

ロジットモデルによる液状化予測のための要因分析

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
常滑市役所 正会員 久野 芳房
中部大学大学院 ○学生員 植村 千恵子

1. まえがき

本研究は、地震時における沖積地盤の液状化の発生、非発生の判別を広域にわたり、容易で、かつ合理的に判定できる液状化モデルを作成し、液状化危険度の高い地域を明らかにできる液状化予測方法の開発を目的としている。著者らは、液状化に影響すると考えられる数種の地盤要因を取り上げ、宇野ら¹⁾が堤防評価に提案した被災確率モデルを用い、液状化発生・非発生を判別するため2項ロジットモデルによる評価法で検討を行った。ここでは、液状化の起こりうる確率を被災確率として表現し、新潟地震(1964, M=7.5)による新潟地域の液状化発生地域を分析対象として、ロジットモデルによる液状化予測法の確立を試みた。

2. 被災確率モデルの概要

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。

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

U_n は説明できる地盤の特性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定項である。そして液状化の被災確率は次式で表される。

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

確定項 V_n には、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ている。

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

X_{n1}, X_{n2}, \dots は地盤 n の特性要因 (N 値, 地下水位, 震度など) 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2つの値が用いられる。

① 的中率 (%right または Hit Ratio) ... 被災確率50%を基準に的中したデータ数の割合。

② 尤度比 $\rho^2 \dots 1$ に近いほどモデルの適合度がよいが、0.2~0.4でも十分高い適合度をもつ。

要因の影響度(感度)を測るには要因の次元の違いにより次の弾性値分析が必要となる。弾性値とは「説明変数の元の値に対する比率とそれがもたらす被説明変数の変化量の比率の比」であり、その絶対値が大きいほど影響度が強いと解釈できる。いま要因を X_{nk} , 被災確率を P_n とする。

$$P_n = f(X_{n1}, X_{n2}, \dots, X_{nk}, \dots, X_{nK}) \quad (4)$$

また、 X_{ik} が ΔX_{ik} だけ変化したときの P_n の変化量を ΔP_n とすると、

$$\Delta P_n = f(X_{n1}, X_{n2}, \dots, X_{nk} + \Delta X_{nk}, \dots, X_{nK}) - f(X_{n1}, X_{n2}, \dots, X_{nk}, \dots, X_{nK}) \quad (5)$$

となり、弾性値 E_{xk} は次式で定義され、その絶対値が大きい要因ほど影響度が高いことがわかる。

$$E_{xk} = \frac{\Delta P_n / P_n}{\Delta X_{nk} / X_{nk}} \quad (6)$$

3. 対象地域と説明要因

若松²⁾によって調査された新潟地震による新潟地域の液状化履歴図に対して、液状化発生の有無の判別を、2項ロジットモデルにより要因分析を行い、モデルの構築を試みた。使用した地盤要因は表-1に示す。

Factor analysis of liquefied and unliquefied sites by logit model: K. Yamada T. Sugii (Chubu Univ.), Y. Kuno (Tokoname Municipal officer) and C. Uemura (Chubu Univ. Graduate Student)

①固有ダミー変数：被災ポテンシャル関数の確定項（式(3)）における自由度を確保するためのダミー要因。

②地下水位：地表面からの深さ(m)を表す。地下水位が浅いほど飽和した地盤の存在性が大きくなり、液状化しやすくなると考えられる。

③換算N値：地盤の液状化は、地表面に近いほど被害を及ぼしやすいことより、N値に深さ方向による影響を考慮して、式(7)に示されるような浅い位置でのN値が重視されるように深さの重み付けをしたもの。

④実効震度：山田³⁾の地盤の周期特性を考慮した実効震度 k_e を用い、沖積層に対する提案式を次式に示す。

$$k_e = 0.0115 (\alpha_{max}/f)^{0.488} \quad (8)$$

$$k_e = 0.0579 (\alpha_{max}/f^2)^{0.200} \quad (9)$$

ここで、 α_{max} (cm/s^2)は地表最大加速度、 f (Hz)は地盤の卓越振動数である。液状化、非液状化地域の震度をメッシュ単位で推定し、これらの式による k_e の大きい方を実効震度とする。

⑤地形・地表：地形を旧河道・河川周辺、埋立地、その他の3パターンに分類した定性データである。

⑦堆積パターン：第1層と第2層に着目した時、図-1の場合で適するものを1とするダミー型入力要因。

表-1 モデル構築に使用した地盤要因

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

①：選択された要因

$$\text{換算N値} = \frac{\sum (N_j / L_j)}{\sum (1 / L_j)} \quad (7)$$

(L_j : 深さ, N_j : 深さ N_j のN値)

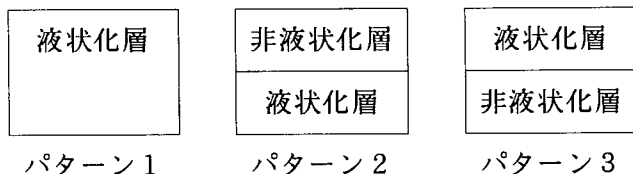


図-1 地盤の体積パターン

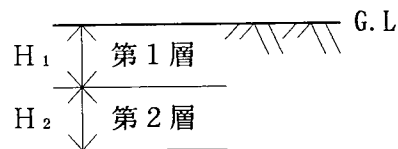


図-2 地盤図

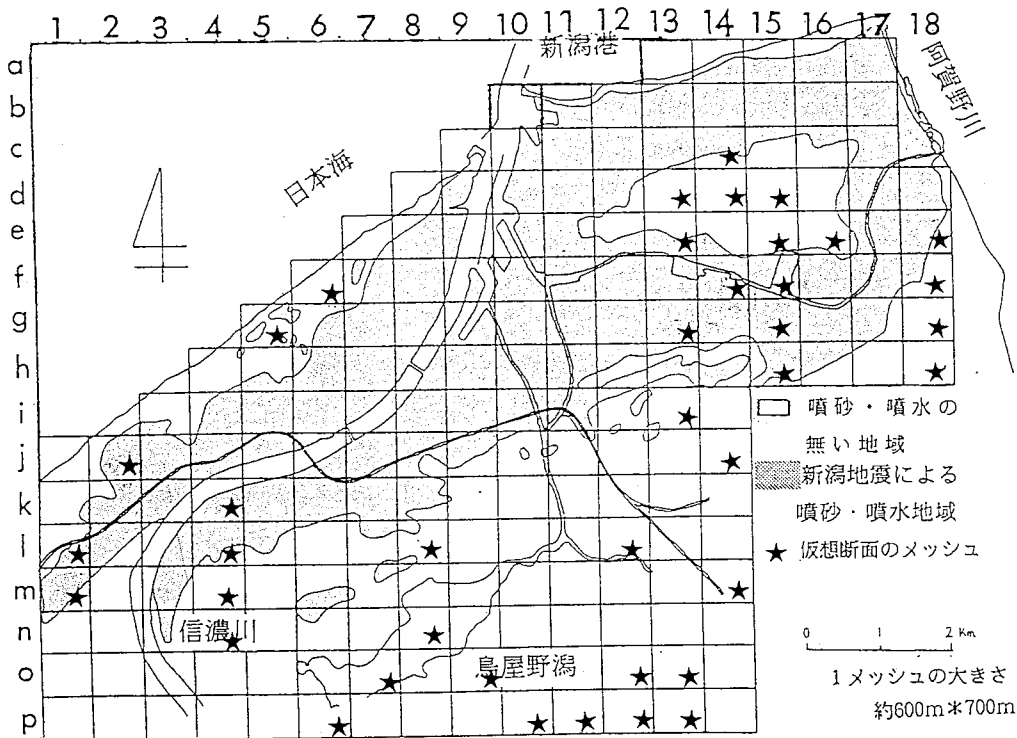


図-3 新潟地域液状化履歴図

⑩飽和砂層厚：地下水面より下の飽和した砂層の合計厚さ(m)を示す。

⑪第1層の砂層厚：第1層が砂層の場合の砂層の厚さ。

⑫第1層,第2層の層厚比：図-2に示す堆積において(H_2/H_1)で示した比。

⑬被圧地下水の有無：不透水層の位置と地下水位面の位置関係により、自由水面が認められない場合は被圧地下水とする。

モデルを構築するにあたり、新潟地域を図-3に示すメッシュ(約600m*700m)に分割し、それぞれ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の収集⁴⁾を行った。図-3で★印のメッシュはボーリングデータが存在しないことを示しており、これは周辺メッシュのボーリング柱状図と地盤断面図を用いて仮想断面を作成したメッシュである。次に、被災確率(液状化する確率)は式(2)より求めた。本研究では新潟地域を197メッシュに分割し、そのうち液状化地域は94メッシュ、非液状化地域は103メッシュとなった。なお、分析対象となったのは仮想断面を作成した40メッシュを除く157メッシュで、液状化地域が83メッシュ、非液状化地域が74メッシュである。

4. モデルの構築結果と再現性

表-2に表-1で示した要因のうち、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 と弾性値 E_{xk} を示す。 θ_k の符号からわかるように、いずれの要因も液状化を引き起こす側に働いていることがわかる。また、 E_{xk} の大きさより実効震度が液状化発生に最も影響度の大きいことがわかる。

図-4に、モデルの再現結果を示す。図の縦軸には被災確率(液状化する確率)を、横軸には地盤メッシュの番号を左より

実際の液状化・非液状化地域別に示してある。被災確率50%以上を液状化、50%未満を非液状化とした場合、液状化判別の的中率は84.1%となり、良好な結果が得られた。

5. モデルの適用性

構築されたモデルを新潟地域の仮想断面作成地域と東南海地震(1944, M=8.0)による名古屋市域の液状化

表-2 モデルの構築結果

要因	パラメータ θ_k	弾性値 E_{xk}
固有ダミー変数	-10.7208 (2.8389)	—
実効震度	52.9529 (2.2011)	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。

的中率 (84.1%)

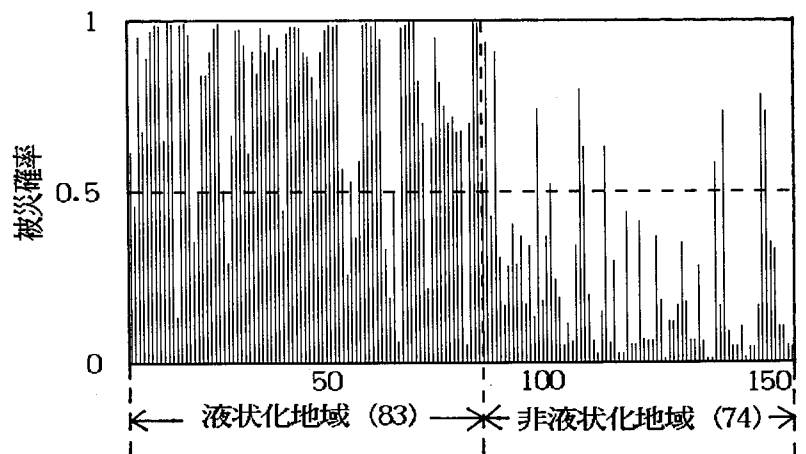


図-4 モデルの再現先(新潟地域)

的中率 (85.0%)

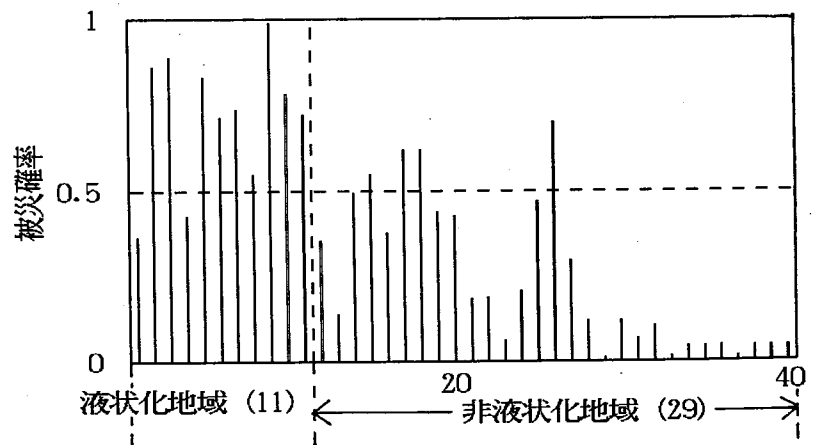


図-5 モデルの適用先(仮想断面)

履歴地域に適用し、その評価を試みた。
 図-5は新潟の仮想断面地盤メッシュN
 0.と被災確率の関係を示している。地盤
 断面を周辺の地盤情報から仮定している
 ことや、点データであるボーリングデー
 タで1メッシュの地盤を表現しているこ
 とが影響していると考えられるが、液状
 化地域で69.2%、非液状化地域で92.6%
 の的中率となり、全体として85.0%の高
 い的中率で液状化発生の有無を予測す
 ることができた。

つぎに、図-6に東南海地震による名
 古屋市域の沖積地盤の液状化、非液状化
 地域の被災確率を示す。名古屋市域もメ
 ヂシュ(1km×1km)に分割し、点デー
 タであるボーリングデータで1メッシュを
 表現した。対象としたメッシュは52メ
 シュで、そのうち液状化地域28メッシュ、
 非液状化地域24メッシュである。モデル
 の適用の結果、液状化地域で100.0%、非
 液状化地域で29.2%、全体として67.3%
 の的中率となった。非液状化地域での中
 率が低い理由の1つとして、これらの地
 域には埋立地が多く含まれているため、
 実際の非液状化地域で被災確率が高くな
 ったと考えられる。

そこで、新潟と名古屋の両地域のボー
 リングデータを比べたところ両者では埋
 立地の特徴が異なることが判明した。新
 潟は約8割が全層砂層であるのに対して、
 名古屋はそうでないものが多く存在した。
 従って、モデルの埋立地の定義を全層砂
 層の場合のみとし、再度判定を行った。そ
 の結果を図-7に示す。的中率は液状化
 地域で60.7%、非液状化地域で83.3%
 となり、前者では低下、後者では上昇し
 たが、全体としての的中率は71.1%に
 向上した。

6. あとがき

被災確率モデル(2項ロジットモデル)を用
 いた液状化予測を試みた結果、構築したモ
 デルより、液状化し易さには実効震度が
 大きく関与すること、また、仮想断面へ
 の適用では、かなり高い精度で予測が可
 能であることを示した。さらにモデルの
 他地域への適用にあたっては、モデル構
 築地域の特性を取り除くために、定性
 的要因に対する定義の違いを考慮した定
 義の細分化の必要性があることを示した。

【参考文献】

- 1) 宇野尚雄・森杉嘉芳・杉井俊夫・中野雄治：被災事例に基づく河川堤防の安定性評価，土木学会論文集，No. 400/Ⅲ-10, pp. 161-170, 1988.
- 2) 若松加寿江：日本の地盤液状化履歴図，東海大学出版会，pp. 101, 1991.
- 3) 山田公夫：想定地震による名古屋市域沖積地盤の液状化予測，土木学会論文集，No. 445/Ⅲ-18, pp. 37~ 45, 1992.
- 4) 建設省北陸地建・北陸技術事務所：新潟県平野部の地盤図集，1981.

的中率 (67.3%)

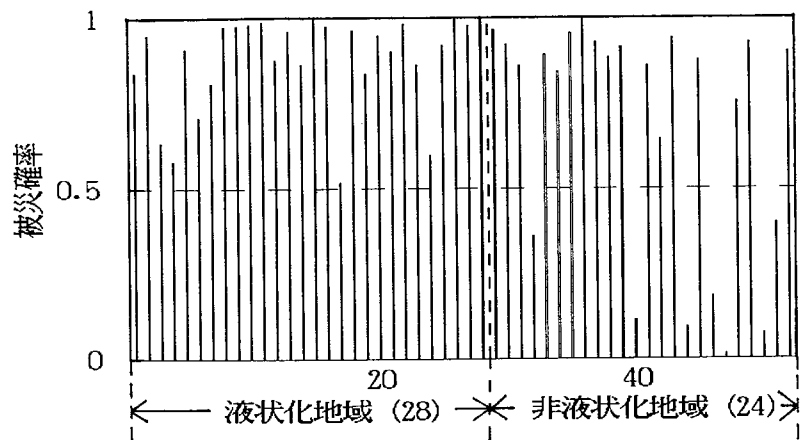


図-6 モデルの適用先(名古屋市域)

的中率 (71.1%)

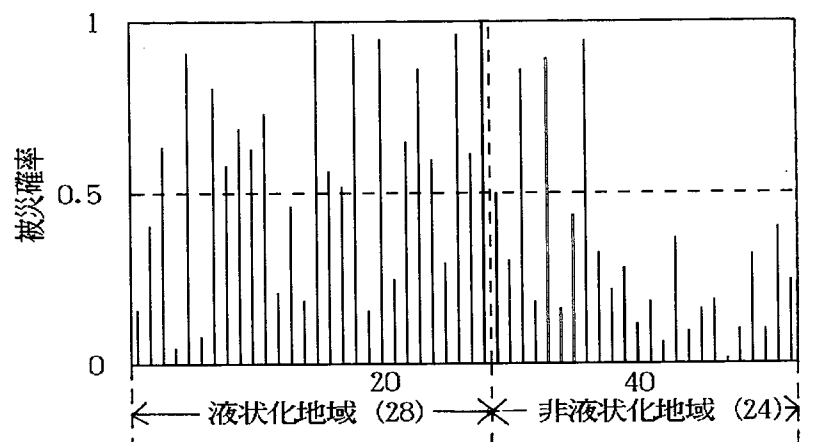


図-7 モデルの適用先
 (名古屋市域, 埋立地の定義変更)