

(株) 創建コンサルタント ○ 正員 高 榮一
 長岡技術科学大学 正員 小川正二
 長野工業高等専門学校 正員 常田 亮

〔まえがき〕 ランダム荷重下における飽和砂の応力～ひずみ関係をモデル化し、液状化現象を解明しようとする試みは多くの研究者によつてなされている。¹⁾ 著者らも過圧密砂の応力～体積ひずみ関係のモデルの作成、モデルから液状化へのアプローチを目的として過圧密履歴を受けた飽和砂の排水条件での圧縮について実験的に調べたので、その結果について報告する。

〔実験方法〕 実験に用いた砂は新潟県黒崎町で採取されたもので、比重 2.67, $e_{max} = 1.04$, $e_{min} = 0.65$ である。実験は、図-1 に示す応力経路で行ない、 σ_c で圧密した後バックプレッシャーを加えて拘束圧力を σ_c に低下させて過圧密状態にした後に、軸差応力を加えてせん断した。また、相対密度は図-1 の③の状態では $D_r = 50 \sim 60\%$ であり、 B 係数は 0.95 以上である。

〔応力～体積ひずみ関係〕 体積ひずみ (ε_v : 圧縮を負で示す) と応力比 (q/p : 軸差応力 q と平均主応力 p の比) の関係曲線における変曲点を降伏と定義すると、過圧密砂の降伏点における p - q 関係で表わされる降伏曲線は図-2 のようになり、過圧密比の大きさにより異なる。降伏曲線の内側では、供試体は弾性的挙動を示すので $O.C.R$ あるいは拘束圧が大きいほど弾性領域が広いといえる。また、この図より、任意の $O.C.R$ 、拘束圧の大きさが決まれば、降伏点の q/p が決定される。

図-3 は $O.C.R = 2.0$ の場合の降伏曲線、等体積ひずみ線を示している。なお、同図には変相線、破壊線も示してある。図中の降伏曲線と等体積ひずみ線の交点より降伏時の ε_v (q/p) が決定される。

また、図-4 は体積最小点に相当する $q \sim p$ 関係を示しており、この関係は式 (1) で、また、そのときの体積ひずみ (ε_{vt}) は式 (2) で表わされる。

$$\left(\frac{q}{p}\right)_t = \frac{\varepsilon_{vt}}{0.0131 + 0.7145} \quad \text{--- (1)}$$

$$\varepsilon_{vt} = 0.48 \times 10^{-0.182(O.C.R - 1)} \cdot \sigma_c \quad \text{--- (2)}$$

ただし、 $(q/p)_t$: 体積最小点における (q/p)

ε_{vt} : 体積最小点における ε_v (%)

σ_c : せん断時拘束圧 (kgf/cm^2)

図-2 ~ 4 および式 (1), (2) を用いて過圧密砂のダイレイタンスンモデル (ε_v - q/p 関係) が得られる。図-5 は、 $O.C.R = 2.0$ の場合のモデルを示したものである。破壊点は $O.C.R$ 、 σ_c に関係する値で $\varepsilon_v = 0$ になったときの q/p の値を用いた。また、変相点での (q/p) は拘束圧の大きさに関係なく一定とした。

〔圧縮指数への σ_c , $O.C.R$ の影響〕 静的試験結果を用いて液状化現

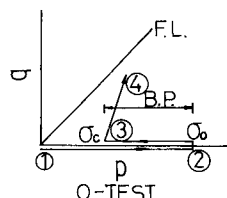


図-1 応力経路図

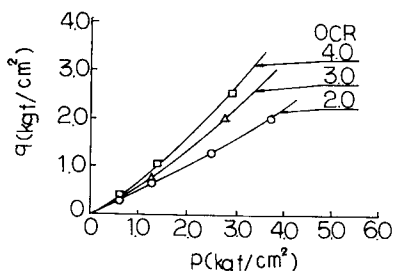


図-2 過圧密砂の降伏曲線
 $O.C.R = 2.0 \varepsilon_v$ (%)

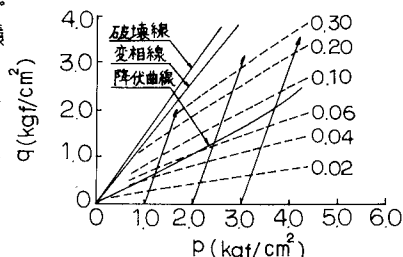


図-3 q - p 面上の等体積ひずみ曲線

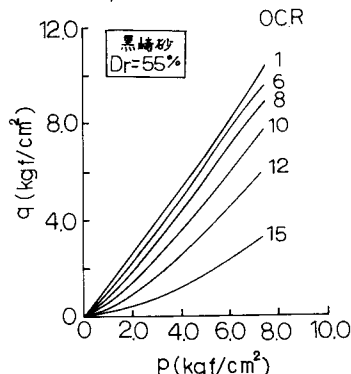


図-4 過圧密履歴を考慮した変相線モデル

象を説明するために、今井・川原は、圧縮指数(m_s : 体積最小点の ε_v と σ の比)の概念を用い、梅原・善は、正規圧密砂の m_s はせん断時の圧縮の程度を示し、 D_r ・粒子形状・ダイレイタンス・インターロッキング効果・拘束圧力の影響を反映することを報告しているので、 m_s について検討すると、式(1)より m_s は次のようになる。

$$m_s = \frac{(\sigma/P)t}{\sigma_c \cdot \varepsilon_{vt}} = \frac{0.0393 + 1.1435 \varepsilon_{vt}}{3 \cdot \sigma_c} \quad (3)$$

式(3)より $m_s \sim \sigma_c$, $m_s \sim O.C.R.$ 関係を求めると図-6、7が得られ、 m_s は $O.C.R.$, σ_c が高いほど小さくなり、しかも一定値に収束することがわかる。

次に m_s と動的三軸試験で求めた液状化抵抗値(T_d / σ_c)の関係を見ると図-8に示すようになり、 $O.C.R.$

に關係なく両者の関係はほぼ一つの直線上にプロットされる。 m_s は砂の受けた応力履歴をも反映しているので静的試験結果から液状化抵抗を判定する場合、有効な指数であるといえよう。

〔液状化解析への適用〕 現在の液状化の判定基準はくり返し応力載荷によってある一定ひずみの発生した状態から判定されている場合が

多く、本当の意味での液状化とサイクリックモビリティを混合しているといえる。図-9は m_s と体積最小点の軸ひずみ ε_{at} の関係を示しており、ある軸ひずみ(せん断変形)を受けた砂が液状化するか単にサイクリックモビリティにとどまるかの判別をするために利用出来る。すなわち、 σ_c によって規定される曲線の右側、 $O.C.R.$ によって規定される曲線の上側は供試体が膨張する領域である。A点は、 $D_r = 55\%$, $\sigma_c = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$, $O.C.R. = 2.0$, $m_s = 0.133$, $\varepsilon_{at} = 2.05\%$ であるので $\varepsilon_{at} \geq 2.05$ の範囲において排水条件では体積は膨張し、非排水条件では間隙水圧が低下することになるので完全な液状化の可能性はなくなり、サイクリックモビリティが生じることになる。

〔あとがき〕 地震時の液状化の可能性を静的試験結果を利用して検討することを目的として過圧密砂の圧縮特性について述べたが、今後は静的くり返し試験も行なっており、動的試験結果との比較をより詳細に行なう予定である。

〔参考文献〕

- 1) たとえば、石原、岡田(1978): 過圧密砂の降伏と繰り返し荷重下の液状化モデル: 土質工学会論文報告集 Vol.18 No.1
- 2) 今井、川原(1975): 砂の圧縮性と液状化強度との関係: 第10回土質工学研究発表会
- 3) 梅原、善(1978): 飽和砂の液状化強度と静的性質の相関性: 第13回土質工学研究発表会

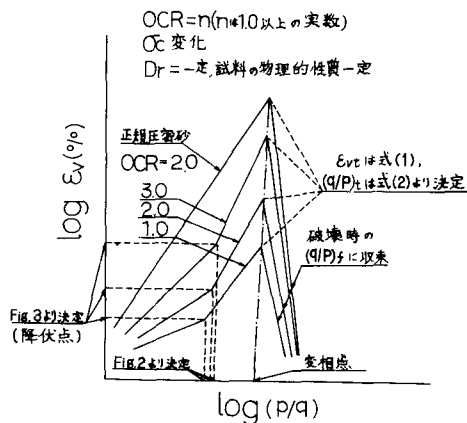


図-5 過圧密砂のダイレイタンスモデル

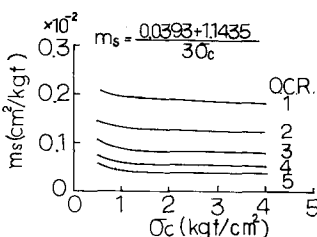


図-6 $m_s \sim \sigma_c$ 関係

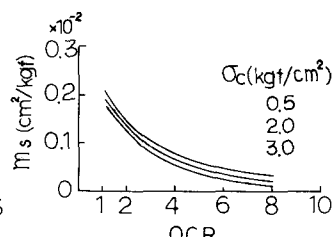


図-7 $m_s \sim O.C.R.$ 関係

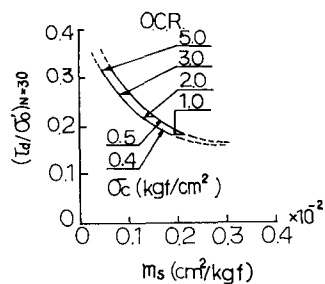


図-8 $(T_d / \sigma_c) N = 30 \sim m_s$ 関係

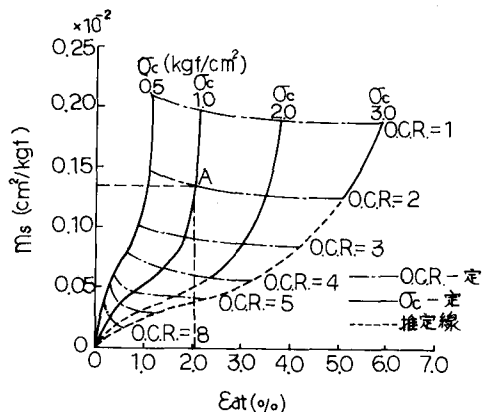


図-9 $m_s \sim \varepsilon_{at}$ 関係