

### 低塑性粘土の液状化時の挙動について

国土交通省 河川局 防災課 [正] 横田 尚之  
日本工営 (株) 大阪支店 [正] 尾形 一  
日本工営 (株) 福岡支店 伊藤 圭一

#### 1. はじめに

「道路橋示方書」に代表される砂質地盤の液状化判定において、細粒分含有率  $F_c > 35\%$  であっても塑性指数  $I_p \leq 15$  以下の土は液状化対象として取扱うこととなっている。大和川堤防において低塑性粘土 ( $F_c \geq 90\%$ ,  $I_p < 15$ ) が厚く分布する断面(図-1 参照)に対し耐震照査(静的解析: ALID)を実施した際、この層に対し砂と同様のパラメータが設定されたため、大きな変形を生じ堤防の安全性が確保できないケースが確認された。

ALID に利用されているパラメータの設定方法は、砂を対象とした実験式により安田ら<sup>1)</sup>によって提案されているが、低塑性粘土の液状化時の挙動については、まだ不明確な点が多い。本稿では、この低塑性粘性土に対し液状化時の挙動を確認するための土質試験を実施した結果とその利用方法について報告する。

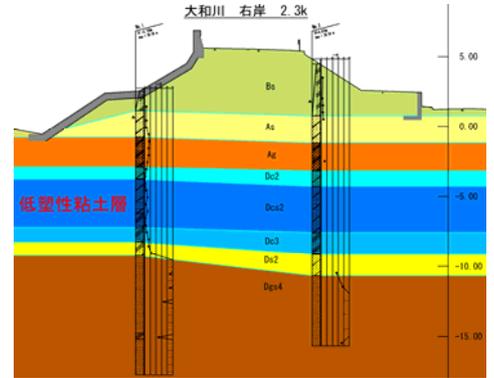


図-1 地質断面図

#### 2. 低塑性粘性土の物理特性

図-2・図-3に低塑性粘性土の物理試験結果を示す。

当該地で確認された低塑性粘土は  $F_c$  は 90%以上であるが、 $I_p$  は 15 を下回っている。粒度特性は砂-シルト境界付近で非常に立っており、粘土分が少なく微細砂に近い粒度特性を持つことから、地震時には砂に近い挙動を示すことが想定される。

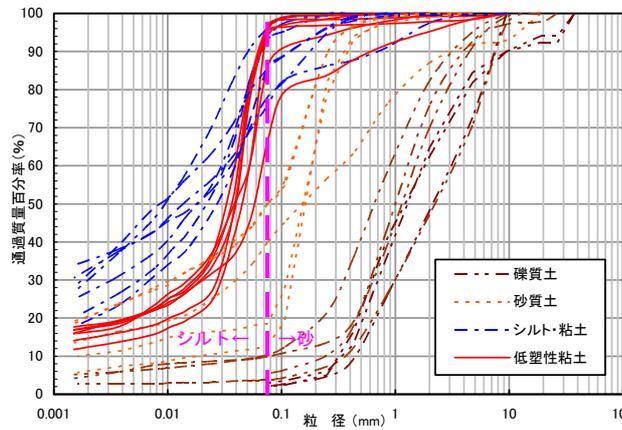


図-2 粒径加積曲線

#### 3. 低塑性粘土の地震時の挙動

低塑性粘土の地震時の挙動を確認するために、三軸圧縮試験機を用い、1) 単調載荷試験、2) 通常の液状化試験、3) 繰返し載荷後の単調載荷試験、4) 液状化後の体積変化量を求めるための試験を実施した。

1) では液状化前のせん断剛性  $G_0$  を求めるため CU 条件の単調載荷試験を実施し得られた応力-ひずみの関係から割線剛性で、 $G_0 = 17,000 \text{ kN/m}^2$  を得た。

2) では通常の液状化試験を実施し、 $R_{L20} = 0.217$  を得た。

3) では原位置の有効上載圧で等方圧密したのちに、図-4に示すような  $F_L$  が 0.8~1.1 の範囲に入る繰返し応力振幅比  $R_d$  を載荷した後に非排水状態で軸圧縮を実施し、応力-ひずみの関係から液状化時のせん断剛性  $G_1$  および回復せん断剛性  $G_2$  を求めた。試験結果を表-1 および図-5~図-7に示す。低塑性粘土のせん断剛性は、 $F_L = 1.0$  を境界として大きく変化することが確認され、応力~ひずみの関係は、 $F_L \geq 1.0$  では、上に凸の粘性土に代表されるカーブを描くが、 $F_L < 1.0$  の領域では、液状化した砂に代表される下に凸のグラフとなり、ひずみが増加すると応力が回復する。また、砂質土と同様に  $F_L < 1.0$  の試験時には過剰間隙水圧が上昇し、液状化に準ずる状態となる。なお、 $F_L \geq 1.0$  の領域におけるせん断剛性低下率は 0.1~0.2 程度であったが、 $F_L < 1.0$  では、0.006~0.014 と 1/100~1/10 程度の値となった。これらの試験結果から、低塑性粘土は地震時に  $F_L < 1.0$  となった場合には、液状化した砂質土と同様に強度低下を生じることが確認できた。

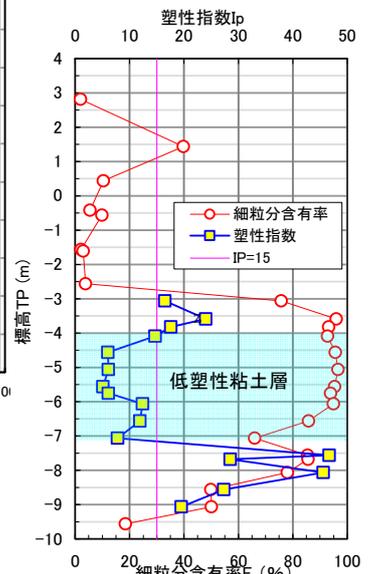


図-3  $F_c$ - $I_p$  分布図

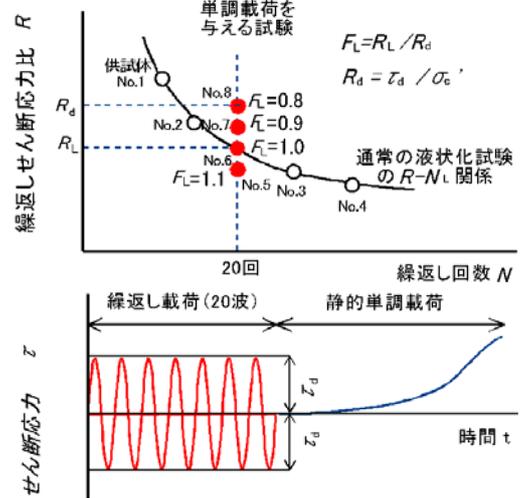


図-4 繰返し載荷後の単調載荷試験方法<sup>1)</sup>

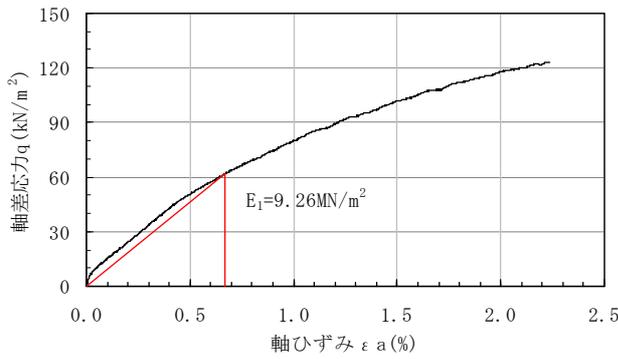


図-5 FL=1.1のひずみ-応力の関係

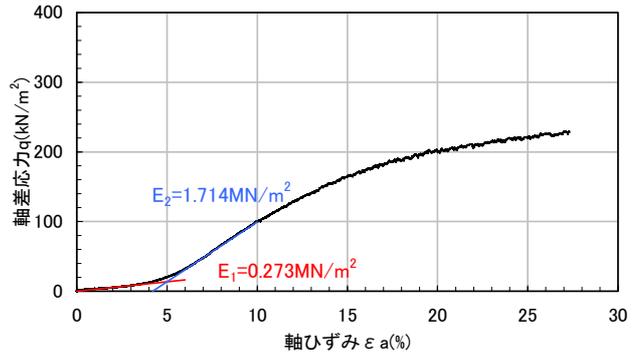


図-6 FL=0.9のひずみ-応力の関係

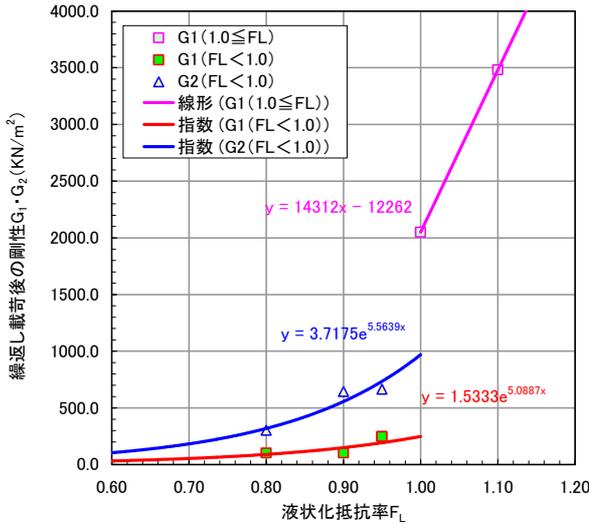


図-7 FL-G0・FL-G1の関係

表-1 繰返し載荷後の単調載荷試験結果一覧表

項目	単調載荷	液状化に対する安全率					
		FL=1.1	FL=1.0	FL=0.95	FL=0.9	FL=0.8	
有効拘束圧 $\sigma'_0$ kN/m <sup>2</sup>		100	100	100	100	100	
供試体	初期 湿潤密度 $\rho_t$ g/cm <sup>3</sup>	1.844	1.839	1.852	1.804	1.843	1.811
	乾燥密度 $\rho_d$ g/cm <sup>3</sup>	1.336	1.327	1.353	1.279	1.339	1.283
	含水比 W %	38.0	38.6	36.9	41.0	37.6	41.2
	圧密後の乾燥密度 $\rho_{dc}$ g/cm <sup>3</sup>	1.367	1.360	1.378	1.318	1.367	1.321
繰返し載荷	繰返し軸差応力 $\sigma_d$ kN/m <sup>2</sup>	—	39.65	43.01	45.95	48.10	54.06
	繰返し応力比 $\sigma_d/2\sigma'_0$	—	0.198	0.215	0.230	0.240	0.270
	最大過剰間隙水圧比 $\Delta u/\sigma'_0$	—	0.71	0.88	0.96	0.99	0.98
	載荷後の軸ひずみ $\Delta H/Hc$ %	—	-0.63	-1.90	-4.35	-6.15	-5.75
弾性係数	E1 MN/m <sup>2</sup>	45.665	9.260	5.453	0.659	0.273	0.271
	E2 kN/m <sup>2</sup>	45665	9260	5453	659	273	271
剛性	繰返し載荷前 G0 kN/m <sup>2</sup>	17167	—	—	—	—	—
	繰返し載荷後 G1 kN/m <sup>2</sup>	—	3481	2050	248	103	102
	G2 kN/m <sup>2</sup>	—	—	—	665	644	303
	せん断剛性低下率 G1/G0	—	0.203	0.119	0.014	0.006	0.006
回復せん断剛性比 G2/G0	—	—	—	0.039	0.038	0.018	
せん断剛性比 G1/σ'c	—	34.8	20.50	2.48	1.03	1.02	

4)は安全率FLが0.8~1.0の範囲に入る繰返し応力振幅比Rdを20回載荷することで供試体を液状化させた後、ビューレットに通じる排水バルブを開き、過剰間隙水圧が消散するまで排水量を計測し、排水量から体積変化を求めた。本試験で得られた体積変化をきれいな砂におけるFLと体積変化の関係<sup>2)</sup>にプロットした結果を図-8に示す。低塑性粘土は、きれいな砂と同等に液状化後はεvd=3~6%程度の比較的大きな体積変化が発生することが判明した。

4. 試験結果の利用について

試験によって得られた結果を、静的解析(ALID)実施時に、対象層の物性値として初期剛性G0、せん断剛性低下率G1/G0、回復せん断剛性比G2/G0として入力すると共に、液状化後の体積変化に関するパラメータとして相対密度Drを30%相当とすることで、低塑性粘土の特性を反映させて解析精度の向上を図った。

5. まとめ

低塑性粘土は、常時は粘性土としての特性を有するものの、地震動による繰返し応力を受けた場合、液状化した砂と同じように強度の低下が大きくなることを見出されたが、この低塑性粘土に対する研究はまだ十分に進んでいない。

よって、今後試験データの蓄積を進め低塑性粘土の地震時の挙動や強度特性を明確にする必要があると考える。

謝辞：東京電機大学 理工学部 建設環境工学科の安田進教授および(株)地盤ワト工房 安達健司社長に、試験時の留意点や試験結果の解釈についてご指導をいただきました。ここに記して謝意を表します。

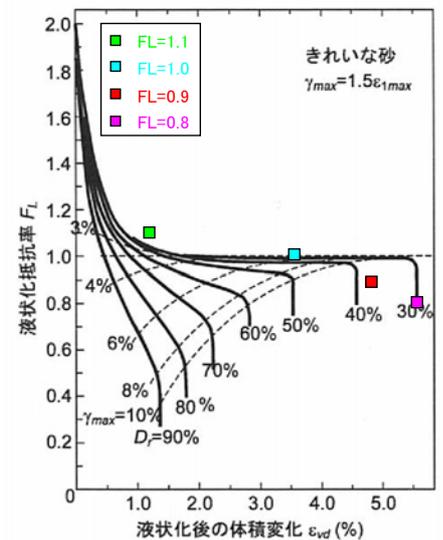


図-8 低塑性粘土の過剰間隙水圧消散後の体積変化  
\*) 過剰間隙水圧消散後の体積ひずみと液状化抵抗率FL及び相対密度Drの関係<sup>2)</sup>に加筆

キーワード 低塑性粘土, 河川堤防耐震検討, ALID, 液状化強度, 液状化後の体積変化

連絡先 〒530-0047 大阪市北区西天満 1-2-5 大阪 JAビル 日本工営(株)大阪支店 TEL.06-7177-9505 FAX.06-6311-2325

参考文献: 1) 安田進・稲垣太浩・長尾和之・山田真一・石川敬祐: 液状化を含む繰返し軟化時における種々の土の変形特性, 第40回地盤工学研究発表会, pp. 525-526, 2005. 7. 2) ALID研究会: 2次元液状化流動解析プログラム ALID/WIN (第4版) 2007. 12