

地中埋設物の被害と特徴

* 神戸大学 高田至郎
 ** 神戸大学 前田俊宏
 ***神戸大学 辻野洋慶

本論文は、兵庫県南部地震における水道管被害とその特徴について述べたものである。最初に各市町の水道施設被害について被災統一的な視点から特徴を述べている。次いでポートアイランド人工島における配水管被害と地震前後に航空写真測量により算出された地盤変状変位・ひずみとの関係について考察を加えた。さらに、活断層地域における配水管被害の状況についても検討している。その結果、配水管被害分布はいわゆる震災の帯の分布とは異なること、人工島の配水管被害は地震変状に起因する所が大きいことなどが知られた。

1. 上水道施設の被害と特徴

本地震で兵庫県内9市5町の全給水所帯135万6000戸のうち95万4000戸で断水が発生し、被害額は約541億円に達した¹⁾。図1.1には神戸市、西宮市などの配水管の管種別の敷設延長の割合を示している²⁾。図1.2、

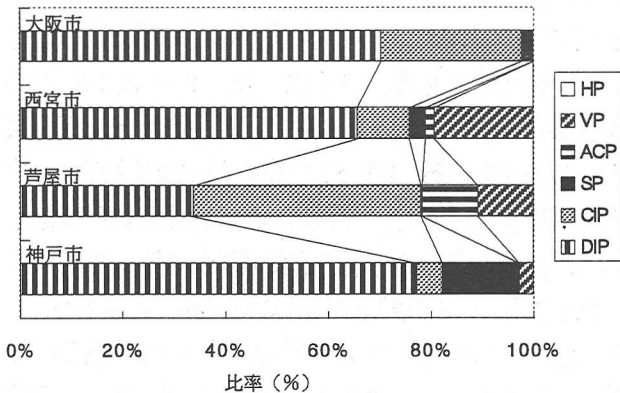


図1.1 配水管の管種別敷設延長の割合

1.3には配水管の口径別の被害個数と被害率を示している³⁾。同図より、大阪市内においても相当数の被害が発生していること、芦屋市はシステム全域にわたり比較的震度の大きい地域に含まれるため被害率

が大きいことなどが知られる。阪神地域の各市においては、必要給水量を自己水源とともに阪神水道企業団による琵琶湖・淀川の水の受け入れによって賅っている。阪神水道企業団の給水人口は2,470,888人、平均給水量は726,274m³/日、送配水管の延長距離は約163kmである。これらの管路では17箇所被害が発生した。導水管においては、神崎川付近でφ1200mmのヒューム管の継手が23箇所引き抜けた。送水管においては甲東送水路のφ1500mmのDCIPのメカニカル継手箇所と西宮送水路のφ1200mmのCIPのメカニカル継手1箇所が活断層付近で引き抜けた。芦部谷送水路においては水管橋においてφ2100mmの管路の継手部分が橋台の変位のために破損した。神戸市上水道は、布引、烏原、千川の3箇所ダムを有しているが、それらで賅えるのは供給能力の約1/4にあたる200,000m³/日である。若干の県営水道による受水と、大半は阪神水道企業団等に依存している。六甲山系と瀬戸内海にはさまれた市街地は細長くかつ高低差が約300mと大きいので、配水系統を標高により3層に分けている。配水池は14箇所、ポンプ場は44箇所、浄水場は1箇所である。配水管の総延長は約4000kmで、その90%がダクタイル鋳鉄管である。給水人口は約150万人である。神戸市上水道の施設被害を表1.1⁴⁾に示した。浄水場・配水池では布引貯水池で堤体天端歩廊の手すり部にクラック、管理橋脚脚部が破損、烏原貯水池で堤体端部に縦クラック1箇所、管理用道

キーワード：配水管被害、地震動
 地盤変状

* 神戸大学工学部、078-803-1031
 ** 神戸大学工学部、078-803-1031
 ***神戸大学工学部、078-803-1031

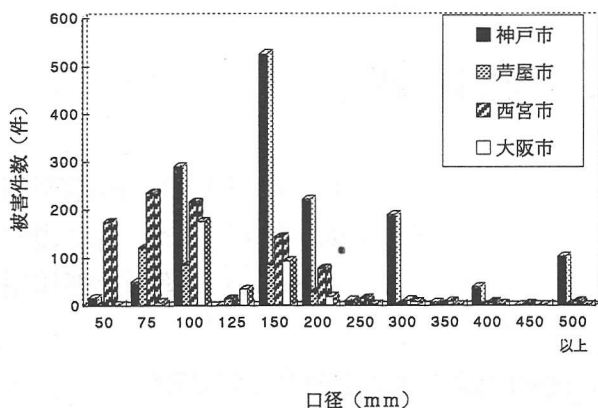


図12 配水管の口径別被害件数

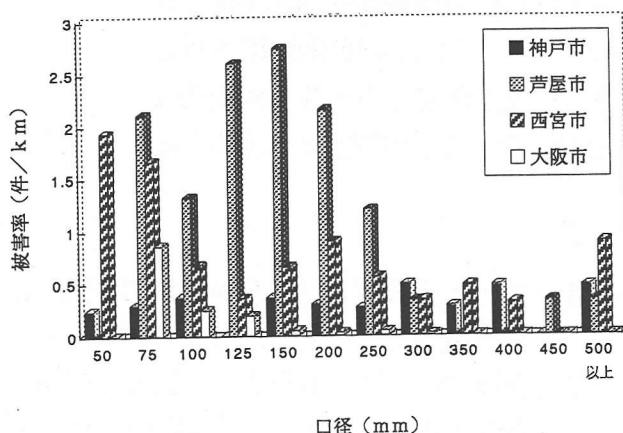


図13 配水管の口径別被害率

表1.1 神戸市水道施設の被害概要

設 備	被災状況 (箇所)	備 考	
貯水池	3	堤体クラックや管理道路破損	
浄水場	2	上ヶ原、本山で施設の損壊	
送水施設	送水トンネル	異常なし	
	ポンプ場	1	烏原で水没機能停止
	送水管	10	上ヶ原、本山、会下山で漏水
配水施設	配水池	1	会下山でジョイント損傷漏水
	配水管	1439*	継手離脱、折損など
給水施設	道路下	11823*	
	宅地内	50828*	
庁舎など	4以上	本庁、東部、西部、垂水など	

*3月末現在

路の石積み崩壊の被害があった。上ヶ原浄水場で緩速濾過池躯体に亀裂、砂層陥没、急速沈殿池の伸縮ジョイント部の損傷、洗浄水槽の配管部からの漏水の被害があり、排水処理施設では躯体、配管、機械類に多数の被害があった。また、急速洗浄排水返送管(φ1,200mm)で継手部の離脱があった。そのほか場内配管、法面、電気・機械設備にも多数被害が見

られた。本山浄水場では洗浄水槽流入管破損、水槽亀裂、原水入水管破損の被害が見られた。送水施設の破損が3箇所、配水施設の破損が3箇所あり、会下山低層配水池では配水池・接合井戸との接続部が損傷し漏水するとともに、池内伸縮ジョイント部で縦クラックが発生している。また、烏原坑内送水ポンプが水に浸かり使用不能となった。次に導・送水管渠の被災としては、上ヶ原浄水場内送水管(φ1,200mm)、会下山中層送水管(φ500mm)などで10数箇所の被害が生じている。本山送水管路トンネルの上部が圧潰したために送水管(PC管、φ500mm)の継手部からの漏水と、湧水送水管(HP管、φ300mm)の管体亀裂が確認されている。次に、給配水管については、3月末現在で配水管1,439箇所、給水管11,823箇所の計13,262箇所、これに宅地内での被害50,828箇所を加えると合計64,090箇所の被害が報告されている。市内の約1500箇所の配水管の被害位置を被害モード別に図1.4に示した。同図には震度7の範囲も示しているが、配水管被害の地域は必ずしも震度7とは対応していない。そして家屋倒壊の少なかった神戸市西部・北部においても被害が発生している。また、六甲アイランドではポートアイランドよりも被害が極端に少なくなっているが、これは新しく建設された六甲アイランドでは最近の耐震管が多用されているためである。さらに、埋立地・人工島では継手離脱が多く、内陸部では管体折損や属部の破損が多くなっている。図1.5には神戸市における配水管路被害形態の割合を、図1.6には管径別の被害率を示す。折損や亀裂よりも継手部の離脱が多いこと、大口径管においては空気弁や仕切弁の被害の割合が大きいかかわかる。なお、幹線は古いものを除いて被害が少なかった。また本地震では、伸縮可とう管や耐震継手に被害が少なかったことから、それら構造の耐震性も確認できた形となった。また、橋梁添架管に関しては、六甲大橋のφ700mmの鋼管が落下し、神戸大橋のφ600mmの鋼管が座屈・溶接部せん断破壊、φ900mmダクタイル鋳鉄管の継手差し口が受け口に差し込まれる被害があった。摩耶大橋においても伸縮継手の変形があった。独立水管橋においても液状化、護岸崩壊などに起因する被害が報告されている。給水管についてはその約8割が硬質塩化ビニル管が使用されている。平常時に補修されるのは鉛管が主とのことであるが、本地震では被害を受けたのは硬質塩化ビニル管が多かった³⁾。表1.2には主

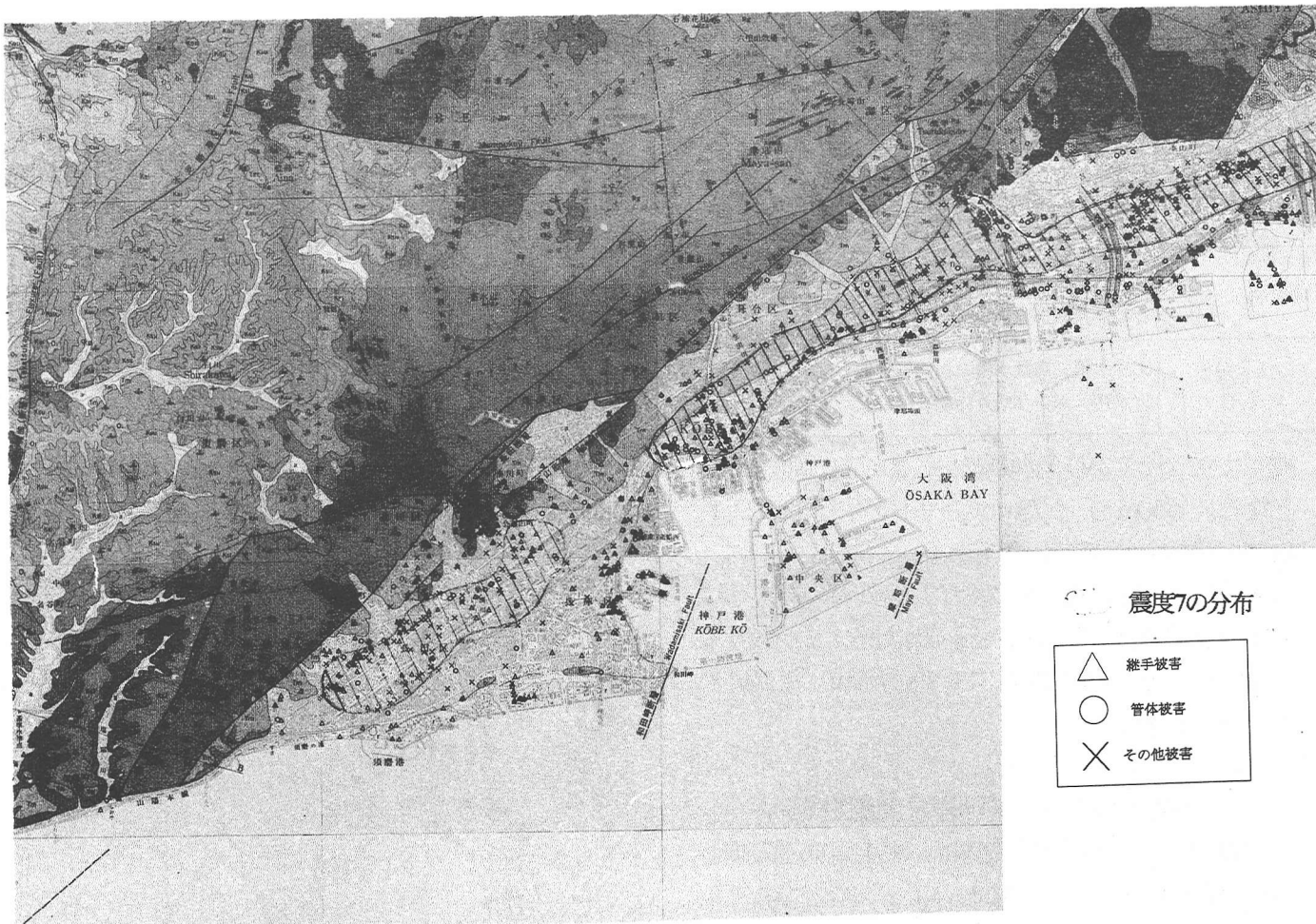


図1.4 配水管被害位置・被害モードと地質・断層および震度7の分布

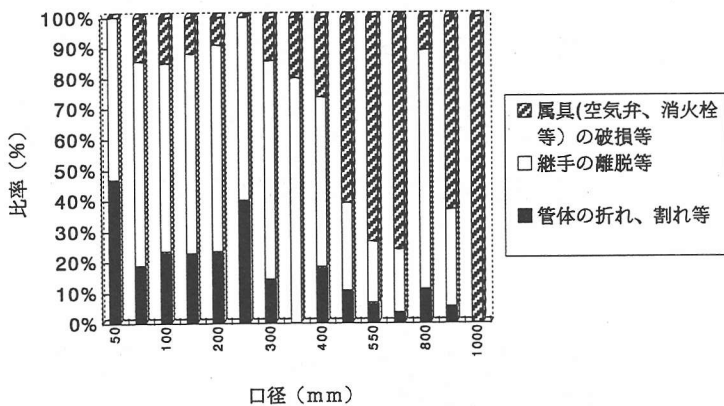


図15 配水管路被害の形態別割合 (神戸市)

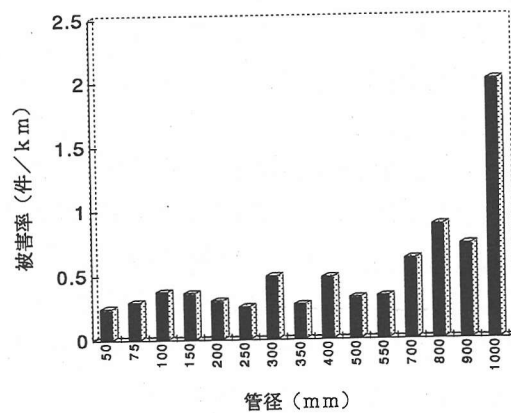


図16 配水管の管径別被害率 (神戸市)

な破損箇所を示す。被害を受けたのは、管体よりも継手部分、器具などへの接続部分である。管体の変位に追従できないため、これらの部分に被害が発生したと考えられる。

次に、芦屋市の供給能力は $50,610\text{m}^3/\text{日}$ であり、その約20%を自己水源で賄っている。給水人口は86,640人、配水管の延長は約183kmである。2月末現在で、340箇所の配水管被害が確認され、その内の112箇所

が弁や消火栓など属部の被害であった。神戸市よりも属部被害の比率が大きい。芦屋市の埋立て地では、直管部では耐震継手が、異形管部ではメカニカル継手が用いられていたが、メカニカル継手のみが被害を受けた。

また、西宮市の供給能力は $294,038\text{m}^3/\text{日}$ であり、その約40%を自己水源で賄っている。給水人口は422,3人、配水管の延長は、966kmである。配水管の

表2 給水管の破損箇所

①道路部分	①サドル分水栓の移動 ②ビニル管の属具と継手部分(分水栓、止水栓部)の抜け ③ビニル管継手部分(チーズ、ソケット、エルボ)の破損
②宅地埋設部分	①ビニル管立上り部分の継手部分(チーズ、ソケット、エルボ)の破損 ②大型メータビット接続部のフランジ破損
③家屋内	①壁内立上りの継手部分の損傷 ②分岐部分の損傷 ③器具接続部分の損傷
④ビル・マンション	①受水槽、高置水槽の損傷(転倒、破損) ②水槽、ポンプ回りの配管接続部のフランジ破損

被害は892箇所であり全体の被害率は0.676 (箇所/km)となる。 $\phi 50\text{mm}$ 、 $\phi 75\text{mm}$ の小口径管では1.922、1.671 (箇所/km)の被害率である。管種別で見れば、総延長の66%を占めるダクティル鑄鉄管の被害率は0.433 (箇所/km)である。石綿管は1.6%しか残っていないが、その被害率は3.313 (箇所/km)と高いものとなっている。

2. 人工島における配水管被害と地盤ひずみ

本地震における配水管被害は、人工島などの国道43号線より南側の埋立地において多数報告されている。これらの被害の主因は地盤の液状化にともなう管路周辺の地盤側方流動・変状によるものである。とくに神戸市中央区のポートアイランドなどの人工島においては、島内全域におよぶ噴砂と岸壁の側方流動、地盤沈下が確認されている。

図21、図22はポートアイランド内の地盤変位図⁵⁾と配水管被害位置を示したものである。人工島内において液状化により非常に大きな地盤移動を生じていることがうかがえる。地盤の剥離などは考慮せず弾性変位と見なして、これらの地盤変位図から算出した表層における地盤の主ひずみを周辺の配管図と配水管被害位置とともに図23、図24に示す。これらのひずみ分布より、地盤変状にともない岸壁を中心に人工島内全域において1%以上のひずみが発生していることが知られる。図25はそれぞれ図23、図24に示した配水管延長に沿ってのひずみ分布を示している。図25より被害箇所における表層地盤のひずみは管軸方向ひずみで7%程度と非常に大きな値であることが知られる。図25のPIPE1およびPIPE5における被害状況は、ともに継手部の離脱とそれに伴う継手の破損である。また、管軸直角方向のひずみや鉛直方向に関するせん断ひずみにおいては今回の計算において5%以上の大きな値であっても、被害の生じたケ

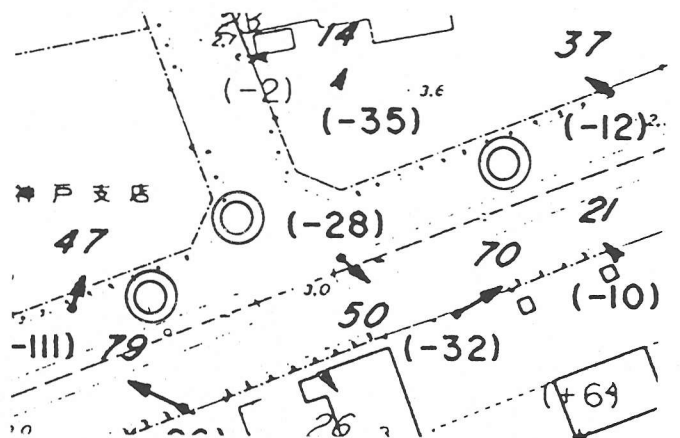


図21 配水管被害位置と地盤変位ベクトル

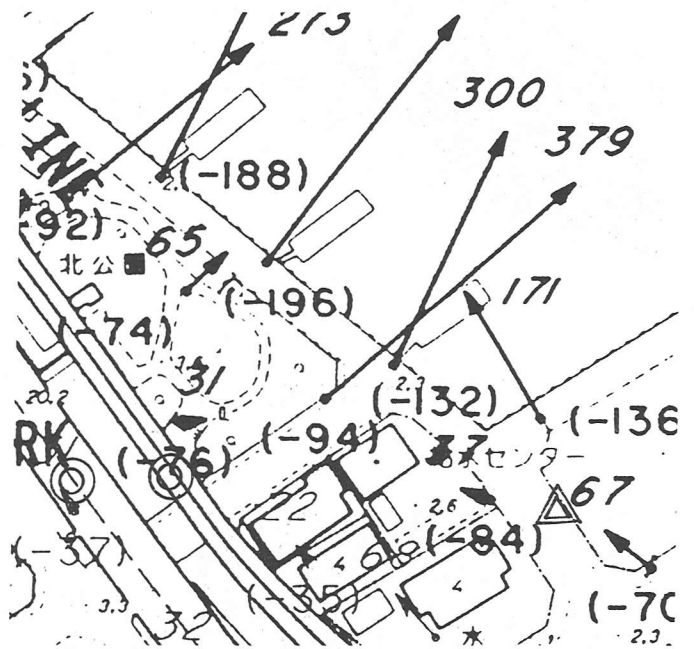


図22 配水管被害位置と地盤変位ベクトル

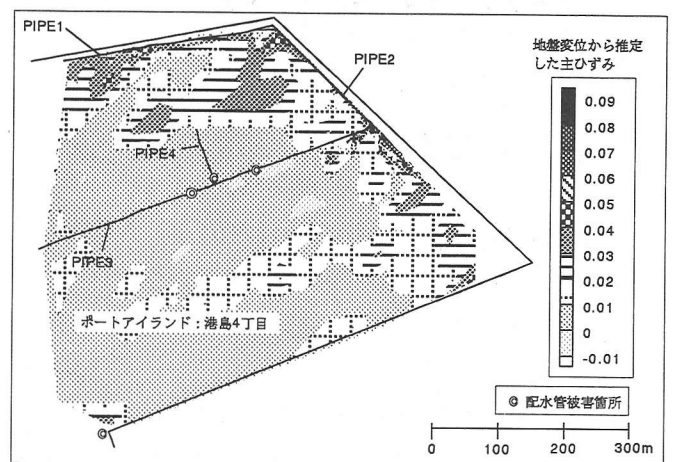


図23 ポートアイランド北東端での地盤主ひずみ分布と配水管被害位置

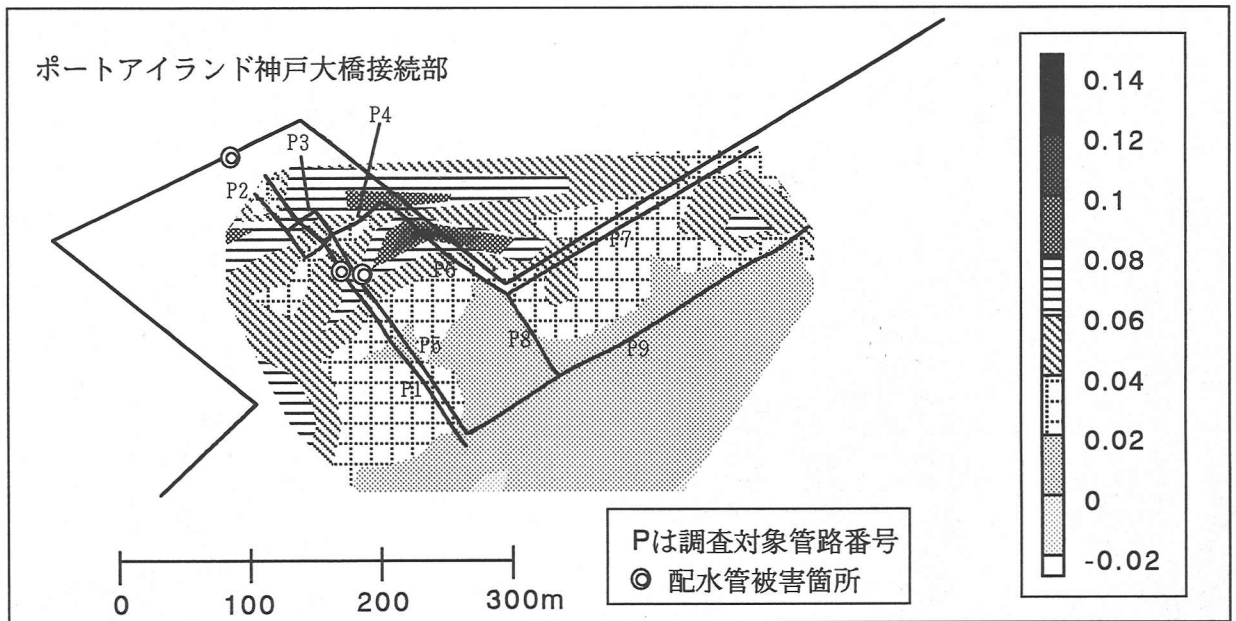


図2.4 ポートアイランド北端部での地盤主ひずみ分布と配水管被害位置

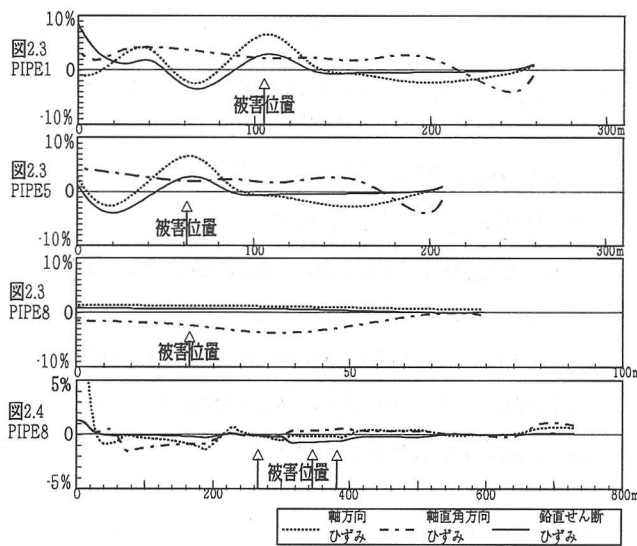


図2.5 管路に沿う地盤ひずみ分布

ースは見られなかった。また、人工埋立地域における配水管被害をモード別に分類すると、その約70%が継手部の離脱、損傷等の被害であり、本地震における神戸市配水管被害全体に対する継手部の被害が約50%であるのと比較すると人工埋立地では高い割合となっている。

ポートアイランドでは、継手被害を中心とした配水管被害が多く確認されているのに対し、同じ人工島である神戸市東灘区の六甲アイランドにおいては配水管被害は少なく、継手と属具の被害をあわせて4箇所確認されているだけである。六甲アイランドで

は人工島の埋立て時に液状化対策がなされていること、配水管に耐震性継手を使用されていることなどから、被害が軽減されたものと考えられる。

3. 活断層と配水管被害

図3.1は神戸市兵庫区から長田区にかけて連なる会下山断層と長田断層付近の配水管被害を示したものである。図3.1の背景図は断層の状況とともに周辺の地質分類を示している。この周辺は、広域に多数の被害を受けた配水管被害の中でも特に被害が集中している地域の一つである。配水管被害は、会下山断層と長田断層に挟まれた地質分布の複雑な地域の断層線の近傍において集中していることが知られる。被害モードは、継手の離脱、損傷などが多数見られる。地震断層による地表面変位は、神戸市の中心部にまでにはおよんでいないと考えられるため、断層地表面変位による直接的な外力が生じた可能性は小さい。しかし、この地域においては大口径の会下山送水管も被害を受けていることなどから、会下山断層付近においては地震断層が地表面近傍にまで到達している可能性も考えられる。また、既存活断層の周辺においては、地質が複雑に分布していること、傾斜地形が多いこと、断層活動に伴った基盤岩の傾動地形による地震動の増幅現象の可能性などから、直接的な断層地表面ズレを生じていなくても、大きな地盤変状を伴う可能性が高い。断層付近に特有の地盤特性から、断層近傍において埋設管に

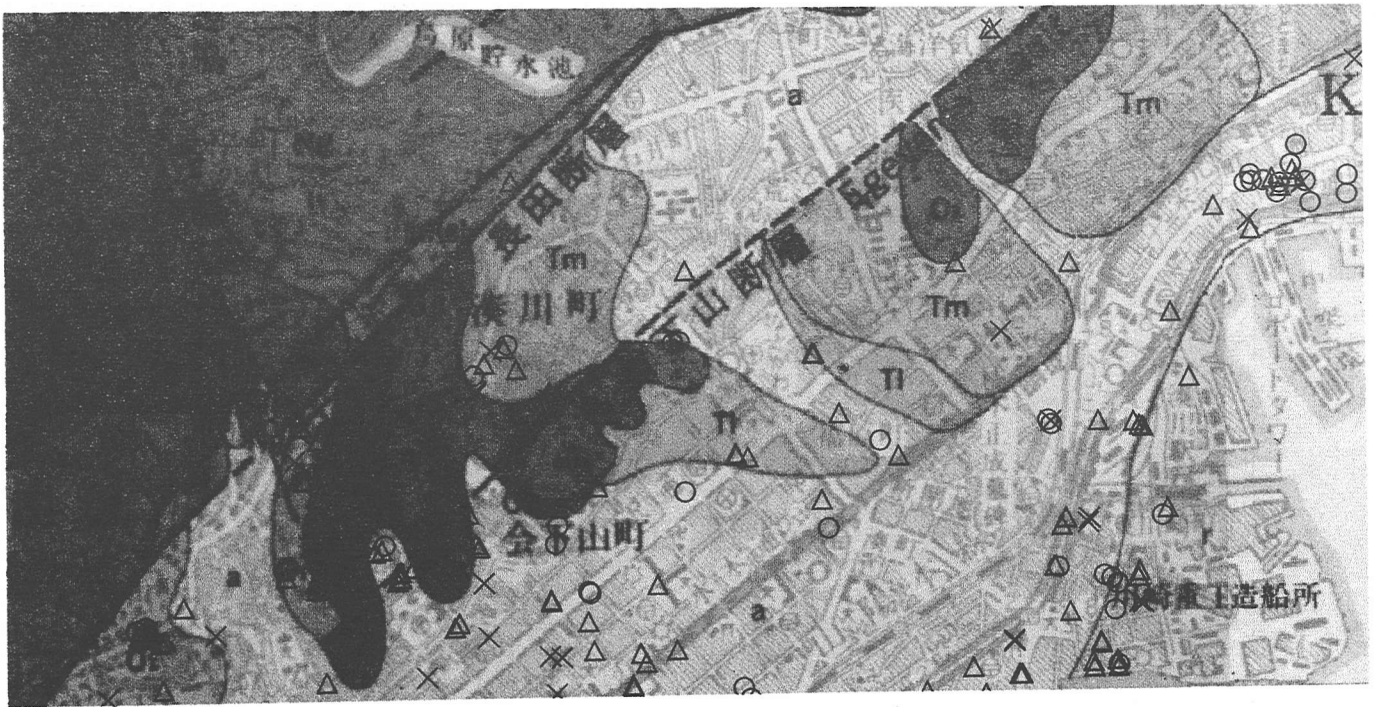


図3.1 会下山断層付近の配水管被害位置および被害モード

おける多数の被害が生じたと考えられる。

参考文献

- (1) (社) 日本土木工業協会関西支部、「しびる」臨時増刊号、平成7年7月
- (2) (社) 地盤工学会：阪神大震災調査委員会、ライフライン部会調査中間報告書、平成7年7月

- (3) 日本水道協会：兵庫県南部地震による水道施設の被害状況と分析、平成7年6月
- (4) 神戸市水道局：神戸市水道復興計画検討委員会資料、平成7年6月
- (5) M. Hamada, R. Isoyama and K. Wakamatsu: The 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe) Earthquake, Liquefaction, Ground Displacement and Soil Condition in Hanshin Area, Association for Development of Earthquake Prediction, Aug. 1995.

Damage and features of buried structures

Shiro TAKADA, Toshihiro MAEDA and Hiroyoshi TSUJINO

This paper addressed with the damage and performance of underground watersupply systems during the Jan. 17, 1995 "Great Hanshin Earthquake". At first, statistics of the damage data concerned to buried water pipelines is described, especially for facilities located in Kobe, Ashiya and Nishinomiya cities. Then, the relations between pipe damage and permanent ground displacement as well as the water pipe damage buried nearby active faults are discussed and evaluated. The results of the analysis conducted herein indicate that the distribution of damage locations of buried pipelines was different from that of JMA Intensity 7 and , the permanent ground displacement was one of the main causes of damage to buried pipes as well as the effect of high intensity of ground motions due to wave propagation