

III-A 50

軸対称条件下における粗粒材料の変形特性

千葉市役所 正会員 ○鈴木 宏一
 水産工学研究所 正会員 大槇 正紀
 ライト工業(株) 正会員 高木 敦生

1. はじめに

著者らは、漁港構造物の基礎として用いられる捨石マウンドの変形特性を把握するために、捨石マウンドと似た均等係数を持つ、粗粒材料の変形特性について検討してきた。本報告では、粗粒材料の応力経路依存特性を明らかにするため、静的三軸試験により、幾通りかの応力経路の試験をした結果を報告する。

2. 試験内容

2-1. 使用試料

コンクリート骨材として使われている硬質砂岩碎石を用いた。捨石材の特性に近づけるため、均等係数 $U_c=2.0$ 、最大粒径 $D_{max}=37.5\text{mm}$ 、乾燥密度 $\rho_d=1.55\text{g/cm}^3$ (中詰め)としている。

2-2. 試験方法

供試体は直径300mm、高さ600mmの大型円柱供試体である。試料を6層に分けて締め固めを行い、セル室に供試体をセットした後、 CO_2 の通気、脱気水の通水および背圧負荷により飽和させる。試験は圧密排水条件で、①拘束圧一定圧縮・伸張、②平均主応力一定圧縮・伸張、③応力比一定圧縮 ($q/p=0, 0.5, 1.0$)、④任意応力経路試験を行った。また、粗粒材料の三軸試験で問題となるメンブレン貫入については、各実験とも文献1)に示す方法で補正を行っている。

3. 試験結果と考察

3-1. 等方圧密膨潤特性

図-1に、等方圧密膨潤の繰返し試験における体積ひずみ ϵ_v と平均主応力のべき乗 $(p/Pa)^m$ (Pa :大気圧)の関係を示す。粘土の場合、 ϵ_v は平均主応力の対数 $\log p$ と直線関係にあることが知られているが、粗粒材料の場合、この関係は上に凸な曲線関係を得る。図-1に示すように、 ϵ_v と平均主応力のべき乗の形で整理すると、指数 m の値をうまく与えることにより、両者の関係は直線関係になることがわかる。また、異方圧密膨潤試験を行った結果についても、等方圧密膨潤試験と同様の結果を得た。

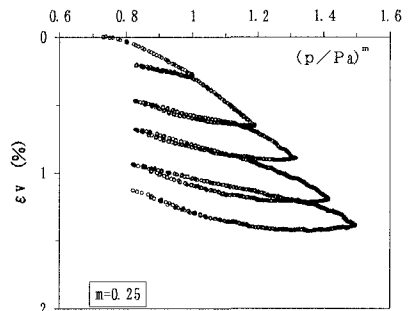


図-1 $\epsilon_v \sim (p/Pa)^m$ 関係

3-2. ストレス-ダイレイタンス特性

図-2に、拘束圧一定試験 ($\sigma_r=2.0\text{kgf/cm}^2$)、平均主応力一定試験 ($p'=2.0\text{kgf/cm}^2$)、応力比一定試験 ($q/p=1.0$)の応力比 $q/p \sim$ 塑性ひずみ増分比 $-d\epsilon_v/p / d\gamma^p$ 関係を示す。Cam-clay modelなどは (q, p) および ($d\epsilon_v/p, d\gamma^p$) を用いて、応力比 $q/p \sim$ ひずみ増分比関係を与えている。これらの応力パラメータを用いた応力比 $q/p \sim$ 塑性ひずみ増分比関係は、供試体の密度、拘束圧の影響を受けないとされているが、図-2に示すように、応力経路の影響を大きく受けていることがわかる。また、圧縮と伸張においても違いが生じていることがわかる。図-3は、砂質土の構成モデルである t_{ij} -sand model²⁾ で使用される応力パラメータ、塑性ひずみ増分パラメータを用いて整理した応力比 $q/p \sim$ 塑性ひずみ増分比関係である。図に示すように、これらのパラメータを用いることで、粗粒材料の応力比 $q/p \sim$ 塑性ひずみ増分比関係は、応力経路や中間主応力の影響を的確に考慮しており、それらの関係を、統一的に解釈することができる。

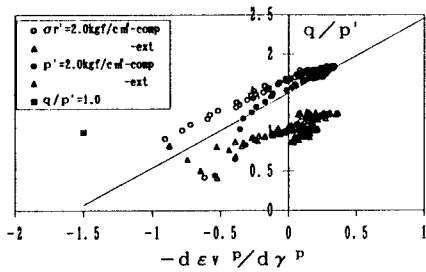


図-2 $q/p' \sim -d\varepsilon v^p/d\gamma^p$ 関係

3-3. 粗粒材料の状態量の検討

粗粒材料における応力経路に依存しない状態量を検討するため、図-4に示す3通りの载荷応力経路で試験を行った。図-5~7に状態量として仮定した物理量と、応力状態を表す指標とした $t_N (= \sigma_{SMP})$ の関係を示す。粘土の状態量とされる塑性体積ひずみ εv^p は図-5(a)に示すように、最終応力状態Dにおいてその値が大きく異なることがわかる。また、図-5(b)より、塑性偏差ひずみ $\varepsilon_{1^p} - \varepsilon_{3^p}$ についても同様である。図-6は、(a)が σ_{11} 、(b)が t_{11} に基づく塑性仕事量 W^p 、 W^{*p} である。経路1, 2は、Dでほぼ同一となるが、等方圧縮を含む経路3は他より若干上回っている。図-7は、諸戸の提案した粒状体のエントロピーで、それぞれ次式として表している³⁾。

$Ss-1 = \int dW^p/p$ - (1) $Ss-2 = \int dW^{*p}/t_N$ - (2)

図より、 $Ss-1$ は経路に大きく依存しており、 $Ss-2$ も、経路1, 3はほぼ同値を示すが、経路2が若干低くなっている。以上を総合的にみて、粗粒材料の状態量として、 W^p が適当であると考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた知見は以下の通りである。

- ① 等方圧膨潤特性は、砂と同様、体積ひずみと平均主応力のべき乗の間に直線関係がある。
- ② 応力比~塑性ひずみ増分比関係は、 t_{11} に基づいた応力、ひずみパラメータを用いることで、応力経路や中間主応力の影響を考慮できる。
- ③ 粗粒材の状態量は、明確ではないが塑性仕事量が適していると考えられる。

<参考文献>

- 1) 高木ら:粗粒材料の三軸試験における μ の貫入の影響, 土木学会第51回年次学術講演会, 1996
 - 2) 中井:砂質土の構成式, 土質工学会関西支部講習会資料, 1993. 11
 - 3) 粒状体の力学, 土質工学会編, pp30~32, 1993
- <謝辞> 本研究を遂行するに当りご指導頂いた、千葉工業大学清水英治教授、渡辺勉教授、小宮一仁助手に、深く感謝の意を表します。

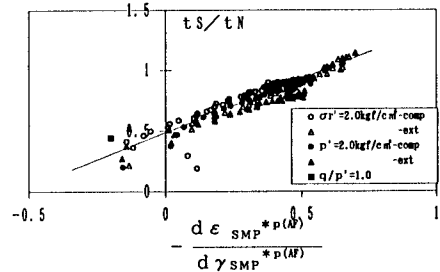


図-3 $t_N/t_s \sim d\varepsilon_{SMP}^{*p}(A^p)/d\gamma_{SMP}^{*p}(A^p)$ 関係

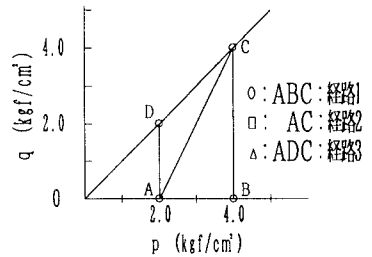


図-4 応力経路

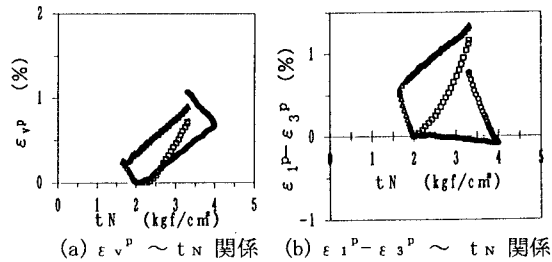


図-5

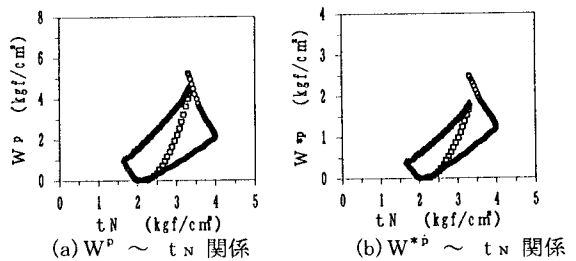


図-6

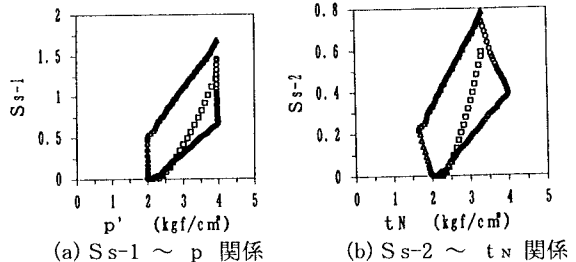


図-7