

数量化理論による水道管の震害予測モデルの再検討

中部大学 正会員 山田 公夫

正会員 杉井 俊夫

○学生員 日置 晴彦

1. まえがき

筆者らの一人は、関東地震（1923）による旧東京市の水道管の管体被害を数量化理論Ⅰ類を用いて分析し、地震時における水道管の定量的な被害予測モデルを提案した¹⁾。このモデルには水道管の震害に影響すると考えられるいくつかの要因が取り入られている。これらの要因のうち液状化に関係するものとしては、液状化の可能性を持つ河川周辺や埋立地が地形の要因の中に含まれているが、液状化履歴に関する要因は考慮されていない。

本研究は、液状化発生の有無を考慮した水道管の震害予測モデルを得るために、関東地震による東京の液状化履歴図^{2) 3)}を用いて、液状化発生、非発生地域を判別し、これを要因として付加した震害分析の結果について述べたものである。

2. 関東地震による東京の液状化履歴

水道管の震害分析は旧東京市を1 km四方のメッシュに分割し、各メッシュの水道管の被害率（水道管布設延長1 km当たりの管体の破損、折損、継ぎ手の抜きの個数）を目的変数とした。そのために、液状化履歴はメッシュ単位で評価する必要がある。関東地震による東京の液状化履歴は東京都土木技術研究所²⁾と若松³⁾によってそれぞれ公表されている。前者の液状化履歴図は、液状化程度の区分とそれらの発生地域あるいは地点の確定性の区分の組み合わせで色分され、液状化発生、非発生地域及び未調査地域の3つに大別できる。一方、後者の液状化履歴図では液状化発生地域（地点）と液状化の概略範囲が示されているが、非液状化箇所については明示されていない。

ここでは、これら2つの液状化履歴図を重ね合わせ、図-1に示すように液状化発生地域、非発生地域及び未調査地域に分けた。図中、対象外地域とは水道管の布設状況が不明なため分析対象から除外した地域である。図-1は1 km四方のメッシュに分割されているが、各メッシュには液状化発生地域、非発生地域及び未調査地域が混在し、研究対象地域において未調査の占める割合が圧倒的に大きく、メッシュ全体が液状化または非液状化となるものはない。本研究では、各メッシュでの液状化地域の面積が30%以上占める場合を液状化、非液状化地域の面積が30%以上占める場合を非液状化、これ以外を未調査地域として扱った。

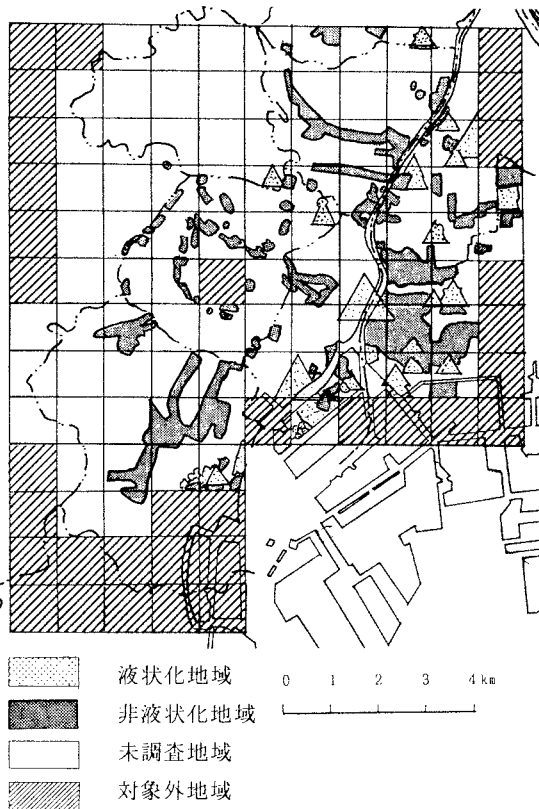


図-1 関東地震による液状化履歴

3. 数量化理論による要因分析

分析に用いた要因は、①実効震度、②地盤種別、③N値、④沖積層厚、⑤土の種類、⑥地形、⑦管の布設延長、⑧液状化の区分の8要因である。これらの要因間の関連の強さをクラマーのV係数より判断したところ、①と②、①と④、①と⑤、②と⑤、④と⑤の組み合わせにおいて、V係数が0.54~0.65となり、他の要因間の組み合わせよりも相対的に大きな値となった。そのため、①実効震度、②地盤種別、④沖積層厚、⑤

土の種類のうちいずれか1つを除く7要因に対する分析も試みた。その結果、上記8要因すべてを用いた場合の方が7要因を用いた場合よりも、各要因のカテゴリースコアの値が水道管の震害を工学的に説明しやすく、かつ重相関係数が最も大(=0.815)となった。これを表-1に示す。この表に示した各要因のレンジは、カテゴリースコアの最大値と最小値の差であり、この値が大きい要因ほど水道管の被害率に及ぼす影響が強い。すなわち、地震時の水道管の被害率には実効震度が大きく影響し、ついで地形、布設延長、地盤種別、液状化の区分の順で効いており、地盤のN値はあまり大きな影響を与えていないことが分かる。被害率に与える影響の大きい要因についてさらに吟味すると、実効震度は0.225を越えると被害が急激に増加することを示している。次に、地形的には河川周辺や埋立地で被害が高く、布設延長が大きいメッシュでは被害率が低下する傾向がある。また、地盤種別では沖積層の方が洪積層よりも被害が大となる。さらに、液状化地域において被害が増大するという結果が得られた。

要因分析によって得られた表-1のモデルを用いて、東京の各メッシュの水道管の推定被害率を求め、これを実効震度、地盤種別、地形などの要因ごとに整理し、実測被害率と対比させたのが図-2である。これらの図より、推定被害率と実測被害率とは近似しており分析結果が良好であることが分かる。図-3は、液状化を考慮しない場合のモデル¹⁾と液状化を考慮した今回のモデルにおける東京の各メッシュの水道管の推定被害率の比較を示したものである。この図より液状化の要因を考慮することによって、被害率が液状化地域では増加し、非液状化地域では低下しており工学的に妥当な結果を示していると考える。

表-1 数量化理論Ⅰ類による分析結果

アイテム	カテゴリー	カテゴリースコア	スコアダイアグラム	レンジ
実効震度 K e	K e ≤ 0.125 0.125 < K e ≤ 0.175 0.175 < K e ≤ 0.225 0.225 < K e	-0.0782 -0.0614 -0.0193 0.5788		0.657 (1)
地盤種別	沖積層 沖積層・洪積層 沖積層・洪積層・河谷低地 洪積層・河谷低地 洪積層	0.1421 0.0281 -0.0941 -0.1303 -0.1655		0.3076 (4)
深さ5mまでの地盤の平均N値	N ≤ 5 5 < N ≤ 10 10 < N	0.0556 -0.0798 -0.0615		0.1354 (8)
沖積層厚 H (m)	H ≤ 10 10 < H ≤ 20 20 < H	0.0291 0.0649 -0.1473		0.2122 (7)
深さ5mまでの土質	粘性土・シルト 砂質土 粘性土・砂質土	0.0941 -0.0806 -0.1609		0.2547 (6)
地形	埋立地・河川周辺 河川周辺 埋立地 その他	0.2386 0.1628 0.0867 -0.1795		0.4181 (2)
1メッシュ当りの水道管の布設延長(ke)	L ≤ 5 5 < L ≤ 10 10 < L	0.1647 0.0332 -0.1878		0.3625 (3)
液状化程度区分	液状化地域 非液状化地域 未調査地域	0.1905 -0.0821 -0.0095		0.2726 (5)

重相関係数=0.8153

平均スコア=0.2838

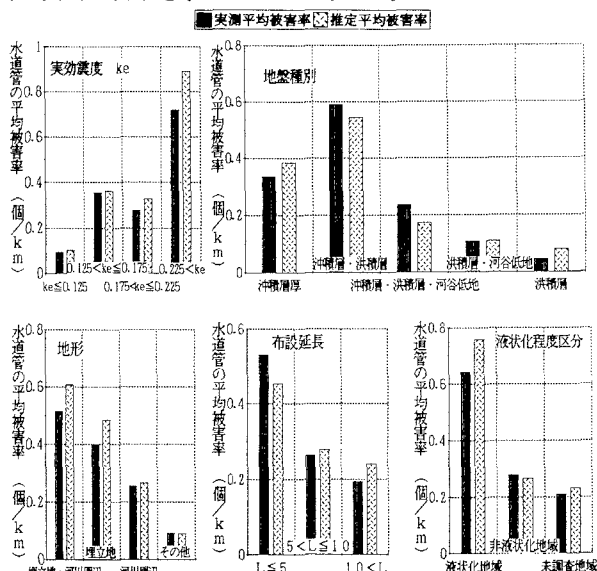


図-2 各要因の実測平均被害率と推定被害率の比較

4. まとめ

数量化理論Ⅰ類を用いて、液状化・非液状化を考慮した水道管の震害分析を行った。その結果、得られたモデルは水道管の震害を工学的に説明できるものであり、分析の精度を示す重相関係数は0.815であった。したがって、この分析モデルは水道管の定量的な震害予測に適用できるものとする。

【参考文献】

- 1) 市原・山田：地震時における名古屋市の水道管の相対的危険度，土木学会論文報告集，N0.316, 1981.
- 2) 東京低地の液状化予測，東京都土木技術研究所，1987.
- 3) 若松：日本の地盤液状化履歴，東海大学出版会，1991

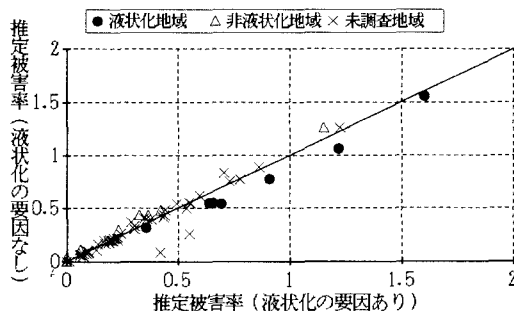


図-3 推定被害率の比較