

砂の三軸試験供試体の分岐変形モードと寸法・形状効果

東北大学	正員	○池田 清宏
長岡技術科学大学	正員	山川 優樹
東北大学	正員	須藤 良清
香川県		寺井 信夫

1. まえがき

三軸圧縮試験は、境界条件や供試体の寸法・形状などの影響を受け、せん断帯の発生や変形の局所化といった破壊挙動が分岐により支配され、均質な状態で変形するという仮説が成り立たないために、要素試験として適切な結果が得られないのではないかという問題提起がなされている。本研究では、供試体寸法・形状の変化に伴い、変形に対して支配的な分岐モードが変動し、これが供試体の強度や破壊挙動に影響を及ぼしているという視点に基づいて、砂の要素試験における寸法・形状効果を調べた。そのために豊浦砂の三軸圧縮試験を供試体の直径あるいは高さを各々変化させて行った。ここから得られた各供試体の最大主応力差、体積ひずみ特性、せん断帯の数、供試体寸法比の相互の関係について検討を行い、供試体強度の形状依存性、せん断帯発生による供試体の体積ひずみ挙動についての考察を行った。また各供試体のスケッチをとり、供試体形状によるせん断帯の発生状況やその周期性についての考察も行った。

2. 豊浦砂の三軸圧縮試験

豊浦砂を用いた圧密排水三軸圧縮試験を、供試体直径 D および高さ H を

$$(D, H) = (3.5, 5), (3.5, 10), (5, 5), (5, 7.5), (5, 10), (5, 7.5), (6, 10), (7, 10), (8, 10) \text{ cm}$$

と 9 通りに変化させて行った。側圧は $\sigma_3 = 98 \text{ kN/m}^2$ (セル圧 196 kN/m^2 , 背圧 98 kN/m^2) で与え、載荷はひずみ速度 $\dot{\epsilon}_a = 0.5 \text{ \% / min.}$ の変位制御で行う。試料は水で洗浄し微粒分を取り除いた後に、炉乾燥したものを用いる。相対密度が $D_r = 85 \pm 3 \text{ \%}$ になるように、試料の落下高さを 62 cm として気中落下法により供試体を作成する。高さ方向についてもできるだけ均質な供試体とするために、試料重量をあらかじめ 10 分割して計測しておき、各層で落下高さが一定となるように 10 層に分けてモールドに詰める。また供試体上下端面の摩擦の影響を低減するため、シリコングリースとラテックススラバーシートを用いた摩擦低減層を設置する。

(1) 変形状態に対する供試体形状・寸法の影響

図-1 に供試体の変形状態の例を 4 種類の寸法比に対して示す。この図から明らかなように、寸法比が小さい供試体ほど、供試体全体が膨らんだ形状となっている。このことは、供試体形状・寸法の違いにより異なる分岐モードが発現することによる形状・寸法の存在の可能性を示している。

図-2 に長方形平面ひずみ供試体が一軸圧縮を受けた場合に一様変形場から発生する拡散型の harmonic な分岐モードの例を示す。この分岐モードは、ある単位構造 (unit cell) を規則的に繰り返す周期構造となっている。図中の破線はこの単位構造を示している。このように、単位構造はそれ自身を重ね合わせることでより平面を埋め尽くすことができるような形状、すなわち平面充填図形となっている。単位構造の大きな特徴として、膨張部分と収縮部分が半分ずつ存在することがあげられる。これは、分岐モードの反対称性と言うべきものである。

地盤材料の要素試験の目的は、現位置からサンプリングした試料を用いて代表体積要素としての土の物性を評価することであるから、この単位構造を切り出し、その特性を調べることが土の物性評価の上で合理的であると考えられる。

このような視点で図-1 の変形モードを見てみよう。図中寸法比が最も小さい (a) のモードは、単位構造のうち膨張部分のみを切り出したものとなっており、必然的に体積膨張が過大評価されることとなる。一方、寸法比が大きい (c) と (d) のモードは図-2 の単位構造 1 と単位構造 2 に近い形となっており、膨張と収縮がキャンセルするために全体としての体積膨張量は小さくなることが予測される。

この傾向は、本実験結果にも表れている。図-3 に、寸法比 H/D と軸ひずみ $\epsilon_a = 10, 25 \text{ \%}$ の時の体積ひずみ ϵ_v との関係を示す。図-3 より、軸ひずみ 10% 時は各寸法比ごとの体積ひずみの差はあまりないが、さらに変形が進行して軸

〒980-8579 仙台市青葉区 東北大学工学研究科土木工学専攻

Key Words: Bifurcation, triaxial-compression test, shape-size effects

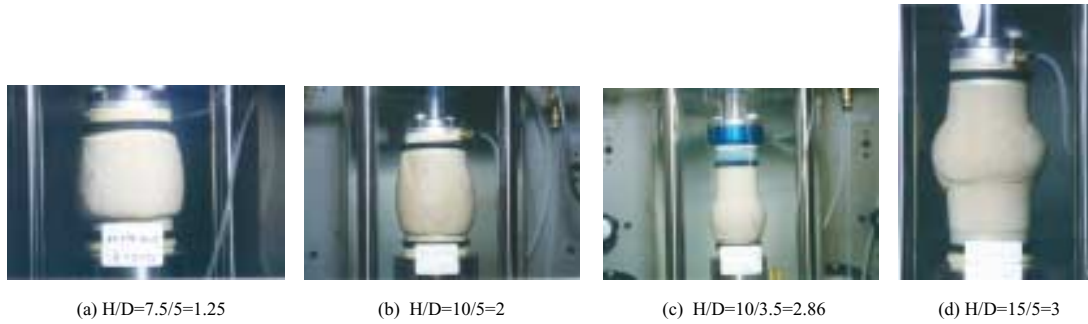


図-1 供試体の変形後の状態

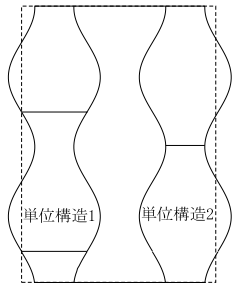


図-2 長方形領域の分岐モードの例と単位構造

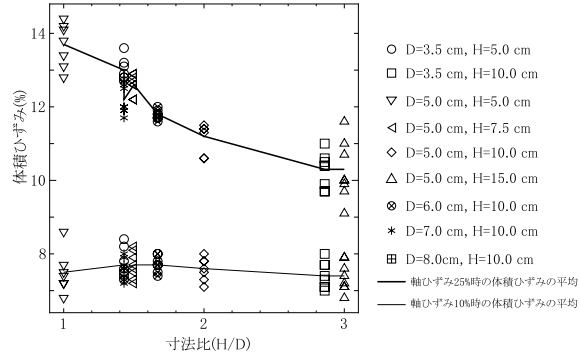


図-3 供試体寸法比による体積ひずみの変化

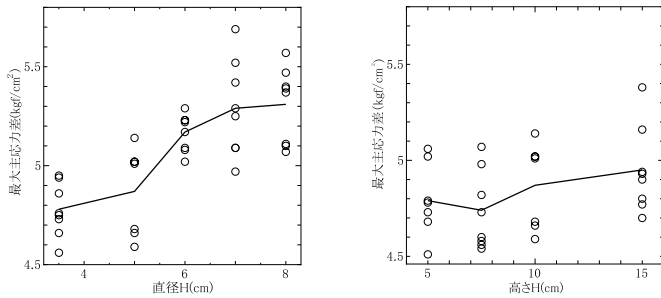


図-4 供試体形状による最大軸差応力の変化

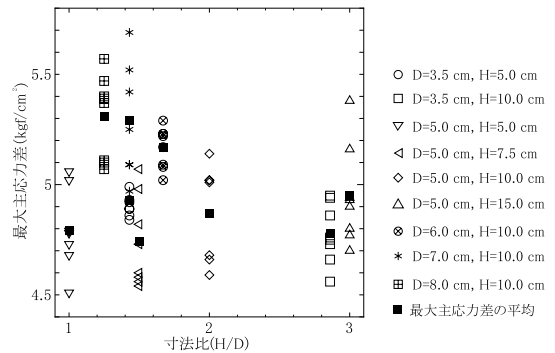


図-5 供試体寸法比 H/D による最大主応力差の変化

ひずみ 25% になると寸法比ごとの体積ひずみの差が大きくなり、寸法比が小さいほど体積ひずみが大きくなっており、前述の予測を裏付けている。

(2) 強度に対する供試体形状・寸法の影響

本節では、供試体形状と最大軸差応力 $\sigma_{\max}$ との関係について考えてみる。図-4 の左側に、高さを $H = 10.0 \text{ cm}$ と一定にして直径 D を変化させた場合の最大軸差応力 $\sigma_{\max}$ を示す。図中の実線は各寸法における最大軸差応力の平均値を示す。同図より、直径 D が大きいほど最大軸差応力は大きくなっていることがわかる。また図-4 の右側に、直径を $D = 5.0 \text{ cm}$ と一定にして高さ H を変化させた場合の最大軸差応力 $\sigma_{\max}$ を示す。同図より、 $H = 7.5 \text{ cm}$ のところで強度は極小となっているが、それ以上高さが大きいところでは高さが大きいほど最大軸差応力は大きくなる挙動を示している。ここで、寸法比 H/D と最大軸差応力 $\sigma_{\max}$ との関係を図-?? に示す。同図より、寸法比の近い供試体であっても強度は異なっており、サイズが大きい供試体が強度が大きくなっていることから、強度に対して供試体の寸法効果が影響していることがわかる。

3. 結論

土質材料の三軸圧縮試験はある規格化された寸法に対し行われている。しかし、本研究でその一端を明らかにしたように、供試体の変形特性はその寸法・形状の影響を大きく受けており、特に体積膨張特性については、要素試験としての妥当性に関して不安がある。