

# 1995年兵庫県南部地震の被害事例に基づく 上水道管路耐震診断法の開発

村田 晶<sup>1</sup>・宮島 昌克<sup>2</sup>・片原 道男<sup>3</sup>・車古恵美理<sup>4</sup>・北浦 勝<sup>5</sup>

- 1 正会員 工修 金沢大学助手 工学部土木建設工学科 (〒920 石川県金沢市小立野 2-40-20)
- 2 正会員 工博 金沢大学助教授 大学院自然科学研究科 (〒920 石川県金沢市小立野 2-40-20)
- 3 工修 (株)日特建設 (〒104 東京都中央区銀座 8-14-14)
- 4 金沢市土木部 (〒920 石川県金沢市広坂 1-1-1)
- 5 正会員 工博 金沢大学教授 工学部土木建設工学科 (〒920 石川県金沢市小立野 2-40-20)

1995年兵庫県南部地震は、人命、構造物はもとより上水道管路に対しても甚大な被害をもたらし、地震発生後数カ月に渡って住民の生活は困難を極めた。上水道管路の改良を行うことは当然であるが、既存の上水道管路網をすべて耐震化することは、時間的、経済的制約から極めて難しい。そこで本研究では、兵庫県南部地震の被害事例を基に、地震による被害を受ける可能性が高い管路網を特定するための上水道管路耐震診断法を提案した。耐震診断は簡易手法と詳細手法の2段階診断から成るものとした。この結果、本簡易診断手法は実際の被害とよい対応を示すこと、耐震診断を2段階とすることで、広域な診断地域内を効率的に診断できることが示された。

**Key Words :** water supply pipeline, seismic diagnosis, 1995 Hyogoken-Nambu earthquake

## 1. はじめに

上水道管路が機能を喪失すると、断水という直接の被害はもとより、地震発生後数カ月に渡って機能喪失の影響があるために、住民の生活は困難を極める。しかしながら、このような被害を被らないために上水道管路網を耐震化することは、時間的、経済的制約から極めて難しい。

そこで本研究では、兵庫県南部地震の被害事例を基に、地震による被害を受ける可能性が高い管路網を特定するための上水道管路耐震診断法を開発する。

## 2. 診断手法

診断手法のフローを図-1に示す。診断は簡易診断法および詳細診断法の2段階から成る。

### (1) 簡易診断法

簡易診断法では、地盤条件を基に地震被害危険度の推定を行う。本研究では、標準貫入試験、表層地質図、活断層履歴図等の既存データより得られる、表層付近のN値、微地形、液状化の有無、活断層の

有無を地盤条件として用いる。これらの各指標に危険度のランク付けを行い、診断地域の危険度マップを作成する。さらに、これらランクを足し合わせるにより総合危険度マップを作成し、これにより診断地域の危険度を算出する。

### (2) 詳細診断法

詳細診断法では、上水道管路網に対して修正伝達マトリックス法を用いた地震応答解析を行う。本研究では埋設管路網の解析を応答変位法で行い、管路に作用する断面力、継手部における変位量、回転量を算出することで、安全性の照査を行う。解析は管路網全体に対し同時に行う。応答変位解析に必要な地盤入力変位は、本解析では以下のように算出する。

1. 想定断層より、設計基盤面における入力地震動を設定する。
2. 重複反射理論を用いてボーリング点における地表面変位を求め、Kriging法を用いて空間的に補間したものを使用する。

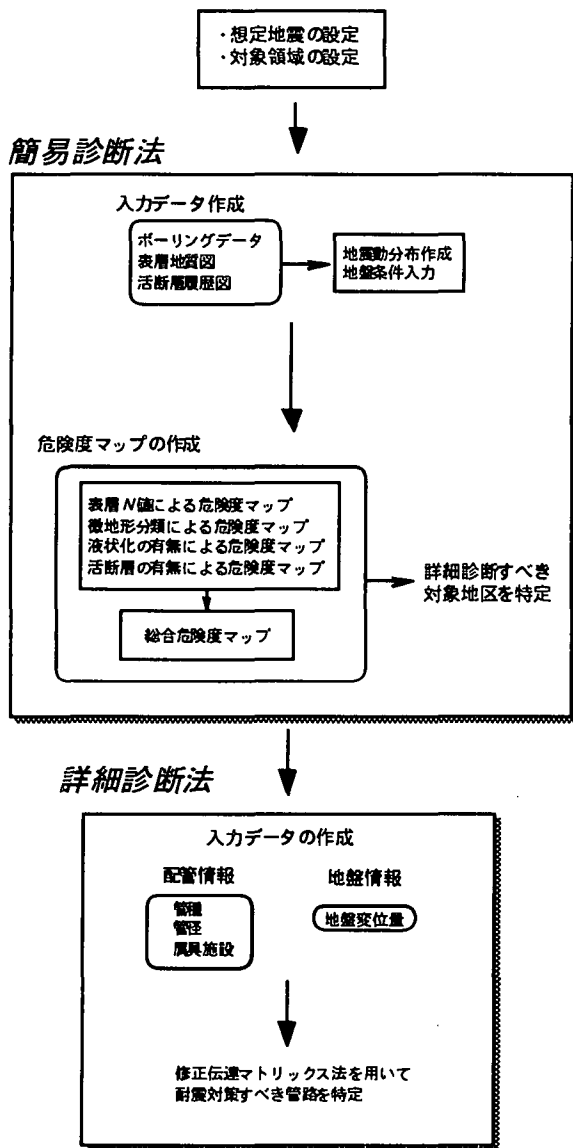


図-1 診断フロー

### 3. 兵庫県南部地震におけるケーススタディ

#### (1) 簡易診断法

2章で示した地盤条件を基に地震被害危険度の推定を行う。対象領域としては神戸市および周辺市街地とし、各指標に危険度ランク付けを行ったあと、診断地域の総合危険度マップを作成する。指標ごとの危険度ランク付けは以下のようにする。すなわち上水道配水管の敷設延長距離あたりの被害数<sup>1)</sup>より求めた被害率(件/km)を基に、危険度ランクを危険性小(ランク1)、危険性大(ランク2)の2段階とする。

本研究では、各要因のランク分けの基準として地震直後の機能停止を示す断水率(断水戸数/全給水戸数)を用いる。図-2に近年の地震による上水道配

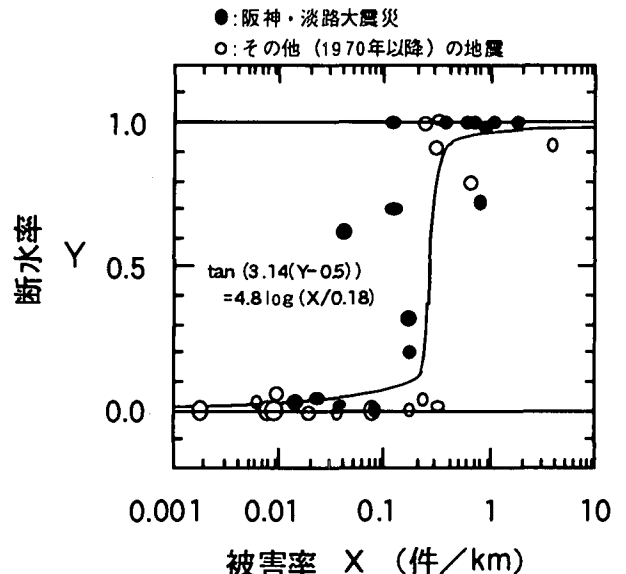


図-2 上水道配水管被害率と断水率の関係<sup>2)</sup>

水管被害率と断水率の関係を示す<sup>2)</sup>。図より配水管被害率0.2件/kmを境に断水率が急激に変化し、0.8件/kmを越えるとほぼ完全に断水すると言える。したがって、今回の診断では各要因の危険度ランク分けの境界値を上水道配水管被害率0.8件/kmと設定する。

#### a) 表層N値による危険度マップ

神戸市および周辺市街地における地表面から地下5mまでの平均N値<sup>3)</sup>と、そのメッシュ内における上水道配水管被害率の関係を図-3に示す。図に示すように表層N値5以下を除くと、N値が大きくなるに従い被害率が減少する傾向が見られる。表層N値5以下の被害率が0.29件/kmと低い値となった理由としては、軟弱地盤における液状化対策としてS型、SII型と呼ばれる耐震継手を採用した管路が多く敷設されているからであると考えられる。以上より危険度ランクは平均N値20以下をランク1に、それ以上をランク2に設定する。

#### b) 液状化による危険度マップ

神戸市および周辺市街地における液状化分布と上水道配水管被害率の関係を図-4に示す。液状化分布については、航空写真等による調査結果<sup>4)</sup>を基にメッシュ化したものである。図に示すように液状化が上水道被害に対して大きく影響することが分かる。今回の解析では、液状化予測結果を用いる代わりに液状化の痕跡を用いた。すなわち、危険度ランクは液状化の痕跡がないところをランク1に、液状化の痕跡のあるところをランク2に設定する。

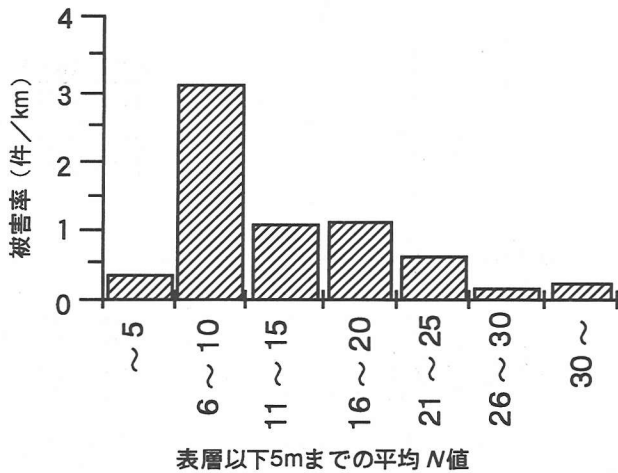


図-3 5m までの平均 N 値と配水管被害率の関係

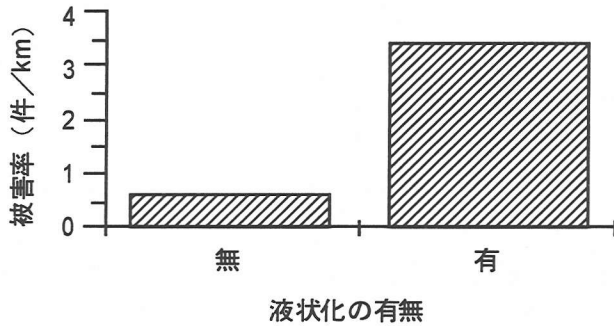


図-4 液状化の有無と上水道配水管被害率の関係

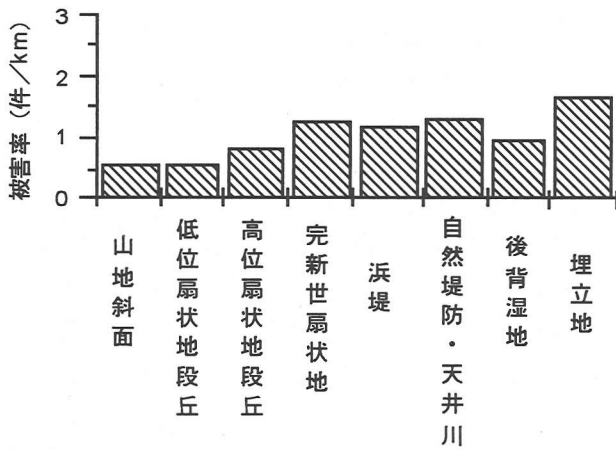


図-5 微地形と上水道配水管被害率の関係

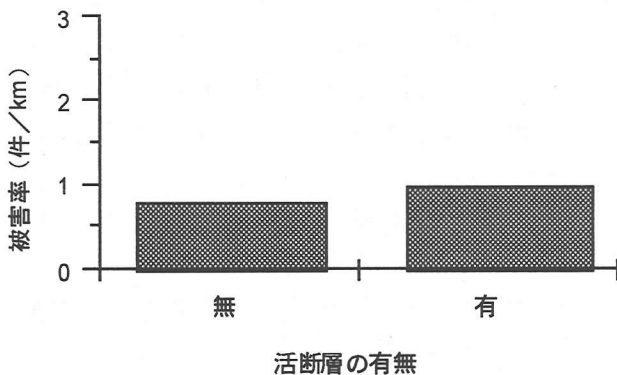


図-6 活断層と上水道配水管被害率の関係

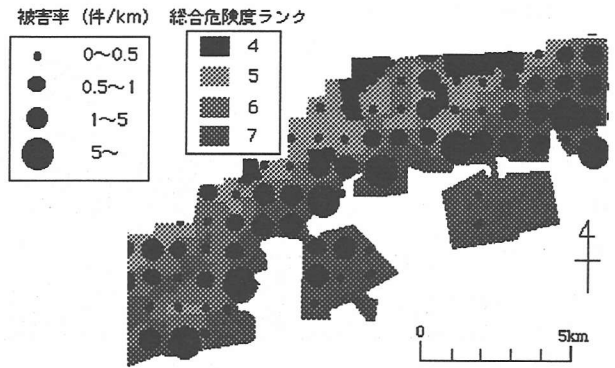


図-7 総合危険度ランク

### c) 微地形による危険度マップ

神戸市および周辺市街地における微地形分布と上水道配水管被害率の関係を図-5 に示す。微地形分布は、航空写真及び2万分の1古地形図から作成された調査資料<sup>5)</sup>を基にメッシュ化したものである。図に示すように、埋立地などの比較的形成年代の新しい地盤での被害率が高く、山地斜面、段丘地形の被害率が低くなっている。したがって山地斜面、低位・高位扇状地段丘を危険度ランク1に、それ以外をランク2に設定する。

### d) 活断層による危険度マップ

兵庫県南部地震は、淡路島から神戸市にかけての断層が活動したことによる直下型地震であった。そのため、本診断では活断層の存在が被害要因と考え、活断層分布図<sup>6)</sup>と上水道配水管被害率の関係を求めた(図-6)。図に示すように断層のある地区では、被害率がやや高くなっていることが分かる。したがって、危険度ランクは活断層が分布していないところををランク1に、活断層のあるところをランク2に設定する。

### e) 総合危険度マップ

以上4要因の危険度マップを重ね合わせた総合危険度マップ上に上水道被害率をプロットしたものを図-7 に、総合危険度と上水道被害率の関係を図-3-7 にそれぞれ示す。本研究では危険度マップを4枚重ね合わせて診断を行うことから、総合危険度ランクの最小値は4、最大値は8となる。図-3-6 に示すように解析対象地域では危険度8という地区は現れなかった。また、図-8 に示すように危険度が高くなるに従い被害率も高くなることから、本解析により耐震対策すべき管路網が特定できることになる。

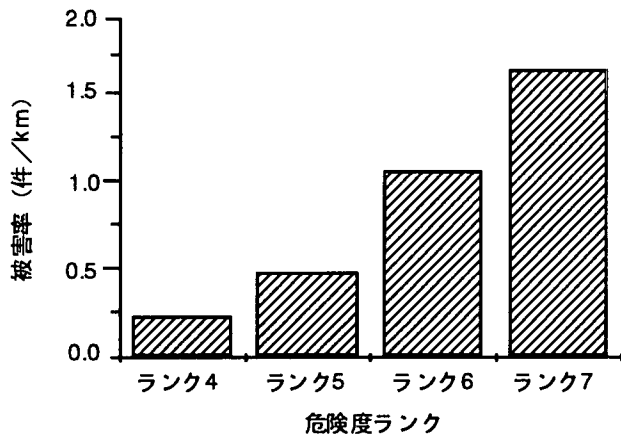


図-8 総合危険度ランクと上水道被害率の関係

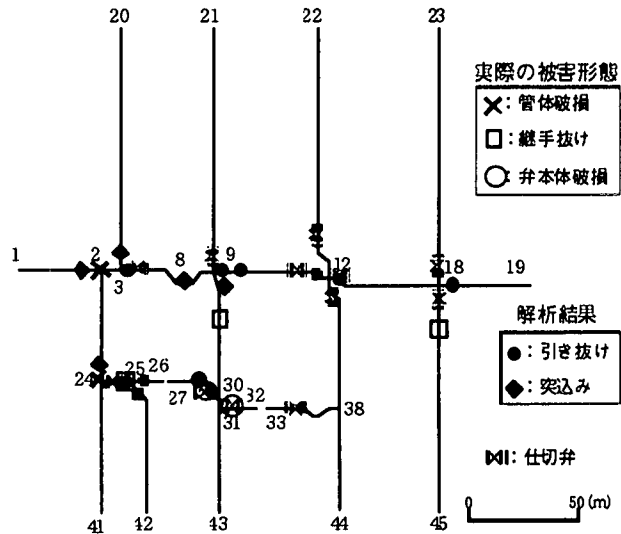


図-9 詳細診断結果

## (2) 詳細診断法

簡易診断の結果を基に詳細診断すべき上水道管路網を特定し、それらに対して応答変位法による地震応答解析を行う。解析手法としては、梁状構造物の解析に適している修正伝達マトリックス法を用いる。対象領域は、(1)で診断した地域のうち危険度ランクが高く、かつ被害事例が多く報告された神戸市東灘区における上水道管路網とする。入力変位については、ポートアイランド地下83mでの強震記録を距離減衰を考慮し補正した波形に対し、重複反射理論を用いて求めた地表面変位を空間的に補間した値とする。解析の結果得られる曲げ応力、せん断応力は管体部の破損に、継手部の変位は継手部の離脱に対する安全性の照査としてそれぞれ用いる。

解析結果を図-9に示す。図は解析対象管路網の一部である。図に示すように異形管付近で被害が多く発生していることが分かる。また、本解析対象地域で実際には発生しなかった、継手部の突っ込みによる被害が解析では発生しているが、被害箇所と近い位置で発生していることから、おおむね実際の被害と良い対応を示していると言える。

## 4. まとめ

簡易診断法では、診断指標として表層N値、液状化、微地形、活断層の4指標を用い、それぞれ作成した危険度マップを総合することにより、総合危険度を求めた。その結果、この手法を神戸地区に適用したところ、診断対象地域における危険地区が特定

できることが示された。

詳細診断法においては、修正伝達マトリックス法による地震応答解析を、T字、十字、曲管等の異形管を含む上水道管路網全体に適用することにより管体部、継手部の安全性を照査した。その結果と実際の被害を比較したところ、比較的良い対応が見られた。しかし、実際の被害と解析を比較すると、被害モードが異なる箇所があることや、重複反射理論により地盤変位を算出していることから、液状化地盤などによる地盤の側方流動にはそのままでは適用できないなどの問題もある。解析モデルの更なる改良を進めていきたい。

## 参考文献

- 1) 神戸市水道局：1995年兵庫県南部地震による水道管路の被害と分析，(社)日本水道協会，1996.5.
- 2) 川上英二：10kmに1箇所以上の被害が、上水道の機能を左右する，土木学会誌震災フォーラム，p.43，1996.1.
- 3) 神戸市都市整備公社：神戸の地盤，神戸市企画局，1980.3.
- 4) Masanori Hamada, et al. : The 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe) Earthquake, Liquefaction, Ground Displacement and Soil Conditions in Hanshin Area, (財)地震予知総合研究振興会，1995.8.
- 5) 日本地質学会・日本応用地質学会編：阪神大震災緊急合同報告会，1995.3.
- 6) 活断層研究会編：[新編]日本の活断層，東京大学出版会，1991.3.