

## 不飽和土の三軸圧縮強度特性における試験条件の影響

鳥取大学工学部 正 会 員 清水正喜

鳥取大学大学院 学生会員 ○寺方淳治

## 1. はじめに

著者らは、不飽和供試体に対して、排水及び非排水三軸圧縮試験を行い、強度特性における試験条件の影響を調べている<sup>1),2),3)</sup>。本研究では、非排水・定体積及び非排水・非排気の条件で試験を行い、変形挙動と強度に対する試験条件の影響についてさらに検討した。

## 2. 試料および供試体作成方法

試験装置は従来の研究<sup>1),2),3)</sup>で使用したのと同じである。試料は非塑性シルトである DL クレー ( $\rho_s = 2.697 \text{ g/cm}^3$ , シルト分 83%, 粘土分 17%) を用いた。供試体は、三軸セル内で一次的に予圧密して作成した<sup>2)</sup>。まず、試料を含水比 60% で十分に練り返し、モールドに入れ、49.2kPa まで段階的に 1 次元圧密し、5.7kPa まで除荷した。次に、サクシオン 30kPa を作用させて供試体を不飽和化した。予圧密終了後、モールドを取り外し、ゴムスリーブを被せた後、三軸圧縮試験を行った。

## 3. 試験方法

三軸圧縮試験は、所定の正味の拘束圧  $\sigma_{3netc}$  ( $=\sigma_3 - u_a$ ) とサクシオン  $s$  ( $=u_a - u_w$ ) を作用させて、等方圧縮した後、軸方向圧縮した(表 1)。軸圧縮は、排水 ( $u_a$ ,  $s$  一定) または非排水の条件で行った。非排水試験は、非排気と定体積の 2 通りの条件で行った。どの試験もセル圧  $\sigma_3$  を一定に保った。排水試験は、せん断速度 0.0051%/min で、非排水試験は、せん断速度 0.0244%/min で圧縮した。

表 1 : 試験条件

| 等方圧縮過程<br>(軸圧縮初期値) |       | 軸圧縮過程     | 破壊時(kPa)         |       |       |
|--------------------|-------|-----------|------------------|-------|-------|
| $\sigma_{3netc}$   | $S_c$ | 試験条件      | $\sigma_{3netf}$ | $S_f$ | $q_f$ |
| 50kPa              | 80kPa | 排水(D)     | 51               | 78    | 112   |
|                    |       | 非排気(Uair) | 57               | 60    | 172   |
|                    |       | 定体積(CV)   | 43               | 54    | 150   |
| 150kPa             |       | 定体積(CV)   | 192              | -6    | 261   |

(D は底面排水、Uair 及び CV は底面非排水、上面はすべて排水条件である)

## 4. 結果及び考察

図 1 に定体積試験 ( $\sigma_{3netc}=150\text{kPa}$ ) の結果を示す。定体積試験では、体積を一定にするために  $u_a$  を操作している。せん断初期に、体積が減少したので  $u_a$  を増加 ( $\sigma_{3net}$  を減少) させた。その後徐々に膨張に転じたので  $u_a$  を減少 ( $\sigma_{3net}$  を増加) させている。

$u_a$  の変化に伴って  $u_w$ ,  $s$  も変化している。 $u_w$  は、軸ひずみ 10% 以降はほとんど変化していない。しかし、 $u_a$  は、定体積を維持するために下げ続ける必要があったため、12% 以降は  $s$  が負になってしまっている。 $q$  の挙動をみると、軸ひずみ 3% 以降は、 $\sigma_{3net}$  の挙動と似ている。これは、定体積を維持するために、 $\sigma_{3net}$  を上昇させたことにより、 $q$  も上昇しているためである。

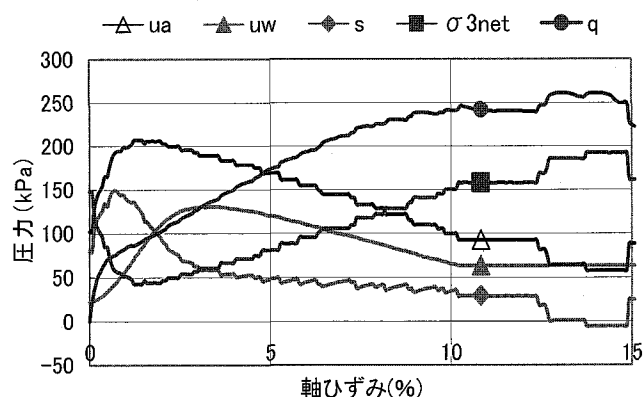
図 1 定体積試験 ( $\sigma_{3netc}=150\text{kPa}$ ) 結果

図 2 は全試験の体積ひずみの変化である。定体積試験でも、 $\pm 0.3\%$  程度の体積ひずみが生じているが、その他の試験の体積ひずみと比較すると十分小さいので、ほぼ定体積条件を満たしていると言える。

非排気試験の結果を図 3 に示す。この試験では、間隙空気の入出りを遮断しているため、 $u_a$  が変化してい

る。したがって  $\sigma_{3net}$  も変化する。  $u_a$  の変化挙動は、供試体の体積の変化に大きく関係している。体積が減少すると間隙空気が圧縮されて  $u_a$  は上昇し、体積が増加すると間隙空気が膨張して  $u_a$  は低下している。

間隙空気  $u_w$  の挙動は必ずしも  $u_a$  の挙動から類推できるものではない。即ち、体積圧縮から膨張に転じたとき  $u_a$  は増加から減少に転じたが、  $u_w$  は体積膨張後もしばらく増加し、軸ひずみ 5%以降ほとんど一定であった。

せん断強度は、  $s$  と  $\sigma_{3net}$  の影響を受けるが、試験条件が同じであれば、  $s$  よりも  $\sigma_{3net}$  の影響をより強く受ける<sup>2)</sup>。実際、定体積試験は、  $\sigma_{3net}=150\text{kPa}$  の試験の方が  $\sigma_{3net}=50\text{kPa}$  よりも強度が高い。次に、  $\sigma_{3net}=50\text{kPa}$  で行った3つの試験を比べる。定体積試験と非排気試験では、破壊時の  $\sigma_{3net}$ ,  $s$  とともに非排気試験の方が高く強度が高い。しかし、排水試験は、破壊時の  $\sigma_{3net}$ ,  $s$  とともに定体積試験より高い値を示しているが、強度が最も低いという結果になっている。このように、せん断開始時の応力状態が同じであっても、試験条件によってせん断強度が異なる。

全ての試験の応力経路を図4にまとめた。縦軸に  $q=(\sigma_1-\sigma_3)/2$ , 横軸に Bishop の有効応力パラメータ  $p_B=(\sigma_1+\sigma_3)/2-u_a+S_r \cdot s$  をとっている。  $p_B$  は、これまでの研究から不飽和土の三軸圧縮強度を支配する有力な応力パラメータのひとつであると考えられる。

図を見ると、強度  $q_f$  ( $q$  の最大値) は、  $p_B$  が大きいほど大きくなっていることが分かる。このように、特殊な試験条件下の強度も  $p_B$  で説明できる。ただし、  $p_B$  と  $q_f$  の関係は直線的ではない。

## 5. 結論

- 1) 正味の拘束圧を調節することにより、不飽和土の定体積三軸試験が可能である。しかし、体積の変動を完全に抑えることができず、 $\pm 0.3\%$ 程度の体積ひずみが生じた。
- 2) 定体積試験及び非排気試験のような特殊な試験条件下でのせん断強度を Bishop の有効応力パラメータ  $p_B$  を用いて評価することを試みた。その結果、せん断強度と  $p_B$  に良好な相関が見られた。  $p_B$  は特殊な条件下でのせん断強度を説明し得ることがわかった。
- 3) 本研究では、定体積試験と非排気試験の試験数が少なく、このような特殊な試験条件下での特性を十分に把握できたとは言えず、今後さらに検討する必要がある。

## 6. 参考文献

- 1) 清水正喜・岡本佳子: 不飽和土の排気・排水三軸圧縮挙動, 土木学会中国支部第52回研究発表会, pp447-448, 2000.
- 2) 清水正喜・西岡龍二・坂本創: 不飽和土の三軸圧縮挙動と強度に対する試験条件の影響, 土木学会第60回年次学術講演会, pp719-720, 2005.
- 3) 清水正喜・坂本創・西岡龍二: 不飽和土のせん断強度に対するサクシヨンの影響に関する新たな考察, 第41回地盤工学研究発表会, pp831-832, 2006.

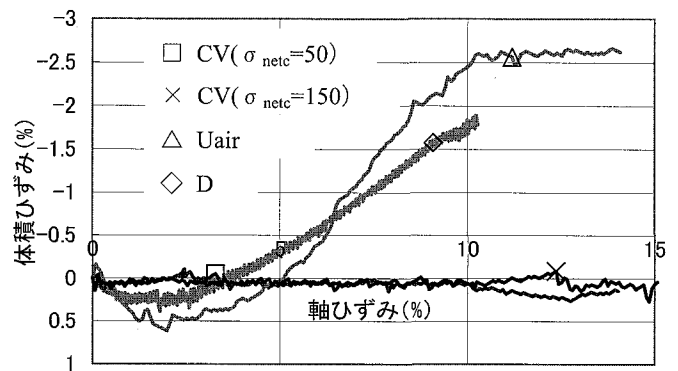


図2 軸ひずみと体積ひずみの関係

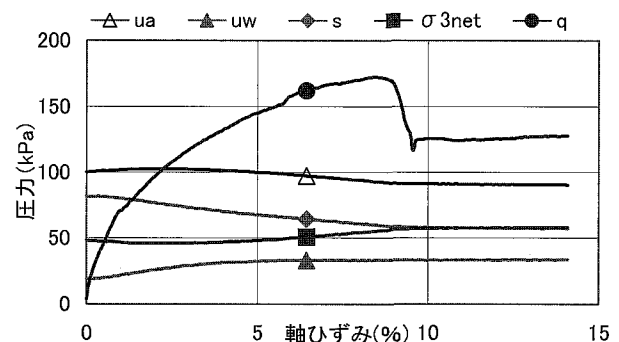


図3 非排気試験結果

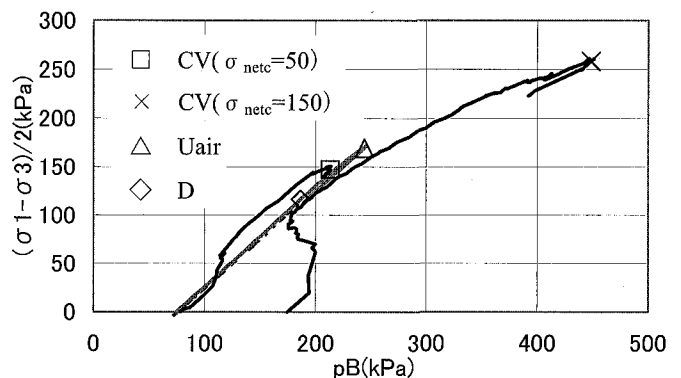


図4 応力経路比較図