

ガスパイプラインの合理的建設システム
- クイックパイプライン工法（QPL 工法） -
の開発

平成 14 年 11 月

苫米地正敏

目次

第1章 緒言	1
第2章 エネルギー利用の変遷とその輸送・貯蔵技術について	4
2.1 薪炭	4
2.2 石炭	5
2.3 石油	6
2.4 天然ガス	10
2.5 水素	13
2.6 まとめ	13
第3章 米国におけるパイプラインの普及とスプレッド工法	16
3.1 はじめに	16
3.2 北米大陸の特長	16
3.3 北米での鉄道・高速道路の建設	17
3.4 パイプラインの登場とスプレッド工法の開発	19
3.5 まとめ	23
第4章 日本におけるガスパイプライン建設の諸課題	25
4.1 高圧ガスパイプライン建設の沿革	25
4.2 敷設路線の取得上の課題	26
4.3.工事施工上の課題	33
4.4 鋼管材料の課題	36
4.5 溶接施工の課題	41
4.6 突合せ溶接部検査の課題	41
4.7 防食の課題	42
4.8 まとめ	42
第5章 クイックパイプライン工法（QPL 工法）の開発	44
5.1 開発の目的	44
5.2 QPL 工法の概要	44
5.3 QPL 工法援用建設機械・仮設材の開発目標と成果	48
5.4 QPL 工法のシステム構築の詳細	81
5.5 まとめ	86

第6章 クイックパイプライン工法（QPL工法）の実証試験	87
6.1 実証試験の目的	87
6.2 第1回実証試験	87
6.3 第2回実証試験	110
6.4 第3回実証試験	113
6.5 実証試験結果のまとめ	118
6.6 QPL工法便益試算	119
第7章 クイックパイプライン工法（QPL工法）の今後の課題と適用指針(案)	124
7.1 はじめに	124
7.2 QPL工法の今後の課題	124
7.3 QPL工法の適用指針(案)	127
第8章 クイックパイプライン工法（QPL工法）適用による 国土幹線パイプライン網構築の提言	133
8.1 提言の主旨	133
8.2 ガスパイプライン事業の公共事業としての位置づけ	133
8.3 公共ガスパイプライン用地の新たな選択肢	136
8.4 高速道路用地へのパイプライン敷設の事例研究	139
8.5 まとめ	147
第9章 結語	150
謝辞	152
付表1 海外の陸上パイプラインの事例	153
付表2 わが国のガスパイプライン(導管)設置状況について	154
付表3 わが国における主要パイプライン	155
付図1 北米のパイプライン分布図（西部）	156
付図2 北米のパイプライン分布図（東部）	157

第1章 緒言

人類の文化的生活がエネルギーの有効活用に依存していることは言うまでもないが、エネルギーの主役の化石燃料が有限であると言われ続けて久しい年月がたっている。

科学的根拠があいまいなままで危機感のみが先行する昨今の風潮は好ましい現象とは思えない。

我々日本人は、戦後の灰燼から知恵と汗で今日の繁栄を築いてきた。資源小国、エネルギー小国を自覚し、原料輸入、加工製品輸出を国是としてまい進してきたが、地球規模での環境問題に直面しエネルギーの利用について真剣に反省すべき時期が到来したといえる。

日本列島は一億二千万人の人口に比べ、国土が狭隘かつ過密で可住面積は 15%程度と狭く、少ない。しかし、北海道から沖縄まで四季の変化に富んだ独自の文化圏を構成する島国として長い歴史を有し、今後も住むに値する文化国家として永続して行くことを願うものの一人である。そのためには、あらゆる分野で知恵を最大の資源として活用して行くのが唯一の道であるとする。

エネルギー利用の変遷を見ても、戦後、石炭を黒ダイヤと呼び珍重し、唯一の国産エネルギー資源として最大限に活用したが、中東からの石油の大量輸入の実現で短期間に経済産業地図が激変した。それもつかの間、オイルショックと呼ばれる OPEC による原油価格の突然の値上げで諸物価が高騰し日本沈没とまで騒がれ輸出も低迷した。これをエネルギー消費技術の大幅な改善で乗り切り、重工業分野の国際競争力を急速に回復できた。全てが知恵の産物である。

化石燃料は、従来、購入価格と地域偏差により先進工業国での利用パターンが左右される傾向が主体であったが、炭酸ガス等の地球温暖化物質の排出抑制が地球規模で議論されるようになり環境保全が最重要テーマとなってきた。化石燃料は、全て炭素と水素を主成分としているが、炭素の単位排出量で見ると石炭、石油に比べ天然ガスが最も少なく中期的には期待される燃料となっている。

しかし天然ガスは、石油に比べ大量長距離輸送が技術的・経済的に難しかった。一般にガス体の輸送は圧力容器で可能であるが、高圧化技術、高圧ガス容器製造技術ともに実用化が遅く、少量・高付加価値の工業用ガスの酸素、水素、窒素、アルゴン用の普及が先行した。一方、天然ガスは、大容量を安価に遠距離輸送することが必要条件であり、高圧でパイプライン輸送するのが最も効率的かつ経済的な輸送方法として天然ガス埋蔵量の豊富な米国での発展が促された。

天然ガスパイプラインは、20 世紀初頭米国で開発され天然ガス産出地から消費地である全米の大都市へパイプライン網として敷設・普及していった。20 世紀中庸、欧州諸国及び中東天然ガス産出国に敷設需要が広がり、現在では世界的に普遍的な天然ガス輸送手段となっている。現在、パイプライン建設に使われる鋼管材料（ラインパイプと呼ばれる）、防食技術（鋼管内外面塗装と電気防食法）、現地突合せ溶接技術、非破壊検査技術（コバルト 60、X 線）も高度な技術水準が確立している。敷設のための土木技術もパイプライン専用建設機械が開発実用化され、施工管理手法の確立によりスプレッド工法（Spread Method）と呼ばれる独創的な高速施工法が普及している。この工法では、鋼管口径に依らず 1 日 1 マイル（約 1,600m）が標準施工能率として建設工事費の標準化・節減が達成されている。パイプライン敷設ルートは、住宅地を迂回し、農地、牧草地、森林が主に選ばれ、道路、河川、鉄道、山地は可能な限り埋設横断するように計画されている。

わが国でのパイプラインとしては1963年に敷設された新潟産天然ガスを東京の都市ガス会社まで運ぶ 300km のパイプラインがそのさきがけとなった。ルートは、米国に倣い、農地、山地中心に選ばれたが建設用機械能力も十分でなく冬季も施工したため災害の発生もあり難工事となった。工期 1 年強で完成させた点でスプレッド工法の考え方を踏襲した施工法であったといえる。

しかし、わが国での本格的なガスパイプライン施工は、液化天然ガス（LNG）の輸入が始まった昭和 30 年代後半（1965 年頃）から始まった。当初、東京・大阪といった大都市周辺の都市ガス用・発電用であり、敷設ルートも既設道路（主に県道、市町村道）埋設が主体のため、工事進捗が滞り、欧米に比べ低施工速度・長工期が避けがたい傾向となり建設工事費が必然的に上昇せざるを得なかった。これがガス販売価格を高めることになり、プロパンガス・灯油・電気といった他エネルギーに対する競争力低下を招いている。昨今、地球環境保全の面からも天然ガスの更なる普及は必要との認識が高まっており、幹線パイプラインの抜本的な施工コスト縮減が期待されている。

このような背景から本研究は、国土幹線パイプライン網の円滑なる構築に寄与することを目的に実施したものであり、スプレッド工法の考え方をわが国でのパイプライン施工環境に応用したクイックパイプライン工法（QPL 工法）を開発し、新潟・仙台間 250km を連絡する天然ガスパイプライン等にて実証試験を実施しその有効性を確認したものである。

本研究は、下記の 9 章より構成されている。

第 1 章緒言では、エネルギー問題に関する日本のおかれている立場から天然ガスのエネルギーとしての位置づけと、輸送手段としての国土幹線ガスパイプラインの整備・普及の必要性からクイックパイプライン工法開発に着手した目的を述べ、引き続き本論文の構成を

概説している。

第 2 章では、エネルギー利用の変遷を薪炭、石炭、石油、天然ガス、水素ガスの順に夫々の歴史、利用法、採掘、環境、輸送について概説し、天然ガスパイプラインが水素ガス輸送にも活用できることを予測する。

第 3 章では、米国での天然ガスパイプラインの発展・普及にその国土の地勢的な特長が寄与していること、大陸横断鉄道・州際高速道路建設の経験からスプレッド工法が開発され、効率的なガスパイプライン網が構築されたことを論述する。

第 4 章では、わが国におけるパイプライン建設について、現状の普及の推移を述べ、敷設路線（ルート）の取得、工事施工、鋼管材料、溶接施工、溶接部検査、防食の各分野での課題を概説している。

第 5 章では、クイックパイプライン工法（QPL 工法）の開発を、専用建設機械・仮設材の開発とシステム構築の二段階に分けて行うこととしている。第 1 段階では高能率機械化施工を達成するための 8 種類の建設機械と 1 種類の仮設材について、夫々の開発目的と開発成果を機能別に記述し、第二段階ではシステム構成の内容と施工上の管理点を整理している。

第 6 章では、クイックパイプライン工法（QPL 工法）の実用性を確認する目的で、建機性能・耐久性、システム整合性、施工能率について 3 回の実証試験をおこなった内容を記述し、この結果を基に建設工事費をシミュレーションし、従来工法に対する QPL 工法の能率向上による工事費低減の度合を検討している。

第 7 章では、クイックパイプライン工法（QPL 工法）の今後の課題について、占用延長の取得、埋設場所、土質、土砂仮置き、作業員、開発建機の改良事項の夫々について整理し、更に本工法の標準化を進めるための適用指針（案）を作成提案している。

第 8 章では、ガス運送事業としての公共性のある国土幹線ガスパイプラインの必要性を論じ、そのパイプラインルートとして高速道路用地等への併設を提案し、クイックパイプライン工法（QPL 工法）適用により従来工法に対し大幅な施工能率向上・建設工事費低減が可能となることをシミュレーションしている。

第 9 章では、論文全体のまとめを論述し、国土幹線ガスパイプライン網実現とその建設にクイックパイプライン工法（QPL 工法）が有効に適用されることを熱望している。

第2章 エネルギー利用の変遷とその輸送・貯蔵技術について

2.1 薪炭 (wood and charcoal)

1) 歴史

人類が、始めて意図的に火を利用してから数千年の間、薪炭は、煮炊き、暖房、加工等のエネルギー源として最も普遍的であった。日本でも明治以前は、煮炊きは薪、暖房は炭、照明は菜種油で生活していた。人類が、石炭をエネルギー源として用いたしたのは産業革命の起こった18世紀以降からで、1850年頃の米国のエネルギー需要の90%以上は、薪であり、鯨油が照明用として珍重されたことはペリー来日の理由がその裏づけである。アフリカ大陸の諸国及びその他の発展途上国では、いまでも利用エネルギーの50%以上は、付近の樹林から得られた薪である。

多くの先進工業国では、1973年のオイルショック (oil crisis) に至るまで、樹木の燃料利用は次第に減少したが、石油価格の高騰の反動で手近なエネルギーとして再び利用度が上昇した。特に、米国、カナダでは、主要産業の林業から大量に発生する廃材が、産業用としても加熱用・発電用に積極的に利用され、又家庭でも暖炉暖房用にかなりの利用が続いている。

2) 利用法

単純に燃焼させる方法が殆どであるが、木の乾留の結果得られる木炭 (charcoal) は、クリーンエネルギーの代表で、わが国での利用のほか先進国の都会では調理用燃料として今も広く利用されている。これを蒸留して得られるメタノール (methanol) 又は木精 (wood alcohol) は、ガソリンと同様な液体燃料として調理・暖房・照明に19世紀から用いられてきたが、1910年頃より代替自動車燃料にも活用され出した。

現在は、樹木を酵素で発酵させて得られる液体のエタノール (ethanol) 燃料も製造される。限定された量であるが、今後のエネルギー利用の多様化に貢献すると考えられる。

3) 環境

地球温暖化 (global warming)、酸性雨 (acid rain) への関心の高まりから、樹木のような成長時に炭酸ガスを吸収し、燃焼時に炭酸ガスを発生する、いわゆる再生可能な (renewable) エネルギー源への期待が増加しつつある。しかし熱帯雨林の大量伐採による炭酸同化作用の地球規模での減少は、きわめて深刻な事態と考えられ、消費を上回る植林の重要性が認識されだしてきた。

4) 輸送・貯蔵

薪炭は量により人力始めあらゆる輸送手段が可能で、水濡れさえ防げば、いかなる方法でも貯蔵出来る簡便さがある。反面、貯蔵場所が限定され、不用意な出火・着火に注意する必要がある。

2.2 石炭 (coal)

1) 歴史

化石燃料(fossil fuel)のうち石炭は、紀元前 1,000 年から洞窟で暮らしていた人類(cave man)にも利用されてきた。石炭は、地上のあらゆる場所で容易に入手できたが、燃焼に際し大量の煤煙が発生し煮炊きや暖房には不便なことから、産業革命以前は殆ど使われなかった。燃料の主体が、薪炭から石炭に移ったのは、燃料用の樹木が手に入りにくくなった事(中国)と石炭の豊富な埋蔵量とその燃焼力の優越性が認識された事(イギリス)にあると考えられる。

2) 利用法

1775 年にジェームス・ワット (James Watt) が発明した蒸気エンジンの蒸気発生用燃料として使われて始めてから、19 世紀末に石油、天然ガスが登場するまでの間、石炭は産業革命を推進する主原動力になった。18 世紀後半から産業革命の成果が織物産業、機械産業、鉄鋼産業、造船産業の発展を促進して、英国より西欧・米国に次第にひろがり、蒸気船や蒸気機関車の蒸気ボイラーの燃料として石炭の利用が拡大した。19 世紀前半には、石炭の利用価値は益々増え、その高発熱量を利用して、1861/5 年の南北戦争 (civil war) での武器製造工場に、さらに 1875 年には、製鉄用高炉の主燃料として、木炭 (charcoal) の代わりに、石炭を乾留して出来るコークス (coke) が登場した。発電用燃料としての石炭の利用は比較的新しく、1880 年代に入ってからであったが、現在でも、米国では発電用の 40% を占め、又セメント製造等多くの基幹産業での加熱用熱源としてエネルギー需要の大きな比率を占めている。

石炭は 1937 年には世界エネルギー消費の 74% を占めていた。それ以降、より利用しやすい燃料として石油や天然ガスが低廉かつ大量に供給されることによって、多くの分野で石炭の利用率が減少した。現在、家庭での調理・暖房には殆ど使われなくなったが、発電用や一部産業の加熱用には、依然として主役の座を占めている。世界エネルギー需要に占める石炭の比率は、現在 30% 以下に減少したが、石炭の利用量自体は、エネルギー需要全体の増大でむしろ増えている。

発電のみによるエネルギーの有効熱効率は、約 35% 止まりだが、廃熱を産業用の加工熱やビルの暖房用に用いることで、80-90% 迄総合熱効率を高めることが出来る。このような形態は、コ・ジェネレーション (co-generation) 又は熱電併給 (combined heat and power supply) と呼ばれておりエネルギー有効利用の最適例と言える。

もうひとつの対策は、総合石炭・ガス化コンバインドサイクル (integrated coal-gasification combined cycle) 発電所であり、石炭をガス状の混合体にして、ガスタービンで燃焼させる方法である。発電熱効率は、理論的に 45% 迄高められる。

石炭は、石炭化学の原料として繊維、化学製品、薬品等広く利用され、燃料としての価値以上に有益な資源であり、今後この分野中心に活用すべきと考える。

3) 採掘

石炭の採掘は、炭層が地表面にどれだけ近いかで異なる方法が採用されてきた。西カナダの炭田のように地表面に近い場合は大きな開削ピットを掘る、いわゆる露天掘り（strip mine）でなされ、深いと、狸掘り（炭坑・炭室方式）で採掘される。露天掘りは、重機械による掘削運搬で大量の石炭を低価格で生産でき将来的にも有望なエネルギー資源と位置づけられる。一方、炭坑方式では、過去、落盤・火災といった災害事故の多発と石炭粉塵による珪肺のような職業病で多くの死亡者が出たが、自動機械化採炭方式や水力採炭法の採用と厳格な防爆・安全設備の適用で、安全成績は格段に向上した。しかし、石油・天然ガスとの価格競争の結果世界的に衰退しつつある。

4) 環境

石炭の過剰な燃焼は、大量の煤煙を発生させ、都市の大気汚染（urban air pollution）（スモッグ）に繋がる事は、14 世紀以降イギリスの最大の社会問題であり、チャールス・ディッケンズの小説にも出てくる。最近の認識として、石炭の大量燃焼は地球温暖化（炭酸ガス、一酸化炭酸ガス）、酸性雨（硫黄酸化物、窒素酸化物）の主要原因の一つとされている。その対策は先進工業国で鋭意検討されているが、米国では、エネルギー省が中心となり、クリーンコール技術計画（clean coal technology）がスタートしている。燃焼までの工程で環境汚染物質を如何に減少させるかが目標とされている。

しかし、世界的な人口増大とそれの伴うエネルギー需要増が進む中、石炭の利用は、埋蔵量の無尽蔵なこと、他の燃料に比べ低価格なことから、今後とも避けられない選択肢であり公害対策を適切に講じながら活用してゆくべきと考えられる。

5) 輸送

石炭は、採掘時は大小の塊で搬出されるが、利用前に粉砕して細かい粒状にされる。これは、輸送、洗浄前処理、燃焼夫々に最適なためである。粉砕・粒調処理された石炭は、状況に応じ、ベルトコンベア、トラック、船、鉄道貨車、舢舨（barge）等で輸送できる。

石炭を水又は油と混合（混合物をスラリー、slurry と呼ぶ）して、パイプラインで運ぶスラリーパイプライン技術も 1950 年代に開発実用化されている。

石炭の貯蔵は、多く野外に積み上げる方法が採られているが、風による粉塵の飛散、自然発火防止の為、散水装置等防護措置が施される事が多い。

2.3 石油（petroleum）

1) 歴史

石油に関する人類の記録は数多くある。

紀元前 300 年頃、アレキサンダー大王が、油又は石油（petroleum）を燃やし、敵の象を怖がらせたとの記録が残っている。又、13 世紀にマルコポーロが、カスピ海地方（バクー）で地中から油が浸みだしているのを見聞録に記録している。考古学者の発見でもこの地方で紀元前 4000 年頃に油やアスファルト（油の固体）が使われた証拠がある。古代エジプトではミイラの防腐処理にアスファルトが使われていた。考古学的な遺跡の古い沈船からコ

ーキング材として、ビチューメン又はピッチと呼ばれるアスファルトが見つっている。

アメリカ大陸では、1542年に現在のカルフォルニア州サンタバーバラでスペインの探検家が、石油を見つけた報告があり、更に1593年にはテキサスで油の浸みだした残査（アスファルト）を別の探検隊が船の補修に使った記録がある。

しかし、実用的な目的での活用の記録は、19世紀後半の米国まで殆どなかったといえる。

今日の石油産業が実際に始まったのは、約150年前の1859年といわれている。それまで、ランプや潤滑に用いた油燃料は、鯨油であったが当時としてきわめて高価な物であった。1858年頃、ペンシルバニア・ロック・オイル会社（Pennsylvania Rock Oil Company）という会社が設立され、油岩（rock oil）を此の代替品として利用することを考え、露天堀での採取を試みたが、コストの高い事業となり挫折した。そこで、水井戸を掘る技術を油井戸に応用する考え方に転換し、ドレーク大佐（Edwin L. Drake）という人に請け負わせた。ドレークは一年以上悪戦苦闘したのちに、1859年ペンシルバニア州タイタスビル付近の地下20mの深さで噴出する油層を発見した。これが、石油産業というまったく新しい産業の誕生の発端となったと考えられる。

その後、石油産業は、鉄鋼業、自動車産業の進展に歩調を合わせ、二度の世界大戦の軍需の後押しもあり、米国で急速に発展した。今日、米国では、30万人以上が石油産業で働き、8,000社以上の会社が石油生産に携わっている。30州以上で採掘されているが、テキサス、オクラホマ、ルイジアナ、カリフォルニアの南西部・太平洋岸諸州が主要な産地となっている。

2) 利用法

石油及びその関連製品（ガソリン、ディーゼル油、灯油、航空燃料油、重油等）は、多くの用途に使われているが、エネルギーとして使われる石油の半分以上が、交通輸送用燃料に充てられている。

1876年、オットー（August Otto）が石油を燃料とする内燃機関（internal combustion engine）を発明するまでは、機械化輸送は蒸気機関（steam engine）により、燃料として石炭又は木炭を焚いて船や汽車を動かしていた。蒸気機関は性能上大型となり、自動車のような小型化が要望される分野には向かなかった。その点ガソリンエンジンは、小型で大出力が得られ、自動車や航空機の様な乗り物に最適な動力源であった。現在、世界の95%以上の輸送用エネルギーを、石油製品が供給している。ディーゼルエンジンも、内燃機関としての優れた特長をもっているが、燃焼排気から出る煤や窒素酸化物の対策が課題である。

石油が安価であった時代は、発電用に良くもちいられ、特に水力や石炭が得にくい地域などでは多用された。石油から抽出される重油が発電に向いているのは、輸送・貯蔵が容易な為である。1973年のオイルショック（oil crisis）以降発電用燃料として石油は益々高価な燃料となった。

石油火力発電所は、石炭火力発電所と同様な工程になる。即ち、原油又は重油を燃焼し

て、ボイラーで蒸気を発生させて蒸気タービンを回して、発電機に動力を伝え発電する原理である。このような発電方法では、石油の持つエネルギーの最大約 35%しか、電気エネルギーに利用できず、残りは未利用のまま大気中に放散されてきた。

石油の熱利用の最後の形態は、灯油（ケロシン）として住宅や事務所の暖房用である。石炭による環境汚染が顕著となり、天然ガスのパイプラインによる供給が未整備の間約 100 年にわたり暖房用として大いに活用された。石油焚き炉は、当初燃焼効率が悪かったが、近年 90%前後の効率まで改善された。しかし石油価格の高騰もあり、暖房需要は順次天然ガスに移行している。

一方、石油化学の進展により、石炭から造られた多くの製品が価格・品質面の有利さから石油製品に転換された。今では我々の日常生活は、石油製品無しには成り立たないと迄言われている。石炭と同じく、単に燃料として利用するより、今後は製品原料として有効活用すべきと考える。

3) 採掘

油田は、言葉から受ける印象と異なり、巨大な地下湖や深い地下に真っ暗なプールで存在する訳ではない。地下の油層は、貯油層（oil reservoir）と呼ばれるが、通常の岩石層と変わりなく、ポーラス（pores）と呼ばれる岩石のすきまに小さい油滴の形で石油が存在している。

試掘井で貯油層の存在、貯油量の推定、ポーラスの程度、岩石の亀裂の方向を科学的な手法で調査し、採掘採算性の可否を判断する。更にコア（cores）と呼ばれる岩石見本を取り、顕微鏡で油滴の存在を確認し適切な地下含油構造と判断して始めて、生産井（production wells）を掘削する。生産井が油層に到達し、穿孔作業（perforation）すると石油は、地中の自然圧ですぐに自噴し始める。当初、油田用機器が十分な性能を備えていなかったとき、井戸が油層に達すると石油が数十mも吹き上げる事故（gusher と呼んだ）が起こったが、その後、暴噴防止装置（blowout preventors）と呼ばれる特殊装置を開発し、暴噴事故を制御出来るようになった。

油田は生産開始後暫くすると圧力が低下し自噴しなくなるのでポンプで石油を汲み上げるようになる。天然ガスが随伴して出る油田では、ガスだけを分離し、再度油層に注入して、圧力を保持する事で自噴を続ける事が出来る。このような方法を講じても石油が採取できなくなった時点で、油田には全埋蔵量の 4 分の 3 が残されたままになっている。（ここまでは、初期生産段階-primary production stage-と呼ばれる。）

ここからの生産は、二次回収工程（secondary recovery process）と呼ばれる。先ず、油田周辺に注入井戸（injection wells）を掘削し、そこから水を注入する。この方法は、注水工法（water flooding）と呼ばれている。この工程で、さらに全推定埋蔵量の 15-10%が採掘できる。しかし、それでも未だ 65-70%の石油が残存している事になる。米国では、過去 1,600 億バレル以上の石油を採掘してきたといわれているが、この理論では未だ 3,300 億バレル以上の石油が地下に眠ったままになっていることになる。現在の技術水準では、残

念ながらこれ以上の採油は不可能であるといわれている。

しかし、界面活性剤のような薬品の注入やある種のバクテリア（microbes）を油層内で培養し、油が流れやすくする技術が開発中であり又蒸気や炭酸ガスを注入する技術で回収を促進する事も検討されており、確認油田からの原油回収は今後も増加すると考えられる。

4) 環境

石油の利用は、環境問題にふたつの特有の課題を投げかけている。

一つは、“採掘・生産に伴う環境問題”であり、もうひとつは“輸送に伴う環境問題”である。前者は、基地建設時の建設機械による生態系の破壊、操業時の排ガス・騒音による動植物への影響である。後者は、パイプライン建設時の建設機械による生態系の破壊に加え、石油漏洩（oil spill）による動植物への直接被害が、大きな社会問題となっている。

いずれも、永続的なエコシステム（ecosystems）に何らかの損傷をもたらすものであり、慎重な配慮・対応が必要とされる。

更に石油の燃焼により排出される炭酸ガス（CO₂）は、石炭ほどではないが地球温暖化（global warming）に寄与する温室効果ガス（greenhouse gas）であり、同じく発生する硫黄酸化物（SO_x）や窒素酸化物（NO_x）は、酸性雨（acid rain）の原因となる。現在、輸送用に使われる石油は、世界的な炭酸ガス排出量の 25%を占めている。石油全体では、需要が多いこともあり 40%のシェアを占める。

今後、石油の燃料としての消費を出来るだけ抑制し、他のエネルギーと総合的に活用することで、環境、経済、残存石油埋蔵量のバランスをとる必要がある考える。

5) 輸送

石油及び石油製品の輸送は、トラック、貨車、船舶にタンクを積み、安全性を確保すれば比較的容易に出来る。特に専用の大型油送船（スーパータンカー）は、大量原油の遠距離海上輸送を可能にした。

一方、パイプライン輸送は、米国での長距離石油輸送を特長づける方法である。第二次世界大戦時（1940 年頃）、米国周辺海域はドイツの潜水艦の攻撃で、タンカー輸送が不可能となった。石油の主な生産地は、テキサス、オクラホマ、ルイジアナの南西部諸州であり、主な需要地は、五大湖、大西洋沿岸諸州であり 2,000km 以上離れていたため、緊急の輸送対策が必要となった。

当時、米国五大湖周辺（ペンシルバニア州中心）で 19 世紀後半から発展した大規模鉄鋼業により、あらゆる鉄鋼製品が、安価かつ大量に供給されていた。継目無鋼管もその主要製品の一つであり、この鋼管を大量に活用して、原油、石油製品輸送のために二本の長距離パイプラインを建設する計画が立案・実行された。600mm 口径原油パイプラインに“ビッグインチ”（BIG INCH）、500mm 口径石油製品パイプラインに“リトルビッグインチ”（LITTLE BIG INCH）の愛称が付けられ、結果として大戦中大量の原油・石油製品の安全輸送が確保できた（これらパイプラインは、現在も天然ガスパイプラインに転用され利用されている）。輸送手段としての本格的パイプライン建設の発端はこのように軍需目的では

あったが、結果として長距離パイプラインの材料・溶接技術、スプレッド工法、操業技術が確立された画期的な出来事であり、液体輸送の手段としてのパイプラインシステムの有効性が実証された。

大戦後、油田から製油所・タンカーターミナルまで、タンカーターミナルから製油所まで、製油所から需要地まで数多くの石油・石油製品パイプラインが建設された。アラスカの TAPS (Trans Alaskan Pipeline System) (1975 年、口径 48、1,500km)、欧州の TAP (Trans-Alpine Pipeline) (1967 年、口径 40、400km) は、口径、距離、重要性の点で現存する原油パイプラインとして画期的である。

2.4 天然ガス (natural gas)

1) 歴史

現在のイラク地方の伝説的な“永遠の火”(eternal fires) は、紀元 100-150 年頃のプルタークの著書に出てくるが、恐らく地中の割れ目から漏れる天然ガスが、落雷等で着火したものと推定される。

1821 年、ニューヨーク州フレドニアでハート (William A. Hart) が、9m ほど油井掘削したところ、元々地表に天然ガスの漏洩 (surface seepage) があった箇所から大量のガスの噴出があった。これが、天然ガスを意図的に取る目的で掘った初めてのガス井となった。

しかし、19 世紀中は、街燈の照明用燃料にわずかに利用されるに止まった。その理由は広範囲の供給用パイプラインがなかったためといわれている。そのガス灯も、1890 年以降、多くの都市でガスから電気に転換したので、ガス生産者は新しい市場を開発する必要性が出てきた。

1885 年、ブンゼン (Robert Bunsen) が、天然ガスを適量の空気と混合し、燃焼効率を改善したバーナー (Bunsen burner) を発明し、調理・ビル暖房にガスが最適なことを証明した。これが、住宅・家庭用という新市場にガスを大量かつ安定に供給出来る天然ガスパイプラインを建設する契機となった。

2) 利用法

天然ガスは、きわめて使い勝手の良い燃料で、暖房・温水・工業用加熱・発電・調理・動力源・輸送用等あらゆる分野に利用が出来る。加熱用と発電用は、天然ガスの用途として当初から主流で、それぞれ 75% と 15% を占めている。

21 世紀には、炭酸ガス排出量が化石燃料の中で最も少なく、硫黄・窒素酸化物が発生しにくいこと、大気汚染 (urban air pollution) 防止の観点から、石炭・石油に替わり交通輸送用燃料としての使用も増加する可能性が大きいと考えられる。

加熱炉の効率を高めることは、エネルギー消費の節約となるが、超高効率加熱炉 (ultra-high-efficiency gas furnace) の開発・利用で、エネルギーの 90% 以上を有効熱量に変えられるといわれている。ガスヒートポンプ (gas-driven heat pump) により、さらに効率の良い加熱炉が生まれ、ガス冷凍機 (gas-driven “chillers”) が、空調需要を電力から天然ガ

スに変える可能性が大きい。

天然ガスは、主成分のメタンを低温（ -150°C ）で液化するか、常温で液状の液化石油ガス（LPG）を分離し、圧力容器（ボンベ）に貯蔵すれば、パイプラインが困難な離島や山間地でも加熱用に利用できるが、パイプライン供給に比べ、一般に高価格とならざるを得ない。

発電に天然ガスを利用する事は、原料価格差により一般的に石炭より発電コストが高くなる。しかし、ガス火力発電所のガスタービンは、発電機の稼働・停止がきわめて迅速に出来るため、電力会社は“ベースロード”（base-load）の電力需要を、石炭火力発電や原子力発電に依存し、“ピーク需要”（peak demand）対応に天然ガスによるガスタービン発電を充てている。ガス火力発電所でも、石油や石炭と同じく、ボイラーで蒸気を造る通常の場合、37%以上の発電効率は、達成困難であるが、航空用ジェットエンジン（jet engines）と類似のガスタービン（gas turbines）により発電すると、50%の発電効率が得られることが実証されている。先ずガスタービン発電し、次いで排熱ボイラーで蒸気を造り、蒸気タービンで更に発電するコンバインドサイクル（combined cycle）発電所も実用化されており、高効率化が計られている。

更に、発電と熱需要の両方を満たすシステムが開発されている。コ・ジェネレーション（co-generation）又は熱電併給システム（combined heat and power system）と呼ばれ、発電排熱を、工場用加熱源又は地域冷暖房用に利用し、総合熱効率を80%以上に出来るようになってきた。いずれも、エネルギーを高温から低温に順次活用するので、“カスケード方式”と呼ばれており、理想的な熱利用といえよう。

3) 採掘

多くの技術者・研究者が、天然ガスの生成の起源や地中での堆積の仕組みを研究している。

天然ガスは単独で見つかる以外に石油に随伴する場合が多くある。石油生産と同じく、地下貯留層（underground reservoir）の自然圧がガスを貯留岩（reservoir rocks）の隙間から押しだし、ガス井に流れ込む。このような状態のガス井では、“クリスマスツリー”（Christmastree）と呼ばれる一組のパイプとバルブの構造物をガス井の地上に設置すれば、ガス流量を制御できる。しかし、殆どのガス井は、ある種のポンプシステム（pumping system）により地下構造（underground formation）から抽出する必要がある。最も普及しているシステムは、“馬頭”（horsehead）ポンプで、井戸内をロッド（rod）が上下して、ガス・石油を地上にくみ出すものである。

貯留岩に細かい亀裂（fractures）を造り、ガスの流れを良くする方法もある。“液圧破砕”（hydraulic fracturing）と呼ばれる方法は、高圧流体（水等）を貯留層に圧入して岩を割るものである。その流体に砂や細かいガラス玉（glass beads）の様な、支え材（propping agents）を混入し、自然圧が下がっても割れ目が保持するような方法も採られる。

天然ガスは、多様な地層構造で発見されている。それらには、

- (1) 頁岩構造 (shale formation)
- (2) 砂岩層 (sandstone beds)
- (3) 石炭層 (coal seams)
- (4) 深層塩水湖 (deep salt water aquifers)

等がある。構造によって生産の難易度が異なるが、技術開発が進めば、可採埋蔵量として評価出来る地層が増える事は十分考えられる。

更に、メタンハイドレート (methane hydrate) と呼ばれ、アラスカ北部やシベリアのような寒冷地だけでなく、大陸沿岸の低温度の深海に広く大量に分布している物質の採掘の研究も進んでいる。この物質は、小さな氷の籠の中にメタンガスの分子が閉じこめられたものである。

動植物化石起源としての天然ガスではなく、メタンが地球誕生時に発生していたとの理論の研究も実証的に進められている。

天然ガスは、軽い炭化水素、即ちメタン (methane)、エタン (ethane)、プロパン (propane)、ブタン (butanes)、ペンタン (pentanes) の混合物で、場所により炭酸ガス、ヘリウム (helium)、硫化水素、窒素を含有する場合がある。主成分はあくまでメタンであり、通常全容積の 90-95% を占めている。

天然ガスは、地下の堆積岩構造 (sedimentary rock formation) 中に発見され、多くの場合石油と併存している。天然ガスを輸送し貯蔵するパイプラインが整わなかった時代は、石油採掘時、不要なガスとして単純に燃やしていた。現在では、天然ガスの有効利用が、油田開発の重要な経済便益要素となっている。

天然ガス自体の世界商業エネルギーに占める割合は、現在 20% になっている。天然ガスは世界的に平均的に分布しており、現在の消費量で、60 年分が可採埋蔵量として確保されている。

4) 環境

地球温暖化のような環境問題への関心の高まりから、石炭、石油に替わり天然ガスの利用増大が要望されてきた。それは、炭酸ガスの発生量が、エネルギー単位量当たり石炭の半分、石油の 75% の為である。天然ガスの燃焼では、硫黄酸化物は殆ど発生せず、窒素酸化物も燃焼方法の工夫で少量に抑えられる。しかし、メタン自体が、温室効果ガス (greenhouse gas) の為、パイプラインや貯蔵施設からの漏洩に充分留意すべきである。当面は原子力を含めた他のエネルギーと総合的に比較の上では選択されるべきと考えられるが、将来、環境面からの一層の研究が必要である。

5) 輸送

ガスパイプラインが、天然ガスの一般的に最良の輸送手段であり、かつ高圧貯蔵の手段でもある。

1891 年、米国 (世界) 初めての長距離ガスパイプラインが、インディアナ州中部のガ

ス田からシカゴまで 190km のパイプラインであった。しかし、当時はパイプラインの建設法も技術的・工費的に課題があり、ラインパイプの品質にも問題が多かったといわれている。そのため 1940 年後半の第二次世界大戦後迄、長距離ガスパイプラインは殆ど建設されなかった。

大戦中の軍需用の鉄鋼需要急増で、鉄鋼製造技術、溶接技術、鋼管製造法が飛躍的に改良された結果、パイプライン建設が経済的に成り立つようになった。

大戦後、米国は天然ガスパイプラインネットワークの構築ラッシュが起こり、1950-1960 年代にかけて、数千 km の天然ガスパイプラインが全米に張り巡らされた。今日、米国の天然ガスパイプラインの総延長は平成 12 年度ガス事業便覧によると 40 万 9,000km に達している（わが国ではわずか 4,700km である）。

海上輸送が避けられない遠距離輸送には、液化天然ガス（LNG）が特殊タンカー（LNG tanker）で運ばれ、又自動車用として圧縮天然ガス（CNG）が活用されだしている。

2.5 水素（hydrogen）

水素ガスは、あらゆる燃料の中で単位重量当り最大のエネルギー密度を持ち、有益なエネルギー媒体であるが、残念ながら地球上に大量のガス単体としては存在していない。

水素ガスの主な製造法は、水を電気分解で水素と酸素に分ける方法と天然ガスのような水素含有燃料を蒸気改質法か部分酸化法で合成ガスを作る方法がある。いずれの方法も製造には多くのエネルギーが必要であるが、生成されたガスは、乾燥しており、純度が高く、圧縮した状態で貯蔵される。燃焼はガソリンより効率的で大気汚染を少なく出来る反面、燃焼温度が高く、着火しやすく、爆発しやすい点から利用に際し細心の注意が必要になる。

太陽光、風力、地熱、潮力等自然エネルギーの活用方法が研究されているが、小規模な発電が可能となってきた。しかし、電力の需要地と近接したところ以外、送電コストが経済性を阻害している。付近に天然ガスパイプラインがある場合、この電力で水を電気分解して水素ガスを作りパイプラインガスとして混合し輸送する考え方が、北米で提唱されている。“Hythane”（hydrogen+methane の合成語）の呼び名でこの混合ガスを呼び、需要地で水素ガスを分離して利用する画期的な発想で、“夢の燃料”の実現が期待されている。

天然ガスパイプラインの存在が、21 世紀を水素の時代とするさきがけとして役割を担っていると考えられる。

2.6 まとめ

1) 薪炭

- 人類が火を利用することを発見してからの長い歴史は、その大部分が付近の森林から手軽に得られる薪炭を燃料に使ってきた。
- 薪は、火力は弱い輸送・貯蔵が簡便で着火しやすいため使い勝手が良い燃料である。
- 木炭は、樹木を乾留して作られ、暖房用として日本でも長く利用されてきた。

- 樹木は、大気中の炭酸ガスを炭酸同化作用で吸収し酸素を発生させるため、環境保全に重要な資源であり、利用と植林のバランスを考えて利用すべきである。

2) 石炭

- 化石燃料である石炭は、広範囲かつ大量に分布していることは、古くから知られていたが、燃やすと大量の煤煙が発生し、火力も強すぎるため、限られた場所でしか利用されなかった。
- 18 世紀の産業革命で薪炭に替り、石炭がエネルギーの主役になってから 19 世紀末に石油が利用され出すまで約 100 年間は、石炭の時代といわれた。
- 石炭を燃焼させて駆動させる蒸気機関が、産業革命を推進させ、乾留して得られるコークスにより鍛造や鉄鋼生産のような高発熱量が必要な産業が発展した。
- 現在でも、発電用原料に占める石炭の比率は 40%を占め、原料価格面の優位性から今後しばらくはこの傾向が持続すると考えられる。
- 環境面からは、石炭の燃焼は炭酸ガス排出や煤煙排出の面で悪影響が多く、技術的な開発により改善を図る必要が大きい。
- 輸送・貯蔵は、貨車、自動車、船舶等あらゆる輸送手段が可能であり、貯蔵も一般的に屋外に野積み保管できる。但し。風による粉塵飛散防止、自然発火防止を考える必要がある。

3) 石油

- 石炭と同様石油の存在は古くから文献に記録されているが、揮発性が大きいため、地上に露呈していることがまれで、又着火しやすい利用しにくい燃料であった。
- 19 世紀後半の米国で照明用・潤滑用の油を鯨油から転換しようとして、掘削した井戸から石油が自噴した 1859 年が、石油産業の夜明けであった。
- 石油の採掘は、油井掘削により行われるが、地中の圧力による自噴がなくなった後も特殊ポンプにより生産が持続でき、水やガス注入の補助工法でも増加できるが、現在の技術水準では、埋蔵石油の 25%程度しか利用されていない。
- 石油（原油）は、揮発性の違いでガソリン、ディーゼル油、灯油（ケロシン）、ジェット燃料、重油等に分留される。
- 1876 年、オットーが発明した内燃機関が輸送車両用の燃料としての石油製品の利用価値を高め、蒸気発生用のボイラー用燃料としても石炭の変わるようになった。
- 石油の輸送は、貯蔵用のタンク容器を輸送機器に搭載して行えるが、パイプライン輸送が、効率性・安全性で優れていることが 1940 年代後半に立証されてから、米国において爆発的に普及した。
- 燃焼により発生する炭酸ガスによる環境問題は石炭について深刻な課題であり、採掘やパイプライン建設にとのなう生態系への影響も十分検討されるべき課題と考えられる。

4) 天然ガス

- 天然ガスは、石油井戸掘削で大量に随伴ガスとして発見されるまで利用されることはな

かった。

- 天然ガスの生産は、石油随伴ガスを利用するか、天然ガスのみの井戸を掘削するかの方法があるが、基本的に石油掘削と変わらず、貯留層を発見する地質学的な知識が必要である。
- 天然ガスは、メタンが主成分で、燃焼しやすく、煤煙の発生も少なかったので、街燈の照明に使われたが、1885年ブンゼンがブンゼンバーナーを発明して燃焼効率を飛躍的に改善した結果、家庭用の調理・暖房用に薪炭・石炭に変わり利用されるようになった。
- 天然ガス輸送は、ガスパイプラインの建設が唯一の効率的な方法であり、米国で高度に発達したシステムである。技術的には先行した石油パイプラインを踏襲できたが、貯蔵は、パイプライン内部に高圧で貯蔵するか地下貯留層を利用するかである。
- 燃焼が容易で、炭酸ガス発生量も、他の化石燃料に比べ少ないため、環境保全の面からも当面可能な限り選択すべきエネルギーと考えられる。

5) 水素

- 水素は水の形で地球上に豊富に存在するクリーンなエネルギーで、21世紀は水素の世紀として期待されている。
- 水素ガスの製造は、水の電気分解が最も簡便であるが、費用が高い欠点がある。
- 太陽光、風力、地熱、潮力等の自然エネルギーによる小規模発電で水素を製造し、天然ガスパイプラインに混合輸送することで有効活用を図れる。
- 原子力エネルギーによる水素ガス製造を研究する動きも出てきている。

参考文献；

- (1) Energy Fact Sheets,the Energy educators of Ontario,1993
<http://www.iclei.org/efacts/content.htm>
- (2) Natural Gas General Information,Alternative Fuels Data Center
http://www.afdc.doe.gov/altfuel/gas_general.html
- (3) Cleaner fuels:Hydrogen
http://www.cai-infopool.org/fuel_hydrogen.htm

第3章 米国におけるパイプラインの普及とスプレッド工法

3.1 はじめに

可燃性の高い流動体、とりわけ石油・石油製品のような液体、天然ガスのような気体を大量かつ遠方に運ぶのに最も経済的な輸送方法として米国において発展したのが、パイプライン (PIPE LINE) と呼ばれるシステムである。

その経済性・安全性は、第二次世界大戦中に石油産出地のテキサス・オクラホマ州から消費地のシカゴ・ニューヨーク州に大量の石油・石油製品をタンカーのかわりにパイプライン輸送することによって実証された。

石油・石油製品の輸送はパイプラインによる以外に船舶 (タンカー)・鉄道 (油槽貨車)・自動車 (タンクローリー) でも可能であるが、天然ガスの大量輸送はガスパイプラインによる以外経済的に事実上非現実的であるといえる。

本章では、なぜ米国でパイプラインが早期に普及したかについて分析し、その推進役を果たしたスプレッド工法について考察する。

3.2 北米大陸の特長

北米大陸は、現在カナダ連邦とアメリカ合衆国からなり、東西 4,200km、南北 5,000km に及ぶ広大な陸地である。その地形を特徴付けているのは、東部のアパラチア山脈、西部のロッキー山脈～シエラネバダ山脈、中央大平原を南流し、メキシコ湾に注ぐミシシッピ河水系、五大湖とそこから北東に大西洋に流れるセントローレンス川である。

ミシシッピ河下流域及び東西の山脈裾野が石油・天然ガスの主な埋蔵地であり、米国ではテキサス、オクラホマ、ルイジアナ、コロラド、カルフォルニア州、カナダではアルバータ州が主要産出地である。

アメリカ大陸は間氷期になった紀元前 9500 年頃、地続きのベーリング海峡を通してユーラシアから来た人類が原住民の祖先であるが、本格的な人類の移住は 17 世紀になってからイギリスを始めとした欧州諸国からであった。

大航海時代に欧州からのアジアへの西回りルート探索の結果、アメリカ大陸が発見された。現カナダには 1603 年からフランス人が居住地を作り、1690 年までに 10,000 人以上の植民が行われた。

現米国には、1607 年、英国バージニア会社によりジェームスタウンに初めて英国の居住地が作られたのをきっかけに主に宗教上の理由で北アメリカ東部に移住した人々がコロニーと呼ばれる居留地を作り、“新世界”での生活を始めた。1640 年までに 25,000 人以上が海を渡ったといわれる。

北部のボストンからニューヨークまでの一帯は主にプロテスタント系が、南部のアトランタ、チャールストン中心に英国国教会 (カソリック) 系が住み、英国との貿易で発展して

いった。

初期は北米からは、煙草葉・毛皮といった原料を輸出し、英国からは加工製品を輸入する貿易パターンが続いた。

産業革命の成果が、英国から技能のある人々と共にアメリカに移り出す頃から米国でも加工製品が作られるようになり本国との間で貿易摩擦が起こった。

英国政府から見ると、自己の植民地であり、自由に管理する特権があると自負していた。一方北米植民地の人々から見ると、自由裁量が全く奪われた状態は、遠方より現地の事情を無視して支配されると感じ、次第に独立の気運が盛り上がった。1773年のボストンでのお茶投棄事件 (Boston Tea Party) はその結果であり、これを契機にいわゆる“独立戦争” (The American Revolution) が始まった。

当時の英国の北米植民地は、現在のカナダ東部・五大湖にも広がっており、戦場は、北は、カナダ東部のセントローレンス川付近から、南はサバンナ、チャールストン付近まで広範囲に亘った。

英国との利害関係もコロニー毎に強弱があり、必ずしも、植民地が一体で戦ったわけでは無かった。最終的には、フランスの支援の下、英国との妥協が成立し、現米国合衆国の東部 13 州が、1776 年 4 月独立宣言に署名して決着を見た。

しかし現カナダに位置する居住地は、そのまま英領北アメリカとして残り、フランスの植民地であったケベック地方を含め、現在のカナダ連邦となるのは、後のことである。いずれにしても、この独立戦争は“いとこの戦争”といえ、実質的に経済戦争であったと言える。この独立戦争の後、英国との絆は、かえって強まり、英国で始まった産業革命の成果は、知識・技能を持った人々と共に堰を切ったように新世界に流入した。

現五大湖が、米国・カナダの国境となっているのは、上記の状況の他にセントローレンス川の水運が大西洋からの物資の輸送に欠かせなかったこともある。

1763 年までは、現米国の領土のうち、アパラチア山脈以東、五大湖付近までが英国の植民地であり、ミシシッピー川まではフランスの、その西は太平洋までメキシコを含みスペインの植民地であった。その後、独立したアメリカ合衆国はフランス、スペインよりその領土を徐々に割譲され、現在の国土面積となった。

その結果、国土は大西洋から太平洋迄約 3,500km、五大湖からメキシコ湾まで約 2,000km の広大な広さとなり、合衆国として行政を円滑にするには、州毎の独自性を維持しつつ、人と物資の輸送手段として鉄道の敷設が緊急課題となった。(それまでは、陸路を幌馬車で行くか、アメリカ大陸の南端ホーン岬を回る船舶かの選択しか無かった)。

3.3 北米での鉄道・高速道路の建設

北米ではパイプライン建設のさきがけとして、大陸横断鉄道による物流が興った。

1550 年ドイツの鉱山家が、石炭などの鉱石を運ぶ木製台車を木製の軌条 (wooden rails) 上を走らせようと着想したのが“軌条道路” (railroad) の始まりといわれている。

1630 年、英国のニューキャッスル鉱山の石炭を運ぶ為、道路に沿って軌条（rails）を敷設し、台車を馬に曳かせたのが英国での本格的な“軌条道路”の始まりである。

その後、

- 1765 年；ワット（James Watt）が、実用的な蒸気機関を発明した。
- 1776 年；木製軌条の替わりにレイノルズ（Richard Reynolds）により鉄製軌条が発明された。
- 1804 年；ウェールズ人トレビシック（Richard Trevithick）が、蒸気機関車を発明した。

即ち、“鉄道”の三要素

- 平滑な鉄製軌条、
- フランジ付き車輪、
- 蒸気機関車、

が揃った事で、英国で爆発的に普及が進み、産業革命を推進する重要な物流の役割を担った。

1827 年、米国初の鉄道がマサチューセッツ州に建設された。その後、米国各地で続々と鉄道建設が進み、東部諸州の主要都市が縦横に鉄道で結ばれていった。

1854 年には、ミシシッピー川にまで、翌 1855 年には、ミズーリ川まで敷設され、西部への交通が容易になり、鉄道駅中心に都市が発展していった。

この間、

- スチーブンスンの蒸気機関車、
- プルマン寝台車、
- ウェスチングハウスのロータリー蒸気機関、
- 空気ブレーキ制御システム、

等長距離旅行を安全・快適にする発明が次々と為された。

遂に 1869 年には、大西洋から太平洋まで繋ぐ大陸横断鉄道が開通した。

因みに、1835 年、鉄道の延長は 1,600km であったが、1865 年には、55,000km になり、1880 年には、150,000km が敷設されていた。この数字は、米国で鉄道が物流のため如何に期待された輸送方法であったかを示すとともにその建設速度も驚嘆に値するスピードといえる。

鉄道建設には、軌条、トンネル・橋梁、機関車始め車両に多量の鉄鋼製品が必要とされた。原料（鉄鉱石、石炭）、水運に恵まれたピッツバーグ周辺での鉄鋼業の発展は、これらの鉄製品を、安く大量に供給できる環境を整え、アメリカ合衆国を一体に纏める強力な手段となった。

鉄道建設用の機械力の不足は、東欧、アジアからの大量の貧しい移民の労働力投入で補い、低賃金・長時間労働で建設を早めた。

鉄道建設は、盛土区間にレールを敷設する一般工区とトンネル、橋梁のような特殊土木工事を必要とする工区に区分できる。特殊工事区間を出来るだけ避ける路線を選ぶことで全

体工事費を低減するのが前提であるが、距離の長い一般部の工事費節約は、工事工程のタイムロス进行、出来るだけ短期間に高速で施工することで達成される。

その為、工種毎に専門の作業班を作り、干渉手待ちをなくす工夫が為された。伐採・整地、盛土、枕木設置、レール敷設が連続に展開するスプレッド工法が考案された。

一連の工事を請け負う専門工事会社が数多く設立され、完全請負契約（FULL TURN-KEY CONTRACT）での建設が主流となった。

日本で長く続いた官営の事業に民間が“労務提供”する請負形式は、当初から米国では少なかったといわれている。そのため発注者も受注者も民間営利事業として価格・品質両面で競争原理が十分働いていたと考えられる。

二十世紀初頭に、輸送手段として自動車の登場とT型フォードの爆発的な普及により、モータリゼーションの時代となり、高速道路建設が始まった。1945年までに全米に“interstate highway”が建設されたが、鉄道建設の手法がここでも踏襲され、長距離・大規模工事を短工期で完成させることに特色のあるスプレッド工法が採用され、これによって施工効率向上の建設管理技法が確立したと考えられる。

石油・ガスパイプライン建設が普及する基礎に、鉄道建設、高速道路建設で得られたノウハウがあることは明白な事実といえる。

3.4 パイプラインの登場とスプレッド工法の開発

3.4.1 パイプラインの登場

石炭・石油のような固体・液体の輸送方法は、質量・距離により数多くあるが、天然ガスのようなガスの輸送を、長距離・大量に行う方法は経済性や安全性から見てパイプライン輸送が最良と考えられる。米国の場合、天然ガスの産出は、南西部のメキシコ湾周辺の陸上・海底が主体で、大量の消費は遠く北東部の五大湖・ニューイングランド地方である。2,000km以上の大量の天然ガスの輸送はパイプラインシステムの開発なしでは実現できないと考えられる。

19世紀から行われた全国的な鉄道建設、20世紀初頭からの高速道路建設のシステムが、当然ながらパイプラインの建設のモデルとして応用された。

鉄道のレールに替わり、パイプラインは、ラインパイプ（line pipe）と呼ばれる特殊鋼管を、突き合わせ溶接法（butt welding）で接合し、地中に連続埋設するのが標準である。

パイプラインで石油、天然ガスを運ぶニーズは19世紀末から強かったが、鋼管並びに現地溶接技術の水準が向上し、経済的にも品質的にも信頼できるようになったのは、1940年代後半（第二次世界大戦後）である。エネルギー利用が薪炭、石炭、石油を経て天然ガスに転換しようとする時代背景に丁度一致したと言える。

米国において鉄道建設が、民間の投資家が資金を出す民営鉄道であったと同様に、パイプラインも民間私企業が出資して商業的に建設された。

3.4.2 スプレッド工法の概要

従い、投資便益が最大のテーマで、必要品質を確保しつつ、如何に材料費・工事費を抑えるかが常に最大の課題であった。

それに対応する建設工法が、高施工速度・短工期のスプレッド工法と言える。以下に作業手順に従い、特長的な内容を説明する。

1) 整地・伐採 (grading)

- パイプラインの地役権 (easement、他人の土地を通行する権利) を得た路線が建設機械の安全・効率作業のために十分な幅 (20~25m) で確保される。これをパイプライン占有地 (Right of Way, ROW) と呼ばれる用地である。
- 整地・伐採作業の直前にパイプラインの占有地 (right of way、ROW) に建設機械や鋼管材料を搬入するための工事用道路が橋梁・水路横断用カルバート等を含め建設される。
- ROW 用地内の樹木は、伐採・移植され、過大な起伏の整地に際しては、農地・牧場の表土や森林の腐葉土のような土壌の表層は、土壌保存技法 (soil preservation techniques) により分別して鋤取り保管し、工事完了後原状に戻せるようにする。

2) 鋼管配列・曲げ加工 (stringing/bending)

- 鋼管は、通常、工場から塗装せずに出荷される。
- 鋼管が、配列作業 (the stringing operation) で集積基地 (the offloading sites) からパイプライン用地にトレーラートラックで運ばれ、クレーントラックかサイドブームトラクター (sideboom tractor) で溝横に連続に吊り下される。
- 40 フィート (12m) の単管か、運搬が可能であれば 80 フィート (約 24m) に集積基地で二本継溶接された鋼管 (double joints of pipe) が利用される。
- 土地の屈曲・起伏 (the contour of the land) に合わせ、必要に応じ水圧式屈曲機 (hydraulic bending machine) で鋼管を現地曲げ加工し、パイプラインが掘削溝に沿う様に加工する。

3) 掘削 (trenching)

- パイプラインが埋設される深さに溝 (the trench) を掘削する。
- 掘削深さは、場所、地形によるが 2m 程度とし、パイプラインの温度変化をなくし外部損傷防止のための鋼管の土被りを 60~80cm 確保する。
- 掘削は、“回転式トレンチャー” (rotary trencher or trenching-machine) と呼ばれるディーゼルエンジン駆動・キャタピラー軌道の建機で、ビット付きスラッターを回転させながら連続に土を掘削し溝横に積み上げ、埋設用として再利用する。

- 掘削溝は、土の安息角の法勾配を付け、作業時の崩落を防止する。トレンチャーは曲線掘削が可能である。
- 作業時間内（8~10 時間）に 1 マイル（1,600m）の掘削が可能な機械を用意する。

4) 溶接・塗覆装（welding/coating）

- 二本継鋼管は、溝横の地上で互いに突合せ溶接接合され、障害物がない限り長く連続したパイプラインにする。
- 鋼管の端面は、突き合わせ溶接（butt welding）が出来る開先形状になるように工場加工されている。
- 鋼管どうしを配管工（pipe fitter）が組み合わせる。これを芯だし作業（fitting operation）と呼ぶが、補助建機としてサイドブームトラクター（side-boom tractor）またはパイプレイヤー（pipe layer）で鋼管を吊り、水圧内面クランプ（hydraulic internal clump）で鋼管どうしを溶接開先の状態に保持する。
- 初層溶接（stringer pass）を、2 ないし 4 人の溶接工（welders）が分担して同時に始める。
- 初層は、鋼管外面から溶接し、内面側に程良い溶け込みが形成されねばならない。
- この作業が建設作業の能率を左右するので鋼管径に応じ 5 分以内に初層溶接が終了する人数を配置するのが鍵である。（即ち、1 時間に 12 箇所施工する）
- 続いて、第二層溶接（hot pass）を、同人数の溶接工で施工する。接合部の品質・強度を確保するため、第二層までは、連続しておこなう。
- その後、鋼管の肉厚に応じ、肉盛溶接（filler passes）を順次必要な層数施工する。
- 最後に仕上げ溶接（cover pass）で外面余盛（reinforcement）形状を整える。

以上が標準作業であるが、配管工と初層溶接工の技量が施工能率を左右する重要な要素であり、技能者には高給が約束されている。

溶接作業が完了すると、溶接部検査（weld inspection）をおこなう。

- 検査は、全溶接部におこなうが、目視検査で溶接形状をチェックし、放射線検査（radiographic inspection）又はX線検査（X-ray inspection）で内部欠陥をチェックする。
- 許容範囲以上の欠陥が発見された場合、溶接補修し再度非破壊検査で確認する。
- 合格したら、パイプライン全体をcoating and wrapping machine で連続に塗覆装する。

最終的に埋設されるパイプライン全体の腐食防止のため、電気防食法（Cathodic Protection Method）が適用される。

5) 吊り下ろし (lowering in)

- 長尺化されたパイプラインが、複数台のサイドブームトラクターのベルト (sling belt) の先に付けられたクレードル (cradle) と呼ばれるローラー付き保持具の上に保持され、パイプラインの一方の端より溝内に連続して溝内に吊り下ろされる。
- この時、鋼管の弾性強度限度内の自然撓みを利用するが、過大な応力が発生しないように吊り位置並びに吊り高さを慎重に調整する。
- 転石地帯や岩盤地帯では、パイプラインは、損傷防止のためフォームパッド (foam pads) 上に置く。
- 地下水位がパイプライン埋設位置の上まであるときは、パイプライン固有の浮力 (pipeline's natural buoyancy) を相殺するためサドルウェイト (saddle weights) や沼地ウェイト (swamp weights) をパイプライン上に置く。

6) 埋め戻し (backfilling)

- パイプラインが溝内の所定の場所に置かれると、溝横に積み上げられた掘削土から異物を取り除き、ブルドーザー・バックホウで埋め戻す。
- 岩石類はパイプラインの塗覆装を損傷するので直接接触させないようにする。
- パイプライン・パドラー (pipeline peddler) で土を篩に掛け、先ず細かい土でパイプラインを覆い、その後に岩石を埋め戻す様にする。
- 代案として、鋼管外面に防護材 (protective material) を埋め戻し前に巻き付ける方法もある。この方法は工事費を増加させるが、床付け (bedding) に必要な良質な砂の量を減らせるので、パイプライン用地から運び出す余剰の土砂量が制限できる利点がある。
- 埋め戻し土砂は、後の自然圧密を期待して盛り上げ気味にする。

7) 構造物横断・特殊接合 (crossings and tie-ins)

- 既設の道路、鉄道、河川・水路の横断は、特殊作業班を別に編成し、スプレッド工事に先駆けて施工する。
- 道路・鉄道横断は、地下を鞘管 (casing pipe) で推進し、その中にパイプラインを挿入・設置するのが一般的である。鞘管の両端は、地下水が侵入しないように封鎖する。
- 河川・水路横断は、橋梁を構築しその上にパイプラインを添架するのが標準的な方法である。外気温の影響を受けるので適切な伸縮が許容できるように設計する。
- これらの特殊部には工場製作のベンド管 (bend pipe) が使われる。
- 埋設の完了したパイプライン同士や上記の特殊部とパイプラインとの接合は、タイーイン (tie-ins) と呼ばれ、鋼管が移動できず接合のやり直しが効かないので極めて重要な作業となる。

8) 耐圧・気密試験 (hydraulic testing)

- パイプラインの建設が完了すると、操業に入れるがどうかを確認する為、耐圧性・気密性を調べる。
- パイプラインに水を充填し、徐々に昇圧する。
- パイプラインは地形に合わせ上下しているので、充水時には球形ピグ (sphere pig) で残存空気を排除する。
- パイプラインの最高操業圧力 (maximum operating pressure) 以上の圧力で一定時間保持し、耐圧性・気密性をチェックする。
- パイプライン所有者・監督官庁により異なる試験基準が定められている。
- 埋設パイプラインは温度変化が少ないので、漏洩有無の判定がしやすい利点がある。

9) 清掃 (clean up)

- 占有地 (the right of way) の復旧 (restoration) は、作業で使われたパイプラインの地役権 (easement) 範囲全体に及び、雨水の排水パターン (drainage patterns) を乱さぬように、出来るだけ原地形 (original contours) に近い様に戻す。
- 在来表土を戻し、出来るだけ早く“緑地化” (greened-up) して、土の浸食 (erosion) を防ぐ。
- 浸食防止マット (erosion control matting)、水溶種苗 (hydroseeding)、多段盛り土 (diversion berms)、堆積物フェンス (sediment fences) 等が、用地の安定化のために考案されている。

10) バルブ基地 (valve station)

- パイプラインは、一定間隔でバルブ基地を置く。
- バルブ基地は、緊急時のパイプライン遮断バルブの他に、分岐取り出し、清掃用のピグランチャー (pig launcher) ,ガス放散塔等があり、昇圧用の圧縮機 (compressor) も設置できる。パイプラインの心臓部に当たる。

3.5 まとめ

- 広大な北米大陸への欧州からの人口の流入が東部・五大湖諸州に集中し、南西部諸州の石油・天然ガス資源を利用するためにパイプライン輸送が誕生した。
- 大陸横断鉄道建設、全米高速道路網建設で培われた技術が、パイプライン敷設技術の土台となった。スプレッド工法と呼ばれる工法である。
- スプレッド工法の適用には、パイプライン埋設用の面積のほかに建設機械の作業スペース、掘削土の仮置きスペース、鋼管の仮置きスペースが確保できる幅が占用地 (right of way) として必要である。
- スプレッド工法でのパイプライン建設能率を決める二大要素は、掘削作業能率と芯出

し・初層溶接の作業能率である。

- 掘削能率は、作業時間（8~10 時間）あたり 1 マイル（1,600m）が標準であり、ロータリー掘削機による高能率掘削が前提となる。
- 突合せ溶接作業は、サイドブームトラクターによる鋼管吊上げ作業と内面保持クランプによる芯出し作業、初層溶接作業の組合せが最重要作業となる。
- 芯出し・初層溶接作業が五分間隔で進行すれば、一時間に 12 カ所、10 時間で 120 カ所が接合できることになる。二本継鋼管（約 24m 長さ）を使用すれば、1 日当たり 3km のパイプラインが敷設できることになる。
- そのほかの土木作業と配管溶接作業は投入作業量で柔軟に調整可能である。
- パイプラインの建設は全て屋外作業であり、特に溶接作業は雨天中止の可能性が大きい。ため、冬季等天候不順な季節は極力避け、能率向上を図る。
- 現在、パイプラインのスプレッド工法は、米国・カナダだけではなく、欧州・中近東でも標準工法となっている。
- 多くの作業員・建設機械が投入されるので、高速施工・短工期が工事費を低減する決め手である。

全般として、

- 米国では、高速道路、送電線、鉄道、通信ケーブルと同様にパイプラインは、公共的な施設としての土地利用の位置づけが確立している。所定の手順を踏んで許可を得れば、スプレッド工法により建設が出来る。
- パイプラインの関係者は、所有者、監督行政機関、学術研究者、建設請負会社、コンサルタント、環境保護団体等広範に亘り、ライト・オブ・ウェイ管理シンポジウム（right of way management symposium）が、米国・カナダで定期的に（2~3 年おきに）開催され、発生する課題が討議される。

参考文献

- (1) Oil and Gas Pipeline Fundamentals, Pennwell books, Tulsa, Oklahoma, 1993
- (2) Introduction to the Oil pipeline industry, Third edition, The University of Texas at Austin, 1984
- (3) Building America with Natural Gas, Natural Gas Supply Association, 2000
<http://www.ngsa.org/issues/buildingamerica.hym1>
- (4) A Brief History of the Natural Gas Industry, 1998
http://www.naturalgas.org/HISTORY_HTM
- (5) Symposium on Environmental concerns in Rights-of-Way management
<http://www.rights-of-way-env./7th-symp.htm>

第4章 日本におけるガスパイプライン建設の諸課題

4.1 高圧ガスパイプライン建設の沿革

わが国の天然ガスは、秋田、新潟、千葉のごく限られた地域に少量産出するに過ぎなかった。今でも常磐沖、北海道勇払原野が新産地として商業生産を始めた程度で国内産の天然ガスの確認埋蔵量は減少し続けている。

都市ガス原料として、戦前は石炭の乾留によりコークスの副産物として発生する低圧、低カロリーの石炭ガスが利用されてきた。戦後は石油の大量輸入による石油化学の発展により石油系ガスが産業用の原料として利用される一方、都市ガス原料として中圧化・高カロリー化が進展した。

都市ガスの供給にパイプライン（導管）の敷設が必須の前提条件であることは、わが国でも欧米と同じである。しかし、永く原料が石炭・石油であったわが国と自国で産出する天然ガスに早く転換した欧米諸国とではガスパイプラインの普及に大きな差が出ていた。

わが国での高圧ガスパイプラインは、1963年（昭和38年）に新潟県頸城郡から長野、群馬、埼玉を通して東京都心の千住のガス工場まで敷設されたのが始めてである。ガスは新潟産天然ガスで、延長は305kmと長距離であったが、鋼管口径12B（外径355.6mm）でその輸送量は限定的である。

わが国で高圧ガスパイプライン建設が本格化するのには、液化天然ガスLNGの輸入が始まる1965年（昭和40年）からである。

東京ガス㈱、大阪ガス㈱、東邦ガス㈱はじめ主要都市ガス会社が、積極的に供給ガスの高圧化、高カロリー化を推進した結果、都市ガス原料として天然ガスの占める比率は急速に増加している。

又、地球温暖化等の環境問題から発電用原料や産業用エネルギー資源としても天然ガスの活用が普及してきた。

わが国での天然ガスパイプラインの現状の普及状況を、参考までに別表として巻末に外部資料より転載した。

現在、わが国でのガスパイプラインの総延長は、217,149km（平成12年12月末現在、経済産業省資源エネルギー庁調べ）であるが高圧輸送幹線は4,700km程度である、所管法令はガス事業法、電気事業法、高圧ガス保安法、鉱山保安法により規制されている。しかし海外に比べるとまだ微々たるもので今後エネルギー使用量に占める天然ガスの比率の向上につれガスパイプラインの普及が進むと考えられる。

現在、ガスパイプラインの統一安全基準の策定が進められており、2001年7月の省庁再編によりエネルギーの安全管理は、経済産業省に原子力安全・保安院が特別の機関として設置され、一元管理されることとなる。

4.2 敷設路線の取得上の課題

わが国の地形的な特徴から、パイプラインの敷設路線の選定は最重要課題である。私有地（民有地）の取得には、交渉に時間を要し且つ多額の購入費用（補償費を含む用地買収費）が必要なため、おのずと公有地への敷設が優先される。しかし公有地であっても、ガス供給の必要な可住地域（都市部）には道路以外連続した用地がなく、結果として道路埋設を選択せざるを得ないことになる。

道路は本来路上の車両通行が主目的であり、道路法などの種々の制約の下にパイプライン建設が許可されるのが現状である。以下に、路線取得に関する諸課題について考察する。

1) 道路占用について

道路法第 36 条（水道、電気、ガス事業等のための道路の占用の特例）によると、“下記の法律に適合する施設の道路占用については、道路管理者は許可しなければならない。”として、

- (1) 水道法、
- (2) 下水道法、
- (3) ガス事業法、
- (4) 電気事業法、
- (5) 工業用水道事業法他、

が挙げられ、上記に適合するパイプライン施設は、“道路占用義務物件”扱いとなっている。

但し、道路法第 33 条（道路の占用の許可条件）にその前提条件があり、“道路の敷地以外に余地が無い為、道路を占有することがやむを得ない場合に限る。”と規定されている。

鉱山法等上記道路法第 36 条の適合施設に含まれていない場合、道路法第 32 条（道路の占用の許可）に該当する施設としてパイプラインの道路占用の申請はできるが、許可の判断は道路管理者に委ねられることになる。

わが国の国土事情からガスパイプラインの敷設場所を考えると、

- 道路以外に連続している敷設用地が見つからないこと、
 - 私有地（民有地）は、土地に対する特別な感情、地権者の数の多さから交渉困難なこと、
 - 農地は圃場整備事業計画があり、計画が立てにくいこと、
- から道路法上の道路を占有せざるを得ないのが実情である。

尚、第 32 条で道路の占用の許可を受けようとする者は、下の各号に掲げる事項を記載した申請書を道路管理者に提出する義務が、同条第二項に規定されている。

- (1) 道路の占用の目的
- (2) 道路の占用の期間

- (3) 道路の占用の場所
- (4) パイプラインの構造
- (5) 工事实施の方法
- (6) 工事の時期
- (7) 道路の復旧の方法

2) 私有地（民有地）ルートについて

道路法第 33 条の規定があるため、道路以外に余地（例えば私有地）がある場合には道路管理者の指導により道路占用できず、私有地（民有地）ルートの活用を考えざるを得ない。

この時、

- パイプラインが不自然に迂回すること、
- 用地取得または借地が容易でないこと、
- パイプライン用のみの道路を造ることの不経済性、

等から、道路に占用スペースがあれば原則として道路下に埋設を認める規定とするべきであると考ええる。

3) 用地取得について

私有地（宅地、民有林等）をパイプライン用に取得する場合、一般的に借地は困難で、買収取得する事例が多い。しかし道路に隣接した私有地は地権者の数が非常に多く、500m 程度の私有地ルートでも 10 名以上の地権者になることも稀ではない。

土地の所有に対する特別な感情があるわが国では、私有地ルートの選択は交渉に時間がかかる上に用地買収費を含めると工事費も大幅に増加する可能性がある。道路法の道路への優先占用が計られるような法的原則の転換が待たれるところである。

土地収用法の適用が、法的手段としてあるが、鉱山法、石油パイプライン事業法には適用できるが、ガス事業法、電気事業法は対象外となり整合性に欠ける上、適用が無用の混乱を招いた例が、成田空港石油パイプラインであり、警察機動隊の導入による強制執行という最悪の事態を招いた。

4) 地滑り区域の回避について

高圧ガスパイプライン技術基準（案）では、導管（パイプライン）の設置基準及び制限箇所についての解説の中で、地滑り防止区域への設置は原則禁止している。

一般高圧ガス保安規則第 29 条によると

“導管は、地崩れ、山崩れ、地盤の不同沈下等のおそれのある場所その他告示で定める場所に設置しないこと。”

と規定している。

但し、同保安規則に係わる告示の中で

“地形の状況その他特別の理由によりやむを得ない場合であって、かつ、保安上適切な処置を講ずる場合は、導管を当該箇所に設置ことができる。”

と、その可能性を残している。一般的に、“地滑り”＝危険区域、との判断から当該地域の道路へのパイプライン敷設は、道路管理者は全面的に不許可としている。

地滑り区域には、

- (1) 地滑り危険区域、
- (2) 地滑り安定区域、
- (3) 地滑り未指定区域、

の3タイプがある。

(1)は地滑り等防止法により地滑り防止区域に指定されており、現在地滑り発生の可能性が非常に高く、公共の利害に密接な関連がある区域、

(2)は防止区域に指定されているが、対策が施され、現在地盤が安定している区域、

(3)は比較的地滑り規模が小さく周辺に与える影響の少なく、地滑り防止区域として指定されていない区域、

とされ危険の程度は様々である。

わが国は火山地帯以外でも地殻変動を起している場所（地滑り区域）が多く、パイプラインの敷設を原則禁止すると、迂回ルートは大幅な延長増加となる可能性がある。前後のパイプラインルートとの関係、周辺地形の状況により代替ルートの選定が困難な場合は、適切な対策工（地滑り抑止工、地滑り検知システムの設置等）を施すことで、地滑り区域内及び地滑り区域に隣接する道路への敷設を可能にし、地滑りを防ぐか地滑り発生を事前に予知し、パイプラインの操業を停止して二次災害を防止することができる。上記の(2)ないし(3)のタイプでのパイプライン敷設を可能とする必要がある。

5) 隧道（道路トンネル）の回避について

道路トンネル内へのガス管設置については、通行車両の安全確保の観点から、石油パイプライン技術基準、高圧ガスパイプライン技術指針（案）の中で全面的に禁止している。

パイプラインが山岳地帯を通るとき、道路占用する場合に必然的に隧道につき当ることになる。隧道のあるところは、地形が急峻なところが多く、周辺に迂回路が無いことが殆どで、パイプライン専用トンネルを新設する必要があり、建設費の増大につながる。

隧道内へのパイプライン設置は、災害発生時の復旧対策の困難性から慎重な検討が必要であるのが、パイプライン用のラインパイプと呼ばれる鋼管の高品質化、現地溶接品質の確保、操業監視システムの高度化を前提に、パイプラインの複線化、緊急遮断弁・ガス放散装置の設置等の設計で二次災害の防止は十分可能であると考ええる。

隧道新設と時期が一致する場合に検討するに値する課題である。パイプラインの公共性とあわせ判断するべきである。

6) 河川の横過について

(1) 河道計画と専用橋

河川法によると、河川区域内の土地を占用しようとする者（河川法第 24 条）或いは河川区域内の土地において工作物を新築し、改築し、又は除去しようとする者（同 6 条）は、河川管理者の許可を必要とする。

この法令の運用に際し、河川管理者は具体的許可基準（内規）を設けている。表 4.1 にその内容を示す。“主要な公共施設に係わる橋”に位置づけられると、河川を横過する際は、計画規模 50-100 年の河道計画を考慮したスパンの専用橋が必要となる。

この基準を適用すると現況河幅に比べ計画河幅は数倍になり、新設橋の建設コストは大きく跳ね上がることになる。又、現状景観と不調和な橋梁ができ、且つ周辺の民地をかなり購入することになるため用地交渉が難航する原因ともなる。

現実的な解決策として河川改修が当面計画されない場合は、現況河幅でパイプライン橋を設計・施工し、河川改修計画が具体化した時点でパイプラインを移設するか橋梁を再施工する契約を結ぶことが最善策と考える。

(2) 下越し横過について

河川の下越しについては、地方自治体の申し合わせ事項で全面禁止としている場合が多い。目視による監視ができないというのが禁止の大きな理由となっている。シールド内にガスパイプラインを挿入配管する場合は、許可されている。建設省（現国土交通省）河川課が通達を出し、下越しの計画があれば、本省事前協議の対象とするとの内容で、一般に本省事前協議は、時間がかかると推察される。

欧米では、逆にパイプラインの安全操業のため下越しを優先する考え方が主流であり、監視技術も目視以上に優れた方法が考案されている現状から、わが国でも申請の内容によって判断する方向が望まれる。

7) 橋梁添架について

地方自治体ごとに占用物件の橋梁添架基準を定めている。既設橋梁への添架を禁止している場合が多いが、新設橋については、添架後の維持管理を考慮し、構造上橋梁に影響を与えなければ認める場合がある。

添架位置については幾つかの制約が設けられ、適切な処置を講ずれば桁下内への添架が認められる場合もあるが、下部工張り出し案で許可される場合の方が多い。技術的理由より、前例主義的色彩が色濃い判断である。

パイプラインの口径、重量によるが、添架空間が確保でき橋梁構造上問題なければ、多少の補強の上、桁下添架がパイプラインの設計上（積雪、風荷重に有利）も安全上（車両事故、地震対策）も望ましい方向である。道路管理者の内部基準では、桁下添架は認められている方法である。

項目	一般橋	主要な公共施設に係 わる橋（高速道路、新 幹線、幅員 30m 以上 の道路）	鉄道橋 4 車線道路 （幅員 30m 未 満）	摘要
計画（流量） 規模	現計画及び 現況	1/100 又は 1/50 相当 規模以上	流域を勘案し た将来計画	現計画とは近傍 の同種同規模の 河川の事業計画 と合致するもの であること
径間長	20+0.005Q	30+0.005Q	20+0.005Q 63 条の 3 項の 特例を認めず	
阻害率	5%以下	7%以下	5%以下	
桁下高	H.W.L+ 余 裕高	原則高架 堤防高+4.5m	H.W.L+余裕高 及び現堤防高 以上	
（例） 大井川専用 橋	（現況河幅 に対し） 橋長 L ÷ 8m	（計画河幅に対し） 橋長 L ÷ 29m		

表 4.1 河道計画に基づく橋梁許可基準

8) 申請認可手続きについて

(1) 道路占用の場合

高圧ガス（2 MPa 以上）の供給施設の道路占用について各道路管理者は、局長通達（S47.2.18）により事前に建設省（現国土交通省）と協議しなければならない。協議は、全体計画協議と個別占用協議があるが、先ず全体協議で承認を取る必要がある。申請は、申請者・道路管理者・都道府県・地方建設局（現地方整備局）・建設省（現国土交通省）の順に上がり、逆の手順で申請者に戻る。通常、順調にいつて 3 ヶ月は必要であり、下協議も含めると 1 年程度の時間を要する。

事業計画及びパイプラインルートの基本的承認は、直接本省協議が妥当で、個別占用協議（申請）は、各道路管理者で許認可決済できれば、地方行政への権限委譲にもなり、行政改革の趣旨にかなった方向である。

(2) 河川占用の場合

河川を橋梁で横過する場合、各都道府県の河川管理者の許可権限で良いが、下越しによる横過であれば、建設省（現国土交通省）との事前協議対象となる。1 年前後の時間がかかると推察される。

地方自治体への権限委譲で事務の簡素化を図るのが望ましい方向である。

(3) 国立公園内での工事の場合

自然公園法第 17 条 3 項（特別地域）および第 20 条（普通地域）により、

- その地区に工作物を新築し、改築し、又は増設すること、
- 木竹を伐採すること、
- 土地を開墾しその他土地の形状を変更すること、

などは環境庁長官の許可を受けなければならない。事前協議、本申請の順で手続きが必要で、事前協議で申請者・市町村・都道府県―管理管事務所―国立公園管理事務所―環境庁のルートを往復するのに約 3 ヶ月、環境影響評価に 6 ヶ月から 1 年、本申請に約 3 ヶ月かかるので 2 年近い期間が必要になる。

自然環境保護の観点より許可基準の厳格化は当然であるが、許認可のスピードアップを図り、計画が円滑に実行されるよう制度改正が必要である。

(4) 農振除外・農転の場合

- 農業振興地域の整備に関する法律第 7 条（農業振興地域の区域の変更）、
 - 農地法第 4 条（農地の転用の制限）、
- によりパイプラインの設置が規制される。

農振法については、事前相談手続きで“事前審査の認可”を得て、除外手続きで“農転

除外の認可”を得る必要がある。

農地法については、事前審査手続きで“異存ない旨の回答”を得て、事前審査手続きで“事前審査の認可”を得る必要がある。この後に初めて“農地転用手続き”に入れ、市町村・都道府県農地事務所・農政部・地方農政局の手順を辿り、“農地転用許可”が下りる事になる。

申請一許可までに8～9ヶ月要するのが普通である。農地2ヘクタール未満は都道府県知事の、2ヘクタール以上は農水大臣の許可がある。申請は対象物件全てを一括審査と成っており、地権者の同意書が添付されている必要がある。

申請手続きの簡素化が必要である。

(5) 保安林解除の場合

森林法第27条（保安林の解除）に従い申請し、解除を受ける必要がある。申請者・営林署・営林局・農水省の手順で上がり、それぞれの所で市町村、都道府県に意見照会をし、さらに告示・異議申し立ての期間を設けるので申請から解除まで約6ヶ月かかる。解除の対象となる規模に関係なく同一の手続きが要求され、申請書類作成要領も独特で複雑なため、事情に精通した人が要る。

規模の大小で許認可にランクをつけ、決済期間の迅速化、簡素化を計るべきである。

1)～8)にパイプライン建設に影響する法規制の内容・課題について述べた。

全ての分野で、行政指導による認可済み路線の変更があり得る。

- 都道府県道から私有地への迂回、
- 国道から私有地への迂回、
- 市町村道から他の市町村道への迂回、

がたびたび指導される。

パイプライン延長が伸び、直接工事費の増大を来すことも多いが、新たに路線を取得するに要する折衝の長期化、用地買収費、管理道路の設置費、国立公園内での制約条件等もパイプライン敷設の実現を難しくしている。

付加的な対策工を申請者が負担する一種の民活で解決策を模索できるようなシステムが期待される。

又、地元要望による路線変更も多い。高圧ガスパイプラインに対する不安感も根強く、迷惑料的な補償要求もある。

道路法による私有地（民有地）優先思想の払拭が前提であるが、住民に対する直接的なメリット（ガスの供給保証、工事の迅速化による工事期間の短縮、工事による地元経済の活性化等）を積極的にアピールしガスパイプラインの設置による生活水準の向上を印象付けるべきであると考ええる。

現在の高圧天然ガスパイプラインは原則として一企業の所有物であるが、水道、下水道と同様に公共施設の一つとの位置づけが、路線取得の困難さを解消する原動力となろう。

4.3 工事施工上の課題

パイプラインの路線が確定すると施工準備に入る。

施工に際し、道路埋設が主体であり、又工事用車両の一時占有があるので、交通管理者（都道府県警察本部）の許可ならびに沿線住民の事前了解が必要となる。

1) 工事許可の取得

(1) 工事場所を管轄する地元警察署の工事許可を申請し、許可条件に従い、工事を施工する。多くの場合、工事許可条件には、

- 1車線交互通行を確保し、交通遮断は避ける。
- 施工範囲 50m 以内とし、工事による影響を最少とする。
- 交通整理員を配置し、歩行者の安全、通行車両の誘導を行う。
- 午前 9 時から午後 5 時までとし、交通渋滞を避ける。
- 夜間の通行開放又は防護柵・夜間灯設置により安全確保する。
- ビル・住居・駐車場からの出入路を確保する。

が最低限つく。

場所によっては、

- 休日指定（商店街）、
- 週日指定（住宅街）、
- 夜間指定（繁華街）、
- 農閑期指定（農村）、

等特殊な制限の下で施工を行うことも多い。

(2) 道路管理者から路線埋設許可、交通管理者から工事許可を得ても、住民の同意・了解なしに工事着工できない。利害関係のある、あらゆる人の合意なしで工事を始めると、途中で中断せざるを得なくなり、工期の長期化、工事費の増大を招くことがある。

事前説明会を充分に行うのが工事施工の円滑化のポイントとなる。

2) 標準的な工事施工の形態

上記の許可条件でのパイプライン工事の一般的な施工手順と現状の課題は次の内容に整理できる。

(1) 舗装切断：

- 舗装を撤去するため、布堀掘削幅に応じ、ロータリーカッターで事前に切断する。
- 本工事に先立ち、工事区間全域をまとめて施工する場合が多い。
- 切断施工範囲が狭く移動作業なので、交通整理員を配置して行う。
- アスファルト舗装は、厚さ 12cm 程度であり、ロータリーカッターでの作業は比較的速く、正確である。
- 地下溶接作業の場所は、会所と呼び、作業の出来るように布堀幅より広く切断する。
- 切断作業後、一旦交通開放し、掘削作業の必要部分のみ工事区域とする。

(2) 工事区域の設定：

- 工事施工範囲は、防護柵・カラーコーン等で囲い、工事関係以外の人・車両の進入を規制する。
- 交通整理員を工事区域の両端（場合によっては中間にも）に配置し、交通整理と工事用車両の誘導を行わせる。

(3) 掘削：

- 掘削は、消音装置付油圧式掘削機（バックホウ）で行う。
- 工事施工範囲が 50m の場合、24m が掘削延長の限界で、ダンプトラックをバックホウの背面側に直列に配置する。
- 先ず、舗装盤を撤去搬出するが、バックホウのブームを旋回してダンプに積み込む際、1 車線外にブームがはみ出す。
- 交通整理員との連係で通行する人・車両を誘導しながら作業するため、サイクルタイムが伸びる事になる。
- 本掘削は、土留支保工を順次施しながら掘り下げる。2m 以上の深さまで掘削する場合、作業者が溝内で作業せざるを得ず、労働災害（土砂崩壊、重機災害、転落災害）の危険が伴う。24m の溝を掘り上げるのに 3 時間程度かかり、午前 9 時に作業開始しても 12 時頃までかかる。
- 土留は、簡易鋼矢板で行い、全面矢板とするか間隔をあけるかの判断は、土質・地下水位・掘削深さによる。
- 支保工は、水圧ジャッキ式の切梁で角材の腹起しを押える方法が多く採用されている。
- 切梁は安全確保のため二段梁とし、鋼管吊下しの際どちらか一段が必ず作用している状態にする。

(4) 鋼管吊り下ろし：

- 溝掘削完了にあわせ、鋼管をトラックで搬入する。
- 鋼管は、工場から 12m 長さで出荷される。

- 運搬が可能であれば、付近に設置した作業ヤードで 24m に二本継溶接接続して掘削場所に搬入できるが、普通は 12m 単管で吊り下ろすか、掘削に合わせ工事施工範囲内のスペースで二本継地上溶接する。
- 吊り下ろし管長は、12m 又は 24m のいずれかになる。
- 切梁設置間隔は 1m ピッチ程度で、その盛替えに多くの作業者と時間を要する。
- 鋼管は、レッカーで吊りながら下ろすか、三叉（みつまた）又は四叉（しまた）2 組にチェンブロックでつり、手動で吊り下ろす方法が普通である。
- 全所要時間は作業者の技能により、30 分から 1 時間要する。

(5) 溶接：

- 溶接は、鋼管外面側から全層を溶接する片面裏波溶接である。
- 溶接士が手動で行う溶接法が基本であるが、鋼管口径が大径になると、溶接士二人施工とするか自動溶接法（半自動又は全自動）を採用して溶接時間を短縮する。
- 片面全姿勢溶接という難易度が極めて高い溶接方法である。
- 溶接士は、J I S の N-2P の資格を持ち、施工法試験に合格した中から選任される。
- 一箇所溶接・検査・防食施工に割り当てられる作業時間は、2 時間以内となる。
- したがって、掘削・吊り下ろし・地下溶接のみの場合は 1 日 12m 施工が限界となり、地上溶接が可能で初めて 24m 施工となる。
- 地下溶接は、溶接会所と呼ばれる一般部（布掘り）より溝幅、溝深さを拡大したスペース内で行うため掘削に余分の時間を必要とする。
- 又地下水位が高いときには、水中ポンプでの水替え作業が会所内で行われねば成らない。
- 溶接が完了すると非破壊検査（放射線検査）・目視寸法検査を行い、合格すると防食のため塗覆装が施される。
- 溶接から塗覆装完了までの間、土木作業は全面停止状態になるので、この作業の能率向上が、わが国でのパイプライン敷設の最大の課題である。

(6) 埋め戻し：

- 掘削溝が長くなると側転ダンプ（4T クラス）で溝横から土砂を入れるため 1 車線外にはみ出すため交通整理員の誘導作業が必要になる。
- 鋼管防食層の保護の為、管頂 300mm までは良質の砂質土で埋め戻す。
- 溝内の鋼管下部に充分砂が充填されるように締固め作業を行う。
- 締固めは、通常、作業員が手動ランマーを使って慎重に行うが水締め作業が併用されることも多い。
- さらに路盤下までの深さは、良質の土砂で埋め戻し・締固めを行う。
- 路盤工は、道路施工基準に従い、粒調碎石で埋め戻す。
- 埋め戻し作業時間は 2 時間が許容限界である。

(7) 仮舗装：

- 路盤工が完了すると直ちに工事期間中だけのアスファルト仮舗装を施工する。

(8) 交通開放：

- 仮舗装が完了すると環境整備を行い、交通開放する。

この一連の作業が午前 9 時から午後 5 時まで繰り返されるのが、パイプライン敷設作業の標準的な形態である。

日進量は 12m 又は 24m のどちらかとなり工事費に及ぼす影響が大きい。

夜間工事、昼間工事で夜間掘置き可の場合は、夫々の施工計画を工夫し、安全面・品質面を配慮しつつ、能率向上を図る。

4.4 鋼管材料の課題

日本工業規格（JIS）は、鉄鋼材料についても広範に規格制定している。常温のガス輸送に利用される鋼管材料については、

JISG 3452	配管用炭素鋼鋼管（記号 SGP）
JISG 3454	圧力配管用炭素鋼鋼管（記号 STPG370、STPG410）
JISG 3455	高圧配管用炭素鋼鋼管（記号 STS370、STS410、STS480）
JISG 3457	配管用アーク溶接炭素鋼鋼管（記号 STPY400）
JISB 2312	配管用鋼製突合せ溶接式管継手（記号 PG370、PS410、PS480）

の諸規格が適用されてきた。

JISG3452、JISG3457 の材料は、内圧 1MPa 未満の導管にのみ利用でき、その他の規格は内圧 1MPa 以上の導管にも利用できる。

JIS 規格の特徴は、

- (1) 材料強度が、引張強さ基準で炭素鋼として汎用的な強度水準である。
- (2) 外径、管厚の種類が限定されている。
- (3) 化学成分規定が緩やかで、溶接性の配慮に欠ける。
- (4) 寸法許容差規定が緩やかでパイプラインの現地突合せ溶接への配慮が少ない。

等で、製造者が計画生産してストックするのに適応した、**maker oriented** な規格といえる。

一方、米国石油協会（API）、米国機械学会（ASME）が制定している鋼管材料規格、

API 5L	Specification for Line Pipe
ASME B16.9	Factory-made Wrought Steel Butt welding Fittings

は、石油、天然ガスパイプライン用のラインパイプと呼ばれる鋼管材料として世界標準となっている。

これら規格の特徴は、JIS と対照的であり、

- (1) 材料強度は降伏強度基準で、より高強度の材料を規定している。
- (2) 外径、管厚は、標準寸法表はあるが基本的に注文者と製造者の協議でどのようにでも決められる。
- (3) 化学成分規定が厳格で、溶接性を重視している。
- (4) 寸法許容差が厳格で、現場突合せ溶接を前提に考えている。

等、パイプライン用として具備すべき要素が規定されており、**user oriented** な規格に成っている。

表 4.2～表 4.4 に JIS、API 規格を対比して、化学成分、機械的性質、寸法許容差を示す。

ガス導管即ちパイプラインが、低圧（1MPa 未満）、小径（400A 以下）の場合は JIS 規格で充分対応できるが、天然ガスを高圧（1MPa 以上）で大径（600A 以上）輸送する状況に対しては API-5L、ASME-B16.9 規格の活用が品質面・経済性の両面から推奨されている。

わが国鉄鋼メーカー各社は海外パイプラインプロジェクト向けの API 規格のラインパイプ製造実績が多く、供給面・品質面で信頼性は十分高い。唯、製造能力が大きいので、生産数量を大量に纏めることが、製造コストを低減するポイントになる。

規格名称	種類	化学成分(%)					
		炭素	シリコン	マンガン	燐	硫黄	その他
		C	Si	Mn	P	S	
JIS G3452	SGP	—	—	—	0.040	0.040	—
JIS G3454	STPG370	0.25	0.35	0.30-0.90	0.040	0.040	—
	STPG410	0.30	0.35	0.30-1.00	0.040	0.040	—
JIS G3455	STS370	0.25	0.10-0.35	0.30-1.10	0.035	0.035	—
	STS410	0.30	0.10-0.35	0.30-1.40	0.035	0.035	—
	STS480	0.33	0.10-0.35	0.30-1.50	0.035	0.035	—
JIS G3457	STPY400	0.25	—	—	0.040	0.040	—
API 5L	B	0.22		1.20 (1)	0.025	0.015	(2)、(3)
	X42	0.22		1.30 (1)	0.025	0.015	(2)、(3)
	X46	0.22		1.40 (1)	0.025	0.015	(2)、(3)
	X52	0.22		1.40 (1)	0.025	0.015	(2)、(3)
	X56	0.22		1.40 (1)	0.025	0.015	(2)、(3)
	X60	0.22		1.40 (1)	0.025	0.015	(2)、(3)
	X65	0.22		1.45 (1)	0.025	0.015	(2)、(3)
	X70	0.22		1.65 (1)	0.025	0.015	(2)、(3)
	X80	0.22		1.85 (1)	0.025	0.015	(2)、(3)

表 4.2 JIS、API 規格化学成分規定一覧表

- 注(1) C 0.01%減量ごとに、X42~X52 では Mn 1.50%まで、X52~X70 未満では Mn 1.65%まで、X70 以上では Mn 2.00%まで増量できる。
- 注(2) コロンビウム（ニオブウム）(Cb,Nb)、ヴァナジウム（V）、チタニウム（Ti）及びその組み合わせ添加は、製造者の任意使用。
- 注(3) 注(2)の添加量は、0.15%を超えないこと。
- 注(4) その他の化学成分の添加は、購入者・製造者の協議により、注(3)の限度を超えず、又 P,S の上限を満足すること。
- 注(5) API 規格には、2 水準（PSL1,PSL2）あり、PSL2 は、炭素当量、靱性規定及び降伏強度・引張強度の上限規定がある。

規格	種類 (グレード)	降伏強度(Y.S.)		引張強度(U.T.S)		伸び(EL)	降伏比 (YR)
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	
		(MPa)	(MPa)	(Mpa)	(MPa)	(%)	
JIS G3452	SGP			290		30	
JIS G3454	STPG370	215		370		30	
	STPG410	245		410		25	
JIS G3455	STS370	215		370		30	
	STS410	245		410		25	
	STS480	275		480		25	
JIS G3457	STPY400	225		400		18	
API 5L	B	241	448	414	758	(1)	0.93
	X42	290	496	414	758	(1)	0.93
	X46	317	524	434	758	(1)	0.93
	X52	359	531	455	758	(1)	0.93
	X56	386	544	490	758	(1)	0.93
	X60	414	565	517	758	(1)	0.93
	X65	448	600	531	758	(1)	0.93
	X70	483	621	565	758	(1)	0.93
	X80	552	690	621	827	(1)	0.93

表 4.3 JIS。API 規格機械的性質一覧表

注(1) 伸び (EL) e は、次式で計算される。

$$e = 1,944 * A^{0.2} / U^{0.9}$$

ここで、e=最少伸び値 (%) (ゲージ長 : 50.8mm)

A=試験片断面積 (mm²)

U=規格最少極限引張強度 (MPa)

注(2) 降伏強度 (YS)、極限引張強度 (UTS) の Max.は、API 5L 規格の水準 PSL2 の材料に規定する。

注(3) 降伏比 (YR) は、API 5L 規格の冷間拡管される鋼管に規定する。

注(4) Y.S. (=Yield Strength) ,U.T.S. (=Ultimate Tensile Strength) は、API 5L の正式名称。

規格	グレード	外径		厚さ	真円度	重量
		管端	管体			
JIS G3452	SGP	±0.8%		-12.5%	規定なし	規定なし
JIS G3454	STPG370	± 0.8 %		-12.5%	規定なし	規定なし
	STPG410	±0.8%		-12.5%	規定なし	規定なし
JIS G3455	STS370	±0.8%		-12.5%	規定なし	規定なし
	STS410	±0.8%		-12.5%	規定なし	規定なし
	STS480	±0.8%		-12.5%	規定なし	規定なし
JIS G3457	STPY400	±0.8%		-12.5%	規定なし	規定なし
API 5L	B	-0.79mm +2.38mm	-0.25%、 +0.75%	+17.5%、 -12.5%	±1%	+10% -3.5%
	X42	-0.79mm +2.38mm	-0.25%、 +0.75%	+19.5%、 -8.0%	±1%	+10% -3.5%
	X46	-0.79mm +2.38mm	-0.25%、 +0.75%	+19.5%、 -8.0%	±1%	+10% -3.5%
	X52	-0.79mm +2.38mm	-0.25%、 +0.75%	+19.5%、 -8.0%	±1%	+10% -3.5%
	X56	-0.79mm +2.38mm	-0.25%、 +0.75%	+19.5%、 -8.0%	±1%	+10% -3.5%
	X60	-0.79mm +2.38mm	-0.25%、 +0.75%	+19.5%、 -8.0%	±1%	+10% -3.5%
	X65	-0.79mm +2.38mm	-0.25%、 +0.75%	+19.5%、 -8.0%	±1%	+10% -3.5%
	X70	-0.79mm +2.38mm	-0.25%、 +0.75%	+19.5%、 -8.0%	±1%	+10% -3.5%
	X80	-0.79mm +2.38mm	-0.25%、 +0.75%	+19.5%、 -8.0%	±1%	+10% -3.5%

表 4.4 JIS、API 規格寸法・重量許容差一覧表

4.5 溶接施工の課題

- 鋼管の突合せ片面溶接は、溶接施工法の中でもっとも高度な技術が必要とされる分野である。
- さらに水平固定管の溶接は、溶接姿勢が下向きから上向きまで絶えず変化する難易度の高い溶接技能が要求される。
- 一般に、溶接技能者の技術認定は、日本工業規格（JIS）として、
 - (1) JIS-Z 3801 手溶接技術検定における試験方法及び判定基準、
 - (2) JIS-Z 3841 半自動溶接技術検定における試験方法及び判定基準、に定められた規定により、溶接方法、材料、溶接姿勢、溶接棒（又は添加材、心線）、の区分に応じて、技術検定される。
- ガスパイプラインに用いられる主な溶接方法は、
 - (1) 被覆アーク溶接（溶接方法の区分：A₀）、
 - (2) 初層ティグ溶接（溶接方法の区分：T_F）、
 - (3) ミグ溶接又はマグ溶接（溶接方法の区分：M）、
 - (4) 自動ミグ及びマグ溶接（自動溶接士の資格：S（M））、である。
- 材料は、4.4 に規定された鋼管材料（母材区分：P-1）である。
- 溶接姿勢は、水平固定管-全姿勢（姿勢区分：P）である。
- 溶接棒は、イルミナイト系（溶接棒の区分：F-0）、低水素系（溶接棒の区分：F-4）、添加材は炭素鋼（R-1）、心線は炭素鋼（E-1）が適用される。

技術検定は基本技能を判定するもので、実際には、採用する施工法で施工法試験をかねて行うのが通例と成っている。

工場内の環境が整備された場所でも難しい溶接を、屋外の掘削溝内で施工するのがパイプラインの突合せ溶接に要求される事になる。

4.6 突合せ溶接部検査の課題

- パイプラインの突合せ溶接部は、目視検査及び寸法検査で健全性を確認するほかに、非破壊試験により溶接部内質の健全性を保証されねばならない。
- 一般に次の日本工業規格（JIS）が適用される。
 - (1) JIS Z8265 “圧力容器の構造—一般事項”
 - 8.3 a)放射線透過試験
 - 8.3 b)超音波探傷試験
 - 8.3 c)磁粉探傷試験

8.3 d)浸透探傷試験

(2) JIS Z3104 “鋼溶接継手の放射線透過試験方法”

(3) JIS Z3060 “鋼溶接継手の超音波探傷試験方法”

(4) JIS G0565 “鉄鋼材料の磁粉探傷試験方法及び磁粉模様の分類”

- 高圧ガスパイプラインの突合せ溶接部は、全溶接線に亘り放射線透過試験を適用し検査される。従来、コバルト 60 等の放射性物質での検査も使われたが、最近は、取り扱いが容易で、映像も鮮明なレントゲン検査が主流となっている。
- 撮影方法も、鋼管の形状を考え、二重壁撮影法から一重壁全角撮影法により効率的な作業が可能となった。
- 高強度材料が使用される場合、溶接部割れが発生する可能性があり、超音波・磁粉・浸透探傷試験のいずれかで検査する必要がある。
- 溶接部の非破壊検査は、判定まで含めると撮影から最低 1 時間を必要とし、工事進捗の妨げとならない様に作業手順を確立する必要がある。
- 有害欠陥の補修再検査の頻度を如何に少なくするかが、ポイントである。この点でも、手動溶接に比べ自動溶接のほうが安定した品質が得られる傾向にある。

4.7 防食の課題

- 鋼管外面は、腐食を防止するため防食塗覆装が施される。
- 突合せ溶接部を除き、鋼管は工場で防食施工するのが一般的である。
- 塗覆装の種別は、
 - (1) アスファルトジュート巻き、
 - (2) アスファルトビニロンクロス巻き、
 - (3) コールタールエナメルビニロンクロス巻き、
 - (4) エポキシ樹脂粉体溶融塗装、
 - (5) ポリエチレン押出塗装、
 - (6) ポリエチレン粉体溶融塗装（異形管等）、

等が使われてきたが、歴史的に(1)から(5)、(6)に変化してきた。現在は(5)のポリエチレン押出塗装が價格的・性能的に優れており、ガスパイプライン用の主流となっている。

- 現地突合せ溶接部の防食は、ポリエチレンスリーブをかぶせ、ガス加熱で収縮させて施工する。
- 基本的に全外面が防食されるが、埋め戻し時に発生する可能性のある小さな損傷を補うため、電気防食が併用される。
- 電気防食には数種類あるが、流電陽極法が一般に適用されている。鋼管の防食の状況が、常時把握できる点で維持管理の重要な手段でもある。

4.8 まとめ

- 1) わが国の高圧天然ガスパイプラインは、液化天然ガスの輸入が 1965 年に実施されてから急速に施工されたが、いまだ 4,700km 程に止まっている。海外の普及に比べると微々たる量で、今後の全国的な展開が予測される。
- 2) パイプラインの敷設は道路埋設が主体となり、埋設許可取得に多くの時間を要するため完成までの期間が長期化する。民地優先原則を公道優先原則に転換し、民活的発想で効率化を図る必要がある。
- 3) 工事施工が公道内の場合多くの制約条件を満たす必要があり、最大施工延長が日進 24m となる。実際には作業日平均 10m 未満であり現状の施工法・敷設用地のままでは土木工事費低減の余地は少ないと考えられる。
- 4) 鋼管材料は、品質・価格・即応性から国内鉄鋼メーカーの API5L 規格品が適切であると考えられる。
- 5) 現地突合せ溶接は、溶接施工の中で最高の技能が要求される作業であるが、溶接士、溶接法、溶接材料、非破壊検査の国内規格は、十分整備されており、対応する体制も質量ともにあり高品質の溶接施工が確保されている。工事費低減の鍵は溶接施工能率の向上であり、自動化が最大の課題であると考えられる。
- 6) 防食は、ポリエチレン押出による外面塗覆装と流電陽極法による電気防食法の組み合わせで十分な品質が確保できる。曲管などの異形管のポリエチレン粉体による外面塗覆装の品質と製造価格が課題である。

参考文献

- (1) 東京ガス(株)天然ガス紹介資料、2002,2
http://www.tokyo-gas.co.jp/Annai/naturalgas/gas_02/02.html
- (2) ガス工作物技術基準の解釈例、資源エネルギー庁公益事業部ガス技術安全課
(現原子力安全・保安院ガス安全課) 編集, 2001.9
- (3) 日本工業規格(鋼管類)、工業技術院標準部材料規格課、1997
- (4) 石油パイプライン技術基準(案) -1974
- (5) Gas transmission and distribution piping systems, ASME B31.8-1995
Edition, the American Society of Mechanical Engineers
- (6) Specification for Line Pipe, 42nd Edition, 2000-1, American Petroleum Institute
- (7) Welding of Pipelines and related Facilities, API STANDARD 1104, 9th
Edition, 1999, American Petroleum Institute

第5章 クイックパイプライン工法（QPL工法）の開発

5.1 開発の目的

第3章に述べたように、米国ではその地理条件を生かしたスプレッド工法によるパイプライン網の建設に成功した。

筆者は、わが国に於ける効率的なパイプライン網構築を目的として、スプレッド工法 of 思想を生かし、日本の国内で実現するためのクイックパイプライン工法（QPL 工法）を開発する。本章では QPL 工法の開発内容につき論述する。

5.2 QPL 工法の概要

本開発は、2 段階から構成される、即ち

第一に、建設能率を向上する機能的な QPL 工法専用建設機械・仮設材の開発を行い、

第二に、開発した機器類を効果的に活用し工事費を大幅に低減する QPL 工法のシステム構築を行う。

本工法開発の施工に関する前提条件は、その効果を実施工で検証するため、

● パイプ口径；500mm
● 埋設場所；一般道路車道下
● 埋設深さ；パイプ頂部まで 1,600mm 以上
● 工事施工範囲；延長 200m 以上、一車線内
● 作業時間；昼間 9 時~17 時の 10 時間以内

とする。

5.2.1 QPL 工法専用建設機械・仮設材の開発

パイプライン建設の作業種別ごとに次の機能の機器を開発する。

1) 掘削作業用：

- 機械名称：連続溝掘削機

期待する機能：一定の布堀幅を床付けまで一工程で連続に掘削でき、油圧式掘削機（バックホウ）に比べ大幅に掘削能力が優れ、且つ道路曲線に沿って作業できること。

2) 土留・支保工作業用：

- 機械名称：自動矢板打ち機

期待する機能：簡易鋼矢板を二枚同時にチャックし、溝上に自動搬送し、掘削した

溝壁に添わせ、起振機で垂直圧入すること。

- 機械名称：予備切梁装着装置

期待する機能：自動矢板打ち機に併設された切梁装着装置により水圧ジャッキ式予備切梁を自動移送し、打込み直後の簡易鋼矢板を溝壁に仮固定すること。

- 機械名称：簡易自動切梁

期待する機能：① 鋼管径以上の間隔で水圧ジャッキ式切梁を上下二段に配置し、連絡保持具で一体化されていること。

② 切梁は、水圧ジャッキが垂直荷重で中央から折半され、パイプラインを通過できること。

③ ジャッキ作動時は安全筒で保護されていること。

3) 配管作業用：

- 機械名称：パイプ敷設クレーン

期待する機能：① 溝横に事前に仮置き配管された鋼管を、クランプリフターにて吊り上げ溝上に横移送すること。

② 鋼管の外部まで伸張して固定できるアウトリガーとスイングタイヤにて鋼管の横移送を可能とすること。

③ ゴムタイヤで自走でき、溶接芯出し用微調整機能も具備していること。

4) 溶接作業用：

- 機械名称：パイプ工作車

期待する機能：① 溶接芯出し作業、溶接作業が風雨の影響なしで行える全天候型パイプ工作車であること。

② 1号車は、芯出しと初層 TIG 溶接の行える機能、2号車は全自動 MAG 溶接の行える機能を具備させること。

5) パイプ吊下し作業用：

- 機械名称：パイプ吊下しクレーン

期待する機能：① 溝上で長尺接合されたパイプラインを吊りあげ、過大な応力をパイプラインに発生させずに掘削溝内に吊下すこと。

② 簡易自動切梁との併用で安全に吊下ろしが出来ること。

6) 埋設作業用：

- 機械名称：多層締固め機

期待する機能：① コンベア経由でホッパーから投下される土砂を敷き均し、タイヤローラーでの予備締固め、3連バイブレーター式コンパクターでの本締固めを連続に行う1号機、ホッパーと3連コンパク

ターを具備した 2 号機にて多層締固めを行うこと。

② 層厚ごとに前後進を繰り返すこと。

- 機械名称：材料供給機

期待する機能：10T ダンプトラックから土砂を一気に投下積載できるホッパー、
2 連式スラッターコンベア、2 連式ベルトコンベア、2 連式前方移送
ベルトコンベアを経由させ、多層締固め 1,2 号機に同時に又は
一方のみ土砂を供給できること。

- 機械名称：表層締固め機

期待する機能：路盤材を中心に二連コンパクターにより表層部を効果的に締固める
こと。

5.2.2 QPL 工法のシステム構築の概要

QPL 工法でガスパイプラインを施工する場合の標準システムフローは次のとおりである。

(1)	作業ヤード設置
(2)	地下埋設物事前調査・工事許可取得
(3)	舗装切断
(4)	鋼管事前配列
(5)	舗装撤去・搬出
(6)	溝掘削
(7)	矢板打ち・予備切梁施工
(8)	支保工設置
(9)	鋼管横移送
(10)	鋼管溶接・検査・塗覆装
(11)	長尺鋼管吊下ろし・切梁盛替え
(12)	埋め戻し・締固め（土留・支保撤去）
(13)	路盤埋め戻し・締固め
(14)	舗装本復旧

図 5.30 に建機帯列の状態を模式的に示した。

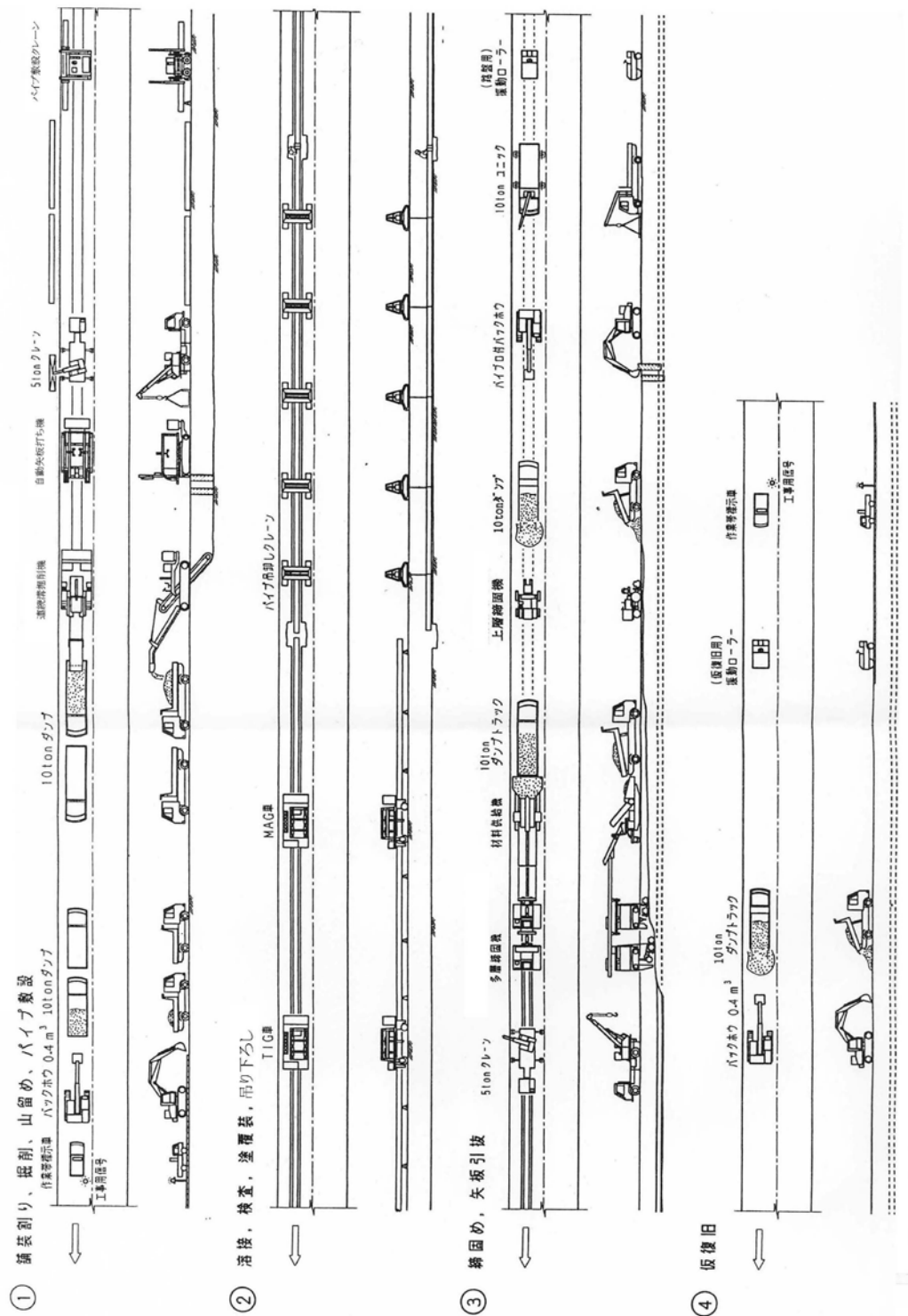


図 5.30 クイックパイプライン工法 (QPL 工法) ・建機帯列図

(2) 開発成果：

- 回送時寸法；全幅 3,000mm
 全長 5,094mm
 全高 3,000mm
 (放出コンベア長さ 7,150mm、幅 1,250mm は分割輸送)
- 作業時寸法；長さ 12,250mm
 幅 3,000mm
 高さ 3,900mm
 (一車線内作業が可能)
- 総重量； 32,000kg

5) 動力源

(1) 目標：建機に搭載可能なこと。

(2) 開発成果：

- 方式；ディーゼルエンジン。
- 動力分配機；油圧ポンプと発電機を駆動。
- 油圧駆動；スラッターコンベア、放出コンベア、無軌道クローラ。
電力；計器、照明。

6) 機械完成形状

図 5.1、図 5.2、図 5.3 に開発した建機の概略形状ならびに稼動中の写真を示す。

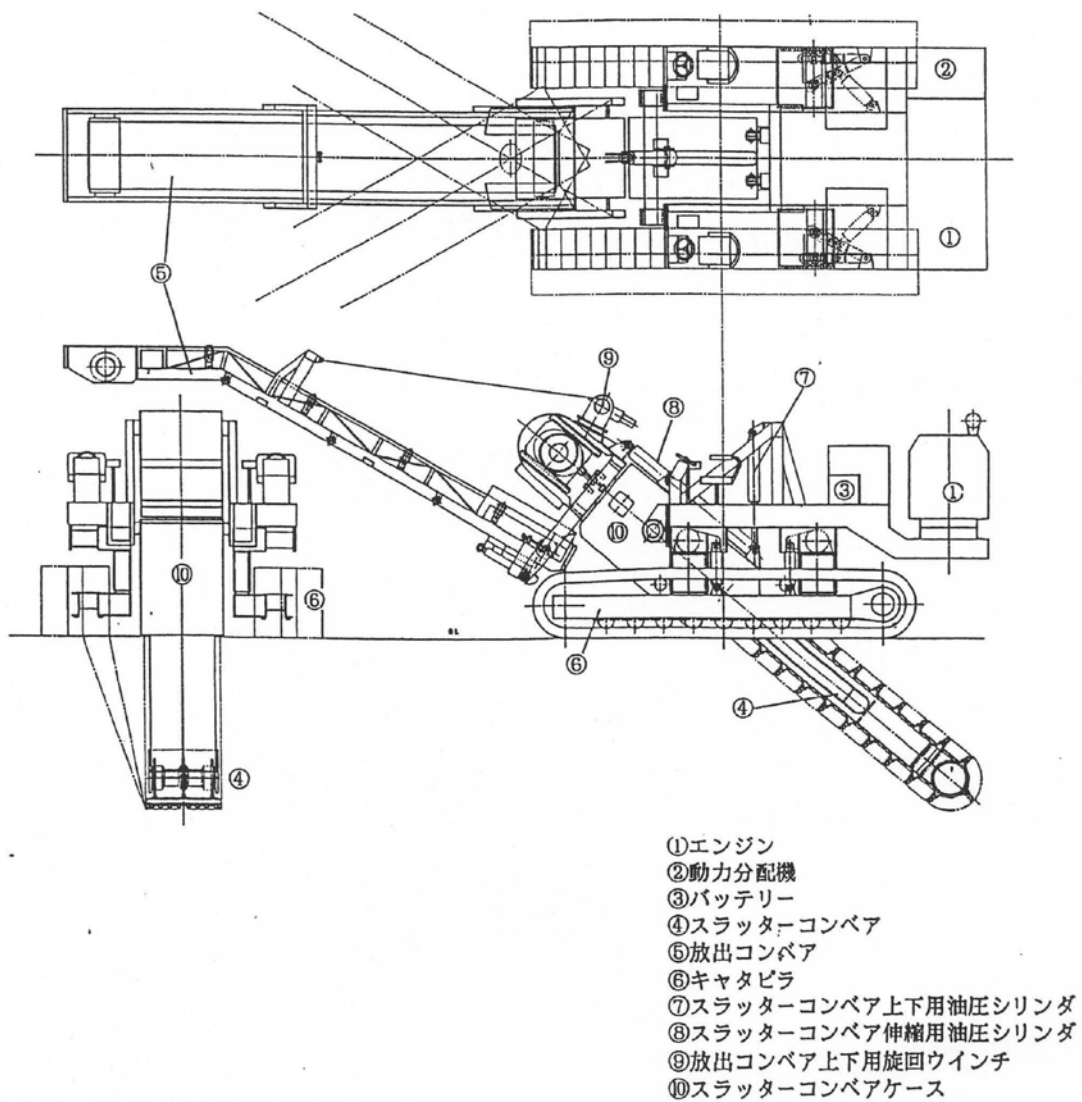


図 5.1 連続溝掘削機模式図



図 5.2 連続溝掘削機（前方）



図 5.3 連続溝掘削機（側面）

5.3.2 自動矢板打ち機

1) 矢板打ち機能

- (1) 目標：簡易鋼矢板 2 枚を同時に建て込み圧入出来ること。
- (2) 開発成果：
 - 矢板カートリッジ；1 セットに簡易鋼矢板 22 枚収納可能。
 - 矢板供給装置；カートリッジ 6 セット積み込み可能（矢板最大枚数 132 枚）。
 - アーム・アーム台；鋼矢板をチャック・昇降・90°回転させる装置（2 枚同時）。
 - トロリー；アーム台を掘削溝の所定位置まで移動させる装置（2 枚同時）。
 - リーダーデリック；頂部に矢板打込み機・起振機（バイブレータ）2 組、底部に矢板内押えが設置された装置。
 - 作業手順；① 矢板カートリッジを矢板供給装置に搭載する。
② アームで矢板をチャック・昇降・90°回転する。
③ アーム台をトロリーにて掘削溝に移送する。
④ 矢板を打込み機チャックに転送する。
⑤ 矢板を降下させ、内押さえにて溝壁に添わせる。
⑥ 起振機で約 200mm 圧入する。
（全作業は、油圧回路によりシーケンス制御する。）

2) 予備切梁設置機能

- (1) 目標：建て込んだ簡易鋼矢板を直ちに仮押えし溝の崩落を防止すること。
- (2) 開発成果：
 - 予備切梁装置；水圧式予備切梁を取り付け・移送・作動させる装置（建機後方下部に配置）。
 - 搬送用レール；予備切梁装置を矢板位置に移送（建機下部に装着）。
 - 作業ステップ；予備切梁取り付け用作業台（建機後方、溝上）。
 - 作業手順；① 水圧式予備切梁を装置に手動にて取り付ける。
② 搬送用レールで建機前方に移送する。
③ 打込み直後の矢板頂部に切梁を仮押さえする（遠隔自動操作）。

3) 走行機能

- (1) 目標：自走式で、掘削溝を崩壊させないこと。
- (2) 開発成果：
 - 無軌道クローラ式；長さ 3,295mm
幅 450mm
（鉄製ゴム張りクローラ二体を内法 2,000mm で左右対称に配置）
 - 駆動方式；油圧モータ。

- 走行調整；左右クローラの駆動速度を調整し 20mR までの道路曲線に連続対応可能。

- 接地圧； 0.69kg/cm^2 。

4) 建機寸法・重量

(1) 目標：一車線道路限界内で作業でき、トレーラー輸送が出来ること。

(2) 開発成果：

- 回送時寸法；全幅 2,900mm
 全長 8,881mm
 全高 3,502mm
- 作業時寸法；長さ 8,240mm
 幅 2,900mm
 高さ 4,975mm

(一車線内作業が可能)

- 総重量； 20,000kg

5) 動力源

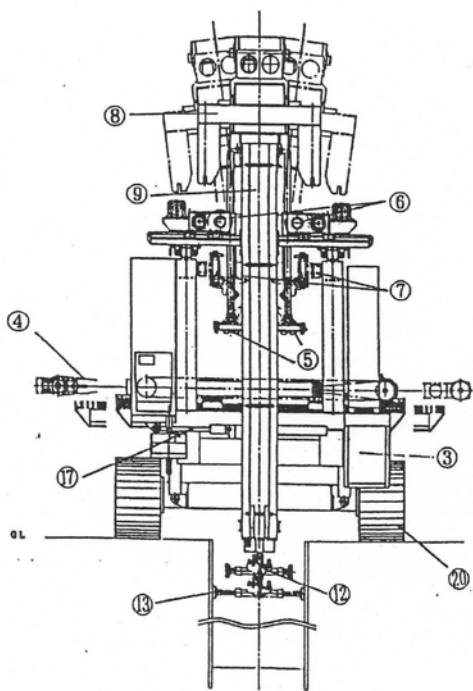
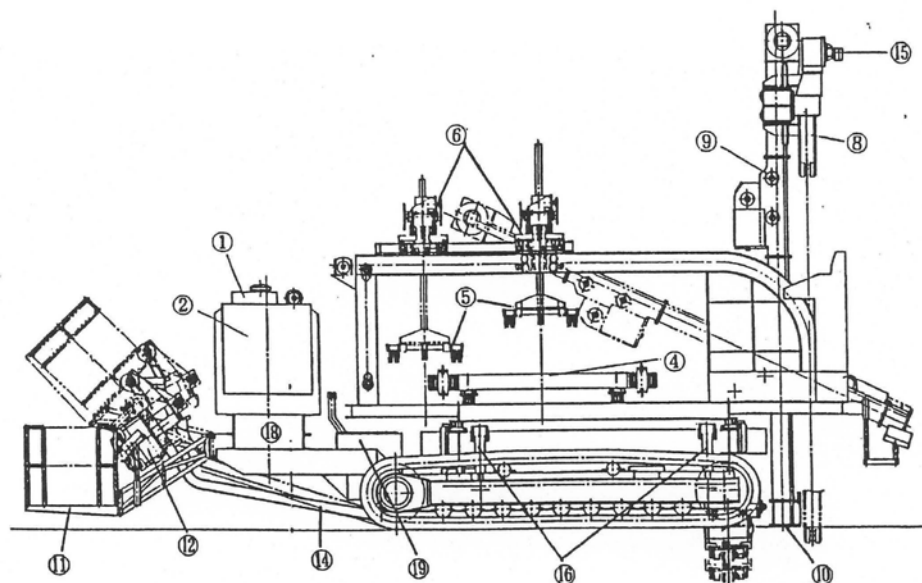
(1) 目標：建機に搭載可能なこと。

(2) 開発成果：

- ディーゼルエンジン。
- 動力分配機；油圧ポンプと発電機を駆動。
- 油圧駆動；矢板搬送・打ち込み、予備切梁搬送・設置、無軌道キャタピラー。
電力；計器作動、照明。

6) 機械完成形状

図 5.4、図 5.5、図 5.6 に開発した建機の概略形状ならびに稼動中の写真を示す。



- ① エンジン
- ② 動力分配機
- ③ ジェネレータ (100V)
- ④ 矢板供給装置
- ⑤ アーム
- ⑥ アーム台
- ⑦ トロリー
- ⑧ 打込機
- ⑨ リーダデリック
- ⑩ 矢板内押え
- ⑪ 作業ステップ
- ⑫ 予備切梁装置
- ⑬ 予備切梁装置用水圧ジャッキ
- ⑭ キャリア搬送用 レール
- ⑮ 起振機 (パイプレータ)
- ⑯ フレーム傾斜用シリンダ
- ⑰ フレームスライド用シリンダ
- ⑱ 燃料タンク (軽油)
- ⑲ 作動油タンク
- ⑳ キャタピラ (クローラ式)
- ㉑ 予備切梁装置用水バルブ

図 5.4 自動矢板打ち機模式図



図 5.5 自動矢板打ち機（前面側）



図 5.6 自動矢板打ち機（側面）

（左リーダーデリック、中央矢板カートリッジ）

5.3.3 簡易自動切梁装置

1) 切梁設置機能

- (1) 目標：土留支保の機能を有すると同時に、パイプライン吊下し作業を安全にかつ迅速に行えること。
- (2) 開発成果：
- 切梁装置構造；上下二対の特殊水ジャッキが、連結保持具とガススプリングで一体化
 - 切梁部材；軽量・耐食性アルミニウム製。
 - 腹起し部材；軽量・耐食性角型アルミ成形材（長さ 3,000mm）。
 - 特殊水ジャッキ；載荷時中央部で折半できる水ジャッキ。
 - 安全筒；ジャッキ作動時折半部保護する部材。
 - 水抜きレバー；載荷時、水逃がし弁を開放させ水ジャッキ圧力を逃がす装置。
 - 切梁設置手順；① 人力とレッカーで鋼矢板の内側に設置する。
② 腹起し部材をはめ込む。
③ 連結保持具を撤去する。
④ ジャッキを作動させる。
⑤ 矢板を固定する。
 - 吊下し作業時手順；① パイプ自重で水抜きレバーを押し下げる。
② 水逃がし弁を開放する。
③ 水ジャッキ中央部を折半させる。
④ パイプを通過させる。
⑤ 水ジャッキを再作動させる（手動）。
 - 切梁装置一組の重量；約 70kg（人力作業可能）

2) 装置完成形状

図 5.7、図 5.8、図 5.9 に開発した装置の概略形状ならびに稼動中の写真を示す。

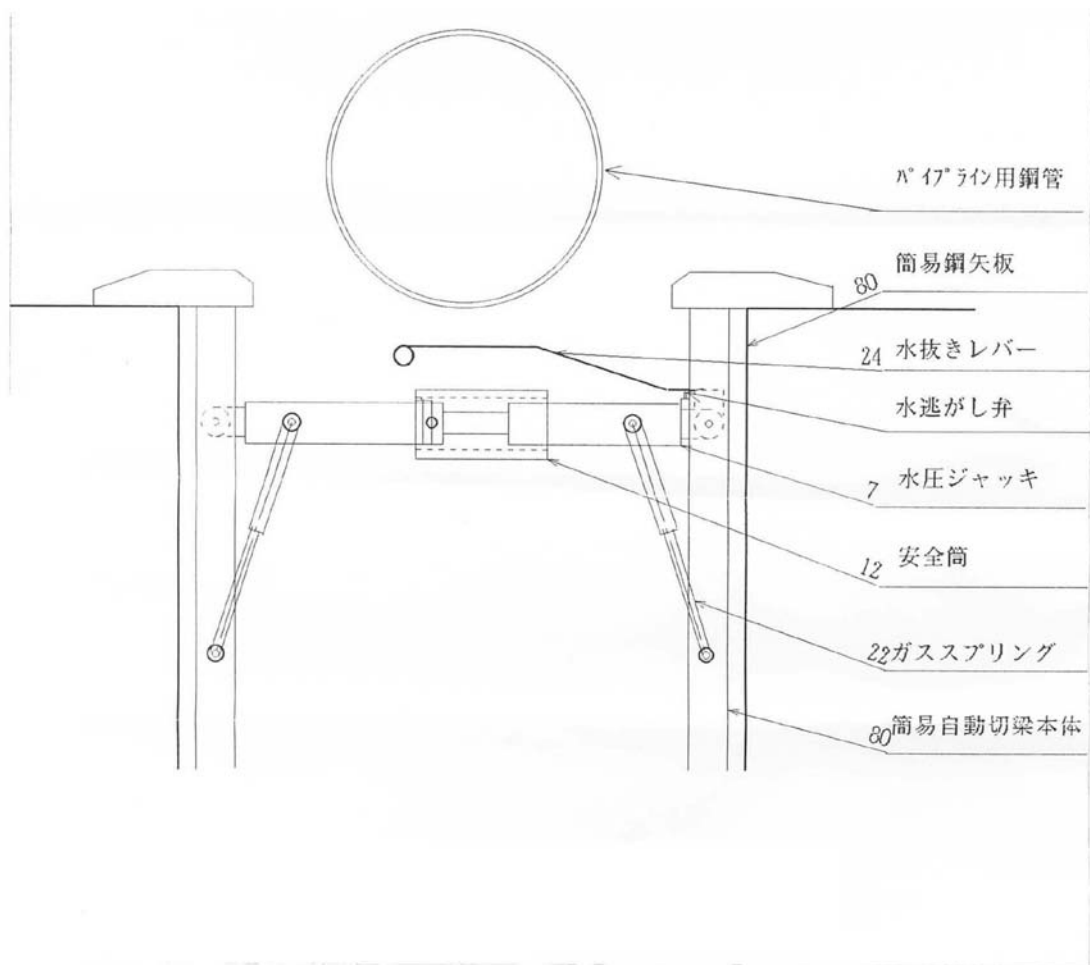


図 5.7 自動切梁装置模式図



図 5.8 自動切梁装置（取り付け中）



図 5.9 自動切梁装置（取り付け完了状況）

5.3.4 パイプ敷設クレーン

1) パイプ移送機能

- (1) 目標：事前に掘削場所横に仮置きしたパイプを掘削溝上に一車線内作業で横移送すること。
- (2) 開発成果：
 - クランプリフター；二対の水平油圧ブームに取り付け。
 - パイプクランプ；クランプリフター下部先端に取り付け。
 - 作業手順；① 仮置きパイプ上部までリフターを移動する。
② 二対のクランプでパイプを吊り上げる。
③ 鋼管を掘削溝上部まで横移送する。
④ 角材上に溶接作業まで仮置きする。

2) アウトリガー設置機能

- (1) 目標：スイングタイヤを旋回させるため、二対のアウトリガーを仮置きパイプ外側に固定設置すること。
- (2) 開発成果：
 - アウトリガー；二対の油圧駆動アウトリガーブームに鉛直装着。
 - アウトリガーブーム；、車体中心から 3,250mm まで移動可能。
 - 作業手順；① アウトリガーをパイプ外側の支持場所に移動・降下させる。
② アウトリガーを固定してスイングタイヤを脱荷させる。
③ スイングタイヤを 95 度旋回させる。
④ パイプ移送作業後スイングタイヤを復帰させる。
⑤ アウトリガーを元の位置に復帰させる。

3) パイプ搬送・移動機能

- (1) 目標：溶接芯出し作業時。パイプの移動微調整を行うこと。
- (2) 開発成果：
 - 上下・左右移動；クランプリフターにてパイプをクランプし可能。
 - 前後移動；① クランプリフターを油圧にて車軸方向に微小移動可能とし、芯出し補助作業を行わせる。
② タイヤ走行にてクランプしたパイプを長距離縦移送も可能である。

4) 走行方式

- (1) 目標：自走できること。
- (2) 開発成果：
 - 4 輪タイヤ方式（パイプ移送側の 2 輪はスイング可能）。
 - 油圧駆動。

5) 建機寸法・重量

(1) 目標：一車線道路限界内で作業でき、トレーラー輸送が出来ること。

(2) 開発成果：

- 回送時寸法；全幅 2,600mm
 全長 3,700mm
 全高 3,200mm
- 作業時寸法；全幅 2,500mm（パイプ取込時）
 4,500mm（アウトリガー張出し時）
 全長 3,700mm
 全高 4,200mm
 （一車線内作業が可能）
- 総重量； 6,500kg

6) 動力源

(1) 目標：建機に搭載可能なこと。

(2) 開発成果：

- ディーゼルエンジン；車載、消音型。
- 動力分配機；油圧ポンプと発電機を駆動。
- 油圧駆動；パイプ移送、アウトリガー設置、パイプ微調整、走行。
電力；計器作動、照明。

7) 機械完成形状

図 5.10、図 5.11、図 5.12 に開発した建機の概略形状ならびに稼動中の写真を示す。

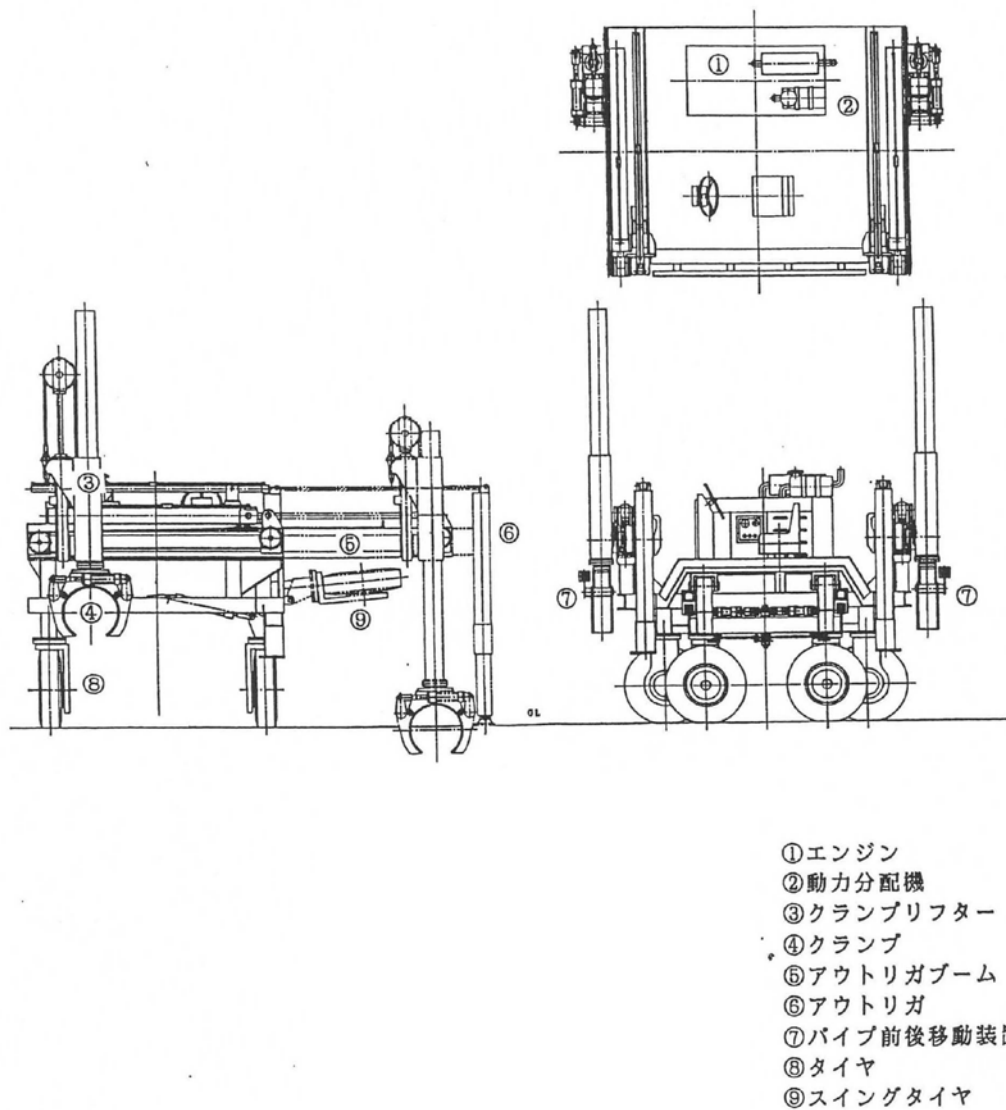


図 5.10 パイプ敷設クレーン模式図



図 5.11 パイプ敷設クレーン
(左にアウトリガー張出し中)



図 5.12 パイプ敷設クレーン (車道側側面)

5.3.5 パイプ工作車

1) 溶接機能

- (1) 目標：全天候仕様で溶接関連作業が出来る十分なスペースがあること。
- (2) 開発成果：
 - 仕様；① 芯出し・TIG 初層溶接用 1 号機
② MAG 自動溶接用 2 号機
 - 室内空間寸法；幅 1,900mm
長さ 2,500mm
高さ 1,800mm
(パイプ両側に作業員各 1 名分の作業スペース確保できる)
 - 室内上部ビーム；吊り下げ能力 1000kg。
(パイプクランプ、溶接装置を懸架可能)
 - 車外側面；溶接用ならびに切断用ガスの圧力容器搭載可能。
 - 室内作業環境；防爆型照明灯、工業用小型空調機を設置。
 - 気候対策；パイプ貫通部分、下部を除き防風・防雨のため遮蔽し、側面に作業員用出入扉を設けた。
 - 作業用足場；工作車下部に設け、安全作業を可能とした。

2) 走行方式

- (1) 目標：自走方式とする。
- (2) 開発成果：
 - ゴムタイヤ四輪式；溶接時防振性能を重視。
 - 油圧モータ駆動。

3) 寸法・重量

- (1) 目標：一車線道路限界内で作業が可能で、トレーラー輸送が出来ること。
- (2) 開発成果：
 - 回送時寸法；全幅 2,500mm
全長 5,000mm
全高 2,500mm
 - 作業時寸法；回送時と同寸法（一車線内作業が可能）。
 - 総重量； 5.500kg

4) 動力源

- (1) 目標：建機に搭載可能なこと。
- (2) 開発成果：
 - ディーゼル発電機。
 - 電源；溶接用電源（直流）、油圧ポンプ駆動用、照明・空調用電源。

5) 機械完成形状

図 5.13、図 5.14、図 5.15 に開発した建機の概略形状ならびに稼動中の写真を示す。

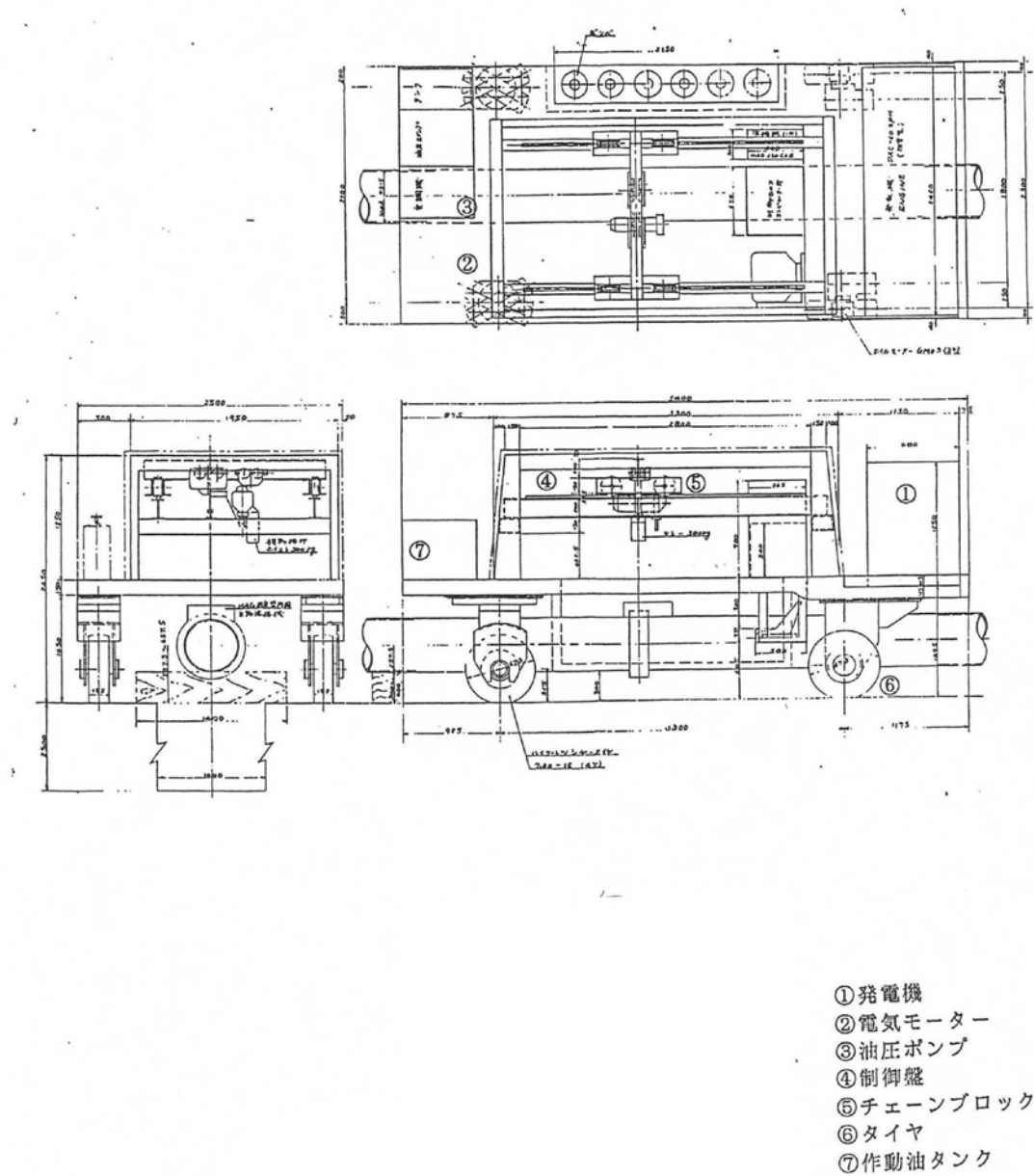


図 5.13 パイプ工作車模式図



図 5.14 パイプ工作車（芯出し・T I G溶接用 1 号車）



図 5.15 パイプ工作車（MAG 自動溶接用 2 号車）

5.3.6 パイプ吊下しクレーン

1) 吊り下げ機能

(1) 目標：パイプライン重量を均等に分担し、円滑なパイプライン吊下し作業を達成すること。

(2) 開発成果：

- ゴムクローラー；幅 420mm、長さ 1,880mm（二体）。
（吊り下げ時の接地圧を軽減）
- 連絡用 H 型鋼製ビーム；二体のゴムクローラー前後を接続。
（標準 3,000mm、取り替え可能）
- パイプライン吊下げ用鋼製ビーム；電動トロリーつきチェーンブロックを取り付け。

トロリー移動幅： 500mm、

吊り下げ能力： 2,800kg

- チェーンブロック；ショートヘッド型（吊上げ高さ 1,430mm max.）。
- 作業手順；
 - ① 吊下しクレーン数台を均等配置する。
 - ② チェーンブロックにスリングベルトを介しパイプラインを吊る。
 - ③ パイプラインを端部から傾斜（又は水平）状況で吊下す。
 - ④ 水ジャッキの折半（自動）一再作動（手動）を繰り返す。
 - ⑤ パイプラインが溝底に安置れるまで作業を継続する。

2) 走行方式

(1) 目標：自走できること。

(2) 開発成果：

- 油圧モータ駆動

3) 寸法・重量

(1) 目標：一車線道路限界内で作業でき、トレーラー輸送が可能なこと。

(2) 開発成果：

- 回送時寸法；幅 3,000mm
長さ 2,427mm
高さ 2,400mm
- 作業時寸法；回送時と同一寸法（一車線道路限界内作業可能）。
- 総重量； 4,500kg

4) 動力源

(1) 目標：建機に搭載できること。

(2) 開発成果：

- ディーゼル発電機。
- 駆動方式；電力：電動チェーンブロック用動力。
油圧モータ：走行用。
- 配置；発電機と油圧ポンプを左右のクローラに分散して搭載。

5) 機械完成形状

図 5.16、図 5.17、図 5.18 に開発した建機の概略形状ならびに稼動中の写真を示す。

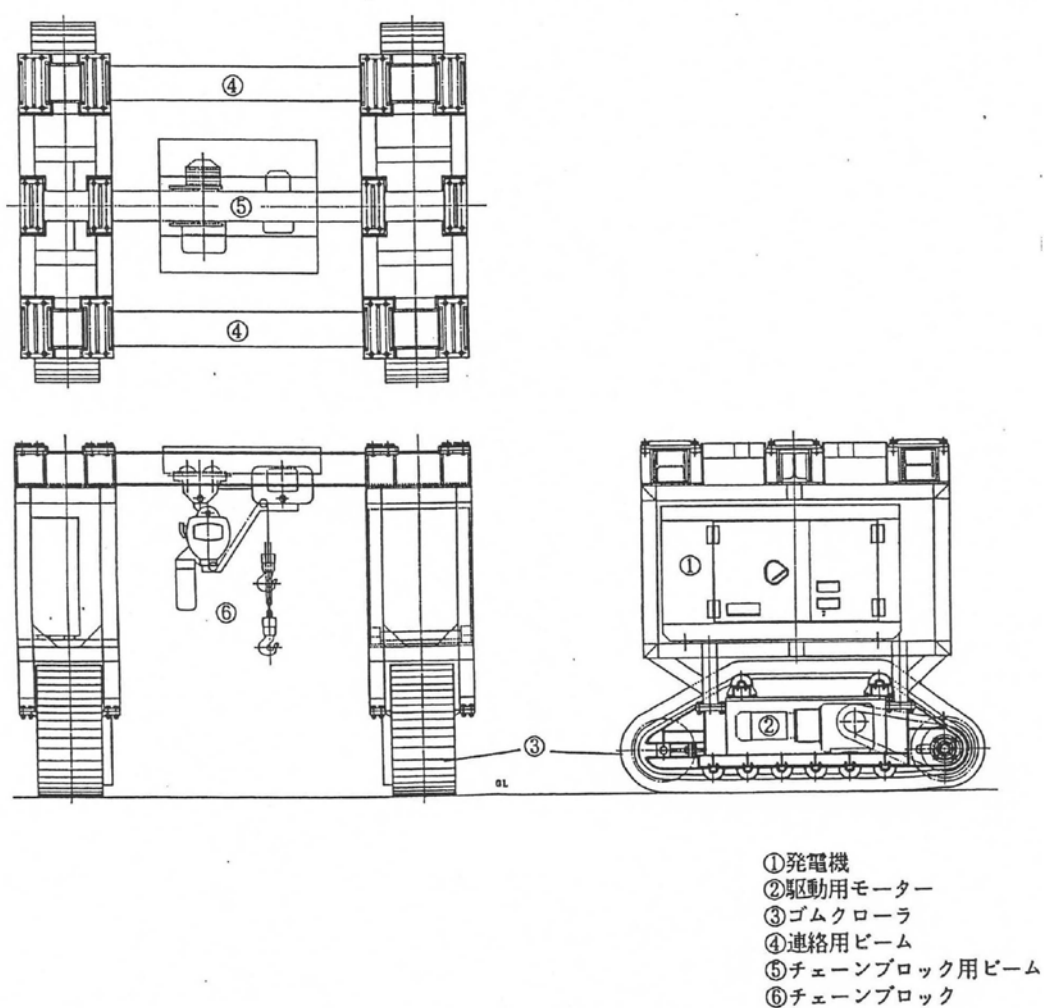


図 5.16 パイプ吊下しクレーン模式図



図 5.17 パイプ吊下しクレーン

(吊下し作業中)



図 5.18 パイプ吊下しクレーン

(ディーゼル発電機搭載)

5.3.7 多層締固め機

1) 土砂搬送機能

(1) 目標：1号機、2号機夫々に上方ベルトコンベアにて土砂搬送し掘削溝内に所定量の土砂を投入すること。

(2) 開発成果：

- 上方二連ベルトコンベア；夫々の締固め機への土砂搬送。
(コンベアは長さ 11m、20mR 道路曲線部で掘削溝上作業可能)
- ホッパー；トリッパーにより締固め機前方掘削溝に土砂投入。

2) 締固め機能

(1) 目標：所定の層厚ごとに規定の締固めが達成されること。

(2) 開発成果：

- 1号締固め機；敷き均し用3連タイヤローラーと3連バイブロ・コンパクター。
(深さ 1,600mm まで作業可能)
- 2号締固め機；3連バイブロ・コンパクター。
(深さ 950mm まで作業可能)
- バイブレーターの起振力；1台当たり2トン。
- 作業手順；1,2号機は、連結又は単独にて作業できるようにし、コンベア長さ 11m の範囲を締固め後、全体を移動する方式とした。

3) 走行方式

(1) 目標：接地圧を低減し、溝の崩落を防止すること。

(2) 開発成果：

- 無軌道クローラ方式。
- 接地圧； 0.87kg/cm^2 。

4) 寸法・重量

(1) 目標：1車線道路限界内で作業が出来、トレーラー輸送が可能なこと。

(2) 開発成果：

- 回送時寸法；1号機：

幅	2,800mm
長さ	3,300mm
高さ	3,200mm
重量	8,500kg
- 2号機：

幅	2,800mm
長さ	3,850mm
高さ	2,700mm
重量	8,500kg

- 作業時寸法；回送時寸法と同じ（1車線内作業は確保）。

5) 動力源

(1) 目標：建機に搭載できること。

(2) 開発成果：

- ディーゼルエンジン。
- 動力分配器；油圧ポンプと発電機を駆動。
- 油圧駆動；走行、締固め、コンベア作業。
電力；計器作動、照明。

6) 機械完成形状

図 5.19、図 5.20、図 5.21、図 5.22、図 5.23 に開発した建機の概略形状ならびに稼働中の写真を示す。

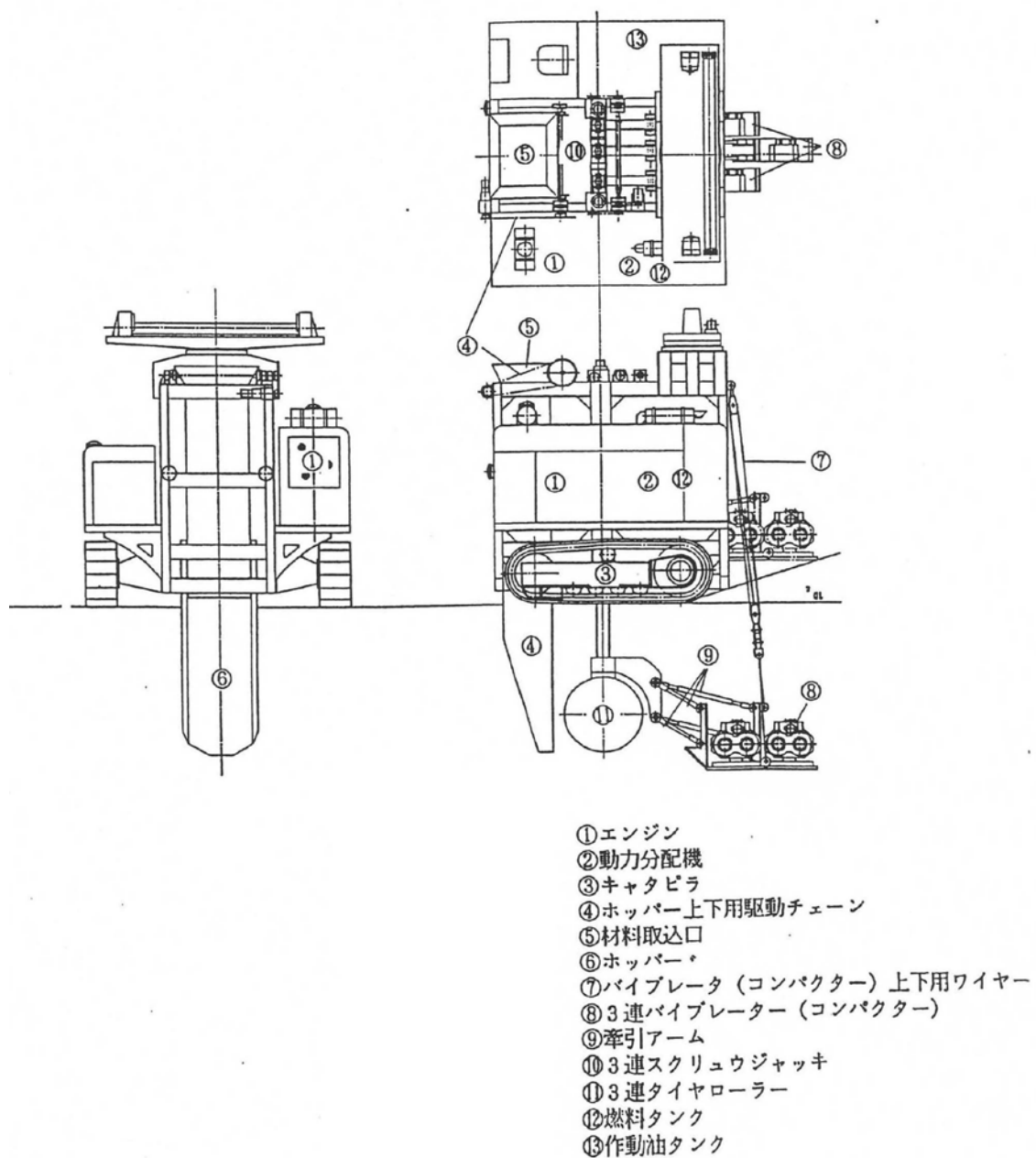


図 5.19 多層締固め機 1 号機模式図

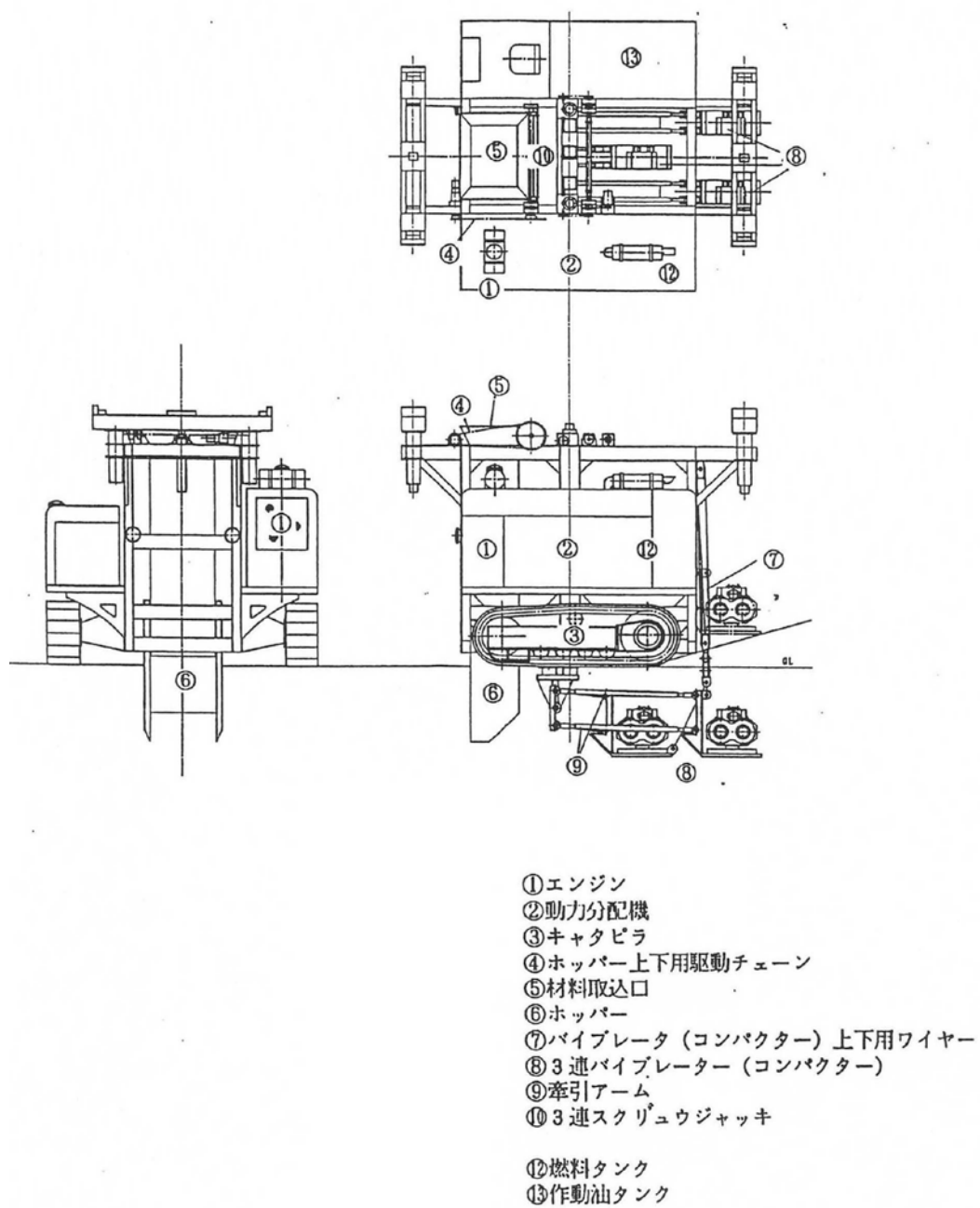


図 5.20 多層締固め機 2 号機模式図



図 5.21 (手前より) 1 号機、2 号機、材料供給機
(上部に 11m2 連ベルトコンベア)

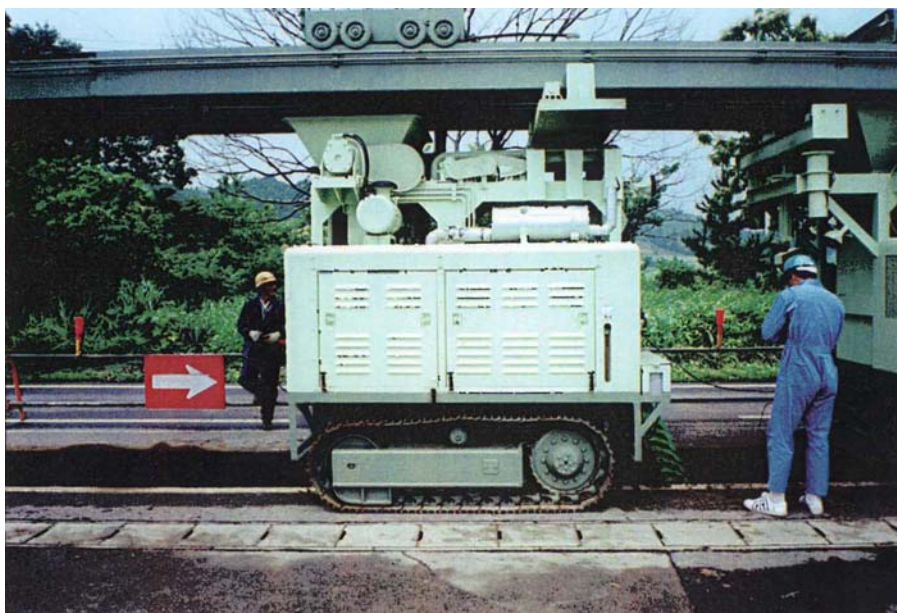


図 5.22 締め固め機 1 号機側面 (左側にホッパー)



図 5.23 締め固め機 2 号機側面

(上方にトリッパー、右に材料供給機コンベアとの接続部)

5.3.8 材料供給機

1) 材料供給機能

- (1) 目標：10T ダンプトラックからの材料土砂を受けるホッパー、その土砂を高速で多層締め固め機上方ベルトコンベアに供給する機能を装備すること。
- (2) 開発成果：
 - 土砂受けホッパー；幅 3,000mm、奥行き 1,750mm、面積 5.25m^2 (10T ダンプ 1 台の土砂量 6m^3 の投入可能)。
 - ホッパー；地上 500mm 位置で水平から 60 度まで油圧シリンダーで旋回可能。
 - 2 連スラッターコンベア；対応する 2 連前方ベルトコンベア経由上方 2 連ベルトコンベアに土砂供給。
 - スラッターコンベア；45 度固定式。
 - 前方ベルトコンベア；水平から上方 30 度まで油圧シリンダーで上下可能。
 - 作業手順；左右のスラッターコンベアとベルトコンベアはセットで稼動—停止可能とし、締め固め機への土砂供給量を調整できるようにした。

2) 走行機能

- (1) 目標：自走できること。
- (2) 開発成果：

- 無軌道クローラ方式（油圧駆動）。

3) 寸法・重量

(1) 目標：1車線道路限界内で作業でき、トレーラー輸送可能なこと。

(2) 開発成果：

- 回送時寸法；幅 3,000mm

長さ 9,320mm

高さ 3,000mm

重量 15,000kg

- 作業時寸法；幅 3,000mm

長さ 5,400mm

高さ 4,170mm

（車線内施工が可能）

4) 動力源

(1) 目標：建機に搭載できること。

(2) 開発成果：

- ディーゼルエンジン。
- 動力分配器；油圧ポンプを駆動。
- 油圧駆動；ホッパーの旋回、コンベアの駆動、走行作業（全て）。

5) 機械完成形状

図 5.24、図 5.25、図 5.26 に開発した建機の概略形状ならびに稼動中の写真を示す。

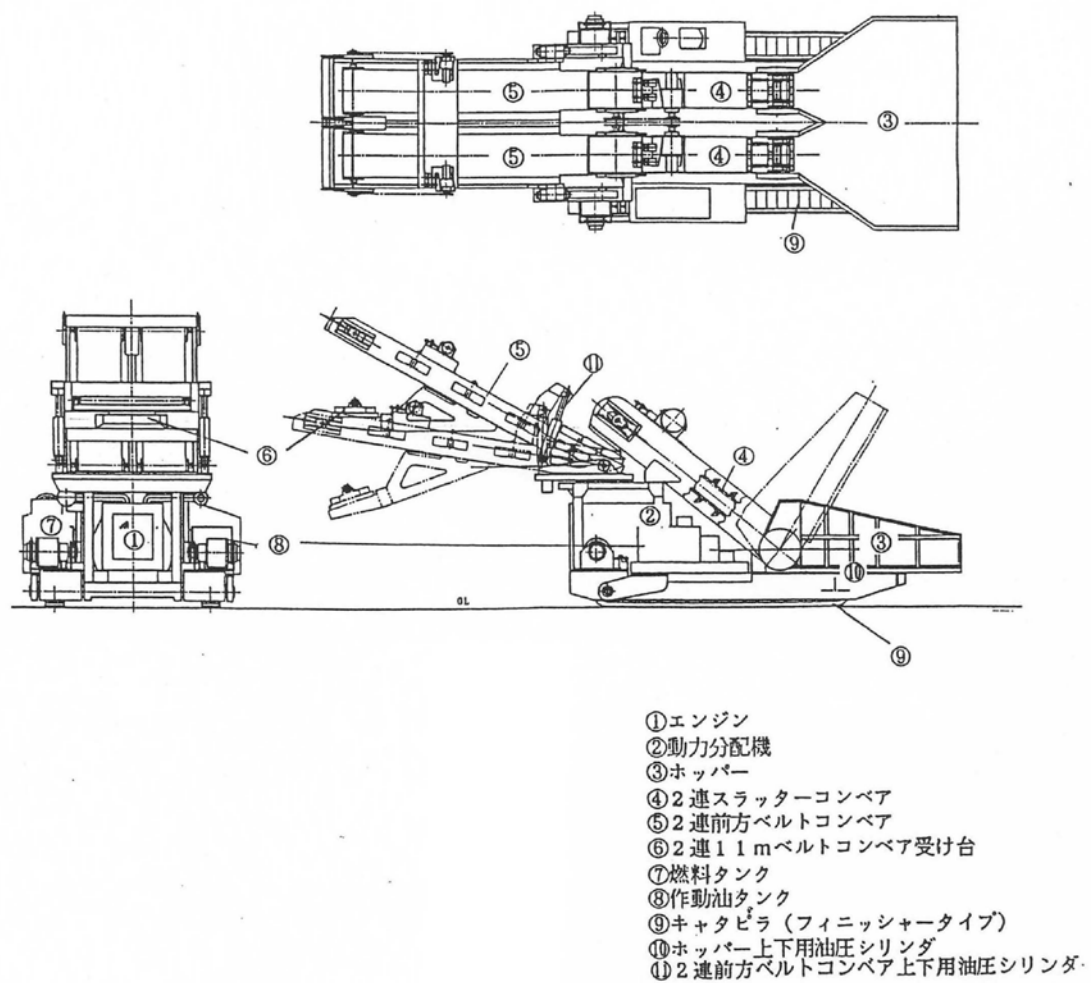


図 5.24 材料供給機模式図



図 5.25 材料供給機側面

(右にホッパー、中央スラッターコンベア、左に前方ベルトコンベア)



図 5.26 材料供給機前方より（土砂供給中）

（右後方に 10T ダンプトラック）

5.3.9 表層締固め機

1) 締固め機能

- (1) 目標：路盤部について、所定の層厚で規定の締固め性能が達成できること。
- (2) 開発成果：
 - 2連バイブロ・コンパクター；幅 800mm。
 - アタックアングル；可変。
 - 起振力；1台当たり2トン。

2) 走行機能

- (1) 目標：自走できること。
- (2) 開発成果：
 - 4輪ゴムタイヤ方式（油圧モーター駆動）。
 - 走行方式；道路路面上走行。
 - 作業手順；運転者が微調整可能な運転性能を具備させた。

3) 寸法・重量

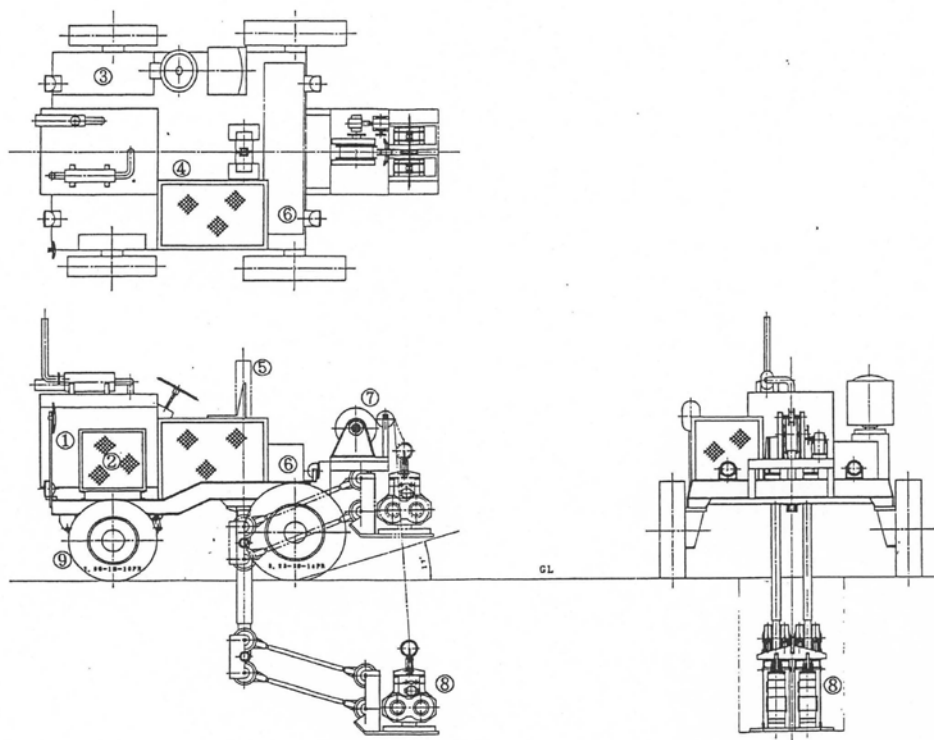
- (1) 目標：1車線道路限界内で作業でき、トレーラー輸送が可能なこと。
- (2) 開発成果：
 - 回送時寸法；幅 2,480mm
 長さ 3,725mm
 高さ 1,820mm
 重量 6,000kg
 - 作業時寸法；（コンパクターを溝内に下降させる以外）回送時寸法と同じ。
 （1車線内作業が可能）

4) 動力源

- (1) 目標：建機に搭載できること。
- (2) 開発成果：
 - ディーゼルエンジン。
 - 動力分配器；油圧ポンプ駆動。
 - 油圧モータ駆動；コンパクター、走行。

6) 機械完成形状

図 5.27、図 5.28、図 5.29 に開発した建機の概略形状ならびに稼動中の写真を示す。



- ①エンジン
- ②オイルクーラー
- ③燃料タンク
- ④動力分配機及び油圧ポンプ
- ⑤アーム上下シリンダ
- ⑥作動油タンク
- ⑦巻き上げウィンチ
- ⑧2連式コンパクター
- ⑨タイヤ

図 5.27 表層締固め機模式図



図 5.28 表層締固め機

(締固め作業中)



図 5.29 表層締固め機 (側面)

(左下方にコンパクター)

5.4 QPL 工法のシステム構築の詳細

5.4.1 各作業の構成内容

1) 作業ヤード設置

- QPL 工法の最大の特徴は、その高速施工性にあり、現場施工を効率よく実施するためには、作業ヤードを設置して次のような補助作業を行わせる必要がある。

(1) 鋼管の仮置き	4 週間分
(2) 掘削した舗装ガラの一時的保管	4 週間分
(3) 掘削土砂の一時的保管	1 週間分
(4) 仮設資材の仮置き	掘削溝 200m分
(5) 建設機械の保管	1 式
(6) 埋め戻し土砂の保管	2 週間分
(7) 鋼管の溶接加工	平積み 20 本分
(8) 管理事務所（宿舎）	人員によるスペース確保。
(9) 作業用駐車場	50 台分

- 作業ヤードは、上記作業が円滑にできるように十分なスペースを確保すると同時にパイプライン敷設現場との距離、交通状況を充分検討して配置する必要がある。

2) 地下埋設物事前調査・工事許可取得

- 本システムの実行には連続作業が少なくとも 1 週間分できる必要があり、路線選定の重要性の中で特に地下埋設物の有無が施工能率に影響する。
- 幹線道路や市街地内道路をできるだけ回避し、工事環境を事前把握する。
- 埋設物がある場合、移設が可能であれば作業開始前に移設することを関係者と協議する。
- 同様に交通量、周辺都市環境、道路幅員等調査し、一車線内施工に必要なスペースが確保できるか検討する。
- 工事占用延長が 2 週間分取れば工事サイクルより全体工程を円滑化できる。

3) 舗装切断

- 1 週間分を 1 日作業にまとめる・舗装切断はロータリーカッターで平行に掘削幅に応じ二本施工する。
- 専門工事会社が数多くあり工事延長全体をまとめて発注し効率化を図る。
- 特殊部分（橋梁部、伏せ越し部）を除き、できるだけ地上での長尺管化を計画し布掘幅での切断を増やす。
- 切断後は掘削作業に入るまで一旦道路は供用のため開放する。

4) 鋼管事前配列

- 使用される鋼管は、切断作業と平行して施工場所の道路路肩に事前に配列する。
- 輸送は管長 12m が水平に保持できるようにトラックの荷台を加工装備し 2~3 本を同時に行う。
- 積み下ろしはレッカー車により吊下ろし、一車線内作業を厳守する。
- 一週間分を掘削前週に配列するようにスケジュールリングする。

5) 舗装盤撤去・搬出

- 切断された舗装盤は、10 トンダンプトラックとバックホウ（ニッパーつき）で撤去する。
- トラックは撤去する舗装板の前方に配置し、バックホウの旋回をしないようにして 1 車線内施工を厳守する。
- 舗装ガラは作業ヤードに仮置きし、クラッシャーで粒度調整後路盤材として再生活用する。
- 舗装厚さを 12cm（県道）とすると、300m 分で 36m^3 の舗装ガラが発生する。1 週間分を 1 日作業で撤去・搬出できる。

6) 溝掘削

- 溝掘削作業は、開発した連続溝掘削機（5.3.1 参照）で行う。
- 掘削方向は通行車両の進行方向に合わせ、10 トンダンプを溝掘削前方に配置し、掘削した土砂は直接ダンプに積載する。
- 掘削機は毎分溝 1m 分（ 2.3m^3 ）が掘削可能であり、ダンプ 1 台は 6m^3 の積載能力のため複数台用意し回転して運搬することになる。
- 仮置きヤードとの往復所要時間を仮に 30 分とすれば、8 時間作業でダンプ 1 台が 16 回転（ $6 \times 16 = 96\text{m}^3$ ）出来ることになる。

7) 矢板打ち・予備切梁施工

- この作業は、自動矢板打ち機（5.3.2 参照）で行う。
- 連続溝掘削機の後ろに近接して配置し、溝掘削作業が終了すると直ちに矢板打ちに入る。
- 掘削はスラッターコンベアで 40 度に斜めに掘削されるので矢板打ち機の重量の影響は溝に及ばない。
- 掘削される場所の土質が粘性土の場合矢板は間隔を多少空けて（飛ばして）打設出来る。

- 簡易鋼矢板の打設は、全工程シーケンス制御されており、サイクルタイムは1分ほどである。
- 矢板打設に続き予備切梁装置を手動制御して切梁を所定の位置に張る。
- トータルのサイクルタイムは、余裕を見ても3分以内（毎時20サイクル）である。

8) 支保工設置

- 簡易自動切梁装置（5.3.3 参照）を設置し、溝内作業の安全性向上と管吊下ろし作業の効率化を図る。
- 腹起しに長さは2mのユニット化されており、2mごとに簡易自動切梁を設置する。
- 設置作業はユニッククレーンで機材をつり、作業員3人の共同作業で行う。簡易自動切梁の重量は約70kgで二人作業を標準とした。

9) 鋼管横移動

- パイプ敷設クレーン（5.3.4 参照）を用いて、路肩に事前に仮置きされた鋼管を溝上に移設して、溶接作業の準備に入る。パイプ敷設クレーンの標準作業は、
 - ① アウトリガーブームの伸張。
 - ② アウトリガーの降下固定。
 - ③ 回転タイヤの旋回。
 - ④ パイプクランプの伸張。
 - ⑤ クランプリフターの降下。
 - ⑥ パイプクランプ。
 - ⑦ パイプ横移送（溝上に）。
 - ⑧ パイプ降下。
 - ⑨ 1)～3)作業の逆動作作業。
 - ⑩ パイプ敷設クレーンの移動。
 となる。

- 1サイクルの標準時間は、30分である。一車線内作業のため通常のクレーン作業に代わり効率的で安全な作業が行える。鋼管をクランプした状態で溝上を走行することも可能である。

10) 鋼管溶接・検査・塗覆装

- パイプ工作車（5.3.5 参照）を用いて、初層TIG溶接を行う。
- 長尺管接合溶接は掘削溝最後尾より進捗方向に向かって順次行う。
- 溶接芯だし作業は、パイプ工作車に搭載されたアウタークランプで鉄工二人が行う。このとき接合される鋼管を配管するためにパイプ敷設クレーンが用いられ、クラン

プリフターのパイプ前後微調整装置が有効になる。

- 二層目以降は、二台目のパイプ工作車により自動 MAG 溶接で完成される。
- 全天候型の工作車内の作業であり風雨の影響なしに計画どおりの作業が出来る。

11) 長尺鋼管吊下ろし・切梁盛替え

- 吊下ろし方法は、鋼管の撓み性を利用し片端より順次吊下ろす。
- この方法でクレーンの台数を節減できると同時に切梁を盛替えする作業者の人数も制限できる利点がある。
- パイプ吊下ろしクレーン（5.3.6 参照）を用いて長尺鋼管を溝内に吊下ろす。
- 鋼管の自重で一段目の切梁が折半され鋼管が二段目の切梁の上部に吊下ろされる。吊点を調整し 5~10 箇所程度の一段目の切梁の再作動を作業者が行うようにする。
- さらに吊下ろすことで二段目の切梁が折半し鋼管が所定の位置に降下される。
- この作業の繰り返しで長尺鋼管全体が吊下ろされることになる。

12) 埋め戻し・締固め（土留・支保撤去）

- 多層締固め機 1 号機、2 号機、材料供給機（5.3.7、5.3.8 参照）を用いて埋め戻し・締固め作業を行う。
- 建機配置は車両進行方向と合わせ、対向車線から侵入させ逆方向から材料供給機に接近させ、運搬用のダンプの作業性を向上させる。
- 長尺鋼管単位で作業を行うので特に支障なく、一車線内作業が実施できることになる。
- 路盤工までの深さを埋め戻すが、作業能率は、土砂搬入量と締固め能率（積層厚）とのバランスで決まる。
- 掘削作業の場合、矢板打ち作業がクリティカルパスとなったが、埋め戻し作業は土砂搬入量がクリティカルパスとなる。

13) 路盤埋め戻し・締固め

- 表層締固め機（5.3.9 参照）を用いて路盤工を行う。
- 多層締固め機で埋設締固めされた掘削溝は道路路盤と舗装を残す状態になり一連の建機は次の工区に移動している。
- 表層締固め機は、自走タイヤ式で路盤用碎石を必要層厚ごとに繰り返し締固め可能である。
- 従来の手動式コンパクターに比べ優れた施工性を持ち、効率施工が出来る。
- 碎石搬入は 4 トンダンプで機動的に行う。

14) 舗装本復旧

- 在来工法で行う。工事施工延長が長いと作業がまとめて行えるため効率施工となる。

5.4.2 施工計画の具体例

1) 施工諸元

①鋼管寸法：	外径 508.0mm、管厚 11.91mm、管長 12,000mm、単重 1,746kg
②占用延長：	2週間分（10日分）
③目標施工高：	48m/日、60m/日、120m/日の3ケース
④埋設深さ：	1,200mm（地表面より管頂までの距離）
⑤作業時間：	午前9時～午後5時
⑥施工条件：	1車線内施工、片側交互通行確保

2) 施工数量

施工スピード48m/日、60m/日、120m/日の3ケースについて、対応する数量をシステムフローごとに算出し、表5.1にまとめた。

		基準量	単位	48m/日	60m/日	120m/日
1	作業ヤード設置					
	鋼管仮置き	4週間分	本	80	100	200
	舗装ガラ一時保管	4週間分	m ³	115	144	288
	掘削土砂一時保管	1週間分	m ³	492	615	1230
	仮設資材仮置き	200m分	セット	70	70	70
	建設機械保管					
	埋め戻し土砂一時保管	2週間分	m ³	784	980	1960
	鋼管溶接加工ヤード	20本分				
	管理事務所					
	駐車場					
2	占用延長	2週間分	m	480	600	1200
3	舗装切断	1週間分	m	480	600	1200
4	鋼管事前配列	1週間分	本	20	25	50
5	舗装盤撤去	1週間分	m ³	288	360	720
6	溝掘削	日進	m ³	98	123	246
7	矢板打ち	日進	セット	160	200	400
8	自動切梁設置	日進	セット	16	20	40
9	鋼管横移送	日進	本	4	5	10
10	鋼管溶接	日進	本	4	5	10
11	吊り下ろし	1週間分	m	240	300	600
12	埋め戻し	1週間分	m ³	240	300	600
13	本復旧					

表 5.1 クイックパイプライン工法（QPL 工法）施工数量算定表

5.4 まとめ

- 1) 日本でのガスパイプラインの施工能率を向上し、工事コスト低減を達成するため、

クイックパイプライン工法（QPL 工法）を考案した。

2) QPL 工法は、専用建設機械・仮設材の開発とこれら建機類を活用したシステム構築の二段階で構成される。

3) 開発した QPL 工法専用建設機械・仮設材は、下記の種類である。

- 連続溝掘削機
- 自動矢板打ち機
- 簡易自動切梁装置（仮設材）
- パイプ敷設クレーン
- パイプ工作車
- パイプ吊下しクレーン
- 多層締固め機 1 号機、2 号機
- 材料供給機
- 表層締固め機

4) 各建機・仮設材は試作・改良の結果、所期の性能が出ることを確認した。

5) QPL 工法の標準システムフローは下記の手順である。

- 作業ヤード設置
- 地下埋設物事前調査・工事許可取得
- 舗装切断
- 鋼管事前搬入
- 舗装撤去・搬出
- 溝掘削 (連続溝掘削機)
- 矢板打ち・予備切梁施工 (自動矢板打ち機)
- 支保工設置 (簡易自動切梁装置)
- 鋼管横移送 (パイプ敷設クレーン)
- 鋼管溶接・検査・塗覆装 (パイプ工作車)
- 長尺鋼管吊下し・切梁盛替 (パイプ吊下しクレーン)
- 埋め戻し・締固め (多層締固め機 1 号機、2 号機)
(材料供給機)
(表層締固め機)
- 仮舗装

6) QPL 工法の標準施工能率を、日進 48m（鋼管 4 本）、60m（鋼管 6 本）、120m（鋼管 10 本）の 3 ケースにつき、施工数量を算定した。

7) 実証試験により QPL 工法の実用性を検証することとした。

第6章 クイックパイプライン工法（QPL 工法）の実証試験

6.1 実証試験の目的

第5章に日本でのガスパイプライン建設の大幅な改善を目指す QPL 工法の専用建設機械類の開発と工法のシステム構成を述べた。

このシステムの適用によりパイプライン建設費を縮減し、ガス輸送コストの低減に貢献することを目指す。

前後三回に亘る実証試験を行い、本工法の実用性について検証した。

第1回；QPL 工法専用開発建機の性能・耐久性確認（6.2）

第2回；QPL 工法のシステム整合性確認（6.3）

第3回；QPL 工法の施工能率確認（6.4）

6.2 第1回実証試験

1) 主たる目的：QPL 工法専用開発建機の性能・耐久性確認

2) 試験明細：

- (1) 工事名称：石油資源開発(株)新潟・仙台間ガスパイプライン計画
- (2) 工事場所：自)新潟県黒川村宮久地内～至)新潟県新発田市上寺内地内（胎内地区）
- (3) 道路名称：北蒲原広域農道
- (4) パイプライン仕様：
 - 外径 508.0mm
 - 管厚 11.91mm
 - 管長 11,000mm（1,746.96kg）
 - 管種 API5L—X60 グレード
- (5) 試験工区延長： 1,115m
- (6) 工事期間：平成5年6月～平成5年12月 延べ95日間

3) 試験条件

- (1) 道路種別；農水省管轄の広域農道（完成間もない新設区間）。
- (2) 道路形状；直線・対面二車線（果樹林を縦断する丘陵地）。
- (3) 地下埋設物；道路管理用施設・農業配水施設のみ。
- (4) 交通量；きわめて少ない。（平行して既設の幹線国道あり）
- (5) 地下水位；丘陵地の沢地以外掘削深さ以下。
- (6) 土質；盛土部、切土部の二条件。（切土部に一部玉石交じり砂質土あり）
- (7) 一車線内施工；可能（道路路肩は、果樹林、牧草地が多く、鋼管仮置きスペースあり）。
- (8) 工事占用延長；500m 許可。

4) 試験項目

- (1) 開発建機類性能・操作性計測；
- (2) 開発建機類耐久性計測
- (3) 施工能率計測
- (4) パイプライン品質管理

5) 施工計画

- (1) 埋設位置；一車線内に建機幅が収まる位置にパイプラインセンターを取り、道路線形に沿って敷設する。
- (2) 舗装切断；QPL 工法適用延長について先行切断した。
- (3) 適用単位延長；100m 以上。(100m 以下は在来工法適用)
- (4) 鋼管；路肩排水溝部の角材上に掘削前にレッカーで配管仮置きする。
- (5) 鋼管曲げ加工；道路線形にあわせ、ヤードにてベンダー加工して搬入する。
- (6) 矢板カートリッジ；掘削前に路肩仮置きする。
- (7) 簡易自動切梁装置；掘削前に路肩仮置きする。
- (8) 作業手順；一般車両進行方向にシステム順に作業する。
- (9) 作業時間；午前 9 時～午後 5 時。

6) 実証試験結果

(1) 連続溝掘削機

A) 作業手順；

- ① エンジンをスタートする。
- ② 掘削位置に配置（自走）する。
- ③ 10T ダンプトラックを配置する。
- ④ 放出コンベアを作動開始させる。
- ⑤ スラッターコンベアを作動開始させる。
- ⑥ スラッターコンベアを 60 度回転し、地中に降下させながら掘削開始する。
- ⑦ 掘削深さ 2,300mm まで掘削しながら降下させる。
- ⑧ 掘削線形に沿って掘削前進開始する。
- ⑨ 10T ダンプトラックに放出コンベア経由連続して積み込む。
- ⑩ 随時、停止・再稼動可能。

B) 運転状況；きわめて順調に作動し、特にトラブルなし。

C) 掘削能力；毎分 1m（土量 2.3m^3 ）以上（幅 1,000mm×深さ 23,000mm の溝）。

D) 曲線掘削；50mR（半径）に対し、掘削、積み込み作業ともに順調。

E) 積み込み能力；10T ダンプトラック 1 台（ 6m^3 ）積み込み 2-3 分。

F) 最高掘削日進延長；47.0m（土砂量 $2.3\text{m} \times 47.0\text{m} \times 1.3 = 140\text{m}^3$ ）。

G) 1 車線内施工；充分対応可能。

H) 図 6.1、図 6.2 に施工状況を示す。



図 6.1 連続溝掘削機
溝掘削状況（掘削機後方より）



図 6.2 連続溝掘削機後方より
（スラッターコンベアと走行用キ
ャタピラー）

(2) 自動矢板打ち機

- A) 作業手順；(連続溝掘削機と連係運転し、掘削直後に矢板施工。)
- ① エンジンをスタートする。
 - ② 連続溝掘削機の背後に近接して配置する。
 - ③ リーダーデリックを直立させる。
 - ④ 矢板カートリッジを矢板供給装置に積み込む。
 - ⑤ 矢板をアームで掴み、アーム台をトロリーに沿って移送する。
 - ⑥ リーダーデリック位置で矢板を垂直にする。
 - ⑦ 打込み機爪に矢板をチャックさせる。
 - ⑧ 矢板内押さえで矢板を溝内壁に添わせる。
 - ⑨ 打込み機を降下させながら、起振機（バイブレータ）で圧入させる。
 - ⑩ 予備切梁装置に水圧ジャッキ式切梁をセットする。
 - ⑪ 搬送用レールで圧入された矢板位置に移送する。
 - ⑫ 矢板頂部に切梁を作動取り付けする。
 - ⑬ 建機を移動する。
- B) 矢板打ち作業；個々の機械的機能は順調であったが、油圧シーケンス制御の初期故障発生。掘削作業停止の一因となった。修理後は順調稼動。
- C) 矢板打ちサイクルタイム；約 60 秒。但し矢板カートリッジの矢板供給装置への 5T レッカーでの搭載に手間取り、作業中断が多発。
- D) 予備切梁装着作業；初期故障改善後は順調。クリティカルパスではない。
- E) 土留支保性能；土質状況を作業者が確認しながら、矢板打ちピッチを決めた。土砂崩落防止効果は充分発揮した。
- F) 1 車線内施工；特に問題なし。
- G) 図 6.3・図 6.9 に施工状況を示す。

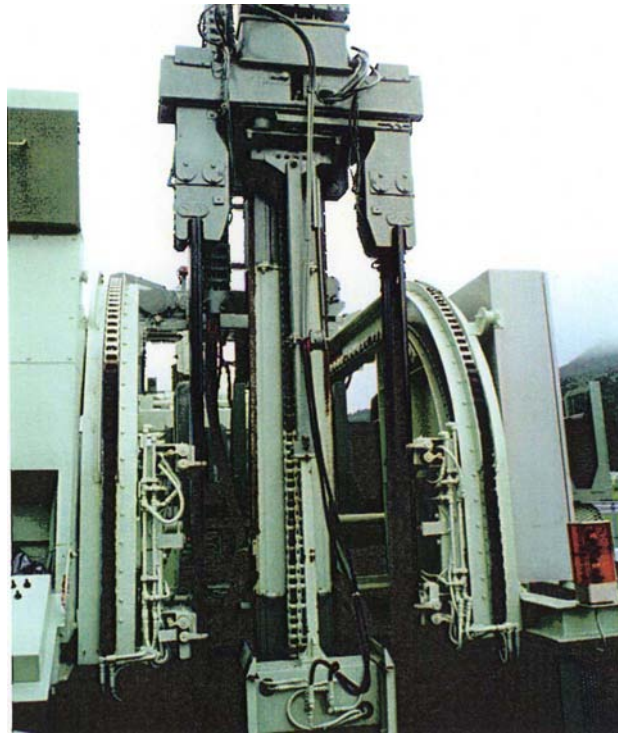


図 6.3 自動矢板打ち機
(中央にリーダデリック、打込み機、矢板チャック、矢板)

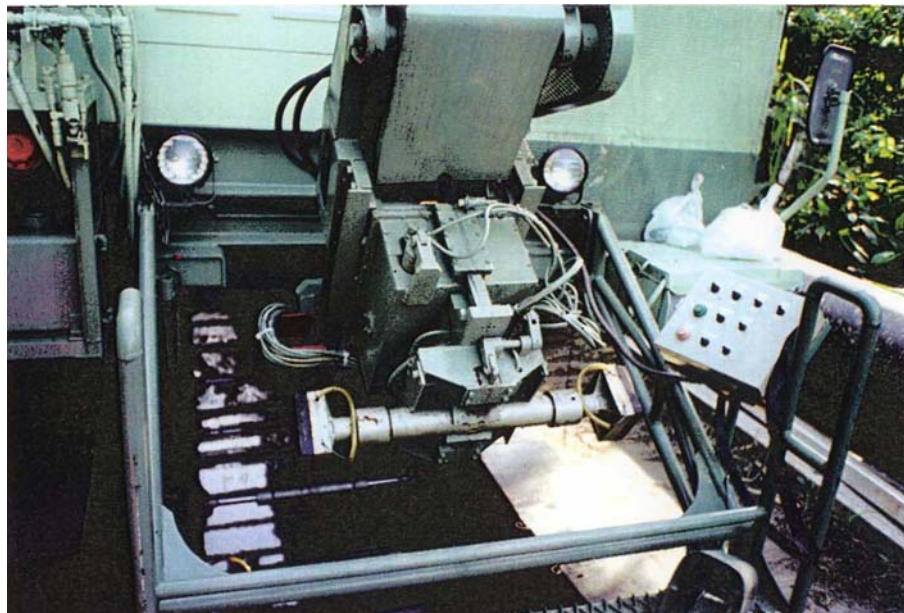


図 6.4 予備切梁装置と水圧ジャッキ式切梁



図 6.5 矢板内押え装置（作動中）



図 6.6 矢板及び仮切梁設置状況

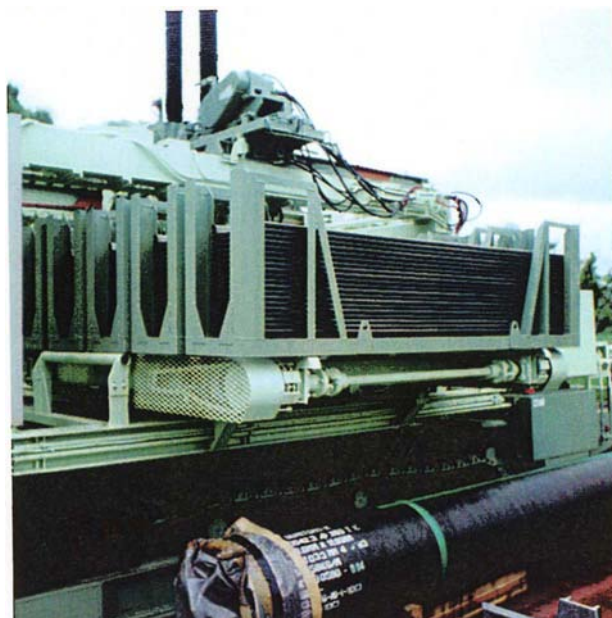


図 6.7 矢板カートリッジ積み込み

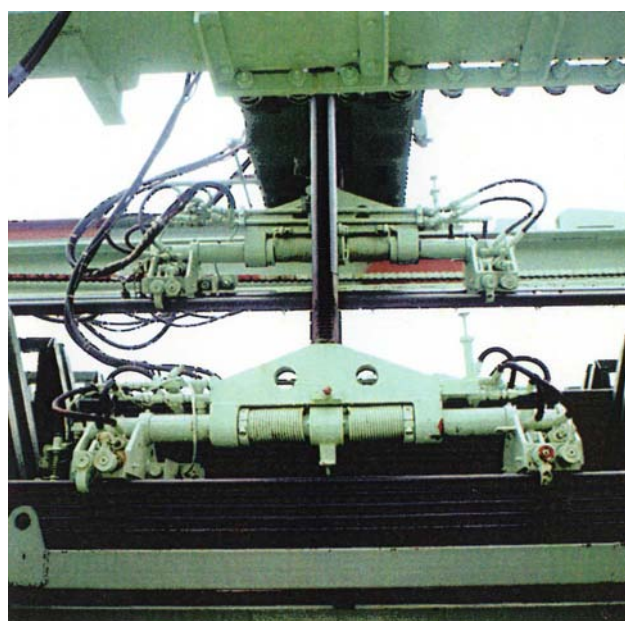


図 6.8 矢板移送用アーム

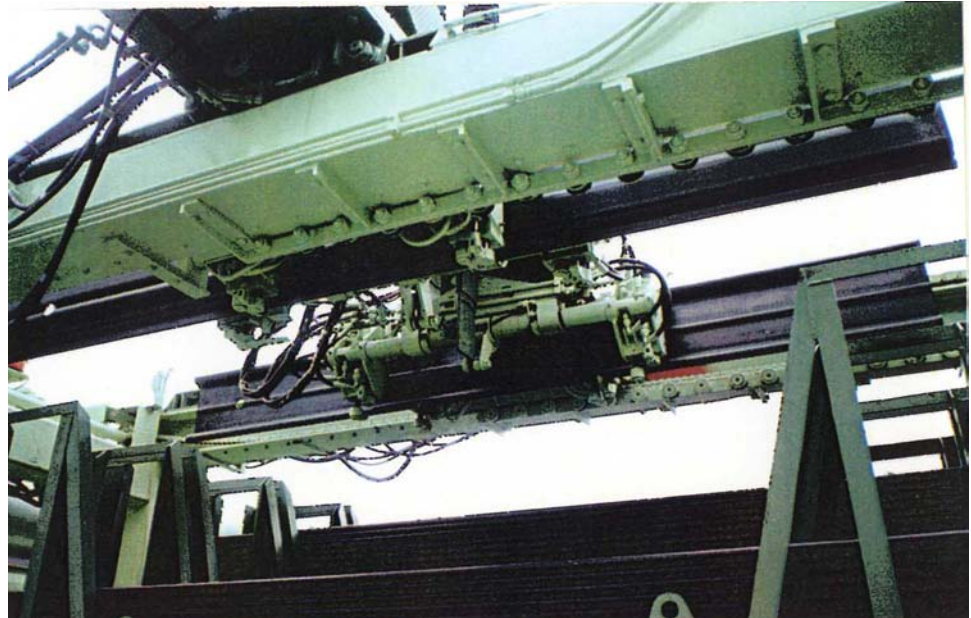


図 6.9 矢板及びアーム（トロリー移送中）

(3) 簡易自動切梁装置

- A) 吊り込み方法；連結保持具で一体化（70kg）したまま 5T レッカーで吊り、
所定位置に吊りこむ。
- B) 切梁作動作業手順；
 - ① 作業者 2-3 名の溝内作業によりアルミ製腹起し材をはめ込む。
 - ② 連結保持具を撤去する。
 - ③ 水圧ジャッキを作動させ、矢板を固定する。
 - ④ 予備切梁を撤去する。
- C) 作業時間；約 10 分（腹起し 2 本取り付け、水圧ジャッキ 2 本作動、仮切
梁 1 本撤去の総合計時間）。
- D) 地下作業；予備切梁のために安全施工が可能。
- E) 図 6.10－図 6.11 に施工状況を示す。

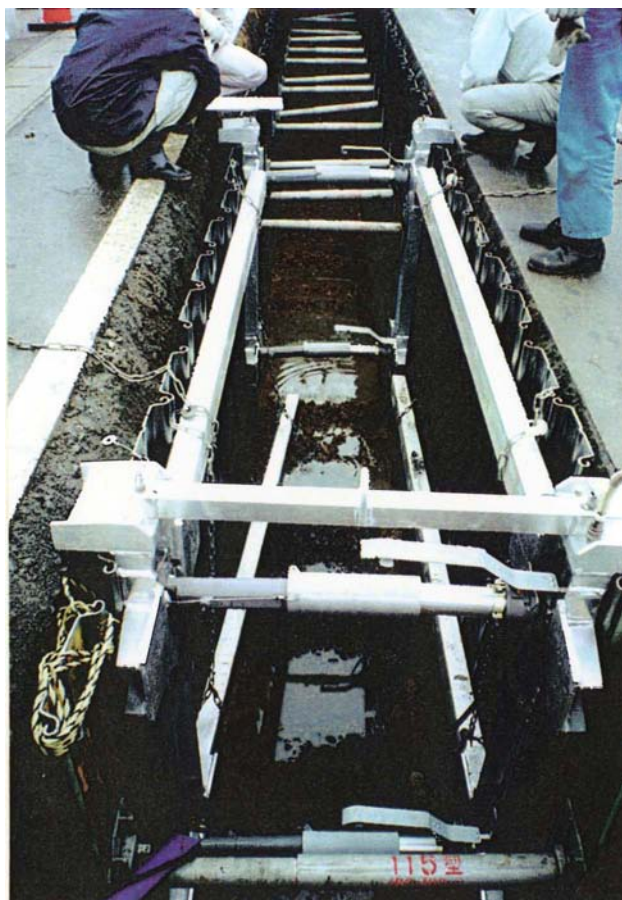


図 6.10 簡易自動切梁
(連結保持具と二段切梁、腹起し設置状況)

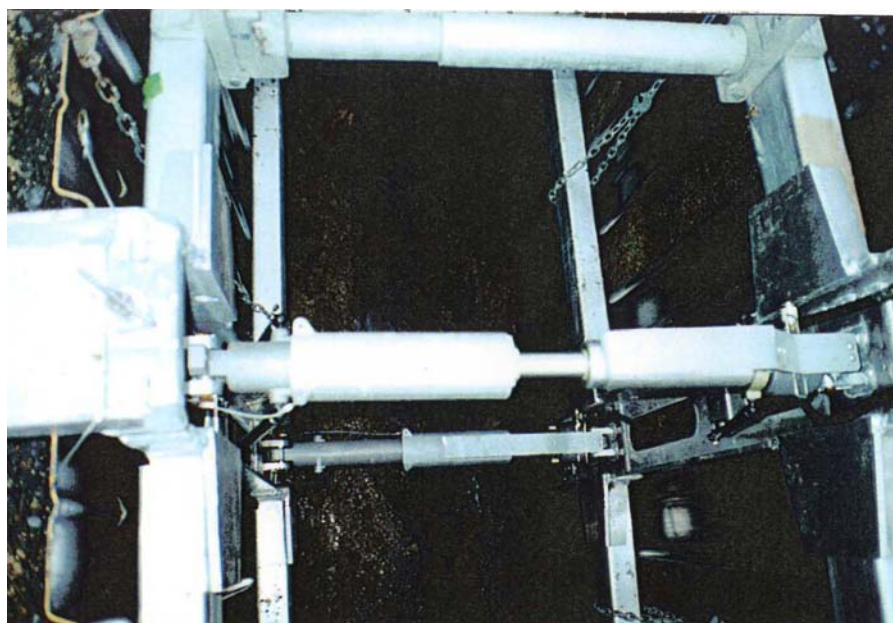


図 6.11 簡易自動切梁 (水圧ジャッキ部安全筒撤去状況)

(4) パイプ敷設クレーン

A) 作業手順

- ① エンジンスタート。
- ② 掘削溝を跨ぎ、自走する。
- ③ 鋼管仮置き位置に停止する。
- ④ 鋼管外側までアウトリガブームを伸ばす。
- ⑤ アウトリガーを降下させ、地上にしっかりと固定させてスイングタイヤを浮かせる。
- ⑥ スイングタイヤを 95 度回転させる。
- ⑦ クランプリフターを鋼管位置に移動する。
- ⑧ クランプリフターを降下させる。
- ⑨ クランプで鋼管を掴み上昇させる。
- ⑩ 鋼管を溝上まで移動させる。
- ⑪ スイングタイヤを戻す。
- ⑫ アウトリガーを上昇させる。
- ⑬ アウトリガブームを縮める。
- ⑭ 鋼管を掘削溝上に仮置きする。
- ⑮ 次作業位置に自走させる。

B) 作業状況；手順どおり順調に作動した。

- ① 全作業とも油圧駆動で円滑な動作が得られた。
- ② アウトリガブーム・アウトリガーは、二組あり、作動は同期している。
- ③ クランプリフター・クランプは、二組あり個別作動可能で鋼管の仮置き状況に柔軟に対応できた。
- ④ 鋼管横移送時の建機安定性は、特に問題なかった。
- ⑤ 鋼管をクランプした状態で自走可能で、仮置き場所にも自由度があった。

C) 作業時間；10 分程度。1 時間 4~5 本移送可能。

D) 1 車線内作業；レッカー作業が不要のため、問題なし。

E) 図 6.12ー図 6.14 に施工状況を示す。



図 6.12 パイプ敷設クレーン
(アウトリガー設置、スイングタイヤ旋回)



図 6.13 パイプ敷設クレーン (スイングタイヤ旋回開始)



図 6.14 パイプ敷設クレーン（パイプ横移送中）

(5) パイプ工作車（TIG 溶接車）

A) 作業手順（パイプ敷設クレーンを同時に活用）

- ① パイプ工作車を既設鋼管の管端位置に配置する。
- ② パイプ敷設クレーンで接合する鋼管を工作車に挿入する。
- ③ 工作車内装備のアウトークランプとパイプ敷設クレーンの微調整機能により芯出し作業を行う。
- ④ 芯出し作業が完了したら、溶接士 2 名で手動 TIG 溶接を開始する。
- ⑤ TIG 溶接二層完了後、工作車を次作業位置に移動させる。

B) 作業状況；

- ① 芯出し作業；アウトークランプが梁に吊下げられており、鉄工二名の作業から重筋作業がなくなった。
- ② 芯出し作業時間；10 分程度で可能（従来作業は、30 分以上）。
- ③ TIG 溶接作業；溶接士二名が半周ずつ施工するが、照明・換気装置により環境良好。
- ④ 溶接時間；TIG 二層で 60 分以内。作業日あたり 10 箇所可能。
- ⑤ 安全施策；工作車下部に作業用足場常設。

C) 図 6.15－図 6.16 に作業状況を示す。



図 6.15 パイプ工作車
(パイプ芯出し作業、中央にパイプアウタークランプ)



図 6.16 パイプ工作車
(T I G溶接作業中、溶接士 2 人同時施工中)

(6) パイプ工作車 (MAG 溶接車)

A) 作業手順 ;

- ① 工作車を TIG 溶接完了溶接部に移動する。
- ② MAG 自動溶接用ガイドレールを取り付ける。
- ③ MAG 自動溶接を実施する。
- ④ 溶接完了後、検査作業、塗覆装作業を実施する。
- ⑤ 次作業位置に移動する。

C) 作業状況 ;

- ① ガイドレール取り付け作業 ; 吊下げビームにより重筋作業軽減可能。
- ② 溶接作業 ; 遮蔽があり風雨の影響なし、かつ照明・換気装置により環境良好。

D) 作業時間 ; ガイドレール取り付け～溶接完了 (実溶接時間) 40~60 分。

E) 図 6.17ー図 6.18 に作業状況を示す。



図 6.17 パイプ工作車
(MAG 自動溶接用ガイドレール及び溶接機)

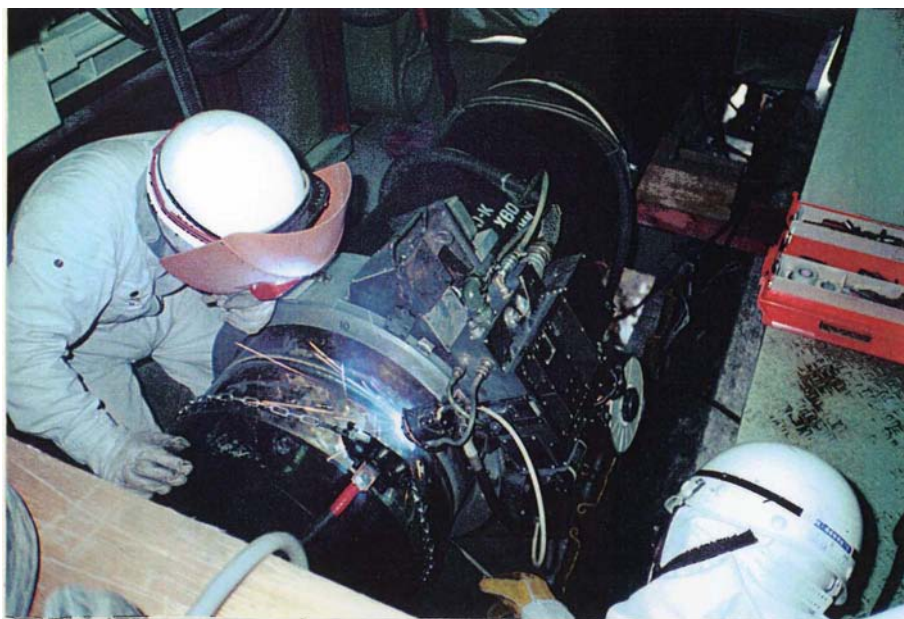


図 6.18 MAG 自動溶接施工中

(7) パイプ吊下しクレーン

A) 作業手順；

- ① パイプ吊り下しクレーンをパイプライン一端より許容荷重の範囲で均等間隔に数台配置し、吊上げる。
- ② 簡易自動切梁の安全筒をはずす。
- ③ パイプライン一端より斜めに順次掘削溝内に吊下げ開始する。
- ④ パイプラインが簡易自動切梁の上部水圧ジャッキの水抜きレバーを押し下げ、ジャッキが折半される（自動）。
- ⑤ パイプラインが通過した後、上部水ジャッキを再作動させる（手動）。
- ⑥ さらにパイプラインを降下させ下部水ジャッキを折半（自動）・再作動（手動）させる。
- ⑦ パイプラインが所定の溝内位置に吊下げられるまでパイプライン方向に作業を繰り返す。

B) 作業状況；

- ① 吊り下げ作業方式；パイプラインの長さにより鋼管の弾性撓みを利用して一旦より順次吊下げ可能。
- ② 簡易自動切梁盛替え作業；複数名の作業者が手動にて再作動させる。

C) 吊下げ作業時間；吊下げるパイプライン長さと切梁の盛替え作業時間によるが 1~2 時間で完了可能。

D) 1 車線内作業；きわめて有効な建機であること実証された。

E) 図 6.19ー図 6.21 に作業状況を示す。



図 6.19 パイプ吊下しクレーン
(吊り下げ作業中、上部切梁復旧作動直後)



図 6.20 パイプ吊下しクレーン
(吊下げ中、下部切梁押下げ折半中)



図 6.21 パイプ吊下しクレーン（吊下げ作業完了）

(8) 多層締固め機 1 号機、2 号機、材料供給機

A) 作業手順；

- ① パイプラインの吊り下ろしが完了した掘削溝の埋設開始端に多層締固め機 1 号機、2 号機、材料供給機の順に配置し、11m 二連コンベアで連結する。
- ② 全機械のエンジンをスタートさせる。
- ③ 10T ダンプトラックから埋め戻し用土砂を材料供給機ホッパーに投入する。
- ④ 二連スラッターコンベア～二連前方ベルトコンベア経由で、締固め機上部搭載の 11m 二連ベルトコンベアに輸送する。
- ⑤ コンベアに付属するトリッパーで土砂を締固め機 1 号機、2 号機夫々のホッパーから掘削溝内に投入する。
- ⑥ 締固め作業直前に簡易自動切梁装置および腹起しを作業者がレッカーの助けで撤去する。
- ⑦ 1 号機のホッパーから投入された土砂は、1 号機の 3 連タイヤローラーで敷き均された上、3 連バイブロ・コンパクターで締固める。
- ⑧ さらに 2 号機のホッパーから投入された土砂を 3 連バイブロ・コンパクターで締固め、多層締固め効果を発揮させる。
- ⑨ 11m 長さ単位で必要埋設深さまで繰り返し作業を行う。

⑩ 11m 完了後、建機を移動させ埋め戻し・締固め作業を反復させる。

B) 作業状況；

① 土砂搬送作業；二連コンベアの運転は別途制御可能なため土砂配分を可変に出来る。

② 締固め作業；層厚を管理しながら多層締可能で十分な性能が得られた。

③ 簡易自動切梁装置撤去作業；手動作業のため安全上の留意が必要であった。

④ 道路線形対応；11m 長さで作業可能なため十分なゆとりがあった。

⑤ 土砂搬入作業；10T ダンプによる搬入が締固め作業に追いつかなかった。

C) 締固め性能；層厚 300mm で十分な性能が得られた。

D) 能率；日進 65m 達成。

E) 1 車線内施工；11m ベルトコンベアで可能となった。

F) 図 6.22－図 6.28 に作業状況を示す。



図 6.22 3機連結作業状況
(上部に11m2連ベルトコンベア)



図 6.23 材料供給機
(ホッパーと2連スラッターコンベア)

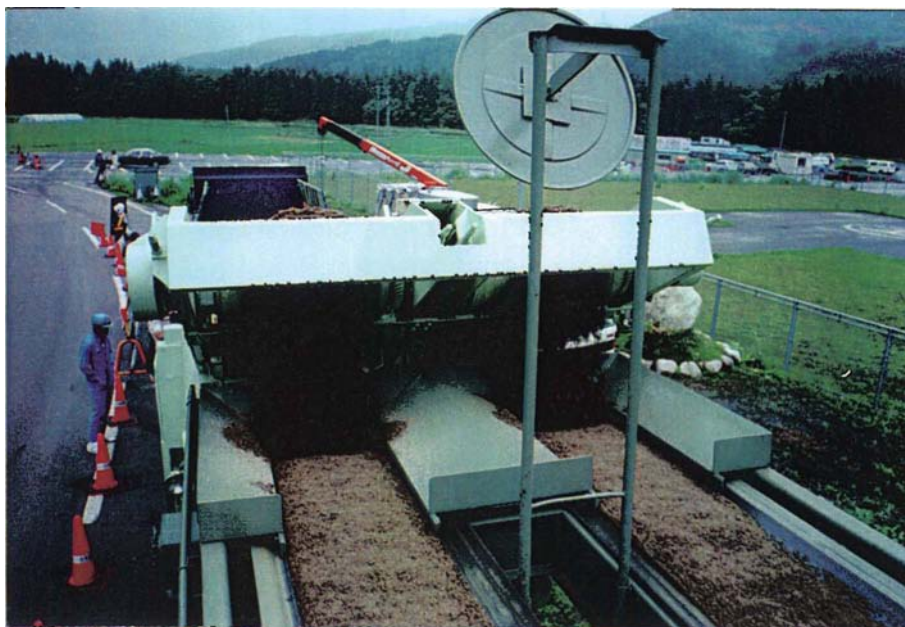


図 6.24 材料供給機
(2連前方ベルトコンベア)



図 6.25 11m上部 2 連ベルトコンベア（中央にトリッパ）



図 6.26 締固め機ホッパー
（埋め戻し土投下排出中）

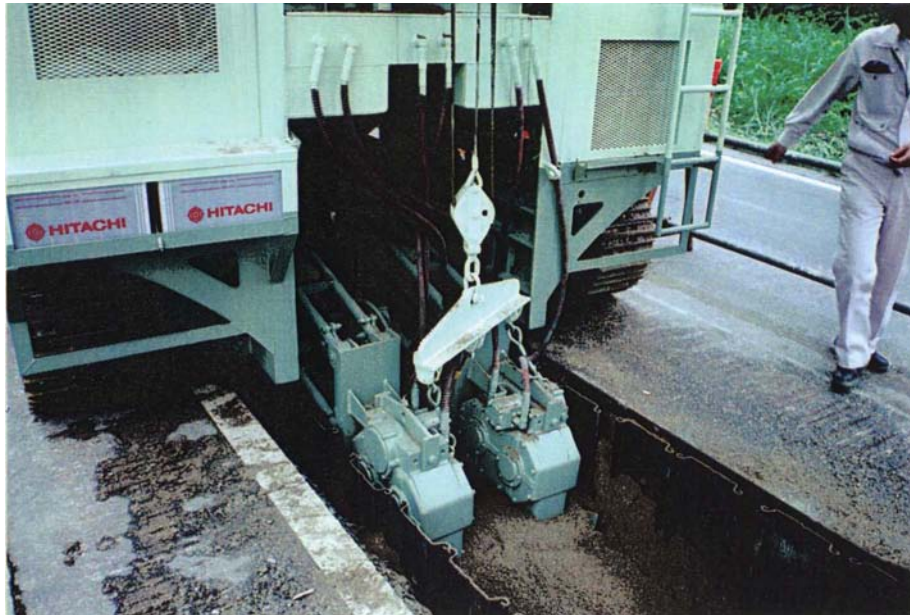


図 6.27 締固め機 1 号機 3 連コンパクター
(奥に 1 台あり)



図 6.28 締固め機 1 号機後方より) (標識シート埋設中)

(9) 表層締固め機

A) 作業手順

- ① 路盤材の締固め作業に活用する（層厚 300mm）。
- ② 簡易鋼矢板をレッカーで撤去する。
- ③ 小型側転ダンプで路盤材を埋め戻しする。
- ④ 表層締固め機で反復締固め施工する。

B) 作業状況；

- ① 作業性；ゴムタイヤ式で路上走行のため操作が容易であった。
- ② 締固め性能；従来のハンドランマーに比べ、能率も格段に向上し、締固め性能も良好であった。

C) 図 6.29ー図 6.30 に作業状況を示す。



図 6.29 表層締固め機前方より（締固め作業中



図 6.30 表層締固め機（2 連コンパクター）

7) 施工能率のまとめ

第 1 回は開発建機の性能・耐久性確認が主たる目的であったが、施工能率についても可能な限りデータを取得するように努めた。

結果を要約すると、

● 延べ施工延長	1,115m
● 施工日数	95 日
● 平均日進量	16.16m
● 掘削：最高日進量	47.0m
稼働日当り平均	15.32m
● 溶接：最高日進量	44.0m（4 箇所）
稼働日当り平均	34.87m
● 埋め戻し：最高日進量	65.0m
稼働日当り平均	26.97m
● 同日施工最高出来高：掘削	6.0m
溶接	11.0m
吊り下ろし	11.0m
埋め戻し	29.0m

6.3 第 2 回実証試験

1) 主たる目的：QPL 工法のシステム整合性確認

2) 施工明細：

- (1) 工事名称：石油資源開発㈱新潟・仙台間ガスパイプライン計画
- (2) 工事場所：山形県東置賜郡川西町大舟地内
- (3) 道路名称；川西町町道
- (4) パイプライン仕様；外径 509.0mm
管厚 11.91mm
管長 11,000mm (1,746.96kg)
管種 API5L—X60 グレード
- (5) 試験工区延長： 1,866m (1 期 927m、2 期 939m)
- (6) 工事期間：平成 6 年 7 月～平成 6 年 10 月 延べ 59 日間 (1 期 29 日、2 期 30 日)

3) 試験条件；

- (1) 道路種別；山形県川西町町道
- (2) 道路形状；狭い二車線道路で、緩やかな坂とカーブの連続。
- (3) 地下埋設物；水道管、電話線あり。埋設位置は、拡幅道路のため不明。
- (4) 交通量；町民の生活道路。通過大型車両は殆どなし。
- (5) 地下水位；深さ 1,500mm。
- (6) 土質；丘陵地から水田地帯を通る粘土質シルト。
- (7) 一車線内施工；可能であるが、路肩部より掘削溝を施工。(QPL 工法の適用限界か？)
- (8) 工事占用延長；300m 許可。但し一車線交互通行の確保、農繁期 (田植え、稲刈り) は中断が条件。

4) 試験項目：

- (1) QPL 工法のシステム的な整合性の計測
- (2) 開発建機耐久性計測
- (3) 施工能率計測
- (4) パイプライン品質管理

5) 施工計画

- (1) 埋設位置；狭い二車線道路のため、できるだけ路肩より掘削センターを取り、大型車両 (QPL 工法用建機含む) 通行可能な道幅を確保する。
- (2) 舗装切断；QPL 工法適用全延長に亘り先行してカッター切断する。
- (3) 適用単位延長；工事占用延長 300m に合わせ、掘削・土留作業、配管・溶接・吊り下し作業、埋め戻し・締固め作業の 3 工区で独自に施工する。
- (4) 鋼管・矢板カートリッジ・簡易自動切梁仮置き；掘削作業前に実施する。

- (5) 鋼管曲げ加工；道路線形にあわせ、ヤードにてベンダー加工する。
 - (6) 試験堀；拡幅道路のため地下埋設物位置確認の試験堀を多用する。
 - (7) 作業時間；午前 9 時～午後 5 時（標準）
- 6) 実証試験結果
- (1) 資機材仮置き作業
 - A) 作業ヤード；鋼管集積、ベンダー加工、建機・仮設材保管、工事事務所のため設置。
 - B) 資機材仮置き；狹隘道路のため路肩に並列配置不可。近隣の空き地にまとめ置きし、5T レッカーとパイプ敷設クレーンにより掘削溝に沿って縦移送。
 - (2) 掘削・土留作業
 - A) 使用建機類；
 - ① 連続溝掘削機
 - ② 自動矢板打ち機（予備切梁装置）
 - ③ 矢板カートリッジ（簡易鋼矢板）
 - ④ 予備切梁（水圧ジャッキ）
 - ⑤ 簡易自動切梁装置
 - ⑥ 10T ダンプトラック（掘削土砂搬出用）
 - ⑦ 5T レッカー（矢板カートリッジ積込用）
 - B) 施工能力の調整；連続溝掘削機の能力にあわせ、矢板カートリッジ積込、土砂搬出用ダンプの稼動を計画。
 - C) 掘削・土留作業能率；最大日進量 85m ($2.3 \times 85 = 195.5\text{m}^3$)、ダンプ 45 台換算。
 - D) 掘削土性状；地下水位の高い粘土質シルトのためスラッターコンベアへの付着、掘削溝壁の崩落による中断発生。対策検討必要。
 - (3) 配管・溶接・鋼管吊下ろし作業
 - A) 使用建機類
 - ① パイプ敷設クレーン
 - ② パイプ工作車（TIG 溶接車）
 - ③ パイプ工作車（MAG 自動溶接車）
 - ④ パイプ吊り下しクレーン
 - ⑤ 簡易自動切梁装置
 - B) 配管作業；パイプ敷設クレーンで鋼管を掘削溝上に横移送するとともに溶接作業のために溝方向に自走させて整列配管。
 - C) 溶接作業；TIG 溶接車とパイプ敷設クレーンにより芯出し作業を円滑化。
 - D) 溶接能率；日進溶接 5 箇所（パイプライン延長 66m）。
 - E) 吊り下し作業；簡易自動切梁の自動折半機能とパイプ吊り下しクレーン 5 台の

活用で安全に施工完了。

F) 吊り下し能率；100～150m パイプラインを 2～3 時間で吊り下し完了。

G) 1 車線内施工；特に問題なし。

(4) 埋め戻し・締固め作業

A) 使用建機類；

① 多層締固め機 1 号機

② 多層締固め機 2 号機 (11m ベルトコンベア)

③ 材料供給機

④ 5T レッカー (簡易自動切梁装置撤去用、簡易鋼矢板引抜き用)

⑤ 表層締固め機

⑥ 10T ダンプトラック (埋め戻し土砂運搬用)

⑦ 6T 側転ダンプトラック (路盤材運搬用)

B) 建機輸送；建機搬入・搬出時トレーラーによる一時的交通遮断あり。

C) 作業状況；土砂搬入ダンプの運行計画を詳細に立案実行した結果、円滑施工達成。

D) 埋め戻し能率；最大日進量 115m (土砂量 $2.3 \times 115 \times 1.3 = 344\text{m}^3$ 、ダンプ 58 台分)

E) 表層締固め作業；独立作業として、6T 側転ダンプで路盤材運搬、ハンドコンパクターと表層締固め機で併用転圧。

(5) QPL 工法全体を通して

A) 作業単位の細分化；3 グループに細分して管理することで、工事占用延長の短縮が可能となった。

B) 施工時対策；地元への事前説明の徹底、迂回路の設置、通行車両・通行者優先の励行により信頼関係の醸成が必要であった。

C) 地下埋設物対策；道路拡幅時出来型図の未整備による給水管の破損を発生させた。試験堀の徹底不足を反省する。

D) 埋設後の地盤沈下；長期間後での圧密沈下が殆どゼロであった (道路管理者からの評価大)。

7) 施工能率のまとめ

QPL 工法のシステム構築の検証をするための実証試験であった。

施工期間が 2 期に分かれた。ほぼ等分の施工延長・期間となったので夫々で整理した。

結果を要約すると、

	一期	二期
● 延べ施工延長	927m	939m
● 施工期間	29 日	30 日
● 平均日進量	32.6m	31.2m
● 掘削：最高日進量	85m	70m
稼働日当り平均	40.3m	42.7m
● 溶接：最高日進量	44m (4 箇所)	55m (5 箇所)
稼働日当り平均	25.3m (2.3 箇所)	38.5m (3.5 箇所)
● 埋め戻し：最高日進量	115m	80m
稼働日当り平均	52.6m	49.2m
● 同日施工最高出来高：掘削	85m	
溶接	33m	
吊り下ろし	66m	
埋め戻し	70m	

6.4 第 3 回実証試験

1) 主たる目的：QPL 工法の施工能率確認

2) 施工明細：

(1) 工事名称：石油資源開発(株)勇払・札幌間ガスパイプライン建設工事

(2) 工事場所：北海道恵庭市中央地内～漁太地内

(3) 道路名称：恵庭市市道

(4) パイプライン仕様：外径 355.6mm

管厚 9.5mm

管長 12,000mm (972.96kg)

管種 API5L—X60 グレード

(5) 試験工事延長：1,162m

(6) 工事期間：平成 7 年 6 月～平成 7 年 7 月 延べ 24 日間

3) 試験条件：

(1) 道路種別；北海道恵庭市道。

(2) 道路形状；平坦な南北方向の直線二車線道路（幅員 6.5m の主要市道）。

(3) 地下埋設物；横断水路、配水管路のみ（QPL 工法適用除外）。

(4) 交通量；近隣の田畑への農業関連車両が主体で、通過車両少。

(5) 地下水位；－（マイナス）1.8m。

(6) 土質；ローム質粘土が主で、自立性あり（転石少）。

(7) 一車線内施工；路肩スペース充分あり、民家、工場なし。

(8) 工事占用延長；500m 以上許可取得。

4) 試験項目：

- (1) 土木作業施工能率計測
- (2) 土木工事コストの在来工法との比較検討

5) 施工計画：

- (1) 埋設位置；片側車線（3,250mm）中央を掘削溝（幅 1,000mm）センターとし一車線内施工を確保する。
- (2) 舗装切断；QPL 工法適用延長について先行カッター切断する。
- (3) 適用単位延長；8 箇所（132m、80m、120m、96m、168m、144m、144m 278m）、合計延長 1,162m。
- (4) 鋼管・矢板カートリッジ・簡易自動切梁装置仮置き；掘削作業前に路肩に運搬する。
- (5) 掘削断面；幅 1,000mm、深さ 2,150mm（鋼管径 350A に対応）。
- (6) 目標日進量；110m にて立案する。
- (7) 作業時間；午前 9 時～午後 5 時（標準）。

6) 試験結果：

- (1) 資機材仮置き作業
 - A) 路肩状況；道路肩は法勾配あるが、仮置きスペースは充分。
 - B) 鋼管仮置き；法面に仮設用木杭を打設後、管置き台を設置し、鋼管を QPL 工法適用工区全長に並べた。
 - C) 矢板カートリッジ・簡易自動切梁装置仮置き；必要台数を同様に仮置きした。
- (2) 掘削・土留作業
 - A) 施工手順；適用 8 箇所（132m、80m、120m、96m、168m、144m、144m、278m）、合計延長 1,162m を順に施工した。
 - B) 建機回送方法；工区間（最長 800m）は、路上を自走させたため時間的な無駄は殆どなかった（1 時間以内）。
 - C) 掘削・土留作業能率；作業日あたり、最高 105m、8 時間稼働日平均 93m、全稼働日平均 68m が達成できた（目標 110m は可能）。
 - D) 能率低下要因；掘削機能力は充分であったが、掘削土砂搬出用ダンプ能力、矢板打ち機能力の限界があった。
 - E) 能率向上要因；地下水位が G.L. マイナス 1.8~2.8m と低く、掘削溝底以下の土質がPEAT 層ならびにシルト粘土層で転石も少なく、矢板打設

が容易であった。

(3) 配管・溶接・鋼管吊り下ろし作業

- A) 配管作業；パイプ移送クレーンによる鋼管の横移送作業は円滑に施工できた。
- B) 配管能率；鋼管横移送は、1箇所30分以内で、作業日あたり4～5本は十分な余裕あり。
- C) 溶接作業；契約上の関係で被覆アーク溶接作業となり、パイプ工作車による作業は中止したため評価不能。
- D) 溶接能率；契約条件から稼働日あたり4箇所平均（48m）に制限され、関連作業の能率に大きな影響があった（掘削作業中断、配管作業中断多発）。
- E) 吊り下し作業；最長168mまでの9回実施。作業マニュアルの確立、作業者の習熟により順調に施工できた。

(4) 埋め戻し・締固め作業

- A) 作業状況；開発建機の稼働は順調であったが、簡易自動切梁装置の撤去作業が手動で安全確認のため能率を低下させた。
- B) 作業能率；最高日進量146m（土量437m³、ダンプ73台分）、8時間稼働日あたり平均105m（土量314m³、ダンプ53台分）を達成した。
- C) 能率向上要因；片側一車線交互通行であったが、通過車両が少なく、ダンプ運行が円滑に稼働した。

(5) 作業全体；

- A) 能率制限要因；溶接作業がシステム外のため、1日4箇所平均（48m）となり他の作業を中断せざるを得なかった（QPL工法として8時間稼働日平均110m達成は充分可能）。
- B) 開発建機性能；稼働中故障は少なく、順調に作動した。
- C) 一車線内施工；計画通り達成できた。

7) 施工能率のまとめ

第2回の実証試験でもQPL工法の施工能率のデータが取得され、在来工法に比べ、施工スピードの向上は明瞭に認められたが、狭小道路で種々の制約の基での施工であり、システム確認とコストパフォーマンス検証のため、さらに理想的な条件が期待できる施工場所を選定したのが第3回の実証試験であった。

結果を要約すると、

● 施工延長	1,162m
● 施工期間	24日
● 平均日進量	48.4m
● 掘削：最高日進量	105m

稼働日当り平均	68.4m
● 溶接：最高日進量	84m (12m 管、7 箇所)
稼働日当り平均	49.2m (12m 管、4.1 箇所)
● 埋め戻し：最高日進量	146m
稼働日当り平均	77.5m
● 同日施工最高出来高：掘削	96m
溶接	60m (12m 管、5 箇所)
吊下ろし	144m
埋め戻し	120m

8) 出来形日進工程

QPL 工法のシステム構築を計画して実施した第 3 回実証試験の出来形日進量を計測した。

表 6.1 に QPL 工法の出来形日進表を示すが、結果を分析すると下記のとおりになる。

(1) 実稼働日数；24 日（溶接作業除く）

(2) 平均日進量（m/日）；

- | | |
|--------------|------------------------|
| ① 掘削・土留作業 | 68.4m (12m～105m、17 日) |
| ② 配管・溶接作業 | 49.2m (24m～74m、22 日) |
| ③ 吊り下し作業 | 116.2m (36m～168m、10 日) |
| ④ 埋め戻し・締固め作業 | 77.5m (24m～146m、15 日) |

(3) 掘削・土留作業能率要因；

- ① 占用延長オーバーで 3 日間完全休止。
- ② 本体修理・他作業待ち・地下埋設物調査で 28 時間停機。
- ③ 延稼働時間 126 時間。(時間平均 $1162\text{m} \div 126 \div 9.22\text{m/h}$)
- ④ 8 時間稼働日；最高 105m、平均 93m (目標 110m)。

(4) 溶接作業能率要因；

- ① 契約条件が出面常庸清算（勤務時間支払い、溶接数無関係）のため（平均 4 箇所、49.2m）。

(5) 吊下し作業能率要因：長尺パイプラインの撓み吊下げ方式の実施。

(6) 埋め戻し・締固め作業能率要因；

- ① 8 時間稼働日；最高 146m、平均 105m。

表6.1

QPL工法日進施工表

暦日	掘削		溶接		吊り下ろし		埋め戻し		仮舗装	
	日進量	累計	日進量	累計	日進量	累計	日進量	累計	日進量	累計
	m	m	箇所	箇所	m	m	m	m	m	m
1	12									
2	85	97								
3	96	193	2							
4	65	258	4	6						
5										
6			4	10	132					
7	67	325	5	15			66			
8	57	382	5	20	80	212	66	132	66	
9			5	25			10	142	66	132
10	94	476	4	29	120	332	24	166		
11			4	33						
12										
13			1	34	96	428	98	264	80	212
14	88	564	1	35			138	402		
15	105	669	6	41			50	452	120	332
16	70	739	7	48	36	464				
17	36	775	4	52	132	596	72	524	96	428
18	12	787	5	57			50	574	40	468
19										
20										
21	96	883	5	62	144	740	120	694	70	538
22	37	920	4	66			46	740	66	604
23	100	1,020	4	70	144	884			72	676
24	80	1,100	5	75			100	840	64	740
25			2	77						
26										
27	62	1,162	6	83			44	884	72	812
28			4	87	110	994			72	884
29			4	91						
30					168	1,162	146	1,030		
31							132	1,162		
32									102	986
33										
34									176	1,162
合計	1,162		91		1,162		1,162		1162	

6.5 実証試験結果のまとめ

全 3 回の実証試験の施工能率データを、表 6.2 にまとめて整理した。

表6.2 QPL工法実証試験施工能率一覧表

		第1回	第2回		第3回
			1期	2期	
		新潟県新発田市胎内地区	山形県川西町大舟地区		北海道恵庭市漁太地区
施工延長		1,115m	927m	939m	1,162m
施工期間		95日	29日	30日	24日
管種		APIX60	APIX60		APIX60
鋼管寸法	外径	508.0mm	508.0mm		355.6mm
	肉厚	11.9mm	11.9mm		9.5mm
	管長	11m	11m		12m
	単重				
平均日進量		11.16m	32.6m	31.2m	48.4m
掘削	最高日進量	47.0m	85m	70m	105m
	稼働日当り平均	15.32m	40.3m	42.7m	68.5m
溶接	最高日進量	44m	44m	55m	84m
	稼働日当り平均	34.87m	25.3m	38.5m	49.2m
埋め戻し	最高日進量	65.0m	115m	115m	146m
	稼働日当り平均	26.97m	52.6m	49.2m	77.5m
同日施工 最高出来高	掘削	6m	85m		96m
	溶接	11m	33m		60m
	吊り下ろし	11m	66m		144m
	埋め戻し	29m	70m		120m

エ

ラー！リンクが正しくありません。

3 回の実証試験を通じ、明らかに出来たことは次のとおりである。

- 1) 開発建機の性能；充分な能力を持つことが実証できた。作業中の故障を防止するため、消耗部品の定期的交換、始業時点検マニュアルの整備を行う必要がある。
- 2) 適用道路；片側交互通行の可能な 2 車線以上の道路とする。
- 3) 掘削土砂の搬出、埋め戻し土砂の搬入方法；待ち時間の短縮を図る必要がある。
- 4) 工事占用延長；500m、少なくとも 300m あり、昼間（午前 9 時～午後 5 時）の作業時間を確保できる場所を選定する。
- 5) 溶接作業能率；制限作業とならないように施工計画を立案する。
- 6) 風雨による稼働率の低下は、防げる。
- 7) 地山の土質条件の事前調査；綿密に実行し、必要なら掘削前矢板打ち、地盤改良、地下水位低下等の補助工法を検討する。
- 8) 地下埋設物の事前調査；充分行い、施工に入ってからトラブルを防止する。

6.6 QPL 工法便益試算

3 回の実証試験において、QPL 工法用開発建機の性能・耐久性を確認し、QPL 工法のシステム的な実行により、在来工法に比べ大幅な施工能率向上が達成できることを実証した。

本工法開発の究極の目標は、パイプライン建設投資の節減にあり、在来工法との工事費便益が課題である。

第 3 回の実証試験（北海道恵庭市）の結果を踏まえ、予測便益試算を行った。

試算は、施工延長 1,000m の工事費で比較した。

1) 在来工法の施工方法と施工単価；

- (1) 施工許可延長； 50m 以内
- (2) 日進施工量； 24m（鋼管二本分）
- (3) 溶接施工量； 2 箇所（被覆アーク溶接法）
- (4) 舗装切断法； ロータリーカッター切断（会所は 24m ピッチ）
- (5) 掘削方法； 油圧式掘削機（バックホウ）クローラ型+10T ダンプ
- (6) 土留支保工； 簡易鋼矢板+水圧式ジャッキ+木製腹起し
- (7) 鋼管吊下し方法； 三又（又は四又）+5T レッカー
- (8) 埋め戻し・締固め方法； 10T ダンプ+ハンドランマー
- (9) 施工単価（業者見積単価）；

① 舗装カッター切断 (m)	936 円
② 舗装盤撤去工 (m ³)	3,672 円
③ 舗装ガラ処分 (m ³)	9,366 円
④ 掘削土処分 (m ³)	3,495 円
⑤ 掘削工 (m ³)	一般部 864 円（掘削深 1.9m 未満） 5,082 円（掘削深 1.9m 以上） 会所部 5,082 円
⑥ 土留支保工 (m)	一般部 10,078 円 会所部 19,550 円
⑦ 埋め戻し工 (m ³)	砂質土 6,339 円 良質土 4,566 円
⑧ 路床工 (m ²) (46cm 厚)	2,916 円
⑨ 下層路盤工 (m ²) (33cm 厚)	3,603 円
⑩ 仮復旧 (m ²) (3cm 厚)	1,539 円
⑪ 上層路盤工 (m ²) (5cm 厚)	1,680 円
⑫ 本復旧 (m ²)	3,100 円

（注）(m) は掘削延長 1m 当り費用、(m²) は掘削面積 1m²当り費用、(m³) は掘削土量 1m³あたり費用で、人件費・建機損料・歩掛りを見込んだ単価。

2) QPL 工法の施工方法と施工単価；

- (1) 施工許可延長； 500m 以内
- (2) 日進施工量；①48m②60m③120m の 3 ケース
- (3) 溶接施工量；①4 箇所②5 箇所③8 箇所の 3 ケース
- (4) 舗装切断法；ロータリーカッター切断（会所は両端部 2 箇所）
- (5) 掘削方法；連続溝掘削機+10T ダンプ
- (6) 土留支保工；自動矢板打ち機+簡易自動切梁装置+5T レッカー
- (7) 鋼管吊り下し方法；パイプ吊り下しクレーン+簡易自動切梁装置
- (8) 埋め戻し・締固め方法；多層締固め機+材料供給機+表層締固め機+10T ダンプ

(9) 施工単価及び数量；

① 舗装カッター切断 (m)		939 円
② 舗装盤撤去工	バックハウ 0.25m ³ (10,000 円/日)	1 台
	運転工 (15,000 円/日)	0.5 名
	土工 (12,000 円)	0.5 名
③ 舗装ガラ処分	土捨て費 (m ³)	4,000 円
	バックハウ (11,000 円/日)	1 台
	10T ダンプ (36,000 円/日)	3 台
④ 掘削土処分	ブルドーザー (8,000 円/日)	1 台
	運転工 (15,000 円/日)	0.5 名
	10T ダンプ (36,000 円/日)	3 台
	土捨て費 (m ³)	150 円
⑤ 掘削工	世話役 (17,600 円/日)	1 名
	運転工 (36,000 円/日)	1 名
	土工 (12,100 円/日)	0.5 名
	連続溝掘削機* (90,884 円/日)	1 台
⑥ 土留支保工	5T レッカー (13,333 円/日)	2 台
	バックハウ 0.4m ³ (11,000 円/日)	1 台
	腹起し (t) (130 円/日+5,000 円)	64t
	切梁 (組) (220 円/日+2,000 円)	36 組
	水中ポンプ (200 円/日+1,000 円)	3 台
	水中ポンプ (800 円/日+4,000 円)	3 台
	運転工 (15,000 円/日)	2 名
	運転工 (17,600 円/日)	2 名
	土工 (12,000 円/日)	9 名

	燃料 (100 円/liter /m)	2.3liter
	鉄板 (200 円/日+5,000 円)	5 枚
	ユニックトラック (12,000 円/日)	1 台
	ユニック運転工 (15,000 円/日)	1 名
	ユニック作業員 (12,000 円/日)	1 名
	自動矢板打ち機* (92,057 円/日)	1 台
	簡易自動切梁装置* (400 円/日)	34 組
⑦ 埋め戻し・締固め工	運転工 (17,600 円/日)	2 名
	燃料 (100 円/liter/m)	1.57liter
	埋め戻し土、砂質土 (m^3)	2,400 円
	良質土 (m^3)	1,920 円
	多層締固め機* (1,4953 円/日)	2 台
	材料供給機* (41,953 円/日)	1 台
	表層締固め機* (14,914 円/日)	1 台
⑧ 下層路盤工 (m^2) (33cm 厚)		1,440 円
⑨ 仮復旧 (m^2) (3cm 厚)		1,300 円
⑩ 上層路盤工 (m^2) (5cm 厚)		1,500 円
⑪ 本復旧 (m^2)		2,900 円
⑫ その他開発建機	パイプ敷設クレーン* (30,686 円/日)	1 台
	パイプ工作車* (18,482 円/日)	2 台
	パイプ吊下しクレーン* (9,657 円/日)	5 台

(注 1) (m) は掘削延長 1m 当り費用、(円/日) は作業日あたり人件費・機器損料、(m^2) は掘削表面積 $1m^2$ 当り費用、(m^3) は埋め戻し土 $1m^3$ (立方メートル) あたり費用。

(注 2) (*) のついた QPL 工法専用開発建機の損料は、下記 4) を参照。

3) 施工日数 (施工延長 1,000m 当り)

在来工法 ;	日進 24m	42 日間 (1,000m ÷ 24m/日)
QPL 工法 ; ①	日進 48m	21 日間 (1,000m ÷ 48m/日)
②	日進 60m	17 日間 (1,000m ÷ 60m/日)
③	日進 120m	8 日間 (1,000m ÷ 120m/日)

4) 開発建機類の損料設定

建設機械の損料設定を、次の前提で行った。

- (1) 耐用年数 ; 7 年 (簡易自動切梁装置 5 年)
- (2) 運転日数 ; 160 日
- (3) 供用日数 ; 220 日

- (4) 維持修繕費率； 25-40%（機械ごとに設定）（簡易自動切梁装置 10%）
- (5) 年間管理費率； 7.0%
- (6) 運転 1 日当り損料率 1.509~1.643x (10^{-6})

開発建機ごとの基礎価格、損料（1 日あたり）は下記となった。

① 連続溝掘削機；	基礎価格 58,500（千円）	損料 90,884 円
② 自動矢板打ち機；	基礎価格 57,600（千円）	損料 92,057 円
③ パイプ敷設クレーン；	基礎価格 19,200（千円）	損料 30,686 円
④ パイプ工作車；	基礎価格 11,250（千円）	損料 18,482 円
⑤ パイプ吊下しクレーン；	基礎価格 6,400（千円）	損料 9,657 円
⑥ 多層締固め機；	基礎価格 9,600（千円）	損料 14,914 円
⑦ 材料供給機；	基礎価格 26,250（千円）	損料 41,953 円
⑧ 表層締固め機；	基礎価格 9,600（千円）	損料 14,914 円
⑨ 簡易自動切梁装置；	基礎価格 320（千円）	損料 400 円

5) 工事費試算結果

表 6.3 に土木工事費試算結果を示す。次のことが要約できる。

- (1) 工事費合計の比較（施工延長 1,000m 当り）；

① 在来工法（24m/日）	41,585,480（円）	100.00%
② QPL 工法（48m/日）	32,360,162（円）	77.82%
③ QPL 工法（60m/日）	27,860,697（円）	67.00%
④ QPL 工法（120m/日）	20,309,928（円）	48.80%
- (2) 在来工法は、作業種別ごとの材工合算の利益込み請負会社見積単価に数量を積算したが、QPL 工法は、実際に投入する建機、作業者の単価、数量の積み上げ積算と手法が異なった。
- (3) QPL 工法には、専用開発建機の損料が 433,831 円/日掛るため施工能率向上で工事費に占める比率が大幅に低減できる。
- (4) 日進 120m は、QPL 工法開発建機性能からは充分余裕があり、工事占有延長が十分に長く確保できれば 150~200m の日進施工能率は土木作業面では充分達成可能と考えられる。
- (5) 溶接施工能率、とりわけ初層溶接時間の短縮が QPL 工法全体施工能率を向上させることがわかった。
- (6) 在来工法の施工量増加には、施工班をふやすことで対応できるが、工事占有延長が QPL 工法より逆に長くなり、工事費低減効果は殆どないと言える。

	在来工法		QPL 工法		QPL 工法		QPL 工法	
	24m/日		48m/日		60m/日		120m/日	
舗装切断	951,600	2.3%	941,990	2.9%	941,990	3.4%	941,990	4.6%
舗装盤 撤去工	462,672	1.1%	557,550	1.7%	451,350	1.6%	265,500	1.3%
舗装ガラ 処分	1,180,116	2.8%	695,000	2.1%	695,000	2.5%	695,000	3.4%
掘削土 処分	7,891,710	19.0%	2,955,900	9.1%	2,447,800	8.8%	1,314,700	6.5%
掘削工	3,395,577	8.2%	4,177,583	12.9%	3,423,186	12.4%	1,725,794	8.5%
土留 支保工	10,867,333	26.1%	10,493,580	32.4%	8,376,723	30.2%	6,687,081	32.9%
埋め戻し・ 締固め工	8,308,421	20.0%	6,633,533	20.5%	6,066,083	21.9%	4,734,039	23.3%
路床工	3,086,100	7.4%						
下層 路盤工	3,813,175	9.2%	1,440,000	4.4%	1,440,000	5.2%	1,440,000	7.1%
仮復旧	1,628,775	3.9%	1,300,000	4.0%	1,300,000	4.7%	1,300,000	6.4%
その他 開発建機 損料			3,165,026	9.8%	2,562,164	9.2%	1,205,724	5.9%
合計	41,585,480	100.0%	32,360,162	100.0%	27,704,297	100.0%	20,309,828	100.0%
QPL 工法/ 在来工法	100.00%		77.82%		66.62%		48.84%	

表 6.3 QPL 工法・在来工法土木工事費比較表

第 7 章 クイックパイプライン工法（QPL 工法）の今後の課題と適用指針（案）

7.1 はじめに

わが国におけるガスパイプライン建設の課題を解決する目的で QPL 工法を開発した。

専用の建設機器を開発し、実証試験を実施し、その有効性を確認した。3 回の実証試験の結果から、改善すべき多くの事項と今後の課題が明確となった。

QPL 工法をより効率的に運用するための課題を考察し、QPL 工法適用指針（案）を整理した。

7.2 QPL 工法の今後の課題

7.2.1 占用延長の取得について

- 1) 実証試験を通じ、占用延長を充分に取得することが工法の実用性に多大な影響を及ぼすことがわかった。
- 2) 従来、道路下に埋設許可を申請する場合、占用延長は交通管理者（都道府県警察本部）の許可事項となる。
- 3) 交通渋滞を避けるため、通常 50m 程度が許可限度であり、施工方法からも左程大きな影響を受けなかった。
- 4) QPL 工法では、一連の作業が連続し相互に施工能率を制約するため、占用長さの持つ意味が重要な要素となる。
- 5) 施工時のそれぞれの作業に要する最低必要距離がある；

- 舗装切断： 15~20m
(別途事前作業、ダンプトラック、ロータリーカッターの作業範囲)
- 鋼管配列： 30~40m
(別途事前作業、運搬用トラック・トレーラー、クレーン車・レッカー車の作業範囲)
- 舗装盤撤去： 20m
(10T ダンプトラック、バックホウの作業範囲)
- 溝掘削： 40m
(ダンプ 5 台、連続溝掘削機の作業範囲)
- 矢板打ち込み： 15m
(自動矢板打ち機、5T レッカー車の作業範囲)
- 簡易自動切梁装置設置： 10m
(5T レッカー車の作業範囲)
- 鋼管横移送： 24m
(パイプ敷設クレーン、鋼管 2 本分の作業範囲)

- 溶接： 24m
(パイプ工作車 2 台、鋼管 2 本分の作業範囲)
- 鋼管吊り下ろし： 150m
(長尺管長さ 150m の場合、パイプ吊り下ろしクレーン 5 台の作業範囲)
- 埋め戻し・締固め： 150m
(長尺間 150m の場合、ダンプ 5 台、多層締固め機 1 号機、2 号機、材料供給機、5 t レッカーの作業範囲)
- 表層締固め； 30m
(6T 側転ダンプ、表層締固め機、5T レッカーの作業範囲)
- 仮舗装： 100m
(別途事後作業、ダンプ、ロードローラーの作業範囲)

6) 事前・事後作業は別として、舗装盤撤去～溶接作業、鋼管吊り下ろし～埋め戻し作業がそれぞれ 1 作業範囲となる。

7) したがって、延長 150m の占用場所が最低限 2 箇所あれば（延べ 300m）作業を中断せずに施工できる工程となる。

8) 取得された占用延長の長さにより、施工スピードが制約されることになる。

7.2.2 埋設場所について

- 1) 埋設場所の選定がスピード埋設工法に与える影響も大きい。
- 2) 地下埋設物：事前調査で埋設予定場所に既設埋設物の有無、移設可能性が判断できる場合は、特に問題が少ない。
- 3) 道路拡幅等で埋設物の位置が変化し、図面に正確に変更位置が記載されない場合が問題となる。
- 4) 実証試験でも破損事故を起したことから、復旧に時間かかる上に賠償補填に多額の費用がいる。
- 5) 車線幅：1 車線内施工を励行するためには、2 車線以上の道路で片側交互通行を前提とする必要がある。
- 6) 仮置き：路肩に鋼管、矢板、支保工部材の仮置きが出来るスペースが必要となる。
- 7) 交通量：朝夕の交通混雑時は避けるように計画するが、通行車両の多寡で円滑な流れが維持できるかの判断がいる。
- 8) 近隣環境：住宅街、商店街は可能な限り避け、農業・林間地を選定することで、騒音・振動対策が軽減でき施工の円滑化が期待できる。

7.2.3 土質について

- 1) 道路は、在来地盤上に路床、路盤を構築し舗装してある。
- 2) QPL 工法が適用されるパイプラインは、2,000mm 前後の掘削深さが必要で、在来地

盤の掘削も伴うことになる。

- 3) 岩質地盤では特殊工法が必要であるが、砂質土の場合、掘削溝壁の崩落の可能性があり、工法適用を見送るか、薬液注入等の補助工法を採用するか判断が必要である。
- 4) シルト質粘土の土質が最適であるが、100mm 程度の玉石交じりは充分掘削可能である。

7.2.4 土砂仮置きについて

- 1) 掘削により大量の舗装ガラ、土砂が発生する。
- 2) 搬出用のダンプトラック台数は、回転率によるため至近の場所に土砂仮置きヤードが必要となる。
- 3) 舗装ガラは、産業廃棄物となるので廃棄費用がかかる。再生骨材として路床、路盤材への活用が検討されるべきである。
- 4) 土砂は、一般廃棄物となるが、土捨て場の確保が困難化しつつあり、可能な限り再生処理で路床・路盤材に利用すべきである。
- 5) 埋め戻し用土砂についても至近距離の作業ヤードに仮置きして、二次搬入が理想であり、かなりのスペースが望ましい。土の種類も 2~3 種類に分かれるので機動的な輸送プランが立案されねばならない。

7.2.5 作業員について

- 1) 機械化施工が QPL 工法の根幹であり、機械操縦者（オペレーター）のみならず、一般土木作業員も含め、工法の仕組みを理解させる必要がある。
- 2) 作業が一つの流れで進められるため、一部の停滞が全体工程に影響する。
- 3) 製造工場の生産システムと同様な考え方が、適用されることになる。
- 4) 着工前の教育訓練が必須の要因となる。

7.2.6 開発機器について

- 1) QPL 工法の構築に際し開発した建設機械、補助機材は、おおむねその性能が発揮された。
- 2) さらに性能を向上させ、効果を発揮させるための改善事項を考察する。

A) 連続溝掘削機

- 1 車線内施工の作業性を高めるために建機幅（3.0m）を狭め、2.5m にする。
- そのためにはスラッターを機械直下からキャタピラーの後方に取り付けるように改良する。
- スラッターコンベアの耐久性・耐摩耗性を向上させる。
- 掘削スピードをさらに向上させ、作業性を改善する。
- 運転操作を単一レバーでできるようにし、作業者の操作を容易にする。

B) 自動矢板打ち機

- 1 車線内施工の作業性を高めるために建機幅（2.9m）を狭め、2.5m にする。

- 打ち込み機リーダーの上下速度を速め、作業性を改善する。
 - 予備切梁装着装置の一連の作業性・耐久性を改善する。
 - センサーの耐久性・耐水性の改善を図る。
 - 建機移動と矢板打ちピッチの同期・自動化を図る。
 - カートリッジ搭載クレーンの取り付けにより作業性を向上させる。
- C) パイプ敷設クレーン
- 車体長を長くして作業時安定性を向上させる。
 - 鋼管移送速度を向上させる。
- D) パイプ工作車
- 施工スピード向上時に台数を増加させる。
- E) パイプ吊下しクレーン
- 載荷能力（2,800kg/台）を向上させ、長尺管吊り下ろし性能を改善する。
 - 走行速度を速め、作業性を高める。
 - 作業可能幅を広げ、溝幅変化、道路屈曲に対応させる。
 - クレーン間の同期作業を可能にし、省力化を図る。
- F) 多層締固め機
- 前進（締固め作業時）を自動化し、省力化を進める。
 - 機上高を下げ、安全性を向上させる。
 - キャタピラーをゴム製にし、下部クリアランスを増加させる。
- G) 材料供給機
- 建機幅（3,000mm）を狭め 2.5m として、1 車線内施工の作業性を高める
 - キャタピラーをゴム製とする。
 - ホッパー・スラッターの方式を変更し、処理能力を向上させる。
 - 多層締固め機と同期運転できるようにして、省力化を図る。
- H) 表層締固め機
- コンパクターを前後輪タイヤの中間に配置し、締固め性能を向上させる。
- I) 簡易自動切梁
- ジャッキ伸縮のストロークを伸ばし、吊り下げ時作業性を改善する。
 - 対衝撃性を向上させ、使用回数を向上させる。
 - 掘削溝幅、深さ、切梁間隔の変化に共用可能な構造とする。（汎用化）
- J) 建機全般
- 修理復旧の作業性を向上させ、作業時停機を防止する。
 - 耐久性の向上を図る。
 - 標準化を進め、製作費を低減させる。

7.3 QPL 工法の適用指針（案）

QPL 工法は、米国で発展したスプレッド工法の利点をわが国でのガスパイプラインに適用する工法であるが、普及の為に施工法の標準化を進める必要がある。下記に適用指針素案を提案する。

“クイックパイプライン工法（QPL 工法）適用指針”（案）

1 適用範囲

1.1 本指針（案）は、わが国でのガスパイプラインを QPL 工法により建設する場合に適用する。

1.2 パイプラインの特殊部分（トンネル内配管、橋梁添架配管、シールド内配管、鋼管推進工事、海底配管）の建設工事ならびに在来工法での建設工事には適用しない。

2 工事占用

2.1 パイプラインの路線が公道の場合、二車線道路であって少なくとも片側交互通行が可能な場所とする。

2.3 工事占用延長は、150m 以上を 1 工区とし、建機自走範囲内に 2 工区を確保する。

3 事前調査

3.1 パイプライン敷設予定場所に QPL 工法適用に支障がある程度の既設地下埋設物がないことを、道路管理台帳等で調査し、試験堀にて確認する。

3.2 車線幅が、一車線内施工に十分な幅であることを確認する。

3.3 掘削溝側の路肩並びに道路横に、鋼管、矢板カートリッジ、簡易自動切梁装置を仮置きできる十分なスペースがあることを確認する。

3.4 交通量調査により通行車両の時間ごとの混雑度を計測し、最適作業時間帯を決定する。

3.5 近隣環境を調査し、必要に応じ公害対策基本法、騒音規制法、大気汚染防止法、振動規制法に従い対策を講ずる。

4. 掘削部土質性状

4.1 舗装ガラは、産業廃棄物扱いとなるので、極力再生骨材として路床材、路盤材に活用を図る。

4.2 道路盛土部土質は道路土工指針並びに施工記録から推定可能であるが、道路切土部ならびに道路構造以深の在来地盤の土質は、試験堀または道路施工記録で確認する。

4.3 土質が砂粒土又は礫粒土で掘削壁崩落の危険性がある場合は、QPL 工法の適用を中止するか掘削前土留矢板施工、薬液注入等の補助対策工法を検討する。

4.4 土質が細粒土であっても礫又は玉石が混入している場合であって、直径 100mm を超え

るときは QPL 工法の適用を中止する。

5 作業ヤード設置

5.1 施工場所に近接して本工法の効率を向上するため作業ヤードを設置する。

5.2 作業ヤードには次の機能に十分な面積を持たせる。

- (1) 鋼管の仮置き
- (2) 鋼管の溶接加工・曲げ加工
- (3) 舗装ガラの一時的保管と再生路盤材加工
- (4) 掘削土砂の一時的保管と再生処理
- (5) 埋め戻し土砂の一時的保管
- (6) 簡易鋼矢板、鋼矢板カートリッジ、水圧ジャッキ式切梁、簡易自動切梁装置、腹起しその他仮設材の仮置き
- (7) 一般建設機械、QPL 工法専用開発建機の保管・整備
- (8) 鋼管類・資機材輸送用トラック、土砂輸送用ダンプトラックの駐車・整備
- (9) 管理事務所ならびに業務用駐車場
- (10) その他の必要機能

5.3 作業ヤードには、夜間作業用照明を設置し、外部に騒音・粉塵・振動等の公害が発生しないように適切な措置を施す。

6 QPL 工法専用建設機械ならびに専用仮設材

6.1 QPL 工法専用建設機械ならびに専用仮設材は、作業ヤードにて充分整備し、施工時故障を未然に防止する。

6.2 QPL 工法専用建設機械は、次の種類がある；

- (1) 連続溝掘削機
- (2) 自動矢板打ち機（仮切梁装置付）
- (3) パイプ敷設クレーン
- (4) パイプ工作車（TIG 溶接車ならびに MAG 自動溶接車）
- (5) パイプ吊下しクレーン
- (6) 多層締固め機（1 号機ならびに 2 号機）
- (7) 材料供給機（11m 上部ベルトコンベア付）
- (8) 表層締固め機

6.3 QPL 工法専用仮設材として、次の種類がある；

- (1) 矢板カートリッジ
- (2) 簡易自動切梁装置
- (3) 特殊腹起し（アルミ中空材）

7 舗装切断

- 7.1 舗装切断は、施工範囲全体にわたりロータリーカッターにより事前施工する。
- 7.2 道路線形に沿ってパイプラインを敷設するため、舗装切断は道路曲線に合わせ施工を行う。
- 7.3 舗装はパイプライン吊下し長さにあわせ、平行に布堀幅（掘削幅）でカッター切断し、長尺管両端に地下溶接用会所を設ける。

8 資材搬入・配列

- 8.1 鋼管類、矢板カートリッジ、簡易自動切梁装置、腹起しを、掘削作業前に路肩に搬入仮置きする。
- 8.2 搬入は、作業ヤードから資材輸送用トラックとレッカーで行い、一車線内作業を励行する。
- 8.3 二本継溶接鋼管（管長 24m）が輸送可能な場合は、トレーラー輸送を検討する。
- 8.4 道路曲線にあわせ、鋼管を作業ヤードでベンダー加工をして搬入する。

9 舗装盤撤去・搬出

- 9.1 カッター切断された舗装盤は、ニッパ付バックホウで破砕し、10T ダンプトラックにて搬出する。
- 9.2 搬出された舗装盤は、作業ヤードの仮置きし、クラッシャーで粒度調整して路床材、路盤材に再生加工する。
- 9.3 作業は、機械を直列配置して、一車線内作業を励行する。

10 溝掘削

- 10.1 作業は、連続溝掘削機と 10T ダンプトラックで行う。
- 10.2 掘削用スラッターコンベアは、掘削機重心の後方に位置しており、掘削溝への建機重量の影響は少ない。
- 10.3 掘削された溝壁の自立性・地下水位を常に確認し、安全作業に努める。
- 10.4 掘削は車両進行方向に行い、掘削速度（能率）に合わせ、必要ダンプ台数を準備する。
- 10.5 道路線形が曲線の場合、左右クローラの方向調整と放出コンベアの角度調整にて一車線内作業が励行できるようにする。

11 矢板打ち・予備切梁施工

- 11.1 作業は、自動矢板打ち機と矢板カートリッジ供給用 5T レッカーで行う。
- 11.2 連続溝掘削機に連続して自動矢板打ち機を配置し、掘削直後に土留用簡易鋼矢板施工を実施する。
- 11.3 施工にあわせ、5T レッカーで矢板カートリッジを矢板供給装置に積込・積み卸しする。

- 11.4 溝壁の自立性を確認し、矢板施工の間隔を調整する。
- 11.5 矢板打込み後直ちに予備切梁装置で水圧式ジャッキを設置し、仮支保とする。
- 11.6 全作業は地上で行い、安全施工を励行する。

12 支保工

- 12.1 作業は、簡易自動切梁装置、腹起し材（アルミ中空材、長さ 2~3m）と 5T レッカーで行う。
- 12.2 簡易自動切梁装置は、連結保持具で一体化されたもの（約 70kg）を所定位置に 5T レッカーで吊下す。
- 12.3 作業者 3 名（溝内 1 名）の共同作業で、装置の設置、腹起し材挿入、連結保持具取り外し、水圧式ジャッキ作動、安全筒挿入の順に施工する。
- 12.4 装置設置後、仮切梁（水圧式ジャッキ）の撤去回収を行う。

13 鋼管移送

- 13.1 作業は、パイプ敷設クレーンで行う。
- 13.2 仮置きした鋼管の外側にアウトリガーを固定して、パイプクランプで鋼管を掘削溝上に横移送する。
- 13.3 パイプ敷設クレーンは、必要に応じパイプクランプで鋼管を吊上げた状態で、パイプライン方向にタイヤ走行する。

14 溶接

- 14.1 作業は、パイプ工作車（TIG 溶接車）とパイプ敷設クレーンにて芯出し・初層溶接を施工し、パイプ工作車（MAG 自動溶接車）にて残りの全溶接を行う。
- 14.2 パイプ敷設クレーンの鋼管微調整移動機能とパイプ工作車（TIG 溶接車）のアウトタークランプにて鉄工 2 名が芯出し作業を行う。
- 14.3 TIG 手動溶接をパイプ工作車（TIG 溶接車）内で溶接士 2 名が同時に半周ずつ施工する。
- 14.4 TIG 溶接に続き自動 MAG 溶接をパイプ工作車（MAG 自動溶接車）内で施工する。
- 14.5 工作車には、照明・空調装置が具備されており、防風防雨の環境で安全に作業可能である。
- 14.6 パイプ吊下しクレーンを活用し、長尺管相互の地上溶接も可能である。
- 14.7 溶接完成后、溶接部検査、塗覆装を施工する。
- 14.8 一車線内作業を励行する。

15 吊下し

- 15.1 作業は、長尺管長さに応じパイプ吊下しクレーン複数台で行う。

- 15.2 パイプラインの弾性撓みを利用して一端から S 字に吊下す。
- 15.3 簡易自動切梁装置の一段目水圧ジャッキの安全筒を外し、パイプライン吊下し作業で水抜きレバーを押すと、ジャッキが折半可能な状態にする。
- 15.4 パイプラインが一段目水圧ジャッキを折半通過したとき、手動にて水圧ジャッキを再作動させ、二段目水圧ジャッキの安全筒を外す。
- 15.5 この作業を一端側の簡易自動切梁装置から順にパイプラインに添って行い、パイプラインを掘削溝内の所定の埋設位置に吊下す。
- 15.6 パイプライン自重による水圧ジャッキ自動折半以外は、作業者が掘削溝内でジャッキ水圧復帰作業を行うので施工手順の標準化、安全作業の徹底が必要となる。
- 15.7 一車線内作業を励行する。

16 埋め戻し・締固め

- 16.1 作業は、多層締固め機 1 号機、2 号機、材料供給機、10T ダンプトラック、5T レッカーによる掘削溝埋設主作業と、表層締固め機と 6T 側転ダンプトラック、5T レッカーによる表層（路盤工）作業に分かれる。
- 16.2 埋設主作業は、10T ダンプ走行に有利な方向に行い、ダンプ回転効率向上を図る。
- 16.3 埋設主作業は、埋設溝上に多層締固め機 1 号機、2 号機、材料供給機の順に配置し、上方二連コンベアで連結する。10T ダンプは、材料供給機ホッパーに後進で土砂を投入する。
- 16.4 埋設主作業は、上方二連コンベア（11m 長さ）の作業範囲内で規定の締固め層厚ごとに必要深さまで繰り返し締固め施工し、次の場所に全体を 11m 移動する。土砂投入直前に自動切梁装置を連結保持具で一体化し、5T レッカーで撤去回収する。
- 16.5 道路曲線部の場合でも、11m 単位で曲がれるため一車線内作業が励行できる。
- 16.6 溝深さ 30~40cm で残置されている簡易鋼矢板を 5T レッカーで撤去回収する。
- 16.7 表層締固めは、6T 側転ダンプで路盤材を埋め戻しし、道路上をタイヤ走行する表層締固め機で反復施工する。ハンドコンパクターでの補助作業を必要に応じ行う。

17 仮舗装

- 17.1 パイプライン施工完了まで仮舗装を施工して通行開放する。

第8章 クイックパイプライン工法（QPL 工法）適用による

国土幹線パイプライン網構築の提言

8.1 提言の主旨

QPL 工法の適用によって日本でのガスパイプライン建設をより効率化し、建設費を低減しうることが実証試験の結果明らかとなった。

従来、既設公道下埋設を主なパイプライン路線とするわが国では、QPL 工法を有効に適用できる場所が少なく、パイプライン建設の工期短縮・工費節減効果はきわめて限定的と考えられる。

パイプラインルートとして更に適切と考えられる新たな用地を選択肢として検討し、QPL 工法の適用機会を大幅に増加させる事で、経済性に優れた国土幹線ガスパイプライン網を構築することを提案する。

8.2 ガスパイプライン事業の公共事業としての位置づけ

公共的な社会基盤整備は、国民に等しく文化的な生活環境を提供するために公的に実施されねばならない事業と定義できる。

純公共事業として上下水道、道路、郵便があり、公益民間事業として電力、都市ガス、通信・メディア、鉄道、有料道路、航空等がある。

公共性のあるガスパイプライン事業のあり方を論ずる前提として従来からある公共事業の沿革と現状について考察する。

1) 上下水道

水は、人類生存に欠かせない重要な資源である。文明は、清浄な飲み水が十分に得られ、衛生上快適な生活が過ごせる地域に発展した。多くは、大河川の近傍であり、ナイル（エジプト）文明、チグリス・ユーフラテス（メソポタミア）文明、インダス文明、黄河文明、揚子江文明のように水源としての河川名が冠させてきた。

ギリシャ文明は、地形的に大規模取水に限度があり、都市国家集合体としてのみ繁栄でき、ローマ文明は、巨大な水道橋を築き、ローマへ遠方の水源から導水することで成立した。現在の水道事業の原型といえる。

ヨーロッパ都市文明は、先ず上水道の構築で始まり、疫病の蔓延で多くの死者が出たことから、下水道の構築で衛生的な生活を保障した。

日本においても、江戸期に玉川上水はじめ水道事業が行われたが、明治以降官営上水道の普及に努め、今では都市部はもとより農漁山村でもほぼ全世帯に上水道での給水が行われている。水源は、河川、貯水ダム、地下水と多様であるが、導水管・給水管の建設、水質保持のための浄水場の建設に多額の投資が行われてきた。最近では渇水による水不足、水源水質の悪化からボトル詰の飲料水が価格に関わらず増加してくる傾向がある。

一方、下水道の普及は、大都市のみであった下水道施設が、河川単位の流域下水道の整備で都市部ではほぼ 100%に近づき、農・漁・山村での集落下水道の普及で衛生上の課題は解決に近い状態に至った。

しかし、全ての汚水・生活雑排水が水処理後河川に流されることにより、農地土壌の地味低下、地盤沈下の増進、河川水の過富栄養化をもたらし、海水汚染の原因とも推定され、新たな課題を生み出している。

上下水道は、政府が行う典型的な公共事業であるが、都市への住民の集中が続く限り、絶えず施設の更新が行われている現状にある。

2) 道路

古代文明の場合、物流は近隣へは人力・牛馬に頼り、遠方には舟が利用された。道路が積極的に活用されるのは、ローマ文明におけるローマ街道からである。この道路により、安全に遠距離を旅行できるようになり、都市間の物流を活発にした。国防上もローマ街道の果たした役割は重要であったといわれている。

中世ヨーロッパではローマ街道式の道路が主要都市間に建設され、江戸期日本でも東海道、中仙道初め全国的な幹線道路網が整備された。いずれの場合も物流目的よりも軍事上の意味合いが強く、当然、国家事業として建設維持された。

近代的な道路は、西欧では産業革命が始まった 17 世紀中頃から発達し、鉄道・海運とともに近代産業を推進する役割を演じた。わが国でも多少の遅れはあったが、明治政府の官営事業として急速に整備された。

太平洋戦争の終結後、建設省は道路特別財源（ガソリン税）を得て、国道はじめ公道の整備拡充に努め、2 車線化、歩道、照明、道路標識、舗装がほぼ完了したが、自動車の急激な増加が道路整備を上回り、渋滞解消が常に課題として残っている。

日本道路公団が全国的に建設してきた高速・一般有料道路は、公道機能を補完すると同時に自動車による長距離輸送を実現し、モータリゼーションの先陣を担った。現在、公団民営化の方法・時期が議論されているが、他分野と同様にサービスの質量における改善が期待できる。都道府県公営の有料道路も地方道の機能を補完した。

3) 郵便

文書類の郵送は、ローマ時代から公的文書の伝達法として始まり、中世ヨーロッパ、米国で一般人のための事業として拡大した。日本でも江戸時代頃から飛脚・駅伝として同様な発展が為され、現在の官営郵便事業に続いている。有料ではあるが、事業損益はマイナスで税金での補填が当然と考えられてきた。しかし、鉄道・海運の物流から自動車・航空機の物流に軸足が移り、国際航空機関による民間航空貨物（FEDEX、DHL 等）、国内では貨物自動車による民間宅配便が採算に乗る事業として発展してきた。郵便事業のシステムの見直しが検討されている。

4) 電力

米国で電気事業が始まった当初は、完全な競争状態にあり、同じ地域で二社以上の会社

が供給競争をしていた。日本でも同様な形態から地域独占の八社体制に移行したのは昭和になってからである。電力事業は、発電設備、供給設備に多額の投資が必要で、過当競争を防止するために事業統合が為されたといわれている。

発電方法が、石炭火力、石油火力、天然ガス火力、天然ガス複合火力、原子力と多様化し、環境対策として風力・太陽光・地熱・潮力発電が脚光を浴び、エネルギー間の販売競争から地域独占への是非が検討され始めた。

4) メディア

新聞・雑誌については、一部の社会主義国家を除き、経営は完全に民間で購読料・広告で運営されている。記事の内容については、自主規制され、虚偽の報道については法的な制裁が課せられる。

日本を含め先進資本主義諸国ではラジオ・テレビは完全に民営企業が有利であり、NHKのように公共企業として視聴料で運営される理由は不明瞭になりつつある。

5) 通信

電話・電報についても公共企業として独占が長く続いたが、米国のシステム変革を参考に、電電公社が地域分割・民営化されると同時に長距離電話には民間企業の参入が実現し、サービスは質量ともに大幅に向上した。

それにも増して、携帯電話・インターネットの普及が通信分野地図をまったく変貌させたと言える。

6) 鉄道

欧州で始まった鉄道輸送は、産業革命の原動力となり、米国の大陸横断鉄道が合衆国のバックボーンとなった事は歴史的に記録される出来事であった。現在、米国では貨物輸送、都市近郊旅客輸送、長距離観光列車にその存在価値がわずかに認められるに止まり、自動車・航空機にその主役を譲っている。殆どは採算面では破綻状況にいたっており、公営若しくは公的支援に頼っている現状である。

日本でも明治以来国有鉄道と地域ごとの近距離民間鉄道が共存してきた。欧米の現状と異なり、国鉄の分割民営化による不採算路線の廃止・サービスの質量にわたる向上、都市部交通の高架化・地下化による高速化、地下鉄道網の整備等により全国的に鉄道輸送の再生・整備が促進され、交通手段として今も重要な役割を担っている。

長距離旅客輸送の要の新幹線は、建設は鉄道建設公団が官営（税金）で行い、運営をJR各社に委託し効率化を図っている。南北に長く居住面積が限られているわが国国土の特長を生かし高速道路、民間航空と競合しつつ、長距離旅客輸送を質量ともに向上させている。

7) 都市ガス

石炭を乾留するとコークスと副生ガスが生成する。日本では、このガスを原料として都市ガス事業が始められた。石炭は鉄道・はしけで産地より輸送され、鉄道沿い・運河沿いにコークス工場（ガス工場）が造られ、低圧・低カロリーのガス導管で供給された。発電事業と異なり小資本で創業できたので都市ごとに企業化され、現在でも全国に 250 近い公営・

民間ガス会社がある。

ガス源は、その後コークス炉副生ガスからタンクローリー輸送の石油系ガスに徐々に転換し中圧供給・高カロリー化で規模を拡大して行ったが、都市ガスは LPG、灯油、電力に対し、価格的にも魅力の少ないエネルギーとして普及が滞って来た。

欧米では早くから天然ガスへの転換で安全な（一酸化炭素が含まれず、空気より軽い）家庭用エネルギーとなっていたが、日本では LNG の輸入でようやく天然ガス化が始まった。しかし LNG 基地と高圧パイプラインの建設には多額の先行投資を要し、大都市と地方都市での普及に大きな格差が出てきた。

8) 高圧ガスパイプライン

天然ガスの利用は、パイプライン輸送が欠かせない重要な手段である。

米国では、州を越える（州際）ガスパイプライン（INTERSTATE GAS TRANSMISSION LINE）は、運送事業（COMMON CARRIER）として民間のガスパイプライン会社が所有し、ガス販売業者（石油・ガス生産会社、仲介業者）からガス需要者（電力、産業、都市ガス会社）への天然ガスの賃送を有料で請け負っている。ガスパイプラインに公共性を認め、私企業のガス市場独占を防止する主旨からである。替りに、パイプライン路線（RIGHT of WAY）選定に際し、公有地・私有地の区別無く土地利用の優先権（EMINENT DOMAIN）を法的に認めている。その結果、パイプライン建設は、スプレッド工法により短工期で経済的に実施される事になる。輸送需要増に応じ、パイプラインの増設工事（パイプライン併設、コンプレッサーステーション）が同じ路線に絶え間なく進められる。運送業として鉄道・バス・航空事業と同様、経営努力が業績に反映されている。

日本でも都市ガス・発電燃料への液化天然ガスの導入は高圧ガスパイプライン建設を大都市周辺で加速したが、夫々の都市ガス会社・電力会社が個別に所有するガスパイプラインであり、ガス生産会社の所有するパイプラインも公共性のある米国的な運送事業となっていないのが現状である。天然ガスの広範な利用を推進するためには、高圧ガスパイプラインを運送事業と位置づけ、国土幹線パイプライン網の構築が欠かせない要素である。

又、国土幹線パイプライン網の建設・普及により天然ガスをエネルギー源とする新たな産業立地が可能となり、地域熱電併給（Co-generation）の普及、天然ガス自動車の普及等都市ガス事業・発電事業を超えたエネルギー戦略が促進される。炭酸ガスの排出抑制効果で環境問題への貢献も期待できる。

ガスパイプラインの建設・運営を公営事業に限定せず、PFI を活用し、民営化により建設・運営の効率化を図る発想が国土幹線パイプライン実現の鍵となる。

8.3 国土幹線パイプライン用地の新たな選択肢

1) パイプライン用地の必要条件

わが国では、米国のような取り扱いは法的に現在採られていない。第 4 章に述べたように、公道等の公有地にパイプラインを埋設する場合には管理者の許可を得て敷設し、私有地は多く慣習的に買収で取得することになる。

従来の企業単位のガスパイプラインの場合と異なり、公共性を持つ国土幹線パイプラインの建設の場合は、公的な優先権のある新たな法的環境の設定が可能となる。

期待されるパイプラインルートに必要な条件は、

- (1) 経済的なガス量が輸送できる鋼管口径（最大 1,400mm）が埋設できるスペースがあること。
- (2) 全国の需要地とガス供給源（ガス田、LNG 基地、海底パイプライン）が効率よくネットワークで結ばれること。
- (3) ガス供給が他工事等の外部要因で阻害されず、災害発生時に迅速な復旧作業が出来ること。
- (4) 建設時に、効率的な施工計画が実行でき、建設工事費を低減して経済性を最大限追及できること。
- (5) 建設による新たな環境劣化問題を発生させないこと。

2) 国土幹線パイプライン用地の選択肢

可住地が少なく国土利用が高度に発達したわが国では、上記 1)の条件を満足するようなルートは、きわめて限られている。

QPL 工法の効率施工を前提とする国土幹線パイプライン用地の考え得る選択肢は、

- (1) 鉄道用地、
- (2) 河川用地、
- (3) 沿岸海底部、
- (4) 高速道路用地、
- (5) 農地（田畑）・山林・牧草地、

のいずれかであり、従来夫々他の目的に供されている用地である。（従来利用されてきた既設公道下埋設は、他に路線選択できない場合の補完的な位置づけと考えるべきである。）

- (1) 鉄道用地；

軌条を含め車両限界内は鉄道本来の目的のため他の構造物の建設は禁止されている、用地内の地上・地中は現在も各種構造物が敷設されており、技術的にはパイプライ

ンルートとして可能性はある。

1970 年頃、旧国鉄が、関東平野内陸部に石油製品の輸送パイプラインの建設を計画したことがあった。スペースが狭隘で、作業時間に制限があるため経済性の評価が必要であるが、用地がすでに確定しており、主要都市をつないで連続しているのが鉄道網の特徴であることから本提案の国土幹線パイプライン網ルートとして充分候補地になりうる場所である。

(2) 河川用地；

従来から各種構造物がトンネル・橋梁で横断敷設されてきた。わが国河川は、高水位堤防で防護構築され、洪水を予防すると同時に河川水を農業用水、上水として利用し、雨水・浄化済排水の流下等の多機能に利用されてきた。

都市圏地域にスーパー堤防を構築し、その上に建造物を建て、治水機能とあわせ機能させる計画が具体化している。そこへのガスパイプラインの縦断埋設は当然可能である。

さらに河川敷空間に構築したピア（pier）にパイプラインを添架し、河川敷内の縦断利用が出来れば、河川流域ごとに上下流域を連絡する機能的な国土幹線パイプライン網が構築できる。洪水時対策・温度伸縮対策を講ずる必要があるが、河川用地の新しい方法として検討すべき選択肢と考えられる。

(3) 沿岸海底部；

全て公有地である。従来、沿岸工業地帯で港湾施設のほかに原油揚陸用パイプライン、上下水道管、ガス導管、通信・電力ケーブル、道路トンネルの埋設敷設がされている。

沿岸部にガスパイプラインを建設することは、直接建設費は陸上に比べ嵩むが用地買収費は不要であり、技術的には特に難易度は高くないためルート選定の一方法と考えられる。

高潮時・地震時のパイプライン健全性の検証、維持管理・改修工事の技術的課題を解決できれば、主要沿岸都市間の国土幹線パイプラインには可能性が大きいといえる。

(4) 高速道路用地；

選択肢の中で最も諸条件が適合する場所と考えられる。

一般に日本で高速道路と呼ばれる道路は、有料道路の総称で、一般有料道路と高速有料道路に区分される。日本道路公団が建設・運用しているのは一般・高速の双方であり、首都高速道路公団、阪神高速道路公団、本四連絡橋公団、都道府県管理の有料自動車専用道路はいずれも、一般有料道路である。

その特徴を要約すると、

- 高速道路の 4 車線施工部（上下 2 車線）の 1 車線幅は 3,500mm あり、盛土部・

切土部には退避帯側は 4,000mm の平坦部がある。埋設可能な鋼管口径は、最大 1,400mm (56in.) のため 1 車線内施工に必要な十分な幅が確保できる。

- 日本道路公団が建設・供用中の路線延長は、6,876km (2001.10.5 現在) あり、全国の人口可住地の殆どを連絡している。国土幹線パイプライン網が予定されるルートも同様な場所となる。
- 高速道路として維持管理が万全であり、域内敷設のパイプラインに想定外の被害発生は起こりえない。天災による道路破損時にも迅速対応が取れる。
- 高速道路には一般道のように地下埋設物がなく、工事上障害とならない。又道路曲線も緩やかで連続に高速施工が可能である。
- 高速道路建設時に十分な環境アセスメントが完了しているので、パイプライン建設に際し、付加的な調査が不要である。

(5) 農地 (田畑)・山林・牧草地；

本来目的に利用されるのは植生用として地表から 1,000mm 以内に限られるので、パイプライン上に勝手に構造物を構築しない等の契約条件を当事者間で締結できれば、公共性のある国土幹線パイプライン網の敷設が本来目的の支障とならず、欧米と同じような環境 (Right of Way) にパイプラインを敷設できる可能性も残されている。

(6) 用地選択肢のまとめ

上記に検討した選択肢のいずれにおいても用地利用制限の変更を伴い、国土幹線パイプライン網建設の権利・義務に関する法律の整備が前提として必要と考える。

国土幹線パイプライン網の最適ルートとしては、高速道路用地を第一義的に活用し、他の選択肢を地域的特性により補完する路線とすることが最適な方法と考えられる。

8.4 高速道路用地へのパイプライン敷設の事例研究

1) 敷設位置の選択

高速道路用地をパイプラインルートとして主として利用する場合、外乱に対する安全性、温度伸縮防止、景観等を勘案して原則として埋設配管される。

利用する用地は主に高速道路の中の盛土部又は切土部 (一般部という) である。(河川横断橋梁部、市街地高架部、横断カルバート部、トンネル部については在来工法と同様に特殊部として別途設計対応する。)

パイプライン埋設位置としては、

- (1) 追越し車線、
- (2) 走行車線、
- (3) 路肩避難帯、

のいずれかが選択される。

(1) 追越し車線；

最も中央分離帯寄りにあり高速道路境界より最も離れている。工事施工中の騒音の影響は最も少なく、反対側追越し車線まで工事占有すれば土砂運搬用車両の反転運行にも機動的で最適の埋設位置と考えられる。

(2) 走行車線；

道路境界側の路肩避難帯が鋼管、土砂、機材の仮置スペースに利用できるため施工中追越し車線を走行車線として常に確保できる。土砂運搬用車両の運行サイクルの短縮に工夫がいる。

(3) 路肩避難帯；

走行車線 1 車線を土砂・機材の仮置スペースとして利用できる。1 車線内施工は、追越し車線を走行車線に使えるので特に問題ない。道路境界の外（側道）が工事用道路として活用できる場合は、2 車線をそのまま道路として生かすことも出来る。

(4) 尚、高速道路の一般部であっても、パーキングエリア、インターチェンジ、インターセクション等の出入口は車両通行を優先し開削工法は避け、推進工事等の非開削施工法による特殊工事場所とすべきである。

2) 施工計画

(1) 施工時間帯；

一般道と異なり高速道路敷きであるから 1 車線徐行通行を確保し、週日の通勤時間の渋滞よりも、週末・祭日などの特定日の工事を休止する等考えるべきである。従い、週日（5 日）の昼間中心に工事計画を組み立て、日の出・日没間の必要時間帯を選択できる。作業日の実働時間を工事効率から最低 10 時間としたい。

(2) 施工作業帯の占有延長；

出来るだけ長いのが望ましい。1 車線占有を前提とすれば、インターチェンジ間全長（約 20km）を一工区として工事中確保することで施工計画に柔軟性が出る。

(3) 作業ヤードの設置；

作業ヤードの機能は、土砂の仮置きをはじめ、パイプライン敷設作業を円滑に進めるためのあらゆる補助作業が出来るようにするものであり、高速道路から直接作業車が出入可能な場所を選定する。

(4) 作業のグループ化；

パイプライン敷設が相互干渉せずに効率的に進めるためには、作業をグループ分けして進めるように計画する。即ち、

- ① 舗装切断撤去作業、
- ② 鋼管・機材配列作業、

- ③ 掘削・土留支保工作業、
- ④ 配管・溶接・検査・塗覆装作業、
- ⑤ 鋼管吊下し・埋め戻し・締固め作業、
- ⑥ 舗装復旧作業、

をグループ作業に区分して施工する。長尺鋼管の吊り下しは、できるだけ長くなる様に計画し、最短日進延長以上の連続化を目標とする。

(5) 工事施工能率；

工事進捗向上は効率化の要であるが、作業全体がバランスよく進められるようにするため、100m~500m/日で最適化を検討する。

(6) 埋設位置；

道路表面から鋼管頂部までの埋設深さを 800~1,200mm とし、地温変化の最小化、路上荷重によるパイプライン応力低減を図る。又埋設位置は、一車線内施工が実施可能な位置で道路線形にできるだけ沿うように計画する。

(7) 鋼管；

API 5L 規格に適合する品質とし、設計圧力、作業性（運搬、溶接）から適切なグレード・鋼管厚さを選定する。鋼管長さは、工場より 12,000mm 長さで出荷し、施工場所近接の作業ヤードで、二本継溶接（24,000mm）、（必要に応じ）曲げ加工をしてから搬入する。

(8) 土木作業；

第7章に纏めた適用指針を遵守し QPL 工法での知見を可能な限り導入したうえで、より効率的な作業形態を工夫する。

(9) 溶接；

初層 TIG 手動溶接・全自動 MAG 溶接法の組み合わせで、作業能率の向上、品質の安定をはかる。

(10) 非破壊検査；

全角（360 度）放射線撮影機の導入で、作業能率向上、撮影フィルムの高解像度判定を図り、自動超音波検査装置の導入で割れ状欠陥の検出を効率化する。

(11) 作業制限；

高速道路の車両通行が禁止されるような事態（暴風、大雨、地震、火災）を除き施工が実施できる前提で体制を整備する。

3) QPL 工法による施工能率の設定

QPL 工法の総合施工能率は、開発建機能力には左右されず、

- ① 掘削・埋設土砂の搬出・搬入能率、
- ② 初層 TIG 溶接の施工能率、

のいずれかに制約される。利用する一般建設機械能力・台数、必要作業者数は決定される施工能率にあわせリース調達することが出来る。

使用鋼管寸法を 4 種類に想定して、パイプライン敷設可能延長を試算した。

(1) 設定パイプライン寸法明細

寸法	外径(mm)	管厚(mm)	単重(kg/m)	グレード
口径 24	609.6	12	177	X60
口径 30	762.0	14	258	X65
口径 40	1016.0	15	370	X80
口径 56	1422.0	17	589	X100

(注) 鋼管口径は、高速道路一車線内施工可能な寸法、製造可能寸法、ガス輸送量を勘案して選定し、管厚・グレードは設計内圧 6~8Mpa と仮定した。

(2) 標準掘削断面形状

寸法	掘削幅(m)	掘削深(m)	掘削土量(m ³ /m)	鋼管断面積(m ²)
口径 24	1.01	1.81	1.83	0.28
口径 30	1.16	1.96	2.27	0.45
口径 40	1.42	2.22	3.15	0.81
口径 56	1.82	2.62	4.77	1.59

(注) 掘削幅は、パイプラインが吊下し・埋設作業に支障のない寸法とし、掘削深は、土被り 1,200mm 確保できる寸法とした。

(3) 土砂運搬能率の設定

- 10T ダンプ積載量：6m³ (=10T÷1.6T/m³)
- 稼働台数：10 台
- 稼働時間：10h/日
- サイクルタイム：0.5h/回 (掘削場所～仮置きヤード)
- 1 台当り運搬量：120m³/日 (=6m³×10h/日×2 回転/h)
- 総運搬量；1200m³/日 (=120m³/日/台 x10 台)

(4) 土砂運搬能率によるパイプライン掘削可能延長

寸法	日進掘削延長(m)	計算根拠
口径 24	656m	$1200\text{m}^3 \div 1.83\text{m}^3/\text{m}$
口径 30	529m	$1200\text{m}^3 \div 2.27\text{m}^3/\text{m}$
口径 40	381m	$1200\text{m}^3 \div 3.15\text{m}^3/\text{m}$
口径 56	252m	$1200\text{m}^3 \div 4.77\text{m}^3/\text{m}$

(注) 連続溝掘削機、自動矢板打込み機の施工能力は、対応可能とする。

(5) 初層 TIG 溶接作業能率によるパイプライン施工可能延長

寸法	溶接士数 (人)	サイクル 時間(h)	延作業時間 (h)	日進溶接数 (箇所)	日進溶接延長 (m)
口径 24	2	0.5	10	20	480
口径 30	3	0.5	10	20	480
口径 40	3	0.5	10	13	312
口径 56	4	1.0	10	10	240

(注) 初層溶接作業 1 班当りの作業能率であり、MAG 自動溶接班は複数班体制とする。

(6) QPL 工法による総合施工可能延長

寸法	土砂運搬能率(m)	初層 TIG 溶接能率(m)	施工可能延長(m)
口径 24	656	480	480
口径 30	529	480	480
口径 40	381	312	312
口径 56	252	240	240

(注) 占有作業延長による制限がない条件とする。

4) 概算工事費比較の前提条件

3) の能率設定に用いた鋼管口径 4 種類について、QPL 工法と在来工法との工事費比較を試みた。

試算の前提条件を下記のように仮定した。

- (1) 延施工量 20km (1 インターチェンジ間想定)
- (2) 使用鋼管長 従来工法 12,000mm (単管)
 QPL 工法 24,000mm (二本継熔接パイプ)
- (3) 施工能率 従来工法 全口径： 24m/日
 QPL 工法 口径 24： 480m/日

口径 30 : 480m/日

口径 40 : 312m/日

口径 56 : 240m/日

- (4) 建機損料 口径 20 用開発建機基礎価格を基に口径比で基礎価格を推定し、損料計算を行った。(表 7.2 参照)
- (5) 工事単価 実証試験時見積単価 (在来工法)、実証試験時積算実行予算単価 (QPL 工法) を用いた。(6.6 参照)

5) 工事費算定結果

表 7.1 に概算工事費の試算結果を要約した。

次のことが判明した。

- (1) 20km のパイプラインの実施工日数は、1 作業班につき、

従来工法 全口径	833 日
QPL 工法 : 口径 24	42 日
口径 30	42 日
口径 40	64 日
口径 56	83 日

であり、大幅な工期短縮が実現できる。

- (2) 算出土木工事費を、鋼管口径ごとに比較すると、従来工法 100%に対し、

口径 24	31%
口径 30	31%
口径 40	34%
口径 56	36%

となり、専用建機損料を算入しても、約 3 分の 1 に縮減できる。

- (3) 従来工法 (24m/日) は、作業班を増加させることで施工日数短縮可能であるが、工事費縮減には貢献しない。増班により総作業延長も増加し、QPL 工法に比べ管理がしにくくなる傾向がある。
- (4) QPL 工法の施工能率は、初層 TIG 溶接作業の能率が制約要素であり、開発建機による土木作業にはまだ十分な余裕がある。
- (5) 掘削 (連続溝掘削機・自動矢板打ち機)・埋め戻し締固め (多層締固め機・材料供給機・表層締固め機) 作業の機械化による能率向上の成果は、鋼管・機材事前仮置き (パイプ敷設クレーン)、鋼管地上溶接 (パイプ工作車)、長尺パイプライン吊下し (パイプ吊下しクレーン・簡易自動切梁装置) 等の作業により作業手待ちが大幅に減少することで達成される。

	従来工法				QPL 工法			
口径	24	30	40	56	24	30	40	56
外径 (mm)	609.6	762.0	1,016.0	1,422.0	609.6	762.0	1,016.0	1,422.0
掘削幅 (m)	1.01	1.16	1.42	1.82	1.01	1.16	1.42	1.82
掘削深さ (m)	1.81	1.96	2.22	2.62	1.81	1.96	2.22	2.62
日進施 工量(m)	24	24	24	24	480	480	312	240
延延長 (km)	20	20	20	20	20	20	20	20
施工 日数 (日)	833	833	833	833	42	42	64	83
直接 工事費 (x1000)	¥717,931	¥809,728	¥974,535	¥1,268,940	¥203,562	¥224,600	¥286,580	¥366,244
開発建 機損料 (x1000)	-	-	-	-	¥19,278	¥24,098	¥49,432	¥89,966
総計 (x1000)	¥717,931	¥809,728	¥974,535	¥1,268,940	¥222,840	¥248,698	¥336,012	¥456,210
1m 当り 工事費	¥35,897	¥40,486	¥48,727	¥63,447	¥11,142	¥12,435	¥16,801	¥22,811
工法 対比					31%	31%	34%	36%

表 8.1 QPL 工法鋼管口径別土木工事費比較試算表

口径	20			24	30	40	56
	基礎 価格 (x1000)	損料		損料	損料	損料	損料
連続溝掘削機	¥58,500	¥90,884		¥109,061	¥136,326	¥181,768	¥254,475
自動矢板 打ち機	¥57,600	¥92,057		¥110,468	¥138,086	¥184,114	¥257,760
パイプ敷設 クレーン	¥19,200	¥30,686		¥36,823	¥46,029	¥61,372	¥85,921
パイプ工作車 (TIG)	¥11,250	¥18,482		¥22,178	¥27,723	¥36,964	¥51,750
パイプ工作車 (MAG)	¥11,250	¥18,482		¥22,178	¥27,723	¥36,964	¥51,750
パイプ吊り下し クレーン	¥32,000	¥48,285	5 台	¥57,942	¥72,428	¥96,570	¥135,198
多層締固め機	¥19,200	¥29,828	2 台	¥35,794	¥44,742	¥59,656	¥83,518
材料供給機	¥26,250	¥41,953		¥50,344	¥62,930	¥83,906	¥117,468
表層締固め機	¥9,600	¥14,914		¥17,897	¥22,371	¥29,828	¥41,759
計(円/D)		¥385,571		¥462,685	¥578,357	¥771,142	¥1,079,599
日進(m/D)				480	480	312	240
20km あたり 施工日数				42	42	64	83
20km あたり損 料				¥19,278,550	¥24,098,188	¥49,432,179	¥89,966,567
1km あたり損 料				¥963,928	¥1,204,909	¥2,471,609	¥4,498,328
1m あたり損料				¥964	¥1,205	¥2,472	¥4,498

表 8.2 開発建機損料試算表

8.5 まとめ

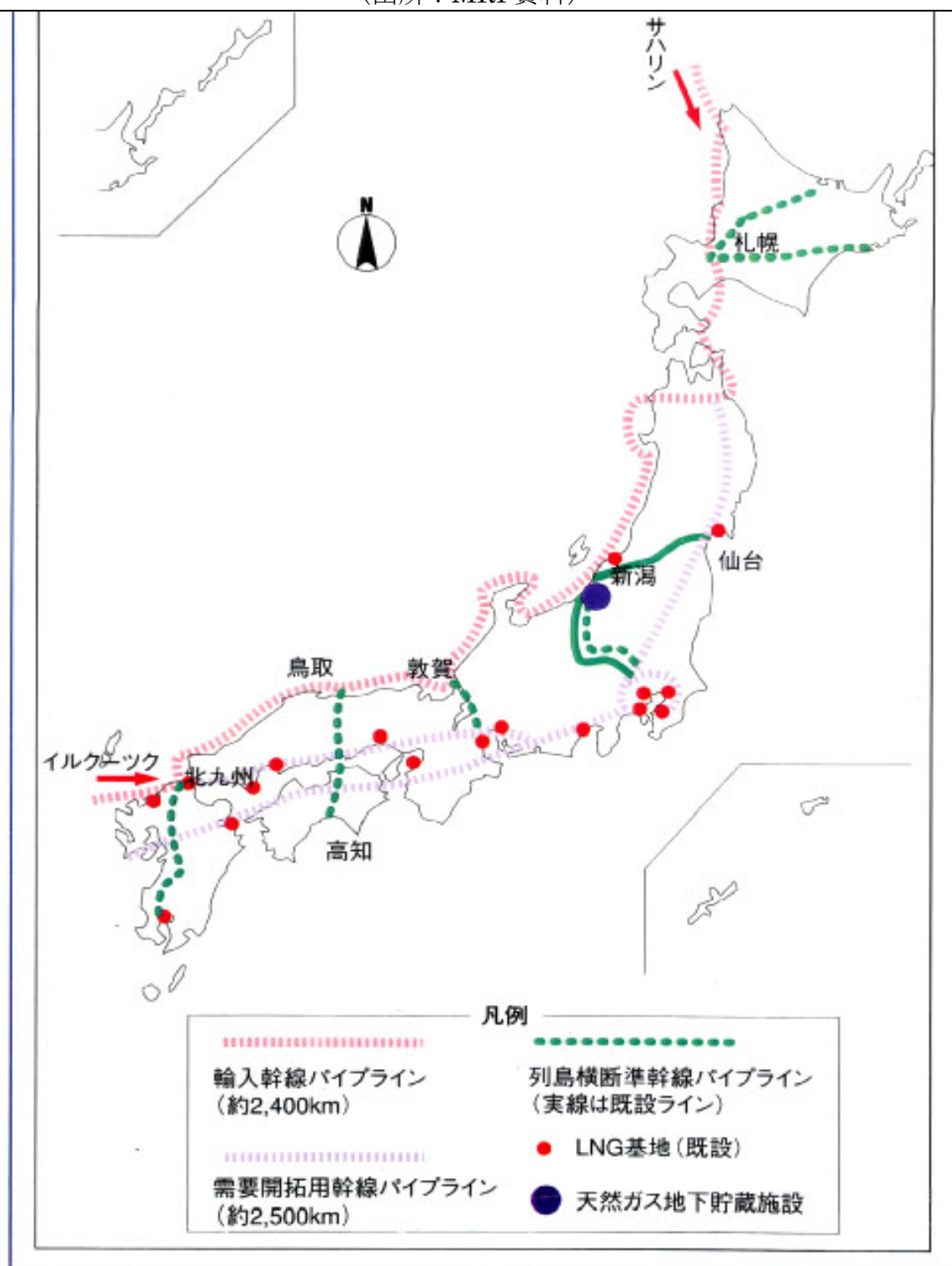
- 1) QPL 工法の工期短縮・工事費節減の利点を生かし、新たな敷設用地を選択して、国土幹線パイプライン網の構築が可能か検討する。
- 2) 現在の公共事業の各分野について考察し、ガスパイプラインの公共性につき、米国の先例を分析して、その正当性を論じた。
- 3) 国土幹線パイプライン網敷設用地として、既設公道下埋設に替り、新たな選択肢を提案し、その特長を比較検討した。
- 4) 国土幹線パイプライン網を、公益事業として経済的に確立させるためには、高速道路用地を有効活用することが提言出来る。
- 5) 事例研究として、QPL 工法を適用してガスパイプラインを建設した場合の工事費を試算し、従来工法に対し如何ほどの便益があるかを検討した。
- 6) QPL 工法的高速施工性が十分に生かされると、工事費が 30%～40%に低減でき、工事期間も大幅に短縮されることが判明した。
- 7) 地域的特性により、鉄道用地、河川用地、沿岸海底部、農地・山林・牧草地を多目的活用することも検討すべきである。
- 8) 公共性のある輸送事業として、国土幹線パイプライン網を成立させるための法的な裏づけの検討を考える必要がある。
- 9) 図 8.1 に国土幹線パイプライン構想図を参考のため掲げる。
- 10) 表 8.3 にスプレッド工法、従来工法、QPL 工法の特徴を対比してまとめとする。

	スプレッド工法	従来工法	QPL 工法
ルート	パイプライン ROW	公道、私有地	高速道路他
工事区間	制限なし	50m	500m
掘削	ロータリー・ トレンチャー	バックホウ	連続溝掘削機
土留	なし、V字掘削	簡易鋼矢板・切梁腹起し（布堀、会所）	自動矢板打ち機（仮切梁）・簡易自動切梁
配管	ポールトレーラー・ クレーン・ サイドブームトラクター	ロングボディトラック・ クレーン	ロングボディートラック・クレーン パイプ敷設クレーン
溶接場所	地上、掘削溝横	地下、会所内	地上、掘削溝上
溶接 芯出し	サイドブームトラクター・ インナークランプ	三叉（四叉） アウタークランプ	パイプ敷設クレーン アウタークランプ
溶接方法	セルローズ系手溶接 （層別分担施工）	イルミナイト系・ 低水素系手溶接 （全層 1~2 名）	初層：TIG 手溶接 （半周分担施工） 二層以降：MAG 全自動 溶接
検査	全角 X 線、管内自走式	全角（二重壁）X 線、手動	全角（二重壁）X 線、手動
塗覆装	自動塗覆装機、現地 アスファルトジュート巻き	PE 塗装、工場 シュリンクチューブ、現地	PE 塗装、工場 シュリンクチューブ、現地
吊下し	サイドブームトラクター	三叉（四叉）	パイプ吊下しクレーン
埋め戻し	ブルドーザー・バックホウ・ ブレードクレーン	バックホウ。ダンプトラック	材料供給機・ダンプトラック・ ベルトコンベア
締固め	盛土、自然圧密	水締め、人力タンパー	多層締固め機・表層締固め機

表 8.3 パイプライン施工法対比

図 8.1 国土幹線パイプライン構想図

(出所：MRI 資料)



第9章 結語

21 世紀における日本国内の効率的なエネルギー供給の一環として国土幹線パイプラインの建設が計画されている。このパイプラインは天然ガスのみならず、将来は水素ガスの安全かつ合理的な輸送も期待されている。

しかしながら、狭隘かつ過密なわが国において、このようなパイプライン網を建設・整備することは必ずしも容易ではない。

本研究は、このような厳しい条件下における国土幹線パイプラインの建設を可能ならしめることを目的として合理的建設システムを研究し、クイックパイプライン工法（QPL 工法）を開発・実用化した。

パイプライン建設は、溝掘削、土留支保、鋼管配列、溶接、検査、鋼管吊り下し、埋設・締固め作業が連続に施工されるため、夫々の作業の能率向上が全体の能率を左右する。

この QPL 工法は、パイプライン敷設の作業性と安全性の向上を図るため、数種類の専用機器を新たに開発し、これらを有機的にシステム化した工法である。

溝掘削作業用にはスラッター式溝掘削機を開発した。これは、パイプライン埋設用の溝を所定の幅及び深さで連続して掘削し、その土砂を付帯するベルトコンベアにてダンプトラックに直接積載できる機能を有し、作業性を大きく向上できる。従来用いている油圧式掘削機（バックホウ）は作業者の技量に能率が依存しており、又土砂搬出作業により道路通行を阻害する。

効率的な土留支保作業のために、自動矢板打ち機を開発した。溝掘削後、直ちに簡易鋼矢板の打設と水圧式仮切梁の設置が自動的かつ連続に施工可能となり、このため土留作業の迅速化が達成され、また掘削溝内での作業者による危険作業が回避できる。

鋼管配列作業のためには、パイプ敷設クレーンを開発した。予め掘削する道路脇に搬入された鋼管を掘削溝上に横移送する機能を有し、更に溶接作業時に鋼管を保持・微調整できる多機能建機である。従来大型クレーンによる鋼管配列作業で生じる道路交通の阻害が防止でき、作業の迅速化が達成できる。

溶接作業の天候による中断をなくすため、パイプ工作車を開発した。溶接作業が風雨に左右されずに高速施工できるため、パイプライン建設を計画的に実行できる。

掘削溝上で溶接された長尺パイプラインの吊り下し作業用に、自走式パイプ敷設クレーンを開発した。従来行っていた掘削溝内での地下溶接作業をなくし、作業性と安全性を同時に向上できる。

開発した簡易自動切梁装置は、アルミ製で軽量化を図り、水圧式切梁を二段に配置したもので、パイプライン吊下し時鋼管自重で切梁が中央から二分される機能により吊り下し作業の効率化と作業者の掘削溝内での危険作業が回避できる。

埋設・締固め作業は、パイプライン敷設作業で最も時間のかかる危険な作業である。開発した多層締固め機と材料供給機により、埋め戻し土砂をダンプトラックから連続に掘

削溝内に投下し同時に締固め作業が行える機能を有している。作業の能率向上、安全性の向上とともに埋め戻し地盤の圧密沈下を最小限に抑止できる。

このような開発建機を系統的に導入した **QPL** 工法を大規模かつ長距離のパイプラインの建設に適用すると、工事施工の迅速化、作業の安全性向上、工費の低減が同時に期待できる。

今回開発した **QPL** 工法の特徴を要約すると、供用中の道路区間での一車線内施工、風雨時での工事継続、そして機械システム施工が可能であり、これによって既設道路交通への影響を最小限に抑制し、工期への影響を極小化し、そして工事の安全性を確保できる。加えて、従来工法に比べ施工速度は数倍、建設費は半分程度にまで改善でき、パイプラインの高速道路併設が可能となれば、更なる工期短縮、建設費低減が達成できる。

本研究成果が、水素ガスを含む 21 世紀における日本の効率的なエネルギー供給の柱となる国土幹線パイプラインの建設にも有効に利用できることを念願する。

謝辞

本論文執筆に当り、直接ご指導いただいた京都大学大学院工学研究科教授小野紘一様はじめ、適切なご助言をいただきました大西有三教授、宮川豊章教授、谷口栄一教授、家村浩和教授、ならびにご関係の皆様には厚く御礼申し上げます。

本論文の主題でありますパイプラインの建設工事費低減の必要性を強く期待され、QPL 工法開発に当り実証試験実施の場を快くご許可いただいた石油資源開発株式会社のご担当役員黒田昌裕様、プロジェクトマネジャー江川堯様はじめご関係の皆様のご支援・ご協力に深く感謝申し上げます。

末筆ではありますが、筆者が勤務していた住友金属工業株式会社エンジニアリング事業部パイプライン部門及び住友金属ブランテック株式会社のご関係の方々、とりわけ QPL 工法開発・実施に直接ご尽力いただきました村瀬隆巳様、野村秀徳様、中川彰様に感謝の念を表するとともに、来るべき国土幹線パイプライン網建設でのご活躍を心より祈念しております。

海外の陸上ガスパイプラインの事例

地域	パイプライン名称	始点/終点	建設時期	距離 (km)	口径 (B)	管厚 (mm)	材質	設計圧力 (MPa)
ヨーロッパ	(Ruhrgas)	Werne-Schluchtern	1993 年	260	48		API 5L-X80	10.1
	Transmed (Onshore)	アルジェリア ～イタリア	1983 年	1,600	48		API 5L-X65	6.9
	Maghreb ～Europe	アルジェリア ～スペイン	1995 年	1,541	48		API 5L-X70	7.8/6.9
北米	Alliance	カタール/リビア/コロンビア ～シカゴ	2000 年	2,990	36 42		API 5L-X70	11.8
	カナダ～アイオワ	カナダ ～アイオワ	1982 年	1,324	42		API 5L-X70	9.9
	テキサス	テキサス	1980 年	459	30		API 5L-X60	8.6
	NOVA/Canada		1990 年	3	48		API 5L-X80	8.8
	Colorado/Texas 注記)	Colorado/Texas	1980 年					20.0
南米	Borivia～Brazil	ボリビア ～ブラジル	1999 年	3,150	32		API 5L-X70	9.8
アジア	PGU (Peninsular Gas Utilization)	マレーシア ～シンガポール	1991 年	750	18～ 36		API 5L-X70	6.9

注記) 3 次回収用の CO2 パイプライン

(出典：日本サハリンパイプライン調査企画㈱)

付表 1 海外の陸上パイプラインの事例

付表 2 我が国のガスパイプライン(導管)設置状況について

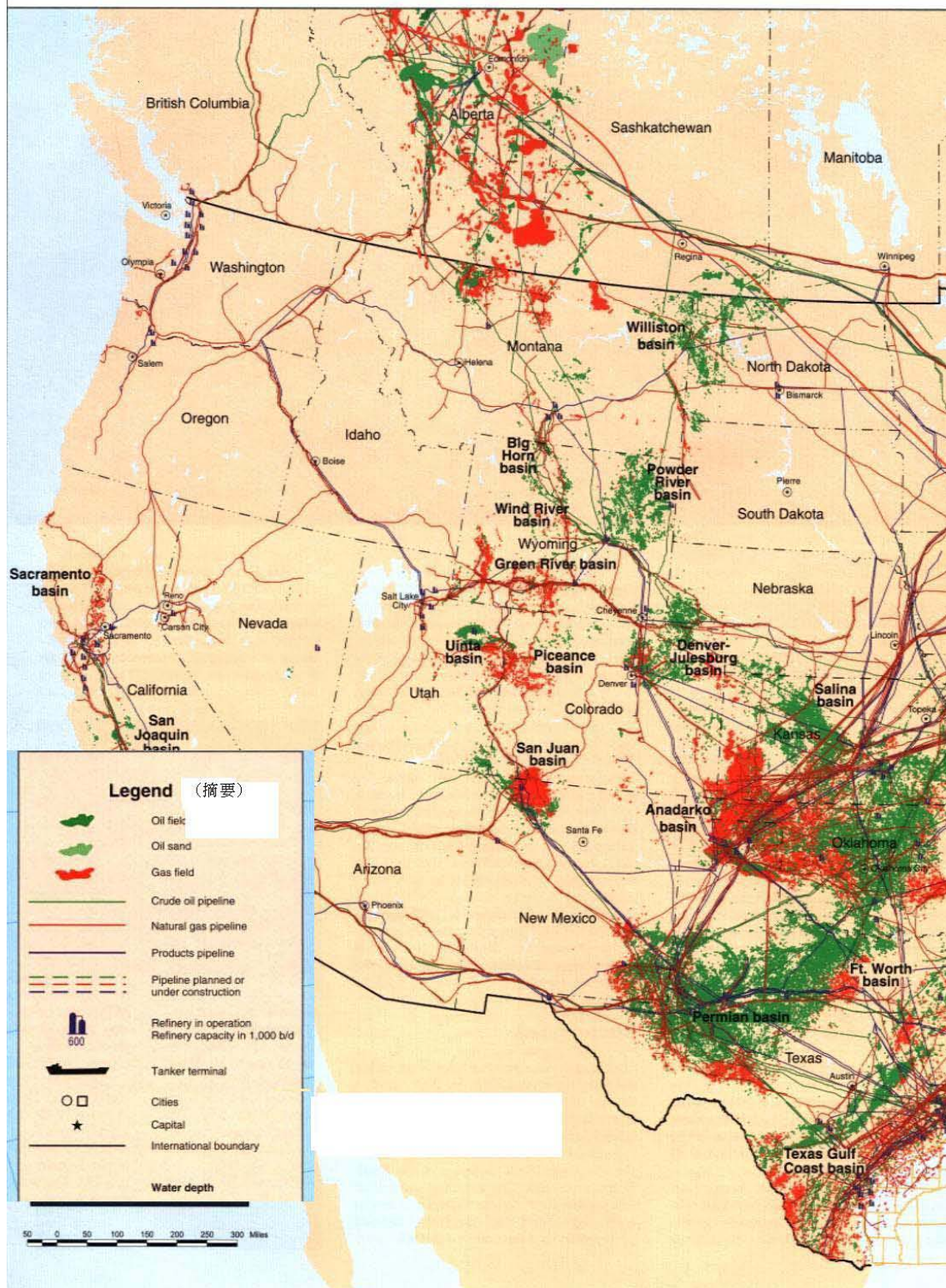
所管法令	事業者名	導管総延長(単位:km)			計
		高圧	中圧	低圧	
		1.0MPa以上	0.1MPa以上 1.0MPa未満	0.1MPa未満	
ガス事業法	東京ガス㈱	551	5,570	40,913	47,035
	大阪ガス㈱	494	5,575	36,940	43,008
	東邦ガス㈱	117	2,447	15,889	18,453
	西部ガス㈱	65	889	7,429	8,382
	4 社 計	1,229	14,479	101,171	116,879
	その他の私営事業者	152	9,973	66,784	76,910
	私営事業者計	1,381	24,452	167,955	193,789
	公営事業者計	16	2,711	16,062	18,788
	合 計	1,397	27,163	184,017	212,577
電気事業法	東京電力㈱	120	33	0	153
	中部電力㈱	40	25	0	65
	関西電力㈱	26	0	0	26
	合 計	186	58	0	244
高圧ガス保安法	合 計	1,179	0	0	1,179
鉱山保安法	帝国石油㈱	861	142	20	1,023
	石油資源開発㈱	736	92	5	833
	関東天然瓦斯開発㈱	51	215	144	410
	合同資源産業㈱	149	127	63	339
	伊勢化学工業㈱	47	101	45	193
	ジャパソエナジー-石油開発	40	35	0	75
	(株)東邦アーステック	0	23	32	55
	その他の事業者	46	80	95	221
	合 計	1,930	815	404	3,149
総 合 計		4,692	28,036	184,421	217,149

(注)ガス事業法は平成11年12月末現在。他は平成12年12月末現在。
 ガス事業法、電気事業法及び高圧ガス保安法については、導管が複数条数埋設されているものは
 総延長としている。
 電気事業法は、導管の総延長が20km以上の事業者を掲載。
 端数は、四捨五入のため合計に合わない場合がある。

付表 3 我が国における主要パイプライン

(陸上)

事業者名	ライン名	代表口径 (mm)	圧 力 (Mpa)	材 質	適用法規	延長 (km)
北海道ガス㈱	札幌幹線南部ライン	600	1.95	API5L-X52	ガス事業法	20
	札幌幹線北部ライン	600	1.95	API5L-X52	ガス事業法	18
東京ガス㈱	千葉幹線・埼玉幹線	600	6.86	API5L-X60	ガス事業法	130
	東京幹線	650	1.96	API5L-X42	ガス事業法	49
	根岸幹線	650	1.96	API5L-X42	ガス事業法	110
	京浜幹線	750	1.96～2.94	API5L-X52	ガス事業法	42
	横浜幹線	900	1.96	API5L-X60	ガス事業法	14
	宇都宮幹線	250	1.77	STPG370	ガス事業法	44
	前橋ライン/高崎ライン	200	1.91	STPG370	ガス事業法	29
大阪ガス㈱	湾岸ライン	750	6.86	API5L-X65	ガス事業法	21
	近畿幹線第1東部ライン	600	2.45	API5L-X42	ガス事業法	109
	近畿幹線第2東部ライン	600	3.92	API5L-X52	ガス事業法	92
	近畿幹線第2西部ライン	600	3.92	API5L-X52	ガス事業法	158
	近畿幹線第3西部ライン	600	3.92	API5L-X52	ガス事業法	73
東邦ガス㈱	知多第1、2湾岸線	600	2.45	API5L-X52	ガス事業法	23
	東環状幹線	600	1.95	API5L-X52	ガス事業法	53
	西環状幹線	600	1.95～2.45	API5L-X52	ガス事業法	29
	西三河幹線	600	1.95	API5L-X52	ガス事業法	11
西部ガス㈱	福北幹線	400	1.95	API5L-X52	ガス事業法	59
	新佐世保ライン	300	1.95	STPG370	ガス事業法	5
両毛ガス事業協同組合	両毛ライン	250	1.95	STPG370	ガス事業法	81
静岡ガス㈱	駿河幹線他	300	6.86～1.95	STPG370	ガス事業法	67
山口合同ガス㈱	東部幹線	400	1.95	API5L-X52	ガス事業法	37
石油資源開発㈱	勇払～北広島間	350	7	API5L-X60	鉱山保安法	75
	仙台ライン(新潟～仙台)	500	7	API5L-X60, API5LX-X52	鉱山保安法	261
帝国石油㈱	新潟ライン(長岡～新潟)	100～250	5	JIS G3433, STP3種	鉱山保安法	65
	長岡ライン(長岡～頸城)	250	5、5.5、7	JIS G3433, STP4種	鉱山保安法	67
	新長岡ライン(長岡～頸城)	250～400	7	API5L-X60	鉱山保安法	66
	東京ライン(頸城～東京)	300	5	JIS G3433, STP4種, JIS G3454, STP4G410	鉱山保安法	307
	新東京ライン (頸城～軽井沢)	500	7	API5L-X60	鉱山保安法	52



付図1 北米のパイプライン分布図（西部）



第 図 北米（東部）
パイプライン地図

付図 2 北米のパイプライン分布図（東部）