

九州大学工学部 正山内 豊 聡, 巻内 勝 彦  
学 藤 畑 定 生, 小 川 清 志  
高 橋 正 行

## I. まえがき

土の応力・変形・強度特性を室内実験的に求めるには、実際の現場で生ずる複雑かつ多様な応力経路を再現できる試験装置が必要となる。そこで立方供試体の境界面上に相異なる3垂直応力と3せん断応力を同時に載荷可能な一般応力型圧縮試験機が試作された<sup>1)</sup>。この装置によって原理的に最も完全な一般応力状態が供試体に載荷されうる。本文では土の変形状態の基本的パターンの一つである単純せん断変形について報告する。今回の実験は単純せん断応力の載荷方向を一方に限定しているが、従来の通常の単純せん断試験装置(ほとんど平面ひずみ条件ないしはK条件に制約されている)と異なり、その特徴は3つの垂直応力制御で行うため、一方単純せん断変形に起因する三次元的変形を測定できる点にある。なお、供試体としては、静的締固めによる飽和粘土を用い、締固め方向と載荷方向に関連して、応力・変形に与える三方向垂直応力の影響について考察した。

## II. 実験方法および実験条件

実験装置の詳細は文献<sup>1)</sup>にある。載荷方法は図-1にあるように、垂直応力 $\sigma_z$ と $\sigma_x$ は剛板方式、 $\sigma_y$ は鋼製ロッドにより加圧し、せん断応力 $\tau$ は変位制御(電動ギヤー)で載荷する。これらに対応する各ひずみ成分 $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ は同時に計測される。試料には、白色粘土(市販カオリン、 $w_L = 26.9\%$ ,  $w_U = 49.6\%$ ,  $I_p = 26.4\%$ )を使用し、まず表-1に示す締固め条件で静的締固め(フローティングモールド法)を行い、トリマーで供試体(初期す法 $91 \times 91 \times 91$ 立方体)を成形作製した後、パラフィルムメンブレンでシールした。次に載荷条件は一定の等方拘束圧、または異方拘束圧で圧密終了後、単純せん断応力 $\tau$ を単調負荷(変位速度 $1.3 \text{ mm/min}$ )させた。供試体の締固め方向と単純せん断方向の組合せは、図-2に示す二つのパターンで行った。試験条件と試験番号は表-2, 3にまとめている。

## III. 実験結果および考察

### III-1 等方圧単純せん断試験 (1) $\tau$ - $\gamma$ - $\epsilon_v$ 関係(図-3, 4)

等方垂直応力 $\sigma_z$ 下の単純せん断応力 $\tau$ ひずみ曲線を両対数で示したのが図-3である。

せん断ひずみが15%を超えてもほぼ直線的であり、ピーク値を示さないのが特長<sup>2)</sup>と云える。これは単純せん断状態では一面せん断的な供試体内での局部的せん断帯が発達していくためと考えられる。拘束圧がせん断抵抗に与える影響をみると、一般的傾向としてパターンA, Bとも拘束圧の増大に伴い、せん断抵抗が大きくなる。図-4の体積変化曲線でもやはり拘束圧が大きければ体積収縮傾向があり、拘束圧が小さくなるにつれて変化曲線は水平もしくは膨張側に転ずる。せん断方向と土構造(締固め方向)による異方性<sup>3)</sup>の関係を図-3で見ると、パターンBはAより全般を通じてせん断抵抗が大きい。この傾向は平面ひずみ条件での結果<sup>2)</sup>とも一致する。また、図-4の①と②, ③と④をそれぞれ比較してもBの方が体積収縮量 $\epsilon_v$ は少ないことと、次に示すモールひずみ内でも側方ひずみ $\epsilon_x$ が小さいことから、図-2 供試体のセリパターンも、土構造による異方性が力学的性質および変形性状に影響を及ぼしていることが分る。(2) 三次元モール内(図-5, 6) 一定のせん断応力レベル(ここでは $\tau = 0.45 \text{ kgf/cm}^2$ )での供試体内部の応力状態とひずみ状態をみるため、三次元モール応力円とひずみ円をパターンAとBについて示し

表-1 供試体の締固め条件

|                         |           |
|-------------------------|-----------|
| 含水比(%)                  | 32.3-35.7 |
| 乾燥密度( $\text{g/cm}^3$ ) | 1.28-1.33 |
| 飽和度(%)                  | 82.8-88.8 |

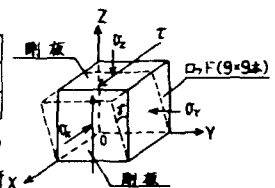


図-1 応力載荷の基本図

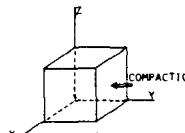
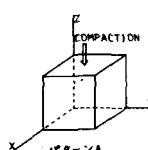


表-2 等方圧試験

| 拘束圧<br>$\sigma_3$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) | パターン |
|------------------------------------------|------|
|                                          | A B  |
| 0.3                                      | ⑤ ①  |
| 0.6                                      | ① ②  |
| 0.9                                      | ⑥ ③  |
| 1.2                                      | ③ ④  |

表-3 異方圧試験

| パターン | $\sigma_1$ | $\sigma_2$ | $\sigma_3$ |
|------|------------|------------|------------|
| A    | $\sigma_1$ | $\sigma_2$ | $\sigma_3$ |
| ⑦    | 0.6        |            |            |
| ⑧    | 0.7        |            |            |
| ⑨    | 0.8        |            |            |
| ⑩    | 0.9        |            |            |
| ⑪    | 1.0        |            |            |
| ⑫    | 1.1        |            |            |

たのが図5,6である。ここでひずみ円の上半は $E_1E_3$ 円, 下半は $E_1E_2$ 円,  $E_2E_3$ 円を示す。また図中の○印は八面体応力, ひずみの点である。図-5で $\sigma=0.3 \text{ kgf/cm}^2$ の場合, 供試体内で引張応力( $\sigma_3$ )が発生している。これが図-4の⑤でみる顕著なダイレイタンスー横向と相関があると考えられる。図-5,6ともにモール応力円はひずみ円と幾何学的相似を示していないが, このことは供試体が等方性でないことを示唆する。同じ応力状態でのパターンAとBを比較すると中間主ひずみパラメータ $\gamma=(2E_2-E_1-E_3)/(E_1-E_3)$ はAの方がやや大きく,  $\gamma_A=0.44 > \gamma_B=0.30$  ( $\sigma=0.6 \text{ kgf/cm}^2$ ),  $\gamma_A=0.50 > \gamma_B=0.33$  ( $\sigma=1.2 \text{ kgf/cm}^2$ )であり, 土構造の違い(異方性)を示している。今回の場合, 中間主ひずみ $E_2=E_3$ であり, 前述の側方ひずみ $E_3$ がパターンBの方がAより小さいことがひずみ円によって分る。

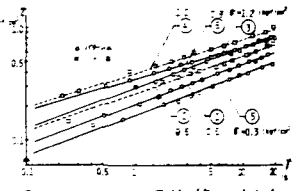


図-3  $\log T \sim \log T$  の関係(等方圧試験)

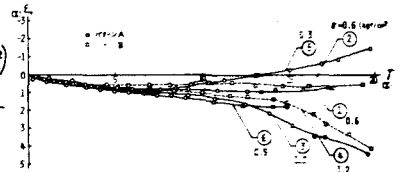


図-4  $E \sim T$  曲線(等方圧試験)

### Ⅲ-2 異方圧単純せん断試験 (1) $T \sim \sigma \sim E$ 関係(図7,8)

単純せん断過程で, せん断方向に垂直な面上の仮が増加する場合のパターンAについての $T \sim \sigma$ および $T \sim E$ 関係を示したのが図7,8である。図7は図3と同様に直線的關係が見られるが仮のせん断抵抗に与える影響は単調ではない。図8についても, 図-4のような傾向が見られるが複雑である。これらの理由は仮の大きさと単純せん断( $T$ が増大)過程が, それぞれの応力条件で主軸の回転を異質にするためと, 中間主応力の影響が入ってくるためと考えられる。

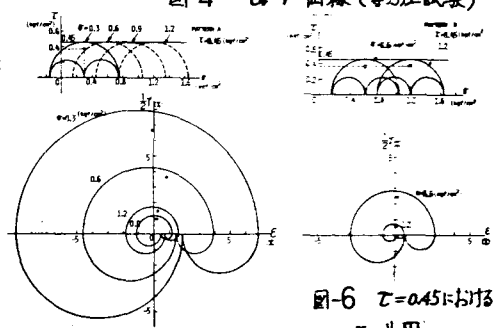


図-5  $\sigma=0.45$ における $E \sim T$ 円

(2)  $\sigma$ の影響(図9,10) 図9は, せん断中のひずみをパラメータとしての,  $\sigma$ がせん断応力 $T$ に与える影響を表わしている。ひずみレベルが増大するにつれて $\sigma$ は増加し, かつ $\sigma$ の影響は凸形の傾向を示している。このことは,  $\sigma_x=0.6 \text{ kgf/cm}^2$ の場合が初期には三軸圧縮状態( $\sigma_x=\sigma_y=0.6, \sigma_z=1.2 \text{ kgf/cm}^2$ )であり,  $\sigma_x=1.2 \text{ kgf/cm}^2$ の場合が三軸伸張状態( $\sigma_x=0.6, \sigma_y=\sigma_z=1.2 \text{ kgf/cm}^2$ )であることから考えて, 中間主応力の影響が入ってきているものと推察される。図10は, せん断応力をパラメータとしての,  $\sigma$ がせん断ひずみに及ぼす傾向を示したもので, 図-9と同じ意義をもつ。

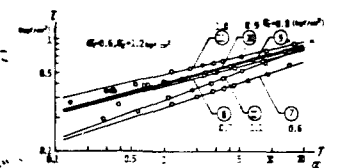


図-6  $T \sim \sigma$  の関係(異方圧試験)

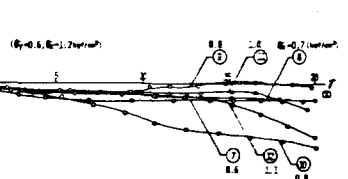


図-7  $\log T \sim \log T$  の関係(異方圧試験)

### Ⅳ. あとがき

以上の結果から次のことが明らかになった。

- (1) 単純せん断中の拘束応力(垂直応力)を一定にして行う場合,  $T \sim \sigma \sim E$  関係に三つの垂直応力の大きさが影響を及ぼす。
- (2) 土の締固め方向(異方性)はせん断応力方向に関連して供試体内のひずみ状態に影響を与え, 三次元モール応力円とひずみ円は相似形とならない。
- (3) せん断方向の垂直応力 $\sigma_z$ の増大は主軸回転や中間主応力の影響が考えられ, 通常の単純せん断試験(例えば $K_0$ 条件での試験)の結果に複雑な影響を及ぼす。

### 〈参考文献〉

- 1) 山内・巻内・藤畑(1980): 昭和54年度土木学会西部支部講演集 pp.119-120
- 2) 山内・巻内・美濃(1980): 第35回土木学会年次学術講演報告集 Ⅲ, pp.47-48
- 3) 土質工学会(1979): 土質試験法(第2回改訂版) p.551

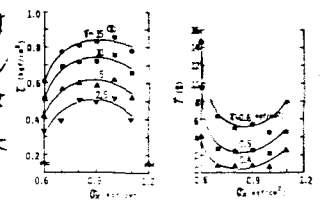


図-8  $E \sim T$  曲線(異方圧試験)

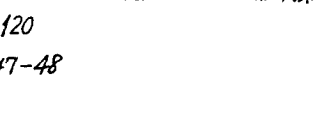


図-9  $T \sim \sigma$  の関係 図10  $T \sim \sigma$  の関係