

立命館大学理工学部 正 員 竹下貞雄
立命館大学大学院 学生員 ○大西隆信
立命館大学大学院 学生員 西村卓郎

1. はじめに 1991 年島根県安来市東赤江町、飯梨川河口の中海で、川から流れ出た砂の圧力によって湖底の泥が一ヶ所に集中し、水面上に隆起する珍しい現象が起きた。この現象は、隆起周辺の湖底には急激な力加わったとみられる無数の亀裂が起こり、川から流出した砂の重みで、湖底の軽い泥が一気に押し出されたためと考えられる。こうした隆起現象は、1960 年代にミシシッピ川沖のメキシコ湾でも観測されている。本論文では、飽和砂の液状化現象に的を絞り、液状化の度合を示す新しい手法について説明する。

2. 試料の性質及び供試体の作製方法 試料は杉津砂(福井県)とマキノ砂(滋賀県)を用い、よく水洗いした後乾燥させ、2 mmふるいに通過したものを使用した。地盤工学会基準による物理的性質及び粒径加積曲線を表 1, 図 1 に示す。

Table 1. 物理的性質

	杉津砂	マキノ砂
G _s	2.686	2.632
D _{10(mm)}	0.110	0.112
D _{30(mm)}	0.142	0.200
D _{60(mm)}	0.251	0.305
U _c	2.28	2.72
U _c	0.75	1.17
e _{max}	0.949	0.918
e _{min}	0.607	0.590

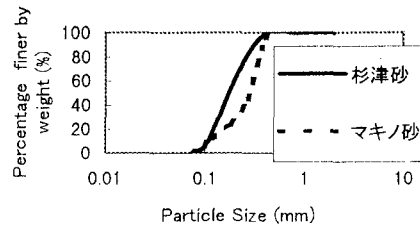


Fig.1 粒径加積曲線

非常に緩い砂を作製するために、含水比を杉津砂 8%、マキノ砂 5%に調製し、スプーンで 1 杯ずつモールド内に入れ、供試体が円柱になるように軽く突き固める Wet Tamping 法によって作製した。そして非常に緩いために、体積が減少し、正確な供試体の寸法を測定するために、 -0.05kgf/cm^2 の負圧をかけながら、一次通水を行い、一次通水終了後、寸法を測定する。その後二次通水で飽和させた。また砂の間隙には、水と空気が存在し、空気を水に置き換えることにより、飽和度を高めることができる。そのため供試体に CO_2 を約 30 分間通過させ、脱気水を 300cc 通過させる。そして、Back Pressure を作用させる事により飽和度を約 100%にした。

3. 試験方法 等方性圧密で行い、上下排水口を開けると同時に計測を行う。計測時間は、6 秒、9 秒、15 秒、30 秒、1 分、2 分、4 分、6 分、8 分…で行う。そして、体積圧縮量から圧密後の間隙比を求める。圧縮試験は、非排水条件で行うので、上下排水口を閉め、ひずみ速度 $1\%/min$ で供試体を連続的に圧縮する。圧縮中の軸変位置、軸圧縮力、間隙水圧を測定する。

4. 試験結果および考察

4.1 正規化応力経路

図 2(a), (b)は平均有効主応力 $p'((\sigma_1 + 2\sigma_3)/3)$ と軸差応力 $q((\sigma_1 - \sigma_3)/2)$ を p'_{ss} で正規化した応力経路である。この正規化応力経路で、液状化の度合を判定することができる。すなわち、

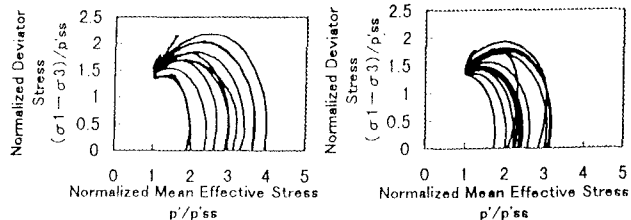


Fig.2(a)正規化応力経路(杉津砂)

Fig.2(b)正規化応力経路(マキノ砂)

Sadao TAKESHITA, Takanobu ONISHI, Takuro NISHIMURA

¹⁾ J. A. Sladen のパラメーター $R_c (=p'_c / p'_{\infty})$; p'_c は初期有効側圧、 p'_{∞} は定常状態 (Steady State) つまり体積一定、せん断力一定、有効応力一定、速度一定で連続的に変形している状態での平均有効主応力を導入すると、 R_c が 2 より小さいときは、液状化は発生せず、 R_c が 2 より大きいときは、液状化は発生すると考えられる。それゆえに、 $R_c=2$ が液状化の境界となる。

4.2 応力-ひずみ関係

実験の結果から、図 3(a),(b),(c)には杉津砂の $R_c > 2$ の応力-ひずみ関係(液状化)、 $R_c=2$ の応力-ひずみ関係(液状化の境界)、 $R_c < 2$ の応力-ひずみ関係(非液状化)を示し、図 4(a),(b),(c)にはマキノ砂の $R_c > 2$ 、 $R_c=2$ 、 $R_c < 2$ の応力-ひずみ関係の一例を以下に示す。

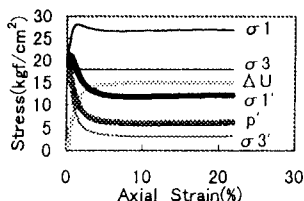


Fig.3(a) 応力-ひずみ関係 ($R_c > 2$)

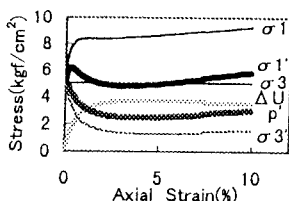


Fig.3(b) 応力-ひずみ関係 ($R_c = 2$)

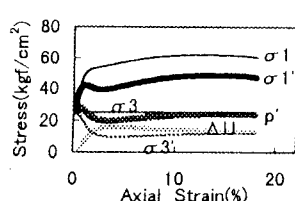


Fig.3(c) 応力-ひずみ関係 ($R_c < 2$)

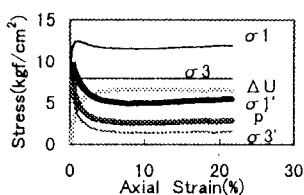


Fig.4(a) 応力-ひずみ関係 ($R_c > 2$)

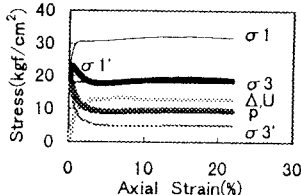


Fig.4(b) 応力-ひずみ関係 ($R_c = 2$)

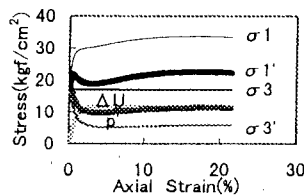


Fig.4(c) 応力-ひずみ関係 ($R_c < 2$)

4.3 R_o 法

図 3(a)・図 4(a)では、定常状態時の垂直有効応力 σ'_1 (=垂直応力 σ_1 - 間隙水圧 ΔU) が、側圧 σ_3 より小さい。そして図 3(b)・図 4(b)では、定常状態時の σ'_1 は、側圧 σ_3 と一致していることがわかる。また図 3(c)・図 4(c)では、定常状態時の σ'_1 は、側圧 σ_3 より大きい。したがって定常状態時の σ'_1 で液状化の度合を考えることができる。つまり、定常状態時の σ'_1 が側圧よりどの位上がるかまたは下がるかで判定する。ここで液状化の度合を知る新しい判定方法として次式を提案する。

$$R_o = \frac{\sigma_3 - \sigma'_1}{\sigma_3}$$

図 5 より R_c と R_o は関係があることがわかる。 R_o がマイナスの時は、 $R_c < 2$ となり液状化は生じず、 R_o がプラスのときは、 $R_c > 2$ となり液状化が生じている。またこの値が大きいほど液状化の度合が大きくなると考えられる。

よって砂の液状化の度合を判定するのに、 R_c の方法以外に、 R_o の方法でも液状化の度合を判定することが可能である。

5. 結論

- 1) 砂の液状化の度合を判定するのに、著者らが提案した R_o の方法でも砂の液状化の度合を判定することが可能である。
- 2) $R_o > 0$ の時には砂は液状化し、 $R_o < 0$ の時には砂は液状化しないことが示される。

[参考文献] 1) J. A. Sladen, R. D. D'Hollander, J. Krahn: "The Liquefaction of Sand, a Collapse Surface Approach", Canadian Geotechnical Journal, Vol.22, p.564-578, (1985).

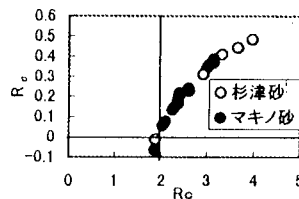


Fig.5 R_c と R_o の関係