

1995年兵庫県南部地震による配水管の被害分析

山本明弘¹・久保哲也²・野田 茂³

¹学生員 鳥取大学大学院社会開発システム工学専攻 (〒680 鳥取県鳥取市湖山町南 4-101)

²正会員 建部建設事務所工務第1課1係 (〒701-31 岡山県御津郡建部町福渡 839-2)

³正会員 鳥取大学助教授 工学部社会開発システム工学科 (〒680 鳥取県鳥取市湖山町南 4-101)

1995年兵庫県南部地震による配水管の被害状況に着目し、その被害と復旧に関する分析を行った。対象とした都市は神戸市、芦屋市、西宮市、宝塚市、尼崎市、大阪市、伊丹市、明石市、川西市、豊中市、池田市である。まず、管種や口径などの違いによる各市の被害件数あるいは被害率の相違を調べ、地域特性を分析した。次に、GISを用いて配水管の各種属性データと被害箇所を地図上に入力し、この被害箇所図を地形地質図や地盤変状図などと比較し、配水管の被害分布の特性を調べた。さらに、西宮市については被害状況とともに復旧状況の分析も行った。

Key Words: water pipe, damage rate, Geographical Information System, restoration strategy

1. まえがき

1995年兵庫県南部地震により、ライフラインは壊滅的な被害を受け、その重要性が改めて認識された。特に水道管の被害は大規模であった。このため、水道施設の復旧は長期化し、被災者に多大な悪影響を及ぼした。そこで、本研究では、配水管の被害状況に着目し、その被害分析を行い、耐震化を進める上での基礎資料を得る。さらに、西宮市の水道システムに注目して、被害と復旧に関する詳細な資料を入手するとともに、これらデータの時空間分析を行うことにより、相互連関を考慮した復旧戦略の考え方を示す。なお、水道管の被害要因についてはこれまでも種々の観点から調査分析が実施されてきている(例えば文献1)と2)。

2. 被害分析の手順

(1) 配水管の被害分析

配水管被害の要因分析のため、マクロな分析をした上で、地図上でのミクロな分析を行う。このため、11市の配水管の被害データを収集した。11市とは、神戸市、芦屋市、西宮市、宝塚市、尼崎市、大阪市、伊丹市、豊中市、池田市、川西市、明石市である。まず、管種や口径などの違いによる各市の被害件数あるいは被害率について検討する。次に、被害の大きかった5市(神戸市、芦屋市、西宮市、宝塚市、尼崎市)と大阪市については、GISを用いて配水管の各種属性デー

タと被害箇所を地図上に入力する。この被害箇所図を、活断層図、地震動分布図、地形地質図や地盤変状図などと比較し、配水管の被害分布の特性を調べる。

(2) 復旧状況の日別データの整理

取水から給水に至る水道システムの通水状況を日別に整理・分析する。具体的には、配水管の被害と復旧に伴う各浄水場における配水量の変化、取水量と配水量の関係、被害率と通水率の関係や給水管の復旧状況などを考えた。西宮市の水道機能は水系別にブロック分割されている。そこで、各ブロックへの復旧人員の配分、他府県からの応援人員と民間企業の作業班などの復旧体制、復旧作業と並行して行われた被災者への給水活動などの支援状況について、相互に関連づけた分析をする。

(3) GISによる時空間分析

GISを用いて、時々刻々と変化する配水管の被害復旧状況や属性データおよび被害箇所などを地図上に入力する。さらに、配水状況をブロック化し、復旧過程や通水区域の推移を分析する。これらの情報を時空間的に分析し、被害と復旧過程の相互連関を考慮した復旧戦略について調べる。

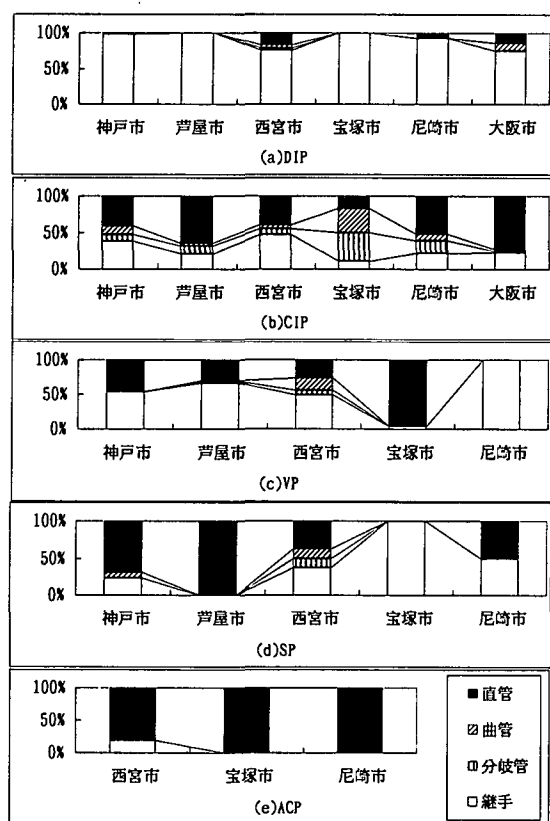


図-1 管種別に見た被害部位の割合

3.配水管の被害状況

(1)地域特性の分析

6市(芦屋市、西宮市、神戸市、宝塚市、尼崎市、大阪市)について、管種別に見た被害部位の割合を図-1に示す。

DIPにおいては、 $\phi 100$ 以上の管において口径が小さいほど、被害率が大きかった。被害の大多数(96%)は一般継手(A、K、T型)の抜けによるものである。耐震継手(S、SⅡ型)の被害はなかった。図-1(a)に示すように、西宮市や大阪市ではDIPの継手以外でも被害が発生している。

CIPでも、口径($\phi 100$ 以上)が小さいほど、被害率が大きかった。印ろう継手のCIPでは継手の緩みや抜けおよび管体破損が、A型継手を有するCIPでは継手の抜けと管体破損が見られた。CIPの管体部と継手部の被害割合は、図-1(b)に示すように、都市によって異なる。一般には直管の被害が目立っている。6市全体で見ると、CIPの管体被害は59%、継手抜けは37%、継手破損は4%であった。TS型継手を有するVPでは管体破損および継手の抜けと破損が生じた。

図-1(c)に見られるように、宝塚市では直管の被害がほとんどを、尼崎市では継手部の被害が全てを占めている。神戸市、芦屋市、西宮市ではどちらかといえば

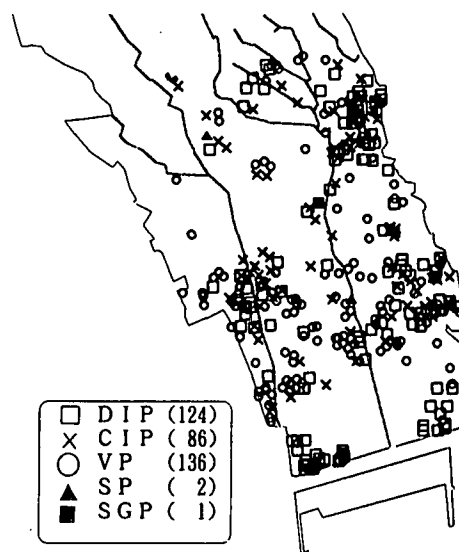


図-2 芦屋市の管種別被害箇所図

継手部の被害が多い。6市全体によると、管体破損は42%、継手破損は30%、継手抜けは28%であった。溶接継手のSPでは溶接部の破損が、ネジ継手のSP(SGP)では管体破損および継手の抜けと破損が生じた。

被害モードのうち、管体破損が多く(78%)、次いで継手破損(11%)であった。ただし、都市別に見ると、図-1(d)のように、芦屋市では直管の被害(1件)が、宝塚市では継手抜け(1件)がSPの被害に対応している。3市(西宮市、宝塚市、尼崎市)におけるゴム継手のACPは他の管種に比べ、被害率が一番大きかった。被害モードとしては管体破損が88%を占める。その他、継手の抜けや破損も見られた。口径別による被害率の違いはあまりなかった。

以上のように、配水管の被害には種々のモードが見られた。また、使用管種などの違いから、阪神間の各市では被害状況に差が生じた。

(2)被害分布の特性

GISを用いて被害の地域分布特性を調べ、地盤状況などに関連させることにより、被害特性を明らかにすることを試みた。例として、芦屋市における管種別の被害箇所図を図-2に示す。

同図より、DIPの被害は南部の海岸沿いにある埋立地周辺と中東部の岩園町仲ノ池付近に集中していることがわかる。大きな地盤震動に起因した地盤変状により、南部では被害が多発した。中東部では地盤変状が見られなかったが、他の地域に比べ、軟弱な地盤であったため、被害が集中して起こったものと考えられる。

VPについては河川沿いに被害が多いものの、ほぼ全域に被害が分布している。なお、CIPとVPの被害が南部に見られないのは管路が敷設されていなかったためである。震度7の激震地域ではVPの被害が多く見られる。これは、DIPやCIPに比べて、VPの強度が弱いためである。

管体部、継手部、属具別に被害箇所図を作成した結果によると、各部位の被害箇所はほぼ全域に分布していたが、南部の埋立地では継手抜けの被害しか見られなかった。これは、地盤変状に追従して継手部で大きく伸縮したためである。

4.西宮市の被害と復旧過程

被害が多発すると、取水量や配水量の減少により、水量確保の問題が生じる。そのため、西宮市では、水道システムに対して取水調整を行い、有限な水量を有効に活用して復旧作業を実施した。

図-3には、西宮市南部地域における各浄水場の配水量を示す。鯨池浄水場と越水浄水場は西宮市の水道システムの主要な浄水場である。これらの浄水場における配水量は大きく変化している。これは、阪神水道企業団の機能被害とその復旧に合わせて水圧確保のために配水調整を行った結果であり、復旧作業に活用されたと考えられる。

配水管の復旧作業における修繕箇所数を日別に整理し、被害率と通水率の関係を示すと、図-4のようになる。図-4(a)よりわかるように、一日当たりの修繕箇所数は地震発生直後から徐々に増加している。1月末から2月下旬にかけて、修繕作業は集中的に行われた。2月中旬には一時的に修繕箇所数が減少したものの、2月21日から2月28日（仮復旧完了）までの一週間における作業は大幅に進んだので、被害箇所数が急減している。

図-4(a)に示した被害率と通水率の日別変化を図-4(b)のようにまとめた。被害率の低下に応じ、通水率はほぼ単調に増加している。しかし、その上昇率は鈍い。これは配水管の被害復旧から給水管への復旧推移がスムーズにいかなかったことを示唆している。なお、西宮市では、上流側の幹線部をまず優先的に復旧し、次いで下流側の復旧作業に取りかかる方針をとった。

次に、GISを用いて配水管の被害状況と復旧状況を分析した。図-5は西宮市南部地域における配水管の被害箇所を管種別に示したものである。図中には各水系ブロックの境界線も記入している。被害は市の北部よ

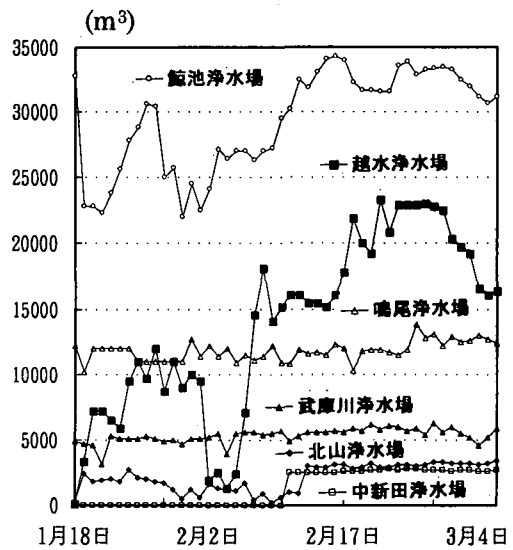
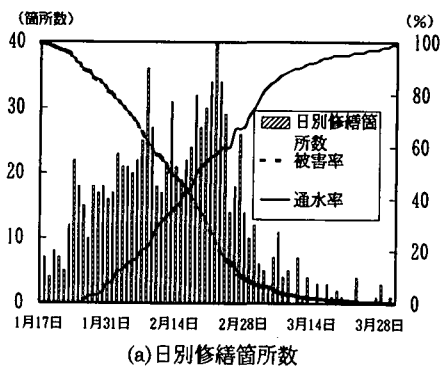
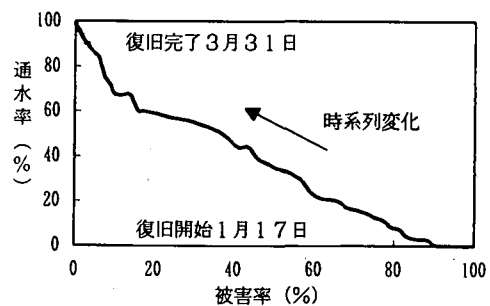


図-3 西宮市各浄水場における配水量の変化



(a)日別修繕箇所数



(b)被害率と通水率の関係

図-4 被害を受けた西宮市配水管の復旧状況

りも南部に集中した（北部10件、南部644件）。2本の活断層にはさまれ、かつ震度7の区域に属する阪水西部水系においては被害が多発した。被害割合を見ると、DIPが40.1%と最も多く、次いでVPの30.4%、CIPの22%となる。ACPやSPの管種別被害割合は少ない。被害率は、ACPが最も大きく（2.78）、VPが1.12、CIPが0.68、DIPが0.4と小さかった。

前述した方針に従い、復旧作業は実施された。図-6は復旧作業の推移の一部を示したものである。図-6(a)は地震発生後20日目に当たる2月5日の被害未復旧地点（図-4における被害率71%）を、図-6(b)は2月15

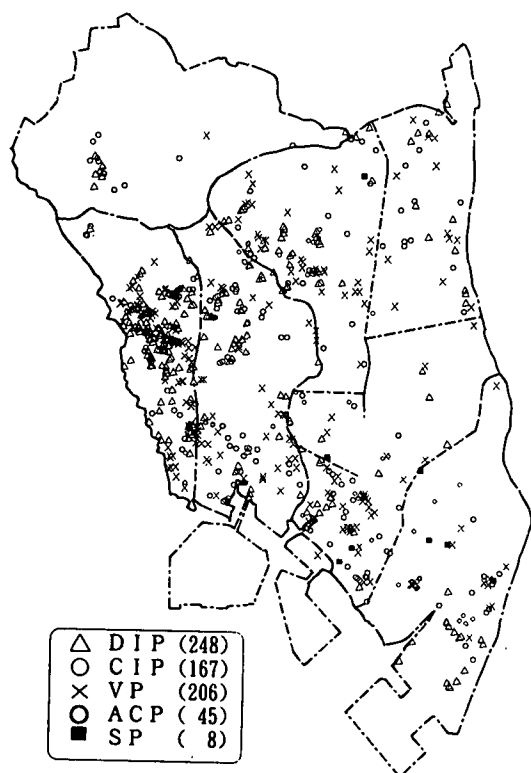


図-5 西宮市の管種別被害箇所図

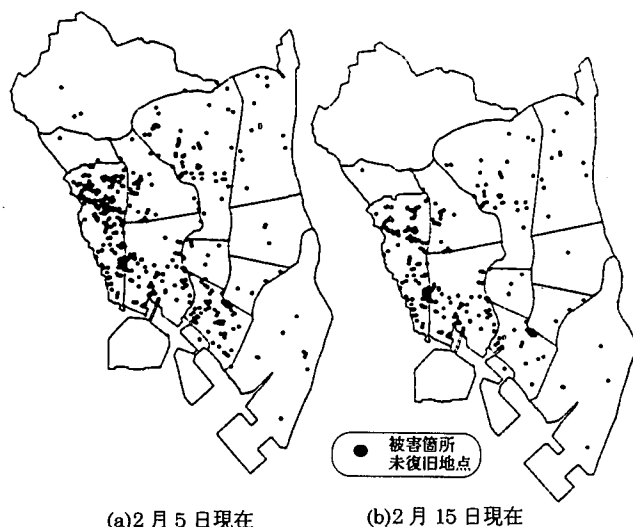


図-6 西宮市水道の復旧過程

日におけるそれ（被害率 46%）を示したものである。図-5 と図-6 を比べてわかるように、復旧作業は市東部から着手され、次に被害の多発した水系ブロックに移行した。被害箇所数の多いブロックでは各所で漏水や断水が発生し、水量や水圧を確保することが困難であった。発見した被害箇所を随時修繕する復旧戦略では効率性が問題となる。この解決のためには復旧支援システムの開発が急務である。ここでは示さなかったが、復旧に当たっては多くの人員や資材を必要とした。しかし、各団体および他府県からの支援協力を受け、復旧を早期に完了することができた。

5.あとがき

本研究では、1995 年兵庫県南部地震における配水管の被害状況を把握し、その被害分析を行った。その結果、従前からよく知られているように、1) ACP や VP が他の管種に比べて弱いこと、2) 古い管に被害が多いこと、3) 小口径の管に被害が集中して起こったことなどが改めて認識された。ちなみに、管種別の被害率については、被害の大きかった 6 市（芦屋市、西宮市、神戸市、宝塚市、尼崎市、大阪市）全体の ACP の被害率は 4.91 と、他の管種に比べて極端に大きかった。このうち、管体破損が 88% を占めており、口径別による被害率の違いはあまり見られなかった。VP の被害率は 1.31、CIP では 0.43、DIP では 0.14、SP では 0.12 であった。

GIS を用いて配水管の被害要因の分析を行った結果、1) 川沿いや海岸沿いなどの軟弱地盤周辺や埋立地に被害が多く、2) 特に埋立地では継手抜けによる被害が集中していたことがわかった。地盤震動の大きさ、地盤条件や液状化の発生状況などから、被害は地域によって著しい差異を生じていた。

復旧戦略の確立は、地震のような予期せぬ事態に対して不可欠である。戦略方針の決定に際しては被害想定判断が重要となるが、実際の災害現場では机上における想定をはるかに越える事態が十分に考えられる。そのような事態に対応すべく、復旧戦略の確立に当たってはいくつか考慮すべきことがある。第一はシステムの広域化および支援体制の樹立、第二は危機対応組織のあり方、第三は情報収集および通信網の確立である。

配水管の被害には、地盤種別、地形地質、N 値や地盤震動（最大加速度、最大速度、最大変位や SI 値）など、様々な要因が大きく関与する。このため、これらのことを考慮したよりミクロな分析が必要になる。

参考文献

- 1) 日本水道協会工務部：阪神・淡路大震災における水道管路の被害と分析、水道協会雑誌、第 65 巻、第 2 号、pp.39～51、1996 年 2 月。
- 2) 宮島昌克、翟 恩地、北浦 勝：1995 年兵庫県南部地震における上水道管路被害の定量的解析、阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、pp.299～304、1996 年 1 月。