



Title	水道の震災復興における衛生工学の役割
Author(s)	松下, 眞
Description	第6回衛生工学シンポジウム（平成10年11月5日（木）-6日（金） 北海道大学学術交流会館） . パネルディスカッション . 神戸の震災時ならびに復興の中で衛生工学の果たしてきた役割
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 6, 303-312
Issue Date	1998-11-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/7368">https://hdl.handle.net/2115/7368</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	6-S3_p303-312.pdf



特別講演

水道の震災復興における衛生工学の役割

神戸市水道局計画課  
松下 眞

1. はじめに

1995年1月17日午前5時46分に発生した阪神淡路大震災は、他の都市インフラ施設とともに水道にも大きな被害をもたらした。水道の断水は、最長10週間にも及び、市民の生活にも大きな影響を与えた。衛生工学の対象である水道・下水・ゴミ処理の施設は市民生活と密接に関連しており、また震災時および復旧時には、各施設はお互いに関連していることも改めて明らかになった。本稿では、単なる被害報告ではなく、できるだけ「衛生工学の視点」から現象をとらえ分析してみたい。

2. 水道施設の被害

(1) 被害の概要

阪神淡路大震災による神戸市の水道施設の被害箇所数および被害金額を表-1に示す。これからわかるように、最大の被害は配水管と給水管に関するものであり、庁舎そのものの被害も復旧に際し大きな影響を与えた。

表-1. 神戸市水道の被害状況

施設名	被害 (被害数/施設数)	復旧費用
ダム	1 / 3 ダム	(億円) 70
浄水場	2 / 7 浄水場	
導水施設	2 系統 / 43 km	
送水施設	6 系統 / 260 km	
配水池	1 / 119 箇所	19
配水管	1,757 箇所 / 4,002 km	135
給水管	89,584 箇所 / 650,000 lines	25
その他	本庁, 東部営業所等	41
合計		290

(2) 配水管の被害分析

配水管事故の総数は、確認されたものだけで1757件に達しており、その約60%は管の継手部で発生している。発生場所の分布をみると臨海部、河川沿い、断層付近など地盤変位の大きい場所で生じている。また管種別にみるとダクタイル管の事故件数が多いが、発生率では古い铸铁管の事故率が高い。铸铁管については、比較的地盤の良い場所でも管体破損・継ぎ手離脱が生じており、その事故発生率は1.25件/kmと高い数値となっている。口径別では300mmより小さい口径で多くの事故が発生している。耐震管については、変位を生じながらも漏水等の事故は生じておらず、十分な耐震性能を発揮したといえる。これらの事例から、配水管の更新については、管路の更新をすすめながら大きな地盤変位が予測される所に耐震管を利用すべきとの考え方が得られる。

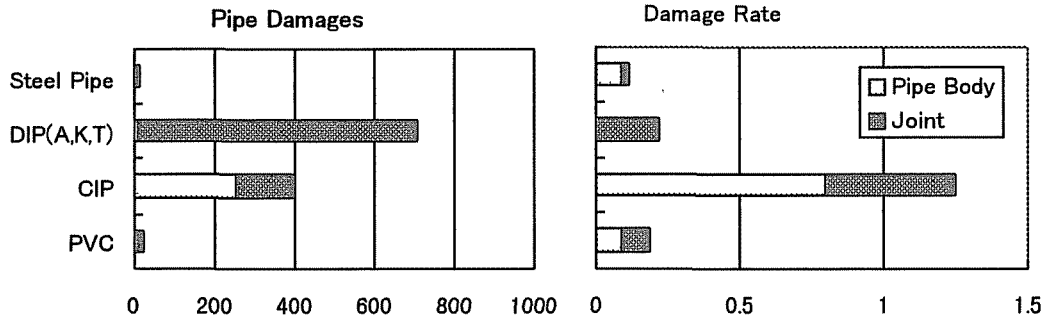


図-1. 配水管の被害と被害率

(3) 断水に至る経過 (物理的被害から機能被害へ)

配水管の事故による漏水の多発は、配水池の水位低下を招き、各地で水圧の低下や断水という現象を引き起こした。板宿低層配水池を例にとると、5時46分の地震発生から配水管事故に加え多数の給水管事故を原因とする漏水のため配水量が急激に増え、わずか数時間で配水池水位がゼロになっている。これに対応して、午前6時と6時40分の区域内の水圧分布をみると、急速な水圧低下の状況や、配水幹線付近ではある程度の水圧が維持されていること、また高台地区では、より低下が顕著に現れていることがわかる。(図-2, 3)

図-2. 板宿低層配水池の水位と配水量

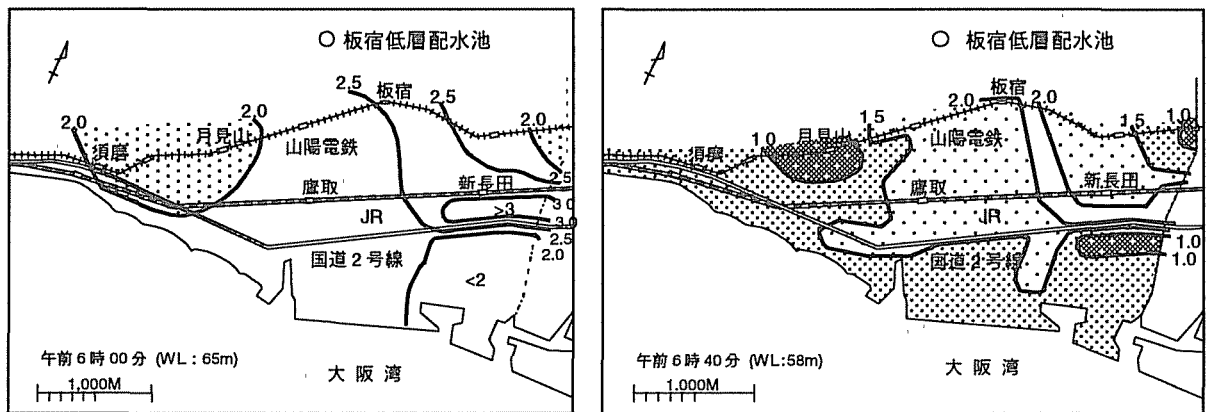
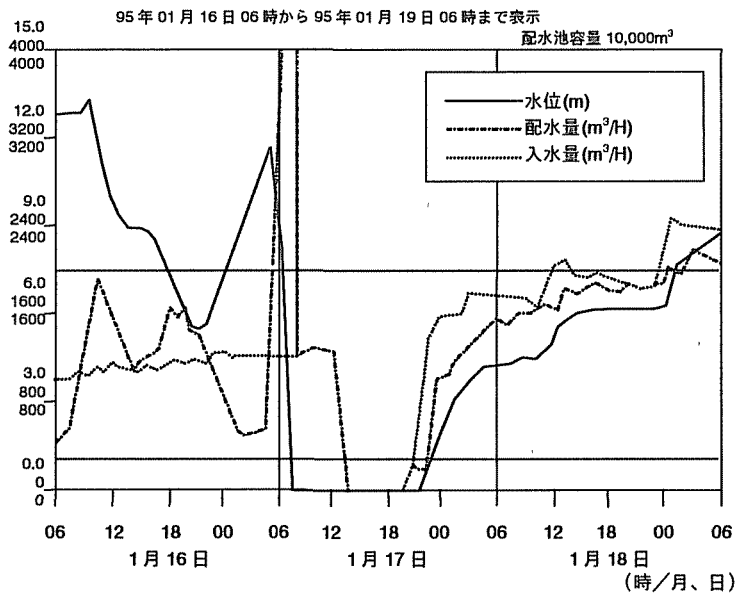


図-3. 板宿低層配水区域の水圧分布 (午前6:00, 6:40)

#### (4) 復旧用水の確保状況

配水池水位がゼロになってから、阪神水道の浄水場・送水施設の復旧に応じて各配水池に一定量の水を入水させ、復旧作業の開始に備えた。図-4には一日の作業開始前である午前7時の貯水量をプロットした。この量が少なくなると漏水した給水区域を抱えながらさらに復旧区域を拡大することが難しくなる。実際、2月に入って、阪神水道からの供給量が増えず、復旧区域拡大が停滞する現象がみられた。その後、2月18日に阪神水道の供給能力が回復し、供給量が増加するにつれて午前7時の貯水量も増加していった。すなわち、復旧用水の絶対量を心配せずに給水復旧区域の拡大作業を進めていけるようになった。

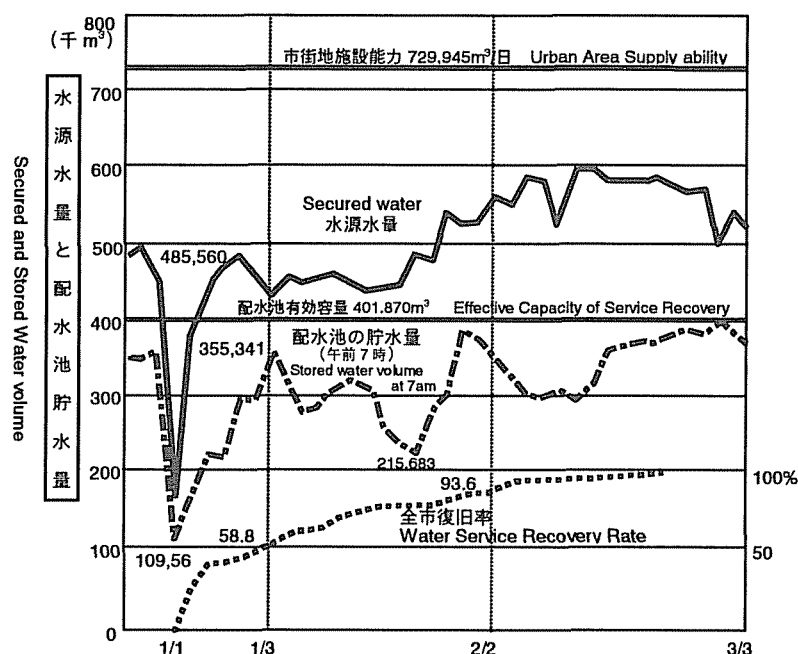


図-4. 水源水量、貯水量と復旧率の変化 (1月11日～3月30日)  
Secured Water, Stored water and Recovery Rate

### 3. 復旧状況とそのモデル化

#### (1) 復旧状況の再現

当初、復旧作業は火災や家屋倒壊などで被害の大きかった低層配水区域から始められた。しかし、この区域は管路被害の多い地区でもあり、いくら漏水箇所を修理しても新たな漏水が見つかるという「もぐらたたき」の状態であった。このため管網全体の水圧がなかなか上昇しない結果となった。そこで比較的強固な地盤で被害も少ないと想定される山麓部についても復旧に着手し、これらの地区については短期間に通常給水が回復した。図-5には、通水完了日の分布を示したが、人工島を除いて概ね山麓部から海岸部に向かって復旧が進められ、最後に灘区と中央区の埠頭地区が復旧されたことがわかる。

関西ライフライン研究会では、阪神淡路大震災時の水道とガスの復旧状況を時間的空間的に捉え、かつ相互の連関を調査するため、京都大学防災研究所と共同で、復旧日時・復旧所要日数など GIS を用いて再現し、被災地区に居住する土木学会会員へのアンケートも考慮しながらライフラインの復旧と市民生活について検討をおこなった。その結果、生活基盤の回復を実感するものとして、自宅で風呂に入るといった行為が大きいと推定されている。

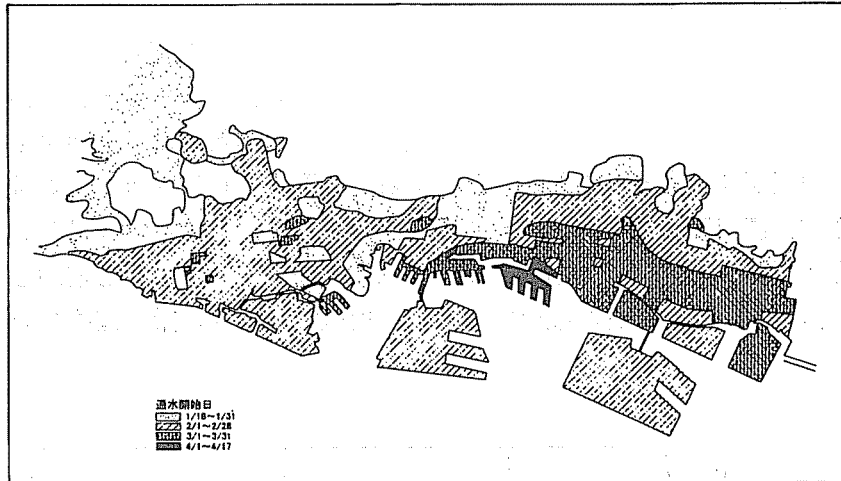


図-5. 地域別の復旧状況

(2) 給水復旧率の推移

実際の神戸水道の復旧率を図-6に示す。一時は全市的に断水したが、1月末には58.8%、2月末には93.6%、3月末には99.9%がそれぞれ復旧し、4月17日に当面の仮復旧を終了した。また震災復旧をできる限り円滑に行うとすれば、図-7に示すように着色部の面積ができるだけ少なくなるようにするのがよいと考えられ、この方策を検討する必要がある。

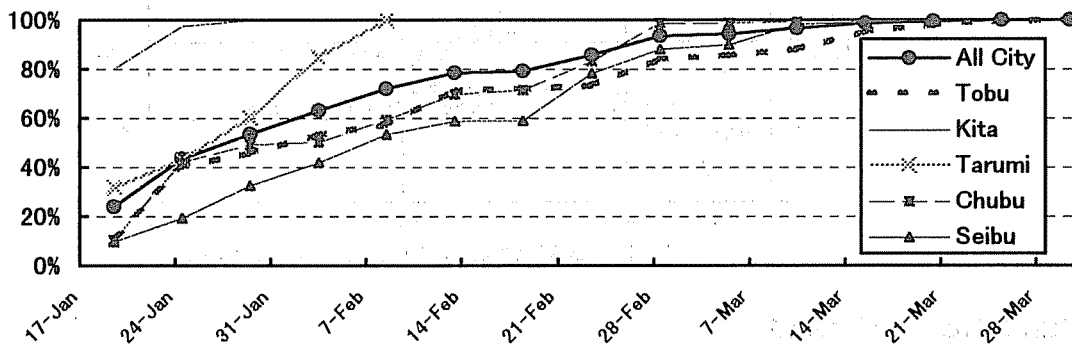


図-6. 全市および各地域の復旧状況

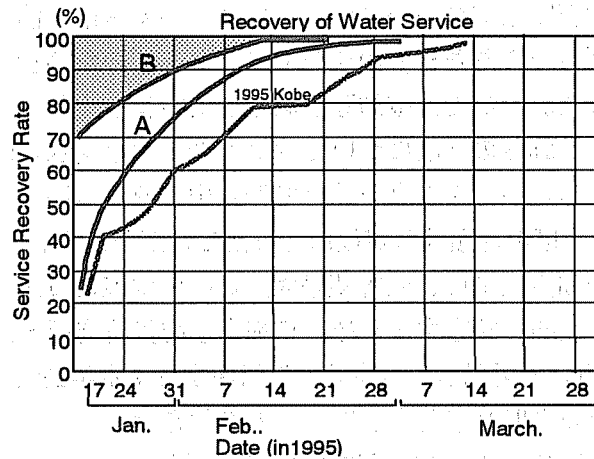


図-7. 理想的な復旧曲線

### (3) 復旧過程のモデル化——震災被害強度による評価

関西水道事業研究会では、望ましい復旧方法を検討するため、被害率や復旧速度などを原単位として復旧プロセスをモデル化し、耐震化と復旧応援の効果を検討した。このモデルを用いて、耐震化を進めて被害発生を押さえた場合、応援人数を増やして復旧速度を高めた場合などについてシミュレーションをおこなった。「復旧の質」を評価する指標として、(2)の復旧曲線に加えて給水レベルも加味して3次元とし、供給不足水量と復旧日数の積和を「震災被害強度(%・day)」と名付けて各復旧施策を評価した。結論としては、施設の耐震化を進めながら外部からの応援を復旧戦力として復旧するのが、震災被害強度が最も小さく、市民生活への影響を最小化できると考えられる。モデルそのものが簡易であるため、諸条件を十分考慮しているとは言い難いが、施設の耐震化も事業体間の相互応援も同程度に重要であることがあらためて示された。(図-8)

なお同研究会では、神戸水道の震災復旧にあたり水源水量の供給不足が復旧を制約したと考えられていることから、その水量の試算を行っている。その結果、用水供給事業から約11万m<sup>3</sup>/日多く供給されていれば、復旧の阻害要因とならなかったのではないかと考えられる。

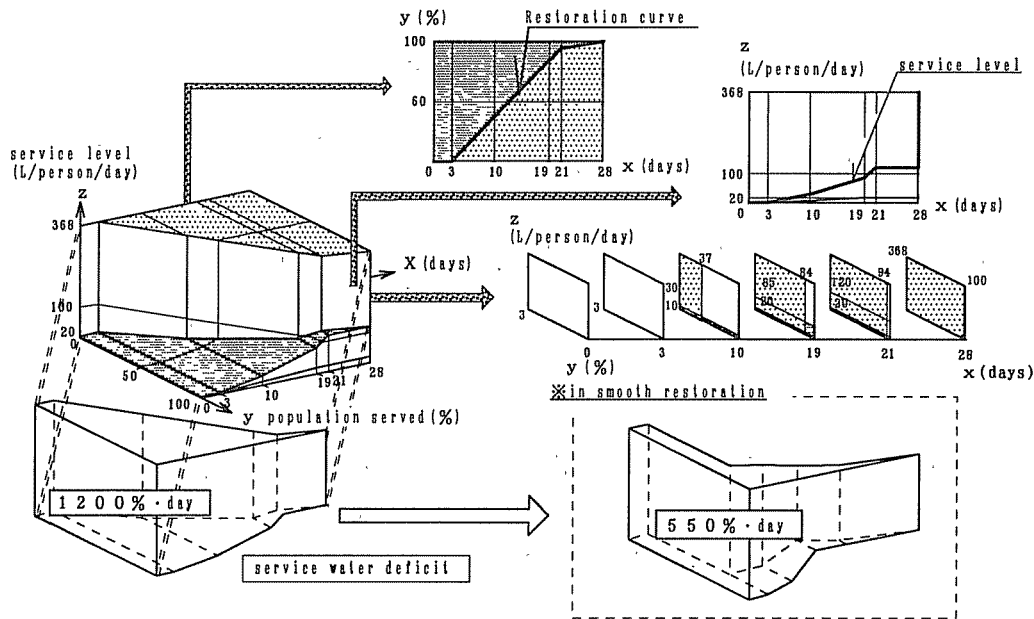


図-8. 震災被害強度による復旧方法の比較 (応援増強、応援+耐震化)

### (4) GISによる管路復旧の再現

神戸市東部の東灘低層配水池の配水区域を例に実際の復旧順序をGIS上で再現してみた。一般に復旧のプロセスには、①初期の混乱期、②幹線復旧期、③管網復旧期、④困難地区復旧期の4つがあることがわかる。復旧全体の工期短縮を図るには、各段階において特徴を分析し、それぞれ復旧短縮の方策を検討していく必要がある。例えば、初期においてはブロックを切り離すことによる被害の局所化、幹線復旧期では耐震化による事故率の減少、管網復旧期では別ルートからの早期通水、困難地区では仮配管実施の早期決断などにより工期短縮が可能ではないかと考えられる。今後、GISを用いて、さらに詳細に被災した配水管網の復旧手法を検討し、最適復旧戦略の立案に役立てていきたいと考えている。

#### 4. 復旧におけるライフラインの相互連関

##### (1) 水道を中心としたガス・下水等との連関

表-2 水道から見た他ライフラインとの相互連関

ライフライン	事象	水道に与えた影響	水道からの影響
電力	停電	送水停止、浄水停止、電話・FAX 使用不可	
電話	断線、輻輳	情報収集の遅れ、指示の不徹底	
ガス	復旧工事の遅れ		水の流入（水道復旧）
下水		汚染の危険（今回事例なし）	
中水			バックアップで機能回復
交通（道路）	道路閉鎖・交通渋滞	応急給水・復旧工事の遅れ	
交通（鉄道）	早期復旧	市民生活の正常化・応急給水量の増大	
ゴミ処理	焼却炉の停止		冷却水不足

##### (2) 神戸市水道を中心とした関係機関の相互連関図

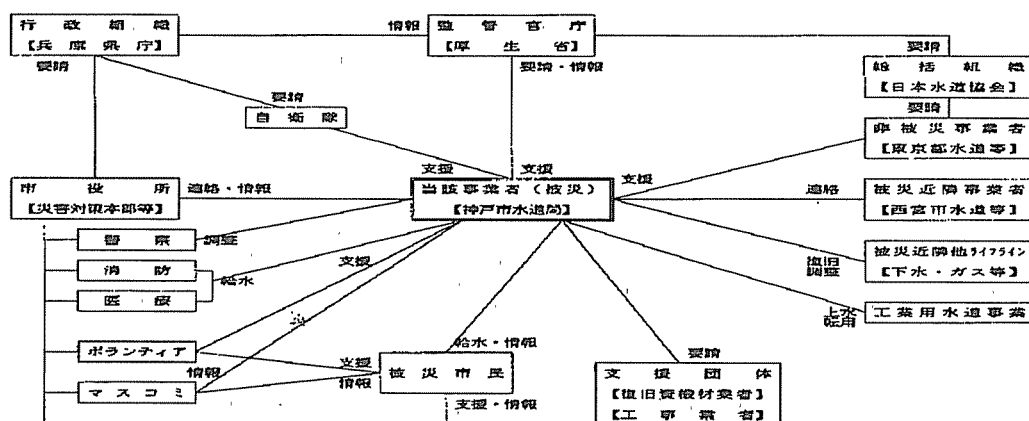


図-9 神戸市水道を中心とした関係機関との相互連関

##### (3) 結論

災害発生直後は、バッテリーなど自己防衛的・自己完結型のシステムである必要があるが、復旧期に入ると掘削時の工事調整などの協力関係が重要になってくる。道路は各ライフラインの共通の占有空間であり、全体の復旧に与える影響は非常に大きい。

#### 5. 震災時の水質管理

地震発生直後は市内各地で管路破損が多発し、漏水箇所からの汚染も心配されたため、空になった管路への試験通水にあたり、消毒の強化が図られた。具体的には、阪神水道および自己水源系の各浄水場出口では遊離残留塩素を通常の2倍である 1.5mg/l、比較的事故の少なかった県営水道の浄水場については 0.9mg/l にした。この結果、市内給水栓での残留塩素濃度は 0.5～1.3mg/l が検出され、冬場の低水温期でもあり十分な安全性は確保された。

さらに復旧が進むにつれて、水質試験の需要が増え、また市民からも飲用可否に関する問い合わせが多数寄せられた。このように業務量が激増して採水等にかかる時間等も増加したが、一方で交通渋滞にかかわらず NTT 回線でデータ送付が可能な自動水質監視装置の有効性が認識されるとともに、水質管理要員についても相互応援の必要性が感じられた。

アメリカなどでは、Boil Water Notice の発令や消毒剤の配布がなされた例もあるが、今回の震災では水道水の安全性に対する信頼確保の観点から、このような処置はとらなかった。

## 6. 市民の声の分析

震災復興の間、神戸市の水道対策本部では市民からの苦情を電話のメモの形で記録しており、その総数は約 2,300 件になる。市民の声の変化は、表-2 に要約されるが、その内容は市民の置かれた立場、すなわち給水が復旧しているか否か、によって大きく異なる。また、早期復旧に対する要望は、復旧していない人口で除した単位人口当たりの苦情件数でみると4週間経過後から強くなっている。

表-3 市民の声の変化

	第1週	第2週	第3/4週	第5週
キーワード	知りたい	いらだち	あせり、不安	怒り
内容	状況は？ いつ復旧するのか？	風呂に入りたい	給水が不十分	疲れた 水くみがつらい

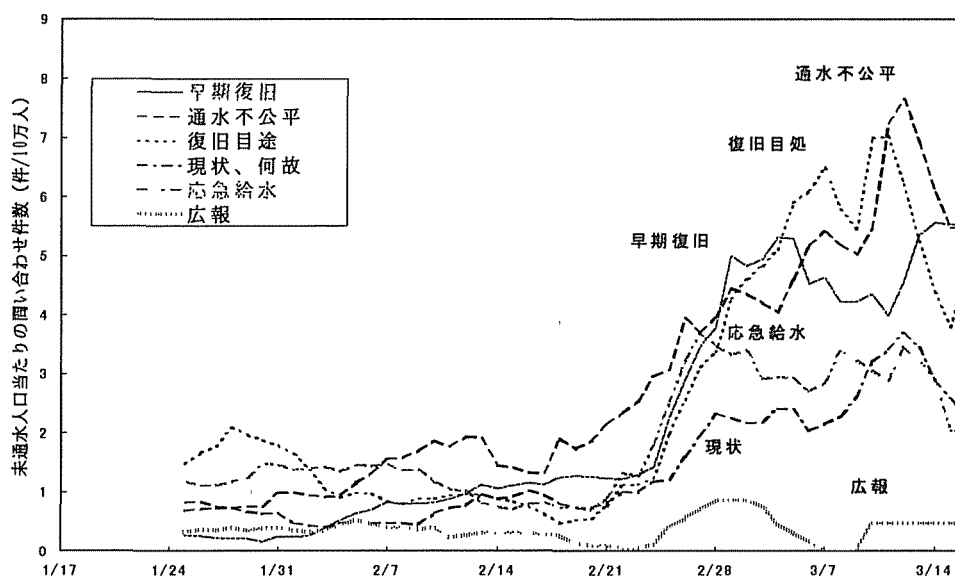


図-10. 未通水人口当たりの苦情件数の推移（7日間移動平均）

## 7. 震災の反省と教訓

### (1) 有効だった震災施策

神戸市では1985年から震災対策を始めたが、これらが1995年の阪神・淡路大震災で評価されることになった。おもな施策に対する評価を例示すると、ダクタイル管への布設替えは、地盤変位の大きいところで継ぎ手離脱が生じたことから部分的に有効であった。テレメータ/テレコントロール（遠隔監視制御システム）は、特に初期段階での配水池への水量配分に有効であった。塩素滅菌システムの次亜塩素酸ソーダへの変換は1991年に完了したため塩素ガスの漏洩といった事故は生じなかった。緊急遮断弁システムはうまく作動し、42,000m<sup>3</sup>の水を貯えることができた。これは、150万人市民の3リットル9.3日分の給水量に相当する。

### (2) 阪神淡路大震災から得られた教訓

神戸市水道が阪神淡路大震災を経験し、後世に伝えたい教訓は数多く、整理して今後の参考として活かしていく必要がある。それらを分類すると、a. 予期していなかった事項、b. 想

定地震の震度が低かったこと、c.対応のまずさによるもの、の大きく3つに分けられる。それぞれの教訓を列挙すると、

a. 予期していなかった事項

- ・ 交通渋滞が応急給水と復旧作業の支障になった
- ・ 本庁や他事務所の損壊により情報途絶状態になった

b. 想定地震の震度が低かったこと

- ・ 想定を上回る管路被害が生じた
- ・ 耐震管路の使用範囲が限定されていたこと
- ・ 水源からの供給水量が不十分であったこと
- ・ 家屋倒壊と道路閉鎖により、修繕現場に近づくことが、困難であったこと

c. 対応のまずさによるもの

- ・ 他都市からの相互応援について十分な検討をしていなかったこと
- ・ 緊急時の組織と広報活動が十分でなかったこと

## 8. 神戸市の耐震化計画

### (1) 計画目標の設定と施策体系

神戸市では、1995年3月に神戸市水道復興計画検討委員会を設立し、水道施設耐震化を含めて水道の復興指針を定め、これに基づいて水道施設耐震化基本計画を策定した。その計画目標および施設耐震化の施策は、先に述べた震災の教訓と反省に基づいたものになっており、その体系を図-11に示す。

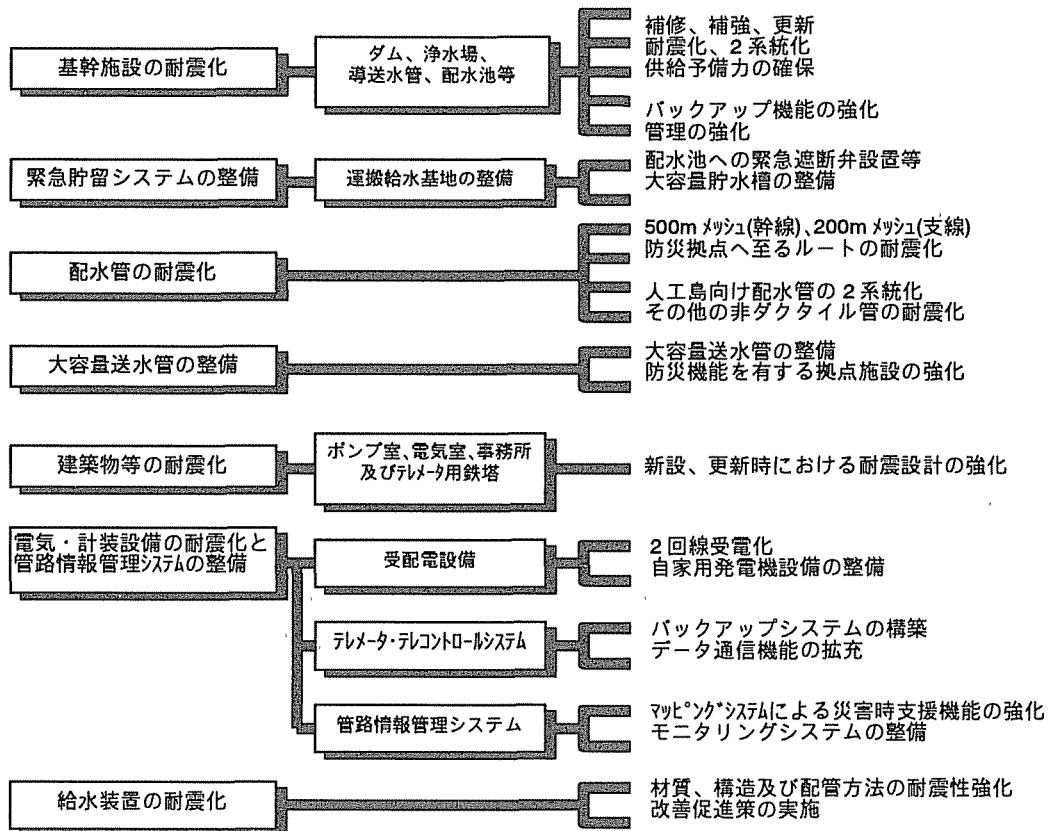


図-11. 水道施設耐震化の体系

## (2) 主要なプロジェクト

図の体系に示した施策のうち、緊急貯留システムの整備、配水管の耐震化、大容量送水管の3つが基本計画の主要プロジェクトになっている。

### a. 緊急貯留システムの整備

災害発生時に当面3日分の飲料水を緊急に確保することを目的とし、全市街地が拠点配水池を中心に半径2kmの円で覆われるようにするもので、以前から進めていた緊急遮断弁システムに耐震貯水槽を加え、さらに充実したシステムにするものである。

### b. 配水管の耐震化

管路被害を最小化し、早期の復旧ができるようにするとともに、復旧期における市民の生活用水に対する需要増大に対応するため、消火栓を利用した路上での応急給水を早急に実施できるようにすることも考慮している。

### c. 大容量送水管

神戸市は大部分の水源を市外からの送水に頼っており、送水トンネルの役割はきわめて大きい。このため被災の危険分散を配慮したルートに、新しい送水管を設置することで安全性を高めるとともに緊急時の貯留や市街地での応急給水に役立てようとするものである。

## (3) 経年化と全体システムの見直し

これまでの6回に及ぶ区域拡張は、水源の手当てと配水管網の延長により実施されてきた。この結果、全体としてみた場合、経年化により施設の更新を必要とするものや安定給水のうえでバランスを欠いているような部分も目につくようになった。また震災当時、給水区域はほぼ全市をカバーしていたため、震災からの復興計画策定にあたっては、改めて全体システムをながめ、均整のとれたものにするべく見直しする必要があった。また耐震化工事を行う場合にも、経年化施設の更新に合わせて、機能の向上なども同時に考慮するなど、複数目的を達成できるように計画していく必要であり、投資効果を最大にできるように考慮することになっている。

一つの例として管路の更新状況を図-12に示す。管路延長は増え続けているが、同時に経年管の材質は更新され、結果として耐震化が進んでいることがわかる。

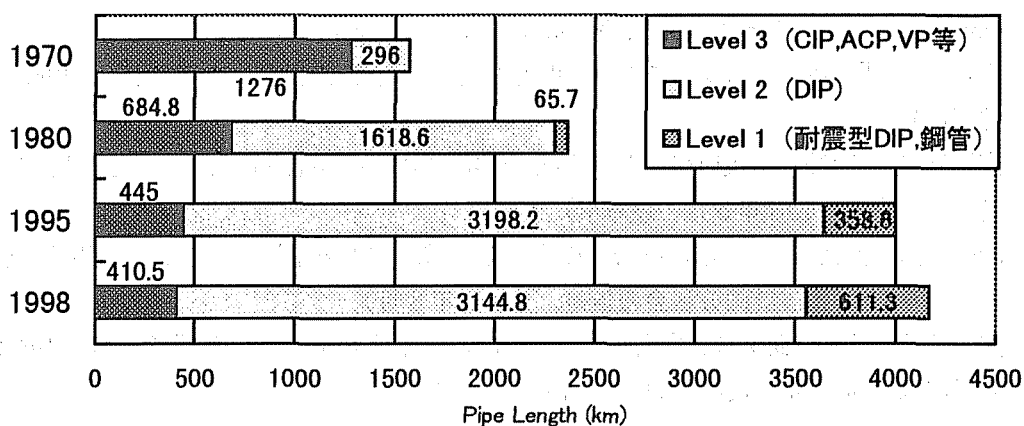


図-12 神戸市における配水管材質別延長の推移

## 9. おわりに

阪神淡路大震災からの水道の復旧・復興をテーマに、幾分、分析的視点からとらえてみたが、これを「衛生工学の果たした役割」に直接結びつけることはできない。なぜなら、現象を分析し、発生原因を突き止めたうえで解決策を提示するというのは、ごく一般的な手法と言えるからである。しかし、水道という重要なライフラインシステムを維持・発展させるための学問分野として衛生工学が存在し、水道の震災復旧に多くの研究が進められていることも事実であり、何らかの形で震災復興に「大きな役割を果たした」と断言できると確信している。また、水質管理に関しては水系伝染病の発生もなく無事に乗り切ることができたが、いくつかの課題が残されたものの、まさに衛生工学が大きな役割を果たした分野といえよう。

別のアプローチとして、もう少し広い観点から、断水など水道の供給停止を経済の側面から評価することが求められている。阪神大震災の直接被害額は、約 10～13 兆円と言われているが、水道施設の直接被害、料金や事業への間接被害、さらに社会経済に及ぼした二次被害額がどの程度になるか興味深いところであり、このような分野も研究されることにより投資効果が正当に評価されるようになることを期待している。

さらに最悪のシナリオとして、真夏の日中に巨大地震が発生した場合、飲料水の確保や汚染対策、下水・廃棄物の処理はどのようになるのか？想像するだけでも恐ろしくなるが、一度は冷静にシミュレーションしてみる必要があるだろう。

最後になるが、水道システムそのものも、かつての「安全な飲料水の供給」だけでなく、防災も含めた「都市の安全を支える基礎インフラ」として存在意義や使命が多様化してきている。今回経験した阪神淡路大震災の復興を例に出すまでもなく、衛生工学が対象とするシステムとその役割自体が時代とともに変容している。このような状況に対応しながら、今後とも社会基盤施設を支える基礎的な学問分野として、衛生工学が引き続き発展し続けることを期待するものである。

### <参考文献>

1. 松下 眞、「神戸水道システムと1995年阪神淡路大震災」(世界震災都市会議、平成10年6月、福井市)
2. 松下 眞、「Earthquake Lessons and Reformation of Kobe Water System」,(US/Japan workshop on Lifeline Systems, December, 1997, Newport Beach CA, USA)
3. 小倉 晋、「神戸市水道システムの復旧と復興」(水道管路国際シンポジウム、平成9年11月、神戸市)
4. 高橋昇二、「阪神大震災直後における配水管網内水圧の再現例」(第47回全国水道研究発表会講演概要集、平成8年5月、岐阜市)
5. 関西水道事業研究会、「市民の視点に立った水道地震被害予測および災害時用連絡管整備に関する一考察」(耐震計画分科会報告書、平成8年3月)
6. 関西ライフライン研究会、「阪神大震災に学ぶ」(平成8年度WG活動報告書、平成9年6月)
7. 神戸市水道局、「水道復旧の記録」(平成8年2月)