

神戸大学工学部 正員 軽部大蔵
戸田建設(株) 久野 宏

まえがき

土に作用する応力とひずみの関係(あるいは破壊応力式)を定量的にあらわそうとする場合の問題の1つに、作用応力の大きさだけでなく、その方向も刻々変化する場合の扱い方がある。作用応力の変える実験は、三軸試験機や直接せん断試験機を用いて従来から行なわれているが、これらによる応力方向の変化は、前者では最大主応力の方向を直交する方向へ変えること、後者では最大せん断応力方向を逆にすることに限られている。

ところが、地震時の地動の変位軌跡(ローカス)などを見ると、地面は長軸方向が刻々変化する楕円を描いて動くことが多いから、したがって最大せん断応力の方向も連続的に変化していると思われる。

筆者は、このような応力状態を再現し得る装置をめざして、先に「XY単純せん断試験機」を試作した。これは、単純せん断試験機の水平力(せん断力)軸を直交するZ軸としたものである。得られた試験結果は、①緩詰め砂を、せん断変位径路が正方形になる様にせん断すると、通常の繰返し試験より容易に高密度化する(文献1)。②先行せん断応力を与えてから、90°以内だけ方向を変えて再せん断すると、せん断応力(応力制御法ではせん断ひずみ)が先行せん断方向に偏差する(文献2)、などであった。問題点としては、せん断箱の上板が傾きやすいことや、垂直応力一定試験しか行っていないなどがあった。今回は、せん断箱を改良した上で、等体積試験を行った結果を報告する。

試験機・試料・試験方法

改良したせん断箱は、図-1に示す通りである。紙面に直角方向にもう1軸のせん断力・測定装置がある。せん断力は、応力制御法、あるいは変速機をつけたモーターによりひずみ制御法で与えられるが、他軸方向の変位に影響を受けずに作用させることができる。

供試体を入れる容器は、NGI型単純せん断試験

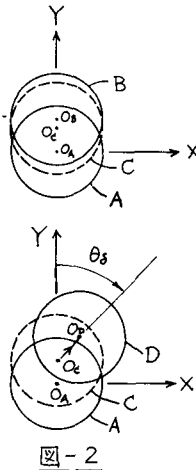
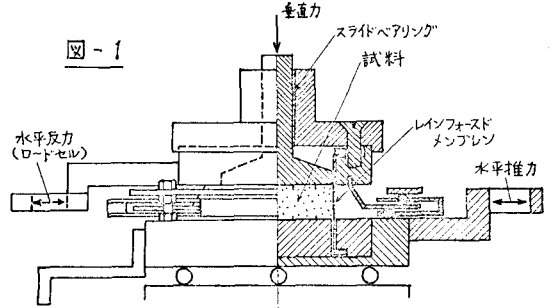


図-2

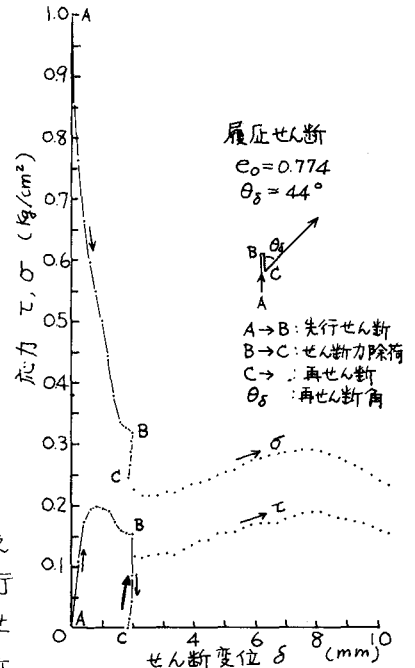


図-3

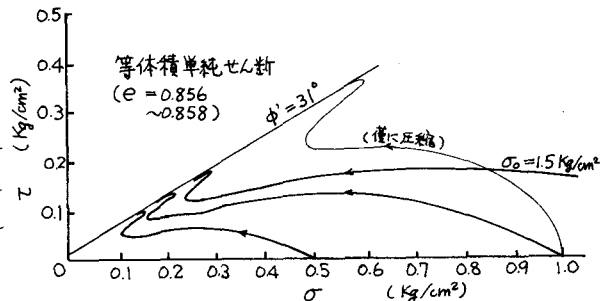


図-4

機に於ってピアノ線を密に巻いたコイルをゴムに封入した「レインフースドメンブレン」を用いている。供試体高さは20mm、直径は60mmである。許容せん断変位 $\pm 10\text{mm}$ 、垂直応力 3kg/cm^2 である。このせん断箱の欠点は、①僅かなねじり変位が起り得る、②メンブレンが硬く、 $\pm 10\text{mm}$ のせん断変位に対して 2kg の力が作用する、③載荷・計測装置が高連試験向きでない、などである。

試料・試験方法：試料は、 $G_s = 2.65$ 、均等係数1.50の乾燥した豊浦標準砂である。試料を静かにせん断箱に注ぎこみ、垂直応力を作用させた状態で供試体高さ $20\text{mm} \pm 1\text{mm}$ となる様にする。この時の肉隙比を e_0 であらわす。せん断は、等体積・ひずみ制御法（変位速さ 0.5mm/min. ）であり、つぎの2種類の試験を行なった：①通常の単純せん断試験。1方向にのみせん断する。②まずY方向に 2mm だけせん断変位させ（図-2上—供試体の上面の動きを示す—のA $\rightarrow$ B）、直ちにせん断応力のみ除荷する（C）。つぎに、XY両軸を同時に作動させて破壊させる（図-2下、C $\rightarrow$ D）。せん断変位径路 $\vec{AB}$ と $\vec{CD}$ のなす角を再せん断角 θ_δ と呼ぶ。また、これに伴うせん断応力（合力）の方向角を θ_c であらわす。

試験結果

〈応力～ひずみ関係〉図-3は、 $\theta_\delta = 44^\circ$ の例である。せん断変位 δ が 8mm をこえると再び σ が低下するのは、この変位で容器の断面面積が増加することを示しているであろうか。

〈応力径路〉図-4は通常の等体積せん断試験における応力径路である。ただし、図中の細線であらわした径路は、垂直応力載荷装置を固定しただけの場合（僅かに圧縮する）のものである。

〈せん断強度〉図-5aは、再せん断時の ϕ' （ $c' = 0$ と仮定）をあらわしている。黒丸印は通常の単純せん断試験結果である。再せん断により ϕ' は大きくなる。図-5bは、再せん断による $\tau_{\max}$ をあらわしている。再せん断により $\tau_{\max}$ は低下する。これらの結果は、再せん断試験では有効垂直応力 σ' が小さくなることに起因すると思われる。

〈せん断応力の方向〉図-6は再せん断変位径路（実線）上に矢印でせん断応力の方向と大きさを記入したものである。再せん断の初期には、変位の方向と応力の方向が一致しない。この様子を (θ_c/θ_δ) の比であらわすと図-7が得られる。 (θ_c/θ_δ) は θ_δ の大きさにはよらないようである。また、再せん断開始時（ $\delta' = 0$ ）には、せん断応力の方向が先行せん断方向に一致することをうかがわせる。

文献1）軽部・福岡：砂のXYシンボルシア試験，土木学会関西支部年講，Ⅲ-3，1974。

文献2）軽部・下村・鈴木：砂のせん断履歴について，才10回土質工学研究発表会，No.45，1975。

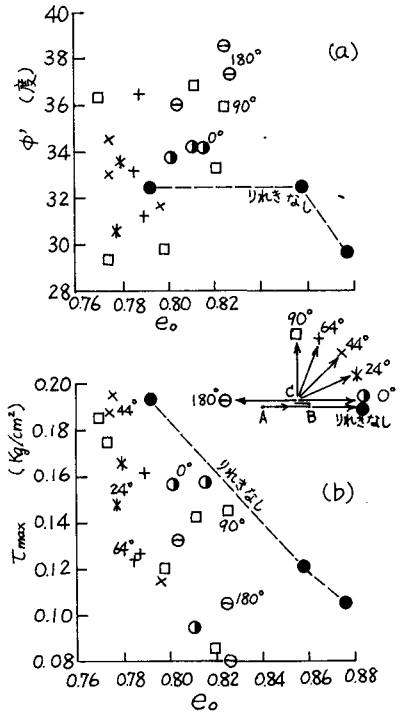


図-5 (a) $e_0 \sim \phi'$ 関係
(b) $e_0 \sim \tau_{\max}$ 関係

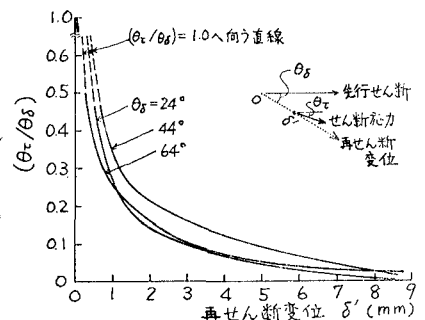
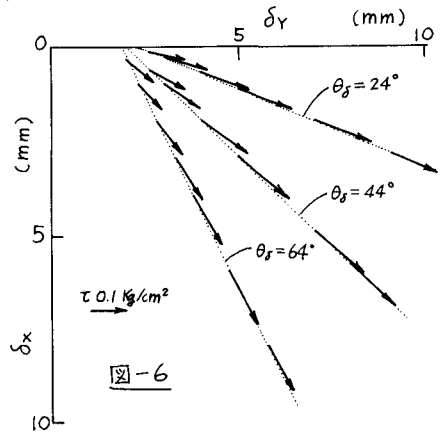


図-7