

大震災を教訓にした神戸市水道耐震化計画とその推進状況*

*Kobe Water's Master Plan for Earthquake Resistant Water System based upon
the Lessons Learned from the Hanshin-Awaji Earthquake Disaster*

森田 正三**

By Shozo MORITA

Kobe Water System was devastatingly damaged by the Hanshin-Awaji Great Earthquake. The repair of water system has almost completed and we are on the way to full restoration of water system. This report describes the damages to water facilities, process of service recovery and the outline of Kobe Water's Master Plan for Earthquake-resistant Water System based upon the lessons learned from the Great Earthquake. Some examples of restoration works, which the earthquake reinforcement is taken into account, are presented in this report. And it also discusses on the earthquake safety against the "infrequent but huge earthquake" disasters and on the investment plan for the reinforcement of water system.

Keywords: Hanshin-Awaji Earthquake, Kobe Water System, Emergency Response, Restroration Plan, Emergency Water Supply, Large Water Main, Earthquake Safety, Preparedness Investment

1. はじめに

忘れられないあの日、阪神大震災が発生した平成7年1月17日から、早や2年と7ヶ月が過ぎた。

神戸市と神戸市水道はこの大震災により甚大な被害を被ったが、ハードとしての災害復旧工事はほぼ完了し、震災からの復興に全力を注いでいる。

本文では、神戸市水道が大都市直下型地震から受けた被害、応急復旧の経過、大震災からの反省と教訓、これをもとにした耐震化計画の概要を報告する。

また、耐震化計画のスタートとなる災害復旧工事における耐震強化の事例を示すとともに、低頻度巨大地震に対する地震安全性のあり方と耐震化投資のあり方にも言及して、「耐震化計画の進め方」についても考察してみる。



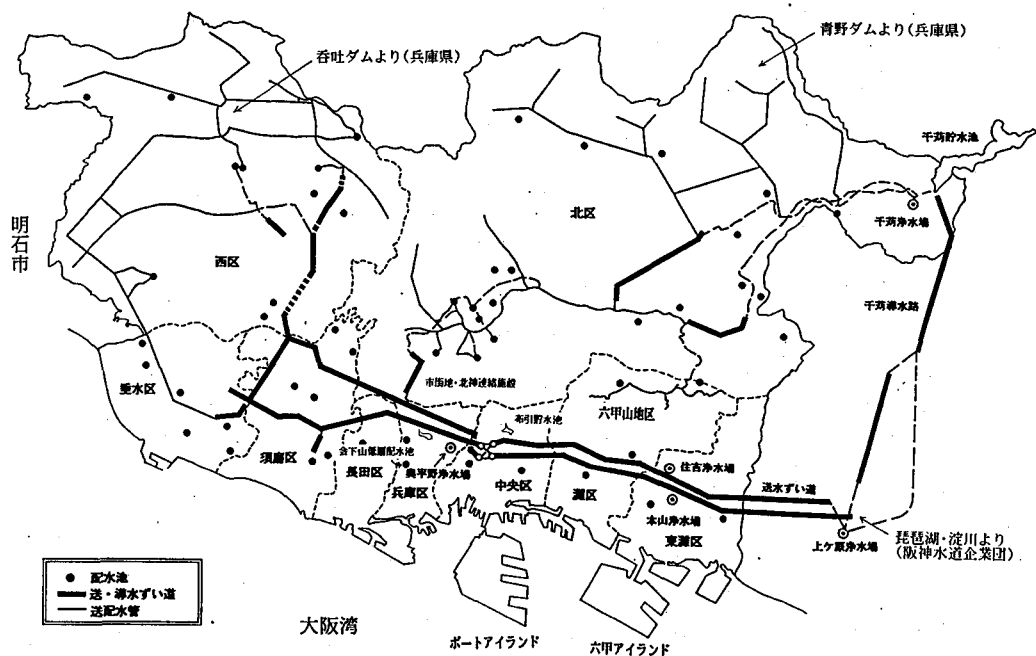
写真-1 応急給水の様子

*キーワード：巨大地震・応急復旧・神戸市水道耐震化計画
大容量送水管・災害復旧事業・地震安全性
耐震化投資・緊急貯留システム

**正員 工修 神戸市水道局技術部計画課長
(〒673 神戸市中央区加納町6丁目5-1 Tel:078-322-5908
Fax:078-322-6179)

2. 神戸市水道の概要

神戸市水道は、明治33年（1900年）に全国で7番目の近代水道として創設され、その後の市域の拡張に合わせて給水区域も拡大し、現在では、日量89.4



図－1 神戸市の水道施設

万戸の供給能力を有し、約150万人の市民に給水している。

神戸市は、市域内を六甲山系が東西に走り、南側斜面に広がる東西に細長い市街地地区、北側山麓部の北神地区、なだらかな丘陵地の続く西神地区の特徴ある3地区に分けられる。

神戸市水道はこのような、多様性に富む地形条件を克服して構築されてきたが、そのシステム上の特徴は次のように整理できる。

(1) 水源と送水トンネル

市内に大きな水源がないため、琵琶湖・淀川に水源を求め、約75%の水を阪神水道企業団から受けており、兵庫県営水道からも約3%を受水している。残りの自己水源としては、千苅・布引・鳥原の3貯水池と市内の小河川があるが、これらを合わせても約22%に過ぎない。

六甲山系を東西に貫通する2系統の開水路送水トンネルは、阪神水道企業団からの受水施設であるとともに市域の西部までの送水幹線として重要な役割を果たしている。

(2) 層別ブロック別給水

市街地については、斜面地形に対応して標高約30mごとに、また細長い地形に応じて東西2～4kmごとに配水ブロックを設けている。この結果、120カ所の配水池と47カ所のポンプ場等、多数の施設があり、配水池から自然流下方式で配水している。

(3) テレメータ・テレコントロールシステム

数多い施設を効率的に管理するため、奥平野浄水管理事務所内に中央監視センターを置き、無線を使ったテレメータ・テレコントロールシステムによる遠隔監視と水量制御を行っている。

3. 大震災による水道施設の被害

大地震の発生と同時に、水道施設においても停電、施設の破損事故および施設の機能停止が生じ、阪神水道からの送水停止も重なって一時的にほぼ全市において断水状態に陥った。水道の各施設に生じた主な被害は次のとおりである。

(1) 基幹施設

①貯水池

布引・鳥原貯水池において、ダム堤体表面に微小なクラックが入った。

②導水路

千苅貯水池から上ヶ原浄水場に原水を送る千苅導水路トンネルにおいて、覆工コンクリートが圧潰し、軸方向にもクラックが発生した。

③浄水施設

上ヶ原浄水場において、緩速ろ過池、急速沈殿池、洗浄水槽、排水処理施設の構造体および場内配管などの諸設備に被害を受けた。

④送水施設

神戸市の生命線ともいえる2本の送水トンネルについては、未確認ながらも大きな漏水は認められていない。本山と熊内の送水管路トンネルでは一部が圧潰し送水管からも漏水した。この他、いくつかの送水管でも漏水が発生した。

⑤配水池

会下山低層配水池では、新旧構造物の接続部にクラックが生じ、池内の貯留水が失われた。また、クラック等から漏水している配水池がいくつか見られた。

(2) 配水管

配水管路は今回最も大きな被害を受けた施設であり、被害件数は、合計1,757件に達している。被害の態様を、

- A (管体の割れ・折れ) ,
- B (継手の抜け) ,
- C (管路属具の事故) ,

に分類してみると、配水管の布設替事業が進みダクタイル鋳鉄管及び鋼管の割合が約90%に達していたこともあり、管体の強度が問題になるAの事故は約17%であるが、Bの事故即ち継手の抜けに起因する事故が約55%と最も多く発生している。大口径では、管の上部に設置した重い双口空気弁が破損している例が目立っている。

管種別の被害を図-2でみると、ダクタイル鋳鉄管ではBの事故がほとんどであり、Aの事故は大部分が鋳鉄管(CIP)であった。

また事故発生場所の分布を見ると、

- ①液状化した臨海部・埋立地・人工島
- ②内陸部の開発団地など高盛土の造成地
- ③地質の変化部、活断層の周辺等の地域
- ④旧河川埋立地、河川沿、河川横断前後
- ⑤地滑りや道路崩壊を生じている地域

などの場所において、事故発生が集中していた。

しかし、継手が伸縮し、離脱しない構造になっている耐震継手管を六甲アイランド等の埋立地や幹線ルートで使用していたが、全く被害がなかった。

これらの結果から、大震災に備えるためには、管路のダクタイル化だけでは十分でなく、先に示したような場所では耐震継手管の使用が不可欠であるといえよう。

表-1 配水管の形態別被害件数と被害率

口径 (mm)	配水管延長 (m)	被害件数 (件)	被害率 (件/km)	被害形態別件数		
				A	B	C
50	64,881	11	0.17	5	6	0
75	167,893	65	0.39	14	29	22
100	796,885	348	0.44	60	150	138
150	1,463,904	611	0.42	113	372	126
200	753,960	315	0.42	57	200	58
250	39,391	23	0.58	6	16	1
300	394,182	212	0.54	26	137	49
350	17,635	4	0.23	1	3	0
400	80,114	50	0.62	12	20	18
450	3,802	0	0	0	0	0
500	90,855	28	0.31	4	4	20
600	45,333	19	0.42	2	6	11
700	47,008	36	0.77	1	3	32
800	10,264	8	0.78	1	4	3
900	26,131	24	0.92	2	10	12
1000	498	3	6.02	0	0	3
計	4,002,016	1,757	平均0.44	304	960	493

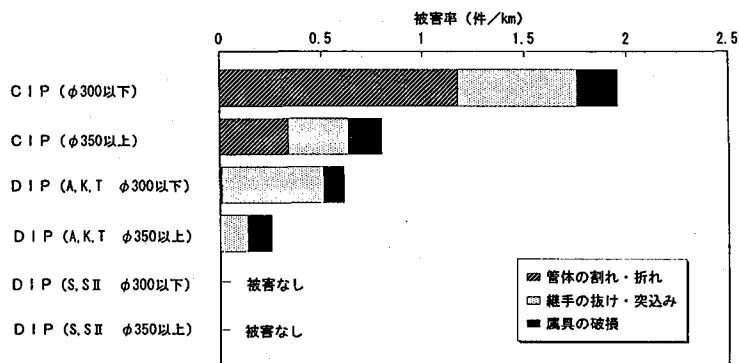
被害形態 A : 管体の折れ、割れ等

(最終)

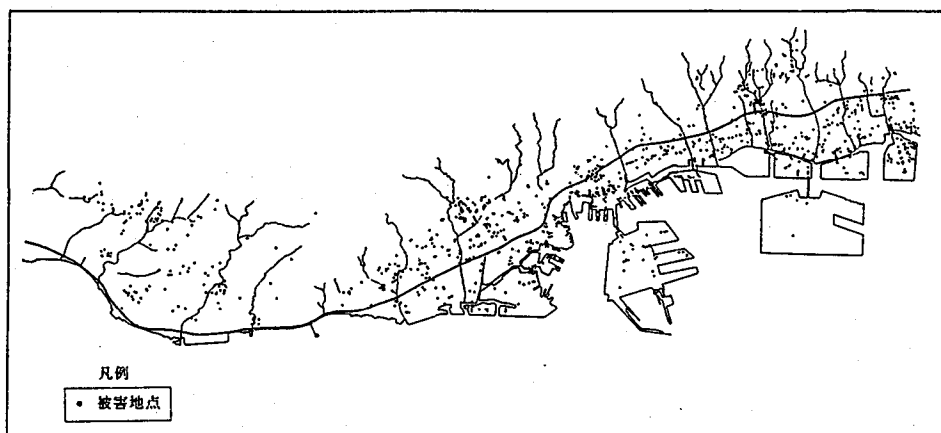
B : 継手の離脱等

C : 属具の破損等

※φ5"(125mm)はφ150に含む



図－2 配水管の管種・口径・被害形態別被害率（市街地）



図－3 配水管被害の分布

(3) 給水管

給水管の被害件数は89,584件で、この内道路上は14,561件、宅地内は75,023件である。その内容は、管の折れ・抜け等であり家屋の倒壊や道路変状とともに発生している。

配水管の被害に加え、この膨大な件数の給水管被害が、震災直後の短時間に配水管内の水がなくなる

という現象を引き起こした。また復旧時には管内水圧が上がらず、漏水箇所の特定を困難なものにする原因となった。

以上、今回の震災による水道施設の被害概算額を表－2に示す。これからも管路の被害が大きかったことがわかる。

表－2 水道施設の被害概算額一覧表

項目	貯・導・浄・送水施設	配水池	配水管	給水装置	その他	合計
被害額	70億円	19億円	135億円	25億円	41億円	290億円

4. 応急復旧の経過

応急復旧作業は、給水車による応急給水を実施して市民の必要とする水を供給する一方、配水管・給水管の漏水位置を発見しながら修繕をすすめるという方法で行われた。

応急給水に使う水については、昭和61年度から整備してきた配水池の緊急遮断弁システムにより確保することができた。今回の地震が発生すると同時に、緊急遮断弁システムが作動し、21カ所の配水池の内18カ所で合計42,000 m^3 の水が確保された。この水量は、1人1日3 L として、神戸市全体に必要な水の9.3日分に相当する。この間、阪神水道からの送水は、浄水場の被災や停電により一時的に停止したが、懸命の復旧工事により、同日の11時頃から一部開始された。しかし当初の送水量はきわめて不十分なものであった。

応急給水については、断水状態になったことを受けて水道局から給水車が出動したが、あまりに広範囲であったため対応に苦慮した。しかし本市からの要請や各市の自発的な応援給水によって、多くの都市、自衛隊などが給水車を派遣したため、次第に体制が強化された。また民間ボランティアの皆さんにも協力していただいた。さらに港町という特質を活

かして、海上自衛隊、海上保安庁、民間会社の輸送船を利用した海からの応急給水も行われた。

応急復旧工事についても、神戸市水道局の職員と協力業者だけでは人的に限界があり、(社)日本水道協会に復旧工事の応援を要請し、多くの都市から応援を得ることができた。他都市からの応援者数は、2月中旬には38都市734人に達し3月末に応援を終了した。

全市および5事業所(東部、中部、西部、垂水、北)別の給水復旧率の推移を図-4に示す。全市的には、2月末には倒壊家屋の多い地区と道路崩壊の著しい臨海部を除いて復旧し(93.6%)、3月末には99.98%と港湾地区のごく一部を除いて復旧し、最終的には4月17日に応急復旧を完了した。

5. 震災前の地震対策の評価

神戸市水道における震災前の地震対策としては図-5に示すように、事前対策として①耐震対策(管路・構造物の耐震化等)②震災軽減化対策(水源の複数化、連絡施設の建設、配水池増強、停電対策、塩素漏洩対策等)、事後対策として①応急給水(給水拠点整備等)、②応急復旧(体制の整備)、の諸施策を実施してきた。

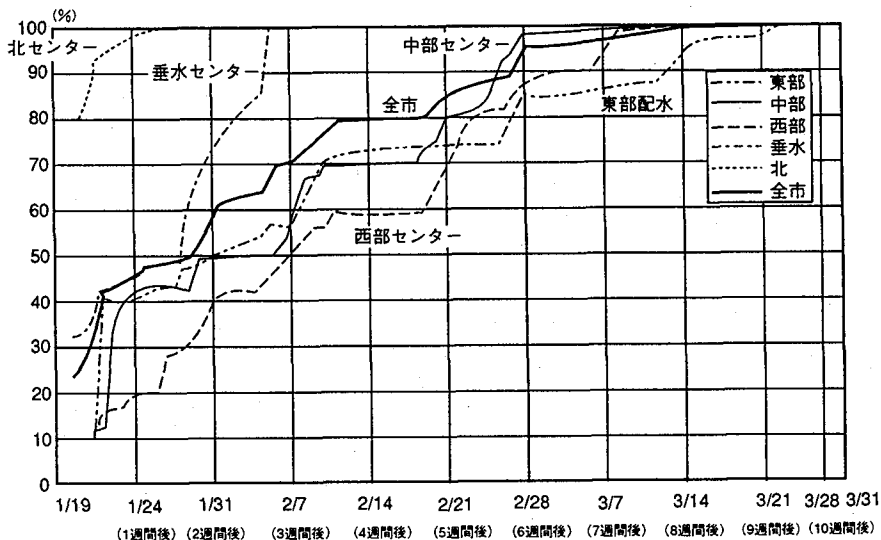


図-4 給水復旧率推移図

この中で特に効果が大きかったと思われるのは、応急給水拠点となる「緊急遮断弁システムの整備」である。これは1カ所に2池ある一方の配水池の出口につけた配水弁を、大地震が発生した場合に地震計が感知して自動的に閉じることにより応急給水の水を確保するシステムである。(図-6参照)地震発生時には、前述したように18カ所でも有効に機能し、応急給水の水を貯え、応急給水拠点を確保することができた。

また、基幹構造物には顕著な被害はなかったが、

「構造物の耐震化」に努めた効果かと思われる。

「管路のダクト化」は、全国的にも耐震化施策の1つと認められていたが、本市ではダクト化が進んでいたにもかかわらず継手離脱事故が多発して十分な効果を発揮できなかった。一方、耐震継手ダクト管の使用比率は約6%であったが、事故例はなく十分な耐震性を示した。今後は離脱防止型耐震継手の採用対象を増やしていく必要を痛感させられた。

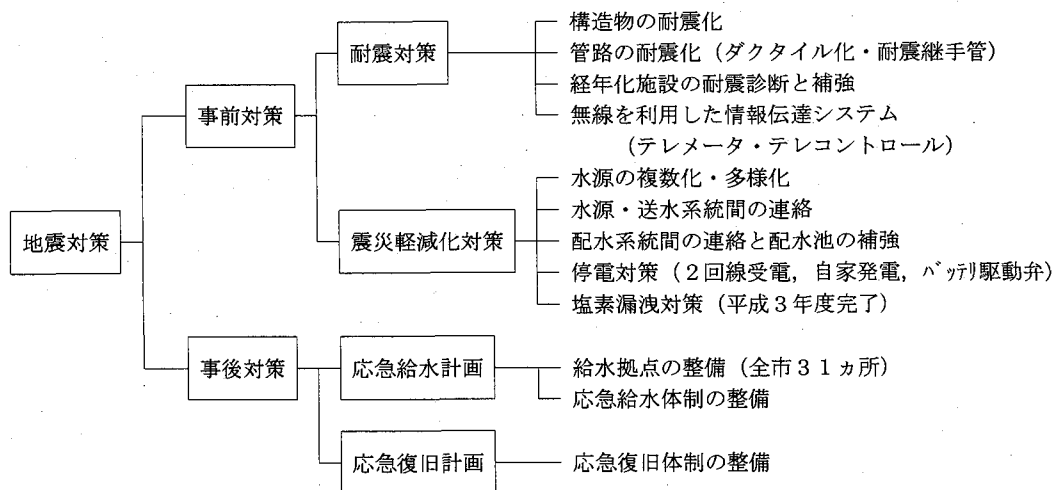


図-5 震災前の地震対策

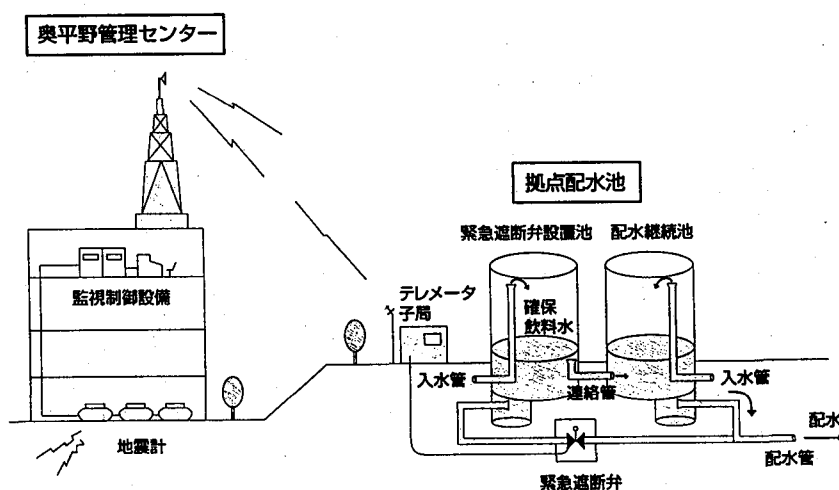


図-6 緊急遮断弁システム概念図

ここで、直接的な地震対策ではないが、効果があったものとして次の3つの施策があげられる。まず、1日最大配水量の約17時間分を貯留できる配水池容量があったため、復旧過程で必要となる多量の水を確保することができた「配水池容量の増強」。また、水源水量に制約があったなかで網渡り的な水運用を可能にした「テレメータ・テレコントロールシステム」。さらに、市街地と北神の連絡施設、低層・中層・高層の配水区域を結ぶ連絡管等の「連絡管の整備」が水配分の危機を緩和させたと思われる。

6. 大震災からの反省と教訓

神戸市水道局が、これほどの災害に直面するのは初めての経験であり、大きな犠牲を払った代償として数多くの反省と教訓を得た。総括的に反省点を集約すれば、応急復旧が余りに長期にわたったこと、応急給水のタンク運搬給水には限界があったことがあげられる。以下に、個別に整理して反省点を考察する。

a) 地震の想定

緊急遮断弁システムは大地震を想定していたが、それ以外の地震対策は概ね震度5を想定していた。今回の地震は震度7と、その想定をはるかに超えるものであり、特に配水管については今後の整備レベルを再検討せざるを得ない。



写真-2 配水管φ800K型継手の離脱

b) 本部機能の耐震性向上

水道局のある市役所2号館6階は、大地震により上階から押しつぶされた。このため一時的に全ての情報が失われ、電話・FAXが使えない状態となり、状況把握と分析、対策の立案、マスコミ対応など本庁の業務が非常に混乱した。今後、情報のバックアップや通信回線を使った迅速な情報収集・処理のシステムを検討する必要がある。このように対策本部となる建物の耐震性向上や本部機能の分散化が重要となる。

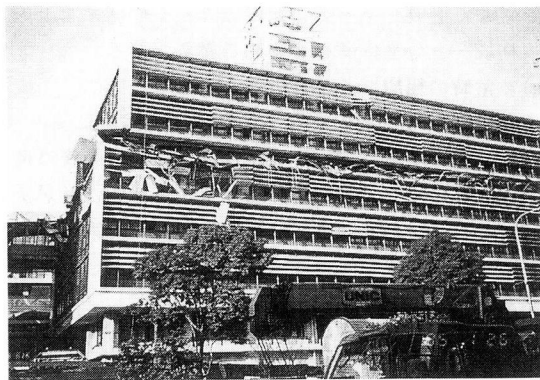


写真-3 圧壊した水道局本庁

c) 応急給水について

応急給水の基地から避難所までの運搬にあたり、幹線道路の交通渋滞と倒壊家屋による道路の封鎖が復旧の大きな障害となった。また給水車の広報も問題となった。震災直後は給水車の出動もやむを得ないが、できるだけ早い時期に管路から仮設給水栓を使った応急給水に切り換える必要がある。

d) 生活用水に対する需要の増大

水道の応急復旧には10週間を要したが、市民の必要とする水量は経過日数とともに増加するため、供給水量を次第に増加させていく必要がある。これは、飲料用水だけでなく、トイレ用・風呂用など生活用水や、透析を始めとした病院用水の重要性が増しているためで、この点でもタンク車による応急給水には限界がある。

e) 水源水量の確保と通水区域拡大

震災の復旧にあたっては、いち早く市民生活の安定を取り戻すため、多少の漏水は覚悟のうえで通水

を行う必要がある。このため通常時より多い水量が必要となり、確保できる水量により通水区域が制約されるという事態になる。これに対しては隣接市町村や周辺の大規模事業体と連絡管を設置し、広域的にバックアップできる体制を整備することが特に重要となる。

f) 他都市からの応援受入れについて

阪神大震災級の災害が発生した場合、1つの都市だけでは対応できるものではない。このため同一県内、大都市または全国から応援を受ける前提で、費用負担・宿舍・指揮系統などについて事前の協定をしておく必要がある。また開栓キーや仕切弁などの規格統一と分散備蓄をすすめる必要がある。

g) 非常時の組織づくりと広報

震災時には交通の遮断および情報の途絶により、各出先事業所は孤立に近い状態となった。今後は情報システムを拡充していくことや、自律的に意思決定ができる柔軟な組織づくりなど、震災対策についてのマニュアルを実効あるものに見直していく必要がある。

7. 神戸市水道の耐震化計画

神戸市水道局では、前節で述べた震災の教訓を復興事業に反映すべく、平成7年3月初旬に、学識経験者や水道の有識者からなる「神戸市水道復興計画検討委員会」を設置して、「神戸市水道耐震化指針」の策定を行った。さらにこの指針を受けて、施策を具体化した「神戸市水道施設耐震化基本計画」を7月に策定した。

(1) 神戸市水道耐震化指針

この指針は、「災害に強い施設づくり」「早期復旧が可能な施設づくり」を行うために、神戸市水道の施設整備の方向を定めるものである。基本姿勢として、阪神大震災を経験した市民が、水道を安心して使えるよう「市民の視点」に立ち、水道局に寄せられた「市民の声」を活かすとともに「神戸らしさ」を反映したものとしている。

この中で示された耐震化の計画目標を表－3に示すが、これらの目標は、そのまま次に示す耐震化基本計画における目標としている。

(2) 神戸市水道施設耐震化基本計画

この基本計画は、指針に示された計画目標を達成できるよう、具体的な耐震化方策のマスタープランとして策定された。この内容は次のような構成から成り立っており、耐震化の体系を図－7に示す。

a) 基幹施設(トンネル, 浄水場, 配水池等)の耐震化

危険分散, 地域間の相互バックアップシステム, 施設の経年化への対応から耐震化を行う。

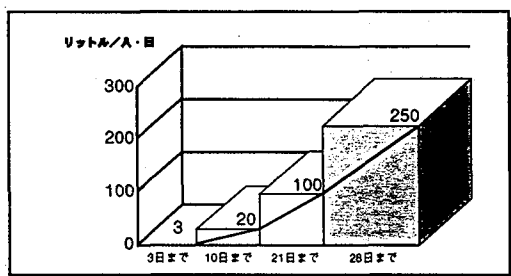
b) 配水管の耐震化

第1段階として500mの格子状に, 第2段階として200mの格子状に配水管網の耐震性を強化して, 効率的な応急給水, 通常給水の早期回復を図る。

表－3 耐震化の計画目標

目標1. 応急復旧期間は4週間以内

目標2. 応急給水の目標水量を設定



主な給水方法

3日まで：運搬給水、耐震貯水槽からの給水 (1km以内)
 10日まで：幹線付近の仮設給水栓 (250m以内)
 21日まで：支線上の仮設給水栓 (100m以内)
 28日まで：仮配管による各戸給水や共用栓 (10m以内)

目標3. 防災拠点における水の確保

目標4. 公平な復旧

目標5. 民生の安定への協力

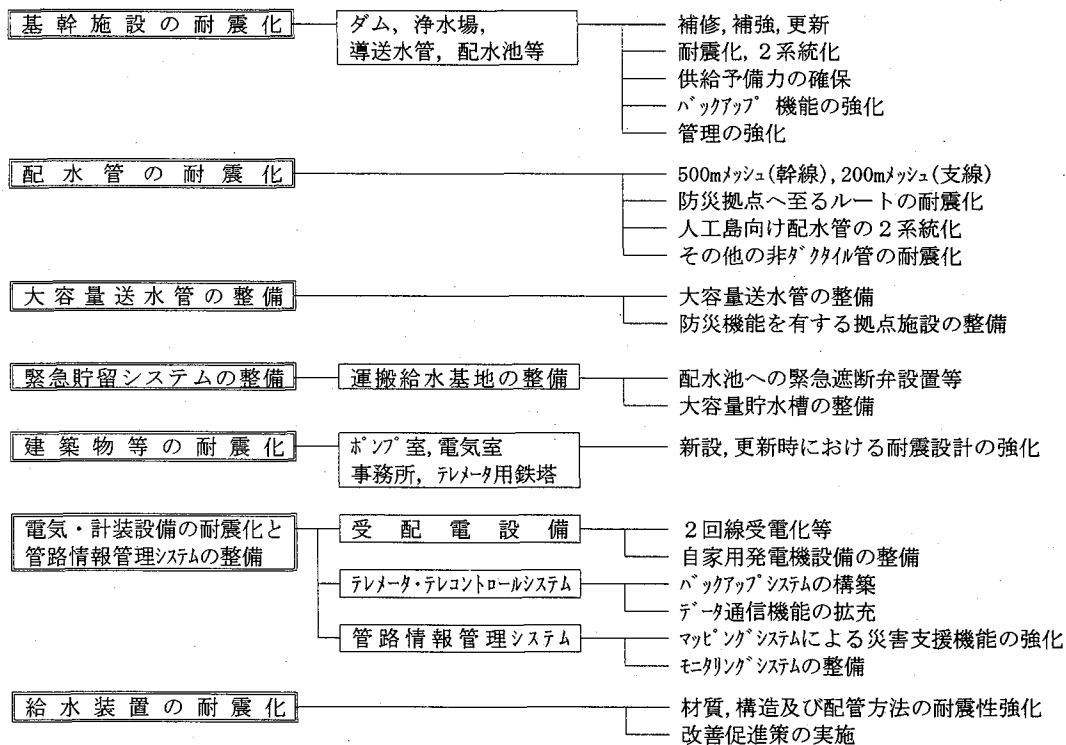


図-7 水道施設耐震化の体系

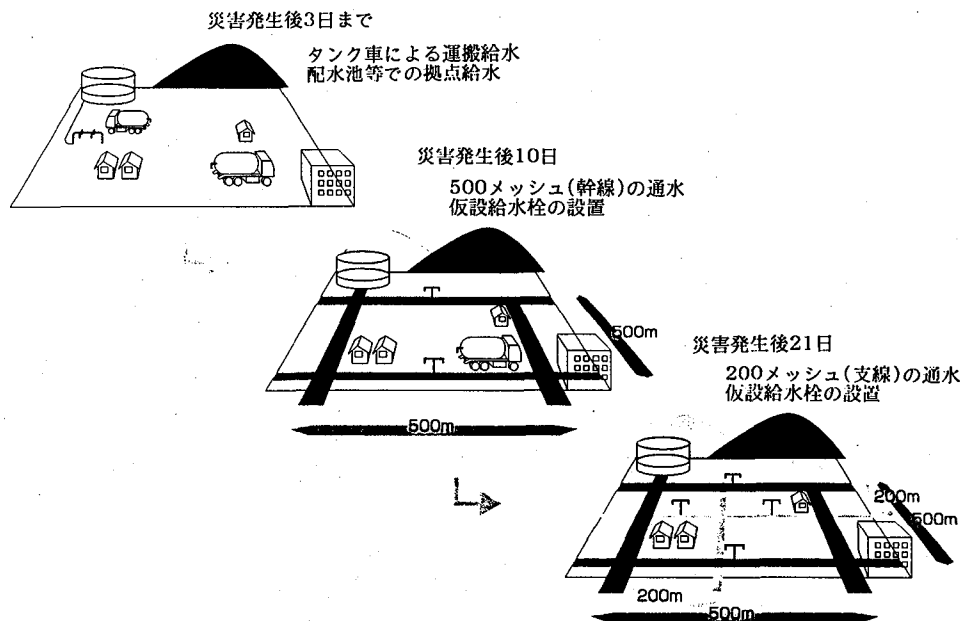


図-8 応急給水のイメージ

c) 大容量送水管の整備

水需要の増加への対応として、従来から検討されてきた六甲山系を貫通する第3トンネルの建設に替わり、「大容量送水管」を建設する。本施設は市街地中央部を横断し防災拠点と接続して応急給水にも

対応できるものである。大深度に建設するこの送水管は、将来的に阪神間を貫く大幹線として、大阪等の広域相互バックアップシステムに発展する可能性を含んでいる。

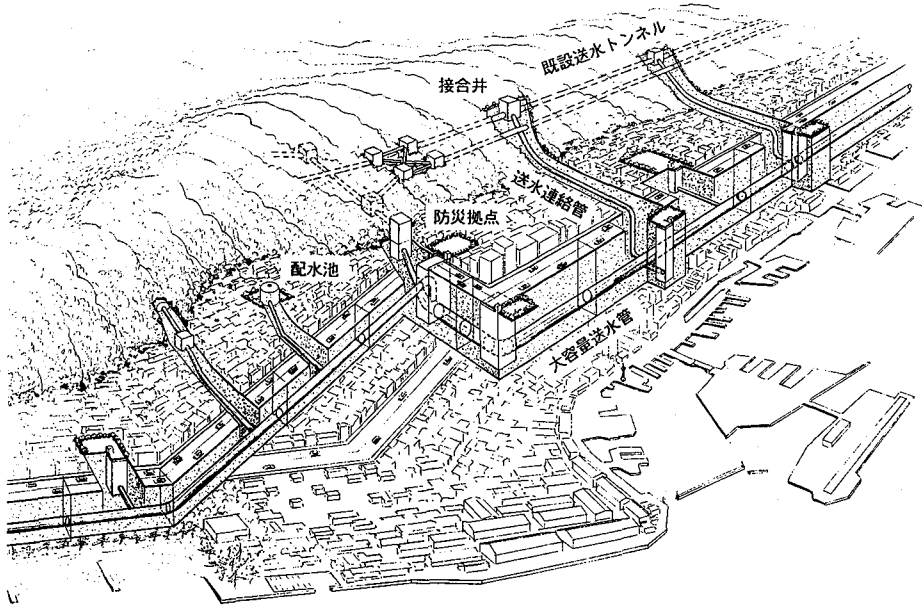


図-9 大容量送水管のイメージ

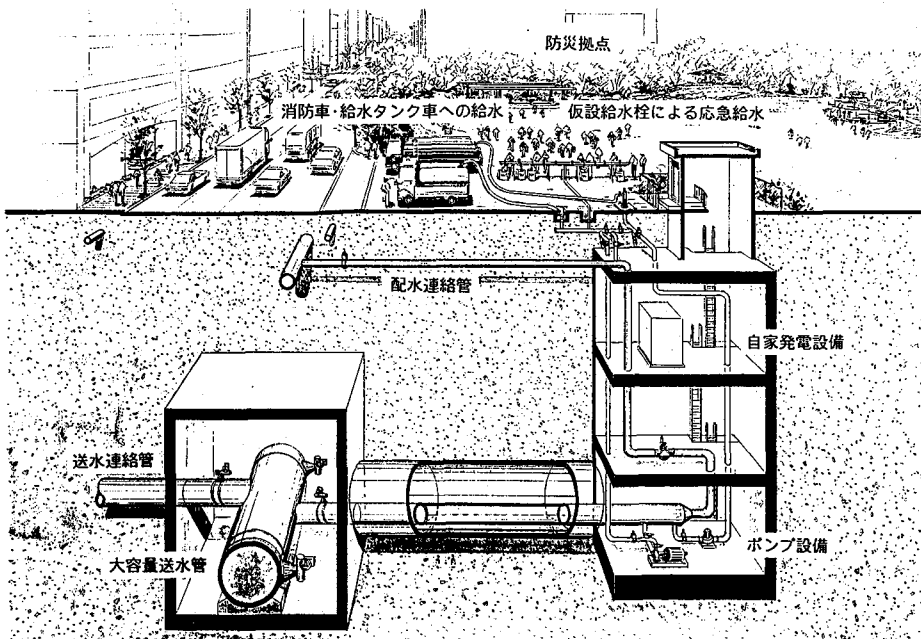


図-10 大容量送水管防災拠点での利用イメージ

d) 緊急貯留システムの整備

緊急遮断弁システムをさらに充実させ、臨海部での耐震貯水槽も合わせ33カ所に増加させる(図-11)。

e) 建築物の耐震化(設計強度増等)

f) 電気・計装設備等の耐震化

テレメータ・テレコントロールシステムの更新、管路情報管理システムの整備、受配電系統の二重化、データ送信のループ化

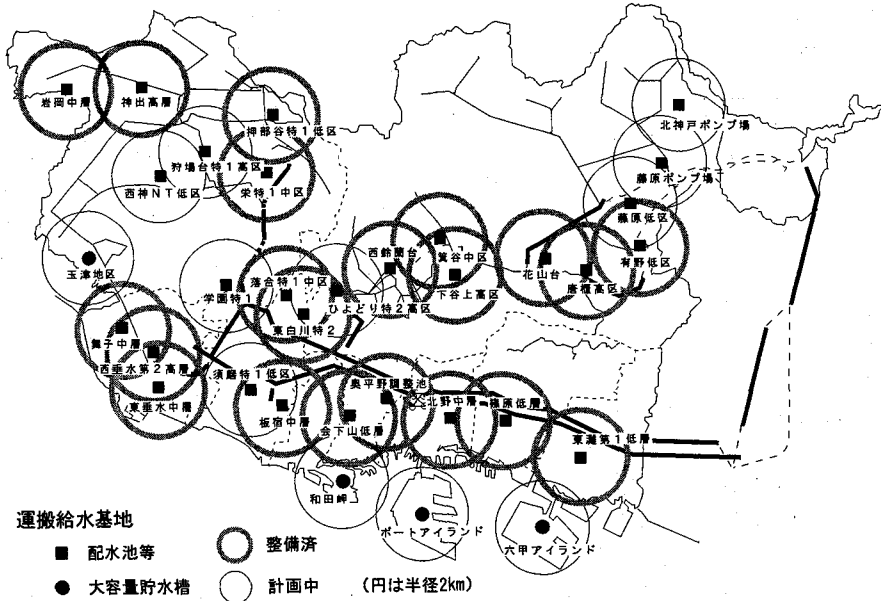


図-11 緊急貯留システム配置計画図(基本計画策定時,平成7年7月)

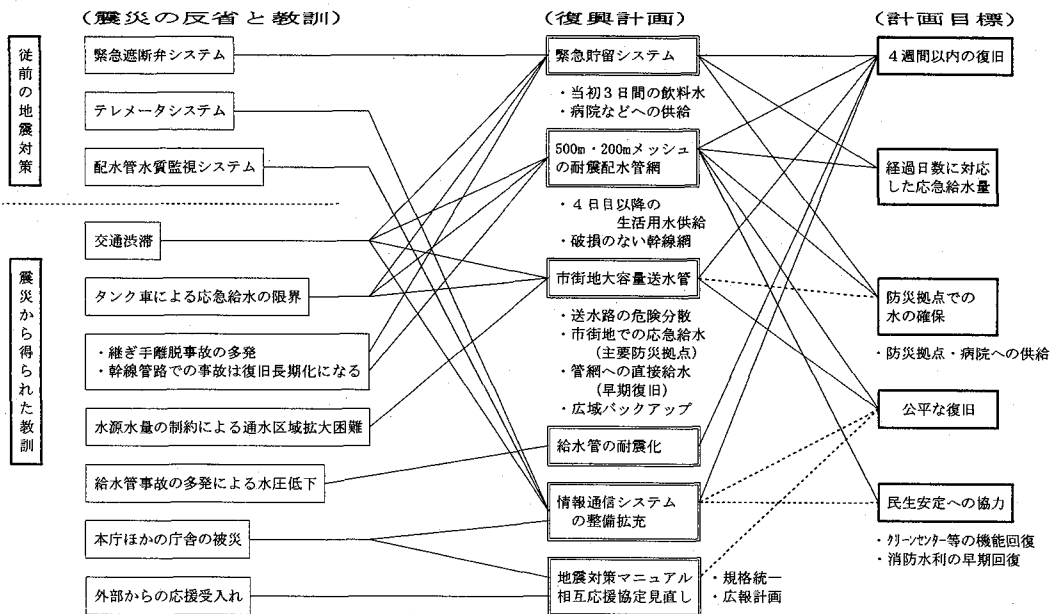


図-12 震災の反省・教訓と耐震化事業計画

g) 給水装置の耐震化

給水管はV PまたはH I V Pを使用してきたが、これらは大地震による地盤変動や家屋倒壊に、あまり追従できなかった。また、前述したように管内の水が急速に消滅する原因にもなったため、以下の対応をする。

ポリエチレン管、伸縮可撓管の採用、配管工法の工夫、各種改善促進策の実施

ここで、震災の反省と教訓が、復興計画にどう反映され、計画目標の達成にどのように係わっているかを図-12に示した。

(3) 神戸市全体計画との関係

神戸市復興計画は、神戸市復興計画審議会の答申を基に神戸市全局が協力して平成7年6月に策定された。市全体の復興計画であり、神戸市水道施設耐震化基本計画の上位計画となるものである。

この計画は、①目標別復興計画②安全都市づくり③市街地復興計画の3部から構成されているが、水道に関しては、安全都市づくりの「災害に強いライフラインネットワークの整備」の中で、運搬給水基地の確保、管路の耐震化、大容量送水管の設置などの施策が位置づけられている。特に大容量送水管については、復興の象徴となるシンボルプロジェクトの1つの事業として取り上げられている。また、本計画の中で「地域防災拠点の施設機能の強化」を目的とした震災時における水の確保策として、公園部局が公園地下での耐震性貯水槽の整備に着手したこと、消防部局も貯水槽整備に着手すること等が特筆される。

また、神戸市全体として震災前から「神戸市地域防災計画・地震対策編」を策定していた。しかし、阪神・淡路大震災は想定をはるかに超える大規模な災害であったことから、十分対応することができず、他都市等の人的・物的支援なしでは十分に対応できないことも実証された。

神戸市では、これらの反省と教訓をもとに、平成8年3月に「神戸市地域防災計画」の大幅な見直しを行った。この中で、水道関連としては「飲料水供給システム」、「水道施設復旧システム」として記述されているが、その内容は前述した「神戸市水道施設耐震化基本計画」との整合が図られている。なお、

この「神戸市地域防災計画・地震対策編」は毎年見直しを行っていくこととしている。

(4) 地震対策のソフト

a) 他都市等との相互応援

神戸市では震災前から大都市間および大都市水道事業体間で応援協定を結んでおり、震災時にも有効に機能したが、大震災の教訓をもとに平成8年6月に「12大都市水道局災害相互応援に関する覚書」を大幅に見直し、覚書を改定した。

また、同時期に神戸市と隣接する阪神・東播地区7市2町との相互応援協定も締結した。

b) マニュアルの整備と情報化

神戸市水道局独自としても、初動体制、情報連絡体制を充実させるため、「応急給水マニュアル」、「ライフライン復旧マニュアル（水道編）」を策定している。

また、災害時の広報のための取り組みとして、神戸市防災通信情報ネットワークの整備に着手しており、部分的に供用開始しているほか、水道局としても平成8年12月から独自にFAX情報提供サービスを開始している。

8. 災害復旧工事における耐震強化の事例

前節で述べた耐震化計画が策定されつつある頃、現場では災害復旧工事の進捗に全力が注がれていた。その意味でも、災害復旧工事は耐震化計画のスタートとなるべき事業であった。今回の災害復旧工事の大きな特徴は、甚大な施設被害に対し、原形復旧するのではなく、耐震継手管の採用など、耐震性をより強化する工事ができたことである。以下に、災害復旧工事における耐震強化の実例を述べる。

(1) 配水管の耐震強化

配水管については、耐震効果の高い離脱防止型の耐震継手管を使用する災害復旧工事を、被害の大きい臨海部等を中心に、平成7～8年度の2カ年で延長17kmに及び実施した。その結果、耐震管路延長は表-4のように増加した。

表－４ 耐震管路の分類と延長

(km)

項 目		平成 6 年度末	平成 8 年度末	平成 9 年度末 (予定)	通用箇所
耐震 管 路	ダクタイル 鋳鉄管	253.9 (6.4%)	419.4 (10.3%)	458.7 (11.0%)	埋立、地滑 防止、φ300以下、既設管
	鋼 管	104.9 (2.6%)	103.2 (2.5%)	110.6 (2.7%)	水管橋 高圧水管路
	ポリエチレン	— (—)	5.2 (0.1%)	3.0 (0.1%)	給水管 (φ50)
	小 計	358.8 (9.0%)	527.8 (12.9%)	572.3 (13.8%)	
	レベル 2				レベル 1 以外 のφ300
	ダクタイル 鋳鉄管	3,198.2 (79.9%)	3,131.3 (76.6%)	3,159.4 (76.2%)	レベル 1 以外 のφ200 以下
	ポリ ビニル 継手				
耐震管路延長 合 計		3,557.0 (88.9%)	3,659.1 (89.6%)	3,731.7 (90.0%)	
非耐震管路 (レベル 3) 高級鋼鉄、ビニル管		445.0 (11.1%)	426.5 (10.4%)	416.4 (10.0%)	
全 管 路 延 長		4,002.0 (100 %)	4,085.6 (100 %)	4,148.1 (100 %)	

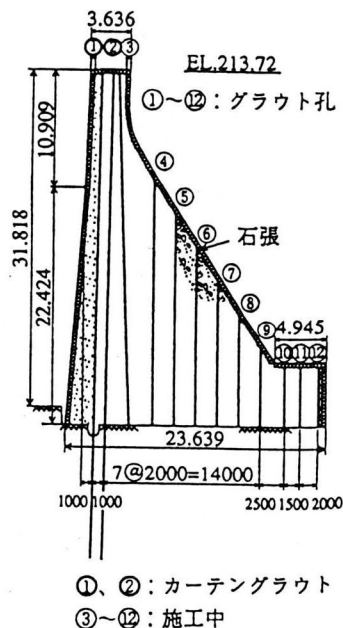


写真－４ 屈曲性のある耐震継手管

(2) 基幹施設の耐震強化

a) 布引ダム

布引貯水池に築かれた日本最古のコンクリート製ハイダムである布引ダム（明治33年完成）は、致命的な被害はなかったが、堤体基礎部分からの漏水量が震災前の約4倍程度まで増加した。災害復旧工事では、基礎岩盤及び堤体本体のクラックや空隙部等を充填する岩盤カーテングラウトと堤体グラウトをセメント量換算で約460 t 注入して揚圧力の低減を図り、構造的安定性を大幅に向上させた。本工事により漏水量は震災前のレベル以下にまで低減することができた。



図－１３ 布引ダムのグラウト断面図

本ダムは、明治時代に建設されたこともあり地震力は考慮されていなかったため、現行のダム設計基準に適合させるよう恒久的な堤体の補強対策を検討した。今回の地震力を近傍の観測記録や周辺の被害状況から推定し、満水地震時における堤体の安全性を保つ必要から、災害復旧工事とは別に堤体上流側にフィレットを増築することとしている。

b) 導水路トンネル

千苅貯水池と上ヶ原浄水場を結ぶ千苅導水路では、トンネル区間で覆工コンクリートの一部圧壊とクラック発生のため通水不能となった。本格復旧においては、既設トンネル内にダクタイル鋳鉄管を挿入し、管体外面と覆工コンクリートとの隙間にエアモルタルを充填して二重構造とするパイプイントンネル工事を行い、耐震性を強化している。（図－14・15）

c) 池状構造物

会下山低層配水池（昭和4年完成）では、コンクリート接合部が地震により離脱し貯留水が池外に失われるとともに、構造物や伸縮ジョイント部等にクラックが発生した。本格復旧工事では、既設の底版及び側壁を残し、土留め代わりに利用してその内側に同容量の配水池を築造する工法で復旧している。

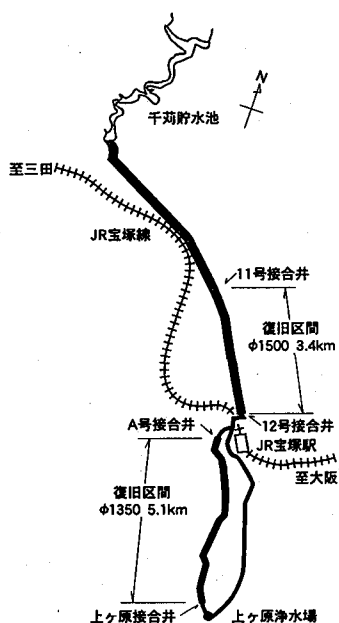


図-1 4 千苅導水路復旧工事平面図

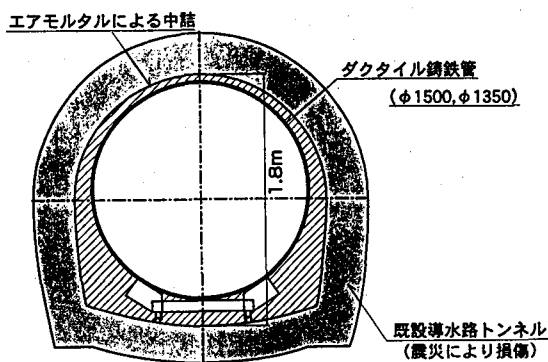


図-1 5 千苅導水路復旧工事断面図

耐震強化の面では以下の配慮をしている。

①災害復旧工事の設計時点では耐震基準が改定されていなかったため、基本的には従来の震度法により水平震度0.2で断面厚及び鉄筋量を算出するとともにひびわれのチェックを行っている。さらに今回の阪神・淡路大震災における神戸海洋気象台の観測値(818gal)を採用して応答変位法による耐震計算も行い安全性を確認した。

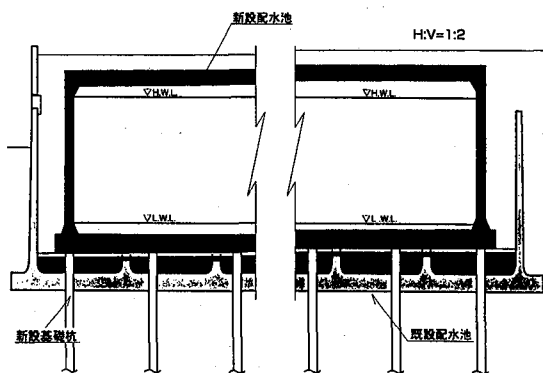


図-1 6 会下山低層配水池復旧工事断面図

②この結果、既設配水池では頂版、壁、底版の厚みは30cm程度であったが、今回の改築では40～50cmの断面厚となった。

③その他、今回の被害を教訓に下記の耐震強化工事を施した。

- i) 地盤条件を考慮して基礎構造を直接基礎から杭基礎(PHC杭φ500-886本)とした。
- ii) 池本体と管理設部は地震時における挙動に違いがあることから境界部に伸縮管を設置した。
- iii) 地震で配水池本体と離脱した配水側接合井は本体と一体構造で築造した。

以上の災害復旧工事は国庫から対象工事費の8割の補助を受けて実施した。

9. 耐震化計画の進め方

(1)地震安全性のあり方

耐震化計画のスタートとなった災害復旧工事が完了しても、引き続き配水池、トンネル、大口径管等の基幹水道施設を建設する機会は多い。ここで、低頻度巨大地震に対応した耐震設計を行っていかねばならない。

水道施設の耐震設計に関する基準としては、水道施設耐震工法指針があったが、大震災の教訓をもとに、平成9年6月に改訂版が刊行された。この改訂での地震に対する安全性の考え方の特徴は、

①従来考慮してきた地震動（レベル1）以外に兵庫県南部地震のような低頻度巨大地震（レベル2）を新たに設定したこと。

②水道施設については重要度に応じてランクAとランクBに区別し、それぞれの地震動に応じて保有すべき耐震性能を明記したこと。

などであり、構造物特性や地盤特性を考慮して適切な耐震設計法により設計を行うこととされている。

水道施設の重要度は、水道システムの形態が事業体ごとに異なるため、基本的には各事業者が、地震被害が水道施設としての本来の機能に与える影響や他に与える影響の度合いを考慮して決めることとされている。

神戸市では、今後、個々の施設の耐震化において、今回の被害の構造特性や地盤特性の面からの分析を行うとともに、水道システム全体からみた施設の重要度を個々に判断して、指針の考え方を積極的に取り入れていきたいと考えている。

表－5 耐震設計の基本方針

	地震動レベル1	地震動レベル2
重要度 ランク A	無被害であること	人命に重大な影響を与えないこと。 個々の施設に軽微な被害が生じてもその施設機能保持が可能なこと。
重要度 ランク B	個々の施設に軽微な被害が生じてもその施設機能保持が可能なこと。	個々の施設には構造的損傷があっても、水道システム全体としての機能を保てること。

(2) 耐震化投資のあり方

耐震化投資のあり方に関し、先に述べた「神戸市水道施設耐震化基本計画」では、この計画をすべて実現するには多額の投資が必要となり、また施設整備の完成にも長い年月を要することから、優先度の高いものから、順次具体的な事業実施に移していくこととしている。

神戸市では、基本計画の実施にあたり、優先度の

高い施設整備を2010年を目標に第Ⅰ期の事業計画として整理し、平成8年度から事業を行っている。

主要な耐震化施策の進め方を以下に述べる。

a) 配水管

配水管の耐震化では、今回の震災の経験をふまえ、500mメッシュの耐震化と防災拠点に至るルートの耐震化を地盤状況も考慮して優先順位を決め、2010年を目標に完成させる予定である。

b) 大容量送水管

大容量送水管の整備では、全長約30kmのうち、市境から本市の水道システムの中心である奥平野浄水場までの第Ⅰ期区間（本線約14km）については2010年を目標に完成させる予定である。このうちの第1工区（約4km）は厚生省の国庫補助であるライフライン機能強化費の中でモデル事業として取り上げられ、工事着手に向けて実施設計等に鋭意取り組んでいるところである。

c) 緊急貯留システム

緊急貯留システムの整備は平成8年度末で27カ所整備し、6カ所を残している。今後、配水池の新設、増設時に合わせて緊急遮断弁を整備するなどにより、2010年までの早い時期に全市33カ所の整備を完了する予定にしている。

今後の耐震化投資に際しては、耐震化目的だけでなく、あらゆる角度から検討し、経年化施設の更新や機能向上など複合した施工目的を持って実施していく必要がある。例えば配水池の耐震化については、貯留能力の増強、緊急遮断弁設置、直結給水区域の拡大などの目的も合わせて検討し、優先順位を判断する必要がある。

また、前述した個別施設としての耐震化も重要であるが、システム全体としての対応が肝要となる。水道システムとして各事業体における水源の多様化、管路の2系統化や連絡管整備等も必要であるが、大容量送水管を実例とした広域バックアップ施設の整備の重要性が痛感される。

以上述べてきた耐震化事業は、多額の投資を必要とするが、給水収益には直接結びつかないため、国や他会計からの財政的バックアップが望まれる。

10. おわりに

震度7を記録した都市直下型の大地震は、病院や火災現場での水の欠乏、応急給水拠点に並ぶ市民の長蛇の列、などの例を出すまでもなく、水道が最も重要なライフラインの1つであることを再認識させることとなった。

神戸市が震災後1年余を経過した平成8年6月に行った全世帯アンケートの中でも「今後重点を置くべき防災対策」の中で「水道、電気、ガスなどのライフラインの強化」を重視する割合が最も高かった。

この結果を謙虚に反省し、大震災を経験した神戸市水道の使命として「災害に強く、早期復旧が可能な水道づくり」に努めていきたい。

本文では、神戸市水道の震災報告と耐震化計画及びこの耐震化計画の進め方等について述べてきた。

低頻度巨大地震に対する震災対策については、各自治体が全力をあげて推進することが第一義に必要であることは当然である。

しかし、1都市が対応できる限界を超える部分が多いため、国や隣接府県を含めた広域的課題と認識して、ハードとソフトの対策を広域的に調和させていくことが重要ではないかと思われる。

なお、本文は平成9年7月25日に行われた土木学会第24回地震工学研究発表会に著者が投稿した「神戸市水道の震災復興と耐震化計画の推進」と内容がほぼ同じであることを記します。

と課題、土木学会関西支部都市防災シンポジウム講演集、1987.10.20

6, 安藤伸雄; 阪神淡路大震災による上水道の被災と復旧について, 公益事業研究, 第48巻第3号, 1997.3

7, 神戸市; 神戸市復興計画, 1995.6

8, " ; 神戸市地域防災計画-地震対策編-, 1996.3

9, 日本水道協会; 水道施設耐震工法指針・解説, 1997.6

10, 佐渡谷伸雄, 雉真哲郎, 湊 隆; 布引ダムの震災調査, 全国水道研究発表会, 1997.6

11, 甲斐正史, 高橋正春; 布引ダム災害復旧工事, 全国水道研究発表会, 1997.6

12, 神戸市水道復興計画検討委員会; 神戸市水道耐震化指針, 1995.6

<参考文献>

1, 森田正三; 神戸市水道の震災復興と耐震化計画の推進, 土木学会第24回地震工学研究発表会, 1997.7.25

2, 小倉 晋; 水道の被害状況と復旧活動, 都市政策, 第83号, 1996.4

3, 松下 真; 神戸市水道施設の被害と復興計画, 非開削技術協会, 第18号, 1997.1

4, 森田正三; 神戸市水道における地震対策の現状と課題, 土木学会関西支部「より安全な都市を目指して」ライフラインの地震防災, 1991.11

5, " ; 神戸市水道における地震対策の現状