

建設省土木研究所 〇岩崎 敏男
東京大学生産技術研究所 龍岡 文夫
建設省土木研究所 常田 賢一

1. まえがき

昭和39年6月に発生した新潟地震の被害経験を契機として、各種構造物の耐震設計にあたって地盤流動化の発生の有無を検討し、必要な場合は、設計あるいは施工上の対策を講ずることがかなり一般的に行われるようになってきた。道路橋耐震設計指針（日本道路協会、昭和47年4月）に、地盤流動化に対する簡易判定手法および設計上の取扱いの好例を見ることができる。本小文では、筆者らが従来から実施してきた結果^{1),2)}に最近の研究成果をおりこみ、設計実務に取入れやすくかつ精度の高い地盤流動化の簡易判定法を提案し、その適用例を報告する。

2. 流動化抵抗係数（ F_L ）の概念

筆者らが提案している流動化抵抗係数による流動化の判定法の概略は以下のとおりである¹⁾。まず平均粒径 D_{50} が $0.02 \sim 2.0 \text{ mm}$ の間にある飽和砂質地盤は地震時に流動化の可能性があるととして、深さごとの流動化抵抗係数 F_L を(1)式から求める。(1)式において R は地盤の動的強度、 L は地震時作用荷重に相当する無次元量であり、ともに深さ方向に分布する。(1)式から求める F_L 値の大きさ、深さ方向の分布形状から当該地点の流動化の有無を判定するが、一般に F_L が1.0以上なら流動化無しと判定する。

$$F_L = R / L$$

(1) 表2 流動化の簡易判定の実施地点と判定結果

$$R = \begin{cases} 0.0882 \sqrt{N/(\sigma_v' + 0.7)} + 0.225 \log_{10} \frac{0.35}{D_{50}} & (0.02 \leq D_{50} < 0.6 \text{ mm}) \\ 0.0882 \sqrt{N/(\sigma_v' + 0.7)} - 0.05 & (0.06 \leq D_{50} \leq 2.0 \text{ mm}) \end{cases}$$

ここに、 N = 標準貫入試験の N 値、 σ_v' = 有効上載圧 (kg/cm^2)、 D_{50} = 平均粒径 (mm) (表1参照)

$$L = \gamma_d \cdot k_s \cdot \sigma_v' / \sigma_v'$$

ここに、 γ_d = 地震時作用荷重の深さ方向の伝減係数 ($\gamma_d = 1 - 0.015Z$ (Z : 深さ、 m))、 k_s = 地表面震度 (k_s = 地表面最大加速度/重力加速度)、 σ_v' = 全上載圧 (kg/cm^2)。

新潟地震などの過去に流動化が発生した地域(表2参照)に、上記の判定手法を適用し、流動化の発生の有無と F_L の値(1.0を目安とする)との間に良好な相関関係があることが判明している¹⁾。

土質名	γ_s ($1/\text{m}^2$)	D_{50} (mm)
表土	1.7	0.02
砂	2.1	0.6
砂	1.9	0.25
粗砂	1.9	0.3
中砂	1.9	0.25
微細砂	1.9	0.2
シルト	1.7	0.02
シルト質細砂	1.9	0.1
砂質シルト	1.7	0.04

番号	地震名	地点名	(gal) α_{max}	R	L	流動化 有無	備考
NG-1	新潟地震	新潟市神楽寺地内	170	0.0	0.0	×	
-2	"	新潟市Y04-3	"	0.0	0.0	×	
-3	"	越後線信濃川橋梁 SP-1	"	9.0	5.7	○	
-4	"	" SP-2	"	4.9	16.4	○	
-5	"	新潟駅東跨線橋 Br. No. 1	"	5.8	5.6	○	
-6	"	大宮駅 266K712M	"	8.2	4.6	×	
-7	"	昭和橋 Br. No. 1	"	28.2	17.8	○	
-8	"	" Br. No. 2	"	16.5	11.2	○	
-9	"	" Br. No. 3	"	14.3	10.2	○	
-10	"	" Br. No. 4	"	0.6	2.5	×	
-11	"	新潟市西大町	"	0.4	1.3	×	
-12	"	新潟交通空港ターミナルビル	"	13.1	11.2	○	
-13	"	信濃川堤内池(開閉分水)	"	—	—	○	20m未満
-14	"	新潟鉄道病院(地震前) No. 1	"	20.1	14.7	○	
-15	"	" No. 2	"	5.8	4.0	○	
-16	"	" (地震後) No. 1	"	13.5	10.3	○	
-17	"	" No. 2	"	10.5	10.0	○	
-18	"	震害事例追跡調査 Br. No. 1	"	18.9	15.8	○	
-19	"	" Br. No. 2	"	20.1	15.1	○	
-20	"	" Br. No. 3	"	18.9	16.7	○	
-21	"	" Br. No. 4	"	14.5	12.3	○	
-22	"	加茂市大字五反田(砂) No. 1	"	5.3	3.3	×	
-23	"	" (右砂) No. 2	"	0.0	0.0	×	
-24	"	BC21(2) 川岸町アパート	"	5.1	3.9	○	
-25	"	BC21(3)	"	9.7	8.0	○	
-26	"	BC14	"	14.2	13.6	○	
-27	"	BC14	"	4.4	4.2	○	
TK-1	十勝沖地震	上磯町七重浜埋立地 No. 1	200	0.0	0.0	○	
-2	"	" No. 2	"	0.0	0.0	○	
-3	"	" No. 3	"	5.8	3.6	○	
-4	"	八戸市(製紙工場)	235	26.7	16.8	○	
NB-1	濃尾地震	岐阜県岐阜市	255	35.1	36.1	○	
-2	"	岐阜県各務原市鶴沼	210	—	—	○	20m未満
-3	"	" おがせ沼	"	—	—	○	"
-4	"	岐阜県大垣市万石町	565	56.5	59.2	○	
TN-1	東南海地震	名古屋港区名港通	200	—	—	○	20m未満
-2	"	" 港明町1-31	"	26.3	16.5	○	
-3	"	" 福永新山地内	"	17.7	13.9	○	
FK-1	福井地震	福井市高城町45	632	41.9	52.9	○	
-2	"	丸岡町豊協飯地	295	18.7	19.2	×	
-3	"	" 松堂寺	315	24.9	22.5	○	
-4	"	福井市高城町2-168	630	36.0	48.2	○	

3. 流動化指数 (PL) の概念

2. に示した F_L は深さ方向に分布する量である。以下、ある一地点の流動化の有無を判定する量として、 F_L の分布を用いた流動化指数 (P_L あるいは P_L^*) で表現することと検討する (図1 参照)。

$$P_L = \int_0^{20} F \cdot W(z) \cdot dz \quad (z: \text{深さ, m}) \quad (5)$$

ここに、 $F = 1 - F_L$ (ただし $F_L \geq 1$ のときは $F = 0$ とする)。

$W(z) = 10 - 0.5z$ (三角形分布の重み係数) である。

$$P_L^* = \int_0^{20} F \cdot W^*(z) dz \quad (6)$$

ここに、 $W^*(z) = 5$ (矩形分布の重み係数) である。

この様に定義すると、深さ20m (この深さまでも検討対象とした) にわたって $F_L = 0$ の場合に $P_L = P_L^* = 100$ と

なる。また、20m にわたって $F_L \geq 1.0$ の場合に $P_L = P_L^* = 0$ となる。 F_L が $0 \sim 1$ の間の値をとる場合には、 P_L 、 P_L^* は 0 と 100 の間の値をとる。(5)式から求まる P_L では、地表に近い程、 F_L に大きな重みも乗じている。これは同一の F_L 値であっても地表近くの方が流動化しやすいと判断する考え方である。一方、(6)式から求まる P_L^* では、特に F_L に深さ方面の重みを変化させていない。どのような重み関数が最適であるかは、今後の検討課題として残るが、ここでは2者の場合につき P_L 、 P_L^* 値を計算してみた。得られた P_L 、 P_L^* 値、および流動化の有無 (地震時の観察結果) との間の関係を図2、3に示す。これらより以下のことがいえよう。

(1) P_L と P_L^* の値はほぼ同一であるが、 P_L (あるいは P_L^*) が小さいと P_L が P_L^* よりやや大きく、 P_L (あるいは P_L^*) が大きいと、 P_L^* が P_L よりやや大きくなっている。両表には大差がなく、以下では P_L を主体とする。

(2) P_L (あるいは P_L^*) が大きい程、流動化しやすい。非流動化地点での P_L は全て20以下で、70%は5以下である。流動化発生地点の80%は P_L 5以上、同じく50%は P_L 15以上である。

(3) 本手法による P_L 値は、完全なものとは云い難いが、地震時における地盤の流動化の発生の可能性を反映した一つの指標であると考えられる。今回の検討の範囲では、 $P_L \leq 5$ の地盤では流動化の可能性は低い。が、 $P_L \geq 15$ の地盤では流動化の可能性は高いと判断される。

4. 謝辞

本報告に示した概念をまとめるにあたっては、静岡県総務部地震防災課の資料を参照させていただいた。また、本報告で述べた過去の地震時の地盤流動化発生地点 (非流動化地点も含む) の地盤条件の収集及び数値計算にあたっては、基礎地盤コンサルタンツ(株)の安田進、佐藤弘行の両氏に御協力いただいた。両者の関係者の皆様へ感謝致します。

5 参考文献

- 1) 岩崎、龍岡、常田「 N 値等による飽和砂質土の非排水動的強度推定式の検討」13回土質工学研究発表会 (53.6)
- 2) 龍岡、岩崎、常田「 N 値-有効上載圧-平均粒径を用いた飽和砂質土の非排水動的強度の簡易推定法」同上
- 3) 安田、山口、「細粒分を含む砂質土の相対密度」5回土木学会関東支部年次研究発表会 (53.1)

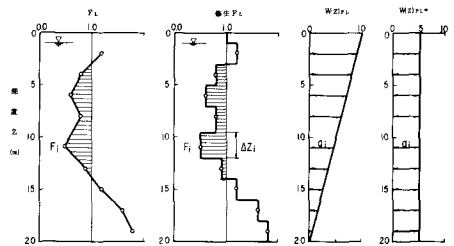


図1 F_L 分布、修正 F_L 、および重み関数

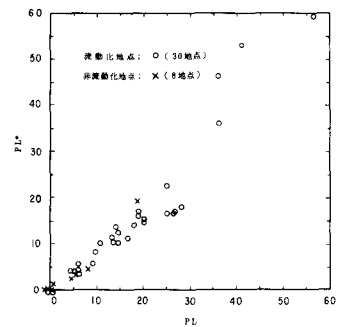


図2 P_L と P_L^* の関係

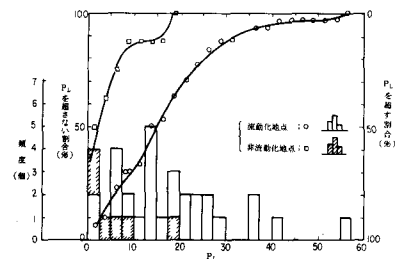


図3 P_L による流動化判定結果