

セメント混合砂の応力ひずみ特性へ与える供試体寸法の影響

東電設計(株) 正 高橋秀明
 東京電力(株) 正 田邊 成 松尾 敏
 応用地質(株) 正 船戸 明雄
 香川大学 正 松島 学

1. はじめに

地盤の破壊を有限要素法などにより精度よく推定するためには、土の構成則のモデル化に加え、寸法効果を考慮することが大切である。寸法効果は地盤の破壊の進行に伴って形成されるせん断帯に起因して生じる。せん断帯の幅は粒径に比例した値であることが明らかにされており¹⁾、ピーク応力以降の塑性ひずみはこの幅に局所化する。しかし、通常の三軸圧縮試験は応力とひずみが供試体の外側で計測されるため、変形の一様性が仮定された値である。平均化された応力ひずみ関係には寸法効果が存在し、この影響を取り入れた構成モデルとしなければ、供試体と異なる要素寸法の解析解の精度は低下する。

本研究は、軟岩をモデル化したセメント混合砂を対象に寸法の異なる三軸圧縮試験を実施し、平均化された応力ひずみ関係に存在する寸法効果について考察した。

2. 実験方法

実験に用いた材料は表 - 1 に示すセメント混合砂で、径 50mm, 100mm, 300mm の 3 種類とした。均質な C 材料であること、強度・変形特性に再現性があること、ひずみ軟化材料であることを考慮して配合、養生方法を決定した。強度管理は超音波速度を用い、 V_p が所定の値になったことを確認して試験に供した。供試体寸法が異なると、セメント硬化熱による養生温度に差が生じやすいため、供試体はすべて径 300mm で作成・養生し、径 100mm, 径 50mm の供試体は試験前に切り出して整形した。強度のばらつきは供試体寸法が小さいほど大きくなるため、径 50mm は 3 試料、径 100mm は 2 試料、径 300mm は 1 試料とし、それぞれ 3 拘束圧を実施した。メンブレンには格子パターンを貼り付けて、試験後にせん断帯の幅を観察した。

3. 実験結果と考察

図 - 1 はピーク時の軸差応力で正規化した応力比と塑性最大せん断ひずみの関係を表している。最大せん断ひずみ γ_{\max}^p は供試体の一様変形を仮定し、軸ひずみ γ_1 と体積ひずみ γ_v から算定した。図によると、ばらつきは存在するが、拘束圧によらず、供試体寸法が大きいほど同一の軸差応力比における塑性ひずみは小さい値を示しており、寸法効果が存在している。供試体はいずれも図 - 3 に示すようにせん断帯を形成して破壊しており、塑性ひずみはせん断帯に局所化している。同一材料であるためせん断帯の幅は一定と考えれば、供試体端面で計測される平均ひずみ $\tilde{\gamma}_{\max}^p$ と供試体の寸法とは式(1)の関係がある。

$$\tilde{\gamma}_{\max}^p = \frac{\gamma_{\max}^p \cdot W_S}{H} \quad (1)$$

ここで、 γ_{\max}^p はせん断帯に局所化した塑性せん断ひずみ、 W_S はせん断帯の幅、 H は供試体の代表寸法である。式(1)の考え方に基づいて小さな供試体から寸法の大きな供試体（要素）の平均塑性ひずみ $\tilde{\gamma}_{\max}^p$ を求めると式(2)のように表される。

表 - 1 セメント混合砂の材料と強度特性

項目	内容
配合	6号珪砂：早強セメント：水 = 1.0 : 0.05 : 0.1
作成法	・ 電動ミキサーによる試料攪拌 ・ 内径 300mm ボイド管で 5 層突き固め
拘束圧	50kN/m ² , 100kN/m ² , 200kN/m ²
排水条件	CD 条件
軸差強度	$\sigma_3=50\text{kN/m}^2$: 1,318 ~ 1,383kN/m ² $\sigma_3=100\text{kN/m}^2$: 1,527 ~ 1,615kN/m ² $\sigma_3=200\text{kN/m}^2$: 1,784 ~ 1,862kN/m ²

キーワード：三軸圧縮試験，せん断帯，寸法効果，塑性せん断ひずみ，有限要素法

連絡先：〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 Tel:03-4464-5470 Fax:03-4464-5490

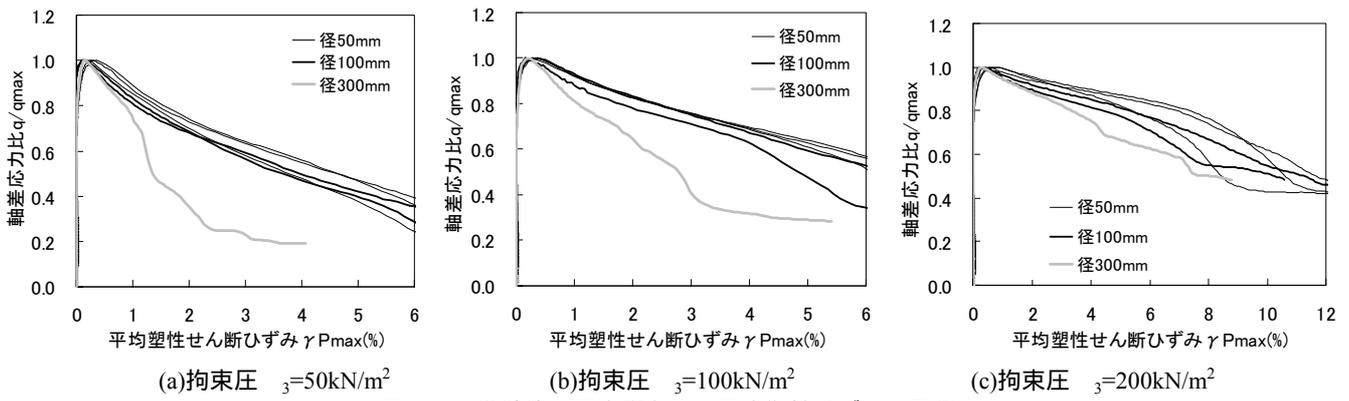


図 - 1 供試体の平均応力比と平均塑性ひずみの関係

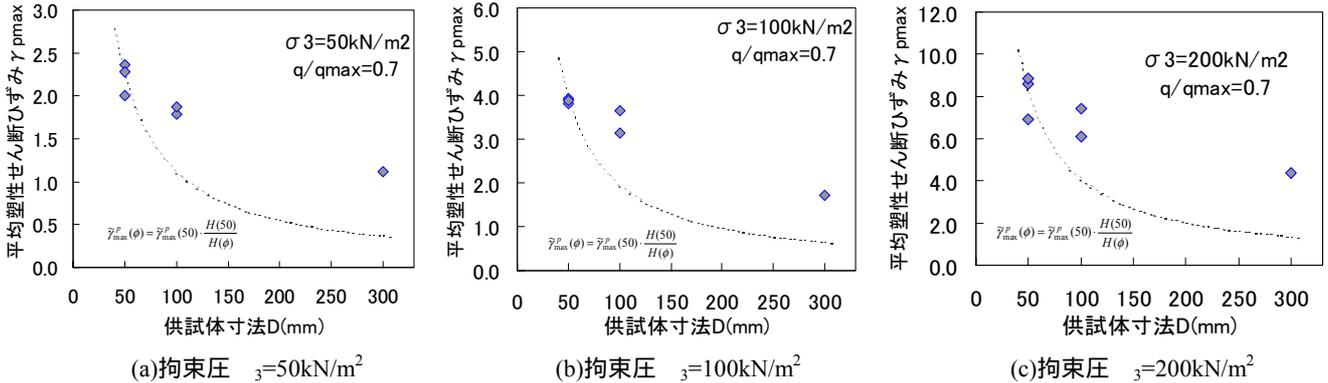


図 - 2 軸差応力比 $q/q_{\text{max}}=0.7$ における平均塑性ひずみの寸法効果

$$\tilde{\gamma}_{\text{max}}^p(\phi) = \tilde{\gamma}_{\text{max}}^p(50) \cdot \frac{H(50)}{H(\phi)} \quad (2)$$

ここで、 ϕ は供試体の径、 $H(\phi)$ は供試体の代表寸法を表している。図 2 には径 50mm 供試体の塑性ひずみの平均値に基づいて式(2)より表した寸法効果も併記してある。径 100mm と径 300mm の塑性ひずみは、式(2)から推定される値よりも大きく、式(2)は寸法効果を過大に評価している。とくに、径 300mm における実験値と推定値の差が大きい。試験後のメンブレン変形状況から測定した



図 - 3 供試体の破壊性状

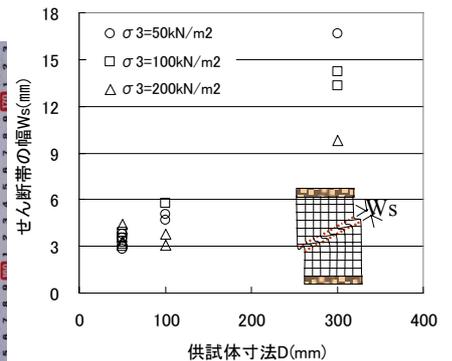


図 - 4 せん断帯の幅と供試体径の関係

せん断帯の幅 W_s と供試体寸法の関係は図 4 に示すようである。供試体寸法が大きいくほど、拘束圧が低いほど、せん断帯の幅 W_s が大きくなる傾向が現れている。同一応力比におけるせん断帯内部のひずみが等しいと仮定すれば、せん断帯の幅 W_s が大きくなると供試体の平均ひずみは大きくなり式(2)よりも寸法効果は低減される。せん断帯の幅 W_s が変化したのは、供試体端面の摩擦と粒子径 / 供試体寸法の比が要因の一つと思われる。供試体寸法が大きくなり、粒子径 / 供試体寸法が小さくなるほど、端面摩擦が全体のせん断変形に及ぼす拘束度が低下し、その結果せん断帯の幅が大きくなったと考えられる。

4. おわりに

通常、塑性ひずみの寸法効果はせん断帯の幅が載荷幅（供試体寸法）と独立しているために生じる。しかし、本三軸圧縮試験のような要素実験では、試験体寸法とせん断帯の幅は完全に独立した関係にないため、平均ひずみに関する寸法効果は式(2)よりも低減する。寸法の小さな供試体から有限要素メッシュ寸法の構成モデルを推定する場合は、供試体の端面拘束の影響とは異なり、複数のせん断帯の形成や材料物性のばらつき、進行性破壊などにより寸法効果は低減すると考えられるが、どの程度低減するかは今後の課題である。

参考文献

1) 吉田, 中村ほか: 各種粒状体の平面ひずみ圧縮試験におけるせん断層の変形特性, 第 29 回地盤工学研究発表会、1994.6