

ロジットモデルによる愛知県西部における液状化予測モデルの構築

中部大学工学部 正会員 山田 公夫
中部大学工学部 正会員 杉井 俊夫
中部大学大学院 学生員 植村千恵子

1. まえがき

著者らは、これまでに新潟地震(1964, M=7.5)による新潟地域の液状化・非液状化地域を対象として、ロジットモデルによる液状化発生・非発生の要因分析を行い、液状化予測モデルを提案した¹⁾。このモデルを新潟仮想断面、名古屋市域、愛知県南西部などに適用し、モデルの適用性を検討した。その結果、モデル構築地域である新潟の地盤特性がモデルに反映されたため、その影響を受けて名古屋市域や愛知県南西部に対する液状化発生・非発生の判別の中率はかなり低下した。本報告は、東南海地震(1944, M=8.0)による愛知県西部の液状化・非液状化地域に対してロジットモデルを用いて要因分析を行い、液状化予測モデルの構築を試みるとともに、上述した新潟地域のモデルとの比較について述べたものである。

2. 被災確率モデル

ロジットモデルによれば、液状化のしやすさを示す被災ポテンシャル関数 U_n は次式で示される。

$$U_n = V_n + \varepsilon_n \quad (1)$$

上式で、 U_n は説明できる地盤要因を表す被災ポテンシャル関数の確定項であり、 ε_n は明らかにされていない要因とばらつきによる誤差を含む確率項である。そして液状化の被災確率 P_n は次式で表される。

$$P_n = \frac{1}{1 + \exp(-V_n)} \quad (2)$$

上式の確定項 V_n は、液状化のしやすさを示す被災ポテンシャル関数の様々な形が考えられるが、操作性を勘案して次に示す線形式と仮定した。

$$V_n = \theta_0 + \theta_1 X_{n1} + \theta_2 X_{n2} + \dots + \theta_k X_{nk} \quad (3)$$

ここで、 X_{n1}, X_{n2}, \dots は地盤 n の特性要因(換算N値, 地下水位, 実効震度等)であり、 $\theta_0, \theta_1, \dots$ は最尤推定法により決定される未知のパラメータである。なお、モデルの検定には、次の値が用いられる。

[的中率: 被災確率50%を基準に的中したデータ数の割合]

[尤度比: 1に近いほどモデルの適合がよいが、0.2~0.4でも十分高い適合度を持つ]

[弾性値: その絶対値は要因の影響度の大きさを示す $E_{xk} = (\Delta P/P) / (\Delta X_k/X_k)$]

3. モデル構築の対象地域

図-1に示す愛知県西部を1km×1kmのメッシュに分割し、このメッシュを個々の地盤として取り扱い、各メッシュごとに地盤データ^{2), 3)}を収集した。つぎに、東南海地震で液状化したと推定される地域を「日本の地盤液状化履歴図」4)を用いて調べ、その地域をメッシュ単位で整理した。図-1に■で示したところがモデル構築のための分析対象メッシュで、東南海地震によって液状化が発生したと推定されるメッシュ(図中の▲印)は46、非発生のメッシュは261で合計307メッシュである。一方、□で示していないメッシュは地盤資料が入手できないために分析対象外となったところである。

対象地域の土質断面図³⁾を図-2に示す。この断面図の概略の位置は図-1のA-Aに示してある。この地域では第1層に1m~2mの粘土層が存在し、第2層には約10m~20mの砂層が薄い粘土層を挟みながら存在す

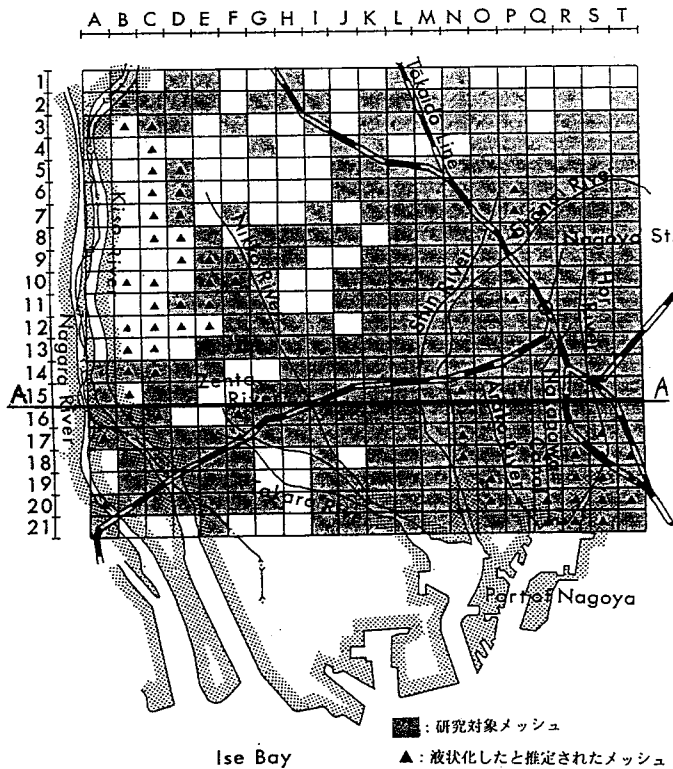


図-1 対象地域

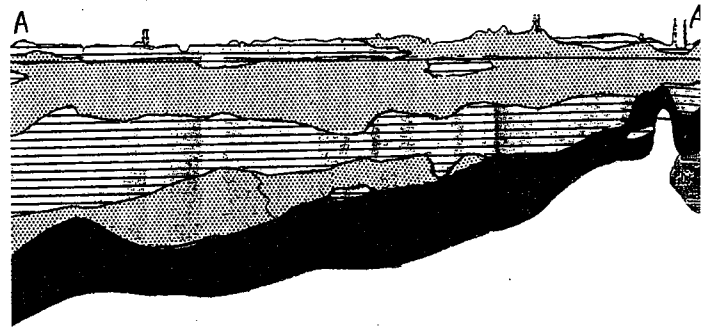


図-2 愛知県西部土質断面図

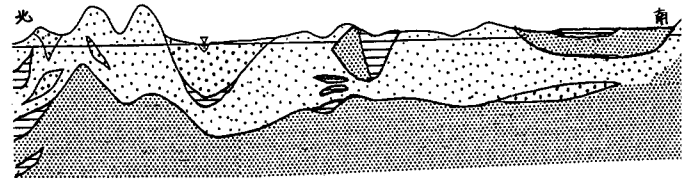


図-3 新潟地域土質断面図

表-1 説明要因

①	固有ダミー変数
②	地下水位の位置
③	換算N値
④	実効震度
⑤	旧河道・河川周辺
⑥	埋立地
⑦	全層砂層
⑧	下層が液状化層
⑨	下層が非液状化層
⑩	飽和砂層厚
⑪	第1層の砂層厚
⑫	第1,2層厚比
⑬	被圧地下水の有無

る。そして、第3層に厚い粘土層が存在している。一方、図-3は新潟モデルの構築地域である新潟地域の土質断面図⁴⁾である。この地域は粘土・シルト層が第2層のいたるところに存在するが、この層厚は上下の砂層に比べると薄く、また地下水位が高く均一に近い。上述した東南海地震による愛知県西部の液状化履歴地域に対して、表-1に示した地盤要因を用いて後述のように、液状化発生の有無を2項ロジットモデルによって分析した。

4. 新潟モデル

これまでに提案した新潟モデルを表-2に示す。このモデルは表-1に示した13要因を用いた分析の結果、構築されたものであり、表には選択された要因(t検定で有意水準5%で棄却)とそのパラメータ推定値 θ_k ならびに弾性値 E_{sk} が示されている。新潟モデルは、各要因の θ_k の符号が全てプラスであるため、いずれの要因も液状化を引き起こす側に働くことになる。また、弾性値 E_{sk} の大きさより液状化発生に最も影響する要因は実効震度、ついで埋立地、第1層の砂層厚、旧河道・河川周辺、下層が非液状化層の順である。このモデルを新潟地域に再現した結果、液状化発生・非発生の判別率的中率は84.1%であった。

5. ロジットモデルによる要因分析

5.1 新潟モデルと同じ要因による307地盤データを用いた分析結果

表-2の新潟モデルと同じ要因を用い、前述した307メッシュの地盤をロジットモデルによって分析した結果を表-3に示す。表より、実効震度、旧河道・河川周辺、第1層の砂層厚の各要因パラメータ推定 θ_k の符号が新潟モデルと比較して逆、すなわちマイナスであるため、これらの要因は液状化を抑制する側に働くことになる。これは、図-2、図-3で示したように土の堆積パターンや地表面付近の砂層厚が新潟地域と愛知県西部では異なるため、その影響が旧河道・河川周辺と第1層の砂層厚に反映されたためと考えられる。したがって、研究対象地域の土の堆積パターンを整理した。

表-2 新潟モデル

要因	パラメータ θ_k	弾性値 E_{xx}
固有ダミー変数	-10.7208 (2.8389)	—
実効震度	52.9529 (2.2001)	3.3695
旧河道・河川周辺	2.3223 (2.0551)	0.3885
埋立地	3.3130 (5.4764)	0.6728
下層が非液状化層	1.4538 (2.5885)	0.3718
第1層の砂層厚	0.2123 (3.5568)	0.4618
的中率 84.1%	尤度比 0.460	

()内は t 値を示す

5.2 対象地域の土の堆積パターン

愛知県西部の地盤構成を詳しく知るために、ボーリングデータの柱状図から土の堆積パターンの分類を行った。ここでは、沖積層のみを対象とし、砂層と粘土・シルト層の2種類に大別し、厚さ0.5m未満の層はその上下の層に含め、地下水位の位置を考慮して分類をした。その結果、図-4に示すような21パターンに分類された。各パターンの()内の数値はそのパターンの個数、その右の数値は液状化メッシュの個数を示す。これによると、最も多い堆積パターンは⑫であり、ついで、②、⑬、⑤、③・④の順となる。ここで、⑫、⑬、③は第1層が粘土・シルト層であり、②、⑤、④は第1層が砂層である。図-4より、対象地域は第1層が粘土・シルト層である堆積パターンが卓越している。一方、新潟地域と同じ堆積パターンのもの(図-4に示す①、②、③)は、307メッシュ中、88メッシュであった。5.1で述べた愛知県西部と新潟地域における分析結果の相違を探るため、新潟地域と同じ堆積パターンを持つ88メッシュの地盤データを用いて新潟モデルと同じ要因でロジットモデルによる分析を行った。

5.3 土の堆積パターンを考えた新潟モデルと同じ

要因による分析結果

表-4に新潟モデルと同じ要因を用いて、前述の88データをロジットモデルにより分析した結果を示す。パラメータ推定値 θ_k の符号を新潟モデルと比較すると、第1層の砂層厚のみが反対のマイナスで液状化を抑制する側に働き、新潟地域と同じ堆積パターンのデータから得られた要因は影響度の

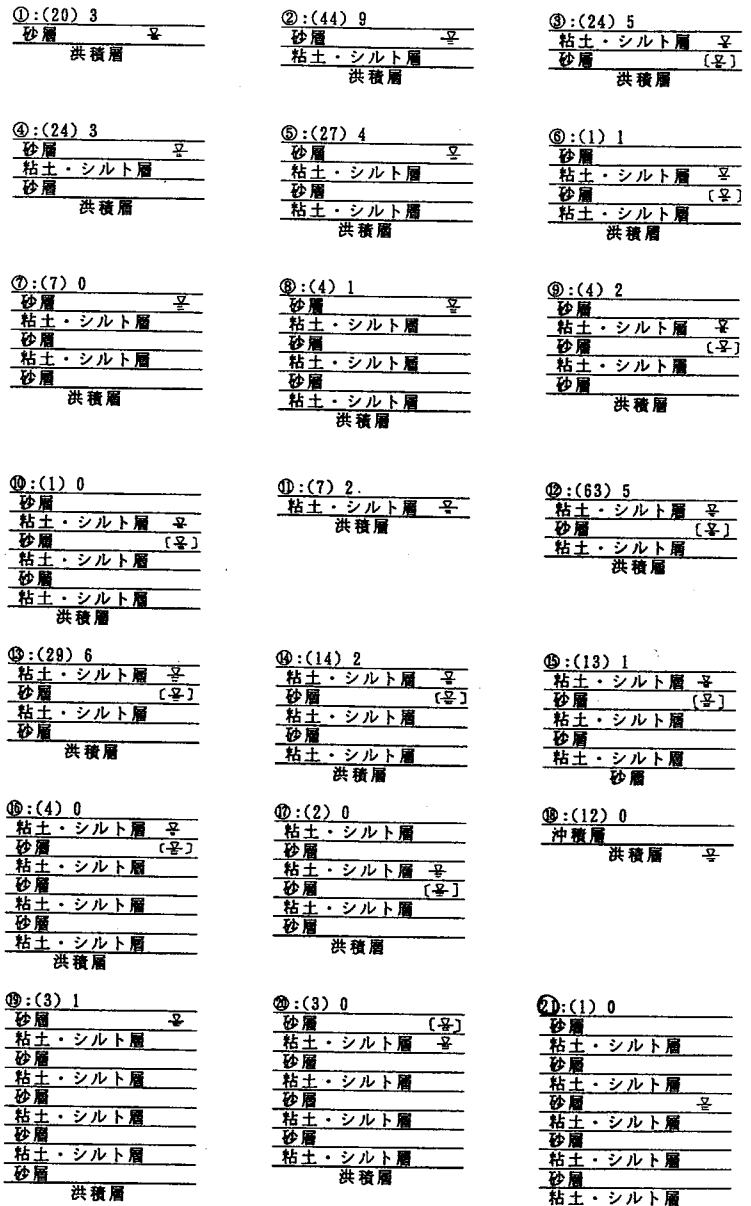


図-4 堆積パターン

表-3 新潟モデルと同じ要因で307データをを用いた分析結果

要因	パラメータ θ_k
固有ダミー変数	-2.2548 (8.5935)
実効震度	-0.0007 (0.0338)
旧河道・河川周辺	-0.0021 (0.1909)
埋立地	1.2278 (3.5922)
下層が非液状化層	0.8477 (2.0803)
第1層の砂層厚	-0.0652 (1.4559)
的中率 85.0%	尤度比 0.433

()内は t 値を示す

違いはあるものの、第1層の砂層厚の符号を除いて新潟モデルと同様にプラスとなった。このことは、堆積パターンによって要因の効き方が大きく異なることを示唆しており、地盤特性の一つとして堆積パターンが重要であることがわかる。なお、第1層の砂層厚の符号が異なる点については、図-2に示したように、愛知県西部の地盤は第1層に粘土・シルト層が存在する場合が新潟地域に比べて多く、0.5m以下の薄い粘土・シルト層は無視して、実際の第2層目の砂層厚を第1層としているため（パターン②としている）、上層の粘土・シルト層の影響が現れているものと考えられる。

5.4 13要因を用いた分析結果

新潟モデルの要因にこだわることなく表-1に示した13要因を用いて、ロジットモデルによる要因分析を行った。その結果を表-5示す。表-5には表-1に示した地盤要因の中で、分析によって選択された要因とそのパラメータ推定値 θ_k ならびに弾性値 E_{xx} を示す。 θ_k の符号より、埋立地の要因はプラスであるから液状化を引き起こす側に働き、第1層の砂層厚と被圧地下水があるの要因はマイナスであるため、液状化を抑制する側に働くことになる。また、先に述べた理由により本モデルでは第1層の砂層厚の符号はマイナスとなっている弾性値 E_{xx} の大きさによると、液状化発生に最も大きな影響を与えている要因は、被圧地下水があるであり、ついで、埋立地、第1層の砂層厚の順である。この結果は、的中率は85.0%と高く、尤度比も0.437となったが、表-5のすべての要因がt検定による有意水準5%で棄却する条件を満たさないため、95%信頼度には至っていないが、90%信頼度（t値>1.65）は得られた。

6. まとめ

今回、愛知県西部の全ての地盤データを用いた場合と新潟地盤と同じ堆積パターンを持つ地盤データのみを用いた場合の分析結果から、堆積パターンによって外力抵抗としての要因の効き方が異なることが明らかになった。これにより今後、土の堆積パターンと層厚の関係などを考慮し、愛知県南西部における液状化予測モデルを構築する必要が求められる。

「参考文献」

- 1)山田・杉井・植村：第7回地盤工学シンポジウム論文集，pp. 35～. 38，1995. 2)土質工学会中部支部：最新名古屋地盤図，1988. 3)建設省中部地方建設局中部技術事務所：濃尾平野の地盤資料，1978. 4)若松加寿江：日本の地盤液状化履歴図，東海大学出版，pp. 211, pp. 214～. 215，1991. 5)土木学会：新潟地震震害調査報告，pp. 39～. 40，1966

表-4 新潟モデルと同じ要因で88データを用いた分析結果

要因	パラメータ θ_k	弾性値 E_{xx}
固有ダミー変数	-2.4568 (1.5985)	—
実効震度	1.9317 (0.1648)	0.2374
旧河道・河川周辺	0.1434 (0.2194)	0.1078
埋立地	20.4421 (0.0122)	0.8886
下層が非液状化層	2.0451 (2.1619)	0.7984
第1層の砂層厚	-0.1432 (1.5359)	-8.5018
的中率	85.2%	尤度比 0.462

()内はt値を示す

表-5 モデル構築結果

要因	パラメータ θ_k	弾性値 E_{xx}
固有ダミー変数	-1.3009 (3.6093)	—
埋立地	1.2652 (3.6781)	0.6449
第1層の砂層厚	-0.0888 (1.8667)	-0.2610
被圧地下水が有る	-1.0915 (2.5664)	-1.5631
的中率	85.0%	尤度比 0.437

()内はt値を示す