

III-420

砂の非排水三軸圧縮試験における正の過剰間隙水圧と剛性の関係

（財）電力中央研究所 田中幸久

1. はじめに

砂や砂礫などの粒状体の非排水繰返し強度などの非排水せん断特性は、密度のみならず有効拘束圧の影響を受けることが知られている¹⁾²⁾。そのため、従来から用いられてきた相対密度等、密度に関する指標だけでは、非排水せん断挙動を規定できない。ここでは、せん断時の剛性と正の過剰間隙水圧の関係を調べ、両者の間に密接な関係のあることを示す。

2. 実験

3種類の相対密度の豊浦砂に対して、3種類の有効拘束圧 σ_c' （=1、2、3 kgf/cm²）のもとで、非排水三軸圧縮試験を実施した。供試体寸法は、直径10 cm、高さ20 cmである。

3. 実験結果と考察

3.1 砂の非排水せん断挙動に及ぼす有効拘束圧の影響

図-1は、試験の結果得られた有効応力経路を有効拘束圧 σ_c' で正規化して表示した例である。応力経路の位置は、有効拘束圧の値が大きくなるに従って図上で左方へ移動し、正の過剰間隙水圧を生じ易くなることがわかる。正の過剰間隙水圧の最大値 u_{max} の有効拘束圧 σ_c' に対する比 r_{umax} （ $=u_{max}/\sigma_c'$ ）の値は σ_c' で正規化した有効応力経路の形状を表す代表値であると考えて、 r_{umax} の値と相対密度及び初期有効拘束圧の関係を示したものが図-2である。拘束圧の影響も考慮すると r_{umax} と相対密度の間にはユニークな関係が存在しないことがわかる。

3.2 正の過剰間隙水圧と剛性の関係

粒状体のせん断時の応力比ひずみ増分比関係には、いくつかのものがあるが、三軸圧縮条件下では次式で表わされるか又は近似できるものが多い³⁾⁴⁾。

$$\eta = F_1 (d\varepsilon_v / d\gamma) \quad (1)$$

ここで、 $\eta = (\sigma_a - \sigma_r) / (2\sigma_m')$ 、 σ_a ：軸応力、 σ_r ：側方応力、 σ_m' ：平均有効応力、 γ ：せん断ひずみ（ $=\varepsilon_a - \varepsilon_r$ ）、 ε_a ：軸ひずみ、 ε_r ：側方ひずみであり、 $F_1(\quad)$ はある関数を表す。

ところで、式(1)の関係は、有効拘束圧の影響を受けにくいことが報告されている³⁾⁴⁾ので、以降の議論では、式(1)は有効拘束圧の影響を受けないと仮定する。

式(1)を次のように書き換える。

$$\eta = F_1 (d(\varepsilon_v G_i') / d(\gamma G_i')) \quad (2)$$

$$\eta = F_1 (d(\varepsilon_v G_v') / d(\gamma G_v')) \quad (3)$$

ここで、 G' は $\eta \sim \gamma$ 関係の割線勾配であり、 i 、 v の添字は、それぞれ初期載荷時と最大圧縮時を表す。

図-1に示した非排水三軸圧縮試験の $\eta \sim \gamma$ 関係は、次に示す双曲線により精度良く近似できる。

$$\eta = \frac{G_i' \gamma}{1 + (G_i' \gamma) / (\eta_{uet})} \quad (4)$$

ここで、 η_{uet} は η の上限値である。また、式(4)は次のように表すこともできる。

$$\eta = \frac{G_v' \gamma}{(1 - \frac{\eta_v}{\eta_{uet}}) + \frac{G_v' \gamma}{\eta_{uet}}} \quad (5)$$

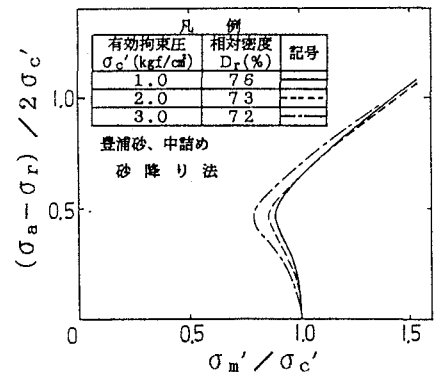


図-1 非排水三軸圧縮時の有効応力経路の例

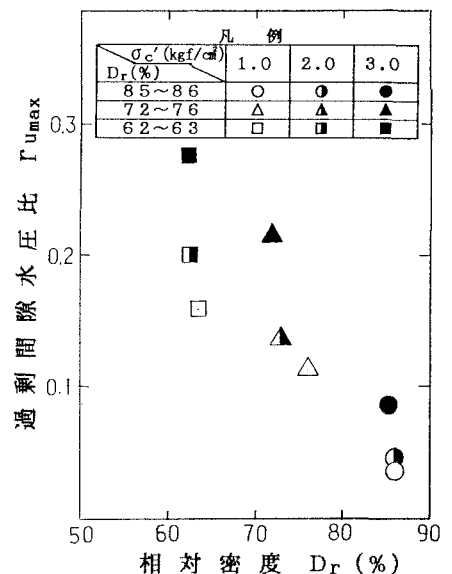


図-2 r_{umax} に及ぼす相対密度と有効拘束圧の影響

ここで、 η_v は、最大圧縮時（ $d\varepsilon_v/d\gamma=0$ ）の η である。

ところで、 η_v と η_{ult} に及ぼす相対密度と有効拘束圧の影響を調べたものが図-3である。図-3によれば、 η_v と η_{ult} は、同一試料であれば、試料の相対密度や有効拘束圧の影響をあまり受けない。そこで、近似的に η_v と η_{ult} に及ぼすそれらの影響を無視する。式(2)と式(4)ならびに式(3)と式(5)を連立して解くと、その解は次式の形で表わされる。

$$\varepsilon_v G_{i'} = F_2 (G_{i'} \gamma) = F_3 (\eta) \quad (6a)$$

$$\varepsilon_v G_{v'} = F_4 (G_{v'} \gamma) = F_5 (\eta) \quad (6b)$$

ここで、 F_2 ()、 F_3 ()、 F_4 ()、 F_5 () はある関数を表す。

排水せん断試験における最大圧縮時の ε_v を ε_{vmax} とすると次式が成立する。

$$\varepsilon_{vmax} = F_3 (\eta_v) / G_{i'} \quad (7a)$$

$$\varepsilon_{vmax} = F_5 (\eta_v) / G_{v'} \quad (7b)$$

つまり、前述したように η_v は相対密度と有効拘束圧の影響を受けないと仮定したので、試料の種類が同一であれば、 ε_{vmax} は $G_{i'}$ や $G_{v'}$ にほぼ反比例することになる。また、 r_{umax} は次式で表される。

$$\begin{aligned} r_{umax} &= u_{max} / \sigma_c' \simeq \varepsilon_{vmax} / (m_r \sigma_c') \\ &= F_3 (\eta_v) / K_i \end{aligned} \quad (8a)$$

$$= F_5 (\eta_v) / K_v \quad (8b)$$

ここで、 m_r は除荷時の膨張係数であり、 K_i 、 K_v は次式で定義される。

$$K_i = G_{i'} m_r \sigma_c' \quad (9a)$$

$$K_v = G_{v'} m_r \sigma_c' \quad (9b)$$

従って、同一種類の試料であれば r_{umax} の値は K_i や K_v の値によってほぼきまるものとおもわれる。そこで、 r_{umax} と K_i や K_v との関係を示したものがそれぞれ図-4、図-5である。パラッキは図-5の方が小さいが、いずれの場合も r_{umax} との間には相対密度や有効拘束圧にあまり影響されない関係が存在するように思われる。

4. まとめ

今回行った実験結果によれば、非排水三軸圧縮試験における正の過剰間隙水圧と剛性の間には、相対密度や有効拘束圧にあまり影響されない関係が存在していた。

謝辞：本報告における室内試験の実施には、東海大卒業生（当時）大山勝弘君の助力を得ている。末筆ながら、ここに感謝の意を表します。

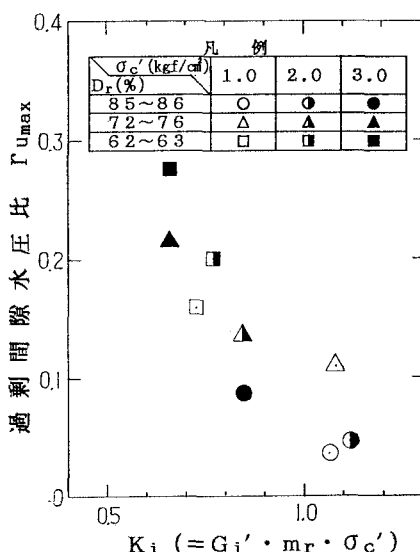


図-4 r_{umax} と K_i の関係

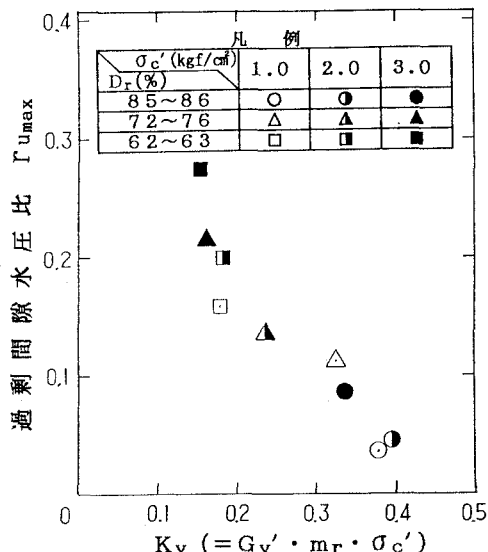


図-5 r_{umax} と K_v の関係

参考文献：1) 田中幸久、工藤康二、吉田保夫、国生剛治（1991）：有効拘束圧が砂礫および砂の動的強度に及ぼす影響、第26回土質工学研究発表会発表講演集、pp779-780。 2) Tanaka, Y., Kudo, K., Yoshida, Y. and Kokusho, K. (1992) : "Undrained cyclic strength of gravelly soil and its evaluation by penetration resistance and shear modulus," Soils and Foundation, Vol.32, No.4, pp.128-142. 3) 西 好一（1982）：地盤材料の弾-塑性挙動と構造物基礎の設計への応用に関する研究、京都大学学位論文、p.35。 4) 龍岡文夫、他（1987）：土の強さと地盤の破壊入門、入門シリーズ13、土質工学会、p.72。