

九州大学工学部 正員 山内豊聡
 “ “ 林 重徳
 “ 学生員 〇山邦彦

1. まえがき 筆者らは、以前より三軸圧縮試験機を用いて、軸対称状態における砂のせん断定数のモビライジング・プロセスについて調べてきたが、今回は平面ひずみ試験機を試作し、平面ひずみ状態における砂のせん断特性について同様の試みを行った。土の平面ひずみ状態は、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ており、これらにおける土要素の強度と応力・ひずみ関係を調べることは極めて重要な問題である。特に、筆者らが以前から指摘してきた、変形を考慮に入れて土のせん断定数を決定することは、平面ひずみ状態においてもせん断定数が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土にとってせん断定数はいかなる意味をもつのか、さらに中間主応力 σ_2 の影響はどのように働いているのか、などを解明する上で重要な問題である。すなわち、変形から破壊に至るまでの問題を統一的に解析することを目的としている。ここでは、せん断ひずみに着目して、等せん断ひずみ包絡線を描き、せん断ひずみの増加に伴うせん断定数 (C, ϕ) のモビライジング・プロセスを明らかにする。

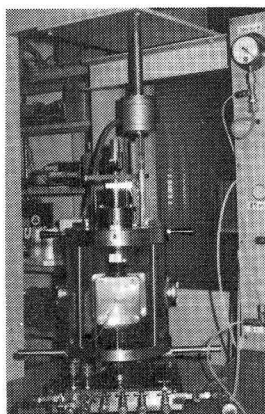


写真 1

2. 実験装置および実験方法 写真1に平面ひずみ試験機の本体を示している。これは最大主応力ピストン載荷装置、最小主応力液圧負荷装置および中間主応力計測用拘束装置から構成されている。最大主応力 σ_1 はロードセルによって測定し、また中間主応力 σ_2 は向けき水圧計によって測定している。これらの値は全て自記記録計に接続されており自動的に記録されるようになっている。

試料は、含水比を約6.5%に調整した豊洲標準砂であり、密づめ $e_c \approx 0.70$ 、ゆるづめ $e_c \approx 1.00$ でそれぞれ所定の方法で供試体成形用マイターボックス内で締固めた。その際、できるだけ直方供試体(縦44cm、横60cm、高さ57cm)の隅部の向けき比の誤差を少なくするよう、ゴムスリーブを供試体にフィットさせた。また供試体の上下の端面摩擦を軽減させるため、シリコングリースを塗付した極薄のフィルムを用いた。さらに拘束装置と供試体との側面摩擦も、シリコングリースを塗付して摩擦の軽減をはかった。試験は、側圧 σ_2 = 一定の圧密排気状態で行い、軸ひずみ速度は0.5%/minとした。圧密およびせん断時の体積変化量は、上下載荷板中央のポーラスストーン($\phi=50$ mm)から直接ピュレットに導き測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 軸差応力・せん断ひずみ曲線について 平面ひずみ試験から得られた軸差応力・せん断ひずみ曲線を図-1から図-4に示している。密づめ砂の場合についての図-1、2から明らかのように、軸方向の変位を与えてせん断を行うと同時に、主応力差 ($\sigma_1 - \sigma_3$) と ($\sigma_2 - \sigma_3$) は増加し始めて、ほぼ同一のせん断ひずみ量 ($\gamma = 50\%$) で両者は最大となることからわかる。また側圧 σ_2 の大きさがかわらず、ほとんど等しいせん断ひずみの所でピーク応力を生じていることが認められる。このことは、以前筆者らが行った三軸圧縮試験においても見られ

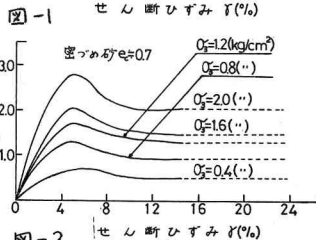
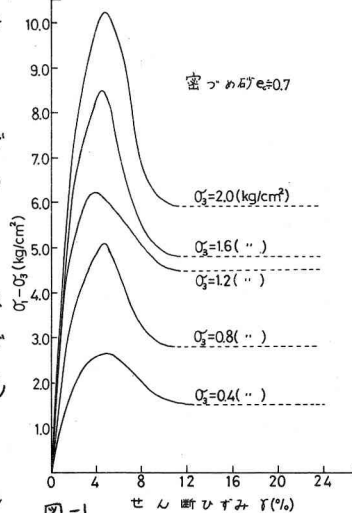
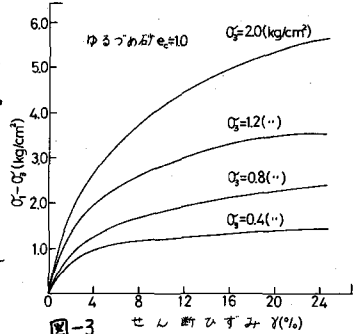
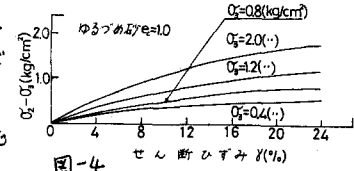


図-2 せん断ひずみ γ (%)

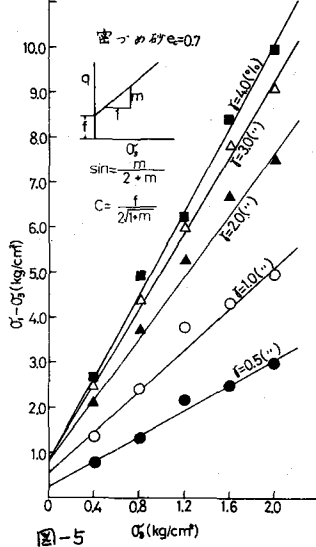
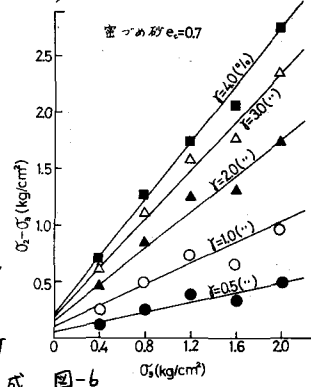
た現象である。ピークを過ぎてさらに変形が進むと、せん断ひずみ $\gamma=14\%$ ぐらいの所から主応力差が再び増加し始め、第2のピークが現われたが、これは破壊面の反射が起ったためと考えられる。ゆるづめ砂の場合については、図-3, 4に示している。ゆるづめ砂は、密づめ砂と異なり、主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ と $(\sigma_2 - \sigma_3)$ の両者が明白なピーク応力を生じないまません断ひずみ $\gamma=24\%$ 程度で塑性平衡状態に達していることがわかる。



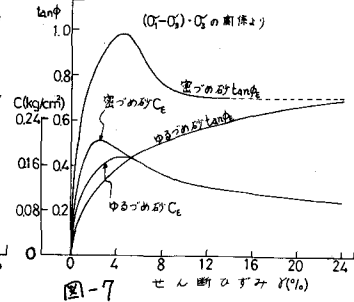
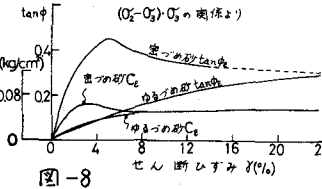
3.2 等せん断ひずみ線 密づめ砂について、せん断ひずみがある等しい値に達したときの応力点 $(\sigma_1 - \sigma_3, \sigma_3)$ と $(\sigma_2 - \sigma_3, \sigma_3)$ をプロットした例が図-5, 6である。両者のせん断ひずみにおける応力点群には多少のばらつきがあるが、直線近似が可能であると思われる。密づめ砂についてピーク応力を過ぎた後も、またゆるづめ砂においてはピーク応力の前後とも図-5, 6と同様に直線近似ができる。このことは、三軸圧縮試験においても同様である。そして、龍岡らの報告と考え合わせると、平均ひずみ試験においても、等せん断ひずみ線は土の応力ひずみ関係を説明する上で重要な意味を持っていると結論できる。



3.3 せん断定数のモビライジング・プロセス 直線近似した等せん断ひずみ包絡線から、各々のせん断ひずみ段階で動員されている (C_e, ϕ_e) を密づめ砂、ゆるづめ砂について求め、せん断定数のモビライジング・プロセスを示したものが図-7, 8で、両図の傾向はほぼ一致していることがわかる。密づめ砂、ゆるづめ砂の摩擦成分 $(\tan \phi_e)$ は、せん断ひずみ $\gamma=24\%$ ぐらいで一定の値に漸近している。また粘着成分 (C_e) も $\gamma=8\%$ ぐらいから両者の値は一定値に近づくことがわかる。Lambeは「粘着成分はひずみが極く小さいときに働 き、やがてその作用を停止する」と言っているが、両図を見る限り粘着成分はせん断ひずみが増加しても引続き残留していることが認められる。密づめ砂の $C_e, \tan \phi_e$ からゆるづめ砂のそれらの値を差し引いたものは、せん断変形に伴う体積膨張によって付加された粘着力成分および摩擦成分の動員過程を示している。これは、一般にダイレイタンシー効果およびインターロッキング効果といったものに相当すると考えられる。



4. あとがき 以上のことをまとめると、次のようなことがいえる。平均ひずみ状態においても、 $(\sigma_2 - \sigma_3)$ は等せん断ひずみ線で直線近似できる。またせん断ひずみ $\gamma=5.0\%$ における密づめ砂、ゆるづめ砂の摩擦成分 $(\tan \phi_e)$ の比は、 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ について約2.3倍であるが、一方 $(\sigma_2 - \sigma_3)$ については約4.5倍とかなり高いことがわかり、中向主応力の影響は無視できない。今後三主応力制御試験機を用いて同様のテーマでさらに詳しく中向主応力の影響について調べていきたい。



について約4.5倍とかなり高いことがわかり、中向主応力の影響は無視できない。今後三主応力制御試験機を用いて同様のテーマでさらに詳しく中向主応力の影響について調べていきたい。

〈参考文献〉(1) 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、第10回土壌工学研究発表会概要集、1978. 10.
 (2) 龍岡丈夫：砂の三軸圧縮・伸張試験—主応力経路に関して—、第20回土壌工学シンポジウム論文集、1975, pp. 67~69.