

数量化理論Ⅱ類を用いた上水道管路の被害要因分析

金沢大学工学部 正会員○村田 晶
金沢大学大学院自然科学研究科 正会員 宮島 昌克
金沢大学工学部 正会員 北浦 勝

1. はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震はマグニチュード7.2の大きな直下型地震であり、5,500名を超える死者、約10兆円ともいわれる被害をもたらした地震であった。また、上水道システムが機能を喪失したため、市民生活を営む上で重大な影響が出た。そこで本研究では、特に管路埋設地盤特性を考慮に入れて、上水道管路の被害特性を数量化理論Ⅱ類を用いて定量的に分析する。このことを基に、今回の兵庫県南部地震における上水道管路被害特性を明らかにすることが本研究の目的である。分析対象とする上水道システムは、被害数も多く、かつ比較的精度の高い被害データがそろっている、神戸市水道局管内の神戸市中央区・灘区・東灘区における上水道配水管路とする。

表1 管径別被害率

2. 上水道配水管路被害の特徴 (1) 管路に起因する被害要因

敷設延長距離のほとんどがダクタイル鋳鉄管で構成されているため、被害データとしてはダクタイル鋳鉄管のみを扱うことにする。管径別の被害率を表1に示す。主な配水管の口径は100, 150, 200, 300 mmであり、これらで敷設延長距離の約85%を占める。これらの口径における被害率には大きな差はなく、管体の折損で0.22~0.32 (箇所/km)、継手部の離脱で0.32~0.59 (箇所/km) と、継手部の離脱の被害率が大きくくなっている。また、他の口径についても同様な傾向があり、継手部の離脱の被害が卓越している。この理由としては既往の地震による上水道管路被害と同様に、ダクタイル鋳鉄管の管体強度に比べて継手強度の方が弱いためであると考えられる。ところで、一般的に口径が大きくなるほど管体強度・継手許容量が増加するのに対して、口径が大きくなるほど被害率の低減する傾向がそれほど見られないことから、管路に起因する要因以外にも被害要因のあることが読み取れる。

(2) 地質・地盤形態と管路被害との関係¹⁾

地質形態と被害種別の関係を敷設距離当たりの被害率で見たものを図1に示す。特に埋立地、砂・粘土層における継手部の離脱による被害率が、それぞれ1.77 (箇所/km)、0.91 (箇所/km) と高くなっている。また、管体の折損による被害についても同様に埋立地、砂・粘土層における被害率がそれぞれ0.72 (箇所/km)、0.56 (箇所/km) と高い。これらの理由としては、液状化現象などによる地盤変状の影響が大きく現れていると考えられる。さらに埋立地での管体・継手の被害率を合わせると2.49 (箇所/km) となるが、この値は、既往の地震で顕著な液状化被害の報告された新潟地震の被害率3.31 (箇所/km)、日本海中部地震の被害率3.26 (箇所/km) と比べると、今回の地震の方がやや小さい値を取るものの調和的な傾向が見られる²⁾。ところが同じ埋立地盤である六甲アイランドにおける被害は件数としては4件、被害率は0.09 (箇所/km) と先の値の約30分の1である。この理由としては、六甲アイランドでは上水道配水管として耐震継手が採用されているため、大規模の地盤変状にも追従できたからではないかと考えられる。ところで花崗岩地盤における管体の折損による被害率が0.52 (箇所/km) と比較的大きな値となっているが、これにはこの地盤の近くを活断層が走っているために、局所的な地盤変形や震源に近いことによる上下動を含めた衝撃的な加速度の影響が考えられる。

つぎに永久変位(水平変位)、地盤沈下と管路被害の関係³⁾を配水管路の敷設距離当たりの被害率として図2、図3に示す。今回の分析では、地盤変状が報告されなかった地域の被害箇所は分析から除外している。図2に示すように、永久変位量50 cm未満を除くと管体・継手部の合計被害率は2.76~3.73 (箇所/km) と高い値となっている。また、それらの値について変形量の増加に伴う被害率の増加は見られない。このことから変形量が50 cmを越える地盤においては、地盤のひずみが管体強度・継手変形量に対する許容量を上回るため、何らかの耐震補強策が必要になると言える。また、図3に示すように、地盤沈下に対する被害率の相関はあまり高くないが、どれも高い値を取っているこ

口径(mm)	敷設距離	管体の折損 被害率	継手部の離脱 被害率	合計被害率
900	13.338	2 0.15	8 0.60	0.75
800	3.320	0 0.00	5 1.51	1.51
700	16.968	1 0.06	3 0.18	0.24
600	6.958	0 0.00	1 0.14	0.14
大口径管	40.584	3 0.07	17 0.42	0.49
500	20.207	2 0.10	1 0.05	0.15
400	16.470	8 0.49	18 0.97	1.46
350	0.140	0 0.00	1 7.14	7.14
300	128.958	30 0.24	75 0.59	0.83
中口径管	163.775	40 0.24	93 0.57	0.81
250	15.851	6 0.38	10 0.64	1.02
200	190.947	52 0.27	82 0.43	0.70
150	379.015	83 0.22	166 0.44	0.66
125	3.196	1 0.31	0 0.00	0.31
100	120.571	39 0.32	39 0.32	0.65
75	37.497	5 0.13	6 0.16	0.29
50	5.781	1 0.17	0 0.00	0.17
小口径管	752.660	187 0.25	303 0.40	0.65
合計	957.019	230 0.24	413 0.43	0.67

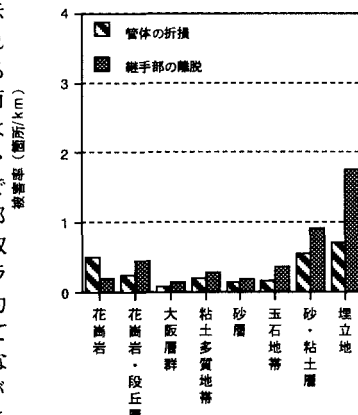


図1 地盤形態別被害率

とから、地盤沈下が起きるような液状化地盤などの軟弱地盤は、沈下の程度にかかわらず耐震対策が必要であることを意味している。

(3) 建物被害と管路被害との関係

地震動の影響を見る指標としては強震記録や、地震応答解析結果が考えられるが、今回の分析では建物被害の程度を地震動の影響を見る指標として用いた。そこで現地調査に基づいて、建物被害の程度を被害の小さい順からレベル1～レベル4に分類したものと、管路被害の関係について分析する⁴⁾。建物被害と管路被害の関係を各レベルごとの敷設距離当たりの被害率として図4に示す。管体の折損についてはレベルによる違いはあまり見られないのに対して、継手部の離脱についてはレベル1を除くと、レベルが上がるごとに被害率が高くなっている。レベル1における継手部の離脱の値が大きくなった理由としては、レベル1と判定された地域には、臨海部の埋立地が範囲に含まれているためである。

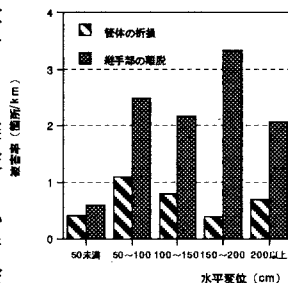


図2 永久変位（水平変位）別被害率

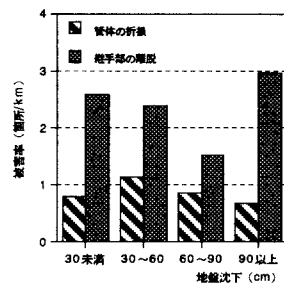


図3 地盤沈下別被害率

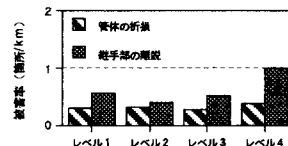


図4 建物被害別被害率

3. 数理化理論Ⅱ類を用いた上水道配水管被害の多変量解析

数理化理論Ⅱ類を用いるに当たり、アイテムとしては、管体の口径、地質・地形形態、建物被害、永久変位、地盤沈下の5つを、外的基準として被害の形態（管体被害、継手の離脱）を用いる。なお、地質・地形形態においては、分類の都合上花崗岩を基盤に、花崗岩・段丘層と大阪層群を高位段丘に、粘土多質地帯、砂層、玉石地帯を低位段丘に、砂・粘土層を沖積地に、埋立地は埋立地にそれぞれ分類している。また、アイテム間の関連性については、口径、地質・地形、建物被害を共通のアイテムとし、永久変位をアイテムとして加えた場合（case-1）、地盤沈下をアイテムとして加えた場合（case-2）に分けてそれぞれ分析を行う。

分析結果を図5に示す。紙面の都合上スコアの良い地盤沈下をアイテムとした場合（case-2）についてのみ考察する。ここで、外的基準から正の値が継手部の離脱の被害に、負の値が管体の折損の被害にそれぞれ寄与するものと考えられる。図5に示すように、管体の折損、継手部の離脱のカテゴリーウェイトはそれぞれ-1.01, 0.73となり、相関比は0.74と良い結果であった。各アイテムの寄与率（偏相関係数）としては管径が最も高く、寄与率0.49であり、高い順に地盤沈下、建物被害、地形形態の順となった。カテゴリーウェイトから、継手の離脱に寄与する要因としては、地盤沈下があること、建物被害はレベルが小さいこと、地形は埋立地か沖積地が、そして小口径管以外の口径が挙げられる。

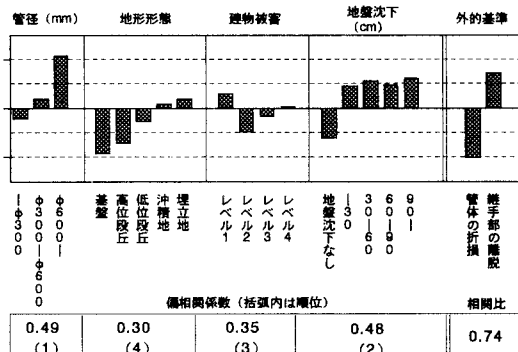


図5 数理化Ⅱ類結果 (case-2)

4. まとめ

以上の結果をまとめると以下のようである。

①数理化理論Ⅱ類を用いた分析結果と被害率で分析した結果には良い対応があり、地盤変状と管径が継手部の被害に大きく影響する。

②永久変形や地盤沈下を起こす地盤では、変状の程度にかかわらず耐震対策を講じる必要がある。現に、耐震対策を講じてあった六甲アイランドにおいては、ほとんど被害の報告がなかった。

今後は、配水管路被害の有無を判別する要因と配水管属部の被害要因について多変量分析を行う必要がある最後に本研究が文部省科学研究費（基盤研究（C））、課題番号07650539、代表 北浦 勝）の補助を受けていることを記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 藤田和夫・笠間太郎：神戸地域の地質 地域地質研究報告（5万分の1）、地質調査所、1983.3.
- 2) Miyajima, M. and Kitaura, M. : Earthquake Performance of Water Supply Pipelines During the Recent Earthquakes in Japan, Proc. of the Pacific Conf. on Earthquake Engrg., Vol.2, pp.87-96, 1995.
- 3) 浜田政則・磯山龍二・若松加寿江：1995年兵庫県南部地震 液状化、地盤変位及び地盤条件、(財)地震予知総合研究振興会、1995.9.
- 4) 中央開発（株）：1995年兵庫県南部地震 阪神大震災災害調査報告書、1995.3.