

阪神・淡路大震災—防災研究への取り組み— 河川堤防はいかにあるべきか —地震による被害が示すもの—

今 本 博 健

1. はじめに

兵庫県南部地震は5,500名を超える人命を奪ったばかりではなく、鉄道、道路、港湾、河川、都市施設に甚大な被害を及ぼした。その規模は、既往の震災を大きく上回り、水災害を中心に防災に関する研究を行ってきた者にとっても調査すべき多くの課題が提示された災害であった。ここでは、河川堤防・護岸の被害、貯水池・ため池の被害について調査した結果および検討結果を示す。

被害形態は Table 1 に示すように分類される。河川施設の被害は、護岸・天端のクラック、護岸崩壊、堤体崩壊、裏法崩壊等であり、本報告では、淀川下流左岸堤防の崩壊、神崎川耐震堤防と被害、表六甲河川の護岸の崩壊等の被害状況を示し、地震時における河川施設の治水機能を考える上で、検討すべき課題について述べる。一方、貯水池・ため池では、堤防の亀裂・陥没、護岸の崩壊等の被害が発生したが、ここでは、西宮市の水道用貯水池であるニテコ貯水池で発生した堤防の崩壊とそれに伴う貯水池内の氾濫に関する調査結果および平面二次元流れの解析法を用いた地震時における貯水池内の水の挙動に関する検討結果を示す。また、淡路島におけるため池被害についてその概要を述べる。これらの被害は、下流への氾濫という二次災害発生危険性を含んでいる。とくに、都市域にあるニテコ池の場合には、過去の水害経験から貯水制限を行っていた下流側の池が住宅地への氾濫を防いだものであり、このような経験が今後の防災対策に生かされるべきこと等を指摘している。

Table 1 Damages of rivers and reservoirs

施 設	構 造	被 害 形 態	被 害 例
河 川 施 設	堤 防	土堤	沈下、はらみ出し、縦断亀裂
		特殊堤	堤防崩壊、沈下、縦断亀裂、裏法崩壊、はらみ出し
	護 岸	空石積	崩壊、すべり、はらみ出し
		ブロック積	崩壊、すべり、はらみ出し
		矢板	前傾、縦断亀裂、はらみ出し
	地下河川	トンネル	縦断亀裂、横断亀裂、沈下
貯 水 池	土堤、護岸	堤体崩壊、亀裂、護岸崩壊、導水管破損	布引・鳥原・千苅貯水池 ニテコ貯水池 昆陽池貯水池
た め 池	土堤、護岸	堤体決壊、亀裂、	北淡町、一宮町（淡路島）

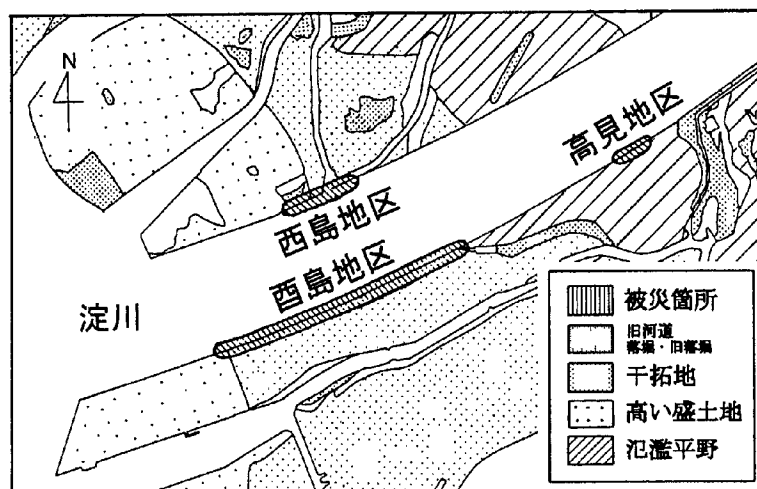


Fig. 2 Collapse of embankment of Yodo River and geographical features

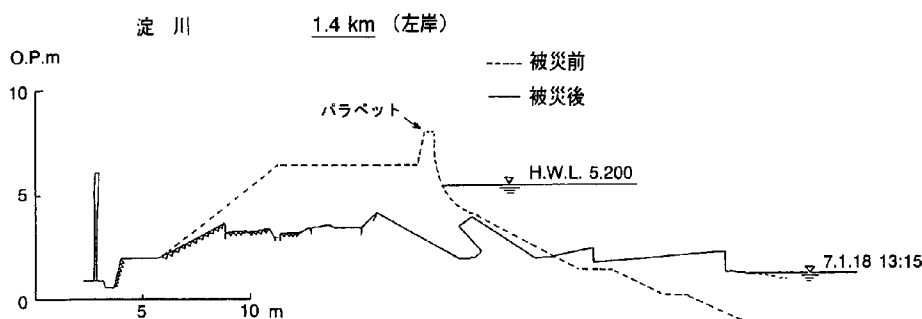


Fig. 3 Cross-section of Yodo River's embankment collapsed

強振動のため空積護岸が崩壊する被害が特徴的である。また、淀川下流部、神崎川、藻川、武庫川などに重度被害の発生が集中しているが、これらの被災箇所と治水地形分類図(国土地理院、大阪西北部、1/25,000)と比較すると、干拓地、自然堤防、旧河道等に対応しており、多くは地盤の液状化によるものと考えられる。淀川および神崎川については後述するが、武庫川では、堤防を走る道路や高水敷に亀裂が入る被害が生じ、藻川では堤体天端の最大1mの沈下および裏法に幅数10cmの亀裂が生じるなどの被害が発生した。

2.2 堤防崩壊および特殊堤崩壊：淀川

淀川下流部において著しい被害が生じた区域は、左岸下流部(0.1-2.2k)の西島地区、左岸下流部(3.4-4.1k)高見地区および右岸下流部(1.1-1.9k)西島地区である(Fig. 2)。高見地区の堤防では、堤防天端から裏法を中心に被災しており、天端全体が20cm程度沈下するとともに、天端に縦断亀裂が生じた。また、裏法面下部のはらみ出しが見られた。一方、右岸の西島地区の堤防では、天端中央に最大開口幅1.2m、最大段差1.2mの縦断亀裂が生じた。

淀川下流左岸西島地区は、治水地形分類図に基づいて描いたFig. 2に示すように治水地形分類によると干拓地であり、新淀川開削以前の伝法川の左岸に位置する1600~1700年頃の埋立地である。この地区では、砂質性の地盤が液状化したなどにより、盛土でできた堤防本体が陥没し、表層のコンクリートが川表側に移動するように大破・崩壊した。Fig. 3に被災前後の堤防断面を、Photo. 1およびPhoto. 2にその状況を示す。また、この付近の堤防天端上には高潮の氾濫防止用として高さ1.6mの特殊堤(パラベット)が設置されていたが、堤防の崩壊とともにこの特殊堤もまた大破・崩壊した。崩壊前の特殊堤の天端高はOP+



Photo 1 Perfectly collapsed embankment of Yodo River in Osaka



Photo 2 Perfectly collapsed embankment of Yodo River



Photo 3 Top of the embankment of Yodo River



Photo 4 Back slope of the embankment of Yodo River

8.10 m であったが、崩壊により最大で3 m 近くも沈下したため、崩壊後の有効堤防高は OP+3.5 m 程度となった。この状況では、当時の淀川での満潮位 OP+1.7 m をかろうじてクリアしたことになる。これに対し、高水敷があり、その全面に止水用矢板が打設されていた区間では噴砂の痕跡は殆ど見られず、止水矢板付の高水敷が押え盛土として作用し、堤防の破壊を防いだ可能性がある。また、**Photo. 3**は、堤防天端は沈下したものの崩壊までには至らなかった区間の状況を示したものであるが、大幅な修復が必要である。また、**Photo. 4**は裏法面がはらみだした状況であり、やはり大幅な修復が必要である。

2.3 堤防天端陥没：神崎川

神崎川の神崎大橋上流右岸では、堤防全体が10-15 cm 沈下し、さらに堤防天端の中央部が680 m にわたって割れ、裏側が最大 60 cm も沈下した。しかしながら、天端表に設置された防潮堤は幸い破損を免れ、堤防としての機能を維持している。大阪府では、20年ほど前から河川堤防の耐震化に取り組んできており、10年ほど前に耐震化工事が概略完成していた。この付近の堤防も鋼管杭・鋼管矢板・タイロッドなどによる耐震工法が実施されており、これらが機能して堤防の破損を防いだものと評価される。**Fig. 4**は、耐震堤防の構造と地震後状況を示したものであり、堤防裏の道路面は**Photo. 5**にも示すように陥没して大きな被害が生じているが、堤防そのものの被害は見られず、堤防としての機能は失われていない。これは、今後実施される堤防の耐震化基準を考える上で貴重な資料となるものである。

2.4 護岸の崩壊等：高羽川、住吉川、夙川、天上川、東川

ここでは、神戸市から西宮市にいたる中小河川の護岸の崩壊被害について述べる。**Photo. 6**には高羽川の護岸崩壊状況を、**Photo. 7**には住吉川の護岸崩壊状況を示している。これらの河川護岸は空石積みの護

神崎川〔神崎大橋上流右岸〕

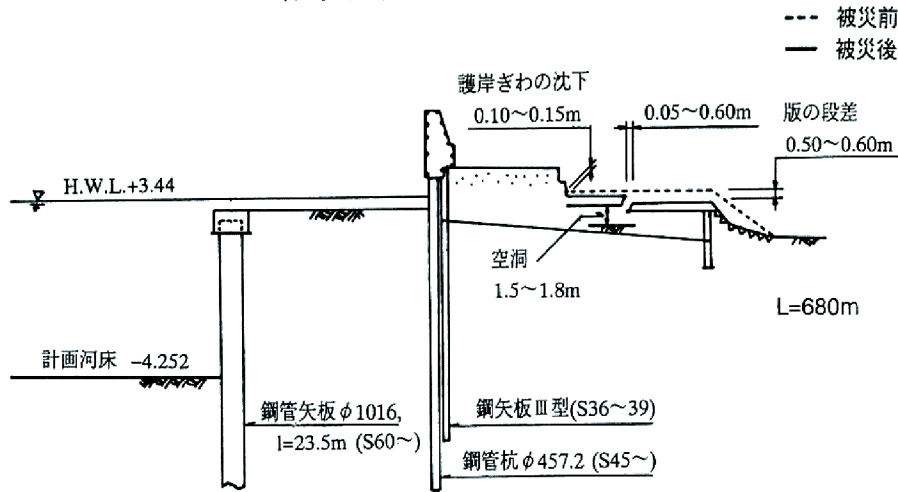


Fig. 4 Cross-section of Kanzaki River's embankment reinforced by sheet-piles



Photo 5 Damage of embankment of Kanzaki River in Osaka

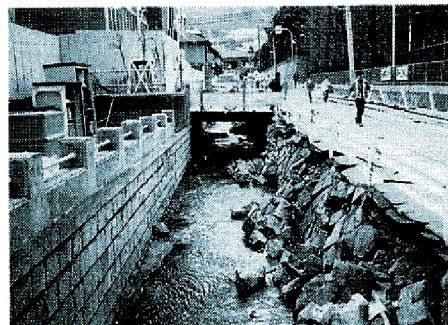


Photo 6 Collapse of stone revetment of Takaha River in Kobe



Photo 7 Collapse of stone revetment of Sumiyoshi River in Kobe

岸であり、部分的に崩壊した。このような崩壊は、他の河川でも見られ、空石積み護岸の被災状況の代表例である。また、住吉川の跨線部分での漏水が発見され、直ちに処置されたが、天井川特有の問題であり、今後の対策で考慮しなければならない事項である。なお、河川流量の変化について、地震による断水のため住吉川の水を生活用水とした用いていた住民によれば、地震後河川流量が増加したとの証言があった。残念ながら、河川流量の観測が行われておらず、定量的な資料は無いが、淡路島でも湧水量の変

化が報告されており²⁾、今後の調査項目として考慮すべきものと言える。一方、夙川でも空石積みの護岸の崩壊が見られたが、公園として利用されていた兩岸の堤防天端に入った無数の縦断亀裂の被害の方が顕著であり、地震後には通行が禁止された。

Photo. 8 は、天上川における護岸の崩壊状況を示したものであり、ブロック積護岸の崩壊が生じている。同様の護岸を有する河川では護岸天端に縦断亀裂が多く見られ、被災が著しい区間ではこの写真と同様



Photo 8 Collapse of concrete-block revetment of Tenjo River in Kobe

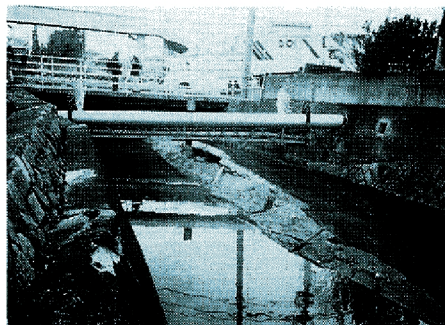


Photo 9 Rising-up of river bed in Higasi River in Nishinomiya

の崩壊が生じている。

Photo. 9は西宮市内の河川における河床上昇の状況を示したものであり、地震時の地盤液状化などにより両岸が川表側に移動して川幅が狭まり、三面張りの底面が変形して上昇したものと考えられる。これらの被害は、河積の減少を意味しており、橋脚の上下流の護岸が川表側にはらみだしている被害が多く見られたことから指摘される。これらの中小河川では、応急復旧に河積の減少を考慮した工事が行われておらず、本格的な復興時には考慮しておくべき事項である。

2.5 地下河川の被害

神戸市では22もの河川が暗渠化されており、側壁のクラック、ジョイント部損傷等の被害、新湊川の河川トンネル部の亀裂およびアーチ部の垂れ下がり等の被害が報告されており³⁾、鋼板接着等の応急工事が施工されている。また、活断層を横切るトンネル河川には大きな亀裂が入っており、人目につかないだけに綿密なチェックが必要である。

2.6 まとめ

以上のように、多数の河川施設被害が生じたが、これらのうち出水時に氾濫する恐れのある箇所については盛土・土嚢積などによる応急的な復旧が直ちに実施された。また石積・ブロック積・築堤などの本格的な復旧も重要度に応じて順次進められた。さらに地盤改良、鋼矢板・鋼管杭・鋼管矢板・タイロッドなど従来の耐震工法に加えて、スーパー堤防化などが検討されている。

しかしながら、河川堤防は例え1箇所でも破損していれば治水機能を喪失するため、いかなる場合においても壊滅的な損傷を受けないようにしなければならない。今回の地震でも、耐震工法を実施された堤防は、裏法崩壊などが見られても、堤防本体に壊滅的な損傷を受けたものではなく、従来の耐震工法でもかなりの大地震に対応できると評価されるが、スーパー堤防化はもちろん、堤体内の水の排水促進化など、堤体構造の改良についても検討するべきである。なお、中小河川も含めた総合的な検討が必要であることは言うまでもない。

3. 貯水池・ため池の被害

3.1 被害の概要

地震による貯水施設の堰堤あるいは構造物が被害を受け、貯留水の氾濫に伴う水害の発生が考えられる。今回の兵庫県南部地震では、農業用のため池の破堤、氾濫があったものの、これらによる住家被害等は報告されていない。しかしながら、今後の貯水施設の水害対策のあり方に問題を提起しており、貯水池およびた

め池の被害に関する調査を行った。

貯水池、ため池では、堤防の亀裂・陥没、護岸の崩壊等の被害が発生した。被害を受けた主な貯水池は、布引・鳥原・千刈貯水池の一部破損（神戸市）、ニテコ貯水池および北山貯水池破損（西宮市）、瑞が池貯水池堤防の亀裂・陥没および昆陽池貯水池の堤防敷亀裂（伊丹市）である。ここでは、震度7の地域、いわゆる「震災の帯」の東端に位置して堰堤の陥没崩壊と貯水池内氾濫が発生した西宮市のニテコ貯水池における被害を取り上げ、その状況および地震時の貯水池内の流動に関する検討結果について報告するとともに都市域における貯水池の水害対策について考える。現地調査⁴⁾は、平成7年2月21日および4月5日の2回行い、被害状況および現地の地形等に関する資料を収集した。一方、ため池の被害については、高知大学と3月17日に淡路島のため池被害の調査を行った。兵庫県下の農業用ため池約52,000の半数近い約24,000個が淡路島にあると言われており、今回の地震では、貯水量が少なかったため二次災害は免れたものの、堤体の沈下やクラックの発生など多くのため池で被害が発生している。特徴的な被害は、活断層に沿って発生したものであり⁵⁾、北淡町、一宮町などで調査を行った。

3.2 西宮市ニテコ貯水池の被害

ニテコ池は西宮市南東部に位置し、Fig. 5に示すように東西約100 m、南北約400 mの池であり、越水浄水場の貯水池として用いられている。Fig. 6のように上池、中池、下池の3池からなるニテコ池は、農業用溜池として用いられていたが、1922年（大正11）より上池と中池が上水道貯水池に転用され、1966年（昭和41）からは下池も補助水源として利用されている。その間、昭和10年、昭和36年、昭和56年に雨水による法面の崩壊等の被害を受けている。Fig. 5およびFig. 6で知れるように谷筋をせき止めて作られた池であり、昭和56年の災害以降は、下流への氾濫の危険性を考慮して下池への貯水は制限されており、7年前からは貯水されていない。そのため、今回の地震でも下池が下流の住宅地への氾濫を防ぐ役目を果たした。

地震による被災はFig. 5に示すように貯水池全体に及んでおり、上堤、中堤および下堤が陥没するとともに周辺の法面も崩壊している。このため、上堤と中堤の陥没により上池と中池に貯留されていた推定約50,000 m³の水が氾濫し、下池に流れ込んだ。さらに、隣接する越水浄水場の場内連絡配管（φ600）が破損し、浄水場の配水池から5,000～6,000 m³が貯水池に流入した。なお、各堰堤に設置されていた余水吐を流れた形跡は見当たらず、堰堤中央部の陥没により越流した水により堤体が侵食され崩壊したものと考えられる（Photo. 10）。それぞれの、堰堤の被災前後の断面をFig. 7に示しており、上堤および中堤は4～5 mと大きく陥没したのに対し、下堤の陥没量は約2 m程度と小さかったことが知れる。地震直後下池の水位は、下池の計画高水位（OP 22.781 m）より目視で約40 cm程度下方の沈下した下堤の天端近くまで上昇し、越流の危険性が高まった。さらに、下堤には亀裂が発生しており破堤の危険性も考えられるため、昼夜を徹した排水作業が行われ、氾濫という二次災害が未然に防がれた。

つぎに、地震時におけるニテコ貯水池内の水の流動について、以下に示すような連続式、x, y方向運動量式からなる平面二次元流れの基礎方程式を用いて検討する。

$$\begin{aligned}\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial (uM)}{\partial x} + \frac{\partial (vM)}{\partial y} &= -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \\ \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial (uN)}{\partial x} + \frac{\partial (vN)}{\partial y} &= -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho}\end{aligned}$$

ここに、 $M=uh$ 、 $N=vh$ 、 u, v ；それぞれxおよびy方向の流速成分、 h ；水深、 H ；水位（ $H=h+z_b$ 、 z_b ；地盤高）、 ρ ；水の密度、 g ；重力加速度、 t ；時間、 τ_{bx}, τ_{by} ；それぞれ底面せん断応力のxおよびy方向成分で、抵抗則にManning式を用いると以下のように表わせる。

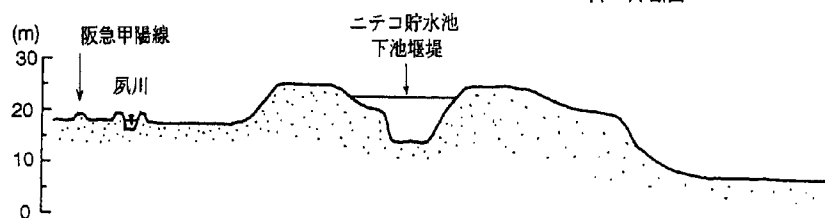


Fig. 5 Niteko reservoir in Nishinomiya and its damaged area

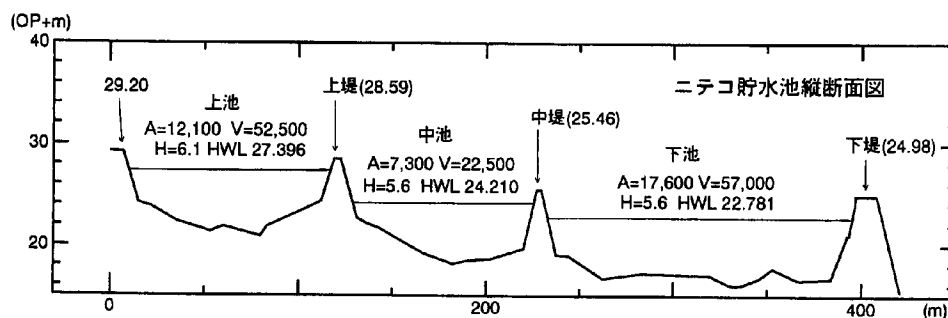


Fig. 6 Cross-section of Niteko reservoir in longitudinal direction

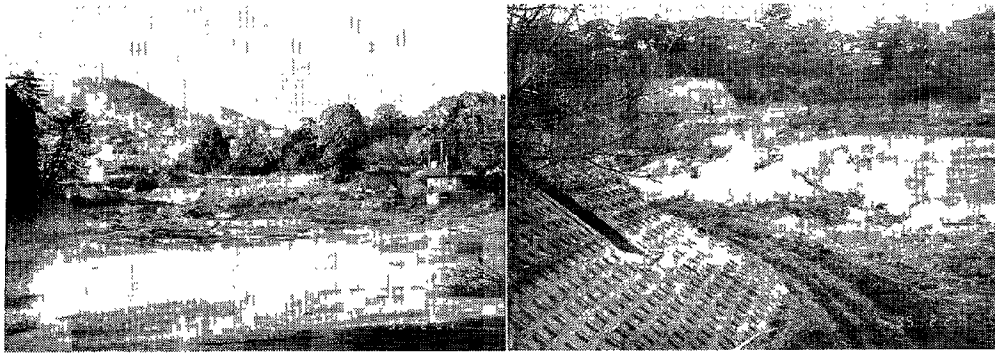


Photo 10 Collapse of the bank of Niteko reservoir

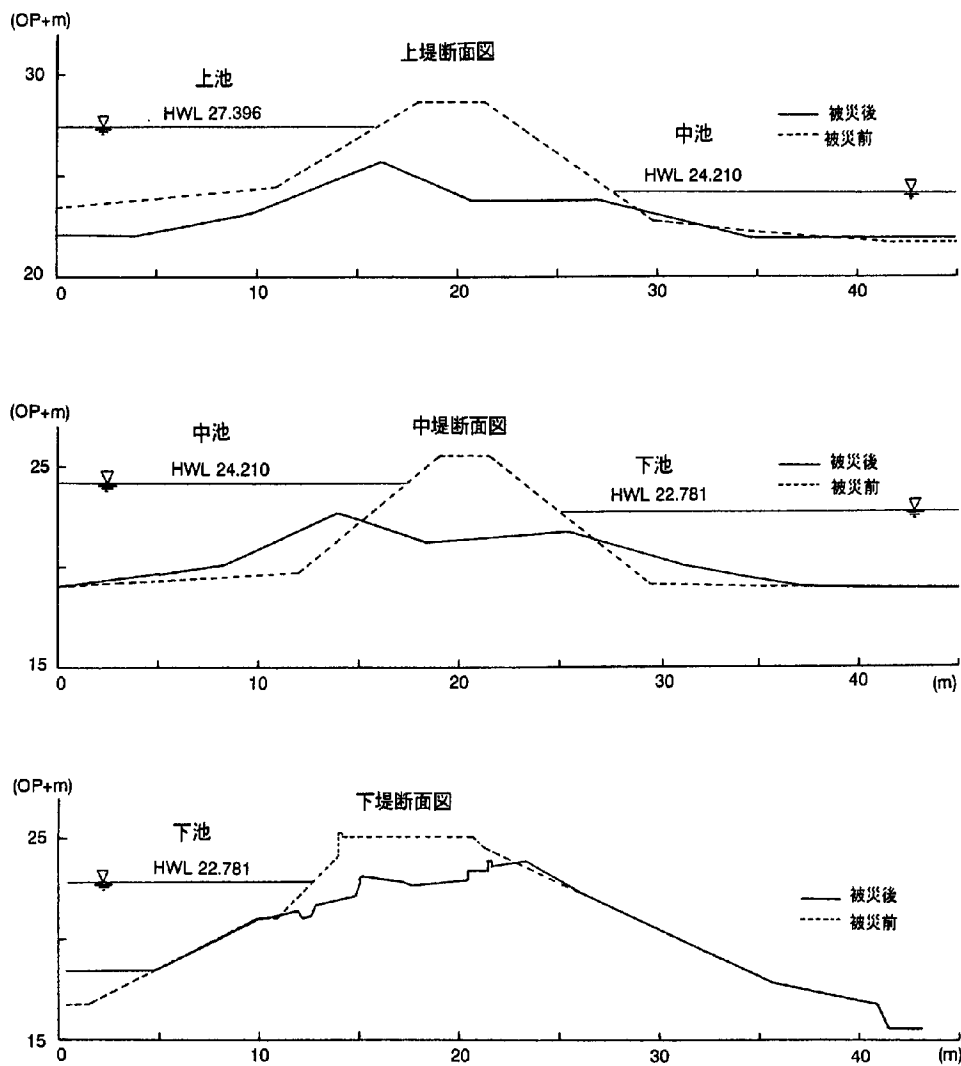


Fig. 7 Cross-section of collapsed banks of Niteko reservoir

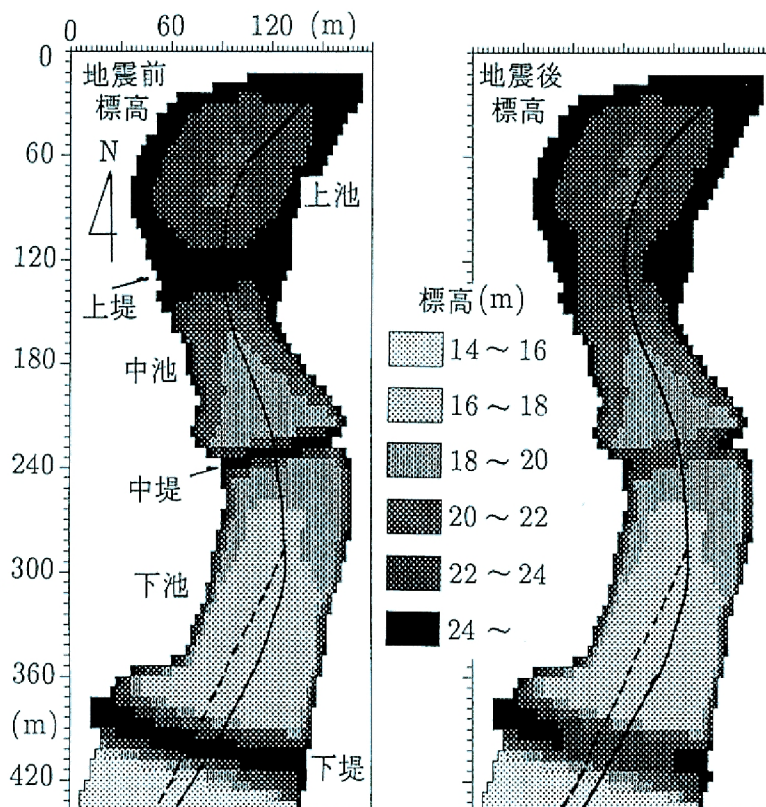


Fig. 8 Grand level in Niteko reservoir

$$\frac{\tau_{bx}}{\rho} + \frac{gn^2u\sqrt{u^2+v^2}}{h^{1/3}}, \quad \frac{\tau_{by}}{\rho} = \frac{gn^2v\sqrt{u^2+v^2}}{h^{1/3}}$$

ここに, n ; Manning の粗度係数である。

基礎方程式 (1), (2) および (3) を直接解くことは困難なため, これを差分式に直し, 数値的に解いた⁶⁾。

計算領域は Fig. 8 に示すように, 上池, 中池および下池を包含するような領域で, 空間差分間隔は南北方向に $\Delta x = 6$ m, 東西方向に $\Delta y = 3$ m とした。地震前の標高値は昭和56年の災害復旧図面より読みとり, 地震後の堤防高は西宮市水道局のニテコ池災害復旧工事図面 (堰堤図面) より読みとった。

決壊した上池と中池との間の堰堤 (上堤), 中池と下池との間の堰堤 (中堤) の計算上の取り扱いとは以下のようにした。すなわち, 地震によって堤体が変形に要した時間は極めて小さいとし, 地震によって堰堤の標高が瞬時に地震後の標高になるとした。また, 流出した堤体土砂や貯水池内の水の流動による貯水池底の地形変動は考えないものとした。一方, 地震により水道管が破壊して上池に $6,000 \text{ m}^3$ 程度の水が流入したとの報告があるので, これを考慮するため, 計算時間内 (10分間) に $6,000 \text{ m}^3$ の水を線流量 ($N=6,000 \text{ m}^3/600 \text{ sec}/6 \text{ m} [= \Delta x]$) として与えた。なお, 差分時間間隔は $\Delta t = 0.01$ 秒, Manning の粗度係数は $n = 0.025$ とした。

計算ケースは, 地震当時の状況をほぼ再現したケースA, すなわち, 上池と中池のみに貯水されていた場合と, 仮想ケースとして, 下池にも貯水されていたケースBの2通り行った。ケースAでは, 地震前の上池と中池の貯水量の合計が約 $50,000 \text{ m}^3$ であったとの情報をもとに, 上池の水位を 27 m (貯水量約 $34,000 \text{ m}^3$), 中池の水位を 23.5 m (貯水量約 $17,000 \text{ m}^3$) とした場合である。ケースBでは, ケースAの条件のもと

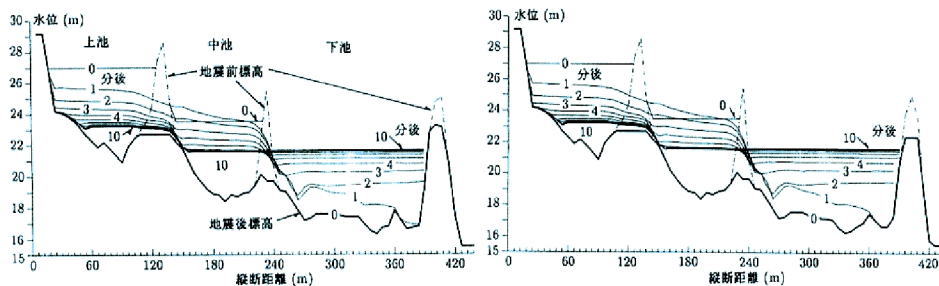


Fig. 9 Calculated profiles of water-surfaces in the case of which the lowest pond is vacant as same as at the earthquake
(left: along the rigid line in Fig. 8, right: along the broken line in Fig. 8)

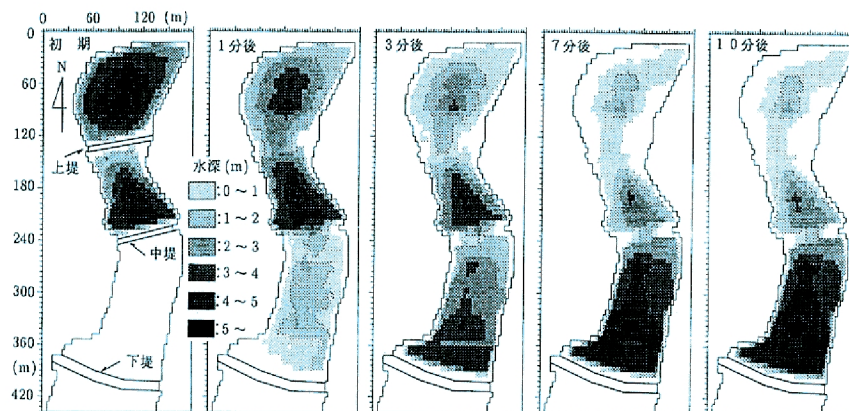


Fig. 10 Distribution of water-depth calculated with the same condition of Fig. 9

で下池の水位を HWL の 22.781 m (貯水量約 60,000 m³) とした場合である。

Fig. 9 は、ケース A において、Fig. 8 に示した実線と破線に沿った貯水池内の水面形の時間変化に関する計算結果である。実線は貯水池のほぼ中央を通る断面を、破線は下堤の陥没量が最も大きな断面を通る線である。同図より、貯水池内の水は下堤によりくい止められており、ニテコ池下流域への氾濫が免れたことを本シミュレーションにより確認できる。また、破線の断面を見ると、下池の水位は下堤の天端から数十 cm 程度の余裕しか残っていないことがわかるが、これはほぼ実際現象と対応した結果となっている。

Fig. 10 は、ケース A において、貯水池水の流動の様子を水深分布の時間変化で見たものである。同図より、貯水池内の水の流動は、上池への水道水の流入が定常的にあるものの、約 7 分程度で終了していることがわかる。水道水の流入による下池の水位上昇量は、流入が無いとした計算を別途行った結果、約 20 cm 程度であることが判明している。

Fig. 11 は、ケース B において、Fig. 8 に示した実線と破線に沿った貯水池内の水面形の時間変化に関する計算結果である。同図より、上池と中池からの流入水の影響で、下池の水は下堤から越流流出していることがわかる。また、上池からの流入水の影響は約 3 分程度で終了し、その後の貯水池内の水位変化は非常に緩やかである。結局、下池を HWL で貯水した場合、地震により下堤の天端が陥没しないときは、上堤および中堤が決壊しても下堤は約 1 m 程度の余裕高をもって上流側の貯水池水を貯留することが可能であるが、下堤の陥没を考えた場合は、このような越流が発生することがわかる。

Fig. 12 は、ケース B における貯水池内の水深分布の時間変化を見たものである。下堤からの越流は地震発生後の 1 分後で既に生じており、陥没量の大きな断面から生じている。2 分後には、1 m を超す流動深が下堤天端で見られる。ケース A と同様、上池および中池の流動は 7 分程度でほぼ完了しているようである。

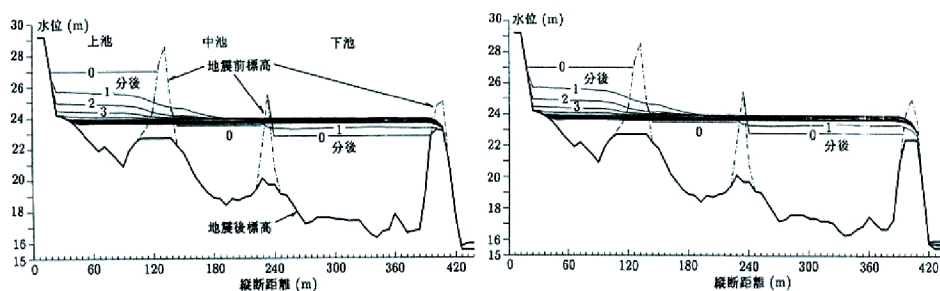


Fig. 11 Calculated profiles of water-surfaces in the case of which the lowest pond would be full (left: along the rigid line in Fig. 8, right: along the broken line in Fig. 8)

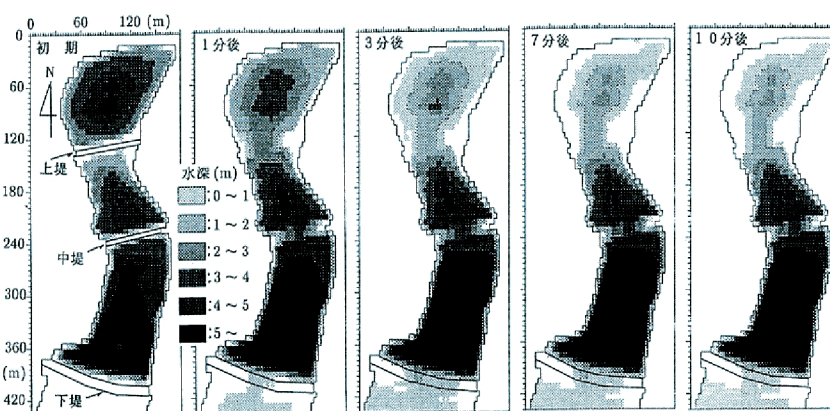


Fig. 12 Distribution of water-depth calculated with the same condition of Fig. 10

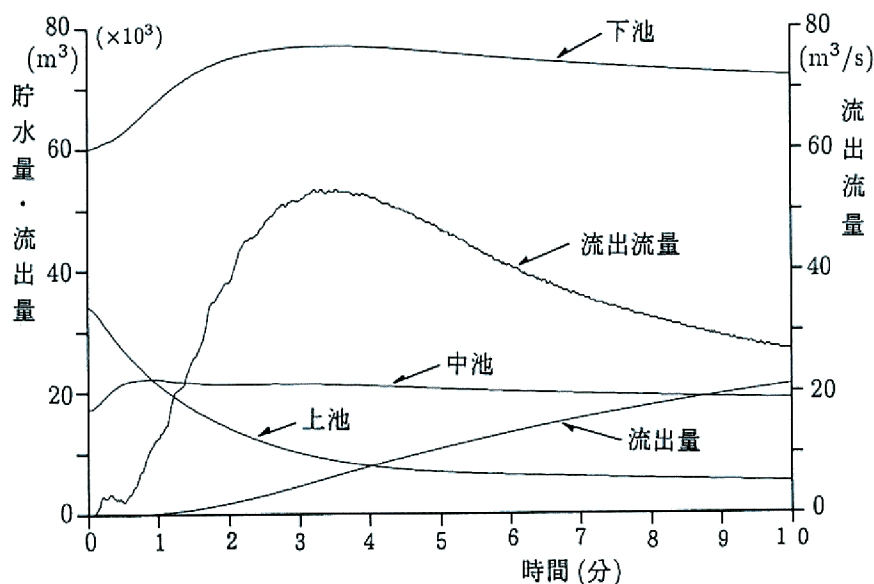


Fig. 13 Volume of each pond and discharge flow out to the residential area (virtual flood)

Fig. 13 は、各池の貯水量と下池からの流出量の時間変化および流出ハイドログラフを示したものである。同図より、下池への流入は地震発生から3分までの間に急激に増大し、それに伴って下堤からの越流流量は3～4分でピーク流量を示している。10分間の間に流出する水の体積は約 20,000 m³で、ピーク流量は約 50 m³/s である。

下堤が土堰堤であることより、このような越流によって堤体が容易に縦侵食および側方侵食されることが想像される。その時には、越流地点の堤防の決壊口が一気に拡幅し、多量の水と土砂が下流に輸送されて、大規模な土砂氾濫、洪水氾濫災害を生じる。このような現象は、山腹崩壊土砂によって河道が堰止めたときに天然ダムが形成されるが、堰止められた水の嵩が増えて、天然ダムの天端の一部から越流を開始し、縦侵食と側方侵食によって堤体が決壊して大洪水を引き起こす、という現象によく似ている。

今後、一般の土堰堤からなるため池、貯水池の地震災害危険度を考える上で、天然ダムの決壊に関するシミュレーション手法⁷⁾を援用し、貯水池決壊による土砂氾濫や洪水氾濫災害危険度評価を検討する必要があるだろう。

3.3 淡路島におけるため池の被害

淡路島では約700個のため池が被災したと推定され、北部の淡路、東浦、北淡、一宮および津名の五町に集中している。これら五町のため池を対象とした高知大学の調査⁵⁾によると、調査された39個のため池の被害は、決壊1、堤体あるいは洪水吐がその機能を失ったもの26、軽微なクラック等池の機能に支障を及ぼさないもの10、蒸被害3であったと報告されている。これらの中で、二次災害発生の可能性があった北淡町の泉中池および一宮町の井手ノ尻池について以下に述べる。

泉中池は、北淡町野島養浦（ヒキノウラ）の野島漁港北東の平地と山地の境界部の谷を堰止めて作られたため池であり、北側より棕本池、泉中池、泉池の3個のため池が並んでいる。これらのため池の堤体は野島断層の直上に位置しており、堤体には縦断方向の亀裂が入るとともに、洪水吐が破損した。淡路島では、地震後、各所から湧水が発生する特徴的な現象を示し、水位が上昇して危険となったため池では堰を切って応急放流したり、底樋を全開にして放流する応急対策が講じられた²⁾。兵庫県洲本土木事務所で行った聞き込み調査によれば、この泉中池でも、地震後の1月20日には湧水のため水量満水となりポンプ・パイプにより排水し、1月22日には100 m 下流の野島小学校に危険が及ぶ恐れのため堤体を掘削して切り落とす応急工事がなされた。

一宮町の井手ノ尻池は、堤長 103.2 m、堤高 6.4 m、貯水量 17,500 m³の農業用ため池である。地震により、堰堤中央部の約 60 m が破堤して越流水が下段の池（長池）に流入した後、道路を越えて段々畑が洗掘される被害が発生している。この池は尾崎と津名の島の東西を結ぶ主要道路沿いにあり、志筑断層との関係が推察されている地域に存在している⁵⁾。この場合、氾濫域に民家は無く、二次災害は免れたが、今後のため池の堤体などを設計する際に考慮しておくべき課題である。

3.4 まとめ

以上、都市域の貯水池被害として西宮市ニテコ貯水池、農業用ため池被害として淡路島の泉中池および井手ノ尻池に関する調査結果を示した。いずれの場合にも二次災害の発生は免れたが、地形的には氾濫による水害が発生する危険性は残されており、ニテコ貯水池のように貯水制限あるいは氾濫水を遊水施設で処理するような方策、貯水施設の堤体あるいは構造物を設計する上で地震時を考慮すること等が必要である。

4. おわりに

阪神・淡路大震災では道路や鉄道といったわが国の代表的な多くの土木構造物が無残に崩壊した。また危うく大惨事を免れたケースも多い。淀川下流の左岸では、地盤が液状化し、堤防が2 km にわたって崩落大破したが、崩壊後の土塊高が地震一時間後の満潮位を上回り、大阪市内への河川水の氾濫という惨事を免れることができた。西宮市のニテコ貯水池では、3段に区切られた池のうち上2段の堤が崩れて中の水が溢れだしたが、空にしていた三段目でせき止められ、奔流が直下の住宅街を襲うという悪夢を免れた。これらはいずれも大災害につながらなかった事例であるが、河川構造物のあり方について、次のことをわれわれに教

えてくれる。

一般に、今回のような激震に襲われた場合、河川構造物が何らかの損傷をうけるのは避けられない。問題は損傷の度合いあるいは損傷後の状態である。河川堤防でいえば、たとえ一か所でも破綻すれば本来の治水機能を失うことになるため、破壊されないような強度をもたせることが基本であるが、万一破壊された場合でも、崩れた土塊でしばらく耐えられるようにし、直ちに緊急復旧しやすいような構造にしておくことが肝要である。淀川の場合、土堤の部分が崩壊後も水をせき止める働きをしたため、致命傷とならなかったのである。

それでも河川の氾濫はありうると考えねばならない。このような最悪事態に対処するには、たとえ氾濫しても、その氾濫を最小限に封じ込めることである。ニテコ貯水池では空にしていた三段目の池がその役割を果たしてくれた。平地部でも道路や鉄道の路盤を意識的に周辺地盤より少し高くしておけば、いわゆる「輪中堤」として機能し、氾濫水を封じ込めることができ、たとえそこからさらに溢れても、溢れだすまでの時間的余裕を与えてくれるだろう。河川構造物にはこのような二重三重の備えが必要なのである。

今回の地震でもまったく被害をうけなかったり、耐震工事をすませていたため、ごく僅かな被害にとどまった例も多い。これらの事実は今回の地震あるいはそれ以上のものにも対処できる技術をわれわれはすでに持っていることを示唆している。スーパー堤防や押え盛土あるいは地盤改良といった従来の耐震工法でも、地震に強い河川堤防にすることは十分に可能なのである。

大惨事を目前にして、安全ということの重要性を再認識した人も多いであろう。しかしここで重要なことは、われわれは「安全」を追求するとともに「環境」への配慮を忘れてはならないということであって、安全と環境の両立が今後の復興への課題である。

たとえば、河川堤防の法面勾配を緩やかにするとともに表面を植生で覆い、より安全で親水性を増すようにするのもよい。舟運交通に役立つばかりでなく、洪水時の水を貯え、渇水時には生活用水にも使える運河の建設もぜひ検討するべきである。運河がだめなら、要所要所に池をつくり、小さな川や堀でつなぐだけでもよい。暗渠化された小川をたとえ一部でも地表に復活させれば、町中にせせらぎを創出できるのだ。これらはいずれもいざという時には消火に使うこともできるのである。安全と環境を両立した計画の実施がいまほど望まれる時はない。

次に、いまわれわれがとくに注意すべきこととして、降雨による二次災害の危険性を指摘しておきたい。地震により、山や傾斜地には無数の亀裂が入り、地盤は緩みきっている。ここで大雨があれば崖崩れや土石流が発生する可能性はきわめて高い。本格的な対策工事の実施が検討されているが、これらによって土砂災害を完全に防止することは困難である。当面の対策として、危険地の住民は自らの判断で早目に取りあえずより安全なところへ避難するよう心がけてほしい。いつ避難するかの日安は雨量である。地震後多くの雨量計や土石流の検知装置が設置されたが、すべての危険地がカバーされてるわけではない。屋外においたコップに雨が半分程度たまれば50ミリの雨量に相当する。「コップ半分すぐ避難」を実行すれば、多くの生命が救われるのは確実である。

最後に、調査に協力頂いた、建設省近畿地方建設局河川部、同六甲砂防工事事務所、兵庫県、神戸市、西宮市、大阪府、大阪市、北淡町および一宮町などの関係諸機関の方々に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 今本博健他：港湾・空港・河川グループ調査報告，土木学会阪神大震災調査緊急報告会資料，1995，pp. 73-83.
- 2) 伊藤正晴・宗岡一正：農業用ダムには異常発見されず，農業土木学会誌，第63巻，第2号，1995，pp. 203-204.
- 3) 佐々木良作：兵庫県南部地震における兵庫県土木行政等の対応と問題点について，第32回自然災害科

学総合シンポジウム要旨集, 1995, pp. 63-75.

- 4) 今本博健・石垣泰輔・武藤裕則・中川 一・里深好文：兵庫県南部地震による西宮市ニテコ貯水池の被害について, 第14回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, 1995, pp. 58-59.
- 5) 松田誠祐・大年邦雄・松本伸介・篠 和夫：兵庫県南部地震による淡路島の被害状況調査, 高知大学学術研究報告, 1995 (印刷中).
- 6) 中川 一：氾濫水／土石流の動態とその解析, 土木学会水理委員会, 水工学シリーズ, 1992, pp. A-9-1-A9-20.
- 7) 高橋 保・中川 一：天然ダムの越流決壊によって形成される洪水・土石流のハイドログラフ, 水工学論文集, 第37巻, 1993, pp. 699-704.

Survey on Damage of Rivers by the Hyogoken Nannbu Earthquake, 1995

by *Hirotake* IMAMOTO

Synopsis

The great earthquake attacked Hanshin area of Kobe, Asiya, Nishinomiya, Amagasaki and Osaka and Awaji island have destroyed many buildings and civil works, and also damaged the embankments and revetments of many rivers. Field survey in Hanshin area and interviews with river engineers of the ministry of construction, Hyogo and Osaka prefectural offices. The sate of damage is presented here.

In Hanshin area, 90 rivers have been damaged by the earthquake and 353 damaged places have been listed up by the officials (Feb. 1, 1995). Collapse of embankment and ground fissures on the dike were reported, and overturning and cracks of revetment were observed at so many places. About 70 percents of seriously damaged places were in Hyogo, where many buildings and houses collapsed. Overturning of revetment and ground fissures are caused by the strong seismic force, however, some embankments near the river mouse collapsed because of the liquefaction of the ground.

In Takaha River, the stone revetment destroyed over 100 m long. Same damage was observed in another rivers in Kobe. This area was attacked by the severe flood in July of 1938 and 695 persons were dead and missing. As rivers in this area were very steep and sabo works not enough, debris flows occurred and destroyed the bank of rivers during the flood. After the flood stone revetment as shown in the photograph was constructed, however, the reinforcement with concrete was not enough. The left-side embankment of Yodo River in the downstream area (0 to 3 km from the mouse) collapsed. It is considered that the cause was the liquefaction of the ground. The height of the dike decreased up to 3 m. This dike was designed as flood and storm surge countermeasures and covered with concrete at front, top and back of the bank. The bank was destroyed completely. Fortunately there was no tsunami.

The bank of Kanzaki River in the downstream area sank 10 to 15 cm, and the 680 m crack was observed on the asphalt paving of the top, and the maximum subsidence of the paving was 60 cm, however, the function of the bank as the flood and storm surge countermeasures has not been lost. As sheet and tube piles are used for the earthquake resistant design, severe damage has been prevented. Embankment has been designed to prevent the flood disaster, however, this earthquake has taught us that such a design is important to keep the function of the embankment and to prevent the secondary disaster after the earthquake.