



特定研究報告 : 神戸市水道配水管の被災分布

高田, 至郎

(Citation)

神戸大学都市安全研究センター研究成果報告会 発表論文集:9-14

(Issue Date)

1998-12-08

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/80020114>



神戸市水道配水管の被災分析

神戸大学建設学科 高田至郎

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震においては、電気・水道・ガスなどといったライフライン施設にも甚大な影響を与えた。とりわけ水道施設においては、貯水・取水・導水から浄水・送水・配水施設の総ての施設が被害を受け、とくに配水管路の被害箇所は顕著であり、神戸市においてのみでも合計約18,00件にも上り、長期間にわたる断水を余儀なくされた。著者らは、兵庫県南部地震において地中配水管被害と地盤・地形条件の関係をGISを用いて調べるとともに、地中管路被害が局所的に顕著であった埋立地であるポートアイランドと既存活断層である長田・会下山断層周辺地域の2地域を選定し、両地域における配水管被害と地盤変状との関連についても統計的分析を行った。

2. 神戸市配水管被害の統計的分析

2.1 地質・地形分類別の配水管被害特性

兵庫県南部地震における神戸市地域の配水管被害、および配水管網をGIS(地理情報システム)に入力し、配水管データベースを作成し、このデータベースを各地盤特性ごとに集計し、配水管被害率と地盤特性の関連について考察を行った。

まず、神戸市における地質分類別の配水管被害率を図-1に示す。図-1より大阪層群1、大阪層群2、沖積層B、埋立地などにおいて被害率が高いことがわかる。また、沖積層A、大阪層群3、低

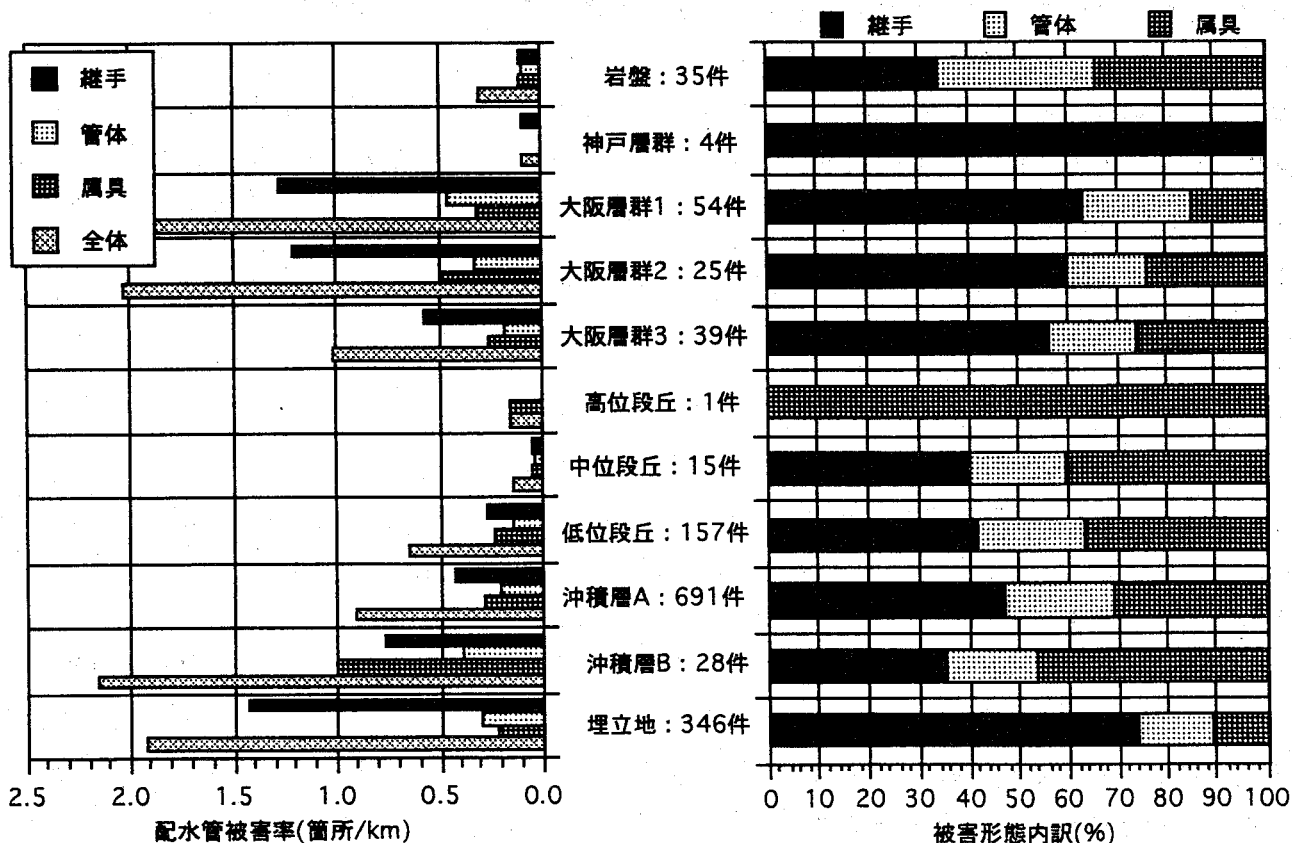


図-1 地質分類と配水管被害率

位段丘においてもやや被害率が高い値を示している。とくに大阪層群 1, 大阪層群 2, 埋立地においては継手被害率が他の地質に比べて非常に高いのがわかる。大阪層群 1 と大阪層群 2 の被害率を比べると、総被害率と継手被害率はほぼ同じ値を示しているが、大阪層群 1 において管体被害が高いのに対し、大阪層群 2 では属具の被害が高くなっている。ここで属具被害とは、空気弁や仕切弁、消火栓などの設備被害を表す。また、大阪層群 3 においては、大阪層群 1, 大阪層群 2 に比べて被害率自体はやや低いものの、その内訳は大阪層群 2 とほぼ同じである。これらの大阪層群は、断層と低位段丘または沖積層のあいだに存在する地質であり、大阪層群 1, 大阪層群 2, 大阪層群 3 のそれぞれの存在する位置は近く、被害の状況も類似するものと思われる。しかし、継手被害率の高いことは大阪層群各層で類似するが、被害率の内訳は、構成年代の古いものほど管体被害が多く、新しくなるにつれて属具被害が多くなる傾向にあり、構成年代の古い地質における管体被害の増加傾向を伺うことができる。その傾向は大阪層群以外の地質においてもみられ、花崗岩などの工学的には基盤とみなされる岩盤においても、その被害内訳に管体被害の割合が高くみられる。神戸市における配水管の約 80% は DIP であり、その被害のほとんどは継手部の被害である。この管の耐震性能は高く約 1% のひずみに対しても十分に耐えることが可能である。しかし、継手には耐震性の高い継手を使用されておらず、地震によって生じたひずみに対して、管体自体は耐えることができたが、それによりひずみが継手部に集中する結果となり、継手における被害が非常に多くなったものと考えられる。しかし、岩盤や大阪層群 1 においては、継手被害と同様に管体被害率も高く、これらの地質において管体自体の許容力を超えるひずみや応力が管に集中した結果、管体被害が高くなったものと考えて良い。

震度Ⅶ地域にあたる低位段丘や沖積層 A においては、大阪層群や埋立地など程ではないが、やや被害率が高くなっている。これらにおいてもその内訳では継手被害率が最も高くなっており、兵庫県南部地震における被害の継手部への集中の傾向がさらに示された。低位段丘や沖積層 A における被害内訳をみると属具の被害率がやや高く、“震災の帯”と呼ばれる建物被害の集中する地域において属具被害が多くなる傾向がうかがえる。また、沖積層 B においては、その被害率は地質分類の中で最も高く、またその内訳は属具被害が最も高い。沖積層 B は河川や沿岸部に分布する礫成分の多い沖積層であり、天井川の多い神戸市内においては、河川の下流に多く分布しており、また震度Ⅶ地域にも重複している。これらの河川の沿岸部においては、建物被害についても集中している地域が多く、建物被害と属具被害の関連性が伺われる。

埋立地においては、被害内訳における継手被害の割合が非常に高く、これまでの地震における液状化した埋立地盤の被害傾向と一致しており、埋立地における被害が液状化によるものであることがわかる。本地震による液状化範囲は非常に広域であり、埋立地のほぼ全域で液状化が生じている。液状化した地盤では、地盤の沈下、側方流動や管路の浮上などにより大きなひずみを生じ、継手部に被害を生じたものと考えられる。

次に、神戸市の地形分類別の配水管被害率が非常に高いことが知られた。また、丘陵、砂州、天井川、沿岸低地においてもやや被害率が高い。被害内訳をみると、全体的にはやはり継手の被害率が高く、ほとんどの地形分類において 50% 程度の被害を占めている。扇状地においては、古期扇状地において管体被害率、属具被害率が非常に高く、比較的古い時代に形成された段丘化した扇状地において管体被害の多いことがわかる。また、扇状地 2 から扇状地 5 にかけて形成年代が新しくなるにし

たがい、継手被害の占める割合が低く、属具被害の占める割合が高くなっている。ここにおいて扇状地2から扇状地5はそれぞれ6～4万年前、3～1.5万年前、1.5～0.6万年前、0.6万年前頃に形成された扇状地である。扇状地2から扇状地5の分布は、山麓部から“震災の帯”の地域へかけて、段丘層から沖積層へと推移して分布している。このことは、扇状地2や扇状地3などの段丘化した扇状地においては継手被害が多く、扇状地4や扇状地5などの沖積地盤へ移行するにしたがい属具被害が多くなることを示している。また、扇状地2、扇状地3などは傾斜地盤を構成しており、この影響も被害形態の差異に関連するものと思われる。その他沿岸砂州や沿岸低地などの沿岸部においては、継手被害の割合が高くなっている。埋立地においては、その70%以上を継手被害が占めており、埋立地における液状化による継手被害への対策の必要性が知られる。

2.2 断層地形における被害特性の分析

本地震において配水管被害が集中した地域の一つに、既存活断層周辺地域が挙げられる。配水管被害の分布を見ると既存活断層である渦ヶ森断層や会下山断層などを中心に断層近傍での被害の集中が目立つ。ここでは、会下山断層周辺の地域に着目して、断層周辺地盤と配水管被害の関連についてさらに詳しく考察し、断層周辺地盤の地震被害特性について考察を行う。

分析対象地域は、会下山断層周辺の約2km四方の地域である。北側を東西に走る長田断層と南側を走る会下山断層に挟まれた地域や会下山断層の南側において配水管の被害が集中した。図-2に最近傍断層までの距離と配水管被害率との関連を示す。断層距離が100mまでの範囲は20mごとに、300mまでは50mごと、1000mまでは100mごとの管路総延長と配水管被害率を算出した。

継手被害は断層直上と断層から200m、700mの地点で被害率が高く、管体被害は断層から200m、550mの地点でピークを生じており属具被害は断層からの距離が700mの地点において被害率が高くなっている。この地域は会下山断層と長田断層が平行して存在する地域であり、両断層間の距離は約700～800mである。これらの被害のうち断層からの距離が200m～300mのものは、その多くが両断層に挟まれる地域において被害を生じているものであり、断層に挟まれた地域において被害が多発していることが知られる。断層に挟まれた地域では、断層周辺に特有な地盤の特色として、傾斜

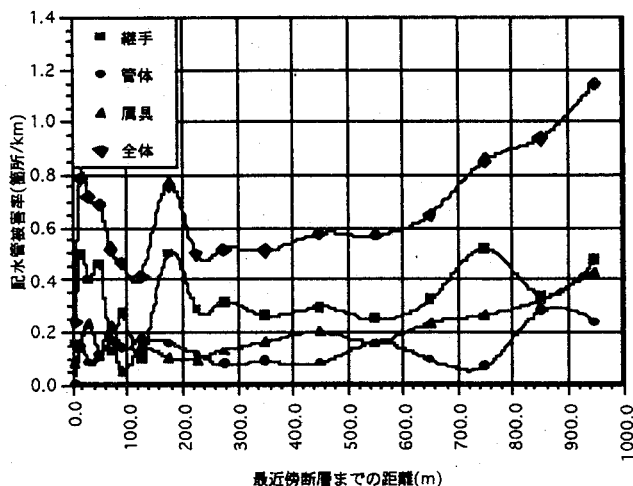


図-2 最近傍断層までの距離と配水管被害率

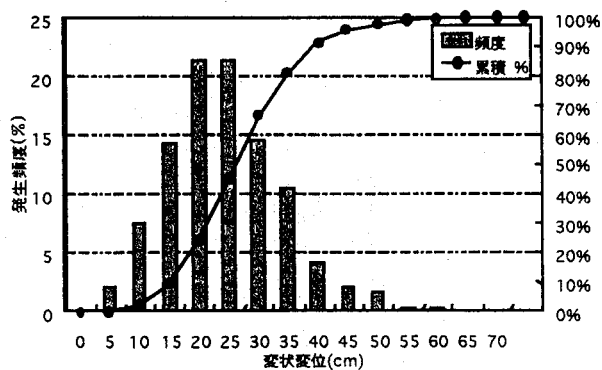


図-3 地盤の変状変位の頻度分布

地であること、地質・地形分布が複雑で多種の地盤が混在すること、断層面の影響による地震動の増幅現象の可能性のあることなどから、被害率が高くなるものと考えられる。次に、対象地域における変状変位の頻度分布を図-3に示す。断層地形であるこの地域の地盤変状は約30~40cm程度であったといえる。地盤変状の原因として斜面の状況や地質、地形など様々な要因が考えられる。ここでは地質分類と地盤変状との関係について考察する。地質分類別平均地盤変状との関連を図-4に示す。図から花崗岩や神戸層群などの堅固な地盤と大阪層群や沖積層などの地盤とは明らかに地盤変状の大きさに違いがあることがわかる。

3. 埋立地、断層地形の地盤ひずみと配水管被害

兵庫県南部地震において埋立地であるポートアイランドと断層地形である会下山地域における地盤の永久変位より、表層における地盤ひずみの推定を行い配水管被害との関係について分析を行った。ポートアイランドの永久変位としては、濱田、磯山、若松により作成されたポートアイランドにおける表層地盤の永久変位ベクトル図を使用する⁴⁾。一方、会下山断層周辺地域においても著者らが地震前後の航空写真測量より50mメッシュ毎の変状変位図、主ひずみを算出した。表層地盤の主ひずみ分布の推定には、有限要素法のアルゴリズムを応用し、変位図の1つのベクトルの始点を1つの節点とした4節点アイソパラメトリック要素を作成し、各要素内の任意の点におけるひずみを推定した。ひずみを算出する任意点としては、ポートアイランド内の50mメッシュを使用し、これらのメッシュにおける主ひずみとその方向の算出を行う。このひずみの算出手法は、地盤の永久変位よりひずみを求めるものであり、その計算において地盤のクラックなどの破壊現象は考慮していない。ポートアイランドにおける推定した地盤の主ひずみと配水管被害位置を重ねたものを図-5に示す。図-5より、本地震によりポートアイランドでは岸壁を中心としてほぼ全域にわたり0.5%以上のひずみを生じていることがわかる。とくに岸壁においてはその崩壊の影響も含めて大きな地盤ひずみの発生がみられる。また、島内部の居住地域においては岸壁付近のような崩壊に伴う大きなひずみはみられないものの、全域において0.5%程度のひずみが発生し、大きなところでは3%程度のひずみも

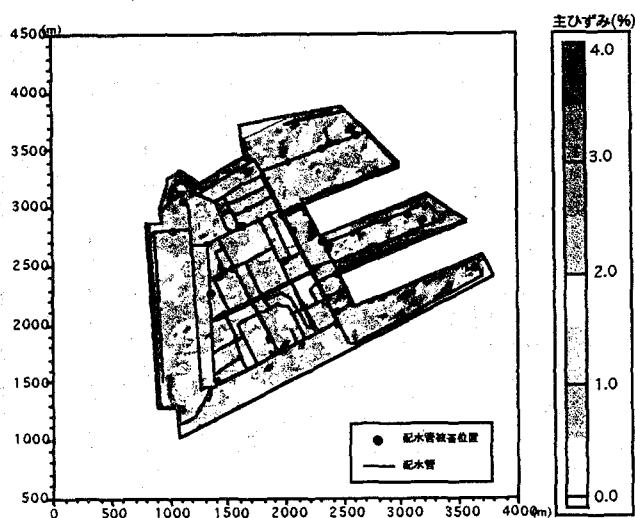
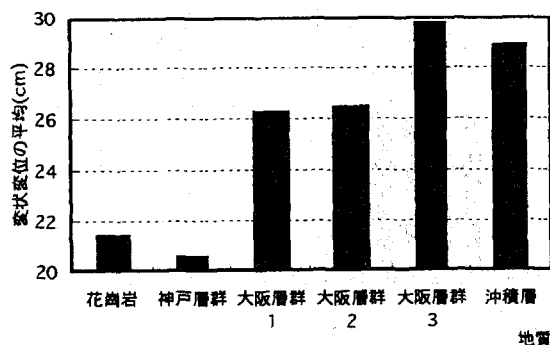


図-4 地質分類別平均地盤変状との関連

図-5 推定した地盤の主ひずみと配水管被害位置
(ポートアイランド)

生じていることが知られた。これらは、ポートアイランドの全域で噴砂が確認されていることから、明らかに液状化による影響であると考えられ、島内部においても大規模な液状化により、部分的に大きなひずみが発生していることがわかる。また、上水道配水管被害との関連をみると、配水管被害は岸壁付近には集中して生じていないことがわかる。これは、岸壁が一様に海側に向けて崩壊したことにより、その周辺では岸壁と垂直な方向に地盤の流動が生じたため、岸壁に沿って平行に配管されている配水管の軸方向へのひずみの発生がなかったからである。また島内部における配水管の被害位置をみると、主ひずみの分布が周辺よりも高いところで被害が発生していることがわかる。とくに居住地域においては、主ひずみが1%~2%のところでは被害が多発しており、配水管被害が大規模な液状化に伴う地盤の流動によりひずみの集中した場所において発生することが示された。

一方、会下山断層付近における地盤の主ひずみと配水管被害位置を図-6に示す。配水管被害位置の分布は長田断層と会下山断層に挟まれた地域および会下山断層の南側において非常に多く分布しているのがわかる。地盤の主ひずみが大きな地域もまた、これらの断層周辺部において顕著に見られ、地盤の主ひずみが他の地域に比べて大きな地域において配水管被害が顕著であるのがわかる。さらに、図-5と図-6を比べてもわかるようにポートアイランドでは地盤の液状化に伴う側方流動によって護岸周辺が海側に変位することによって島内の主ひずみはほとんどすべての地域において主ひずみは引張側であるが、会下山断層周辺地域においては地表面の傾斜の影響や地質の不均一さなどの影響により、圧縮側・引張側の両方の主ひずみが分布している。また、両地域における主ひずみは、大きな差があり、ポートアイランドでは大きいところで主ひずみが3%以上であるのに対し、会下山断層周辺においてはせいぜい1%程度と、全体的な主ひずみの分布においてはポートアイランドの方が大きい。これは液状化による側方流動などにより最大数メートルの地盤変位を生じたためと考えられる。

次に、ポートアイランドおよび会下山断層付近における管軸方向引張ひずみと配水管被害率との関係を図-7に示す。ポートアイランドと会下山断層周辺とでは埋設されている配水管路の管種や継手などが違うため一概には言えないが、両者ともに概ね正の相関があることは、図から読みとること

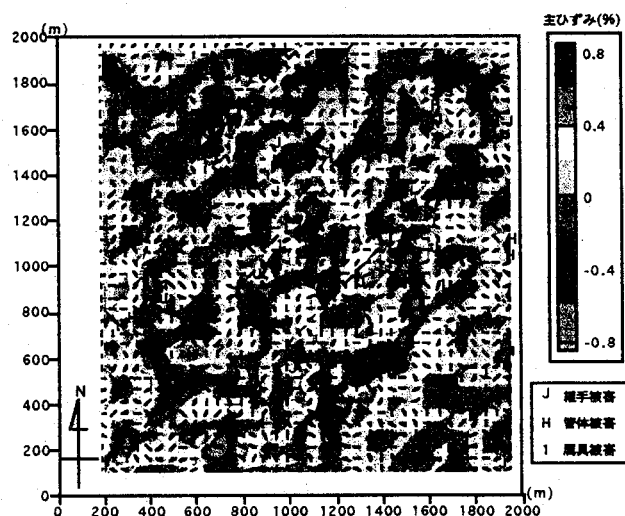


図-6 地盤の主ひずみ分布と配水管被害位置
(会下山断層付近)

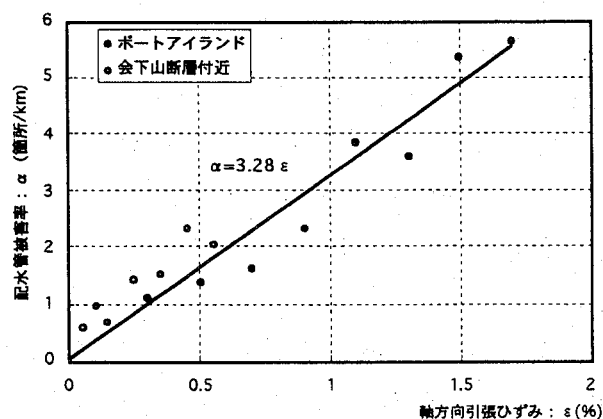


図-7 管軸方向引張ひずみと配水管被害率

ができる。ポートアイランドにおいては液状化に伴う側方流動や不等沈下によって生じた地盤ひずみであり、会下山においては断層地形による傾斜や地質の不均質あるいは断層運動によって生じた地盤ひずみである。しかし、同程度の地盤ひずみに対しては同程度の管路被害率となっていることは注目に値する。両者におけるデータを統合して、管路に沿う地盤引張りひずみ(ϵ)と管路被害率(α)の関係を求めると $\alpha = 3.28 \epsilon$ となる。ただし、被害モードについては継手被害および管体被害を考慮した。

4. まとめ

今回の検討結果をまとめると、次の内容に整理することができる。

- ①配水管被害においては局所的な地盤特性が非常に大きく影響しており、地質・地形分類における配水管被害との関連の分析より、大阪層群や比較的古い時代の扇状地において継手被害が多発しており、沖積地盤においては属具被害が多く生じていることなどわかった。
- ②既存活断層である長田・会下山断層周辺部は、断層地形や傾斜地形、地質の不均一さなどの影響により配水管に大きな被害を生じる傾向があり、変状変位によって発生した地盤の主ひずみが配水管被害と深く関連していることが知られた。
- ③埋立地であるポートアイランドと断層地形である会下山断層周辺地域と比較すると、主ひずみの大きさにかかなりの違いがある。また、埋立地においては圧縮ひずみがほとんど生じていないのに対し、断層地形においては圧縮ひずみが大きく生じていることが分析結果から明らかとなった。
- ④液状化地盤あるいは断層地形に関わらず、生じた地盤ひずみ(% : ϵ)と配水管被害率(箇所/km : α)との関係は以下のである。

$$\alpha = 3.28 \epsilon$$

参考文献

- 1)日本水道協会：1995年兵庫県南部地震による水道管路の被害と分析，pp.1～4，1998.5
- 2)日本水道協会：阪神・淡路大震災水道管路被害の概要，pp.1～48，1995
- 3)前田俊宏：GISによるライフライン被災分析と地域地震防災性に関する研究，神戸大学大学院自然科学研究科修士論文，pp.11～34，1997.3
- 4)Hamada M., Isoyama R. and Wakamatsu K.: The 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe) Earthquake Liquefaction, Ground Displacement and Soil Condition in Hanshin Area, Association for Development of Earthquake Prediction, 1995.
- 5)地質調査所：地質図縮尺 1/50000，図幅名「大阪西北部」「神戸」「須磨」「明石」「洲本」，1983～1984
- 6)日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 1997年度版，pp.19～27，1997.3
- 7)神戸大学工学部建設学科土木系教室 兵庫県南部地震学術調査団：兵庫県南部地震緊急被害調査報告(第2報)，pp.1～41，1995
- 8)波田重熙，平野昌繁：断層の活動と変位地形-甲陽断層を中心として-，京都大学防災研究所都市耐震センター研究報告別冊第18号別刷，pp. 56～65，1996.3