

一面せん断試験の低垂直応力域における定体積せん断特性

信州大学大学院 ○本郷五十鈴
信州大学工学部 正員 梅崎健夫

1. はじめに

圧密定体積一面せん断試験を垂直応力の低い領域で実施し、得られる強度定数の妥当性を応力経路、定体積せん断強さ、せん断後の供試体の含水比分布状況より検討した。

2. 試験方法

試料は NSF 粘土 ($G_s=2.756, w_L=61.1\%, I_p=27.4$) を含水比 120% ($=2w_L$) で練り返し、一次元的に予圧密した試料を用いた。試験は H-II 型一面せん断試験装置¹⁾を使用し、圧密垂直応力を変化させ (29.4, 49.0, 98.0, 147.0, 196.0, 245.0, 294.0 kN/m² の 7 ケース)、正規圧密状態で試験を行った。供試体寸法は直径 60mm、厚さ 20mm とし、圧密終了時間は 60 分で、0.2mm の隙間を空け、載荷板を機械的に固定し、定体積を保ちながら水平変位 7mm まで 0.2mm/min のせん断速度でせん断した。また、せん断後の供試体を上部より 5 層に分割し、含水比分布状況を調べた。

3. 試験結果および考察

図-1 にせん断応力-垂直応力関係を示した。一面せん断試験において、一般的には垂直応力 98.0kN/m²以上の領域で行われていることが多い。内部摩擦角の代表値として上記の領域の平均値として求めたところ、 $\phi_1'=21.4^\circ$ 、 $\phi_{cu}=15.0^\circ$ であった。

図-2 は正規化したせん断応力-垂直応力関係を示したものである。29.4, 49.0kN/m²の低垂直応力域では、正規化した応力経路が大きくはみ出した。図-3 に正規化した垂直応力、せん断応力-せん断変位関係を示した。図-2 を明瞭に表した。

図-4 に内部摩擦角-圧密応力関係を示す。 $\phi_1'=\tan^{-1}(\tau_{max}/\sigma_f)$ 、 $\phi_{cu}=\tan^{-1}(\tau_{max}/\sigma_c)$ 、 $Cu/p=\tan^{-1}\phi_{cu}$ である。

図-4 より低垂直応力域での内部摩擦角が増大していることがわかる。内部摩擦角 ϕ_1' は 196.0kN/m²以下の領域で、順次高くなっており、 ϕ_1' の代表値と 29.4kN/m²の値を比較すると約 14.1° も異なる。また、内部摩擦角 ϕ_{cu} は 49.0kN/m²以下の領域で変化が見られ、 ϕ_{cu} の代表値と 29.4kN/m²の値を比較すると約 6.6° 異なる。低垂直応力域で内部摩擦角が増大する傾向は、同じく直接型せん断試験の代表的な試験である、リングせん断試験も指摘²⁾されている。

次に、図-5 にせん断後の供試体の含水比分布状況を示す。含水比は、せん断後の供試体を 5 分割することによって調べた。その際、せん断面を含む層を、全ての試験において同じ条件で分割できるよう工夫した。せん断面が供試体高さの 10 mm の位置にあるため、切断位置は、供試体の 4, 8, 12, 16 mm の高さで行った。ここで、供試体高さが 0~4 mm の層を w_1 とし、4~8 mm の層を w_2 、せん断面を含む 8~12 mm の層を w_3 、12~16 mm の層を

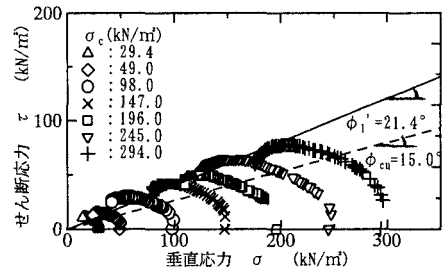


図-1 せん断応力-垂直応力関係

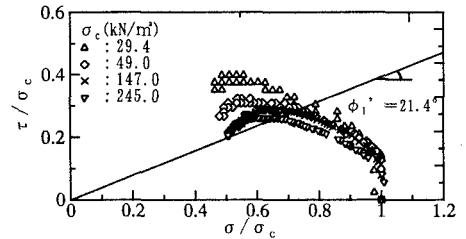


図2 正規化したせん断応力-垂直応力関係

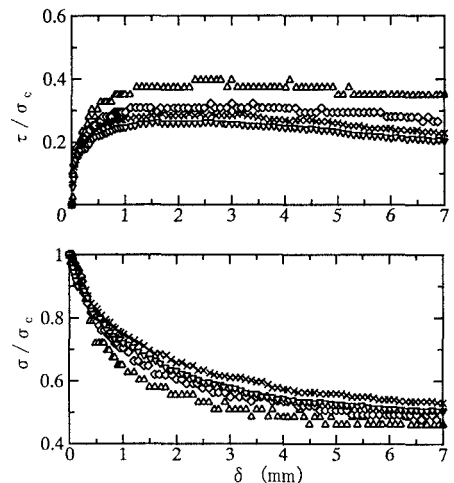


図3 正規化した垂直応力、せん断応力-せん断変位関係

$w_4, 16 \sim (20 - \text{圧密沈下量}) \text{ mm}$ の層を w_3 とする。

図-5 より、せん断面を含む層 w_3 の含水比の低下が見られる。また、 w_2, w_4 はほぼ等しい値を示している。 w_1, w_5 については w_2, w_4 に比べ、含水比の増加が見られる。これは、試料取出しの際、急速な除荷を経ているため、境界面からの水の移動の影響によるものと考えられる。

図-6 に間隙比—垂直応力、最大せん断強さ関係を示す。圧密後の間隙比—垂直応力関係については標準圧密試験結果より得られた NSF 粘土の正規圧密線上に載っており、供試体の条件が等しく、また正しく圧密されていることがわかる。破壊時の間隙比—最大せん断強さ関係については、破壊時の間隙比を、圧密終了後の e_0 、せん断面を含む層 w_3 の含水比より求めた e_{u3} の2つの観点より考察したところ、せん断面を含む層 w_3 の含水比より求めた e_{u3} のほうが破壊線上にまともについている。しかし、低垂直応力域である $29.4, 49.0 \text{ kN/m}^2$ の間隙比は、破壊線より大きな値を示している。これより、この領域において強度定数が高く示される要因には、間隙比の影響が直接関係していないことが示される。

次に含水比の変化量に着目した。含水比の変化量は、圧密後の含水比からせん断面を含む層の含水比の変化量を百分率で示す。その際、圧密後の含水比を w_2 と w_4 の平均 $(w_2 + w_4)/2$ と仮定し、変化量を $\{(w_{2,4} - w_3)/w_{2,4}\} \times 100$ で表す。

図-7 に圧密応力—含水比の変化量関係を示す。変化量は、 147.0 kN/m^2 以上の領域と 98.0 kN/m^2 以下の領域は異なる傾向を示し、特に 29.4 kN/m^2 においては 147.0 kN/m^2 以上の領域の $1/2$ であった。これは試料に対し、せん断速度 (0.2 mm/min) が急速であったため、水の移動が許されなかったとも考えられる。そのため、 98.0 kN/m^2 以下の領域、特に 29.4 kN/m^2 の結果においては粘性抵抗が大きく出たものと言える。つまり、得られた強度定数 ϕ' は急速荷重に対する粘着力 C の増大が含まれており、内部摩擦角の変化によるものではないと考える。

4. まとめ

- ・垂直応力 196.0 kN/m^2 を境として低垂直応力になるに従い、強度定数の増加が見られた。
- ・定体積試験であっても、せん断面では含水比の低下が見られた。
- ・低垂直応力域での試験結果にはせん断速度の影響が含まれることが考えられる。

【参考文献】 1) 澁谷啓・三田地利行・高田増男：粘性土の一面せん断試験に関するいくつかの提案、直接型せん断試験の方法と適用に関するシンポジウム, pp.127-134, 1995

2) 鈴木素之、リングせん断試験による土の残留郷土に関する基礎的研究、信州大学学位請求論文、1998

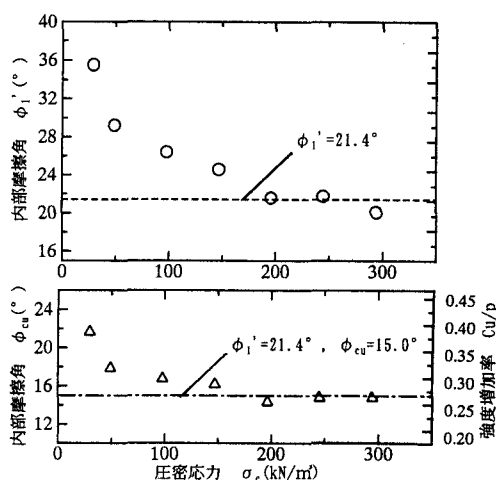


図-4 内部摩擦角—圧密応力関係

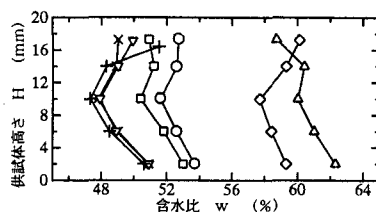


図-5 せん断試験終了後の含水比分布

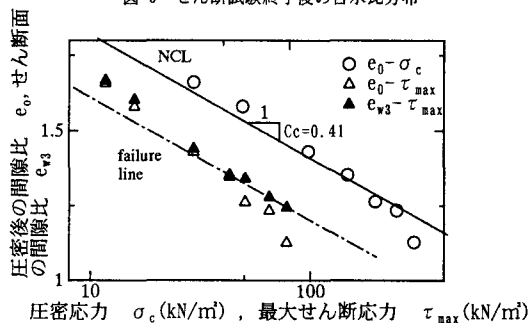


図-6 間隙比—圧密応力、最大せん断強さ関係

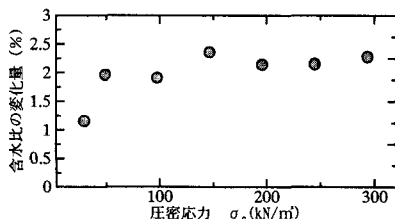


図-7 圧密応力—含水比の変化量関係