

ライフライン—水—と阪神淡路大震災

眞柄 泰基, 伊藤 雅喜, 宮野 知生, 牛窪 俊之

1. はじめに

水道の普及率は95%を越え、安全良質の水道水を国民が広く利用できるようになってきている。水道の普及により井戸など伝統的な水利施設はなくなり、日常の家庭生活を含め総ての社会活動は水道に依存するようになってきている。そのため、伝統的な水利施設が共存していた時代に比べて、消化器系感染症の発生率は激減し、水道の公衆衛生の保持に果たす役割も大きなものとなっている。高普及率を達成した水道の責務を果たすために、厚生省では平成3年に「21世紀に向けた水道整備の長期目標」を定め、全ての国民が利用可能な水道、安全性の高い水道、安全な水道を具体的な長期目標として種々施策を講じてきている。すなわち、経年管や老朽施設の更新、水道水質基準の改正や水道水源の保全に係る法律の制定などである。

このような長期的な目標をかかげながらライフラインとしての水道施設の機能向上を果たしつつあるとき、平成7年1月17日阪神地区で発生した阪神・淡路大震災は水道施設に多大の被害を発生させた。これまで経験したことがないような激震であったため、被害の規模ばかりでなく、都市のライフラインとしての水道の重要性を改めて認識させるものであった。そこで、地震発生に伴い水道施設が被害を受けた後、水道施設の復旧までの間の飲料水及び生活用水の応急給水に関すること、水道施設の被害状況とその復旧方法に関すること等について調査を行い、今後の水道施設の在り方を検討することとした。

2. 調査対象地域および調査方法

阪神・淡路大地震震災地区は広範囲にわたるため、その中より被害水道給水人口が多い神戸市、西宮市及

び芦屋市を調査対象として選定した。また、これら3市へ用水供給を行っている阪神水道企業団を調査対象とした。

神戸市水道局は給水人口約1,500,000人で一日計画給水量は1,108,000m³である。西宮市は給水人口約425,000人で一日計画給水量は168,500m³である。芦屋市は給水人口約87,000人で一日計画給水量は31,000m³である。各市とも自己水源と浄水場を有しているが給水量の大半は阪神水道企業団より受水している。阪神水道企業団は淀川を水源とする猪名川浄水場、尼崎浄水場及び甲山浄水場を有し、その計画浄水量は1,050,000m³である。

地震発生により水道施設に被害が発生し、被災地区に対して飲料水など必要な水を供給する体制が整えられた。阪神・淡路大震災では、その被害が激しく広域的であったため、被災市町村のみでは対応が困難であった。兵庫県は災害救助法に基づく知事の応急給水権限を市町長に委任しているが、広域的な対応が必要なものは知事に権限を戻して対応した。また、厚生省は被災地に於て直接・間接的に企画調整を行った。全国の水道・水道用水供給事業者および日本水道協会の協力を得て、これらの水道事業者からの応急給水並びに復旧事業の推進にあたった。なお、神戸市では政令12都市と災害相互援助協定を締結しており、これに基づいて関係都市に援助を要請している。

調査は上記事業者における被害状況に関する現場調査を実施するとともに、被害経過後に伴う応急給水に関する記録を関係市及び兵庫県庁より収集した。また、水道施設の被害及びその復旧についての記録は、復旧支援に参加した水道事業者より収集した作業記録を中心に解析した。

3. 結果及び解析

3-1. 緊急給水に関する調査

応急給水は震災後から3月22日まで約2月間にわたって実施され、その実施状況は図1-2に示すようである。すなわち、緊急給水のため全国44都道府県、587水道事業体より給水車757台が被災地区に派遣された。水道事業体の他自衛隊より給水車が270台、給水用船舶11隻が派遣され、また、海上保安庁、建設省地方建設局、米軍を含むその他の団体より給水車が派遣された。給水車による給水業務の他ボトル水50万本、給水用ポリ袋21万枚及び給水用ポリタンク30万本が給水地区に配布された。このように水を供給することに精通している水道事業体の職員が中心となって応急給水が実施された。この他、病院用緊急給水のためバイクを利用した給水など一般給水とは別に特別な要請に基づいて給

水も行われた。

緊急給水従事者は給水地点の把握と地理が不案内なため、給水作業に習熟するまでの間効率が低かった。また、地方自治体によっては水道関係の連絡車輛や応急給水車が緊急車輛として認めていない所もあり、一般車と同じ扱いを受けたため交通規制の優先順位が低く、緊急時に機動的に運用出来ず給水効率が低いことも問題である。このことは給水車への燃料補給が一般車と同じ扱いになったため給油待ち時間が給水作業の制約となったことと関係している。

給水タンク車への給水作業及び給水車からの分水作業のために必要なポンプ車が十分配置されていなかったことも給水効率が低かった理由に挙げられる。給水車から供給する水や給水容器にためられた水の衛生的な安全性を確認するため、残留塩素濃度を使用として管理することとしていた。しかし、被災地域で配布されたポリ容器を含めて日光の紫外線を遮蔽する能力が低い白色のポリ容器が多いため、ポリ容器内での残留塩素の消費速度が速いという問題が生じた。

地震発生直後から緊急給水作業が行われたが、地震発生直後には所要の水を避難所の所在が不明であることなどから十分な体制と給水が行えなかったという問題はある。しかしながら、地震発生翌日から必要最低限の給水は行われたが、その際には地域住民の給水車の誘導などの協力があつたことも大きな働きをしている。このように飲料水の確保をすることが出来たが、震災発生後数日を経るにつれてトイレ用水等生活用水の要求が高まり、一人当たりの給水量も20~30lが必要になってきた。道路事情も改善されてきたので、給水拠点まで水道水を輸送することが出来たが、高齢者や高層住宅の市民では水量が多い生活用水を運搬するには大変な困難が見られた。今後は、震災直後の飲料水確保の問題と暫く経過したときの生活用水の供給をどのように行うかが大きな課題として残されることとなった。なお、今回の地震が冬季に発生したため、水が原因の感染症の発生は無かったが、夏期のようなハイリスクな条件下での水の安全性保持をどのように行うかも今後の課題として残されている。

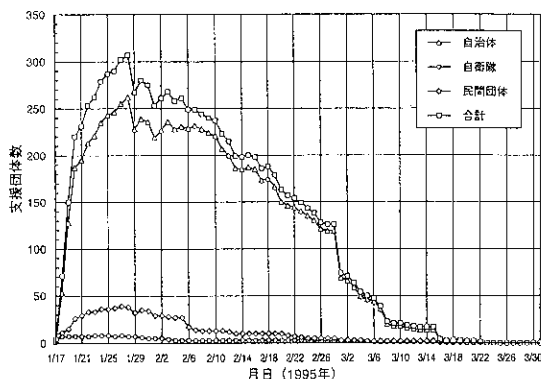


図1 支援団体数の状況

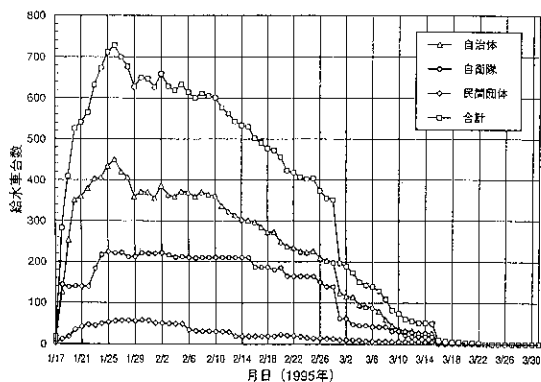


図2 給水車台数の状況

3-2. 浄水場など水道施設構造物の被害状況に関する調査

浄水場など水道施設構造物の被害状況は表1に示すようである。

浄水場など水道施設構造物設置箇所の斜面地滑りにより、基礎部が崩落流出した被害が発生した。また、斜面の側方移動による地盤変位によると思われる貯水池堰堤及び遮水壁の崩落と取水塔橋脚の破損事故が発

生じた。

池状コンクリート構造物が地震動による不動沈下や変位により底版、壁にクラックが生じたり、伸縮目地の開裂による被害が多発生した。伸縮目地の開裂によりグレーチングがはずれ水渠が落下した被害もあった。伸縮目地の開裂が地震による被害の代表的な被害であり、池からの漏水によりポンプ等電動機の被害も二次的に発生した。また、配水池底版の亀裂事故も発

表1 浄水場水道施設の被害状況

施設名	被害	被害の原因	
貯水・取水施設	土堰堤の崩壊 堰堤遮水壁(リップラップ)の崩壊 取水口閉塞	基礎地盤の液状化 支持力の低下 地盤変状による剝離滑り 風化花崗岩の崩落	築堤の強度低下 堤体の浸潤線の上昇 接着力の不足 地震動による剝離
浄水施設			
フロック形成池	流入渠のせり出しによる漏水 伸縮目地の伸縮量不足	構造物の変位	構造的固有周期の相違
薬品沈澱池	排泥弁室の漏水 集泥設備の水没 伸縮目地の損傷 傾斜管・傾斜板の損傷、落下	隣接配管等からの漏水 隣接配管等からの漏水 構造物の変位 地震時慣性力・動水圧が非常に大 地震時動水圧と浮上落下	構造物と管の定着不足 伸縮可撓管の設置不備
急速濾過池	流出渠壁に亀裂発生 洗浄排水管の損傷 表洗管の破損	構造物の変位 伸縮可撓管の設備不備 伸縮可撓管の設置不備	躯体の断面・鉄筋の不足
緩速濾過池	下部集水装置の破損による濾材の流出、クレータ現象 伸縮目地の損傷	経年劣化による強度不足 構造物の変位	
排水処理設備	脱水機の支柱に亀裂発生 法面崩落に伴う建屋使用不能	荷重強度不足 地盤による斜面地滑り	
その他の設備	ポンプ室の壁に亀裂発生 場内配管の沈下、蛇行、漏水 薬品貯留槽の破損 電機計装設備の電線破断 無線鉄塔のズレ	構造物の変位 斜面の側方移動 支持金物等の損傷破損 支持金物等の損傷破損 構造物の変位	伸縮可撓管、耐震管の不使用
管理棟	柱・梁等に亀裂発生 クレーン支柱に亀裂発生	構造物の変位 荷重強度不足	RC柱の斜材(プレス)の不足
ポンプ場	柱・梁等に亀裂発生 場内配管からの漏水 クレーン支柱に亀裂発生	構造物の変位 構造物の変位 荷重強度不足	伸縮可撓管、耐震管の不使用
配水池	池内伸縮目地部で縦亀裂発生 接合部取付部の離脱、水流出 底版に亀裂発生 隔壁崩壊	構造物の変位 構造物の変位 構造物の変位 構造物の変位	伸縮可撓管、耐震管の不使用

生した。

浄水場内の各種配管では、コンクリート構造物と配管埋設部の地盤変位が異なることから、それらの取り付け部でのコンクリート部の破損や管の離脱による被害が発生している。また、管路部での管の継ぎ手の離脱、破損による被害が発生している。

浄水場管理棟、ポンプ室等構造物の被害は、その建設されている場所の地質、切り土・盛り土や地盤改良等の差異や基礎工事の程度の差異によって被害の発生程度が異なっている。なお、浄水場建物の被害は池構造物ほど激しくないが、伸縮部の開裂、梁や柱に坐屈や壁クラックが発生している。また、建物の屋上に濾過地洗浄用水槽を設置している所では洗浄水槽の支柱に構造上問題となる亀裂が発生している例もある。

浄水場付属設備では、フロッキュレーターの軸偏心被害が発生したが、これはフロッキュレーターの支柱が伸縮継ぎ手の開裂により変位したためである。沈澱池内の傾斜管や傾斜版の落下・脱落が各所にみられた。これは地震動によるスロッシング現象により生じたものと考えられる。薬品注入設備配管の破損が発生したが、これはラックの落下、コンクリート構造物の出口取り付け部や指示金具の破損によって生じたものである。また、薬品貯槽のアンカーボルト定着部の破損に

より槽体に亀裂が発生した被害も発生している。

電気計装設備では、計装用テレメーターが異常値を呈するようになり自動運転に復帰できないソフト上の問題が発生した。また、無線用アンテナが変位し、無線交信が不可能になる被害が発生した。浄水場など構造物には上記のような被害が多発したが、耐震性を考慮して近年設計建設された施設の被害は非常に少ない。

3-3. 水道管路の被害状況調査

水道管路の被害が最も激しかった。水道管路は水道原水を浄水場迄輸送する導水路、浄水場より配水池および給水区域へ輸送する送・配水管と需要者へ供給する給水管から構成されている。

給水管については給水管取り付け部及び給水管の宅内給水管の被害が激しく、給水管路の復旧工事が継続して行われており、その被害状況を平成6年度内に把握することは困難である。例えば世帯数650,000の神戸市では宅地内漏水が約50000箇所がこれまで確認されており、また芦屋市では給水管への分水サドルが40-50 cm 移動し、すべての給水管が脱落している地区があることが確認されており、地震の被害が激しかった地域では殆どの給水管路の被害が発生しているものと推

表2 神戸市水道局における管路被害

口径 (mm)	配水管延長 (m)	被害箇所数 (箇所)	被害率 (箇所/km)	被害様態別箇所数		
				管体破損	継手離脱	付具破損
50	63,143	15	0.24	7	8	0
75	165,051	48	0.29	9	32	7
100	790,329	289	0.37	68	177	44
150	1,455,137	524	0.36	122	347	65
200	744,689	221	0.30	52	149	20
250	39,706	106	0.25	4	6	0
300	386,606	188	0.49	27	134	27
350	18,195	5	0.27	0	4	1
400	79,700	38	0.48	7	21	10
450	3,082	—	0	—	—	—
500	88,450	28	0.32	3	8	17
550	45,244	15	0.33	1	3	11
700	46,857	29	0.62	1	6	22
800	10,284	9	0.88	1	7	1
900	26,131	19	0.73	1	6	12
1,000	498	1	2.01	0	0	1
計	3,963,062	1,439	平均 0.36	293	908	238

定される。また、受水槽を設置している高層住宅や事務所ビルでも受水槽の取り付け、取り出し管が伸縮可とう管でないため、破損し緊急時に期待されている貯水槽としての機能を満たすことが出来ない例が非常に多かった。

導水路については、神崎川の左右両岸に1kmにわたり ϕ 1200mm鉄筋コンクリート管(HP)が井桁基礎の上に敷設されていたが、23箇所継ぎ手部の抜け等による被害が発生した。なお、河川伏せ越し部は銅管(SP)には被害が発生していない、同種(HP)管路の他の部分(約6km)については被害が発生していない。奥山川上流部から取水している導水管路は土砂崩落により被害を受けた。

調査対象地区での送配水管路の被害は、表2に示す神戸市の被害状況の例を見るまでもなく非常に大きい。

阪神水道企業団体送配水路延長約133kmのうち約120箇所被害が発生した。被害は鑄鉄管(CIP)の鉛印籠継ぎ手の抜けによる被害が多いが、ダクタイル鑄鉄管(DCIP)のメカニカル継ぎ手の抜けによる被害もある。被害の発生箇所は活断層付近、軟弱地盤と考えられる旧海岸線および旧河川敷き部や河川と平行する道路部に埋設された管路部で被害が集中的に発生した。

神戸市では被害面積が大きいので、復旧工事の記録伝票が比較的集約されている中央区と兵庫区を管轄する神戸市水道局中部センターの配水管への被害を調査した。なお、神戸市水道局は約4300km(ϕ 50mm以上)の管路延長を有し、全体では約10000箇所地上漏水が確認され、配水管の被害は約1500箇所と推定されている。調査地域での被害は鑄鉄管(CIP)の鉛印籠継ぎ手の抜けによる被害が多いが、ダクタイル鑄鉄管(DCIP)のメカニカル継ぎ手の抜けによる被害もある。被害は旧海岸線付近の付近の埋め立て地、これらの埋め立て地と沖積層の境界付近、旧河川敷き付近及び活断層近傍の被害が多い。ポートアイランド地区の北部はメカニカル継ぎ手(K型)のDCIP、南部は耐震継ぎ手(S型)のDCIPがそれぞれ敷設されていた。北部ではメカニカル継ぎ手の抜けによる被害が多く発生したが、南部では継ぎ手の抜けによる被害は全く発生していない。但し、南部でもメカニカル継ぎ手を採用している

バルブ等異形管の継ぎ手部の緩み等の被害は発生している。また、埋め立て地以外の地域でも耐震継ぎ手(S型)のDCIP管路があり、その近接する他の管種の管路で被害が発生したが、そこでは被害が発生していない。また、管体の離脱のほか、管体の割れ、バルブなど付属具の破損も多発している。ポートアイランド及び六甲アイランドへの配水管(鋼管)がそれぞれ橋に添架されているが、いずれも橋脚の振動振幅により管路の坐屈破壊や落橋被害が発生した。

西宮市は約850km(ϕ 75mm以上)の配水管路延長を有し、約2000箇所被害が発生した。本調査では復旧工事記録が入手できる範囲での調査であるため、西宮市全域での被害調査は今後継続して行うこととしている。西宮市でも鑄鉄管(CIP)の鉛印籠継ぎ手の抜けによる被害が多く、ダクタイル鑄鉄管(DCIP)のメカニカル継ぎ手の抜けによる被害もある。さらに、西宮市では小口径の配水管に塩化ビニール管(VP)が敷設されており、継ぎ手部の抜け及び折損による被害が多発している。被害は甲陽断層付近、夙川及びニテコ貯水池付近の宅地造成地、大阪層群と沖積層との境界付近、旧海岸線付近と武庫川右岸地区での被害発生が特に多い。鳴尾浜や芦屋浜の埋め立て地では耐震継ぎ手(S型)のDCIPおよび異形管管路であるため被害は発生していない。この地区は液状化現象も認められたが被害は発生していないこの種の管路の耐震性が認められた。

芦屋市は約190kmの配水管路延長を有し、約1000箇所被害が発生したが、 ϕ 75mm以上の配水管で記録があるのは約240箇所である。芦屋市ではCIPおよびDCIPが管路延長の約90%を占め、被害はいずれの管種でも継ぎ手部の抜けによる被害が多発している。大阪層群に敷設されている管路でも甲陽断層付近では特に多くの被害を受けている。また、旧海岸線付近と沖積層の一部、芦屋川沿い地区や土地造成地区では被害が多発している。芦屋浜の埋め立て地では耐震継ぎ手(S型)のDCIPおよび異形管管路であるため被害は発生していない。なお、橋梁に添架された鋼管が坐屈破壊の被害が発生している。

管路総延長あたりの被害の発件数を調査対象区域と過去に発生した地震でのそれを比較すると表3のようである。すなわち、対象地域では0.363~1.484件/

表3 地震による管路延長当たり被害件数

地震名	発生率	km 当たり発生件数	備考
兵庫県南部	1995(H.7)	0.676件/km	(西宮市のみ)
"	"	1.484 "	(芦屋市のみ)
"	"	0.722 "	(阪神水のみ)
"	"	0.363 "	(神戸市のみ)
三陸はるか没	1994(H.6)	0.068 "	(八戸市のみ)
北海道東方沖	1994(H.6)	0.42 "	(根室市のみ)
釧路沖	1993(H.5)	0.039 "	(釧路市のみ)
宮城県沖	1978(S.53)	0.22 "	(3市平均)
浦河沖	1982(S.57)	0.598 "	
日本海中部	1983(S.58)	0.646 "	
千葉県東方沖	1988(S.63)	0.082 "	

表4 各都市の管種別 km 当たり被害件数

	阪神水	西宮市	芦屋市	平均
DIP	0.242	0.267	1.278	0.375
CIP	2.081	0.977	0.758	1.054
SP	0.042	—	—	0.042
ACP	0.100	3.529	—	2.259
VP	—	0.825	1.913	0.966
HP	0.767	—	—	0.767

km と大きく、被害のいかに大きかったかを示している。また、表4に示すように、管種別に見ると、特にアスベスト管、ビニル管や鑄鉄管での被害が大きい。これらの管種は経年管であることが多く、従来より強度が弱い管種更新の対象とされてきたものである。

管路の被害は甚大であり、そのため、全国42都道府県の112水道事業体と水道指定工事店、水道建設業者等37団体、延べ6208人の技術者復旧工事に応急復旧工事にあたり、3月31日に全ての被災地区に水道が再び給水されるようになった。

応急復旧は、当初、地上漏水が発見され、対症療法的に修理を実施していたが、水圧の低下、断水等が各所で起こり、抜本的に上流側から幹線路を中心に復旧する方針に替え、配水支管のバルブを閉止することとした。このため、通水区域でも断水を実施した際に苦情は発生したが止むをえないことであった。幹線路の完全復旧とともに、配水支管に充水し、逐次区域給水を拡充していく方針で実施した。

幹線路でも、神戸市におけるφ900mm曲管に離脱は、交通障害、重機の取り替え等があり時間を要した。

また、六甲アイランド、ポートアイランドへの橋梁添架管の破損により人工島への補給は応急給水しつつ、2条の配管の一方が早急に修理され、島内の充水、水圧試験により通水が開始した。島内は、主として耐震管路を形成しており、被害は殆どなく通水を早めることができた。

しかしながら、他の地域は阪神水道企業団からの受水に依存しているため、阪神水道企業団の復旧状況に左右されることになった。また、当期間は、濁水状況にあり、神戸市ではすでに自己水源の貯水量の減少で取水制限を実施している期間であった。幹線路の復旧に当たり、管路の充水すら十分に行えない状況にもあった。阪神水道企業団から通水されるようになると復旧作業が進歩した。

神戸市では、配水支管でも避難場所への通水復旧を早めた。各市でも倒壊家屋下の復旧は不能として、仕切弁を入れて回流する方法をとった。配水支管が通水すると、消火栓から応急給水栓をセットし、地域の給水を開始し、応急給水は逐次減少した。また、各戸給水は、1戸1栓の給水スタンドを立て、逐次給水率を向上させた。

4. おわりに

阪神・淡路大震災は多くの尊い人命を、また、人々が築き上げてきた生活や街並みを、一瞬のうちに奪い去った。水道についても多くの被害を受けその被害総額は約700億円にもものぼるとされている。

常日頃何気なく使っている水道が突然使えなくなった不安さ、また、水を得られることの安心感、水を供給することの重要さが改めて認識された。阪神・淡路大震災クラスの強度の地震が発生する可能性は否定できないものであり、水道の社会基盤としての役割を今後とも果していくためには、水道施設そのものの耐震化を図るとともに、万一、地震が発生したとしても、速やかに必要量の水を供給したり、その被害から出来るだけ早く復旧出来るようなソフト面からの耐震化対策を図らなければならない。

今後ともこのような観点からの、調査研究が推進されることを願ってやまない。

なお、本論文は科学技術庁研究振興調整費「阪神・淡路大震災被害に関する緊急研究、土木的構造物・建

築物被害等に関する調査研究、ライフライン被害に関する調査研究」で得られた成果の一部である。また、本研究の推進にあたり資料の提供、収集整理に協力下さった神戸市、芦屋市、西宮市、阪神水道企業団、(株)日本水道協会、(財)水道管理技術センターの各位に感謝申し上げます。