

Ⅲ-A14

静的載荷における砂の流動化挙動でのせん断力低下の大きさを判定する方法

日本道路公団 正 員 ○大西隆信
立命館大学理工学部 フェロー 竹下貞雄
立命館大学大学院 学生員 石原成樹

1. まえがき 液状化は地震で起きる繰返しせん断で発生することが知られているが、浸透流や静的せん断によっても発生している。飽和した非常にゆるい砂地盤に、降雨や川の水面の昇降などに伴う浸透水流などのごく軽微な刺激により地盤周辺の静的な応力が変化し地盤の支持力が低下することにより液状化現象（静的液状化）が発生することがあり、液状化の重要な要因であるせん断力について検討したものである。

2. 実験概要

2.1 試料 試料は杉津砂(福井県)、マキノ砂(滋賀県)、豊浦砂(山口県)、白浜砂(和歌山県)の4種類の砂を用い、よく水洗いした後乾燥させ、2mmふるいに通過したものを使用した。そして、地盤工学会基準による物理的性質及び粒径加積曲線を Table2.1, Fig.2.1 に示している。

Table2.1 物理的性質

	杉津砂	マキノ砂	豊浦砂	白浜砂
G_s	2.686	2.632	2.654	2.648
$D_{10}(\text{mm})$	0.110	0.112	0.083	0.153
$D_{30}(\text{mm})$	0.142	0.200	0.101	0.270
$D_{60}(\text{mm})$	0.251	0.305	0.156	0.327
U_c	2.28	2.72	1.88	2.14
U'_c	0.73	1.17	0.79	1.46
$e_{\max}$	0.949	0.918	0.961	0.724
$e_{\min}$	0.607	0.590	0.603	0.481

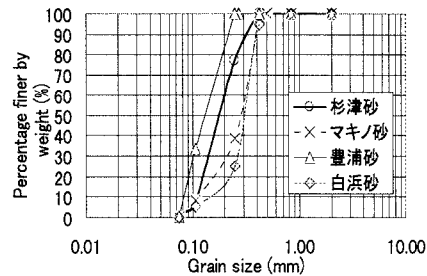


Fig.2.1 粒径加積曲線

2.2 供試体の作製 供試体の寸法は、直径 50mm、高さ 100mm とした。非常に緩い砂($Dr \approx 0\%$)の供試体は、Wet Tamping 法により作製した。Wet Tamping 法とは、乾燥試料に一定の初期含水比を持たせ、砂粒子間に表面張力による粘着力を持たせることにより非常に緩い骨格構造を持たせるものである。そして試料を小さじ 1 杯ずつモールド内に入れ供試体が均等になるように突き固めた。また供試体の飽和を高めるために、 CO_2 を供試体に通過させ、次に脱気水を通過させ、Back Pressure($3\text{kgf}/\text{cm}^2$)を作用させることにより飽和度を約 100%にした。

2.3 試験方法 圧密過程は、等方性圧密、排水条件で行い、軸圧縮過程(圧縮試験)は非排水条件でひずみ速度 $1\text{mm}/\text{min}$ のひずみ制御方式で行い、変位量が 30mm になるまで連続的に圧縮を行う。圧縮中の軸変位量、軸圧縮力、間隙水圧を測定する。

3. 実験結果および考察

3.1 応力-ひずみ関係 Sladen, J.A. は初期有効拘束圧 p'_c と定常状態時の平均有効主応力 p'_s との比で表される初期状態比 R_c をもって、流動化挙動と非流動化挙動との境界が区別できるとしている。つまり、流動化挙動と非流動化挙動との境界を初期状態比 $R_c \approx 2$ とした。

$$R_c = \frac{p'_c}{p'_s} \quad (3.1)$$

p'_c : 初期有効拘束圧

p'_s : 定常状態時の平均有効主応力

Ishihara, K. が行った実験によると、初期状態比 R_c が 2.0 より高ければ砂は流動化挙動を示すと述べている。逆に初期状態比 R_c が 2.0 より低ければ砂は非流動化挙動を示す。

キーワード：液状化、せん断力、間隙水圧

連絡先：〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 TEL: (077) 566-1111, FAX: 077-561-2667

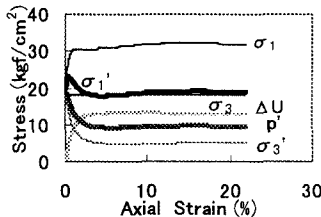


Fig.3.1.1 流動化挙動の境界($R_c \approx 2$)
における応力-ひずみ関係

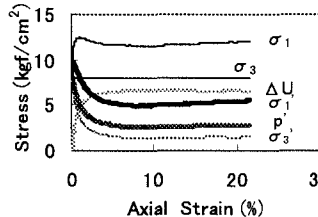


Fig.3.1.2 流動化挙動($R_c > 2$)
における応力-ひずみ関係

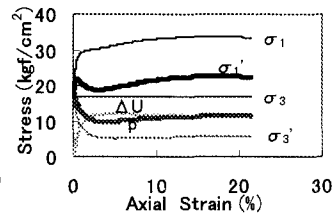


Fig.3.1.3 非流動化挙動($R_c < 2$)
における応力-ひずみ関係

4. 流動化挙動におけるせん断力低下の大きさを示す方法 Fig.3.1.1 では、定常状態(最小平均有効主応力 p'_s)時の垂直有効主応力 σ'_1 が拘束圧 σ_3 とほぼ一致していることがわかる。また、Fig.3.1.2 では、定常状態時の垂直有効主応力 σ'_1 は、拘束圧 σ_3 より小さく、Fig.3.1.3 では、定常状態時の垂直有効主応力 σ'_1 は、拘束圧 σ_3 より大きいことがわかる。つまり、垂直有効主応力 σ'_1 が拘束圧 σ_3 よりどの位大きいかまたは小さいかにより、せん断力の低下の大きさを判定することが可能であることが考えられる。そこでせん断力の低下の大きさを判定する新しい方法として次式を提案する。

$$R_\sigma = \frac{\sigma_3 - \sigma'_1}{\sigma_3} \quad (4.1)$$

Fig.4.1 に流動化挙動と非流動化挙動における R_c と R_σ の関係を示している。Fig.4.1 より R_c と R_σ は関係があることがわかる。Fig.4.1 の関係より流動化挙動の境界 $R_c=2$ の時は $R_\sigma=0$ を示している。 $R_\sigma > 0$ の時は、 $R_c > 2$ となり流動化挙動が生じ、 $R_\sigma < 0$ の時は、 $R_c < 2$ となり流動化挙動が生じない。また R_c の値が大きいほどせん断力の大きな低下を伴う流動化挙動が生じるので、 R_σ の値も大きくなるほどせん断力の大きな低下を伴う流動化挙動が生じると考えられる。

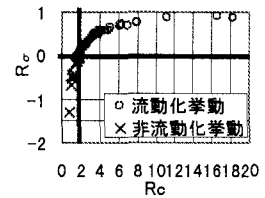


Fig.4.1 R_c と R_σ の関係

また、 R_σ の方法以外に流動化挙動あるいは非流動化挙動を判定する方法として Table4.1 に示す。

Table4.1 流動化挙動あるいは非流動化挙動の判定方法

	流動化挙動	流動化挙動の境界	非流動化挙動
初期状態比	$R_c > 2$	$R_c = 2$	$R_c < 2$
R_σ	$R_\sigma > 0$	$R_\sigma = 0$	$R_\sigma < 0$
垂直全応力比	$\sigma_1 / \sigma_3 < 1.75$	$\sigma_1 / \sigma_3 = 1.75$	$\sigma_1 / \sigma_3 > 1.75$
軸差応力比	$(\sigma_1 - \sigma_3) / \sigma_3 < 0.75$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / \sigma_3 = 0.75$	$(\sigma_1 - \sigma_3) / \sigma_3 > 0.75$
過剰間隙水圧比	$\Delta U / \sigma_3 > 0.75$	$\Delta U / \sigma_3 = 0.75$	$\Delta U / \sigma_3 < 0.75$

Table4.1 より、流動化挙動と非流動化挙動の境界($R_c \approx 2$)時には定常状態時において、垂直全応力 σ_1 : 拘束圧 σ_3 : 軸差応力 $\sigma_1 - \sigma_3$: 過剰間隙水圧 $\Delta U = 1.75 : 1 : 0.75 : 0.75 = 7 : 4 : 3 : 3$ の関係が成り立つ。

5. 結論

- 1) 初期状態比 R_c の方法以外に R_σ 、垂直全応力比 σ_1 / σ_3 、軸差応力比 $(\sigma_1 - \sigma_3) / \sigma_3$ 、過剰間隙水圧比 $\Delta U / \sigma_3$ の方法でも流動化挙動あるいは非流動化挙動を判定することが可能である。
- 2) 流動化挙動と非流動化挙動の境界($R_c \approx 2$)時には定常状態時において、垂直全応力 σ_1 : 拘束圧 σ_3 : 軸差応力 $\sigma_1 - \sigma_3$: 過剰間隙水圧 $\Delta U = 7 : 4 : 3 : 3$ の関係が成り立つ。

[参考文献]

- 1) Ishihara, K. : "Liquefaction and Flow Failure during Earthquakes", Géotechnique 43, No.3, pp.351-415, (1993)
- 2) Sladen, J.A., D'Hollander, R.D., Krahn, J. : "The Liquefaction of Sand, a Collapse Surface Approach", Canadian Geotechnical Journal, Vol.22, pp.564-578, (1985)