

中部工業大学 正員 ○ 山田公夫
中部工業大学 正員 市原松平

1. まえがき

過去の地震による都市の水道施設の被害の多くは地下に埋設されている管路に集中している。そのため、将来の地震に対して水道管の管体の被害程度をあらかじめ見極めておくことは地震が発生した場合にパイプラインの被害に対する応急処置の準備や救援、復旧作業の対策などを立てる上で重要である。この研究は関東地震(1923)による旧東京市の水道管の管体被害(管の破裂、折損、継手の離脱)を例にヒリ、地震時における水道管の被害を7つの要因を用いて、数量化理論I種によって分析し、定量的な被害予測のためのモデルの1つを提案したものである。さらにこのモデルを用いて、将来発生が予想される東海地震に対する名古屋市の水道管被害の危険度分布を示した。

2. 数量化理論による被害分析

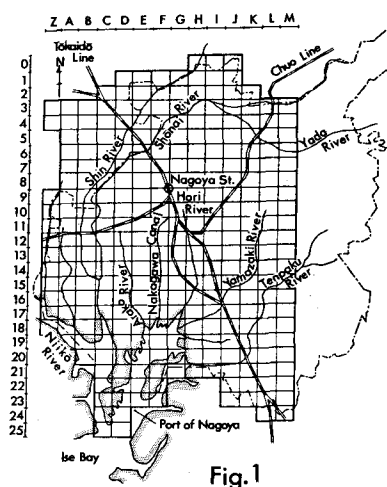
被害分析の対象とした水道管の管径は75mm以上400mm未満の管である。被害分析は旧東京市を1km×1kmのメッシュに分割し、地震時において水道管に被害を与えると考えられる次の7つの要因を各メッシュでとりあげた。①震度、②地表面の地盤構成、③深さ5mまでの平均N値、④沖積層厚、⑤深さ5mまでの土の種類、⑥河川流域、埋立地であるかどうか、⑦1メッシュあたりの水道管の布設延長。これらの要因を説明変数として、目的変数に各メッシュごとの平均被害率（水道管布設延長1kmあたりの管体の被害回数を）をとった。上述した要因はそれぞれ2～5つのカテゴリに分けた。分析に用いた旧東京市のメッシュの総数は86であった。表-1に数量化理論I類を用いて得られた結果を示す。表-1のカテゴリースコアは各要因のカテゴリースコアから、その要因のカテゴリースコアの平均値を差引いたもので、プラスの場合は被害を大きくする方向に、マイナスの場合は被害を下げた方向に働くことを示す。各要因のカテゴリースコアの平均値の和（平均スコア）は0.2838個/kmであった。また、表-1の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、この値が大きい要因ほど被害におよぼす影響が強いことを示す。表-1のレンジの欄のカッコ内の数値はレンジの大きさの順序である。分析結果より、重相関係数が1.0に接近するにしたがい、平均被害率の実測値の場合に信頼性が高くなることになる。この分析モデルの重相関係数はこのモデルを用いて、以下にのべるように名古屋市地震時における水

Tab. 1

要 因	カテゴリー	ナグリーン スコア	スコア 図 -0.2 0 0.2 0.4 0.6	レンジ
震 度	$k \leq 0.125$	-0.0961		0.7409 (1)
	$0.125 < k \leq 0.175$	-0.0906		
	$0.175 < k \leq 0.225$	-0.0024		
(X)	$0.225 < k$	0.6448		
地 盤 種 別	沖積層	0.1379		0.2867 (5)
	沖積層, 洪積層	-0.0154		
	沖積層, 洪積層 河川堆積	-0.1069		
	洪積層, 河川堆積	-0.1210		
	洪積層	-0.1488		
深さ5mまでの平均N値	$N \leq 5$	0.0570		0.1383 (7)
	$5 < N \leq 10$	-0.0811		
	$10 < N$	-0.0657		
沖 積 層 厚	$H \leq 10$	0.0546		0.2969 (4)
	$10 < H \leq 20$	0.0569		
	$20 < H$	-0.2400		
深さ5mまでの土質	粘性土	0.0603		0.2161 (6)
	砂質土	-0.0150		
	砂質土, 粘性土	-0.1557		
地 形	埋立 河川	0.2233		0.4056 (2)
	河川	0.1590		
	埋立	0.1430		
	その他	-0.1823		
布 設 延 長	$L \leq 5$	0.1698		0.3747 (3)
	$5 < L \leq 10$	0.0353		
	$10 < L$	-0.2049		

重相關係數 = 0.8076

平均 $2.27 = 0.2838$



3. 名古屋市の震度の推定

図-1に示すように名古屋市も東京市と同様に1km×1kmの細目に分割し、応答計算によって各メッシュの地表最大加速度 α_{max} を求めた。その結果、地盤が良好になるにつれて α_{max} は増加する傾向を示した。前述の分析で用いた東京市の震度は建物被害などから決定されたもので、表-2に示すように地盤が良好になるにつれて減少している。筆者らは名古屋市にお

地盤構成	メッシュ数	震度の平均値
沖積層	39	0.182
沖積層・洪積層	5	0.137
沖積層・洪積層・河谷地	4	0.138
洪積層・河谷地	28	0.106
洪積層	10	0.104

いて東京市と同じように加速度と関係をもつ量が地盤が良好になるにつれて減少させるために図-2のように整理した。この図に示されるように地盤の固有振動数 f の増加につれて α_{max}/f は減少しており、 f と α_{max}/f の相関係数は0.9であった。したがって、東京市の分析モデルを用いて被害予測も試みる場合、震度の要因に代入する値は α_{max} ではなく α_{max}/f を採用するのが妥当と考えられる。そこで、筆者らは α_{max}/f をgalの単位により表した。図-2に示す実線の回帰式は式(1)に示す。
$$\alpha_{max}/f = 164.58 f^{-0.83} \quad (1)$$

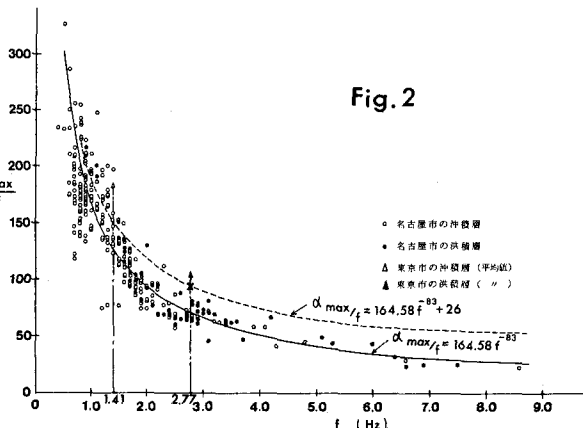


Fig. 2

名古屋市の震度も推定するにあたり、関東地震と東海地震を同一に扱うことはできない。図-2の△印は東京の洪積層の震度の平均値に f を乗じ、名古屋市の洪積層の f の平均値(2.77)に対してプロットしたものである。関東地震による基盤加速度と東海地震による基盤加速度の比は前者1.0に対して後者は0.95であった。東京と名古屋の洪積層の震度は基盤加速度に比例し、かつ両者の f は洪積層で同じであるとして、名古屋の震度も東京の震度の0.95倍とし、この値を図-2に×印で示した。この×印の震度は同じ f の上述した実線の震度と0.026の差があった。各 f の値に対して上述した実線の震度は0.026だけ大きくしたものが図-2の破線である。この破線の式は式(1)に26だけ加えたものである。したがって、応答計算から得た名古屋市の各メッシュの f を破線の式の右辺に代入しえられた値も f で除したものを各メッシュの推定震度とした。

4. 名古屋市の水道管の危険度分布

筆者らは3.で述べた震度以外の地盤に関する要因についても名古屋市において詳細に調べた。また、配水管図を用いて各メッシュごとに水道管の布設延長も測定した。表-1の結果を用いて、各メッシュごとの推定平均被害率を求め、さらにこれに布設延長も乗じて推定被害個数を求めた。えられた被害個数は管種、管径の違いによる被害の重みは考慮されていない。そのため、1978年の宮城県沖地震による仙台市の被害から管種の違いによる被害の重みを、関東地震による東京市の被害から管径の大小による被害の重みを考え、上述の被害個数を補正し、各メッシュごとの平均被害率を求めた。この平均被害率を名古屋市全体の平均被害率で除し、えられた平均被害率の比 R_d の大きさで被害の危険度も被害の小さい危険度Ⅰから被害が非常に大きい危険度Ⅴまで5段階に分けた。これを図-3に示す。その結果、河川流域や臨海部では危険度Ⅳ、Ⅴと判定されるところが多く、洪積層や礫層でおおわれた地区ではほとんどが危険度Ⅰであった。〔参〕野田：重力式岸壁の震度と地盤加速度、港湾技術報告、Vol.14, No.4.

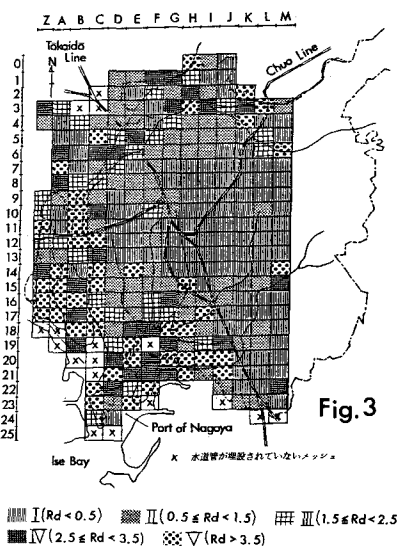


Fig. 3