

## 砂・粘土の互層地盤の液状化発生要因

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 上田 剛

### 1. はじめに

著者らはこれまでに、東南海地震（1944, M=8.0）による愛知県西部の液状化発生・非発生地域<sup>1)</sup>に対して、液状化に関与すると考えられるいくつかの定性的ならびに定量的な地盤要因を用いて、ロジットモデル<sup>2)</sup>による土質の堆積パターンを考慮した要因分析を行った。その結果、液状化発生に寄与する要因は地盤を構成する砂層と粘土・シルト層の堆積パターンによって異なることが示唆された<sup>3)</sup>。また、分析で得られたモデルを新潟地震による液状化・非液状化地域へ適用した結果、新潟のような砂層が卓越している地域では堆積パターンを考慮しないモデルの方が、考慮したモデルよりも液状化の判別の中率が高くなった<sup>4)</sup>。前報<sup>3)</sup>では、モデル構築に際して、地表面下の第1層と第2層の堆積パターンに着目した。そのため、地表面下第1層が砂層の場合は、その下の粘土層下位にある砂層の存在は考慮していない。しかしながら、砂層に粘土層を挟むサンドイッチ状の地盤では、粘土層下位の砂層も液状化に関与すると考えられる。本研究ではこのような地盤に対して、地表面下第3層の砂層の存在を考慮して、ロジットモデルによる要因分析を行った。研究対象地域は東南海地震時の愛知県西部地域である。

### 2. 分析に用いた地盤要因

ロジットモデルによる要因分析に用いた要因は、表-1に示す2から16までの15要因である。このうち、地盤に関する要因は沖積層の基底面までを対象とした。今回の分析は図-1に示す堆積パターンに着目した。地表面下の第1層が砂層であることから、表-1の要

表-1

No	地盤要因
1	固有ダミー変数
2	地下水位
3	換算N値
4	表効震度
5	旧河道・河川周辺
6	埋立地
7	全層砂層
8	第1層が粘土層
9	第1層が砂層
10	全層粘土層
11	飽和砂層厚の合計
12	第1層の砂層厚
13	第1,2層厚比
14	被圧地下水の有無
15	第1層の飽和砂層厚
16	地盤に関する値(J <sub>2</sub> )

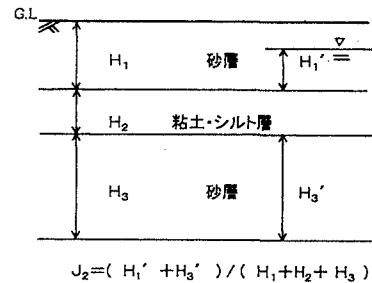


図-1 堆積パターンと地盤に関する値 J<sub>2</sub>  
 (液状化地域23メッシュ、非液状化117メッシュ)

因8, 9, 10は分析の際に除外した。また、表-1の要因16「地盤に関する値J<sub>2</sub>」は図-1に示す地表面下第3層までの各層厚と地下水位の位置を考慮して、図中に示すJ<sub>2</sub>として与えた。前報<sup>3)</sup>では、粘土層下位の砂層の存在は考慮していない。

### 3. 分析結果と考察

前報<sup>3)</sup>で構築したモデルと、今回構築したモデルをそれぞれ表-2(a)と(b)に示す。これらの表には、分析によって抽出された要因(t検定で信頼度95%を満足)とそのパラメータ推定値θ<sub>k</sub>ならびに弾性値E<sub>xk</sub>が示してある。θ<sub>k</sub>はロジットモデルの定義より+の場合には液状化を発生させる側に、-の場合には液状化を抑制する側に働くとして解釈される。E<sub>xk</sub>はその絶対値が大きいくほど、液状化発生に対する寄与率が高いことを示す。また、これらの表に示す中率は、このモデルを構築した場所へ再現した時の液状化判別の的中率である。この的中率は液状化発生・非発生の判別を液状化発生確率50%で行うように、固有ダミー変数の値を修正して求めたものである。表-2に示した2つのモデルの比較から分かるように、地表面下第3層の砂層の存在を考慮しない場合と考慮した場合では、異なった地盤要因が選択された。すなわち、t

検定で信頼度 95% (t 値 ≥ 1.96) を満足させると、砂層の存在を考慮した場合は「埋立地」が棄却され、その代わり「換算N値」、「全層砂層」、「被圧地下水の有無」の各要因が液状化に影響する要因として抽出された。なお、「実効震度」、「地盤に関する値」はいずれのモデルにおいても、液状化に影響する要因として取りあげられている。表-2 (b)において、弾性値の大きさより「全層砂層」、「被圧地下水の有無」の要因は、他の要因と比較して液状化発生への影響度が相対的に小さいことが分かる。また、この2つの要因と「実効震度」はパラメーターの符号が+であることより、いずれも液状化を発生させる側に働く。これに対して、「換算N値」と「地盤に関する値」は符号が-のため、共に液状化を抑制させる側に働くことになる。比較のために、地表面下第3層の砂層の存在を考慮して、表-2 (a)と同じ要因を用いて分析した結果が表-3である。表-2のモデルと同様に、t 検定で信頼度 95%を満足させると「実効震度」、「地盤に関する値」の2要因は棄却されることになる。次に、表-2 (a)と(b)のモデルをモデル構築対象地域である愛知県西部地域にそれぞれ再現させて、液状化判別の的中率を求めた結果が表-4(a)と(b)である。第3層の砂層の存在を考慮しない場合の的中率は液状化地域で 73.9%、非液状化地域で 74.4%、全域で 74.3%となった。これに対して、砂層の存在を考慮した場合の的中率は液状化地域で 73.9%、非液状化地域で 71.8%、全域で 72.1%となった。

表-2 愛知県西部を対象とした砂・粘土層地盤におけるモデル構築結果

要因	(a) 前報 <sup>2)</sup> の構築モデル		(b) 今回の構築モデル	
	パラメーター-θ <sub>k</sub> [t値]	弾性値E <sub>sk</sub>	パラメーター-θ <sub>k</sub> [t値]	弾性値E <sub>sk</sub>
固有グミー変数	-4.14559 [2.80855]	—	-4.58033 [2.49941]	—
換算N値	—	—	-0.196708 [2.13684]	-1.3212
実効震度	17.0459 [1.98346]	2.559	27.5087 [2.79647]	4.1896
埋立地	1.92266 [3.50769]	0.376	—	—
全層砂層	—	—	2.31678 [2.29737]	0.2372
被圧地下水の有無	—	—	2.31646 [3.33866]	0.2519
地盤に関する値 (J <sub>2</sub> )	-2.0927 [2.82803]	-1.0605	-2.40122 [2.15062]	-1.1823
的中率 / 尤度比	74.3% / 0.471		72.1% / 0.487	

表-3 前報<sup>2)</sup>と同じ要因で構築したモデル

要因	パラメーター-θ <sub>k</sub> [t値]	弾性値E <sub>sk</sub>
固有グミー変数	-3.41961 [2.37555]	—
換算N値	—	—
実効震度	9.56440 [1.22154]	1.40424
埋立地	1.53004 [3.02340]	0.2926
全層砂層	—	—
被圧地下水の有無	—	—
地盤に関する値 (J <sub>2</sub> )	-0.711430 [0.726944]	-0.3377
的中率 / 尤度比	77.1% / 0.429	

的中率から判断すると、第3層の砂層の存在は液状化発生に大きく関与していないものと考えられるが、今回分析に用いた地盤データのほぼ半数は図-1に示したH<sub>3</sub>がゼロであった。このことを考えると、H<sub>3</sub>=ゼロとH<sub>3</sub>≠ゼロの地盤データを別個に分析する必要がある。

表-4 構築モデルの再現結果

(a) 前報<sup>2)</sup>の構築モデル

	実地盤結果		判定結果
	液状化	非液状化	
判定結果	17	30	47
結果	6	87	93
全メッシュ数	23	117	140

要因「地盤に関する値」に用いた式  
 $J_2 = (H_1') / (H_1)$   
 液状化的中率 17/23 × 100% = 73.9%  
 非液状化的中率 87/117 × 100% = 74.4%  
 全体の的中率 (17+87)/140 × 100% = 74.3%

(b) 今回の構築モデル

	実地盤結果		判定結果
	液状化	非液状化	
判定結果	17	33	50
結果	6	84	90
全メッシュ数	23	117	140

要因「地盤に関する値」に用いた式  
 $J_2 = (H_1' + H_3') / (H_1 + H_2 + H_3)$   
 液状化的中率 17/23 × 100% = 73.9%  
 非液状化的中率 84/117 × 100% = 71.8%  
 全体の的中率 (17+84)/140 × 100% = 72.1%

4. まとめ

今回、地表面下第1層が砂層の場合において、粘土層の下位、すなわち地表面下第3層までを考慮してモデルの構築を試みた結果、第3層までを考慮したモデルと考慮しないモデルとでは、液状化に影響する要因が異なる結果となった。また、前者のモデルは後者のモデルと比べて的中率が若干低下したことから、第3層の砂層の存在は液状化発生に大きく関与していないものと考えられる。しかしながら、3. で述べたように、今回分析に用いた地盤データのほぼ半数は地表面下第3層の砂層が存在しないため、今後はこの層が存在する地盤と存在しない地盤に分けて要因分析を行い、地表面下第3層の砂層が液状化発生に及ぼす影響を検討する。

「参考文献」 1) 若松加寿江：日本の地盤液状化履歴図、東海大学出版、pp.101,1991. 2) 非集計行動モデルの理論と実際、(社) 土木学会、1995 3) 山田・杉井・植村：第32回地盤工学研究発表会講演集 No.1, pp.1163~1164, 1997 4) 山田・杉井・植村 上田：土木学会年次学術講演会講演集 第I部門 pp.524~525, 1997