しているが、多種類の鉄筋が挿入法を変えて使用されており、大まかな強度が比較検討されている。結論付けるには特許工法の力学的特性の比較が必要であるが、鉄筋の種類が多様であり単なる経済性の比較であれば、標準鉄筋量に対する強度を比較するのが良い方法である。ただし、鋼材の強度についての言及が無いのは不十分である。

この報告は日本の技術の情報誌である「工業雑誌」に発表されたので、先進土木技術者の間に大きな注目は集めはしなかったと見られるが、日本人が実施した鉄筋コンクリート桁の技術論文としては貴重なものである。

4. 5. 鉄筋コンクリート構造の各種用途についての外国文献の紹介

鉄筋コンクリート構造は、明治中期には欧米文献や「工学会誌」等を通じて、先進技術者の間で知られる様になり、次第に受容されて行ったが、その構造の各種用途の欧米文献の紹介は盛んであった。これ等を通じて当時の一般技術者は鉄筋コンクリート技術の情報を得ていたが、実際の採用には不十分であり、欧米の関連原書を読破して自己の技術に自信を得る必要があった。欧米文献の紹介では直木倫太郎、小川織三等による港湾関係が多い。工事現場の状況の違いによる、構造様式の多様性のため紹介し易く、港湾関係の工事が盛んであった事によるものと考えられる。主要な欧米文献の紹介は次の様であった。

(1) 港湾工事の紹介

1) 直木倫太郎「海港ニ於ケル鉄筋混凝土ノ応用」工学会誌270巻、明治38年1月³⁹⁾

これは直木倫太郎の工学会に於ける講演を掲載したもので、鉄筋コンクリート構造の海工への利用の基本的な考え方を次の様に述べている。

「鉄筋混凝土ハ一般ニ鉄材ノ代用トシテえこのみかるノ事ガ多イ。日本ノ如キ鉄材ノ少ナイ所ニ於テハ、鉄材ヲ節約スル上カラ之ヲ用イレバ殊ニえこのみかるダト思イマスガ、但シ海ノ工事ニハ鉄材ヲ使フコトハ少イ。専ラめーそんりー・うおーくすデアル。然ルニ鉄筋混凝土ヲ普通ノめーそんりー・うおーくすニ代用スル時ノ主タル利益ハ、其立積ヲ減

ジ得ル点ニアルノデ、基礎ノ悪イ処ニハ大イニえこのみかるナ点デハアリマスガ、楮（さて）海ノ工事ニハト云フト是ハ格別ノ役ニ立タヌ。海ノ工事ハ却テまっしぶデナイト器用ニ出来タ丈デハ却テ不利益デアル事ガ多イ。即チ適当ナ用途トハ云エマセヌ。」

それにも関わらず、コペンハーゲン港を始め欧米港湾や運河でのこの構造の利用状況について紹介している。鉄筋コンクリート・ケーソン以外に、この構造の杭や矢板を力学的に巧妙に組み合わせて、施工法も考慮した栈橋や、岸壁、防波堤を工夫して建設している。日本とは気象や、海象や地質条件も異なるので採用出来る所は限られるが、日本でも現地条件に合わせた構造が、運河や栈橋等の建設で参考にされたものと考えられる。

ベルギー、ブリュッセル港岸壁（図4-28）コペンハーゲン港防波堤（図4-29）ドイツ、ブレーメン港岸壁（図4-30）等は参考にされたと見られる。³⁹⁾

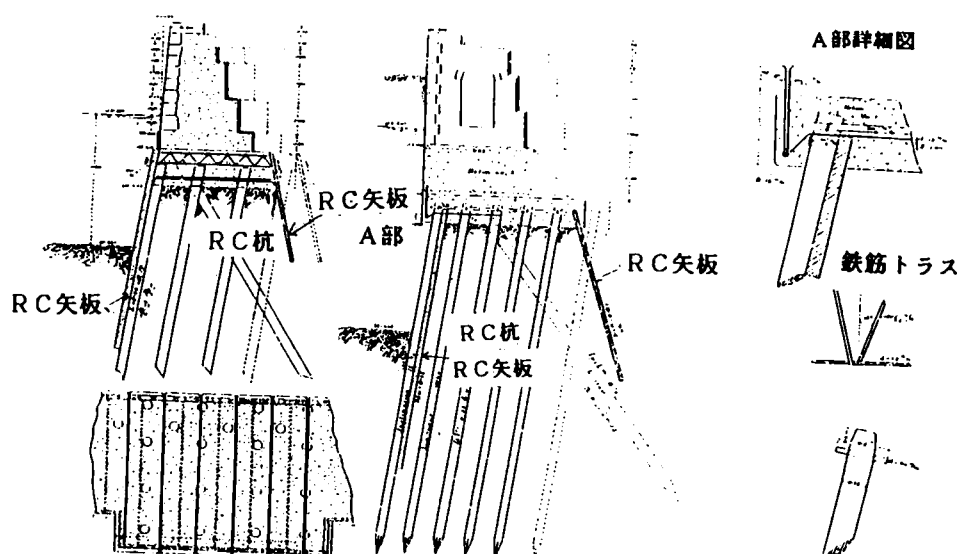


図4-28ブリュッセル港栈橋及び岸壁³⁹⁾（鉄筋コンクリート杭及び矢板組合式）

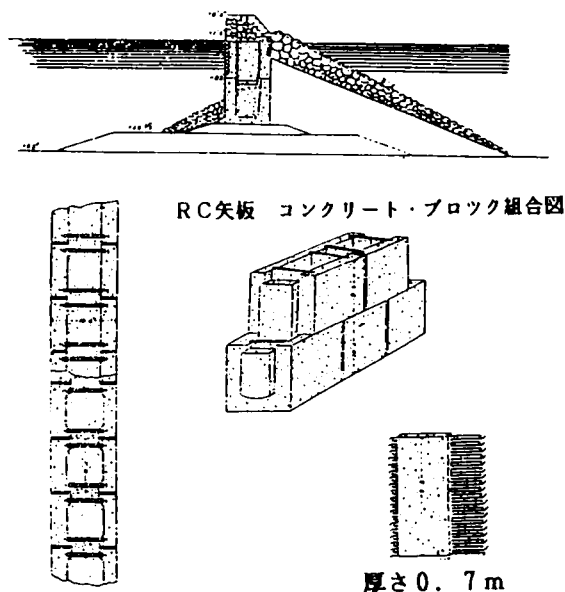


図4-29コペンハーゲン港防波堤³⁹⁾（鉄筋コンクリート・ブロック組立式）

3) 直木倫太郎「鉄筋混凝土の潜水函」工業雑誌394、395、396号、明治41年8月、9月。⁴¹⁾
 これは仏国漁港ジップ (Dieppe) 港の繫船岸壁建設における鉄筋コンクリート潜水函 (Pneumatic Caisson) の施工実績の紹介である。この工事は鋼製潜水函を陸上製作して、現地運搬沈設の計画であったが、請負人が現地での鉄筋コンクリート函製作及び沈設を提案して、設計変更になった工事であった。ケーソン下縁の混凝土肉厚24cmの軀体を、製造後僅か12日で沈設開始し、刃口や軀体に破損を生じて、空気漏れを生ずる等の困難を克服した工事例の紹介である。鉄筋混凝土ケーソンの施工性や、鋼製ケーソンとの経済比較など、施工現場の位置や条件により大きく左右される事を述べており、この方面での貴重な参考資料であろう。この工法の日本での採用は、鴨緑江鉄道橋以後では関東大震災後の大正14 (1924) 年の隅田川永代橋基礎まで実施例はない。

4) 鉄筋混凝土の新用途 (造船材料として鉄筋混凝土の応用) 工業雑誌403号、明治42年1月
 これは イタリアに於ける鉄筋コンクリート船の採用について紹介したもので、約11年間のこの構造の短艇の使用実績から艀の採用や、政府による小貨物船の採用例をあげている。ポー河における舟橋への使用例も紹介されている。⁴²⁾ (写真4-13参照) 我国でも 大阪築港工事で土砂運搬船として鉄筋コンクリート船が利用されている。



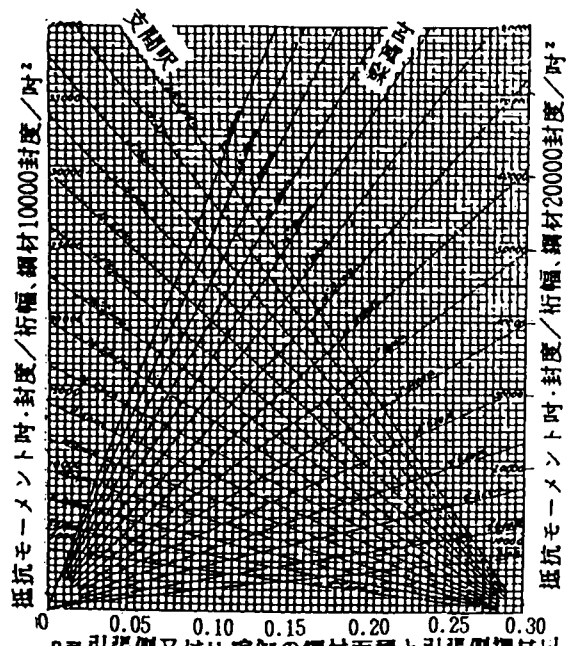
写真4-13 イタリア・ポー河の船橋とその鉄筋コンクリート台船⁴²⁾

5) 小川 織三「鉄筋混凝土函」工業雑誌427号、明治43年1月。⁴³⁾
 これは鉄筋混凝土ケーソンの構造を、施工を考慮して如何に合理的に、経済的に決めるかを検討した米国ミルオーキー等での技術の紹介である。函に起る応力は普通次の如しとしている。a) 外側より来る水圧に帰する応力、b) 填充物の為めに外方に向ふ過大圧力より起る応力、c) 基礎不完全にして函が或部分例へば両端に於て又は中央に於て支持せらる場合に起る彎曲に帰する応力、d) 波の作用に帰する応力。

1907年の米国ミルオーキー (Milwaukee) 港防波堤築造での鉄筋コンクリート移動式ケーソンの例を基に紹介している。鉄筋コンクリート函の構造計算の図表例 (図4-32参照) が示されておるが、現場での施工条件の複雑な要素が考慮されており、施工上の問題点の検討や、構造寸法の仮定には参考になったと思われる。(写真4-14参照)

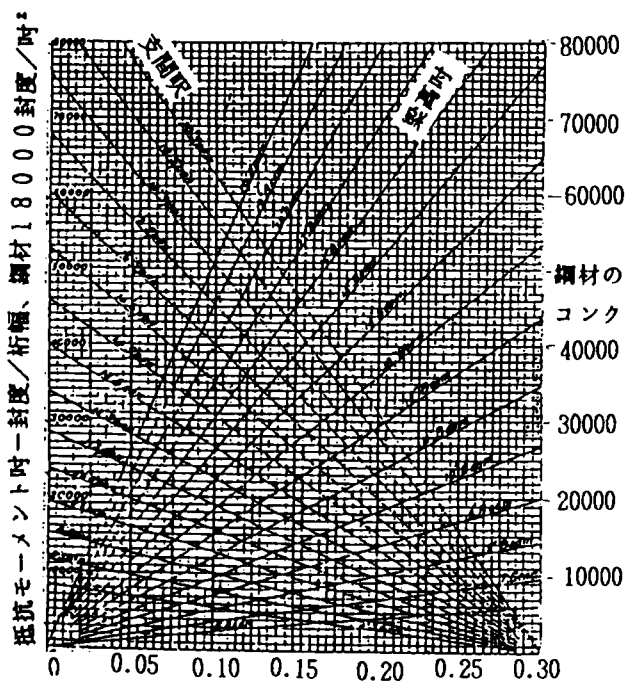
なお、浅井芳之助も同様に米国ミルオーキー港の工事に先立って行われたケウオーキー内のアルゴマ港 (Algoma) のケーソン工事について紹介している。⁴⁴⁾

6) S. T. 生 「臨海工事と混凝土」工業雑誌503号、大正2年3月。⁴⁵⁾
 これは独人V. De Blaco Van Kuffelerが「鉄筋混凝土臨海工事」と題して講演したものの紹介である。内容は臨海鉄筋混凝土工事における、混凝土の品質について自己の経験からの論説を述べたものである。ユミユイデン (Ymuiden) での例から、海中工事での混凝土と



梁表面から2吋 (5.1 cm) に鋼材が配置され、
梁はコンクリートの引張力は考慮せず。
鋼材抗張力は10000封度/吋²と
20000封度/吋² (1406 kg/cm²)
コンクリートの弾性係数は3000000封度/吋²)
(210930 kg/cm²)

a) 上下に等複鉄筋で補強された鉄筋コンクリート梁の抵抗モーメント計算図表

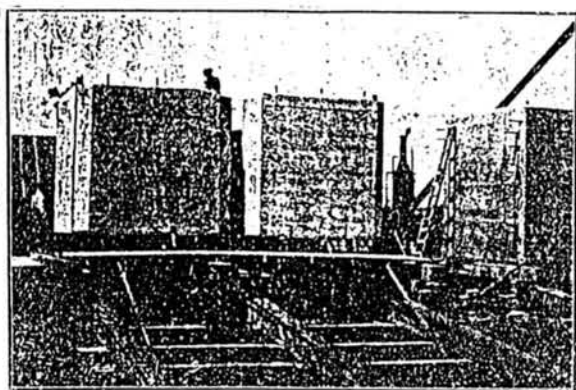


鋼材の抗張力18000封度/吋² (1265 kg/cm²)
コンクリートの弾性係数1250000封度/吋²
(87887 kg/cm²)

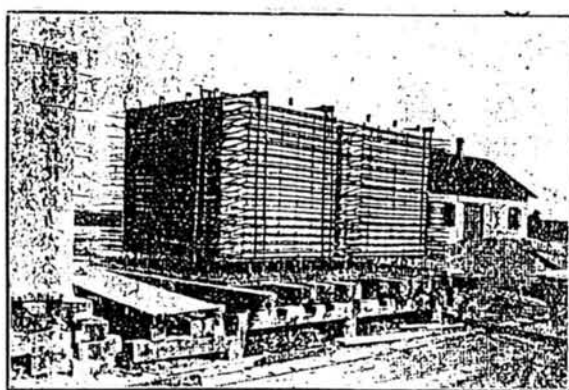
b) 上下に等複鉄筋で補強された鉄筋コンクリート梁の抵抗モーメント計算図表

図4-3 2米国ミルウオーキー (Milwaukee) 港工事での鉄筋混凝土函の設計々算図表⁴³⁾

して、火山灰の添加により、石灰の一部が珪酸塩を形成して安定となり、海水中の塩分の化学作用に抵抗力を増す。微細なる火山灰を使用し、セメント1、火山灰1/2、砂3より富配合のコンクリートを使用する事を主張し、セメント1に対し砂は2以下とすべしとしている。この点に関しては横浜港での防波堤のコンクリート・ブロックの亀裂に関する高山甚太郎の判定と同様である。



鉄筋コンクリート函進水直前



鉄筋コンクリート函建造中

写真4-14 ウィスコンシン州アルゴマ (Algoma) 港での防波堤用鉄筋混凝土函⁴³⁾

混凝土は多く搗き固めらるる程空隙は僅少となり、混合水は少なくなるが、鉄筋がその中によく埋設されるだけの十分な粘性を要す。使用水量は建設すべき構造物の種類に依るものなり。鋼は表面にあまり接近すべからずとして、鉄筋の最小被包を2cmと明記すべしとしている。今日から見ると火山灰の使用はよいが、コンクリート配合の考え方や、鉄筋のかぶり量は過少であり、問題が多い。

この他に海工事で、り、な、(氏名不明)が「だんじー港ノ鉄筋混凝土横栈橋」⁴⁶⁾ 工学会誌第281巻、明治39年1月で、英国蘇格蘭なるダンジー港 (Dundee) での、杭、矢板、桁構、床版等全てアンネビッック式鉄筋混凝土工法による栈橋の建設を紹介している。

(2) 杭工事の紹介

1) 小川織三「鉄筋混凝土杭の打込法」工業雑誌475号、明治45年1月。⁴⁷⁾

これでは米国シカゴのバーリントン鉄道での鉄筋混凝土杭の施工例を紹介している。鉄道構造物の鉄筋混凝土杭として、径16 $\frac{1}{2}$ " (40.6cm) の丸形と一辺14.5 $\frac{1}{2}$ " (36.8cm) の方形断面で、長さ1呎当たり200封度 (91kg) の重量があり、長さ30呎 (9.15m) で約6000封度 (2616kg) を蒸気ハンマーと落下ハンマーを併用して工事した。(図4-33) 杭打用帽子として鋼板鉚結形成材 (図4-34) と、鑄鉄製 (図4-35) が使用されたが、前者は鉚部で破損し後者は異常はなかった。但し両者とも杭頭クッション (マニローブ片か麻布調帯片) と堅木材を使用している。

鉄筋混凝土杭はコンクリートの乾燥不足の場合には、打ち込み時に杭頭が破損し易い。地質が砂質の場合には、打込にウォーターゼットで水の噴射を併用すれば杭頭は保護されるが、しかし、砂利層や固結粘土層では効果がない。20呎 (6.1m) 以上長い杭では、2本の噴射口を使い、一本は杭先端より僅かに先行して継続運転させ、他の一本は杭先端と砂層頂上の中間を静かに上下させて、杭に沿う水流を維持するのが良いとして、施工法の詳細を書いている。

同様に町田実は米国における鉄筋混凝土杭で、日本でも実績のあるシンプレックス (Simplex) 式杭、レイモンド (Raymond) 式杭、及びコンプレッソル (Compressol) 式杭や、仏国の螺旋鉄筋を使用したコアニエ (Coignet) 式杭について紹介している。⁴⁸⁾ こうした杭の施工法は経験が蓄積されて、今日の施工法に生かされている。

杭土凝混筋鐵 杭土凝混筋鐵

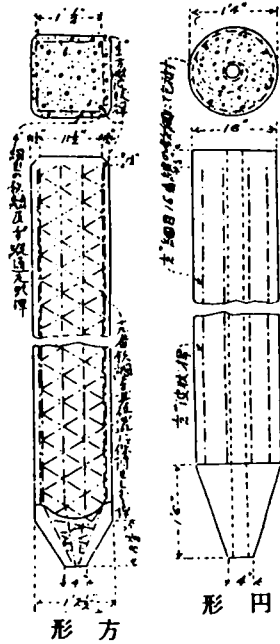
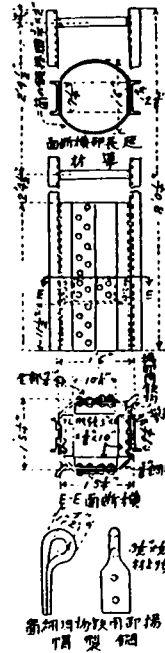


図4-33 丸型及び角型鉄筋混凝土打込杭の例⁴⁶⁾
(シカゴ・バーリントン鉄道)

物鐵子帽用打杭



物鐵子帽用打杭

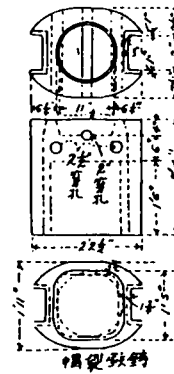


図4-35 杭打用帽子⁴⁶⁾
(鑄鉄製型)

図4-34 杭打用帽子⁴⁶⁾ (鋼板鉸結形成型)

(3) 堰堤及び水道工事の紹介

1) O, O, 「鉄筋混凝土の心壁を有する土堰堤」工業雑誌389号、明治41年6月。⁴⁹⁾
O, O, (氏名不明) による明治41(1908)年当時工事中の、米国ニューハンプシャー州デクスビル (Dixville, N.H.) のコネチカット河支流に設けられた、鉄筋混凝土を心壁とした土堰堤の紹介である。

兩岸の砂利質のモレーヌ (Moraine; 氷原の傍に堆積せる土石) の間に亘り設けられ、粘土層を含む砂利層の地盤の上に築かれた、延長約500呎 (152m)、基礎上最大高約76呎 (23.2m) の民営の多目的ダムである。(図4-36参照)

決壊の前歴のある河で、堰堤基礎としては不満足な地質であるが、心壁の下に約2mの溝を掘り、インターロッキングして鋼矢板 [10呎 (3m) ~ 32呎 (9.8m)] を全長に亘り打ち込んだ。その頭部は鉄筋混凝土心壁に入り、心壁の底幅は3呎 (0.92m)、頂上幅は10呎 (0.25m)、混凝土配合は1:3:4で、鉄筋は大鉄線棚及び波状鉄桿を使用している。

不完全地盤での土堰堤築造の実例として紹介されている。

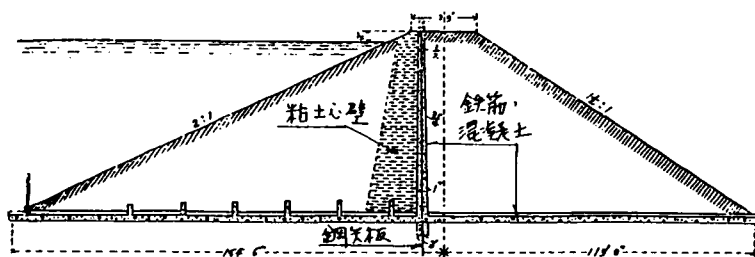


図4-36 ニューハンプシャー州デクスビル (Dixville) での鉄筋混凝土心壁の土堰堤⁴⁸⁾

2) S.T. 生 (氏名不明) 「貯水池の築造に鉄筋混凝土の応用」工業雑誌469号、明治44年10月。⁵⁰⁾ これでは貯水池 (槽) の構造物として、鉄筋コンクリート構造は、石塊コンクリート構造よりも材料が少ないだけでなく、乾燥収縮や温度第変化にも亀裂を生ずる事がなく、水密性が保てる。多年の実績によれば、煉瓦や石造の様に表装工の必要もない。貯水池 (槽) の底版と側壁の接合も、鉄筋混凝土であれば単体的な構造となり、水密性は保たれる。

鉄筋コンクリート構造貯水槽の外国の例では水頭30呎 (9.15m) の場合、底厚で8吋 (20.3cm) 頂上で6吋 (15.2cm) で十分水密性あり、表装工も施工されていない。

鉄筋材としては凹痕棒 (異形鉄筋) の採用が、亀裂防止や鉄筋継手の連続性を保つ上で効果ありとして、鉄筋コンクリート構造の有利性を強調している。

3) S.T. 生. 「下水道工事と混凝土」工業雑誌511号、大正2年7月。⁵¹⁾

これは鉄筋混凝土が下水道として他の材料と比較して良好か比較検討している。その論点は a) 下水又は地下水に在り勝ちなる化学的分解に対する抵抗力、b) 下水道を通過する液体の浸食作用に対する抵抗力、c) 下水汚物の導溝として一般の適否、d) 常に受け勝ちなる外部圧力及び振動に対する抵抗力、e) 費用。の5点を外国の実例を基に比較検討している。広く外国文献を調査しており、鉄筋コンクリート構造が条件付きではあるが、十分使用に耐える事を証明している。

(4) 鉄筋コンクリート橋梁及び地下鉄構造の紹介

鉄筋コンクリート橋梁についての外国の施工例紹介としては、岳洋の次の記述がある。

1) 岳洋「鉄筋混凝土橋の色々」工業雑誌470号、雑録393頁、明治44年10月。⁵²⁾

ここにおいては有名なアンネビックの1899年架設のシャッテルロー (Châtellerau) 橋の他、外国のアーチ橋9橋の紹介を行っている。国別では仏国3橋、米国2橋、サイアム国 (タイ) 2橋、葡国 (ポルトガル)、瑞国 (スイス)、ウルガイ国、各1橋で全てアンネビック工法のアーチ橋である。アーチ橋が最も鉄筋混凝土橋に適する橋と主張している。

鉄筋混凝土橋の利点として次の6点を挙げている。

- a) 鋼、煉瓦、石造及びそれ等の併用橋よりも一般に廉価なり。
- b) 維持保存の手数は、實際上殆どなし。
- c) 鋼橋より一般に美観良好。
- d) 架設に要する工期が比較的少ない。
- e) 地震、火事に大丈夫なこと。
- f) 基礎の少量の沈下にも、他材料の橋梁よりも影響が小さい。

代表例として仏国ウルゲイのシコ河上に架かるアーチ橋アツローヨ・キャヌロン橋 (写真4-15) 及び仏国セント・クロードのビエンヌ河に架かるアーチ橋 (写真4-16) を示す。

単なる鉄筋コンクリート・アーチ橋の美しい橋の写真による紹介であり、技術的な事は書かれていないが、タイのサイアム国では欧州技師を招聘して、不良地盤を改良して鉄筋コンクリート・アーチ橋を架設しており、後に2km上流にもタイ人の手で同様の橋が建設されたと記述されている。タイ国でも日本と同時期に鉄筋コンクリート技術が導入されて

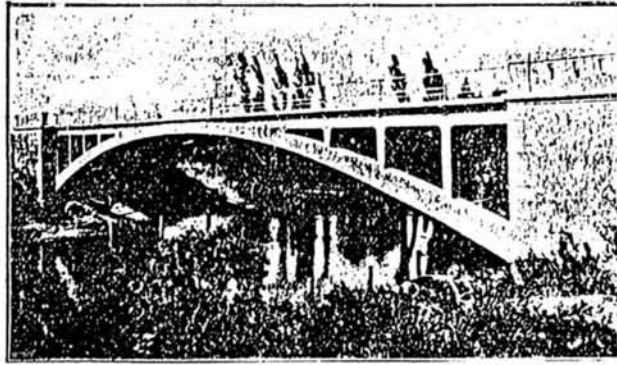


写真4-15 仏国ウルゲイのシコ河に架かるアツローヨ・キャヌロン橋⁵²⁾
橋長47m、幅員7.5m、径間35m (1909年8月)

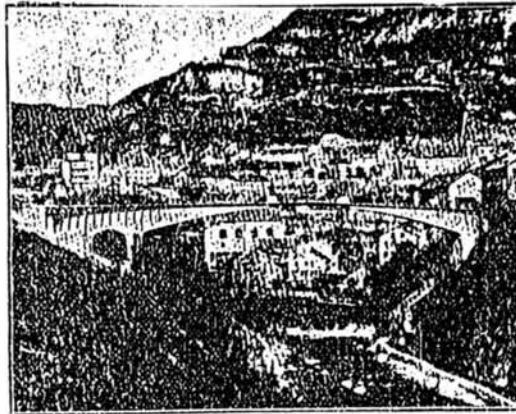


写真4-16 仏国ビエンヌ河に架かるセント・クロード橋⁵²⁾ (1909年8月)
橋長96m、幅員6.2~11.4m、斜橋、径間65.7m、ライズ5.38m

いた事を示しているが、その後の発展に大きな違いが出た。

外国技術の情報として紹介されたもので、日本の目標として読まれたと考えられる。

2) 岳洋「鉄筋混凝土橋の実例二、三」工業雑誌487号、雑録42頁、明治45年7月。⁵³⁾

これでは仏、英、米の弓弦(曲弦ボニー式)鉄筋混凝土トラス橋各1橋と、プリキャスト部材で組立てた米国の上路式3交アーチ橋について紹介している。

仏国の弓弦橋はアンネビック式で支保工上で現場打ちされた、支間98呎6吋(30m)純幅員5.85mの鉄道橋である。(写真4-17 参照)鉄筋は写真4-18に示す様に、各部材の格点でも剛構造となるよう連続しており、鉄筋継手には特別に丸鋼を添筋している。完成後の載荷試験では、最大撓み0.12吋(0.305cm)であり、径間の大約一万分の一であった。

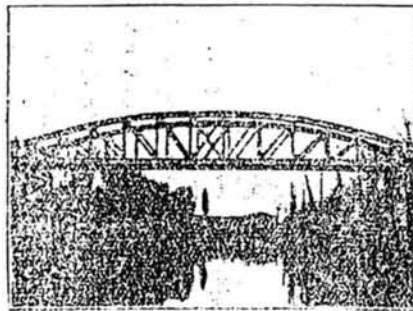


写真4-17 仏国オートガロン州南西鉄道会社アリズ河橋⁵³⁾
弓弦橋(ボースツリング橋)径間30m、有効幅員5.85m (1911年)

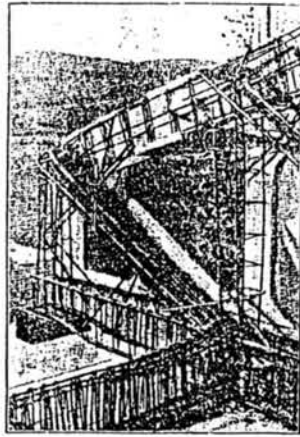


写真4-18 アリズ (Arize) 河橋 鉄筋組立施工中⁵³⁾

英国の弓弦橋は炭鉱会社の老朽化した鉄道橋を鉄筋混凝土トラス橋に架替たものである。

径間56呎9吋 (17.31m) 純間隔26呎8吋 (8.13m) 高さ13呎3吋 (4.04m) であり、採用された工法は仏国コアニエ (Coignet) 式である。材料の経済性と硫黄、アンモニア等の煙気への抵抗力のため、維持管理上の利点から採用された。(写真4-19 参照)

米国の上路式3交アーチ橋は、橋長700呎 (210m) を5径間のアーチ橋で渡っている。

拱肋を2分割し、支柱等の部材も床版以外は全てプリキャストして現場で組立て、橋面工のみを現場打ちとして架設している。(写真4-20 参照)

こうした鉄筋コンクリートのトラス構造や、プリキャスト・アーチ構造は欧米でも実例が少なく、珍しい構造として紹介されている。

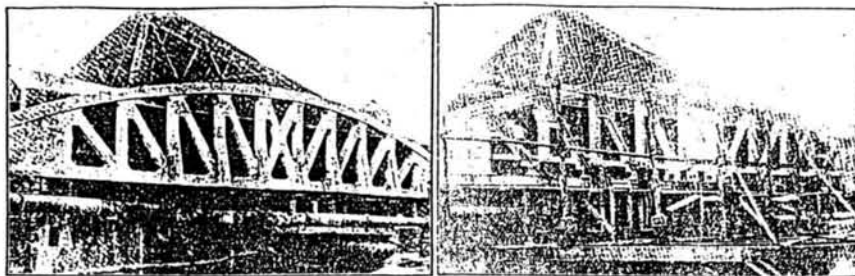


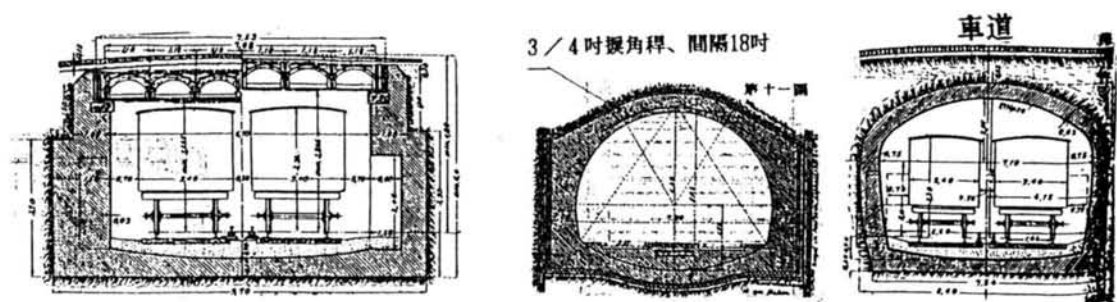
写真4-19 英国サウス・ウェールズ州デツフリン (Duffryn) 炭鉱会社鉄道橋⁵³⁾

径間17.31m、純幅8.13m、高さ4.04m (1911年)(完成景と施工状況)



写真4-20 米国加州サン・リュイレイ (San Luis Rey) 河橋⁵³⁾ 径間5×21.3m
3ヒンジ・プリキャスト鉄筋混凝土アーチ橋 (組立式、橋面のみ現場打)

3) 服部鹿次郎は明治38年6月、欧米視察の報告として、「伯林高架及地下電気鉄道」と題して、伯林や巴里の高架鉄道の状況を報告している。⁵⁴⁾ 巴里の地下鉄道では、図4-37-1の様に天井を鋼構造とし側壁を混凝土とした構造もある。長方形断面部では「初メハ側壁ハ5呎毎ニI形梁ヲ堅ニ植ヘテ間隔ヲ混凝土拱ニテ填充シ、天井ハ15吋ノI梁及複軌道ノ中間ニアル柱ニテ支ヘ、混凝土拱ヲ用ヒシガ、其後之ヲ改メテ天井側壁共ニ鉄筋混凝土構造トナセリ。」(図4-37-2、-3、-4参照)と述べて、明治末期から早くも地下鉄道への鉄筋コンクリート構造の採用を紹介している。



I字形桁の配置

図4-37-2 パリーの地下鉄道、アーチ部形状⁵⁴⁾

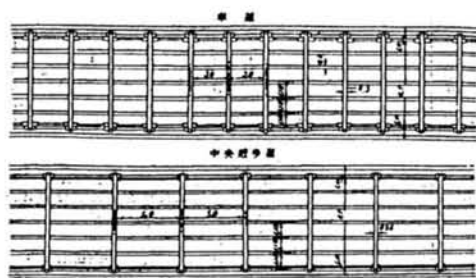


図4-37-1 パリーの地下鉄道の1m以内のかぶり地区の天井構造の例⁵⁴⁾

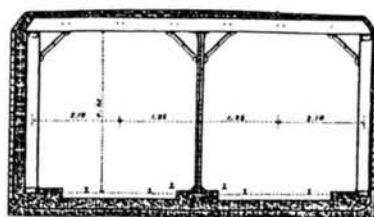


図4-37-3 パリーの地下鉄道、方形部形状(初期構造はI字形鉄骨混凝土中詰)⁵⁴⁾

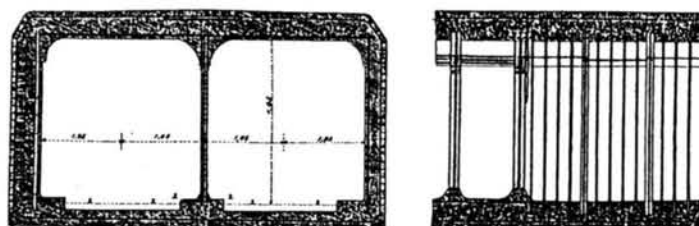


図4-37-4 パリーの地下鉄道、(鉄筋鉄骨混凝土構造に改良)⁵⁴⁾

4) 工学士. H.M. 生「鉄筋混凝土床版に於ける鉄筋の経済的配列」⁵⁵⁾

工学士 H. M. 生と匿名ではあるが大正 2 (1913) 年に鉄筋コンクリート床版の経済的な配筋法を紹介している。これは John A. Davenport の論文 "Concrete and Constructi-
onal Engineering" の 1913 年 3 月号に掲載された床版配筋についての論文の抄訳と
している。床版を多径間連続版として合理的な鉄筋配置方法を紹介したもので、次の 6 点
を基本としている。

- a) 鉄筋は径間の中央に於いては底面近く置くべきこと。
- b) 鉄筋は支承点にては断面の頂上に近く置くべきこと。
- c) 鉄筋の全断面積は径間の中央及び支承点に於いてのみ必要なこと。
- d) 他の中間点にては更に小なる面積にて足ること。
- e) 反曲点にては張力鉄筋の必要なきこと。
- f) 普通の場合にはせん力鉄筋の必要なきこと。

なお反曲点の位置は支点より径間の $1/4$ に取りて、多少の変化あるも支障なき様なり
と記述している。鉄筋の配列法として「交互配列法」を図 4-38 に示す様に 2 種類の配
列について述べている。

交互配列法-1 は反曲点の折曲部に鉄筋の継手を設けているのが特徴で、継手には余長
を取って端部定着のための曲端（フック）を設けている。（図 4-38-1 参照）2 種類
の鉄筋系列を位置をずらして交互に配列しているが、このずらし量として径間の約 $1/10$
に 3 吋 (8 cm) を加えた距離としている。しかしこの配列では上下鉄筋の定着端が連続性
がなく、しかも反曲点の範囲に納まらなると見られる。

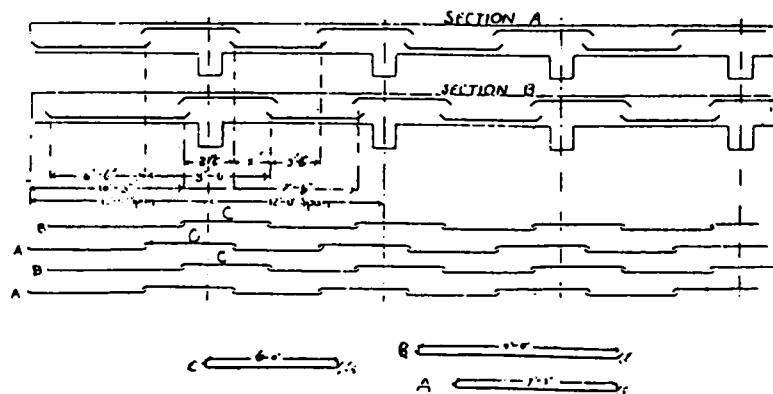


図 4-38-1 床版鉄筋配列法「交互配列法-1」⁵⁵⁾

交互配列法-2 では図 4-38-2 に示す様に、上下鉄筋の連結が無いとの批判に答え
るもので、継手数を半減させて折曲げも一個所にしている。鉄筋形の種類も 3 種ですみ
継手位置も半減して鉄筋長さも 2 倍となり改善されている。

第二の方法が現在の方法に近いが、未だ上下の鉄筋の連結の対応が不充分である。

この論文は鉄筋コンクリート床版の合理的配筋に付いて紹介したものであるが、大正期
に入ると鋼橋の床版にも鉄筋コンクリート構造が使用される様になり、合理的で施工性
の良い鉄筋配置が求められて、こうした配筋が採用される様になったと見られる。

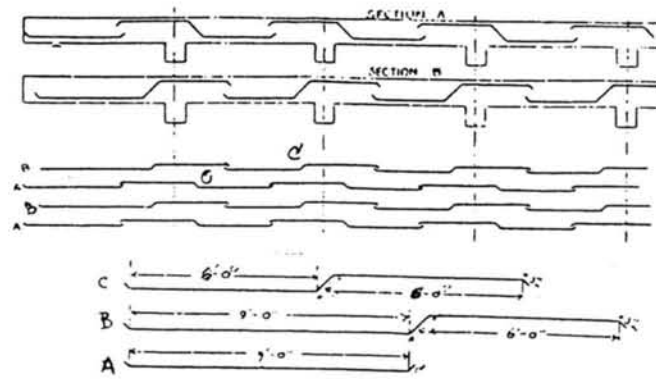


図4-38-2床版鉄筋配列法「交互配列法-2」⁵⁵⁾

(5) 擁壁工事の紹介

1) 小川織三「鉄筋混凝土擁壁の実例」工業雑誌396号、明治41年9月。⁵⁶⁾

小川織三はバッハロウ市南東部の鉄道軌道の上昇工事での鉄筋混凝土擁壁の構造例を詳細に紹介しており、明治41(1908)年当時の施工例として取り上げる。

擁壁の合理的設計として、高さに応じて24呎(7.3m)から12呎(3.7m)までを扶壁式擁壁とし、12呎以下をL型擁壁としている。壁前面から壁趾が突出する事を市当局が認めず、不良地盤上の杭打ち基礎の上に図4-39-1、39-2の構造となった。

設計は土圧をチャーチ氏の力学書(Church's Mechanics)にある式に従って計算しており、鋼材の許容応力度を1平方呎当たり1万6千ポンド(1125kg/cm²) 混凝土(配合1:3:6)の許容応力度を1平方呎当たり500ポンド(35.1kg/cm²)としている。

扶壁式擁壁の底版の幅は、底版上面からの高さの半分に2呎(61cm)を加えた値に決めており、L型擁壁では底版上面からの高さの半分と決めている。この点は我国の擁壁設計の底版幅の決め方に近い。(写真4-21参照)

高さ24呎(7.3m)の扶壁式擁壁の外形寸法は、底版幅4.3m底版厚0.8m、前面壁厚0.6m、扶壁間隔3.8m、扶壁厚0.6mである。(図4-39参照)鉄筋は角形でマイルド・スチール材を使用し、配筋は図4-39に示されている。一見して力学的に合理的に配筋されているが、鉄筋は最小限に節約されている様である。(写真4-21、図4-39参照)

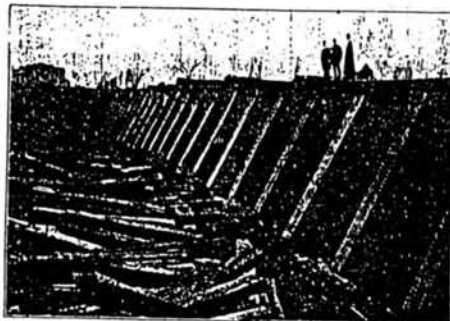


写真4-21-1 米国バッハロウ市鉄道

扶壁式擁壁完成状況⁵⁶⁾

(高さ7.3~3.7m)



写真4-21-2 同左鉄筋配筋状況⁵⁶⁾

(鉄筋保持方法に注目)

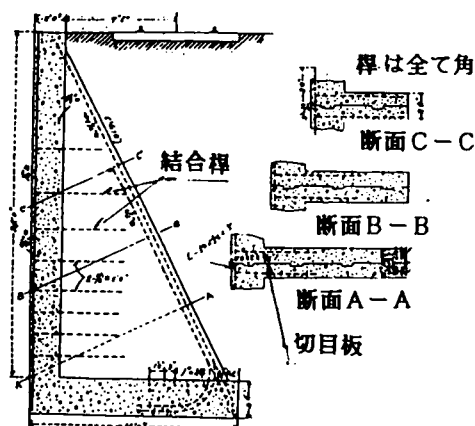


図4-39-1 米国バッハロウ市鉄道扶壁式擁壁
(高さ7.3～3.7m) 断面構造図⁵⁶⁾

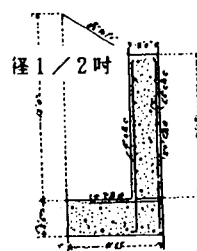


図4-39-2 米国バッハロウ市鉄道L型擁壁
(高さ3.7m以下) 断面構造図⁵⁶⁾

前壁の配筋は単鉄筋であるが、単純版として計算されているのか、扶壁中心に鉄筋固定の切り目付き板を入れているが、機能はどの程度か。底版の上面の1吋角の横鉄筋は、底版を連続版として入れているが、地中では連続構造にしているか不明である。

扶壁の斜鉄筋は1吋4分(3.6cm)角の大鉄筋であるが、外側4本は底版内に直に伸びており、内側4本は底版内で大きく彎曲している。内側鉄筋の機能は何か。斜鉄筋の両端での定着長は十分取れているのか。扶壁の結合棒(タイロッド)は、T形梁の腹部せん断力に抵抗する機能があるが、途中で留まっており、機能が果たせない。扶壁の中心にある鉄筋固定のための切目板は、機能があいまいである。

施工目地の間隔は50呎(15.2m)であり、これは施工単位の大きさとして妥当であり、工程上も好都合であったと記されている。全体として鉄筋が最小限に節約されており、基礎に不等沈下があった場合、構造的に亀裂の発生の恐れが大きいと考えられる。

次にL型擁壁では図4-39で底版上10呎(3m)の例が示されている。設計条件は扶壁式擁壁と同様であり、鉄筋は全て1/2吋(13mm)角である。前壁の前面は垂直2呎(61cm)、水平18吋(45.7cm)間隔に配列されており、背面は垂直4吋(10cm)、水平18吋(7cm)の間隔であった。底版上面では4吋(10cm)の間隔であった。

他の例として米国シンシナティ市での実績から、フランク・エ・ボーン(Frank A Bone)氏は高さ36呎(11m)までL形又は逆T形の擁壁が経済的と主張している。

氏はフィラデルフィア市での立体交差地下道に採用した28呎4吋(8.64m)の擁壁で、L形鉄筋混凝土と石壁式(重力式)擁壁の比較設計をしている。(図4-40-1参照)

両者を比較すると、作用力の合力の位置がL形の方が底版中心の近く、転倒に対して安定であり、底面の滑動に対しても上載土重量があるので安全であるとしている。

また、逆T擁壁では更に転倒に対して安定になり、底面反力度も小さくなるので、沈下に対しても安全度が高く、斜面掘削量も少ないとしている。(図4-40参照)

L形や逆T形擁壁が、扶壁式擁壁よりも施工容易で安価であると結論している。

この紹介論文は欧米における鉄筋コンクリート擁壁の構造比較や、具体的な配筋例まで紹介しており、外国技術文献の容易に入手できない一般技術者にとっては大層参考となる資料であったと見られる。

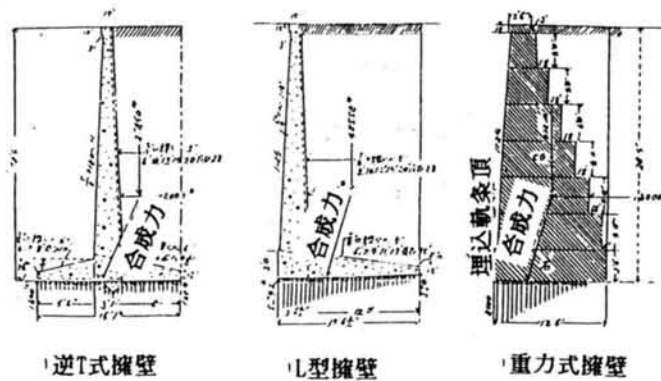


図4-40 同じ高さの擁壁の比較設計 (高さ8.64 m)⁵⁶⁾ (Frank A. Bone氏)

2) 山内弥次郎「鉄筋混凝土擁壁の設計に就て」⁵⁷⁾

鉄筋コンクリート構造を利用した擁壁の設計では、山内弥次郎 (京都帝大土木科、明治37年卒) が、明治40 (1907) 年に「鉄筋混凝土擁壁の設計に就て」を2回に分けて発表している。⁵⁷⁾ 重力式擁壁、石積擁壁に対して、鉄筋コンクリート擁壁が現地条件に合わせた形状で、力学的に合理的で経済的に設計できて、特に高い擁壁では土圧に対して安全な逆T形鉄筋コンクリート擁壁を推奨している。力学的計算法を示しているが、土圧力については諸説ありとして詳しく述べていない。(図4-41参照)

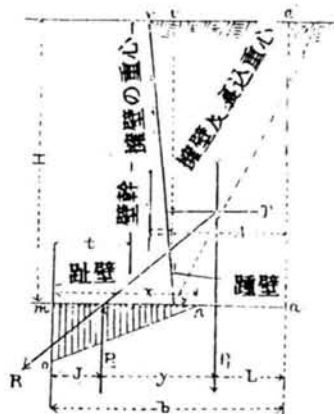


図4-41 逆T式擁壁設計説明図⁵⁷⁾

- H = 擁壁の高(呎)
- b = 底幅(呎)
- t = 趾幅(呎)
- A = 踵幅(呎)
- W = 裏詰 ruv の部を加算せる擁壁の重量(封度)
- w = 裏詰土壹立方呎の重量(封度)に高さ(H)を乗じたるもの
- s = 基床に及ぼす最大壓力強度(平方呎に付封度)
- s' = 基床土の最大支持力強度(平方呎に付封度)
- T = 高さ H に對する最大土壓(封度)
- M = 土壓 T を受けたる時の擁壁の轉覆能率(呎封度)
- $F = aa'$ 面に於ける摩擦力(封度)
- $P = W + wA + F$ = 擁壁及び裏詰の重量及摩擦力の總和にして下方に向つて作用す(封度)
- μ = 基床に於ける壁の摩擦係數
- $\mu' = aa'$ 面に於ける摩擦係數

3) 浅井芳之助「擁壁の設計」⁵⁸⁾

浅井芳之助 (東京帝大土木科、明治40年卒) は明治41 (1908) 年「擁壁の設計」として、重力式無筋擁壁と鉄筋コンクリート擁壁について計算法を示している。⁵⁸⁾

重力式では擁壁の形状を表面や裏面を垂直と傾斜の3種の分け、同じ高さで比較している。土圧についてはランキン式を示し、土の安息角を土質により変化するとしている。

これ等はハロールド・エー・ペッターサン (米国カルフォルニア州、ロスアンゼルス市水道技師) の著書を参考にして紹介したものとしている。

4) 町田実「標準鉄筋混凝土擁壁設計」⁵⁹⁾

町田実（攻玉社土木科、明治40年卒）は当時多用し始めていた鉄筋コンクリート擁壁の標準設計の紹介を、大正3（1914）年に発表している。⁵⁹⁾これは採用例の多い肋木型（逆T型）の鉄筋コンクリート擁壁の標準化の試みを紹介したもので、土圧としてはランキン式を使用し、図4-42に示す土圧係数の図表を掲げている。設計条件を明示して力学的な回転力、せん断力、反力を示して現場での使用に便利にしている。なお裏込土の安息角は「アメリカン・シビルエンジニアーズ・ポケットブック」によるとしている。

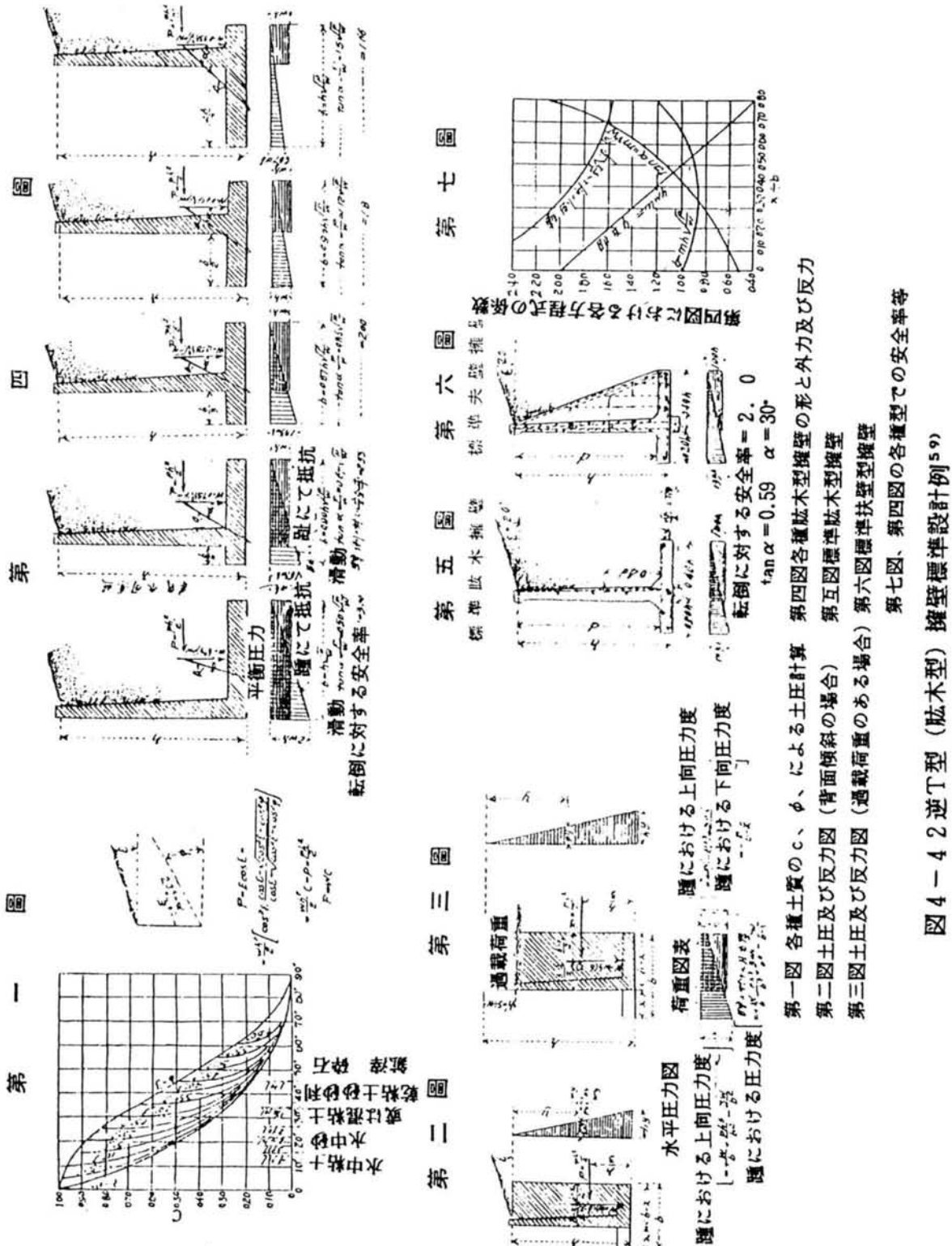


図4-42 逆T型（肋木型）擁壁標準設計例⁵⁹⁾

この紹介文は1913年7月のエンジニアリング・ニュース所載の技師エッチ・エム・ギブ (H.M. Gibb) の論文によるとしている。(図4-42参照)

明治末期に日本の土木雑誌に掲載された技術論文の多くは、欧米の原書や雑誌の論文の紹介であり、我国での実施例の報告ではないのが特徴である。自己の職場での必要から欧米文献を調査して、その結果を発表している様であり、自己の職場の工事報告よりも欧米文献の紹介の方が権威を認められたと見える。当時の我国の技術状況の一端を表しており、それだけ当時の技術者が競って欧米技術の導入や紹介を行っていたと言える。

(6) 鉄筋コンクリート構造の各種用途の欧米事例の紹介のまとめ

明治末期における「工学会誌」及び「工業雑誌」での欧米の鉄筋コンクリート構造の使用例等の主な紹介資料は、表4-20に示す通り港湾工事8件、杭工事2件、水道及び堰堤工事3件、橋梁工事3件、擁壁工事4件であり、この他に雑記としての小情報が数件あった。これ等を分類するとa) 鉄筋コンクリート構造物の一般的紹介 b) 同様技術情報の紹介 c) 同様実用的技術情報の紹介、に3分類される。

内容を見ると明治40(1907)年頃までの一般的な工事の紹介に対して、それ以後では特殊工事や、特殊構造の紹介、大規模工事の紹介が多くなっている。始めの頃は鉄筋コンクリート構造がどのような用途に、どのように使用されているかが問題となったが、40年を過ぎる頃からは、特殊条件の所でどのように使用されたか、どのように施工されたかが問題となっている。特に擁壁については採用例が多いためか、高さによる経済的な形式や、形状の比較等の実用的な技術情報が紹介されるようになった。

表4-20 明治末期欧米の鉄筋コンクリート構造物紹介資料の分野別一覧表

工事種別	a) 一般的技術紹介	b) 技術情報紹介	c) 実用的技術紹介
港湾工事	直木倫太郎(明38) 小川織三(明42) り. な. (明39)	直木倫太郎(明41) 浅井芳之助(明42) S. T. 生(大2)	小川織三(明40) 小川織三(明43)
杭 工 事	町田実(大4)		小川織三(明45)
水道工事等	S. T. 生(大2)	S. T. 生(明44)	O. O. (明41)
橋梁工事 地下鉄道	岳洋(明44)	岳洋(明45) 服部鹿次郎(明45)	
擁壁工事			小川織三(明41) 山内弥次郎(明40) 浅井芳之助(明41) 町田実(大3)

明：明治 大：大正

しかしながら、このような簡単な紹介では実用的技術情報以外は、工事担当者にとって単なる技術情報程度の資料であって、これ等で採用を決定したとは見られない。鉄筋コンクリート構造を採用するには、欧米の関連技術の原書を読破してこの技術に自信を持ち、

自己の責任において採用しなければならなかった。論文の発表も自己の試験的な小規模構造物の施工例よりも、調査した欧米の施工例の紹介の方が権威を認められていた様である。中央官庁や大都市官庁の技術者は欧米の関連技術資料も入手し易く、「工業雑誌」等に紹介されている資料はこうした物を基にした例が多い。

4. 6 鉄筋コンクリート構造の博覧会での展示

鉄筋コンクリート技術の開拓者であるモニエ (Monier) やアンネビツク (Hennebique) は、パリ等の万国博覧会に当時の最新技術で鉄筋コンクリートアーチや、建築物の「水の城」等の構造物を展示して、鉄筋コンクリート構造の社会的認知と普及に努めた。1885年のアントワープ博を見学したドイツのワイッス (Wayss) が、モニエの鉄筋コンクリート特許権のドイツでの実施権買収の決意を固めている。1900年のパリ博ではアンネビツクの出展した建築物が好評で、博覧会大賞 (Grand Prix) を受賞して鉄筋コンクリート構造の将来性をロベール・マイヤール (Robert Maillart) 等の技術者に深く認識させている。マイヤールは後のパリ博覧会に、芸術的造形のアーチ構造の自作品を出品している。⁶²⁾

こうした欧州での実例に倣らつて、日本のセメント会社も明治36 (1903) 年の大阪での第3回内国勸業博覧会に、小規模ながら鉄筋コンクリート構造物を展示している。写真4-22は佐賀セメントより出品されたコンクリート塊を片腕で支える、鉄筋コンクリート製の鬼である。⁶⁰⁾ 写真4-23は同博覧会に出品された小野田セメントの鉄筋コンクリート構造物についての朝日新聞の記事である。⁶⁰⁾ こうして鉄筋コンクリート構造が日本でも一般人にも認知され始め、この技術の啓蒙に影響を与えたと見られる。

資料によると佐世保海軍鎮守府土木技術者の真島健三郎は、この博覧会を見学して鉄筋コンクリートの研究に着手する刺激となったと書いている。⁶¹⁾ この博覧会は我国の鉄筋コンクリート普及に陰の力となったと見られる。



写真4-22 大阪第三回内国博覧会の
佐賀セメント出品の鉄筋コンクリート造の鬼像⁶⁰⁾

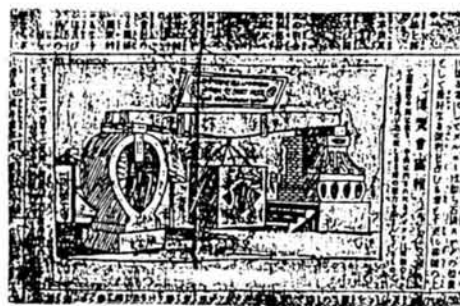


写真4-23 同上 小野田セメント製造出品の
鉄筋コンクリート展示物⁶⁰⁾

参考文献ー 4

- 1) 昔のコンクリートを語る会「昔のコンクリート」日本ポルトランド・セメント同業会
コンクリート叢書第24巻、昭和11年10月。
- 2) 石橋絢彦「鉄筋混業土通俗説明」工学会誌第344巻、492頁、明治43年11月。
- 3) 野田正徳、原田勝正「明治期鉄道史資料第二集、鉄道家伝3、長谷川勲 介伝」昭和
12年7月、(日本経済評論社複刻、昭和52年2月。)
- 4) 十川嘉太郎「鉄筋コンクリートの思い出」土木建築画報第129号、263頁、昭和10年12月
- 5) 昔のコンクリートを語る会「昔のコンクリート」63頁、昭和11年10月。
- 6) 大成建設(株)「大成建設社史」176 頁、昭和38年1月。
- 7) M.FOERSTER“ENTWICKLUNGS GESCHICHTE UND THEORIE DES EISENBETONS ”HANDBUCH
FUR EISENBETON, F.von EMPERGER, WILHEIM ERNST & SOHN, seite29, BERLIN, 1908.
- 8) 広井勇「鉄筋混凝土橋梁」工学会誌第253巻、285頁、明治36年6月。
- 9) 7) に同じ30頁。
- 10) 直木倫太郎、工業雑誌No.300、308、309、311、明治37年6月～明治38年3月。
- 11) 直木倫太郎「鉄筋混凝土ノ価値」工学会誌第272、273、276、277、明治38年3月～9月。
- 12) 7) に同じ、350 頁。
- 13) 谷元三「昭和人名辞典、第1巻、東京編」帝国探偵社、昭和9年。
- 14) 小川織三「講座、鉄筋混凝土」工業雑誌第379～426巻(24回)明治41年1月～42年12月。
- 15) 大河戸宗治「鉄筋混凝土に就て」帝国鉄道協会報第11巻4号302頁、明治43年8月。
- 16) 石橋絢彦「鉄筋混凝土通俗説明」工学会誌第334 巻、明治43年11月。
- 17) 柴田畦作「鉄筋混凝土に就て」工学会誌第339 巻、明治44年4月。
- 18) 日比忠彦「鉄筋混凝土講話」弘道館、大正2年6月。
- 19) 後藤佐彦「英米ニ於ケルこんくりーと工事ニ就テ」土木学会誌第2巻2号、大正5年4月。
- 20) P.Christophe “Annales des travaux publics de Belgique” 1899.
- 21) A.Buel and C.Hill“Reinforced Concrete”THE ENGINEERING NEWS PUBLISHING
COMPANY, NEW YORK, 1906.
- 22) 7) に同じ、39頁。
- 23) 1) に同じ、66頁。
- 24) 田辺平学、二見秀雄「鉄筋コンクリート構造」高等建築学第9巻、常盤書房、昭和9年2月。
- 25) 滝大吉「コンクリートにて造りたる床の實驗」建築雑誌第185号、明治35年5月。
- 26) 真島健三郎「鉄筋コンクリートの思い出」土木建築工事画報第129号、昭和10年12月
- 27) 友松仙蔵「鉄筋混凝土施工法」西尾虎次郎校閲、博文館土木叢書、明治44年3月。
- 28) 武田五一「鉄筋コンクリート構造の發展を顧みて」セメント界集報第321号、昭和9年7月
- 29) 山根巖「明治末期における長崎での鉄筋コンクリート橋」土木史研究N019、平成11年6月
- 30) 柴田畦作、広井勇「鉄筋混凝土ニ関スル實驗、第1回報告」震災予防調査会報告第61号、
明治41年7月。
- 31) 茂庭忠次郎「鉄筋混凝土下水管荷重試験成績」工学会誌第315巻、明治42年2月。
- 32) 茂庭忠次郎「鉄筋混凝土管の強さ一、二」工業雑誌第412、413号、明治42年5月、6月。
- 33) 坂田時和「鉄筋モルタル管破碎試験」工業雑誌第414、415、416号、明治42年6月、7月。

- 34) 石橋絢彦、栗野定次郎「鉄筋こんくりーと床強力試験」工学会誌第333巻、明治43年10月
- 35) 小野栄作「鉄筋混凝土管試験報告」土木学会誌第1巻2号、大正4年4月。
- 36) 茂庭忠次郎「鉄筋混凝土管試験報告、討議」土木学会誌第1巻4号、大正4年8月。
- 37) 井上福一郎「鉄筋混凝土設計實例」服部鹿次郎、長崎武英序、建築書院、大正元年9月。
- 38) 阿部美樹志「鉄筋混凝土桁に於ける腹部鉄筋挿入法の優劣に就て」工業雜誌社、工業雜誌第44巻527号、大正3年3月。
- 39) 直木倫太郎「海工ニ於ケル鉄筋混凝土ノ応用」工学会誌第270巻、明治38年1月。
- 40) 小川織三「海岸防禦工に鉄筋混凝土の応用」工業雜誌第371号、明治40年9月。
- 41) 直木倫太郎「鉄筋混凝土製の潜水函」工業雜誌394～396号、明治41年8月～10月。
- 42) 小川織三「鉄筋混凝土の新用途」工業雜誌第402号、明治42年1月。
- 43) 小川織三「鉄筋混凝土函」工業雜誌第427号、明治43年1月。
- 44) 浅井芳之助「鉄筋混凝土函より成る防波堤の一例」工業雜誌第404号、明治42年1月。
- 45) S.T.生「臨海工事と混凝土」工業雜誌第503号、大正2年3月。
- 46) り、な、「だんじー港ノ鉄筋混凝土横棧橋」工学会誌第281巻、明治39年1月。
- 47) 小川織三「鉄筋混凝土杭の打込法」工業雜誌第475号、明治45年1月。
- 48) 町田実「鉄筋混凝土杭に就て1.2.」土木建築工学2巻7.8.号、大正4年7月、8月。
- 49) O.O.「鉄筋混凝土の心壁を有する土堰堤」工業雜誌第389号、明治41年6月。
- 50) S.T.生「貯水池の築造に鉄筋混凝土の応用」工業雜誌第469号、明治44年10月。
- 51) S.T.生「下水道工事と混凝土」工業雜誌第511号、大正2年7月。
- 52) 岳洋「鉄筋混凝土橋の色々」工業雜誌第470号、明治44年10月。
- 53) 岳洋「鉄筋混凝土橋の實例二三」工業雜誌第487号、明治45年7月。
- 54) 服部鹿次郎「伯林高架及地下電気鉄道」工学会誌第275巻、明治38年6月。
- 55) H.M.生「鉄筋混凝土牀版に於ける鉄筋の経済的配列」工業雜誌第516号、大正2年9月。
- 56) 小川織三「鉄筋混凝土擁壁の實例」工業雜誌第396号、明治41年9月。
- 57) 山内弥次郎「鉄筋コンクリート擁壁の設計について」工業雜誌第368～371号、明治40年7月
- 58) 浅井芳之助「擁壁の設計」工業雜誌第399号、明治41年11月。
- 59) 町田実「標準鉄筋混凝土擁壁設計」土木建築工学1巻5号、大正3年9月。
- 60) 昔のコンクリートを語る会「昔のコンクリート」日本ポルトランド・セメント同業会
コンクリート叢書第24巻、62頁、65頁、昭和11年10月。
- 61) 十川嘉太郎、真島健三郎「鉄筋コンクリートの思い出」土木建築画報第129号、工事画報
社、昭和10年12月。
- 62) Max Bill " Robert Maillart " Verlag fur Architekten A.G. Erlenbach-Zurich 1949

5. 導入期の鉄筋コンクリートの構造物の導入

明治末期の鉄筋コンクリート構造物の導入は、胎動期に続いて欧米技術の発展の影響を受けて始まった。我国の社会的基盤施設である土木事業の進展は、近代国家としての文明開化と殖産興業政策の必要から、先ず鉄道建設と港湾整備が先行して進められた。

一方伝染病の流行と木造家屋防火の必要から大港湾都市の上下水道や都市道路の建設にも力が注がれた。港湾施設や上下水道施設の建設には、石造、煉瓦造りに代わってコンクリートや鉄筋コンクリート構造が、国策として採用される様になり、更にそれが全国各地での土木建築構造物に鉄筋コンクリート構造が使用される「きつかけ」となり、徐々に普及して行った。

此の章では各分野の鉄筋コンクリートを導入した土木構造物の初期の構造及びその採用の経緯について概要を述べる。橋梁については、次の章に改めて詳細に述べることにする。

5. 1. 各種構造物での鉄筋コンクリート構造の導入の状況

(1) 水工構造物

1) 河川構造物に鉄筋コンクリート構造が導入された初期のものは、明治36(1903)年から38(1905)年に、京都の西洞院川が三條付近から始まり七条まで暗渠化されて、京都電気鉄道の市街電車が開通した。この暗渠の構造として円弧形鉄筋コンクリート・カルバートが採用され、当時の京都大学土木科助教授の井上秀二が指導した。

2) 明治41(1908)年京都三大事業(第二疏水建設、京都上水道、市街道路拡幅と市街電車運行)の一つとして第二琵琶湖疏水工事が始まり、琵琶湖の水が京都上水道に使用された。第二疏水の天津及び蹴上区間の延長は7.416kmであるが、大部分はトンネル区間であり、トンネル坑口や明かり部分も鉄筋コンクリート構造で暗渠化された。

図5-1はこれ等暗渠部の標準横断面であり、側壁は煉瓦巻されている。²⁾

図5-2は京都府土木技師原田碧の著書の中に示されたこの暗渠の鉄筋コンクリート・アーチカルバート構造の設計計算の図解法を示したものである。³⁾設計条件として土砂単位重量90封度/立方呎(1.44 t/m^3)、その安息角30度、コンクリート単位重量

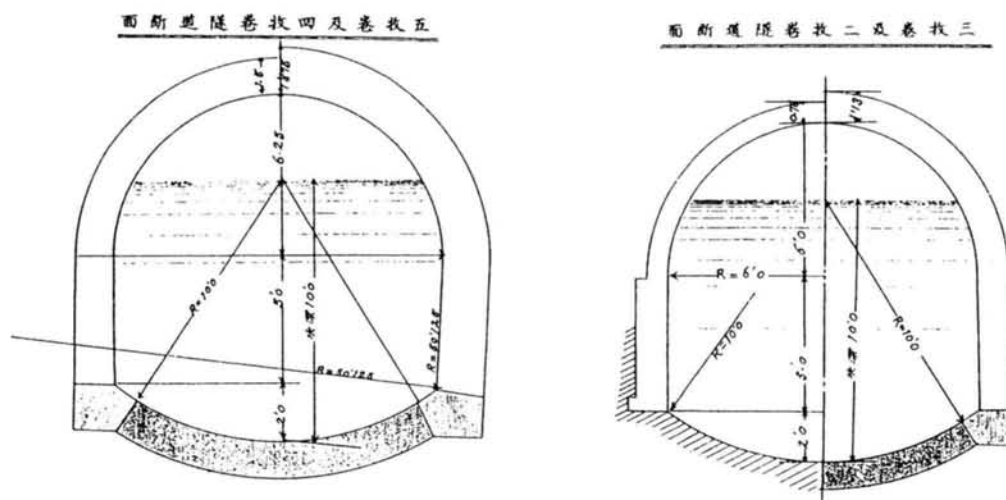


図5-1 第二琵琶湖疏水工事、隧道断面図(煉瓦巻部)²⁾

(4.42m))

設計条件

距	线——个	距
距	同——12.4	
土 砂 填 层	——90° / 方文	
土 砂 安 止 角	——30°	
距 坡 上 / 中	150° / 方文	
距 坡 上 / 中	120° / 方文	

P ₁	1200	C ₁	+ v
P ₂	1213	C ₂	+ v
P ₃	1200	C ₃	142
P ₄	1250	C ₄	210
P ₅	1173	C ₅	208
P ₆	1049	C ₆	202
P ₇	973	C ₇	406
P ₈	702	C ₈	195
P ₉	487	C ₉	292

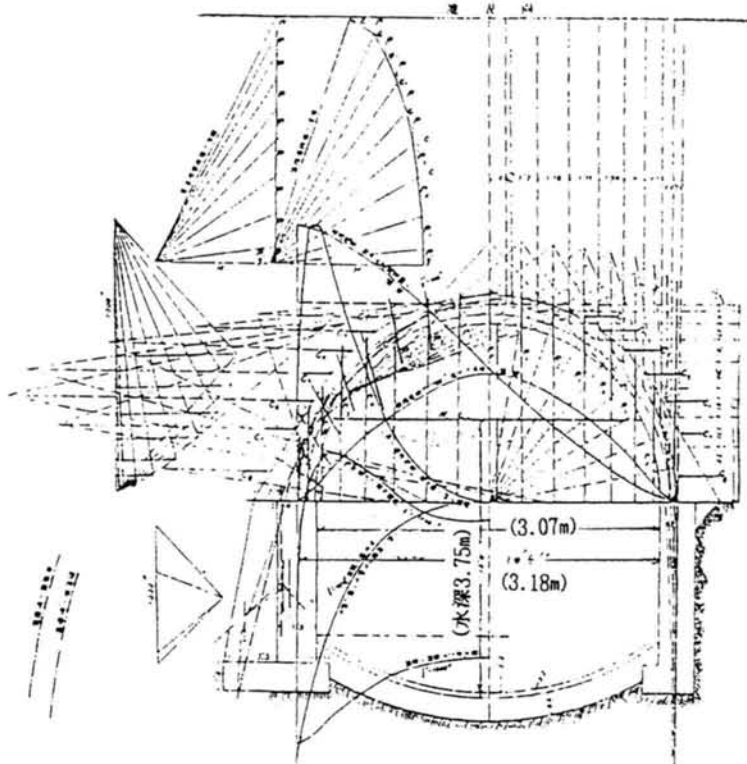
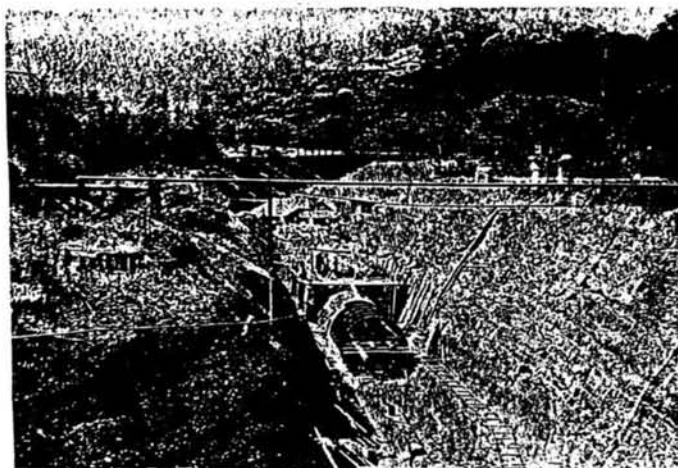
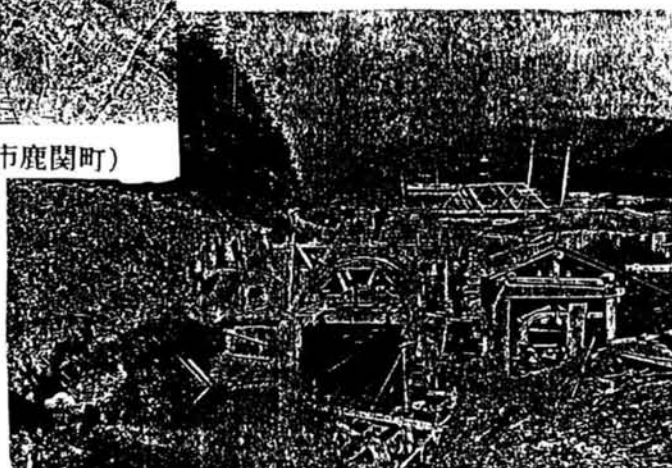


図5-2 第二琵琶湖疏水工事、隧道坑口及び暗渠部³⁾
(鉄筋混凝土アーチ・カルバート)



小関トンネル東口の暗渠工事（大津市鹿関町）



柳山トンネル東口の暗渠工事（山科四宮）

写真5-1 第二琵琶湖疏水工事、暗渠部施工中⁴⁾

140封度/立方呎 (2.24 t/m^3) として計算しているが、現在よりもやや小さい値である。図解法で求めた各断面の断面力で、鉄筋コンクリートの計算を行ったものと見られる。(写真5-1参照)なお第二疏水工事では経済性のため、火山灰の試験結果により「火山灰仕様書」を作成して、コンクリート中に九州産の火山灰が混用された。配合はセメントと火山灰産地の製品により、試験して決められた。²⁾

3) 第二琵琶湖疏水運河拡張工事が明治44(1911)年頃京都南部でも行われたが、運河と交差する道路や河川にも鉄筋コンクリート構造が使用されている。一例として京都府管理の急流河川一の橋川が今熊野の東福寺付近で運河と交差するが、河川の変動する流量を直接運河に入れられないので、運河の下を暗渠で立体交差させている。この計画は図5-3の通りであり、市から府への交差申請書の写しが記録されている。⁵⁾この「一の橋川暗渠」は現存しており写真5-2に示す。この公文書には珍しく計算書が添えられており、当時の水理計算法や径間12呎(3.7m)の鉄筋コンクリートスラブの計算法が見られる。

水路断面の流量計算は、Kutter's Formulaに依っており、鉄筋コンクリートスラブの設計計算はEdwin Thacher's Formulaを使用しており、第7章で計算法について述べる。

伊藤氏水車水路及一之橋川

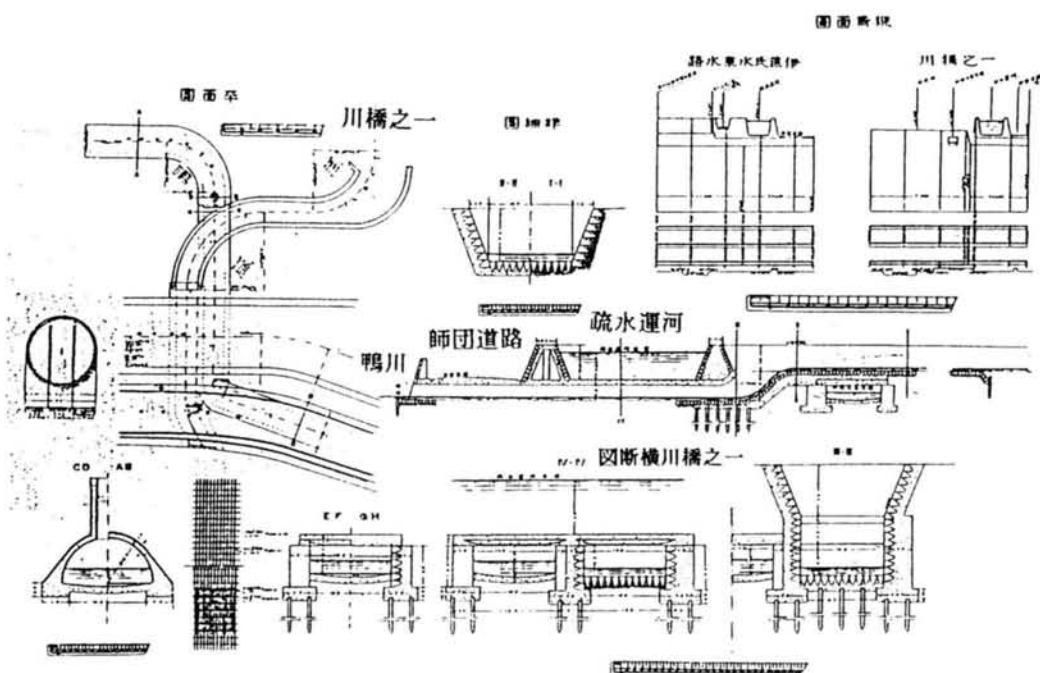


図5-3 第二琵琶湖疏水工事、一之橋川暗渠及び伊藤水車暗渠、設計図²⁾

また、明治44(1911)年には京都より伏見に至る道路が鴨川沿いに設けられ、道路と河床が略同一高さのため、護岸工として鉄筋コンクリート扶壁式擁壁が設けられた。擁壁高さは4.97m、73度18分の傾斜で、鉄筋は縦条に丸棒6mmが30cm間隔、横条に9.5mmを並置したモニエ式で施工された。³⁾(写真5-3-1参照)この構造物は旧国鉄奈良線が鴨川を渡る橋梁の直下の道路の護岸として現存する。(写真5-3-2参照)

4) 河川堰堤関連では明治43(1910)年竣工の淀川改良工事において毛馬洗堰が建設されたが、その制水門の「角落材」を運搬する通路として明治36(1903)年に鉄筋コンクリート橋が架設されている。^{5) 7)}(写真5-4参照)

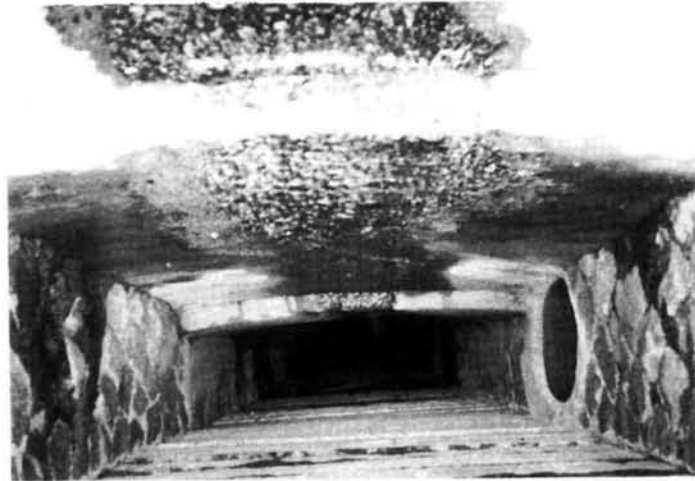


写真5-2 第二琵琶湖疏水工事、一之橋川暗渠鴨川出口
(平成12年2月筆者撮影)

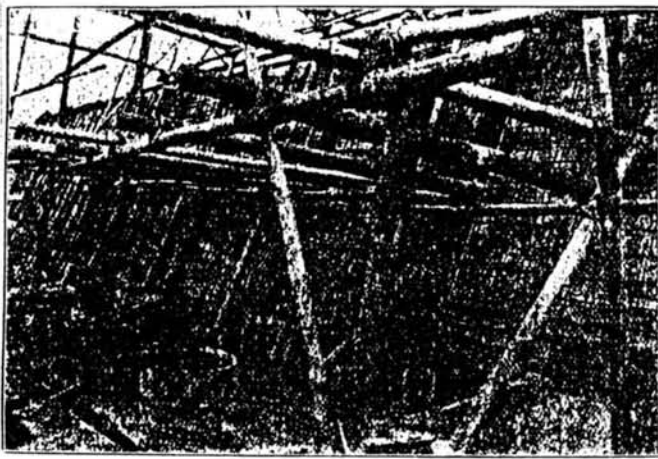
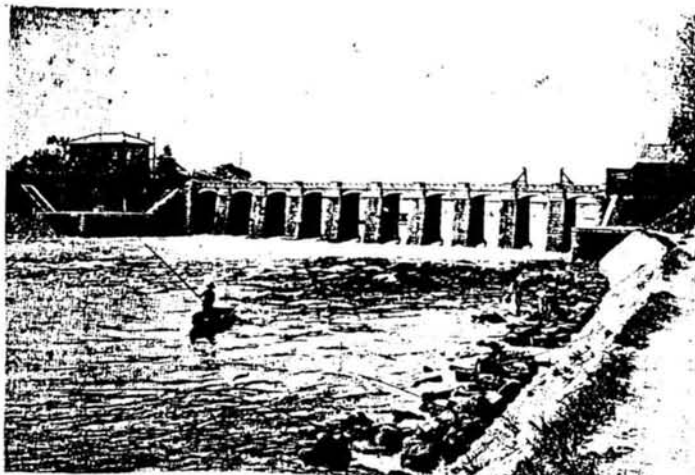


写真5-3-1 鴨川鉄筋コンクリート扶壁式
擁壁護岸工事³⁾(旧師団道路)



写真5-3-2 鴨川擁壁護岸頭部、左側府道
右側鴨川橋梁工事中(平成12年2月撮影)



毛馬洗堰(郡島区・明治44年頃)
煉瓦積みで、総工費約14万円。10
個の水通しがあり、堰の総幅は約
52メートル。角材を落とし込むこ
とにより流量を調節した。これ
により、洪水時には大川に流れ込
む水や土砂を防ぐことができた。

写真5-4 淀川毛馬洗堰⁷⁾

またこの洗堰の基礎には1.8mの厚さのコンクリートを打設し、その端には堤防根固めとして矢板を打込んでいるが、この矢板は鉄筋コンクリート矢板であったと見られる。
 d) 河川護岸への採用では、明治43(1910)年北海道庁の岡崎文吉が石狩川護岸での水制工として、コンクリート・ブロックを製作して使用している。⁸⁾これはコンクリート・ブロックを流れに対して固定させるため鉄筋で連結したものであるが、明治42年に考案して既に夕張川で試験的に施工している工法であった。(図5-4参照)

この他十川嘉太郎は台湾の楠梓仙溪と言う急流河川で、水衝部に蛇籠を鉄筋コンクリートで包んだ巨大な鉄筋コンクリートブロックによる大規模な水制工を施工した例を報告している。⁹⁾(図5-5、写真5-5参照)これは明治39(1906)年から44年までの現地での試行試験結果の報告であるが、岡崎文吉、原田貞介の専門学者は工費多大で益が少なしと批判している。

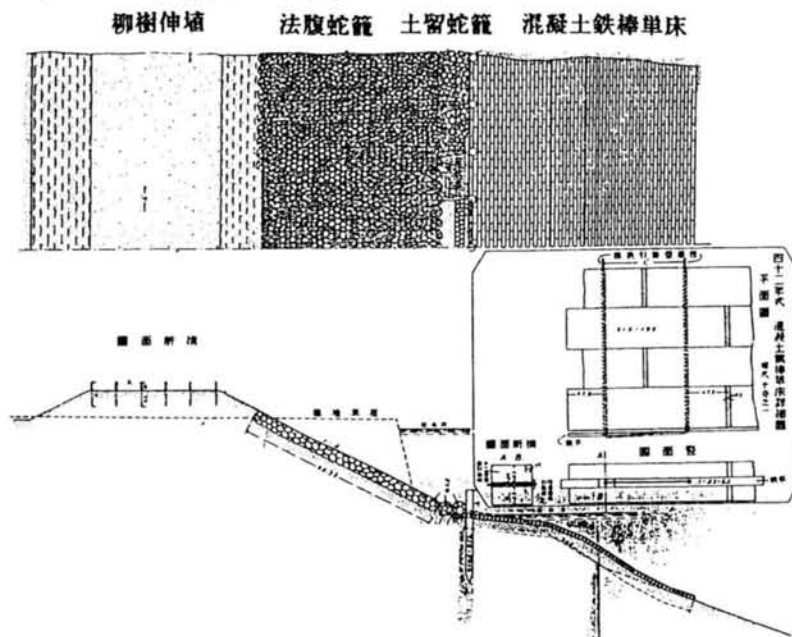


図5-4 石狩川、コンクリート・ブロック鉄棒連結制水工⁸⁾

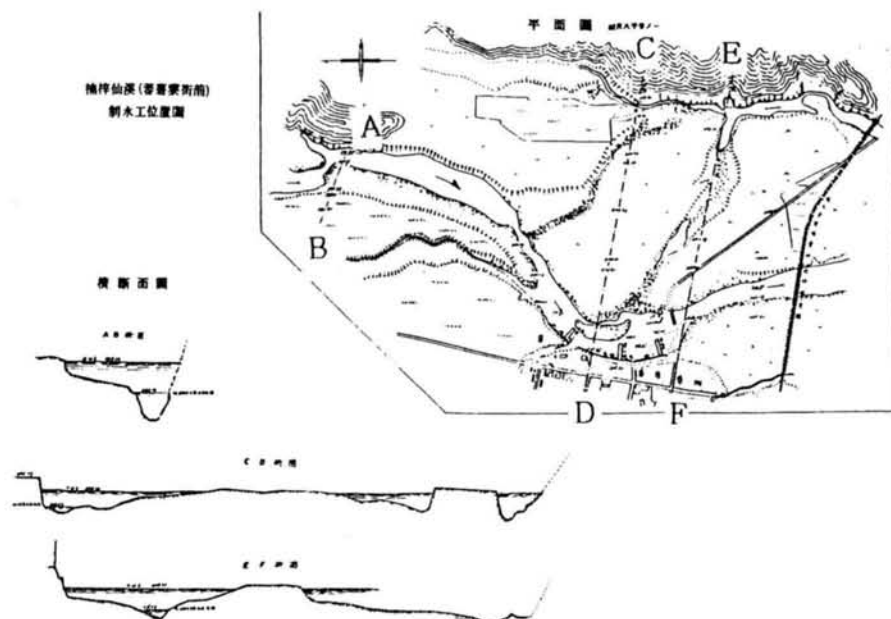


図5-5-1 台湾楠梓仙溪制水工、横断面図及び平面図⁹⁾

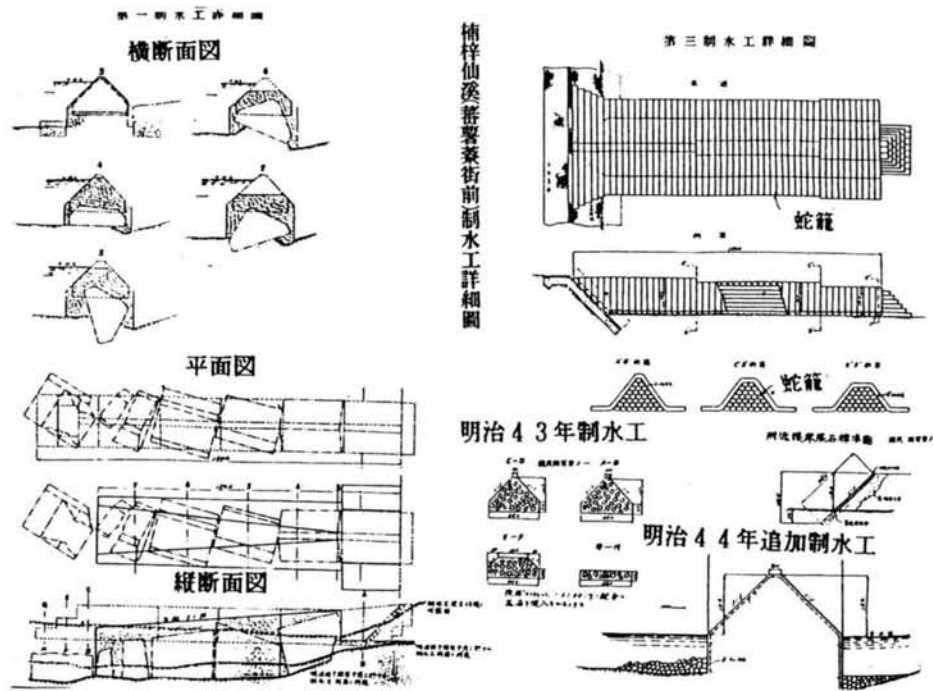


図5-5-2 台湾楠梓仙溪制水工、鉄筋混凝土張特殊制水工⁹⁾



写真5-5 台湾楠梓仙溪制水工、(十川嘉太郎、明治44年)
(洪水後の状況)⁹⁾

(2) 港湾構造物

1) 広井勇(札幌農学校、明治14年卒)が担当した第一期小樽築港工事で、明治41(1908)年北防波堤が完成したが、棧橋、岸壁や埋め立て地に倉庫等が必要であり、第二期工事として伊藤長右衛門(東京帝大土木科、明治35年卒)担当で南防波堤等の工事が進められ大正3(1914)年に竣工した。¹⁰⁾ 南防波堤の構造として、長辺14.8m、短

辺7.8m、高さ7.8mの鉄筋コンクリート函塊(ケーソン)を陸上で築造し、進水して運搬し連続して沈設する工法を採用している。(図5-6参照) 構造図を見ると、設計条件や進水時の衝撃荷重をどう評価して設計したかは不明であるが、函塊の側壁内面に鉄筋を集中配置しているのが注目される。(図5-6参照)

ケーソン製作台及び滑台は台形の鉄筋混凝土塊を斜面に並べて基礎とし、その上に堅木材を並べた。(図5-6参照) ケーソン製作は大規模工事であり機械化施工であったが、特にコンクリート工事は機械化され、3台のコンクリート混合機や、軽便台車の採用、20

立方尺 (0.6m³)用の鍊鉄製円筒形投入機(スキップ)、これを吊り上げるクレーン等が使用された。コンクリートは容積配合の1:2:4であるが、打継目の施工では予め膠泥(モルタル)の薄層を敷き、木製漏斗により内法方1尺、長12尺の角筒2個を継足して、コンクリートを打設している。搗固めは人力によっており、ケーソン一個は1日14時間で施工している。進水は1回に3個行うため、連続して3個を製造している。(図5-6参照)

港湾工事としては日本で最初の鉄筋コンクリート・ケーソン工事であり、その後の同種工事の参考にされたと考えられる。

図 五 組 筋 鉄 塊 函 中

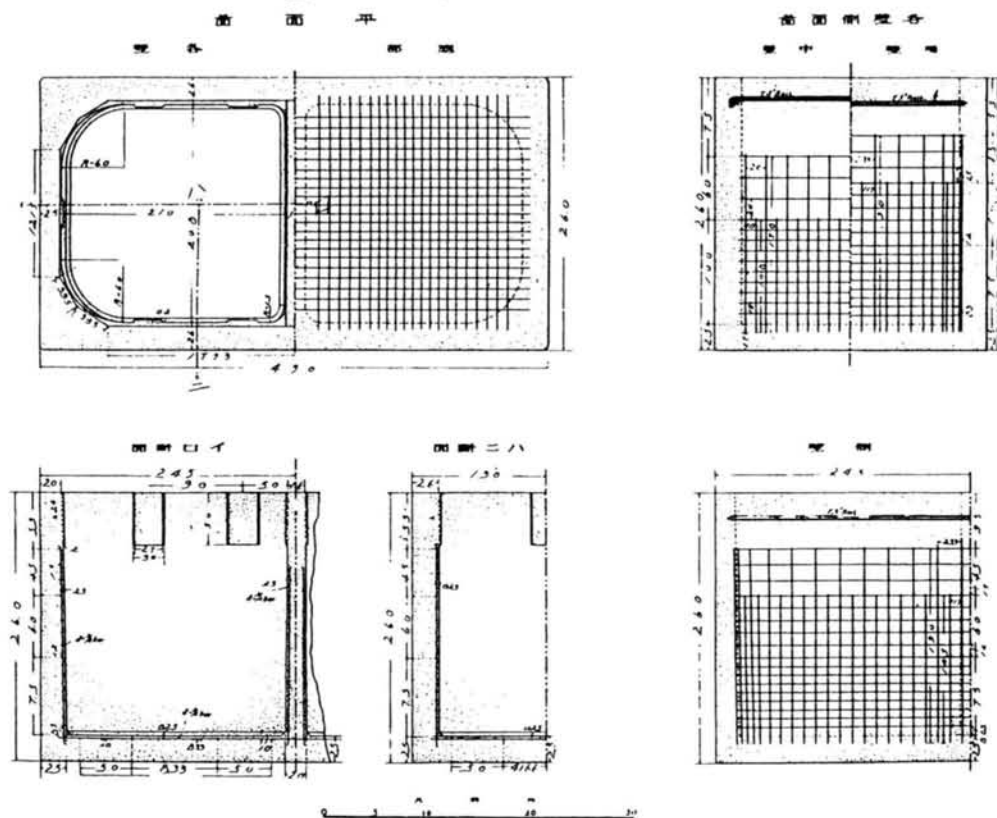


図5-6-1 第二期小樽築港工事(南防波堤鉄筋混凝土函塊構造図)¹⁰⁾

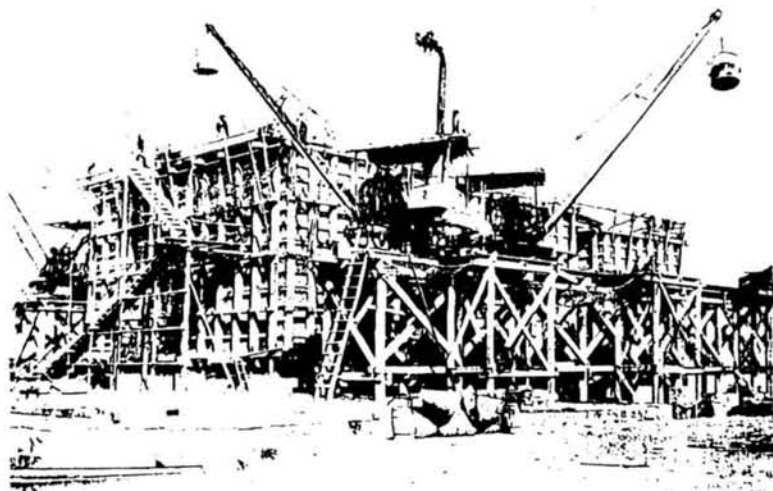


写真5-6-1 第二期小樽築港工事、鉄筋コンクリート函塊製作施工中¹⁰⁾

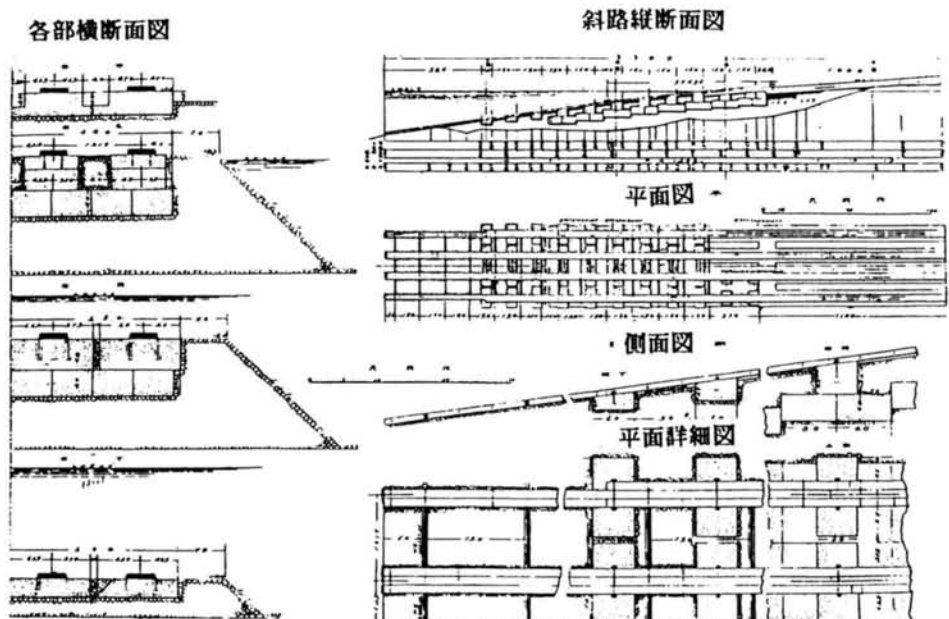


図5-6-2 第二期小樽築港工事（函塊製作台及び進水台）¹⁰⁾

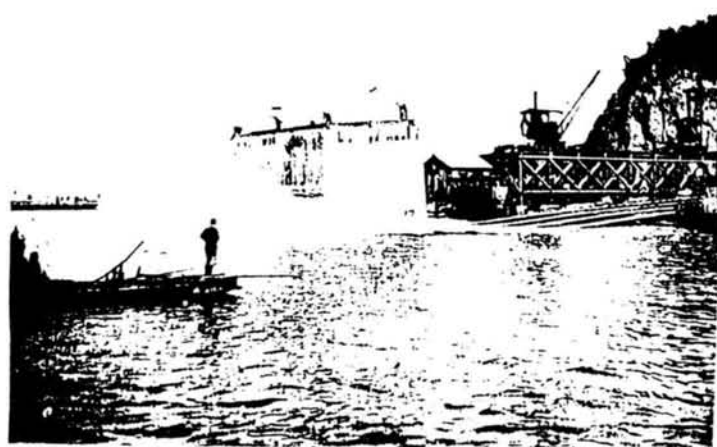


写真5-6-2 第二期小樽築港工事、函塊進水時の状況¹⁰⁾

2) 神戸和田岬の鉄筋コンクリート・ケーソン工事は東京倉庫株式会社神戸支店（三菱社系列）の担当した工事で、白石直治の計画であり、現場工事は須山英次郎（東京帝大土木科、明治41年卒）である。明治44（1911）年頃の施工であり略同時期に施工された米国ミルオーキー地方アルゴマ港でのケーソン工事を参考にし且つ批判している。¹¹⁾

この工事は和田岬での岸壁を築造するため2段重ねのケーソンを56個沈設する工事であり、ケーソン沈設の位置を精確に行うための現場での工夫を報告している。ケーソンの大きさは下段で長9.15m、幅5.5m、高さ4.6mであり、上段はやや小さいが共に水深9.15mの水圧に耐え得る設計を行っている。（図5-7参照）

ケーソンの鉄筋コンクリート構造はアンネビック（Hennebique）工法であり、直径19mmの鋼鉄円棒で、スターラップは同じく9.5mmである。鋼鉄の作用抗張強13000封度/平方吋（914 kg/cm²）コンクリート667封度/平方吋（46.9kg/cm²）鋼鉄とコンクリートの弾性係数比として15を使用して設計している。¹¹⁾

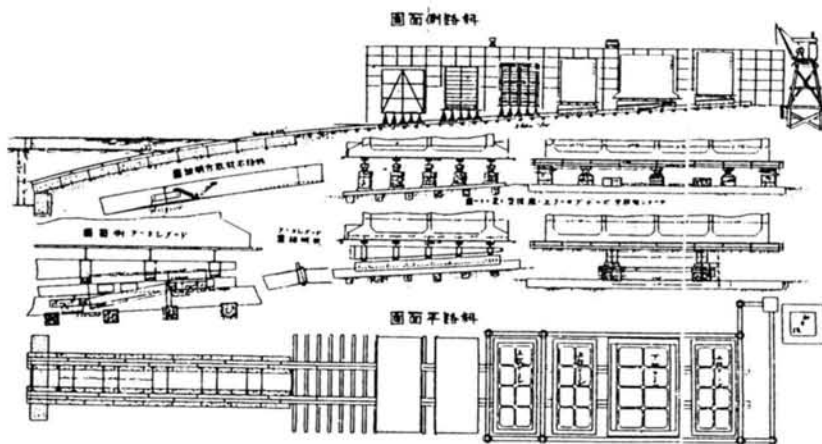


図5-7 神戸和田岬鉄筋コンクリート・ケーソン工事、ケーソン製作台及び進水台¹¹⁾

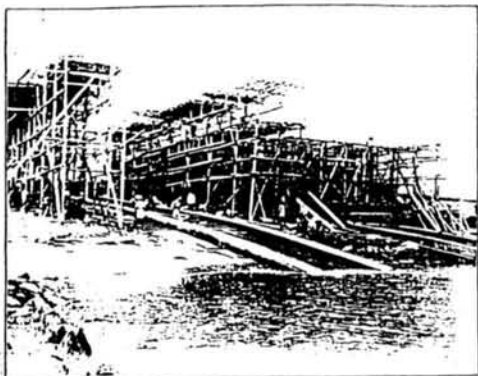


写真5-7-1 和田岬鉄筋コンクリート
ケーソン工事、製作台及び進水斜路¹¹⁾

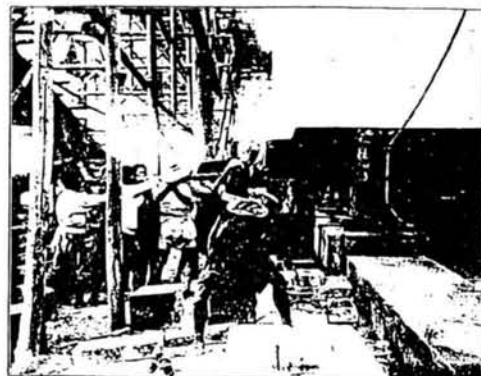


写真5-7-2 和田岬鉄筋コンクリート
ケーソン工事、進水前の楔打外し¹¹⁾

コンクリートは容積配合で1:2:4を使用しており、起重機によりバケットを吊り上げ流し台(chute)で投入しているが、打継目や始めての打設では配合1:2の膠泥を底面に流し込み薄層を作り、その上に通常のコンクリートを平らになる様に打ち込んでいる。搗固めは長6m外径19mmのガス鋼管の下部に幅7.5cm厚2cmの楔板を固定した道具を使用している。コンクリートの打設は1日3回の15分間の休憩を除いて連続して施工し、1日で函体を終了する様にしている。(写真5-7参照)

水密性を保つためケーソン外壁はセメント0.5、火山灰0.5砂2の配合の膠泥で6mm厚に塗布し、内面にも10cm厚のコンクリートを被覆している。

ケーソンは1回に6個を進水して係留し、1函ずつ沈設するが、この時4本の檜丸太杭をケーソン4隅の所定の位置に打ち込み、これを導杭として所定の位置にケーソンを誘導して沈設して事なきを得ている。¹¹⁾

3) 神戸港は明治初年の開港以来生田川から湊川に至る地先の埋立、岸壁、栈橋等が必に応じて順次築造されていた。横浜、大阪に次ぐ大規模な港湾計画も立てられたが、上水道が優先されて石積護岸のままであった。明治38(1905)年の暴風雨による大災害を受けて、神戸港第一期修港計画が立てられ、小野浜に4本の突堤と防波堤を造る工事が、明治43(1910)年に始まり、大正11(1922)年に完成した。(図5-8参照) 森垣亀一郎の「鉄筋混凝土ニ関スル試験報告」¹²⁾はこの第一期修港工事とそれに関

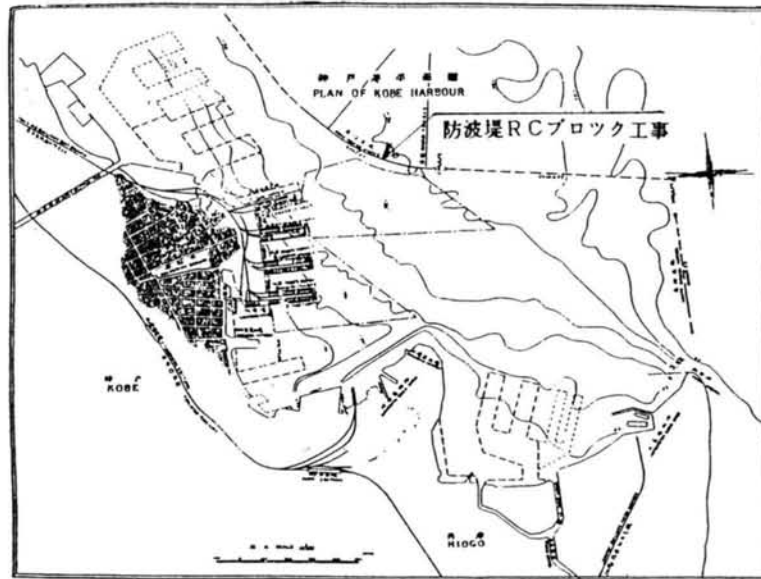


図5-8 神戸港鉄筋コンクリート栈橋工事、平面図¹²⁾

連して行った鉄筋コンクリートに関する試験報告である。なお、この工事では計画防波堤の一部が鉄筋コンクリート・ブロックで築造された。(写真5-8-3参照)

81個の鉄筋コンクリート製ケーソンの製作は、仮栈台上で行い、養生後に浮船渠を介して進水させている点が他と異なっている。コンクリートの配合は1:2:3を使用しているが、海砂や浜砂利を使用している点も特異であった。これ等のために河川産砂や砂利使用の場合との多くの比較試験を実施しているが、8年程度の経過では大きな差は出ていない。簡易な水洗いでは、塩分測定を行なっているが、除去が充分ではない。

なおコンクリートの配合では水量をセメント重量に対して50%として軟らか練りとしている。水量に注目しているが、骨材の管理が充分でないので全体として精密ではない。

施工継目の施工は前打ちコンクリート層の表面を凝結前に粗荒にして置き、散水してから後打ちコンクリートを施工している。

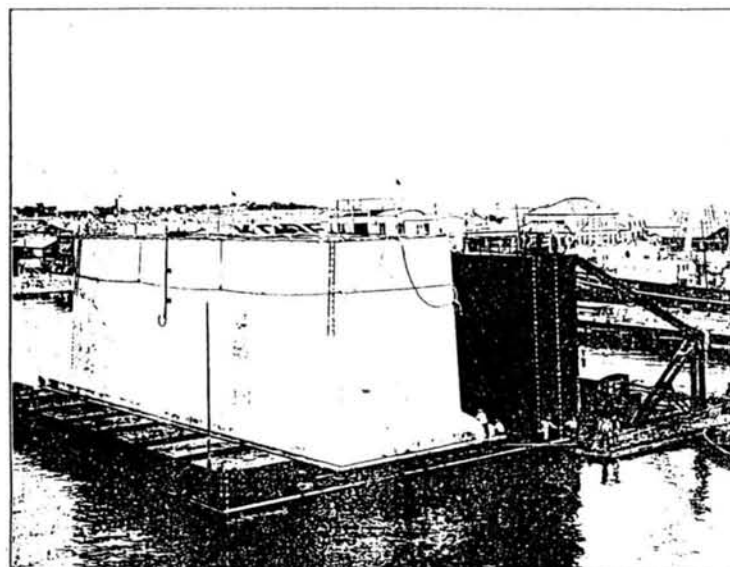


写真5-8-1 神戸港栈橋工事(浮船渠上の鉄筋コンクリート・ケーソン)¹²⁾

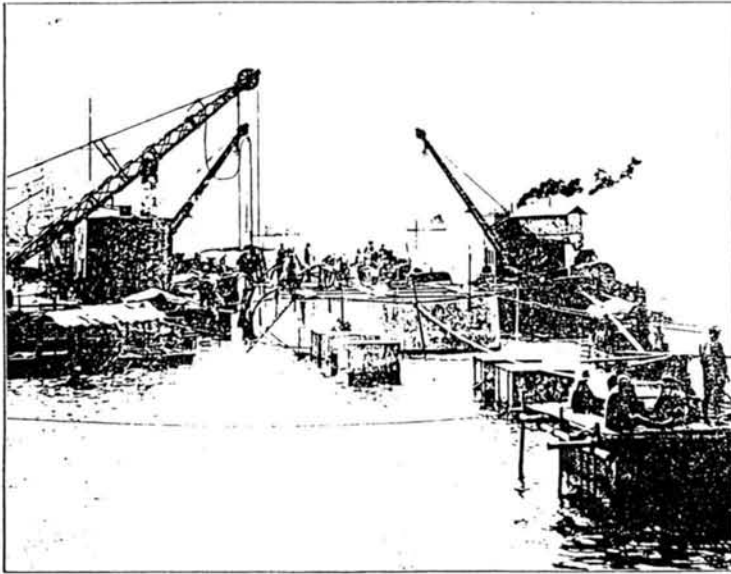


写真5-8-2 神戸港棧橋工事（ケーソン沈設工）¹²⁾

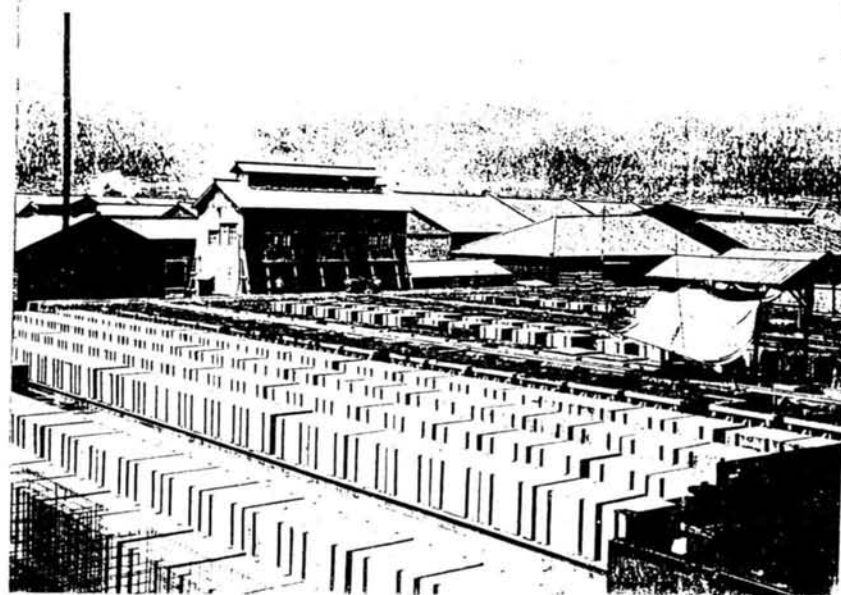


写真5-8-3 神戸港棧橋工事（鉄筋コンクリートブロック製作）¹²⁾

製造仮棧台上より浮船渠への移動は、潮の満潮時を利用して棧台より浮船渠に移載している。その後に注水して浮船渠を沈めてその吃水が14～15mに達すれば、函体は自ら浮遊すると述べているが、移載の施工はバランスを取る事が可なり難しかったと考えられる。¹²⁾（写真5-8参照）

4) 大阪港においては明治30（1897）年から防波堤工事が始まり、明治35（1902）年には完成したが、引続いて鉄骨製の大型橋及び繋船岸壁が建設された。明治44（1911）年には桜島片棧橋や大阪築港工務所前の小棧橋が鉄筋コンクリート部材により建設された。¹³⁾（写真5-9参照）また大阪築港工事において、土砂運搬用に鉄筋混凝土製の舢が建造されて使用された。¹⁴⁾（写真5-9参照）また安治川南岸では築港付帯工として護岸に鉄筋コンクリート矢板工が355m使用された。¹³⁾

大規模な鉄筋コンクリート工事としては、大正8（1919）年起工し同15年完工した第1号繋船岸がある。水深9～10m延長436mの鉄筋コンクリート造りのドルフィ

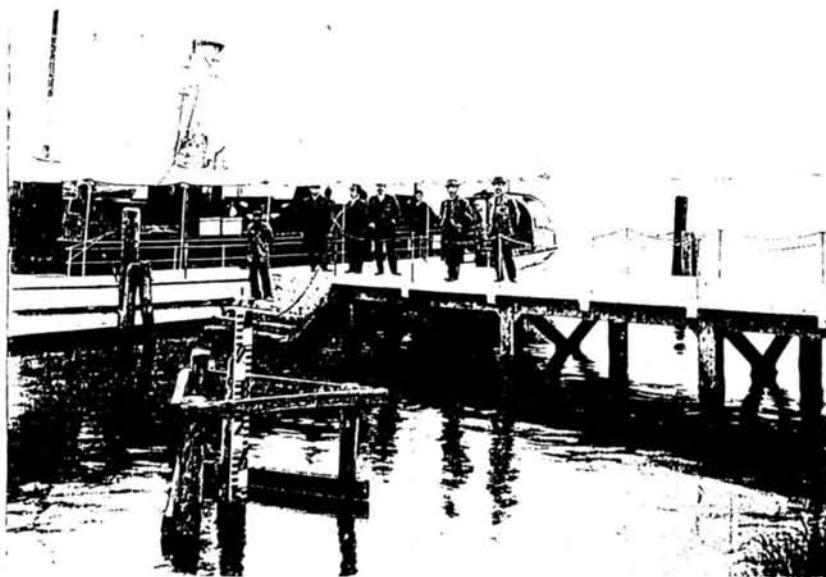


写真5-9-1 大阪築港、鉄筋コンクリート小棧橋¹³⁾

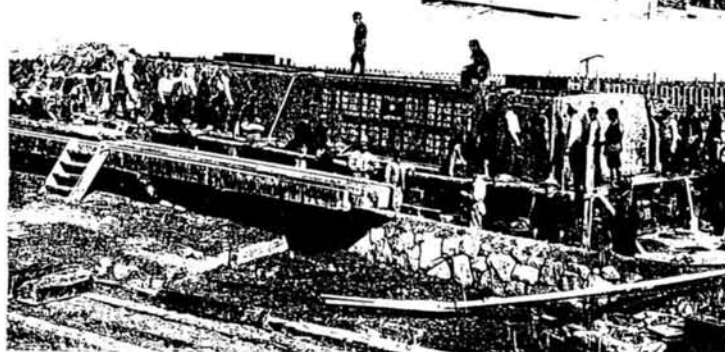
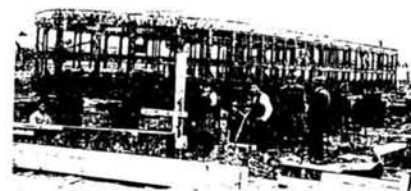


写真5-9-2 大阪築港、鉄筋コンクリート製土運搬船
(鉄筋組立中及びコンクリート工)¹⁴⁾

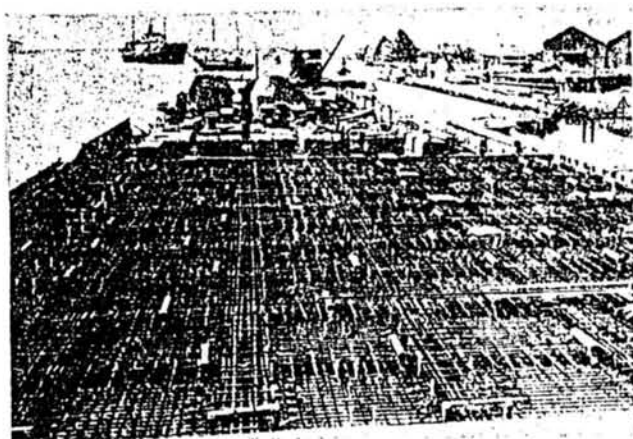


写真5-10 大阪港第一号繋船岸、上床版施工中¹³⁾
(アンネビック式)

基礎として米松丸太を打込み、外径3.3m高さ3mの既成鉄筋コンクリート製沓を沈設して杭群を包むフーチングとした。橋脚は既成鉄筋コンクリート円柱を建込み、海面上で2段の鉄筋コンクリート横梁で剛結している。深い海中の構造物を、困難な現場条件に依じて鉄筋コンクリート構造で工夫して建設しており、当時の代表的構造物であった。

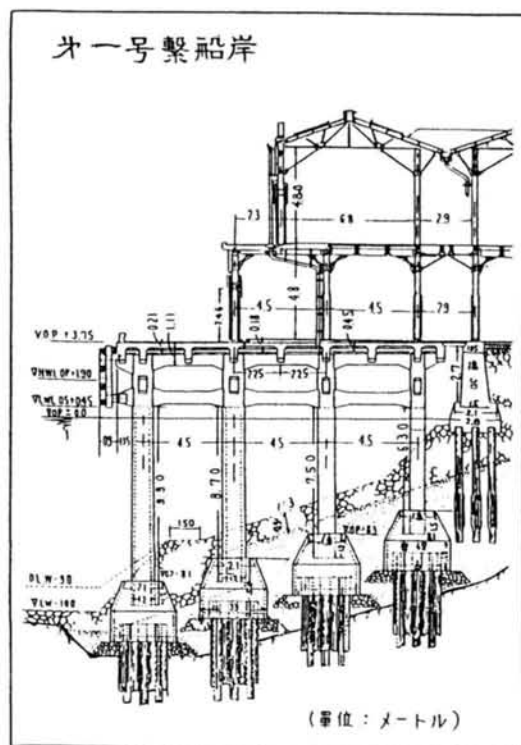


図5-9 大阪港第一号繋船岸、横断図（既成鉄筋コンクリート沓構造組立基礎）¹³⁾

道路構造物としては大規模な物は少ないが、大正2（1913）年から6年まで横浜港税関海陸連絡設備工事のなかで、道路排水構造物として鉄筋コンクリート構造物が一部に使用された記録がある。¹⁵⁾（図5-10参照）舗装はコンクリートを基礎とした煉瓦造りである。図5-10によれば、都市道路構造物としては規模は小さいが、現在と余り変わらぬ排水構造物である。

また、神戸市の資料によれば、外国人居留民地を初めその周辺の道路舗装が、煉瓦、石材、タール・マカダム等で行われ、明治44（1911）年には北長狭通り等でタービヤア・コンクリート舗装も行われた。大正3（1914）年にはアスファルト舗装も行われている。大正5（1916）年には東川崎一丁目と宇治川間に40間（72.8m）の鉄筋コンクリート舗装が試験的に試みられている。神戸市の舗装道路は大正7（1917）年には9.1kmに達しているが、各種舗装が試験的に行われていたと見られる。¹⁶⁾

1) 仙台市は明治22(1889)年市制実施に伴い、近代都市としての上下水道の必要との議論が起こり、内務省顧問バルトン(W.K.Burton)を招聘して調査し意見を報告させ

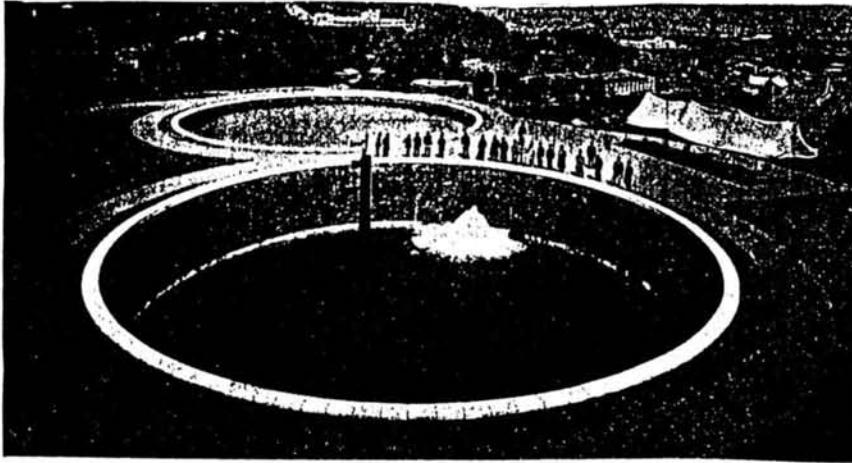


写真5-11 京都御所水道貯水池¹⁴⁾

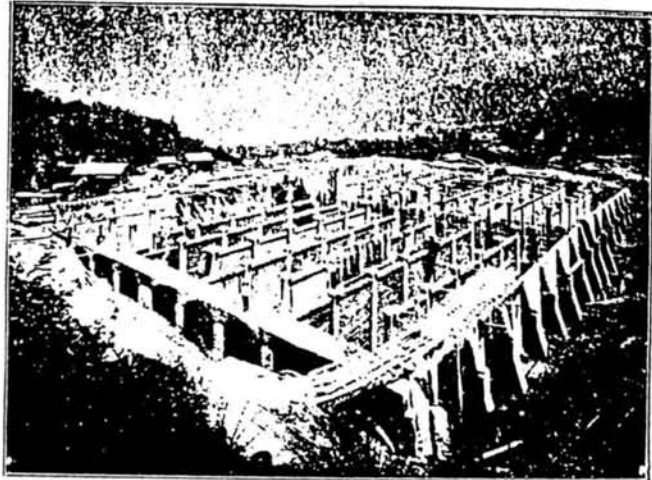


写真5-12 京都上水道浄水池、施工中全景¹⁸⁾

る。更にアルミナ溶液室やポンプ室も設けられ、水道システムの管理運用に便利な効率的な最新式の施設となっている。(写真5-12参照)

4) 横浜上水道の第2回拡張工事は、明治37(1904)年から市の発展に対応して給水人口80万人として、1日給水量90800m³の大規模工事であった。相模川水系の道志川を水源とし延長36kmの導水管路により、都築郡西谷村川島の「西谷浄水場」まで導水して、浄化給水するものであり、京都市を退職した井上秀二が明治43(1910

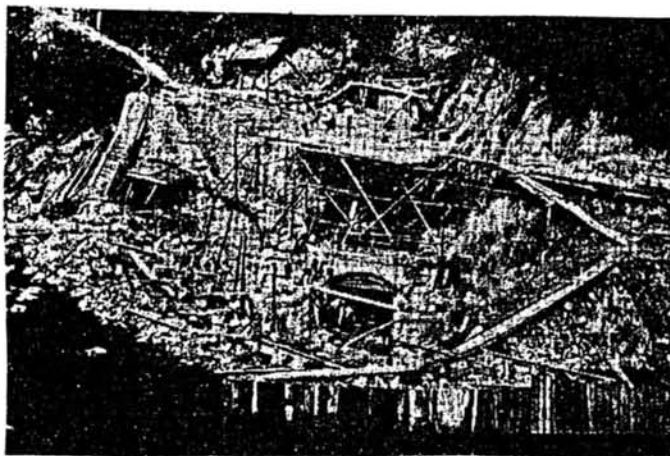


写真5-13-1 横浜市上水道第二回拡張工事、鮑子(あびこ)取水口工事状況¹⁹⁾

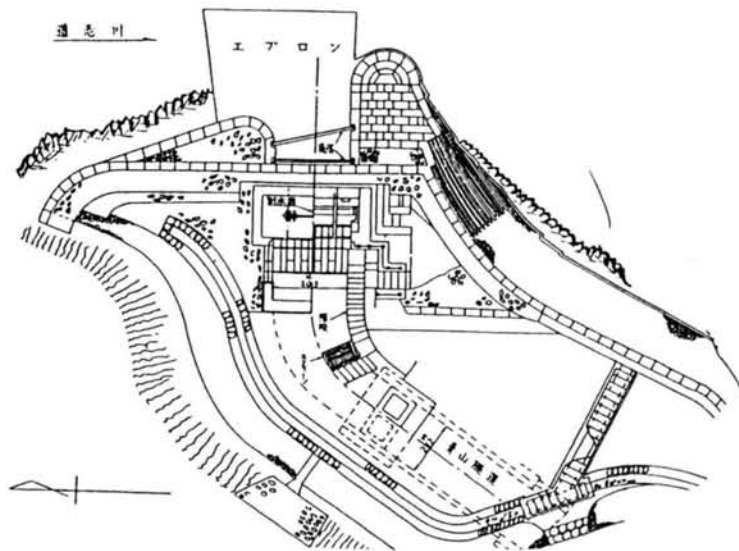


図5-11 横浜市上水道第二回拡張工事、鮎子取水口平面図¹⁹⁾

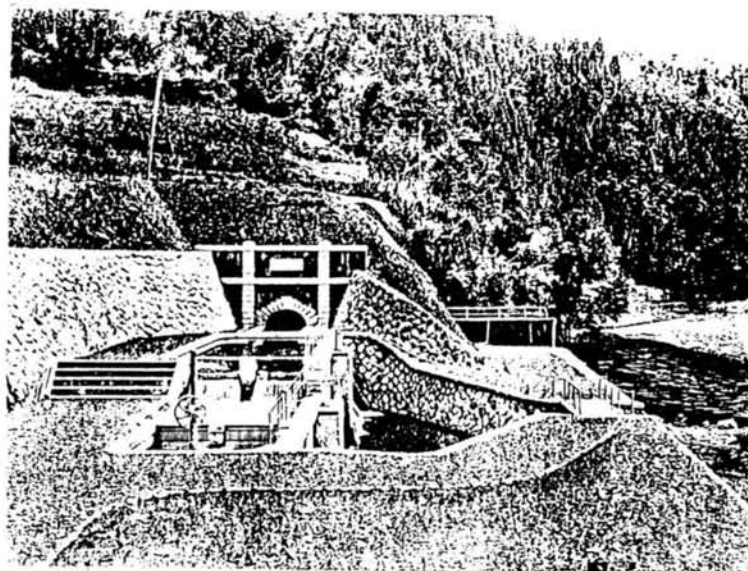


写真5-13-2 横浜市上水道第二回拡張工事、青山トンネル下口及び青山除砂池¹⁹⁾

）年より技師長に就任して新技術を積極的に導入して建設した。²⁰⁾（図5-11、写真5-13参照）

この工事では鉄筋混凝土が積極的に導入され、西谷浄水場では濾過池8個、配水池2個等では、明治44年横浜市に建設された吉田橋で採用された米国製カーンバー（Kahnbar）式トラスダー及びリップバー（Rippbar）が使用された。（写真5-14図5-12参照）明確ではないが耐震設計が考慮されて、大正12（1922）年の関東大震災にも被害がなかったといわれる。¹⁹⁾

各池の底面の基礎として格子状に6m間隔の鉄筋混凝土井桁基礎を設けており、底面には6m毎に伸縮目地を設け、その目地には凸形に加工した厚さ3mmの止水鉛版を入れてアスファルトを詰めている。これ等は英国の文献に見られる同種構造の「筏基礎」²⁰⁾が英国で普及した形式を参考にしたと見られる。（図5-13参照）また配水池では池の中に鉄筋混凝土の支柱や導流壁が設けられて、床版式天井を支持している。¹⁹⁾（写真5-14参照）

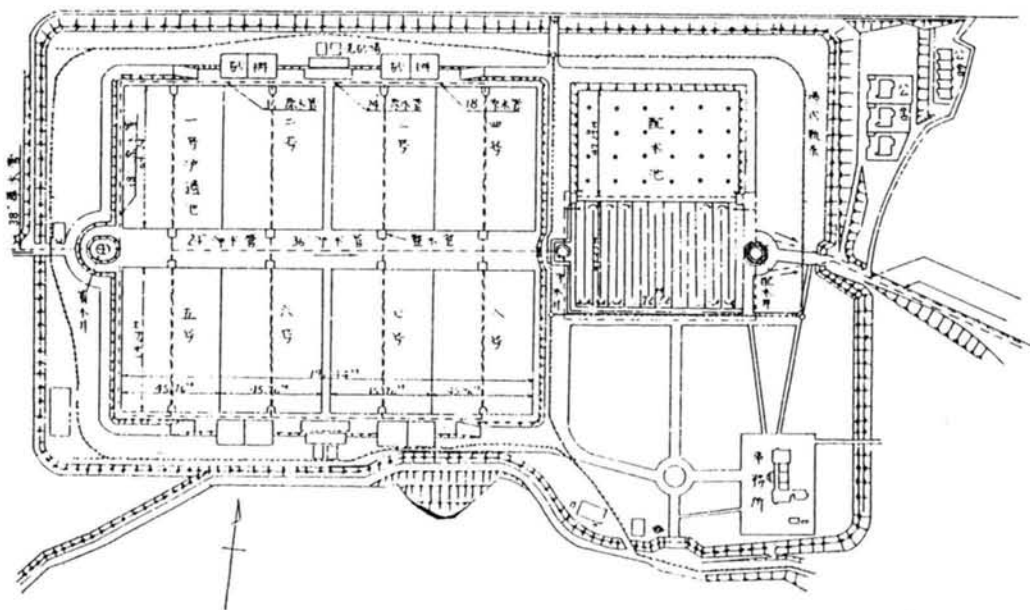


図5-12 横浜市上水道第二回拡張工事、西谷浄水場平面図¹⁹⁾

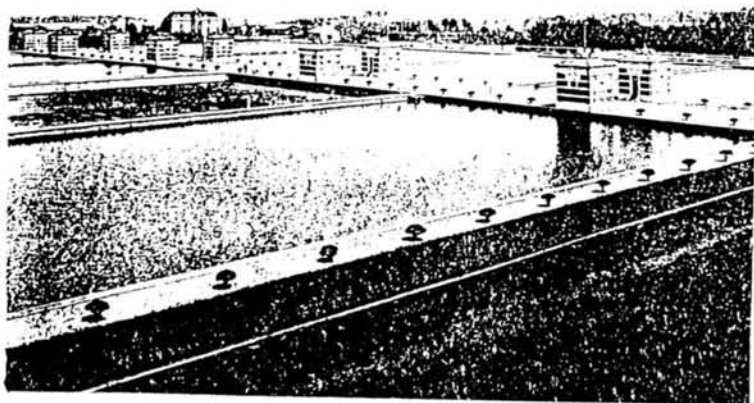


写真5-13-3 横浜市上水道第二回拡張工事、西谷浄水場¹⁹⁾

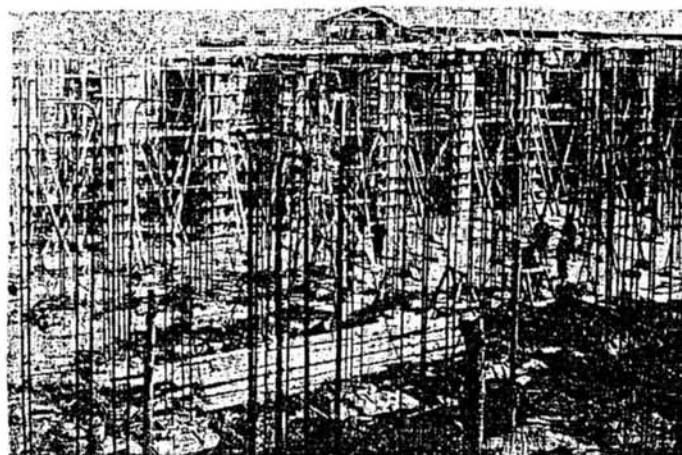


写真5-14-1 西谷浄水場、配水池鉄筋組立中¹⁹⁾

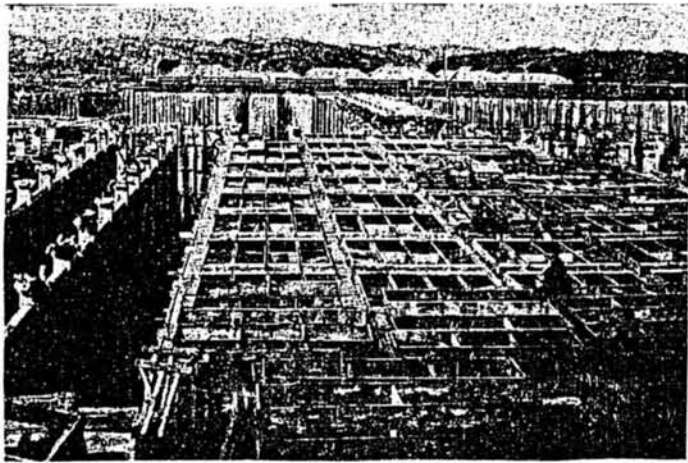


写真5-14-2 西谷浄水場、配水池天井型枠施工中¹⁹⁾

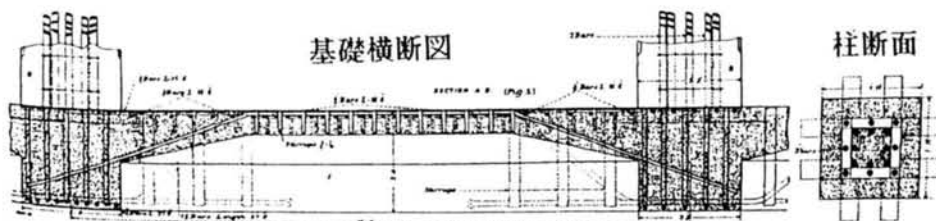


図5-13 英国ニューキャッスルでの倉庫の格子状筏基礎の配筋 (Hennebique式1900年)²⁹⁾

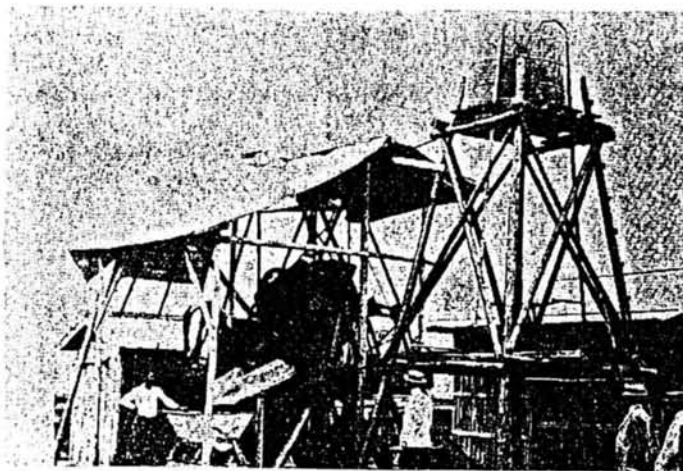


写真5-14-3 西谷浄水場、電動式コンクリート・ミキサー使用中¹⁹⁾

また、コンクリート工事では使用資材を玉村式架空索道を設けて運搬したが、最盛期には能力不足で馬車とインクラインを臨時に仮設して使用している。コンクリートの混合はパナマ運河の工事写真にヒントを得て、米国からキューブミキサー（17切練り）2台を輸入して使用したが、これは我国で最初の電動式であった。¹⁹⁾（写真5-14 参照）

5）大阪市は明治28（1895）年に上水道が通水し、同34（1901）には一応旧市内域の公共下水道の暗渠化が完成していて、主目的たる伝染病予防では著しい成果を挙げている。しかし新たに市に編入された周辺地域では低湿池が多く、人口増加で農地が市街地に変わり、汚水が氾濫して不衛生を極め、チフス等の伝染病が発生していた。

市は新市域の状況の本格的な下水道改良事業の必要を認め、明治39（1906）年から40年に渉り京都帝大藤高彦の指導の下に、山東土木課長、坂田技師等が下水道改良



写真5-15 名古屋下水道工事、鉄筋コンクリート管製造工場¹⁷⁾

管には運搬上の理由から組立式鉄筋混凝土管を試験の結果から採用予定としたが、実用上上運搬可能となったため全て一体物を採用した。(写真5-15 参照) 明治44(1911)年に起工したが、変更及び追加工事等のため大正12(1923)年に竣工した。

7) 東京下水道は明治38(1905)年に第2次工事完成後、その後の工事は国庫補助率の決定の協議が進まずに日露戦争等で着工が遅れ、大正元(1912)年11月に三分の一国庫補助で年度割工事計画が認可された。

東京市は明治44(1911)年6月に下水改良事務所を開設して、4.4で述べた通り小野栄作(東京帝大土木科、明治39年卒)等による新工夫の鉄筋位置を曲げに依じて偏心させた鉄筋混凝土管の荷重試験を実施して、この管の実用性を確認した。大正2(1913)年12月下谷区污水幹線工事と浅草区新堀南線雨水吐工事に着手した。幹線管渠工事の標準的断面を図5-15に示す。²²⁾(図5-15参照)

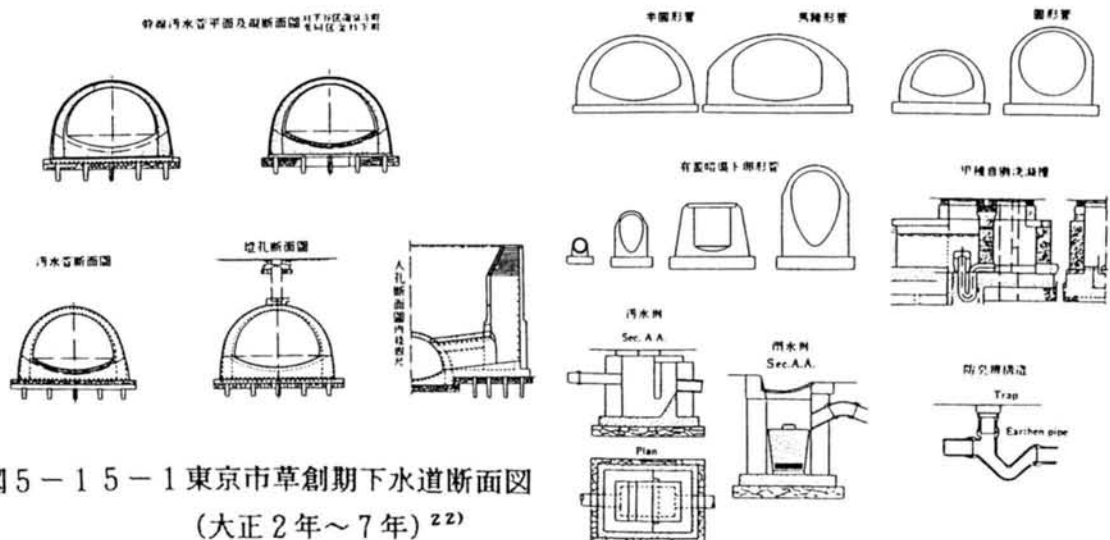


図5-15-1 東京市草創期下水道断面図
(大正2年~7年)²²⁾

図5-15-2 東京市草創期下水道断面図 (大正2年~7年)

22)

鉄筋混凝土管製造のため月島に月島製管工場を設け、内径1尺7分5分～3尺(0.53～0.91m)、長さ3尺(0.91m)の円管を直営で生産した。工事は計画に応じて順次進められたが、第1次世界大戦等に伴う経済的、社会的変動の影響を受けて、工期や事業費の変更が重なった。

8) 函館上水道は横浜市に次いで行なわれ、平井晴二郎(東京大学土木科、明治17年卒)の設計で、明治21(1888)年着工して同年完工しているが、日本人技術者による最初の設計施工であった。函館市は我国最初の開港場の一つであったが、水源に乏しいため明治26(1893)年には第1次拡張計画が必要になり同29(1896)年に完成したが、更に明治44(1911)年には給水量の不足のため調査を開始した。この原因は商工業の発展と衛生思想の向上により、一人当たりの使用量が激増したためとされている。¹⁷⁾

井上秀二を顧問とし新井栄吉を主任技師として、給水人口15万人、一人1日の給水量を4.5立方尺として計画し、大正6(1917)年に認可を得たが、欧州戦乱の影響で着手出来なかった。この間大正8(1919)年に小野基樹(京都帝大土木科、明治43年卒)の技師長に代わったが、人口が15万に迫ったため計画を25万人に改訂し、大正10(1921)年1月に認可を得て着工し大正12(1923)年に竣工した。¹⁷⁾

この赤川に設けた貯水池堰堤の主要部分は、我国には先例のない特殊な扶壁式鉄筋混凝土堰堤構造で築造されている。(写真5-16参照)この笹流貯水池堰堤は高さ池底上62尺(18.8m)頂部長529尺(160m)であった。「貯水池に面し42°の傾斜を有する床版単桁並に等間隔に直立して上記床版を支持する扶壁より形成せらる。」「堰堤は前延長を3部に区分し各部は連繫を断絶せるが如き構造となし、以て気温の変化其他に起因する応力に対し各部別々に抵抗せしむるものとす。尚床版は各扶壁上に於て自在に収縮し得らるる如く為し、可及的亀裂を防ぎ、床版表面には防水「モルタル」を塗布したるものとす。」と堤体構造を説明している。¹⁷⁾この形式の採用理由として、土堰堤や混凝土堰堤に比べて材料が少なく、経済的で工期短く合理的であるとしている。¹⁷⁾

こうした巨大コンクリート構造物も、乾燥収縮や温度変化等の影響を考慮して、適切な鉄筋コンクリート構造として建設出来る事を示した。

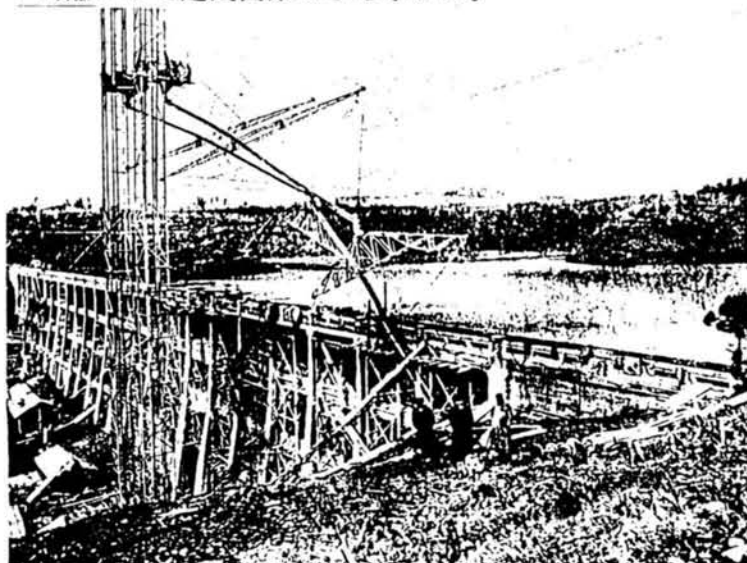


写真5-16 函館市上水道貯水堰堤施工状況¹⁷⁾ (扶壁式鉄筋コンクリート堰堤の下流側)

(5) 鉄道構造物

1) 鉄道院では明治の早期からコンクリートが使用されていたが、鉄筋コンクリート構造も前述の通り早くから試験的に部分的には使用されていた。最初に全体として使用された例は、明治37(1904)年山陰線米子～安来間の島田川アーチ暗渠であり、径間1.83mであった。²³⁾ (写真5-17参照、図5-16参照) このアーチ型暗渠は1897(明治30)年ペンシルバニア鉄道にスパン9mのコンクリート・アーチ橋が世界最初に架設され、その7年後であったと言われる。図5-16を見ると、鉄筋配置や基礎構造も安定的に設計されている事が分かる。

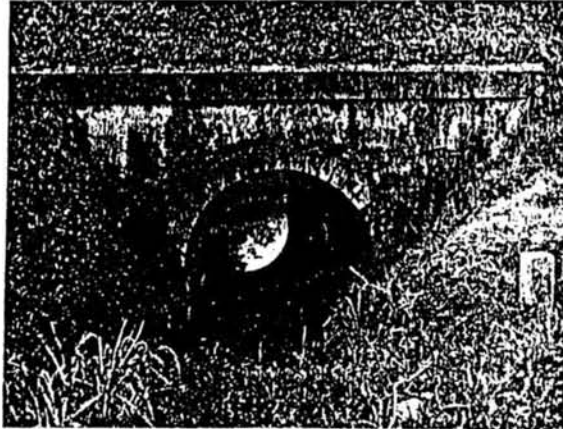


写真5-17 鉄道院山陰線、島田川鉄筋コンクリート暗渠 ²³⁾

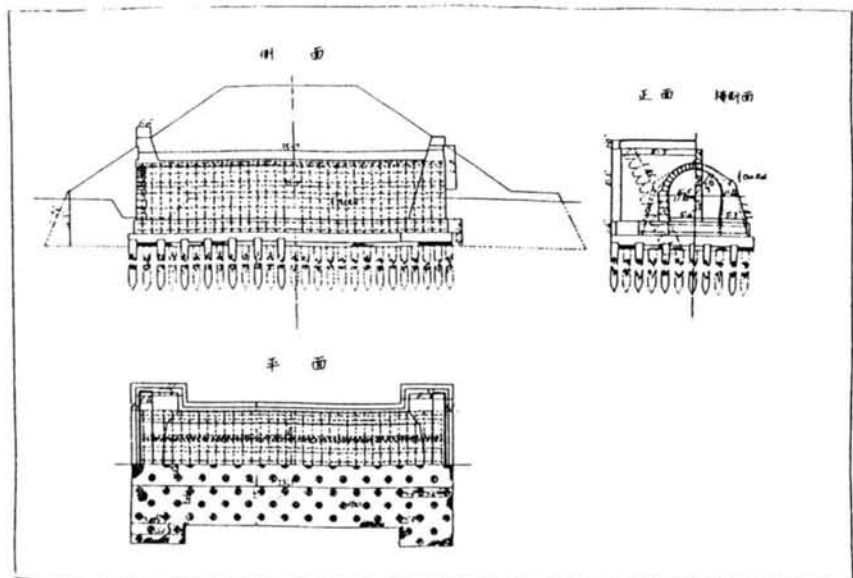


図5-16 鉄道院山陰線、島田川暗渠設計図 ²³⁾

1907(明治40)年八田嘉明(東京帝大土木科、明治36年卒)により宇野線八浜～宇野間に、径間6.71mの田井アーチ暗渠が完成している。半円形のアーチが自然石で表装された美しい造形である。²²⁾ (写真5-18参照) 同時期に大門暗渠(径間3.05m)も築造された。

2) 鉄道院の鉄筋コンクリート擁壁として大正1～2(1912～13)年京浜間線路増設に当たり、品川駅付近八つ山に国鉄最初の鉄筋コンクリート擁壁が建設された。これは柴田睦作の設計であり、コンクリートは手練りで建設された。²³⁾ (図5-17、写真5-19)



写真 5-18-1 鉄道院宇野線、田井鉄筋コンクリート・アーチカルバート²³⁾



写真 5-18-2 鉄道院宇野線、大門鉄筋コンクリート・アーチカルバート²³⁾

高い擁壁に中間水平版を設けて、土圧の軽減や前壁のモーメントの軽減を計っている。この形式の擁壁は米国に例が多いが、アンネビックが1900年のパリー博覧会に導入して建設して有名になり、各国に普及したと言う。³⁰⁾ (図5-18参照)

この他大正2～3(1913～14)年に那波光雄は佐伯線浅海井付近の海岸擁壁を鉄筋コンクリート構造で建設しているが、コンクリートは海水満潮面未満と以上とに分けて、海水面以下では海水耐久性のため火山灰を混入している。²³⁾

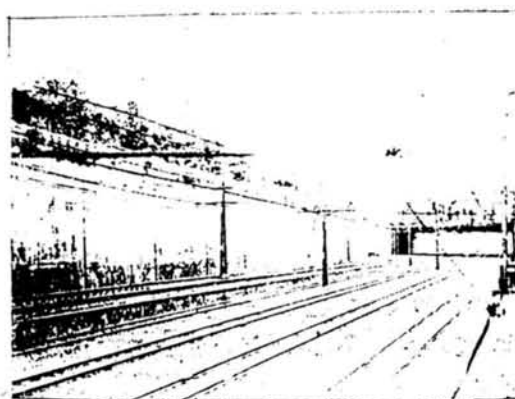


写真 5-19 東海本線品川駅付近、八ツ山土留擁壁²³⁾

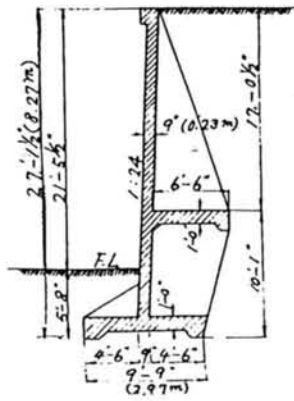


図5-17 鉄道院品川駅付近、
ハツ山鉄筋コンクリート扶壁式擁壁²³⁾

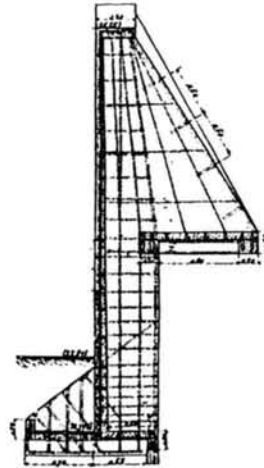
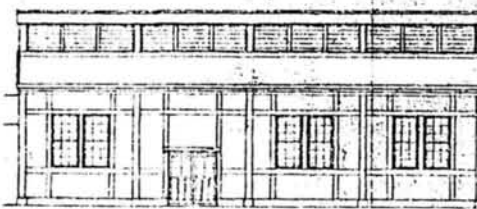


図5-18 1900年パリ博覧会場に建設した米国型扶壁式擁壁配筋図 (Hennebique工法)²⁹⁾

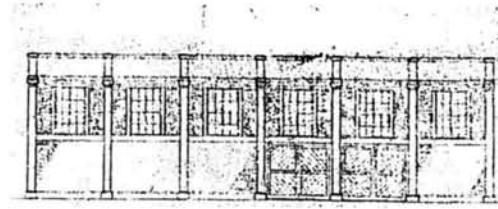
(6) 建築物等

鉄筋コンクリート建築物の設計及び施工では、明治末の導入初期においては真島健三郎（札幌農学校工学科、明治29年卒）や、白石直治（東京大学理学部土木科、明治14年卒）等が先駆的役割を果たしている。

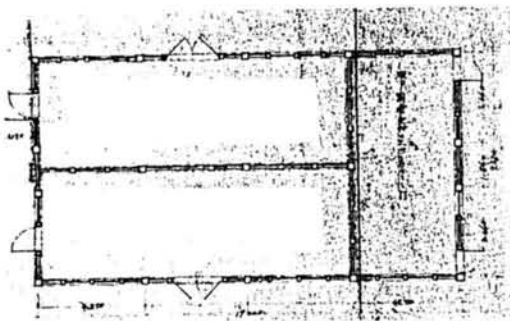
1) 前述の通り真島健三郎は明治36（1903）年欧米視察から帰朝後、鉄筋コンクリートT桁の荷重試験を実施してこの構造に自信を持ち、明治38年9月及び11月に第一船渠近くにボイラー所及びポンプ所を鉄筋コンクリート建築で建造した。但しこれ等は後に烹炊所と潜水器具格納庫として使用された。²⁴⁾（図5-19、写真5-20参照）



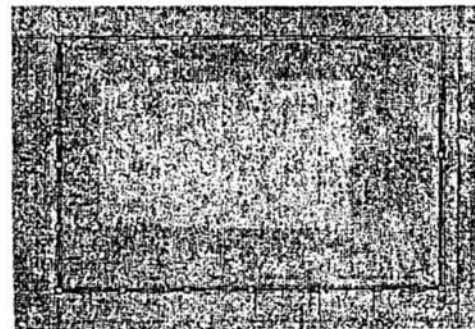
第一烹炊所 立面図



潜水器具格納庫 立面図



平面図



平面図

図5-19 旧海軍佐世保鎮守府、烹炊場と潜水具格納庫設計図²⁴⁾



写真5-20-1 佐世保鎮守府、烹炊場 写真5-20-2 佐世保鎮守府、潜水具格納庫
(明治38年鉄筋コンクリート建築)²⁴⁾

当時欧米書籍以外に参考にする資料もなく、最初のボイラー所は日本家屋の外形の柱や梁等の部材を、鉄筋コンクリートに置替えた表5-1に示す斜屋根構造であった。2カ月後に施工したポンプ所では、構造的に欧米の建築構造を取り入れて陸屋根(水平)構造を採用し、支間も12.14mと大きく取っている。(図5-19、写真5-20参照)

表5-1では次に述べる白石直治の神戸市和田岬の倉庫建築との比較表を示す。

なお真島健三郎は同時期に、佐世保海軍工廠の鉄筋コンクリート造り煙突も建設しておりこれの写真5-21を示す。²⁷⁾(写真5-21参照)

明治末期は艦船の燃料が石炭から重油に移行した時期であり、佐世保軍港では容量3000屯に達する貯油槽を数ヶ所建設した。主任技師真島健三郎がこれ等を担当し、鉄筋コンクリート構造として、明治42(1909)年10月に起工し、明治45(1912)年2月に竣工している。²⁵⁾資料や文献の少なかった明治末期に、こうした多様な構造物に鉄筋コンクリート構造を採用している事は非常な努力が必要であったと見られる。

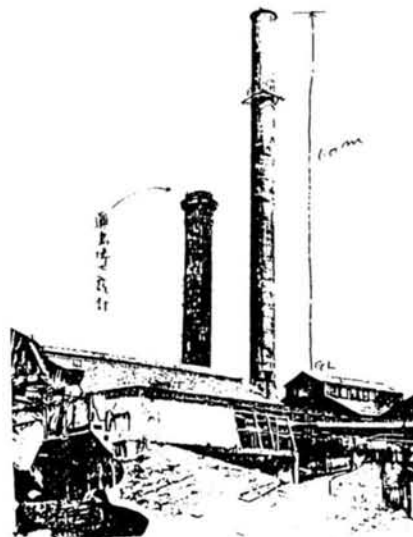


写真5-21 佐世保海軍工廠鉄筋コンクリート煙突
(明治39年建設、昭和25年頃の状況 佐世保市図書館提供)

2) 白石直治は東京倉庫会社(後の三菱倉庫KK)の神戸和田岬倉庫の数棟を鉄筋コンクリート構造で築造している。異説もあるが、明治39年最初に小規模油倉庫を建築し、引続いて明治41(1908)年D号、43(1910)年G号倉庫等を築造した。

表5-1 明治末期代表的建築比較表(鉄筋コンクリート建築)

対象項目	佐世保港内第1茶飲所	佐世保港内潜水器具庫	和田岬旧東京倉庫
所在地	佐世保重工業佐世保造船所	左=全ジ	新三菱重工機神戸造船所
現名称	第五、六ドック茶飲所	第五、第六ドック食堂	木材倉庫
竣工年代	明治38年9月	明治38年11月	明治39年
施主	佐世保旧海軍鎮守府	佐世保旧海軍鎮守府	東京倉庫株式会社
設計者	海軍技師 真島健三郎	海軍技師 真島健三郎	三菱技師 白石直治
主体構造	平家造RC、(スラブ共) スパン4.56m	平家造RC、(スラブ共) スパン12.14m	2階造RC(スラブ鋼鉄鉄筋)
及規模	長17m巾9.12m 新高4.55m	長18.02m 巾12.14m 高5.65m	スパン5.5m 長152.5m 巾40.2m 高10.59m
柱	RC 250×250 方 1m×1.50	RC 300×300	1階RC 1 ^{1/2} ×1 ^{1/2}
壁	レンガ半枕積	レンガ半枕積	RC
屋根	RC、勾配 3% 2mm	RCアスファルト防水 排水勾配アリ	鋼鉄鋼を入れフェルト敷アスファルト防水 100

Fig. 1.

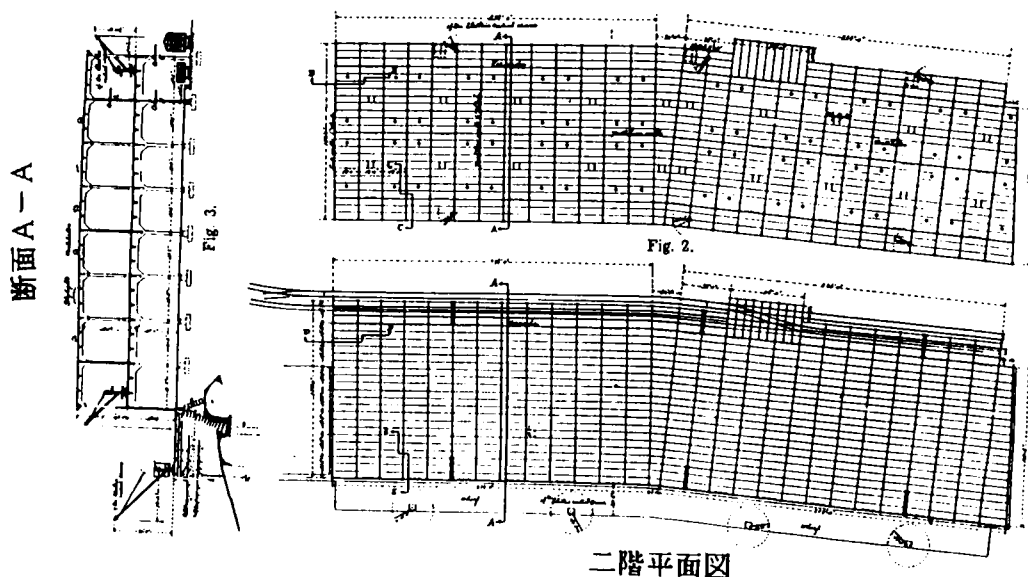


図5-20-1 神戸港和田岬D号倉庫(鉄筋コンクリート造)設計図²⁶⁾

これ等倉庫は綿花倉庫として造られたもので、D号倉庫の設計及び施工の工事報告書を英国土木学会に発表している。その論文を須山英次郎(東京帝大土木科、明治41年卒)が明治44(1911)年に翻訳して頒布している。²⁶⁾

この倉庫の写真と構造図を写真5-22と図5-20に示す。これ等によると支間5.5mで格子状に縦横に桁が配置され、支柱には大きなハウチが設けられて剛結構造としている。(写真5-22、図5-20参照)

桁の鉄筋には八幡製鉄製の丸棒と角鉄が使用されているが、鉄筋の配置状況は折曲主筋一本の初期のアンネビック方式である。床版にはエキスパンデット・メタルが使用され、支柱には鉄骨コンクリート構造が使用されている。鉄材の強度は4340~4960kg/cm²、伸長度は10~16%であり、許容強度は914kg/cm²を採用している。コンクリートは容積配合で1:2:4を採用しているが、セメントには二分の一の火山灰を混入し、許容圧縮強度は35.1kg/cm²を採用している。

設計方法は桁と床版で仏人コンシデール(Considere)の考え方を少し変更したとしてコンクリートの圧縮域の応力分布を直線とし、引張域も別の直線分布としており、コン

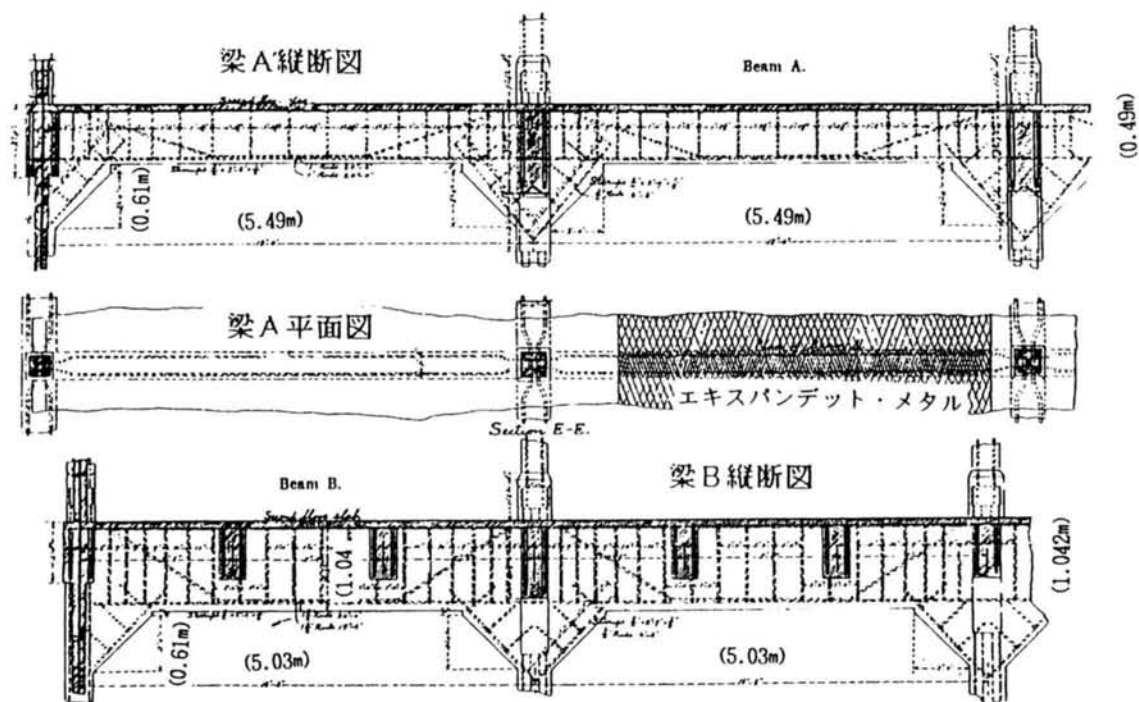


図5-20-2 神戸港和田岬D号倉庫、梁配筋図 (Hennebique工法) ²⁶⁾

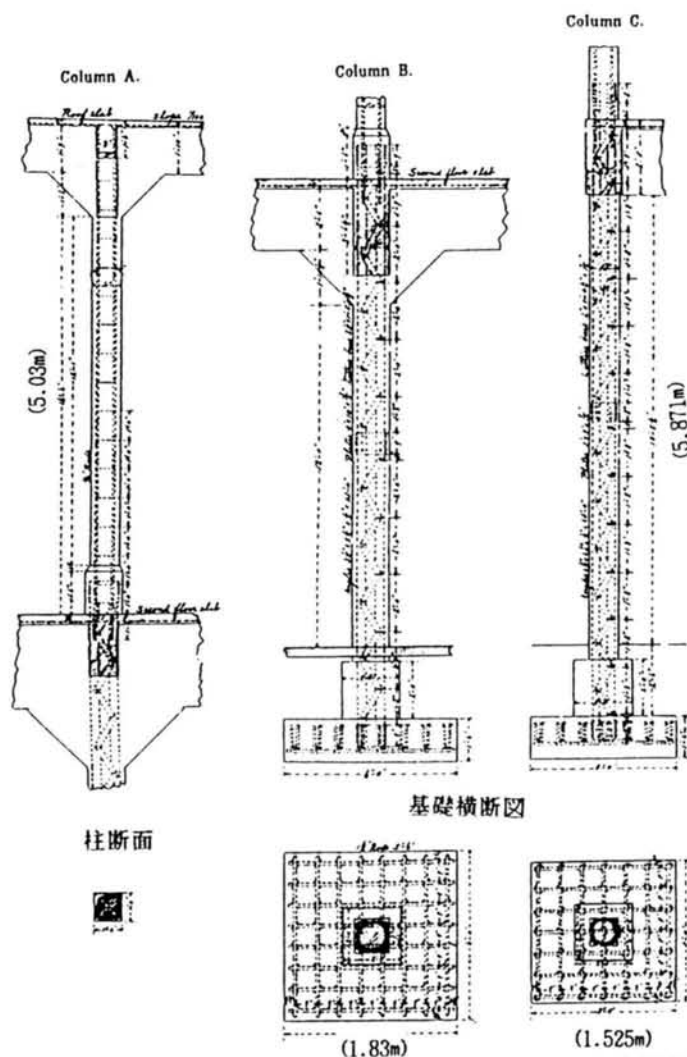


図5-20-3 神戸港和田岬D号倉庫、鉄骨コンクリート支柱構造 ²⁶⁾

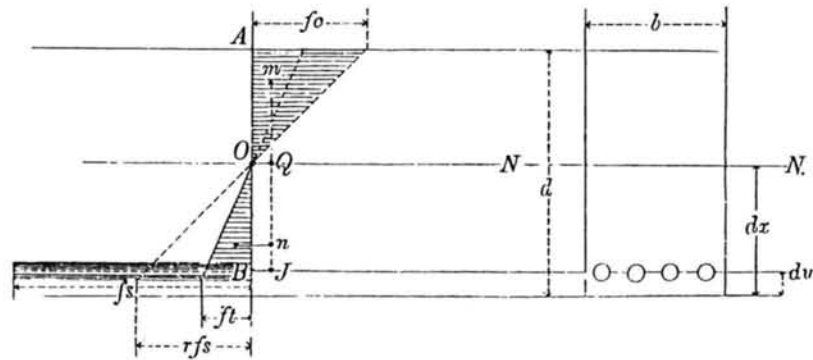


図5-21 神戸港和田岬D号倉庫、鉄筋コンクリート断面応力分布図（白石直治設計）²⁶⁾

シデールの引張域を一定値としたものと異なっている。²⁶⁾（図5-21参照）

鉄材とコンクリートの弾性率比は1.5として一定値を採用しており、格点剛結構造のため支間と支点上モーメントは $w l^2 / 10$ （ W ；等分布荷重、 l ；支間長）として近似計算しているのは、欧米の設計規格等を見習ったと見える。完工後の荷重試験で許容最大荷重を載荷して、両端固定梁とした計算撓度が0.066cmに対して、實地載荷撓度が0.051cmとなり、近似しているが測定方法に問題ありとしている。²⁶⁾

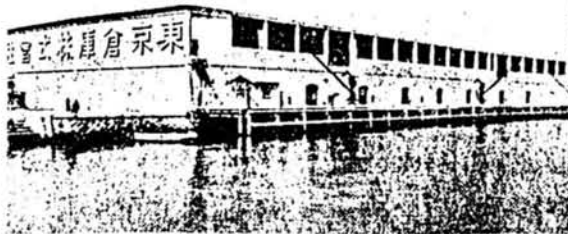


写真5-22-1 神戸港和田岬D号倉庫
外観全景²⁷⁾ 陸屋根

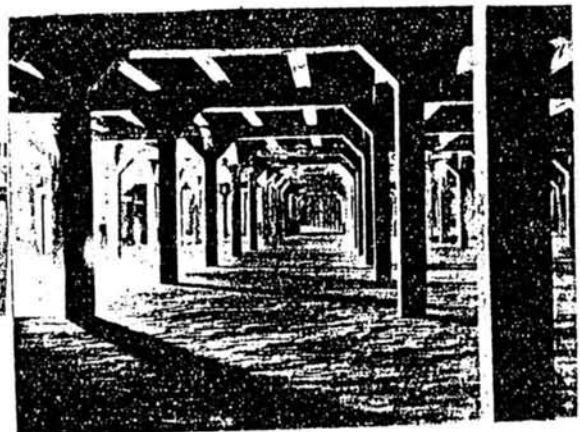


写真5-22-2 神戸港和田岬D号倉庫、一階内部状況²⁷⁾

3) この他鉄道関係の建築物として日本最初の鉄筋コンクリート機関庫が、明治43（1910）年東海道線国府津駅構内に着工された。異説もあるが当時大倉土木組に来日中の仏国アンネビック社の専門技師サンゴニッチ（V. Sanguinetti）の構造計算によったものと言われる。²⁸⁾ 昭和9（1934）年の丹那トンネルが出来るまでは、御殿場線の箱根越のために補助機関車を取り付ける必要があり、大倉土木組が請け負って明治44（1911）年9月に扇型機関庫を完工させた。（写真5-23参照）

但し鉄道院の資料のよると、国府津機関庫は明治42（1909）年米国会社によって円形機関庫として設計され、鉄筋はカーンバーが使用されたと言う。²³⁾ 明治44年以降に中央線木曽福島駅、信越線直江津駅、大分線大分駅等に相次いで同型の機関庫が完成した。大分駅では屋根、柱、梁等の主要部分は鉄筋コンクリート、床は火山灰コンクリート周壁や間仕切り壁は煉瓦や石積が用いられた。²³⁾

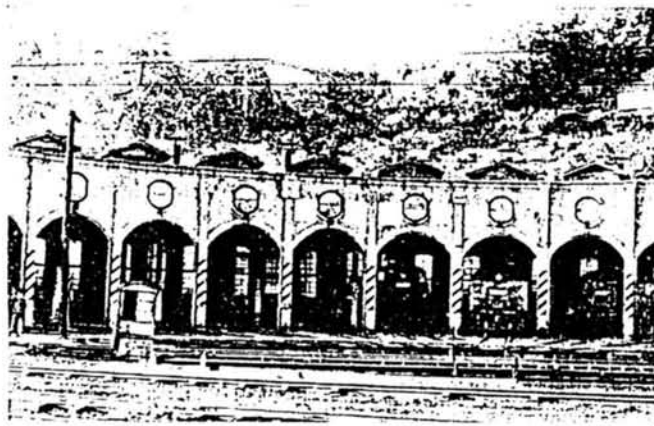


写真5-23 国府津機関車庫（昭和38年頃）²⁸⁾

(7) 橋梁下部躯体工

明治期の橋台、橋脚は多くは石積か煉瓦積であるが、橋台では練石積が多く、明治末期には橋脚では無筋コンクリート構造が現れ、進んだ京都等では鉄筋コンクリート構造が現れている。それ等は日本的な軸組構造の門型の場合と、躯体の一部を抜いただけの中抜型の場合とがある。

門型の場合は格点剛結のラーメン構造の外形を取っているが、ラーメン構造の計算をしているか疑問である。広井勇は明治39（1906）年工学会誌上で、ベント型（門型）橋脚を格点剛結構造として、最小仕事の原理を使って構造解析して、英文で発表しているが、この計算方法が実際にどれだけ普及し採用されたか不明である。³¹⁾

多くの場合両端固定梁か、連続梁として解析するか、公式に当てはめて計算していたと考えられる。鉄筋コンクリートT桁の床版の設計でも、曲げモーメントは支点上も支間中央も欧米の規程に倣って、近似的に $wl^2/10$ としている計算例が見られる。³⁾

1) 橋脚躯体に鉄筋コンクリート構造が採用された早期の例として、明治43（1910）年竣工した愛知県の高蔵寺町から瀬戸市に通ずる里道が、庄内川を渡る所に架設された新井栄吉（東京帝大土木科、明治38年卒）担当の「鹿乗橋」がある。³²⁾（写真5-24）上部工は2径間の2交式鋼拱橋（2ヒンジ・ブレスドリブ・スチールアーチ）であり、橋長72.8m有効幅員3m径間27.3m拱矢4.5mであった。当初は床構造は木造であったが、昭和23（1948）年に部材全体をコンクリートで巻いて鉄骨・鉄筋コンクリート固定アーチ橋に構造変換された。³³⁾（写真5-24-2参照）

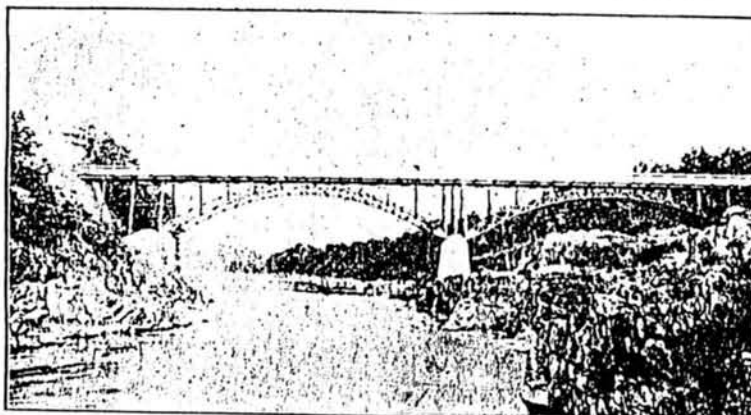


写真5-24-1 愛知県高蔵寺町、瀬戸町立会、「鹿乗橋」2交鋼構拱橋 ³²⁾

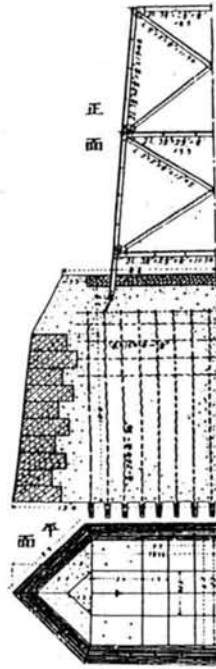


図 5-21 愛知県鹿乗橋、橋脚配筋図³²⁾



写真 5-24-2 愛知県鹿乗橋（昭和 23 年
鋼アーチ橋をコンクリートで被覆し固定
アーチ橋に構造変換）³³⁾

上部構造は不静定構造としての計算が行われ、動荷重や温度変化の影響も考慮されているが、図 5-21 に示す様にフーチング等には配筋されておらず、工事途中からこれ等の影響を考慮して、橋脚躯体の支承部付近や橋軸方向の補強として鉄筋が追加されたと見られる。縦鉄筋は径 19mm、横鉄筋は径 13mm が配筋され、横鉄筋は支承部付近にのみ配置されている。これ等は当初から鉄筋コンクリート構造としての設計がやられていたのではなく、躯体だけの追加的な配筋であったと見られる。（図 5-21 参照）

2) 京都府では明治末期に日本的な軸組構造の門型橋脚が建設された。1 橋は天田郡上川口村の牧川に明治 45 (1912) 年 3 月架設した「上川口橋」（橋長 54.6m、有効幅員 3.9m 支間 9.1m）は 6 径間の単純 I 字鉄桁橋であり、橋脚は 5 本である。³⁴⁾（写真 5-25）

もう 1 橋は現在京都市内の元吉祥院村と久世村境の桂川に、大正 2 (1913) 年 3 月に架設した「久世橋」（橋長 267.5m、幅員 5.5m）の I 字鉄桁橋である。³⁴⁾（写真 5-26）

上部工は共に I 字鉄桁であり床版は板材であったが、下部工は共に鉄筋コンクリート

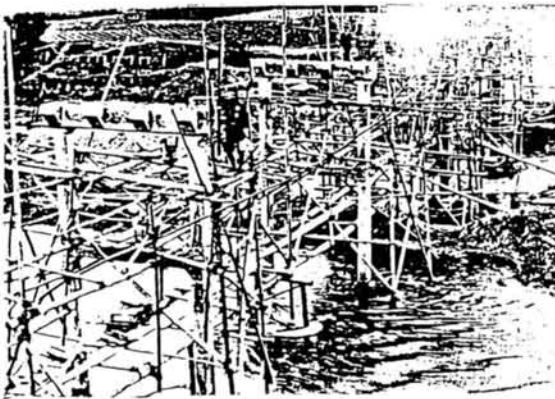


写真 5-25 京都府上川口橋、
鉄筋コンクリート橋脚施工状況³⁴⁾

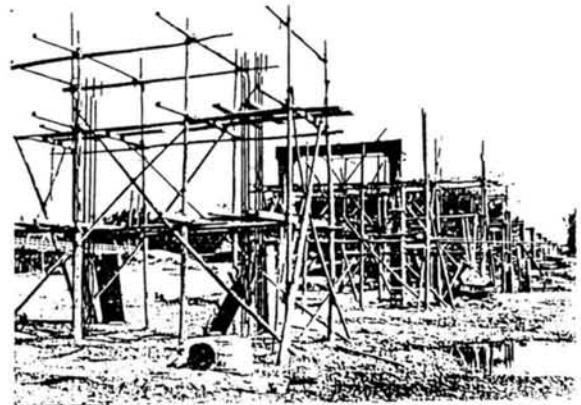


写真 5-26-1 京都府久世橋（桂川）
鉄筋コンクリート橋脚施工状況³⁴⁾

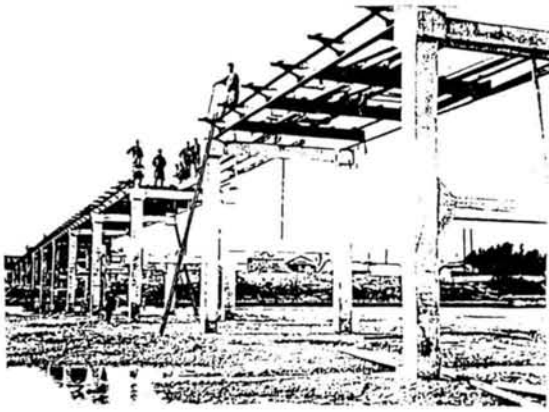


写真5-26-2 京都府久世橋上部工架設中³⁴⁾



写真5-27 京都府田辺町馬坂川樋橋
(鉄筋コンクリート2層橋脚)³⁴⁾

の2層の門型である。写真で見るとよく似た形式ではあるが、上川口橋は鉄桁4本の並列であり、久世橋は2主桁で中間に縦桁があり支承は橋脚支柱の上にある。下部工への荷重も構造に応じて異なっており、設計も異なると見られるが詳細は不明である。

写真5-27は京都府田辺町に明治45(1912)年に完成した、橋長15.8m幅員2m、深さ1.2mの馬坂川樋橋を示す。³⁴⁾(写真5-27参照)橋脚構造は2層の門型鉄筋コンクリート構造であり、こうした比較的複雑な構造にも鉄筋コンクリート構造が採用されている。

3) 京都府鞍馬街道の静市野村市原の鞍馬川に架設された「市原橋」の両橋台は、軸組構造の門型の鉄筋コンクリート構造であつた。(写真5-28参照)図5-22にその一般図を示すが、³⁵⁾橋台に加わる高盛土の土圧を減ずるため、門型の中抜き橋台にしたものと見られる。設計々算法は不明であるが、考え方としては鉄筋コンクリート構造を利用した、日本では極めて進んだ構造を採用している。

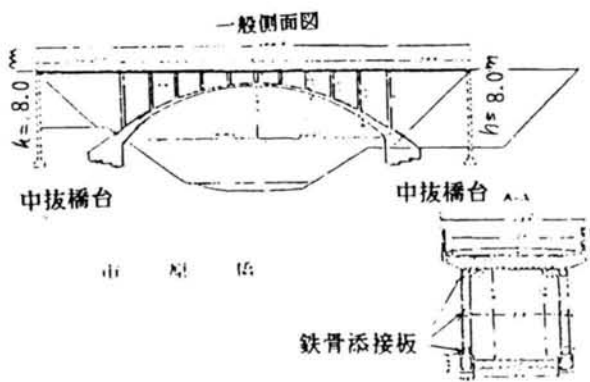


図5-22 京都府鞍馬街道「市原橋」全体図³⁵⁾



写真5-28 市原橋橋台現況

(鉄筋コンクリート中抜橋台)
(平成9年9月筆者撮影)

4) 那波光雄は明治44(1912)年頃鉄道院の犬飼線昆布川橋の橋脚で、鉄筋混凝土の門型ラーメン(格点剛結構造)を採用している。³⁶⁾(写真5-29参照)図5-23を見ると下部工の全面的な鉄筋混凝土の採用ではなく、橋脚軀体のみの試験的な試みであるが、橋台にも支承周辺には鉄筋が格子状に配置されており、幾分耐震的な考慮がなされ

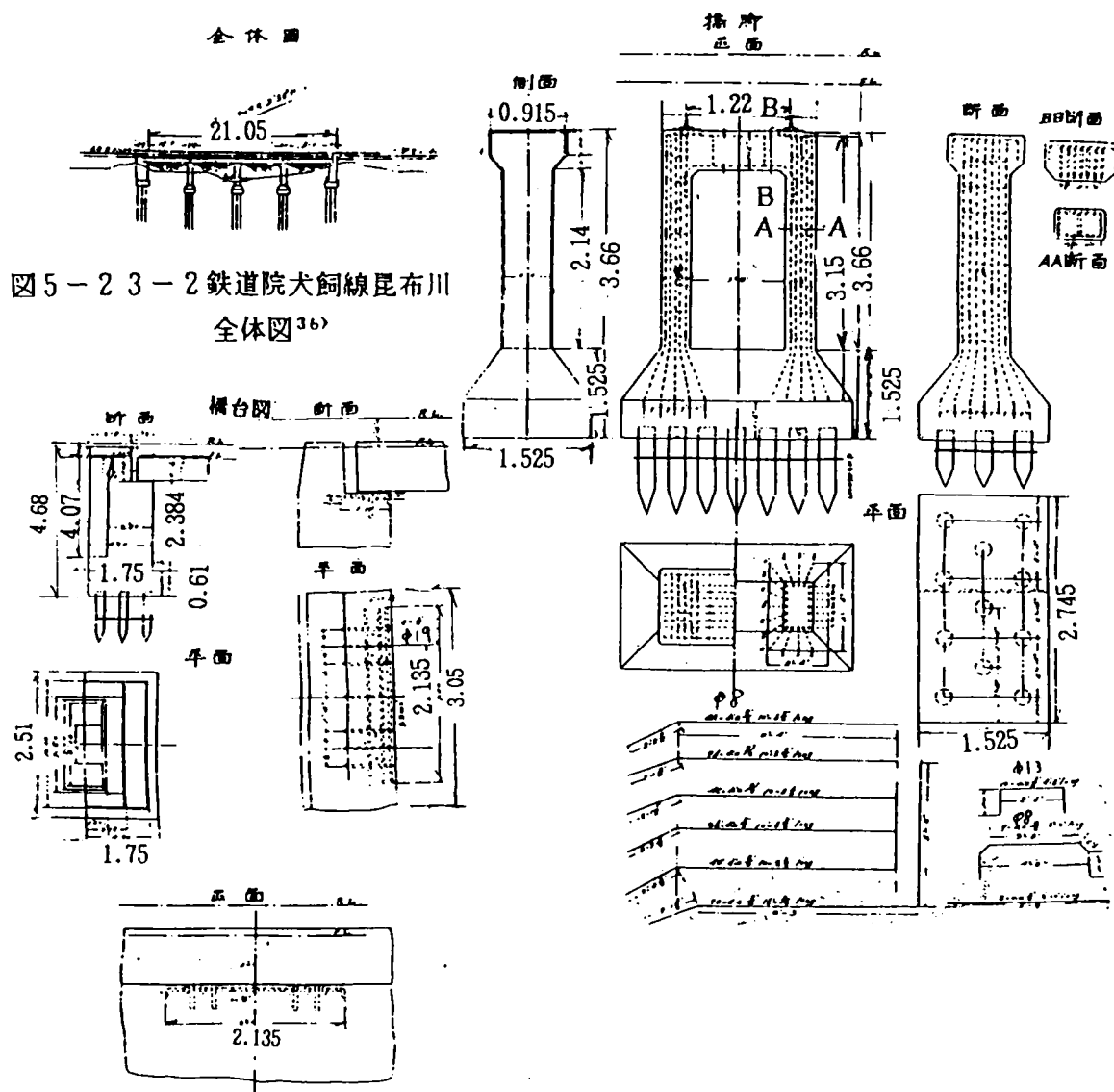


図5-23-2 鉄道院犬飼線昆布川
全体図³⁶⁾

図5-23-3 鉄道院犬飼線昆布川橋梁、橋台図及び支承部配筋図³⁶⁾

ているのが見られる。

橋脚の格点剛構造では現在の配筋とは異なるが、梁と柱への曲げモーメントの分配が考慮された連続的な配筋がなされており、梁高が高いので肋筋が少ない様である。フーチングは幅に対して厚さが大きく、垂直力の伝達が考慮されている。(図5-23参照)

また資料によると、鉄道院の東海道線武庫川鉄橋が、鳥居型鉄筋コンクリート橋脚で建設されていたが、詳細な記録はない。⁴⁰⁾

5) 東京市京橋区の外堀に大正4(1916)年架設された有楽橋の橋脚は、感潮部の特殊な条件を考慮したパイルベント鉄筋混凝土構造である。³⁷⁾(写真5-30参照)

橋長39.1m幅員10.9m支間9.8mの斜橋であるが、上部工は両耳桁が鉄筋混凝土長方形桁、電車軌道下は鋼板桁、その他の内側は木桁と言う複雑な構造である。下部工は図5-24に示す様に松杭を深く打込み、鉄筋混凝土円管を沈設して中に水中混凝土を打設し、第二第三の鉄筋混凝土円管を継足して鉄筋混凝土の軀体を築造している。(図5-24参照) 特殊な施工条件の場所で、施工方法を考慮した構造上の工夫が行われた例である。

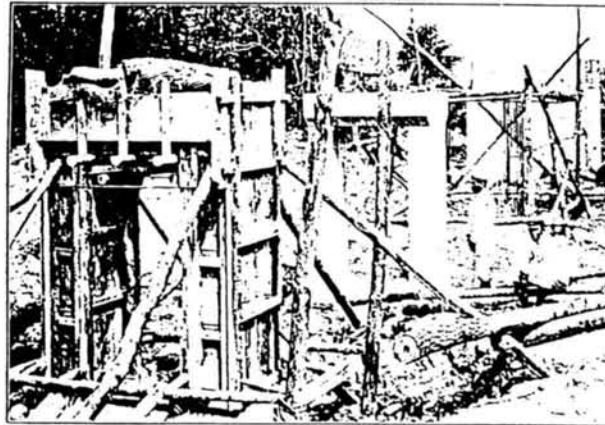


写真5-29 鉄道院犬飼線昆布川橋梁、橋脚施工状況³⁶⁾

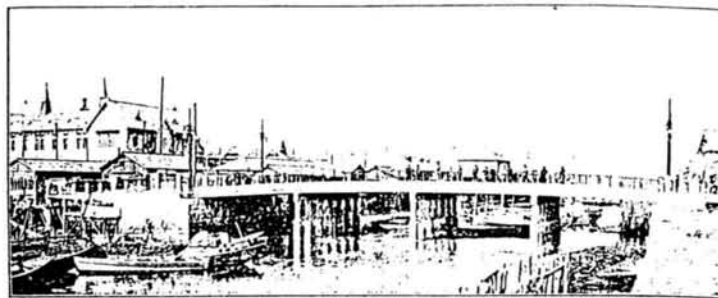


写真5-30 東京市京橋区有楽橋全景（木、鉄、鉄筋混凝土桁混成橋）³⁷⁾

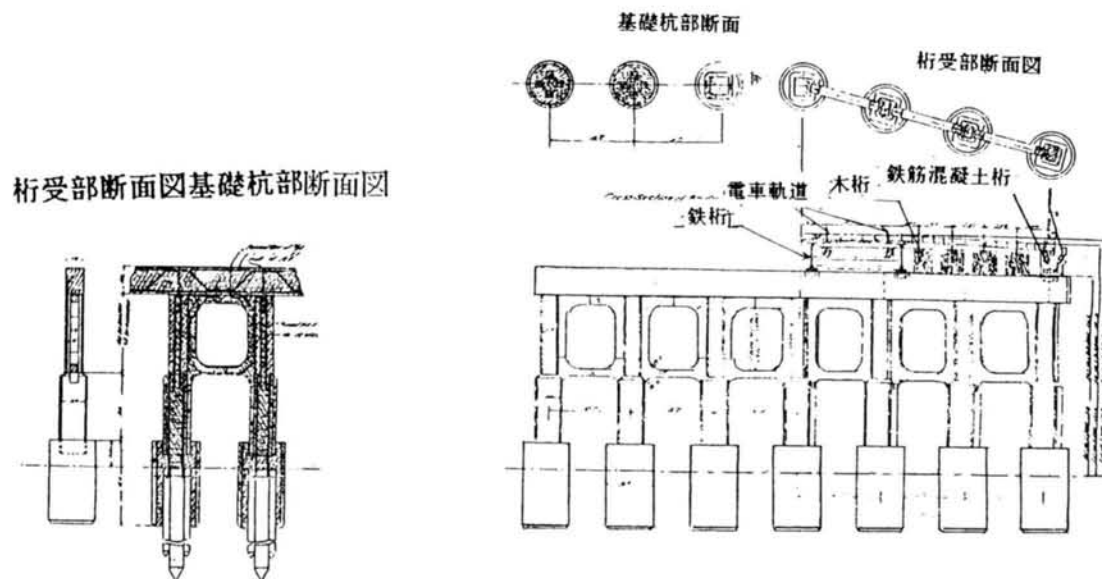


図5-24-1 東京市有楽橋、
鉄筋コンクリート橋脚構造³⁷⁾

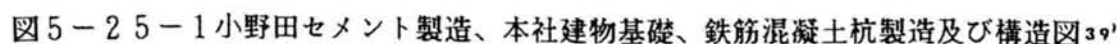
図5-24-2 東京市有楽橋、
鉄筋コンクリート橋脚配置図³⁷⁾

(8) 基礎構造物

1) 鉄筋コンクリート基礎構造物として、ここでは主として杭及び矢板について述べる。鉄筋コンクリート杭の最初の採用は、明治43（1910）年の技師那須章彌の担当した、横須賀海軍工廠船台の拡張工事であるが、構造や工事の詳細は明らかでない。³⁸⁾

また前述の通り明治44年には、東京築地の海軍工廠倉庫を大倉土木組が請負、基礎として鉄筋コンクリート杭を製造して打ち込んでいる。²⁸⁾

杭の図のC断面の最先端部には特殊金物が設けられ、幅3.8mm、厚さ3mmの帯鉄が隅角部に1枚宛と中間平面部に2枚宛配置されて、それぞれ先端部金物に鋲結されている。杭の頭部D断面では厚さ6.5mmの鉄板製の矩形漏斗状の金物が取り付けられている。



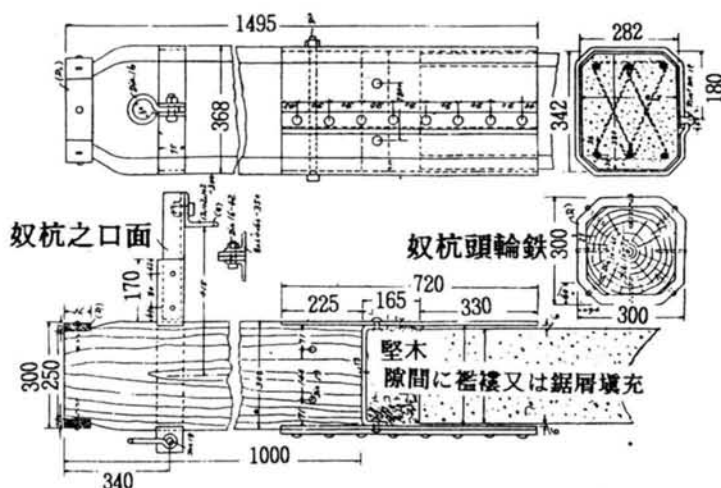


図5-25-2同左 打込時頭部装備図³⁹⁾

コンクリートは杭頭と先端部の約1mは容量で1:1:2の富配合の混凝土を使用し、中間の一般部は1:2:3の配合として水量は7乃至10%の容積配合としている。これ等の耐圧強試験の成績を表5-2に示すが、現場養生で試験値の変動が激しい。(表5-2参照) 杭打込み施工は木製の可搬式舶用の古巻揚機を改造して使用しているが、蒸気巻揚機により錘を75cm乃至120cmの落下高で施工している。杭打込時の杭頭部施工図を図5-25に示す。混凝土の材齢は4週以上で計画したが、実績では最早期でも41日であり、何ら故障はなかったと報告されている。(図5-25参照)

表5-2小野田セメント製造、本社建物基礎杭用のコンクリート試験成績表³⁹⁾

製作月日	配合比			供試體 大さ 個數	試験成績平均數						摘 要	
	セメント	砂	砂利		二週間		四週間		三ヶ月			
					重量	強度	重量	強度	重量	強度		
六月三十日	1	2	3	300 ³	3	63.25	148.3	—	—	—	—	使用コンクリートを型詰め とし室内に放置したるもの 使用コンクリートを現場に 於て作業に従事する女工を して型詰めせしめ其儘杭同 様現場に放置したるものな り以下總て同断施工するも のなり
自七月八日 至七月九日	1	2	3	200 ³	6	17.69	131.1	17.81	107.1	—	—	
自七月十八日 至七月十九日	1	2	3	200 ³	6	18.19	106.9	18.12	154.6	—	—	
八月一日	1	2	3	200 ³	2	17.06	51.2	—	—	—	—	此分は急硬セメントを使用 したるものにして此杭は脆 弱用を爲さず
自八月十九日 至八月二十一日	1	2	3	200 ³	6	—	—	17.63	132.1	17.63	160.3	
自八月二十二日 至八月二十四日	1	2	3	200 ³	6	17.75	113.3	17.81	121.8	—	—	
自八月二十五日 至八月二十七日	1	2	3	200 ³	6	—	—	17.69	116.1	17.75	148.9	三ヶ月の試験は供試體に缺 損の個所ありし爲め強度に 多少影響ありしならん
自八月二十八日 至八月二十九日	1	2	3	200 ³	6	18.12	107.9	17.31	101.5	—	—	
自八月三十日 至九月一日	1	2	3	200 ³	6	—	—	17.75	113.3	17.69	125.0	
自九月二日 至九月四日	1	2	3	200 ³	6	18.12	170.9	18.44	168.9	—	—	
自九月五日 至九月七日	1	2	3	200 ³	6	—	—	18.38	224.3	18.56	238.6	
自九月八日 至九月十日	1	2	3	200 ³	6	17.63	121.8	17.94	133.2	—	—	
自十一月四日 至十一月十一日	1	2	3	200 ³	6	—	—	18.31	250.3	18.00	228.6	

立方体供試体、平均二週間強度114.7kg/cm²(現場放置)

3) 鉄道院の東京高架橋のうち新橋、有楽町間は明治43(1910)年に煉瓦積連続拱橋として完成したが、基礎面は常水面以下に設けて松杭が使用され、工費が増大した。

東京、万世橋間は大正4（1915）年から8（1919）年までに建設されたが、基礎底面を地盤面より1m程度として、基礎杭には鉄筋コンクリート杭が使用された。⁴⁰⁾

杭断面は八角形でコンクリートは1:2:4を使用し、特に型枠と鉄筋の間のかぶり部分は1:2.2:3.8の配合とした。杭長は5.5mから15mのものを使用し、全部で9281本を打込んだと記録されている。

杭の設計には次の条項を設けて行っている。

- 杭の直径と杭長との比は30以下とする。
- 杭表土と土砂との間の摩擦は地盤より90cmまでの間は無視する。
- 杭の強度は長柱公式により試算する。
- 杭の縁維応圧力は次の値を最大限とする。 C （応圧力 $\#/\square$ ） $=600-41/d$
但し、 1 ；杭長。 d ；杭径。共に吋単位。 $\#/\square$ ＝封度/吋²
- 杭内埋込み鉄筋の最大単位応張力を16000 $\#/\square$ （1125kg/cm²）とする。
- 杭と土砂の摩擦は500 $\#/\square$ （35.1kg/cm²）を最大限とする。

杭頭及び先端は螺旋鉄筋を密にし、打込中の杭頭キャップ装置は米国ミシシッピー橋梁鉄筋コンクリート杭の打込みの例に倣った図5-26の方法を使用している。⁴⁰⁾

4) 橋梁基礎井筒としては那波光雄（帝大土木科、明治26年卒）が明治44（1911）年頃鉄道院佐伯線の大野川及び乙津川橋梁で無筋コンクリート井筒の沈設を行っている。³⁶⁾（写真5-31参照）沈設中に河川が出水して井筒が傾斜したが、ジャッキにより懸吊して原位に復元して、何ら破損はなかったと言う。なお記録によると、大正5（1917）年頃佐伯線の津久見川橋梁では、橋台、橋脚、及び井筒の全てを鉄筋コンクリートで建設している。³⁶⁾

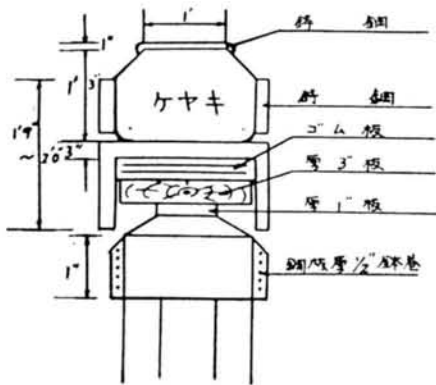


図5-26 鉄道院東京高架橋（万世橋付近）
鉄筋混凝土杭工事（杭頭部施工時装備図）⁴⁰⁾

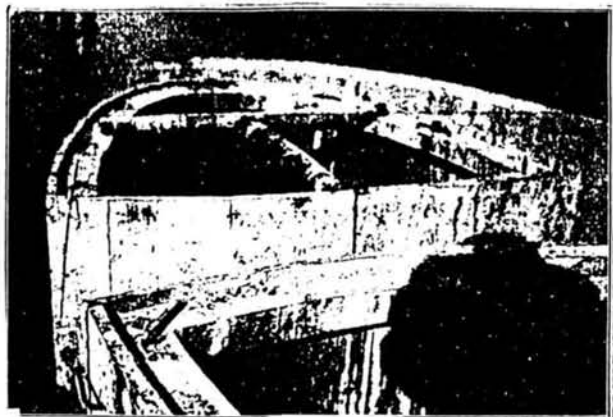


写真5-31 鉄道院佐伯線大野川橋梁、
無筋コンクリート井筒省部、内型枠³⁶⁾

（9）鋼橋の鉄筋コンクリート床版。

明治末期までは鉄鋼橋でも床版は、敷板を並べた木床版か、その上にコンクリートまたはタービヤ・コンクリート等の舗装材を敷くか、良質土で覆うた橋梁が多かった。電車軌道は軌条直下に鉄桁を設けている橋が多い。明治末期頃にはバツクル・プレート（一種の鋼床版）やU型トラフ版（コンクリート充填）の床版が使用される様になり、次いで一部

の橋梁で鉄筋コンクリート床版が試験的に使用される様になった。⁴¹⁾

1) 資料に依ると鉄筋コンクリート床版が鉄桁橋に使用されたのは、東京では明治44(1911)年12月、鞍掛橋と九道橋の鉄桁橋の床版に使用して架設されたのが最初であった。^{41) 42)} また、大正元(1912)年には同じく東京築地に今川橋(橋長11m、幅員21.75+2@3.6m)の鉄桁橋が、鉄筋コンクリート床版で架設されており、設計は樺島正義であるが詳細は不明である。⁴³⁾

2) 京都市の三大事業は明治41(1908)年10月起工し、表5-3の通りの経過で大正2(1913)年8月に竣工したが、道路拡張と市街電車運行のため、小河川や鴨川を渡る橋に鉄桁橋や鉄筋コンクリート橋が採用され、その床版に鉄筋や鉄骨コンクリート構造が使用された。

床版としてはモニエ式アーチ床版、メラン式床版、Uトラフ式床版、モニエ式平床版の4種類が軌道部と歩車道部で区別して、構造を変えて採用されている。これ等を一覧表に

表5-3 京都市三大事業経過一覧表(京都府百年の年表)

事業名	認可	着工	竣工	供用
三大事業全体		明治41年10月	大正2年8月	大正2年8月
第二琵琶湖疎水工事	明治39年3月	明治41年6月	明治45年6月	(伏見運河を含む)
京都市上水道工事	明治39年11月	明治40年6月	明治45年3月	明治45年4月
街路拡張及軌道布設工事	明治40年5月		大正2年8月	大正2年8月

表5-4 京都市三大事業中の橋梁床版代表例一覧表(京都三大事業誌 譜図⁴⁴⁾)

橋名	橋長及び支間長	有効幅員	軌道桁構造	歩車道桁構造	軌道床版構造	歩車道床版
丸太町橋 (大正2年8月) (上、左京区) (鴨川)	107.6m 9×11.36m	19.45m 軌道5.2m 車道2×4 歩道2×3.1	中路型 単純鋼板桁	上路型 単純鋼板桁	※ メランA床版 2×3.2m 供矢比1/10 鋼板厚3.2mm	床版厚20cm 直線鉄筋配置 モニエ平床版 3×1.207m
東山線 白川橋 (東山区、白川)	9.62m 3.0+3.2+3.0	15.6m 軌道5.2 車道2×5.2	上路型 連続I字桁	既成RC 単純矩形桁 並列スラブ	モニエ平床版 6×0.966m 供矢比1/7	なし
四条高瀬川橋 (下京区) (高瀬川)	6.45m 1×6.20	20.6m 軌道5.2 車道2×5.2 歩道2×2.1	中路型 単純I字桁 2×3.25	上路型 単純I字桁 5×0.915 2×1.22	U字型トラフ 床版厚23cm トラフ高18cm	RC床版厚18cm 直線鉄筋配置 モニエ平床版
七条堀川橋 (下京区) (堀川)	7.01m 1×6.71	16.80m 軌道5.2 車道2×5.8	中路型 単純I字桁 2×3.25	上路型 単純I字桁 6×0.82	U字型トラフ 床版厚23cm トラフ高18cm	モニエA床版※ 供矢比1/7 鉄筋径16mm
今出川通小川橋 (上京区) (堀川)	4.83m 1×4.49	15.60m 軌道5.2 車道2×5.2	上路型 単純I字桁 7×0.84	上路型 単純I字桁 5×0.915	モニエA床版 供矢比1/7 直線鉄筋配置	RC床版厚18cm モニエ平床版 鉄筋径16mm
伏見墨染橋 (伏見区) (琵琶湖疎水)	15.5m 2×7.75	車道5.05m		上路型 連続I字桁 3×1.83	なし	モニエA床版※ 供矢比1/7 鉄筋径16mm
東山線 疎水徳成橋 (左京区) (琵琶湖疎水)	21.96m 3×7.015	16.4m 軌道5.2 車道2×3.1 歩道2×2.5	上路型単純 RCT桁 3×1.436m 桁高0.966m	上路型単純 RCT桁 4×1.271m 桁高1.067m	T桁床版厚 32cm 鉄筋径19mm 折り曲げ	T桁床版厚 30cm 鉄筋径19mm 折り曲げ

※ メランA床版≒メラン式アーチ床版。モニエA床版≒モニエ式アーチ床版。

纏めたものが表5-4である。⁴⁴⁾

これ等の橋の代表として大正2(1913)年8月鴨川に架かる鋼板桁の丸太町橋(橋長107.6m、幅員21.8m支間9@11.36m)を図5-27に示す。⁴⁴⁾ 軌道部分は1900年にメラン(Melan)教授が開発したメラン式アーチ床版を採用しており、厚さ10cmのアーチ環が橋軸方向に連なる所がモニエ式アーチ床版と異なっている。同教授はアーチ環は支点の変位を微小として無視し、ライズ比1/7の2ヒンジアーチとして解析して鉄筋量を計算している。⁴⁵⁾ (図5-28参照)

丸太町橋がメラン式床版と異なる所は、アーチ環上部の充填材は使用せず全てコンクリートを使用しており、型枠の代わりに厚さ3.2mmの鉄板を曲げて使用している。歩車道部分はモニエ式平床版を使用して、下面のみに鉄筋を配置していて疑問であるが、主桁間隔が小さく荷重も小さいために、上面の支点上に発生するコンクリートの引張応力を許容していたと見られる。⁴⁴⁾

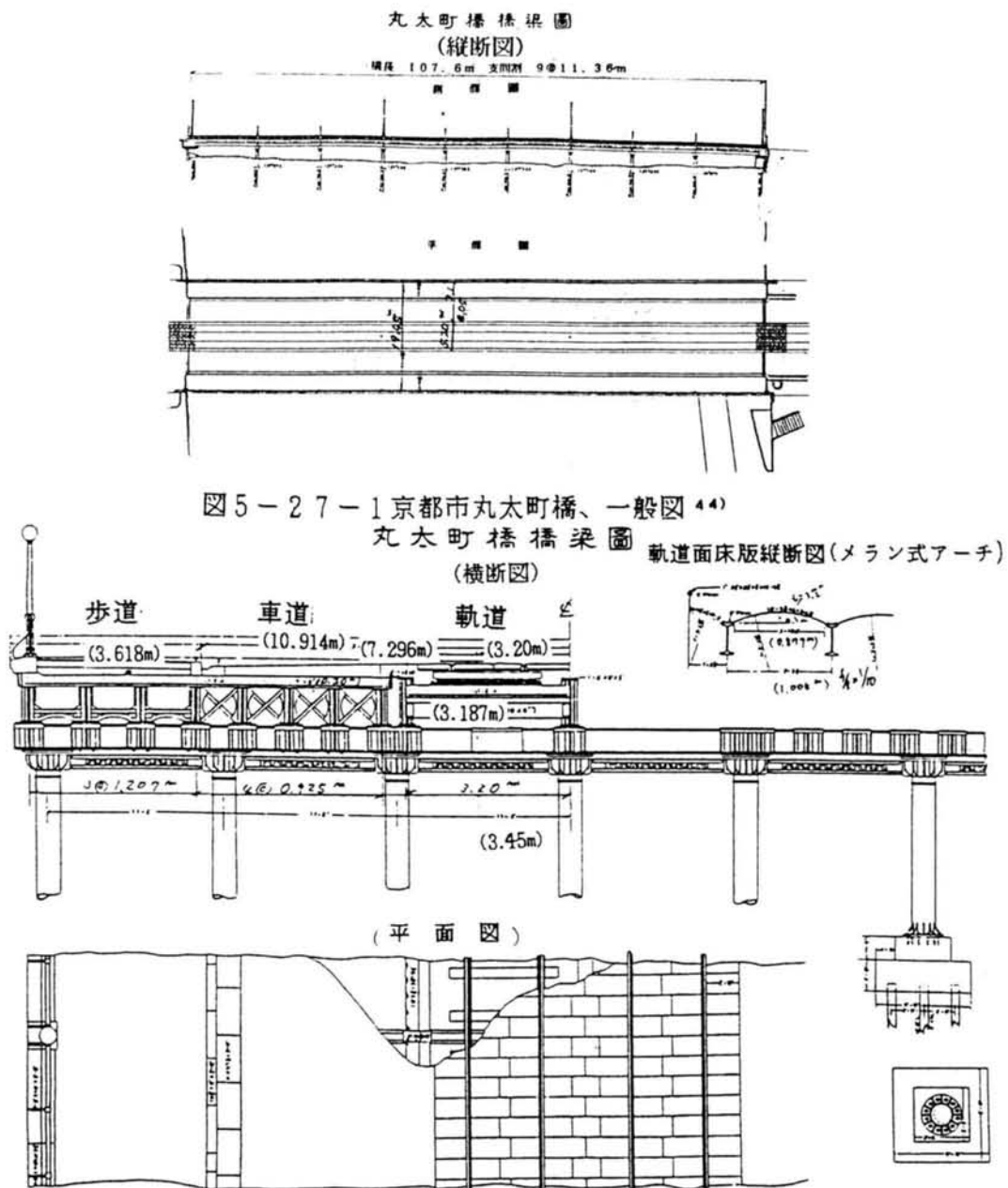


図5-27-2 京都市丸太町橋、橋梁横断面図及び平面図⁴⁴⁾

丸太町橋橋梁圖

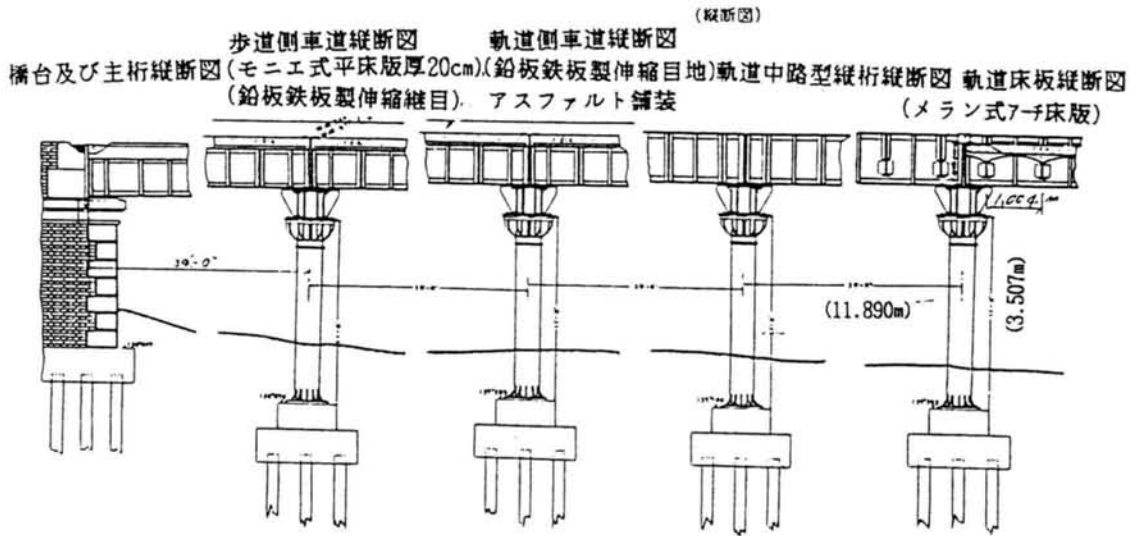


図5-27-3 京都市丸太町橋、橋梁縦断面図⁴⁴⁾

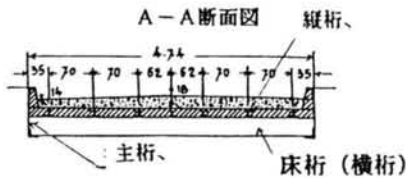


図5-28-1 中路型鋼板桁のメラン式アーチ床版横断面図⁴⁵⁾

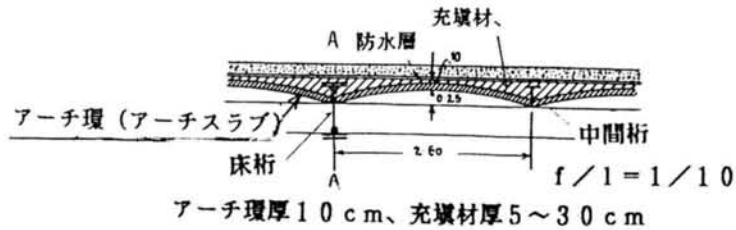


図5-28-2 同左 メラン式アーチ床版橋軸方向縦断面図⁴⁵⁾

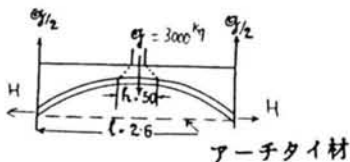


図5-28-3 メラン式アーチ床版のアーチ環計算図⁴⁵⁾

3) 東京市は大正3(1914)年11月に二交鋼拱肋橋の呉服橋(橋長31.8m、幅員21.8m、径間30.5m、拱矢3.05m)を竣工させた。この橋は市の橋梁課長樺島正義(東京帝大土木科明治34年卒)の指導で、ワデル(Waddel)氏の示方書を適用して設計しているが、担当者は花房周太郎(京都帝大土木科、明治44年卒)であった。当時の技術誌「土木建築工学」に連載されていた京都帝大二見鏡三郎教授の論文に啓発された事を述べている。⁴⁶⁾

この橋の床版には鉄筋コンクリート構造が採用されているが、それは図5-29-1に示す様に市街電車軌道や公共添加物が多く、床組構造を含めて複雑な構造である。

車道幅員は8間(14.56m)で、人道幅2×2間(3.64m)であり、舗装は車道がアスファルト厚7.5cm、人道がモルタル厚6cmとしている。車道部には横断勾配に合わせるため舗装に高さ調節用のコンクリート層を設けている。床版厚さは車道部で15cm、人道部で12cmの単純支持の鉄筋コンクリート構造である。何故この様な複雑な構造にしたか不明であるが、軌道高さと必要鉄桁高さと横断勾配とから決定したものであろう。(図5-29-1参照)

鉄筋コンクリート床版の設計では図2-29-2に示す様に、設計活荷重として修道輓子(Road Roller)15米屯(ワデル規格A級)を採用し、支間 $L=4.5\text{ft}(1.37\text{m})$ として衝撃係数 $I=100/L+150=0.65$ を考慮している。⁴⁶⁾(図5-29-2参照)

計算結果として主鉄筋3/4吋(19mm)8cm間隔、横鉄筋3/8吋(9.5mm)10cm間隔を採用している。横鉄筋(配力筋)をLateral Temperature Reinforcementと呼んでおり、鉄筋量としてコンクリート断面の0.7%を配置して、温度応力に対応して配筋しているのが注目される。⁴⁶⁾

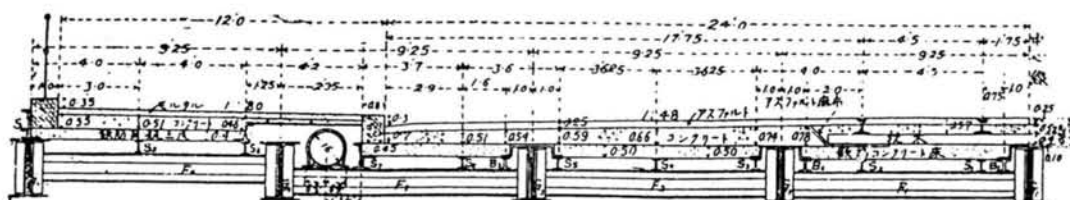
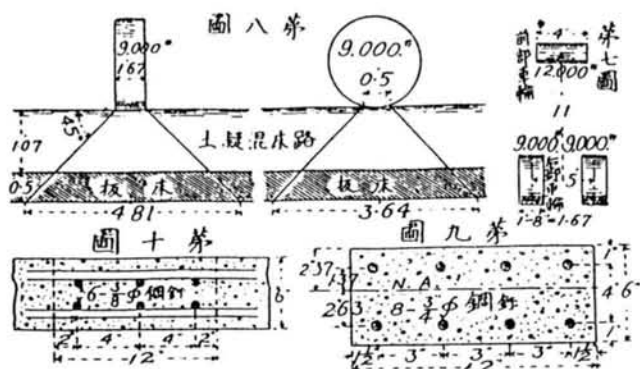


図5-29-1 東京市呉服橋、鋼アーチ橋床版及び床組構造横断面⁴⁶⁾



第七図 修道輓子(Road Roller)荷重配置図
第八図 床版設計荷重分布図
第九図 車道部床版配筋図
第十図 歩道部床版配筋図

図5-29-2 東京市呉服橋、床版設計活荷重及び床版鉄筋図⁴⁶⁾

4) また、記録によると長崎市の港に近い繁華街の築町の中島川に、大正4(1916)年9月万(よろず)橋(橋長18m、幅員6m)が、コンクリート床版の鉄桁に架替えられた。⁴⁷⁾長崎は鉄筋コンクリートT桁の実績もあるので、鉄筋コンクリート床版の鉄筋配置は、折り曲げ鉄筋によるアンネビツク方式であつたと見られる。

5. 2. 橋梁上部工以外の鉄筋コンクリート技術の導入の纏めとその考察

(1) 鉄筋コンクリート技術の導入の纏め

1) 水工構造物

河川構造物は河川地域の地形地質や流出の状況等に左右され、現地の河川状況に応じて責任技術者の判断で水制工や護岸工が、コンクリートや、鉄筋コンクリートを利用して造られる。岡崎文吉の護岸工は石狩川で鉄筋コンクリートを利用した試みであり、十川嘉

太郎の台湾の急流河川で町を防禦するため、蛇籠と鉄筋コンクリート構造を組合せた特殊な構造の試みも、自然力の前にはコンクリートの重力で対応する他に方法がなかった。

淀川も毛馬洗堰は制水工として煉瓦構造であり、鉄筋コンクリートは補助的な「角落し」の運搬路の橋や護岸基礎矢板に部分的に使用されただけである。

それに比べると京都市西之洞院川や、第二琵琶湖疏水の水路に主役として鉄筋コンクリート暗渠構造使用されている。アーチ・カルバートとして経済性を重視し、安定的な構造として採用されている。

2) 港湾構造物

鉄筋コンクリート構造は造船ドックの一部、防波堤、繫船岸、棧橋等に使用されている。

横浜港、大阪港でのコンクリート・ブロック工事での失敗は大きな教訓となり、コンクリート工事が改善された。長崎港湾工事での仏国特殊セメントの採用や、神戸港防波堤での鉄筋コンクリート・ブロックの採用等にも影響を与えたと見られる。

防波堤は厳しい自然力に対応するため、重力の大きい構造物が耐久性があるとして、コンクリート・ブロックからケーソン工法に変遷している。小樽港の函塊（ケーソン）は構造上無筋コンクリートに近く、鉄筋で補強された構造で斜路を利用して製造されている。神戸港の埠頭は水深は大きい、基礎地盤良く仮橋上で製作し浮きドックによる移設で巧みに沈設している。ただし、コンクリートに対する海砂の使用は、大規模な試験をやっているが、海砂等の洗浄が不十分であり結果的に見ると問題がある。

船渠としては石造が主であり、これがコンクリートに代わったが、浮力に対応するためであり、鉄筋コンクリートはひび割れ防止のため部分的に使用された。

コンクリートの海水への対策は、長崎での伝統的な火山灰混入の工法にヒントを得て、小野田セメントが試験して真島健三郎に伝えた。⁴⁷⁾ これ以後海中構造物のコンクリートには、火山灰を混入するのが常識となり、高価なセメントの代りにも混入された。

大阪港での鉄筋コンクリート棧橋構造は、深い海水中の構造物として既成鉄筋コンクリート部材を組合せて、繫船岸として良く工夫して形成されている。組合せ部の構造が問題であるが施工性や、耐震性をどの様に考慮したのであろうか問題となる。

既成鉄筋コンクリート構造を組合せたもう一つの例が、東京の有楽橋の橋脚であるが、施工が困難であり、規模も著しく異なっている。

3) 道路構造物

道路構造物としては排水施設と舗装であるが、排水施設としては下水道と関連が有り、早くから利用されていた様で次項でのべる。鉄筋コンクリート舗装は神戸で試験的に施工されたが、高価であるためアスファルト系の舗装が主流であった。

4) 上下水道構造物

鉄筋コンクリート構造物としては、取水堰堤、導水路、浄水場や、下水路、下水管、下水場等があるが、取水堰堤では神戸市布引ダムの様な、粗石コンクリートか石造のダムが多く、鉄筋コンクリート構造は特殊な施工条件での函館上水道の笹津ダムくらいである。浄水池や沈殿池の様な貯水池構造は、鉄筋コンクリート構造が最適であり、側壁、中壁、天井、基礎構造等で使用されている。下水路や下水管では、我国では合流式が多く採用されており、その形状は円形、角形、卵形、馬蹄形と現場条件に応じて多様である。

下水管では径と経済性によって陶管、鉄筋モルタル管、鉄筋コンクリート管等が試験し

て使い分けられたが、工場を設けて大量生産されている。東京市の小野栄作の考案した鉄筋を偏心させた鉄筋コンクリート管は、新アイデアであり利用価値があるが、製作手間と運搬及び設置の手間とを考慮して検討する必要があったと見られる。

5) 鉄道構造物

鉄道構造物への鉄筋コンクリートの導入は、鉄道付属の構造物や本線の橋梁下部工とアーチ・カルバートでは早くから施工されている。構造を見ると安定的で、慎重な設計が行なわれている。橋梁下部工特に基礎杭や井筒に多く採用されているが、機関車の大きな動荷重が直接作用する上部工への使用には慎重であった事が窺われる。

6) 建築物

明治末期までの建築物の構造設計や施工は土木技術者の担当であった。実用的な工場、倉庫等や、建築基礎の設計は土木技術者が担当していた様である。

我国最初の建築物とされているのは、旧海軍佐世保鎮守府の真島健三郎の担当した2つの建築物であるが、台湾の十川嘉太郎等も当時は建築に部分的に関与していたと見られる。

三菱系の会社に在籍した白石直治も神戸の和田岬に鉄筋コンクリート造りの倉庫を設計している。初期の鉄筋コンクリート建築での日比忠彦や柴田畦作及び土木技術者等の貢献は、高く評価されるべきである。

7) 橋梁軀体工

橋梁下部工の内軀体工については、橋脚には明治40(1907)年頃から鉄筋コンクリート構造が使用されていた。軀体コンクリートを減少させるためと、木橋と同じ様な感じの造形を考えて、門型構造が多く採用されている。ただし両端のハウチ部は大きいのが、門型ラーメン構造として設計したのではなく、両端固定梁としての計算であったと見られる。流水に対する影響から壁構造が採用されたのは、大正後期からである。

橋台は石積から無筋コンクリート構造に変遷したが、都市内では美観の点から主要橋梁では表装を石材や、煉瓦材で仕上げるのが普通であった。濃尾地震等度々の地震で支承部に損傷を受けることが多いため、明治末期には鉄道院の那波光男は支承部に補強鉄筋を配置している。この他に資料は少ないが、土留構造物が石積から鉄筋コンクリート構造に変化しているのが、土木技術誌に多数の欧米資料が紹介されている事から窺える。工費の面から擁壁が重力式、逆T式、L型式 等が高さに応じて比較検討されている。

8) 基礎構造物

基礎杭は木杭が多く使用されているが、地下水位以上では腐蝕するため鉄筋コンクリート杭が使用された。鉄道院の東京高架橋はその大規模な使用例であり、基準を設けて設計及び施工を組織的にやっている。杭の打込みも杭頭保護と衝撃緩和のための装備も、米国の施工例に倣って施工し、我国でも経験を積んで改善されている。

井筒基礎も当初は煉瓦で作成して沈設していたが、明治末期には無筋コンクリート構造に変遷し、更に鉄筋コンクリート構造に変わっていった。地質との関連が大きく、重量の大きい無筋コンクリートに近い構造が多く使用された。

9) 鋼橋上部工床版

鉄鋼橋は明治初年から使用されているが、床版は道路では木造であった。明治末期になると交通状態も初年頃の馬車や荷車から大きく変わって、電車や乗合自動車の時代になり、輪荷重も大きく変わっていた。明治18(1885)年に内務省が定めた400貫/坪

(453kg/cm²)の等分布荷重では、地方ではともかく都市内では不十分であった。

都市内では交通量も増大して木板材の床版では強度が不足し、しかも腐蝕が早いので代ってバツクル・プレートや、鋼板のＵトラフにコンクリートを充填したＵトラフ床版構造が使用される様になった。

鉄筋コンクリート床版も明治末期には導入されたが、鉄筋配置でも直線式のモニエ式と折曲げ鉄筋を配置したアンネビツク式との両式があった。京都ではこの他にモニエ・アーチスラブを改善した鉄桁橋が「鉄筋橋」と呼ばれて多く使用された。特殊な例として京都市丸太町橋の電車軌道部の床版にメラン式アーチ床版が採用されている。

鉄道橋では一般には鋼橋の開床式であるが、必要な所では鋼板に依る閉床式が使用された。

(2) 鉄筋コンクリート技術の橋梁上部工以外での導入の考察

表5-5は明治末期に鉄筋コンクリート構造が、土木の分野で最初に導入された時期を示したものである。明治40(1907)年頃から、殆どの分野でこの技術が導入されて活用されているのが分かる。(表5-5)然しながら橋梁上部工の分野での採用は、他の分野よりもやや遅れている。

活潑な分野としては、交通施設としての鉄道と港湾の大工事が中心であり、この他には伝染病予防のための上下水道や、防災としての大河川工事があり、道路関係の工事量は極めて少ない。鉄道や港湾関係には国庫の補助があったが、道路の改良はこれ等の交通施設の補助施設と位置付けられて地元負担とされており、殆ど改良は行なわれず、災害復旧も地元負担で行なわれた。

これは明治期の交通状況によるものであり、荷車や馬車交通中心の交通状況に対応したものであった。高知県土木史に見られる、明治16(1883)年の大久保基之丞の四国新道構想に四県知事が賛成し、国庫補助を受けて明治27(1894)年に略完成したのは例外的な事業であった。⁴⁹⁾(表5-6参照)

明治中期の大都市では市街軌道電車が走り始めて地方都市に普及し、乗合自動車も明治末期には走り始めていたがその数は少なく、地方の道路の改良は進まなかった。

上下水道についても、上水道は国庫補助もあって中小都市まで普及し、鉄筋コンクリート構造が採用されたが、下水道は大都市のみに普及し、しかも合流式が採用されて、汚水の浄化は不十分のまま河川に放流された。

鉄筋コンクリート構造は前述の様に大規模な工事に重点的に採用されたが、小規模公共施設には僅かしか導入されず、普及しなかった。明治末期には未だ特別な工事に、選ばれた技術者がその責任と判断で、鉄筋コンクリート構造が採用されていた。しかし大正期に入ると鉄筋コンクリート構造が普及し始め、土木施設での基本構造としての地位を拡大しつつあった。

表5-6 四国新道の概要⁴⁹⁾

県 別	延長(m)	事業費(円)	施工期間	備 考
讃 岐	38,382	256,854	1886.4~90.3	うち丸亀~金蔵寺6081m
伊 予	62,364		1886.4~94.3	
阿 波	31,343	78,000	1886.3~90.3	
土 佐	148,181	406,710	1886.3~94.5	うち佐川~伊予県境61345m
計	280,361	741,564		

表5-5 明治期コンクリート及び鉄筋コンクリート構造の初期構造物の分布
(鉄筋コンクリート橋上部工を除く)

構造物 分野	構造物 種類	1872 明治 05	77 10	82 15	87 20	92 25	97 30	1902 35	07 40	12 45	17 大正 06	22 11	26 15
鉄道 構造物	橋梁								・27・2829				
	橋梁	1.	・2							17・32・30	・33		
水道 構造物	上水道				・3			4・5・22	3537				
	下水道			・7		・8	・34	・43	・3				
港湾 構造物	船渠					9・・10		・11					
	防波堤				・12	13・14・5							
	ケーソン堤								42	・43			
運路 構造物	橋梁						・20			55	・56・58		
	橋梁				・5					44・5	6・4・6		
	舗装							8・9					
河川 構造物	橋梁							・4		・3			
	制水門							23・24	5223				
	護岸								54	・55			
建築 構造物	建築物			・25				57	・58・59				
	その他			・26				60	61・62・60				
開港場 構造物	その他			・6				70	・71	72・73			74

記号：無筋コンクリート・鉄筋コンクリート

1) 無筋コンクリート構造物の略称(数字は着工年を示す)

- | | |
|---------------------------------|------------------------------|
| 1. 東海道線、神戸大阪間基礎工及びらせん杭中詰め (M3年) | 14. 長崎港湾改良工事護岸 (M30年) |
| 2. 東海道線、大阪京都間基礎工及びらせん杭中詰め (M6年) | 15. 小樽港防波堤 (M30年) |
| 3. 横浜上水道 (M20年) | 16. 大阪市橋梁基礎井筒及びスクリュウ杭 (M21年) |
| 4. 東京上水道 (M32年) | 17. 鴨緑江鉄道橋ケーソン (M42年) |
| 5. 神戸上水道 (M33年) | 18. 東京銀座歩道舗装 (M41年) |
| 6. 大阪上水道 (M41年) | 19. 神戸市道路舗装 (M41年) |
| 7. 東京下水道 (M17年) | 20. 神戸市山の後土橋 (M32年) |
| 8. 大阪下水道 (M27年) | 21. 神戸市水道制水門橋 (M38年) |
| 9. 横浜造船所 (M27年) | 22. 神戸市市引貯水池堰堤 (五本松堰堤) |
| 10. 長崎造船所 (M28年) | 23. 毛馬閘門基礎 (M35年) |
| 11. 佐世保海軍船渠 (M35年) | 24. 木曾川水力発電所制水門 (M40年) |
| 12. 横浜港防波堤 (M22年) | 25. 北陸線、長浜駅舎 (M15年) |
| 13. 大阪港防波堤 (M30年) | 26. 宮崎県鞍馬崎灯台 (M17年) |

2) 番号及び鉄筋コンクリート構造物の略称 (年数は着工年をしめす。M : 明治、T : 大正)

- 27. 山陰線島田川暗渠 (M37年)
- 28. 宇野線大門鉄筋コンクリートアーチ・カルバート (M40年)
- 29. 宇野線田井鉄筋コンクリートアーチ・カルバート (M40年)
- 30. 東海道線武庫川ラーメン橋脚 (T1年)
- 31. 犬飼線昆布川橋井筒 (T2年)
- 32. 佐伯線大野川橋井筒 (M44年)
- 33. 大分線久見川橋井筒 (T5年)
- 34. 仙台市モルタル下水道管 (M31年)
- 35. 京都御所防火貯水槽 (M42年)
- 36. 京都上水道 (M41年)
- 37. 横浜市上水道拡張2期工事 (M42年)
- 38. 大阪市下水道鉄筋モルタル管 (M42年)
- 39. 名古屋市下水道 (M44年)
- 40. 東京市下水道 (M37年)
- 41. 神戸港埠頭ケーソン工事 (M44年)
- 42. 小樽港2期ケーソン工事 (M41年)
- 43. 神戸港和田岬ケーソン工事 (M44年)
- 44. 愛知県鹿乗橋下部工 (M43年)
- 45. 京都府上川口橋 (M45年)
- 46. 京都府久世橋 (T2年)
- 47. 東京市有楽橋 (T3年)
- 48. 東京高架橋及び万世橋RC杭工事 (T4年)
- 49. 京都市西洞院川暗渠 (M37年)
- 50. 琵琶湖第二疏水暗渠 (M43)
- 51. 毛馬洗堰管理橋 (M43年)
- 52. 大河津西川閘門通路橋 (M43年)
- 53. 淀川堤防RC矢板工 (M43年)
- 54. 夕張川護岸工 (M42年)
- 55. 石狩川護岸工 (M43年)
- 56. 京都府鴨川護岸擁壁 (M44年)
- 57. 佐世保鎮守府機関室、ポンプ室 (M38年)
- 58. 神戸港D号倉庫 (M41年)
- 59. 国府津機関車庫 (M44年)
- 60. 静岡県清水灯台 (M45年)
- 61. 佐世保海軍工廠煙突 (M38年)
- 62. 浅野セメント深川工場煙突 (M38年)
- 63. 築地海軍工廠倉庫RC杭工事 (M37年)
- 64. 横須賀海軍船台拡張RC杭工事 (M43年)
- 65. 東京市今川橋RC床版工事 (T1年)
- 66. 京都市丸太町RC床版 (T2年)
- 67. 京都市七條堀川橋RC床版 (T1年)
- 68. 東京市呉服橋RC床版 (T3年)
- 69. セメント製造開始 (M17年)
- 70. セメント試験法規格制定 (M38年)
- 71. 大阪市「鉄筋混凝土計算規定」制定 (M42年)
- 72. 鉄道院「鉄筋混凝土橋梁設計心得」制定 (T3年)
- 73. 内務省土木局「鉄筋混凝土橋梁仮取締規則」作成、暫定試行 (T4年と推定)
- 74. 内務省土木局「道路構造に関する細則」制定 (T15年)

参考文献－ 5

- 1) 京都大学土木教室創立六十年記念事業会「京都大学工学部土木教室六十年史」350頁、昭和32年6月。
- 2) 京都市役所「京都三大事業誌、第二琵琶湖疏水編、第二巻」59頁、大正元年9月
- 3) 原田碧「実用鉄筋コンクリート構法」田辺朔郎監修、丸善株式会社、大正元年8月
- 4) 京都市水道局「琵琶湖疏水の100年、叙述編」京都新聞社、平成2（1990）年4月
- 5) 昔のコンクリートを語る会編「昔のコンクリート」コンクリート叢書、日本ポルトランド・セメント同業会、昭和11年10月。
- 6) 沖野忠雄「淀川改良工事誌」内務省土木局、65頁、大正2年2月。
- 7) 大阪市の100年刊行会編「大阪の100年」明治大正、郷土出版社、1998.10
- 8) 岡崎文吉「石狩川治水計画に属する42年式導水護岸工事混凝土単床に就いて」工学会誌30輯、340 巻、明治44年5月。
- 9) 十川嘉太郎「コンクリートと水制工」土木学会誌、1巻2号、大正4年4月。
- 10) 伊藤長右衛門「小樽築港工事報文（後編）」北海道庁、大正10年8月。
- 11) 須山英次郎「和田岬鉄筋コンクリートケーソン製造工事概況」工学会誌、351 巻、明治45年5月。
- 12) 森垣亀一郎「鉄筋混凝土ニ関スル試験報告」土木学会誌、6巻6号、大正9年12月
- 13) 大阪市港湾局「大阪港史、第一巻」昭和34年3月。
- 14) 日本ポルトランド・セメント同業会「鉄筋コンクリートの案内」明治45年2月。
- 15) 丹羽勲彦「横浜関税海陸連絡施設」土木学会誌、4巻3号、大正7年6月。
- 16) 神戸市役所「神戸市史、本編（下）」大正13年6月
- 17) 茂庭忠次郎（代表）・「中島工学博士記念日本水道史」中島工学博士記念事業会、昭和2年8月。
- 18) 日比忠彦「鉄筋混凝土講話」弘道館、大正2年6月。
- 19) 横浜市水道局「横浜市水道七十年史」昭和35年3月。
- 20) 京都大学土木教室創立六十年記念事業会「京都大学工学部土木教室六十年史」349 頁、昭和32年6 月。
- 21) 大阪市下水道局「大阪市下水道事業誌、第1集」大阪市下水道技術協会、昭和58年3月
- 22) 編纂委員会「下水道東京100年史」東京都下水道局、平成元（1989）年3月。
- 23) 国有鉄道公社「鉄道技術發達史、第2編、施設Ⅲ」1713頁、昭和34年。
- 24) 近江栄「日本におけるRC構造建築のさきがけ」日本建築学会論文報告集、昭和43年10月
- 25) 日本工学会「明治工業史、土木編」田辺朔郎編、昭和4年7月。
- 26) 白石直治著、須山英次郎訳「神戸港ニ於ケル鉄筋混凝土倉庫」"A FERRO-CONCRETE WAREHOUSE AT KOBE " 明治44年7月。
- 27) 田辺平学、二見秀雄「鉄筋コンクリート構造」高等建築学9巻 常盤書店、昭和9年2月
- 28) 大成建設株式会社「大成建設社史」昭和38年1月。
- 29) M.M.Chimes BA,MLS,ALA. "Concrete Fondatiions and Substructures; A Historical Review " Proc,Inst,Civ,Engrs, Structs & Bldgs,1996,116,Aug/Nov,p353
- 30) 同上 p357,
- 31) I,Hiroi "The Stress in Viaduct — Bents " 工学会誌282巻、明治39年2月

- 32) 新井栄吉「二交式鋼拱橋、鹿乗橋」土木建築工学、1巻7号、大正3年12月。
- 33) 愛知県土木部「建設のあゆみ（愛知県土木事業写真集）」昭和54年6月。
- 34) 京都府「京都府橋梁写真帖」（京都府史と同時期、大正4年と推定）
- 35) 内務省土木試験所「本邦道路橋輯覧、第一輯」大正14年。
- 36) 那波光雄「鉄道院佐伯線外二線に於ける混凝土の応用」工学会誌373巻、大正3年5月
- 37) 高木精一「最近竣工シタル東京市ノ橋梁」土木学会誌、1巻4号、大正4年8月。
- 38) 日本工学会「明治工業史、土木編」田辺朔郎編、875頁、882頁、昭和4年7月。
- 39) 内藤昌「基礎に施工したる鉄筋混凝土杭」工学会誌367 巻、大正2年11月。
- 40) 日本国有鉄道公社「鉄道技術發達史、第2編、施設Ⅲ」176 頁、昭和34年。
- 41) 東京府「東京府史、行政編第四卷、土木」207 頁、昭和11年9月。
- 42) 伊東孝「東京の橋」鹿島出版会、昭和61年9月。
- 43) 藤井郁夫「橋梁史年表」海洋架橋協会、平成4年9月。
- 44) 京都市役所「京都市三大事業誌、道路拡築編、譜図」大正3年3月。
- 45) K.MEMMLER etc "Der Baustoff und Seine Bearbeitung" zweiter Band des Handbuch
fur Eisenbetonbau F.von EMPERGER. seite501. Berlin 1907.
- 46) 花房周太郎「鋼拱橋設計例、呉服橋其五」土木建築工学、2巻14号、大正4年4月
- 47) 長崎市役所「長崎市制六十五年史(前編)」1340頁、昭和31年3月。
- 48) 真島健三郎「我国セメントの發達を促した三大築港工事」小野田セメント創業五十年史
小野田セメント製造（株）、216 頁、昭和6年9月。
- 49) 高知県土木史編纂委員会「高知県土木史」（社）高知県建設業協会、1998.12.

6. 明治末期における鉄筋コンクリート橋の導入

6. 1. 鉄筋コンクリート橋の導入（導入期）

明治期に建設された鉄筋コンクリート橋は、「明治工業史、土木編」¹⁾によれば43橋と書かれているが、試験的な小橋が多く本格的な橋梁としては、仙台の広瀬橋、京都の市原橋、佐世保の佐世保橋、横浜の吉田橋、山梨の猿橋水路橋等の数橋である。報告書の残っているのは広瀬橋、吉田橋や猿橋水路橋に過ぎない。

（1）京都の鉄筋コンクリート橋

1) 京都は明治末期に日本で早期に鉄筋コンクリート橋を導入した所であるが、京都帝大土木科教授の指導による影響が大きい。最初の鉄筋コンクリート橋は明治36（1903）年7月、田辺朔郎による山科の琵琶湖疏水に架かる「メラン式弧形桁橋」（現在名目ノ岡11号橋）であり、橋長7.3mで現在も補強して供用されている。²⁾（写真6-1参照）明治37（1904）年同じく山科の疏水に「大岩橋」（現在名山の谷橋又は日ノ岡10号橋）の鉄筋コンクリート・アーチ橋が架設された。橋長12.6m、幅2.0mの人道橋であるが、監督技師山田忠三、技手河野一茂、請負人大西巳之助と橋体に刻まれている。（写真6-2参照）設計は田辺朔郎と考えられるが、供用中の疏水上の橋であり、メラン式の吊り型枠で施工されたと考えられ、縁取りした明治期の欧米風のデザインである。

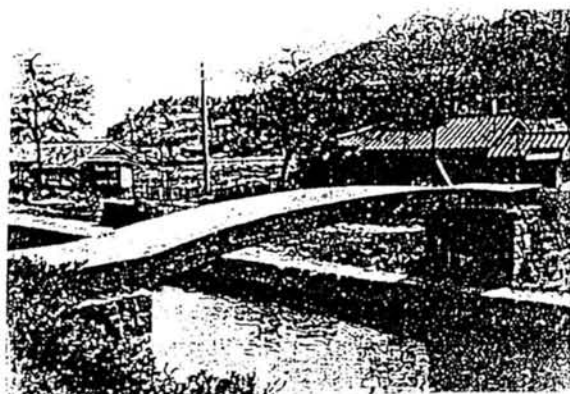


写真6-1 京都市日の岡11号橋
（メラン式弧形橋、明治36年7月¹⁾）



写真6-2 京都市日の岡10号橋（大岩橋）
明治37年7月、平成11年筆者撮影）

京都帝大土木科の第1回卒業生である井上秀二は、明治36（1903）年助教授を退職して京都市の土木課長となり、高瀬川に試験的な鉄筋コンクリートの人道橋を4桥架設している。それ等は次の表6-1の通りである。^{2) 3)}

表6-1 井上秀二が高瀬川に架設した鉄筋コンクリート橋

仏光寺橋	明治38（1905）年	L=7.3m	2交開側アーチ橋（メラン式）
姉小路橋	同 年	L=5.5m	キャンチレバー橋（アンネビック式）
材木町橋	同 年	L=7.3m	キャンチレバー橋（アンネビック式）
六軒 橋	明治40（1907）年	L=7.3m	固定閉側アーチ橋（メラン式）

代表として姉小路橋の施工中及び完成後の状況の写真6-3-1及び-2に示す。³⁾
水運のある高瀬川に架けるため、木造三角トラスの支保工を使用しており、橋台は扶壁式

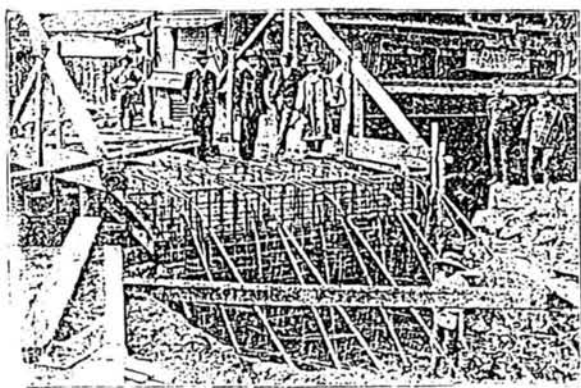


写真6-3-1 京都市姉小路橋、施工中、

(鉄筋コンクリート・キャンチレバー橋)³⁾

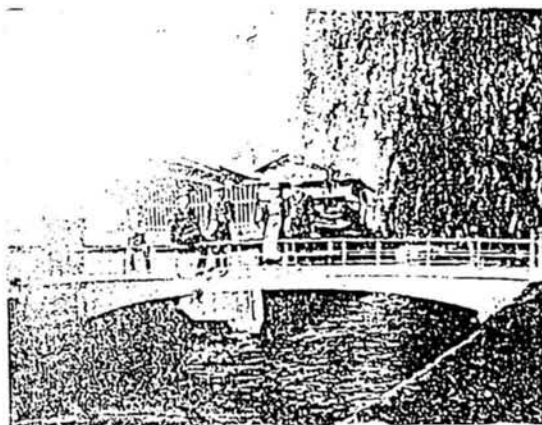


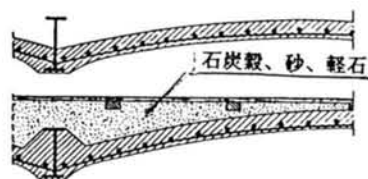
写真6-3-2 京都市姉小路橋、完成時
(明治38年)³⁾

鉄筋コンクリート構造であり、スラブにはアンネビック (Hennebique) 式の特徴の1つである垂直の帯鉄材が配置されているのが見られる。³⁾

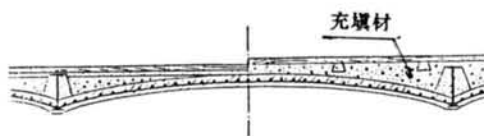
これ等高瀬川の人道橋は昭和の始め頃に、高瀬川地区の景観保全のため撤去された。⁴⁾
2) 京都府橋梁写真帖⁵⁾によると京都府市では、明治末から大正初期にかけて「鉄筋橋」と呼ばれる橋梁が多数架設されている。外観はI字鉄桁と同様であるが、鉄桁間の床版に仏人モニエ (Monie) が1881年特許を得たモニエ式アーチスラブが使用されている。(図6-1参照) 欧米では建築物の床構造に多く使用されていたが、拱矢比が1/10程度が多く採用されており、アーチ環の上部には砂や軽石等の充填材をいれている。⁶⁾

明治38(1905)年頃京都市岡崎公園内に「京都市商品陳列所」が計画された際に、当時京都高等工芸学校教授武田五一(東京帝大造家学科、明治30年卒)が建築設計を担当し、その床構造を京都帝大土木工学科教授日比忠彦(東京帝大土木工学科、明治30年卒)が担当する事となった。日比忠彦は明治35(1902)年より2年間独国の工科大学で鉄筋コンクリート工学を研究して帰朝しており、床構造にこのモニエ式アーチスラブを採用している。当時欧州においても鉄筋コンクリート構造の評価は未だ定まっておらず、鉄筋コンクリート造りの教会の安全性が疑問視されて、使用許可が議論されてる状態であった。武田五一等はこの建築物の壁は煉瓦構造とし、床構造だけに鉄筋コンクリート構造を採用した。⁷⁾ この建築物全体は明治43(1910)年3月に完成した。

この建築物の床構造の施工中の写真6-4が日比忠彦の著書⁸⁾に示されているが、I字鉄梁の間のアーチ状のスラブの下面に沿って鉄筋が配置されており、モニエ式アーチスラブが採用されたと見られる。武田五一の回顧によれば、⁷⁾ 工事に先立ち多数の建築及び土木技術者を集めて、この型式の2m角の実物スラブの公開荷重試験が実施され、設計者の



モニエ・アーチスラブ構造図(建築物用)⁶⁾



(日比忠彦「鉄筋混凝土ノ理論及其応用」⁹⁾)

図6-1 モニエ式アーチ・スラブ構造図(建築床版)²⁾

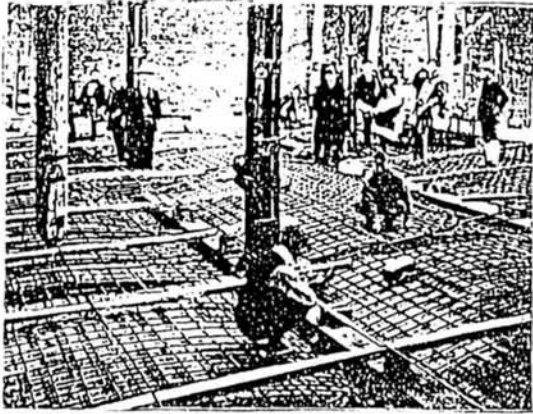


写真6-4 京都商品陳列所の床構造施工状況
(モニエ式アーチスラブ構造)⁸⁾

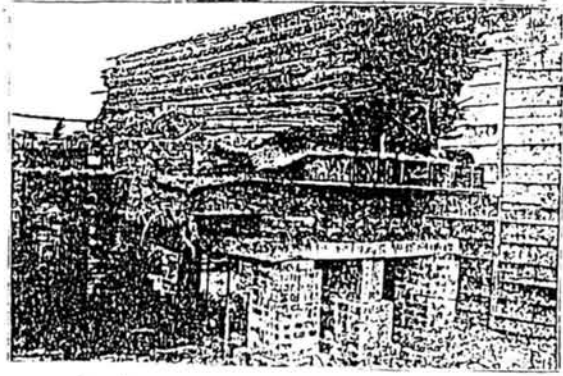


写真6-5 モニエ式アーチスラブ
実物大荷重試験⁸⁾

日比忠彦教授もそのスラブの強い事に驚いていたと書かれているが、荷重試験の報告書は残されていない。(写真6-5参照)⁷⁾

I字鉄桁にモニエ式アーチスラブを使用した橋梁を、京都府では「鉄筋橋」と呼んでおり、施工容易なため明治末期に多数採用されたが、その後は余り採用されていない。鉄筋橋型式の最初の橋は明治43(1910)年8月完成の竹田と深草の境の東高瀬川に架設した、大和街道の「高橋」(橋長9.1m、幅員14.6m)であり、写真6-6に示す。この橋は「明治工業史、土木編」にも鉄筋コンクリート橋の中に記録されている。¹⁾

明治45年3月完成の京都市御池通りの二条城近くの堀川に架設された「御池橋」(橋長8.2m、幅員14.6m)は写真6-7に示す鉄筋橋である。⁵⁾ その床版施工中の写真6-7-2を見ると、建築や欧州の橋梁の様にアーチ環の上部に充填材を入れず、全てコンクリートで満たされている。コンクリートのアーチング作用で、この床版が非常に強力なことは明らかであるが、計算方法については資料が残されていないので不明である。

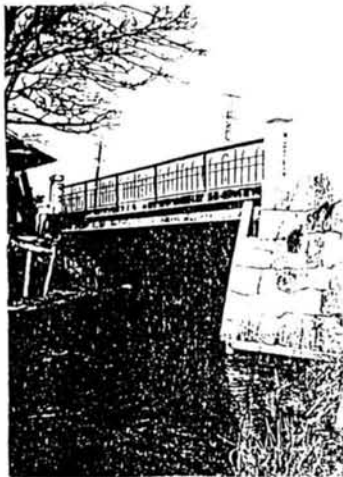


写真6-6 京都府高橋(最初の鉄筋橋、
明治43年8月、大和街道、東高瀬川)⁵⁾

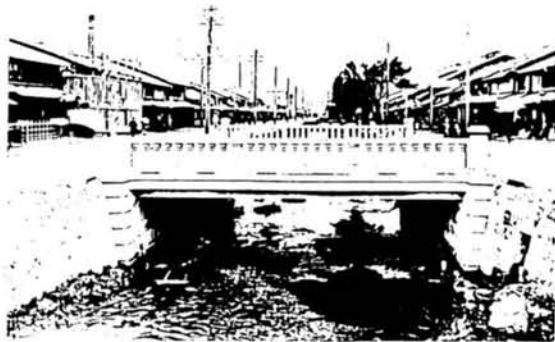


写真6-7-1 御池橋(鉄筋橋、
明治45年3月、堀川御池)⁵⁾

3) 京都府静市野村市原の鞍馬街道に明治45(1912)年3月「市原橋」(橋長32.2m 幅員3.64m)が、鞍馬村二の瀬に大正3年(1914)年2月に「二の瀬橋」(橋長14.5m、幅員3.64m)が完成した。2つの橋は一貫したコンセプトにより設計された鉄骨鉄筋コンク

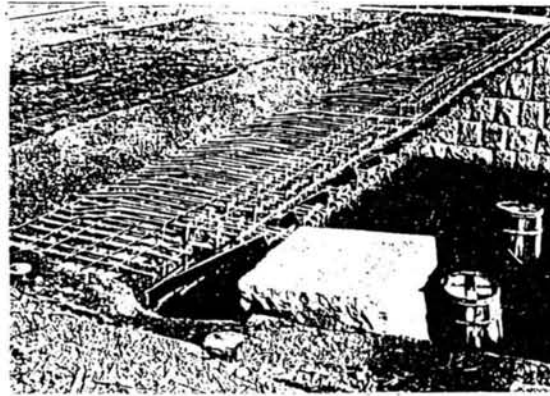


写真6-7-2 御池橋
(コンクリート養生中)⁵⁾

リート構造であり、「市原橋」の主径間は開側固定アーチ橋（径間20.2m）側径間は鉄筋橋型式（支間2×6.1m）である。（写真6-8-1参照）¹⁰⁾「二之瀬橋」は上路式単純トラス橋である。（写真6-9-1参照）¹⁰⁾

市原橋の一般図を図6-2に示す。¹¹⁾鉄骨組み立て完了時の施工状況を写真6-8-2に示す。⁵⁾山形鉄4本をブレイシング材で結合した剛性の高い鉄骨材の2本のアーチリブが見られる。支柱や床組も鉄骨構造であり、床組上の床版のみが鉄筋コンクリート構造である。アーチリブの剛性からみて、鉄骨を包むコンクリートは吊り型枠で施工されていると見られる。（写真6-8-2参照）欧州で発達したメラン式アーチ橋は、アーチ環にのみ鉄骨を使用しているのに対して、この橋は部材全体の鉄骨をコンクリートで包む構造としておる。欧州の伝統的な横組構造に対して、日本的な軸組構造の考え方を採用したものであり、そこに構造的な考え方の違いが出ているが、直接的な効果は自重の軽減による設計及び施工の効果を狙ったものであろう。米国における鉄骨建築物を耐火性向上のためコンクリートで包むと言う考え方とも、外形は似ているが基本的に考え方は違っている。

設計上では自重の軽減に依る材料の節約、鉄材の材料及び加工費の上昇、施工上での複雑な支保工の施工と不測の河川の出水の回避や工期短縮等の効果がある。こうした複雑な要素の試験橋であったと考えられる。（写真6-8-3参照）

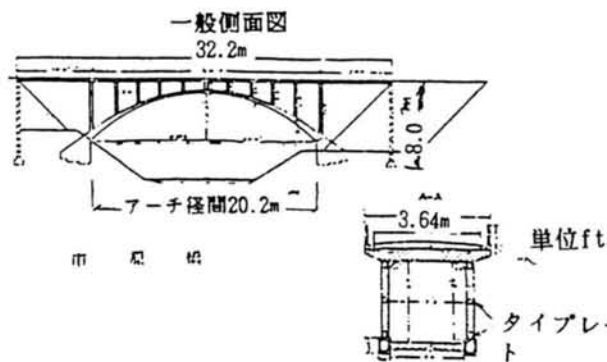


図6-2 京都府市原橋一般図²⁾
(鉄骨鉄筋コンクリート・アーチ橋)



写真6-8-1 市原橋完成時全景、
(明治45年3月、鞍馬街道、鞍馬川)⁵⁾

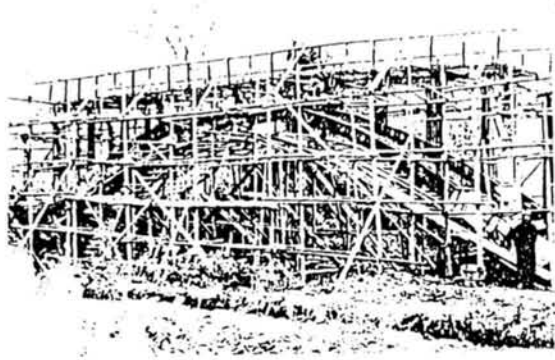


写真6-8-2 市原橋鉄骨架設状況 写真6-8-3 市原橋アーチリブ及び支柱の現況
(メラン式鉄骨鉄筋コンクリートアーチ橋)⁵⁾ (平成10年9月筆者撮影)²⁾

市原橋の側径間は当時京都府市で多く採用されている「鉄筋橋」であり、その測定結果を図6-3に示す。床版アーチの拱矢比はモニエ式アーチスラブの特徴である1/10を備えており、アーチ支点の変形防止のための山型鉄も配置されている。(写真6-8-4)

アーチの形状が美しくモルタル塗りで仕上げられているが、アーチの型枠の代わりに3.2耗の薄鋼板を使って施工され、欧米の様にアーチ環上部に充填材を使わず全てコンクリートを使用している事が、京都市三大事業での鉄筋橋の一般図から推定される。¹²⁾



写真6-8-4 市原橋側径間、鉄筋橋下面状況
(平成10年筆者撮影)²⁾

写真6-8-5 市原橋側径間、
鉄筋橋の鉄桁と地覆の意匠線
(平成10年筆者撮影)²⁾

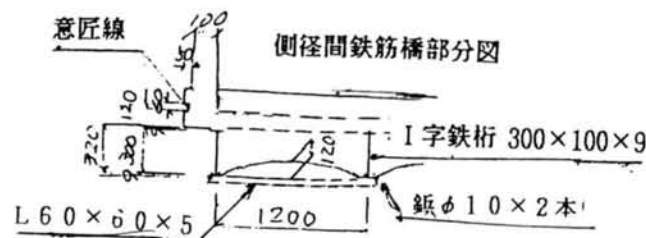


図6-3 市原橋側径間、鉄筋橋部分横断測定図²⁾

明治40(1907)年頃から始まった京都市三大事業の中でも、京都府で鉄筋橋と呼んでいたモニエ・アーチ床版構造が表6-2に示す様に多数採用されている。その実例として図6-4に東山線白川橋と七条堀川橋の構造図を示す。こうした古い橋の構造図が残っている例は極めて少ない。¹²⁾ (表6-2、図6-4参照)

鉄筋橋が市街電車軌道部の構造として、アーチライズ比1/7とし、薄鋼板をアーチ状に曲げて型枠代りに使用されている。京都商品陳列所での荷重試験により、その耐荷力が大きい事が実証されたため採用されていると見られる。

表一 2 京都市三大事業中、橋梁床版構造代表例（明治41～大正2年）一覧表¹²⁾

橋 名	橋長及び支間長	有効幅員	軌道桁構造	歩車道桁構造	軌道床版構造	歩車道床版
九太町橋 (大正2年8月) (上、左京区) (鴨川)	107.6 m 9×11.36m	19.45 m 軌道5.2 m 車道2×4 歩道2×3.1	中路型 単純鋼板桁	上路型 単純鋼板桁	モノ式アーチ床版 2×3.2 m 伏矢比1/10 鋼板厚3.2mm	モノ式平床版 床版厚20cm 4×0.925m 3×1.207m
東山線 白川橋 (東山区、白川)	9.62 m 3.0+3.2+3.0	15.6 m 軌道5.2 車道2×5.2	上路型 連続1字桁	既成RC 単純矩形桁 並列スラブ	モノ式アーチ床版 6×0.966m 伏矢比1/7	なし
四条高瀬川橋 (下京区) (高瀬川)	6.45 m 1×6.20	20.6 m 軌道5.2 車道2×5.2 歩道2×2.1	中路型 単純1字桁 2×3.25	上路型 単純1字桁 5×0.915 2×1.22	U字型トラフ 床版厚23cm トラフ高18cm	モノ式平床版 直線鉄筋配置 RC床版厚18cm
七条堀川橋 (下京区) (堀川)	7.01 m 1×6.71	16.80m 軌道5.2 車道2×5.8	中路型 単純1字桁 2×3.25	上路型 単純1字桁 6×0.82	U字型トラフ 床版厚23cm トラフ高18cm	モノ式アーチ床版 伏矢比1/7 鉄筋径16 mm
今出川通小川橋 (上京区) (堀川)	4.83 m 1×4.49	15.60 m 軌道5.2 車道2×5.2	上路型 単純1字桁 7×0.84	上路型 単純1字桁 5×0.915	モノ式アーチ床版 伏矢比1/7 直線鉄筋配置	モノ式平床版 RC床版厚18cm 鉄筋径16mm
伏見墨染橋 (伏見区) (琵琶湖疏水)	15.5 m 2×7.75	車道5.05m		上路型 連続1字桁 3×1.83		モノ式アーチ床版 伏矢比1/7 鉄筋径16mm
東山線 疎水壱成橋 (左京区) (琵琶湖疏水)	21.96 m 3×7.015	16.4 m 軌道5.2 車道2×3.1 歩道2×2.5	上路型単純 RCT桁 3×1.436m 桁高0.966m	上路型単純 RCT桁 4×1.271m 桁高1.067m	T桁床版厚 32cm 鉄筋径19 mm 折り曲げ	T桁床版厚 30cm 鉄筋径19mm 折り曲げ

東山線白川橋橋梁図

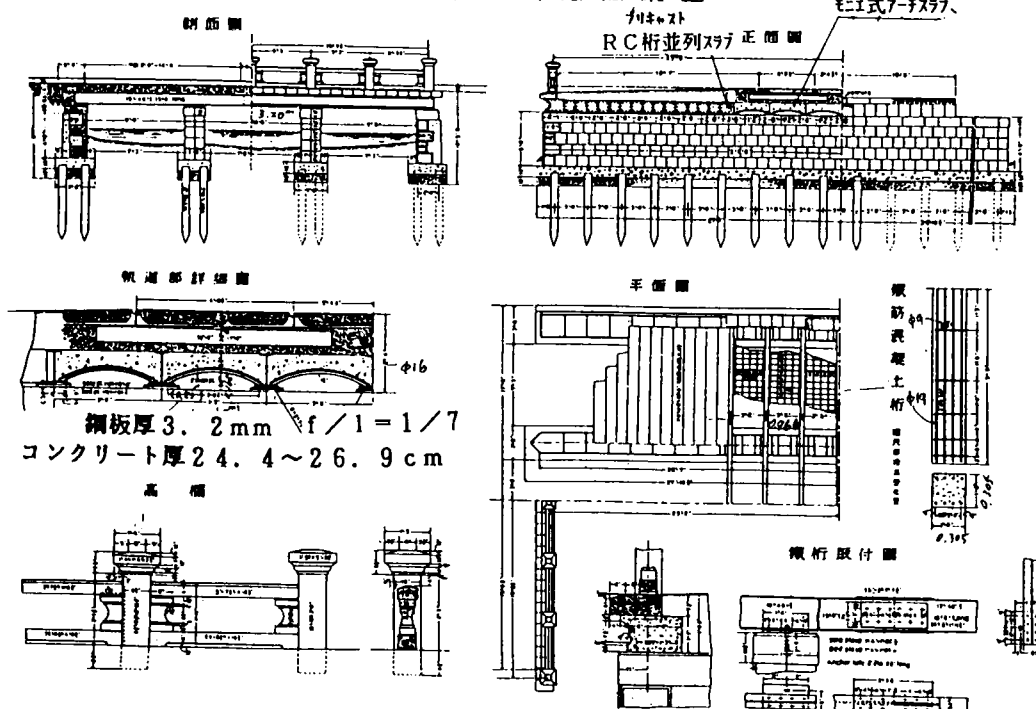


図6-4-1 京都市東山線白川橋一般図、構造図¹²⁾

七條堀川橋橋梁圖

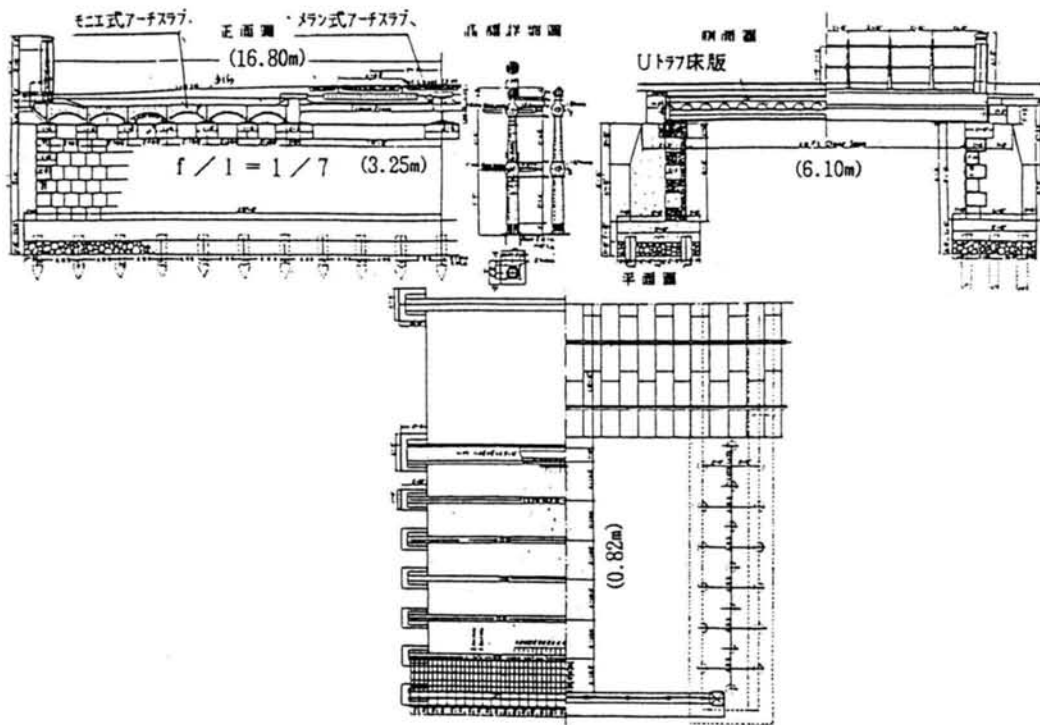


図6-4-2 京都市七條堀川橋一般構造図¹²⁾

次に「二之瀬橋」は市原橋より鞍馬川の上流にあるが、同じ一貫した考え方の軸組構造の鉄骨鉄筋コンクリート構造で建設されたトラス橋である。写真6-9-2は鉄骨組み立ての状況であり、写真6-9-3、-4は現在の状況であるが、やや離れて新府道に鋼桁が新設されて廃橋となり草むしている。トラス橋の部材は2本の溝型鉄を並列にして、タイプレートで結合した鉄骨に吊型枠を利用してコンクリートを充填した構造であり、床版だけが鉄筋コンクリート構造である。トラスの格点形状も丸みを付けて統一されており、簡素な近代的デザインであり景観には充分配慮された美しい橋である。

これ等2橋の設計は当時京都府内務部二課の主任技師であり、大正元年8月に田辺朔郎の監修、長崎市港湾改良工事々務所の上司星野一太郎（東京帝大土木科、明治30年卒）校閲で「実用鉄筋コンクリート構法」を編纂した原田碧（攻玉社土木科、明治26年卒）によると考えられる。上記編纂書の大正2年8月の改訂再版では、京都府の公式写真とは



写真6-9-1 二之瀬橋完成時全景、
(大正3年2月、鞍馬街道、鞍馬川)⁵⁾

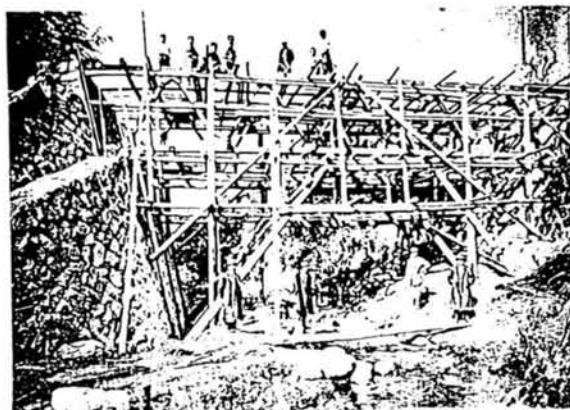


写真6-9-2 二之瀬橋鉄骨架設状況、
(鉄骨鉄筋コンクリート・トラス橋)⁵⁾



写真 6-9-3 二之瀬橋現況、廃橋状況、
(平成 10 年筆者撮影)



写真 6-9-4 二之瀬橋、橋体破損状況
(平成 10 年 9 月筆者撮影)



写真 6-8-6 市原橋完成時全景
(大正 2 年 8 月原田碧編纂書改訂再版)³⁾

違う角度の完成写真の写真 6-8-6 を追加掲載している。³⁾

原田碧は長崎港湾改良事務所で星野一太郎の指導で鉄トラス橋や鉄筋コンクリート橋の新地橋、佐世保橋、梅香崎橋を設計監督して技術力を認められてきた。しかし吊り型枠を使ったアーチ橋や鉄骨構造のトラスは欧米でも珍しく、こうした通常から飛躍した構造の構想は、欧米の建設技術情報に詳しく、創造的思考の出来る人物の発想である。

今の所資料はないが、これ等 2 橋は田辺朔郎が構想して指導し、原田碧が設計実務を担当して、現場担当者の監督で建設された試験的な橋梁であったと推定される。²⁾

4) 京都市三大事業は 5. 1 の (9) の表 5-3 に示す通り、第二琵琶湖疏水工事、京都市上水道工事、街路拡築及軌道布設工事の三つの事業を含み、明治 40 年頃に着工して大正 2 (1913) 年 8 月に全ての工事を竣功している。

京都市三大事業の中の鉄筋コンクリート橋としては、四条及び七条大橋を除くと東山線の疏水上に架かる「成徳橋」がある。橋梁の構造一般図を図 6-5 に示すが、橋長 21.96m、幅員 16.73m (軌道 5.3m、歩車道 2×5.72m) 支間割 (7+7.3+7m) の単純 T 桁である。軌道部は 4 主桁で間隔 1.44m、桁高 0.97m であり、主鉄筋 8 本は径 25mm あり、支点近く 2 個所で曲げ上げられている。床版厚さは 23cm で単鉄筋であり、径 19mm と径 13mm が交互に折曲げられて配置されている。(図 6-5 参照)

歩車道部は左右とも各 5 主桁で主桁間隔 1.27m 桁高 1.07m であり、主鉄筋は 6-径 25mm である。床版厚さは 23cm であり径 16mm と 13mm が交互に折曲げて配置されている。特徴的な事は床版厚さが大きく、鉄筋が 2 種の径で折曲げ位置をずらして交互に配置されている事であり、外桁側面には複雑な意匠線の凹凸で装飾されている事である。

東山線疏水徳成橋橋梁圖

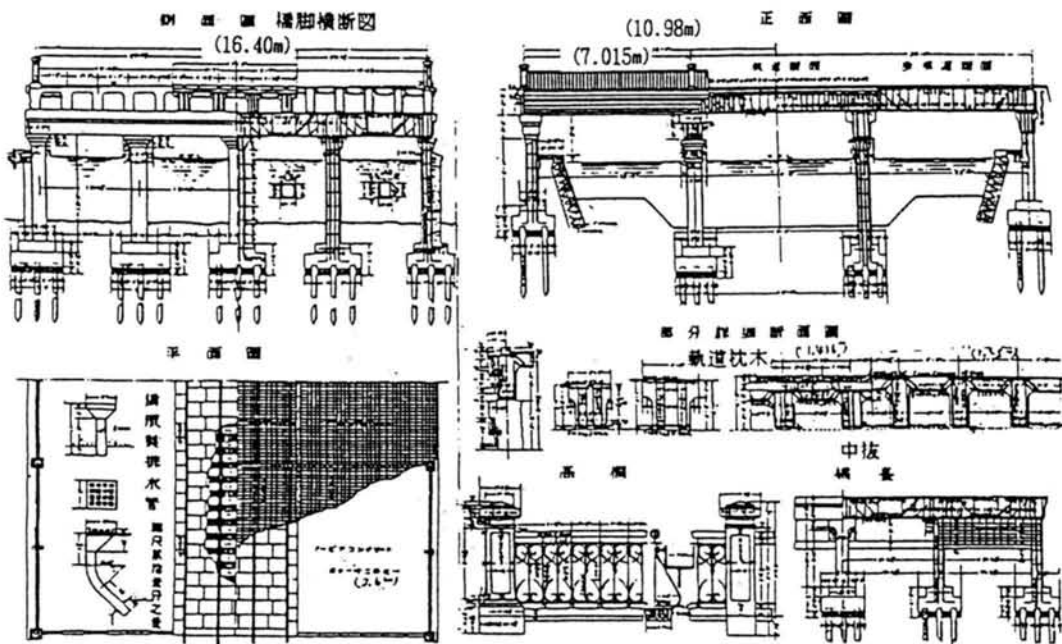


図6-5 東山線疏水徳成橋一般図、構造図¹²⁾ (鉄筋コンクリートT桁橋)

鉄筋 コンクリートT桁としては、アンネビック (Hennebique)式であるが、初期の1個所折り曲げとは異なり、現在の配筋に近い進歩した様式である。

下部工では橋脚の外形は門型ではあるが、5本の支柱上に桁受梁として単純梁が架設された構造である。支柱は66×61cmの長方形断面であり、主筋は径32mmでフープ筋も使用されている。橋台も門型で同様の構造であるが、土圧を受けている割りには支柱断面やフーチングが小さい。土圧は護岸より上部のみ考慮されていると見られる。下部工でも柱頭部には当時の欧米風の複雑な意匠が施されており、これが当時の近代都市文明の印と考えられたと見られる。(図6-5参照)

なお、この橋は第二琵琶湖疏水工事の第四工区(南禅寺町舟溜より五条通までの疏水)にあり、京都市長より府知事あてに大正2年3月に施工申請書が提出され、¹²⁾同年8月に完成している。工区長は山科の大岩橋にその名が刻まれている山田忠三であった。

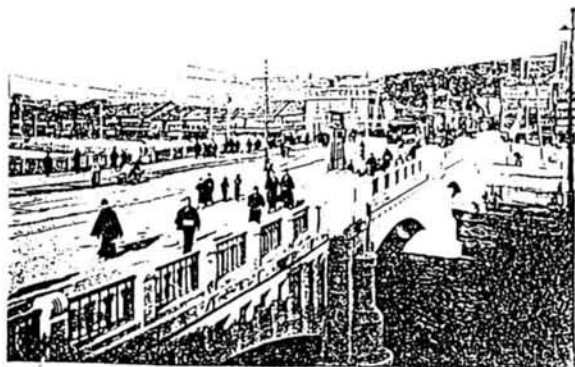


写真6-10-1 京都市四条大橋
(大正2年3月完成の頃)¹⁰⁾



写真6-11 京都市七條大橋現況
(平成9年9月筆者撮影)

5) 明治41(1908)年から始まる京都三大事業の街路拡築及び軌道敷設のため、鴨川に架かる四条及び七条大橋の架替が必要になった。橋梁形式としては京都の近代化を代表するものとして、欧米風の鉄筋コンクリートアーチ橋が選ばれ、元京都帝大講師で当時東京帝大教授のこの方面の専門研究者である柴田畦作(東京帝大土木科、明治29年卒)に設計及び指導が依頼された。²⁾ 明治44(1911)年10月に両橋は起工され、四条大橋は大正2(1913)年3月、七条大橋は同年4月に完成した。¹⁴⁾ (写真6-10及び6-11参照)

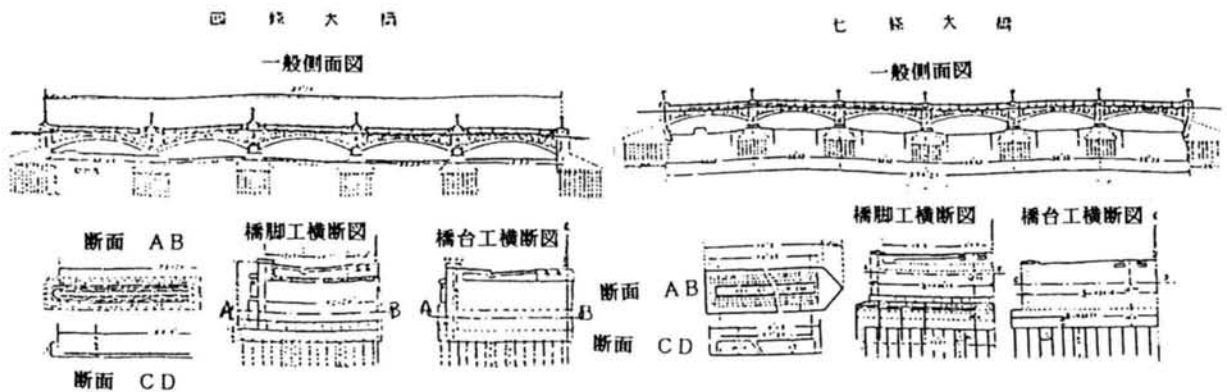


図6-6 京都市四条大橋及び七條大橋一般図(大正2年3月及び4月)¹¹⁾

四條大橋橋梁圖

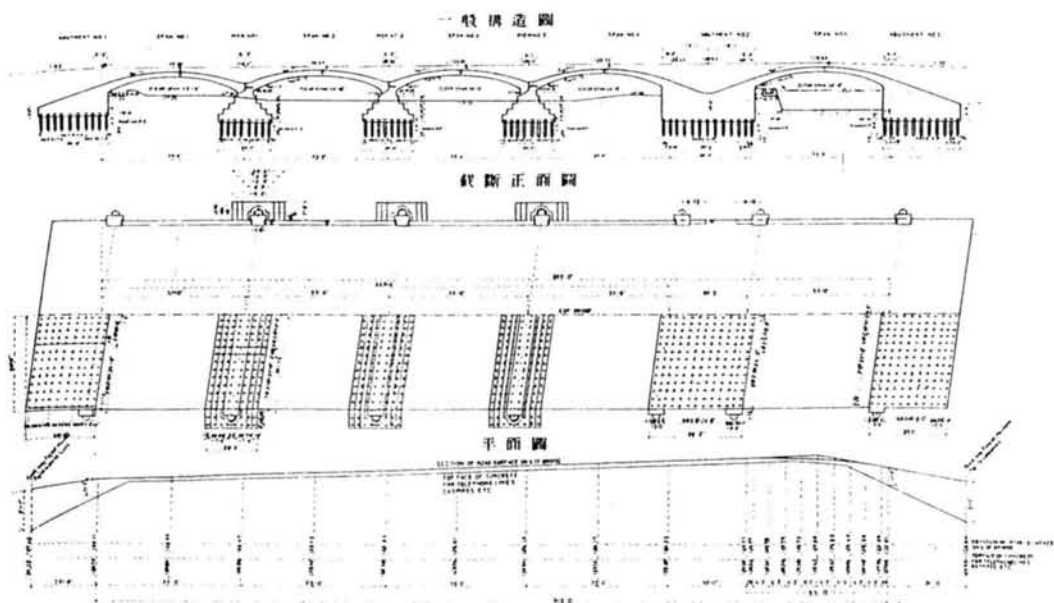


図6-7-1 四條大橋一般構造図(モニエ式鉄筋コンクリート・アーチ橋)¹²⁾

これ等の橋梁一般図は資料¹¹⁾から図6-6に、設計図は資料¹²⁾から図6-7に示す。また、工事報告は資料¹³⁾に示し、橋梁諸元は同時期に石橋絢彦の指導で架設された横浜市の鉄筋コンクリートアーチ橋「吉田橋」と比較して一覧表として表6-3に示す。

図6-7によれば、アーチリブの鉄筋は米国から輸入した異型鉄筋のコルゲーテッドバーが拱環上縁と下縁に格子状に配置され、スターラップや折り曲げ鉄筋は配置されてお

四條大橋 橋梁圖

昭和十一年三月

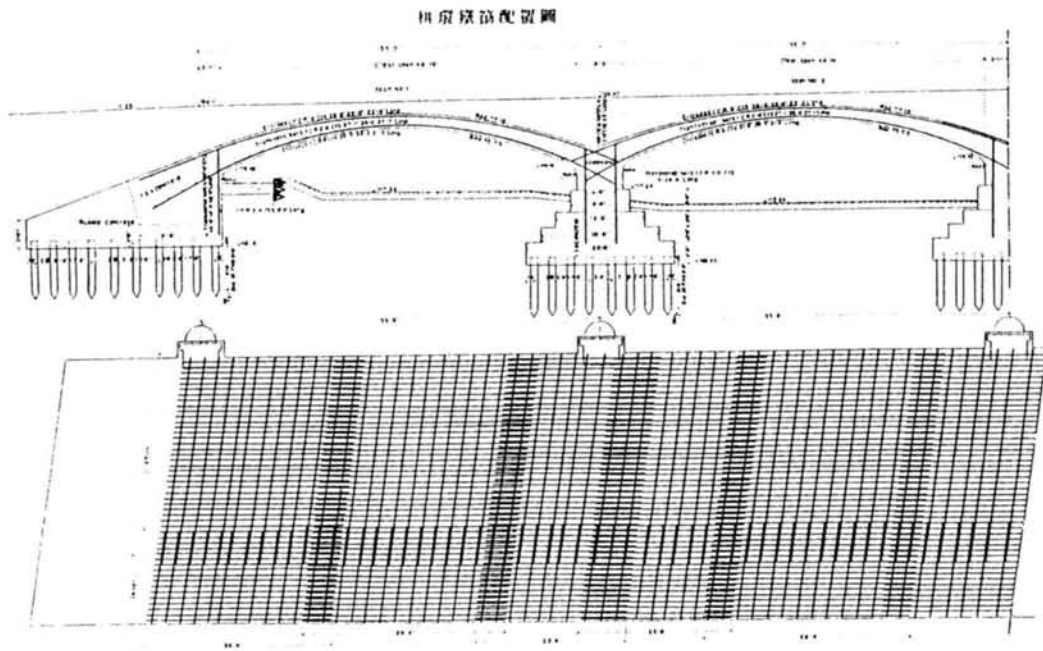


図6-7-2 四條大橋、拱環配筋図¹²⁾

四條大橋 橋梁圖

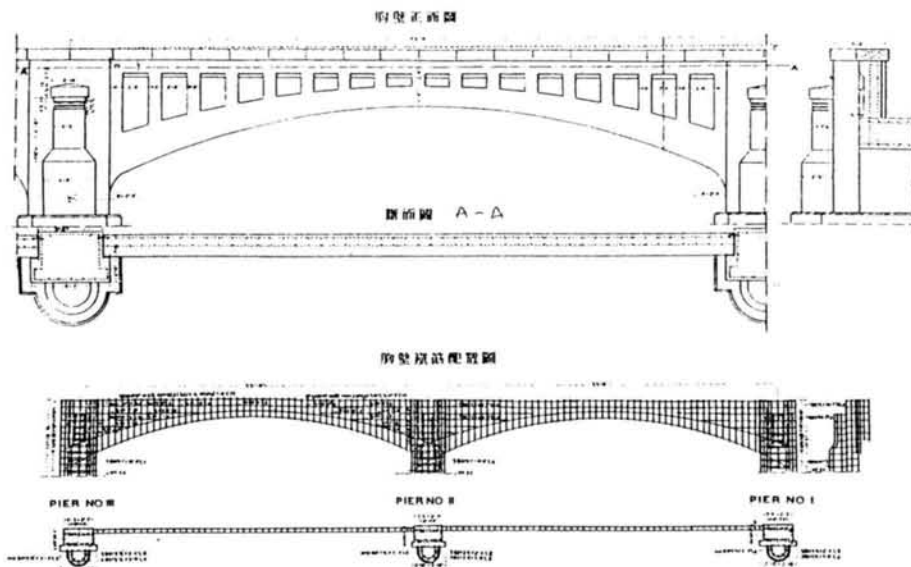


図6-7-3 四條大橋、正面図及び胸壁配筋図¹²⁾

らず、モニエ式のアーチ橋と言える。側壁（胸壁）には枝光製鉄所（八幡製鉄所）製造の丸鋼が使用された。¹³⁾

柴田畦作のこの橋の設計計算は、平山復二郎の回想によれば、¹⁵⁾ アーチの応力計算では積分式が11含まれる水平力を求める式が講義の中で示されたと言う。最小仕事の原理により解析されていたと見られ、設計計算法でも当時の一般的なアーチ解析の図解法から脱していたと考えられる。

表6-3の比較表によれば、これ等3橋は設計条件の違いで異なっているが、アーチの

表 6-3 明治末期頃の鉄筋コンクリートアーチ橋比較表²⁾

橋 名	西 条 大 橋	七 条 大 橋	吉 田 橋
工 期	自明治44年11月 至大正 2年 3月	自明治44年11月 至大正 2年 4月	自明治43年12月25日 至明治44年10月29日
橋 長	93.02m	112.17m	36.6m
幅 員	21.95m車道14.88m 歩道3.66×2m	18.3m 歩車別なし	21.6m車道12.7m 自転車道1.8×2m 歩道3.6×2m
径間・通数	14.88m×5通	14.88m×6通	7.6+18.3+7.6
上部工形式	R. C. 閉鎖アーチ橋	R. C. 閉鎖アーチ橋	R. C. 閉鎖アーチ橋
拱 矢 (拱矢比)	1.5m (1/10)	1.5m (1/10)	1.98m (1/9.2) 1.53m (1/5)
拱 脚 間	円弧 (R=15.24m)	円弧 (R=15.24m)	円弧
活 荷 重	載車荷重 20t×2台	載車荷重 20t×2台	電車軌道、環機
橋面構造	下敷コンクリート(1:3:6) 上敷アスファルト	下敷コンクリート(1:3:6) 上敷 アスファルト	中詰砂利上に石材敷 目地モルタル
使用鉄筋	本体 コルゲートッド・バー 側壁 国産丸棒	本体 コルゲートッド・バー 側壁 国産丸棒	カーン・バー リップ・バー
アーチ・コ ンクリート	セメント 洗野セメント 取幅1.8~3mに分割し打設。 起拱点に施工目地。	セメント 洗野セメント コンクリート 1:2:4 同左	セメント 洗野セメント 取幅0.9~1.8mに分割し 起拱点より拱頂に向かい
橋台・橋脚	鉄筋コンクリート造 (1:3:6)	鉄筋コンクリート造(1:3:6)	鉄筋コンクリート造り
基 礎 工	松杭 0.2×2.1m	松杭 0.2×2.1m	松杭 0.15×5.5m
特記事項	中詰土砂の水式盛土工法 側壁両端に鉛板製のエキスパ ンション・ジョイント使用	同左 拱脚コンクリートの1日打設 能力に応じて分割打設	床版載荷試験を実施 モルタル強度とコンクリー ト試験に及

支保工やコンクリートの施工法にも慎重な考慮を払っている点は共通している。京都の橋梁の規模が大きいため、鉛板製のエキスパンション・ジョイントを側壁の起拱点上に設けている。施工では1日のコンクリート打設量に応じた分割施工や、支保工等の変形を考慮した起拱点での施工目地の設置等施工上でも新しい配慮がされている。中詰め土砂の水式盛土工法が、当時としては目新しい。¹³⁾ (写真6-10参照)

また、橋梁の意匠では、東京帝大造家学科卒の森山松之助と山口孝吉に依頼している。

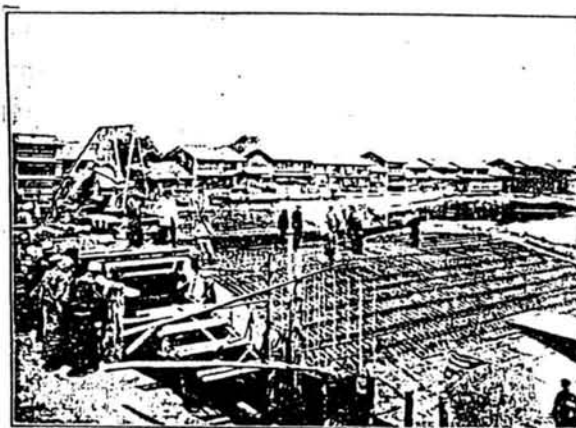


写真6-10-2 京浜四條大橋、施工状況
(拱環鉄筋組立中)⁸⁾

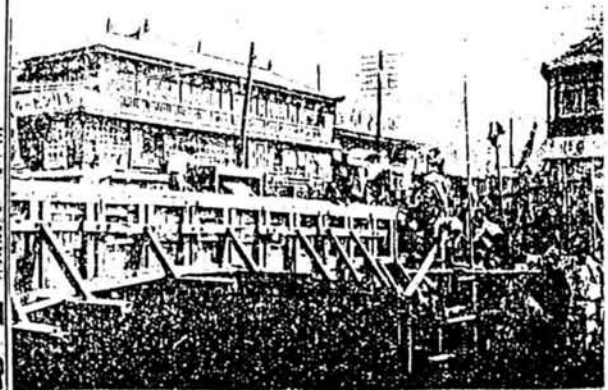


写真6-10-3 京都四條大橋、施工状況
(胸壁コンクリート作業中)¹³⁾

近代都市の景観を考慮した当時の欧米風のデザインを採用している。両橋とも拱環を縁取り、側壁に支柱状の模様を浮上らせて特徴を表現しているが、高欄は架設環境に合わせて別々にデザインしている。¹³⁾

京都における鉄筋コンクリートアーチ橋は、この2橋により大規模化と多様化して、その後の日本での鉄筋コンクリートアーチ橋の設計施工に大きな影響を与えた。

(2) 東京の鉄筋コンクリート橋 — 堀の内橋 — 都橋 — 宮下橋 — 鍛冶橋

東京の橋については伊東孝の著書があり、¹⁶⁾ 明治時代に架設された橋についても記録されているが、関東大震災以後の橋が中心である。鉄筋コンクリート橋では明治36(1903)年に豊島区上池袋二丁目の国鉄山手線に架設された「堀の内橋」が、写真6-12と共に示されている。橋長22.5m幅員22.4m、2径間のT桁橋である。現況の都道は2径間の鋼箱桁橋となっている。また、明治37(1904)年に東久留米市下里一丁目の目黒川に架設された「都橋」は、橋長7.9m幅員8.9mであり、写真6-13に示されているが、これも昭和31(1956)年に拡築されている。

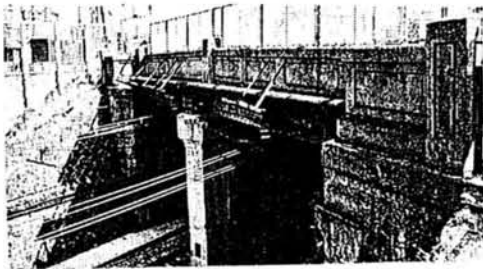


写真6-12 東京市堀の内橋

(JR山手線、池袋二丁目、明治36年)¹⁶⁾

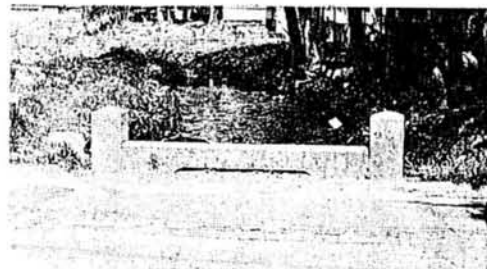


写真6-13 東京府都橋

(黒目川、東久留米市下里、明治37年)¹⁶⁾

資料によれば、¹⁷⁾ 「宮下橋」が明治41(1908)年径間5.46m、幅3.64mの鉄筋コンクリート・アーチ橋として架設されているが、位置は確認されていない。

大正4年の東京市統計年表によれば、大下水に1橋、南割下水に4橋の鉄筋混凝土橋の記録が見られる。これ等は樺島正義が報告論文で述べている下水路に架設していた鉄筋コンクリート橋梁と見られる。¹⁸⁾

3) 大正3年10月に東京で初めての本格的な鉄筋コンクリートアーチ橋として「鍛冶橋」が建設された。径間31.11m、拱矢3.41m、拱矢比1/9.1、幅員22.27m、斜角77度のアーチ橋で、東京市橋梁課長の樺島正義の設計である。東京駅に近い中心部の外濠(現在は無い)に架かり、東京を代表する橋の一つとして外表面を花崗石で表装した鉄筋コンクリートアーチ橋が選定された。^{18) 19)} (写真6-14-1、図6-8参照)



写真6-14-1 東京市鍛冶橋、側面及び橋面全景、¹⁸⁾

1) 設計計算はターナー (Turneure & Maurer) の著書「鉄筋混凝土構造の原理」による解析で、アーチの変形を考慮しない図式解法によっているが、図解法により断面力の影響線を求めて以後数値計算によっている。¹⁹⁾

コンクリートは構造部分は1:2:3の配合で、許容応圧力 49.2kg/cm^2 、許容応せん力 4.2kg/cm^2 、許容応着力 5.6kg/cm^2 を採用し、非構造部や下部工では1:2:4を使用している。¹⁹⁾ 鉄筋としては日本製鉄所製の半硬鋼を使用し、許容値は 1125kg/cm^2 を採用している。

応力計算ではコンクリート中の鉄筋断面積を控除して、弾性係数比 n を15のかわりに、 $n-1$ としているが、図式解法による大まかな計算で n だけを厳密にする理由が弱い。

活荷重はWaddleの示方書によっており、電車荷重を等価の等分布荷重に換算してをり、車道も同じ 790kg/m^2 を採用している。これは死荷重が圧倒的であり、細かく分けて計算する必要がないためとしているが、 n の考え方と矛盾している。

2) 配筋の工法はモニエ式でアーチ環の縦鉄筋は上下縁にかぶり6cmで最大3段に25mmの丸棒棒を使用している。縦鉄筋の両端はY字型に切り開いて定着し、継ぎ手は極力少なくして分散配置している。(図6-8参照) 継ぎ手構造は両端部を $10 \times 3\text{cm}$ の長方形に加工し、図6-9に示す様に衝接継手として2本ずつの縦鉄筋により接合している。

¹⁹⁾ (図6-9-1参照)

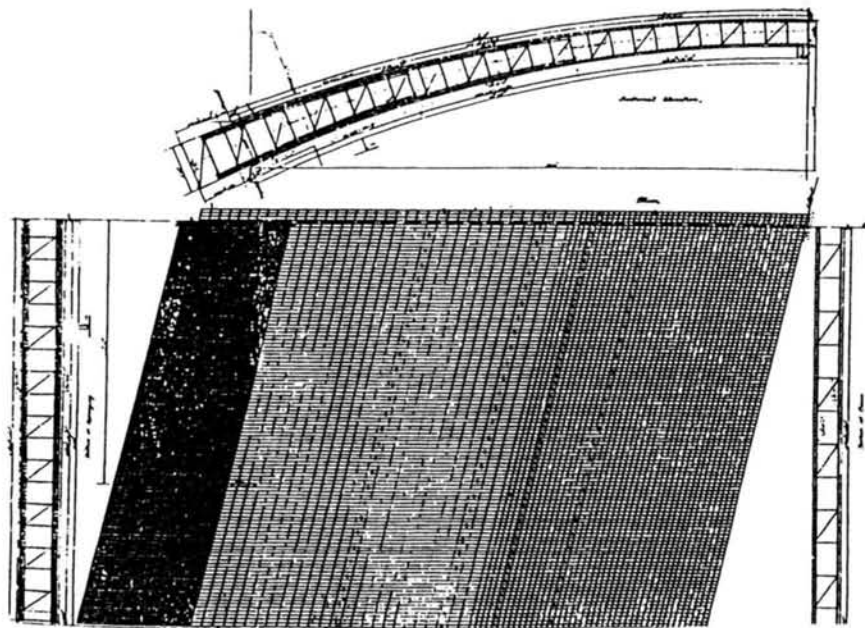


図6-8 鍛冶橋構造図、(アーチ環配筋図)¹⁹⁾

横鉄筋は一本物を使用し、両端は半円形に曲げて定着している。縦鉄筋(円弧の法線方向)は組み立て筋としてその両端はY字型に切り開いて定着しており、縦横の鉄筋との交点では垂鉛引き鉄線で固定している。(図6-9参照)

3) 拱架は堅固な砂質地盤まで根入れした基礎上に設けられているが、斜拱橋であり各セントル構造に対し型枠底板は河川方向に平行に敷き並べられていた。支柱には樫堅木の楔材とジャッキ(扛重力13屯)が併用されており、高さ微調整と拱架の撤去に利用された。

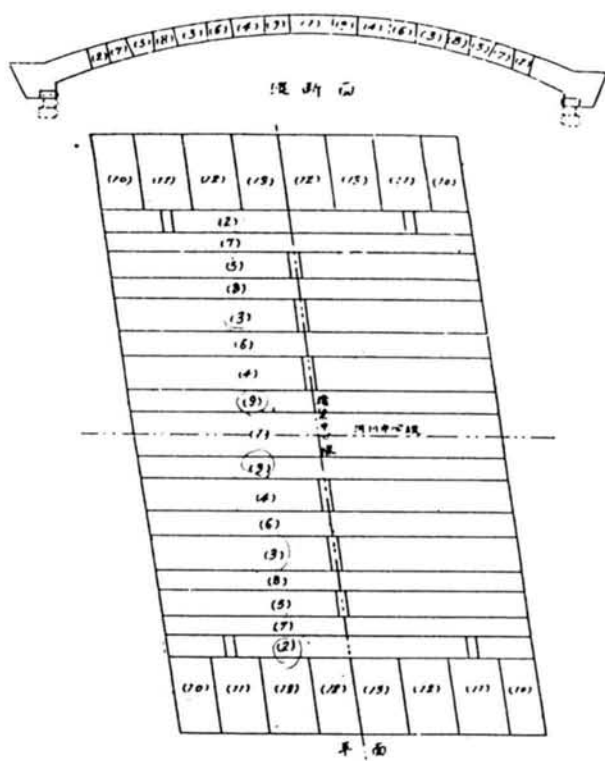


図6-9-1 鍛冶橋、鉄筋継手図
(鉚による衝合接合)¹⁸⁾

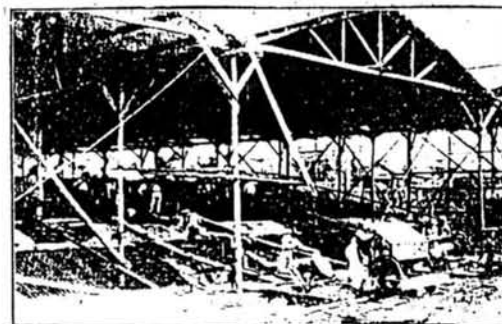


写真6-14-2 鍛冶橋、
コンクリート工事状況¹⁸⁾

図6-9-2 鍛冶橋、アーチ環のコンクリート分割施工順序¹⁹⁾

コンクリートはキューブ式混合機を米国から輸入して使用しており、アーチ環を図6-9-2の様に分割して、変形が少ない様に対称に分割して打設している。¹⁹⁾ (写真6-14-2 参照)

恩師米人Waddleの下で橋梁技術を研鑽した樺島正義の設計であるが、米国流の実用的な方法で設計されている。橋梁修景は日本を代表する欧米系の意匠を採用している。

(3) 長崎の鉄筋コンクリート橋 — 新地橋 — 佐世保橋 — 岳下橋 — 梅香崎橋

長崎市の鉄筋コンクリート橋は、明治30(1897)年から始まる第二期長崎港湾改良工事の中で、埋立地の都市形成から始まった。当時の長崎港は西日本の玄関としてのアジア及び欧州航路が開かれており、九ヶ国の領事館が設けられた国際都市であつた。

長崎港湾改良工事でフランスのコンクリート技術を導入して学んだ星野一太郎や原田碧等の若い技術者は、明治38(1905)年銅座川の河口に鉄筋コンクリート橋の「新地橋」を架設した。¹⁹⁾ 橋長19.5m、幅員5.0m 2径間のT桁橋であつた。(図6-10 参照) 前述の通り当時の佐世保鎮守府には、建築科長の吉村長策や主任技師の真島健三郎が在勤しており、明治37(1904)年には鉄筋コンクリートT桁の荷重試験を実施し、次いで海軍工廠の鉄筋コンクリート建築物を建設していた。²⁰⁾ こうした事は長崎の先進的な土木技術者に大きな影響を与えていたと考えられる。

1) 明治39(1906)年には佐世保鎮守府正門前の佐世保橋(通称海軍橋)が水害のため二度にわたり流失して、県が乗り出して鉄筋コンクリートの堅固な橋梁に架換える事になり、経験と実績のある原田碧が担当者に選ばれて、直営で施工された。¹⁹⁾ (写真6-16 及び図-10 参照)

資料によると、日露戦争の戦利品の鉄材を鎮守府から支給されて施工したが、²⁰⁾ 橋長



図6-10 長崎港湾地図（長崎港中心部、橋名は筆者記入）

「長崎県郷土誌」（長崎市小学校職員会、大正七年）²⁰⁾



写真6-15 旧新地橋（石橋）元川口橋（旧中島川）、出島方面を望む。

（明治18年頃、中島川変流以前、長崎市制五十年史）²⁰⁾

49.4m幅員7.3m(車道4.6m、歩道1.1m×2、支間4×13.4m)の単純T桁である。（写真6-16-1参照）この橋の施工中の写真を写真6-16-2に示すが、桁端の曲げ上げ主鉄筋の状況や、床版の折曲げ鉄筋の形状はアンネビツク工法によるものと見られる。明治期の鉄筋コンクリート橋の施工時には、降雨による鉄筋の腐食を避けるため、写真6-16-2)の様に仮設の屋根を設けていた。（写真6-16-1及び-2参照）

写真6-16-1で見る通り外観は欧米の近代的なデザインを取り入れ意匠を施されており、華麗な親柱や高欄が採用されているが、欧米海軍との交際の多い鎮守府の顔としての役割を持っていたと見られる。外桁を見ると連続桁の様に桁下端はゆるやかな曲線で連続しているが、内桁は写真6-17-3の様に等桁高であり、支点近くだけに大きなハウソチが設けられており、単純桁であつたと見られる。²⁰⁾（写真6-17参照）

なお、この橋では支点上及び中間には全く横桁が設けられておらず、床版厚さが30.5cmと主桁間隔に比べて大きいのが特徴である。²⁰⁾（写真6-17-2参照）

2)長崎県においても明治39(1906)年鉄筋コンクリート橋の岳下橋（橋長8m）を架設している。この橋は長崎工師東島権次郎(京都帝大土木科、明治33年卒)の担当によるものと考えられる。東島は長崎市の長崎港湾改良工事を監督する県を代表する五人の取締役委員の一人であり、この工事の状況を検査して復命した文書が残っている。²²⁾



図6-11 佐世保橋位置図（長崎大百科辞典、長崎新聞社）²⁰⁾

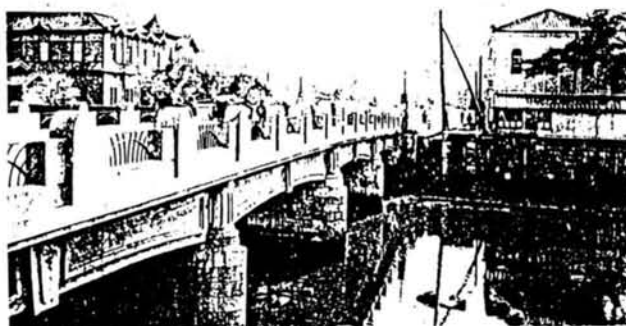


写真6-16-1 長崎県佐世保橋、完成当時
（通称海軍橋、明治39年6月）²⁰⁾
（長崎大学岡林隆敏教授提供）

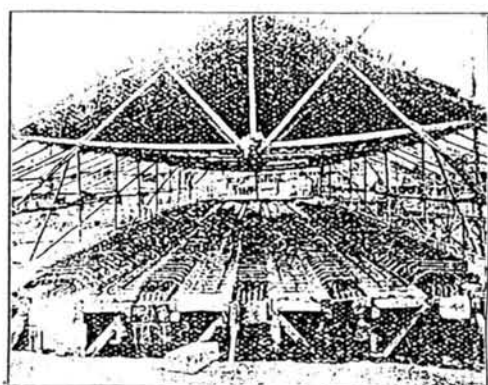


写真6-16-2 佐世保橋、
施工状況（アンネビツク工法）²³⁾



写真6-17-1 佐世保橋（昭和13年両側拡幅
昭和60年架替直前の状況）²⁰⁾



写真6-17-2 佐世保橋、橋脚及び主桁
（左側明治39年石造、右側昭和13年
RC拡幅）（長崎県提供）²⁰⁾



写真6-17-3 佐世保橋、橋台及び主桁
（右側明治39年煉瓦造、左側昭和13年
RC拡幅）（長崎県提供）²⁰⁾

原田碧等の担当した新地橋の監督をして、鉄筋コンクリート橋の技術の詳細を知る立場にあつた。佐世保橋は県の工事であり、海軍との交渉も東野が担当しており、²¹⁾ 別の資

料に見られる長崎県の「手島技師」⁴⁾は、東島技師の間違いと考えられる。県としては原田碧は設計及び監督を委嘱した者と考えていたと見られる。

3) 明治40(1907)年には長崎市は港の中心部に当たる梅香崎町の新地川に「梅香崎橋」をメラン式鉄筋コンクリート閉側固定アーチ橋で架設している。この橋も実績を積んだ原田碧の担当であつたと考えられる。²³⁾ 径間12.2m幅員6.4m、拱矢3.05m拱矢比1/4であるが、写真6-18は明治40(1907)年6月の完成時であり、写真6-19は施工中のものである。アーチ環にはメラン式の特徴である鉄骨構造が並列して使用されており、佐世保橋と同一の仮設屋根が転用されていて、直営施工であつた事を示している。橋梁意匠も国際都市の港に相応しい欧米風のデザインであり、建築家に意匠を依頼したものと見られるが、原田碧は橋梁景観にも充分意を用いる土木技術者であつた事が分かる。(写真6-18及び-19参照)

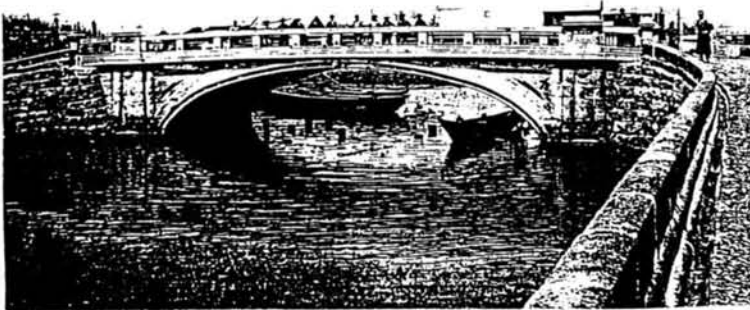


写真6-18 長崎市梅香崎橋、完成時全景(明治40年)
(長崎大学岡林隆敏教授提供)

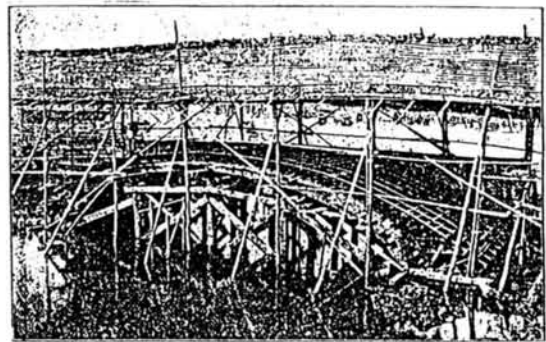


写真6-19 長崎市梅香崎橋、施工時状況
(メラン式鉄骨コンクリート・アーチ橋)²³⁾

長崎市では「くろがね橋」を始めとした鉄橋が明治初期に導入されたが、前述の通り港湾改良工事でフランスのコンクリート技術を学び、佐世保鎮守府の真島健三郎の鉄筋コンクリートT桁の荷重試験や鉄筋コンクリート建築の影響を受けて、積極的に鉄筋コンクリート構造を橋梁に採用した。海に近くて鉄橋では腐食が激しく、急流河川で木橋では流失し易く、鉄筋コンクリート橋が現地条件に適合していた。長崎市では議会が鉄筋コンクリート橋への架替に熱心であり、大正初期には早くも鉄筋コンクリート橋の最盛期を迎えおり、大正期に記録に残るだけでも24橋もの鉄筋コンクリート橋を架設していた。²⁴⁾ 佐世保市でも佐世保橋の技術を学んで、大正初期に高砂橋や相生橋等7橋もの鉄筋コンクリート橋を架設しており、この技術が県内に急速に普及した事を示している。²⁵⁾

(4) 神戸市の鉄筋コンクリート橋 — 長狭橋 — 布引水源分水堰堤付属橋。

神戸での最初の鉄筋コンクリートスラブ橋の架設は、「明治工業史」によれば明治39(1906)年3月「若狭橋」と書かれている。¹⁾ 平成12(2000)年2月に神戸市建設局担当者により発見された明治39年12月の「第二回神戸市統計書」を表6-4に示す。²⁶⁾ これによれば、明治39(1906)年5月コンクリート橋の「長狭橋」が宇治川に架設されている。橋長4.55m幅員18.2mであり、図6-12に示す東海道線に沿う北長狭通りの宇治川を渡る地点である。神戸市の中心部にあり、神戸駅に通ずる東西方向の幹線道路に架かり、明治末期の都市内道路としては橋梁幅員は可成広い。(図6-12参照) 同橋の構造は資料がなく不明であるが、写真6-20に示す河川幅約2mであった。²⁷⁾



図6-12 神戸市長狭橋及び宇治川位置図

(大正12年測量、陸地測量部大正15年發行)

また、同書には明治32(1899)年に宇治川の「山ノ後土橋」(橋長9.8m、幅員6m)がコンクリートアーチ(暗渠)として建設されている。明治44(1911)年の神戸市統計書には「長狭橋」は鉄筋コンクリートと明記されており、山ノ後橋は「平野橋」と改名されている。²⁷⁾ (表6-4-2参照)

山ノ後土橋は奥平野浄水場からの出口に当たり、浄水場から市内への幹線送水管が橋の上に埋設されていた。昭和13(1938)年7月の「神戸大災害」²⁸⁾に当たり、土砂や



写真6-20 神戸市旧宇治川暗渠
工事土留鋼杭打²⁹⁾
(側壁石積・河川幅約2m)

第2回神戸市統計書

[illegible]

二 主要橋梁細別

明治四十四年
十二月三十一日

區名及川名	橋名	橋質	長	幅	架設或架換	
					年 月 日	費 額
神戶區						
字 治 川	鯉川橋	石	1.2	6.3	22. 5	80
	宇治川橋	"	2.7	4.8	23. 1	848
	楠橋	木	10.5	4.0	48. 6	2,100
	平野橋	コンクリートアーチ	2.1	3.5	50. 4	3,144
	宇治川橋	木	1.8	8.2	43. 10	260
	長狭橋	鐵 筋 コンクリート	3.2	10.0	39. 5	9,000
區 水 路	牌天橋	石	2.1	5.5	43. 7	?
	三納橋	板	16.5	2.5	24. 9	680

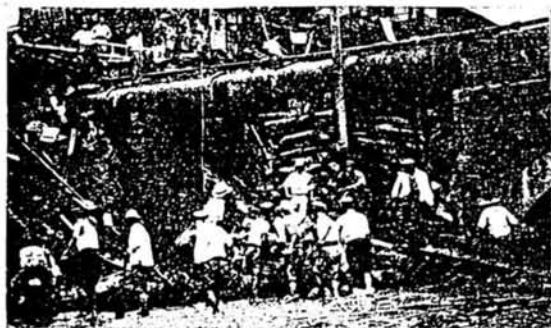


写真6-21-2 長狭橋、橋面災害状況

流木の流出で暗渠は閉塞され、流水は上部の土砂を流失させて写真6-21-1の様に送水管を露出させた。写真6-21-2は同じ大災害での「長狭橋」の状況であり、上流の橋橋が土砂で閉塞し、その下流は流木で埋まったと言われている。災害復旧では宇治川は河川断面の不足が問題となり、河川幅は下流部では8mに拡幅され、長狭橋は暗渠となり、橋橋の上流側には災害調整施設が設けられている。²⁹⁾(図6-13参照)

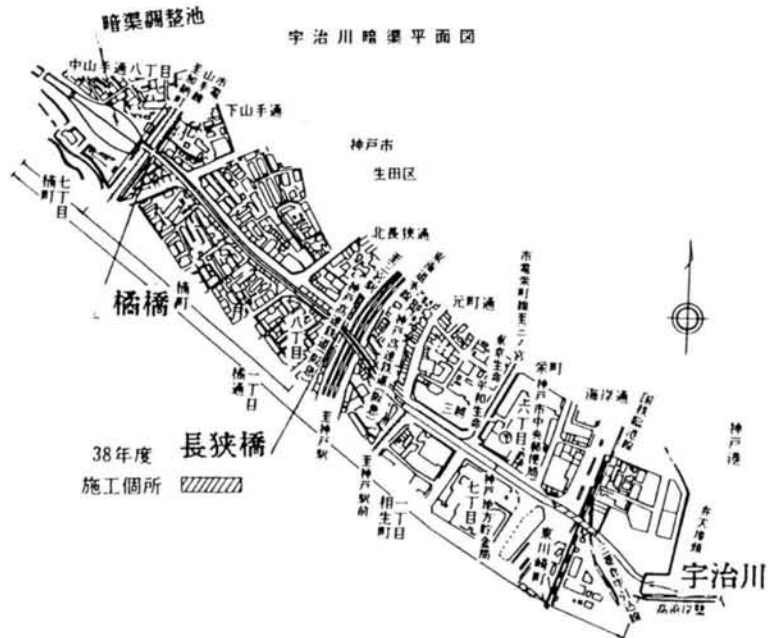


図6-13 神戸市宇治川暗渠平面図(昭和40年現在)²⁹⁾

2) 3. 2. で述べた通り神戸市上水道は市域拡張と人口急増のため、明治33(1900)年の布引貯水池に引続いて烏原貯水池が建設された。布引貯水池は上流の水源が荒廃していて洪水時の流出土砂が多く、貯水池の埋没の恐れがあり、分水路を設けて洪水時の水を貯水池外に分水する計画が立てられた。図6-14に示す様に貯水池水源に分水堰堤を設け、常時は制水門より清水を流入させ、洪水時には制水門を閉じて洪水をトンネルを通して直接布引川に流出させている。(図6-14参照)



図6-14 神戸市水道局布引水源分水堰堤及び付属橋位置図(明治43年)³⁰⁾

この布引水源分水堰堤の分水路を越える管理用の付属橋が、明治39（1906）年3月鉄筋コンクリートアーチ橋として架設されている。³⁰⁾（写真6-22-1）上記によれば明治39年2月着工で1ヶ月で完成した事になっているが、水道局の内部資料によれば、実際の竣工は翌年3月であつたようで、分水制水門の先行施工後にアーチ橋が施工されたと見られ、会計上の都合での記述と見られる。

橋長11.51m幅員0.9m径間10.95m供矢8m供矢比1/4.6の開側固定アーチ橋である。アーチ橋全体として安定感があり、山の中の橋梁でありながら部材結合部に丸みを付け、橋台石積も丁寧に美しく仕上げられている。（写真6-22-2参照）

この橋の構造図を図6-15に示すが、アーチリブでは鉄筋径 $\phi 16\text{mm}$ が、上スラブでは $\phi 9\text{mm}$ が上下面に格子状に配置され、スターラップ筋等は使用していない。モニエ方式で設計されていると見られる。（図6-15参照）

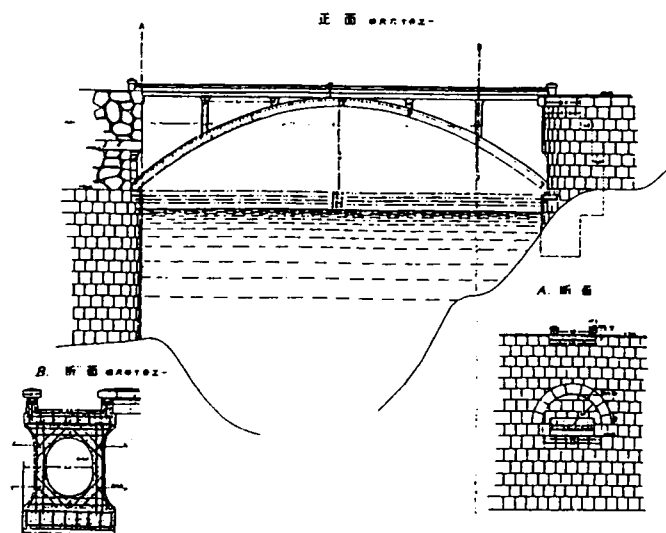


図6-15-1 布引水源分水堰堤付属橋、正面図及び配筋図³⁰⁾

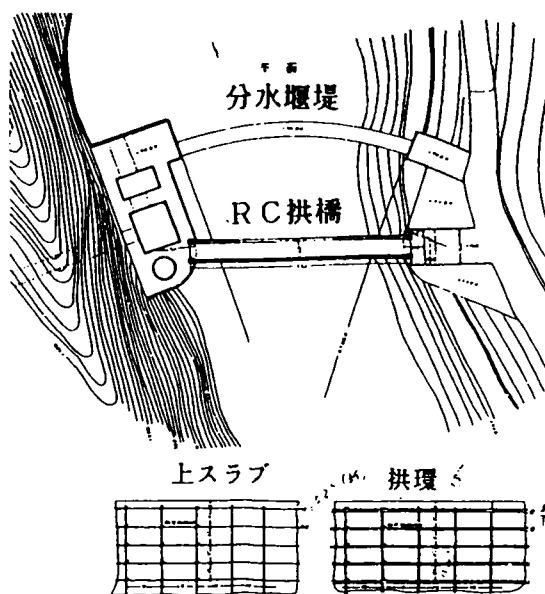


図6-15-2 布引水源分水堰堤付属橋、平面図及び配筋図³⁰⁾

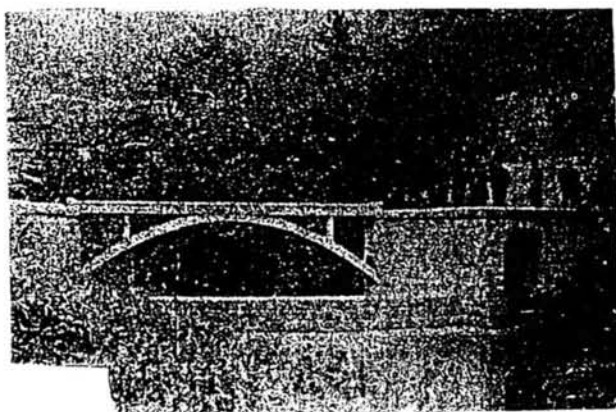


写真6-22-1 神戸市布引水源分水堰堤及び付属橋全景
(開側鉄筋コンクリートアーチ橋、明治39年3月完成)³⁰⁾



写真6-22-2 神戸市布引水源分水堰堤付属橋
(平成11年8月筆者撮影)

なお、神戸市土木課では道路、河川、水道等の建設を担当しており、佐野藤次郎（東京帝大土木科、明治24年卒）が指導していたが、明治38（1905）年7月に非常勤嘱託となり韓国総統府水道部長に転出している。³¹⁾

その後任には明治32（1899）年に佐野藤次郎の代理として、工学会誌に布引貯水堰堤の構造計算³¹⁾について報告した水野廣之進（攻玉社土木科明治23年卒、東京物理学校卒）が就任したものと見られる。³³⁾ これによれば長狭橋と付属橋の両橋には、水野廣之進が関与していたと見られる。

神戸市水道はその後人口急増に迫られ、明治44（1911）年より再び佐野藤次郎を技師長に迎えて、武庫川上流に千刈貯水池を設けて大規模な導水工事を開始している。

この工事には鉄筋コンクリートアーチ橋を含む水管橋等が架設され、神戸市の鉄筋コンクリート構造に対する技術力を示している。³¹⁾

(4) 香川県 — 高橋

「明治工業史、土木編」³⁴⁾によれば、明治39（1906）年8月高松の国道に鉄筋コンクリート橋の「高橋」が、橋長4.37mで架設されている。この橋は資料によれば、高松藩政期の讃岐五街道の一つの丸亀街道の高松城下の西大手口に当たる西浜の摺鉢谷川（砂魚川とも呼ぶ）に架設されていた、高く反った太鼓橋であった。明治4（1871）年に荷車の通行に不便なため、普通の平らな木橋に架替えられた。³⁵⁾（図6-16参照）明治22（1889）年に定められた国道50号線（丸亀から高松まで）の高橋は、

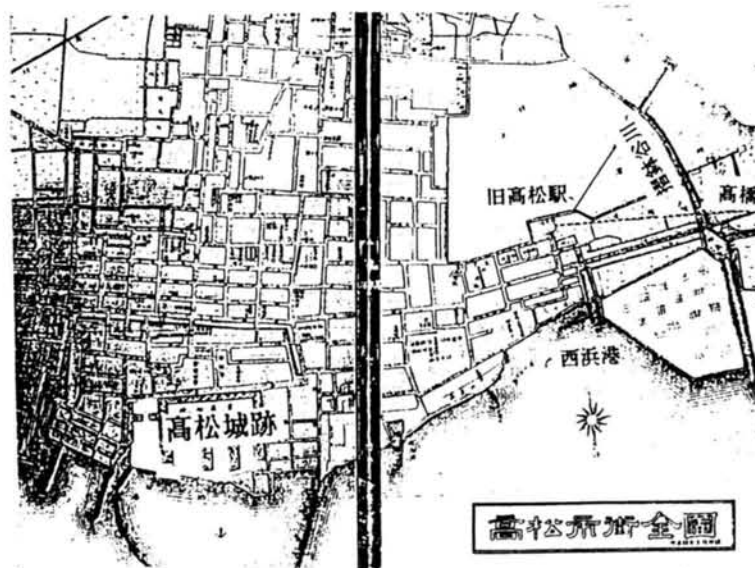


図6-16 高松市市街図（部分図、明治33年3月作成）³⁶⁾

明治39（1906）年に鉄筋コンクリート橋に架替えられた。³⁵⁾ 大正12（1923）年の地図によれば摺鉢谷川も拡幅されており、現在は鉄道予讃線の南側の西町でPC橋に改築されているが、高橋の橋名は残っている。（写真6-23-1及び-2参照）

高橋は試験的な小橋であったためか記録には残っていない。「高松市年表」によれば、明治39年7月23日に西浜港工事に對し県の認可があり、市は昼夜工事を急ぎ年度内に完成したとされており、これと同時期に西浜町の高橋も架替えたと見られる。³⁶⁾

なお「高松市史」によれば、比較的大きな鉄筋コンクリート橋として大正2（1913）年11月に、福岡埋立地に設けられた橋長26m幅員9mの「玉藻橋」が架設された。³⁶⁾

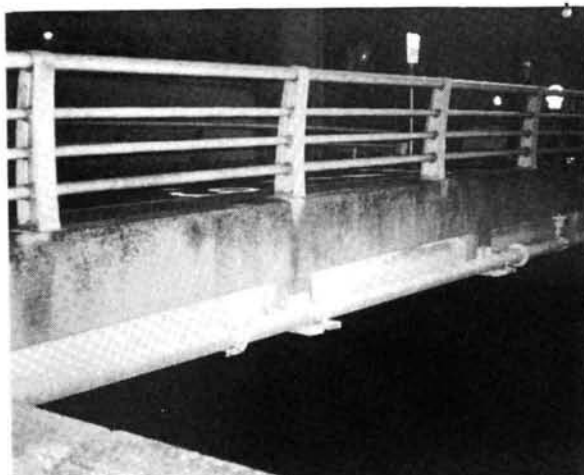


写真6-22-1 香川県高松市、高橋現況
（平成12年11月筆者撮影）



写真6-22-2 高橋、橋名板
（平成12年筆者撮影）

（6）宮城県 —— 広瀬橋

仙台市では市の中心を流れる広瀬川を旧国道（陸羽街道）が渡る地点に、明治42（1909）年11月「広瀬橋」が竣工した。橋長129.7m幅員10.3m（車道5.46m歩道2×1.82m）径間8×14.5mのアンネビツク工法をを採用した単純T桁であり、

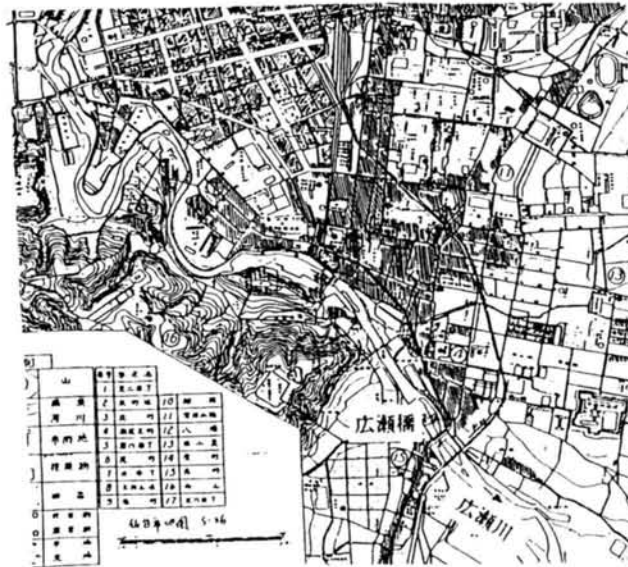


図6-17-1 仙台市広瀬橋位置図
(陸羽街道、広瀬川、昭和26年作成部分図)

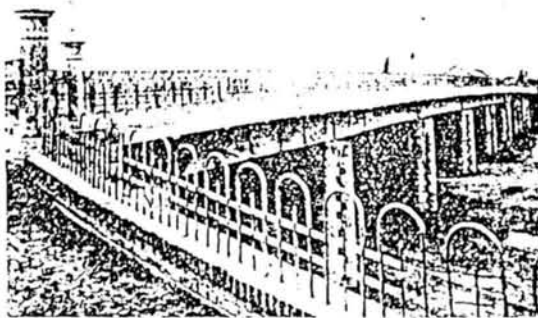


写真6-24-1 仙台市広瀬橋
(明治42年、日本道路史)

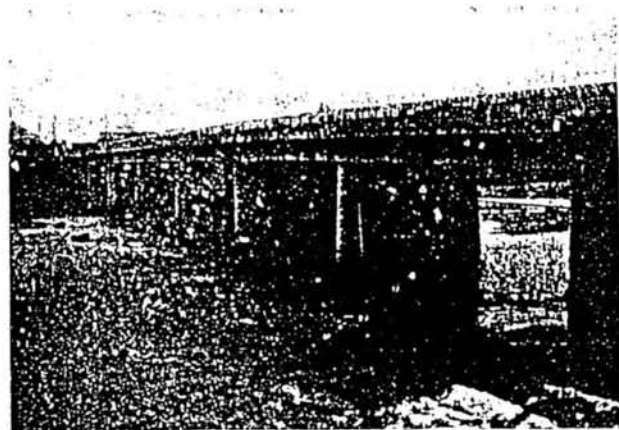


写真6-24-2 仙台市広瀬橋⁴⁰⁾

明治時代での我が国最大の鉄筋コンクリート橋である。(写真6-24-1及び2参照)

この橋の施工については、担当者の杉野茂吉が工学会誌上で詳細な工事報告をしており有名である。³⁷⁾ 架設位置を図6-17-1に示す。

広瀬橋の橋梁一般図及び横断面図を図6-17-2及び3に示すが、この橋の特徴を挙げれば次の通りである。³⁷⁾

- 1) 鉄筋コンクリート構造の計算は、マーシュ (D. F. Marsh) の方法による。
- 2) 材料の鉄筋は枝光製作所製品、セメントは北海道セメント製品を使用した。応力計算に用いた材料の重量、荷重及び応力度は次の通り。

コンクリートの単位重量、	1 4 0 lb/in ³ (2.24t/m ³)
鉄筋コンクリートの単位重量、	1 5 5 lb/in ³ (2.48t/m ³)
アスファルトの単位重量、	1 1 0 lb/in ³ (1.76t/m ³)
コンクリートの応圧力最大限 (曲げに対し)	4 0 0 lb/in ² (28.1kg/cm ²)
鉄鋼の応張力最大限、	1 4 0 0 0 lb/in ² (984.2kg/cm ²)
鉄鋼の応せん力最大限、	1 2 0 0 0 lb/in ² (843.6kg/cm ²)

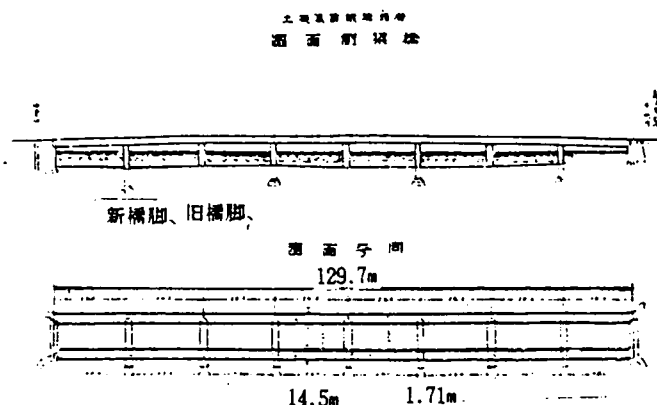


図6-17-2 仙台市広瀬橋、一般図³⁷⁾

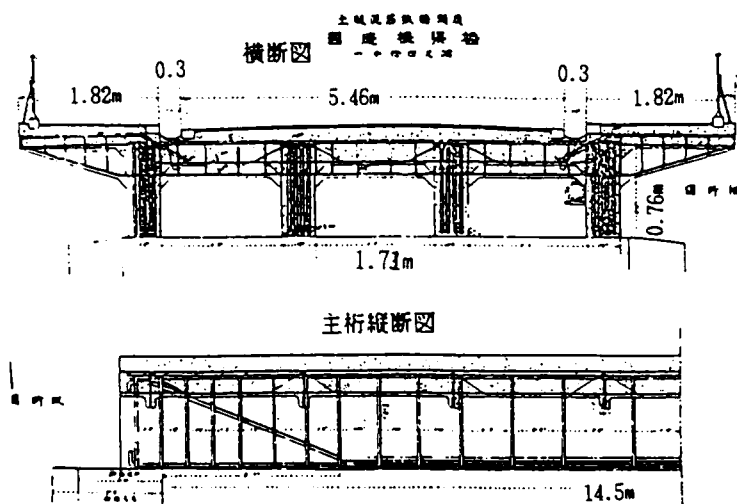


図6-17-3 仙台市広瀬橋、構造図³⁷⁾

鉄筋トコンクリートの弾性率の比、

1 3

動荷重、車道、

1 2 0 lb/ft² (585.9kg/m²)

動荷重、歩道、

8 0 lb/ft² (390.6kg/m²)

- 3) 橋脚の半分は旧橋脚を再利用して橋の幅員を拡大しているため、片持張出部にブラケットを設け、同断面の主桁間にも小横桁を設けている。ただし後述する英国のHull橋と同様に小中間横桁はあるが、支点上には大きな横桁は設けていない。(図6-17参照)
- 4) 床版厚さは14吋(35.6cm)として、径間1.73mの1/4.8であり、小横桁も配置されているので、通常の厚さに比べて非常に大きい。
- 5) 床版は2方向版であり、短径間方向を主鉄筋としている。
- 6) 主桁、横桁の格点では、床版の鉄筋は連続版として折り曲げられている。
- 7) 主桁のせん断力の計算を行っているが、鉄筋の曲げ上げは1ヶ所に集中している。

折り曲げの角度は30度であり、アンネビック工法の初期の古い工法を採用している。広井勇の指導により旧橋の橋脚を利用して架設されたが、このため張出部に大きなブラケットを設け、それに合わせて主桁間に横桁を設けているのは正しい。しかし床版厚さが過大であり、鉄筋応力が過少になっている。片持張出部の床版鉄筋は、橋軸方向を主鉄筋としているのは正しくない。

この設計は広井勇の校閲で明治40(1907)年に後藤佐彦が著した「鉄筋コンクリ

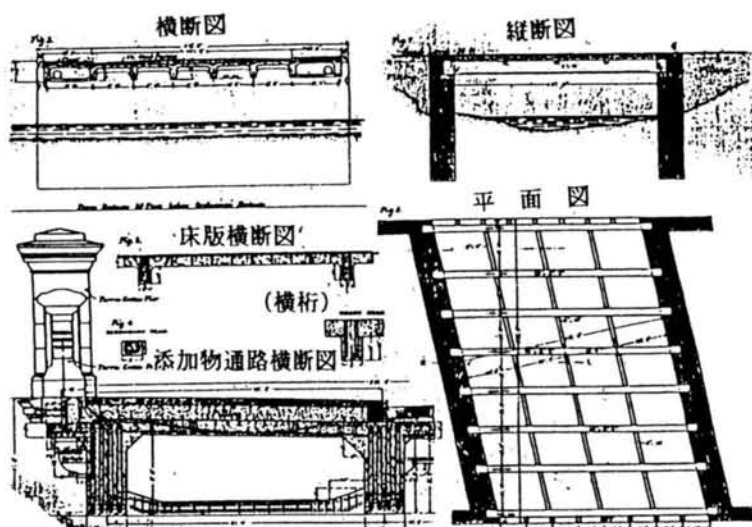


図6-17-4 英国SUTTON排水路に架かるHULL橋³⁸⁾

ート工法」の中で、鉄筋コンクリートT桁の例として示した英国のSUTTON DRAINに1903年に架設されたHULL橋を参考にして設計されたと推定される。³⁸⁾ (図6-17-4)

なお、井上福一郎は大正元(1912)年9月発行の「鉄筋コンクリート設計實例」の著書の中で、「広瀬橋」を設計実例として掲載している。³⁹⁾ この事からして、広瀬橋が鉄筋コンクリートT桁橋の代表例として我が国でも参考にされたと見られる。

(7) 熊本県 — 天神(天満)橋、春日橋、川尻橋、日和瀬橋

「明治工業史、土木編」⁴¹⁾によれば、熊本県国道に明治42(1909)年に天神橋が橋長3.7mで架設されている。また別の資料では同年天満橋が架設されている。⁴⁰⁾ 角川日本地名辞典によれば、⁴¹⁾熊本城近くの山崎町に古くから山崎天神又は天満宮とよばれる菅原神社があり、現在も市民会館の西隣の桜町に山崎天神菅原神社が存在している。



図6-18 熊本市、市街図(明治44年作成部分図)⁴²⁾

明治44年の熊本市街地図⁴²⁾ (図6-18)によれば、当時の国道は旧県庁前から折れ曲がって現在の花畑町を通っており、この付近の小水路に架設されていたと見られるが、確定されない。明治45年の熊本県統計書を見ると、二十間以下の小橋梁は記録されていない。⁴³⁾ (表6-5参照)

更に大正3(1914)年の熊本県統計書⁴⁴⁾を見ると、熊本駅前近くに加藤清正が築造したと言う坪井川の石塘にある春日橋の一部が、鉄筋コンクリート橋で架設されているのが見られる。春日橋は大正2年までは20間以上の著大橋梁に掲載されておらず、⁴³⁾大正3年に初めて記録されており、最近架設年月は明治35年(1902)年10となっている。現地調査の結果から推定すると、坪井川の低水路に20.5間の木トラス橋が架設され、大正3年に高水敷に6間(10.9m)の鉄筋コンクリート橋が伸延されて橋長が26.5間となり、著大橋に記録されたと見られる。(表6-6、図6-18参照)

表6-5 熊本県統計書、交通、著大橋梁部分表(大正元年12月31日発行)⁴³⁾

橋名	架設地名	長	幅	構造	橋面 材質	橋脚 材質	架設位置	地質及基礎	最近架設年月	最近架 設工費
明午橋	熊本市新屋敷町	35.8	3.0	桁	土	木	白川筋	砂利	明治廿五年九月	12,840
安己橋	同 安己橋通町	47.4	3.5	全	板及土	全	全	砂利	同 廿三年五月	12,805
風六橋	同 川原町廻町界	40.2	4.0	全	二和土	全	全	砂利	同 廿五年九月	12,366
洗馬橋	同 船場町	20.2	3.6	全	土	全	坪井川筋	土砂	不詳	?
中瀬橋	同 船場町	22.7	2.7	全	全	全	加勢川筋	砂	明治廿六年五月	2,145
川尻橋	同 川尻町 下森城杉倉村	87.7	2.6	全	板	全	全	砂利	同 廿七年六月	12,431
内藤橋	同 玉名郡川船村 江田村界	92.5	2.4	全	全	全	菊池川筋	砂利	同 廿九年五月	6,795
津留橋	同 梅林村	23.6	2.5	全	土	木及石	木瀬川筋	砂	同 廿九年二月	?
堂原橋	同 鹿本郡廣見村	22.2	3.4	全	全	木	岩野川筋	砂	同 廿八年十月	1,926
伊加坊橋	同 吉松村	34.2	2.0	全	全	全	合志川筋	砂	同 廿八年一月	3,358
池田橋	同 三好村	31.1	3.4	全	全	全	岩野川筋	砂	同 廿八年三月	3,408
分田橋	同 大田村 中富村界	67.6	8.0	全	全	全	菊池川筋	全	同 廿九年十二月	7,107
堀尾橋	同 中富村	36.2	2.0	全	全	全	内田川筋	全	同 廿一年十二月	2,628
山鹿橋	同 山鹿町 米田村界	46.7	2.5	全	全	全	菊池川筋	全	同 十六年月不詳	3,988
新橋	同 鹿本郡中富村 菊池郡菊池村界	36.2	2.0	全	全	全	木野川筋	砂利	同 廿九年四月	1,336

表6-6 熊本県統計書、交通、著大橋梁部分表(大正3年12月31日発行)⁴⁴⁾

橋名	架設地名	長	幅	構造	橋面 材質	橋脚 材質	架設位置	地質及基礎	最近架設年月	最近架 設工費
明午橋	熊本市新屋敷町	35.8	3.0	桁	土	木	白川筋	砂利	明治廿五年九月	12,840
安己橋	同 安己橋通町	47.4	4.5	同	板及土	同	同	同	同 廿三年五月	12,805
風六橋	同 川原町廻町界	40.2	4.0	同	二和土	同	同	同	同 廿五年九月	12,336
洗馬橋	同 船場町	20.2	3.6	同	土	同	坪井川筋	土砂	不詳	?
新堂橋	同 加勢町船託 新本庄村	40.0	3.0	同	同	同	白川筋	砂利	明治廿七年一月	8,000
中瀬橋	同 船場町	22.7	2.7	同	同	同	加勢川筋	砂	同 廿六年五月	2,145
白川橋	同 春日町山本村	29.0	2.0	同	土	同	白川筋	土砂	同 四十一年五月	?
春日橋	同 春日町	6.0 20.5	2.0	トラス 桁	同	鐵筋及 コンクリート	坪井川筋	同	同 三十五年十月	?
川尻橋	同 川尻町 下森城杉倉村	87.7	2.6	同	板	同	加勢川筋	同	同 四十四年三月	13,559
内藤橋	同 玉名郡川船村 江田村界	92.5	2.5	同	同	同	菊池川筋	砂利	大正三十一年十二月	18,756
津留橋	同 梅林村	23.6	2.5	同	土	木及石	木瀬川筋	砂	明治廿九年二月	?
堂原橋	同 鹿本郡廣見村	22.2	3.4	同	同	木	岩野川筋	砂	同 廿八年十月	1,926
日和橋	同 船場町	30.5 25.4	2.5	トラス 桁	鐵筋及 コンクリート	同	木瀬川筋	砂	大正四年三月	15,784
御船川橋	同 御船町	33.7	2.2	桁	同	同	御船川筋	砂利	不詳	?

川尻橋は加勢川に架設された橋であるが、川尻町史によると昭和の初めに緑川大改修や、加勢川の付替で川状が大変化して川尻橋は現存しない。⁴⁵⁾熊本県統計書によると、大正2年迄は川尻橋は最近架設明治27(1894)年の木橋となっているが、大正3(1

表6-7 熊本県統計書、交通、著大橋梁部分表（大正4年12月31日發行）

橋名	架設地名	長	幅	構造	橋面 材質	橋材質	架設位置	地質及基礎	最近架設年月	最近架 設工費
明午橋	熊本市新渡町	35.8	3.0	桁	土	木	白川筋	砂利	明治五年九月	12,840
安巳橋	同 安巳橋町	47.4	4.5	同	板及土	同	同	同	同 三年五月	12,805
長六橋	同 川原町迎野	40.2	4.0	同	二和土	同	同	同	同 五年九月	12,336
洗馬橋	同 船場町	20.8	3.6	同	土	同	坪井川筋	土 砂	不詳	?
新世橋	同 加足寺町龍託 野本庄村	40.0	3.0	同	同	同	白川筋	砂利	明治七年一月	8,000
中瀬橋	同 龍託町龍託村	22.7	2.7	同	同	同	加勢川筋	砂	同 廿六年五月	2,145
白川橋	同 春日町木山村	29.0	3.0	同	土	同	白川筋	土 砂	同 十一年五月	?
春日橋	同 春日町	6.0 20.5	2.0	トラス 桁	同	板及コン クリート	坪井川筋	同	同 三十五年十月	?
川尻橋	同 川尻町 下益城郡杉合村	87.7	2.5	同	板	同	加勢川筋	同	同 十四年三月	13,559
内瀬橋	同 玉名郡川沿村 江田村界	92.5	2.5	同	同	同	加勢川筋	砂 利	大正三年十二月	18,756
津留橋	同 梅林村	23.6	2.5	同	土	木及石	木龍川筋	砂	明治廿九年二月	?
雲原橋	同 鹿本郡廣見村	22.2	3.4	同	同	木	若野川筋	砂 礫	同 廿八年十月	1,924
日和瀬橋	同 甲佐町	89.0 85.4	3.3	トラス コンクリート	板 土	水、板、板 及コンクリート	綾川筋	砂 礫	大正四年三月	18,784
御船川橋	同 御船町	33.7	2.2	桁	同	石	御船川筋	岩石及砂利	不詳	?

914)年の統計書では、明治44年(1911)年3月の架替となっている。両橋の工事費を比較すると12431円と13550円であり、余り大きな違いはなく、木橋で改築されて一部分のみが鉄筋コンクリート構造であったと見られる。(表6-5及び表6-6参照)高水敷部分が鉄筋コンクリート橋であった可能性が高い。

また、上益城郡甲佐町の日和瀬橋は大正4(1915)年3月に架設されているが、これも大正2年までは20間未満で著大橋梁には掲載されておらず、大正3年に39間(70.98m)の木ハウトラス橋と25間(45.5m)の鉄筋コンクリート橋の混成橋に架替られている。(表6-6参照)甲佐町史によれば、橋脚は鉄筋コンクリートであったが、上部工は木橋と鉄筋コンクリート橋であったと言う。⁴⁶⁾

熊本県の大正4年の統計書によると、鉄筋コンクリート橋は国道で1橋であるが、県道では1間以上10間未満が、11橋、10間以上30間未満が1橋の12橋となっており、大正3年迄は鉄筋コンクリート橋は記録されていない。春日橋や、川尻橋は部分的に鉄筋コンクリート橋であったためと考えられる。

(8) 鉄道 — 駅館川水路橋

明治42(1909)年日豊線に鉄筋コンクリートの駅館川水路橋が那波光雄により建設された。⁴⁷⁾(写真6-25参照)また同年に奥羽線秋田駅にも鉄筋コンクリートの水路橋が完成している。⁴⁷⁾明治43(1910)年には信越線の直江津機関庫で、押上げ石炭台ラーメン式栈橋が鉄筋コンクリートで建設されている。

鉄道の場合の鉄筋コンクリート橋の採用は、動荷重の影響が大きく事故の場合の被害が大きいため、当然の事ながら本線橋への採用には極めて慎重であり、明治末期には橋梁下部工や暗渠、鉄道関連施設での試験的施工が多かった様である。

(9) 岐阜の鉄筋コンクリート橋 — 旅足川水路橋 — 平田橋。

1)我が国では水量豊富な急流河川が多く、特に中部山岳部には水力発電に適した地点が多い。明治28(1895)年第4回内国博覧会が、京都遷都1100年を記念して、京都市岡崎を中心にして開催された。この博覧会は政府の「殖産興業」の政策による琵琶湖疏



写真6-25 鉄道院日豊線（柳浦～長洲間）

駅館川水路橋⁴⁷⁾



図6-19 岐阜県旅足川水路橋、位置図（現在図）⁴⁸⁾

水とそれに依る水力発電、更にこの電力に依る日本最初の市街電車の運行の展示であつた。この博覧会では水力発電の低廉性が注目されて、各地で水力発電所の建設が試みられ、我が国水力発電の発達に大きな影響を及ぼした。⁴⁸⁾

岐阜県八百津町で明治44（1911）年に名古屋電灯株式会社により木曾川に建設された「八百津発電所（木曾川水力発電所）」はその一つであるが、水量が豊富で落差も大きく、発電出力も7500KWで、当時としては日本最高水準であつた。⁴⁸⁾

当時水力発電施設として石造や煉瓦造りが多かつたが、この工事では水路や制水門にコンクリート構造が採用された。特に旅足川に架設された「旅足川水路橋」は、橋長65m（中央径間22m、側径間4×4m×2）幅員8mの開側固定の鉄筋コンクリートアーチ橋であつた。（図6-19及び写真6-26参照）

この工事は計画段階から京都帝大土木科の大藤高彦教授（東京帝大土木科、明治27年卒）が技術部門を指導し、全国から土木技術者を集めて革新的な工事が行われた。写真6-26はこのアーチ橋の施工中の写真であるが、欧米風の堅固な支保工上で施工されている。（写真6-26参照）大藤教授は明治32（1899）年から2年間ドイツで構造工学等の研究をして帰朝しており、当時の最新技術である鉄筋コンクリート構造の導入に積極的であつた。このアーチ橋の設計は大藤教授の直接の設計と考えられ、設計方法もMüller-Breslauの曲がり梁の弾性理論を使用した設計であつたと見られる。と言うのは、明治36（1903）年7月京都帝大土木科を卒業した「林桂一」（後九州大学教授）の卒

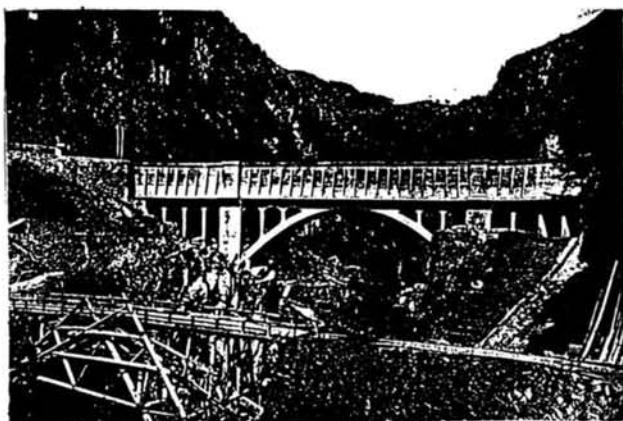


写真6-26-1 名古屋電灯、八百津水力発電所、
旅足川水路橋（明治43年10月）⁴⁸⁾

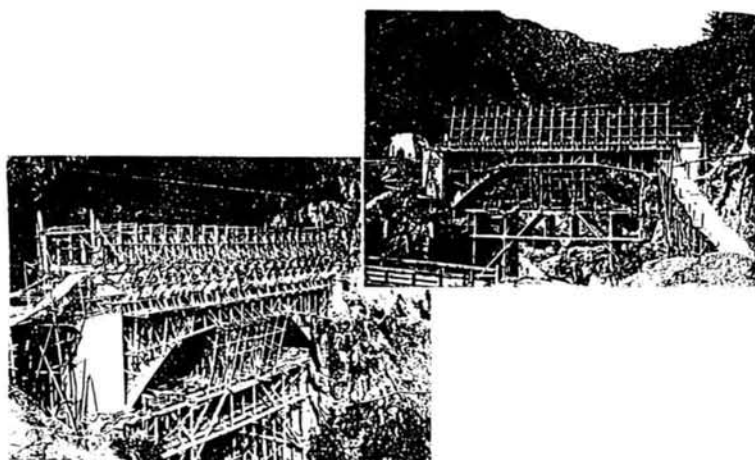


写真6-26-2 旅足川水路橋、施工状況⁴⁸⁾

業論文「提案設計日本橋」があり、当時計画されていた東京日本橋（大正2年完成、2径間石造アーチ橋）に対し、1径間の鉄筋コンクリートアーチ橋の提案設計を行つている。この論文は曲がり梁の弾性理論を用いて固定開側式アーチ橋の設計を行い、施工計画まで検討した立派なものである。⁴⁹⁾ この事を考えると、大藤教授の「旅足川水路橋」も同様の設計方法が行われていると見られる。この他に2橋の鉄筋コンクリート・アーチ橋形式の小水路橋が架設されている。

2) 岐阜市矢島町に明治44（1911）年に忠節用水に架設された鉄筋コンクリート橋の平田橋は、資料によると橋長4.5m幅員15.7mの橋と記録されている。⁴⁰⁾

岐阜市史によると⁵⁰⁾「明治24（1891）年の美濃地震で旧岐阜町の市街地は大半を焼土と化し、その結果平田橋以南の地域が活気を呈する基となつた。明治40（1907）に至り発展する岐阜市に沿うべく市区の大改正が行われ、美濃電気軌道が市南部の今小町より矢島町を經由して長良川橋に至る市街線の敷設を計画して、経費の一部を寄付し道路の拡幅事業を市に委託する事を申出た。」と記述している。岐阜市会は3本の八間道路（幅14.6m）を市の幹線道路として建設する事を決議し明治43、44（1911）年度に実施された。写真6-27は神田通りの忠節用水に架設された平田橋の写真である。⁵¹⁾ 明治44（1911）年10月に市街電車が開通したので、その直前の道路拡幅後の未舗装の状況である。高欄も鉄筋コンクリート造りで当時の流行の欧米風の意匠を施し



図6-20 岐阜市、市街部分図、平田橋位置図（昭和6年）⁵⁰⁾



写真6-27-1 岐阜市平田橋（神田通り、明治44年10月市街電車開通直前）⁵¹⁾



写真6-27-2 岐阜市平田橋、橋跡標識（平成30年9月撮影）

ている。街路は歩車道の他側溝、植樹帯も設けられた近代的な都市道路であつた。(写真6-27-1) 長良川から取水して岐阜市西部に灌水する忠節用水は、現在は暗渠化されており、平田橋の現況は位置を示す標識柱のみが立っている。(写真6-27-2及び図6-20参照)

(10) 広島県 — 金比羅橋 — 八幡橋 — 開明橋。

1) 記録に現れる最初の鉄筋コンクリート橋は、明治43(1910)年完成の金比羅橋(橋長4.42m径間4.09m)である。⁴⁰⁾ 広島県及び市にこの橋の記録は残っており、位置を確定する事は困難であるが、大約の推定は出来ている。現在大手町4丁目に金比羅神社があり、旧西塔川(埋立て現在の鯉城通り)の上流の白神社より北の狭窄部(三味線堀)に架かり、大正元(1912)年の西塔川の埋立てで撤去されたと見られる。

⁵²⁾ 試験的な小橋であり、この時期の地図も残っていないので確認出来ない。(図6-2

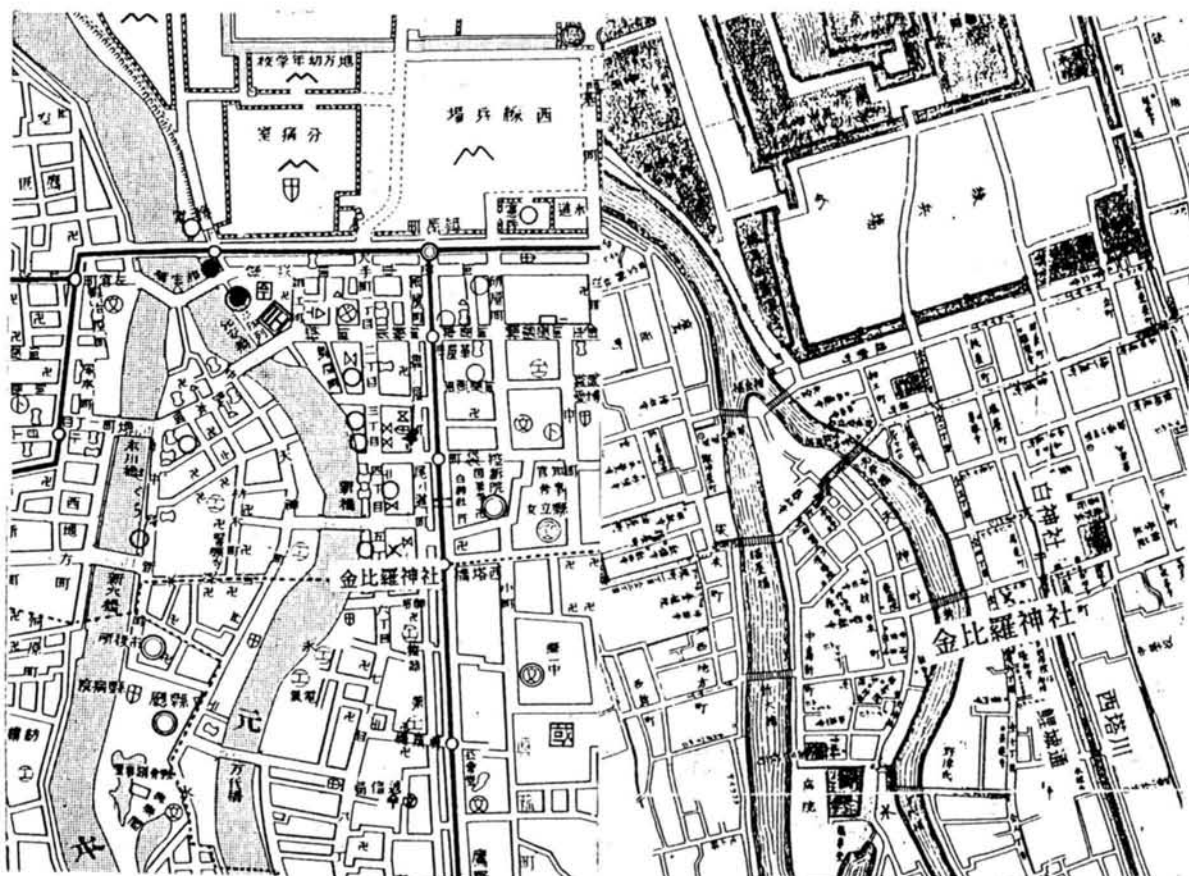


図6-21-1 広島市、市街地部分図

図6-21-2 広島市、中心部図

(明治20年9月作成、図説広島市史 平成元年発行)

1) 明治25(1892)年の資料によれば、佐伯郡五日市の西国街道に木橋の「八幡橋」が架設されている。⁵²⁾ この橋は「広島国道のあゆみ」⁵³⁾ や「広島百橋」⁵⁴⁾ によれば明治44(1911)年に鉄筋コンクリート橋に架替として、写真6-28-2及び3が掲載されている。現地を見ると明治の橋の門型形状と異なるので、道路管理者の佐伯区に尋ねると、昭和4(1933)年に改築されていた。橋長73.5m幅員5.4m径間7×10.9mのT桁橋ある。前記の資料の写真は昭和の橋のものであり、現況は昭和初期面影

の残す意匠であるが荒廃している。主桁は4本で横桁も設けられており、橋台はコンクリートで、小判型の壁式橋脚であり明治期の特徴とは異なっている。（写真6-28-1参照）

3) 関西道路研究会が昭和11(1936)年に自動車で山陽国道の現地調査をした報告書⁵⁵⁾によれば、御調郡三原町の国道(西国街道)に、大正元(1912)年鉄筋コンクリート橋の「開明橋」が架替られた。橋長8.2m有効幅員5mの橋であるが、現地調査によると、図6-22に示す様に三原駅の北側の河原谷川に架けられたが、現在は長い暗渠となっていて、橋梁跡の標識のみが立っている。写真6-29に大正期の松竹座前の開明橋を示す。(図6-22及び写真6-29参照)



写真6-28-1 広島市八幡橋、現況(佐伯区五日市八幡川、昭和5年架替)(平成12年9月筆者撮影)

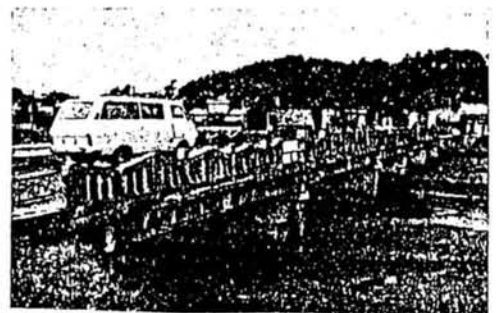


写真6-28-2 広島市、八幡橋
(昭和50年以前)⁵⁴⁾

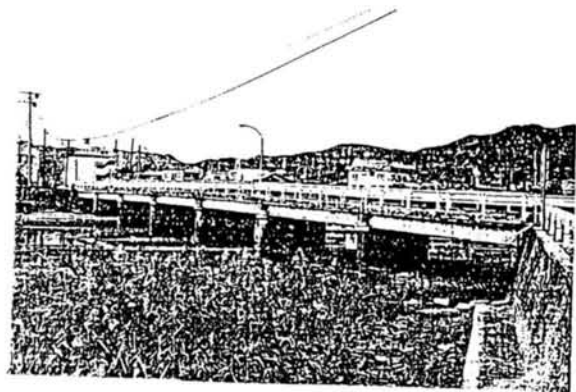


写真6-28-3 広島市、八幡橋(高欄改良後)⁵³⁾

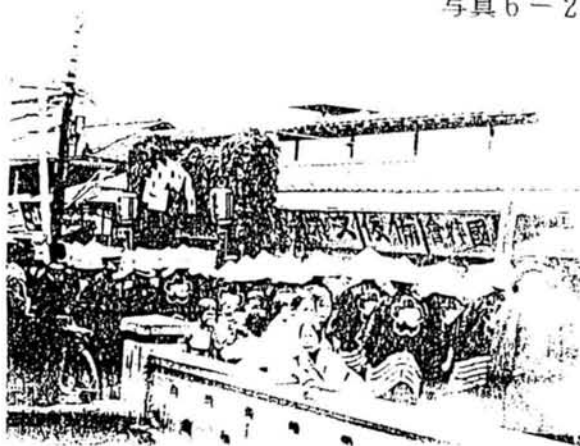


写真6-29 三原市開明橋(大正元年架替後、松竹座前、三原市立図書館提供)



図6-22 三原市開明橋と松竹座（「三原市、城町のうつり変り」永井末松著）

(11) 石川県 — 石川橋（明治44年）四十九本橋（明治44年）香林坊橋（大正元年）

1) 金沢城の石川門と兼六公園を連絡する石川橋が、鉄筋コンクリート閉側固定アーチ橋として明治43（1910）年に起工し、翌年3月に竣功した。橋長24.9m径間12.2m平均幅員10.5mである。この架設地点は金沢城の百間堀と白鳥堀をわける土手であつたが、金沢市の新設道路として両堀の水を抜いて幅10.9mの県道を通し、兼六公園から石川門への通路として立体交差のための石川橋を架設した。⁵⁶⁾（図6-23）

この県道は通称「百間堀通り」とよばれる市の幹線道路であり、交通量の増大に対処し、同時にこの道路を市の「兼六文化ゾーン」として相応しいシンボルロードとするため、本橋は平成5（1993）年11月に解体されて架替えられた。この地点は旧金沢城の一部で文化財としての遺構を埋蔵しており、石川橋を含めた詳細な事前調査が行われ報告されている。⁵⁶⁾ 特に石川橋の調査は金沢大学鳥居和之教授を中心として、日本の明治期の土木構造物としては例のない詳細な構造物及びコンクリートの学術的な調査が行われた。これに基づき概要を述べる。なお、この調査位置を図6-23に、調査のフロー図を図6-24に、調査項目を表6-8に示す。

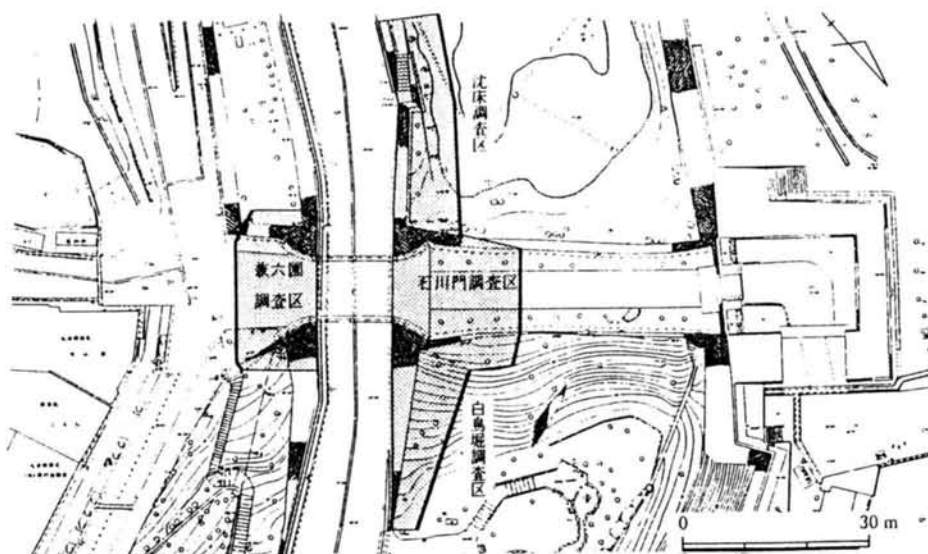
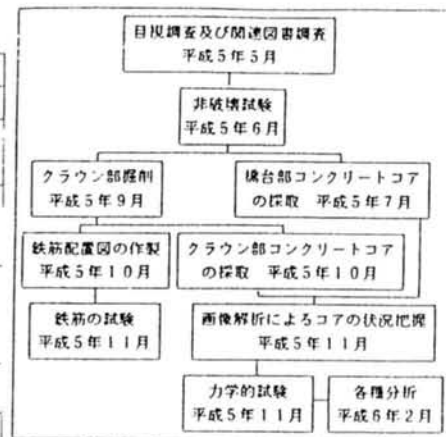


図6-23 金沢市石川橋調査区域、平面図⁵⁶⁾

表 6-8 石川橋解体調査項目一覧表⁵⁸⁾

調 査 項 目	内 容
外 観 調 査	ひびわれ、モルタルの浮き、摩耗、エフロレッセンス
非 破 壊 試 験	赤外線撮影（サーモグラフィ法） 反発硬度（シュミットハンマー P型、N型） 超音波パルス速度（Pundit）
コンクリートコアの 力学的試験	圧縮強度（JIS A 1108） 弾性係数（JISCE-1988（変）コンプレッソメータ） 動弾性係数（JIS A 1127 共振法（共振動）） 超音波パルス速度（Pundit）
コンクリートコアの 各種分析	急速塩化物イオン透過性試験（ASTM C 1202-83） 塩化物イオン量（電位差測定法（JIS C 55）） 水和生成物の同定（X線解析、示差熱分析） 微視的構造の特徴 （走査型電子顕微鏡観察、蛍光顕微鏡観察、水銀圧入式ポロシメータ）
コンクリートの配合 推定と骨材試験	コンクリートの配合推定（セメント量、骨材量） 骨材試験（粒度分布、比重、吸水率、単位容重）
鉄 筋 の 試 験	降伏強度および伸び率（JIS Z 2241） 鉄筋および鋼の化学組成 鉄筋の腐食状況



57)

図 6-24 金沢市石川橋解体調査フロー図

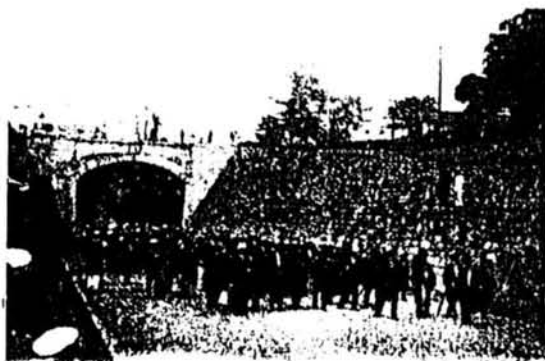


写真 6-30-1 金沢市石川橋前、
百間道路開通式（明治44年）⁶⁰⁾



写真 6-30-2 石川橋施工中
（コンクリート作業中）⁵⁷⁾

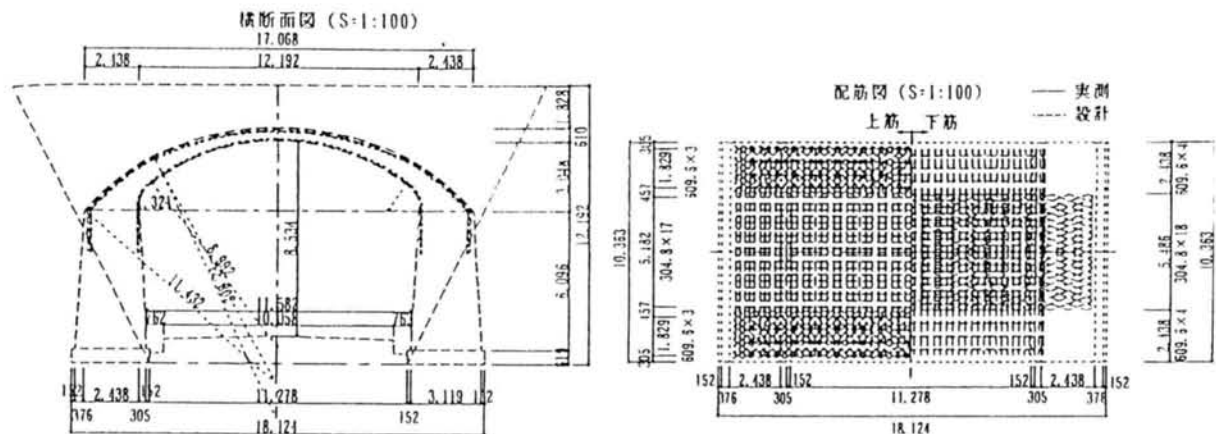


図 6-25 石川橋、横断面図（県庁側）及び鉄筋配置図⁵⁸⁾

a) 資料によると写真 6-30-2 は石川橋の架設時の施工状況であり、コンクリートの製造は橋側の足場の上で手練りで行われている様子であり骨材運搬用の籠等が見られる。

⁵⁷⁾ 写真 6-30-3 は解体前の石川橋の外観であり、目立たないが明治期の特徴的な枠組みの意匠が施されている。欧米橋の直輸入でない独自のデザインである。⁵⁸⁾

b) 石川橋の解体の結果から鉄筋の配置を復元すれば図 6-25 の通りであり、アーチ環は部材上下縁に格子状に主鉄筋（1 吋角鋼）配力筋（5 mm 角鋼）が配置され、交点では亜鉛メッキされた番線で結束されていた。アーチ部の主鉄筋の一本の長さは 5 ～ 6 m で、

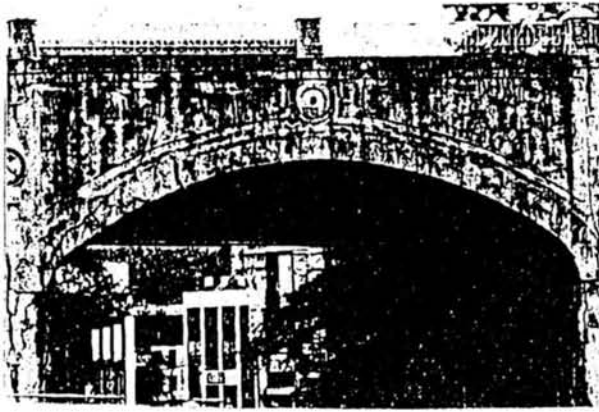


写真6-30-3 石川橋解体前正面状況
(県庁側コンクリート表面)⁵⁷⁾

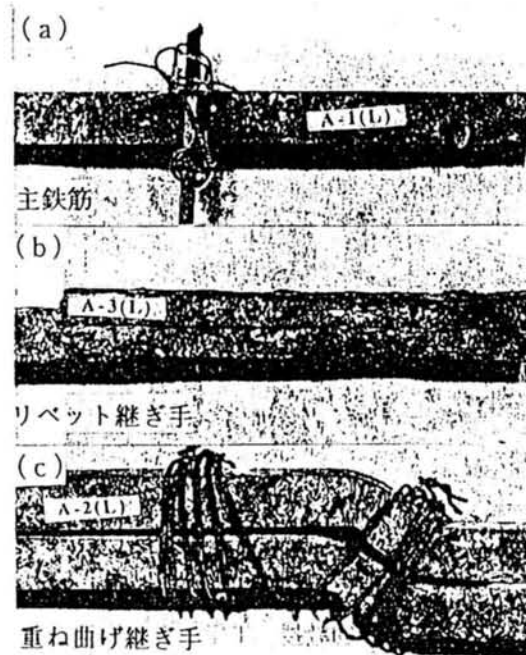


写真6-30-4 石川橋、主鉄筋及びその継手部形状
(リベット継手及び重ね継手)⁵⁸⁾

写真6-30-4に示す様にリベット継手（切削した鉄筋を張合わせ、リベット3本で結合）と重ね曲げ継手（鉄筋を折曲げ、重ねて番線で結合）が使用され、上下層では継手位置がずらしてあった。（写真6-30-4参照）上下層の鉄筋を結ぶ肋筋が見られず、モニエ式工法が採用されていたと見られる。⁵⁸⁾

アーチ部上面には主筋の更に上側に施工の際の打継目が見られ、この部分にエキスパンド・メタルが配置されていた。更にアーチ部側面やスパンドレル部にも表面近くに配置され、乾燥収縮等にも配慮していたと見られる。コンクリート中の鉄筋等の鋼材に錆等の腐食は殆ど認められなかった。⁵⁹⁾ 解体した主鉄筋及び配力筋の引張試験の結果は表6-9の通りであり、現行の熱間圧延丸鋼のSR235に相当する強度を有し、伸びの平均値は33%であり現行の鋼材に同じ。化学分析等を含めた試験の結果は、鉄筋の判定としてリムド鋼を鍛造仕上げした物としている。⁵⁹⁾

表6-9 石川橋、主鉄筋及び配力筋の引張試験結果⁵⁹⁾

種 別	試 験 片	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)
主鉄筋	JIS14 A号 (3本)	247	382	32
		243	381	33
		238	380	35
		<u>243</u>	<u>381</u>	<u>33</u>
配力鉄筋	JIS2号 (3本)	288	383	測定せず
		286	390	測定せず
		289	380	測定せず
		<u>288</u>	<u>384</u>	---

伸び測定：GL = 110 mm

c) コンクリートに使用した骨材は金沢市近辺の河原から採取したと推定されており、アーチクラウン及び橋台の表面から1 mまでの部分のコンクリートは、10～20 mm程度の骨材(最大寸法40～50 mm)が使用され、中性化も少なく空隙も比較的少なく均質であつた。しかし、橋台の奥の方のコンクリートは粗コンクリートとして製造された様であり、空隙が多く残り水の影響で可成の部分に変質していた。アーチ部の施工は打継目から見ると、アーチ環を縦に分割して、アーチ環方向に連続して施工している。

採取コンクリートの圧縮強度及び静弾性係数の分布状況は、表6-10に示す。⁵⁷⁾

配合や力学的性質の違うコンクリートを、構造的な考えから場所を選んで使用している事は、セメントの高価であつた当時としてはむしろ合理的設計と言えよう。

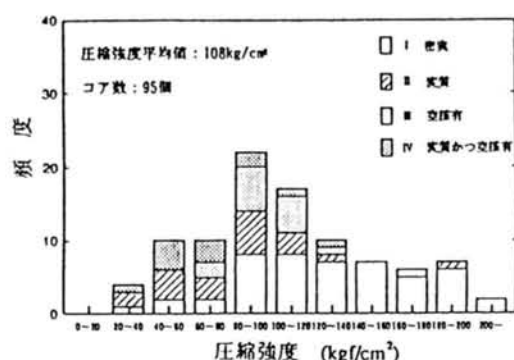


図6-26-1 石川橋、
コンクリートの圧縮強度分布状況⁵⁸⁾

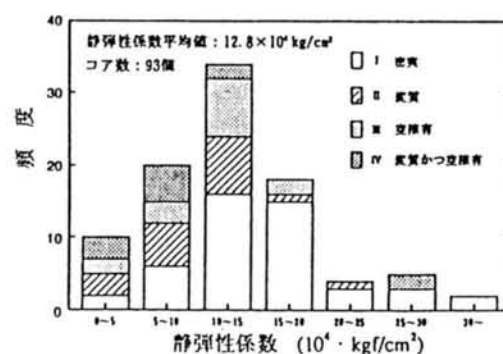


図6-26-2 石川橋、
コンクリートの静弾性係数の分布状況⁵⁸⁾

なお、この橋の担当者としては、石川県職員録(明治44年2月1日付け)によれば、内務二課長は事務官であり工師鈴木盛男(京都帝大土木科、明治35年卒)であつたと見られる。

2) 資料によれば明治44(1911)年に石川県に四十九本橋が、橋長4.09 m径間3.64 mで鉄筋コンクリート橋に架替られた事が記録されている。⁴⁰⁾ 石川県西部の加賀市と山中町を流れる動橋(いぶりはし)川の支川の四十九院川に架設されたと見られる。鉄道の動橋駅から山中温泉に至る県道山中伊切線が四十九院川を渡る地点の橋がこれに当たり、現在は四十九院橋と呼ばれているが、試験的小橋であつた。(図6-27参照)



図6-27 石川県四十九本橋(四十九院橋)位置図(現在図)



写真6-31 金沢市香林坊橋、保存旧橋親柱

3) 金沢市史によれば市中心部の香林坊を流れる鞍月用水に架かる木橋が、大正元(1912)年鉄筋コンクリート橋に架替られた。⁶⁰⁾「香林坊橋」と呼ばれたが、橋長7.82m 幅員11.42mの小橋であつた。現在は暗渠化されて旧橋の親柱だけが写真6-31に示す様に残されている。(写真6-31参照)

(12) 横浜市 — 吉田橋

横浜市の鉄筋コンクリートアーチ橋「吉田橋」は、大岡川の旧鉄の橋の架替として、石橋紬彦の設計と指導で架設され、明治44(1912)年10月に竣工した。(写真6-32参照) 有名な橋であり工事報告が工学会誌に発表されている。⁶²⁾一般図と配筋図を図6-28に示す。日本で始めての本格的な鉄筋コンクリートアーチ橋であり、問題はあるが、前以って各種の試験を実施して慎重に施工しており、明治期を代表する鉄筋コンクリート・アーチ橋である。橋長36.6m(7.8+18.3+7.8)、幅員21.8mの橋である。この橋の特徴を纏めて表すと次の通りである。

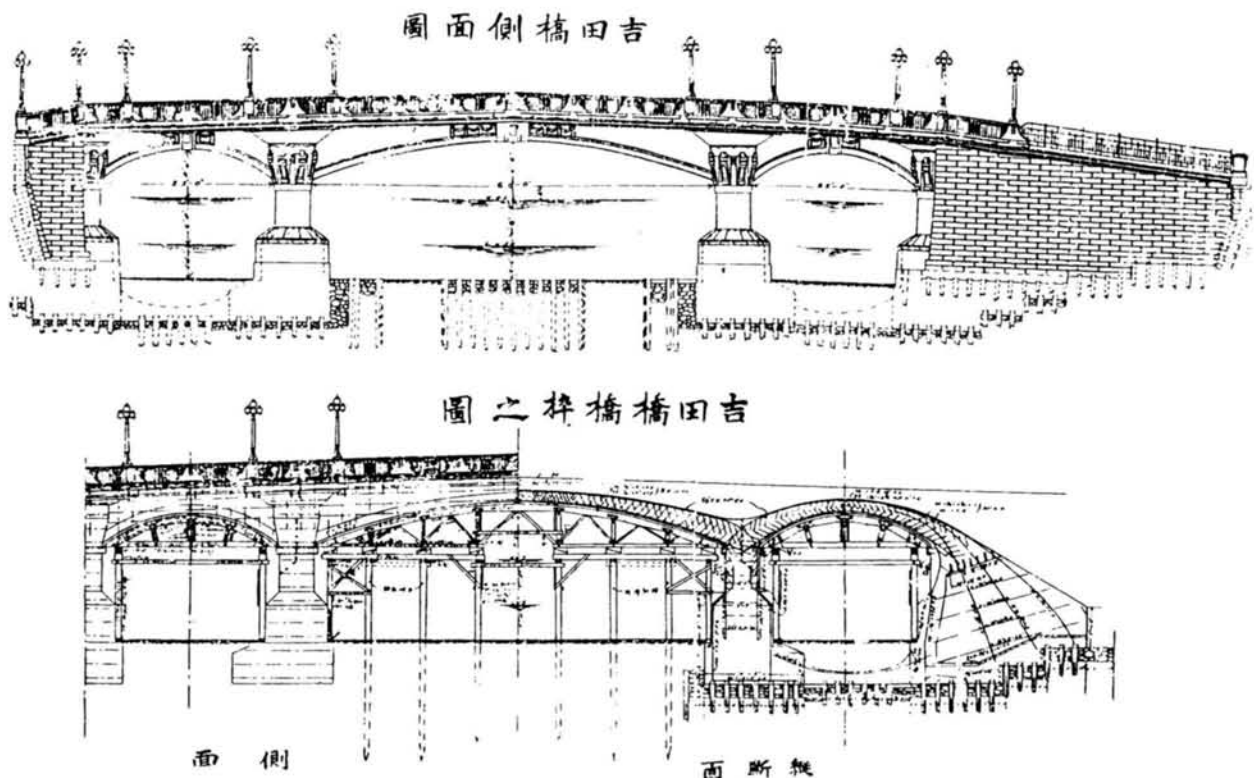


図 6-28-1 横浜市吉田橋、一般図、構造図、及び施工図⁶¹⁾

1) 国際都市横浜の港の中心の橋であり、日本を代表する橋として設計しており、橋梁意匠には大変な力を入れている。明治時代を反映して当時の欧米風の華麗なデザインであり、近代文化の先進地としての横浜を代表する橋となつた。

2) 基礎地盤が悪い地点であり、船舶の航行があり、高さ制限のある可成厳しい設計条件の地点である。通常はアーチ橋には不適当な架設地点であるが、都市景観を優先した。

3) 鉄筋コンクリートの不等径間連続アーチ橋であり、側径間アーチのクレストの厚さが61cmで、中央径間の46cmよりも厚くなっている。アーチの水平推力により生ずる曲げの影響で大きくなった。

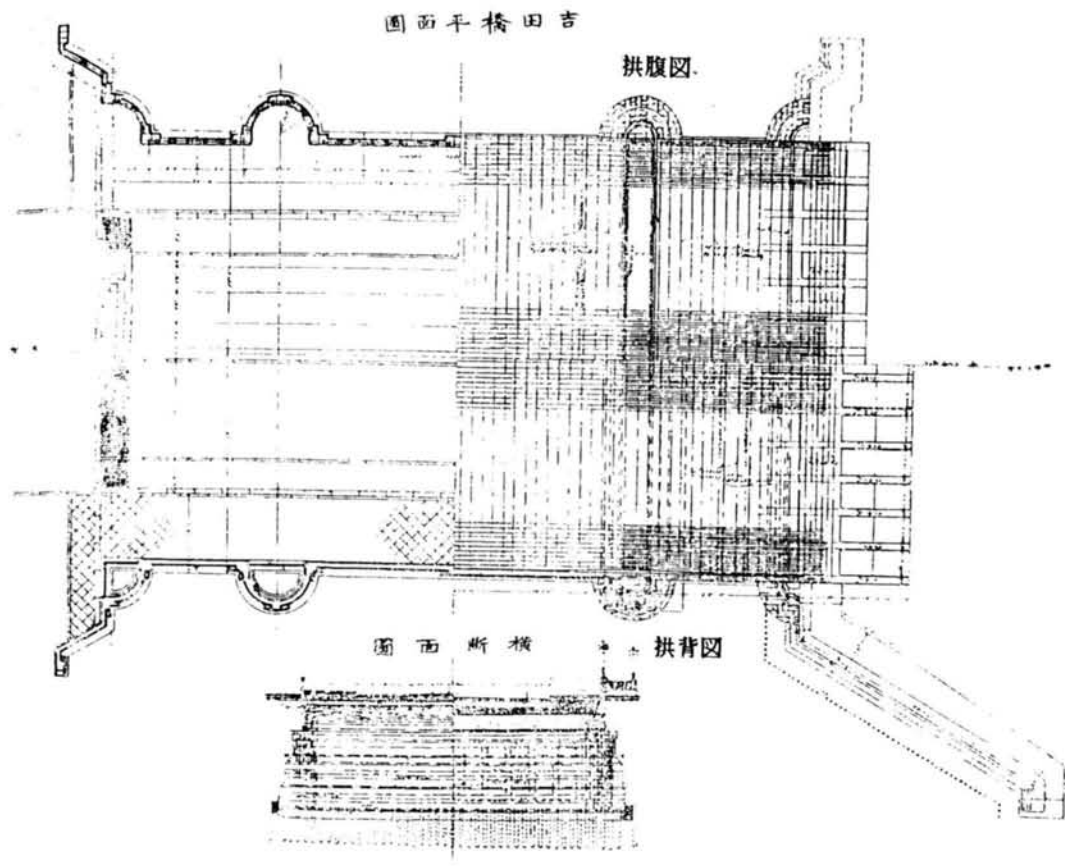


図 6-28-2 横浜市吉田橋、平面図及び横断面図⁶¹⁾

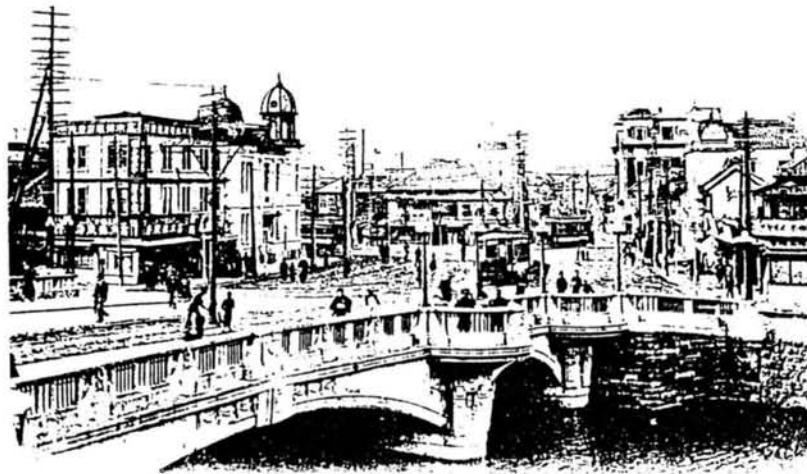


写真 6-32-1 横浜市吉田橋（「100年前の横浜、神奈川」有隣堂）

4) 3径間連続の長大アーチ橋としての温度変化による影響を検討したと述べているが、その方法については記述していないので不明である。

5) 鉄筋として日本最初にカーン・パーシステム（米国トラスト・スチール会社製、トラスドバー及びリツプバー）を採用した。採用理由はせん断力に対する有効なシステムとしての採用であった。工事に先立ちカーンパー・システムの床版構造の荷重試験を実施して、性能を確認しているが、アーチ構造の直接的な試験ではない。⁶²⁾

6) 使用する材料の試験（セメント、砂、鋼材）だけでなく、関連する各種比較試験（付着力、砂材料、機械練りと手練りのモルタル）等を行っている。コンクリートの圧縮試験

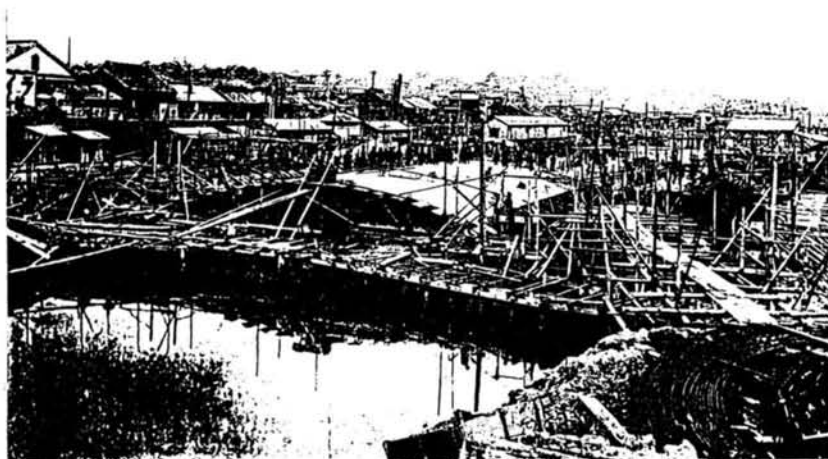


写真 6-32-2 横浜市吉田橋、施工時状況（「鉄筋コンクリート案内」明治45年）

はなく、現場管理試験ではないが、モルター試験値の変動状況を測定している。これはコンクリートの強度がモルターの強度に依存すると言う考え方によるものと見える。

7) コンクリートの配合については、仏国のフェレー（feret）の強度の最大密度説により、試験結果の説明をしており、「水分の多きは混凝土の硬化に際し、密度を減じ耐圧強を減少する。」と述べている。

9) 横浜港に近い地盤の悪い所での連続アーチ橋の架設であり、基礎には大量の基礎杭を打込んで建設している。構造の沈下は計算に入れていない様であるが、施工中の支保工に不等沈下が認められているので、実際には橋梁の沈下はあつたと見られる。

10) 配筋図によれば、橋台（側径間起供部）は扶壁式構造になつているが、扶壁の配筋図は示されていない。

11) アーチ本体の配筋では、太径のカーン式特殊異形鉄筋を使用しているが、鉄筋間隔が大き過ぎる。二次応力（温度変化、乾燥収縮、不等沈下、耐震力等）に対しては、細径鉄筋をある程度細かい間隔で配置するのが亀裂発生防止に効果的である。カーン式鉄筋は米国式の現場施工の効率化を目的としており、日本の当時の実状に合わないものであつた。しかし、新技術として建築方面では多用された様である。

12) コンクリートの安全係数として橋台、橋脚で10倍以上、拱体でも4～10倍と大きな値を採用しているが、コンクリート強度の変動が大きく、二次応力もあまり考慮していない設計であり、当時の設計としては必要な配慮であつたと考えられる。

（13）和歌山県 — 光明橋 — 中津川橋

資料によれば、明治42（1909）年和歌山県で鉄筋コンクリートの橋長10mでの拱橋の「明光橋」と、橋長13.35mの拱橋「中津川橋」が架設されたと記録されている。⁴⁰⁾ 別の公式資料によると、明光橋は国道41号線（熊野街道）が津屋川を渡る地点に架設され、中津川橋は紀三井寺で国道41号線が中津川を渡る地点に架設されたと記している。⁶³⁾ 両橋共に県庁前から和歌浦や、紀三井寺への市街電車軌道敷設の為の橋であつた（図6-24及び写真6-33及び、6-34参照）

資料によれば、明治42（1909）年2月には「和歌山電気軌道株式会社」が和歌浦まで開通させ、更に延長して同年8月には和歌浦から紀三井寺までが開通した。この区

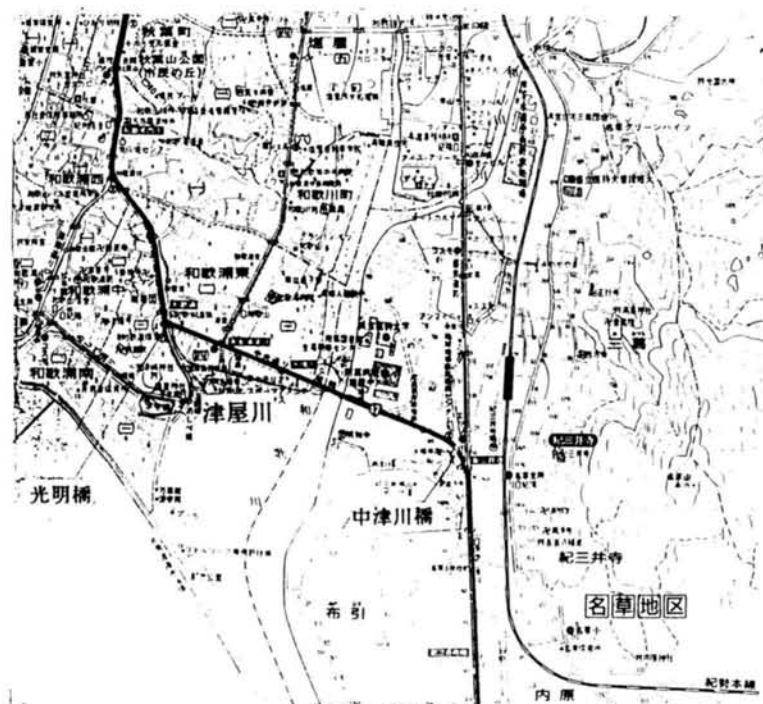


図6-29 和歌山市、光明橋及び中津川橋位置図（現在地図）

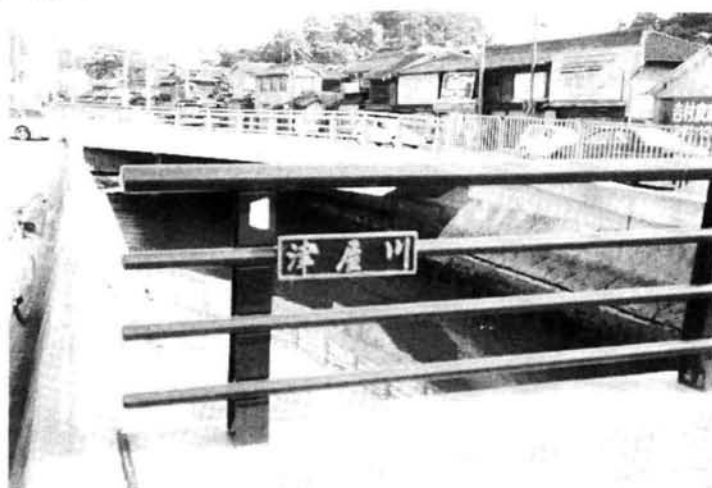


写真6-33 和歌山市光明橋、現況
(津屋川、明治42年、平成11年7月筆者撮影)

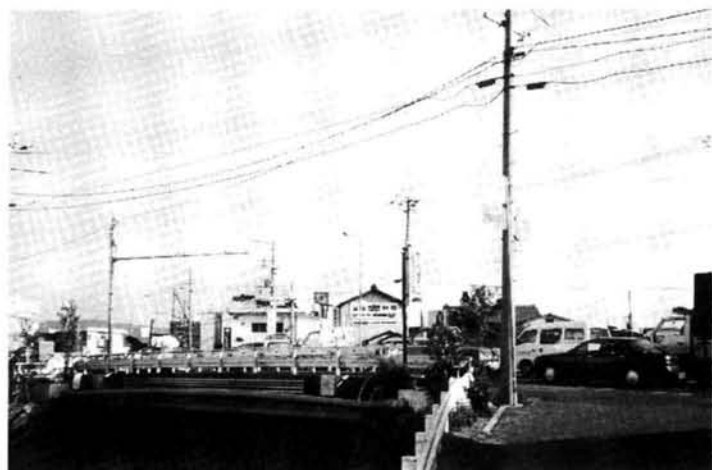


写真6-34 和歌山市中津川橋、現況
(中津川、明治42年、平成11年7月筆者撮影)

間の道路拡幅と明光橋と中津橋は県が施工したが、和歌川に架かる電車の旭橋は当初は会社が木橋で架設し、後に鋼板桁に架替た。⁶⁴⁾

拱橋構造についての記録が残っていないが、電車線の設置は交通上や、観光産業の発展に大きな影響を与えた。明治42年の和歌山県職員名簿に工師村山喜一郎（京都帝大土木科、明治明治41年卒）の名前が見られるので、両橋の架設に関与していたと見られる。

（14）高知県 — 柳田橋他2橋、狭間橋、大谷橋他3橋。

高知県での明治期の鉄筋コンクリート橋について、「高知県土木史」⁶⁵⁾によれば昭和5（1930）年に酒井亀次郎が出版した「実施橋梁設計概要集」の中で、県道中村宿毛線の柳田橋外2橋が最初と思われると述べているとしている。⁶⁶⁾

これ等の橋は上記の著書の中で、明治44（1911）年の竣工としており、図6-30-1に示す様に柳田橋（橋長2.4m幅員3.6m）山ノタデ橋（橋長2.55m幅員3.6m）西三ツ石橋（2.55m幅員3.6m）の試験的な小橋である。位置は図6-30-2に示す様に、宿毛市と中村市の境界に近い山地部の小河川に架設されている。（図6-30-1及び写真6-35参照）

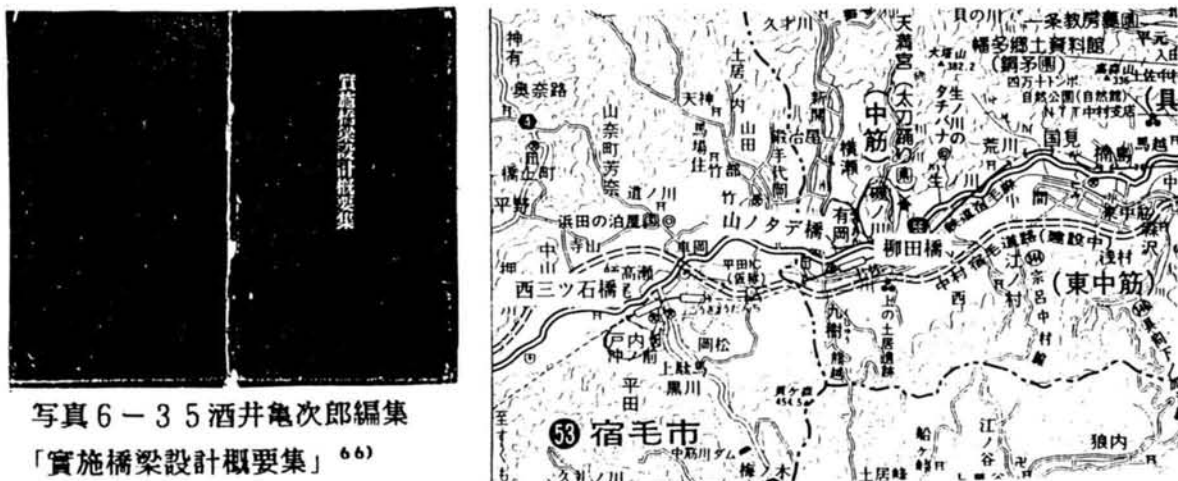


図6-30-1 県道中村宿毛線、柳田橋他2橋位置図（現在地図）

明治四十四年度 施工
柳田橋（元飯定縣道宿毛線）中村 宿毛線
山ノタデ橋（全 上）全 上
西三ツ石橋（全 上）全 上

設計者第四工區出張所主幹 三宮幸得（増多支藤）
幅多郡中筋村磯ノ川 長 1.3 幅 12.0
全 郡 全 村 有 曲 長 1.4 幅 12.0
全 郡 平 田 村 戸 内 長 1.4 幅 12.0

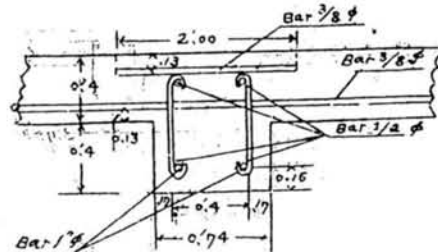
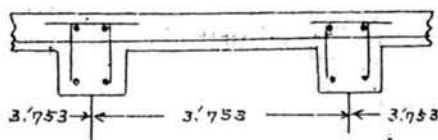


図6-30-2 柳田橋、山ノタデ橋、西三ツ石橋構造図⁶⁶⁾

設計者は三宮幸得となっており、現場監督は土木工手中平益次の下で若手の酒井亀次郎が担当している。設計図を見るとT桁であり、床版鉄筋は径9mmが下縁側だけが連続しており、上縁側では約61cmの短い直線鉄筋が主桁直上部に配置されている。主桁は

中心間隔1. 14 m、桁高24 cm桁幅23 cm、主鉄筋25 mm 2本である。肋筋はU字型出なく、上下に鉤形を付けた垂直線状である。（図6-30-2参照）

どの様な設計になっているか不明であるが、欧米の模倣でない独自の設計となっているが、当時の地方道路交通ではこれで通用したと見られる。

施工については上記の著書の中で「何と申しましても県下初めての工法で有り、私共は果たして是れが荷重に耐え得るものやら半信半疑の中で施行しましたが、因より作業に於きまして、特に細心の注意を払い鉄筋の如きも「ペーパー」を使用し、一々光沢の出るまで錆を落し、配筋迄の錆止めとして油を塗布し、砂利、洗砂の如きも四万十川より採取し来りたるものを更に現場に於て濁の去るまで洗滌し、付近路上に蓆を敷き覆を為し、型枠、鉄筋、水加減、練合程度等、一々監督と共に現場に付切で…」と県の最初の鉄筋コンクリート橋の施工状況を回顧している。⁶⁶⁾

次いで大正4（1915）年3月に高知高松線の吾川郡伊野町に狭間橋、更に津路室戸線の津路村の山間地に大谷橋外3橋が竣工している。⁶⁵⁾ 橋の規模は示されていないが、地方道改修に伴う小規模橋と見られ、早くから鉄筋コンクリート橋が架設されている。

大正5（1916）年3月には高松山線の高知市内の鏡川に鉄筋コンクリート橋の鏡川橋（橋長22.6 m、幅員4.5 m、支間10.8 m）が完成して当時の長大鉄筋コンクリート橋として有名になった。⁶⁵⁾ 高知県統計書によれば大正5年には早くも鉄筋コンクリート橋数が18橋にも上っている。⁶⁷⁾

（15）山梨県 — 猿橋水路橋（東京電灯）

日本での水力発電の総出力は、明治40（1907）年には火力発電のそれを越えて、水力発電が日本の電力の主力を成していた。⁴⁸⁾ 明治末期に東京電灯K. K. は山梨県の桂川水系の水力発電の開発に着手し、明治42（1909）年には駒橋に第一発電所（出力15000 KW）を完成させ、引続いて第二発電所（35000 KW）をハツ沢に建設している。猿橋水路橋はその導水路の第一水路橋であり、メラン式の鉄筋コンクリート固定アーチ橋上に水路を建設した特殊な構造である。明治44（1911）年5月に起工して、翌年4月に竣工して6月から供用している。土木学会誌には神原信一郎により詳細な報告がなされているが、⁶⁸⁾「明治工業史、土木編」にも特殊工事として、概要が特別に記録されている。⁶⁹⁾ 本橋の概要と特徴を述べると次の通り。

1) 橋の計画

本橋は桂川の急峻な渓谷に架設され、導水路の水面と河川の高水位との差は8.2 mと言う狭い空間に、導水路と橋梁を架する必要があつた。鋼板桁上の水路鉄管、鋼トラス橋上の水路鉄管、鉄筋混凝土拱橋上に鉄筋混凝土樋を上載する構造の3案が比較検討された結果、第三案が採用された。⁶⁸⁾ 当時の最新技術である鉄筋コンクリート技術を使用した構造が、施工上は最も困難であるが、維持管理上から優れている点が評価されたものと考えられる。

2) 構造上の特徴

a) 橋長82.7 m拱矢3.64 m拱矢比1/9、水路幅5.45 m、上路式開側鉄筋コンクリート固定アーチ橋であり、写真6-36-1及び-2に示す。（写真6-36参照）

前述の通り、導水路面と洪水位面との高低差が8.2 mであり、導水路及び橋梁とその

圖計設橋水道水(橋猿)一第造土凝混筋鐵

圖透構般一一其

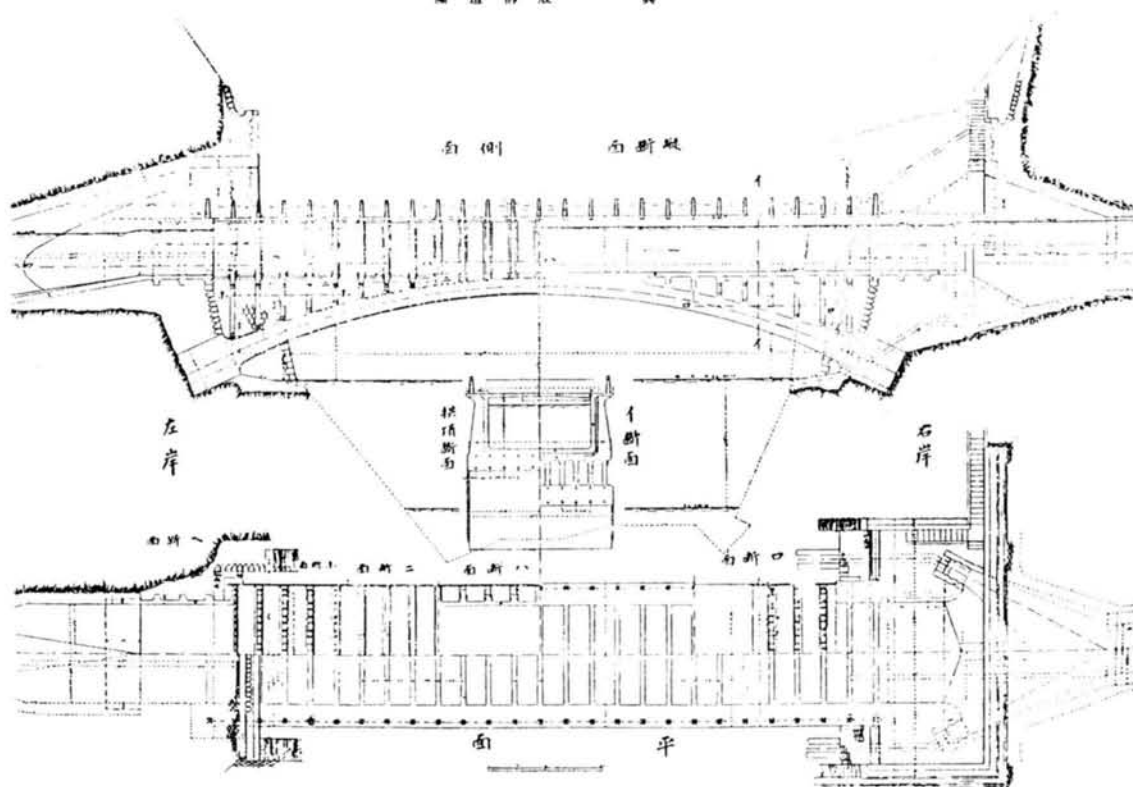


図6-31-1 東京電灯、猿橋水道橋、一般図⁶⁸⁾

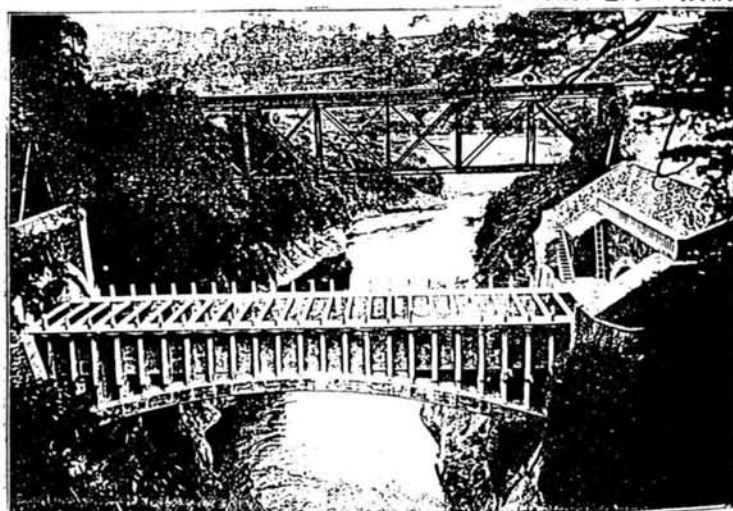


写真6-36-1 山梨県、東京電灯、⁶⁸⁾

猿橋水道橋完成時全景 (明治45年4月)

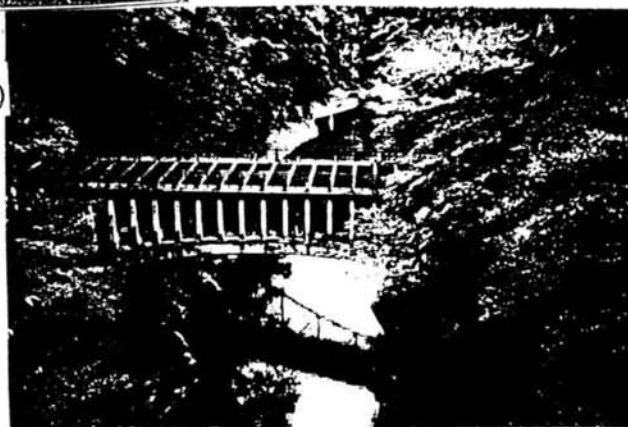


写真6-36-2 猿橋水道橋、現況 (平成9年11月筆者撮影)

圖計設橋道水(橋猿)一第造土凝混筋鐵

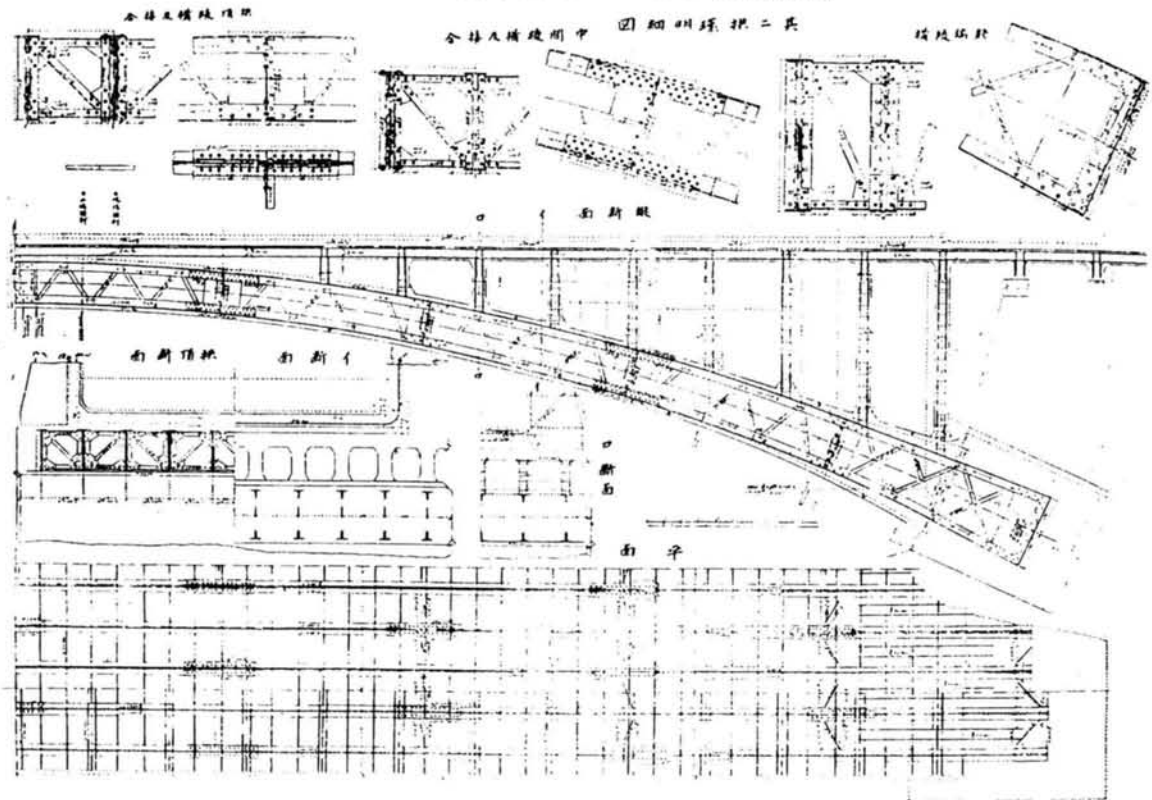


図6-31-2 東京電灯、猿橋水道橋、拱環鉄骨構造図⁶⁸⁾

圖計設橋道水(橋猿)一第造土凝混筋鐵

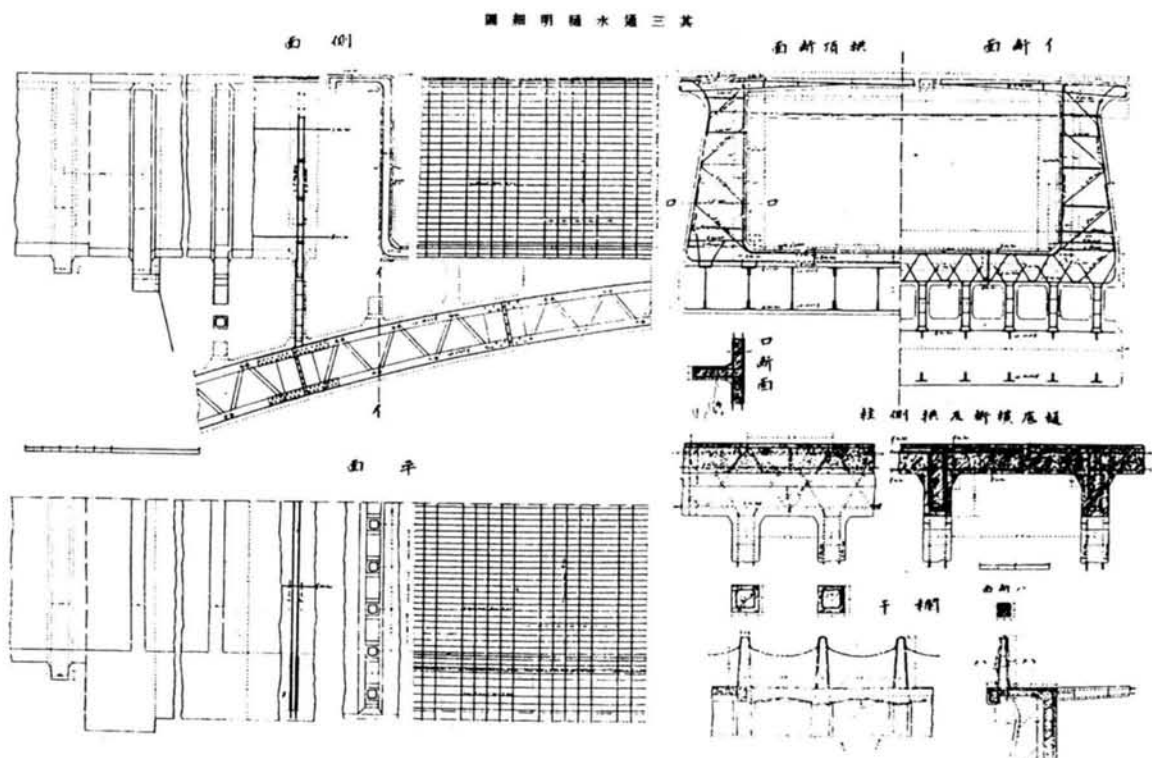


図6-31-3 東京電灯、猿橋水道橋、水路樋及び支柱部配筋図⁶⁸⁾

施工空間を確保する必要があつた。そのため日本では非常に偏平な拱橋となり、アーチ環には鉄骨を入れたメラン式が、水路樋版には格子状に鉄筋を入れたモニエ式が、更に横桁と水路扶壁の連結桁には、鉄筋を折曲げたアンネビツク式に類似したW字型の鉄筋配置方式が採用された。(図6-31-2及び-3参照)

b) 拱軸線の形状として応力計算上から放物線が使用されているが、施工上から拱背線、拱腹線ともに近似的な円弧の復円を採用している。拱環の厚さは拱頂で91cm、拱基点で1.21mとなる円弧としている。

拱環の鉄骨は「かぶり」7.6cmの一定とし、拱背線側、拱腹線側とも同心円をなしている。拱環の鉄骨は山形鉄4本をH形にブレースングで結合した部材が、75cm間隔で10条並列しており、鉄骨の横縁構で連結されて全体的に格子構造となつている。(図6-31-2参照) 拱環には径間の720分の1に当たる4.55cmの上反り(Camber)が付けられた。

c) 水路樋長方形水路で側壁は扶壁式構造を成し、扶壁部はアーチ支柱位置の横桁が外側に突出して支えている。(図6-31-5参照) 水路樋壁厚は内面のモルタルを合わせて厚さ27.3cmで、深さ3.03m幅5.45m長42.72mであつた。

3) 設計上の特徴

a) 設計は広井勇及び柴田睦作の著書⁷⁰⁾を参考にして詳細に実施している。

従来小規模アーチ橋では図解法によると推定される設計が多かつたが、当時の最新構造解析理論であつた「最小仕事の原理」を使用した本格的なアーチ橋の設計であつた。

b) アーチ橋の温度変化に対応した拱環の形状変化が生ずるが、それぞれにより生ずる応力は変化して平衡を保つものと考えている。実際には拱環温度変化による変形は微少と考えて応力計算は実施していない。ただし樋構造は連続桁として温度変化の影響を加算している。

c) 使用したコンクリートは拱環では2:3:6の配合比であり、その他の上部構造部分では1:2:4の配合比のコンクリートを使用しているが、全体として通常よりも富配合のコンクリートである。鉄材としては軟鋼を使用し、鉄とコンクリートの弾性係数比は $n = 13$ を使用して計算している。

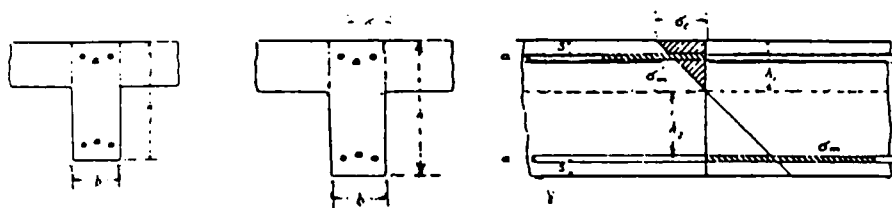


図6-31-4 樋壁部扶壁の設計説明図⁶⁸⁾

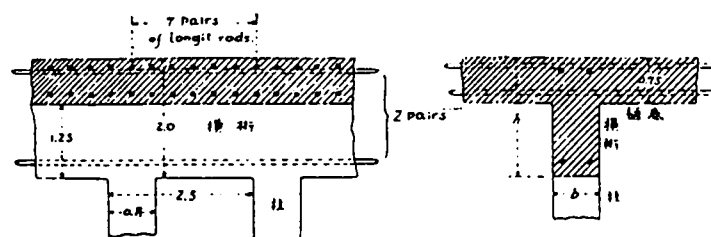


図6-31-5 樋底及び横桁の連続桁としての設計説明図⁶⁸⁾

d) 断面応力計算は応張力を零とする当時の一般的計算法によつており、応圧力のみ生ずる場合と、応圧力と応張力を生ずる場合に分けて計算している。

e) 拱環は必要鉄筋量は特別の計算式により求め、これを鉄骨断面に置換えている。鉄骨は山形鉄4本を縦構で連結して、I形に形成して使用している。鉄骨の形成は全強に相当する本数で鋸結している。(図6-31-2参照)

f) 水路樋の底版の橋軸方向及びアーチ上弦材横桁の設計は、連続桁として三連モーメント定理により解析している。部材断面は版とT桁であるが、温度変化に対応した熱応力度を加算している。これ等のせん断応力に対応しては、アンネビック式で帯鉄をU字形に曲げて、スターラップとして使用している。特に横桁と樋扶壁との連結には、波形鉄筋や、斜筋で補強している。(図6-31-3及び5参照)

3) 施工上の特徴

a) 拱環はメラン式であり鉄骨を使用しているが、径間24.5mの木鉄混用構拱橋の支保工を設置してしており、アーチ・セントルとの間には、補助足場が設けられた。河川の中には支柱を立てない条件のためである。(写真6-37-1参照) 木鉄混用構拱橋は拱矢4.5m、拱頂部材高2.73mで、7対のアーチ形トラス構造を組み立てて形成されている。上下の部材は尺角の松材を使用しており、その圧縮強度は、56.3~91.4kg/cm²であつた。この支保工の形は支保工の技術の發達した欧米では普通であるが、日本では例のない形であり、欧米の例に範を取ったと考えられる。(図6-32-1及び2参照)

図計設橋道水(橋猿)一第造土凝混筋鉄

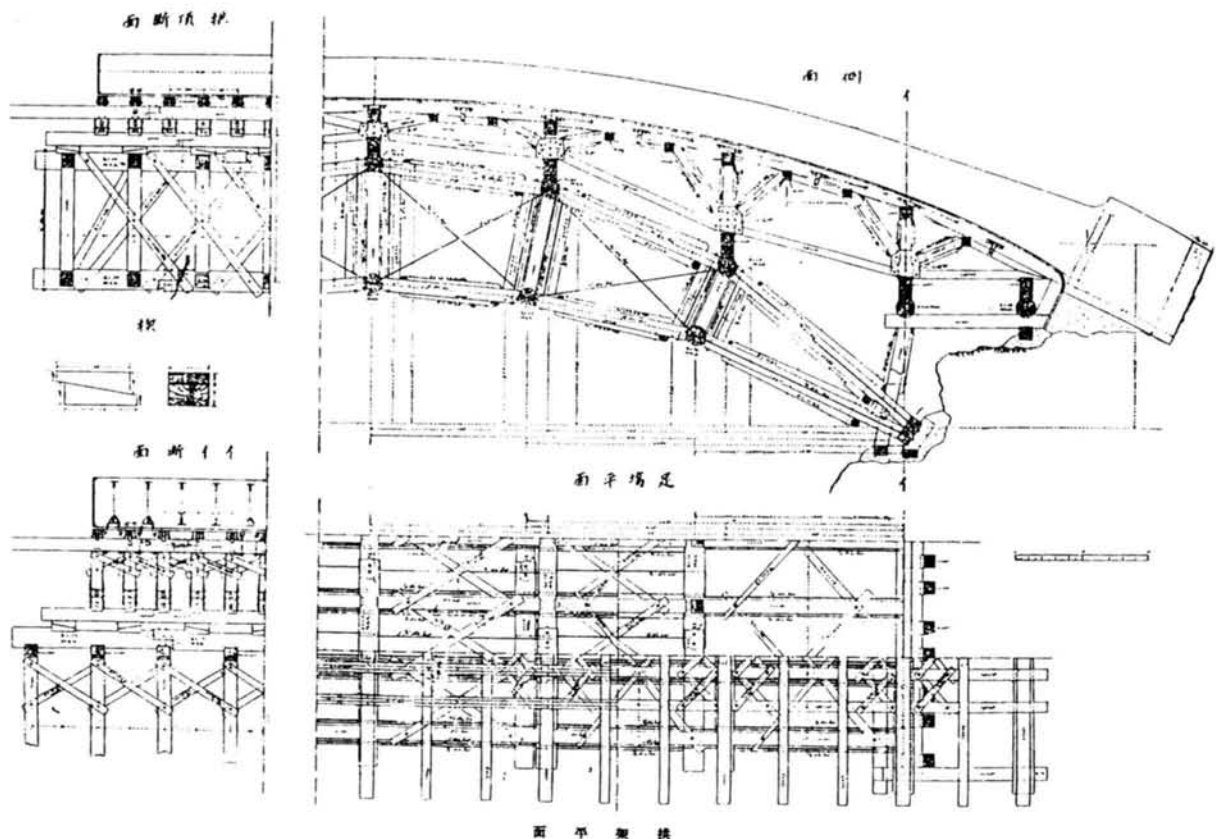


図6-32-1 拱架及び足場構造図⁶⁸⁾

圖計設橋道水(橋猿)一第造土凝混筋鐵

圖造+構假部上八其

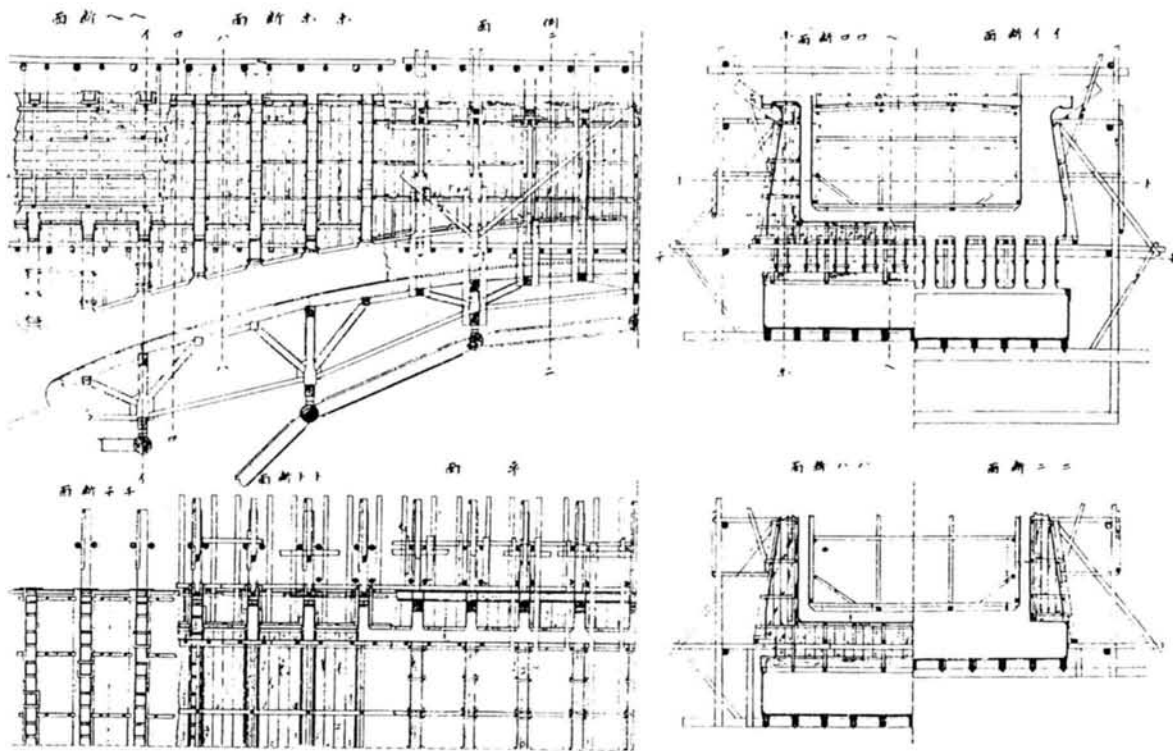


図6-32-2水路樋及び横桁、支柱部の施工図⁶⁸⁾

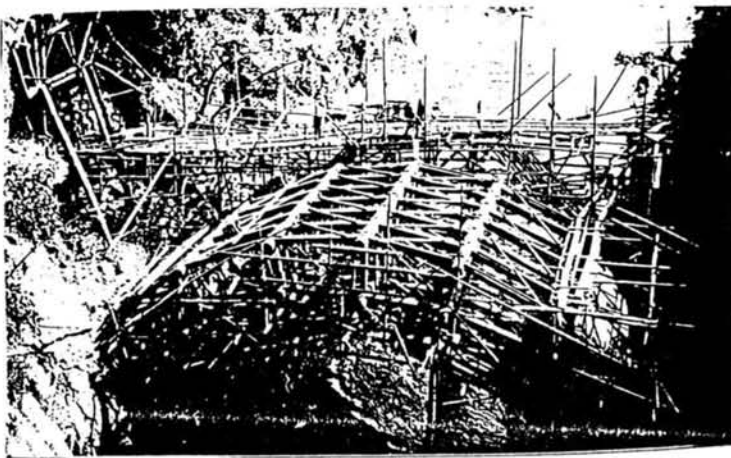


写真6-37-1猿橋水道橋、桂川上に拱架を架設中⁶⁸⁾

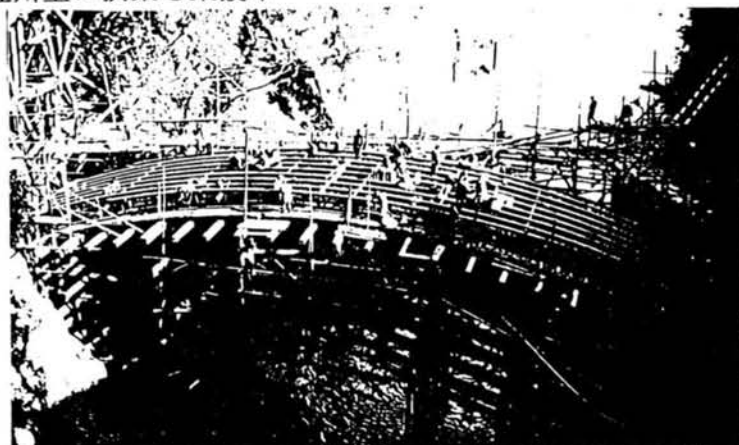


写真6-37-2猿橋水道橋、拱環鉄骨の架設中⁶⁸⁾

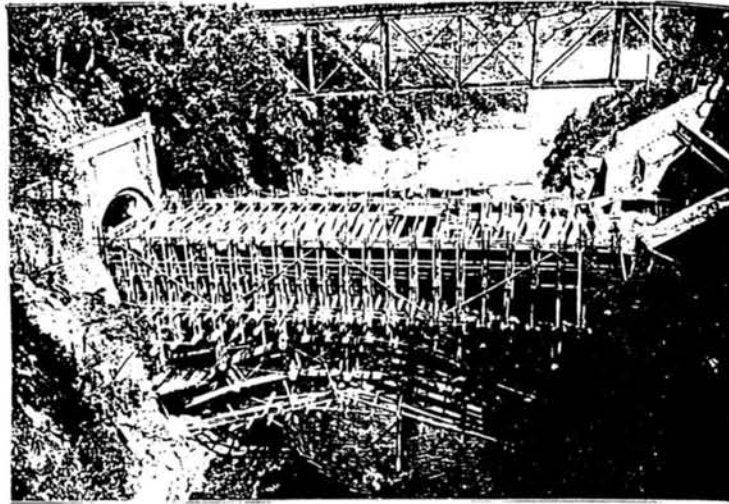


写真 6-37-3 猿橋水道橋、水路樋部の施工中⁶⁸⁾

b) 拱架（アーチ・セントル）は拱環の下面の形を形成し、施工中の荷重を支保工に伝える重要な役割があり、支柱や楔で高さの調整が行われた。（写真 6-37-2 及び 3））

猿橋水路橋工事は水路式水力発電工事でも特殊な条件での工事であり、鉄筋コンクリートアーチ橋としての当時の代表的な橋梁であつた。広井勇は土木学会誌上で「本工事ノ設計及施設ハ其範ヲ最新ノ方法ニ則リ、而モ注意周到ニシテ殆ト間然スル所ナキガ如シ。」⁷¹⁾と述べており、疑問点として6点上げているが、特に「混凝土ヲ継ギ足スニ單ニ既設部ノ面ヲ洗フノミニテハ不充分ナリトスル場合ナキヤ」としている。

（16）外地（台湾、朝鮮及び関東州）

我国が明治末期に支配していた台湾、朝鮮及び関東州（遼東半島）においても、建設工事が、活潑に行はれていた。鉄筋コンクリート構造等の新工法は、むしろ各種制約の少ない外地の方が早くから採用されていた事は、十川嘉太郎の回顧録等で窺える。²¹⁾

1) 関東州 — 日本橋 — 常盤橋

関東州での鉄筋コンクリート構造の採用は、資料によれば旅順の関東都督府の高等及び地方法院庁舎の車寄及び内部階段構造への採用が、明治40（1907）年の完成で初めてと言われる。⁷²⁾

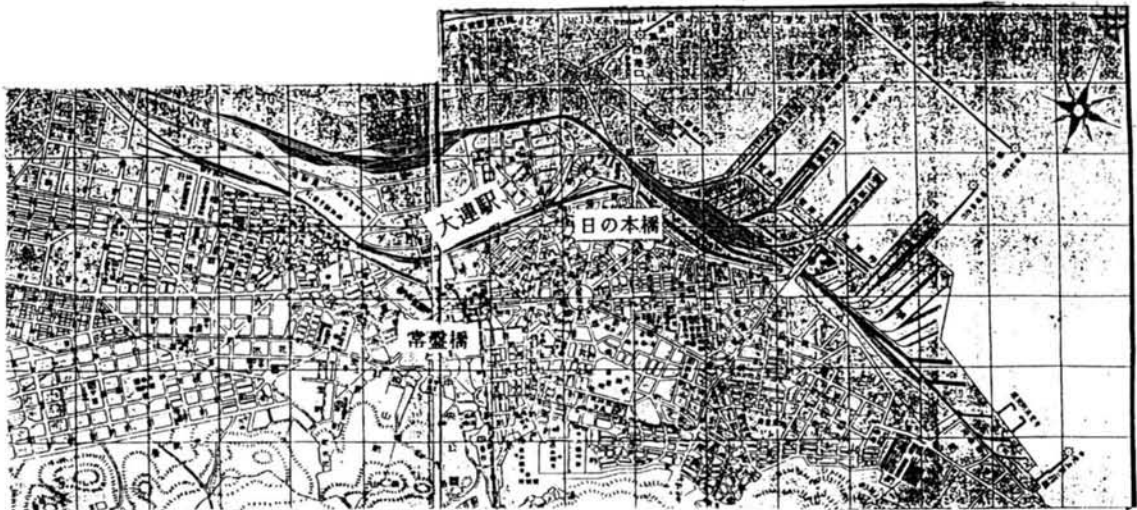


図 6-33 大連市街図、部分図（日の本橋及び常盤橋位置図）⁷⁴⁾

橋梁では資料によれば、大連市の旧ロシア町と新市街とを結ぶ道路が、大連駅と港駅との間の鉄道を越える地点に、日本（ひのもと）橋が明治40（1907）年に起工し、翌年3月に竣工している。⁷³⁾（図6-33参照）橋梁形式はメラン式鉄骨コンクリートアーチ橋であり、橋長96.9m幅員16.4m高さ9.09m、最大径間23mの5径間連続構造である。外観は写真6-38に示す通り、当時としては巨大な鉄筋コンクリートアーチ橋であり、自然石で外装した当時の欧米風の華麗な意匠を施しており現存している。⁷⁴⁾ 資料によれば大田円三の設計としているが、⁸⁰⁾ 明治39（1906）年鉄道院の大河戸宗治（東京帝大土木科、明治35年卒）が、関東州庁よりこの橋の設計を依頼され57mのメラン式アーチ橋を設計したが欧米留学となり、太田円三（東京帝大土木科、明治37年卒）が後を引き継ぎ変更設計をしたと見られる。⁷⁵⁾（写真6-38参照）

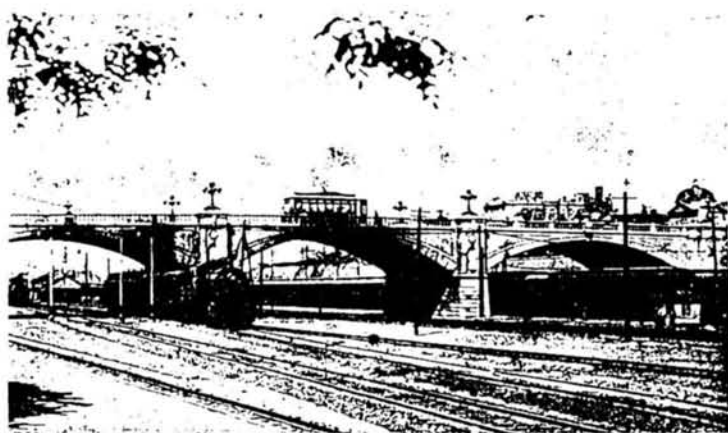


写真6-38-1 大連市、日の本橋（明治41年3月竣工）⁷⁴⁾

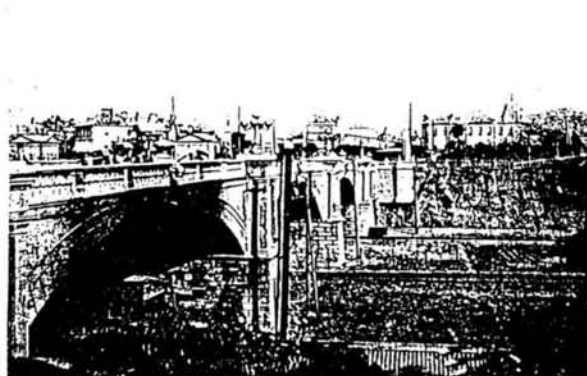


写真6-38-2 大連市、日の本橋（大連名勝写真帖、東京堂、大正13年）

その他大連市では沙河口街道がダルニー（大連）川を渡る地点に、明治42（1909）年7月に常盤橋が竣工している。橋長22.7m幅員11.2m高さ6.7m、大連市の繁華街に架設された、当時の欧米化の風潮を示す華麗な意匠である。⁷⁴⁾（写真6-39参照）当初関東都督府の置かれた旅順でも鉄筋コンクリート橋が架設された記録があり、こちらの方が先に架設された可能性が高いが詳細は不明である。

3) 台湾

台湾総督府には明治末期に十川嘉太郎（札幌農学校工学科、明治25年卒）が在職し、早くから鉄筋コンクリート構造を採用している。²¹⁾ 資料によれば公共利水として石碇溪の支流の景尾溪に鉄筋コンクリート水路橋が、明治42（1909）年に竣工と記されて

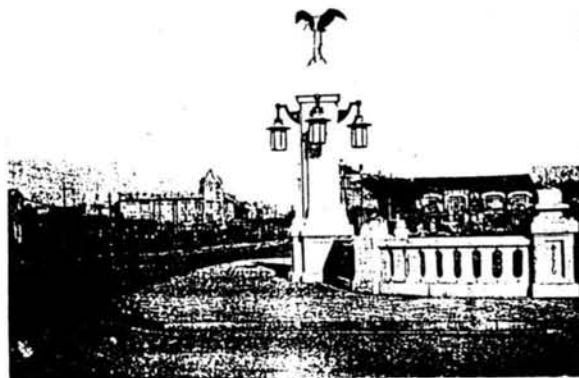


写真 6-38-3 大津市、常盤橋
(単径間 RC アーチ橋、明治 42 年 7 月竣工、大連名勝写真帖)

おり、十川嘉太郎の記録とも一致している。橋長は 91 m で、径間 9.09 m が 10 径間の水路橋の上面に歩道路が設けられている。⁷⁶⁾

また別の資料には、明治 43 (1910) 年 12 月に八仙取水堰堤工事で、木造水路橋を改築して鉄骨コンクリート水路橋を建設した記録が出ている。⁷⁷⁾ この他にも明治 44 年頃に鉄筋コンクリート水路橋が建設された記録がある。

(3) 朝鮮

朝鮮の道路についての資料によれば、鉄筋コンクリート橋としては、京城釜山線の第一安養橋が大正 12 年 6 月に、橋長 109.2 m 幅員 5.9 m で竣工したのが最初の様である。⁷⁸⁾ 他所と比較して余りにも遅いので、試験的に施工された鉄筋コンクリート橋の記録が失われていると見られる。なお、鉄道橋については不明である。

(16) その他の県の鉄筋コンクリート橋

ここでは資料が僅かで橋名だけが残っている県での資料不完全な橋に付いて述べる。

1) 新潟県 — 南田橋

明治期の新潟市は信濃川の西岸にあり、東西及び南北に 3 本の堀とその両側に道路が通っていた。中でも東堀川と西堀川は繁華街の古町通りに隣接しており、西堀通りは旧名を寺町通と言われ寺が連なり、堀には「寺一つ橋一つ」と言われて、多数の橋が架設されていた。明治元 (1868) 年新潟港開港と同時に英国領事館が西堀通りの勝楽寺内に設けられ、明治 14 (1881) 年には西堀通りに、イタリヤ人により西洋料理店の「イタリヤ軒」が開店して、文明開化期の新潟の象徴となつた。西堀通りには新潟郵便局も改築されて、この地域は新潟でも最も先進的な市街地であつた。⁷⁹⁾ 資料によれば、明治 41 (1908) 年に鉄筋コンクリート橋の「南田橋」が、橋長 4.5 m (径間 3.4 m) で架設された。その位置は特定出来ていない。⁴⁰⁾ (図 6-34 参照)

2) 大阪市 — 工匠橋。

資料によると、大阪市の最初の鉄筋コンクリート橋は、北区牛丸町 (旧梅田貨物駅付近) にあった大阪市立工業学校 (後の都島工業学校) の門前の水路に、明治 42 (1909) 年に架設された工匠橋である。⁸⁰⁾ 市土木部長の岩田成実 (東京帝大土木科、明治 32

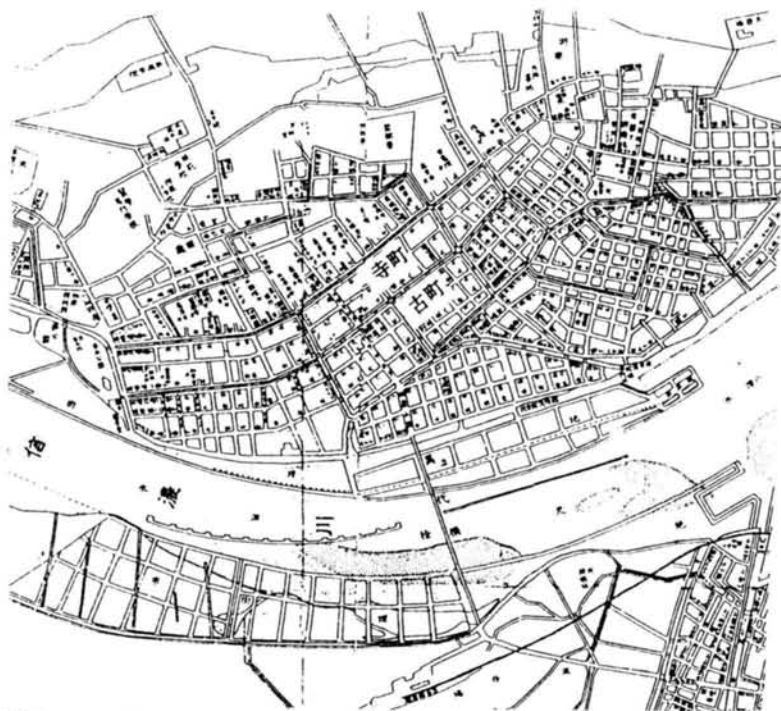


図6-34新潟市、市街部分図（大正7年5月作成、万松堂支店發行）

年卒）によると、坂田時和の担当であり、橋長3間（5.5m）幅2間半（4.6m）のスラブ橋であったと言う。⁸⁰⁾ 大阪市の土木課は明治42年4月に「鉄筋混凝土計算規定」を制定しており、⁸¹⁾ その最初の適用と見られるが、坂田時和は明治37（1904）年頃既に長崎港湾改良工事でコンクリート工事を経験しており、この橋の担当に選ばれたと見られる。

3) 福井県（加賀口橋）

「福井県史」によれば明治44（1911）年北陸街道筋で、福井県で初めて「加賀口橋」を鉄筋コンクリート橋に改築したと記されている。⁸²⁾ 福井城の古図によると慶長年間福井城築城の際に、城北の北陸街道筋に加賀に備えて小河川の簀川を二重堀に改築して、



図6-35福井市、市街部分図（明治42年9月作成、福井市史）⁸²⁾

加賀口門と加賀口橋が設けられた。⁸³⁾現在の松本町二丁目付近と言われる。(図6-35参照)

明治に入り加賀口門も取払われ、堀も埋立てられて旧簸川に復し、北陸街道には加賀口橋が架けられたが、明治44年に鉄筋コンクリートの小橋に架替えられた。現在は暗渠化されており位置は不明であるが、加賀口門跡や簸川神社が残っている。

4) 千葉県 — 畑沢川橋

資料によると明治44(1911)年千葉県に「畑沢川橋」が、橋長10.8m幅員3.6mの鉄筋コンクリート橋として架設されている。⁴⁰⁾畑沢川は木更津市の南端部を流れる小河川であり、木更津から君津を経て館山に至る安房街道の橋を改築した際に、鉄筋コンクリート橋に架替られたものと見られる。⁸⁴⁾(図6-36参照)



図6-36 千葉県畑沢川橋、位置図(千葉県管内全図、部分図、明治27年発行、清水常次郎)

5) 滋賀県 — 京津線跨線橋

資料によれば、京都三条と滋賀県浜大津を結ぶ京津電気軌道の京津線を、大津市逢坂で国道1号線が跨ぐ跨線橋が、明治44(1911)年に竣工しが、橋長7.16mの鉄筋コンクリート橋であった。⁴⁰⁾現在は新設鋼橋に隣接して煉瓦で表装された旧橋台が残されてる。(写真6-39参照)

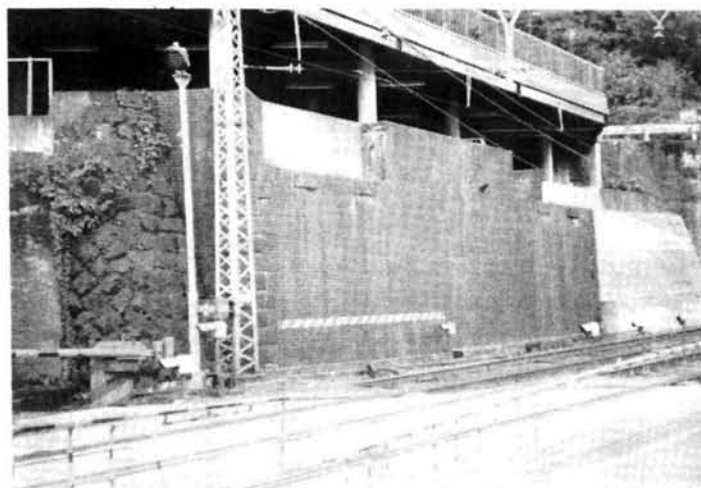


写真6-39 京津線逢坂跨線橋、旧橋台現況(平成12年 10月筆者撮影)

6) 松本 一つ橋、清水橋 (大正2年)

松本市史によれば、表6-10の通り明治42（1909）年に市の中心部を流れる女鳥羽川に一つ橋が架設されているが、橋材は混となっており、橋長は書かれていない。⁸⁶

(表6-10参照) 写真6-40によれば大正2(1913)年に松本市役所が、大手町の一つ橋の前に移設されたが、この直後の写真では橋体は木橋の様である。明治42(1910)年には橋台がコンクリート造りとなり、表が自然石張りとなされ、橋脚基礎がコンクリート造りとなったと見られる。(写真6-40-2及び表6-10参照)

大正2年には市役所移設後に橋長18.2mの2径間の鉄筋コンクリート橋に架替られたと見られる。(表6-10、写真6-40-3、図6-37参照)

また大正2年には同橋より約300m程上流の大手町と清水町の立会いに、清水橋が32.8mの鉄筋コンクリート橋として架替られている。市の城東地区の大手町と東部地区との交通の必要からと見られる。(表-10及び図6-37参照)

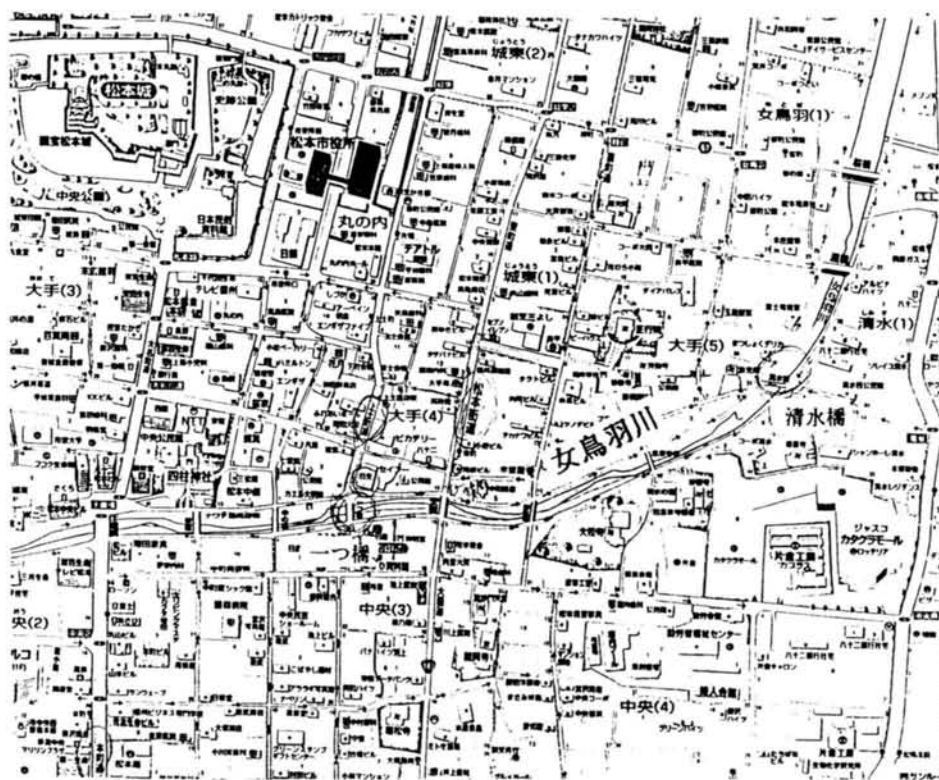


図6-37松本市中心部、部分図（現在図）一つ橋、清水橋、位置図

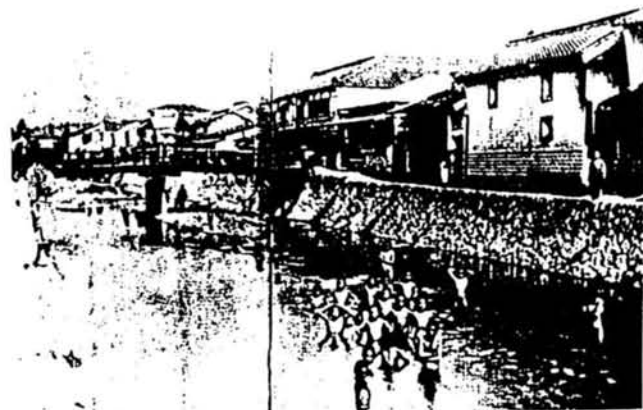
写真6-40-1 松本市一ツ橋（明治末期の状況）⁸⁷⁾

表 6-10 松本市道路橋梁、工事年表⁸⁶⁾

項目	單位	數量	單價	總價
一、材料費				
1. 鋼材	kg	1000	1.20	1200.00
2. 木材	m³	50	150.00	7500.00
3. 水泥	t	200	100.00	20000.00
4. 砂	m³	1000	10.00	10000.00
5. 石子	m³	1000	10.00	10000.00
6. 磚	1000块	1000	10.00	10000.00
7. 瓦	1000块	1000	10.00	10000.00
8. 石灰	t	100	10.00	1000.00
9. 砂漿	m³	1000	10.00	10000.00
10. 其他材料				
二、人工費				
1. 木工	工日	1000	10.00	10000.00
2. 瓦工	工日	1000	10.00	10000.00
3. 石工	工日	1000	10.00	10000.00
4. 油漆工	工日	1000	10.00	10000.00
5. 其他人工				
三、機械費				
1. 起重機	台班	100	100.00	10000.00
2. 打樁機	台班	100	100.00	10000.00
3. 其他機械				
四、其他費				
1. 臨時設施費				
2. 安全費				
3. 其他				
合計				



写真6-40-2 松本市役所前の一つ橋
(大正2年にRC橋に架替え)⁸⁷⁾



写真6-40-3 松本市一つ橋
(大正2年市役所移転完了直後、橋は木橋)⁸⁸⁾



写真 6-40-4 松本市一つ橋現況
(平成12年11月筆者撮影)



写真 6-41 松本市清水橋現況
(平成12年11月筆者撮影)

6. 2. 明治末期の鉄筋コンクリート橋上部工の纏めとその技術の考察

この様に我国も鉄筋コンクリート技術は、1903年頃からの欧米各国のこの技術の標準化としての規格制定の影響を受けて、明治36（1903）年頃から技術導入がはじまり、小規模の試験的橋梁から佐世保橋、広瀬橋、吉田橋、猿橋水道橋へ、更に四条及び七条大橋へと発展した。

技術上では欧米技術書を参考にしてモニエ式、アンネビツク式及びメラン式工法が多用され、実施に当たっては欧州規格を参考にして建設されたと見られる。最初は欧米技術の模倣的、試験的導入から、徐々に架設現場の条件に適合する形式が採用され、明治末には猿橋水道橋の様な高度の特殊技術により架設された橋や、京都鞍馬の市原橋や二之瀬橋の様に独自の考え方による鉄骨鉄筋コンクリート橋も架設された。京都の四条、七条大橋はこうした明治末期の鉄筋コンクリート橋技術の集大成と言えるであろう。明治末期には鉄筋コンクリート橋だけでも43橋と書かれているが、上記の橋は突出した優れた橋であり、多くは試験的な小橋でその差異は大きく、千葉県以西の西日本に多い様である。

以下地域別に各地の鉄筋コンクリート橋の特徴をまとめる。

(1) 各地での鉄筋コンクリート橋技術の導入と特色ある適用

1) 京都は早くからこの技術が導入され、田辺朔郎の指導と、井上秀二や、原田碧等の技術者達の活躍により、技術が發展して行った。丁度京都府市の都市近代化の事業と重なり、この技術が大幅に採用されて發展には効果的であった。

特徴ある橋梁はメラン式の一連のアーチ系の橋であり、それ等を代表する橋は拱環だけでなく、支柱や床組まで鉄骨構造を採用し、それ等をコンクリートで包む考え方を取り、床版だけに鉄筋コンクリート構造を採用した市原橋である。この考え方は二之瀬橋の鉄骨鉄筋コンクリート・トラス橋まで一貫して引継がれていて、欧米にも例が無い様である。

またI字形鉄桁を並列して床版にモニエ・アーチスラブを採用し、アーチ部に薄鉄板の型枠を使用して鉄筋橋と呼ばれていた橋は、欧米の建築用スラブの応用であるが、京都独自のものである。

橋軸方向にアーチ環を取ったメラン式アーチスラブも、京都三大事業で電車軌道部の橋梁に採用されているが、耐荷力の大きいアーチスラブを中路式鋼板桁と組み合わせて、構造高さを低下させるため有効に使用している。

京都市三大事業は京都市の近代都市化に大きな役割をはたしたが、鉄筋コンクリート技術が大幅に導入されており、鉄鋼橋への各種新式床版の導入、各種鉄筋コンクリート橋の採用、特に四条、七条大橋での鉄筋コンクリートアーチ橋の架設は、我国のこの技術の發展に重要な役割を果たし、欧米の技術水準に近づくまでになった。

2) 東京市も明治36(1903)年には堀之内橋を架設しており、技術力は充分あったが、その後は鋼橋の方に関心が移って下水路等の小橋梁のみが架設されており、技術の發展が無かった。東京市では大正3(1914)年の鍛冶橋架設まで、見るべき鉄筋コンクリート橋は架設されていない。

3) 長崎市の第二期港湾改良工事で、星野一太郎や原田碧等が新地橋を架設し引続いて佐世保橋を架設した。これ等は港湾工事でのコンクリート・ブロックに仏国の海工用セメント略称「ショウ」と蒸気ミキサーとを輸入し、併せて鉄筋コンクリート橋技術を学んで、實際に応用して佐世保橋等の鉄筋コンクリート橋を架設した功績は大きい。

長崎市は海岸に近く鉄橋の腐蝕が早く、基礎地盤が良好で、急流小河川には鉄筋コンクリート橋の架設に適した条件の地点が多い。更に欧米文化の導入の實績も多く、進取的な土地柄でコンクリートの技術も早くから導入されていた。原田碧や坂田時和等のコンクリート技術も、明治末期以後京都や大阪で開花した様である。

4) 神戸市も開港場として早くから欧米技術の導入の實績もある所であり、洋式道路舗装や布引コンクリート堰堤も建設された。無筋コンクリートアーチ橋の山の後橋は明治32(1899)年に架設されており、鉄筋コンクリート技術は早くから有していたと見られるが、やや遅れて明治39(1906)年に鉄筋コンクリート橋の長狭橋が竣工した。

5) 横浜市は我国最初の開港場であり日本最初の技術が多い。吉田橋は当時の日本を代表する橋として架設されており、石橋絢彦は各種の新技术の導入を試みている。鉄筋のカーンシステムの採用もその一つであるが、コンクリートに関する各種の試験や、コンクリートの現場管理試験を不十分ではあるが試みており貴重な實績であった。橋の造形も近代都市景観を考慮したものであるが、当時の我国の最新の風潮を表現したものであろう。

6) 仙台市の広瀬橋は宮城県土木課長杉野茂吉が、広井勇の指導で英国のHULL橋を参考として、旧橋の橋脚を利用して架設した当時最大の鉄筋コンクリート橋である。その技術は県として継承されておらず、その後しばらくは鉄筋コンクリート橋は架設されていない事は宮城県の統計書に表れている。

7) 猿橋水道橋は厳しい現地の設計条件を高度の技術で克服した実例であり、欧米の技術書を読破しただけでは出来ない特殊の構造物である。現場施工と構造設計技術の総合された合理的なアーチ構造であり、我国の橋梁技術が欧米の技術水準に可成近ずいた成果であると言える。

8) 石川県の石川橋は金沢市を代表する位置に設けられているが、我国の地方にも優れた技術者が活躍していた事を示した例である。詳しい工事記録は残っていない様であるが、金沢大学の鳥居教授等の研究で、旧橋の詳しい学術調査が行なわれ多くの貴重な資料が得られた意義はおおきい。その後の石川県のこの技術の発展に役立っているのが分かる。

9) 高知県の県道中村宿毛線で明治44(1911)年3橋の鉄筋コンクリートT桁橋が架設されている。残された概要図を見ると、曲げを主眼とした独自の配筋をしており、設計者は独自の考え方をしているのが窺えるが、詳細は不明である。明治末期には京都、長崎と共に鉄筋コンクリート橋の最も多い県であった。

10) 熊本県の鉄筋コンクリート橋の採用は、明治42(1909)年の天神橋が最初であるが、大正初期に入ると多くの鉄筋コンクリート橋を架設している。河川の高水敷に小径間の鉄筋コンクリート橋を採用し、低水路には長径間の木鉄混用ハウトラス橋を採用している。下部工軀体には河川の出水に備えて鉄筋コンクリート構造を採用している。

11) 東京電灯は明治45年に山梨県の桂川に猿橋水道橋を完成させた。比較案3案の中から最も高度の技術を要する「メラン式鉄筋コンクリート開側アーチ橋」を採用し、水路路高と河川高水位の差が小さく、ライズ比1/9の偏平アーチを架設した。設計及び特殊の木鉄混用構拱橋支保工等欧米の技術を導入して、当時我国ではこの分野では最高の技術で欧米の技術水準に近ずけた。

12) その他各県で明治末期に鉄筋コンクリート橋を採用しているのが見受けられるが、資料が残っておらず詳細は不明である。しかし、地方でも可成の数の鉄筋コンクリート橋が試験的に架設されており、大正期に入って以後のこの技術の急速な普及と発展の基礎をなしていると見られる。

(2) 我国鉄筋コンクリート橋の当時の状況から見た技術レベル

我国鉄筋コンクリート技術は明治36(1903)年頃から国策として導入の必要が主張されたが、欧米でのこの技術の混乱が納まり、各国暫定的規定の制定と略同時期に導入された。当初は欧米のこの技術の模倣か、その現地条件での応用が主流であったが、担当技術者が学んだ独仏系や米国系の技術に従って設計、施工されていた。欧米とは大きな技術差があるので、責任技術者の判断で、自己の責任において設計及び施工をしていた。

しかし、欧米の様な多様な工法が開発されて、競争して適用される状況ではなく、主としてモニエ式、アンネビツク式、とアーチ構造にメラン式が採用されていた。明治44(1911)年頃に吉田橋が米国のカーンシステムを採用してから、この工法が横浜等では多く採用されたが、土木関係での採用は少ない。我国では欧米での技術的経験に学んで、

表 6－1 1 明治末期及び大正初期の鉄筋コンクリート橋の工法別一覧表

工 法 種 別	橋梁形式	橋 名 (明治末期)	橋 名 (大正初期)
モニエ式	桁又はスラブ	長狭橋 (M 3 9)	一之橋川暗渠 (T 2)
	アーチ	布引水源分水堰堤付属橋 (M 3 9) 石川橋 (M 4 4)	四条及び七條大橋 (T2) 鍛冶橋 (T 3)
アンネビツ式	桁又はスラブ	柿小路橋及び材木町橋 (M 38) 広瀬橋 (M42) 佐世保橋 (M39) 溝谷橋 (M45)	徳成橋 (T 2)
メラニ式	桁又はスラブ	日の岡 1 1 号橋 (M 3 6) 7 号橋 (M 3 6)	
	アーチ 又は トラス	山の谷橋 (M37) 仏光寺橋 (M39) 六軒橋 (40) 梅香崎橋 (M40) 猿橋水道橋 (M45) 市原橋 (M45)	二之瀬橋 (T 3)
カーン式	アーチ	吉田橋 (M 4 4)	外瀬橋 (T 4)
鉄筋橋 (モニエ式床版) (メラニ式床版)	I 字鉄 桁 又は 鋼桁	高橋 (M43) 蓮心橋 (M44) 菅橋 (M44) 福稻橋 (M44) 御池橋 (M45) 墨染橋 (M45) 市原橋側径間 (M45)	丸太町橋軌道部 (T2) 東山線白川橋軌道部 今出川通小川橋軌道部

註：M；明治 T；大正

多数の中から実績の良い物を選んで採用しており、工法上での混乱は無かった様である。

表 6－1 1 は明治末期から大正 4（1915）年までに架設された工法の推定される鉄筋コンクリート橋の一覧表である。工法の分かる橋の数は多くはない。（表 6－1 1 参照）

橋梁形式では単純スラブや単純 T 桁が多く、次いで上路式アーチ橋が多く、構造的に複雑なものは採用されていない。未だ構造力学が発達していないためであるが、欧米の鉄筋コンクリート橋が規模は小さいが鋼橋の後を追う様にトラス橋、上下路アーチ橋、フィレンデュール橋等の多様な形式を競争して試みているのと比較すると、橋梁技術レベルの差は歴然としている様である。この事は F.von Emperger の著書⁸⁹⁾に示されている。

吉田橋、猿橋水道橋、四条及び七條大橋の先端のアーチ橋技術では、支間は小さく欧米の様な大支間の支保工技術が未熟ではあるが、一応欧米の技術に近い所まで行っていた様である。。一般の橋梁技術は試験的小規模橋が多く、まだ一般に普及するには至っていなかった。然し大正期に入ってから受容と普及には、こうした試験的な試みは有益であったと考えられる。

明治末期における我国の鉄筋コンクリート橋の形式毎の支間の変遷を纏めると、図 6－3 7 の様である。アーチ橋の径間の進歩に比べると、T 桁橋の進歩は遅い様である。

（図 6－3 7 参照）

（3）大正初期の各府県統計書に見る鉄筋コンクリート橋数の急激な増加

大正初期の西日本各府県の統計書には、実績の多い府県では鉄筋コンクリート橋数が示

図6-37 明治末期、我国鉄筋コンクリート橋の形式毎の支間の変遷

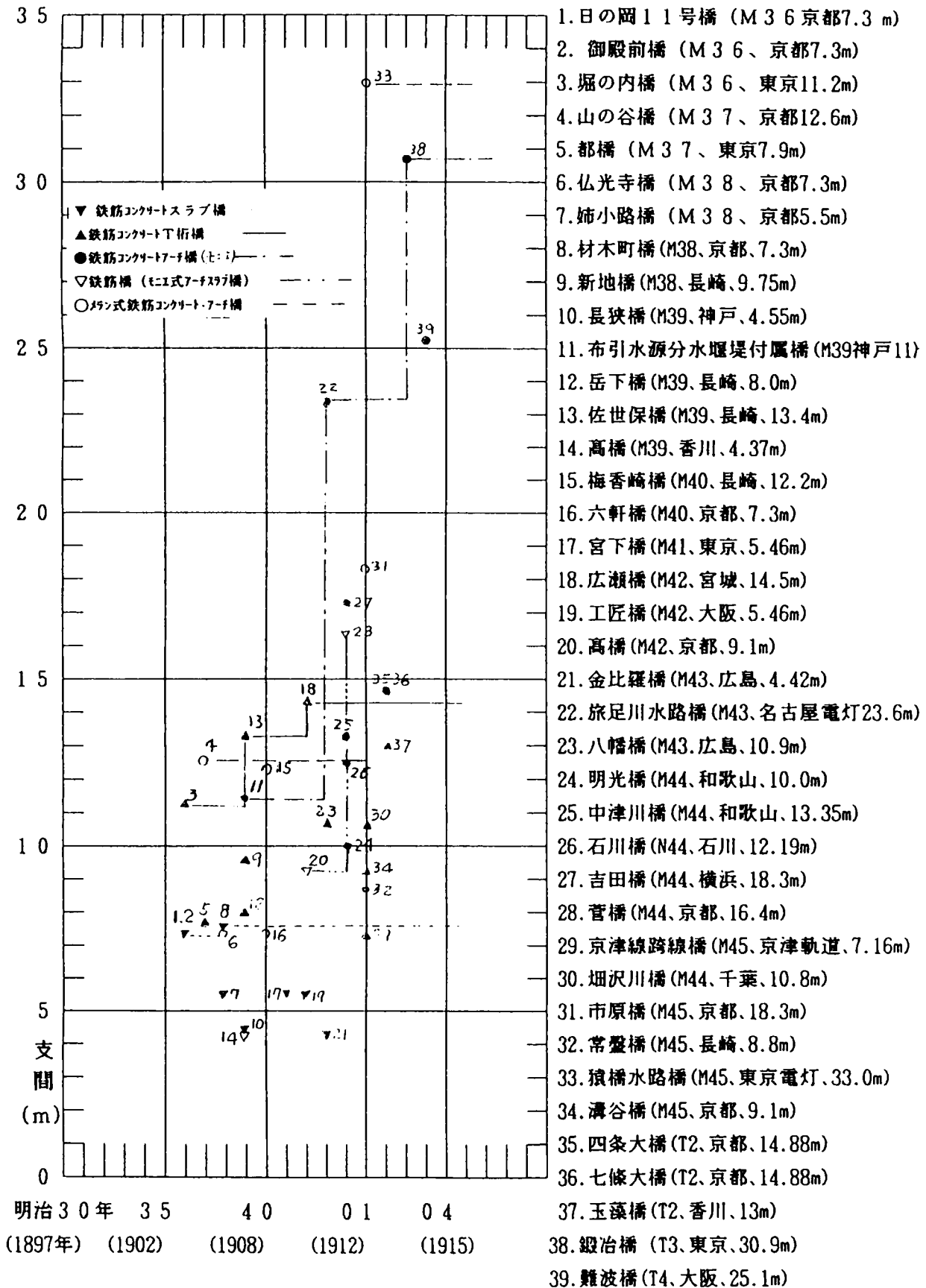


表 6-12-1 府県統計書による大正初期の鉄筋コンクリート橋数の変化

府県名	道路種別	大正2(1913)年		大正3(1914)年		大正4(1915)年		大正5(1916)年	
		1) 0	2) 0	1) 0	2) 0	1) 0	2) 0	1) 0	2) 0
兵庫 県	国 道	1) 0	2) 0	1) 0	2) 0	1) 0	2) 0	1) 0	2) 0
	府県道ほか	1	0	1	0	13	2	13	2
熊本 県	国 道	1	0	1	0	1	0	1	0
	府県道ほか	0	0	0	0	11	1	12	1
長崎 県	国 道	2	1	4	1	4	1	4	1
	府県道ほか	11	0	14	0	18	0	18	0
福岡 県	国 道	0	0	0	0	0	0	0	0
	府県道ほか	0	0	0	0	7	2	7	2
愛知 県	国 道	0	0	0	0	0	0	0	0
	府県道ほか	0	0	0	0	0	7	0	7
神奈川 県	国 道	0	0	0	0	3) —	3) —	0	0
	府県道ほか	0	1	0	1	3) —	3) —	13	1
高知 県	国 道	0	0	—	—	0	0	0	0
	府県道ほか	3	0	—	—	8	0	17	14)
千葉 県	国 道	0	0	0	0	0	0	—	—
	府県道ほか	1	0	1	0	8	0	—	—
滋賀 県	国 道	1	0	—	—	1	0	1	0
	府県道ほか	0	0	—	—	6	0	6	0

註

- 1) 橋長10間未満
- 2) 橋長10間以上30間未満
- 3) 資料なし
- 4) 鏡川橋

表 6-12-2 京都府及び京都市の統計書による明治末期の鉄筋コンクリート橋数の変化

	道路種別	明治43(1910)年		明治44(1911)年		大正元(1912)年		大正2(1913)年	
京都 府	国 道	1) 0	2) 0	1) 1	2) 0	1) 1	2) 0	3) —	3) —
	府道ほか	1	0	4	0	6	2	—	—
京都 市	市 道	16	0	17	0	25	0	—	—

表 6-12-3 東京市の大正初期の鉄筋コンクリート橋数の変化

	道路種別	大正2(1913)年		大正3(1914)年		大正4(1915)年		大正5(1916)年	
東京 市	市 道	1) 5	2) 0	1) 5	2) 0	1) 10	2) 0	3) —	3) —

されており、これ等を調査した所表6-12の様であった。(表6-12参照)

これを見ると府県による違いがあるが、多くの府県では大正4(1915)年又は5(1916)年から急激に架設数が増大しているのが分かる。京都市と長崎県はそれ以前に可成の橋が架設されていたが、この年から兵庫県、熊本県、神奈川県、高知県等で橋数の増大が顕著である。この理由として次の事が考えられる。

鉄道院は明治42(1909)年に大河戸宗治の「鉄筋混凝土設計施工示方書案」の作成を受けて、これを基に鉄筋コンクリート技術の規格の研究を進め、大正3(1914)年には「鉄筋混凝土橋梁設計心得」を制定した。これには鉄道と道路の立体交差のための公道橋の設計活荷重も定められていた。これに刺激された為か鉄筋コンクリート橋の実績の多い内務省でも、委員会を設けて調査研究を進めていたと見られる。

田上為巳の著書によれば、北九州市の遠賀川橋架設の監督者大浦政次から内務省の資料として「鉄筋混凝土橋梁仮取締規則」を受取り、これを適用してこの橋が設計及び施工された事を記録している。田上為巳は著書の中で大正8(1919)年に制定された「道路法」に基ずく「道路構造令」で、輾圧機(Road Roller)と呼ばれている車輛が、前記「仮取締規則」では路轆(ろろく)と書かれている事から、大正8年以前に作成された資料であり、大正5(1916)年頃の作成と推定している。⁹⁰⁾

明治19(1886)年に内務省令で定めた坪当たり400貫(453kg/m²)の設計活荷重は、明治末期の乗合自動車や乗合タクシーの走る都市交通としては時代遅れとなっていた。内務省の関連団体である「道路改良会」の発行する雑誌「道路の改良」でも、内務省の土木主任官会議(府県土木課長会議)での道路橋に関する規則が議論に取上げられているのが見られる。⁹¹⁾こうした事から大正4(1915)年の鉄筋コンクリート橋数の増大は、大正4年頃の土木主任官会議で内務省の方針として「鉄筋混凝土橋梁仮取締規則」が示され、各府県での暫定試行が始まったと見られる。ただし東京や大阪等の進んだ技術のある府県では、独自の考えで欧米の規格を適用していた様である。

参考文献-6

- 1) 日本工学会、田辺朔郎編「明治工業史、土木編」大正14年5月、昭和4年7月再版
- 2) 山根巖「明治末期における京都での鉄筋コンクリート橋」土木史研究N.20平成12年6月
- 3) 原田碧「実用鉄筋コンクリート構法」丸善株式会社、大正元年8月。大正2年改訂再版。
- 4) 昔のコンクリートを語る会「昔のコンクリート」セメント・コンクリート叢書第24巻、日本ポルトランド・セメント同業会、昭和11年10月。
- 5) 京都府「京都府橋梁写真帖」大正4年と推定。(京都府誌と同時期出版)
- 6) R.Saliger「BAU AUSFÜHRUNGEN AUS DEN HOCHBAU UND BAUGESETZE」HANDBUCH FÜR EISENBETON BAU IN VIER BÄNDEN, WILHELM ERNST & SOHN 1909
- 7) 武田五一「鉄筋コンクリート構造の發達を顧みて」セメント輯報321号、昭和9年12月。
- 8) 比日忠彦「鉄筋混凝土講話」弘道館、大正2年7月。
- 9) 比日忠彦「鉄筋混凝土の理論とその応用」丸善株式会社、大正5年1月。
- 10) 京都府「京都府誌(下)」大正4年10月。
- 11) 内務省土木試験所「本邦道路橋輯覧(第1輯)」大正14年12月。
- 12) 京都市役所「京都 三大事業誌、道路建築編譜図」大正3年3月。

- 13) 柴田睦作「新設の京都四條及び七條大橋」土木建築工学第1巻2号、大正3年2月
- 14) 松倉新太郎「京の四條大橋三代記」土木技術第3巻1号、昭和17年1月。
- 15) 平山復二郎「四條の大橋」土木工学第4巻10号、昭和10年10月。
- 16) 伊東孝「東京の橋」鹿島出版会、昭和61年9月。
- 17) 靄園「過去二十五年間のコンクリート橋の進展」日本ボルトランド・セメント同業会、セメント界輯報第321号、昭和9年12月。
- 18) 樺島正義「鍛冶橋」土木建築工学1巻1号、9頁、大正3年5月。
- 19) 樺島正義「鍛冶橋」土木学会、土木学会誌1巻3号、813頁、大正4年6月。
- 20) 山根巖「明治末期における長崎での鉄筋コンクリート橋」土木史研究NO.19、1999.6.
- 21) 十川嘉太郎「鉄筋コンクリートの思ひ出」土木建築画報第129号、昭和10年12月。
- 22) 東島権次郎「長崎港湾改良工事監督復命書」長崎県内務部二課、明治35年8月。
- 23) 原田碧「実用鉄筋コンクリート構法」丸善株式会社、大正元年8月。
- 24) 長崎市役所総務部調査統計課「長崎市制六十五年史（後編）」昭和31年3月。
- 25) 佐世保市役所「佐世保市史（産業経済編）」1957年。
- 26) 神戸市役所「第二回神戸市統計書」（明治39年）明治41年12月。
- 27) 神戸市役所「明治四十四年神戸市統計書」大正2年7月。
- 28) 神戸市役所「神戸市水害誌」昭和14年7月。
- 29) 近畿地方建設局、六甲砂防工事事務所「六甲三十年史」昭和49年3月。
- 30) 神戸市役所「神戸市水道誌」明治43年7月。
- 31) 神戸市水道局「神戸市水道拡張誌」上巻、大正11年5月。
- 32) 水野広之進「神戸市水道布引水源貯水堰堤」工学会誌206巻、明治32年3月。
- 33) 神戸市役所「神戸市水道七十年史」182頁、昭和43年4月。
- 34) 日本工学会「明治工業史、土木編」48頁、大正14年5月。
- 35) 代表竹内理三「角川日本地名大辞典、香川県」角川書店、615頁、昭和63年10月
- 36) 高松市史編修室「高松市史年表」高松市役所、237頁、昭和35年2月。
- 37) 杉野茂吉「広瀬橋工事報告」工学会誌347巻、明治45年1月。
- 38) "FERRO CONCRETE BRIDGE OVER THE SUTTON DRAIN, HULL" ENGINEERING Vol.75 1903
- 39) 井上福一郎「鉄筋コンクリート設計實例」工業叢書、建築書院、大正元年9月。
- 40) 靄園「過去二十五年間のコンクリート橋の進展」セメント輯報第321号、昭和9年12月
- 41) 代表竹内理三「角川日本地名大辞典、熊本県」角川書店、521、758頁、昭和62年12月。
- 42) 熊本市史編纂委員会「新熊本市史、別編絵図地図下」熊本市、平成5年3月。
- 43) 熊本県「熊本県統計書（大正元年）」237頁、大正2年。
- 44) 熊本県「熊本県統計書（大正3年）」307頁、308頁、大正4年。
- 45) 川尻町役場「肥後川尻町史」青潮社、339頁、昭和55年。
- 46) 甲佐町「甲佐町史」熊本県上益城郡甲佐町、649頁、昭和41年2月。
- 47) 日本国有鉄道公社「鉄道技術発達史、第2編、施設三」1715頁、昭和34年。
- 48) 山根巖「明治末期における岐阜県下2つの水力発電用水路橋について」土木史研究No.17、1997年6月。
- 49) 林桂一「提案設計、日本橋」（京都帝大土木科卒業論文）明治36年7月。
- 50) 岐阜市役所「岐阜市史、通史編近代」272、276頁、昭和56年3月。

- 51) 丸山幸太郎他「写真集、明治大正昭和の岐阜」図書刊行会、昭和58年3月。
- 52) 広島県「広島県史、近代Ⅰ、通史Ⅵ」943頁、昭和55年3月。
- 53) 建設省広島国道工務所「広島国道のあゆみ」271頁、昭和63年。
- 54) 四国五郎「広島百橋」春陽出版社、260頁、昭和50年4月。
- 55) 関西道路研究会「山陽道道路調査報告書」昭和11年。
- 56) 石川県立埋蔵文化財センター「金沢城跡石川門上橋(石川橋)発掘調査報告書」1997.3.
- 57) 安達実他3名「明治時代に建設された鉄筋コンクリート橋(石川橋)の解体調査事例」土質学会(遺跡の土質工学的保存技術に関する調査委員会)発表論文集、1995年1月。
- 58) 鳥居和之他3名「80数年経過した鉄筋コンクリートアーチ橋(石川橋)の解体調査」コンクリート工学年次論文報告集Vol.16、No.1、1994年。
- 59) 鳥居和之他3名「明治時代に建設された鉄筋コンクリートアーチ橋における鉄筋の特徴と腐蝕性状」コンクリート工学年次論文報告集Vol.17、No.1、1995年。
- 60) 金沢市役所「金沢市史、市街編第一」127頁、大正5年(復刻版、昭和48年7月)
- 61) 石橋紬彦栗野定次郎「横浜市吉田橋鉄筋コンクリート工事報告」工学会誌365巻大正2年9月
- 62) 石橋紬彦栗野定次郎「鉄筋こんくりーと床強力試験」工学会誌333巻、明治43年10月。
- 63) 和歌山県政史編纂委員会「和歌山県政史、第二巻大正編」666頁、昭和46年3月。
- 64) 和歌山市役所「和歌山市要」大正14年10月。(昭和27年4月増補4版)
- 65) 高知県土木史編纂委員会「高知県土木史」高知県建設業協会、76頁、1998.12.
- 66) 酒井亀次郎「実施橋梁設計概要集」高知県土木課災害係、昭和5年4月。
- 67) 高知県「高知県統計書(大正五年)」交通、284頁、大正7年4月。
- 68) 神原信一郎「鉄筋混凝土造猿橋水道橋工事報告書」土木学会誌第1巻第1号、大正4年4月
- 69) 日本工学会「明治工業史、土木編」大正14年5月、昭和4年。
- 70) 柴田睦作「工業力学」丸善株式会社、明治43年8月。
- 71) 広井勇「鉄筋混凝土猿橋水道橋工事報告、討議」土木学会誌第1巻2号、大正4年4月。
- 72) 田辺平学、二見秀雄「鉄筋コンクリート構造」高等建築学第9巻、常盤書房、昭和9年2月。
- 73) 関東州長官々房文書課「関東庁要覧(昭和2年)」1648頁、昭和3年1月。
- 74) 北大路健「さらば大連、旅順」図書刊行会、昭和54年7月。
- 75) 小野田滋「阿部美樹志とわが国における黎明期の鉄道高架橋」土木学会、土木史研究NO.21、114頁、2001.5.
- 76) 台湾総督府工事部「台湾総督府土木部第三年報(明治43年度)」148頁、大正元年9年。
- 77) 台湾台北庁「台北庁誌、第十二章利水」大正8年9月。
- 78) 朝鮮総督府「朝鮮土木事業誌」(朝鮮総督府、橋梁改良工事施工一覽表)昭和12年5月。
- 79) 新潟市史編纂近代史部会「新潟市史、通史編3、近代上」新潟市、平成8年3月。
- 80) 昔のコンクリートを語る会「昔のコンクリート」日本ポルトランド・セメント同業会61頁、昭和11年10月。
- 81) 大阪市土木課「鉄筋混凝土計算規定」明治42年4月。
- 82) 福井県「福井県史」324頁、大正11年3月。
- 83) 下中邦彦「福井県の地名(日本歴史地名体系18巻)」平凡社、1981年9月。
- 84) 代表竹内理三「角川日本地名大辞典、千葉県」角川書店、984頁、昭和59年3月。
- 85) 千葉県「千葉県史、明治編」千葉県、昭和37年8月。

- 86) 松本市役所「松本市市、下巻」212頁、昭和8年10月。
- 87) 黒岩功「松本いまむかし」郷土出版社、1980年7月。
- 88) 松本市役所編集委員会「市政八十年のあゆみ」松本市、昭和62年11月。
- 89) F. von Emperger "HANDBUCH FÜR EISENBETONBAU "WILHELM ERNST & SOHN 1908
- 90) 田上為巳「鉄筋コンクリート橋の歴史（福岡県のおき橋の調査報告）」昭和54年5月。
- 91) 内務省土木局「道路法令諮問」道路改良会、道路の改良、6巻6号、大正13年6月。

7. 明治末期における鉄筋コンクリート構造の我国の著書及び技術規定の作成

7. 1 我国での鉄筋コンクリート構造の著書及び計算例

(1) 鉄筋コンクリート構造の著書

1) 井上秀二「鉄筋コンクリート」(明治39(1906)年出版)

我国で最初に鉄筋コンクリート構造の計算法等について述べた著書を発行したのは、井上秀二(京都帝大土木科、明治33年卒)の「鉄筋コンクリート」である。¹⁾「故に泰西諸国にありては之れが創案以来日尚浅しと雖も、其各種構造物に適用せらるるは実に盛大にして、方さに鉄時代を経過し、鉄筋混凝土時代を現出せんとするの氣運を示しつつあり、本邦現時に於ては其応用尚ほ未だ寥々の嘆を免れ得ざるも、近き将来に於て旺盛の氣運に至るべきは固り喋々を須ひざるなり。」と緒言で述べている。¹⁾

京都帝大での講義録を出版したものであるが、表題も「鉄筋コンクリート」と片仮名で表し、文章も当時の習慣に反して横書きであり、数値の単位も一般に吋、封度で表示されていたが、「センチ、キログラム」で表示されており、著者の意気込みが窺われる。(図7-1-1参照)鉄筋コンクリートの主な工法の説明や、断面の応力分布の考え方と計算法についての説明が行われているが、計算例や施工例は示されていない。(図7-1-2)

緒 言

耐久、強力、廉價、施工の簡易、及び體裁の美、總て之れを土木工事の主眼とす、然り而してこれ等要求の最も多きを満たすべきものは鐵筋混凝土工是れなり、故に泰西諸國にありては之れが創案以來日尚淺しと雖も、其各種構造物に適用せらるゝは實に盛大にして、方さに鐵時代を経過し、鐵筋混凝土時代を現出せんとするの氣運を示しつつあり、本邦現時に於ては其應用尚ほ未だ、寥々の嘆を免れ得ざるも、近き將來に於て旺盛の氣運に至るべきは固り喋々を須ひざるなり。

本書は著者が公務の餘暇を以て部下技術員の需に應じ、則ち泰西に行はれつゝある鐵筋混凝土に於ける應力計算法中、簡易にして最も實用に適せるものの一端を講述し之れに多少の訂補を試みたるもののみ、則ち固より詳細なる事項を網羅せるものにあらず、且短日月間の講述にあれば不完全にして誤謬の多きと免れざるべし、大方讀者諸君之れを諒し示敬を容れられんことを。

明治三十九年六月

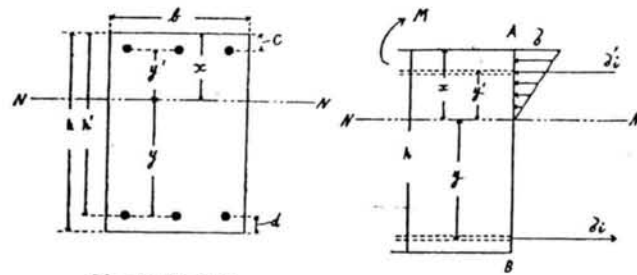
著 者 識

図7-1-1 井上秀二の著書「鉄筋コンクリート」の緒言¹⁾

2) 後藤佐彦「鉄筋コンクリート工法」(明治40(1907)年出版)

後藤佐彦(東京帝大土木科、明治38年卒)は明治40(1907)年11月に広井勇の校閲で「鉄筋コンクリート工法」を出版している。²⁾鉄筋コンクリートの發達史から設計理論、各種構造及び施工法まで体系的に当時の欧米の鉄筋コンクリート技術全般を紹介している。設計計算法では米国のマーシュ(Charles Marsh)の著書に依っている。

当時の我国での鉄筋コンクリートに対するa)理論的研究不足、b)混凝土の不均一、



M = 彎曲力率

b = 幅

h = 厚

a = 應張力を生ずる側にある鉄の總断面積

a' = 應力壓を生ずる側にある鉄の總断面積

x = 中軸より應力壓をうくる側の最端までの距離

y = 中軸より應張力をうくる側にある鉄の重心迄の距離

y' = 中軸より應力壓をうくる側にある鉄の重心迄の距離

図7-1-2 井上秀二の著書の鉄筋コンクリート計算法の説明図¹⁾

c) 亀裂の發生、と言う3つの主要な反対論に対し強く反論し、イ) 仮構の沈下、ロ) 仮構或いは練框の不完全、ハ) 材料の不良、ニ) 混凝土硬化中の震動等の原因によるのみで、竣工後に崩壊したものは殆ど無いと断定している。日本での施工例が少ない当時において、欧米の実例を引いて将来性の多い鉄筋コンクリート構造の採用を強く主張している。

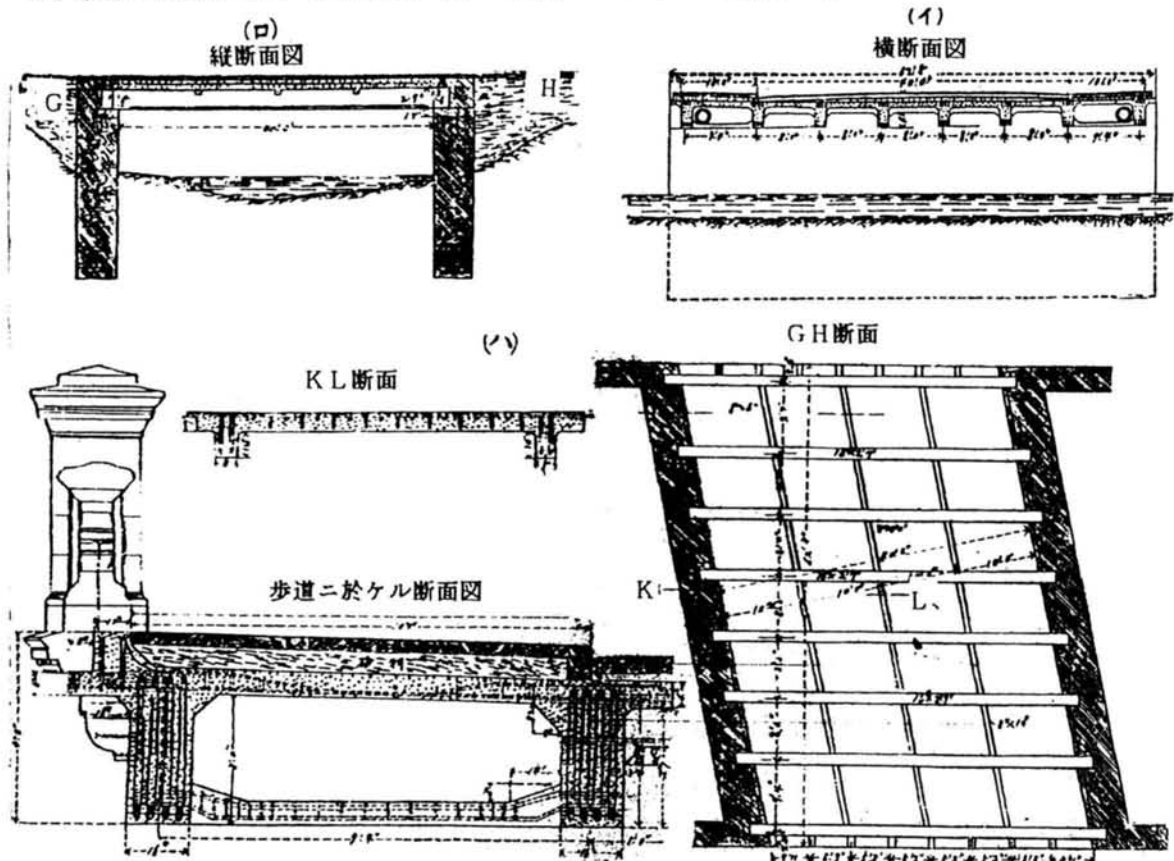


図7-2-1 後藤佐彦の著書中の橋、英国ハル (HULL) 橋の構造図²⁾

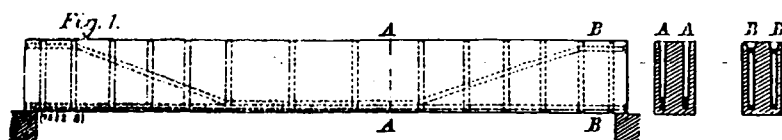


図7-2-2 後藤佐彦の著書中の図、英国ハル橋の主桁配筋図²⁾

欧米での鉄筋コンクリート構造の各種の施工例や、特に橋梁でのアンネビツク工法の紹介に力を入れ、採用を促しているのが特徴である。

英国で1902（明治32）年初めてサットン・ドレーン（Sutton Drain）に架設された鉄筋コンクリートT桁橋ハル（Hull）橋（橋長12.6m、幅員19.11m）を紹介している。（図7-2-1参照）この橋は英国の資料でも紹介されているが、³⁾アンネビツクの英国での代理者であるMouchelにより建設された橋である。主桁8本で中央部に横桁3本のみで支点上の横桁がなく、床版厚さは20cmである。図7-2-1と同じ図が英国の資料にも示されており、原本は英誌のEngineeringである。⁴⁾この著書の校閲者である広井勇は仙台市の広瀬橋架設の指導者であり、同じ初期のアンネビツク工法の配筋法を採用しており、橋梁構造や、鉄筋配置でもこの橋を参考にしたと見られる。（図7-2-1参照）

3) 原田碧「實用鉄筋コンクリート構法」（大正元（1912）年出版）

原田碧は田辺朔郎監修、星野一太郎校閲で大正元年8月「実用鉄筋コンクリート構法」を出版し、翌大正2（1913）年に改訂再版している。⁵⁾この本では当時のコンクリート配合理論の主流をなしていた仏国のフェレー（R.Feret）のコンクリート強度のモルタル密度説」に基づく、骨材の空隙にモルタルを充填するに必要な量の算出に力を入れて解説している。（表7-1参照）

設計計算法もフランス流のアンネビツク式の考え方で、せん断力に対応する折曲げ鉄筋や、肋筋の配置の方法を説明している。（図7-3参照）同じアンネビツク工法ではあるが、仙台市の広瀬橋の主筋の折曲げ方法と大きく異なっており、原田碧の長崎港湾改良工事で取得した仏国技術が、最新の合理的な設計法であった事は注目される。（図7-3）

表7-1 原田碧の著書（コンクリート一立坪ニ対スル材料ノ所要量）

「コンクリート」一立坪ニ對スル所要量

次ニ掲ケル表ハ「リッヂナー」氏ノ實驗ニ依リ決定シタルモノニシテ其實驗ハ「セメント」一圓4.12立方呎入三者材料ハ中空ヨリ實ニ積シタル程度ノ密度ニ依リ混合シ立方碼ノ容積ヲ算出トシタルモノナリニハ之ヲ八倍シ我國常用ノ一立坪ニ換算シタリ木表ハ「フラー」氏公式ノ結果ト殆ンド近似ノモノナリ

割合	構内メタル「コンクリート」						一立坪ニ要スル材料(立方呎)					
	一時ノ露チ通過シタル砂利空虛百分ノ四十六			二時ノ露チ通過シタル砂利空虛百分ノ四十一			二時ノ露チ通過シタル砂利空虛百分ノ四十五			4時露及セ以下ノ砂利		
	セメント	砂	砂利	セメント	砂	砂利	セメント	砂	砂利	セメント	砂	砂利
1:1:2	84.71	81.71	169.42	86.68	86.08	173.36	89.65	88.65	179.30	75.81	75.81	151.62
1:1:3	67.90	67.90	20.376	69.22	69.22	207.66	71.19	71.19	213.57	62.30	62.30	186.90
1:2:3	56.03	112.06	168.09	57.02	114.04	171.06	63.32	116.64	171.96	50.76	101.52	152.28
1:2:4	48.12	96.24	192.48	48.78	97.56	195.12	50.43	100.86	201.72	44.17	88.34	176.68
1:2:5	41.86	83.72	209.30	42.52	85.04	212.60	43.84	87.67	219.20	38.56	77.12	192.80
1:3:4	41.53	121.59	166.12	42.19	122.57	168.76	43.20	129.60	172.80	37.00	113.70	161.60
1:3:5	36.59	109.77	182.95	37.57	112.71	187.85	38.56	115.68	192.80	33.95	101.95	169.75
1:3:6	33.29	99.87	199.74	33.62	100.86	201.72	34.91	104.82	209.64	30.32	90.96	181.92
1:3:7	29.99	89.97	209.94	30.32	90.96	212.24	30.98	92.94	216.86	27.69	83.07	193.83
1:4:6	29.06	118.64	177.96	30.32	121.28	181.92	31.32	125.28	187.92	27.72	110.88	166.32
1:4:7	27.35	109.10	191.45	27.69	110.76	193.83	28.68	114.72	200.76	25.68	101.62	177.66
1:4:8	25.38	101.29	203.04	25.71	102.34	206.68	26.70	106.80	213.60	23.40	93.60	187.20
1:4:9	23.40	93.00	210.60	24.06	96.24	210.60	24.72	98.88	222.48	21.42	85.68	192.78
1:5:9	21.76	108.05	195.75	22.32	111.60	200.58	23.07	115.35	207.63	20.11	100.65	180.99
1:5:10	20.44	102.20	204.40	20.76	103.80	207.60	21.42	107.10	214.20	18.79	93.95	187.90

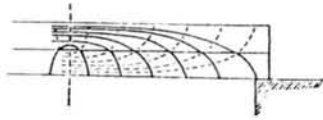


図7-3-1 原田碧の著書（桁主応力の説明図）⁵⁾

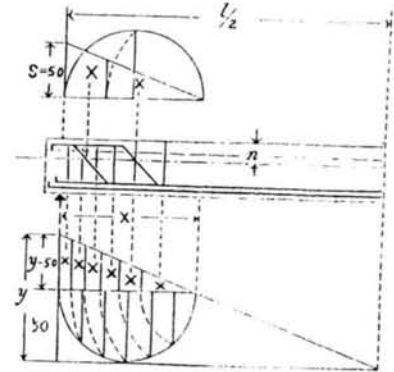


図7-3-2 原田碧の著書（せん断力に対する折曲げ鉄筋、肋筋配置説明図）⁵⁾

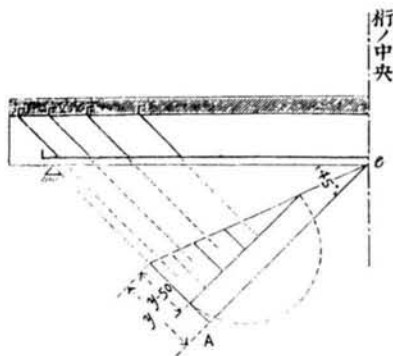


図7-3-3 原田碧の著書（せん断力に対する折曲げ鉄筋説明図）⁵⁾

4) 田辺朔郎「袖珍、工師必携」（大正元（1912）年、改訂12版出版）

田辺朔郎は日本の鉄筋コンクリート技術の先駆者であるが、明治21（1888）年に現場技術者のために著作した「袖珍、工師必携」の第12版で、大正元（1912）年9月に大改訂を行い、鉄筋コンクリート構造の設計及び施工を付け加えた。⁶⁾

「工師必携」は現場技術者にとっては言わばハンドブックであり、設計及び施工の要点が実用的に要領良く取り纏められており、説明図も多数取り入れて分かり易い。図7-4に示す様に鉄骨コンクリート構造の計算例も示されている。

田辺朔郎が撮影したと見られる大学関係者の写った鉄筋コンクリート橋の写真は、監修した前記の原田碧の著書に提供している様で、この著書には写真は掲載されていない。

（2）我国での鉄筋コンクリート橋の設計法

1) 前述の通り明治末期に日本での鉄筋コンクリート橋がどのような計算法で設計されたかは、工学会誌や大正初期の土木学会誌等に発表された著名な大橋梁の例以外には、資料が残っておらず明らかでない。明治末期には西日本各地で小規模ではあるが、多数の鉄筋コンクリート橋が架設され橋名の記録は残っているが、設計計算書は殆んど残っていない。

ここにたまたま残った計算書の例として、京都三大事業誌の中に琵琶湖疏水の改良工事として実施工事の付属文書として「一之橋川付替工事計画説明書」⁷⁾が、京都市から河川



f_m = 下部底縁に最大応力度
 f'_m = 上部底縁に最大応力度
 I_m = 下部底縁の重心を通る軸に平行ナル軸に對スル慣性
 I'_m = 上部底縁の重心を通る軸に平行ナル軸に對スル慣性
 x = 圧縮力ノ位置

$$x = \frac{nn' + (n-1)n'}{b} + \sqrt{\frac{(nn' + (n-1)n')^2}{b^2} + \frac{2(nm(h-d) + (n-1)n'd')}{b}}$$

$$M = \frac{f_c}{x} \left[\frac{bx^3}{3} + (n-1) \left(n'(x-d')^2 + I'_m \right) + n \left(n(h-d-x)^2 + I_m \right) \right]$$

$$\text{最大}(f_m) = n f_c \frac{h-d+k-x}{x}$$

$$\text{最大}(f'_m) = n f_c \frac{x-j}{x}$$

$$d = d', \quad a = a', \quad \text{從テ} \quad I_m = I'_m \quad \text{ノ場合ハ次ノ式ヲ用フ}$$

$$x = -\frac{(2n-1)x}{b} + \sqrt{\frac{(2n-1)^2 a^2}{b^2} + \frac{2an(h-d)}{b}}$$

$$M = \frac{f_c}{x} \left[\frac{bx^3}{3} + (2n-1)I_m + a \left((n-1)x^2 - d^2 + n(h-d-x)^2 \right) \right]$$

$$\text{最大}(f_m) = n f_c \frac{h-d+k-x}{x}$$

$$\text{最大}(f'_m) = n f_c \frac{x-j}{x}$$

例、幅9呎厚15吋ノ桁ア

ヲ用ニ示ス如キ鐵筋

ヲ有ス180000 磅 材度

ノ彎曲力率ヲ受ケルト

キ混凝土及ビ鐵筋ノ應

力度ヲ求メ

$M = 150000$ 磅 材度

$h = 20, \quad b = 15, \quad d = d' = 20$

$n = n' = 2.3509, \quad i_m = I'_m = 2 \times 0.7 = 1.4$ (吋單位)

依テ後ノ場合ノ公式ニテ

$$x = \frac{(2 \times 15 - 1) \times 20}{15} + \sqrt{\frac{(2 \times 15 - 1)^2 \times 20^2}{15^2} + \frac{2 \times 2.3509 \times (18 \times 15 - 20)}{15}}$$

$$= 5.82$$

$$150000 = \frac{f_c}{5.82} \left[\frac{15 \times 5.82^3}{3} + (2 \times 15 - 1) \times 1.4 + 2.3509 \left((18 - 1) \right) \right]$$

$$\therefore f_c = 305 \text{ 磅/吋}^2$$

$$\text{最大}(f_m) = 18 \times 305 \times \frac{13.72 - 5.82}{5.82} = 7438 \text{ 磅/吋}^2$$

$$\text{最大}(f'_m) = 18 \times 305 \times \frac{5.82 - 1.28}{5.82} = 4281 \text{ 磅/吋}^2$$

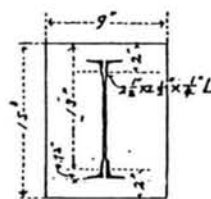


図7-4 田辺朔郎の著書(鉄骨コンクリート断面の設計計算例) 6)

管理者の京都府に出された協議書の中に存在していた。

第6章の(1)京都の橋の項で概要を説明したが、東山区東福寺の「一之橋川」と琵琶湖疏水の立体交差のため「一之橋川」は、疏水の下に幅12呎(3.66m)の暗渠が設けられた。(写真7-1参照)

河川は三面石張であり、上面は写真7-1の様な鉄筋コンクリート単純スラブ橋となっている。図7-5の様なこの河川の流量計算書や、スラブ橋の設計計算書が添付されている。流量計算はkutter式が適用されており、スラブ橋はEdwin Thacher式が適用されているのが分かる。(図7-5参照)

暗渠取付部では琵琶湖疏水の堤防盛土高7.6呎、スラブ厚1.7呎であり、荷重としては $7.6 \times 901 \text{ lb/呎}^3 = 6841 \text{ lb/呎}^2$ で、スラブ自重は $1.7 \times 1501 \text{ lb/呎}^3 = 2551 \text{ lb/呎}^2$ であり合計 9391 lb/呎^2 であるが、設計では 20001 lb/呎^2 と安全側ではあるが、2倍以上の荷重を取っている。1:2:4の配合のコンクリートを使用しているが、安全率は5を採用している。鉄筋としては幅1呎当たり下縁に25mm丸鋼3本、上縁に13mm3本を入れており、非常に安全側の設計をしている。(図7-5参照)

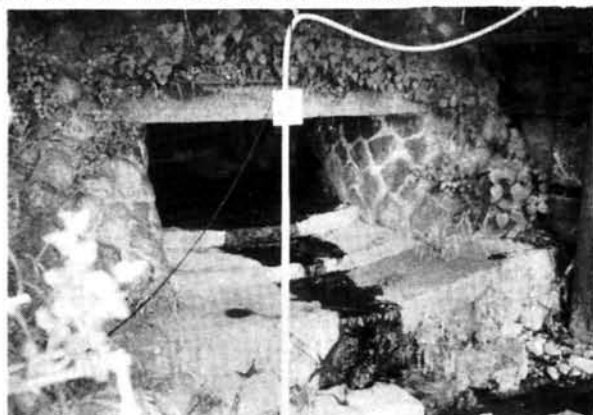
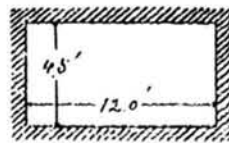


写真7-1 京都市一之橋川の暗渠、鴨川側出口(平成10年撮影)

(2) 閉水路水理計算書、

(2.) Closed conduit (full flow)

Wetted Area = 540



Perimeter = 33.0

$R = 1.64$

$\sqrt{R} = 1.28$

$r = 0.03$

Length of Conduit = 1050

Actual head at extraordinary flood of Kimmagawa = 5.7

then imaginary gradient = $1/19$

$V = \frac{33.0 \times 1.64}{1.25 + 1.28} = 1.52$

$Q = 15.2 \times 54 = 820 > \text{too much for } 503$

What head is needed for discharge 503 in the section?

Assume head = 2.3 then gradient = $1/42$

$V = \frac{33.0 \times 1.64}{1.25 + 1.28} = 2.65$

$Q = 2.65 \times 54 = 520 \text{ nearly Required Discharge } > 503 \text{ ft}^3/\text{sec}$

$\therefore$ very safe

1. 上床版設計計算書 (盛土部)

Edwin Thacher's Formula

1. Under Bank (盛土部)

Span = 1×12.0

Load = 2000 #/ft^2 (自重 + 上載土重)

Factor of safety = 5

Age of concrete = 6 month

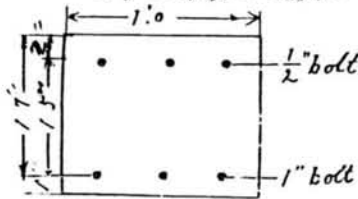
Mixture = 1:2:4

$r = \sqrt{\frac{1.5 \times 2000 \times 5}{4920}} = \sqrt{\frac{15000}{4920}} = 17.11$

$a = \frac{r}{100} \times 12 = 0.1711 \times 12 = 2.05 \text{ ft}$

$1'' \text{ bolt} = 0.7854 \text{ ft}^2$

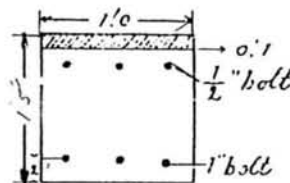
$\therefore 3 - 0.7854 = 2.3567 \text{ ft}^2 > 2.05 \text{ ft}^2$



2. 上床版設計計算書 (水路部)

2. Under canal (水路部)

Load = 1000 #/ft^2 (自重 + モルタル + 水荷重)



Cement mortar coating

$r = \sqrt{\frac{1.5 \times 1000 \times 5}{4920}} = 12.1$

$a = \frac{r}{100} \times 12 = 0.121 \times 12 = 1.452$

$1'' \text{ bolt} = 0.7854 \text{ ft}^2$

$3 \text{ bolt} = 2.356 \text{ ft}^2 > 1.452 \text{ ft}^2$

図 7-5 京都市一之橋川付替暗渠の設計計算書⁷⁾

水路部についても水荷重とモルタル及びスラブ自重で 578 lb/ft^2 であるが、荷重 1000 lb/ft^2 としている。鉄筋配置は取付部と同じであり、小規模の暗渠であるので現場的にはこうした簡易な安全側の計算も許されたのであろう。

2) 上記Edwin Thacher式はどのような成り立ちであろうか。大正元(1912)年に原田碧が編集した「実用鉄筋コンクリート構法」⁸⁾には、鉄筋コンクリート構造の簡易計算式としてEdwin Thacher式が表7-2の様に示されている。(表7-2参照)

所がこの簡易式の例題(7)を見ると、「一之橋川付替工事計画説明書」に示された計算書と略同じであり、記号は異なるが鉄筋は一之橋川暗渠が上縁に小鉄筋を追加しているだけの違いである。(図7-6参照)

表7-2 原田碧の著書（鉄筋コンクリート・スラブ設計のE.Thacher式の紹介）⁸⁾

「サッチャー」(Edwin Thacher's) 公式、

桁ノ計算ニ於テ「サッチャー」氏ノ實驗上定メタル公式ハ次ノ如シ

L = 徑間(呎)

A_T = 桁幅一吋ニ要スル鋼鉄筋ノ面積(平方吋)

M = 桁幅一吋ニシテ桁ノ中央ニ於ケル破壊荷重(封度)

W = 桁幅一吋長一呎ニ於ケル等布ノ破壊荷重(封度)

w = 一平方呎毎ノ面積ニ於ケル等布破壊荷重(封度)

d = 一平方呎ニ付 w 封度ノ等布荷重ニ要スル桁ノ有効厚(吋)

コンクリートノ配合	1 : 2 : 4		1 : 3 : 6	
	一ヶ月	六ヶ月	一ヶ月	六ヶ月
コンクリート製造後経過日数				
A_T	$\frac{d}{142}$	$\frac{d}{100}$	$\frac{d}{165}$	$\frac{d}{109}$
M	$35.62d^2$	$51.25d^2$	$30.62d^2$	$46.25d^2$
W	$\frac{142.5d^2}{L}$	$\frac{205.d^2}{L}$	$\frac{122.5d^2}{L}$	$\frac{185.d^2}{L}$
w	$\frac{285.d^2}{L^2}$	$\frac{410.d^2}{L^2}$	$\frac{245d^2}{L^2}$	$\frac{370.d^2}{L^2}$
d	$\sqrt{\frac{L^2 w}{3420}}$	$\sqrt{\frac{L^2 w}{4920}}$	$\sqrt{\frac{L^2 w}{2040}}$	$\sqrt{\frac{L^2 w}{4440}}$

上式ハ何レモ、凡テ最大限度ノ破壊強度ニ於ケル式ナルヲ以テ實際使用ニ向テノ安全強度ハ、上式ノ定數分母即チ 3420、4920、2040、4440 等ヲ安全率ニテ除セザル可カラズ、其安全率ハ一ヶ月経過ノ分ニテ(5-)六ヶ月経過ノ分ニテ(3.5)、ナ適當ナルトス

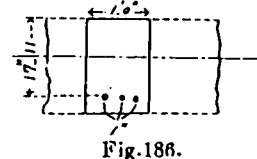
「サッチャー」氏公式ヲ用ヒテ計算セル例題五種ヲ次ニ掲ゲ

例題 (7)

配合ノ 1 : 2 : 4 ノ「コンクリート」ヲ用ヒ、製造後六ヶ月ヲ経過シ、安全率 5 ヲ有スルモノトシ、一平方呎自己ノ重量トモ 2,000 封度ノ等布荷重ヲ受ク可キ徑間 12 呎ノ桁ノ厚サヲ求ム。

幅ハ單位即チ 1 呎トセバ

$$d = \sqrt{\frac{L^2 w'}{4920}} \\ = \sqrt{\frac{12 \times 12 \times 2000 \times 5}{4920}} \\ = 17.711$$



$$A_T = \frac{d}{100} \times 12 = 0.1711 \times 12 \\ = 2.053''$$

丸鉄棒一本ノ斷面積徑一吋ノモノニテ 0.7854 〃

$$\text{トスレバ} \\ 3 \times 0.7854 = 2.3567 〃 > 2.05 〃$$

図7-6 原田碧の著書（同上、E.Thacher式の例題）⁸⁾

両者は略同じ明治44（1911）年頃の時期に書かれているが、どちらが先と言うのではなく、両者が参考にした原書が同じであったと言う事であろう。琵琶湖疏水の現場では複雑な鉄筋コンクリート床版の設計計算をやらす、欧米の原書からの引用で安全を確かめ、そのまま計算書として採用したものと見られる。

3) E.Thacher式について調べると、明治期に我国で読まれたBuel & Hillの著書に詳しい説明がみられる。⁹⁾（表7-3参照）これによるとThacherは1904（明治37）年頃に、実用的で簡易な鉄筋コンクリートスラブの設計計算式を求めて、オハイオ州ザネスビル (Zanesville) で2回の鉄筋コンクリート梁の曲げ試験を行なった。更にそれまでに行われたロンドンのDavid Kirkaldyの試験（1876年）、Masachusetts工科大学の試験及びPurdue大学のW.K.Hattの試験（1905年）の5種の破壊試験の結果を採用して、30の試験資料から1906（明治39）年にこれ等の抵抗曲げモーメントに適合する簡易な設計計算式を求めて発表した。⁹⁾（表7-3参照）

この抵抗曲げモーメント簡易計算式の計算上の仮定は次の通りである。

表 7-3 Thacher 定数と Thacher 式 (長方形断面) ⁹⁾

Thacher's Constants.—The constants in Table IX have been calculated by Mr. Thacher, using the following values for the constants in his formulas:

E_c , =	30,000,000	#/sq. in.
f_c , ultimate,	64,000	
E_c , for 1:3:4 concrete one month old,	1,460,000	
f_c , " " " " " "	2,400	
E_c , " " " " six months "	2,580,000	
f_c , " " " " " "	3,700	
E_c , 1:3:6 " one month "	1,220,000	
f_c , " " " " " "	2,050	
E_c , " " " " six months "	1,860,000	
f_c , " " " " " "	3,100	

TABLE IX.—GIVING CONSTANTS FOR BEAMS CALCULATED BY MR. EDWIN THACHER.

Proportions of Concrete.	1 to 3 to 4		1 to 3 to 6	
	1 Month.	6 Months.	1 Month.	6 Months.
a Area of steel, sq. ins. required for 1 in. width of beam = a	$\frac{9}{123}$	$\frac{9}{100}$	$\frac{9}{103}$	$\frac{9}{109}$
M Ultimate bending moment, ft. lbs. for 1 in. width of beam = M	$35.6 \times q^2$	$31.1 \times q^2$	$30.6 \times q^2$	$26.1 \times q^2$
W Breaking weight at center for 1 in. width of beam = W	$24.5 \times q^2$	$20.5 \times q^2$	$22.5 \times q^2$	$18.5 \times q^2$
W Breaking weight per linear foot uniformly distributed for 1 in. width of beam = w	$28.5 \times q^2$	$24.0 \times q^2$	$22.5 \times q^2$	$19.0 \times q^2$
W Breaking weight per square foot uniformly distributed = w'	$2,310 \times q^2$	$1,920 \times q^2$	$1,720 \times q^2$	$1,440 \times q^2$
q Effective depth of beam required for a uniform load of w' lbs. per sq. ft. = q	$\sqrt{\frac{1700}{3.130}}$	$\sqrt{\frac{1700}{2.920}}$	$\sqrt{\frac{1700}{2.940}}$	$\sqrt{\frac{1700}{2.420}}$

l : 径間 (ft)

a : 桁幅 1 吋に要する鉄筋の断面積 (平方吋)

M : 桁幅 1 吋の破壊曲げモーメント (ft-lb)

W : 桁幅 1 吋の中央での破壊荷重 (lb)

w : 橋長手 1 ft 当たりの等分布荷重 (lb/ft)

w' : 1 平方呎当たりの等分布の破壊荷重 (lb/ft²)

q : w' の等分布荷重 (lb/ft²) に要する桁の有効高 (吋)

1) 原田碧は省略して訳している。

表 7-4 実験による場合とサツチャー式による場合の梁の破壊強度の比較表 (変動率) ⁹⁾

TABLE VIII.—SHOWING BREAKING LOADS OF BEAMS AS DETERMINED BY THACHER'S FORMULAS AND BY ACTUAL TESTS.

Series.	Number of Tests.	Size of Beam Tested.			Variation between Actual and Estimated Strength.	
		Length, Feet.	Depth from Top to Center of Rod, Inches.	Width, Inches.	Maximum, Per cent.	Mean, Per cent.
A	3	11.5	10.0	5.0	1.3	0.0
B	3	6.0	3.25	10.0	3.9	+0.6
C	9	5.0	10.0	12.0	14.0	-1.2
D	7	11.0	10.0	8.0	13.1	-1.4
E	8	6.67	6 and 7	8.0	16.0	+2.3
Mean from 30 tests.....						-0.013

Note.—Series A and B, made at Zanesville, Ohio, by Onward Bates and Edwin Thacher. Series C, made at London, England, by Prof. David Kirkaldy. Series D, made at Massachusetts Institute of Technology. Series E, made at Purdue University by Prof. W. K. Hatt.

a) 破壊までのコンクリート圧縮側の応力度分布は直線とする。(サツチャー直線式)

b) コンクリートの引張応力度は零とする。

c) 鋼材とコンクリートの弾性係数比は $n = 20$ とする。

d) 鋼材及びコンクリートの定数を、材令及び配合で分けて表 7-3 の通とする。(サツチャー定数と呼ぶ)

この簡易計算式は表 7-3 に示す通り、鉄筋コンクリートスラブの設計に必要な 6 要素 (集中荷重、等分布荷重、極限モーメント、矩形梁寸法、鉄筋量、有効高、) について、近似的に適合する計算式を求めている。原田碧の表 7-2 はこれを訳したものである。⁸⁾

表 7-2 と表 7-3 を比較すると w が省略されており、M の単位を間違えている。

表 7-4 は 30 の試験結果とこの簡易計算式の結果との差の変動係数を示したものであり、近似度は高いと述べている。構造の安全率を 4~5 を採用する様に求めている。⁹⁾

しかしこの簡易計算式には5種の異なる試験での結果から導かれたものであり、大胆な仮定を含んでいる。特にサッチャー定数は使用鋼材がアメリカでは高張力鋼であり、欧州では軟鋼が使用されている。セメントも同じ配合でもコンクリートの強度には大きな違いがある。試験方法等にも違いが有り、撓みの測定精度は異なると考えられる。

こうした各種の問題点はあるが、安全率を4~5を採用しており、実荷重でのコンクリート部に亀裂の発生する事もなく、試験に基づく歪み-応力度曲線から大きな相違を生ずる事はないので安全であるとしている。

4) 柴田畦作が欧米視察報告で述べている様に、¹⁰⁾ 欧米各国では1890~1910年頃各種の異なる条件で鉄筋コンクリート梁の破壊試験が行われ、それ等の結果から独自の実験式を導き、多様な抵抗荷重の実験式が提案された。これを安全係数として4~5で割って安全荷重を求める方法が實用面では多く使用されていた。

第2章で述べた通り1902(明治32)年ケエネン(M. Könen)は当時の有力研究者達の研究成果や議論を纏めて「鉄筋コンクリート構造計算の根本」を發表した。これにより当時の鉄筋コンクリート構造設計の基本的な考え方の一般的な合意が得られた。

しかし、その後も實際上の設計のために、これ等の基本的考え方に基ずいて梁の寸法や鉄筋量の決定等で、多様な簡易計算式が提案されていた。

Thacher式はこれ等の一つであるが、原田碧の表7-5に示す様な簡易式の紹介は計算の前提条件を無視したもので問題はあるが、当時の日本では大規模な鉄筋コンクリート梁の試験を行う設備もなく、欧米の提案式を受け容れる他はなかった様である。

我国では公共土木施設の設計図や、設計計算書を残す考えがなく、完成後数年で焼却されている。明治末期に架設された鉄筋コンクリート橋では、支間5m以下の小規模橋が大部分であり、これ等は試験的に架設された橋が多い。それ等の設計での断面寸法や、鉄筋

表7-5 欧州諸大家の鉄筋コンクリート梁の抵抗モーメント式比較表¹¹⁾

大 家 名	大 家 創 設 公 式	一定ノ記號ニ替キ換ヘタル 公 式	「ツエルアツリー」氏 ハ之ヲ綜合シテ此公 式ニ化シタリ
「コンクリート」ニ於ケル壓縮中心上ノ力率			
R. I. B. A. Committee.....	$A_c(d - \frac{1}{2}kd)$	$rbdd(d - \frac{1}{2}dx)$	$bd^2 \left[r \left(1 - \frac{x}{3} \right) \right]$
Marsh	$\frac{f_w}{3}(3h - u)$	$\frac{r_s b d}{3}(3d - dx)$	
Johnson	$\frac{P_s}{3}(3v_2 + 2y_1)$	$\frac{r_s b d}{3}(3d(1-x) + 2dx)$	
Taylor and Thompson.....	$p s b d^2 \left(1 - \frac{x}{3} \right)$	$r b d^2 \left(1 - \frac{x}{3} \right)$	
Turneure	$f s p j b d^2$	$r \left(1 - \frac{x}{3} \right) b d^2$	
Talbot	$A f (d - x)$	$r b d \left(d - \frac{dx}{3} \right)$	
鋼ニ於ケル伸張中心上ノ力率			
R. I. B. A. Committee.....	$\frac{1}{2} A_s (d - \frac{1}{2}kd)$	$\frac{1}{2} b d c (d - \frac{1}{2}dx)$	$bd^2 \left[\frac{1}{2} c x \left(1 - \frac{x}{3} \right) \right]$
Marsh	$\frac{c u b}{2} \left(h - \frac{u}{3} \right)$	$\frac{c d b}{2} \left(d - \frac{dx}{3} \right)$	
鋼ニ於ケル伸張中心上ノ力率			
Johnson	$\frac{P_s}{3}(3v_2 + 2y_1)$	$\frac{c b d x}{2}(3d(1-x) + 2dx)$	$bd^2 \left[\frac{1}{2} c x \left(1 - \frac{x}{3} \right) \right]$
Sabin	$s f_s \frac{y_1}{2} \left(\frac{2y_2}{3} + y_2 \right)$	$b c \frac{dx}{2} \left[\frac{2dx}{3} + d(1-x) \right]$	
Taylor and Thompson.....	$\frac{C s b d^2}{2} \left(1 - \frac{x}{3} \right)$	$\frac{c x b d^2}{2} \left(1 - \frac{x}{3} \right)$	
Turneure	$\frac{1}{2} f s j b d^2$	$\frac{1}{2} c x \left(1 - \frac{x}{3} \right) b d^2$	
Talbot	$\left(\frac{1 - \frac{1}{4}q}{1 - \frac{1}{4}q} \right) \frac{1}{2} c k b h (d - x)$	$\left(\frac{1 - \frac{1}{4}q}{1 - \frac{1}{4}q} \right) \frac{1}{2} c x b d \left(d - \frac{dx}{2} \right)$	
			$bd^2 \left[\frac{1}{2} c x \left(1 - \frac{x}{3} \right) \right] \times$
			$\left(\frac{1 - \frac{1}{4}q}{1 - \frac{1}{4}q} \right)$

量の決定では、簡易式で予備設計をして本設計で詳細な設計計算をしている。そのために詳細な設計計算式があった。急いだ場合には「一之橋川の暗渠」の様に簡易式で済ましてしまう場合もあったと見られる。

5) 井上福一郎「鉄筋コンクリート設計実例」(大正元(1912)年出版)

井上福一郎(出版当時は新潟工業学校教師)は大正元(1912)年に服部鹿次郎(東京帝大土木科、明治25年卒、東京帝大教授)及び長崎武秀(東京帝大土木科、明治20年卒)の序文を得て、上記の著書を出版した。¹¹⁾内容は仙台の「広瀬橋」と新潟県大河津の「西川閘門の通路橋」のT桁の設計計算の紹介である。更に鉄筋コンクリート下水道管での荷重計算法や、本体の設計法に就いて記述している。

鉄筋コンクリートT桁の設計計算は述べられているが、一般図や配筋図がないので橋梁構造についての十分な理解が困難ではないかと見られる。下水道管については配筋図やその荷重試験では、名古屋市での茂庭忠次郎の論文を引用している。

(3) 鉄筋コンクリートアーチ橋の著書及び設計例

1) 鉄筋コンクリートアーチ橋の設計理論では、柴田睦作の固定アーチ構造の英文の3論文^{12) 13) 14)}や、吉町太郎一の固定アーチの図解法¹⁵⁾についての英文の論文がある。

広井勇の英文の不静定応力に関する著書や、柴田睦作の著書「工業力学」¹⁶⁾にもアーチ構造の解析法が述べられている。特にこれ等は当時の力学の最先端である「最小仕事の原理」や「Castiglianoの定理」に基づいた理論であり、一般土木技術者の理解の困難なものであった。山梨県での猿橋水道橋は上記両教授の指導による、神野信一郎の設計及び施工の担当によるもので、当時の最先端の理論を適用したものである。

2) 秋元繁松「鉄筋コンクリート拱橋」(明治42(1909)年出版)

秋元繁松(京都帝大土木科、明治37年卒)は明治42年に大藤高彦教授の教示を受けて上記の著書を出版している。¹⁷⁾これはドイツの書物“kerstens' Bogen Brucken in Eisenbeton”を紹介したもので、固定及びヒンジの鉄筋コンクリートアーチ橋の構造と設計法について述べたものである。

アーチ橋を構造上からアーチ環とアーチリブ(樞軸)構造に分類し、又橋側が胸壁により閉じた形式と、支柱又は支壁により開いた形式とに分類してと特徴を述べている。鉄筋配置は柔性鉄筋(棒状鉄筋)と硬性鉄筋(鉄骨構造)及び桁形アーチに分類している。

設計計算はアーチ部材を多分割して、自重や外力のバランスから各分割部の分力を求めて断面力を算出するアーチの図解法によっている。(図7-7参照)しかしクルマン(Culman)リッター(Ritter)系の図解力学と異なり、図7-8の様にアーチ軸線の接線角の微少変化を考慮したモール(O. Mohr)の1870(明治3)年に発表したアーチの図解法によっている。¹⁸⁾(図7-8参照)

アーチ構造の配筋図を図7-9に示すが、モニエ式で配筋されている。(図7-9参照)ヒンジアーチのヒンジ構造として、鉄筋によるメナーゼ型の場合と、鋳鉄等による回転支承構造による場合のある事を説明している。

3) 林桂一「提案設計、日本橋」(明治36(1903)年京都帝大卒業論文)

林桂一は明治36年7月の卒業論文で、当時改築が計画されていた東京日本橋の設計を取り上げ「提案設計、日本橋」として英文での設計図書を提出した。この設計は当時まだ

It = CD断面に働く合成壓力

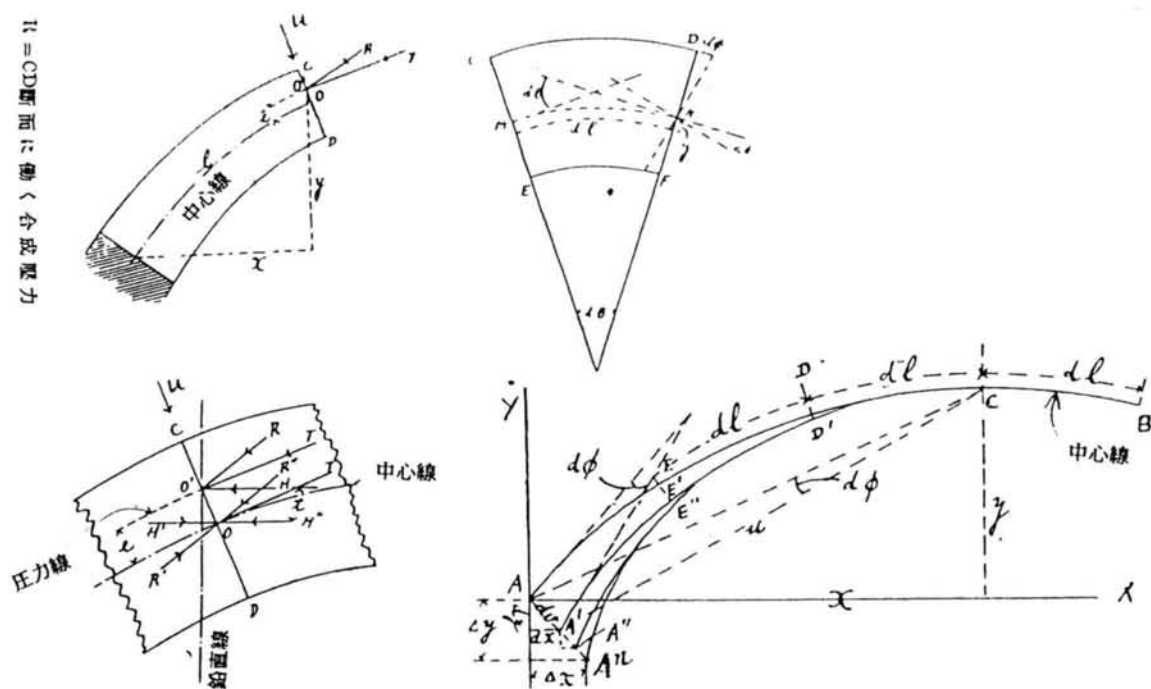


図7-7 秋元繁松の著書（アーチ軸線の設線角の微小変形を考慮した図解法）¹⁷⁾

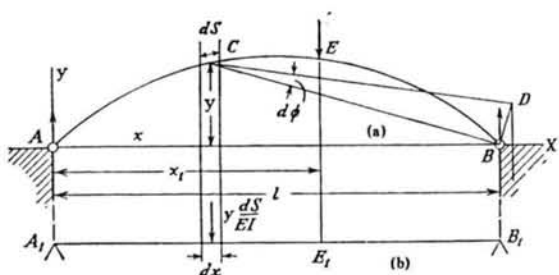


図7-8 モール (Mohr) の1870年のアーチの図解法¹⁸⁾

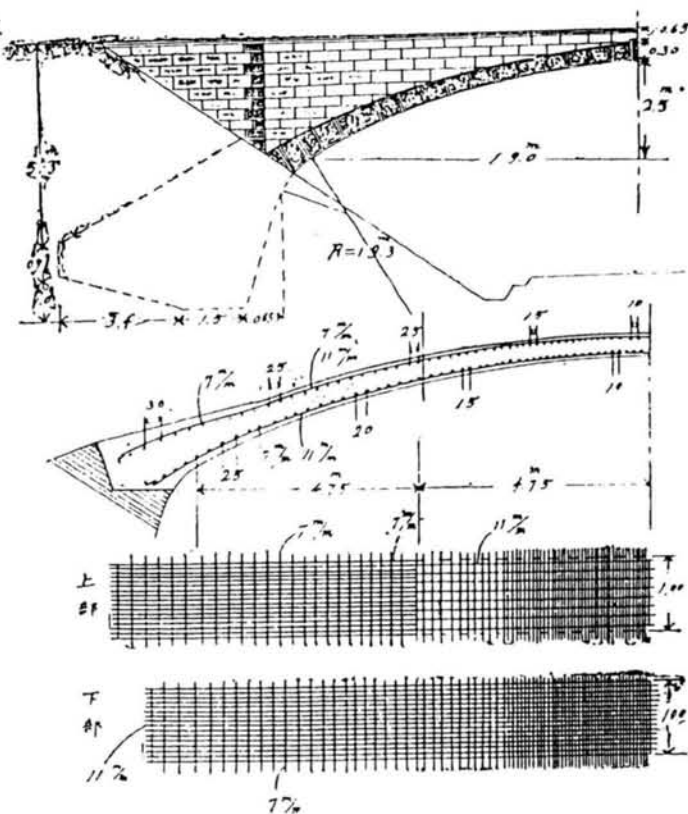


図7-9 ケルステン (Kersten) の鉄筋コンクリート・アーチ橋の配筋例¹⁷⁾

我国で設計例のない鉄筋コンクリートアーチ構造で設計されており、資料によれば我国最初の鉄筋コンクリート・アーチ構造の設計と言われている。²⁰⁾

実際の日本橋は言うまでもなく日本橋一丁目、国道1号線の元点であり日本の道路網の基準点に架かる橋である。交通頻繁と老朽化により明治36(1903)年頃に、それに相応しい日本を代表する近代的橋梁に架替える必要が生じていた。工事は明治39(1906)年に起工し、同41(1908)年に竣工する予定が、種々の理由により44(1911)年4月に開通した。橋長49.1m、幅員27.3mの2径間の欠円石造アーチ橋である。²¹⁾

これに対し林桂一の提案設計は、径間42.7m、幅員20.62mアーチライズ4.27m、ライズ比1/10の単径間の鉄筋コンクリート開側固定アーチ橋である。林桂一はメラン式と呼んでいるが、鉄筋の代りに鋼材を配置したコンクリートアーチであり、concrete steel archと書いている。¹⁹⁾(写真7-1及び-2参照)

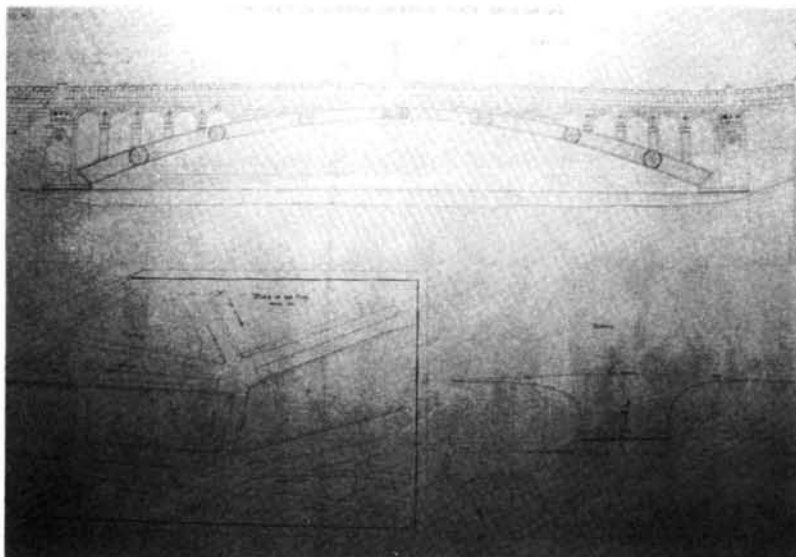


写真7-2-1 提案設計「日本橋」全体図¹⁹⁾(田中尚人提供)



写真7-2-2 提案設計「日本橋」拱頂付近外観¹⁹⁾(田中尚人提供)

林桂一がこの形式の橋梁を採用した理由として、一般には橋梁の美的視点と経済性の両面から比較検討されるべきであるが、日本橋では自然石によるアーチ橋よりも鉄筋コンクリート構造によるアーチ橋の方が安価であり、表装に自然石を採用すれば充分外的修景が可能であるとしている。また開側アーチ橋の利点としてa) 橋側開放により自重が軽減されて応力度が減少する。b) 橋側に作用する土圧がなくなり作用応力が明確になる。c) 橋体の欠損等が容易に発見され、補修も容易である。d) 橋側面が湿気による変色や損傷もなく、路面の沈下もない。以上の4点を挙げている。(写真7-3参照)

アーチ環の設計理論としてMuller Bresellauの曲り梁の弾性理論を採用し、参考にした著書として“Weyrauen, Elastischen Bogenfragen”を挙げている。コンクリートが鋼材の様に均質でなく、圧縮と引張の弾性係数も違って等方性でもないので、鋼アーチ橋の理論をそのまま適用する事に疑問を提している。また温度変化による応力検討は計算に考慮しているが、乾燥収縮、衝撃荷重、支点沈下等の二次的応力については無視している。

こうした設計計算法のため許容応力度としては、欧米の例よりも更に低下させている。

許容応力度としてベルギーのクリストフ (Christophe)の著書「鉄筋コンクリートの応用」を参考にして、次の通り2段階の安全度の低い方から更に一割程度低い値を採用して

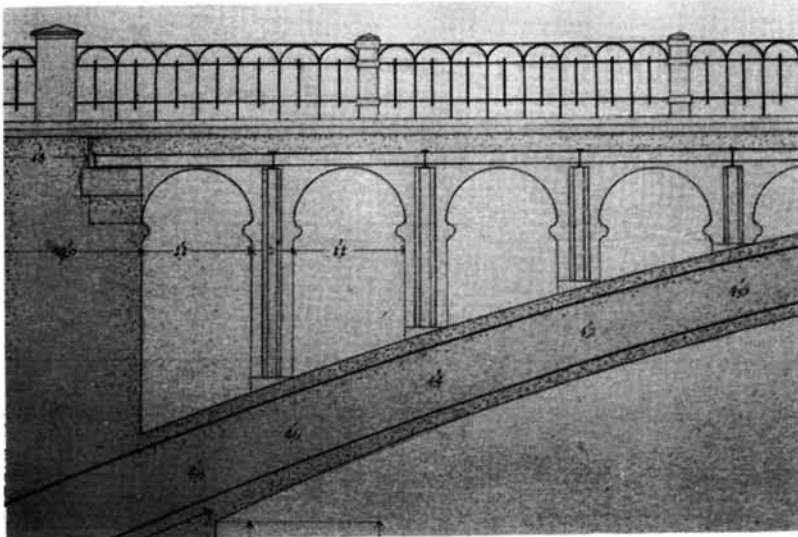


写真7-3-1 アーチ橋橋側部外観¹⁹⁾ (田中尚人提供)

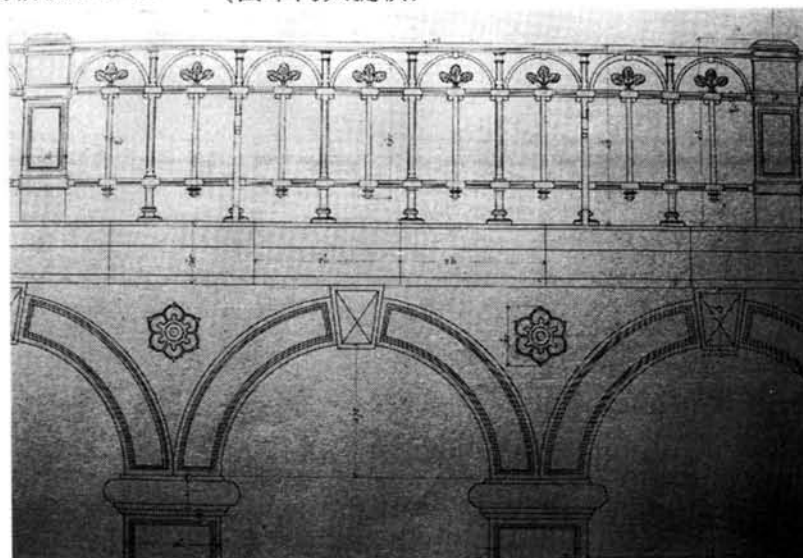


写真7-3-2 アーチ橋橋側上部及び高欄外観¹⁹⁾ (田中尚人提供)

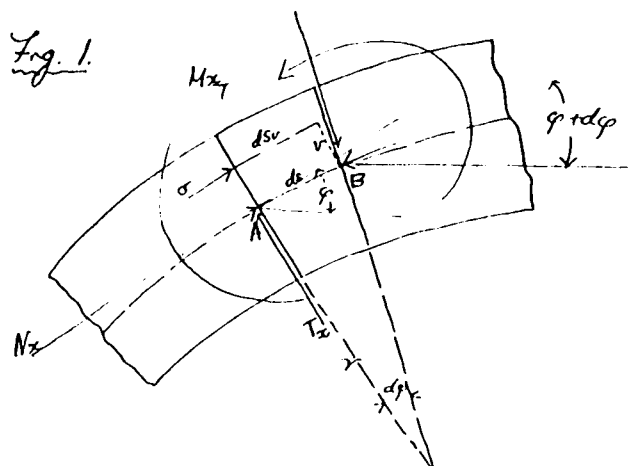
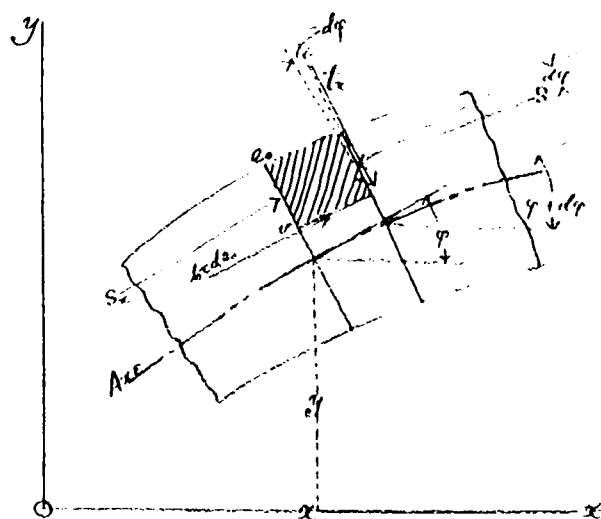


図7-10-1 曲り梁の曲げによる弾性変形と応力の説明図¹⁾



N_x - normal stress,
 M_x - bending moment
 F = sectional area.
 r = radius of curvature.
 σ = fibre stress.
 v , any fibre.
 t , cross sectional shearing.
 S longitudinal shearing

図7-10-2 曲り梁の軸方向応力の説明図¹⁾

アーチ環の設計はアーチ部材各部の影響線を弾性理論で求め、次いで最大応力を生ずる荷重状態に対して断面力を求めている。(図7-10参照)

アーチ環の構造は鉄筋部材として幅12.7cm、厚さ5cmの長方形鋼材に、付着力を付けるため20cm間隔で鋸材を打ち込んだ部材を、91.4cm間隔のかぶり9cmで上下縁に配置し、丸棒材で相互に連結して位置を固定している。(図7-4-2参照)

アーチの支柱材は山形鋼4本でH型組合せ部材を形成し、その上横桁に連結している。この横桁は上弦材及び中間の縦桁と格子構造を形成している。支柱は大型山形鋼で大きくブレースングされている。部材は全体としてコンクリートで巻かれているが、外表面は更に自然石で表装して修景されている。(写真7-4参照)

アーチ環の鉄筋コンクリート部材の断面での応力分布は、図7-12に示す様に圧縮側のコンクリート応力分布は、最大圧縮応力度を最高値として中立軸までを放物線分布と仮定している。引張側では引張応力度をコンクリート圧縮応力度の1/10の一定値とした直線分布と仮定している。この応力度分布の考え方は、広井勇が明治36(1903)年に工学会誌に発表した「鉄筋混凝土橋梁」で解説した3つの考え方の1つである。

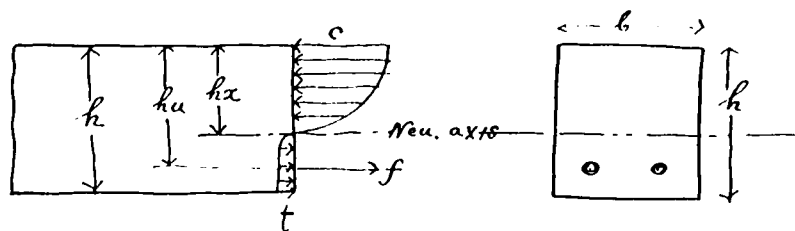


図7-11 鉄筋コンクリート断面の応力分布實際図（圧縮側及び引張側曲線分布）¹⁹⁾

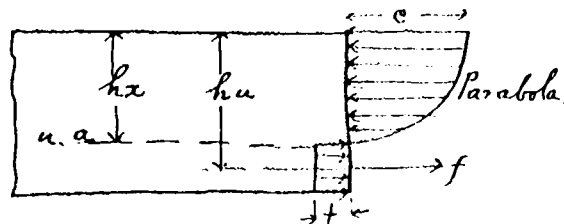


図7-12 林桂一の想定した鉄筋コンクリート断面の応力分布
（圧縮側放物線分布、引張側一定値）¹⁹⁾

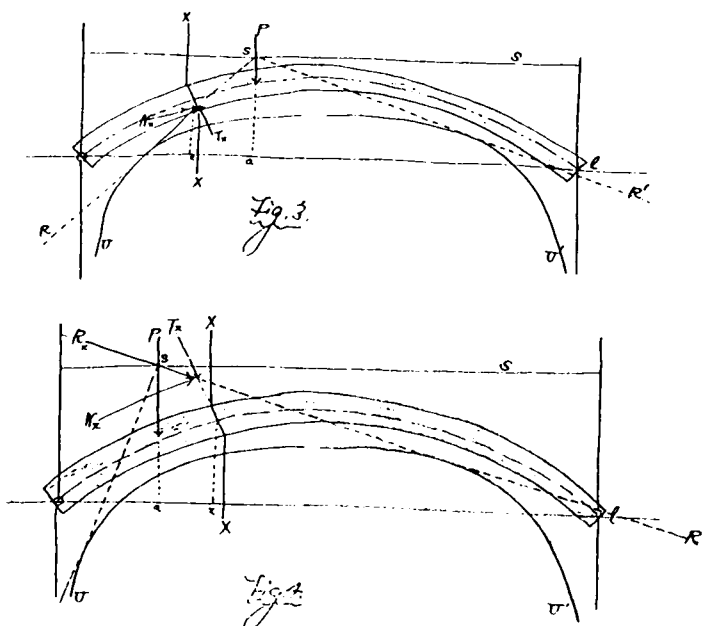


図7-13 林桂一のアーチ橋の応力検算用図解法¹⁹⁾

林桂一の論文はアーチ構造の解析は詳細に述べているが、鉄筋コンクリート構造の設計計算については詳細に述べていないので、結果については不明である。

この提案設計は言わば計画設計に相当する予備的な設計であり、詳細な構造や設計を要求するのは無理であろう。なお鉄筋コンクリートアーチ環の軸方向力等については、弾性理論の適用結果を検算するため当時使用されたアーチの図解法で確かめている。（図7-13参照）

4) 二見鏡三郎「鋼拱橋及鉄筋混凝土拱橋」（大正6（1917）年出版）

京都大学教授二見鏡三郎は大正3（1914）年5月より、約2年間に渉り技術雑誌「土木建築工学」²³⁾に鋼拱橋の設計理論の講義を連載したが、引続いて鉄筋混凝土拱橋に

ついても連載して、大正6（1917）年に両者を纏めて「鋼拱橋及鉄筋混凝土拱橋」として出版した。²⁴⁾これは当時最新の最小仕事の原理等を適用して、アーチ橋の構造解析理論一般技術者に理解し易く解説していて、好評のため出版されたものであり、鉄筋コンクリートアーチ橋の理解と普及に大きな影響を与えたと見られる。

5) 谷井陽之助「鉄筋混凝土拱橋設計々算例」²⁵⁾（大正4（1915）年発表）

河合信「鉄筋混凝土拱橋設計例」²⁶⁾（大正5（1916）年発表）

谷井陽之助は大正4（1915）年に雑誌「土木建築工学」上に、東京市で当時計架設中の鉄筋コンクリートアーチ橋の設計例について発表している。これは花房周太郎（京都帝大土木科、明治44年卒）の拱橋の影響線による設計法の研究に基づく計算法を使用している。²⁵⁾（図7-14参照）この他にも鉄筋コンクリートアーチ橋の設計例として、川合信（札幌農学校土木科、明治41年卒）も大正5（1916）年に土木建築工学で設計例を発表している。²⁶⁾（図7-15参照）

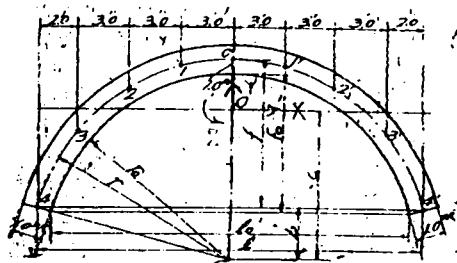


図7-14-1 谷井陽之介の著書
（固定アーチ橋の不静定力X, Y, Z. の図）²⁵⁾

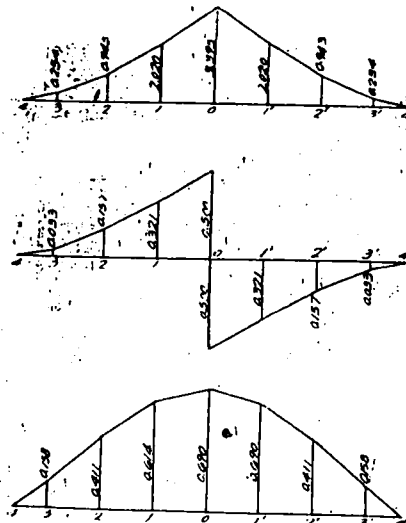


図7-14-2 三不静定力X, Y, Z. の影響線²⁵⁾

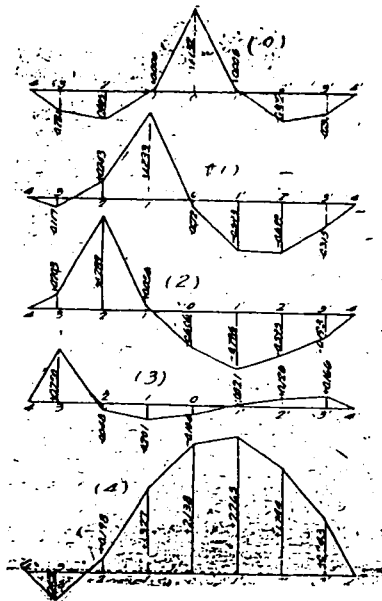


図7-14-3 各点彎曲率の影響線²⁵⁾

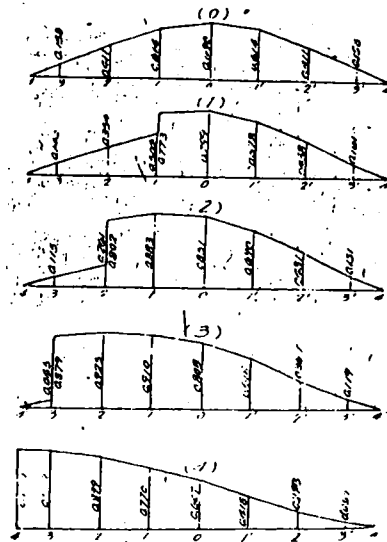


図7-14-4 各点軸圧力の影響線²⁵⁾

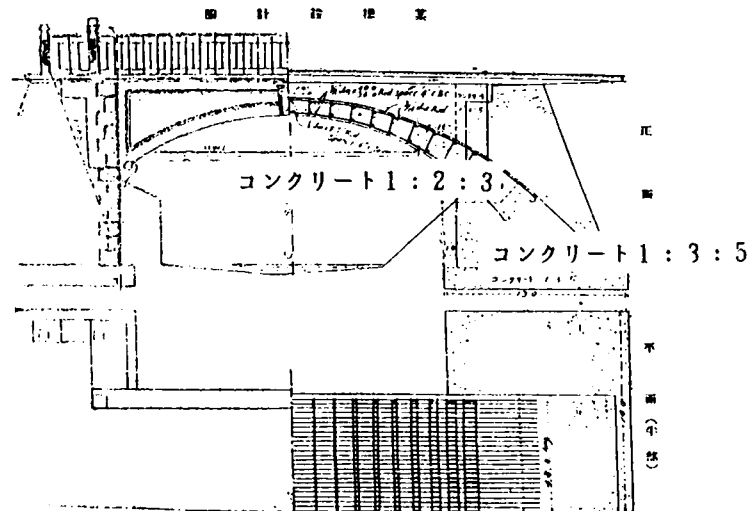


図7-15-1 河合信の論文のアーチ橋側面図²⁶⁾

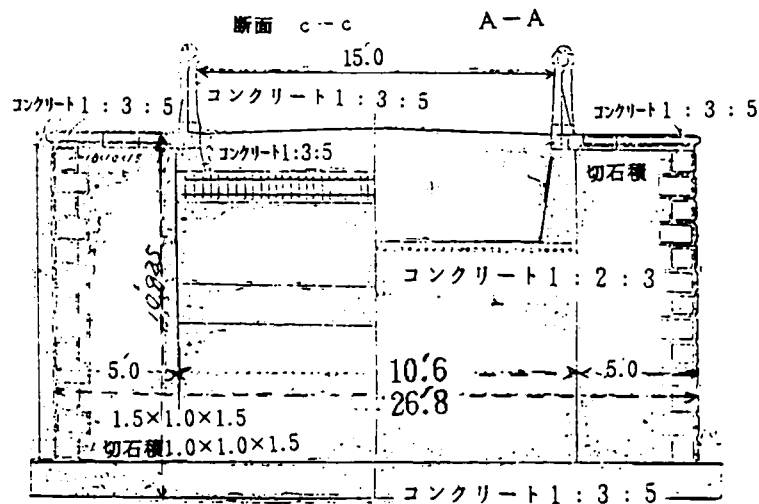


図7-15-2 河合信の論文のアーチ橋横断面図²⁶⁾

大正初期は「最小仕事の原理」等を適用して不静定構造物の解析が始まった時期であり、土木学会誌や土木建築工学等の雑誌で、各種の不静定構造物の構造解析が若手の技術者達により発表される様になった。明治期には工学会誌上で大規模な工事計画か工事報告が先輩技術者により発表され、欧米技術が多くの研究者により紹介されていた。「工業雑誌」も欧米技術の紹介や国内情報の伝達が多く、若い技術者の現場工事の報告は少なかった。

大正3（1914）年の土木学会の成立と同4年の土木学会誌の発刊や、大正3（1914）年以後の土木建築工学等の技術雑誌の発刊は、日本全国に最新の土木技術が普及し始め、若い技術者の間でも交流が始まり、土木技術の発展に大きな影響を与えた。

7. 2. 我国での鉄筋コンクリート橋示方書の成立過程

（1）鉄筋コンクリート構造の欧米規定の紹介。

第2章で述べた通り、1900年頃迄は欧米における鉄筋コンクリート構造の設計理論は定まっておらず、その後試験研究も進み一方では施工実績も増大したが、普及につれて設

計や施工上の事故が発生した。このため欧州各国でも鉄筋コンクリート構造の標準化や、規格化の必要が生じていた。²⁷⁾ 1902（明治35）年独人ケエネンはそれまでの各国での研究成果を纏めた「鉄筋コンクリート構造計算の根本」を出版して、設計の基本的考え方について略同意を得た。これ等の資料を参考にスイス、オーストリア、フランス、ドイツ、イタリア等で相次いで規格化された。（表7-6参照）これ等は各国の考え方の違いや、産業の状態により若干の違いがあった。

表7-6 欧州各国での最初の鉄筋コンクリート構造諸規定の制定年²⁷⁾

	1903年 (明治36年)	1904年 (明治37年)	1906年 (明治39年)	1907年 (明治40年)	1909年 (明治42年)
制 定 主 体 別	スイス土木建築 家連合	プロシャ（ドイ ツ）土木建築家 連合	フランス国政府	イギリス国政府 プロシャ国政府 イタリア国政府 アーストリア国	スイス国政府
規定方式	暫定規準	暫定指導原則	国規定	各国規定	国規定

我国でもこれ等の影響を受けて、柴田畦作や後藤佐助等により、明治40（1907）年頃から欧米視察報告の中で部分的に紹介され始めていた。それ等について技術雑誌等にも専門的な紹介もされたが、我国の実状に合った成文化には可成の時間を要した。

1) 堅田努「米国費府における鉄筋混凝土規定」

最初に堅田努（熊本高等工業土木科、明治40年卒）は明治41（1908）年工業雑誌上で米国の鉄筋コンクリートに関する規格の概要を紹介している。²⁸⁾ この規定は米国費府での建築監督局の部長ヘンリー・クレイ（Henry Clay）の1907年10月の論文の紹介である。建築物が対象であるが、当時我国でも建築物の構造計算は、土木技術者が関与しており、土木及び建築の技術者の参考にされたと見られる。

その特徴を挙げれば次の通り。

- コンクリートは機械練りを標準とし、手練りは小規模か、都合上手練りを適当とする場合に限られている。
- 打継目の施工法は、セメント1、砂2の割合の膠泥（モルタル）の散布による事。
- セメントの材質試験の他に、モルタルでの伸張力試験を義務付けている。
- 設計上の安全荷重（死荷重+活荷重）に対し、材料の応力度は安全率を4とする。
- 鉄筋混凝土の弾性係数比は、碎石及び砂利混凝土で1：1.2とする。
- 構造上の応力伝達が必要な所には、乾燥収縮及び二次応力を考慮して、補強鉄筋やせん断力に対応した鉄筋を入れる。

この紹介論文は、明治39（1906）年欧米留学から帰朝した熊本高等工業土木科教授で、コンクリート工学専門の川口虎雄教授の提供した資料に基づくものと見られる。

2) K. F. 生「普魯士王国工務省鉄筋混凝土建築規定」

上記の紹介文は匿名であるが、1907年5月24日に制定されたプロシャ王国（ドイツの主要部）の鉄筋コンクリートに関する規定の翻訳に近いものである。²⁹⁾

プロシャ王国の規定は国の立場からの規制の原則を述べたもので、材料の検査、保管、

施工上の注意事項等について細かく規定し、検査官により厳密に検査する様に義務付けられている。主な特徴点を挙げれば次の通り。

- a) コンクリートの圧縮強度を現場採取の30cm立方体の供試体で試験する様規定。
- b) 打継目の施工法では、旧面を粗仕上げ清掃して濡らし、薄きセメント液を塗布する。
- c) 完成後の荷重試験は検査官が必要と認めた時実施し、gを死荷重、pを活荷重として $0.5g + 1.5p$ を超過しない荷重とする。
- d) 曲げ部材に関する鉄筋を計算する時の安全率は5とする。
- e) 床版の計算法として、二方向版及び一方向版の簡易曲げ計算法を指定している。

コンクリートの打継目の施工法に欧州各国で若干の相違が見られる。プロシャ王国のこの規定は、当時の鉄筋コンクリート技術の先進国の規定であり、検査の方法等我国の設計や、施工に大きな影響を与えたと見られる。

3) S. T. 生「鉄筋混凝土工事監督訓令」

米国民間工事会社の鉄筋混凝土工事の施工マニュアルを紹介したもので、工事現場での細かい手法を解説しており、鉄筋コンクリート工事の現場担当者には有益であった。³⁰⁾

4) 小野栄作「欧羅巴諸国に於ける鉄筋混凝土の仕様規定」

小野栄作(東京帝大土木科、明治39年卒)は大正3(1914)年欧州各国の鉄筋コンクリートの設計及び施工に関する規定や、民間会社のマニュアル等を収集して、11項目に分けて比較検討している。これ等の結果の概要の報告である。³¹⁾

これ等を纏めて表にすると表7-7及び表7-8の通りになる。各国の規定の項目は略同じであるが、数値や数式で若干の相違がある。(表7-7及び表7-8参照)

- a) 施工での鉄筋組立及び混凝土充填では、英国が鉄筋に予めモルタル塗布を規定している。他に充填各層の厚さや、鉄筋かぶりを規定している。
- b) 枠架(支保工)解除では構造部分で解除の日数を替えているが、各国で日数は多少異なる。
- c) 完成後の荷重試験は重要視しており、経過日数や最大載荷荷重を規定している。
- d) 設計計算では曲げ部材の応力度計算の際の断面応力度分布の仮定は同じであるが、材料の許容値には若干の違いがある。特にオーストリアではコンクリートの配合により3分類して規定していて合理的である。(表7-8参照) 大阪市の「鉄筋混凝土計算規定」はこれに影響を受けたと見られ、参考に隣接して掲載する。
- e) 支柱の設計では、長柱の定義が若干異なり、更に計算式ではランキン式(Rankin、仏国)オイレル式(Euler、独、奥国)ゴルドン式(Gordan、英国)と異なり、安全率も4と5に分かれている。

全体としてこうした標準化、規格化によって鉄筋コンクリート構造に対する社会的な信頼性が増し、一般技術者も安心してこの構造を採用し易くなるので、益々この構造が社会一般に普及して行ったと見られる。

(2) 大阪市役所「鉄筋混凝土計算規定」

我国に於いても先進的な学者や、技術者達が欧米の鉄筋コンクリート技術に学び、我国の技術水準に適合した設計及び施工の標準化、規格化の研究を進めていた。

その最初は明治42年4月に大阪市役所土木課による「鉄筋混凝土計算規定」が、課の

表 7-7 欧州各国における鉄筋コンクリート工の仕様書規定内容比較表 (1) ³¹⁾

制定国 制定年	イギリス 1907	フランス 1906	プロシャ (ドイツ) 1907	オーストリア 1907	スイス土木建築家連合 1903
鉄筋組立及び 混凝土填充	・鉄筋に予めモルタル塗布。 鉄筋かぶり 2.5cm	・填充各層厚は 5cm 未満。 ・鉄筋かぶり 2cm	・施工継目は清掃 散水後ペーストを敷く。	・混凝土は 1.8m 以上の高さで放下すべからず。	
混凝土の水蜜法	・石鹼又は明礬液を塗布。 ・消石灰を混入。				
枠架解除	・支柱、桁側面 8日 ・桁底面、径間 1.2m 以上床版 14日 ・大径間桁 28日	・充分凝結した後	・支柱、桁側面 8日 ・桁底面 21日	・混凝土硬化中の霜害期は、日数だけ延長。	・3m 以下の版桁 10 ・6m 以下の桁及び支柱 20日 ・6m 以上桁 30日
混凝土試験	・設計前と施工中に混凝土 10cm 立方体か円柱供試体 4 個の 28 日強度の平均値を代表値		・一辺 30cm の立方体の耐圧試験を行う。	・検査官の要求により、供試体の破壊試験を行う。	
荷重試験	・荷重試験は完成後 2ヶ月経過後。 ・荷重は載荷重の 1.5 倍を限度とす	・主要構造物 90日 ・普通構造物 45日 ・床版 30日 ・24時間載荷、15時間後に繰り停止	・荷重試験 45日 ・0.5D+1.5P 又は 1000kg/m ² 以上ではその等分布荷重とす。	・荷重試験 6週 後 ・載荷重の 1.5 倍 ・亀裂及び永久変形を生ぜず。	・完成後 45日 ・載荷重の 5割増し。
設計荷重	・混凝土単位重量 2.4 t/m ³ ・公会所及び製造工場では実荷重の 1.5 倍 ・動力機械の所 2倍		・混凝土重量 2400kg/m ³ ・公会所、製造工場振動有り床は実荷重の 1.5 倍 ・激動ある所 2倍		
湾曲率計算 支間: 梁桁は支面の中心距離。床版は径間+床版厚。	・単純桁等分布 $wl^2/8$ 。 ・連続桁等分布 中心 $wl^2/12$ 支点 $wl^2/12$	・両端半固定梁 $wl^2/10$ ・床版 $L \times B$ $M_0 = M(1+2B^4/L^4)$ $M_1 = M(1+2L^4/B^4)$	・連続桁簡易式は中支点共単純桁の 4/5。 ・長辺 a 短辺 b 床版 $wl^2/12$ $a \leq 1.5b$	・連続桁の計算は 3径間以内とす。 ・長辺短辺床版 $L \leq 1.5B$ $M_0 = ML^4/(L^4+B^4)$	・固定、連続桁では支点固定度で中央では支点の 2/3 ・固定度不明では中央で単純桁の 2割増、支点 5割増
計算規定 イ、混凝土部の応力分布は直線と仮定す。ロ、混凝土の抗張力は零とす。(共通)	・支柱の長さが最小辺か直径の 1.8 倍以上は長柱計算 ・T 桁の床版厚は、径間の 1/12 ~ 1/18 とする。	・支柱の長さが最小辺か直径の 2.0 倍以上は長柱計算 ・長柱はランキン式により計算。 ・環状鉄筋柱は別途とする。	・T 桁の床版厚の有効幅は径間の 1/6 以内とす。 ・床版最小厚 8cm ・支柱の長柱計算はオイレル式で安全率は 5 とする。	・異形鉄筋の粘着力は、1割増とす ・支柱断面に対し鉄筋断面は千分八 ・支柱の長さか最小動半径の 2.0 倍以上では長柱計算	・支柱の鉄筋は横筋材の間隔の二分之一を長とする柱としてオイレル式により計算する。安全係数は 4 とする。

内規として制定された。³²⁾「鉄筋混凝土は其の出生極めて晩近なるに拘わらず、夙に試験時代を過ぎて応用時代に入り、盛んに土木造家の諸工事に用いられて、其理論略ぼ一定するに到れりと雖も、強度の選択、其他計算法等に関しては、各国皆其撰を異にし、頗る蕪雜の感あり。是れ素より当然の理なるべしと雖も、余輩實施に従事するものにありて事毎に諸説を参照し、徒に其取舍に迷ふ如きは事業推挙上不利少なからざるを以て、本邦に於いて之に関する資料頗る乏しきに拘わらず本規定を設くるに到たるなり。」と規定の制

表 7-8 欧州各国における鉄筋コンクリート工の仕様規定（許容応力度）比較表（2）^{31) 32)}

制定国 制定年	イギリス 1907	フランス 1906	プロシヤ 1907	スイス建設 連合1903	オーストリア 1907			大阪市土木課 1909	
標準強度 (28日)	169~211	90日の供試体			1:3 470 "	1:4 350 "	1:5 280 "	1:4 ²⁾ 150	1:4 ³⁾ 120
曲げ圧許容 応力度	4.2	供試体強度 の28%	破壊強度 の1/6	3.5	3.3+ 0.21L ⁴⁾	2.9+ 0.21L ⁴⁾	2.5+ 0.21L ⁴⁾	30	25
曲げ張許容 応力度	0	0	抗圧強の1 /10 ⁵⁾	3.9	19+0. 1L≤22	18+0. 1L≤21	16.5+ 0.1L≤19.5	0	0
単純抗圧許 容応力度	3.5		破壊強の 1/10		2.5	2.2	1.9	2.5	2.0
抗せん許容 応力度	4.2	せん断破壊強 度の28%	4.5		4	4	3	4	3
鉄筋混凝土粘 着許容応力	7	粘着破壊強 度の28%。	抗せん強度 に同じ		5	5	4	4	4
鉄筋材抗張 許容応力度	1054~ 1195	弾性限界の 1/2以内	1000	1000桁 1200 床版の場合	鋼鉄材 800+3L ⁴⁾ ≤900	鋼鉄材 750+2L ⁴⁾ ≤800	鋼鉄 800	鋼鉄 700	
鉄筋材抗圧 許容応力度				700	800+3L ⁴⁾ ≤900	750+2L ⁴⁾ ≤800	700	700	
鉄筋材抗せ ん許容応力					600	500	600	500	
鉄鋼と混凝 土の弾性係 数比E _s /E _c	12	80~10	15	20	18	15	18	15	

1) 砂及び砂利の合 量1立方米に対するセメント重量 (kg)
2) 、3) セメントに対する砂及び砂利の容量比。2) 以上。3) 未満
4) Lは径間 (m) とす。
5) 予め混凝土の応張力を試験し、混凝土に亀裂を生ぜざる事を確かめし。

定理由を述べている。³²⁾

この規定は欧米3国の規定や、関連の8人の学者、技術者の諸論を広く参考にして、我が国の実状をも加味して構造設計のために制定されたものであるが、特に表7-8に示す様に、オーストリア国内務省規定の影響を多分に受けているのが見られる。

大阪市の規定では我が国でのコンクリート強度を、セメントの質や手続りが一般である状況を考慮して、欧米の強度よりも低く規定しており、更に安全率も欧米の4~5に対して6を採用している。当時の日本の技術水準の一端を示すものであろう。³²⁾

この規定の主な特徴を挙げれば次の通りである。

- a) コンクリートの配合では、我が国での実績を考慮して橋台、橋脚等容積大なる構造物には粗砂や、粗砂利の混入を認める。配合については奥国内務省の規定（仏国Ferretの理論）を採用して述べているが、水量についての規定は無い。

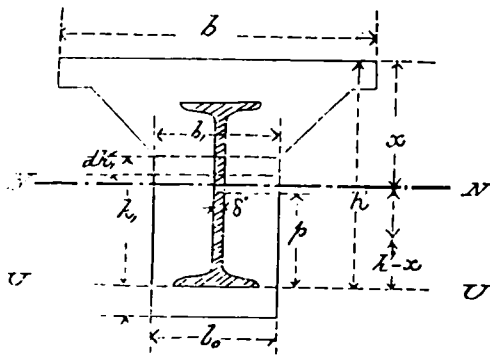


図7-16-1 大阪市「鉄筋混凝土計算規定」³²⁾
(鉄骨部材を用いた鉄筋コンクリート構造)

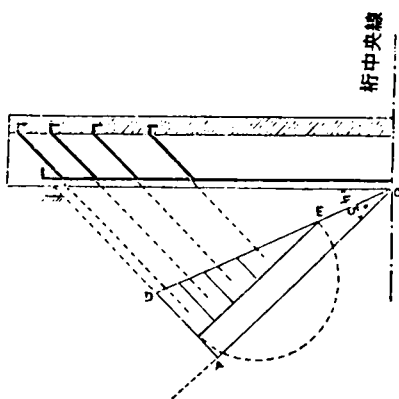


図7-16-3 T桁の主鉄筋折曲げ図解法³²⁾

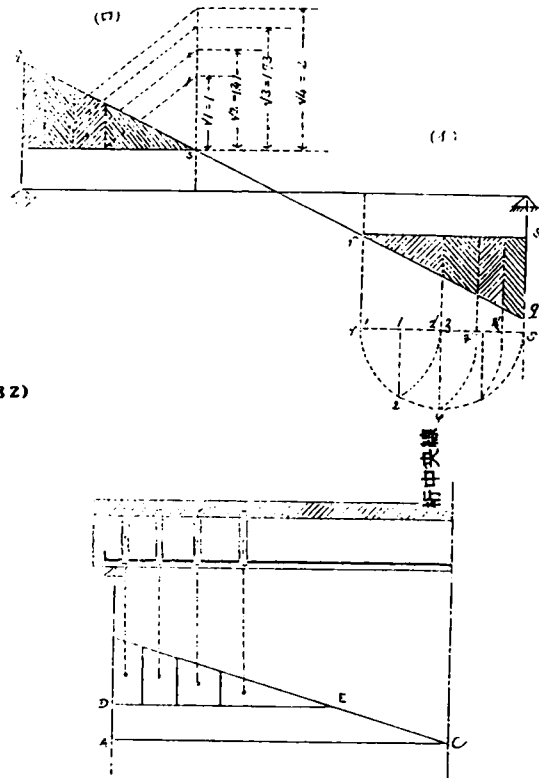


図7-16-2 T桁の筋配置の図解法³²⁾

- b) コンクリートの配合では容積配合比を規定し、構造物の代表的使用例を挙げている。
- c) 荷重試験は普通の場合は、時日と費用の浪費として避けている。
- d) 構造設計計算では、通常の設計計算法の他にT桁の主鉄筋の折曲げ、筋筋の配置法について図7-16の様に最新の工法が示されている。

明治40(1907)年頃の大阪市は、大阪市街電車網の計画を伴う都市改良事業や、激しい伝染病対策としての上下水道改良事業、大阪港湾岸壁工事が計画されており、これ等の構造物に鉄筋コンクリート構造が採用される気運であった。明治40年9月には土木課長に岩田成實(東京帝大土木科、明治32年卒)が就任して、こうした状況に基づいて大阪の実状に応じた鉄筋コンクリートの設計規定の検討が進められた様である。

大阪市の下水道工事計画は、京都帝大藤高彦教授の指導の下に、長崎港湾改良工事でコンクリート工事を経験した坂田時和(第三高等学校土木科、明治32年卒)が担当し、明治42(1909)年には鉄筋モルタル下水管の荷重試験を実施していた。また同年には坂田時和の担当で、大阪市最初の鉄筋コンクリート橋「工匠橋」の試験的小橋が架設されている。³³⁾この事から坂田時和のこの計算規定への関与が推定される。図7-16に示す主鉄筋や、筋筋の配置法は原田碧の前掲の著書と同じ、最新のアンネビック工法のものである。

この鉄筋コンクリートの計算規定は、以後の大阪市の港湾岸壁や棧橋、そして街路改良での橋梁下部構造、上下水道の構造物等多方面の土木構造物の設計に使用された。

(3) 鉄道院の「鉄筋混凝土橋梁設計心得」の制定

1) 大河戸宗治(東京帝大土木科、明治35年卒)は欧米留学後の明治42(1909)年鉄道院において、欧米の鉄筋コンクリート構造の規定を参考にして、「鉄筋混凝土設計施工示方書(案)」を作成した。これを基にして鉄道院では委員会を設けて調査検討を加えて、大正3(1914)年に「鉄筋混凝土橋梁設計心得」を制定した。³⁴⁾

2) 山田正隆「鉄筋混凝土橋梁設計心得」

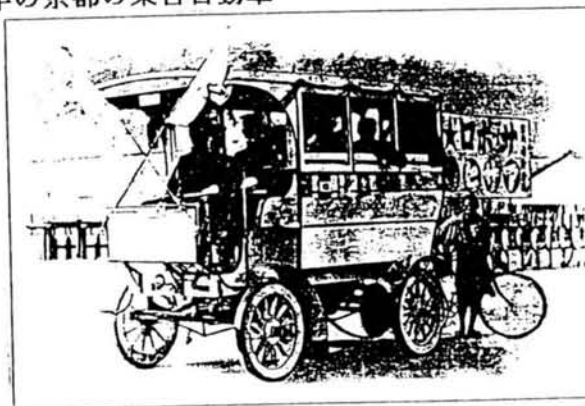
鉄道院の山田正隆(東京帝大土木科、明治40年卒)は、大正3(1914)年制定された「鉄筋混凝土橋梁設計心得」についての概要を説明している。³⁵⁾心得としている理由は、当時米独では政府が委員会を組織して、計画的に鉄筋コンクリート構造の試験研究に乗出しており、この技術の大幅な発展によりその規定の変更が見込まれるからであるとしている。

注目される点は、鉄道院が公道橋の設計活荷重を規定してる事である。当時の市街地道路の交通状況が、荷車や荷馬車から鉄道馬車や軌道電車、更に乗合自動車等へと急速に変化していた。³⁶⁾(写真7-8-1及び-3参照)明治19年の内務省訓令第3号「国県道築造基準」に定めた、橋梁設計荷重の坪当たり400貫(453kg/m²)は、市街地では実状に合わず、都市部では架設位置の状況に合わせて欧米の活荷重が準用されていた。



1903年、京都市の二井商会が始めた乗合自動車。第2号車ロコモビルを使用した。「石井行昌撮影写真」(京都市立総合資料館)

写真7-8-1 1903年の京都の乗合自動車³⁸⁾



同じく内山駒之助製作の乗合バス(1907年)。エンジンはアメリカ製。(自動車工業振興会)

写真7-8-2 1907年の国産乗合自動車³⁸⁾

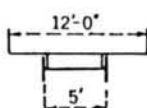
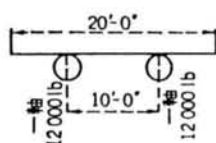
鉄道院は公道と鉄道との立体交差の橋梁の設計のため、公道橋の設計活荷重を欧米の近代的な集中荷重と等分布荷重の組合せを採用している。(図7-17参照)これは内務省との協議により決定されたものと見られるが、鉄筋コンクリート橋の実績の多い内務省にも大きな影響を与えたと考えられる。その後内務省も公道橋の設計荷重の改訂を行なっている。(表7-9参照)



内山駒之助が製作した自動車運輸社の5トントラック。1907年。
(自動車工業振興会)

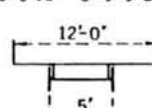
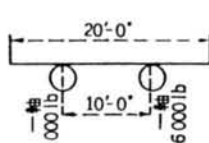
写真7-8-3 1907年の国産5tトラック³⁸⁾

甲 市街公道標準へ荷重 24000lb=10886kg



乙 国道標準へ荷重

12000lb=5443kg



丙 其の他公道標準へ荷重 6000lb=2721kg

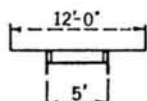
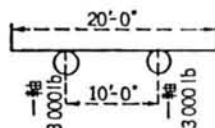


図7-17 鉄道院「鉄筋混凝土橋梁設計心得」の中の公道橋の自動車荷重³⁴⁾

鉄道院の鉄筋コンクリート橋の規定は、欧米の当時の最新の規定や研究結果を取入れ、現場で必要とする規定を可成詳細に規定している。特徴点を挙げれば次の通り。^{34) 35)}

- 公道橋を市街道、国県道、その他道に分けて活荷重を車道と歩道に分けて定めている。車道には車輪荷重（集中荷重）と等分布荷重とし、歩道にも群集荷重を設けている。
- 公道橋にも鉄道と同形式の衝撃荷重を規定している。衝撃係数 $i = a / (L + 300)$
鉄道橋 $a = 300$ 、市街電車線 $a = 200$ 、その他道路 $a = 150$ 、 $L =$ 支間 (ft)
- コンクリートは1:2:4を標準とし、28日圧縮許容値を 42.2 kg/cm^2 とする。
特にせん断許容応力度については、配筋状態に応じて細かく規定している。
- コンクリートの許容値は、1:3:6では1:2:4の75%とする。
- 鉄筋とコンクリートの弾性係数比は15とする。

f) 鉄筋の配置間隔、かぶり、接合方法（継手）、定着法等の細部構造を規定している。

g) 鉄筋コンクリートの構（トラス）拱（アーチ）交拱（ヒンジアーチ）等の設計基本原則に付いて述べている。これは欧米では鋼橋の発展に応じた高度な鉄筋コンクリート構造の橋を架設し始めており、それに対応して規定したものと見られる。

この鉄道院の「鉄筋根凝土橋梁設計心得」は日本最初の設計及び施工の体系化された示方書であり、現場で実際に適用されていたものである。欧米先進国の中でも鉄筋コンクリート構造の規格化が遅れた英国が1907（明治40）年の制定であり、それに遅れる事7年にしてやっと日本でも規格化された事になる。

ドイツではプロシヤ政府により1906(明治39)年鉄筋コンクリート委員会が大学研究者や、技術者により組織され、鉄筋コンクリート構造に関する大規模な計画の下に科学的実験により問題解決に当たっていた。これ等は仕様書及び計算基準として規定され、1916(大正5)年と1925(大正14)年に改訂されている。³⁷⁾
米国でもドイツと同様に委員会により大規模な実験が行われたが、規格化は遅れて1924(大正13)年に「コンクリート及び鉄筋コンクリート標準仕様書」として発表され、更に1929(昭和4)年に改訂されている。³⁷⁾

(4) 内務省「鉄筋混凝土橋梁仮取締規則」の作成

田上為巳(熊本高等工業土木科、大正7年卒)の著書「鉄筋コンクリート橋の歴史—福岡県の古き橋の調査報告」³⁸⁾によると「鉄筋混凝土橋梁仮取締規則」と言う内務省作成の鉄筋コンクリート橋の設計及び施工に関する規則を、北九州市の「遠賀川橋」(大正13年竣工、橋長373m、有効幅員6.4m、支間31@11.5+2@7.2m)の担当者であった大浦正次から入手して記録している。

この「仮取締規則」と略称される規格は遠賀川橋に適用されたものであるが、道路舗装の転圧機を「路轆」(ろろく)と呼んでおり、大正8(1919)年12月の内務省制定の「道路構造令」及びその後の道路法令では「輾圧機」と書かれ「路轆」と言う語は使用されていないので、それ以前の大正5(1916)年頃に作成されて、暫定試行されていたものと推定している。

大正3(1914)年には鉄道院の「鉄筋混凝土橋梁設計心得」が正式に制定され、公道橋の設計荷重まで規定されている状況は内務省土木局も承知しており、これに刺激されて実績の多い内務省でも鉄筋コンクリート橋の設計施工の規則を作成して、全国での暫定試行を行なっていたと見られる。内務省でこの規定が正式に法令化されたのは、大正15(1926)年6月の「道路構造に関する細則」に依ってである。

明治大正期の鉄筋混凝土橋の規定の中で、公道橋の活荷重の規定を非公式のものも含めると表7-9の様である。大正3年の鉄道院の「設計心得」から大正15年の「道路構造令の細則」までを比較すると次の様に変化しているのが分かる。(表7-9参照)

- a) 「仮取締規則」の自動車荷重は、「設計心得」よりも5割増しと大きく、大正8年の「道路構造令」では逆に低く改訂されている。(図7-18及び図7-19参照)
- b) 等分布荷重(群集荷重と呼んでいる)では、大正3年の鉄道院から大正15年の正式法令化まで、略同程度の大きさで変化していない。
- c) 歩道部の荷重は当時歩道部を設ける橋が少なかった為か、鉄道院の「設計心得」以外には規定していない。大正15年になって初めて「道路構造令細則」で規定を設けているが、当時の道路交通状況を示すものであろう。
- d) 衝撃荷重は鉄道院では鉄道と同じ考え方で、道路橋にも係数を変えて規定しているが、大正8年の道路構造令では荷重を大きくして規定していない。道路交通の当時の状況の研究不十分のためであろう。鉄道院も欧米の規定の例に倣ったものと見らる。大正15(1926)年の法令化の時には、自動車交通の将来の発展を見越して衝撃荷重を考慮したものと考えられる。

全体として、大正5(1916)年頃の「仮取締規則」が、鉄道院の「設計心得」と大

表 7 - 9 明治大正期の鉄筋混凝土橋梁規定に見る公道橋の活荷重の比較表
(非公式規格を含む)

名 称	道路の 種類	等級	車 道 荷 重			歩道荷重	衝撃係数
			車 両 荷 重		等分布荷重 大正 8、15 年 まで群衆荷重	群衆荷重 昭和 14 年 等分布荷重	
			自動車（車軸重）	転圧機			
明治 19 年 8 月 (1886) 国県道 の築造標準（内 務省令第 13 号）	国道 県道	規定 なし	規定なし		車道、歩道の区分なし 400 貫／坪（454 kg／m ² ）		規定なし
大正 3 年 7 月 (1914) 鉄筋混 凝土橋梁設計心得 (鉄道院達 684 号)	市街	なし	24000 ¹⁾ (10886kg) (1.2 万 + 1.2 万)	なし	125lb／ft ² (610 ¹⁾)	801lb／ft ² (391kg／m ²)	i = 150 ／300 + 1 1 = 支間 (ft)
	国県道	なし	12000 ¹⁾ (5443kg)	なし	100lb／ft ² (488 ¹⁾)		
	その他	なし	6000 ¹⁾ (2721kg)	なし	80lb／ft ² (391 ¹⁾)		
大正 4 年 (推定) (1915) 鉄筋混 凝土橋梁仮取締規 則 (内務省)	交通頻 繁橋梁	なし	16 t (4t + 12t) 12 t (3t + 9t)	路轆 15t	125lb／ft ² (610kg／m ²)		車両荷重 i = L ² ／ (L + D) ＜ 1／4 し車荷重
	非交通 頻繁橋	なし	8 t (2t + 6t)	12t	100lb／ft ² (488kg／m ²)		
大正 8 年 12 月 (1919) 道路構造 令及び街路構造 令（内務省）	街路	なし	3000 貫 (11250kg)	15t	15 貫／尺 ² (613kg／m ² 、支間対応)		規定なし
	国道	なし	2100 貫 (7875kg)	12t	12 貫／尺 ² (490kg／m ² 、支間対応)		
	府県道	なし	1700 貫 (6375kg)	なし	12 貫／尺 ² (490kg／m ² 、支間対応)		
大正 15 年 6 月 (1926) 道路構造 に関する細則案 (内務省土木局)	街路	一等 橋	12 t (3t + 9t)	14 t	³⁾ ≤ 600kg／m ² ⁵⁾ 600kg／m ²	⁴⁾ ≤ 500kg／m ² ⁶⁾ 400kg／m ²	車両荷重 i = 20 ／60 + 1 ≤ 0.3 1: 支間 m
	国道	二等 橋	8 t (2t + 6t)	11 t	⁷⁾ ≤ 500kg／m ² ⁹⁾ 500kg／m ²	⁸⁾ ≤ 400kg／m ² ¹⁰⁾ 400kg／m ²	
	府県道	三等	6 t (1.5t + 4.5t)	8 t	二等橋に同じ	二等橋に同じ	

1) 単位 kg/m² 2) 車輛荷重のみを対象とする。

主桁、主構: 3) $w = 120,000 / 170 + 1 \leq 600$ 4) $w = 100,000 / 170 + 1 \leq 500$
主桁、主構以外: 5) 600 6) 400
主桁、主構: 7) $w = 100,000 / 170 + 1 \leq 500$ 8) $w = 80,000 / 170 + 1 \leq 400$
主桁、主構以外: 9) 500 10) 400

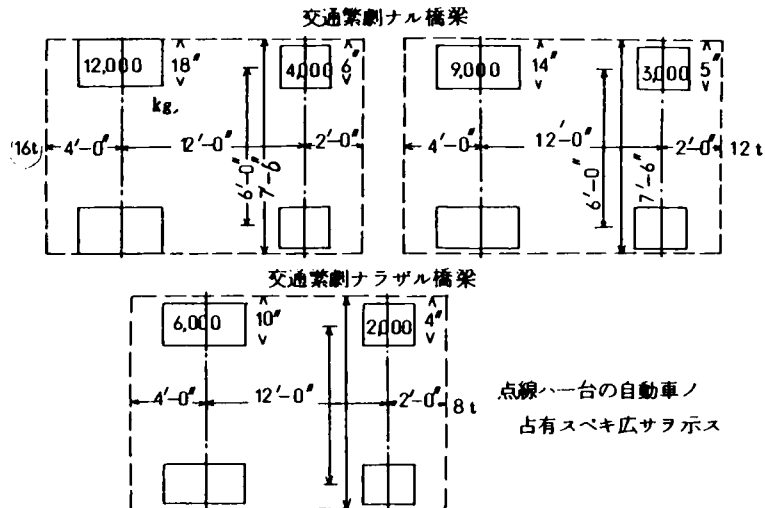


図 7-18-1 内務省「鉄筋混凝土橋梁仮取締規則」の自動車荷重³⁷⁾

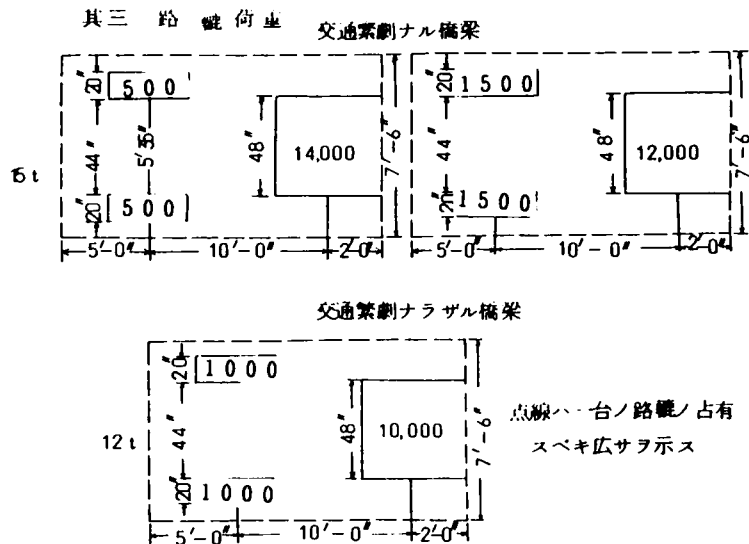


図 7-18-2 内務省同上 路轆（ろろく、転圧機に同じ）の荷重³⁷⁾

其四 電車荷重

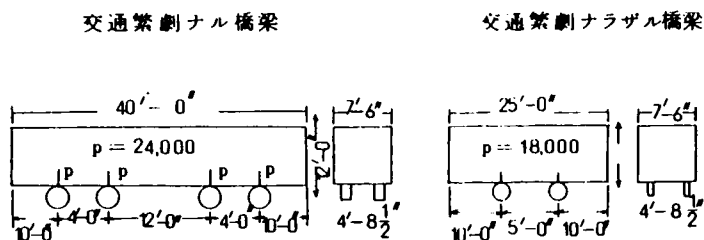


図 7-18-3 内務省同上、市街軌道電車荷重³⁷⁾

正 8 年（1919）年の「道路構造令」との中間的な性格を持っているが、鉄道院に影響されながら、道路としての独自性を出して試行している事が分かる。従って田上為巳が大正 5 年の作成と推定したのは妥当な推定であろう。

筆者はこの事を検討する為に、各府県の「統計書」により大正 2（1913）年から大正 5（1916）年までの各府県の鉄筋コンクリート橋の橋数を調査した。明治末期の鉄筋コンクリート橋の實績のある府県について調べた結果は表 7-10 に示す通りである。

兵庫県、熊本県、高知県及び福岡県等の主に西日本各県で大正 4 年又は 5 年に掛けて急

表 7-10 府県統計書による大正初期の鉄筋コンクリート橋数の変化

府県名	道路種別	大正2(1913)年		大正3(1914)年		大正4(1915)年		大正5(1916)年	
兵庫 県	国 道	1) 0	2) 0	1) 0	2) 0	1) 0	2) 0	1) 0	2) 0
	府県道ほか	1	0	1	0	13	2	13	2
熊本 県	国 道	1	0	1	0	1	0	1	0
	府県道ほか	0	0	0	0	11	1	12	1
長崎 県	国 道	2	1	4	1	4	1	4	1
	府県道ほか	11	0	14	0	18	0	18	0
福岡 県	国 道	0	0	0	0	0	0	0	0
	府県道ほか	0	0	0	0	7	2	7	2
愛知 県	国 道	0	0	0	0	0	0	0	0
	府県道ほか	0	0	0	0	0	7	0	7
神奈川 県	国 道	0	0	0	0	3) —	3) —	0	0
	府県道ほか	0	1	0	1	3) —	3) —	13	1
高知 県	国 道	0	0	—	—	0	0	0	0
	府県道ほか	3	0	—	—	8	0	17	14)
千葉 県	国 道	0	0	0	0	0	0	—	—
	府県道ほか	1	0	1	0	8	0	—	—
滋賀 県	国 道	1	0	—	—	1	0	1	0
	府県道ほか	0	0	—	—	6	0	6	0

1) 橋長、1間以上10間未満

3) — 資料なし。

2) 橋長、10間以上30間未満

4) 高知県、鏡川橋 124間 (225.7m)

表 7-11 京都府及び京都市の統計書による明治末期の鉄筋コンクリート橋数の変化

	道路種別	明治43(1910)年		明治44(1911)年		大正元(1912)年		大正2(1913)年	
京都 府	国 道	1) 0	2) 0	1) 1	2) 0	1) 1	2) 0	3) —	3) —
	府道ほか	1	0	4	0	6	2	—	—
京都 市	市 道	16	0	17	0	25	0	—	—

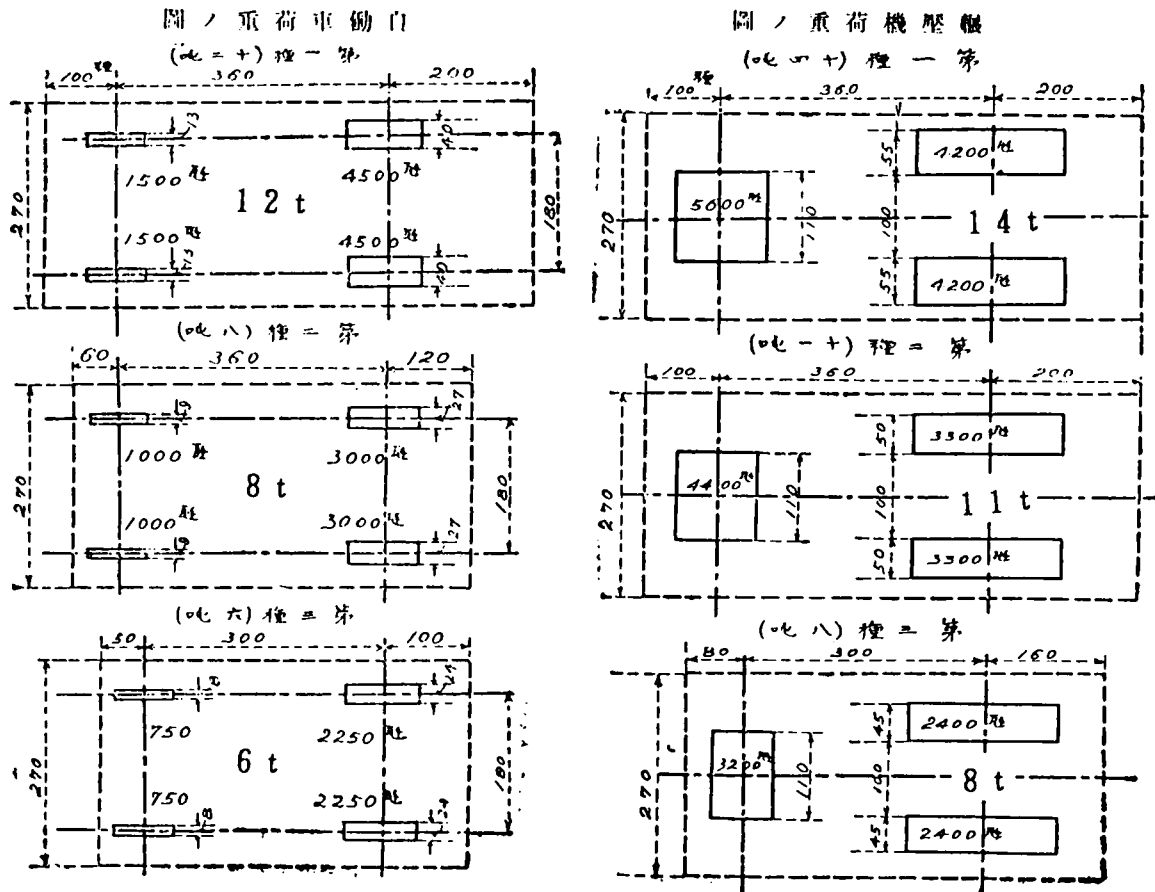


図7-19 内務省土木局「道路構造に関する細則」（設計活荷重図、大正15年）⁴⁰⁾

激に橋数が増大しているのが分かる。（表7-10参照）

この理由として、大正3（1914）年の鉄道院の「設計心得」を準用した場合も考えられるが、当時の省庁の縦割組織を考えると、内務省の「仮取締規則」が大正4（1915）年に作成され、内務省の土木主任官会議（各府県土木課長会議）に付議されて、各府県で暫定的に試行されていたと見るのが妥当である。⁴⁰⁾ 但し、当時道路は一般には国の補助金はなく内務省の統制も緩やかで、この規則の採否は各府県の判断に任されていた。そのためか西日本の各府県での鉄筋コンクリート橋の採用は多いが、東日本では意外に少ない。欧米での新技術の研究を参考にして土木主任官会議での活潑な議論を通じて変遷し、規則の正式な制定までに時間を要したと見られる。

なお、鉄筋コンクリート橋技術が進んでいた京都府市では、表7-11に示す様に明治末期には橋数を示しているが、大正初期には示していない。（表7-11参照）

この鉄筋コンクリート橋の橋数の変化を見ると、鉄筋コンクリート橋技術發達の時期区分として、明治末期から大正3（1914）年までを「技術導入期」とし、大正4（1915）年以後をこの技術が受容され、普及し始めた「技術普及期」とするのが妥当であると考えられる。

参考文献-7

- 1) 井上秀二「鉄筋コンクリート」丸善株式会社、明治39年6月。
- 2) 後藤佐彦「鉄筋コンクリート工法」大倉書店、明治40年12月。

- 3) M.M.Chrimes "The Development of Concrete Bridges in the British Isles prior to 1940 "Proc. Instu. Civ.Engrs. Structs & Bldgs. 116.404.1996.
- 4) "Ferro-Concrete Bridge over the Sutton Drain, Hull "Engineering.75.14.1903.
- 5) 原田碧「実用鉄筋コンクリート構法」丸善株式会社、大正元年8月。
- 6) 田辺朔郎「袖珍、工師必携」丸善株式会社、大正元年9月。
- 7) 京都市役所「京都三大事業誌（第二琵琶湖疏水事業編、第三章）」60頁、大正元年9月
- 8) 原田碧「実用鉄筋コンクリート構法」丸善株式会社、235 頁、大正元年8月。
- 9) Buel&Hill "REINFORCED CONCRETE Part-1 "THE ENGINEERING NEWS PUBLISING COMPANY P52. 1906.
- 10) 柴田睦作「鉄筋混凝土に就いて」工学会誌339 巻、140 頁、明治44年4月。
- 11) 井上福一郎「鉄筋コンクリート設計実例」土木叢書、東京建築書院、大正元年9月。
- 12) k.Shibata "A Glimpe of a Line of Resistance of a Voussir Arch "工学会誌205巻 明治32年2月。
- 13) K.Shibata "A Note on the Backing of an Arch "工学会誌228 巻、明治34年3月。
- 14) k.Shibata "On the Surfaces of Skew Arches "工学会誌238 巻、明治35年3月。
- 15) 吉町太郎 "A Method of Locating the True Equilibrium Polygon on an Hingeless Arch "工学会誌321 巻、明治42年9月。
- 16) 柴田睦作「工業力学」丸善株式会社、明治43年8月。
- 17) 秋元繁松「鉄筋コンクリート拱橋」博文館、明治42年6月。
- 18) S.P.チモシェンコ(最上武雄監訳、川口昌広訳)「材料力学史」鹿島出版会291頁、昭和29年
- 19) k.Hayashi "Proposed Design of Nihonbasi, Accompanied by 8 Plates of Drawing " 1903. 6. 京都帝国大学卒業論文。
- 20) 田辺平学、二見秀夫「鉄筋コンクリート構造」高等建築学 9 巻、常盤書房、昭和9年
- 21) 米元晋一「日本橋改築報告」工学会誌359 巻、大正2年3月。
- 22) 抜粋「無交拱橋ノ簡単ナル図解法」土木学会誌4巻5号、526 頁、大正7年10月
- 23) 二見鏡三郎「鋼拱橋」工学社、土木建築工学1 巻1 号、大正3年5月。
- 24) 二見鏡三郎「鋼拱橋及鉄筋混凝土拱橋」東京工学社、大正6年6月。
- 25) 谷井陽之助「鉄筋混凝土拱橋設計々算例」工学社、土木建築工学2巻12号、大正4年8月
- 26) 河合信「鉄筋混凝土拱橋設計例」工学社、土木建築工学3巻1号、大正5年1月。
- 27) H.シュトラウプ(藤本一郎訳)「建設技術史(工学的建設技術への發達)」鹿島出版会 254 頁、昭和51年11月。
- 28) 堅田務「米国費府における鉄筋混凝土規定」工業雑誌391、392号、明治41年8、9月。
- 29) K.P.生「普魯士王国工務省鉄筋混凝土建築規定」工業雑誌472~476号、明治44年11月~ 明治45年1月。
- 30) S.T.生「鉄筋混凝土工事訓令」工業雑誌477、478 号、明治45年2月。
- 31) 小野栄作「欧羅巴諸国に於ける鉄筋混凝土工の仕様規定」土木建築工学1巻4~6号 大正3年8月~10月。
- 32) 大阪市役所土木課「鉄筋混凝土計算規定」明治42年4月。
- 33) 昔のコンクリートを語る会「昔のコンクリート」コンクリート叢書 2 4 巻、日本ポルトランド・セメント同業会35、61、87頁、昭和11年10月。

- 34) 田村浩一、近藤時夫「コンクリートの歴史」山海堂、59頁、昭和59年7月。
- 35) 山田正隆「鉄筋混凝土橋梁設計心得」土木建築工学 1 巻7、8号、大正3年11、12月。
- 36) 飯田賢一他編集「20世紀フォト・ドキュメント」第5巻産業、k.k.ぎょうせい、1992.5.
- 37) 田辺平学、二見秀夫「鉄筋コンクリート構造」常盤書房、17、22頁、昭和9年2月。
- 38) 田上為巳「鉄筋コンクリートの歴史（福岡県の古き橋の調査報告）」9頁昭和54年5月。
- 39) 日本道路協会「橋梁維持補修便覧」16頁、昭和54年2月。
- 40) 道路改良会「道路法令の諮問」内務省土木局、道路の改良6巻6号、102頁、大正13年6月。

8. 鉄筋コンクリート技術導入の影響の考察

8. 1. 明治末期における鉄筋コンクリート技術導入の特徴とその影響

(1) 鉄筋コンクリート技術導入が与えた影響。

1) 我国の鉄筋コンクリート技術の導入は、明治政府の日本近代化の一環として特にその基本となる公共施設の近代化が第一の国策として取上げられた。広井勇¹⁾、直木倫太郎等²⁾を初めとする指導的な技術者達は、鉄筋コンクリート構造がセメントの生産が多く、鉄鋼材料に乏しい我国の国状に適した構造として、明治36(1903)年頃から導入の必要を国策として強調していた。

明治末期から大正初期にかけて、前述の通り土木の各分野で導入はされたが、一部の工事で採用されたのみで全国的な受容と普及は大正4(1915)年以後の事であった。

こうした導入の遅れの理由として次の事が考えられる。

a) 鉄筋コンクリート構造の複合構造としての複雑さから、1890年頃から欧米では理論上の各種の混乱が生じてた。一方多様な鉄筋コンクリート工法が開発されて我国に紹介され、その選定の困難さも影響されていた。欧米の強い影響を受けていた我国の技術は、独自の研究をする事なく欧米での技術開発と、規準の統一を待ち望みつつ状況を見守っていた。

b) 日本国内では明治22(1889)年頃の横浜築港や、明治30(1897)年頃の大阪築港での大コンクリート・ブロック製造中のクラック発生事故が問題となり、コンクリートに対する社会的悪印象を与えており、鉄筋コンクリート構造を積極的に採用する気運が少なかった。

c) 日本の鉄筋コンクリート構造の規準が無いと、技術者はその採用に当たっては、欧米の関係資料や規準を参考にし、日本の状況を考慮して自己の判断と責任で、材料や施工法の選択、設計基準や許容応力の決定を行う必要があった。採用するには可成の技術上の確信を要した。これ等問題点が解決された大正4(1915)年以後には、この技術が受容されて全国的に普及を開始した。その後の普及は急速で鉄筋コンクリート構造が、土木施設の基本的構造とされ、大正末期に耐震設計方法が開発されると共に、鉄鋼構造物以外殆んど全ての公共施設で普通に採用される様になった。

2) 欧米では1890年頃以後にMelan等の大学研究者を中心に、鉄筋コンクリート構造の理論的及び実験的研究が進んだ。一方では独技術者Wayss等の欧米民間技術者による実物大の荷重試験から独自の破壊実験式を求め、安全率4~5を採用して各種構造物に鉄筋コンクリート構造を積極的に採用していた。

これ等は従来の石造及び煉瓦造の構造物に比して経済的であり、造形的にも同等に達しており、次第に信頼を得て旧構造に取り代わって普及して行った。³⁾

1893(明治26)年頃オーストリアの技術者と建築家連合(Ingenieur und Architecten Vereins)は、Melan等の研究者や、官庁技術者を含めた委員会を組織し、大規模な石造及び煉瓦材を含む鉄筋コンクリートの各種アーチ構造物の比較実験により、構造強度と理論の一致を確認して、鉄筋コンクリート構造の理論の統一を促進した。⁴⁾

独人ケエネン(könen)は当時の鉄筋コンクリート構造の各種研究を取纏めて、1902(明治35)年「鉄筋コンクリート構造計算の根本」を發表したが、これにより設計上の

基本的な考え方の合意が略成立した。⁴⁾

1903（明治36）年にはスイスの技術者と建築家連合は最初の「鉄筋コンクリート構造の暫定規準」を作成したが、この後欧州各国の政府機関や、技術団体等が略同様の規準を作成して施行したので、欧州での鉄筋コンクリート構造の安全性が保証されて、広い分野で普及して行った。⁵⁾

欧州では政府機関は調整と検査の役割であり、民間団体が主導して規準の範囲内での新技術の開発や技術の多様化が活潑に進められた。特に米国では国の規準化は遅れたが、鉄筋の異形化や特殊工法の開発による競争が盛んで、我国にもこれ等異形棒材が輸入されて使用された。⁶⁾

3) 我国ではこうした欧米でのこの技術の発展と普及の影響を受けて、明治36（1903）年以後官庁技術者の努力により欧米技術の導入が始まったが、それ等は最初は公共施設で試験的に実施された小規模な物であり、大部分は大学教授の指導に依る物であった。

この様に官庁技術者の主導によるこの技術の導入の体制のため、失敗を恐れぬ創意工夫よりも、安全第一の欧米技術の導入と模倣が主流であった。工学会誌や、工業雑誌の論文も工事報告や研究報告よりも、外国の技術や工事の紹介が中心となった。

直木倫太郎が「我国ニ於ケル鉄筋混凝土工法ノ前途」⁷⁾等の論文で強く主張した様な、我国における鉄筋コンクリート技術の導入による独自の新技術の開発は起こらなかった。これは当時の日本は技術導入が急務であり、この方面の新技術開発の社会的な刺激が少なく、当時は未だ我国独自の新技術を育てる社会基盤が出来ていなかったと見られる。

4) 日本の大学等での土木工学の教育も発展し、明治末期には鉄筋コンクリート工学の講義も行われた。こうした教育を受けた技術者が地方にも定着して、中央の指導もあり積極的に欧米のこの技術を導入して普及させて行った。この導入に際しての欧米文献資料の入手や解説には、大学教授の役割は大きかったと見られる。大学教授も地方での鉄筋コンクリート技術の指導に熱心であり、官庁技術者を指導して実際の構造物の建設を自己の研究と共に進めていた事は間接的記録で窺える。ただし、教授による直接の工事の報告はされていないので、具体的な指導の状況は不明である。

5) 明治末期における我国の公共施設建設の重点は、鉄道、港湾と上下水道及び河川に置かれており、国費による直轄工事か、国庫補助による大規模な事業が選ばれて実施されていた。選ばれた土木技術者が担当して、欧米の進んだ鉄筋コンクリート技術を導入して設計施工された。一方道路等のその他の選ばれない工事は地元負担とされ、公共施設も財政上から小規模の工事に限られていた。毎年の様に起きる河川洪水の被害も、一部を除いて殆んど地元負担で復旧されていた。⁸⁾

明治7（1874）年から17（1884）年の三島通庸による山形、福島、栃木の三県を連絡する「三県道路」や、明治19（1886）年から27（1894）年の四国4県を結ぶ「四国新道」の建設等は、例外的な国庫補助によるものである。¹⁰⁾

明治末期の鉄筋コンクリート工事を見るとこの様子が分かる。鉄道、港湾、上下水道工事は大規模であるが、鉄道の補助施設と位置付けられていた地方の道路や道路橋は、小規模な試験的な橋梁が多い。財政の比較的豊かな都市の道路橋は鉄鋼橋で架設されていたが、地方では大部分が木橋か石橋であり、当時は船橋が多く架設されていた事が、内務省土木局の統計年表等からも窺える。

これから推定すると明治末期の地方の道路の状況は、荷車や荷馬車が交通の中心であり、都市部での軌道電車や乗合自動車が走る状況とは大きく異なっていたと見られる。⁹⁾

大正期に入り地方にも乗合自動車や軌道電車が走る様になり、道路の重要性が認識されて、交通状況に合わせた道路構造や橋梁のための活荷重の改訂が行なわれ、鉄筋コンクリート構造の利点も認識されて普及し始めた。

大正8(1919)年3月には内務省外郭団体の「道路改良会」が、内務省内に設けられ「道路の改良」と言う雑誌が発刊された。¹⁰⁾ 大正末期には主要国道の改良工事が始まり、遠賀川橋、野洲橋、篠の井橋等の公道橋も鉄筋コンクリート橋に架替えられた。関東大震災の際には鉄道が破壊された時に、代替え輸送として乗合自動車が活躍して、道路の重要性の認識が高まったと言われる。⁹⁾

こうした事から土木事業や土木技術の発展が、国の政策や社会の状況と深く関連している事が分かる。言い換えると土木技術も社会の状況に合わせて発展しており、指導的土木技術者達も欧米先進国での状況を見守りながら、我国の社会状況に合わせて技術を導入し、公共施設を建設していたと見られる。

6) 我国での明治末期の鉄筋コンクリート技術の導入にもかかわらず、全国的な普及は遅れていた。この技術が普及する為には、標準的な設計法や施工法が規格化され、この技術を採用する技術者の判断や責任の基準を明確にする必要があった。規格化する事により、この種の構造物の安全性や社会的な信頼性が高まり、盛んに採用されて普及して行く。

こうした点で大正3(1914)年の鉄道院の「鉄筋混凝土橋梁設計心得」¹¹⁾の制定や、内務省の非公式であるが、大正4(1915)年の「鉄筋混凝土橋梁仮取締規則」¹²⁾の暫定試行の役割は大きかったと見られる。

その後鉄道院では大正年間に改訂して基準の内容を充実したが、¹¹⁾内務省でも変更をして大正15(1926)年6月に、ようやく道路橋の鋼橋及び鉄筋コンクリート橋を統一した規準化が、「道路構造に関する細則」として法令化した。¹³⁾

こうして我国の鉄筋コンクリート技術は橋梁の規準化を参考にして、各種の構造物の設計及び施工が行われて、この技術も全国的に普及して行った。

7) 大正末期以後鉄筋コンクリート構造が殆どどの公共施設の基本構造として採用される迄に普及したが、コンクリートの配合理論は大正8(1919)年の米人エブラムス(D. A. Abrams)の「水セメント比の理論」が開発され、大正11(1922)年吉田徳次郎が米国から帰朝して、この理論を紹介して普及に努力するまでは、従来の容積配合が続いていた。¹⁴⁾ この理論が普及する昭和の始め以後はこの新理論を適用して、必要強度に応じた合理的コンクリートの配合が行われる様になった。

8) こうして鉄筋コンクリート構造が全国に普及して盛んに採用される様になると、関連する我国セメント産業や、鉄鋼産業もその影響で急速に発展した。我国の社会施設の基本的構造として鉄筋コンクリート構造は大きな役割を果たしたが、耐震設計の理論が実際に構造物に導入されるのは、大正12(1923)年の関東大震災以後の事である。この震災で鉄筋コンクリート構造の耐震性の利点も明らかになり、耐震構造の研究や、その導入が進んで我国の社会施設の耐震性が向上し安全性が増大した。¹⁵⁾

(2) 鉄鋼橋と鉄筋コンクリート橋の技術導入時の特徴の比較。

1) 鉄鋼橋の技術導入は明治初期であり(最初の鉄橋の長崎くろがね橋は、明治元(1868)年木本昌造が長崎製鉄所で蘭人フォーゲルの指導で鉄板桁を製作。)御雇欧米人による設計か、又はその指導で日本人技術者が設計した。明治末期までは鉄又は鋼桁以外は、日本人の欧米留学した技術者等が概略設計して、欧米のメーカーに注文して詳細設計及製作を行っていた。¹⁶⁾

これに対し鉄筋コンクリート橋の導入は明治末期であり、我国で教育された技術者が地方に配置され、彼等が欧米技術を原書で学び、又は欧米に留学か視察した研究者や、技術者がこの技術を導入している。我国技術者により設計及び施工が行われている。¹⁷⁾

2) 鉄鋼橋の場合は単一材料で理論と構造の挙動が明確であるのに対し、鉄筋コンクリート橋では複合材料で複雑な性質であり、欧米での一時的な理論の混乱の後に統一されて、規格化されると略同時期に我国に導入された。鉄鋼橋が明治初年に早くから急速に導入されたのに対し、鉄筋コンクリートの導入はその導入の必要が強調されながら、その割に地方中心に導入されたため明治末期に緩慢に進行した。

3) 鉄筋コンクリート橋は現場施工が中心であり、官庁技術者も現場での直接の技術指導が必要であった。之に対し鉄鋼橋では工場製作の比重が高く、製作では最初は官営であったが明治20(1887)年頃には民営となり、土木技術者以外の技術者により製作されていた。工場と現場の複合的な施工であった。¹⁷⁾

4) 土木工事の施工形態は頭初は官庁の直営で、作業員のみが民間請負者による供給の体制であった。明治中期になると民間請負者の技術力が向上し、内務省直轄河川工事を除き土木工事は次第に民間請負者の施工に移行して行った。鉄道院は特に民間請負者の技術力の向上に熱心であり、我国の民間請負者の近代化も進んで行った。¹⁷⁾

(3) 鉄筋コンクリート橋を採用した理由

鉄筋コンクリート橋を採用した理由は次の様に考えられるが、これは同時にこの橋の普及した理由でもある。

1) 架設場所と条件により若干の違いはあるが、一般に石造や煉瓦造の橋に比べて経済的であつた。砂や砂利は現地付近で容易に入手できた。

2) 我国の様な急流河川の多い国では、木橋は洪水で流失する事が多い。石造や煉瓦造ではアーチ構造であり径間が小さく、河積が不足して災害の原因となる事が多い。鉄筋コンクリート橋はこれ等の橋よりも径間は大きく取れ、基礎地盤が良ければ洪水に強く、耐久性も大きい。下部工では河水への抵抗性が強く、この構造が多く採用された。

3) 鋼橋は径間は鉄筋コンクリート橋よりも大きく取れるが、架設費が高くて維持費が多くかかる。海岸近くは腐蝕が早く、耐久性は乏しい。

4) 昭和の初めまで、上部工には木鉄混用ハウトラス橋が多く架設されたが、木材に塗装をしていたが腐蝕が早く、耐久性がなかった。

5) 鉄筋コンクリート橋は維持管理の費用は必要なく、耐久性、荷重増大や、対衝撃に強い。しかも造形が容易で修景ができる。施工も技術力があれば、比較的容易である。

(4) 設計、施工記録の発表、保存と技術者の地位。

鉄筋コンクリート構造の設計や施工の記録は、大正4(1915)年の「土木学会誌」

や同3年の「土木建築工学」の發刊により盛んに出始めているが、それ以前は「工学会誌」に發表された「広瀬橋」と「吉田橋」の記録だけである。明治期の鉄筋コンクリート道路橋は、明治工業史によれば43橋と言われるが、小規模の試験的橋梁が多く、橋名は残っていてもその記録は殆んど残っていない。

佐世保橋や八幡橋等の可成の規模の橋でも、写真が残っている程度であり、今日ではその技術の詳細を知る事は出来ない。佐世保鎮守府の書類¹⁷⁾に見る様に、永久橋として設計施工の記録は竣功後数年で棄却処分されている。僅かに「京都三大事業誌」や「水道事業史」「港湾修築史」等には記録が残っているが、鉄筋コンクリート構造についての詳細な記録は少ない。技術は記録して保存する考え方がなかった様である。

こうした工事記録は事務官が取纏めを行うので、事業の経過や成果が主題となり、技術の記録は少ない。技術は絶えず發展するものであり、古い技術は保存する必要はないと考えられたものであろうか。

こうした所にも当時の技術者の置かれた社会的地位が反映していたものと見られる。当時官庁では「法科万能」と言われて技術者の地位は低く、最高でも技師長止まりであり、各府県の土木課長も法科出身であり、土木技術者となったのは明治30年頃からであった。全部の土木課長が土木技術者となったのは大正に入ってからである。

こうした事が大正期に入り官庁技術者の地位の改善要求が始まっており、「土木建築工学」等の雑誌にも直木倫太郎や宮本武之助等の論説が見られる。¹⁸⁾大正、昭和初期を通じて官庁技術者の地位改善運動が続けられたが、¹⁹⁾土木技術者の地位や技術が評価されたのは、関東大震災の復興事業や第二次大戦の戦災復興事業後の事である。

8. 2. 鉄筋コンクリート橋受容、普及期の特徴。

(1) 構造形式の多様化と規模の長大化

大正期に入り鉄道院や内務省の鉄筋コンクリート橋の規準が明確化されて、この構造の橋梁の採用が容易になり、この構造の利点の認識が普及して行った。。一方道路交通が發達して、車両交通が増大し、これに対応できる経済的な橋梁構造として鉄筋コンクリート橋が多く採用される様になった。

また、構造力学の進歩により単純桁から連続桁へ、更にラーメン構造やゲルバー（キャンチレバー）桁へと構造形式の進歩があった。鉄筋コンクリートアーチ橋の径間も増大した。欧米の橋梁技術に追従しながら、架設位置の条件に応じた特殊構造を採用した例もある。京都市熊野橋の鋼とコンクリート混合桁（混凝土ニテ抱合セルI型桁橋）や、東京の神宮橋の鉄骨コンクリート連続桁等も架設されている。しかし欧米の様な鋼橋の形式を取入れた上下路構造のランガー桁、トラス橋、フイレンデルル桁等の多種類の鉄筋コンクリート橋の採用は無かった様である。

大正期の代表的な鉄筋コンクリート橋の代表例を簡潔に挙げれば、次の通りである。

1) 単純桁では大正3（1914）年京都市鴨川に架かる荒神橋（橋長126 m 幅員6.5m）の高水敷の両側径間があり現存している。（写真8-1参照）長大橋では大正5（1916）年に架設の高知市鏡川橋（橋長230m 有効幅員6m径間20×11m）があるが、大正9（1920）年に洪水で流失している。²⁰⁾

大正13（1924）年架設の北九州市の遠賀川橋（橋長373.3m有効幅員6.4m径間31×

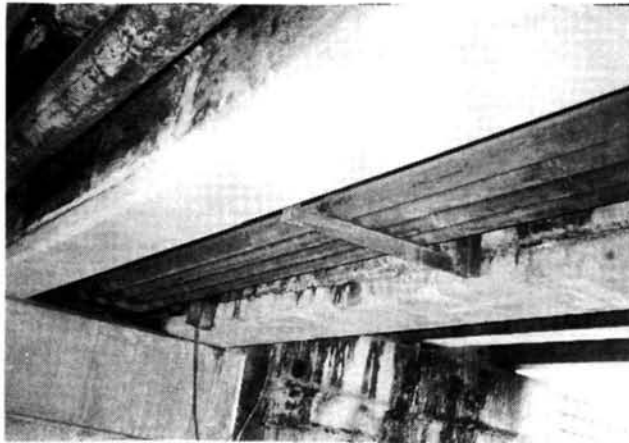


写真 8 - 1 京都荒神橋側径間T桁橋補修後（平成 1 1 年筆者撮影）



写真 8 - 2 - 1 北九州市遠賀川橋完成近い時期（大正 1 3 年）²¹⁾

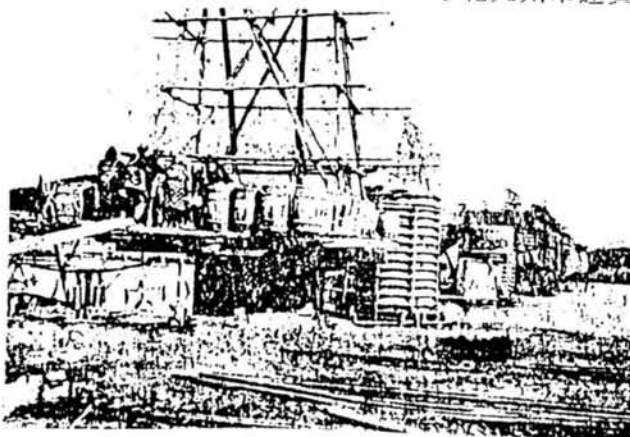


写真 8 - 2 - 2 遠賀川橋、橋脚井筒沈設施工状況。²¹⁾



写真 8 - 2 - 3 遠賀川橋、橋脚型枠組立状況。²¹⁾

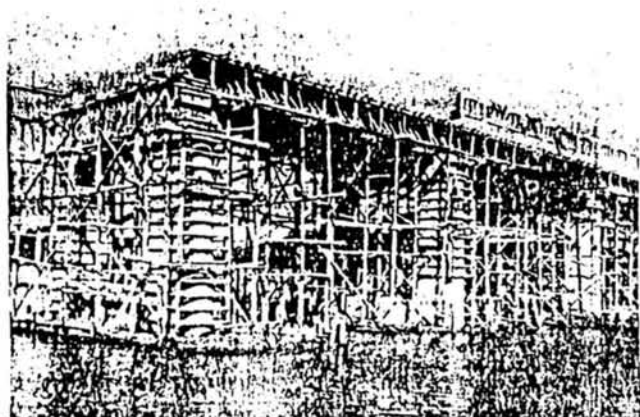


写真 8-2-4 遠賀川橋、橋桁コンクリート工事の状況。²¹⁾

11.5m+2×7.2m)は、田上為巳が内務省の「鉄筋混凝土橋梁仮取締規則」を適用した橋として記録している。¹²⁾「道路の改良」にも工事記録があり、活荷重も上記の「仮取締規則」が適用されて、路漕工として14屯ローラーで橋面の二和土舗装を転圧しているのが見られる。²¹⁾(写真8-2参照)

大正期の最長の橋として大正13(1924)年完成の滋賀県の野洲橋(橋長391.3m有効幅員6m径間42×9.1m)があるが、橋脚はラーメン構造であり、その基礎は鉄筋コンクリート井筒であった。縦鉄筋継手にはスリーブナットを使用している。²²⁾(写真8-3及び4参照)



写真 8-3 滋賀県野洲橋、竣工全景。²²⁾

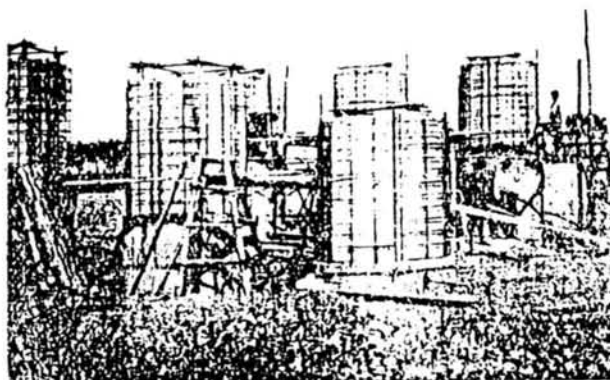


写真 8-4-1 野洲橋、井筒築造状況²²⁾

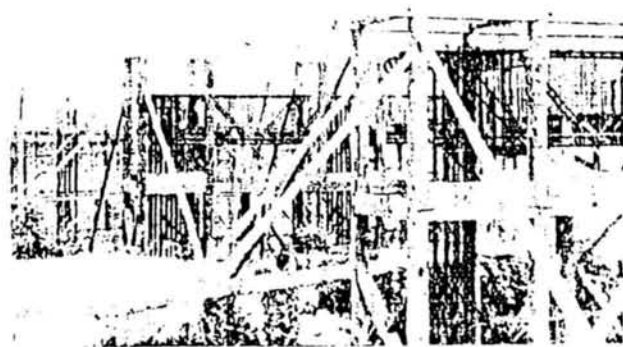


写真 8-4-2 野洲橋、橋脚（ラーメン構造）施工状況。²²⁾

2) 連続桁としては大正 11 (1922) 年架設の佐賀県西松浦郡の永井手橋（橋長 50.7 m、有効幅員 5m、径間 $2 \times (3 \times 8.4\text{m})$ ）や、大正 12 (1923) 年架設の広島県高田郡の知徳橋（橋長 65.4m、有効幅員 3.9m、径間 $(3+2) \times 12.2\text{m}$ ）がある。²³⁾

大正 14 (1925) 年には長野県の篠ノ井橋（全橋長 452.6m、有効幅員 6.1m、RC 橋部 169.3m、径間 $5 \times 3 \times 11.2\text{m}$ ）が竣工している。²⁴⁾ 連続桁でも支間は 8～13 m と小さく、2 又は 3 径間が多いが、特に広島県ではハウチの大きい 2 径間連続桁を多用しているのが特徴である。²³⁾

3) ラーメン橋では、大正 5 (1916) 年架設された福岡県大川市の酒見橋（橋長 43m 有効幅員 5.5m、径間 $2 \times 5.1\text{m}, 2 \times 6.1\text{m}$ ）中央部に樋門がある 2 径間の橋である。大正 8 (1919) 年には福岡市に弁天橋（橋長 92.5m、有効幅員 9.5m、径間 $14 \times 6.6\text{m}$ ）が架設されている。福岡県には大正期に 12 橋ものラーメン構造の橋が架設されているのは注目される。¹²⁾ 大正 9 (1920) 年に東京牛込に 2 径間のラーメン構造で白鳥橋（橋長 21m、幅員 16.4m）が架設された。市街電車の通りで米国からコルゲイテッドバーを輸入して使用している。²⁵⁾（図 8-1 参照）

関東大震災復興事業では地盤の悪い所の橋台として箱型ラーメン構造が多用された。これ等には築地橋、神田橋等がある。ラーメン橋の例として大正 15 (1926) 年竣工の東京日本橋の浜州橋（橋長 13m、有効幅員 11m、径間 12.2m）の構造図を図 8-2 に示す。配筋では床版に折り曲げ鉄筋でなく、ラーメン隅角部の内側の鉄筋が連続しているのが、今日の設計と異なっている。²³⁾（図 8-2 参照）

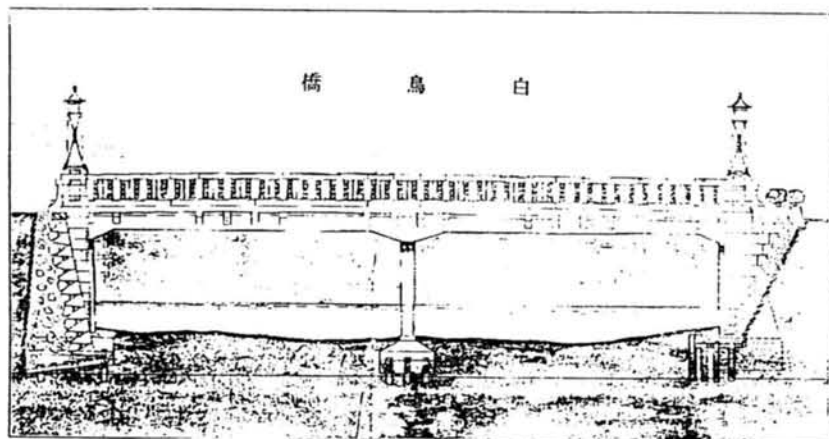


図 8-1-1 東京市白鳥橋、正面図。²⁵⁾

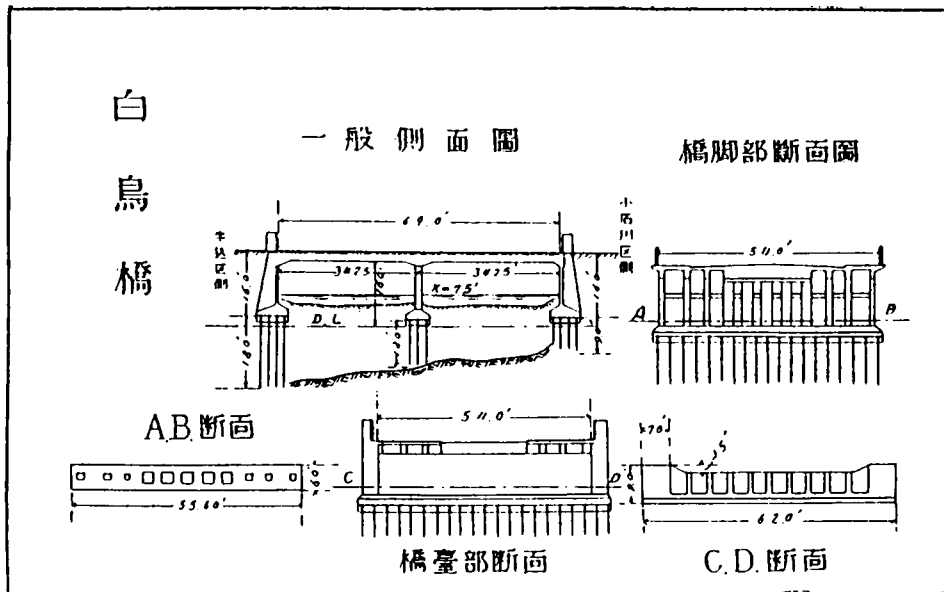


図8-1-2 白鳥橋、一般図、断面図。²⁵⁾

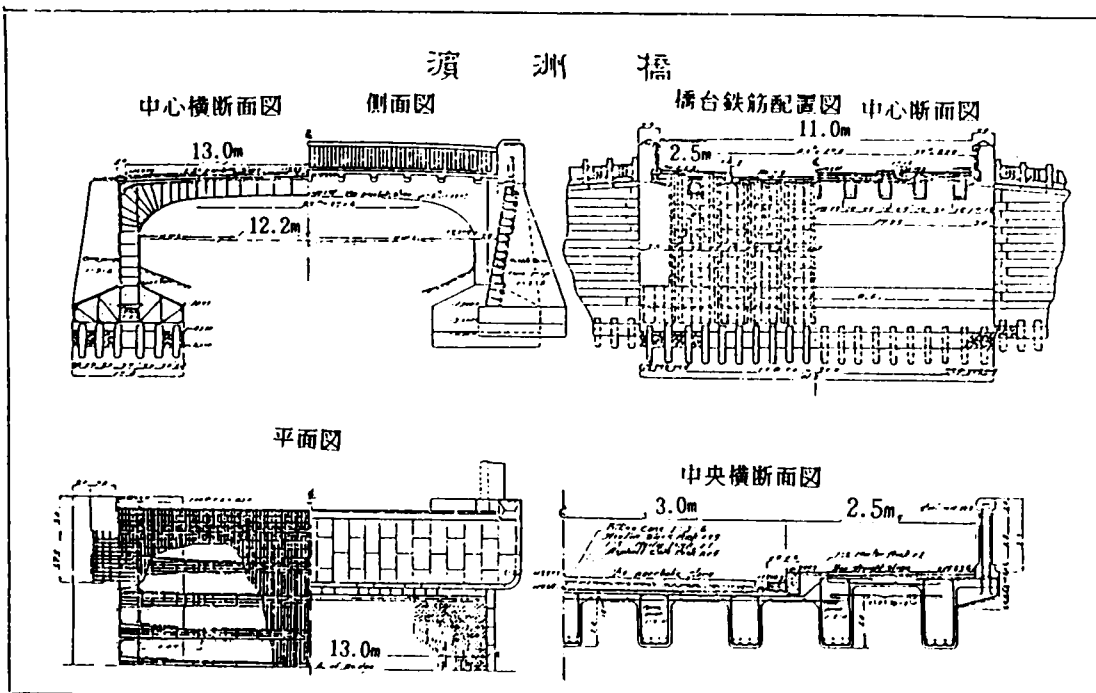


図8-2 東京市浜洲橋、構造図（鉄筋コンクリート門型ラーメン橋）²³⁾

4) アーチ橋としては、大正2年竣工の京都市の四条及び七条大橋は前述した。大正3（1914）年には樺島正義の設計で東京に鍛冶橋（橋長31m幅員21.8m径間31m）が竣工したのも前述した。

大阪市でも大正4（1915）年に難波橋（橋長187mの内56m、有効幅員21.8m、径間25m）が架設された。地盤の悪い所であるが大量の基礎杭を打込んで、都市景観重視の考え方で設計されている。²⁶⁾（写真8-5参照）

地方でも大正5（1916）年に開側上路型の有枝橋（橋長31m、径間25m）が架設された。大正7（1918）年には愛知県に黄柳（つげ）橋（橋長51m、有効幅員3.6m、径間30.3m）が架設された。アーチ環上に高い支柱の軸組構造の日本的な造形であり、補修されて国の登録文化財として現存している。²⁷⁾（写真8-6及び図8-4参照）

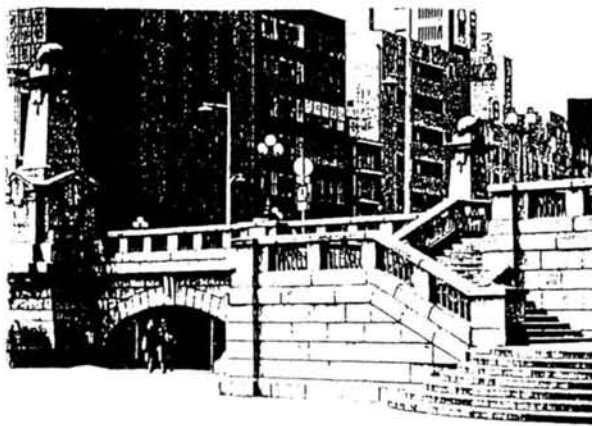


写真 8 - 5 大阪市中之島、難波橋竣工後。²⁶⁾



写真 8 - 6 愛知県黄柳（つげ）橋の補修前の状況。²⁷⁾

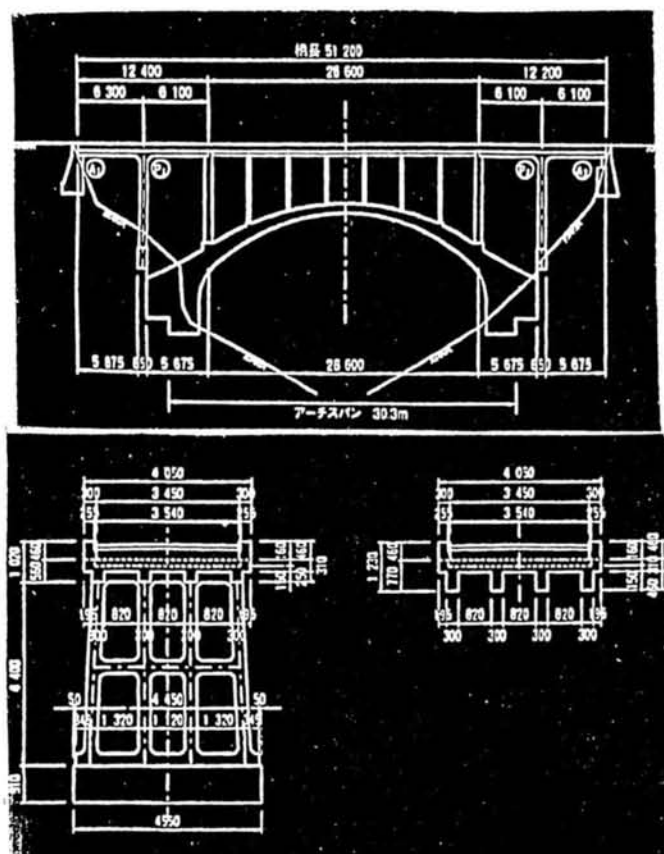


図 8 - 3 黄柳橋、構造一般図。²⁸⁾



写真 8-7 金沢市浅野川橋、竣工後²³⁾

大正 11 (1922) 年架設の金沢市の浅野川橋 (橋長 55.4m、有効幅員 15.4m、径間 16 + 16.6 + 16) も都市景観を意識した美しい造形で現存している。²³⁾ (写真 8-7 参照)

大正 13 (1924) 年には大阪市の心斎橋に戎 (えびす) 橋 (橋長 37.3m、有効幅員 10.9m、径間 36m) の偏平な閉側アーチ橋が架設された。²³⁾

5) 鉄骨コンクリート構造橋としては、大正 9 (1920) 年に東京明治神宮南参道入口の跨線橋として神宮橋が 2 径間連続橋 (橋長 19.4m、有効幅員 29.1m、径間 2×9.4 m) で架設された。山手線を通しながらの施工のため、山型鋼を使用した鋼連続桁と床版には半円形の鋼製センターリング (鉄筋と型枠両方の役目) が特別に使用された。神宮神域への通路に相応しい橋面修景が行われた。²⁹⁾ (写真 8-8 及び図 8-4 参照)

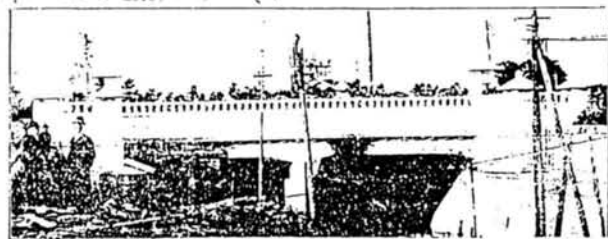


写真 8-8 東京市神宮橋、竣工当時。²⁹⁾

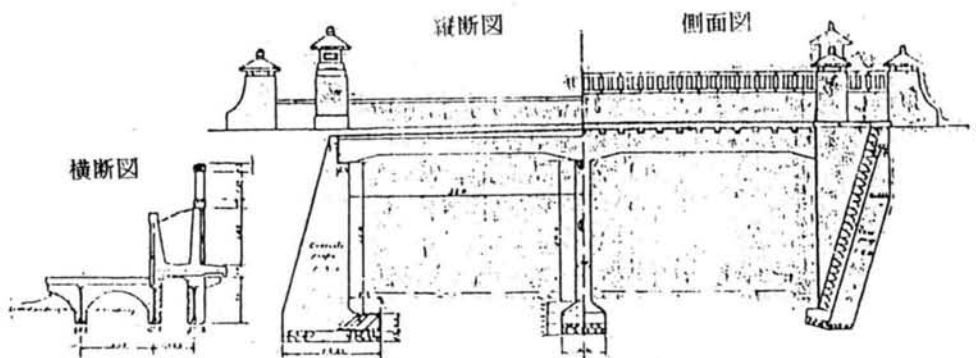


図 8-4 東京市神宮橋、構造一般図。²⁹⁾

大正12(1923)年に架設された京都市熊野の琵琶湖疏水の熊野橋(橋長22.8m、有効幅員10.5m、径間3×7.6m)はドイツの技術を導入した「鋼とコンクリート混合橋」又は「混凝土ニテ包含セルI型桁」の形式であり、同類は岐阜県揖斐町の新栄橋(橋長18.9m、有効幅員5.4m、径間2×8.8m)がある。²³⁾(写真8-9参照)(図8-5参照)この橋梁形式はドイツのミュウヘン鉄道局が開発し標準化したもので、支保工が不要で施工が容易なため公道橋でも標準化され小径間の橋梁に多用された様である。³⁰⁾(図8-6参照)



写真8-9-1 京都市熊野橋、全景(平成10年筆者撮影)

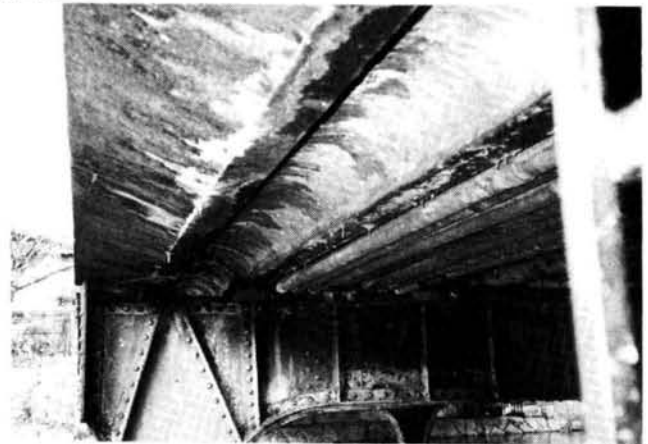


写真8-9-2 京都市熊野橋、床版下面の状況。(同上)

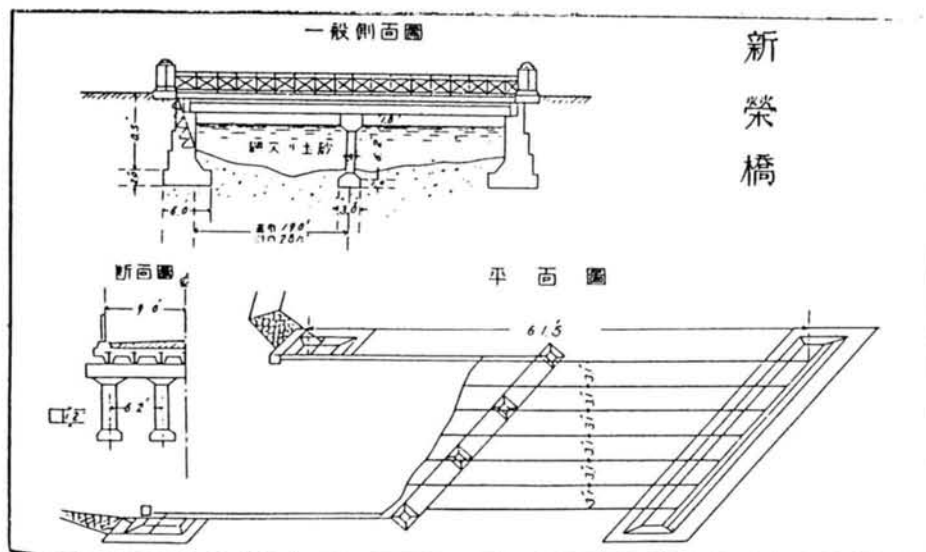


図8-5 岐阜県揖斐川町新栄橋(混凝土ニ包含セルI型桁橋)²³⁾

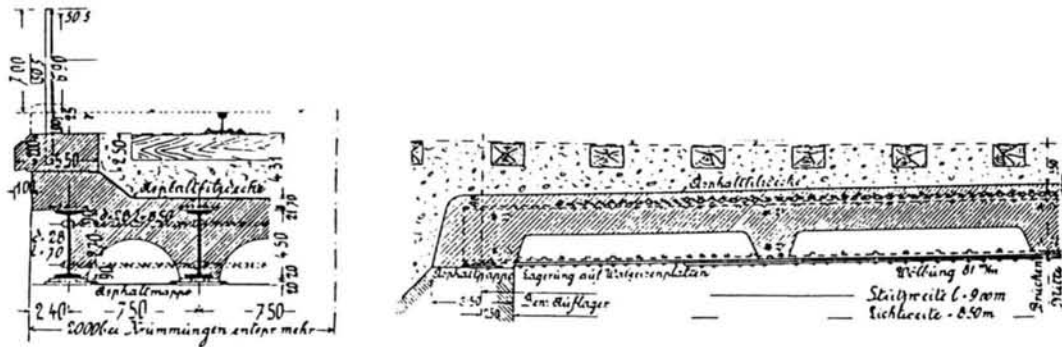


図8-6-1 バイエルン王国（ドイツ、ミュウヘン）鉄道橋市街地立体交差橋標準（鉄とコンクリート混用橋、支間、1. 2～11. 5 m、図は支間9. 0 mを示す）³⁰⁾

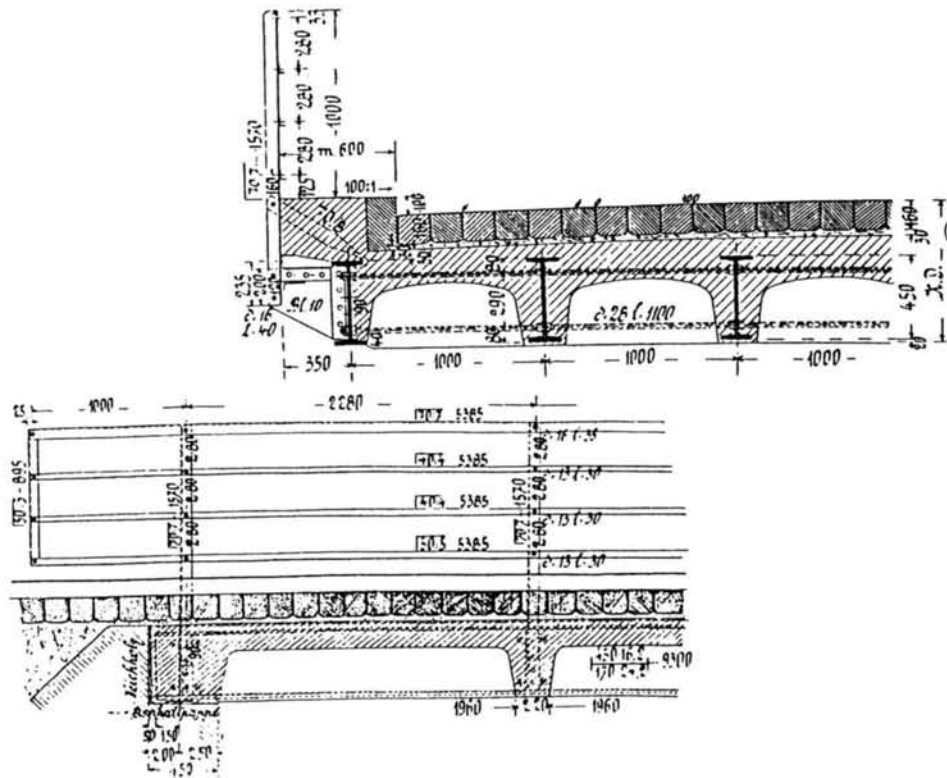


図8-6-2 バイエルン王国、道路橋国道、地方道橋梁標準（鉄とコンクリート混用橋 支間3. 4～11. 5 m、図は支間8. 5 mを示す）³⁰⁾

大正14（1925）年には徳島県の大松川橋（橋長154.6m、有効幅員7.3m、支間5×16.3+6×12.2m）が架設されたが、前者はコンクリート包装鋼桁で、後者は鉄筋コンクリートT桁の構造であり、増田淳の設計と言われる。^{23) 31)}

メラン式アーチ橋としては、大正9（1920）年に愛媛県に架設された御三戸橋（橋長31.2m有効幅員4m）があり、前述の大阪市戎橋も同類である。²³⁾

6）鉄道の方面でも大正期に入ると、鉄筋コンクリート構造の技術は進歩して行ったが、上部工への採用は道路橋に比べると数はそれ程多くはなく、慎重な対応が窺われる。

大正7（1918）年には田中豊の担当で、東京山手線巣鴨駅の跨線道路橋（橋長19.9m、有効幅員14.6m、径間9.4m+10.46m）の電車軌道を有する公道橋として架設された。車道部はT桁であるが、電車軌道部は厚さ90cmのスラブ構造となっていた。³²⁾（図8-7参照）

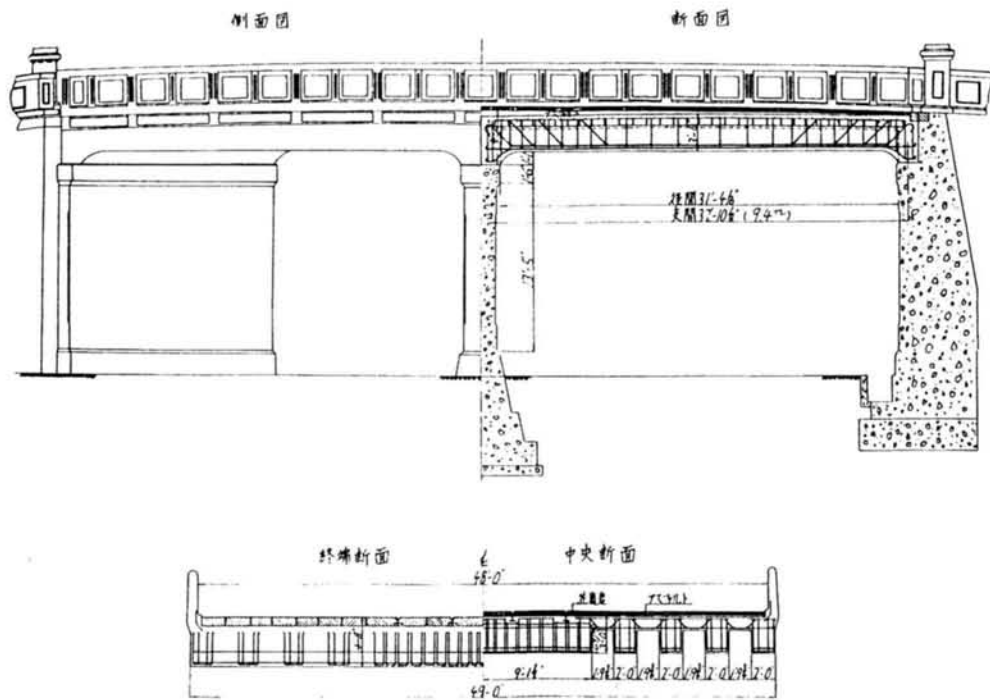


図 8-7 東京の山手線巣鴨駅構内、跨線道路橋（複線軌道電車有り）³²⁾

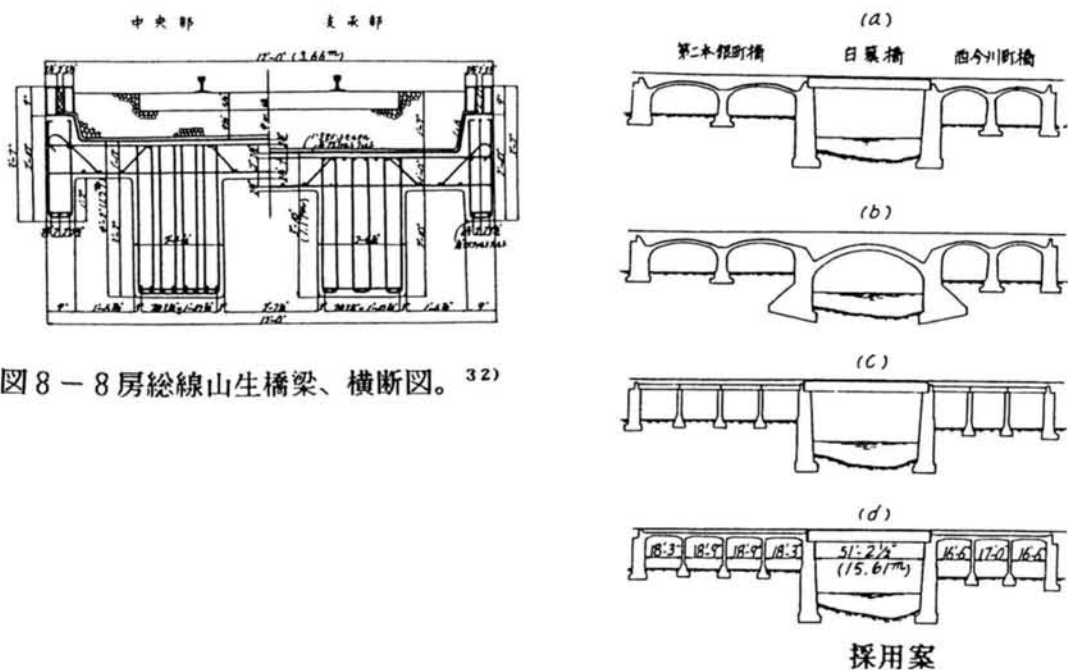


図 8-8 房総線山生橋梁、横断図。³²⁾

図 8-9 東北線東京高架橋、白旗橋付近高架橋（連続ラーメン橋）³²⁾

鉄道橋としては大正 9（1920）年房総線山生橋梁（橋長146.24m、全幅員3.66m、径間16×9.14m）が架設された。海岸線に近いので鉄桁の腐蝕を考慮したものと言われる。³²⁾（図 8-8 参照） 鉄道高架橋としては東京～神田間白旗橋付近高架橋が、鉄筋コンクリートラーメン構造（5.6+5.7+5.7+5.6m）と（5.1+5.2+5.1m）の 4 及び 3 径間の連続構造で架設された。基礎地盤が深く斜橋となるため、比較検討の結果採用された構造である。（図 8-9 参照）更に同区間には外濠アーチ橋（径間38.1m）が、阿部美樹志の設計

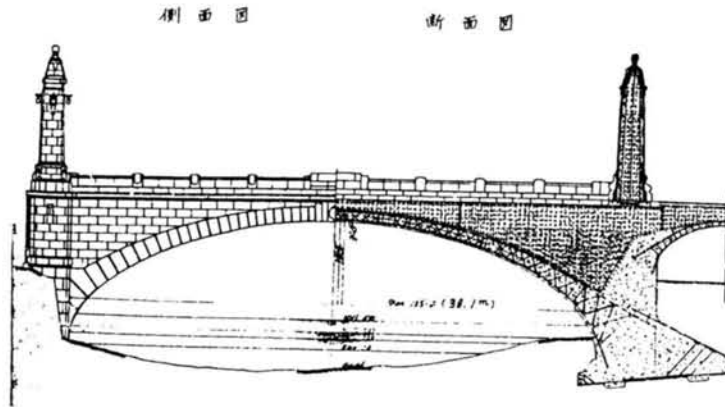


図8-10 東北線東京～神田間、外濠アーチ橋（阿部美樹志設計）³²⁾

により架設されている。³²⁾ 図8-10がそのアーチ橋であるが、アーチ環の主鉄筋から出た傾斜した鉄筋が多く、これは米国製カーンバーを使用していると見られる。（図8-10参照）

（2）日本の土木技術の発展と土木学会の発足

明治期の我国近代化の過程での土木技術者の活躍は目覚ましいものがあった。工学会は明治13（1880）年に大学の工学に関する7学科の卒業生を集めて成立したが、人数は少なくて纏まり易かった様で、土木科と機械科が中心であった。「工学会誌」には社会の基本施設である土木施設の計画や、工事報告が主流をなしている。明治中期になると、土木等を中心に運営されていたが、一方技術の専門化がすすんで工学全般の同調は困難になっていた。

明治18（1885）年には日本鉱業会が設立されて工学会から退会し、その後同19年には造家学会、同21（1888）年には電気学会、同30（1897）年には造船協会及び機械学会が設立され、同31（1898）年には工業化学学会が設立された。

工学部所属の7学科の内工学会に残るのは土木学会のみとなった。³³⁾

各学会は独立分離後、各々学会独自の活潑な活動を続けて発展していた。土木技術者もこうした他学会の活動に刺激されて、土木学会創立の気運が生じ、特に若手の技術者の間に広がった。

工学会は工学全般の総合的な問題を取扱う事とし、土木学会は土木工学の発展を目標とする団体として、大正4（1915）年1月に発足した。初代会長古市公威の歴史的会長講演は、大局的立場からの土木技術者の使命を述べたものとして有名である。³³⁾

土木学会には工学士だけでなく、土木分野の技術者が入会し、技術の向上と交流には「土木学会誌」や講演会等が大きな役割を果たした。特に若い技術者達の研究や工事報告が多数発表されて活潑化し、討議欄も設けられて技術の発展に貢献した。

また土木の分野でも技術が精密化し専門化して、従来の鉄道、河川、道路、港湾等に専門分化して行った。また更に水力発電等のエネルギー分野も加えて、新産業の分野にも土木技術者が活躍する様になった。

（3）施工技術の発展とコンクリート配合理論の改革

鉄筋コンクリート構造物の施工技術も明治初年からのコンクリート施工技術を受け継いで発展している。明治初期のコンクリートは硬練りが多く石造や煉瓦造り構造の基礎や、

中詰めや、スクリュウパイルの中詰め、コンクリート・ブロック等に多用された。

明治中期以後は無筋コンクリートが、経済性や施工性の利点から石造や煉瓦造りに取って代わり、明治末期には鉄筋コンクリート構造が導入された。

明治末期にはコンクリートの配合も容積配合ではあるが、一般構造用鉄筋コンクリート部材は1 : 2 : 4 ~ 1 : 2.5 : 5、橋台、橋脚等の断面厚い部材には1 : 3 : 6、基礎又は強度を必要としない部材には1 : 3 : 6 ~ 1 : 4 : 8と使い分ける様になった。³⁴⁾

明治初期の硬練りは鉄筋コンクリート構造では施工上不適当であり、軟練りが主流となった。しかし、容積配合であり水量は責任技術者が、施工条件や天候を考慮して、施工状況から適当に決定していた様で、コンクリートの強度はばらつきが大きかった。

コンクリートの配合については、1919（大正8）年に発表されたAbramsの「コンクリート強度の水セメント比の理論」により決着した。吉田徳次郎は大正11（1922）年の帰朝後、その紹介と理解の拡大に努力したが、その普及は容易ではなかった。³⁴⁾

関東大震災で鉄筋コンクリート構造の耐震性は評価されたので、震災復興工事ではこの構造が広範囲に採用される様になった。しかし重量配合によるこのコンクリート配合理論が実際に普及するのは可成遅れた。重量配合の適用に合わせてコンクリートミキサーも改良が加えられたが、その普及は昭和に入ってからである。³⁴⁾

大正中期より大学や官庁の研究機関での実験設備が逐次整備されて行き、コンクリートの強度試験も行われる様になり、基礎的な研究も開始され土木学会誌に発表された。³⁵⁾

コンクリートの施工継目の施工法については、「土木学会誌」等でも活潑に論じられている。³⁶⁾これについては理論と立て前はあるが、工事現場では完全な管理や完全な施工は實際上困難であり、それが今日でも問題を発生している。

また、鉄筋コンクリート構造の品質や耐久性について、昭和6（1931）年に真島健三郎は次の様に述べている。³⁷⁾「最後に一言付け加えたい。今や土木建築界は鉄筋コンクリート万能時代と言ってもいい位であるが、私は鉄骨は扱って置いて鉄筋コンクリートに対しては少なからず不安を持つものである。其の一例として、私が明治三十八年に試みた鉄筋コンクリートの建物 — 恐らく日本最初の試みであったと思うが — を挙げる事が出来る。今やこの建物は当初の理想と甚だ遠ざかって、殊に海岸に近い潮風を直接受ける部面はコンクリートに亀裂を生じ、遂に累を鉄筋にまで及ぼして行くことがないと誰が保証し得られやう。私は鉄筋コンクリートを過信することの危険さを思うものである。」と鉄筋コンクリートについての警告を述べている。今日の状況を予測していた様である。

(4) 土木技術の交流と発展（各種の土木技術著書や雑誌の役割）

前述の通り大正期に入ると、鉄筋コンクリート構造の利点が認識されて、日比忠彦³⁸⁾阿部美樹志³⁹⁾小川敬次郎⁴⁰⁾等大学研究者や、技術者による「鉄筋コンクリート工学」等の出版が多くなっている。それだけ土木分野でのこの構造の採用が盛んになった事を示している。しかし、その多くは基礎理論を述べて説明しただけで、欧米での例を示したものが多く、日本での実際の工事への適用例を示したものは少ない。日本での適用例が少なく欧米の実例の方が、権威があるからであろう。

土木雑誌としては「土木建築工学」が大正3（1914）年に、「土木建築雑誌」が大正11（1922）年から発刊されている。この中では鉄筋コンクリート構造の工事報告や、アーチやラーメン構造の構造解析の理論が多くなっている。若い有能な土木技術者達

が、欧米の新技术を学んでこれを導入しているのが窺える。こうした技術の発表と交流を通じて土木技術が進歩して行ったと見られる。日本での適用例が多く出てくるのは、関東大震災後の昭和に入ってからである。

参考文献－ 8

- 1) 広井勇「鉄筋混凝土橋梁」工学会誌253 巻、285 頁、明治36年6月。
- 2) 直木倫太郎「鉄筋混凝土ノ価値」工学会誌272 巻～277 巻、明治38年3月～9月
- 3) David P.Billington "The Tower and The Bridge — The New Art of Structural Engineering " Princeton University Press P.147 1983.
- 4) F von EMPERGER "HANDBUCH FUR EISENBETONBAU " ERSTER BAND p.320 WILHELM ERNST & SOHN 1908 BERLIN
- 5) H. シュトラフ、藤本一郎訳「建設技術史 — 工学的建造技術への發達 —」鹿島出版会 254 頁、昭和51年11月。
- 6) M.N.Brussell "The Era Of the Proprietary Reinforcing System " proc.Instr. Civ. Engrs. Structs & Bldgs. 1996.116. Aug/Nov 295-316.
- 7) 直木倫太郎「我国ニ於ケル鉄筋混凝土工法ノ前途」工業雑誌308号、明治38年1月。
- 8) 田中好「明治期の土木行政」「日本科学技術史大系第16巻、土木技術」金閣義則編 19頁、第一法規出版社、1970年。
- 9) 原田勝正編「20世紀フォト・ドキュメント、第7巻交通」66頁(株)ぎょうせい、1991. 11.
- 10) 牧彦七「道路の今昔」日本科学技術史大系第16巻、土木技術、278頁、第一法規出版社1970
- 11) 日本国有鉄道公社「鉄道技術発達史」第2編施設3、1718頁、昭和34年。
- 12) 田上為巳「鉄筋コンクリート橋の歴史（福岡県の古き橋の調査報告）」昭和54年5月。
- 13) 土木学会「日本土木史（大正元年～昭和15年）」5.4道路橋、671頁、昭和40年12月。
- 14) 吉田徳次郎「此二十五年間の我国土木界に於けるコンクリート及び鉄筋コンクリートの回顧」セメント界輯報321 号、37頁、昭和9年12月。
- 15) 三浦七郎「道路橋梁の震害と其の対策」道路改良会、道路の改良6巻1号大正13年1月
- 16) 藤井郁夫「日本の鋼（鉄）橋製作工場について—明治期—」土木史研究NO.18、1998.6.
- 17) 昔のコンクリートを語る会「昔のコンクリート」コンクリート叢書24巻、日本ポルトランドセメント同業会、128 頁、昭和11年10月。
- 18) 直木倫太郎「史伝なき技術界」土木建築工学1巻1号、大正3年5月。
- 19) 大淀昇一「技術官僚の政治参画」中公新書、中央公論社、1997.10.
- 20) 高知県土木史編集委員会「高知県土木史」高知県建設業会、15頁、1998年12月。
- 21) 渋谷武「二号国道遠賀川橋架設工事に就て」道路改良会、道路の改良6巻2号、大正13年2月。
- 22) 栗原斧衛「野洲橋架設工事に就て」道路改良会、道路の改良6巻3号、大正13年3月。
- 23) 内務省土木試験所「本邦道路橋輯覧」第1～4輯、大正14年～昭和14年、
- 24) 西池氏文「国道十号線篠の井橋架設工事概要」道路改良会、道路の改良6巻6号、大正13年6月。
- 25) 佐竹昌志「白鳥橋改築工事報告」土木建築工学8巻1号、大正10年1月。

- 26) (社)大阪建設業協会「大阪の建設回顧録（第1巻、明治黎明期から昭和の終戦まで）」
- 27) 馬場俊 介「黄柳(つげ) 橋の保存・再生へ向けての事前調査」土木史研究N012、1992.6.
- 28) 愛知県新城土木事務所「歴史の見える橋（旧黄柳橋、登録文化財）」平成11年6月
- 29) 谷井陽之助「神宮橋」土木建築工学81号、第8巻1号、大正10年1月。
- 30) F.von EMPERGER "HANDBUCH FUR EISENBETONBAU "DRITTER TEIL WILHELM &ERNST
BERLIN 1908.
- 31) 藤井郁夫「橋梁史年表」海洋架橋協会、674頁、平成4年9月。
- 32) 日本国有鉄道公社「鉄道技術發達史」第2編、施設3、1727頁、昭和34年。
- 33) 土木学会創立80年史編集委員会「土木学会の80年史」土木学会、技報堂、平成6年11月。
- 34) 国分正胤「日本におけるコンクリートの施工の移り変り」コンクリートジャーナルVol18
NO.6、1980.1.
- 35) 永井専三、高橋逸夫「混凝土耐压強度に関する實驗」土木学会第6巻1号、207頁大正9年
2月
- 36) 坂田時和「新旧混凝土の接合に就て」土木学会誌9巻3号、10巻1号、大正13年3月、14年
1月。
- 37) 真島健三郎「我国セメントの發達を促した三大築港工事」小野田セメント製造（株）「
創業五十年史」216 頁、昭和6年9月。
- 38) 日比忠彦「鉄筋混凝土ノ理論及其応用、上、下巻」丸善株式会社、大正5年1月。
- 39) 阿部美樹志「鉄筋混凝土工学」三秀社、大正5年4月。
- 40) 小川勲次郎「鉄筋混凝土之設計及施工法」裳華房、大正6年4月。

9. 結論と今後の課題

9. 1. まとめと結論

明治末期を中心に明治初期のコンクリート技術の導入から、鉄筋コンクリート技術の胎動期や導入期、大正期の受容普及期までをふくむ長期に渉る我国への鉄筋コンクリート橋に関して土木技術史的に調査研究を実施した。これ等を取まとめると次の様になる。

(1) 鉄筋コンクリート技術の胎動期「1887(明治20)～1902(同35)年」

1) 明治初期のコンクリート技術の導入は石造船渠の建造から始まっているが、当時の土木施設の重要なものは石造か煉瓦造りであり、一般には木造施設が多かった。セメントの国産が始まった明治17年以後もセメントは輸入品が主流であり、コンクリートは高価なため構造物の基礎や中詰め、モルタルとして煉瓦や石材の目地材等二次的使用に限定されていた事が明らかになった。

2) 明治中期の1890(明治23)年頃には、港湾工事や鉄道工事でコンクリート主体の構造物の建設が始まった。特に港湾工事では大規模なコンクリートブロックを使用した防波堤等の工事で、大量のコンクリート塊が製造され横浜港、大阪港では一部にひび割れ発生を起こして社会的にも問題となった。この頃からコンクリート技術も進展し、コンクリート構造物の経済性が認識され始めて、コンクリート造りが次第に石造や煉瓦造りに取り代る様になった事が確認できた。

3) 明治中期の1895(明治28)年頃から欧米での活潑な鉄筋コンクリート構造の利用の状況が、日本にも紹介され始めたが、丁度この頃から欧米では鉄筋コンクリート構造の理論的な研究が盛んになり、鉄とコンクリートの複合構造としての複雑さのためか、多様な実験結果が出て多様な理論が発表され、これが一時的な混乱を招いたと考えられる。

これ等は日本にも影響してこの技術導入の時期尚早論も生じ、我国での独自の研究もなく、欧米での技術開発や、理論の統一の状況を見守っていたに過ぎなかった様である。

(2) 鉄筋コンクリート技術の導入期「1903(明治36)～1914(大正3)年」

1) 鉄筋コンクリート技術の我国への導入には、大別して次の5つの導程があった。

- a) 大学教授の指導で官庁技術者が鉄筋コンクリート技術を導入した場合。(田辺朔郎、広井勇、大藤高彦、柴田睦作、日比忠彦等)
- b) 官庁技術者が欧米技術を学んで、この技術を導入した場合。(沖野忠雄、石橋絢彦、長谷川勤 助、大河戸宗治、井上秀二、原田碧、十川嘉太郎等)
- c) 土木技術者が鉄筋コンクリート建築物に導入した場合(白石直治、真島健三郎、十川嘉太郎等)
- d) セメント会社が欧州から技術を導入した場合。(小野田セメント、浅野セメント)
- e) 建設会社が欧州から技術を導入した場合。(大倉土木)

2) 広井勇、石橋絢彦、直木倫太郎は明治36(1903)年以後相次いで「工学会誌」等で、鉄筋コンクリート構造が我国の様にセメントの生産が多く、鉄鋼材の生産の少ない国に適した土木施設の基本構造であるとして、国策として鉄筋コンクリート構造を採用する事を強く主張していた。

3) 明治36(1903)年頃には欧米の文献を読んで、コンクリートに鉄材を入れると

強くなるとして、計算もせずに試験的にコンクリートに鉄材を挿入した例もあった。計算による鉄筋コンクリート橋は、明治36年7月の田辺朔郎による、琵琶湖疏水のメラン式弧形桁橋が最初である。

4) 我国の鉄筋コンクリート建築の導入には、土木技術者や研究者が構造設計から施工まで主要な役割を果たした。明治末期頃までは建築の構造設計には土木技術者が関与していた。明治末期頃には関東地方では柴田畦作教授、関西では日比忠彦教授が、建築物の設計及び施工の技術指導を行っていた。

5) 鉄筋コンクリート構造の利点（強力性、耐久性、水密性、塑性性、経済性等）を利用して、殆んど全ての土木分野でこの技術が導入されたが、選ばれた少数の大規模施設か、又は試験的な小規模の施設に採用される事が多く、このためこの構造の一般的な受容と普及には至らなかったと考えられる。

6) 鉄筋コンクリート工法としては、欧米では多様な形式が開発して採用されたが、我国での独自の開発は無く、採用されたのはアンネビツク式、モニエ式、メラン式、とアメリカで開発されたカーン式であった。欧米の評価の良い工法を遅れて採用する状況であった。

7) 明治末期の鉄筋コンクリート橋は道路橋で43橋と記録されているが、大規模な橋としては仙台の「広瀬橋」横浜の「吉田橋」山梨の「猿橋水道橋」や京都の「四条、七条大橋」等である。その他の橋は殆んど試験的な小橋梁である。我国での鉄筋コンクリート構造の規準が無いので、担当者が欧米の原書を読み基準等の資料を集めて、自己の判断と責任において設計及び施工を行っていたと考えられる。

8) コンクリートの配合については、コンクリートの強度が水量に関係している事は早くから知られていたが、実際の関係については不明であった。仏人フェレー (R. Feret) の「最大密度説」に基づき、セメント：水：骨材の容積配合比で強構造物用には1：2：4、弱構造物用として1：3：6が標準として広く採用されていた。しかし大部分は任意配合の手練りであり、水量は軟練りとなる様に施工条件と施工時の天候の状況により、担当技術者の判断により決められていたと考えられる。

(3) 鉄筋コンクリート技術の普及期「1915（大正4）年～1923（大正12）年」

1) 大正4年頃より鉄筋コンクリート橋の数が急激に増えて、この技術が我国に受容され普及し始めた理由は、次の様に考えられる。欧州各国では1903（明治35）年頃より鉄筋コンクリート技術の規準化が行われ、これ等を参考にして我国でも鉄道院が大正3（1914）年に「鉄筋混凝土橋梁設計心得」を制定し、内務省も大正4（1915）年頃非公式案として「鉄筋混凝土橋梁仮取締規則」の暫定試行を行っていたと見られる。但し、正式に法制化したのは、大正15年の「道路構造に関する細則」で、鋼橋と鉄筋コンクリート橋を合わせて規準化が行われた。

これ等の規準は各種構造物の設計及び施工に準用されて、構造物の安全性が公的に保証されて信用が高まり、この種構造物の普及が始まった。

2) 鉄筋コンクリート橋の構造が単純桁やアーチ構造から、連続桁やラーメン構造、更に鉄骨コンクリート構造へと架設地点の条件に応じて多様化した。同時に橋の径間長や規模も大きくなり多径間となって、野洲橋（橋長391.3 m）や遠賀川橋（373.7 m）の例の様な長大橋が架設される様になった。

3) 鉄筋コンクリート構造が土木施設の基本的構造となって来た。鉄筋コンクリート構造

の利点が広く認識されて、特に強度性、耐久性、水密性、経済性等が優れ、殆んど全ての土木分野でこの構造が採用され基本的構造として普及して行った。

4) 大正4(1915)年に建築学者の佐野利器(としたか)が、構造物の耐震設計の基本的な考え方(震度法)を提案し、土木試験所の物部長穂がこれを応用して土木構造物に対する耐震設計法の研究が進んだ。この耐震設計法が実際の構造物に採用されて、大正12(1923)年の関東大震災で、その有効性が確認されて以後、更にこの構造が広く普及して幾多の貢献をした。

5) コンクリートの配合理論が大正9(1920)年に米人エブラムス(D.A.Abrams)の「水セメント比説理論」の発表により決着し、鉄筋コンクリート構造の必要に対応して、コンクリート強度が得られる様になり、この構造の施工が大きく改革された。

日本には大正11(1922)年吉田徳次郎の帰朝によりこの理論が紹介されたが、この技術の普及には可成の時間と努力を要した。一般的な採用は昭和期(1925)に入ってからであると考えられる。

9. 2. 土木史研究の今後の課題

(1) 土木文化財及び近代土木遺産の保存・活用と土木史

序論で述べた通り土木史研究には5つの大きな目的があったが、再録すれば次の通りである。

- a) 土木技術の過去の歴史評価から、社会の変化の中で今後の発展の方向が探求出来る。
- b) 土木技術の過去の歴史評価から、技術開発のプロセスを知り、新技術開発のためのヒントが得られる。
- c) 土木技術の中でも都市計画や、構造物の造形、修景の分野では、過去の実例の研究から学ぶ点が多い。また自然災害も過去の実例や、変遷を調査研究する事でより理解が深められる。
- d) 土木遺産の発掘及び調査をして、それ等を評価して保存する事により文化的に活用することが出来る。
- e) 土木史の研究成果は、土木工学教育の中で社会の変化に適応でき、土木の役割を自覚した教養豊かな土木技術者の教育に有効に活用する事ができる。

土木史研究では土木遺産の発掘が先ず必要であり、基本となる事は言うまでもない。古い土木施設やその遺跡等の存在は、地元の人々には知られていても、土木史上で正当に評価されず埋もれている施設が多い。建築物の様な外見上での特徴に乏しく、同類が多いために評価されない事も多い。

最近土木史研究委員会による全国的な調査が行なわれて、評価基準を設けて詳しい評価までされている。¹⁾しかし評価は大変難しく、社会的条件が変化したり、新しい資料が発掘されたりすると変化するのが通例である。この調査で終わったのではなく、新しい出発点に並んだと言う事であろう。今後も発掘調査を続けてそれ等の資料の関連性を研究して評価し、必要な場合には保存活用する事が重要であると考えられる。

土木遺産の発掘から保存・活用までの流れを示すと図9-1の様に考えられる。

従来の土木遺産の発掘では調査迄で終わっていたものが多いが、「有形文化財登録規準

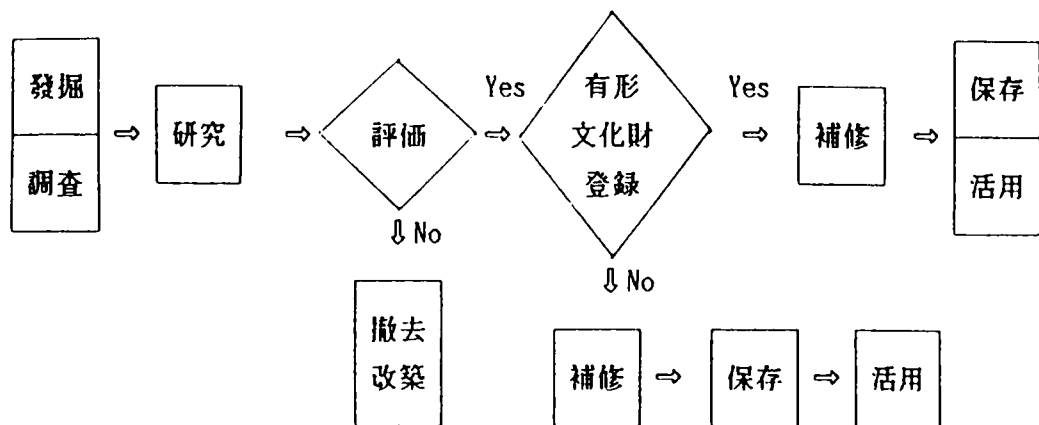


図9-1 土木遺産の保存・活用のフロー図

」が制定されて、評価まで審査して登録する制度が法律で決められている。²⁾

適切な評価が行われて、説明板や記念施設等で付近が小公園化され、一般の人々までも愛されて保存し活用されている施設もある。一般に土木遺産は建築物に比べて地味な物が多く、有名施設か特殊な特徴を有する構造物等でなければ観光施設化は困難である。こうした土木遺産の評価を適切に行なうためにも、土木史の調査研究を深めて行く必要がある。

2) 土木遺産の活用方法の検討

土木遺産の活用方法の研究はまだ始まった所であり、今後の研究が必要な分野である。

伊東孝の調査によると、土木遺産の保存・活用の形態として、観光型(16.8%)学習型(13.2%)インフラ型(68.7%)であり、現役使用のインフラ型が圧倒的に多い事を示している。³⁾土木遺産の多くは現役使用中の公共施設であり、他産業施設の様に収益施設化する事は困難である事を示している。横浜市の旧横浜船渠会社の2号ドックの活用や、小樽港の旧小樽運河と臨港道路の創造的活用等は、その手法や考え方を充分研究して参考にすべき実例であろう。

土木遺産がインフラ型施設として「現役使用」「転用」「公園化」の例が圧倒的に多いのは公共施設としての土木遺産の性格上から当然と言えよう。しかし、現状は土木遺産の活用が充分その目的を達成しているとは言えない。それは人々に魅力ある施設となっていないためと考えられ、管理者側の考え方にもよるが、より一層の工夫が必要である。

土木遺産は地域に根座した物であり、地域の人々に親しまれ、地域の景観の一部を成して来た物である。従ってその保存と活用は、地域の人々の願いに基づくものとして進められるのが良い。地域の人々の間で広報を通じて評価が定着し、保存と活用の必要程度や、魅力的な活用のアイデアも、専門家との間の話し合いの中で方向性が出てくるのではないかと考えられる。しかし保存・活用の中心が官庁側から地域住民側に移り、積極的に地域住民が参加する様にならないと、持続的な活用は困難な様である。

今後の社会の風潮の中では、土木遺産は自然の中の人々の交流の場や、憩いの場として他の各種の施設と共に活用される場合が多くなると考えられる。その場合土木遺産だけでは魅力が少ないので、自然との融合や、他の各種施設とのネットワークによる、巡回又は周遊ルートの形成等の参加型、体験型の施設に活用するのが良いと考えられる。

土木遺産の保存と活用について次の点が重要であろう。

- a) 土木遺産の意義と地域住民との関係、及び施設の社会的意義と文化的意義の調査研究。
- b) 土木遺産の意義と地域住民との関連の魅力的コンセプトの構築。
- c) 土木遺産の活用での地域住民参加の組織化及びボランティア化。
- d) 土木遺産と他の各種文化施設との連携及びネットワーク化。

いずれにしても、今後保存と活用の事例を調査集積して、魅力的な構想を検討する必要がある。

3) 保存再生技術の開発

土木遺産の保存と再生に当たってはその施設の補修や再生が必要になる。土木遺産の場合には建築物や産業施設と異なり、厳しい気象条件や強大な外力に晒されるので、やや異なる考え方で補修や再生を行なう必要がある。この考え方は多くの経験を有する馬場俊介が次の様な基本原則に纏めている。⁴⁾

第一原則、旧構造物の保存が基本であるが、歴史的景観としての全体の保全が、構造物単体の部分保全よりも優先する。(例、西田橋、錦帯橋)

第二原則、土木構造物の維持管理上、厳しい気象条件や、外力に対する安全性への配慮が必要である。(例、桃介橋)

第三原則、構造物が周辺の雰囲気的大幅な影響を与える事は避ける必要がある。特に移設の場合には特別の配慮が必要である。

古い技術で建設された土木遺産は、その補修や再生に当たって古い技術で補修するのが当然であるが、その技術は残されていない事が多い。古い技術も残す必要があると指摘している。(例、鉾結技術、特殊石積技術等)しかし、実際には古い技術をそのまま残すのは、社会的条件が全く変化しているので極めて困難であり、古い技術に近似した新しい技術も開発されて使用されている。その実例を次に示す。

スイスの優れた構造技術者ロベール・マイヤール (Robert Maillart) が、1930年に架設したサルギナトウベル (Salginatobel) 橋(橋長132.3m、全幅員3.86m、アーチ径間90m)が、1998年に全面的な補修によって再生した。⁵⁾

この橋は1991年アメリカ土木技術者協会により「国際重要記念構造物」に指定されている。景観の点から見ると深い渓谷に相応しい美しい形体ではあるが、豊かでない地方に建設され、極めて節約して建設されている。当時の最高の技術で施工されているが、今日から見ると寒冷地での材料技術と施工に関して問題があった。(図9-2参照)

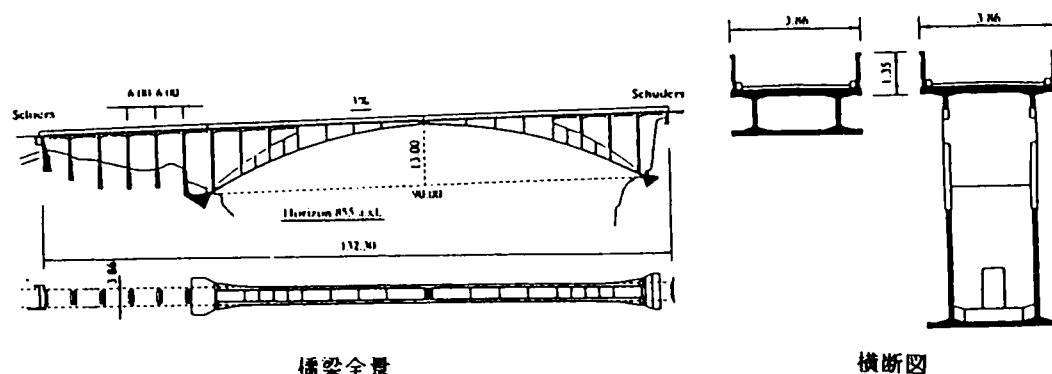


図9-2 スイス国、サルギナトーベル (Salginatobel) 橋一般図(1930, R. Maillart)⁵⁾



写真 9-1 再生工事後のサルギナトール橋⁵⁾



写真 9-2 橋脚上での再生工事後の新コンクリート面⁵⁾

1976年にも耐荷力の保持のため床版補修と防水工が行われたが、1998年には長期的な保存計画に基づいて根本的な補修工事が行われて再生した。

主な点は配筋の保護のために全面的にコンクリートの表面を10～20mm高圧ジェット水ではつり取り、少なくとも30mm厚のモルタル吹付工が採用された。排水と鉄筋の保護に特別の注意が払われ、雨水は注意深く集めて排水する構造に改められた。

写真 9-1 及び 2 は再生された橋梁全景とアーチ構造を示しているが、こうして世界的重要記念構造物は、多くの検討を経て長期的な視点の基に再生された。(写真 9-1、および 9-2 参照) この様な試みは今後大いに参考にすべきであると考えられる。

(2) 土木史の今後の研究課題と方向

1) 土木史の今後の研究方向として、次の2つの方向が考えられる。

その1つは土木史全体の通史としての体系化の方向の研究である。

土木学会としての土木史研究は、今日まで約20年間土木の広い範囲に涉って各々の研究者が独自の調査研究を続けており、従来の土木史から内容的に大きく深まっている。しかしそれ等の間の関連性や、それ等の基となる考え方の影響等の関係は複雑であり、資料の不足もあって充分明らかになってはいない。

実際には各分野は独立しているのではなく、社会の状況を反映して相互に影響しながら発展して来ている。こうした影響が技術の発展にどの様に関連したのかより詳細な調査研究が必要であろう。土木技術分野の専門化は大正期以後と考えられるが、各分野でのより充実した研究と共に、相互の関連を考慮した土木史としての体系化も必要ではないか。

第2の点は土木史の内容を更に充実するため、古い施設の構造物等の学術的な総合研究、言い換えればより専門的な実験又は解析により、専門研究者の協力で多方面からの総合的検討により、古い土木遺産の本質を解明出来るのではないかと考えられる。⁶⁾

例えば明治44(1911)年に金沢市に完成した石川橋の架替え時に行われた総合調査は、歴史学から土木の構造調査や材料調査までを含んだ広汎な学術調査が行われ、金沢城や辰巳用水の遺構の一部や、明治末期の鉄筋コンクリートアーチ橋の状況が明らかとなった。⁷⁾ 今後の歴史的な橋梁等の架替えが行われる事が多いと思われるが、こうした学術調査を重ねて、土木構造物の発展の歴史が解明されて行く必要がある。残念ながら、こう

した視点が現在の官庁技術者に少なく、調査する事もなく安易に歴史的な土木施設が破壊され、橋梁は新しいものに架替えられている事例が多い。

2) 鉄筋コンクリート技術に付いて言えば、明治末期のこの分野の構造物は、現存する資料も少なく土木史の中でも未開拓の分野である。資料は破棄処分されていて公的には新資料が発掘される事は余り期待出来ないが、私的な資料は地方に残されている可能性はあると考えられる。土木技術者は一般には発表は不得意ではあるが、私的な記録は地方に残されているものと期待される。

こうした資料は技術史の空白を埋めて、技術の関連性や系統性の発見に役立つ。特に土木施設や構造物の来歴や、建設の背景が考慮され、担当者の氏名が考慮される必要があると考えられる。構造物の設計資料が得られれば、更に解析的な研究も進んで土木史の発展に役立つであろう。

(3) あとがき

以上明治末期の鉄筋コンクリート技術の導入過程を中心に、関連する明治初期から大正末期までのこの技術の胎動期、導入期、及び受容普及期の技術史を述べて来た。こうした明治末期の鉄筋コンクリート技術の土木史は、資料も逸散して研究の未開拓の分野であった。土木の分野は広く、関連する分野も広い事もあって、可成に手を抜けて調査を進めて来た。その結果として我国の鉄筋コンクリート技術の導入には、可成の紆余曲折はあるが、その変遷は欧米技術の強い影響を受けており、その技術の後を追従して発展している。

こうした発展は明治政府の富国強兵、殖産興業の強力な政策の下に、その社会の基盤となる土木施設を建設し、社会の産業、交通や文化の発展に大きな役割を果たした。

明治末期はこうした社会基盤の建設期であり、鉄筋コンクリート構造がこうした社会基盤の基本的構造として採用される過程の過渡期であったと言える。

土木技術史と言う性格上から、こうした社会や産業交通の変化には余り言及していないが、指導的技術者達はこうした社会の変化や、その必要としている土木施設や土木技術に敏感に対応して欧米技術の導入に努めており、単純な追従ではなく選択しての導入であったと見られる。更に選ばれた施設の工事では、構造物の機能だけでなく当時を代表する施設として修景にも意を用い、その当時の社会的風潮や、自然状況に合わせた修景をおこなっている。こうした動きは中央だけでなく地方でも活潑であり、今日地方でも多くの土木遺産が掘起こされている理由となっていると考えられる。

本論文ではこうした地方での土木構造物の調査にも力を入れ、或程度の成果を得たが、構造物の建設された背景や、技術の関連性、その果たした役割の調査は不十分である。今後こうした面で調査研究を深め、土木史の内容をより豊にする必要がある。

又こうした構造物は地域の人々に親しく利用され、景観の重要部分としての役割を果たして、原体験、原風景の基をなしており、保存し活用する必要がある。

土木工学は21世紀の工学として、従来の理学、力学を中心とする工学に加えて、自然環境との調和や、社会文化との関連を重視する方向へ変換しつつあり、また変換しなければならないと考えられる。こうした中で土木技術の評価から今後の発展の方向を考究する土木史は、今後より重要な役割を果たすと考えられる。

参考文献－ 9

- 1) 土木史研究委員会「土木遺産の文化的価値を広めよう」土木学会誌Vol.85、2000.6.
- 2) 為国孝敏「整備されつつある保存活用の法、制度」土木学会誌Vol.85、2000.6.
- 3) 伊東孝「保存活用、新しい時代の課題」土木学会誌Vol.85、2000.6.
- 4) 馬場俊介「具体化し始めた保存工学」土木学会誌Vol.85、2000.6.
- 5) Heinrich Figi " Rehabilitation of the Salginatobel Bridge " Structural Engineering International、Vol10、NO.1、1998.1.
- 6) 武部健一「土木史研究20年 ― 過去の成果と将来の展望」土木史研究NO.20、2000.6
- 7) 石川県立埋蔵文化財センター「金沢城跡石川門上（石川橋）発掘調査報告書」1997.3

10. 謝辞

本研究論文の作成にあたり、小野紘一教授には絶えず老年の筆者に御激励と懇切なる御指導を頂いたので、心からの感謝をいたします。特に論文の完成に時間を要し、御迷惑を掛けた事をお詫び申し上げます。名古屋大学成岡昌夫名誉教授には、論文作成のお勧めを受け、御教示を頂いたので心からの感謝をいたします。

また、畏友藤井郁夫氏の編纂書「橋梁史年表」には中央及び地方の広汎な調査の結果が集積されており、筆者の調査の導きとなり大いに参考にさせて頂いたので感謝します。

また堀勇良氏の論文には鉄筋コンクリート技術の我国への導入過程における土木技術者の活躍が記録されており、筆者の調査と重なる所もあるが、本論文の参考となる点多かったので感謝します。また、貴重なる研究資料を提供して頂いた金沢大学鳥居和之教授等及び元高知県土木部松木正隆氏及び白川義和氏にも心から感謝いたします。筆者の勤務先の篠井力社長を初め友人達に多大な御協力を頂いたので心から感謝します。

最後ではあるが、京都大学土木工学科の図書室を初め、各地の県や市の図書館では、司書の方々に資料の提供等に御協力頂いたので感謝いたします。

平成13年12月 山根 巖