

## 締固めたまさ土と正規、過圧密まさ土の剪断特性の比較

鳥山 暁 司

### The comparison of Shearing Properties of Compacted Decomposed Granite Soil and Normally and Over-Consolidated One

Koushi TORIYAMA

**Abstract** Abstract The shearing properties of compacted and normally/over-consolidated decomposed granite soil are investigated with triaxial compression tests with consolidated undrained condition and direct shear tests with constant pressure. All tests were performed with inundated specimen.

The shearing strength of compacted soils with D-value greater than 95% is larger than that of normally consolidated soil but that of compacted soils with D-value smaller than 90% is less than that of normally consolidated soil. The strength parameters  $c'$  and  $\phi'$  determined with  $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$  by CU triaxial tests are decreased with decrement of D-value but  $\phi'$  determined with  $(\sigma'_1 / \sigma'_3)_{\max}$  are nearly constant. The strength parameters by direct shear tests are also decreased with decrement of D-value but those are fairly greater than those obtained by triaxial tests. Moisture contents  $w_f$  of direct shear tests after the experiments are fairly greater than those of triaxial tests. The linear relations are obtained between  $w_f$  and strength parameters.

Key word: decomposed granite soil, shear strength, strength parameter, D-value, moisture content

## 1. ま え が き

最近の盛土工事においては重転圧機械を用いて締固めを行い、締固め面は硬く、重機の走行は容易なため、剪断強度は軟弱な正規圧密土より大きいものと思われている。これは締固めたままの状態では正しいが、降雨や地下水が浸透し、飽和状態になった後でも成り立つという実験的な検討は全くない。さらに締固め不十分の盛土が降雨にあうと非常に軟弱になり、場合によっては大きな沈下を生じることもある。これは締固め土が飽和状態では正規圧密状態かそれ以下の剪断強度しか持たない場合のあることを示唆している。また締固め土の剪断強度を正規圧密と過圧密の剪断強度を組み合わせで表示することも行われている<sup>1), 2)</sup>。

最近、これらのことに疑問を抱き、同じ土を用いて締固め状態とペーストからの正規圧密、過圧密状態での剪断特性の比較をはじめた。昨年は藤の森粘土を用いて比

較実験をした。この結果、D値 $\geq 95\%$ では水浸状態でも締固め土の方が大きな剪断強度を持つが、D値 $\leq 90\%$ では正規圧密の方が剪断強度が大きくなることを示した<sup>3)</sup>。このような比較は1つの土を用いたのみではあまり意味をなさず、各種の土性の土を用いて実験をする必要がある。今回は代表的な砂質土であるまさ土を用いて実験した。

砂質土の剪断強度は三軸圧縮試験によって多くは行われるが、今回は三軸圧縮試験とともに定圧一面剪断試験も行った。実験は締固めたままの非水浸と水が浸透した水浸状態で行うことが望ましいが、盛土の設計は危険な状態を想定して水浸状態の強度定数を用いることが多いため、水浸のみとした。

## 2. 試料土と実験方法

試料土は松江市忌部町から採取した風化の進んだまさ土である。良質の盛土材としてよく用いられている土で

表-1: 試料土の物理的性質

$\rho_s$	2.636 g/cm <sup>3</sup>
$w_l$	31.9 %
$w_p$	30.4 %
$I_p$	1.5
砂分	74.2~78.7 %
シルト分	10.0~10.5 %
粘土分	11.0~15.5%
$E_c : W_{opt}$	14.0 %
$\rho_{dmax}$	1.821 g/cm <sup>3</sup>
$E_c/2 : W_{opt}$	16.9 %
$\rho_{dmax}$	1.734 g/cm <sup>3</sup>
$E_c/4 : W_{opt}$	19.4 %
$\rho_{dmax}$	1.671 g/cm <sup>3</sup>

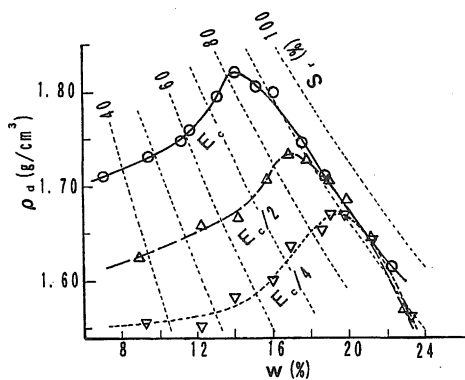
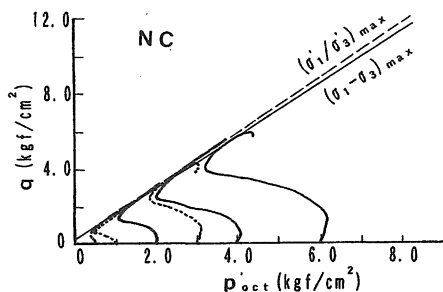
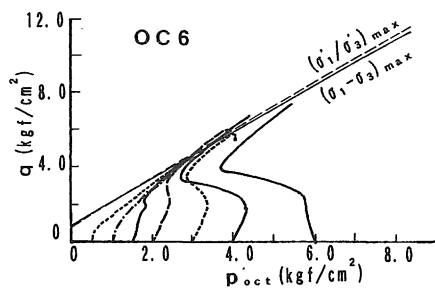


図-1: まさ土の締固め曲線



(a) 正規圧密



(b) 過圧密

図-2: 正規圧密と過圧密まさ土の応力経路

ある。この物理的性質を表-1に示す。緩い締固めまさ土まで実験したため、図-1に標準締固めエネルギーとその1/2と1/4での締固め試験結果を示す。

用いた試料土は風乾後の2.0mmふるい通過分である。供試体の締固め含水比は最適含水比 $w_{opt} \approx 14\%$ とその乾燥側 $w \approx 9\%$ 、湿潤側 $w \approx 17\%$ とし、水を加え1週間以上置いた後、供試体の作成に用いた。

締固め土の供試体密度はD値 $= (\rho_d / \rho_{dmax}) \times 100 = 100, 95, 90, 85, 80, 75, 70\%$ となるように締固めた。

正規圧密、過圧密供試体は水が分離しない上限の32%のペーストで作成した。三軸供試体はペーストを内径5.0cm、高さ12.5cmのモールドに入れて凍結しこれを三軸セルに素早くセットした。一面供試体は内径6.0cm、高さ2.0cmの容器にペーストを入れて凍結し、これを剪断箱にセットした。

実験は全て水浸条件とした。三軸圧縮試験はセット後、1日間圧密、3日間、動水勾配 $i = 7 \sim 8$ で透水後、背圧 $u_b = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ を1日間加えた。一面剪断試験では背圧は加えられないため、 $i \approx 10 \sim 20$ で1日間透水した。

三軸圧縮試験は $\sigma'_{3c} = 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 6.0 \text{ kgf/cm}^2$ の6本を1組とし、一面剪断試験は $\sigma = 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 \text{ kgf/cm}^2$ の7本を1組とした。

正規圧密供試体はペーストを所定の $\sigma'_{3c}$ で圧密した。過圧密供試体は三軸では先行圧密応力 $p_c = 6.0$ と $3.0 \text{ kgf/cm}^2$ で、一面では $\sigma = 3.0 \text{ kgf/cm}^2$ で圧密後、所定の応力まで除荷した。

三軸圧縮試験は圧密非排水試験とし、 $0.1\%/\text{min}$ の速さで、定圧一面剪断試験は $0.01 \text{ mm/min}$ の速さで剪断した。

### 3. 三軸圧縮試験結果

正規圧密(NC)と $p_c = 6.0 \text{ kgf/cm}^2$ での過圧密(OC6)まさ土の応力経路を図-2に示す。正規圧密粘土では $p'_{oct}$ はわずかに増加後、減少に転じ、 $q = (\sigma_1 - \sigma_3)$ のピーク後は $p'_{oct}$ 、 $q$ ともに減少するが、正規圧密まさ土は砂質土ため、剪断途中から間隙圧 $\Delta u$ が減少し、 $p'_{oct}$ と $q$ が増加している。過圧密のまさ土は $\sigma'_{3c} \leq 2.0 \text{ kgf/cm}^2$  ( $OCR \leq 3.0$ )では $p'_{oct}$ は増加し、OCRの大きな過圧密粘土の応力経路と類似している。OCRが2.0と1.5の応力経路はやや過圧密された粘土の応力経路に類似している。

締固めまさ土の最適含水比 $w_{opt}$ でD値=100%(OT100)

と85%(OT85)およびD値=85%で $w_{opt}$ の乾燥側(DT85)と湿潤側(WT85)の応力経路を図-3に示す。OT100の応力経路は $\sigma'_{3c} \leq 4.0 \text{ kgf/cm}^2$ では大きな過圧密粘土の $\sigma'_{3c} = 6.0 \text{ kgf/cm}^2$ はやや過圧密された粘土の応力経路と類似している。D値=85%の締固めまさ土は正規圧密粘土の応力経路と同じであり、図-2のNCまさ土よりも軟弱な応力経路になっている。また、図-2, 3に破壊強度を $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ と $(\sigma'_1 / \sigma'_3)_{max}$ とした場合の破壊包

絡線を実線と点線で示すが、NC, OC6, OT100では両者の差は小さいが、D値=85%の締固めまさ土では $(\sigma'_1 / \sigma'_3)_{max}$ の方がかなり大きな $\phi'$ を与え、しかも $w_{opt}$ の乾燥側のDT85での差が大きい。これは同じ乾燥密度でも $w_{opt}$ の乾燥側の方が水浸時に軟弱になり、剪断中に大きな間隙圧が生じることを示している。

破壊時の間隙圧係数 $A_f$ とD値の関係を $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ と $(\sigma'_1 / \sigma'_3)_{max}$ について図-4に示す。図中に正規圧密ま

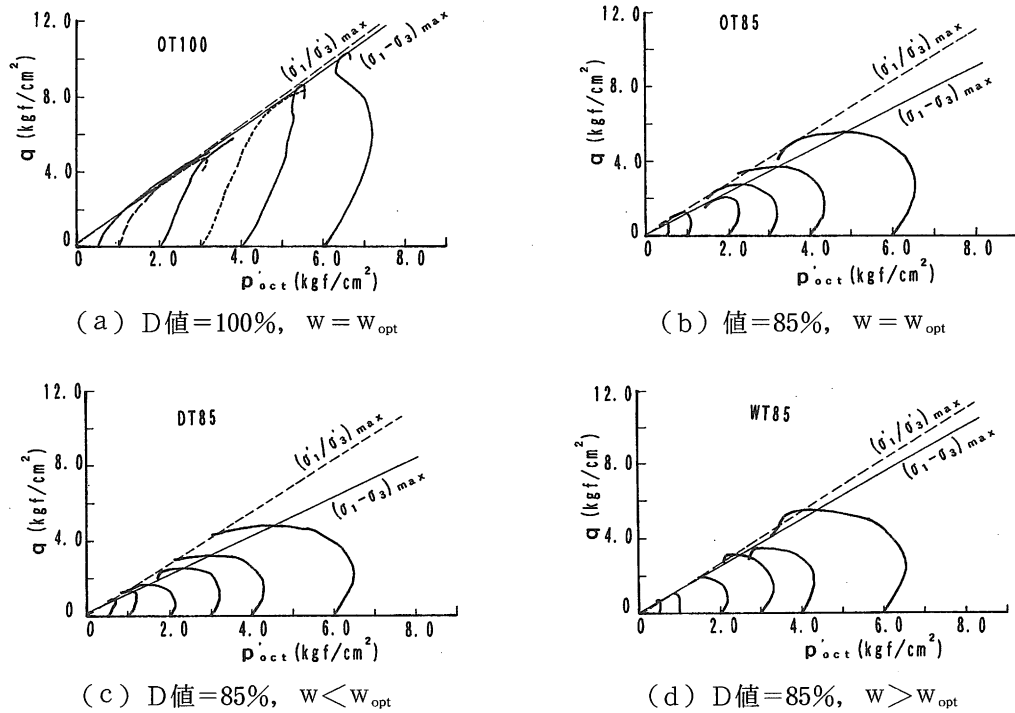


図-3：締固めまさ土の応力経路

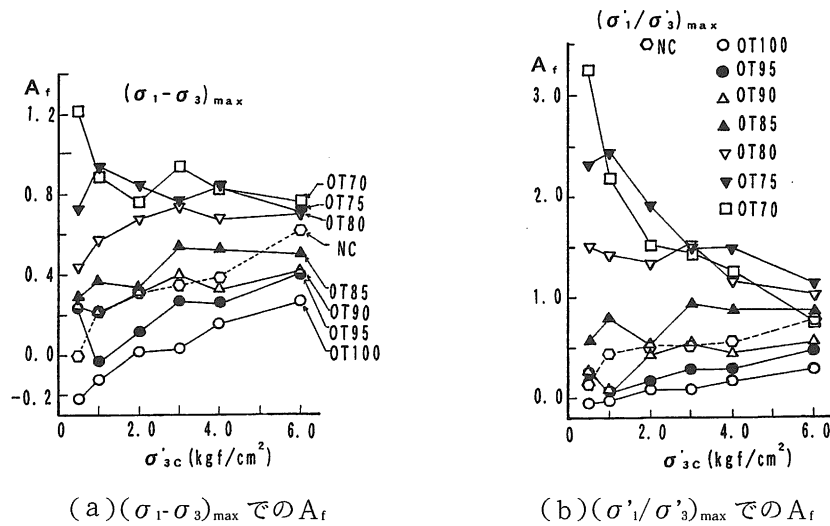


図-4：破壊時の間隙圧係数 $A_f$ と圧密応力へのD値の影響 (図中のNCは正規圧密まさ土)

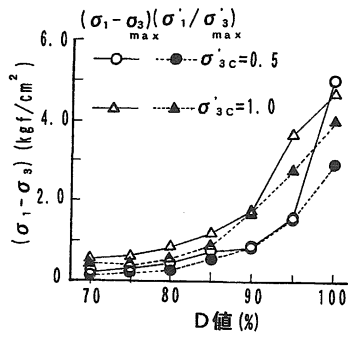


図-5：圧縮強度へのD値の影響

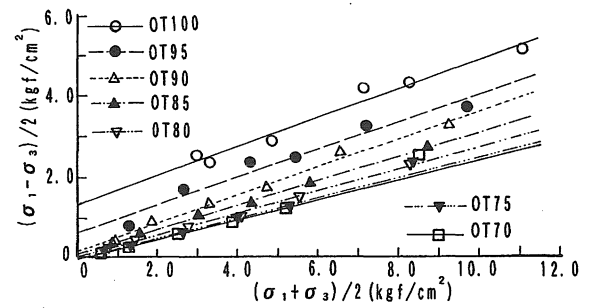
表-2：締固めまさ土と正規圧密まさ土の三軸圧縮強度の比

$\sigma'_{3c}$	OT100	OT95	OT90	OT85	OT80	OT75	OT70
0.5	3.339	1.034	0.572	0.491	0.301	0.207	0.153
1.0	2.486	1.781	0.931	0.626	0.458	0.322	0.294
2.0	1.819	1.496	0.864	0.652	0.484	0.392	0.368
3.0	1.971	1.173	0.832	0.646	0.481	0.477	0.416

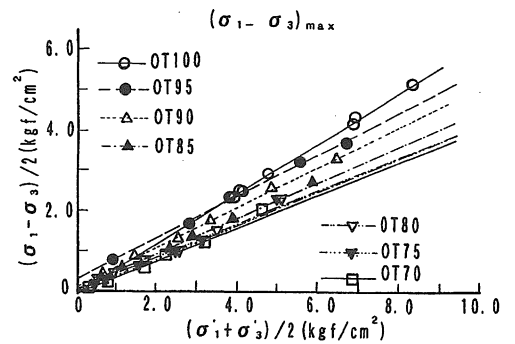
さ土の $A_f$ も示した。D値 $\leq 85\%$ では締固めまさ土の $A_f$ が正規圧密より大きい。さらに赤井の土質力学<sup>4)</sup>は鋭敏粘土で $A_f=0.75\sim 1.5$ 、正規圧密粘土で $A_f=0.5\sim 1.0$ としている。 $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ でもD値 $\leq 80\%$ では $A_f \geq 0.7$ で正規圧密粘土ないし鋭敏粘土の値であり、 $(\sigma'_1/\sigma'_3)_{max}$ の $A_f \geq 1.5$ であり、緩いまさ土は飽和した場合、非常に軟弱になることが分かる。

$(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ での $\sigma'_{3c}=0.5$ と $1.0\text{kgf/cm}^2$ での圧縮強度 $(\sigma_1-\sigma_3)$ とD値の関係を図-5に示す。D値の低下とともに強度は大きく減少している。締固めまさ土と正規圧密まさ土の強度比を表-2に示すが、D値 $\geq 95\%$ では締固めの方が大きいD値 $\leq 90\%$ では締固めの方が強度が小さい。さらに $\sigma'_{3c}$ が小さいほど、正規圧密に対する強度比が小さく、緩い締固めまさ土の表層部が降雨で飽和した場合、非常に軟弱になることが分かる。

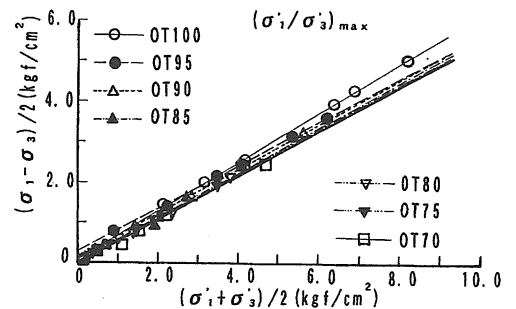
最適含水比での締固めまさ土の全応力と有効応力での破壊包絡線を図-6に、正規圧密と過圧密のそれを図-7に示す。締固め土ではD値に無関係に全応力の破壊包絡線は1本の直線で近似できるが、D値 $=100\sim 90\%$ では上にやや凸の曲線で近似することもできる。しかし、何れのD値でも、図-7のOC3のような上への折れ曲がり認められない。このことは締固めまさ土の強度特性はペーストからの正規圧密、過圧密まさ土とは異なることを意味している。有効応力での破壊包絡線は正規圧密、過圧密での差は小さく、かつ、 $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ と $(\sigma'_1/\sigma'_3)_{max}$ での差は小さい。これに対して、締固めまさ土



(a) 全応力



(b)  $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ での有効応力



(c)  $(\sigma'_1/\sigma'_3)_{max}$ での有効応力

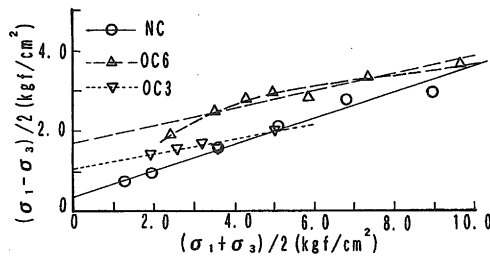
図-6：締固めまさ土の破壊包絡線へのD値の影響

では $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ の破壊包絡線はD値によって大きな差が生じているが、 $(\sigma'_1/\sigma'_3)_{max}$ での破壊包絡線へのD値の影響は小さくなっている。

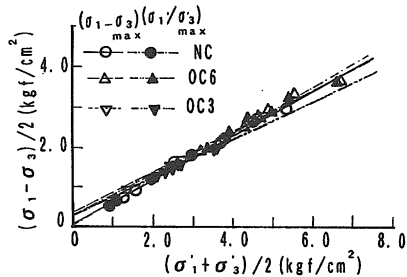
三軸圧縮試験での強度定数を表-3に示す。D値が80%以下では $c_{cu}$ 、 $c' < 0$ となる場合があり、緩い締固めまさ土の水浸時の低圧での強度が低いことが分かる。全応力での強度は $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ より求めるが、有効応力では $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ と $(\sigma'_1/\sigma'_3)_{max}$ の両方で求めた。全応力での $c_{cu}$ はD値の減少とともに $1.41$ から $-0.17\text{kgf/cm}^2$ に減少しているが、 $\phi_{cu}$ は $20$ から $15^\circ$ と変化が小さい。有効応力の $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ での $c'$ のうちOT100の $c'=-0.1\text{kgf/cm}^2$ と負の値になっているが、 $\phi'$ が他と比べて非常に大きい。しかし図-6(b)よりOT100の $\sigma'_{3c}=0.5\text{kgf/cm}^2$ の点はOT95の $2.0\text{kgf/cm}^2$ の点とほぼ

表-3：まさ土の三軸圧縮強度定数

	平均初期値		実験後	全応力		$(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$		$(\sigma'_1 / \sigma'_3)_{max}$	
	W %	$\rho_d$ g/cm <sup>3</sup>		$c_{cu}$ kg/cm <sup>2</sup>	$\phi_{cu}$ degree	$c'$ kg/cm <sup>2</sup>	$\phi'$ degree	$c'$ kg/cm <sup>2</sup>	$\phi'$ degree
OT100	13.98	1.809	16.35	1.415	20.79	-0.108	38.74	0.134	37.16
OT 95	13.91	1.735	18.57	0.685	19.73	0.370	31.17	0.311	32.61
OT 90	13.83	1.640	19.82	0.190	20.14	0.122	29.85	0.058	34.35
OT 85	13.64	1.563	21.12	0.113	17.37	0.070	26.53	0.002	33.84
OT 80	13.81	1.482	22.34	0.031	15.59	0.054	24.14	-0.006	34.30
OT 75	14.06	1.391	22.65	-0.086	16.26	-0.023	24.90	-0.009	33.78
OT 70	14.24	1.270	22.50	-0.172	17.44	-0.052	24.13	-0.042	33.24
DT 90	9.25	1.640	19.75	0.258	18.30	0.140	28.67	-0.001	35.44
DT 85	9.08	1.558	20.93	0.183	15.18	0.080	25.84	0.022	33.91
DT 80	9.26	1.466	22.13	-0.025	15.41	-0.110	30.02	0.023	35.42
WT 90	17.08	1.659	19.42	0.329	19.71	0.016	34.94	0.020	34.91
WT 85	16.72	1.580	21.09	0.091	17.66	0.006	30.78	-0.044	34.18
WT 80	16.65	1.489	22.46	-0.008	16.97	-0.127	33.46	0.006	33.95
NC	32.06	1.394	18.46	0.460	17.95	0.112	33.85	0.072	35.41
OC6	32.87	1.372	17.58	1.729	12.49	0.426	30.77	0.351	31.58
OC3	32.05	1.383	18.64	1.093	10.17	0.373	28.02	0.360	28.14



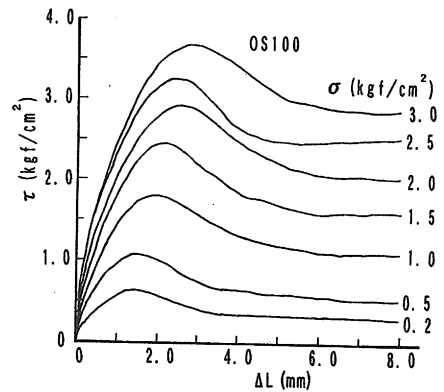
(a) 全応力



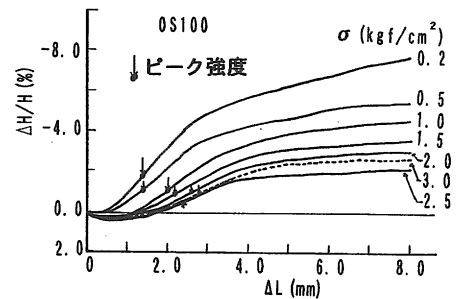
(b) 有効応力

図-7：正規圧密、過圧密まさ土の破壊包絡線

等しい位置にあり、実際の強度は大きい。D値が90%以下の $(\sigma'_1 / \sigma'_3)_{max}$ の $c'$ 、 $\phi'$ はほぼ等しく $\phi' \approx 33^\circ \sim 35^\circ$ 、 $c' \approx 0$ であり、D値と締固め含水比の影響が小さい。またD値 $\leq 90\%$ 以下では $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ の $\phi'$ は $(\sigma'_1 / \sigma'_3)_{max}$ の $\phi'$ より $5^\circ \sim 9^\circ$ も小さい。D値 $\leq 80\%$ で $c_{cu}$ と $c'$ が負となる場合があるが、これは $\sigma'_{3c}$ の小さな供試体の強度が小さいためで、この場合には $\phi_{cu}$ や $\phi'$ が大きなD値の値よりやや大きくなっている。



(a) 水平変位—剪断応力の関係



(b) 水平変位—体積ひずみの関係

図-8：最適含水比でD値100%の締固めまさ土の一面剪断特性

#### 4. 一面剪断試験結果

一面剪断試験は定圧試験のみを行った。垂直応力 $\sigma \leq 3.0 \text{ kgf/cm}^2$ であるので、D値100%のOS100では図-8

のようにピーク強度と正のダイレタンシーが生じ、ピーク強度は図-8 (b)の矢印の位置の  $d(\Delta H/H)/d(\Delta l)$  の最大値付近で生じている。なお、図では体積圧縮を正、体積膨張を負としている。D値が95%と90%では  $\sigma$  の小さい範囲で正のダイレタンシーが生じるがD値  $\leq 85\%$  では負のダイレタンシーのみとなり、図-9のOS80のようにピーク強度は生じない。正のダイレタンシーを生じるには体積増加のための仕事量が必要である。この場合、

$$T d\Delta l = \tau_{\mu} A d\Delta l + \sigma A d(-\Delta H)$$

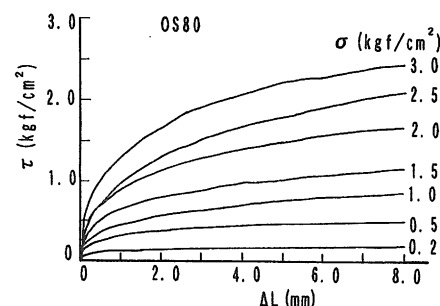
このダイレタンシー補正をした剪断強度  $\tau_{\mu}$  は

$$\tau_{\mu} = \tau - \frac{d(-\Delta H)}{d(\Delta l)}$$

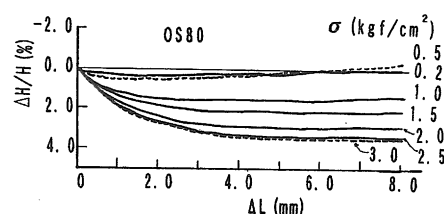
ここに、T：加えた剪断力、A：供試体の断面積、 $\tau = T/A$ ：無補正の剪断強度。

表-4にダイレタンシーの無補正と補正した強度定数を示す。補正により、 $c$ 、 $\phi$ はやや減少している。正規圧密まき土でも  $\sigma$  の小さい範囲で正のダイレタンシーが生じるため、補正により  $c$ 、 $\phi$ が小さくなっている。D値  $\leq 85\%$  では体積増加はなく、正規圧密より軟弱になっている。

締固めと正規圧密まき土の強度の比  $\tau/\tau_{NC}$  を表-5に示す。 $\sigma$  の増加とともに  $\tau/\tau_{NC}$  が減少すること、表は省略したが、 $\sigma$  の小さい範囲では  $w_{opt}$  とその乾燥側に比



(a) 水平変位—剪断応力の関係



(b) 水平変位—体積ひずみの関係

図-9：最適含水比でD値80%の締固めまき土の一面剪断特性

表-4：まき土の一面剪断試験の強度定数

	平均初期値		実験後	無補正		有補正	
	w %	$\rho_d$ g/cm <sup>3</sup>		$w_f$ %	c kg/cm <sup>2</sup>	$\phi$ degree	$c_{\mu}$ kg/cm <sup>2</sup>
OS100	13.27	1.833	16.00	0.603	46.47	0.514	41.41
OS 95	13.30	1.742	16.70	0.383	44.41	0.287	41.04
OS 90	13.26	1.648	17.43	0.205	40.29	0.114	40.40
OS 85	13.41	1.554	18.34	0.142	37.66	—	—
OS 80	13.45	1.464	19.24	0.063	37.62	—	—
OS 75	13.96	1.368	18.88	0.058	36.23	—	—
OS 70	14.24	1.274	19.42	0.015	38.17	—	—
DS 90	9.26	1.643	17.71	0.193	39.05	0.073	40.39
DS 85	9.08	1.556	18.46	0.103	38.12	—	—
DS 80	9.26	1.461	18.59	0.085	37.84	—	—
WS 90	16.82	1.656	18.15	0.252	41.03	0.182	39.44
WS 85	16.86	1.563	18.92	0.160	37.48	0.081	38.13
WS 80	17.10	1.470	18.32	0.101	35.29	—	—
NS	31.32	1.371	17.25	0.056	46.70	0.039	43.60

表-5：締固めまき土と正規圧密まき土の一面剪断強度の比

$\sigma$	OS100	OS95	OS90	OS85	OS80	OS75	OS70	DS90
0.2	2.458	1.538	1.565	1.134	0.798	0.798	0.607	1.187
0.5	1.702	1.425	0.945	0.823	0.795	0.669	0.673	1.044
1.0	1.488	1.171	0.892	0.764	0.703	0.668	0.671	0.892
2.0	1.406	1.193	0.958	0.873	0.800	0.724	0.765	0.944
3.0	1.082	0.965	0.829	0.747	0.717	0.663	0.701	0.789

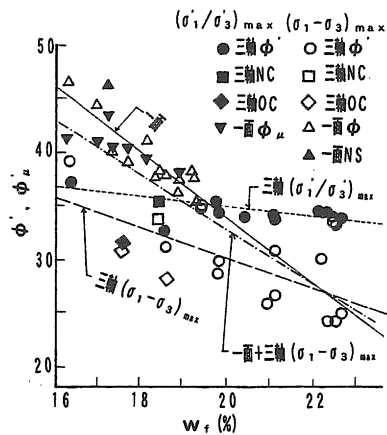
べて湿潤側の強度がやや大きいことが分かる。一面剪断試験は定圧試験のため、三軸圧縮試験のような間隙圧  $\Delta u_f$  による強度低下がないため、D値による強度低下の割合は三軸圧縮試験に比べて小さい。しかし、正規圧密より大きな強度はD値 $\geq 95\%$ では得られるが、D値 $\leq 90\%$ では正規圧密より低い強度になっている。

### 5. 三軸圧縮試験と一面剪断試験の比較

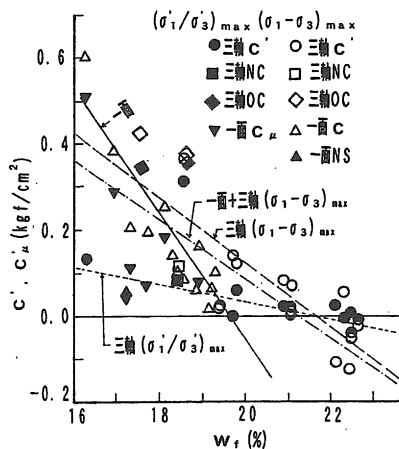
三軸圧縮試験と一面剪断試験の供試体の平均諸元と強度定数は表-3と4に示す。各D値での $\rho_d$ と $w$ はほぼ等しいが、一面剪断試験の $\phi'$ は三軸圧縮試験の $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ の $\phi'$ より $8^\circ \sim 12^\circ$ 大きく、 $c'$ も三軸よりやや大きな値である。この原因を一面剪断試験は砂質土の剪断試験として不適當であるという一般的な考え方に求めることもできるが、表-3、4の実験後の含水比 $w_f$ を比較すると一面の $w_f$ が三軸の $w_f$ よりかなり大きいことが分かる。実験後の含水比を正確に測定することはで

きない。なぜなら供試体を実験装置から取り外す際に上下のポーラスストーンの水を供試体が吸水して含水比が本来の値より大きくなるためである。三軸圧縮試験では供試体の体積は約 $220\text{cm}^3$ であり、ポーラスストーンは直径 $45\text{mm}$ 、厚さ $5.0\text{mm}$ である。一面剪断試験の供試体の体積は約 $54\text{cm}^3$ で $60\text{mm}$ と $5.0\text{mm}$ である。このため、ポーラスストーンからの吸水の $w_f$ への影響は一面剪断試験の方が大きい。さらに三軸圧縮試験の $\sigma'_{3c} = 0.5 \sim 6.0\text{kgf/cm}^2$ に対して一面剪断試験の $\sigma = 0.2 \sim 3.0\text{kgf/cm}^2$ で、圧密による含水比の低下は三軸圧縮試験の方が大きい。しかし、三軸圧縮試験の $w_f$ の方が $0.5 \sim 3.5\%$ 程大きく、D値が小さい程両者の差は大きくなる。三軸圧縮試験の $w_f$ の大きな理由としては背圧を作用して飽和度を高めたことおよび三軸圧縮試験が圧密非排水試験で、一面剪断試験が定圧試験=圧密排水試験であり、剪断中の排水の有無が両者の差を生じたと考えられる。実験後の飽和度は両者ともほぼ $100\%$ であったから、剪断中の排水の有無が主な原因と考えられる。そこで $w_f$ に対して $c'$ 、 $\phi'$ をプロットすると図-10になる。三軸圧縮試験の $c'$ 、 $\phi'$ は2つの方法で求めた値をプロットし、一面剪断試験はダイランシーの補正の有無の2つの場合をプロットしている。一面剪断試験の $w_f$ は $19.5\%$ 以下で、この範囲では一面剪断試験の $\phi'$ は三軸圧縮試験の $\phi'$ より大きい。図-10よりD値の強度への影響は主として $w_f$ によると思われる。

一面剪断試験の $\phi'$ は三軸圧縮試験に比べて大きいから、設計値としては三軸圧縮試験の $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ の $\phi'$ を用いる方が安全である。全応力での三軸圧縮試験の $c_{cu}$ と $\phi_{cu}$ を図-11に示す。 $w_{opt}$ 、その乾燥側、湿潤側、正



(a)  $w_f$ と $\phi'$ 、 $c'$ の関係



(b)  $w_f$ と $c'$ 、 $\phi'$ の関係

図-10：有効応力での強度定数と実験後の含水比の関係

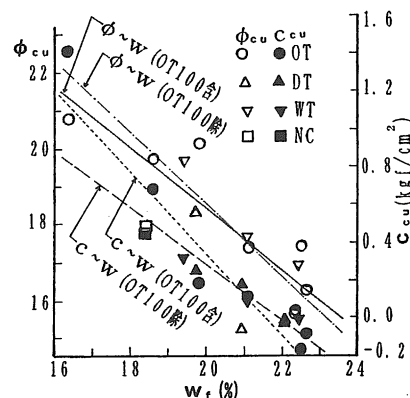


図-11：全応力での強度定数と実験後の含水比の関係

規圧密の値が全て1本の直線に乗っており、まさ土の強度定数への $w_f$ の影響が大きいことが分かる。

## 6. あとがき

密から非常に緩い締固めまさ土とペーストからの正規圧密、過圧密まさ土の三軸圧縮と一面剪断試験を行った。圧密非排水三軸圧縮試験の結果より

1. 締固めまさ土ではD値の減少とともに圧縮強度( $\sigma_1 - \sigma_3$ )が低下し、 $\sigma'_{sc}$ が小さい場合、D値100%の強度の1/10以下になる。これは水浸による含水比の増加が剪断中の間隙圧 $\Delta u_f$ の増加と有効応力の減少をもたらすことが主な原因と考えられる。

2. 圧縮強度を $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ と $(\sigma'_1 / \sigma'_3)_{max}$ とした場合、D値の小さなまさ土では破壊時の間隙圧係数 $A_f$ に大きな差が生じる。 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ での $c'$ 、 $\phi'$ はD値の減少とともに小さくなるが、 $(\sigma'_1 / \sigma'_3)_{max}$ での $\phi'$ はD値に関係なくほぼ一定となり、 $c'$ は減少する。

3. 水浸状態では $w_{opt}$ の湿潤側の強度の方がやや大きい。締固め含水比 $w$ の強度特性への影響は小さい。

4. ペーストの含水比は大きくても正規圧密の実験後の含水比 $w_f$ はD値90%の値より小さく、これが正規圧密まさ土の強度がD値90%の締固めと同程度かそれ以上の原因と思われる。

5. 正規圧密と過圧密まさ土の全応力での破壊包絡線は先行圧密応力で折れ曲がる2本の直線で近似できるが、締固めまさ土では全てのD値で1本の直線で近似でき、締固めと正規圧密、過圧密の剪断特性は類似しているとは考えられない。

定圧一面剪断試験からは

6. 三軸圧縮試験に比べて $\phi'$ が $10^\circ$ 程度大きく、 $c'$ もやや大きい。この原因の一部は実験後の含水比の差に求められる。

7. ダイランシーの剪断強度への影響は小さい。

8.  $w_{opt}$ の湿潤側の方が剪断強度はやや大きい。締固め含水比の影響は小さい。

三軸圧縮試験と一面剪断試験の結果から

9. 一面剪断試験の強度定数の方が大きく、設計には三軸圧縮試験の結果を用いる方が安全である。

10. 実験後の含水比 $w_f$ と $c'$ 、 $\phi'$ に直線関係があり、D値や締固め含水比の影響はほぼ $w_f$ で表される。

11. D値 $\leq 90\%$ の締固めまさ土は正規圧密より強度定数が小さく、軟弱である。ペーストからの正規圧密の $c'$ 、 $\phi'$ は完全軟化強度であり、緩い締固めでは完全軟化強度より低い強度となる。

標準的な粘性土の藤の森粘土と同様に締固めまさ土でもD値が90%以下では軟弱な正規圧密よりさらに軟弱であることは盛土の設計と施工には重要な問題である。D値 $\geq 95\%$ を施工管理基準にしているのはフィルダム程度で、他の盛土では良くてもD値90%が管理基準になっている。これでは降雨や地下水位の上昇によって水浸状態になった場合、軟弱になり、すべりや支持力の低下が生じやすい。これに対処するためには、盛土内に水が浸透しないようにするか、締固めの管理基準値を引き上げることが必要になる。

なお、本実験を行うに際しては平成10年度の本学地域環境工学講座の専攻生の岸野泰彦君、澤田拓也君、高橋武彦君に多大のご協力を賜りました。ここに記して深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 太田秀樹, 伊藤雅夫, 石黒 健, 米谷 敏: 締固められた粘性土の先行圧縮応力と強度の推定, 土木学会論文集, 436/III-16, 27-36, 1991.
- 2) 成田国朝, 山口雅弘: 締固めた土の先行圧縮特性と斜面安定評価について, ダム工学, 9-1, 13-20, 1999.
- 3) 鳥山昞司: 正規圧密・過圧密と密度を変えた締固めた藤の森粘土の剪断特性の比較, 島根大生物資源科学部研報, 4, 59-64, 1999.
- 4) 赤井浩一: 土質力学, 朝倉書店, 92-93, 1966.