

九州大学工学部 正員 ○林 重徳

山内豊徳

1. はじめに

筆者らは、以前より、マクロな観点から三軸試験結果を考察し、土の変形に伴うせん断抵抗の動員過程の解明とともに、 (σ, ϕ) へのひずみの導入を試みている。^{1)~3)} 今回は、実際問題として長い盛土や堤体など多くの土構造物に見られる平面ひずみ状態における土のせん断挙動について、同様の試みを行なった。ここでは特に、平面ひずみ状態と軸対称状態とは、その強度および変形特性に顕著な差異が生じるといわれる密詰めの砂について、平面ひずみ状態のせん断抵抗は、変形に応じてどのような過程を経て発揮されるのか、またピーク応力を過ぎた後のせん断抵抗はどのように収斂していくものかを、中間主応力 (σ_2) の影響を中心として検討したものである。

2. 試験装置および試験方法

写真-1に平面ひずみ試験機の本体を示す。本機は、上下板による最大主応力 σ_1 の載荷装置、液圧による最小主応力 σ_3 の負荷装置および中間主応力 σ_2 計測用拘束 $(\varepsilon_2=0)$ 装置を主要素として構成される。 σ_1 はロードセル、 σ_2 および σ_3 は圧力変換器、また軸ひずみならびに体積変化量等は、全て電気的にピックアップし、自記記録される。

写真-2は、拘束棒、角形ゴムスリーブ、マイターボックス、および供試体作製用角形突棒等である。試料は、約6.5%の含水比に調整された豊浦標準砂である。間隙比 $e \approx 0.70$ となるように、所定の方法でマイターボックス内に突固め、直方供試体を作製した。供試体寸法は、縦4.4cm、横6.0cm、高さ5.7cmである。

上下載荷板には、中央のポラス・ストーン $(\phi=5mm)$ を除きシリコングリースを塗付したゴム膜を張り、供試体の端面摩擦を軽減させた。さらに供試体ゴムスリーブと拘束棒との間にも薄くシリコングリースを塗付し側面摩擦の軽減を計った。試験は、側圧 σ_3 ＝一定の圧密排気条件で行ない、軸ひずみ速度は、0.5%/minとした。

3. 試験結果と考察

3.1. 軸差応力とせん断ひずみの関係

試験結果を図-1および2に示す。横軸のせん断ひずみ (γ) は、軸ひずみ ε_1 と体積ひずみ ε_v の測定結果を用い、 $\gamma = (2\varepsilon_1 - \varepsilon_v)$ より計算される。

せん断ひずみによって整理することにより、軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ 、 $(\sigma_2 - \sigma_3)$ はほぼ同一のせん断ひずみ $(\gamma \approx 5.0\%)$ でピークを持ち、またピーク後もほぼ同じせん断ひずみ $(\gamma \approx 11\%)$ で残留応力状態に入る。これらの事は、側圧 σ_3 の大きさにかわらず言えることであり、土の応力変形特性を整理す

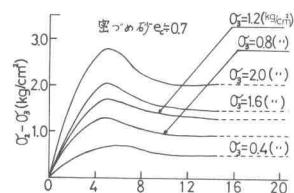
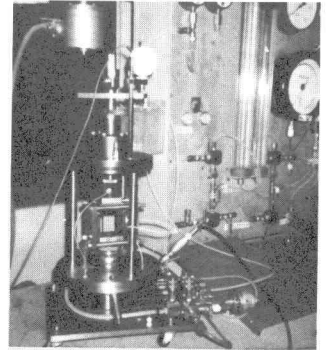
図-2 せん断ひずみ $\gamma(\%)$ 

写真-1

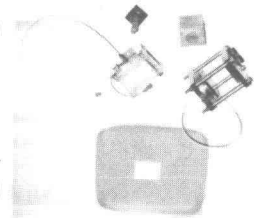


写真-2

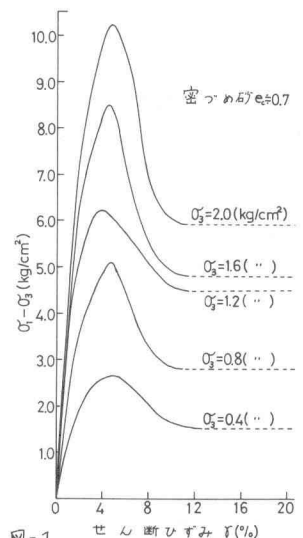


図-1

る際にせん断ひずみで把えることの重要性を示唆するものである。

3.2. 中間主応力の経路

せん断ひずみをパラメータとして、中間主応力 σ_2 と軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_2)$ に間 $(\sigma_1 - \sigma_2)$ するストレスパスを図-3に示す。

$(\sigma_1 - \sigma_2)$ は、 $\gamma = 3 \sim 4\%$ でピーク値を示し、 $\gamma = 9 \sim 10\%$ ではほぼ一定値となる。 $(\sigma_1 - \sigma_2)$ は、 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ および $(\sigma_2 - \sigma_3)$ に比べ $1 \sim 2\%$ 早いせん断ひずみの段階でピークならびに残留の応力状態に達するようである。また任意のせん断ひずみにおける応力点 $(\sigma_1 - \sigma_2, \sigma_2)$ も、 $(\sigma_1 - \sigma_3, \sigma_3)$ および $(\sigma_2 - \sigma_3, \sigma_3)$ の場合と同様十分な精度で直線近似が可能である。

図-4, 5, 6は、せん断ひずみ $\gamma = 2, 4, 12\%$ におけるMohrの三次元応力円と、それぞれの応力円に対する包絡直線を示す。図には $\sigma_3 = 0.4$ および 2.0 kg/cm^2 の2組だけを示し他は割愛した。これらの図からも、初期のひずみ段階における $(\sigma_1 - \sigma_2)$ の役割の大きいことが理解される。また、三本の包絡直線は、ほぼ同一点で横座標軸(σ 軸)を切っており、 σ 軸切片と各直線の傾きによって各直線も決定することができる。

3.3. せん断抵抗のモビライジングプロセス

$(\sigma_1 - \sigma_3)$, $(\sigma_1 - \sigma_2)$, $(\sigma_2 - \sigma_3)$ の各々の応力円群に対して、直線近似した等せん断ひずみ包絡線から求められたせん断抵抗のモビライジングプロセスを図-7, 8に示す。図-7は、せん断抵抗の粘性成分の、また図-8は同じく摩擦成分の動員過程である。 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ についての $\tan \phi_{1-2}$ および C_{1-2} が、 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ ならびに $(\sigma_2 - \sigma_3)$ についてのものに比べ、数%早いひずみ段階で発揮され、最大軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ がピークを示す $\gamma = 5 \sim 6\%$ 以降においては、 $C_{1-2} \approx C_{2-3}$ ならびに $\tan \phi_{1-2} = \tan \phi_{2-3}$ となることが特徴的である。すなわち、中間主応力 σ_2 の影響は、ごく初期のひずみからピーク応力までの段階において極めて大きく、ピーク応力を過ぎると、 $(\sigma_1 - \sigma_2)$ および $(\sigma_2 - \sigma_3)$ の応力円は、図-6に示されるようにほぼ同一の等せん断ひずみ包絡線を共有するようになる。換言すると、ピーク応力以降の σ_2 は σ_1 および σ_3 に一義的に従属するものとなる。

参考文献

- 1) 林・内田; 土の応力変形特性について——三軸圧縮試験結果からの一考察——
- 2) 林・内田; “ (オ2報) ”
- 3) 林・山内; 三軸圧縮試験における砂のせん断定数のモビライジング・プロセス、
- 4) 林・山内; 砂のせん断定数のモビライジング・プロセスに及ぼすダイレイタンシーの影響、
- 5) 林・山内・上山; 平面ひずみ試験における砂のせん断定数のモビライジング・プロセス、

土木学会西部支部研究発表会 1974
 オ9回土質工学研究発表会 1974
 オ13回 “ 1978
 土木学会西部支部研究発表会 1979
 “ “

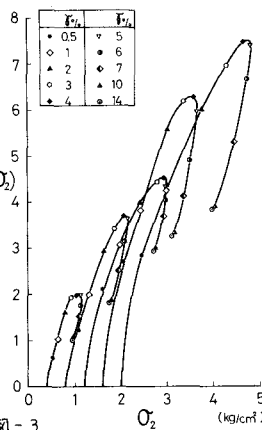


図-3

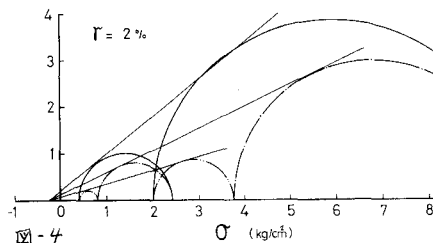


図-4

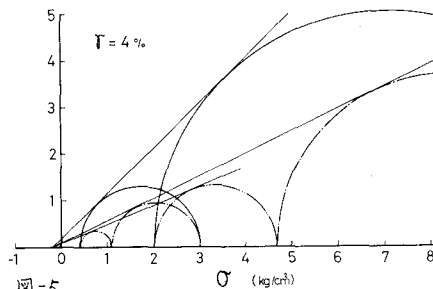


図-5

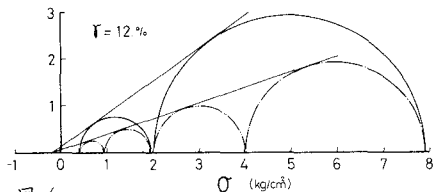


図-6

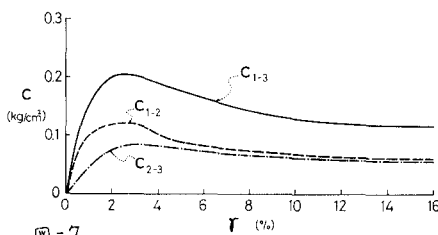


図-7

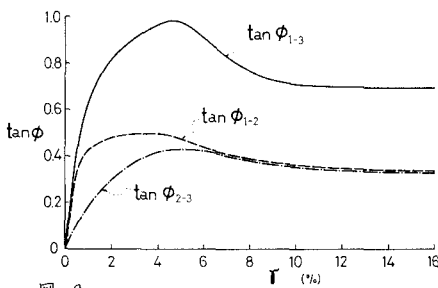


図-8