

### 第3回三軸圧縮試験実技講習会報告

#### 1. はじめに

第1回および第2回三軸圧縮試験実技講習会のあとの3年間の休止のあと、本年度(1987年)8月24~26日の3日間、19名の受講者の参加をもって、(1)砂の繰返し非排水三軸試験と、(2)飽和粘性土の非排水三軸圧縮試験の実技講習会が行われた。担当者は龍岡文夫、佐藤剛司、プラダンテージ B. S. (以上、東京大学生産技術研究所)、阿部広史(信州大学工学部)、飯竹重夫(木更津工業高等専門学校)、吉家均(関東土質試験協同組合)、周神根(中国鉄道科学研究所、現東京大学生産技術研究所研究員)、アンパドウ サミュエル I.K.、安部文洋(以上、東大大学院)であった。飽和粘性土の圧密非排水三軸圧縮試験の講習内容は第1,2回の講習会<sup>1),2)</sup>と基本的に同じであった。繰返し非排水三軸試験の講習は今回初めて行い、その内容は、砂地盤の工学的性質の評価法に関する研究委員会(委員長土岐祥介北海道大学教授)が行った一斉試験での試験仕様<sup>3)</sup>に基本的に従った。

本講習会では、実務的な土質実験でも次の5点は重要であることを強調した。

- 1) 室内せん断試験の基本的考え方の理解。即ち、原位置での土の構造、含水比、応力状態、ひずみ状態等を室内で忠実に再現して圧密、せん断をするのが基本である。しかし、現実に行いうる実験の種類には制限があり、また実務として行う実験はある程度標準化したものである必要があることを考えて、原位置の状況を単純化しているが、しかし現場の状況をなるべく反映した実験を行う必要がある。そして、その実験結果を適切に補正して原位置でのその土の強度・変形特性を推定する必要がある。
- 2) 三軸圧縮試験装置の機械的部分はできるだけ単純であり、理解しやすく操作しやすいこと。
- 3) ロードセル、間隙水圧計、変位変換器等の電気的ピックアップを用いて自動計測をすること。
- 4) マイクロコンピューターを用いてデータの自動処理をすること。
- 5) 実験手順は土質力学の知識に基づいて供試体作成中の応力履歴が所定のものになるようにしてあるものであり、かつ明文化してあることが肝要であること。このようにして初めてデータに無用な個人差が入り込まないようにできる。

#### 2. 実習概要

講習会の日程を表-1に示す。行った試験は、以下のと

表-1 講習会の日程

(a) 飽和カオリンの圧密非排水三軸圧縮試験

供試体の番号: A 異方圧密 I 等方圧密

4 パッチ番号

3 グループ番号

3  $q=0 \text{ kgf/cm}^2$  のときの有効拘束圧 ( $\sigma_c'$ ,  $\text{kgf/cm}^2$ )

1

1 実験番号

日付け	グループ	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	一晚	
8月24日 月曜日	1 飯竹	講義 (~11:30)			昼食 実験法の説明	試料用意 セッテイ ング 脱気 通水 バック ブ レン シャ ー			←等方圧密の 開始と終了→ (I 411-2)			放置	
	2 阿部	デモン スト レー シ ョ ン A433-1 I 422-2							←等方圧密の 開始と終了→ (I 422-3)				放置
	3 Ampadu								←異方圧密の 開始 (A532-1) 自動				自動圧密
8月25日 火曜日	1 飯竹	←B値の再測定とせん断(I 411-2)→ ←準備			昼食	(I 513-2)←圧密→						放置 (I 513-2)	
	2 阿部	←B値再測定とせん断(I 422-3)→ ←準備				(A521-1)←圧密→ 手動						放置 (A521-1)手動	
	3 Ampadu	自動圧密 の終了→				←せん断 (A532-1) →				←準備と圧密(A533-2)自動			自動圧密
8月26日 水曜日	1 飯竹	←B値再測定とせん断(I 513-2)→			昼食								
	2 阿部	←B値再測定とせん断(A521-1)→					データ ー 整 理			結果の 総 括			
	3 Ampadu	←せん断 (A533-2) →											

(b) 豊浦砂の繰返し非排水三軸試験

目標密度:  $\rho_d=1.538 \text{ kg/cm}^3$  ( $D_r=70\%$ )

圧密圧力:  $\sigma_a'=\sigma_r'=\sigma_c'=0.5 \text{ kgf/cm}^2$

背圧:  $\sigma_{BP}=2.0 \text{ kgf/cm}^2$

圧密時間: 1時間

(1, 2班共通)

24日	講義, デモンストレーション	昼食	供試体 No.1 の作成
25日	供試体 No.1 の載荷	昼食	供試体 No.2 の作成, 載荷
26日	供試体 No.3 の作成, 載荷	昼食	データー整理 討議(終)

おりである。

#### 1) 飽和カオリンを用いた圧密非排水三軸圧縮試験

良く脱気してあるカオリンを大型圧密槽で  $1.0 \text{ kgf/cm}^2$  の上載圧で一次的に予圧密したものを切り出して供試体を作成し、表-4に示す実験手順に従って供試体を圧密、およびせん断した。合計5つの三軸セルを用いた。行った実験のまとめを表-2に示す。

#### 2) 空中落下法で作成し $0.5 \text{ kgf/cm}^2$ で等方圧密した豊浦砂の供試体を用いた繰返し非排水三軸試験

表-3に示すように合計6つの実験を2つの三軸セルを用いて行った。

学会活動から

表一 飽和カオリンの圧密非排水三軸圧縮試験結果の一覧表

供試体名	$e_c$ 圧密後の 間隙比	圧密応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )		B-値		$\epsilon_a=15\%$ の時の $q=\sigma_1-\sigma_3$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
		$\sigma_{ac}'$	$\sigma_{rc}'$	圧密前	圧密後	
I 411-2	1.58	1.00	1.00	0.97	0.99	0.725
I 422-3	1.47	2.00	2.00	1.00	1.00	1.198
I 513-2	1.41	3.00	3.00	1.00	0.96	1.686
A521-1	1.60	1.09	0.60	0.99	測定せず	0.825
A532-1	1.57	2.11	1.16	0.98	測定せず	1.114
A533-2	1.39	2.96	1.63	0.99	測定せず	1.575

供試体直径 5 cm, 高さ 10 cm

表一 豊浦砂の実験結果の一覧表

テスト No.	$D_{rc}(\%)$	$\sigma_c'$	$\sigma_d/2\sigma_c'$	DA=10% まで の回数, $N_c$	$D_{cr}=70\%$ に対し て補正した $N_c$
CTXC10	69.1	0.5	0.20	9.5	11
CTXC11	74.7	0.5	0.21	24	11
CTXC12	69.9	0.5	0.25	11	11
CTXC13	74.5	0.5	0.35	13	6.5
CTXC14	72.3	0.5	0.29	10	7.0
CTXC15	70.2	0.5	0.18	21	20

ただし,  $D_{rc}$  は圧密後の相対密度(%),  $\sigma_c'$  は圧密時の有効拘束圧(=0.5 kgf/cm<sup>2</sup>),  $\sigma_d/2\sigma_c'$  は繰返し応力比, DA は両振幅軸ひずみ(% )である。供試体直径 7.5 cm, 高さ 15 cm。

3. いくつかのポイント

前回までの講習会での内容と異なっている点について報告する。

(a) 飽和粘性土供試体のセット法

表一 4 に示すように乾燥したろ紙とポーラスストーンを用いて飽和したカオリンの供試体を三軸セルにセットした。この方法を以下“乾燥セット法”と呼ぶ。乾燥セット法の利点は次のとおりである。

- 1) 従来の方法のように、飽水したろ紙、ポーラスストーンを用い、かつメンブレンと供試体の間を水で満たし空気が入らないようにして供試体をセットすると、供試体が水を吸い弱化する。これは、拘束圧を加えていない飽和粘性土の供試体の内部には先行圧密応力の何割かの負圧が残留しているからである。このことは既に Berre (ベレ)<sup>4)</sup> が指摘している。供試体のセットの手際が悪く時間がかかり過ぎるほどこの供試体の弱化的程度が著しくなる。乾燥セット法では多少手際が悪くても余り問題はない。
- 2) 図一 1 に示すような微妙な形をしている供試体側面からの排水用のろ紙の取扱い、メンブレンのセット等が著しく簡単である。
- 3) 1.0 に近い B 値が確実に出る。

乾燥セット法を採用すると、次にろ紙、ポーラスストーン、メンブレンと供試体の間、排水経路を飽和させなければならない。Berre<sup>4)</sup> は、キャップとペDESTAL のそれぞれに二つの排水口を設けて、それぞれ別個に通水して飽和させ、更に十分高い背圧を加えるという方法を採用している。

一方、Rad (ラッド)<sup>5)</sup> が砂質土の供試体に対して開発し

表一 4 飽和カオリンの三軸圧縮試験用の供試体の試験手順 (等方圧密)

1. 供試体成形後 \*高さ(2箇所) \*直径(上, 中, 下3箇所) \*質量 \*含水比(削りとった土, 3個)を測定する。  
データ用紙に書き入れる数値  
H1, H2  
D1, D2, D3  
W1, W2, W3
2. 台の上にポーラスストーンを置き、ろ紙を敷く。供試体をその上に載せて、供試体上部にろ紙とポーラスストーンを置く。側面からの排水用の短冊状に切ったろ紙(図一 1)を供試体に巻き付ける。  
\*ポーラスストーンとろ紙は乾燥しているものを用いる。  
\*側面からの排水用の短冊状に切ったろ紙を供試体に巻き付けるとき、その端を微量の写真用のセメダインで固定すると良い。
3. メンブレンをストレッチャーに吸着し、吸引して密着させる。供試体に触れないようにしてストレッチャーを降ろし、吸引を止めて、メンブレンの上下端を供試体に折り返しておくが良い。
4. ポーラスストーンごと供試体をペDESTAL の上に載せ、一体となっているキャップとピストンをその重さ以上の力が加わらないように静かに供試体の上におき、クランプを締めてキャップとピストンの位置を固定してから、ゴムバンドを用いてメンブレンをペDESTAL とキャップにとめる。
5. アクリル耐圧円筒をセットする。セル圧用カップラーを開放状態にして、セル水を三軸セルの中に入れる。
6. ダイアルゲージをセットし、初期値を記録する。コンバム(負圧発生装置)をセットし、セル圧用カップラーに接続する。  
DGO (圧密による供試体高さ変化を計算するときの初期値)  
図一 2 に示すようにして脱気水槽を 2 個用意する。その内の 1 個には良く脱気した水を十分に入れておき、これを三軸セル下方にある供試体下部に接続している三方バルブに接続する。もう 1 個の脱気水があまり入っていない脱気水槽は、同じく三軸セル下方にある供試体上部に接続している三方バルブに接続する。真空ポンプからの負圧は負圧レギュレーターを経てチューブを用いて 2 個の脱気水槽の上部から供給する。  
2 個の脱気水槽の中の水位は一致させておく。
7. クランプを開放し、2 つの三方バルブを開いて、負圧レギュレーターを用いて調整した -0.2 kgf/cm<sup>2</sup> の負圧を供試体に供給する。これ以下のステップでの、負圧とセル圧の調整の方法は図一 3 を参照。
8. ダイアルゲージの読みを調べ、値が落ち着いたところでクランプを締める。
9. +0.2 kgf/cm<sup>2</sup> の有効拘束圧を保ちながらセル圧を -0.7 kgf/cm<sup>2</sup> まで、供試体内の圧力を -0.9 kgf/cm<sup>2</sup> まで下げて供試体内の空気(主に N<sub>2</sub>)を吸いだす。このときの 1 段階の圧力の変化は -0.05 kgf/cm<sup>2</sup> 程度とする。
10. この状態のまま、供試体下部に接続した脱気水槽を上げて供試体上下間に水頭差をつけ(約 70 cm)、脱気水を供試体の下から供試体内にゆっくりと流し込む。そのまま通水を続け(約 1 時間かけて)、供試体を飽和させる。
11. +0.2 kgf/cm<sup>2</sup> の有効拘束圧を保ちながらセル圧を大気圧に、供試体内の圧力を -0.2 kgf/cm<sup>2</sup> まで上げ、最初(ステップ 7)での応力状態まで戻す。  
\*圧力を上げる時の圧力の変化は -0.05 kgf/cm<sup>2</sup> ずつゆっくり行う。
12. コンバムをはずし、Model-15 のレギュレーターをセル側に接続し、供試体内の負圧を -0.2 kgf/cm<sup>2</sup> からゼロ(大気圧)にするのと同時にセル圧をゼロから +0.2 kgf/cm<sup>2</sup> に増加させる。
13. 脱気水槽の脱気水を利用し、ほかの経路(チューブ)を脱気水で満たす。耐圧ビューレットに排水用チューブを接続する。この際ビューレットと排水用チューブの双方から脱気水を若干流しながら接続し、接続部に気泡が残らないように注意する。
14. 0.2 kgf/cm<sup>2</sup> の有効拘束圧を維持しながら Model-10 のレギュレーターを操作して、背圧を加え始める。
15. 段階的に背圧を加えていき、側圧が 0.54 kgf/cm<sup>2</sup> になった時に、載荷ピストン用のクランプをはずす。
16. 以降は側圧の増加に従って段階的に真ちゅう製のおも DGL, BU0 を載荷ピストン上端に加えてゆき、目的の背圧まで増加する。状態が落ち着いたところで、ダイアルゲージの読みとビューレット内水位の初期値を記録する。  
\*BU0: 圧密による体積変化を測定するための初期値。

17. 側圧を Model-15 のレギュレーターの操作によって上昇させてゆき、圧密を開始する。この時も側圧は段階的に上昇させてゆき、真ちゅう製のおもりを載荷ピストン上端に載せてゆきながら、目的の側圧まで増加させる。
18. 試験条件のセル圧、背圧（有効拘束圧）の状態、適当な時間間隔で記録を取り、一次圧密が終了して、体積収縮量(V)が毎時0.03%以下になるまで圧密する。  
※一次圧密が終了していること。※体積収縮量が0.03%/hであること。
19. 圧縮終了後、ダイヤルゲージとビューレット内の水位 DG2 BU1 の読みを記録する。
20. B値のチェックを次の方法で行う。
  - 1) 三方バルブを2個とも閉じ、クランプを締めて、供試体を非排水状態、および等高の状態にする。
  - 2) 脱気水を供給しながらチューブ等の間隙水圧測定経路を脱気水で満たして間隙水圧計をセットする。
  - 3) 排水状態にして、圧密終了時の応力状態に戻してから、排水バルブを閉じ、再び供試体を非排水状態にする。
  - 4) クランプを開放する。
  - 5) 側圧をゆっくりと1分くらいかけて0.5 kgf/cm<sup>2</sup> 下げる。このとき、真ちゅう製のおもりの取扱いには注意する。
  - 6) 5分間放置して間隙水圧計の読みを記録する。
  - 7) 側圧を1分くらいかけて元の値に戻す。このとき、真ちゅう製のおもりの取扱いには注意する。
  - 8) 5分間放置して間隙水圧計の読みを記録する。
  - 9) 供試体を排水状態にする。

例 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_c$	4	(1分) → 3.5	(5分) → 3.5	(1分) → 4	(5分) → 4
$\sigma_{BP}$	2	→ 2 - B/2	→ 2 - (B - B')/2	→ 4	→ 4
$\sigma_c'$	2	→ 1.5 + B/2	→ 2 + (B - B')/2		

21. せん断を行うために載荷ピストンをクランプで固定し、非排水状態で三軸セルを載荷枠まで移動する。  
せん断まで長時間待機する場合も上述の状態では放置する。
22. 載荷枠のところで、圧密中と同じセル圧、背圧を用意しておいて、三軸セルを載荷枠のところに移動させてからこれを三軸セルに供給する。次に載荷ピストンのクランプを開放しながら供試体を排水状態にする。間隙水圧計、変位変換器、ロードセルをセットする。  
間隙水圧計の位置はセル水位と一致させる。
23. マイコンによる記録の用意。
24. せん断を開始する。  
※せん断中は交代で、ロードセル、軸変位、間隙水圧の読みを適当な間隔で記録し、方眼紙にプロットする。
25. せん断終了後、セル圧、背圧をゼロに戻す。  
供試体の破壊状態のスケッチ、三軸セルの解体、整理整頓等を行う。
26. 供試体の乾燥質量を求める。
27. マイコンでデータの処理をする

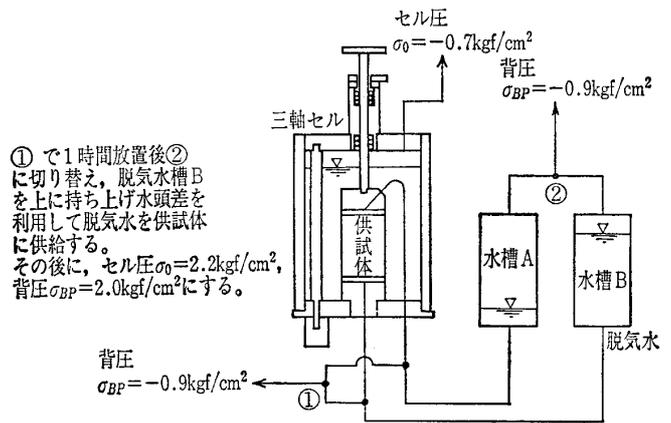


図-2 二重負圧法の詳細

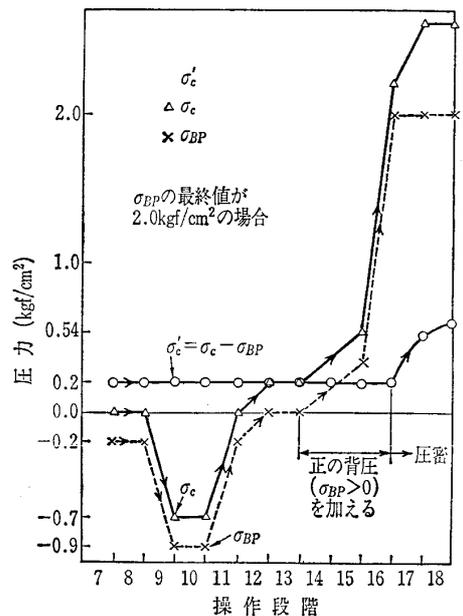


図-3 二重負圧法でのセル圧  $\sigma_c$ 、背圧（間隙水圧） $\sigma_{BP}$  の制御の仕方

すと同時に三軸セルの内部にも適切な負圧  $\sigma_c$  を加えて、有効応力  $\sigma_c - \sigma_{BP}$  を所定の値（即ち、供試体の最終圧密応力よりも小さい値）に抑える。今回の講習会ではこの  $\sigma_c - \sigma_{BP}$  の値を 0.2 kgf/cm<sup>2</sup> にした。次にこの状態で供試体に脱気水を 70cm の水頭差で通水する。このときの通水量は通常余り多くないが、それでも構わない。次に、有効応力  $\sigma_c - \sigma_{BP}$  の値を変化させないように  $\sigma_c$  と  $\sigma_{BP}$  の両方を増加させて供試体に背圧  $\sigma_{BP}$  を 2.0 kgf/cm<sup>2</sup> まで加えてゆく。この間のセル圧  $\sigma_c$  と背圧  $\sigma_{BP}$  の変化のさせかたは図-3 に示してある。

今回の講習会で測定された B 値は 0.96~1.00 の間であり、この方法は確実な方法であることが分かる。

なお、以上示した“乾燥セット法”プラス“二重負圧法”は透水性が極めて低い不攪乱のシルト質細砂の飽和化にも適している<sup>9)</sup>。しかし、この方法には、負圧を制御する装置が必要であるという欠点もある。

(b) 飽和粘性土供試体の側面からの排水用のろ紙の形について

たいわゆる“二重負圧法”は、今回のような飽和粘性土の供試体に対しても極めて有効であるということが分かってきている<sup>6),7)</sup>。即ち、図-2 に示すように供試体の内部に  $\sigma_{BP} = -0.9$  kgf/cm<sup>2</sup> 程度の負圧を加えて供試体周辺に残留している空気（主に水に解けにくい窒素ガス）を吸い出

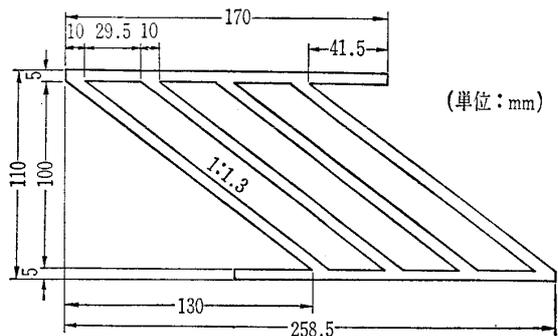


図-1 飽和粘性土供試体の側面からの排水用のろ紙の形

学会活動から

低い拘束圧での実験ではメンブレンに作用している力に対する応力補正と同時に、供試体側面からの排水用のろ紙に作用している力に対する応力補正も必要になる。前者には弾性論に基づいた次の式を用いることが多い。

“補正後の  $\sigma_a$ ” = “測定された  $\sigma_a$ ”

+ “メンブレン力補正量:  $\Delta\sigma_{am}$ ”

“補正後の  $\sigma_r$ ” = “測定された  $\sigma_r$ ”

+ “メンブレン力補正量:  $\Delta\sigma_{rm}$ ”

$$\Delta\sigma_{am} = -(8/3) \{E_m \cdot t_m (2\varepsilon_{am} + \varepsilon_{rm})\} / d$$

$$\Delta\sigma_{rm} = -(4/3) \{E_m \cdot t_m (\varepsilon_{am} + 2\varepsilon_{rm})\} / d$$

ここで、 $E_m$ ,  $t_m$  はメンブレンのヤング率、厚さ、 $\varepsilon_{am}$ ,  $\varepsilon_{rm}$  はメンブレンの無応力状態での値をゼロと定義したメンブレン内の試験中の軸方向および円周方向のひずみ、 $d$  は供試体の直径である。

一方、供試体側面からの排水用のろ紙に作用している力に対する応力補正にはこのような弾性論は用いにくい。Berre<sup>4)</sup>、三田地<sup>9)</sup>の実験的研究によると図-1に示す形のろ紙を用いると応力補正量が小さい。非排水状態にある飽和供試体では鉛直方向 ( $\sigma_1$  方向) から45度の方向はせん断中には伸びも縮みもしないから、その方向を細いろ紙の長手方向とすれば、ろ紙には圧縮力および引張り力が発生しないことになる。ろ紙に若干発生するせん断力はろ紙が細いことから無視できる。

(c) 飽和粘性土供試体の異方圧密について

原位置水平地盤内のように正規圧密された飽和粘性土供試体を応力比  $=\sigma_r'/\sigma_a' = K_0$  (静止土圧係数) で異方圧密を

行ってから非排水三軸圧縮試験を行ったときの応力-ひずみ関係は等方圧密した場合と極めて異なってくる事が知られている。今回の講習会でもこの比較を行った。図-4の中の2つの曲線を比較して分かるように、異方圧密した場合は載荷直後非常に高い剛性を示している。すなわち、図-4(d)を見て分かるように0.01%以上では  $q-\varepsilon_a$  曲線はほとんどフラットになり、さらに図-4(a), (b), (c)を見て分かるようにわずか0.2%でほぼピーク強度になり、その後のひずみの増加に対してこの強度はほとんど一定に保たれる。この実験事実は受講者に対してかなり印象的であったようである。

圧密量が少ないと異方圧密を手動操作で行えるが(表-2に示す供試体A521-1のように)、圧密量が多いと手動操作で行うのはかなり大変である。この場合、今回の講習会では次のような自動異方圧密法を紹介し、実際に行ってもらった。即ち、一定のひずみ速度 ( $d\varepsilon_a/dt = 0.1\%/分$ ) を供試体を与えつつ軸荷重、軸変位、体積変化、側圧(有効応力)を自動的に測定して現在の応力比  $=\sigma_r'/\sigma_a'$  を自動的に計算し、この値が  $K_0 = 0.55$  (大河内<sup>10)</sup>による実測) に保たれるように側圧(空気圧)だけを自動制御する(空気圧による自動制御法は文献11), 12), 13)参照)。この方法のポイントは供試体の軸荷重を荷重制御しないということである。もし、供試体の軸荷重と側圧の両方を自動制御すると、制御がかなり面倒になり、かつ不安定になりやすくなる。

(d) 豊浦砂の繰返し非排水三軸試験のデータの質につ

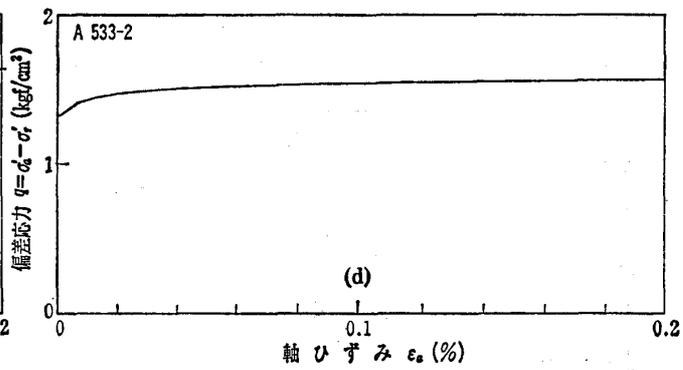
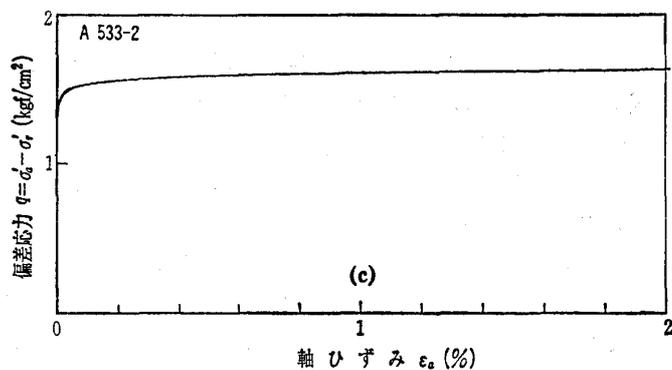
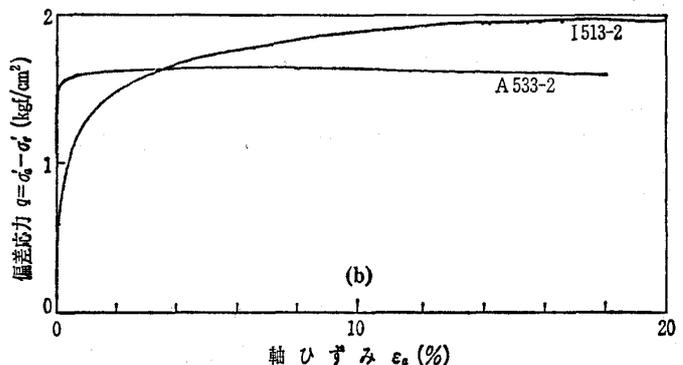
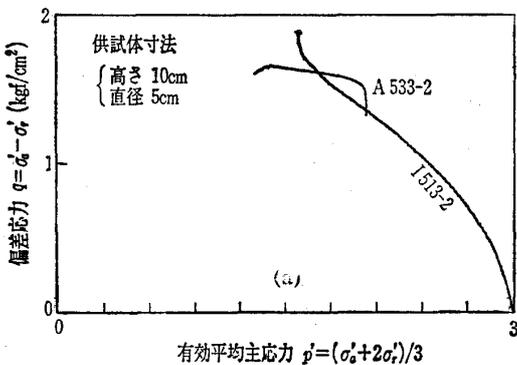
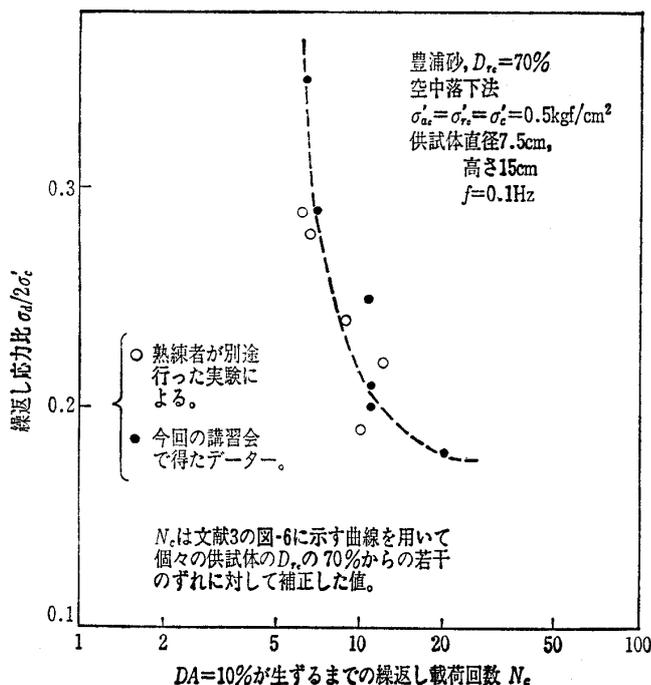


図-4 飽和カオリンの圧密非排水三軸圧縮試験の典型的実験結果(圧密応力比の影響): (a) 応力経路, (b) 偏差応力  $q = \sigma_a - \sigma_r \sim$  軸ひずみ  $\varepsilon_a$  関係 ( $\varepsilon_a = 0 \sim 20\%$ ), (c) 偏差応力  $q = \sigma_a - \sigma_r \sim$  軸ひずみ  $\varepsilon_a$  関係 ( $\varepsilon_a = 0 \sim 2\%$ ), (d) 偏差応力  $q = \sigma_a - \sigma_r \sim$  軸ひずみ  $\varepsilon_a$  関係 ( $\varepsilon_a = 0 \sim 0.2\%$ )



図一五 豊浦砂の繰返し非排水三軸試験の結果のまとめ

いて

すべての実験でほぼまともなデータが得られた(表一3, 図一5参照)。今回の講習会で採用した実験手順は土質工学会“砂地盤の工学的性質の評価法研究委員会(土岐北海道大学教授委員長)が行った豊浦砂の一斉試験での試験仕様<sup>3)</sup>とは圧密拘束圧の値だけが異なるだけである。受講者が初めて操作した繰返し三軸試験機を用いてこの様にばらつきの少ないデータが得られたということは、上記の試験仕様<sup>3)</sup>が基本的に妥当であることを示していると思われる。即ち、供試体の作成開始からの応力経路を、図一6に示すようにきちんと(更にこれ以降の応力経路も同様に)制御すれば、実験結果に個人差および試験機による差が出る理由はなくなる。

(e) データサンプリングと処理の自動化について

繰返し非排水三軸試験および非排水三軸圧縮試験の両方でデータサンプリングと図化等のデータ処理は自動的に行った。ただし、時間の制約のためプログラムの説明ができなかった。もし詳しい説明が必要な方は、東京大学生産技術研究所プラダンまでお問い合わせいただきたい。

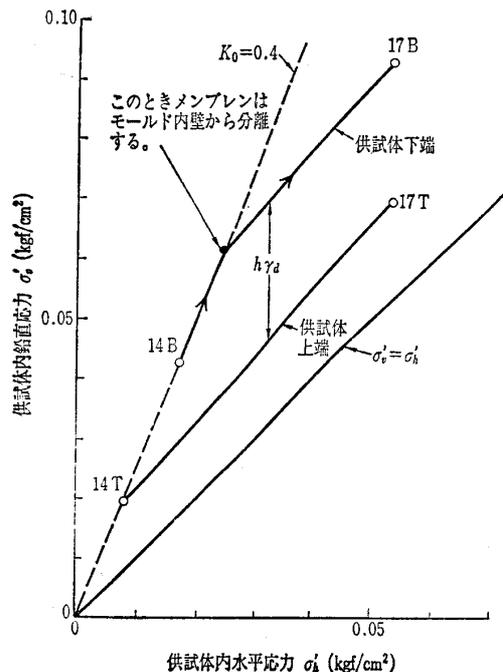
4. あとがき

結局、良い土質実験を行うための秘法、秘芸といったものはない。供試体にきちんと所定の応力経路・ひずみ経路を加えるという当たり前の基本を実行することに尽きよう。

また、毎回の講習会で感じることであるが、3日間で講習できる内容はどうしても多くはない。来年以降の講習会はいろいろな点を改善したより効果的なものにしたい。

参考文献

1) 龍岡文夫：三軸圧縮試験の実技講習会を行って、学会活



図一六 今回の講習会で採用した豊浦砂の供試体の作成時の低応力状態での応力経路

動から、土と基礎, Vol.31, No.4, pp.99~103, 1983.

2) 龍岡文夫：第2回三軸圧縮試験実技講習会報告, 学会活動から, 土と基礎, Vol.32, No.4, pp.94~97, 1984.  
 3) 砂地盤の工学的性質の評価法に関する研究委員会：豊浦砂の繰返し非排水三軸試験における変形特性に影響を及ぼす諸要因(委員会中間報告), 土と基礎, Vol.33, No.1, pp.93~101, 1985.  
 4) Berre, T: Triaxial testing at the Norwegian Geotechnical Institute, Geotechnical Testing Journal, ASTM, Vol.5, No.1/2, pp.3~17, 1982.  
 5) Rad, N.S. and Clough, G.W.: New procedure for saturating sand specimens, Journal of Geotechnical Engineering, Vol.110, No.9, pp.1205~1218, 1984.  
 6) 龍岡文夫：土質せん断試験機の設計と制作—試験法あれこれ一, 連載第12回, 地質と調査, 1986年, 第3号, pp.53~58, 1986.  
 7) 藤井啓彰・山内祐元・龍岡文夫：三軸圧縮試験とコーン貫入試験による関東ロームのせん断特性, 土木学会第42回年次学術講演会, 第3部, pp.198~199, 1987.  
 8) 小山智芳・龍岡文夫：透水性の低い不攪乱シルト試料の簡易飽和化法について, 土木学会第42回年次学術講演会, 第3部, pp.638~639, 1987.  
 9) 三田地利行・工藤 豊・木幡行宏：粘性土の圧密排水伸張試験結果に及ぼす紙の影響, 土木学会第40回年次学術講演会, 第3部, pp.503~504, 1985.  
 10) 大河内保彦：三軸装置を用いた土の  $K_0$  圧密特性の基礎的研究, 東京大学博士論文, 1982.  
 11) 龍岡文夫・大河内保彦：土質せん断試験機の設計と制作—応力・荷重の制御と測定4一, 連載第7回, 地質と調査, pp.59~65, 1984.2.  
 12) 毛利栄征・プラダンテージB.S.・龍岡文夫：三軸試験における応力経路の自動制御について, 第21回土質研究発表会, 札幌, pp.303~306, 1986.  
 13) 龍岡文夫・プラダンテージB.S.・毛利栄征：土質せん断試験機の設計と制作—自動計測・自動制御, 連載第11回, 地質と調査, 1986年2号, pp.1~6, 1986.2.

(文責：龍岡文夫 東京大学生産技術研究所)

(原稿受理 1987.9.14)