

CS 36

各種粒状体の平面ひずみ圧縮試験の供試体におけるせん断層について

東京大学大学院生

(学) 吉田 輝

法政大学大学院生

小宮隆之

韓国・東亜大学（元東京大学大学院生）

朴 春植

東京大学生産技術研究所 (正) 龍岡文夫・(正) 木幡行宏

はじめに：既成の土質力学の体系では、いわゆる「すべり面」がじつは面ではなく、幅をもったもの（せん断層）であること、またそのことが地盤の破壊が進行的であることに関連していること、などの事実が考慮されていない。したがって、大変形を伴う地盤の破壊を正確に予測することができない。このような解析を行うためには、せん断層の内部における正確な応力～ひずみ関係が不可欠であり、実際、模型支持力実験における地盤の挙動が「せん断層要素」を導入したFEM解析によってかなりうまく再現できるという報告がすでになされている。しかしながら、せん断層での応力～ひずみ関係は、圧力レベル、密度、粒径、粒形、粒子の組成、などの各種因子の影響を受けると考えられ、その全体像はいまだに明らかにされていない。本報では、これまでにに行った各種の砂とガラス・ビーズの平面ひずみ圧縮試験の供試体におけるせん断層の測定結果について述べる。

平面ひずみ圧縮試験と写真撮影：表-1に示す8種類の試料を用いて、空中落下法により $\delta = 90^\circ$ の空気乾燥供試体をそれぞれ1つずつ作製し、拘束圧 $\sigma'_s = 0.80 \text{ kgf/cm}^2$ （一定）、空気乾燥状態で平面ひずみ圧縮試験を実施した。図-1に試験装置を示す。供試体上下端面には摩擦軽減層を設けた。また、拘束板とメンブレンとの間の摩擦もシリコン・グリースによって軽減した。メンブレンの表面には5mm 間隔のゴム製格子状マーカーを印刷しておき、透明なアクリル製拘束板に垂直な方向（ σ_s 方向）から写真撮影を行った。1回の試験で36枚撮フィルム1本を使用し、ピークから残留状態に到るまでなるべく密な間隔（供試体平均軸ひずみ 0.1～0.2%おき）で撮影した。図-2は、各試験における応力～せん断ひずみ関係（供試体平均）である。

せん断層付近の変位の測定：座標読み取り装置（図-3）を用いて、写真（写真-1はその一例）からマーカーの線の交点（格子点）の座標を読み取った。読み取り誤差は、写真上において0.03mm以内である。せん断中（主にピーク以降）の各段階での写真について格子点の座標を読み取った。せん断層の外側にあり、かつ、せん断層の近傍にあるような格子点を20～30点程度選出し、これらの点を用いて、せん断層での横ずれ量 u_s 、せん断層の幅の膨張量 u_n を求めた。このとき、 u_s 、 u_n から供試体全体の一樣変形に起因する分を取り除いた。せん断層の方向は、「せん断層に平行な直線上にある2つの格子点」を選び出し、その2点を結んだ方向として、各段階でそれぞれ求めた。

図-4に「 u_n ～正規化した応力 R_n 」関係を示す。 R_n は、主応力比 $R = \sigma_1 / \sigma_s$ を用いて次式で求めた応力レベルである。

$$R_n = (R - R_{res}) / (R_{max} - R_{res})$$

ここに、 R_{max} 、 R_{res} はそれぞれRのピーク値、ピーク以後における最小値である。ガラス・ビーズの場合は、図-2からわかるように応力の変動が激しいので、上側の包絡線を用いた。図-4によれば、供試体の相対密度 D_r が他よりも比較的小さいSilica No.5 Sandを除き、残りの7種類の試料はおおよそ1つにまとまっている。さらに細かくみると、 D_{50} が0.5mmを越えるSilver Leighton Buzzard Sand, Glass Beads およびTicino Sandの3種類の曲線が他の4種類からわずかに離れてひとまとまりになっている。これら3種類の試料は、ピーク時における u_n も比較的小さく、 u_s を「ピーク以後の u_n の増分」で置き換えれば、これら3種類と残りの4種類とのひらきはさらに大きくなる。これらのことから、ピークから残留状態に到るまでのせん断層での横ずれ量は、 D_{50} が大きいほど大きくなる傾向があると考えられる。

図-5は、縦軸に「せん断層の幅の膨張量（累積） u_n 」をとったものである。残留状態での u_n は、 D_{50} が大きいほど大きくなるのがわかる。また、粒子の角張りの度合いを表すYFが大きいほど大きくなる傾向があるようである。

結論：せん断層における応力～ひずみ関係は、粒径、粒形の影響を受ける。

あとがき：メンブレン力の影響が比較的小さいと考えられる高い拘束圧のもとで同様の測定を始めている。

謝辞：画像処理についてご指導下さった東京大学土木工学科・堀井秀之助教授と東京大学生産技術研究所村井研究室・橋本俊昭助手、座標読み取り装置の改良にあたってご指導下さった東京大学生産技術研究所龍岡研究室・佐藤剛司技官、実験の手伝いをして下さった佐藤工業（株）・山口勝弘氏にお礼を申し上げます。

参考文献：吉田 輝ら(1993)：粒状体の粒子形状の自動測定、第28回土質工学会（神戸）

表-1 試料の物性・試験条件

試料（産出国）	D_{50} (mm)	U_c	G_s	ρ_{max}	ρ_{min}	$YF^{(1)}$	$\phi_{vib}^{(2)}$	D_r (%)
Toyoura Sand (Japan)	0.162	1.46	2.64	0.977	0.605	14.7	0.652	87
Silver Leighton Buzzard Sand (UK)	0.62	1.11	2.66	0.79	0.49	10.3	0.549	80
Ticino Sand (Italy)	0.502	1.33	2.68	0.96	0.59	14.5	0.657	82
Hostun Sand (France)	0.31	1.94	2.65	0.95	0.55	15.1	0.616	84
Karlsruhe Sand (Germany)	0.45	1.65	2.65	0.87	0.54	10.2	0.621	75
Monterey No.0 Sand (USA)	0.44	1.74	2.64	0.86	0.55	11.9	0.604	83
Silica No.5 Sand (Japan)	0.32	2.11	2.69	0.849	0.52	14.4	0.685	50
Glass Beads (Japan)	0.505	1.21	2.49	--	--	--	0.573	--

1) 吉田ら(1993)による粒子の角張り度 2) 載荷開始時の間隙比

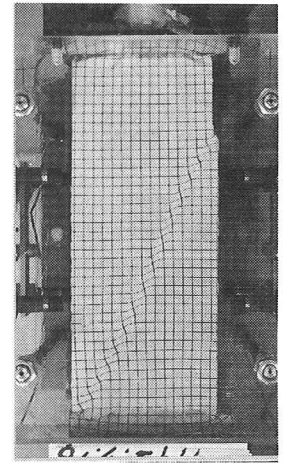


写真-1

読み取りに使用した写真（例）
（Hostun Sand, $\gamma=10.8\%$ ）

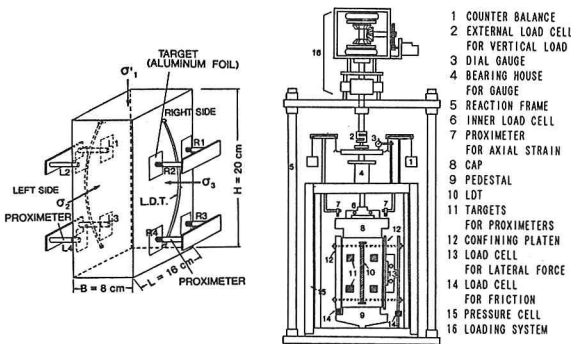


図-1 平面ひずみ圧縮試験装置

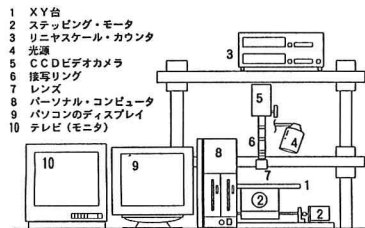


図-3
座標読み取り装置

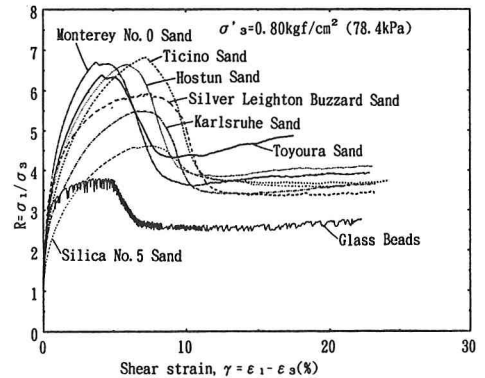


図-2 「主応力比 $R \sim$ 平均せん断ひずみ γ 」関係

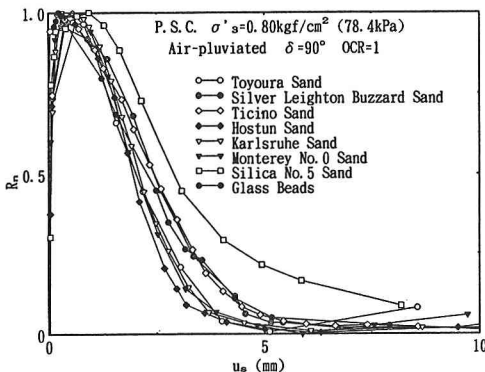


図-4 「横ずれ $u_x \sim$ 正規化した応力 R_n 」関係

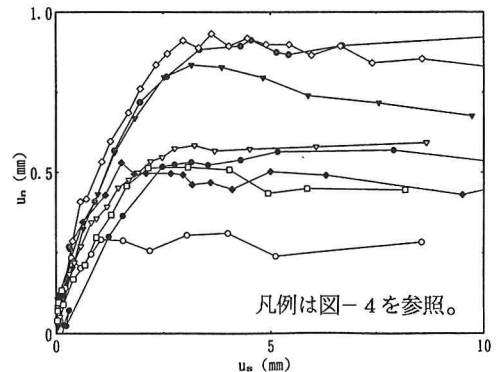


図-5 「横ずれ $u_x \sim$ 幅の膨張量 u_n 」関係