

# 神戸市水道の震災復興と今後の被害予測

松 下 眞\*

\* 神戸市水道局計画課  
神戸市中央区加納町6-5-1

## 概 要

神戸市水道システムは、1995年の阪神淡路大震災で大きな被害を受け、最大で10週間の断水を余儀なくされた。この間、市民は生活に大きな不便を感じる事となった。その後、復興事業に取りかかり、5年経過して個別施設の耐震化のみならずシステムとしての耐震化も進んでいる。その状態を報告するとともに、特に配水管について管路ごと・エリアごとに現状での耐震化率を算定し、事業進捗を評価するとともに、被害予測式を用いて今後重点を置くべき配水区域を特定する手法を紹介する。またGISを用いて復旧経過を再現し、最適な復旧戦略について考察する。

## キーワード

水道システム、阪神淡路大震災、復旧過程、耐震評価、GIS

## 1. はじめに

阪神淡路大震災から5年を経過し、これまでの復興とシステム再構築の内容が問われている。神戸市水道システムはどのような耐震化が進んでいるのか。物心両面で復興を支えていただいた方々に復興状況を報告し、その評価を得てさらなる復興を推し進める必要がある。この場合、現在の耐震化状況を正しく評価することは、限られた資金の中でどこに投資をどこに行うべきか、という課題にも通じている。次世代に良好な資産を引き継ぐためにも、われわれの手で評価手法を確立していく必要があるといえよう。本論文では、前半において震災復興の主要プロジェクトの進捗状況を紹介しつつ、後半では管路を対象に耐震化の評価手法を検討していくことにする。埋設管路は面的に広がりを持つため、地震の影響を受けやすい水道施設であるが、現状を正しく評価し、優先的に耐震化すべき管路はどれか、被害が多発すると予想される管路はどれか、などを特定していく必要がある。一方で、管路は一部区間だけを耐震化しても十分ではなく、管網全体として耐震化を評価することも重要であり、配水区域ごとの耐震化率からバランスのとれた耐震化を進める必要性も高いと考えられる。

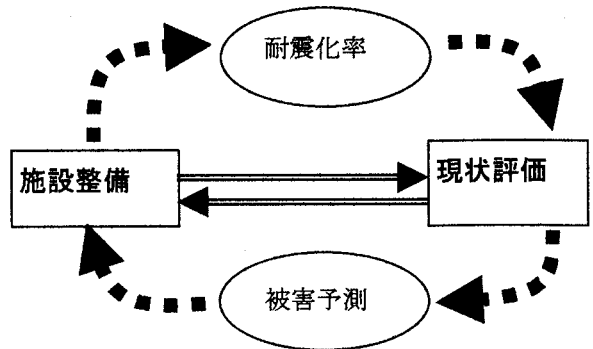


図-1. 現状評価と施設整備の関係

## 2. 5年経過後の復興状態

### (1) 神戸市水道施設耐震化基本計画

神戸市水道局では、阪神淡路大震災直後の平成7年7月に今後の復興方針を示す「神戸市水道施設耐震化基本計画」を策定した。この中で、10週間を要した応急復旧を市民の声に配慮して4週間以内に終えるこ

とや応急給水の水量を日数経過に応じて増量させていくことを示した。すべての施設整備は、これら計画目標を実現するために体系化され、施設の経年化対応についても考慮した総合的なマスタープランとなっている。このうち、「大容量送水管の整備」「緊急貯留システム」「配水管の耐震化」の三つが主要なプロジェクトであり、以下これらの進捗状況について簡単に触れることとする。

## (2) 大容量送水管

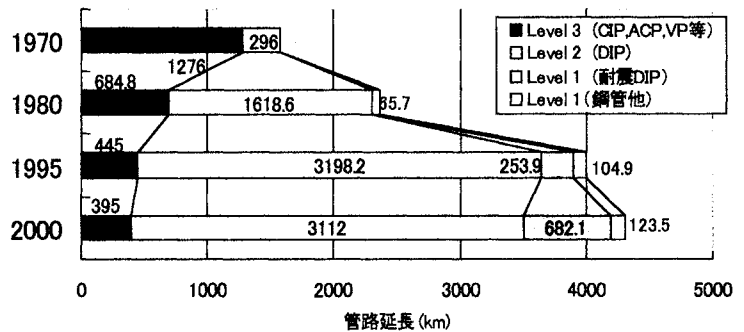
大容量送水管は、神戸市にとって生命線ともいえる送水トンネルのうち、計画されていた3本目のものを従来どおり六甲山中でなく、市街地の幹線道路下にシールドトンネルとして建設するもので、既存の2本のトンネルとの危険分散を図るとともに、送水管に貯えられた水道水を、立坑建設の後利用として造られた応急給水拠点から効率的に給水しようとするものである。すでに平成10年夏から現地工事に着手し、この3月にはシールドも発進して順調に工事を進めている。平成15年3月には、先行する阪神水道企業団の神戸送水路と結合され、最初の区間で供用が開始されることになっている。

## (3) 緊急貯留システム

このシステムは、地震発生直後に配水池・耐震性貯水槽の緊急遮断弁を閉鎖し、当面必要な水道水を確保するものである。神戸市では、阪神淡路大震災以前から整備してきており、実際に4万m<sup>3</sup>余りの飲料水が貯留され、その後の応急給水活動に有効に利用された。現在では、このシステムを全市的な観点から見直し47カ所に拡張し、空白地区をなくすようにしている。平成12年7月現在、このうち28カ所が稼働しており、来年3月までにさらに2カ所が稼働する予定である。

## (4) 配水管の耐震

配水管網は、給水区域の拡大とともに発展し、1970年からみて2.5倍以上の管路延長になっている。この結果、配水管は給水区域内に面的に広がり、地震の被害を受けやすい施設となっている。配水管の布設替については、当初、1964年に破裂事故・赤水事故を防止する目的で無ライニング管の取替という観点からスタートしており、新しいダクタイル鉄管への布設替えを積極的に行った結果、図-2のように配水システムの体質改善が進んできている。阪神淡路大震災以降は、応急給水量の増加にも配慮し、500m・200mメッシュ耐震管網を構成していくよう耐震化が図られてきている。目標としては、平成22年(2010年)までに500mメッシュをほぼ完成させることであり、震災当時253kmにすぎなかった耐震継手管は2000年3月には682kmと2.7倍に達している。



## 3. 配水管の耐震化指標

### (1) 配水管の耐震化の状況

一般に配水管の耐震化率は、

$$\text{耐震化率 (A)} = \frac{\text{耐震化された管路延長}}{\text{全管路延長}}$$

で表現される。耐震継手管と鋼管を「耐震管」と定義し前項の数値を代入すれば、1995年の耐震化率は9.9%であり、1999年3月には16.9%に増加してきている。この数値は配水管全体の耐震化状況を表すには意味があるものの、いくつかの問題点を擁している。それらは、

図-2. 神戸市における管路材質の変遷

- ① 全路線を耐震化しないと100%にならない。
- ② 耐震化の基本思想である500m・200mメッシュの完成度が反映されていない。
- ③ 個々の管網どうしの耐震化比較に使えない。
- ④ 5年・10年程度の期間でみた場合、事業そのものの進捗を表現するのに不向きなどである。震災復興を実施するにあたり、事業進捗を適切に表現できる指標の開発は、市民への情報開示ということもあり極めて重要なことである。

(2) 新しい耐震化指標の提案

このような観点から、新しい指標を考案することになった。ここで分母を500m・200mメッシュなどの「耐震化すべき延長」とし、分母にはこのルート上で「耐震化された延長」を用いることにした。

$$\text{耐震化率 (B)} = \frac{\text{耐震化された延長 (下記ルート)}}{\text{耐震化すべき延長}}$$

この定義では、ルート上にない管路はいくら耐震化しても反映されないなどの問題点はあるが、最終的に100%になり事業進捗を表現することができる。神戸市では、配水管の耐震化を進めるにあたり、500m・200mメッシュとして機能するようにしているが、配水区域ごとの完成度を評価し、耐震化の遅れた配水区域を探し出すことにも使用することができる。このため耐震化投資を有効に行うための指標とも考えられる。

4. 配水管の被害予測

(1) 予測式

日本水道協会では、1998年に芦屋・西宮の配水管被害データをもとに被害予測式を発表した。この式は、地震動(速度、加速度)に対し標準被害率を定め、地形・地盤、液状化、管径、材質などの補正係数を用いて修正していくもので下記の形で表現される。

$$Rm(v) = Cp \times Cd \times Cg \times Cl \times R(v)$$

$Rm(v)$  : 地震の最大速度  $v$  に対する被害率

$R(v)$  : 標準被害率  $[= 3.11 \times 10^{-3} \times (v - 15)^{1.30} \text{ (件/km)}]$

<補正係数>

$Cp$ (管種)、 $Cd$ (管径)、 $Cg$ (地形・地盤)、 $Cl$ (液状化)

(2) 適用条件とモデルの同定

本市では、1995年当時の管路状態と補正係数の各条件をあてはめ、阪神淡路大震災時の実績データによりモデルの適合性を検証してみた。液状化については1995年の実績に基づき3段階の判定(無、中、大)を

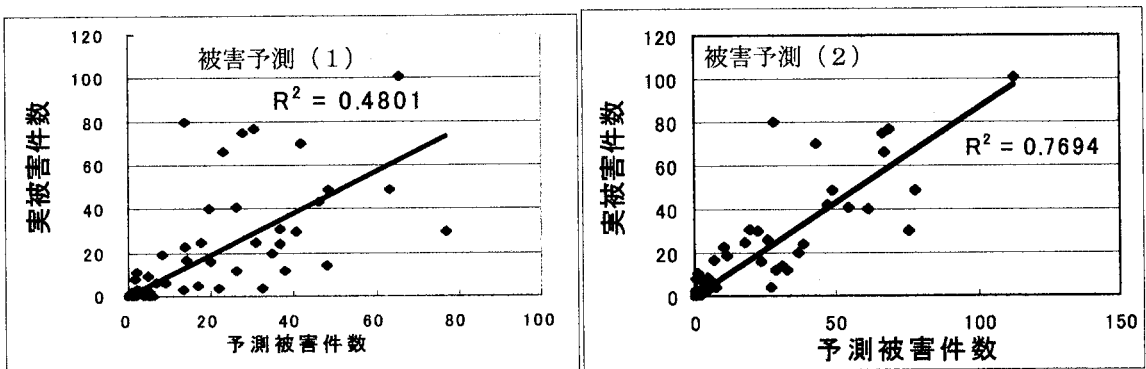


図-3. 被害予測(1)(2)と実績との比較

適用し、地形・地盤については、当初、神戸ではほとんどが改変された地形であることから、改変丘陵地・改変山地・沖積平野といった分類を適用していた。(被害予測1)しかし、旧河川、断層近傍、埋立地などでの実績値との整合が悪く、旧地形図や各種文献をもとに適用地盤の見直しをおこなった。(被害予測2) これら二通りの被害予測について実績値との比較をおこなったのが図-3である。神戸市東部・中部・西部の68の配水区域を対象とした比較では、R-2乗値が0.48から0.77に向上している。また、地盤分類別(6種)の比較においてもR-2乗値は、0.27から0.94に上昇した。このようにモデルを改善することによって、神戸市における配水管の被害予測モデルが同定された。

### (3) 現時点での被害予測結果

同定されたモデルを用いて1999年3月現在の管路耐震化状態の評価をおこなった。配水管事故の予測値に関して減少件数をみると、1132件から912件と約19%の減少となった。表-1には、東部・中部・西部の各層ごとの予測被害件数を示す。また、1999年3月において、なお高い被害率の想定される管路をGISで表現した結果を図-4. に示す。

表-1. 1995年と1999年の被害予測の比較

|    |    | 1995年<br>被害件数 | 1999年<br>被害件数 | 被害減少率<br>(%) |
|----|----|---------------|---------------|--------------|
| 東部 | 低層 | 413           | 318           | 23.0         |
|    | 中層 | 32            | 29            | 9.4          |
|    | 高層 | 22            | 20            | 9.1          |
| 中部 | 低層 | 438           | 344           | 21.5         |
|    | 中層 | 77            | 73            | 5.2          |
|    | 高層 | 11            | 10            | 9.1          |
| 西部 | 低層 | 99            | 82            | 17.2         |
|    | 中層 | 30            | 27            | 10.0         |
|    | 高層 | 10            | 9             | 10.0         |
| 合計 |    | 1132          | 912           | 19.43        |

属性種別: 配水管  
 検索項目: 被害率(見直し2) [件/km]  
 0.000 ~ 1.000  
 1.000 ~

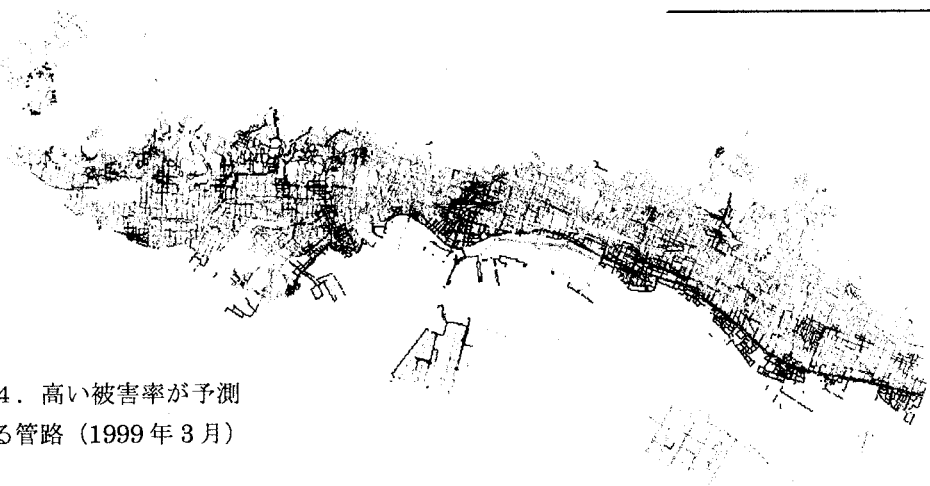


図-4. 高い被害率が予測される管路(1999年3月)

### (4) 予測結果の利用

この結果は、当面、優先的に耐震化すべき管路を示すとともに、1995年1月以来、管路の耐震化がどのよ

うに進展してきたかを物語る指標として活用することができる。さらに、他の指標と組合すことにより管路に限らず、水道システム全体の耐震化を評価する指標に発展していくことが期待される。

### 5. 配水区域から見た管路耐震化状況の評価

これまで、管路1本1本に対して被害予測をおこなってきた。しかし、個々の管路は管網を構成し、給水の安定性は管網全体で行う必要がある。ここでは、計算の簡略化をはかるために管網全体を構成する管路の内、重要管路で耐震管への布設替が行われたものの比率で評価することにする。評価単位としての管網は、先の68の配水区域とし、GISを用いて耐震化率を算定した。その結果、災害復旧事業として管路耐震化を行った地区において耐震化が進展しており、管路被害の少なかった地区では逆に耐震化事業の進捗が遅くなっていることがわかった。さらに、配水区域別に予測被害率で評価したところ、山腹部では耐震化が進んでいないにもかかわらず被害率は低く、重点をおくべき地区は臨海部であることが理解できる。今後は、さらに投資対象を絞り込むことができるよう評価方法を検討していきたい。

### 6. GISを用いた復旧戦略の検証

阪神淡路大震災において、復旧作業が最も長期化した東灘第1低層配水池区域を対象として管路ごとに復旧過程を再現した。その2月13日現在の管路復旧状態を図-5(A)に示す。このよう再現されたプロセスを用いて、復旧日数をより短縮できないかを検討した。まず、管路材質は1995年当時と同じと仮定して、冒頭に述べた大容量送水管の供給点(立坑)からブロック化された4つの配水区域に同時に水が供給され、管路の復旧作業がなされるとして、同じ2月13日での復旧状態を再現した。(図-5(B))さらに、管路の耐震化が進み、500mメッシュの耐震化



図-5.(A) 阪神淡路大震災当時の復旧状態

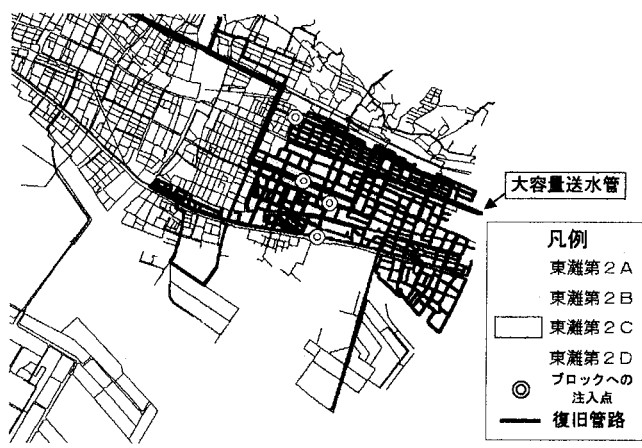


図-5.(B) 大容量送水管とブロック化による復旧状態

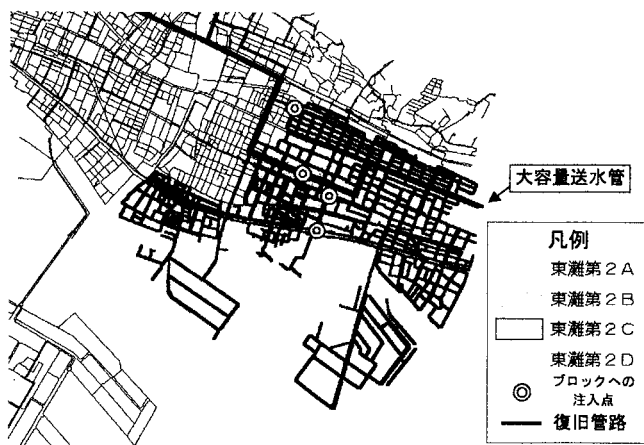


図-5.(C) 大容量送水管・ブロック化・管路耐震化による復旧状態(2月13日)

が完成した場合に、大容量送水管とブロック化による復旧短縮効果も考慮した結果として2月13日現在の復旧管路を図-5(C)に示した。また、以上(A)(B)(C)の復旧状況を復旧曲線と投入した復旧班数から比較した。(図-6)このグラフから、大容量送水管とブロック化を用いた復旧の有効性および管路耐震化の有効性を認めることができる。さらに復旧班の投入についても、地震発生直後に短期間で復旧を行うことによって市民生活の負担をより軽減することができる。

このような検討から、GISを用いることで震災当時の実際の復旧を再現でき、大容量送水管の利用や管路耐震化の進捗が、より早い復旧方法の開発に貢献することを示すことができた。今後は、さらに復旧必要水量の算定なども行い早い復旧のあり方について検討を続けていきたい。

## 7. 結論

阪神淡路大震災から5年半が経過し、昨年はいろいろな分野において復興の検証作業が行われた。水道システムについては、配水管の漏水を示す有効率で震災

前に及ばないものの各施設は完全復旧されたと考えてよい。しかし、現時点で耐震化事業のゴールを見定めることは非常に難しく、完全復興に対しては未だその途上にあるとしか言えないであろう。このような状態にあって、GISを用いて面的に広がりをもつ管路施設の実際の復旧を再現し、それを利用して復旧短縮方策の検討をおこない、さらに効果的な耐震化をおこなうために被害予測を行い神戸市水道システムについて予測モデルを確立した。これは、投資の優先順位を決めるうえでの指標となり、全市的にバランスのとれた耐震化をすすめるうえで不可欠なものである。今後、地震災害に際して管路被害と給水の安定性から、市民が許容するリスクをどのように算定し管路整備に活かしていくかが重要になってくると考えられる。これは給水収益の伸びが期待できない条件下で投資の配分をおこなう場合、提供できるサービスの水準と料金に関係づけ、市民に適切な「選択」を迫っていく必要があるからである。

阪神淡路大震災の時に明らかになったように、水道事業は単に飲用可能な水を供給するだけでなく、消火用水の供給など防災上も重要な役割を担っている。耐震化指標をよりわかりやすくし、給水安定性を正しく評価できるようになれば、「情報公開」と「市民の選択」を通じて、公共事業の投資決定に新しいモデルを提案することができる。このような観点からも、震災復興の経過を明らかにしつつ現状評価の新しい考え方などを情報発信していくことは、今後とも継続していく必要があると考えられる。

### (参考文献)

1. 松下・橋上・小西・森田、「震災後5年目の復興状態と配水管の被害予測」(日本水道協会第51回全国水道研究発表会講演概要集、2000年5月、苫小牧市)
2. 松下・橋上・小西、「阪神淡路大震災における復旧過程の分析とその短縮方策の検討」(「ダクタイル鉄管」1999年10月(第67号))

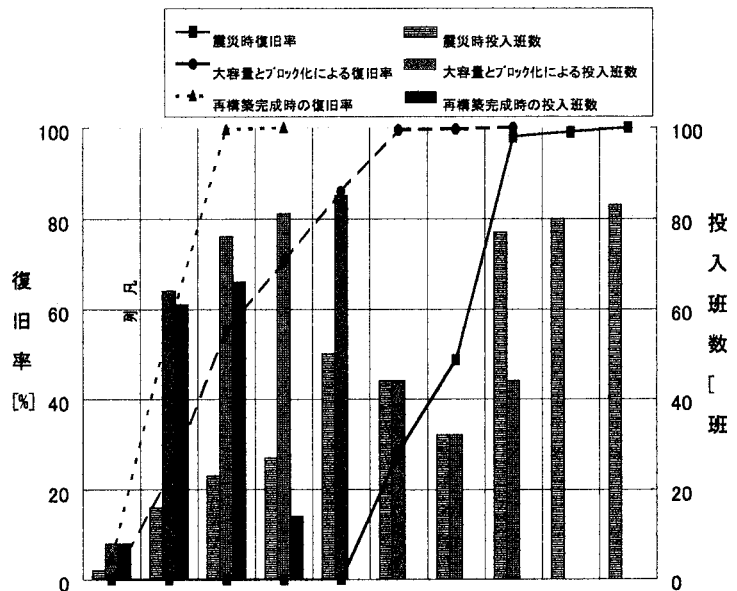


図-6. 耐震化による復旧短縮効果(東灘第2低層区域)