

芸予地震による上水道配水管路の被害分析と 地震被害予測法の検討

千葉利晃* 右佐林篤司**

Study on Earthquake Damage and Earthquake Damage Estimation Method
of Water Supply Pipes caused by the Geiyo Earthquake

Toshiaki CHIBA* Atsushi USABAYASHI**

ABSTRACT

This paper outlines the damage of water supply pipes caused by the 2001 Geiyo earthquake. Many of water delivery systems in Hiroshima prefecture suffered from earthquake to water distribution and service pipes, leaving about 40,000 households without water. What kinds of pipe types were damaged are examined by the investigation at the actual location, and also mentioned the restoration of failure of water supply.

The damage rates of whole water supply pipes including damaged pipes caused by the Geiyo earthquake in Mihara city are estimated. And then, the appropriateness of earthquake damage estimation method of water supply pipes is discussed. From this earthquake damage estimation, it is discussed whether the damaged water pipes are pre-estimated to be damaged or not.

キーワード：芸予地震，上水道，配水管，地震被害，被害予測

Keywords : Geiyo earthquake, waterworks, water supply pipe, earthquake damage, earthquake damage estimation

1. まえがき

安芸灘で発生した2001年芸予地震は広島県と愛媛県にそれぞれ死者1名をだすとともに、とくに広島県においては、多数の家屋や石垣に被害を与え、島嶼部では上水道配水管の被害により長時間の断水状態が続いた。本研究はこの芸予地震によって被害を受けた上水道配水管の被害をまとめ、どのような管路が被害を受けたのかを分析するとともに、断水の復旧過程についても報告する。また、上水道配水管の被害予測法の妥当性についても検討を行った。実際に被害を受けた配水管だけでなく、三原市水道局管内の全ての配水管を対象に被害予測を行なうと、被害を受けた配水管は被害を受けると予測できたのか否かについて検討を行った。

2. 広島県下の上水道配水管の被害

2001(平成13)年3月24日15時27分、安芸灘(北緯34.1度、東経132.7度、震源の深さ約51km)を震源とする気象庁マグニチュードM_j6.7の地震が発生し、中国、四国、近畿、九州地方の広範囲に揺れが観測された。気象庁はこの地震を「平成13年(2001年)芸予地震」と命名した。広島県の熊野町、大野町、河内町、大崎町で最大震度6弱を観測した。今回の芸予地震は、上水道施設にも多くの被害を出し、市民生活に大きな影響を及ぼした。上水道の被害は愛媛県や山口県でも報告されているが、主な被害は広島県下に集中している。広島県下の埋設配水管の被害は93件と地震の規模にすれば多くの被害

* 建設環境工学科 ** 光和物産(株), 前工学研究科土木工学専攻

となった。以下、広島県下の上水道配水管の被害と断水の復旧経緯についてのみ報告する。

2.1 配水管の被害概要

1) 被害とその場所

広島県簡易水道協会の報告¹⁾によると、広島県内の水道施設の被害は表-1に示す通りである。

本研究では、給水管を除く配水管に被害があったと報告されている全市町の関係機関に聞き込み調査を行った。その結果、調査時点の古い表-1とは若干異なり、配水管

の被害は合計 101 件であり、その内、空気弁などの被害が 4 件、橋梁に添架されていた添架管と水管橋の被害が 4 件であった。したがって、埋設されていた配水管の被害は 93 件である²⁾。詳細は文献[2]を参照いただきたい。

被害場所は広島県の南部を中心にほぼ全域にわたっている。主な被害は広島市で 9 箇所、呉市 17 箇所、竹原市 7 箇所、三原市 20 箇所、廿日市市 9 箇所、豊浜町 7 箇所、河内町 7 箇所である。以下、被害の多かった地域の概要を述べておく。現在、市町村合併により市町村名が変わっているが、2001 年当時の町名を以後使用する。

表-1 市町村別地震被害の状況
Table-1 State of Earthquake damage of each area

事業主体名	被害箇所数の合計	管路被害箇所数						構造物(管路以外)の被害	
		道水管	送水管	配水管	計	給水管	合計	被害数	被害の状況
広島市	784			10	10	749	759	25	配水池壁面亀裂、場内舗装陥没等
呉市	268	11	1	16	28	161	189	79	場内舗装陥没、配水池亀裂、法面崩壊等
竹原市	158			7	7	150	157	1	井戸取水口の根詰まり
三原市	856		1	20	21	829	850	6	配水池底部破損、庁舎内壁ひび割れ
大竹市	192				0	192	192		
東広島市	264			2	2	249	251	13	配水池亀裂、敷地不等沈下等
廿日市市	15			9	9		9	6	配水池、浄水場内舗装亀裂、陥没等
熊野町	204			2	2	200	202	2	配水池壁面亀裂
下浦刈町	4			2	2	2	4		
浦刈町	1			1	1		1		
大野町	198		1	4	5	192	197	1	浄水場送水ポンプ冷却用水管破損
甲田町	2			2	2		2		
河内町	8			6	6		6	2	浄水場内陥没、舗装亀裂、擁壁亀裂等
芸予諸島	109	0	0	61	61	41	102	7	配水池調整機故障、配水池保護壁亀裂
江能広域	433		1	23	24	408	432	1	配水池壁面の亀裂等
県企業局	11		2		2		2	9	仕切弁、空気弁破損等
計	3715	13	7	176	196	3348	3544	171	

2) 地域別概要

広島市：配水施設などの施設被害は 25 箇所であるが、すべて軽微な被害であった。また、主要配水池 13 箇所の内、手動にしていた 1 箇所を除き緊急遮断弁はすべて正常に動作したとのことである。したがって、復旧作業も順調で、24 日 17:40~20:30 の間に全て復旧作業を完了している。配水管などの被害による断水はなかったとのことである。

呉市：最も多くの断水となったのが呉市であり、水道施設の被害は 268 箇所にのぼる。その内配水管の被害は 17 箇所である。配水管以外の被害で断水に大きな影響を与えたものは無い。21,000 戸の断水となった呉市であるが、この主な原因は、広町田で管径 400mm および同じ呉市東部地区の配水管(3 箇所)の被害により、休山隋道配

水池(20,000m³)の流量が通常の 2 倍という異常な値を示したため、休山隋道配水池の出口のバルブを閉め給水を停止したことによる。

三原市：三原市は震源から離れていたにもかかわらず大きな揺れとなった地域である。埋立地などの軟弱地盤に埋設された管路に被害が集中し、配水管の被害は 20 箇所にも及んだ。配水管の破損箇所は埋立地が 13 箇所、河川添架 2 箇所、高台住宅地 2 箇所およびその他 3 箇所である。

廿日市市：配水管 9 箇所に被害があったが、その内 7 箇所は海を埋め立てた埋立地内である。この内、阿品 3 丁目では埋設年度が平成 11 年度という新しいダクタイル鉄管が 5 箇所にわたってジョイントの抜けという被害(図-1)を受けている。



図-1 廿日市市阿品の DCIP 配水管の被害位置
Fig.1 Location of damage of DCIP pipes
at Ajina, Hatsukaichi

2.2 被害管路の検討

埋設配水管の被害 93 件を以下検討する。被害の多かった広島市、呉市、三原市および廿日市市の 4 市と、河内町および豊浜町の 2 町の被害形態を整理すると、次の表-2 のようになる。なお、表中の下段は管種別の被害件数であり、CIP は铸铁管、DCIP はダクタイル铸铁管、VP は硬質塩化ビニール管、SP は鋼管、AP は石綿セメント管を表す。

この表から分かるように、広島市、三原市、廿日市市の場合、継手部の被害が大半を占めている。それに対し、呉市の場合、他の 3 市とは違い管破損が被害の大半を占めている。これは他の 3 市に比べ呉市には、古い管が多く残っていたためであろう。

表-2 4 市 2 町埋設配水管の被害形態別被害件数
Table-2 Number of damage of buried water supply pipe
classified by failure type

	管体破損	継手部被害
広島市	2	7
	CIP=1, VP=1	CIP=2, DCIP=2, VP=3
呉市	13	2
	AP=1, VP=1, CIP=11	VP=11, DCIP=2, SP=2
三原市	3	15
	CIP=2, DCIP=1	VP=11, DCIP=2, SP=2
廿日市市	1	8
	AP=1	VP=1, DCIP=7
河内町	2	4
	VP=2	DCIP=4
豊浜町	7	0
	AP=7	

広島県で被害のあった市町村の内、広島市、三原市、廿日市市、呉市の管種別配水管総延長から求めた被害率を表-3 に示す。この表には、兵庫県南部地震の際の神戸市および宮城県沖地震の際の被害率も示している。

管径、管種、敷設年代と被害形態との関係などをクロス表より図示したものが図-2～図-4 である。なお、被害形態については、継手部の破損、抜け、離脱をまとめて継手破損として図示している。図-2 より、管径が 100～150mm の管は管破損が多く、75mm の管は継手部の被害が多いことがわかる。また、図-3 からは、VP および DCIP では継手の被害が多く、CIP では管破損が多い。耐震性が高いといわれている DCIP 管も、耐震継手を用いないと、その良さを発揮できないことが分かる。図-4 の敷設年代と被害形態との関係より、新しい管は継手の被害が多く、管破損は古い管に多くみられている。古くなれば管体もろくなるので管破損が増えてくるという当然の結果である。

敷設年代と管種、管径の関係では、1960 年代以降の配水管に被害が多い。これは、1960 年代以前の古い管が相対的に少なく、被害件数としてはあまり出てこなかったからであろう。

敷設年代と管種の関係では、1990 年代に敷設された新しい DCIP 管の被害が多い。これは廿日市市で液状化による地盤変状により、一地区で 5 箇所まとめて壊れたためである。このような軟弱地盤に敷設する場合には、耐震継手が必要であることを示している。耐震継手を用いた DCIP 管の被害は、今回の地震でも見られていないことから、この耐震継手の重要性が理解できる。

2.3 現地調査による検討

次章で述べる被害率が小さく評価されているにもかかわらず、実際には被害を受けた以下の 5ヶ所の被害管路の場所を現地の写真と共に検討してみる。

写真-1 は铸铁管 (CIP)、管径 150mm、直管継手部抜けの被害場所である。被害場所は、このように高台の造成団地の端の崖の際に位置している。写真-2 はダクタイル铸铁管 (DCIP)、管径 200mm、直管継手部抜けの被害場所である。このように、被害場所は坂の中腹あたりであり、急な坂道が続いており、斜面のすぐ際に位置している。

実際に現地を訪れてみると、被害率が小さいにもかかわらず実際には被害を受けた管路は、高台など地理的に複雑な地形に位置していた。このように被害率が小さいと評価された管も、現地で見ると高い擁壁の側である場合が多い。急傾斜地の危険度の評価を大幅に取り入れる必要がある。

表-3 各市の被害率
Table-3 Damage rate of each city

		AP	VP	CIP	DCIP	SP	計
三原市	総延長 (km)	0.39	182.6	306.9		61.1	550.99
	被害件数	0	11	2		2	15
	被害率 (件/km)	0.000	0.060	0.007		0.033	0.027
広島市	総延長 (km)	23	24	297	2946	29	3319
	被害件数	0	4	3	2	0	9
	被害率 (件/km)	0.000	0.167	0.010	0.001	0.000	0.003
呉市	総延長 (km)	5	205	342	332	15	899
	被害件数	1	2	11	1	0	15
	被害率 (件/km)	0.200	0.010	0.032	0.003	0.000	0.017
廿日市市	総延長 (km)	2.8	22.1	0.16	241.7	3.6	270.36
	被害件数	1	1	0	7	0	9
	被害率 (件/km)	0.357	0.045	0.000	0.029	0.000	0.033
4市合計	総延長 (km)	31.19	433.7	946.06	3519.7	108.7	5039.35
	被害件数	2	18	16	10	2	48
	被害率 (件/km)	0.064	0.042	0.017	0.003	0.018	0.010
神戸市	神戸市		0.464	1.52	0.439	0.466	
宮城県沖	宮城県沖	0.48	0.27	0.17	0.04	1.24	

* 広島市および呉市の敷設延長距離は文献[3] (水道協会雑誌)による。

* 铸铁管,ダクタイル铸铁管については,三原市が区別せずに集計しているため,他の3市の平均とした。

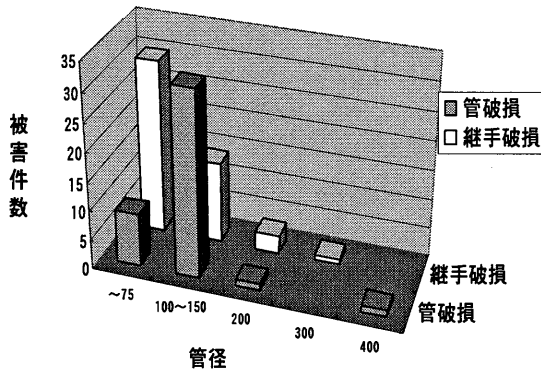


図-2 管径・被害形態別被害数
Fig.2 Number of damaged pipes of failure type and pipe size

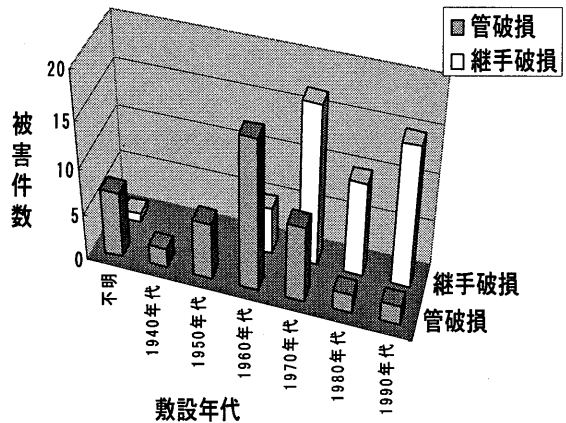


図-4 敷設年代・被害形態別被害数
Fig.4 Number of damaged pipes of failure type and construction year

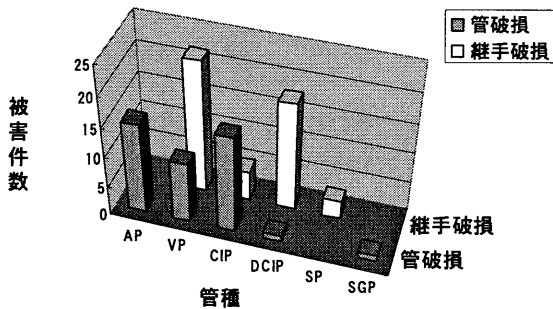


図-3 管種・被害形態別被害数
Fig.3 Number of damaged pipes of failure type and pipe type

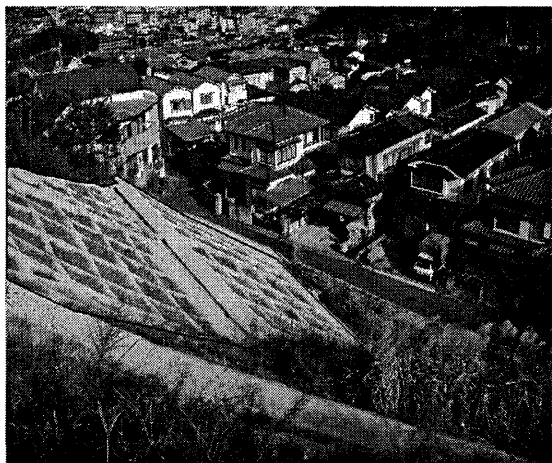


写真-1 広島市安佐南区長東西
Photo-1 Damage site at Hiroshima



写真-2 広島市安佐南区相田
Photo-2 Damage site at Hiroshima

2.4 各地の断水の状況と復旧過程

地震発生後、県内各地で水道管の破損が相次ぎ、断水した市町村は6市17町、約40,000戸であった。断水した市町村は、広島市、廿日市市などの県西部から、三原市、河内町などの県中央部、南部沿岸、安芸灘にかけて広範囲に広がっている。主な被害は、広島市で9箇所、呉市17箇所、竹原市で7箇所、三原市で20箇所、廿日市市で9箇所、豊浜町7箇所、河内町7箇所である。広島県内の断水戸数は広島県保健部調べで40,187世帯であるが、今回の聞き込み調査により38,466世帯に修正した。

約4万世帯が断水した主な原因は、広町田の管径400mmの配水管および同じ呉市東部地区の配水管(3箇所)の被害であり、地震発生直後の3月24日、15時30分頃、休山隧道配水池(20,000m³)の流量計が通常の2倍という異

常な水量を記録した。この状態が続くと道路の陥没など二次災害の発生が懸念されるため、配水池の出口(阿賀側)のバルブを閉め給水を停止した。このため呉市の東部地区(阿賀、広、仁方地区)で21,000世帯が断水した。

芸予諸島および川尻町へは、図-5に示すように呉市を経由して県の用水が供給されている。呉市で供給を停止したため川尻町では町全域の断水(5,562戸)となったのをはじめ、芸予諸島7町で断水(合計9,112戸)した。このように芸予諸島全島で断水したが、上水道施設そのものの被害はけっして多くない。断水の主な原因は呉市からの1ルートのみによる給水である。現在、芸予諸島では双方向から給水ができるよう竹原市から芸予諸島の東側に新しく配水のルートが完備され、2ルートによる給水ができるシステムになっている。

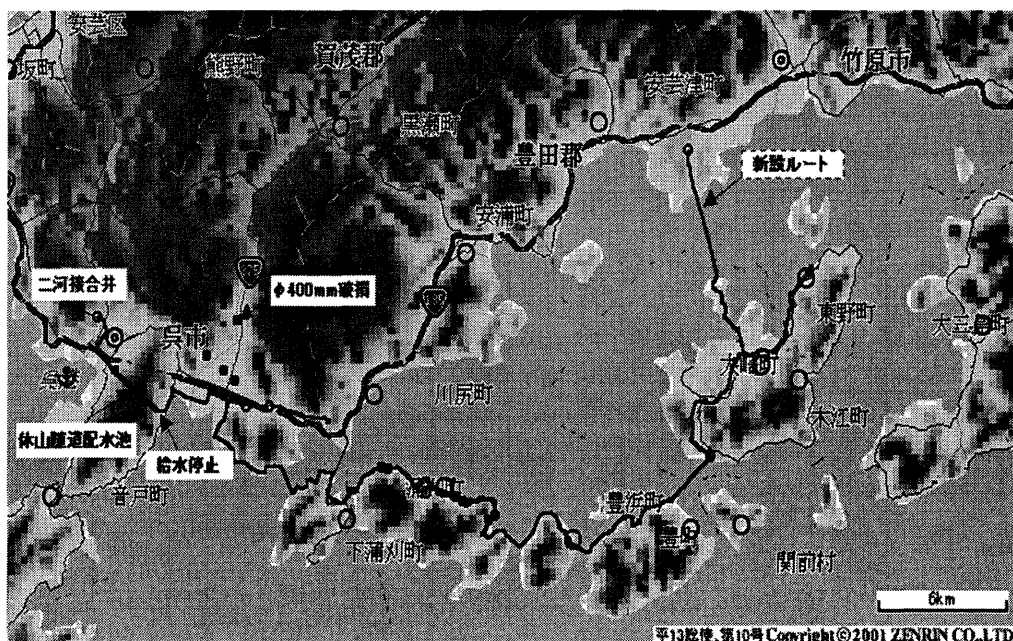


図-5 芸予諸島および川尻町への給水ルート
Fig-5 Water supply roots to Geiyo Islands and Kawajiri-cho

断水の復旧曲線は図-6 に示す通りである。完全復旧は4日目の3月27日午前7時、地震発生から73時間半後であった。復旧曲線については特に変わったことは認められない。

供給開始から完全復旧まで軒並み5時間から10時間ぐらいである。しかしながら、川尻町と豊浜町では完全供給までに1日以上かかっている。豊浜町で復旧までに時間がかかったのは、水の供給開始後配水管の被害箇所が見つかったからである。一方、川尻町の場合は、広島県企業局によると川尻町へは25日18:00より水の供給を開始しているが、川尻町の断水の完全復旧は約24時間後の26日の17:35になった。このように県の供給開始から断水復旧までに時間がかかった理由は、地震後も給水を続け、配水地および配水管内の水が無くなったことにより、供給再開後、水の充水に時間を要したためである。このことは、地震発生後の混乱の中、如何に早くかつ正確な

情報を入手し、正確な判断を下すことの重要性を示している。

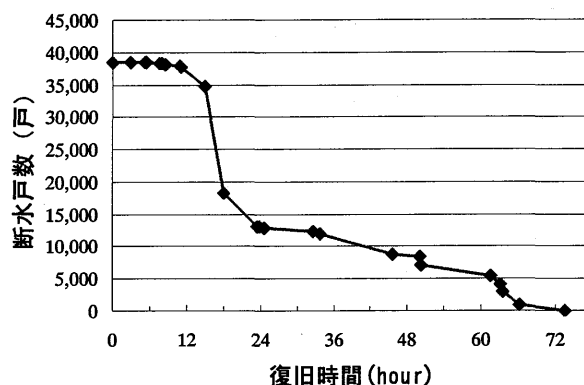


図-6 断水の復旧曲線

Fig.6 Restoration curve of failure of water supply

3. 上水道配水管の地震被害予測法の検討

3.1 三原市内の上水道配水管の被害状況

今回検討の対象とした三原市は、被害が20ヶ所と広島県下では最も多い配水管の被害を受けた地域である。表

-4 に被害の一覧を示す。なお、地震被害率の推定はこれら20管路のみで無く、三原市の7,382管路総てについて行なっている。

表-4 三原市内の配水管路被害一覧
Table-4 Damage of water supply pipes at Mihara city

No	管路	管径	管種	敷設年	被害状態	参考
1	1	150	DIP	1977	胴折破損	港 埋立地(昭和初期)
2	2	50	SP	1955	ネジ部破損	埋立地(昭和初期)
3	3	50	VP	1978	接続部破損	埋立地(昭和初期)
4	4	50	VP	1976	ネジ部破損	
5	5	50	CIP	1955	ネジ部破損	
6	6	75	DIP	1979	継手離脱	
7	7	50	VP	1972	接続部破損	
8	8	75	DIP	1976	接続部破損	沼田川に近い
9	9	75	VP	1979	接続部破損	
10	10	75	DIP	1982	胴折破損	道路片側 崖
11	11	50	VP	1974	接続部破損	川のそば
12	12	150	SP	1971	継手離脱	添架管
13	13	150	SP	1971	接続部破損	川のそば
14	14	300	DIP	1999	溶接部破損	水管橋
15	15	50	VP	1973	接続部破損	埋立地(昭和初期)
16	15	50	VP	1973	接続部破損	埋立地(昭和初期)
17	16	100	DIP	1991	継手離脱	埋立地(昭和初期)
18	17	150	CIP	1951	胴折破損	狭い下り坂の一番下
19	18	30	SP	1962	ネジ部破損	造成された境内 2m 位の石垣
20	19	100	VP	1968	接続部破損	沼田川に近い

3.2 配水管の地震被害予測法

配水管の被害率は、過去の地震被害例を参考にして、管種別、管径別、敷設年代別および地盤別に重み係数を設定し、1 km あたりの被害件数として推定される。被害率 R (被害件数/km) は次式により推定するものとする。

$$R = c \times w_1 \times w_2 \times w_3 \times w_4 \times w_5 \quad (1)$$

- c : 鋳鉄管 (CIP) の標準被害率 (被害件数/km)
- w_1 : 管種別重み係数
- w_2 : 管径別重み係数
- w_3 : 年代別重み係数
- w_4 : 地盤別重み係数
- w_5 : 液状化係数

想定総被害件数は次式によって推定される。

$$a = \sum_{i=1}^n (R_i \times L_i) \quad (2)$$

- a : 想定総被害件数
- n : 総管路数
- R_i : 式(1)によって求まる被害率
- L_i : 配水管の管路長
- i : 管路番号

鋳鉄管 (CIP) の標準被害率 c は磯山らが提案した次に示す式 (3) を用いた⁴⁾。

$$c(\alpha) = 2.88 \times 10^{-6} (\alpha - 100)^{1.97} \quad (3)$$

ここで α は地震加速度 (gal) である。

式 (3) は兵庫県南部地震時の配水管の被害例を元にして求めたものである。兵庫県南部地震以前に主に用いられていた CIP の標準被害率は、同じく磯山らが提案した式 (4) である。

$$c(\alpha) = 1.698 \times 10^{-16} \alpha^{6.06} \quad (4)$$

式 (3)、式 (4) による標準被害率を図-7 に示しておく。この図からも分かるように、兵庫県南部地震後、標準被害率は大幅に下方修正された事が分かる。

式 (3) は加速度を用いた CIP の標準被害率であるが、磯山らは震度による CIP の標準被害率は示していない。そこで、震度より各配水管の被害率を推定するために、加速度を震度に置き換えて、震度による CIP の標準被害率を求めた。

震度 I に対応する加速度の中央値は⁵⁾、

$$\log \alpha = \frac{I}{2} - 0.35 \quad (5)$$

震度 $I=4, 5, 5.5, 6, 6.5$ に対応するそれぞれの加速

度の中央値を式 (5) より求め、この加速度の中央値より、震度階別の CIP の標準被害率を式 (3) より求めて使用した。

このようにして求めた震度別の CIP の標準被害率 c を表-5 に示しておく。なお、各重み係数を以下、表-6~表-10 に示す。

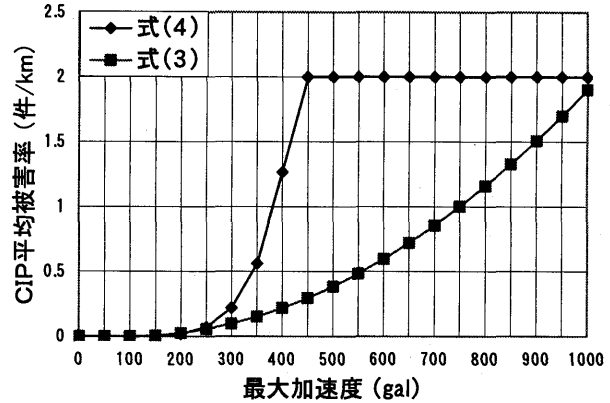


図-7 最大加速度と CIP 被害率の関係

Fig-7 Relationship between maximum acceleration and damage rate

表-5 震度別 CIP の標準被害率 c

Table-5 Standard damage rate of CIP

震度	震度別標準被害率 c_k (件/km)
~IV	0.001
V弱	0.01
V強	0.06
VI弱	0.3
VI強	1.2

表-6 管種別重み係数 w_1

Table-6 Weighting coefficients for pipe type

種類	重み係数 w_1
ポリエチレン管 (PP)、 硬質塩化ビニルライニング鋼管 (LP)	1.5
石綿セメント管 (ACP)	1.2
硬質塩化ビニール管 (VP)	1.0
鋳鉄管 (CIP)	1.0
ダクタイル鋳鉄管 (DCIP)	0.3
鋼管 (SP)、 水道用ステンレス鋼管 (SUS)	0.3

表-7 管径別重み係数 w_2

Table-7 weighting coefficient for pipe diameter

管径	重み係数 w_2
75mm以下	1.5
100mm~150mm	1.2
200mm~250mm	1.0
300mm~450mm	0.8
500mm以上	0.5

表-8 年代別重み係数 w_3

Table-8 Weighting coefficients for construction year

年代	重み係数 w_3
1950年以前	1.5
1950-1975年	1.2
1975年以降	1.0

表-9 地盤別重み係数 w_4

Table-9 Weighting coefficient for ground

地盤種別	重み係数 w_4
洪積層以前	0.6
沖積層A型	1.1
沖積層B型	1.5

表-10 液状化係数 w_5

Table-10 Weighting coefficient for liquefaction

液状化危険度	液状化係数 w_5
A:大	2
B:中	1.5
C:小	1
×:なし	1

3.3 三原市上水道配水管の被害予測

本研究で使用した三原市水道局管内の配水管データは三原市水道局より提供して頂いた、総延長 632,161.26m、管路本数 8,802 管路の莫大な数の配水管である(図-8)。この内、管種・管径等のデータがない管路と配水管以外

の管路を除いた、7,382 管路(560,467.35m)について予測を行い、地震被害予測法の妥当性の検討を行った。なお、三原市の地盤分布および震度分布は図-9 および図-10 に示すとおりである。

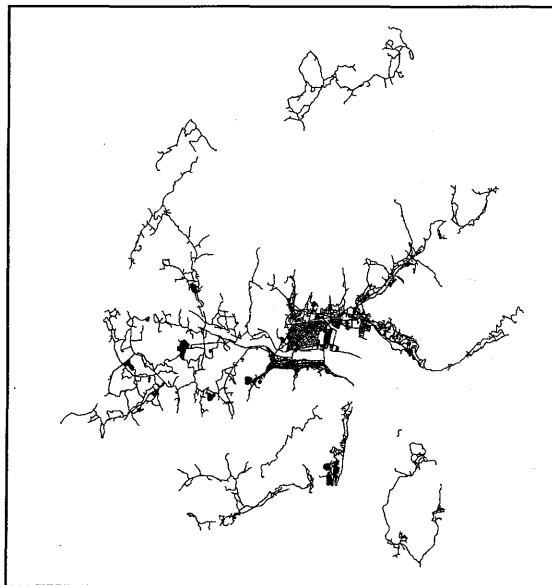


図-8 三原市配水管図

Fig-8 Water supply pipes in Mihara city

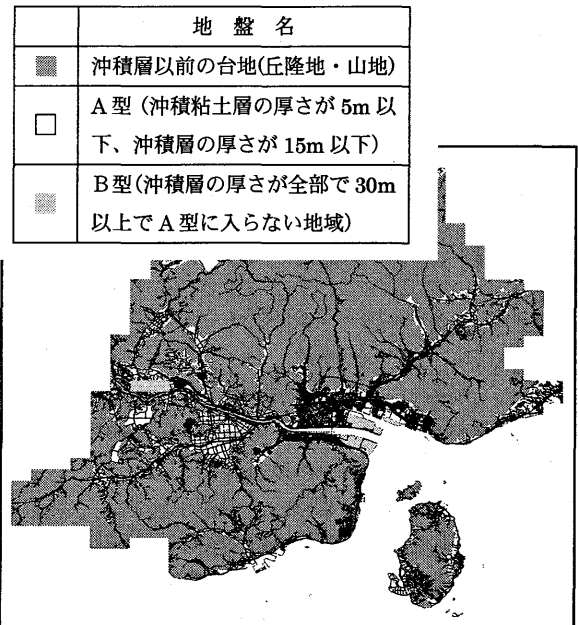


図-9 三原市の地層分布図

Fig-9 Stratum in Mihara city

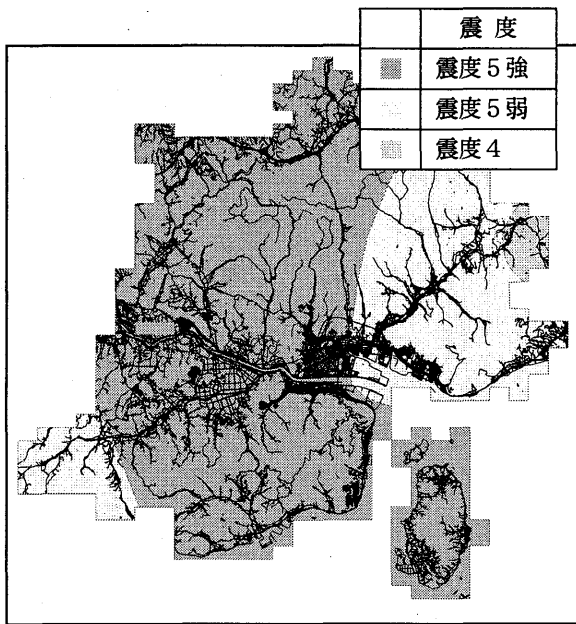


図-10 三原市の震度分布

Fig-10 Earthquake Intensity in Mihara city

式(1)より求めた各管路の震度による被害率を図-11 に

示す。図中、白抜き三角の点は実際に被害を受けた配水管の被害率を示し、黒点はその他の配水管の被害率を示している。この図からも分かるように、被害率が 0.05 件/km 以下という小さな被害率にもかかわらず、実際には被害を受けた管路が 10 本もある。被害率は被害を受ける管路を特定するものではないとはいえ、被害予測の難しさを表している。

表-11 および図-12 は震度を用いて求めた管路の被害率の度数分布表およびその度数分布図である。

式(2)より、想定総被害件数を求めると 39 ケ所となった。実際に被害を受けたのは 20 ケ所であるから、1.95 倍の被害件数である。多いようにも感じるが、兵庫県南部地震の被害を使って CIP の標準被害率が見直された結果、想定被害件数が大幅に少なくなり、被害想定としてはほぼ妥当な結果が得られていると考えてよさそうである。

なお本報告では省略するが、加速度を用いた被害率も求めている。震度と加速度の対応がうまくいっていないため震度に比べて非常に大きな加速度となっているため、総被害件数は 348 件と非常に大きな予測値となった。

管径別平均被害率とその標準偏差を管種別に図-13～図-16 に示しておく。

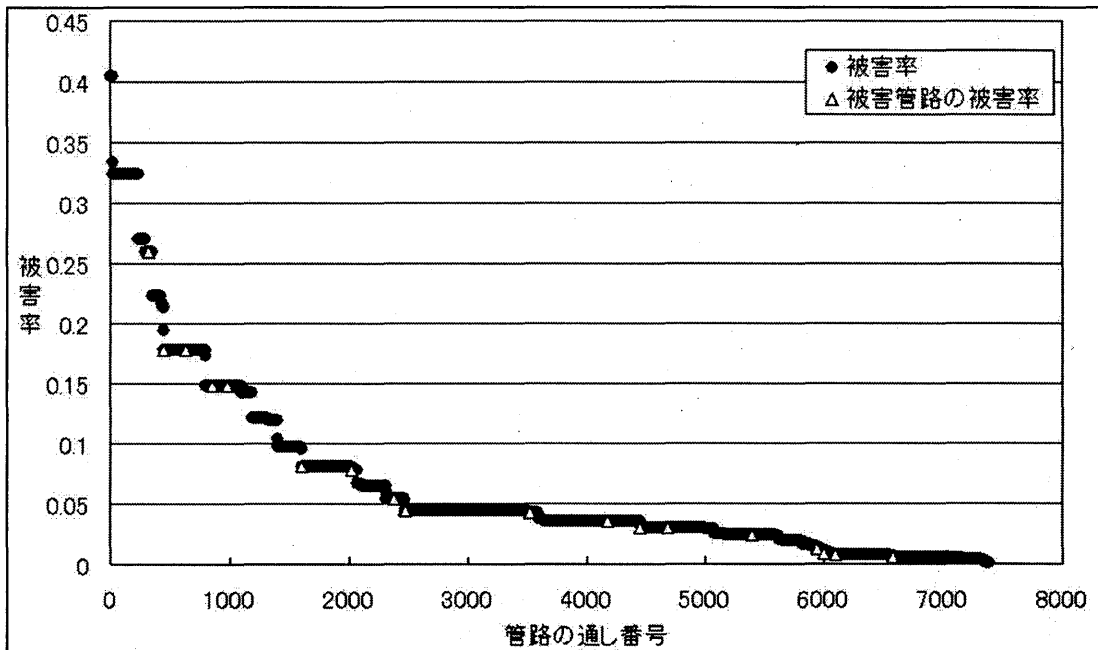


図-11 全管路の震度による被害率

Fig-9 Damage rate of whole water pipes

表-11 被害率の度数分布表

Table-11 Frequency distribution of damage rate

被害率の階級値	度数(管路数)	相対度数	累相相対度数
0.4~	15	0.002	0.002
0.35~0.4	0	0.000	0.002
0.3~0.35	219	0.030	0.032
0.25~0.3	115	0.016	0.047
0.2~0.25	94	0.013	0.060
0.15~0.2	353	0.048	0.108
0.1~0.15	602	0.082	0.189
0.05~0.1	1073	0.145	0.335
~0.05	4911	0.665	1.000
合計	7382	1.000	

想定総被害件数=39

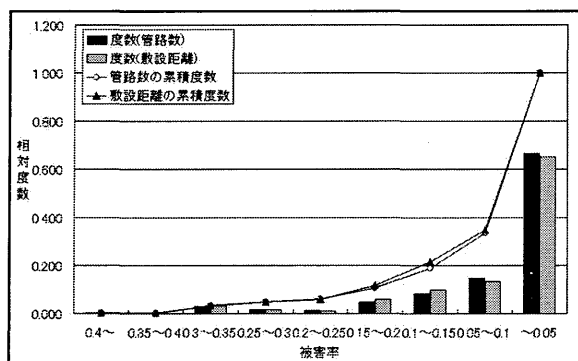


図-12 被害率の度数分布図

Fig-12 Frequency distribution of damage rate

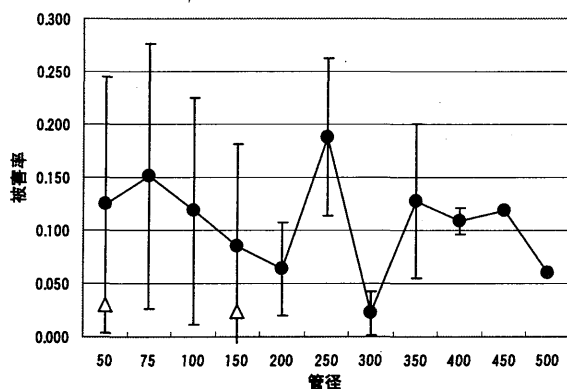


図-13 CIPの平均被害率と標準偏差

Fig-13 Average damage rate and S.D. of CIP

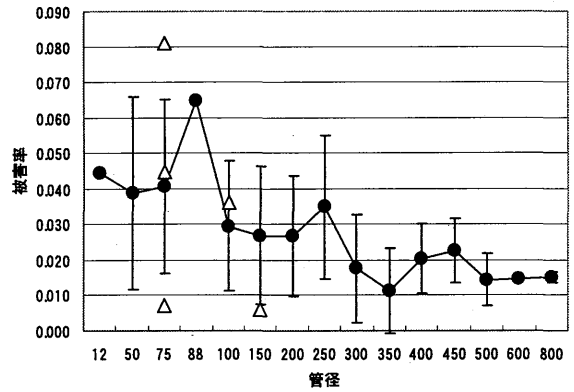


図-14 DCIPの平均被害率と標準偏差

Fig-14 Average damage rate and S.D. of DCIP

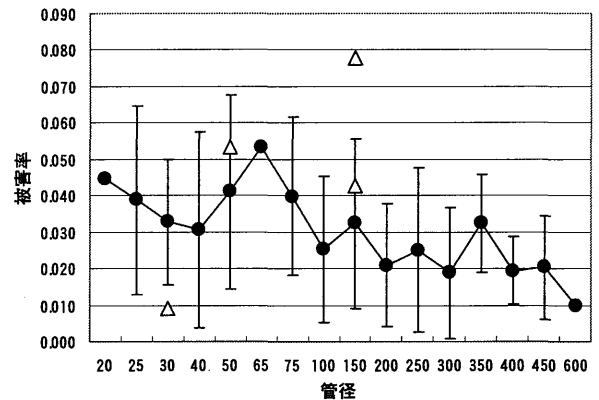


図-15 SPの平均被害率と標準偏差

Fig-15 Average damage rate and S.D. of SP

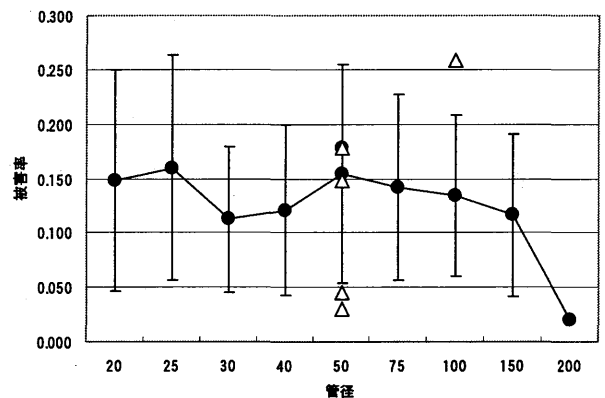


図-16 VPの平均被害率と標準偏差

Fig-16 Average damage rate and S.D. of VP

図-13～16 中の△印は芸予地震の際に実際に被害を受けた管路の被害率を示し、●印は全管路の被害率(管種・管径別)の平均値を表している。なお、標準偏差は縦の線で示している。平均被害率より小さな被害率にもかかわらず被害を受けた管路は、CIPでは、No.5(表-4中の管路番号、以下同じ)のφ50、1955年の古い管、港の側の埋立地、ねじ部破損とNo.17のφ150、1951年の古い管、平地から山に登る境界(意外に大きな揺れになる場合がある)の2箇所。DCIPではNo.1のφ150、港湾岸壁の近く、1977年、胴折破損とNo.6のφ75、1979年、継手離脱の2箇所。SPでは、No.18のφ30、1962年の古い管、高さ約2mの石垣で造成された境内の脇、ネジ部破損の1箇所。VPでは、No.3のφ50、1978年、港の側の埋立地、接続部破損とNo.7のφ50、1972年、港の近くの川の側、接続部破損

の2箇所、合計20箇所中7箇所である。これらは、No.6(DCIP)を除き、地盤条件の悪い所とか古い管など、壊れるそれなりの理由が見受けられる。このような点を地震被害予測に取り入れる必要がある。

被害率が0.4以上の管路を図-17に示す。図-17には被害を受けた20箇所のうち、9箇所が入っている。この図からもわかるように、被害率が高いからといって、実際に被害を受けているわけではないことがわかる。被害率は統計的に見た壊れ易さの確率であって、被害率が高いものほど壊れる確率が高い事を意味しているだけで、必ず被害を受けるという保証を与えるものではない。

なお、本解析はGISを用いているので、図-17に示すように、被害率0.4以上の配水管といった表示が簡単に出来る特徴がある。GISの大きな特徴の1つである。

	地盤
■	洪積層以前
□	A型
▨	B型
	管路
—	被害率0.4以上の配水管
—	被害率0.4以下の配水管
●	被害箇所

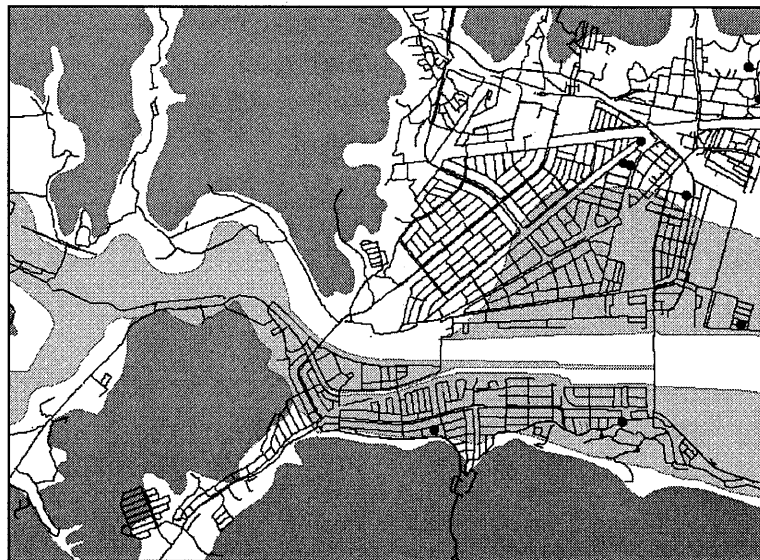


図-17 被害率0.4以上の配水管路と実際の被害場所

Fig-17 Water supply pipes with over damage rate 0.4 and the actual damaged sites

6. まとめ

本研究では、芸予地震における上水道配水管の被害を現地調査や各水道局への聞き取りを通じて、その被害形態を分析した。また、全被害管路の地震被害率を求めるとともに、三原市においては三原市水道局管内の全管路の被害率をも求め、芸予地震時に被害を受けた上水道配水管の被害予測結果と、被害を受けなかった配水管の被害予測結果を比較する事により、配水管の地震被害予測法

の妥当性を検討した。今回の研究結果をまとめると以下のようなになる。

- ・ 耐震性の低いAP管がまだ広島県内には残っている。早急に新しい管に取り替える必要がある。
- ・ アーク溶接されたSP管の被害は今回見受けられなかった。SP管を用いる場合には、アーク溶接とすべきであろう。
- ・ 継手部の被害が今回も多く見られた。安価な耐震継手が望まれる。

- ・ 急傾斜地や埋立地などに敷設する場合には必ず耐震継手を用いる必要がある。
- ・ 敷設年代による平均被害率が示す通り、耐震性に優れているDCIPの敷設本数が増加すると平均被害率も減少している。また、耐震継手が用いられているDCIPには被害が見られなかったことから、DCIPの管種だけでなく管路を繋ぐ継手を耐震継手にする事で、更なる耐震化が期待できよう。
- ・ 被害率が低いと予測されたにもかかわらず被害を受けている管路は急傾斜地といった地盤条件の悪い場所に敷設されていたものが多い。
- ・ 地震被害予測法を用いた場合の想定被害件数は39件と、実際に被害を受けた20ヶ所の約2倍であるから、ほぼ妥当な被害予測が行なわれることがわかった。これは1995年の兵庫県南部地震による多くの配水管の被害データからCIPの標準被害率が見直された結果である。
- ・ 地盤を洪積層以前、A型、B型の3種類に分類して被害予測を行っているが、同じ地盤でも急傾斜地などの条件の悪い場所に敷設されている管路の重み係数をどのように組み入れるかが今後の課題であろう。
- ・ 継手部の重み係数を被害想定に組み込む必要もある。本報告では、紙面の都合で省略した事項も多い。詳細は、文献[2]、[6]、[7]を参照いただきたい。

謝辞

本報告を纏めるにあたり、各市町の水道局には多くの

データを提供頂いた。特に、三原市水道局には、全配水管のぼう大なデータベースを提供頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- [1] (社)広島県簡易水道協会：平成13年度広島県水道実務講習会テキスト，(2002.2.7)
- [2] 千葉利晃：上水道施設の被害，平成13年度芸予地震による都市地震災害に関する総合的調査研究，平成13年度科学研究費補助金研究成果報告書，研究代表者 中山隆弘，pp128-138，(2002.2)
- [3] 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)
- [4] 磯山龍二，他：水道管路の地震被害予測に関する研究，水道協会雑誌，pp.25~40，(1998.2)
- [5] 宇津徳治 総集編：地震の辞典，朝倉書店，pp.306-307，(1987)
- [6] 住田宗輝：2001年芸予地震における上水道配水管路の被害分析，福山大学大学院工学研究科土木工学専攻修士論文，(2003.2)
- [7] 右佐林篤司：芸予地震による三原市上水道配水管の被害例をもとにした配水管の地震被害予測法の検討，福山大学大学院工学研究科土木工学専攻修士論文，(2006.2)