

III-88 初期拘束応力状態及び繰返しせん断応力を変えた飽和砂の永久変形特性

小野田ケミコ(株) 正会員 ○山根 行弘
建設省 土木研究所 島津 多賀夫
正会員 古関 潤一
正会員 古賀 泰之

1. はじめに

飽和砂の永久変形特性は、相対密度、初期拘束応力(初期圧密及び初期ねじりせん断)、初期せん断応力に対する繰返しせん断応力の割合(両振り・片振り)によって変化することが知られている。¹⁾今回は、せん断ひずみの分布がなるべく一様となる様に供試体高さを200mmとした繰返し中空ねじりせん断試験装置²⁾を用い、軸方向応力一定条件下(変形非拘束)で初期拘束応力状態及び繰返しねじりせん断応力を変えて試験を行い、永久変形特性について検討を行ったので以下に報告する。

2. 試験方法

試験に使用した試料は豊浦砂で、その物理特性は $G_s=2.636$ 、 $e_{max}=0.983$ 、 $e_{min}=0.609$ である。供試体寸法は外径100×内径60×高さ200mmで、相対密度60%を目標にして空中落下法によって作成した。その後炭酸ガスと脱気水を通し、バックプレッシャー $B_p=2.0\text{kgf/cm}^2$ で飽和させた。飽和度はB値0.95以上であった。

圧密応力条件は軸方向拘束応力 σ'_a を全て 1.0kgf/cm^2 として、横方向拘束応力 σ'_r を 1.0 、 0.7 、 0.5kgf/cm^2 に変えて行った。初期ねじりせん断応力は初期ねじりせん断応力比 τ_0/σ'_m を 0.00 、 0.15 、 0.30 の3種類として与えた。繰返しねじりせん断応力は繰返しねじりせん断応力比 τ_d/σ'_m を $\sigma'_r=1.0\text{kgf/cm}^2$ の場合は 0.25 、 0.32 とし、 $\sigma'_r=0.7$ 、 0.5kgf/cm^2 の場合は 0.32 、 0.45 とし、非排水、軸方向拘束応力一定の条件下の 0.1Hz の正弦波を加えた。ここに、初期平均主応力 $\sigma'_m=(\sigma'_a+2\sigma'_r)/3$ である。

3. 試験結果

(1) 試験結果例

図-1～2に代表的な試験結果を示す。試験結果としては各試験について(a)時刻歴、(b)有効応力経路、(c)動的最大せん断応力 τ_{maxd} ～動的最大せん断ひずみ γ_{maxd} を示した。なお、動的最大せん断応力 τ_{maxd} と動的最大せん断ひずみ γ_{maxd} は次式より求めた。

$$\tau_{maxd} = \sqrt{(\sigma'_a - \sigma'_r)^2/4 + (\tau_0 + \tau_d)^2}$$

$$\gamma_{maxd} = \sqrt{9/4 \varepsilon_a^2 + \gamma_0^2}$$

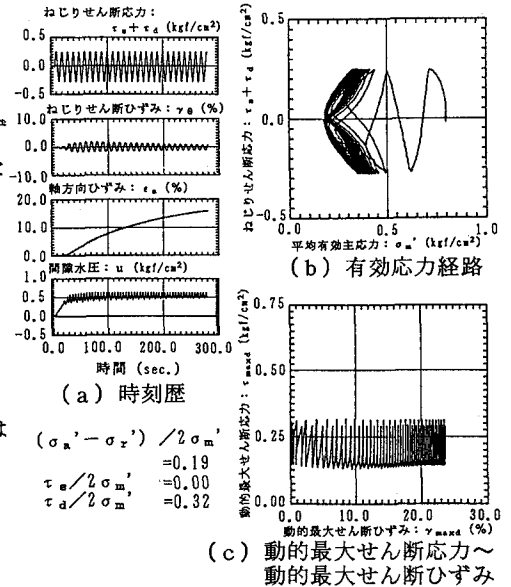


図-1 異方圧密で初期ねじりせん断のない場合

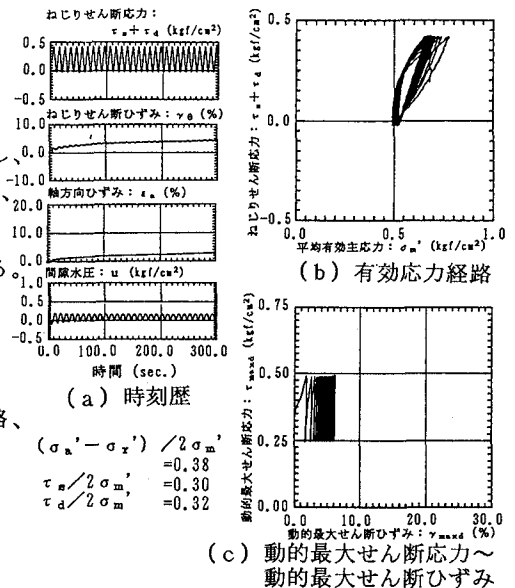


図-2 異方圧密で初期ねじりせん断のある場合

ここに ε_a : 軸方向ひずみ (%) γ_θ : ねじりせん断ひずみ (%)

図-1は圧密せん断応力比 $(\sigma_a' - 2\sigma_r') / 2\sigma_m' = 0.19$ (拘束応力比 $K_0 = \sigma_r' / \sigma_a' = 0.7$ に相当する)、初期せん断応力比 $\tau_a / \sigma_m' = 0.00$ 、繰返しせん断応力比 $\tau_d / \sigma_m' = 0.32$ の両振り試験の結果である。繰返しせん断応力の正負の振幅が等しい完全両振り試験の為、ねじりせん断ひずみはほとんど残留しない。軸方向ひずみは、ねじりせん断ひずみを大きく卓越している。ねじりせん断力がゼロ付近になると急増する傾向を示し階段状に増加している。間隙水圧は横方向拘束圧の0.9程度まで上昇するが液状化しない。有効応力経路では異方圧密の為平均有効主応力はゼロとはならない。動的せん断応力～動的最大せん断ひずみ関係は、軸方向ひずみによるひずみの残留がある。

又、図-2は圧密せん断応力比 $(\sigma_a' - 2\sigma_r') / 2\sigma_m' = 0.38$ (拘束応力比 $K_0 = \sigma_r' / \sigma_a' = 0.5$ に相当する)、初期せん断応力比 $\tau_a / \sigma_m' = 0.30$ 、繰返しせん断応力比 $\tau_d / \sigma_m' = 0.32$ の片振りに近い両振り試験の結果である。ねじりせん断ひずみは、初期せん断力の方向に増加する傾向を示している。軸方向ひずみはねじりせん断ひずみと同程度の大きさで、繰返しせん断に従い増加する傾向を示している。間隙水圧は横方向拘束圧の0.4程度までしか上昇しなく、動的せん断応力～動的最大せん断ひずみ関係に見られるように圧密せん断応力比0.19の場合と比較して剛性が高くなっている。有効応力経路では、繰返し載荷初期より正のダイレイタンスにより平均有効主応力の増加が見られる。動的せん断応力～動的最大せん断ひずみ関係は、ねじりせん断ひずみと軸方向ひずみによるひずみの残留がある。

(2) 残留ひずみ方向と初期拘束応力方向

各繰返しせん断サイクル終了時のひずみを残留ひずみとし、図-3に示す残留ひずみ方向 θ_ε と初期拘束応力方向 (初期圧密せん断応力と初期ねじりせん断応力による方向) θ_σ を次式により求めた。

$$\begin{aligned}\theta_\varepsilon &= \tan^{-1} \{ \gamma_\theta / (\varepsilon_{ad} - \varepsilon_{\theta d}) \} \\ &= \tan^{-1} (\gamma_\theta / 1.5 \varepsilon_{ad}) \\ \theta_\sigma &= \tan^{-1} [\tau_a / \{ (\sigma_a' - \sigma_r') / 2 \}]\end{aligned}$$

ここに ε_{ad} : 軸方向残留ひずみ (%)
 $\varepsilon_{\theta d}$: 半径方向残留ひずみ (%)
 $\gamma_{\theta d}$: ねじりせん断の残留ひずみ (%)

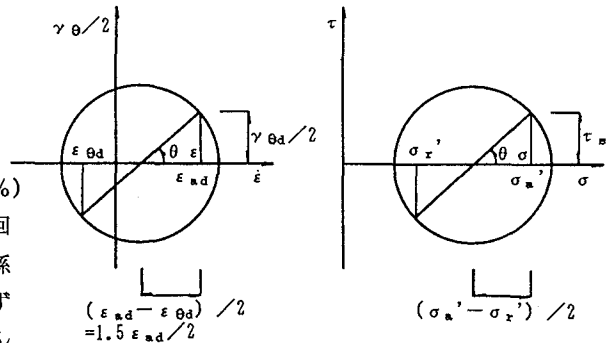


図-3 残留ひずみ方向及び初期拘束応力方向の概念図

図-4は全ての試験について繰返し回数20回目の残留ひずみ方向と初期拘束応力方向の関係を示したものである。図に見るように残留ひずみ方向は初期圧密せん断応力と初期ねじりせん断応力の影響を受け、初期拘束応力方向とほぼ同じ方向であることが分かる。

4. まとめ

以上を要約すると次の通りとなる。

- (1) ひずみの発生は、初期圧密せん断応力と初期ねじりせん断応力の大きさにより、大きい方のひずみが卓越する。
- (2) 圧密せん断応力比が大きくなると剛性が高くなりひずみ量は少なくなる。
- (3) 残留ひずみ方向は初期拘束応力方向とほぼ同じ方向である。

<参考文献>

- 1) 渡辺・他：初期せん断応力状態を考慮した飽和砂の永久変形特性の定式化、土木学会第46回年次学術講演会 1991
- 2) 島津・他：高精度の中空ねじりせん断試験装置導入される、土木技術資料 VOL.34 NO.3 1992

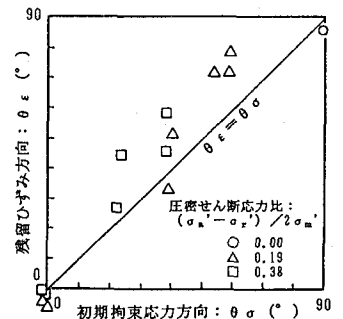


図-4 残留ひずみ方向と初期拘束応力方向の関係