

(59) 地盤の液状化の簡易評価手法

建設省土木研究所 ○常田賢一
 建設省土木研究所 福井次郎
 建設省土木研究所 松本秀應

1. はじめに

地盤の液状化の評価は、その発生の有無、程度、範囲さらには構造物等への影響度といったように、その評価内容が多岐に渡るとともに、評価の目的や求められる精度により簡易な手法から詳細な手法まで、幅広いのが実状である。本文では、液状化の影響を考える場合には、構造物への影響度合に留意することが必要であるとの認識にたち、地盤のみの液状化の発生の予測から、液状化により発生する構造物の被害の程度までも考慮した液状化の評価に焦点を当てて、その簡易な手法について検討した結果を報告する。

2 液状化の程度、範囲、影響度を考慮した地盤の液状化危険度の簡易評価

砂質土層の液状化の可能性は、道路橋示方書 V耐震設計編 [1] で次式により定義される液状化に対する抵抗率 (F_L) で評価できる。

$$F_L = R / L \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 F_L : 液状化に対する抵抗率、 R : 動的せん断強度比、
 L : 地震時せん断応力比

液状化に対する抵抗率 F_L が1.0以下である土層は、地震時に液状化すると判定される。 F_L 値は或る対象深度の土層の液状化の可能性を評価するのに適しているが、評価の対象となる地盤の深さ方向の液状化の範囲、程度を考慮した液状化の危険度を評価するためには、 F_L 値の代わりに別の指標が必要である。

地盤の液状化の危険度を評価するための1指標として、(2)式による P_L 値が提案されているが [2]、これは液状化の程度および深さ方向の液状化の影響度を考慮しようとしたものである (図-1 参照)。

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L) \cdot w(z) dz \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $0 \leq P_L \leq 100$ 、 z : 深度(m)、
 重み関数 $w(z) = 10 - 0.5 \cdot z$

本文では、地盤の液状化の危険度を表現する簡易な指標として次の指標を定義した。

$$I_{PL} = H^* / 20 \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $H^* = H_1^* + H_2^*$ 、
 $H_1^* = 1.5HF_{L1} + 1.0HF_{L2} + 0.5HF_{L3}$ 、
 $H_2^* = 1.0HF_{L1} + 0.5HF_{L2}$

I_{PL} : 地盤の液状化危険度 [$0 \leq I_{PL} \leq 1.25$]、 H^* : 換算液状化層厚、 H_1^* : 0~10mの深度での液状化層の換算層厚、 H_2^* : 10~20mの深度での液状化層の換算層厚、 HF_{L1} : $F_L \leq 0.6$ である土層の全層厚(m)、 HF_{L2} : $0.6 < F_L \leq 0.8$ である土層の全層厚(m)、 HF_{L3} : $0.8 < F_L \leq 1.0$ である土層の全層厚(m)

道路橋示方書では、 F_L 値に応じて表-1に従って、係数 D_E で土質定数を低減することにより、液状化の影響を考慮することとしているが、(3)式で定義した I_{PL} 値では、指標 H_1^* と H_2^* の重み付け係数は表-1の関係を踏襲することとした。これは液状化の程度、範囲さらには地盤の支持力に及ぼす影響度を考慮し、 P_L 値より

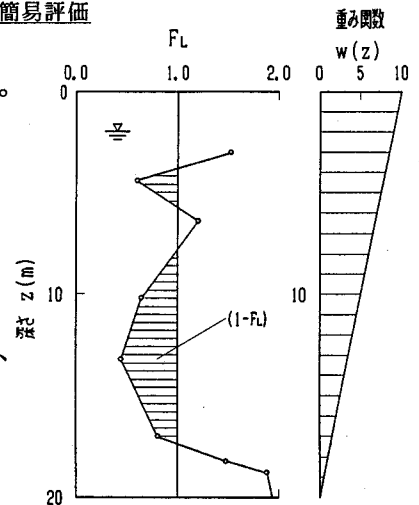


図-1 指標 P_L の概念・定義

表-1 土質定数に乗じる係数 D_E

F_L の範囲	現地盤面からの深度 x (m)	土質定数に乗じる係数 D_E
$F_L \leq 0.6$	$0 \leq x \leq 10$	0
	$10 < x \leq 20$	1/3
$0.6 < F_L \leq 0.8$	$0 \leq x \leq 10$	1/3
	$10 < x \leq 20$	2/3
$0.8 < F_L \leq 1.0$	$0 \leq x \leq 10$	2/3
	$10 < x \leq 20$	1

表-2 既往地震における液状化に起因する橋梁の被害事例

No	地震名	橋名	被害状況	対象下部工		被害レベル	液状化発生 の規模	液状化危 険度 I_{PL}	地盤種別	微地形 分類
				名称	対象下部工の被害					
新 潟 地 震	昭和六橋	液状化により落橋 (P2~P7間)	P1	沈下3cm、傾斜(天端変位)34cm	4	大規模	0.57	II種	A	
			P6	液状化により埋没	5	"	0.47	"	"	
			P7	沈下9cm、傾斜(天端変位)7cm	4	"	0.47	"	"	
			AL	被害軽微(詳細不明)	2	大規模	0.00	II種	A	
			P7	"	2	"	0.06	"	"	
			AR	沈下2.5cm、傾斜(天端変位)15cm	5	"	0.43	"	"	
	P9	沈下32cm、傾斜(天端変位)13cm	4	"	0.23	"	"			
	八千代橋	下部工折損 (P2~P3間 落橋寸前)	AL	沈下40cm、傾斜角10.5°	4	河心方向すべり	0.34	II種	A	
			P2	躯体折損	5	"	0.34	"	"	
			P10	浮上り7cm、傾斜(天端変位)7cm	3	"	0.13	"	"	
			P1	(被害なし)	1	表層数m	0.42	II種	A	
			P8	傾斜(天端変位)6cm	3	"	0.17	"	"	
P1			(被害なし)	1	"	0.23	II種	A		
宮 城 県 沖 地 震	泰平橋	橋脚傾斜 (被害軽微)	P1	(被害なし)	1	表層10数m	0.78	III種	A	
			P8	傾斜(天端変位)6cm	3	"	0.17	"	"	
	新松浜橋 (P10~P11間)	落橋(架設中)	P1	(被害なし)	1	"	0.23	II種	A	
			P7	沈下約2cm、傾斜(天端変位)20cm	4	表層10数m	0.78	III種	A	
	小須戸橋	橋脚、橋台の沈下	P1	沈下75cm	3	(粘性土層卓越)	0.17	III種	A	
			AR	沈下7cm	3	(不明)	0.00	"	"	
	阿武隈橋	橋脚、支承の損傷	P8	橋脚全周亀裂、支承破損	3	小規模な噴砂	0.03	III種	A	
			P1	コンクリート剝離、支承破損	3	"	0.18	II種	A	
	開北橋	支承部損傷 (被害軽微)	P6	桁移動6cm	3	"	0.00	"	"	
			P2	支承部破損	3	"	0.00	II種	A	
江合橋	橋脚、支承の損傷	P4	被害軽微	2	"	0.06	III種	A		
		AR	被害軽微	2	"	0.06	"	"		
日 本 海 中 部 地 震	水間塚橋	橋脚、支承の損傷	P5	橋脚亀裂、桁移動6cm	3	(不明)	0.43	III種	A	
			P3	空座破壊	3	噴砂	0.08	III種	A	
	男鹿大橋	橋脚沈下、傾斜	P4	沈下13cm、傾斜(天端変位)23cm	3	(噴砂、亀裂)	0.00	II種	A	
			P5	沈下15cm、傾斜(天端変位)26cm	3	(噴砂、亀裂)	0.00	"	"	
	竜馬橋	橋台、支承部の損傷	AL	躯体ひびわれ	4	噴砂	0.00	II種	A	
			P2	(被害なし)	1	(噴砂)	0.00	"	"	
	五明光橋	取付盛土崩壊	AL	パイロメント亀裂	3	噴砂、亀裂	0.03	III種	A	
			AR	被害軽微	2	噴砂、亀裂	0.00	"	"	
	鳴沢橋	取付盛土沈下、亀裂	AL	被害軽微	2	噴砂、亀裂	0.00	III種	A	
			P1	被害なし	1	噴砂、亀裂	0.00	"	"	

も簡易に算定しようとしたものである。ここで、 P_L 値と I_{PL} 値は共に液状化しないと評価される層 ($F_L > 1.0$) の影響は考慮していないため、液状化の影響を大きめに評価していることになる。

図-2は、 P_L 値と I_{PL} 値の関係を計算した一例である。 P_L 値による液状化の危険度を評価する場合には、境界値として、 $P_L=5$ および15が提示されているが、 I_{PL} 値についてみると、それぞれ I_{PL} 値 = 0.1~0.2および0.3~0.4に対応していることが分かる。

表-2は、主として液状化により被害を受けたと推定される橋梁の代表的な事例について、被害状況等を整理したものである。ここで、橋梁の被害レベルは表-3のように、液状化に起因する被害に着目して5段階に分類したが、被害レベル4以上は液状化の影響が大きい場合であり、特に被害レベル5は落橋に到るような顕著な被害とした。表-2から、地盤の液状化危険度 (I_{PL}) および地震時の液状化に起因する橋梁の被害レベルとの関係を整理したのが図-3である。図-3および表-3から、地盤の液状化危険度 (I_{PL})

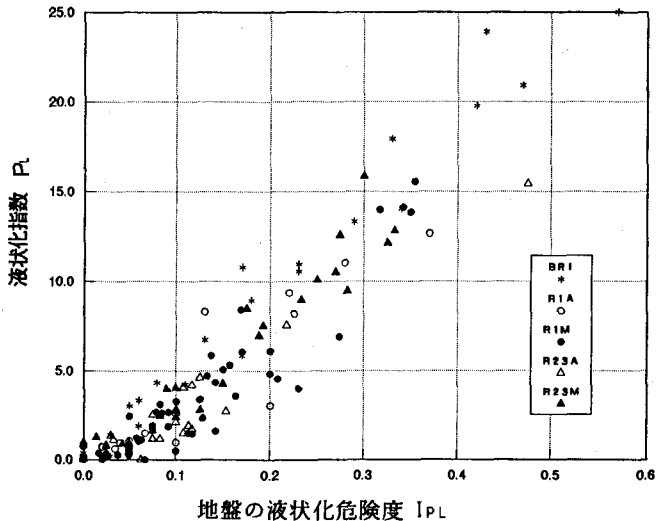


図-2 P_L 値と I_{PL} 値の関係例

表-3 液状化による被害分類

被害レベル	被害状況
5	液状化が主な原因となって、落橋、下部工破壊等が生じた著しい被害。
4	沈下もしくは傾斜による天端変位が10cm以上あるいは1mm以上の亀裂等、被害の比較的著しいもので、液状化の影響が一つの要因と考えられるもの。
3	橋梁全体の被害に対して、液状化が直接的に影響したとは考えられないもの。
2	軽微な被害
1	被害なし

(注) 著しい被害でも、液状化が直接的に影響したとは考えられないものは、すべて「3」とする。

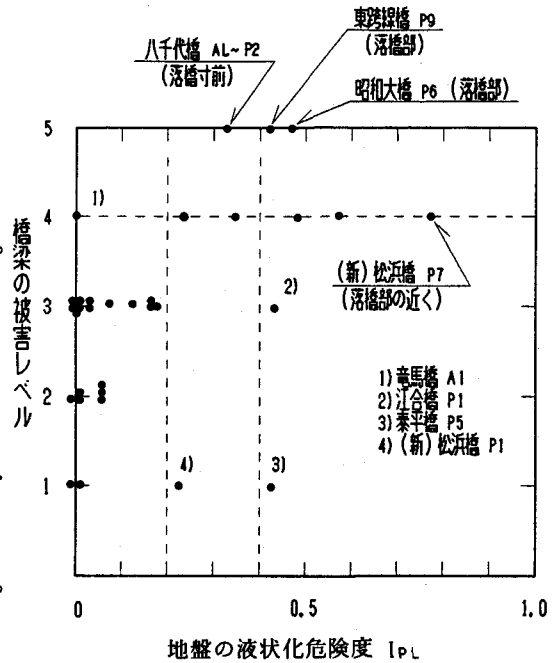
の評価基準は、次のように3グループに区分することができる。

【 $0.0 \leq I_{PL} < 0.2$ 】液状化により落橋に関係するような被害の事例は無い。液状化の規模と橋梁に対する影響は、小さいと見なせる。

【 $0.2 \leq I_{PL} < 0.4$ 】液状化に関する被害事例が見られる。橋梁に対する液状化の影響があると見なせる。

【 $0.4 \leq I_{PL} \leq 1.25$ 】液状化による落橋の被害の事例がある。液状化の規模と橋梁に対する影響が非常に大きいと見なせる。

以上のように、橋梁を事例とした検討結果に示されるように、指標 I_{PL} は地盤の液状化の危険度を評価する指標の1つとして使用できることが分かる。さらに、構造物への影響度も考慮することができ、橋梁の場合、指標 I_{PL} の値 0.2 と 0.4 は液状化の危険度の程度を判断するための基準として適用できると考えられる。



3 地盤種別による液状化の危険度の評価手法

地盤種別は、地盤の締め具合あるいは増幅特性に応じて概略的に分類できるが、液状化の危険度を地盤種別により簡易的に評価することの適用性について検討した。本文では、道路橋示方書 [1] において、表-4 を基本として定義されている地盤種別に従って、地盤種別 I、II および III の3区分に分類することとした。また、適用性の判断指標としては、地盤の液状化危険度 (I_{PL}) によることとした。表-5 は、217箇所の橋梁地点での地盤種別と地盤の液状化危険度 (I_{PL}) との関係を示す。同表のように、地盤種別 I の地点は橋梁の被害に関係する液状化の危険度は低い地点であると見なせる。言い換えれば、地盤種別 II あるいは III に分類される地点は、橋梁被害に関係のある液状化の危険度が高いと評価するのが適当である。この場合、地盤種別 II あるいは III の地点において、液状化危険度の低いものもあるが、安全側の評価となる。表-2 の既往の被害橋梁においても、すべての橋梁が地盤種別 II あるいは III に相当している。

図-3 I_{PL} 値と橋梁の被害レベルの関係例

表-4 地盤種別 [1]

地盤種別	地盤の特性値 T_g (S)
I 種	$T_g < 0.2$
II 種	$0.2 \leq T_g < 0.6$
III 種	$0.6 \leq T_g$

ここで、地盤種別には液状化の対象となる砂質土層の存在が直接的には関係していないため、あくまで概略的な評価であることに留意して、評価目的に応じた適用が必要である。

表-5 地盤種別と地盤の液状化危険度 (I_{PL}) との関係

実判定 地盤種別	飽和砂質土層無	$I_{PL} < 0.2$	$0.2 \leq I_{PL} < 0.4$	$0.4 \leq I_{PL}$	計
I	32	7	0	0	39
II	14	75	13	2	104
III	0	34	27	13	74
計	46	116	40	15	217

簡易判定と実判定が一致	簡易判定が危険側
簡易判定が安全側	簡易判定と実判定が一致

4 微地形分類による液状化の危険度の評価手法

微地形分類が液状化の発生の可能性に関係があることはよく知られているが、液状化の危険度を地盤種別により簡易的に評価することの適用性について検討した。本文では、微地形分類は既往調査 [3] および土地条件図 [4] に基いて、表-6 のように3区分に分類した。

表-7 は、3 3 2 箇所の橋梁地点での微地形分類と液状化危険度 (I_{PL}) との関係を示す。同表のよれば、微地形分類 B あるいは C に分類される地点は、橋梁被害に関係する液状化の危険度は低いと見なせる。言い換えると、微地形分類 A の地点は橋梁被害に関係する液状化の危険度が高いと評価するのが適当である。この場合、微地形分類 A の地点において、液状化危険度の低いものもあるが、安全側の評価となる。

ここで、微地形分類は地盤種別に比較して、液状化の対象となる砂質土層の存在が間接的にはやや考慮されていると考えられるが、地表での地形分類に基づく概略的な評価であることに留意して、評価目的に応じた適用が必要である。

表-6 微地形分類と液状化の危険度の区分

	A 液状化の発生の可能性が高い	B 液状化発生の可能性がある	C 液状化発生の可能性が低い
土地条件図 または 現地状況	埋土地, 沖積低地上の盛土地 (T.P.+10m 以下), 旧 (海) 水面上の盛土地, 旧河川微高地, 干拓地, 潮汐平地, 氾濫平野, 海岸平野, 砂丘1), 三角州, 砂州, 自然堤防, 後背低地, 旧河道, (旧) 湿地, (旧) 落堀	A でも C でもない地域 左記以外の盛土地 扇状地など	変形地, 台地・段丘, 山麓堆積地形, 斜面, 低地の微高地

注: 1) 内陸側の隣接する他の地形区分との境界付近のみを対象
* 現河道 (河床) はその周辺の微地形分類に準ずる

表-7 微地形分類と液状化危険度 (I_{PL}) との関係

実判定 微地形分類	飽和砂質土層無	$I_{PL} < 0.2$	$0.2 \leq I_{PL} < 0.4$	$0.4 \leq I_{PL}$	計
C	21	3	0	0	24
B	15	9	0	0	24
A	50	172	44	18	284
計	86	184	44	18	332

簡易判定と実判定が一致	簡易判定が危険側
簡易判定が安全側	簡易判定と実判定が一致

5. おわりに

以上、液状化危険度 (I_{PL})、地盤種別および微地形分類による液状化の危険度の簡易評価手法を提示するとともに、構造物 (橋梁) を事例として液状化の危険度の評価を行う際の基準 (目安) について報告した。今後は、非液状化層の影響を考慮した地盤の液状化危険度の評価手法、構造物特性による評価の基準の差異、地盤種別・微地形分類と他の評価要因を組み合わせた概略評価手法等について調査を進め、より合理的かつ実務的な手法の検討を行う予定である。

6. 謝辞

本文作成に際して資料準備の手伝いをして頂いた土木研究所振動研究室 東 拓生技官に御礼申し上げます。

【参考文献】1) 日本道路協会: 道路橋示方書 V 耐震設計編、平成2年2月

2) 岩崎敏男、龍岡文夫、常田賢一、安田 進: 砂質地盤の地震時流動化の簡易判定法と適用例、第5回日本地震工学シンポジウム、1978年11月

3) 岩崎敏男、龍岡文夫、常田賢一、安田 進、佐藤弘行: 流動化履歴地点の地盤特性 (その1~5)、第32~36回土木学会年次学術講演会、1977~1981年

4) 国土地理院: 土地条件図