

鳥取砂と相馬砂の液状化ポテンシャルについて

立命館大学大学院 学生会員 ○清水敏郎  
 立命館大学理工学部 正会員 竹下貞雄  
 立命館大学大学院 学生会員 高橋永治

1. はしがき

日本の砂の地震による液状化の特性を調べるための動的試験による研究は数多く行われているが、近年海外では静的試験による砂の液状化が検討されるようになった。ここでは鳥取砂と相馬砂について三軸圧縮試験によるCDおよびCU試験の結果から、各々の液状化ポテンシャル $L_p$ を求め、両者の液状化のしやすさを比較する。

2. 試験方法

用いた砂の主な指標と粒度分布は表1および図1に示した。

$D_{10}$ 、 $D_{60}$ ともに相馬砂の方が大きい、 $U_c$ は鳥取砂の方が大きいことはそれだけ鳥取砂の方がしまりやすく、このことは最大間隙比、最小間隙比の値の差となって表れている。

試験機は側圧 $40\text{kgf/cm}^2$  ( $40\text{kgf/cm}^2$ 以上になると砂粒子が破壊すると言われている)まで載荷できる中圧型圧縮試験機を用いた。供試体は、直径5cm、高さ10cmで相対密度 $D_r = 20\%$ 、 $50\%$ 、 $90\%$ になるように一定の方法で作製した。 $D_r = 20\%$ の場合は漏斗の先端を下の加圧板の上につけ、漏斗の中に砂を詰めした後静かに漏斗を引き上げながら詰めた。 $D_r = 50\%$ の時は漏斗を用いてスプーンで5杯ずつモールドの中に充填し、表面をならした後これを繰り返し、5~7層に分けて詰めた。 $D_r = 90\%$ の場合は $D_r = 50\%$ の時と同じ方法で砂を詰め、各層ごとに4方向を30回ずつ軽くたたいた。供試体の飽和はまず二酸化炭素を1時間通した後脱気水を3時間流した。これによりB値は100%を得ることができた。なおバックプレッシャーは $2\text{kgf/cm}^2$ とした。

圧密時間は5分、圧縮試験の載荷速度はCD試験では1%/分、CU試験では0.3%/分とし、圧縮ひずみは20%になったところで試験を終了した。

3. 液状化ポテンシャル $L_p$

Casagrandeは限界側圧を $\sigma_{3f}$ 、限界間隙比での圧密荷重を $\sigma_{3c}$ とすれば液状化ポテンシャル $L_p$ はCD試験の結果から次の式から求められるとした。

$$L_p = (\sigma_{3c} - \sigma_{3f}) / \sigma_{3f} \tag{1}$$

また、非排水試験の結果から $L_p$ を求めるには増加した間隙水圧の値を $\Delta u$ とすれば、定常状態では $\sigma_{3f} = \sigma_{3c} - \Delta u$ となるので、これを(1)式に代入すると

$$L_p = \Delta u / (\sigma_{3c} - \Delta u) \tag{2}$$

となるので、この式を用いることにする。

表. 1 試料の指標

	鳥取砂	相馬砂
比重 $G_s$	2.643	2.619
有効粒径 $D_{10}$ (mm)	0.18	0.50
$D_{60}$ (mm)	0.30	0.64
均等係数 $U_c$	1.64	1.28
曲率係数 $U'_c$	1.21	0.95
最大間隙比 $e_{max}$	1.008	1.028
最小間隙比 $e_{min}$	0.638	0.659

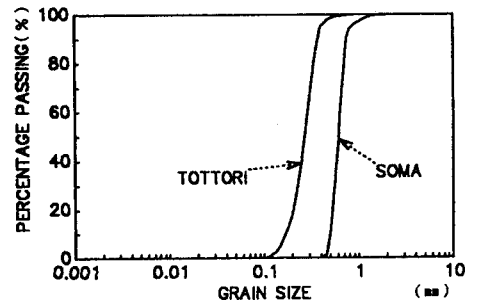


図. 1 粒度曲線

表.2 CD試験によるLpの値

鳥取砂			相馬砂		
$\sigma_{3c}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{3f}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Lp	$\sigma_{3c}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{3f}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Lp
5	1.1	3.17	5	0.4	12.51
10	1.3	6.69	10	0.6	16.86
20	1.8	10.11	20	0.9	21.22
30	2.2	12.64	30	1.2	24.00
35	2.4	13.58	35	1.4	24.00

#### 4. 試験結果および考察

##### 4.1 CD試験

図2は鳥取砂と相馬砂についてのsteady-state lineと compression curveである。これから式(1)を用いてLpを求めた結果が表2に示してある。表2よりLpの値は相馬砂の方が大きく、それだけ液状化しやすいことを示している。

##### 4.2 CU試験

図3、4はCU試験の結果を縦軸に $(\sigma_1' - \sigma_3') / 2$ 、横軸に $(\sigma_1' + \sigma_3') / 2$ をとってプロットした応力経路である。横軸が同じ値の時いずれも相馬砂の方が最小せん断応力は小さくなっている。しかも $(\sigma_1' + \sigma_3') / 2$ の値が5kgf/cm<sup>2</sup>、10kgf/cm<sup>2</sup>の時、鳥取砂も相馬砂も変曲点(elbow)が生じているが、20kgf/cm<sup>2</sup>、30kgf/cm<sup>2</sup>、35kgf/cm<sup>2</sup>の時は、鳥取砂は明らかにelbowが生じているのに対し相馬砂はelbowが生じていない。これはこの部分で前者が部分液状化し、後者は完全液状化していることを示している。

図5は式(2)を用いて求めたLpの値を、縦軸にLp、横軸に側圧をとってプロットしたもので、実線、点線は大体の傾向を示す直線である。MohamadらはLpが5以上で完全液状化するといっているが、このことはこの2種類の砂にも当てはまるものと考えられる。

この2種類の砂のCU試験の結果と表1の土の指標との関係を考えると砂の粒径が大きい方がその上の粒子を支える幅がそれだけ大きいので圧縮量が大きく、間隙水圧の上昇が大きくなってLpが増加するものと考えられる。

#### 5. あとがき

日本の砂の静的液状化について鳥取砂と相馬砂についての比較を試みた。今後も他の日本の砂について同じ試験を実施し、粒度分布や粒子の形状と液状化ポテンシャルLpの値との関係を調査していきたいと考えている。

#### 5. 参考文献

- 1) G. Castro, S. J. Poulos: "Factors Affecting Liquefaction and Cyclic Mobility", Journal of Geotechnical Engineering, Proc. of A.S.C.E., Vol. 103, No. GT6, pp501-516 (1977).
- 2) R. Mohamad, R. Dobry: "Undrained Monotonic and Cyclic Triaxial Strength of Sand", Journal of Geotechnical Engineering, Proc. of A.S.C.E., Vol. 112, No. 10, pp941-958 (1986).

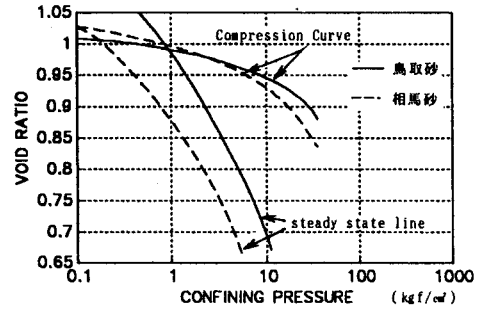


図.2 steady-state lineと圧密曲線

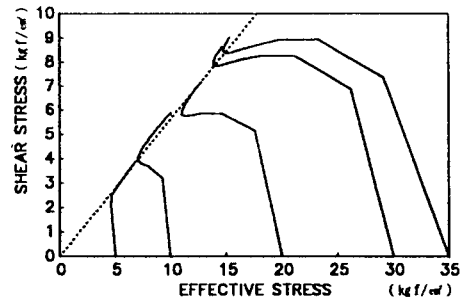


図.3 鳥取砂の応力経路

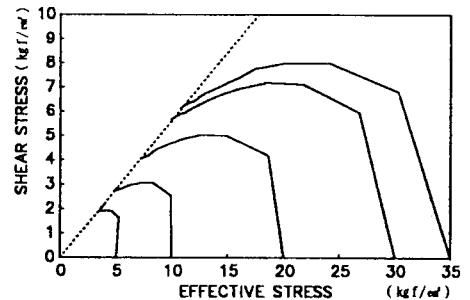


図.4 相馬砂の応力経路

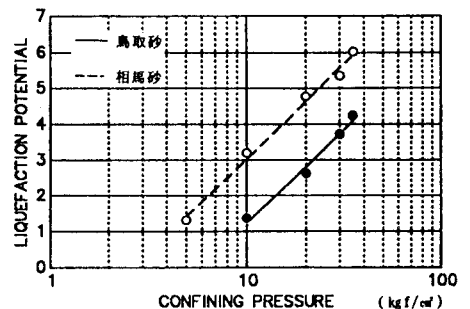


図.5 側圧 - Lp