

# 住宅被害に基づく簡易液状化判定法の有効性の評価

21T0217H 清水 駿都  
指導教員：関口 徹

## 1. はじめに

地震時に液状化のリスクが高い埋立地では、埋立層の土質が場所により大きく異なるため地盤調査は宅地ごとに行っていく必要がある。戸建て住宅用の簡易的な地盤の調査法として、スクリューウエイト貫入試験(SWS 試験)や、それを改良したスクリュードライバーサウンディング試験( SDS 試験)が開発されている。既往の研究では実際の液状化被害と液状化簡易判定結果との関係が検討されているが定性的な評価になっており、簡易判定法精度向上において重要となる項目を明確にすることが難しい。

そこで本研究では、実際の液状化被害と簡易判定結果の関係について混同行列を用いて性能指標を求め、さらに数量化理論 I 類による分析を行い、簡易判定法精度向上において重要となる項目を検討する。

## 2. 液状化判定において考慮する項目の評価方法

液状化簡易判定において考慮する項目には、様々な調査・評価方法があり、評価方法によって液状化判定結果（液状化指数  $P_L$ ）が変化する。そこで、液状化判定において考慮する項目の評価方法を分類し、最も精度良く液状化判定できる評価方法の組み合わせを調べる。

### 2.1 土質 ( $F_c$ )

土質(細粒分含有率 :  $F_c$ )においては以下の SWS 試験と SDS 試験によって得られるパラメータから推定する 4 つの代表的な式を用いて検討する。(1)亀井ら<sup>1)</sup>の式から推定した  $F_c$ (以下、亀井式)、(2)春日井ら<sup>2)</sup>の式から推定した  $F_c$ (以下、春日井式)、(3)SDS 試験によって得られる解析パラメータをもとに回帰分析を行って推定した  $F_c$ (以下回帰  $F_c$ )、(4)SDS 試験での貫入時のエネルギーに基づいて推定した  $F_c$ (以下、エネルギー  $F_c$ )に分けて簡易判定結果を比較する。

### 2.2 換算 $N$ 値

SWS、SDS 試験では簡易判定に用いる  $N$  値を直接測定していないため、それぞれの測定値から  $N$  値を推定する(換算  $N$  値)。本研究では換算  $N$  値を求める際に用いる代表的な 4 つの式について検討する。SWS 試験結果から求めた換算  $N$  値の中でも(1)稻田式<sup>3)</sup>から推定した換算  $N$  値(以下、稻田式)、(2)深井らの新相関式<sup>4)</sup>(以下、深井式)から推定したもの、(3)SDS 試験の結果から得られる 3 つの解析パラメータを用いた回帰分析によって推定したもの(以下、回帰  $N$  値)、(4)SDS 試験での貫入エネルギーから推定した換算  $N$

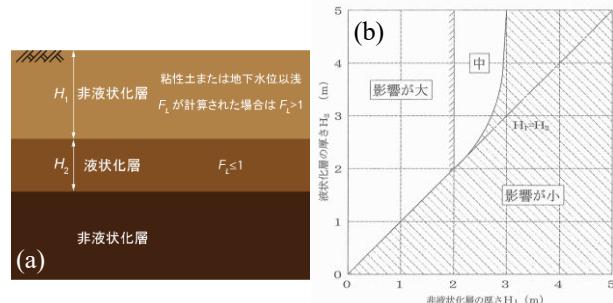


図 1 液状化の影響が地表面に及ぶ程度の判定

値(以下、エネルギー  $N$  値)に分けて簡易判定結果を比較する。

### 2.3 非液状化層厚

図 1(a)に非液状化層の間に薄い液状化層があり互層となっている例を、(b)にその場合の簡易判定法<sup>5)</sup>を示す。このように液状化層  $H_2$  が薄く、上層の非液状化層  $H_1$  が厚い場合には、下層で発生した液状化が地表の住宅などに与える影響は小さいと考えることができる。このように非液状化層厚の影響を考慮することで  $P_L$  が高くても判定としては被害なし(影響が小)となる。

そこで、(1)非液状化層厚の影響を考慮しない場合(以下、 $H_1$  非考慮)、(2)表層の非液状化層厚  $H_1$  が 3m より大きい場合には地表に噴砂が現れないとする場合(以下、 $H_1$ )、(3)図 1(b)において「影響が小」の範囲に来る地点は地表に噴砂が現れないとする場合(以下、 $H_1 \cdot H_2$ )に分けて簡易判定結果を比較する。

### 3. 判定精度向上の定量的評価

#### 3.1 混同行列

本研究では、実際の被害と簡易判定結果の関係に対して混同行列を用い、性能指標を求ることで、それらを定量的に評価する。

図 2 に混同行列の概要を示す。横軸は実際の被害の有無について、縦軸は簡易判定法により求まる液状化指数  $P_L$  で予測した液状化被害の程度を表している。混同行列により判定精度を評価する性能指標を求めることができる。本研究ではデータセット全体における

		実際の被害(実測)	
		被害あり	被害なし
液状化判定結果(予測)	$P_L$	被害あり	TP (True Positive)
		被害なし	FP (False Positive)
液状化判定結果(予測)	$P_L$	被害あり	FN (False Negative)
		被害なし	TN (True Negative)

図 2 液状化の影響が地表面に及ぶ程度の判定

る TP 等の各要素の割合に依存せず評価が可能な次式に示す MCC(Matthews correlation coefficient)<sup>6)</sup>を用いる。

$$MCC = \frac{TP \cdot TN - FP \cdot FN}{\sqrt{(TP+FP)(TP+FN)(TN+FP)(TN+FN)}}$$

### 3.2 閾値の設定

混同行列を用いる際の図 2 の縦軸の閾値は「液状化対策技術検討会議」検討成果<sup>7)</sup>によって示されている  $P_L$  値と液状化による影響の関係のうち液状化発生の可能性が高いとされる 15 とする。横軸については本研究では実際の液状化被害調査において被害の程度がその他（被害が軽微な地点）と判定されたとこを被害なし、半壊、大規模半壊と判定された地点を被害ありとして分類する。図 3 に  $P_L$  と実際の液状化被害との関係の一例を示す。

### 4. 液状化判定結果

表 1 に液状化簡易判定において考慮する項目の組み合わせと簡易判定結果から混同行列を用いて得られた性能指標を示す。表を見ると、Case48 が最も精度よく液状化判定できる組み合わせであると考えられ

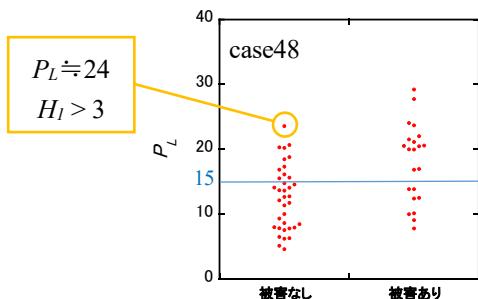


図 3  $P_L$  と実際の液状化被害との関係

表 1 液状化判定結果により得られた性能指標

	土質 ( $F_c$ )	換算 $N$ 値	非液状化層厚	MCC		土質 ( $F_c$ )	換算 $N$ 値	非液状化層厚	MCC
case1	亀井ら式	$H_1$ 非考慮	0.000	case25	$H_1$ 非考慮	0.038			
case2		$H_1$	0.000	case26	$H_1$	0.038			
case3		$H_1, H_2$	0.000	case27	$H_1, H_2$	0.084			
case4		$H_1$ 非考慮	0.000	case28	$H_1$ 非考慮	-0.048			
case5		$H_1$	0.000	case29	$H_1$	-0.048			
case6		$H_1, H_2$	0.000	case30	$H_1, H_2$	-0.016			
case7		$H_1$	0.000	case31	$H_1$ 非考慮	0.013			
case8		回帰 $F_c$	0.000	case32	$H_1$	0.013			
case9		$H_1, H_2$	0.000	case33	$H_1, H_2$	0.068			
case10		$H_1$ 非考慮	0.000	case34	$H_1$ 非考慮	0.074			
case11	春日井ら式	$H_1$	0.000	case35	$H_1$ 非考慮	0.074			
case12		$H_1, H_2$	0.000	case36	$H_1, H_2$	0.106			
case13		$H_1$ 非考慮	0.139	case37	$H_1$ 非考慮	0.355			
case14		$H_1$	0.244	case38	$H_1$	0.350			
case15		$H_1, H_2$	0.269	case39	$H_1, H_2$	0.350			
case16		$H_1$ 非考慮	0.172	case40	$H_1$ 非考慮	0.372			
case17		$H_1$	0.302	case41	$H_1$	0.363			
case18		$H_1, H_2$	0.355	case42	$H_1, H_2$	0.355			
case19		$H_1$ 非考慮	0.048	case43	$H_1$ 非考慮	0.269			
case20		$H_1$	0.085	case44	$H_1$	0.262			
case21		$H_1, H_2$	0.091	case45	$H_1, H_2$	0.302			
case22		$H_1$ 非考慮	0.192	case46	$H_1$ 非考慮	0.324			
case23		$H_1$	0.164	case47	$H_1$	0.372			
case24		$H_1, H_2$	0.191	case48	$H_1, H_2$	0.405			

アイテム	カテゴリー	カテゴリー スコア	レンジ	寄与率
土質 ( $F_c$ )	亀井ら式	-0.140		
	春日井ら式	0.048	0.340	0.77
	回帰 $F_c$	-0.107		
	エネルギー- $F_c$	0.200		
換算 $N$ 値	稻田式	0.015		
	深井ら式	0.010	0.063	0.14
	回帰 $N$ 値	-0.044		
	エネルギー- $N$ 値	0.018		
非液状化層厚	$H_1$ 非考慮	-0.018		
	$H_1$	-0.002	0.038	0.09
	$H_1, H_2$	0.020		

図 4 数量化理論 I 類による分析結果

る。これは非液状化層厚、液状化層厚を考慮したことと SWS 試験よりも SDS 試験のほうが正確に土質を判定できていることが要因だと考えられる。

### 5. 数量化理論

以降では各項目の評価方法が簡易判定結果にどのような影響を及ぼしているかを明確にするために数量化理論 I 類を用いて簡易判定結果に対する各項目の評価方法による影響度を検討する。

図 4 に 48 通りの簡易判定結果に対して MCC と液状化判定において考慮する項目との関係を数量化理論 I 類により分析した結果を示す。このときカテゴリー スコアは各カテゴリーが簡易判定結果に及ぼす影響を表しており、アイテム内のカテゴリー スコアの最大値と最小値の差がレンジとなる。またレンジの分布から求まる寄与率は各アイテムの影響度が全体に占める割合を表している。寄与率を見ると、土質の影響が最も大きく、次に換算  $N$  値の影響が大きい。また、非液状化層厚の影響は小さい。各アイテム内のカテゴリー スコアを見ると SDS 試験の貫入時のエネルギーから推定した  $F_c$  や  $N$  値を用いる評価方法によって判定精度を向上できていることがわかる。非液状化層厚では、レンジが小さくカテゴリーごとの違いがあまりない。

以上のことから、 $H_1, H_2$  を考慮し、貫入エネルギーから推定した  $N$  値や  $F_c$  を用いて液状化判定を行う方法が最も簡易判定法の精度を向上させる評価方法の組み合わせであることがわかった。

### 6.まとめ

浦安の液状化被害と液状化の簡易判定結果との関係を定量的に評価するために混同行列を用いて性能指標の MCC を求め、数量化理論 I 類による分析を行った結果、以下の知見を得た。

- 液状化層厚と非液状化層厚を考慮し、貫入エネルギーから推定した  $N$  値や  $F_c$  を用いて液状化判定を行う方法が最も簡易判定法の精度を向上させる評価方法の組み合わせであることがわかった。
- 判定精度向上において最も影響が大きい項目は土質  $F_c$  の評価法となり、次に換算  $N$  値の評価法が大きく、非液状化層厚考慮の影響は小さい。

### 参考文献

- 亀井ら：東京低地における沖積砂質土の粒度特性と細粒分が液状化強度に及ぼす影響、地盤工学会論文報告集 Vol. 42, No. 4, pp. 101-110, 2002
- 春日井ら：地盤情報データベース活用による大阪地域の冲積砂層の土質特性と地盤性、第 44 回地盤工学研究発表会(横浜), pp. 151-152, 2009
- 稲田信輔：スウェーデン式サンディング試験結果の使用について、土と基礎 Vol. 8, No. 1, pp. 13-18, 1960
- 田井ら：スクリュードライバーサンディング試験の概要と実施例、第 9 回地盤工学関東支部発表会、2012
- 深井ら：スクリューウエイト貫入(SWS)試験結果と  $N$  値  $su$  値との新相関式の提案、地盤工学ジャーナル, Vol. 16, No. 4, pp. 319-331, 2019
- 小規模建築物基盤設計指針 2008 日本建築学会 P. 90
- Davidie, C. and Giuseppe, J.: The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation, BMC Genomics 21, pp. 1-13, 2020
- 「液状化対策技術検討会議」検討成果、国土交通省液状化対策技術検討会議、2011