

土木研究所資料

K₀圧密下における礫混じり土の変形特性

昭和63年10月

建設省土木研究所
機械施工部土質研究室

Copyright © (1986) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

K₀圧密下における礫混じり土の変形特性

土質研究室 室 長 久 楽 勝 行
主任研究員 三 木 博 史
工藤浩一郎

要旨

本調査は、フィルダム遮水ゾーンの盛立て時の変形予測に役立てるため、大型三軸圧縮試験機を用いた礫混じり土のK₀圧密試験を行い礫混じり土の変形係数について考察を加えたものである。また、それらの土質定数を用いて沈下解析を実施して実際の現場での計測結果と比較検討を行い、K₀圧密試験結果を用いた新しい沈下予測手法を提案した。

キーワード：フィルダム、沈下予測、礫混じり土、変形特性、K₀圧密

ま え が き

フィルダムの遮水材料として一般に礫混じり土が広く使用されている。このような土質材料を用いて築造するフィルダムの盛立て中ならびに盛立て後の変形の予測を精度よく行うためには、築堤材料としての礫混じり土の応力と変形の関係を十分に解明しておく必要がある。

そこで本調査では、一連の大型三軸圧縮試験結果、すなわち従来の等方圧密と K_0 圧密によって得られた礫混じり土の変形係数について考察を加えるとともに、それらの土質定数を用いて沈下解析を行い、実際の現場での計測結果とも比較検討を行ったので、その概要を報告する。

目 次

1. 調査目的	1
2. 実験方法	2
2.1 大型三軸圧縮試験機の概要	2
2.2 供試体の作製方法	5
2.3 三軸圧縮試験の手順	6
2.4 実験条件	8
3. 実験結果	11
3.1 K ₀ 圧密試験結果	11
3.2 せん断試験結果	18
3.3 まとめ	18
4. フィルダム遮水ゾーンの変形解析	20
4.1 K ₀ 圧密試験結果を用いた変形解析手法	20
4.2 変形予測結果	22
5. まとめ	29
参考文献	29
生データ	30
I. フィルダムコア材料試験結果	
I. 1 七ヶ宿ダムコア材料	30
I. 2 寒河江ダムコア材料	43
II. 標準砂・礫質土試験結果	
II. 1 豊浦標準砂	56
II. 2 礫質土	65

1. 調 査 目 的

フィルダムの遮水材料として礫混じり土が広く使用されている。このような土質材料を用いて築造するフィルダムの盛立て中ならびに盛立て後の変形の予測を精度よく行うためには、築堤材料としての礫混じり土の応力と変形の関係を十分に解明しておく必要がある。

従来の盛土の変形予測では、供試体を等方圧密した後に、側圧一定の条件下で三軸圧縮試験を実施し、それによって得られた応力-ひずみ関係（例えば、ダンカン・チャンの式など）を用いて、変形解析を行うことが一般的に行われている。しかしながら、実際のゾーン型フィルダムにおける遮水ゾーンの変形は、水平方向の変位がほとんど拘束された状態で鉛直方向の変位が進行するという、いわゆる K_0 圧密に近い状態の変形挙動を示すものと思われる。したがって、フィルダムの遮水ゾーンの盛立て中および盛立て後の変形を精度よく予測するにあたっては、 K_0 圧密試験から得られる変形係数を用いた変形解析を行う方法が考えられる。

そこで本調査では、 K_0 圧密の行える大型三軸圧縮試験を実施し、従来の等方圧密によって得られた礫混じり土の変形係数との比較を行うとともに、 K_0 圧密試験により求めた土の変形係数を用いてフィルダムの変形解析を行えば、実測値をかなり精度よく説明できることを示したので、それらの概要を報告する。

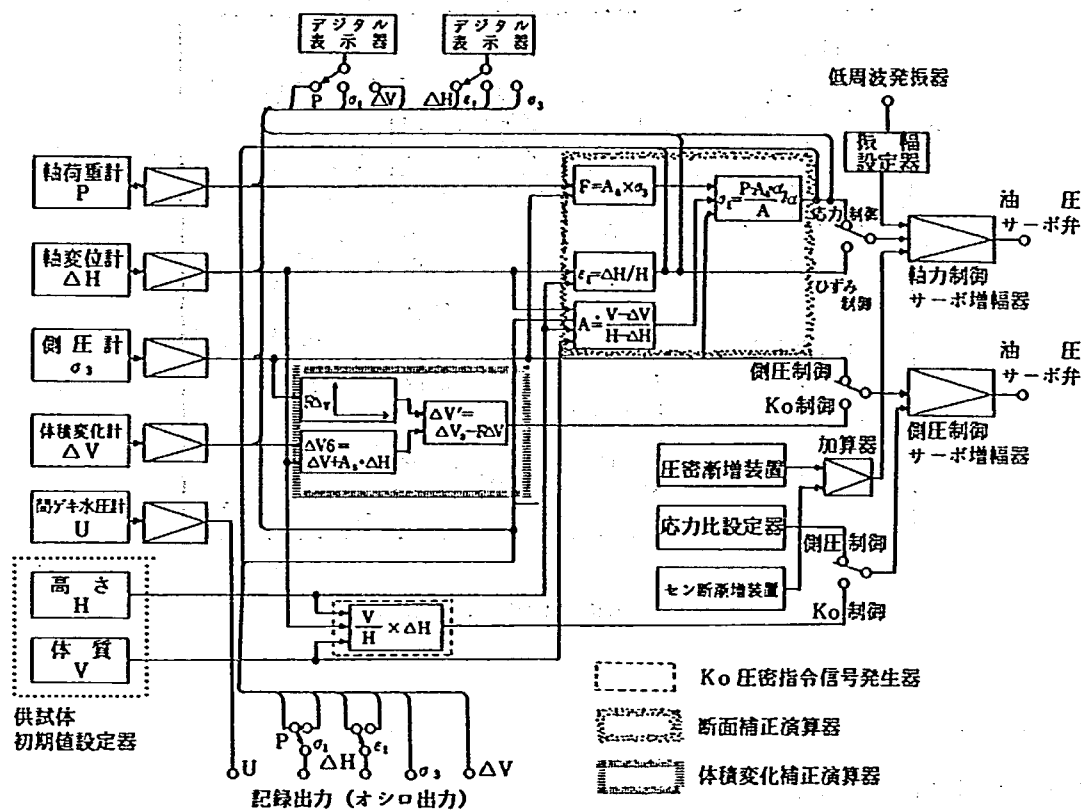


図 2 - 2 総合制御系統図

1) 試験機の仕様

- 側圧……………最大使用圧10kgf/cm² 油圧ポンプユニット
- 軸荷重……………最大使用荷重 35tf } で起動させる。
(供試体直径 36cm使用で 3.44tf/m²まで)
- バックプレッシャー使用最大は、側圧最大圧まで (合計10kgf/cm²)
(B.P. 2 kgf/cm²の場合は、側圧最大 8 kgf/cm²となる)
- 体積変化……………内体積で5 リットル用と20 リットル用の切り替え式
ビューレットよみ直読法
外体積計測は、油圧-水圧変換シリンダーにて自動計測する。
(図 2 - 3 参照)
- K₀ 圧密……………横方向変位量を油圧-水圧変換シリンダーにて K₀ 状態に自動制御し、軸荷重、拘束圧等を自動記録する K₀ 圧密装置を備えている。
- 計測装置……………計測盤より試験機を集中制御する方法を取り、各種の計測も自動記録可能なシステムを装備。

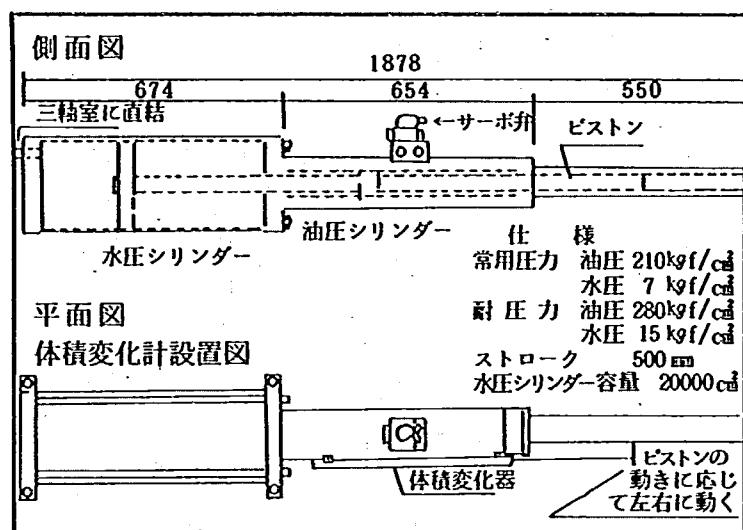


図 2 - 3 油圧 - 水圧変換シリンダー

2) 計測器の仕様

計測器の仕様は下記の通り有する。

表 2 - 1 計測器の仕様

名 称	最大容量	精度	最小読取値	備 考
側 圧 計	10kgf /cm ²	0.5 %	0.01kgf /cm ²	ストレインゲージ式
荷 重 計	35tf	0.5 %	20kg	差動トランス式
軸 変 位 計	150mm	0.5 %	0.2 mm	差動トランス式
体積変化計	20ℓ	0.5 %	20㎖	ポテンションメータ式
間隙水圧計	1 ~ 7 kgf /cm ²	1 %	0.02kgf /cm ²	差動トランス式 (既存のものを使用)

表 2 - 2 デジタル表示器

表示項目	表 示 桁 数
軸 荷 重	0.00 ~ 35.00 tf
軸 応 力	0.00 ~ 35.00 kgf/cm ²
軸 変 位	0.00 ~ 150.00mm
軸 ひ ず み	0.00 ~ 20.00 %
側 圧	0.000 ~ 7.000 kgf/cm ²
体 積 変 化	0.00 ~ 20.00 ℓ

3) 試験機の制御の系統

制御の系統は、図 2 - 2、図 2 - 3 に示す形態からなっている。

2. 2 供試体の作製方法

1. 試料準備

1) 標準砂

気乾状態砂 (含水比 $w = 0.5\%$ 以下) を用いる。モールドへの試料詰めは、漏斗を通して自然落下させる方法を採用した。漏斗は、出口の径が 3mm のものを用いた。また、事前に、所定の間隙比 ($e = 0.7 \sim 0.75$) になるよう予備密度試験を行い、出口から堆積面までの砂の落下高は 70cm とした。この落下高で、供試体の間隙比は 0.72 程度となった。

2) 礫質土

粒度分布が図 2-4 に示した曲線になるよう粒度調整を行って、供試体を作製した。

3) 七ヶ宿ダムコア材料

試料は、 63.5mm フルイ通過試料を用いる。含水比、密度については、現場含水比及び現場密度に合わせる。ただし、含水状態が現場と異なっている場合は、多少の含水比調整を行った。

4) 寒河江ダムコア材料

前項と同様とした。

2. 供試体作製

1) 大型三軸圧縮試験の供試体作製モールドは、直径 36.8cm 、高さ 87.5cm のカラー付 (高さ 15.5cm) 2つ割りモールドを用いた。

2) モールド内にゴムスリーブを取り付け次表に示す各試料の供試体条件に仕上がるように供試体を作製する。作製にあたって、あらかじめ所定の密度になる重量を計り 8 層に分け 1 層ごとの仕上がり高さを計測し、密度チェックしながらモールドに詰めた。

3) 各試料の詰め方

標準砂…………一定高さからの自然落下法 (落下高さについては予備密度試験結果より)

礫質土…………電動ダンパーで締固める。

七ヶ宿
寒河江 ダムコア材料………… 4.5kg ランマーを用いて締固める。

表 2-3 供試体の作製条件

試料名	含水比 w (%)	乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)	詰め方
標準砂	気乾状態 0.5 以下	$1.51 \sim 1.55$ ($e = 0.7 \sim 0.75$)	一定高さから自然落下
礫質土	6 ~ 7	$2.24 \sim 2.25$	電動ダンパー
七ヶ宿ダムコア材料	現場含水比 12 ~ 13	$1.98 \sim 2.00$	4.5kg ランマー
寒河江ダムコア材料	現場含水比 13 ~ 14	$1.94 \sim 1.96$	4.5kg ランマー

2.3 三軸圧縮試験の手順

試験方法でC U, C D 試験は、土質工学会三軸圧縮試験方法に準じて行いK。圧密三軸圧縮試験は、東京大学生産技術研究所が行っている方法に準じて行う。

主な試験工程の説明

1) 供試体のセット

三軸室内のペDESTAL及びトップキャップのポーラスストーンなどの脱気を行い、供試体を設置した後、メンブレンジャケットを用いてゴムメンブレンを供試体に付け、オーリングでシールした。

2) 供試体の飽和

供試体を試験機にセット後、下部より炭酸ガスを供給し、その後脱気水を供給する。下部より脱気水供給終了後、バックプレッシャー (B.P.) を徐々に増加し、(B.P. = 0.5 kgf/cm²上昇に5分間とした) 2.0 kgf/cm²まで加えた。

その時点でB値の検証 ($B = \Delta U / \Delta \sigma_3$) を行い、B 値が0.9 以上で飽和完了と見なし圧密に入った。

特にC U 試験, K。圧密三軸圧縮試験 (K。D, K。U 試験) は、供試体の飽和に細心の注意を払った。

3) 圧密

a) 三軸圧密 (C U, C D 試験)

供試体飽和が完了した時点 ($B = 0.9$ 以上) で所定の側圧を加えて圧密に入る。

圧密終了は、体積変化量 ΔV 検知によって一次圧密が終了した時点とする。

なお、各試料の側圧は試験条件を参照

b) K。圧密 (K。U, K。D 試験)

K。圧密は、各試料とも軸圧制御による側圧検知法を取る。つまり、軸圧0.1 kgf/cm² 載荷ピッチで、 $\Delta V = \Delta H \cdot A$ につりあった側圧を検出する方法で行う。

本試験機の装置は、K。圧密自動制御装置が装備されているので、この装置を行う。圧密載荷速度は、0.05 kgf/cm²で行う。

K。圧密が正常で行われているかチェックするため、供試体内体積の ΔV (ビューレット読み) で検知する。

K。圧密載荷時間は、体積ひずみ ϵ_v が0.02%以内に、軸ひずみが0.03%以内におさまれば次の荷重にうつる。

所定の軸圧時のK。圧密終了後、標準砂のみ排水条件で、他は非排水条件でせん断試験を行って終了とした。

4) 背圧

一次圧密が終了した時点でバックプレッシャーを4.0 kgf/cm² 加えた。その手順は、側圧及びバックプレッシャーをほぼ同時に0.5 kgf/cm² ピッチで上昇させながら4.0 kgf/cm² まで行い、バックプレッシャーが十分に供試体に浸透したことを確認した。

5) 飽和度再チェック

供試体を非排水状態にし、所定の圧密圧プラス 0.5 kgf/cm^2 の側圧を加えて間隙水圧の増分を記録し、飽和度 ($B \geq 0.9$) を再確認して所定の圧密圧力に戻した。

6) 圧密せん断

供試体を非排水状態 ($\overline{CU}$) にし、これにひずみ速度 $0.175\%/min$ で圧縮力を加え、このとき発生する軸ひずみ、軸圧及び間隙水圧を読み取り、軸ひずみが15%に達するまでこれらの値を計測した。

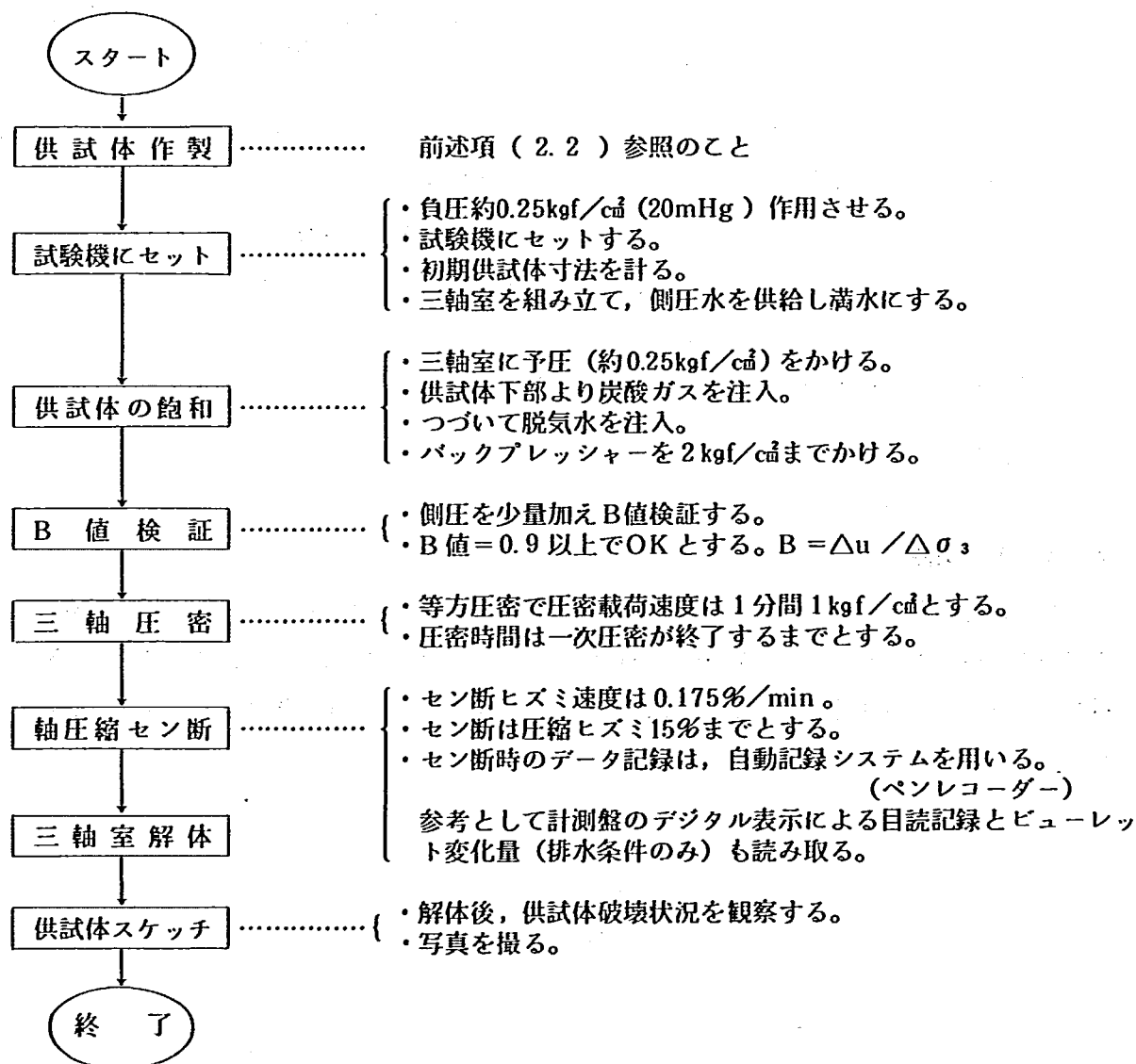
7) データ検知

せん断中のデータは、計測装置による出力をペンレコーダーに自記記録させる。

同時に、目読記録として内体積変化量 (ビューレットの読み) と、計測装置に表示するデジタルメーターのモニター値記録を行う。

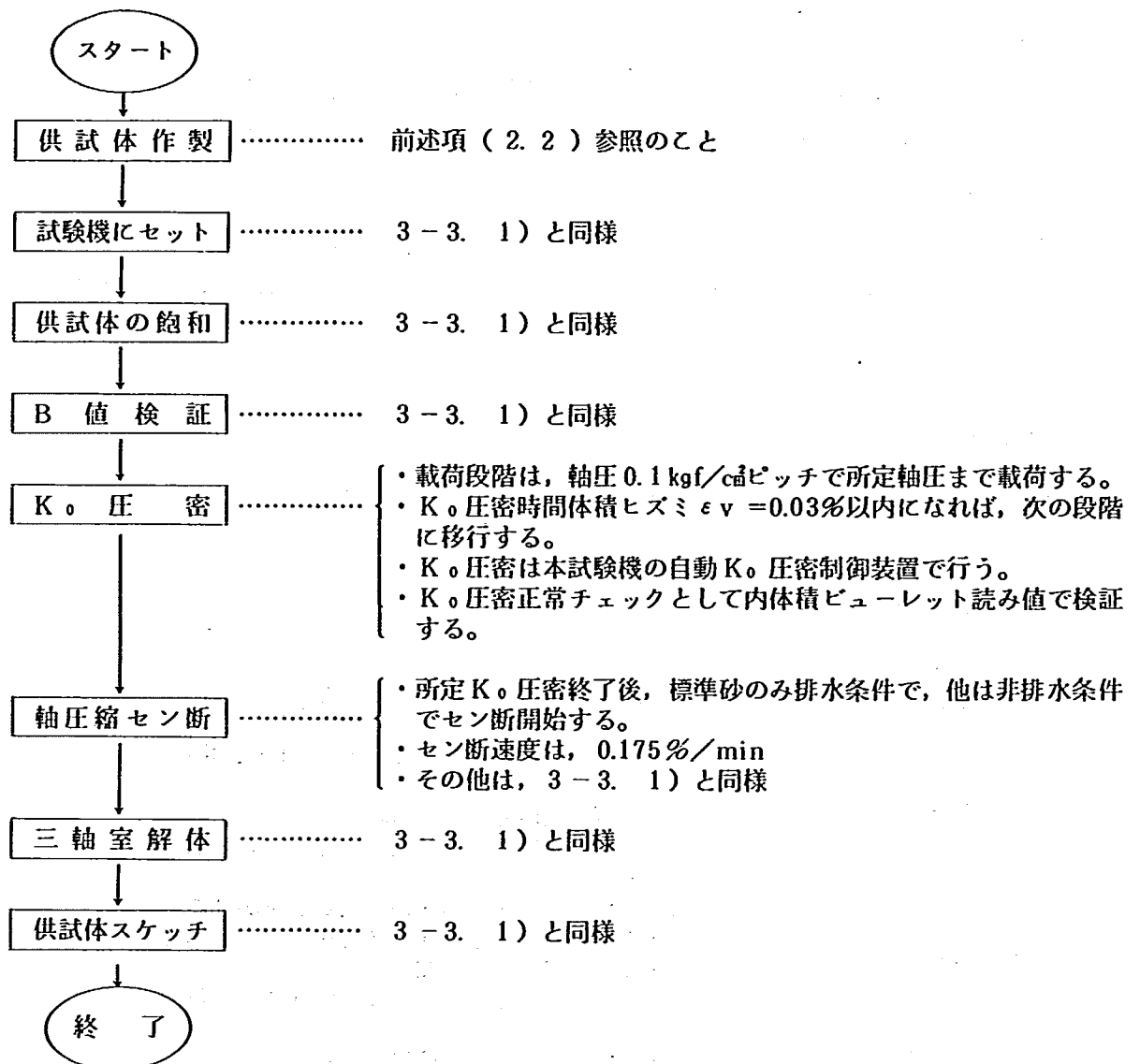
試験の手順

1) 通常の手順について次にフローチャートで示す。



2) K₀圧密三軸圧縮試験 (K₀U, K₀D)

試験の手順について次にフローチャートで示す。



2.4 実験条件

今回実施した大型三軸圧縮試験の実験条件を一覧表にまとめると、表2-4のとおりである。実験には4種類の試料を用いており、各々の粒度特性は図2-4に示すとおりである。供試体の初期の密度は各試料ごとに統一し、各試料とも等方圧密後にせん断を行う試験と K₀圧密後にせん断を行う試験を実施した。

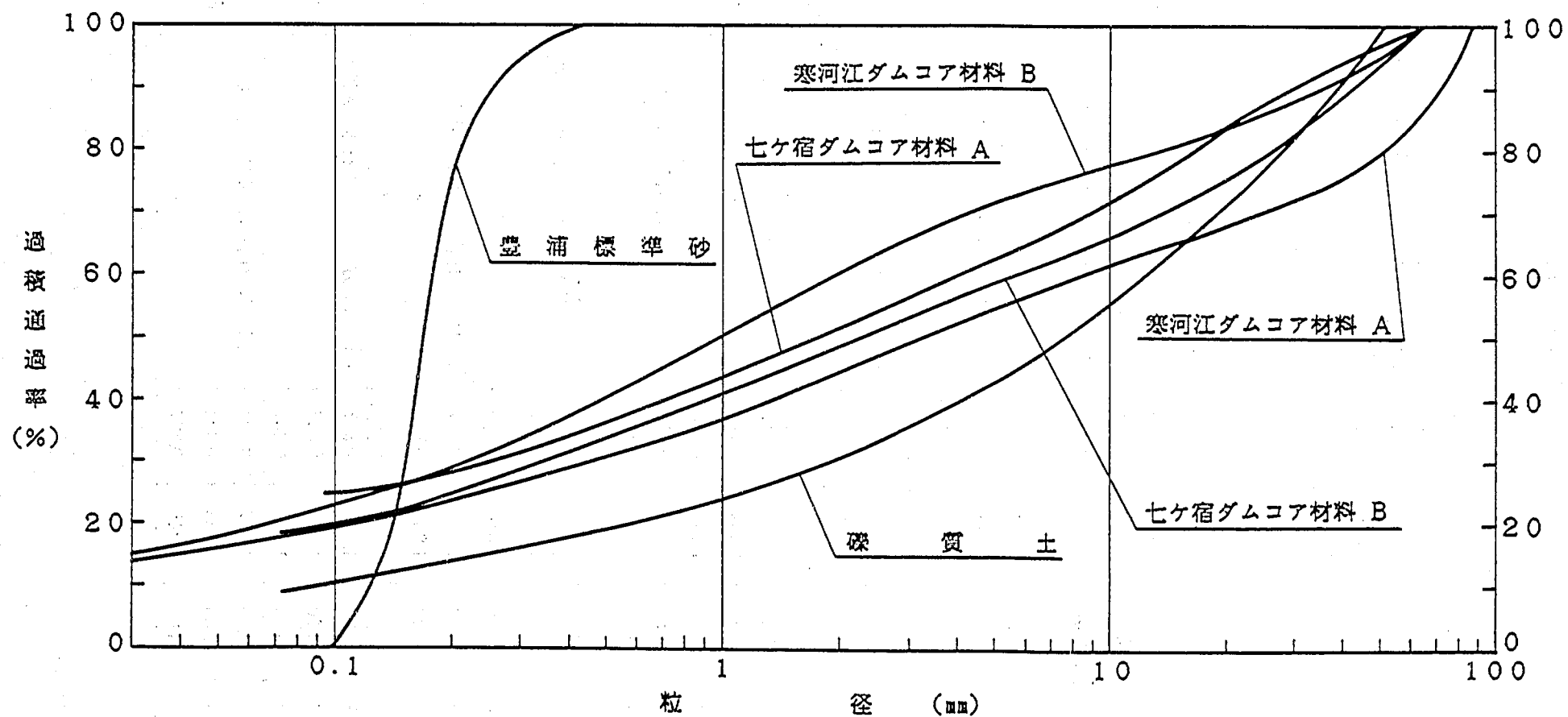


図 2-4 試料の粒径加積曲線

表 2 - 4 試験条件一覧

供試体 No	試料名	供 試 体 の 作 製 条 件				試 験 方 法	拘 束 圧 (kgf /cn ²)	
		密 度 ρ_t (t/m ³)	含 水 比 w (%)	乾燥密度 ρ_d (t/m ³)	間 隙 比 e ₀			
1	豊 浦 標 準 砂	1.547	0.15	1.545	0.715	CD (等方圧密後、排水せん断)	$\sigma_3 = 1.0$	
2		1.541	0.11	1.540	0.718	"	$\sigma_3 = 2.0$	
3		1.536	0.15	1.534	0.725	"	$\sigma_3 = 3.0$	
4		1.544	0.17	1.541	0.719	K ₀ D (K ₀ 圧密後、排水せん断)	$\sigma_1 = 1.0$	
5		1.547	0.12	1.545	0.715	"	$\sigma_1 = 2.0$	
6		1.542	0.11	1.540	0.720	"	$\sigma_1 = 3.0$	
7	礫 質 土	2.376	6.36	2.234	0.293	CU (等方圧密後、非排水せん断)	$\sigma_3 = 1.0$	
8		2.369	6.61	2.223	0.299	"	$\sigma_3 = 2.0$	
9		2.374	6.38	2.231	0.294	"	$\sigma_3 = 3.0$	
10		2.373	5.61	2.247	0.285	K ₀ U (K ₀ 圧密後、非排水せん断)	$\sigma_1 = 1.0$	
11		2.374	6.36	2.232	0.294	"	$\sigma_1 = 2.0$	
12		2.380	7.04	2.224	0.299	"	$\sigma_1 = 3.0$	
13	七ヶ宿ダム遮水材料	A	2.243	12.87	1.987	0.409	CU (等方圧密後、非排水せん断)	$\sigma_3 = 1.0$
14			2.235	12.59	1.985	0.410	"	$\sigma_3 = 2.0$
15			2.248	12.81	1.993	0.405	"	$\sigma_3 = 3.0$
16			2.246	12.20	2.002	0.399	K ₀ U (K ₀ 圧密後、非排水せん断)	$\sigma_1 = 1.0$
17			2.249	12.06	2.007	0.395	"	$\sigma_1 = 2.0$
18			2.238	11.99	1.998	0.401	"	$\sigma_1 = 3.0$
19		B	2.209	11.80	1.976	0.417	CU (等方圧密後、非排水せん断)	$\sigma_3 = 2.0$
20			2.219	13.30	1.958	0.430	"	$\sigma_3 = 4.0$
21			2.209	12.30	1.967	0.420	"	$\sigma_3 = 6.0$
22			2.226	12.80	1.973	0.419	K ₀ U (K ₀ 圧密後、非排水せん断)	$\sigma_1 = 2.0$
23			2.210	12.70	1.961	0.428	"	$\sigma_1 = 4.0$
24			2.221	12.20	1.980	0.414	"	$\sigma_1 = 8.0$
25	寒河江ダム遮水材料	A	2.218	14.40	1.939	0.367	CU (等方圧密後、非排水せん断)	$\sigma_3 = 1.0$
26			2.219	13.50	1.955	0.355	"	$\sigma_3 = 2.0$
27			2.208	13.30	1.949	0.359	"	$\sigma_3 = 3.0$
28			2.205	12.90	1.953	0.357	K ₀ U (K ₀ 圧密後、非排水せん断)	$\sigma_1 = 1.0$
29			2.208	12.70	1.959	0.353	"	$\sigma_1 = 2.0$
30			2.206	12.80	1.956	0.355	"	$\sigma_1 = 3.0$
31		B	2.217	13.20	1.959	0.377	CU (等方圧密後、非排水せん断)	$\sigma_3 = 2.0$
32			2.209	13.70	1.942	0.389	"	$\sigma_3 = 4.0$
33			2.209	13.60	1.945	0.387	"	$\sigma_3 = 6.0$
34			2.209	14.00	1.937	0.392	K ₀ U (K ₀ 圧密後、非排水せん断)	$\sigma_1 = 2.0$
35			2.203	13.80	1.936	0.393	"	$\sigma_1 = 4.0$
36			2.217	14.00	1.945	0.387	"	$\sigma_1 = 8.0$

3. 実験結果

3. 1 K₀圧密試験結果

図3-1～図3-6にK₀圧密中のK₀値および間隙比の変化をとりまとめた。

豊浦標準砂のK₀値については、乾燥状態で空中落下させて作製した供試体では、K₀値と間隙比の間に $K_0 = 0.52e \sim 0.52e + 0.025$ なる関係のあることが大河内（1981）によって報告されている。今回の実験における間隙比（ $e = 0.72$ ）をこの関係にあてはめると、予想されるK₀値は0.37～0.40程度となる。実際に得られたK₀値は、図3-1をみると0.41～0.45程度であり、大河内の実験結果より幾分おおきめの値を示している。これは、大河内の実験が標準寸法の供試体で行われたのに対し、今回の実験がそれより400倍も体積が大きい大型の供試体で行われたことに一因があると思われる。すなわち、同じ試料で供試体の寸法を変えて試験を行うと、一般に供試体の寸法が大きくなるほど変形が大きくなる傾向にある。一方、K₀値は、密度が小さく変形が生じやすい試料ほど大きな値を示すので、大型供試体を用いた今回の実験によるK₀値が標準寸法の供試体を用いた実験による値よりも幾分大きくなるのは、おおむね妥当な結果であると判断できる。

七ヶ宿、寒河江両ダム遮水材料のK₀値は、0.5前後の値を示している。これらの試料の密度は、実際のフィルダムで得られる現場密度にはほぼ近い値に設定しているので、こうした材料で築造するフィルダムの遮水ゾーンの盛立て中のK₀、ないし主応力比は、今回の実験結果から判断すると0.5程度の値をとるものと予想される。なお、これらの両ダムの遮水材料よりかなり細粒分の少ない礫質土のK₀値は、0.3前後のかなり小さな値を示した。

次に、K₀圧密中の間隙比の変化をもとに、盛立て中の変形予測に用いるべき各試料の変形係数について考察を加えると、下記のようなになる。

K₀圧密中の間隙比の変化から次式によって求めた。

$$E^* = \frac{1}{mv} = \frac{\Delta \sigma_c (1 + e_0)}{e_0 + e_c}$$

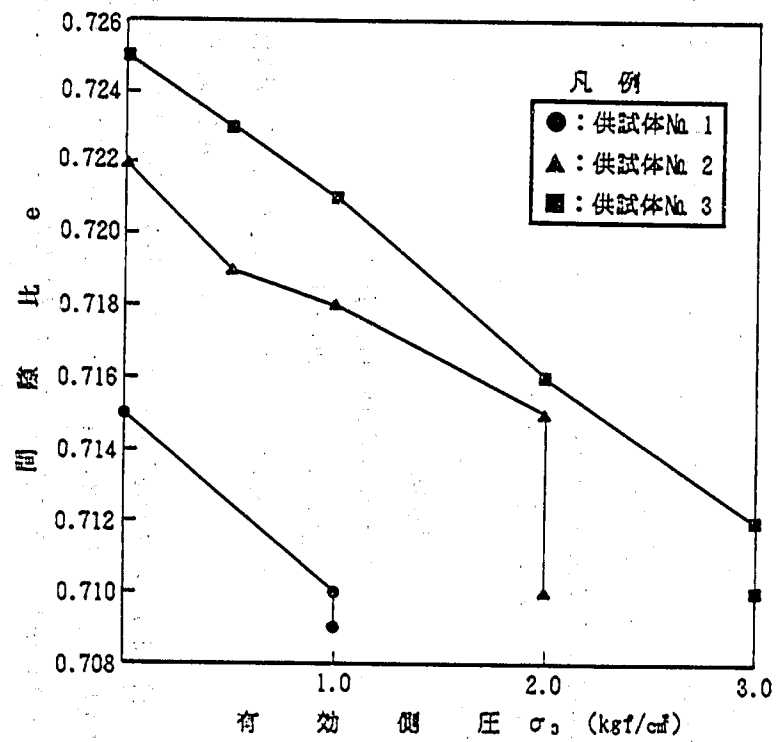
ここに、 mv : 体積圧縮係数

e_0 : 圧密前の供試体の間隙比

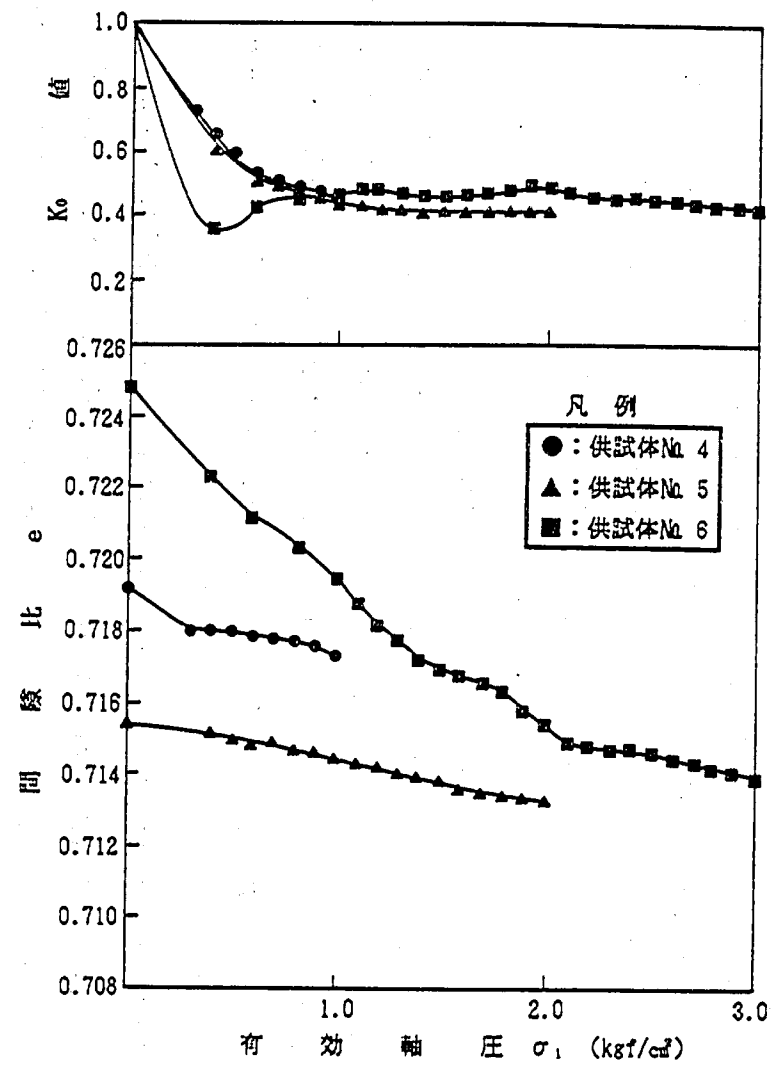
e_c : 圧密後の供試体の間隙比

$\Delta \sigma_c$: 圧密前後の等方圧密圧力の変化（今回の場合、圧密後の等方圧密圧力は
0.2 kgf/cm²である。）

上式によって得られた各試料の変形係数E^{*}は、各々3供試体の平均値で示すと、豊浦標準砂が857 kgf/cm²、七ヶ宿ダム遮水材料が249 kgf/cm²、寒河江ダム遮水材料が317 kgf/cm²となる。フィルダムの遮水ゾーンの変形がK₀圧密に近いことを考慮すると、盛立て中の変形予測に用いるべき変形係数としては、上記のようなK₀圧密試験によって求めた値を用いることが考えられる。

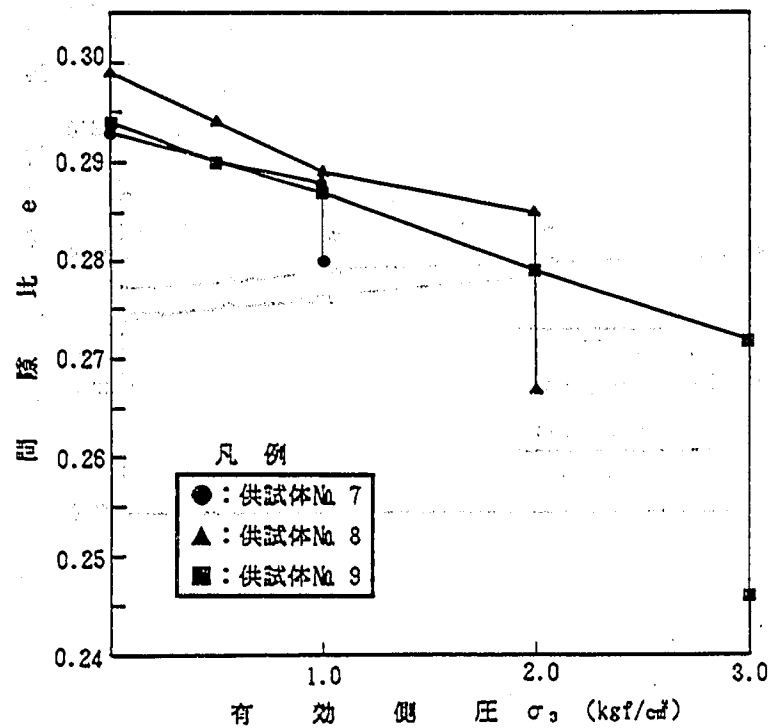


a) 等方圧密試験結果

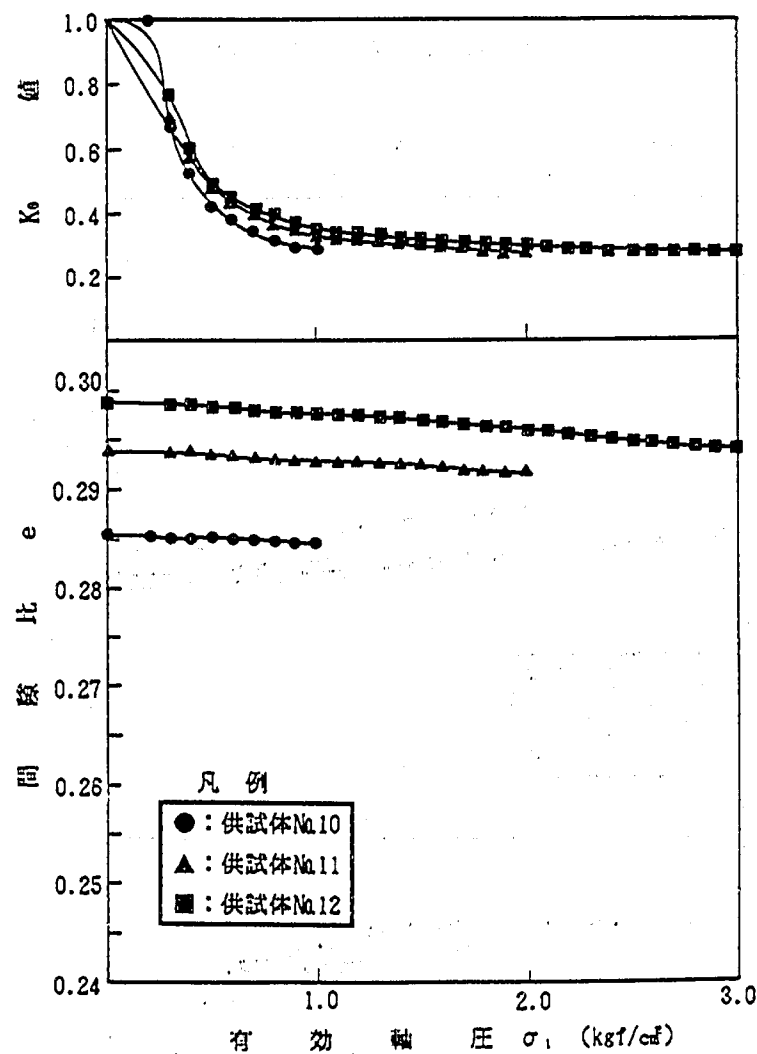


b) K_0 圧密試験結果

図3-1 圧密中の間隙比と K_0 値の試験結果 (豊浦標準砂)

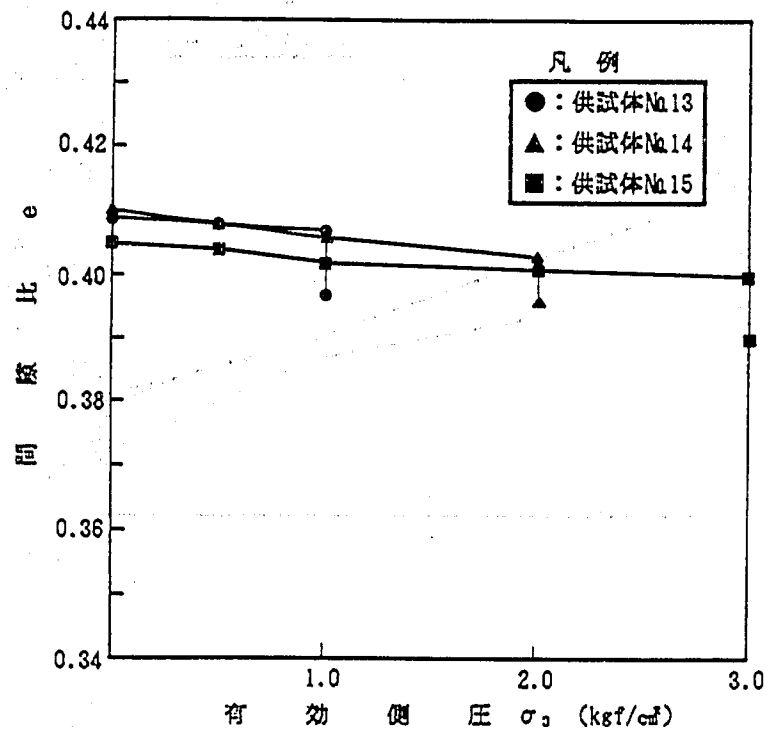


a) 等方圧密試験結果

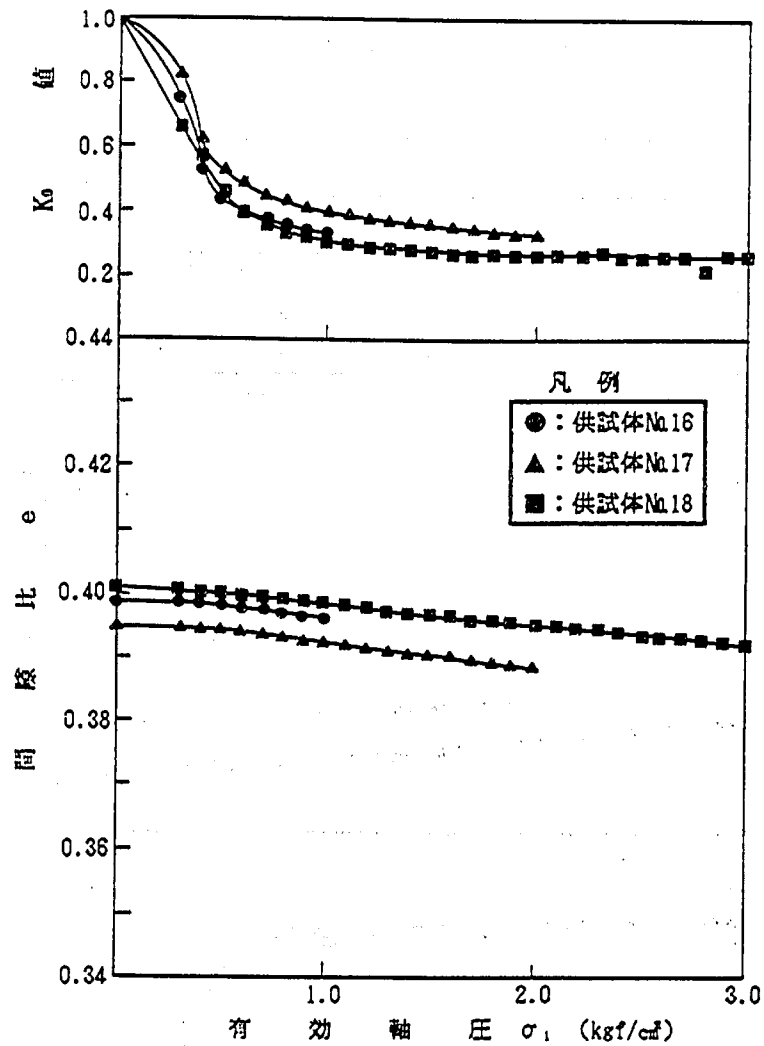


b) K_0 圧密試験結果

図3-2 圧密中の間隙比と K_0 値の試験結果(礫質土)

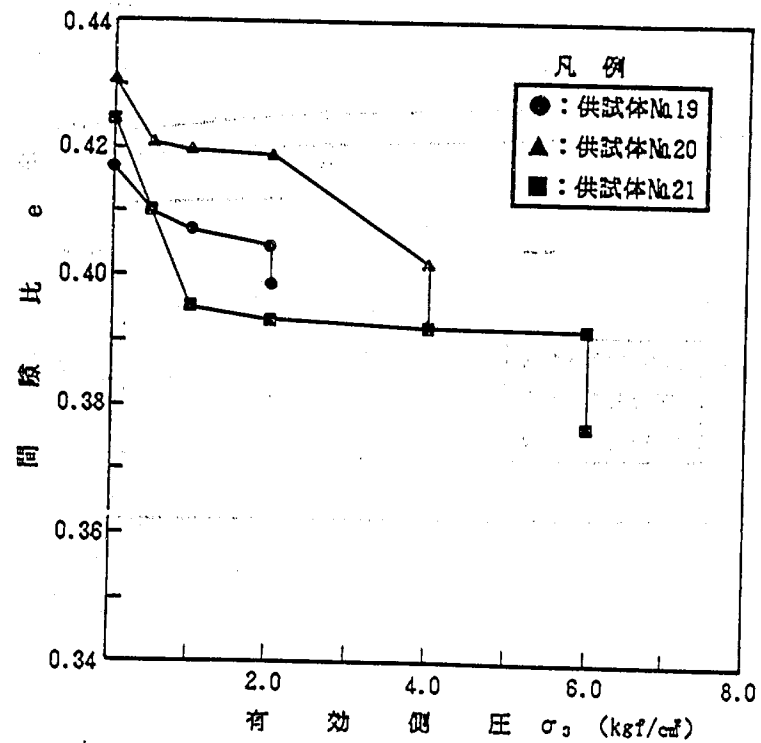


a) 等方圧密試験結果

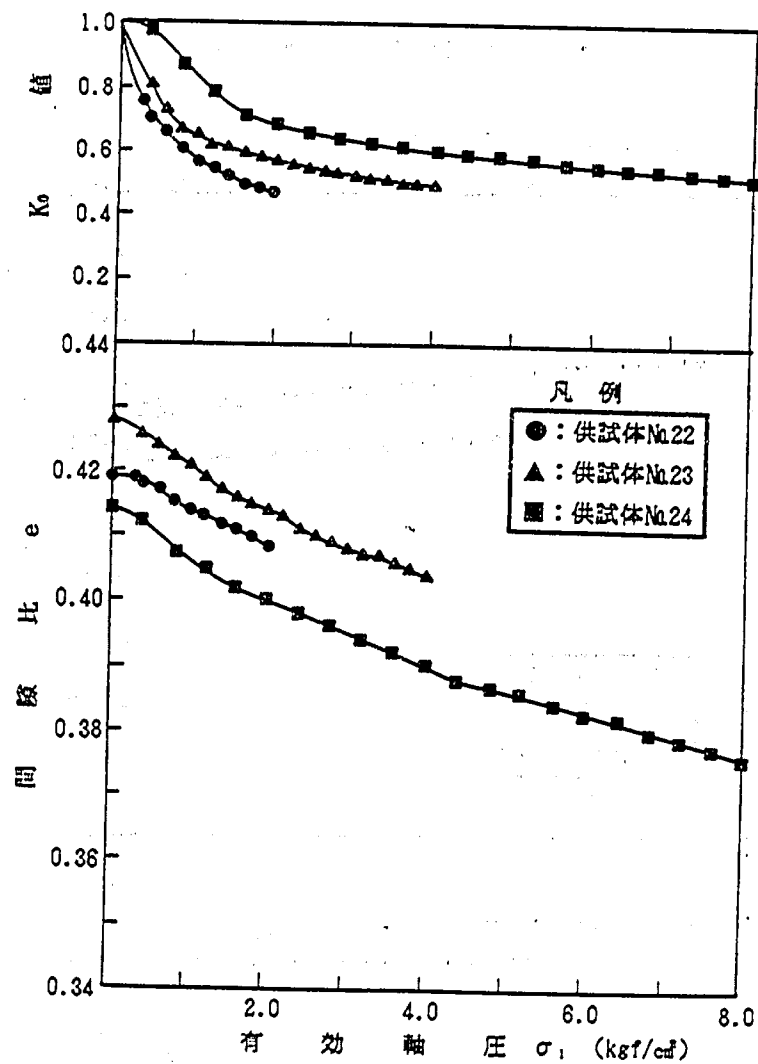


b) K_0 圧密試験結果

図3-3 圧密中の間隙比と K_0 値の試験結果(七ヶ宿ダム遮水材料A)

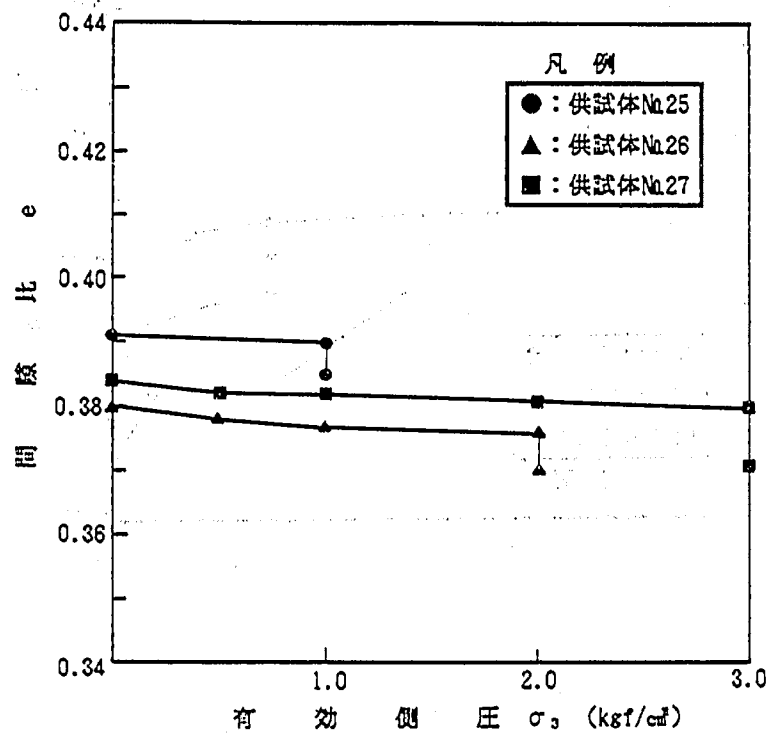


a) 等 方 圧 密 試 験 結 果

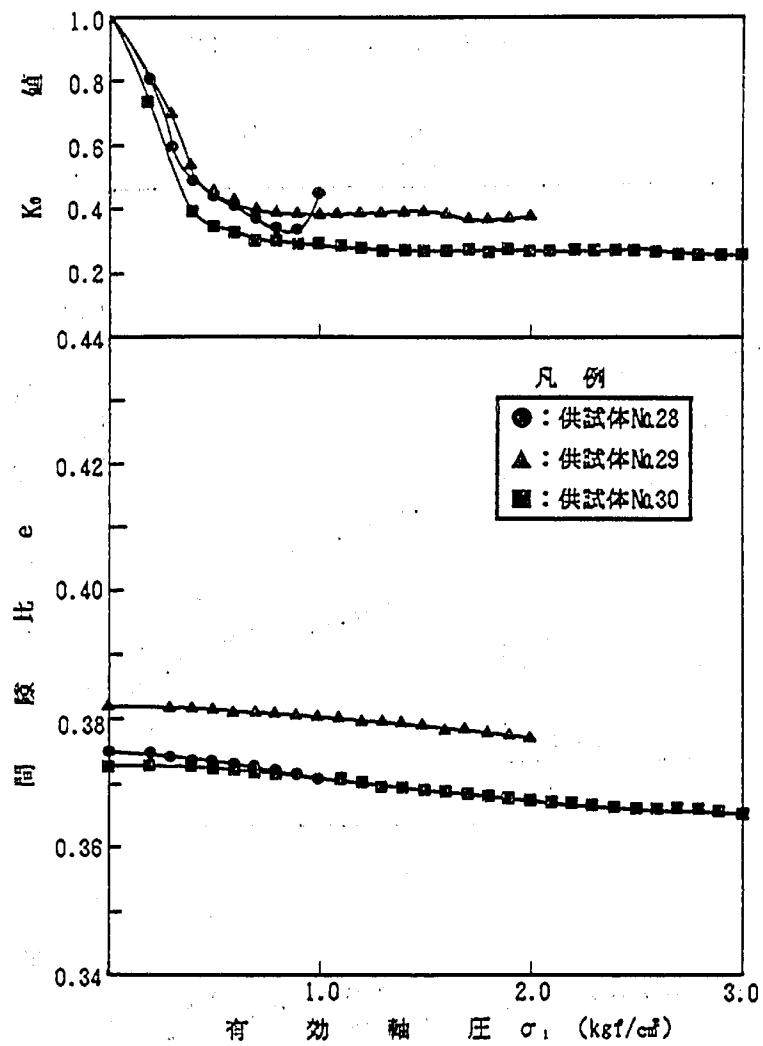


b) K_0 圧 密 試 験 結 果

図3-4 圧密中の間隙比と K_0 値の試験結果(七ヶ宿ダム遮水材料B)

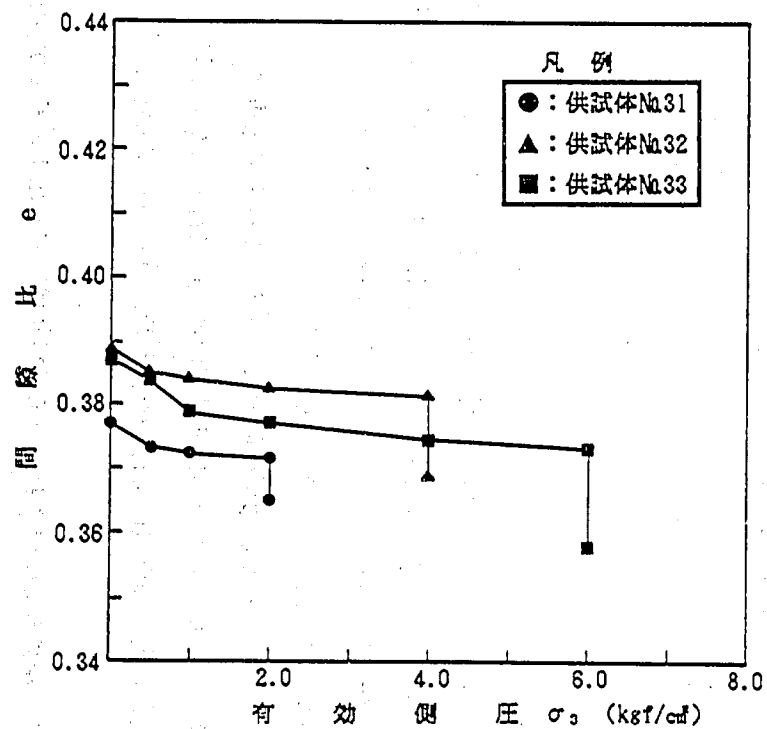


a) 等方圧密試験結果

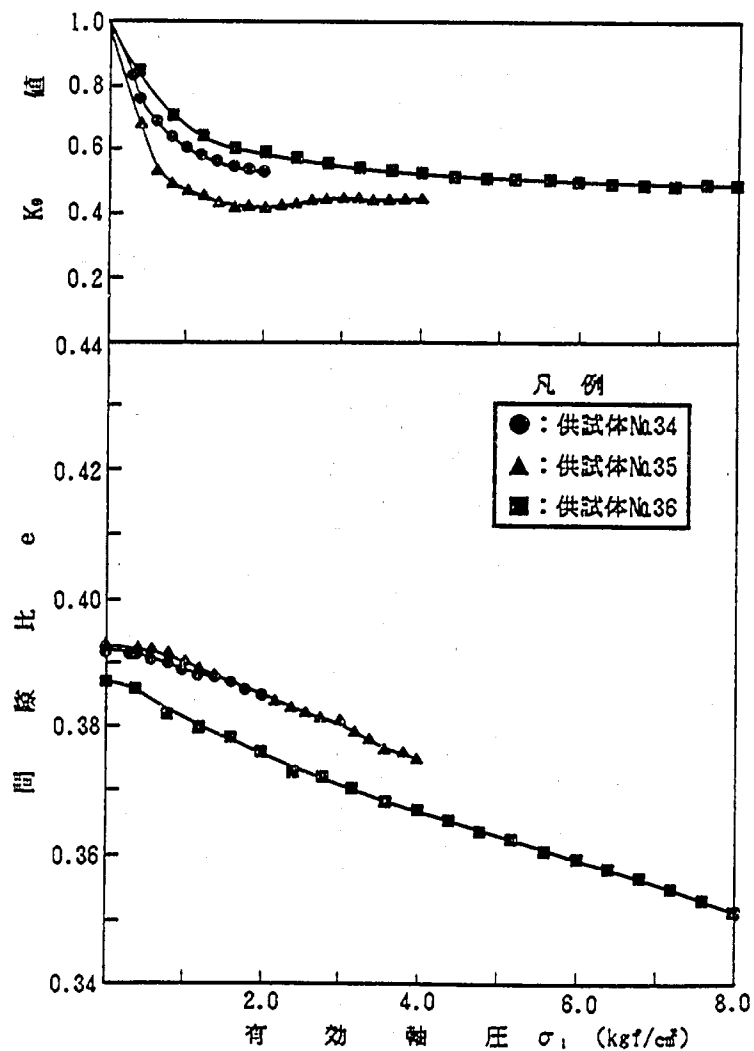


b) K_0 圧密試験結果

図3-5 圧密中の間隙比と K_0 値の試験結果(寒河江ダム遮水材料A)



a) 等方圧密試験結果



b) K_0 圧密試験結果

図3-6 圧密中の間隙比と K_0 値の試験結果(寒河江ダム遮水材料B)

3. 2 せん断試験結果

表3-1は、等方圧密後にせん断試験を行って求めた強度定数(c , ϕ)と、 K_0 圧密後にせん断試験を行って求めたものとを比較してとりまとめたものである。

表3-1から、強度定数は、 K_0 圧密圧密のほうが等方圧密の場合より平均拘束圧が小さいにもかかわらず、いずれの試料の場合も、 K_0 圧密の方が等方圧密の場合より幾分大きな値を示す傾向にあることがよみとれる。これは、 K_0 圧密の場合、圧密中からせん断応力を受けるため、せん断に抵抗しやすい粒子構造が発達することによるものと考えられる。

ゾーン型フィルダムのすべり形状を考えると、遮水ゾーン内では主として軸圧縮に近い応力状態となる。また、遮水ゾーン内の初期応力は、 K_0 圧密状態にある。これらのことを考え合わせると、遮水ゾーンの強度定数 c , ϕ は、従来のように等方圧密後にせん断試験を行って求めるより、むしろ K_0 圧密後にせん断試験を行って求めるのが实际的であると考えられる。そして c , ϕ の傾向としては、 K_0 圧密を行ったほうが全体的にかなり大きめの値を示すことが今回の実験で明らかになった。

表3-1 試験結果一覧

試 料 名		等 方 圧 密				K ₀ 圧 密			
		c' (kgf /cm ²)	φ' (度)	c (kgf /cm ²)	φ (度)	c' (kgf /cm ²)	φ' (度)	c (kgf /cm ²)	φ (度)
豊 浦 標 準 砂		0.0	39.0			0.0	41.0		
礫 質 土		0.10	39.0	0.32	27.5	0.02	43.1	0.57	27.0
七ヶ宿ダムコア材料	A	0.70	48.0	1.25	32.5	0.75	48.5	0.90	44.0
	B	1.10	40.0	1.33	27.0	1.00	41.7	1.90	29.5
寒河江ダムコア材料	A	2.10	37.5	2.60	33.0	2.35	40.0	1.85	40.0
	B	0.90	43.5	1.28	25.0	1.35	38.0	1.55	22.5

3. 3 まとめ

大型三軸圧縮試験機を用いて各種試料の K_0 圧密試験を行い、 K_0 値ならびに盛立て中の変形予測に用いるべき変形係数について知見を得た。また、 K_0 圧密に引き続いて行ったせん断試験から c , ϕ を求め、これを従来通り等方圧密後にせん断試験を行って求めた c , ϕ と比較した。

今回得られた主な知見は、次のとおりである。

- ① 今回の実験で得られた豊浦標準砂の K_0 値は、これまで報告されている値より幾分大きめの値を示す。これは、これまでの実験が標準寸法の供試体で行われたのに対し、今回の実験がそれより400倍も体積が大きい大型の供試体で行われたため、いわゆる寸法効果の影響が生じたことによるものと考えられる。
- ② 実際のフィルダムで使用されている試料を現場密度にあわせて突固めた供試体では、 K_0 値が0.5前後の値を示す。
- ③ K_0 圧密中の間隙比の変化から、盛立て中の変形予測に用いるべき変形係数を求めると、実際のフィ

ルダムで使用されている遮水材料では、 $240 \sim 320 \text{ kgf/cm}^2$ 程度の値となる。

- ④ 従来通り等方圧密後にせん断試験を行って求めた c 、 ϕ と、 K_0 圧密後にせん断試験を行って求めた c 、 ϕ を比較すると、 K_0 圧密の方が等方圧密の場合より幾分大きな値を示す傾向にある。そして、ゾーン型フィルダムの応力状態を考えると、 K_0 圧密後にせん断試験を行う方が、むしろ実際の条件に近いと考えられる。

4. フィルダム遮水ゾーンの変形解析

4.1 K₀圧密試験結果を用いた変形解析手法

現地の土を用いて等方圧密およびK₀圧密を行った大型三軸圧縮試験の結果から、それぞれの変形係数ならびに強度定数c, φを求めると、表4-1ようになる。表中、圧密時の変形係数E_cは(1)式から、またせん断時の変形係数K, n, Rfは(2)式に示すダンカン・チャンのモデルの関係から算出したものである。

$$E_c = \frac{1}{mv} = \frac{\Delta \sigma_c (1 + e_0)}{e_0 - e_c} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、mv：体積圧縮係数 e₀：圧密前の供試体の間隙比 e_c：圧密後の供試体の間隙比

Δσ_c：圧密前後の等方圧密力の変化

(今回の場合、圧密前の等方圧密圧力は0.2kgf/cm²である。)

$$E_t = K \cdot P_a \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right) \left\{ 1 - \frac{Rf(1 - \sin \phi)(\sigma_1 - \sigma_3)}{2(c \cos \phi + \sigma_3 \sin \phi)} \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、P_a：大気圧 K, n, Rf：実験から求まる定数

まずK₀の値についてみると、両ダムのコア材料ともに0.4前後の値を示している。これらの試料の密度は、実際のフィルダムで得られた現場密度にほぼ近い値に設定しているので、こうした隙混じり風化残留土で築造するフィルダムの遮水ゾーンの盛立て中のK₀ないし主応力比は、今回の実験結果から判断すると、0.4程度の値をとるものと予想される。

変形係数としては、圧密時および非排水せん断時の両方の値が得られている。これらの数値の妥当性や適用方法については以下に述べるが、K₀圧密により得られた圧密時の変形係数が等方圧密により得られた値の1.5～2.0倍程度の大きさの値を示しているのが大きな特徴である。

強度定数については、従来通り等方圧密後にせん断試験を行って求めたc, φと、K₀圧密後にせん断試験を行って求めたc, φの値を比較してとりまとめた。これをみると、K₀圧密のc, φの方が等方圧密の場合に比べて幾分大きめの値を示す傾向にあるものの、両者にそれほど大きな違いは認められなかった。

この変形予測手法においては、フィルダム遮水ゾーンの盛立て中の沈下量を①一次元圧縮（即時的なK₀圧密）による沈下量、②せん断変形による沈下量、および③長期的な圧密による沈下量の3者の和であると考え（図4-1参照）。①の一次元圧縮による沈下量はゾーン型フィルダムの遮水ゾーンの沈下の主成分と考えられるもので、水平方向の変位を拘束した条件で生じる鉛直変位であるから、K₀圧密中の変形係数を用いて算定できる。具体的には、有限要素法の線形弾性解析を用い、入力定数としてはK₀圧密時の変形係数E_cとポアソン比ν_cを用いる。ここで、ポアソン比ν_cの値は水平方向の変位を拘束しているのでゼロとする。一方、②のせん断変形による沈下量は、コア部の形状変化に伴う沈下量で、K₀圧密後の非排水せん断時の変形係数を用いて算定する。この計算には、ダンカン・チャンのモデルを用いた非線形弾性解析を用い、試験から求めた変形係数を入力値とするが、ポアソン比ν_t

の値としては非排水条件でほとんど体積変化を伴わないことから、 $\nu_t = 0.45$ とする。 $(\nu_t = 0.5$ としないのは現地の土が完全に飽和していないことを考慮したものである)。③の長期的な圧密による沈下量は、①の一次元圧縮による沈下量の延長と考えられるものである。①が盛立て中に生じる即時的な沈下量であるのに対し、③は盛立て後の放置期間にまで及ぶ圧密沈下量である。この沈下量を求めるためには別途圧密試験を行う必要があるが、今回のような細粒分含有率の低いコア材料では圧密の進行が速いので、圧密沈下量の大部分は①の沈下量に含まれ、③の沈下量の占める割合はかなり小さいと考えられる。そこで今回は、①の一次元圧縮による沈下量と②のせん断変形による沈下量の和を求めれば十分実用的であると判断し、これを求めて実測値との比較を行った。ここで、入力定数としては、表4-1に示した $\overline{K_0}$ 試験の結果を用いた。

なお、両ダムコア材料とも、AとBの試料採取時期に1年～2年のひらきがあり、結果のバラツキが認められた。従って実際の現場により近い拘束圧下の条件で試験を行った。Bの試料の結果だけを用いた。

表4-1 解析に用いたパラメータ

試料名	試験方法	K_0 値	圧密時の変形係数		せん断時の変形係数 (ダンカン・チャンのモデルの定数)				強度定数			
			E_c (kgf/cm ²)	ν_c	K	n	Rf	ν_t	c' (kgf/cm ²)	ϕ' (度)	c (kgf/cm ²)	ϕ (度)
七ヶ宿ダム コア材料	$\overline{CU}$	—	143	—	—	—	—	0.5	1.1	40	1.4	26
	$\overline{K_0U}$	0.47 0.53	226	0.0	807	0.211	0.992	0.5	1.1	41	1.3	35
寒河江ダム コア材料	$\overline{CU}$	—	249	—	—	—	—	0.5	1.0	43	1.3	25
	$\overline{K_0U}$	0.44 0.54	200	0.0	293	0.718	0.996	0.5	0.8	44	1.1	31

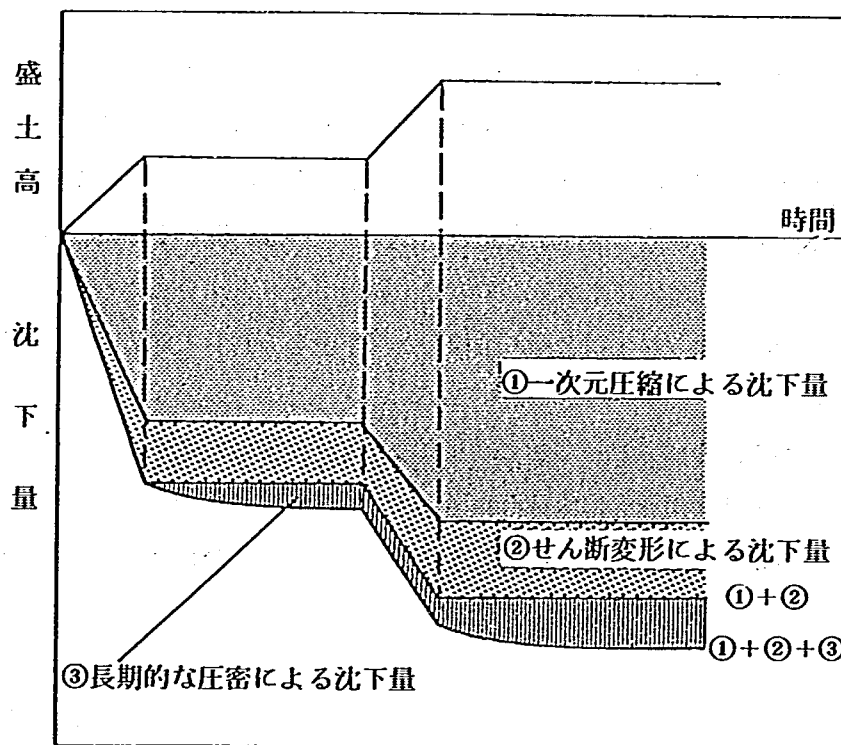


図4-1 フィルダム遮水ゾーンの盛立て中に生じる沈下量の3成分

4. 2 変形予測結果

今回解析を行った七ヶ宿ダムと寒河江ダムの解析モデルならびにコア部の盛立て時の沈下量の予測値と実測値を比較した結果を図4-2～図4-7に示す。これらの図から、次のようなことがいえる。

- (1) 図4-1に示した①の一次元圧縮による沈下量と②のせん断変形による沈下量を加えた沈下量の予測値が、沈下の実測値とかなりよく合っている。
- (2) 全沈下量に占める①の一次元圧縮による沈下量と②のせん断変形による沈下量の比率をみると、側方からの拘束圧の大きな堤体の下部では沈下のほとんどが①で、②の沈下量の占める割合はごくわずかである。一方、堤体の上部では、やはり①の沈下量の占める割合が大きい、側方からの拘束圧が小さくなるので②の沈下量の占める割合がやや大きくなる傾向にある。また、堤高の大きな寒河江ダムの方が堤高の低い七ヶ宿ダムより②の沈下量の占める割合が大きくなっていることから、堤高が大きいほどコア部のせん断変形の発生が大きくなることがよみとれる。
- (3) 今回の予測では、①と②の沈下量を分割して求めたが、これを一度の計算で予測しようとするポアソン比の値を合理的に定める必要がある。このためには、実際の築堤過程で土の要素に加わる応力条件を再現して圧縮载荷を排水条件下で行い、軸ひずみと側方ひずみの発生を調べる必要があるが、実際の応力条件を事前に予測することが極めて難しいので、計算に用いるポアソン比の値を正確に予測することはかなり難しい。ところが、今回のように①と②の沈下量を分割して求めるような解析を行うと、結果的に次式から盛立て中のポアソン比の値が求まる。

$$\nu = \frac{\text{②のせん断変形による沈下量}}{\text{①の一次元圧縮による沈下量} + \text{②のせん断変形による沈下量}}$$

今回行った解析の結果をもとに、このポアソン比の値を計算すると、七ヶ宿ダムの場合は堤体下部で $\nu = 0.10 \sim 0.15$ 、堤体上部で $\nu = 0.15 \sim 0.22$ 程度の値となり、寒河江ダムの場合は堤体下部で $\nu = 0.15 \sim 0.22$ 、堤体上部で $\nu = 0.22 \sim 0.38$ 程度の値を示す。このように、コア部のポアソン比はコア材料の種類や堤高のほか堤体の下部か上部かといった部位によっても異なる。

これは前述したように、実際の遮水材料のポアソン比が盛立て中に一定でなく、圧密の進行によって変化することを示している。そして、圧密の進行の度合いの速い堤体下部ほどポアソン比が小さくなるのがわかる。したがって、遮水ゾーン全体で一律のポアソン比を定める従来の予測手法には限界があり、かえって今回のような圧密とせん断による沈下量を分割して求める手法のほうが実用的な一面があることが分かる。

以上のようなことから、今回提案したフィルダムの遮水ゾーンの変形予測手法は、沈下の予測精度が高いうえに、ダムの形状や規模、堤体材料の違いなどを十分に反映でき、圧密変形とせん断変形の発生割合や圧密によるポアソン比の変化なども評価できるので、十分に合理的かつ実用的であると考えられる。

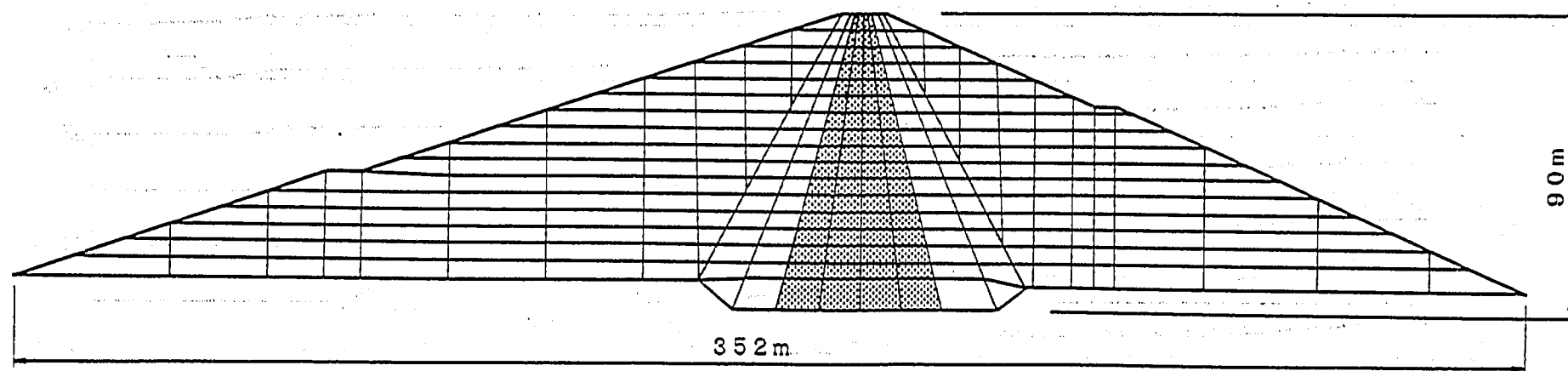


図4-2 解析モデル図(七ヶ宿ダム)

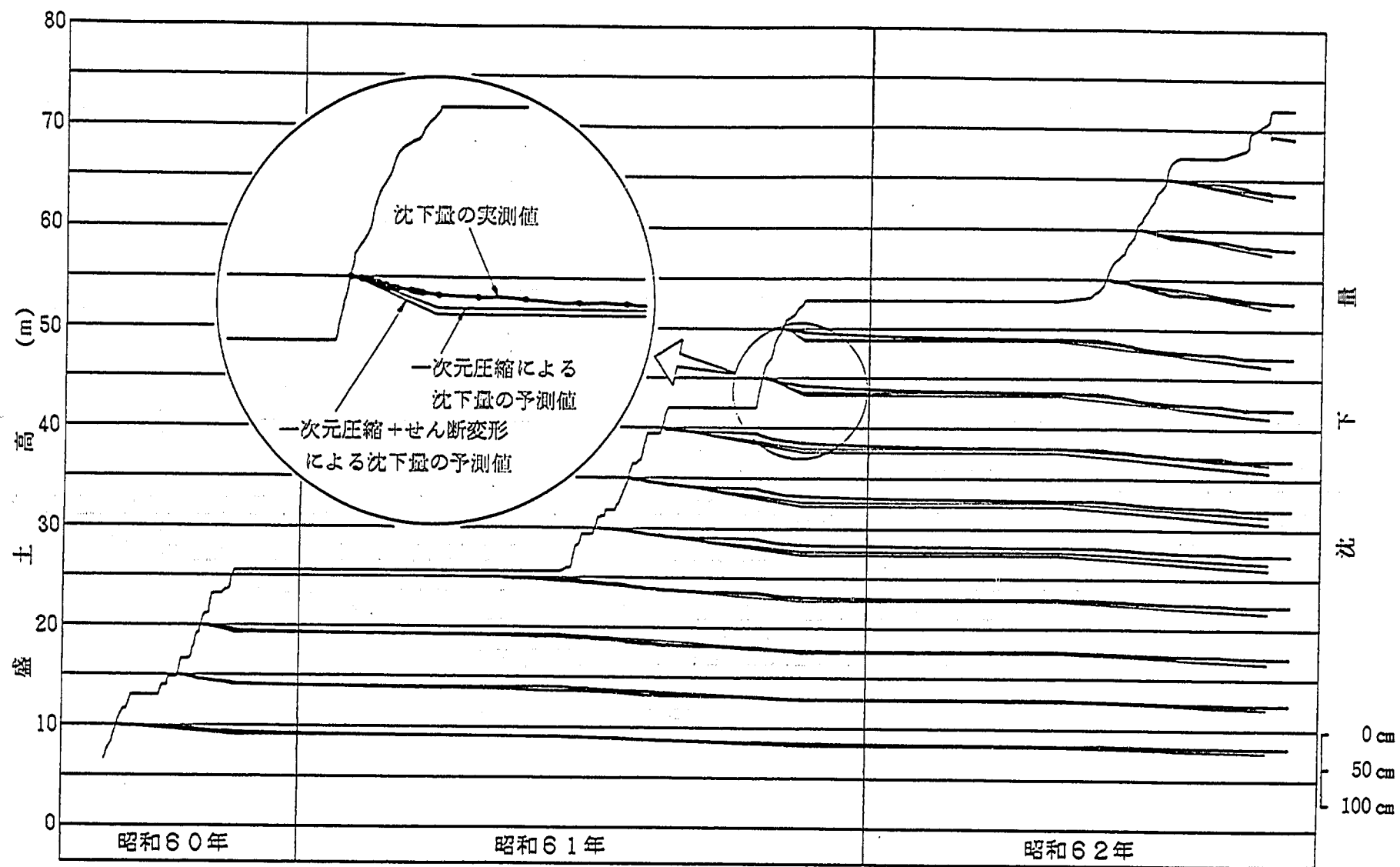


図4-3 遮水ゾーンの盛立て時の沈下量（七ヶ宿ダム）

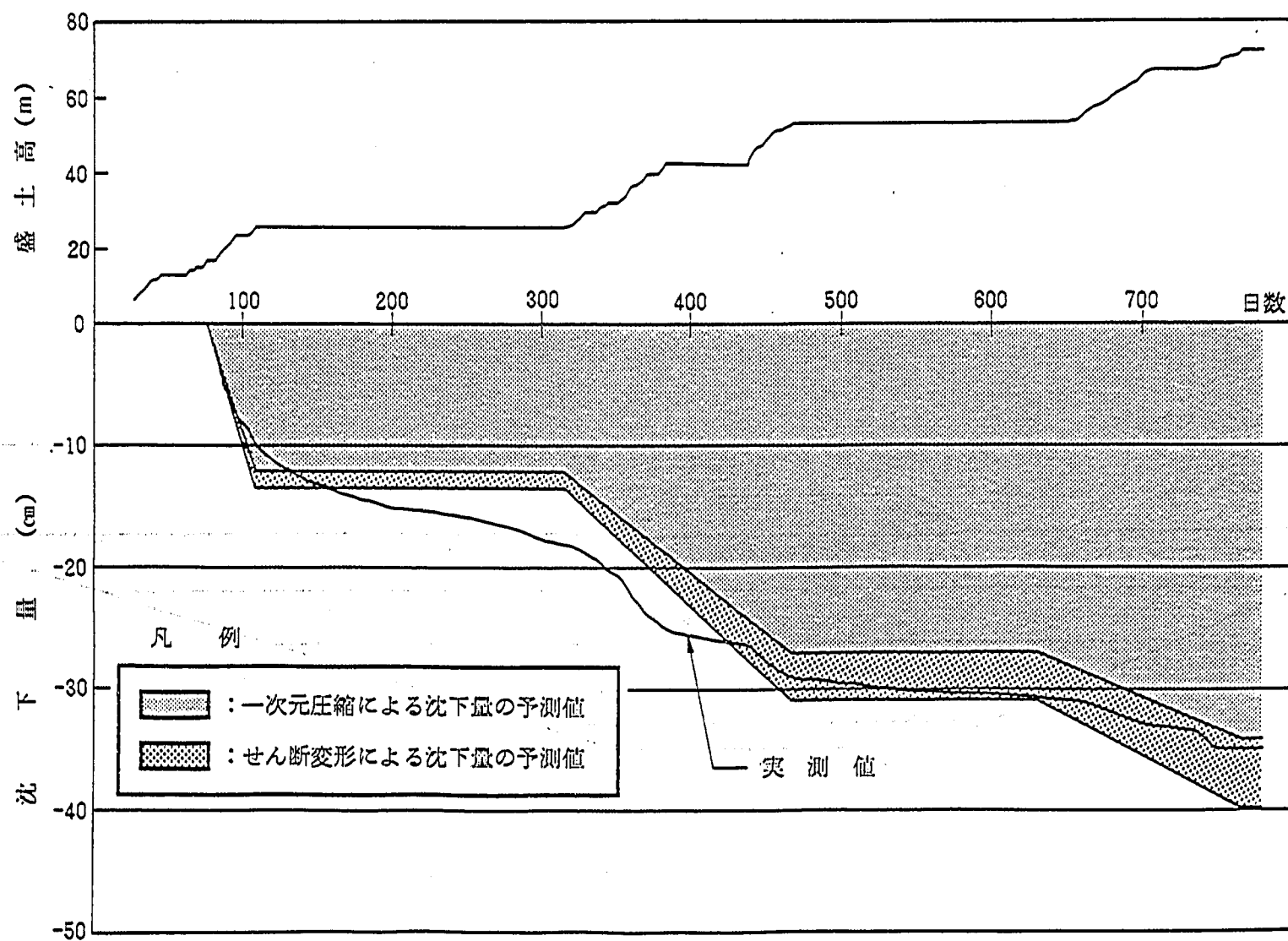


図 4 - 4 遮水ゾーン下部の盛立て時の沈下量 (七ヶ宿ダム15m地点)

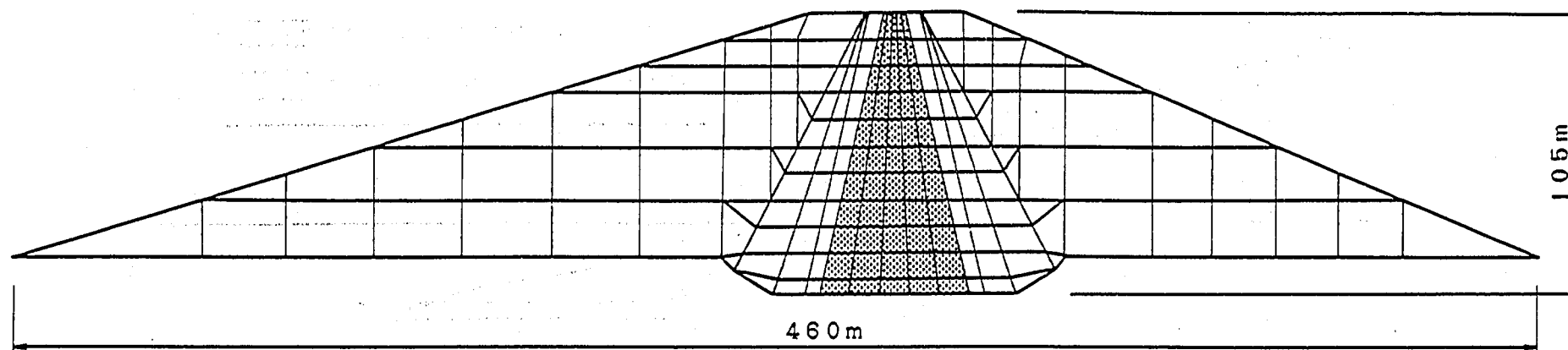


図4-5 解析モデル図(寒河江ダム)

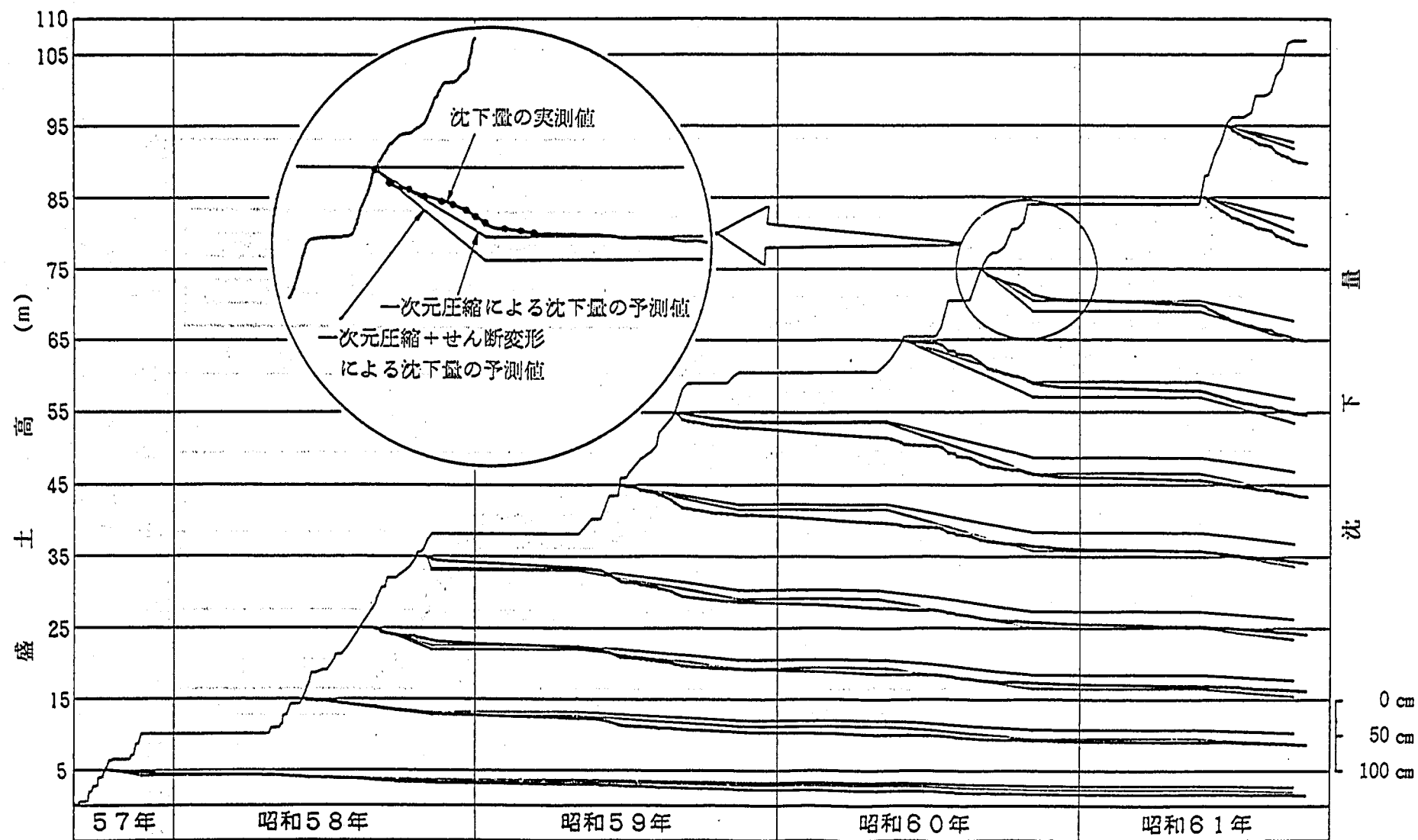


図4-6 遮水ゾーンの盛立て時の沈下量（寒河江ダム）

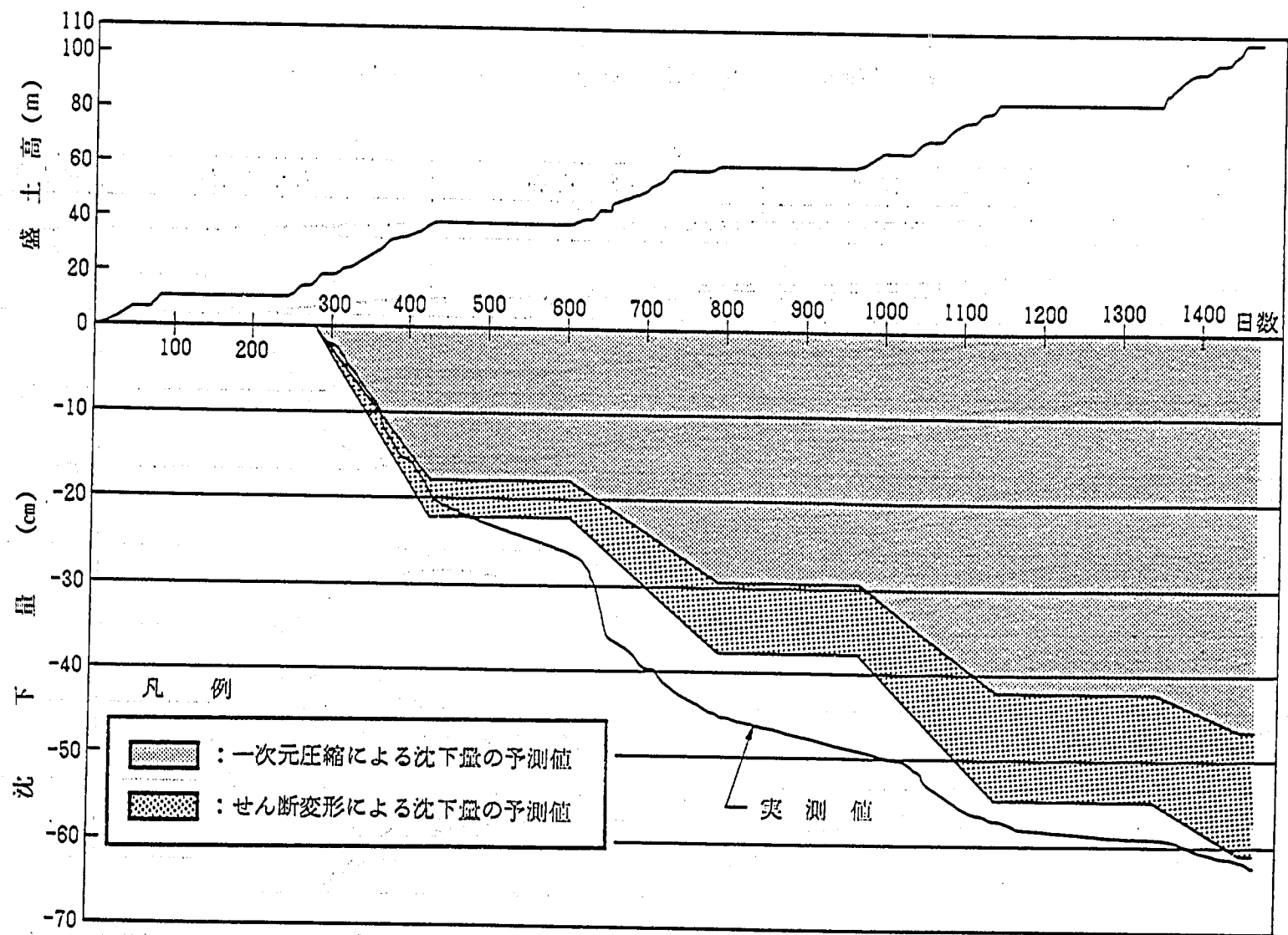


図4-7 遮水ゾーン下部の盛立て時の沈下量 (寒河江ダム15m地点)

5. ま と め

大きい粒径のものを含む礫混じり土を用いて築造されることの多いフィルダムの遮水ゾーンの盛立時の合理的な変形予測手法を提案することを目的に、まず既存の大型三軸圧縮試験機を改造して実際の堤体内の土の要素が受ける応力-変形状態に近いと考えられるK₀圧密が行える機能を追加し、実際のフィルダムの築造に用いた礫混じり土の変形特性を調べた。

次に、こうして得られた礫混じり土の変形特性を用いて、既に動態観測記録の得られている実際のフィルダムの変形解析を行い、実測値との比較検討を行った。その結果、大型三軸圧縮試験でK₀圧密後に非排水せん断を行うことによって得られるK₀圧密時の変形係数と非排水せん断時の変形係数のそれぞれから圧密変形とせん断変形を別々に予測し、それを足し合わせて全沈下量の予測を行うという新しく提案した手法が、実測値をよく説明できるのに加え、ダムの形状や規模、堤体材料の違いをよく反映でき、圧密変形とせん断変形の発生割合や圧密の進行によるポアソン比の変化なども評価できることを示した。

〈 参考文献 〉

- 1) 大河内保彦：三軸装置を用いた土のK₀圧密特性の基礎的研究，博士論文，1981年12月
- 2) 久楽・三木・関：締固めた礫混じり土の工学的性質に関する実験的研究，土と基礎，Vol. 31, No. 2, 1983
- 3) 久楽・三木・関：礫混じり土の締固め度と圧縮時の変形係数の関係，第20回土質工学研究発表会，1985
- 4) 久楽・三木・関：礫混じり土の締固め度と非排水せん断時の変形係数の関係，第40回土木学会年次講演会，1985
- 5) 三木・久楽・関・工藤：K₀圧密試験にもとづく礫混じり土の変形・強度特性，粗粒材料の変形・強度特性とその試験法に関するシンポジウム，1986

I フィルダムコア材料試験結果

I . 1 七ヶ宿ダムコア材料

七ヶ宿ダムコア材料

1) 圧密非排水 (CU) 試験結果

	供試体 No	湿潤密度 ρ_t (t/m^3)	含水比 W (%)	乾燥密度 ρ_d (t/m^3)	間隙比 e	有効軸圧 σ_3 (kgf/cm^2)	ピーク時		
							主応力差 $\sigma_1 - \sigma_3$ (kgf/cm^2)	圧縮 ヒズミ ϵ (%)	間隙水圧 u (kgf/cm^2)
A	Cu-1	2.206	13.1	1.951	0.435	1.0	4.04	10.5	0.53
	Cu-1	2.243	12.87	1.987	0.409	1.0	5.96	13.6	0.45
	Cu-2	2.235	12.59	1.985	0.410	2.0	7.48	15.0	1.2
	Cu-3	2.196	13.40	1.937	0.446	3.0	5.20	15.0	2.15
	Cu-3	2.248	12.81	1.993	0.405	3.0	10.66	14.0	1.55
B	CU-A	2.209	11.8	1.976	0.417	2.0	7.26	15.0	0.82
	CU-B	2.219	13.3	1.958	0.430	4.0	10.58	15.0	2.09
	CU-C	2.209	12.3	1.967	0.420	6.0	14.16	14.5	3.33

注) 土粒子の比重 $G_s = 2.80$

強度定数

内部摩擦角 $\phi_{cu} = 27.0^\circ$

$\phi' = 40.0^\circ$

粘着力 $C_{cu} = 1.33 \text{ kgf/cm}^2$

$C' = 1.10 \text{ kgf/cm}^2$

2) K_0 圧密非排水 (K_0U) 試験結果

	供試体 No	湿潤密度 ρ_t (t/m^3)	含水比 W (%)	乾燥密度 ρ_d (t/m^3)	間隙比 e	有効軸圧 σ_a' (kgf/cm^2)	有効側圧 σ_r' (kgf/cm^2)
A	1	2.237	12.26	1.993	0.405	1.0	0.236
	2	2.246	12.20	2.002	0.399	1.0	0.335
	3	2.249	12.06	2.007	0.395	2.0	0.660
	4	2.238	11.99	1.998	0.401	3.0	0.783
B	5	2.226	12.8	1.973	0.419	2.0	(0.949) (0.728)
	6	2.210	12.7	1.961	0.428	4.0	(1.983) (1.536)
	7	2.221	12.2	1.980	0.414	8.0	(4.192) (3.365)

				K _o 圧縮終了後の三軸圧縮の部			
	供試体 No	K _o 値 K _o	$\sigma_a' - \sigma_{r1}'$ (kgf/cm ²)	軸圧縮によるピーク時			
				主応力差 ② (kgf/cm ²)	① + ② (kgf/cm ²)	圧縮ヒズミ ϵ (%)	間隙水圧 u (kgf/cm ²)
A	1	0.236	0.764	4.39	5.15	15.0	-0.41
	2	0.335	0.665	6.73	7.40	11.5	-0.30
	3	0.330	1.340	6.69	8.03	14.5	-0.23
	4	0.261	2.217	4.49	6.71	15.0	-0.17
B	5	(0.474) [0.364]	1.272	6.30	7.572	10.5	-0.11
	6	(0.496) [0.384]	2.464	6.72	9.184	12.5	0.32
	7	(0.524) [0.420]	4.635	8.36	12.995	13.0	1.21

() 内の数値は K_o 圧密終了時の値 [] 内の数値は三軸セン断開始時の値

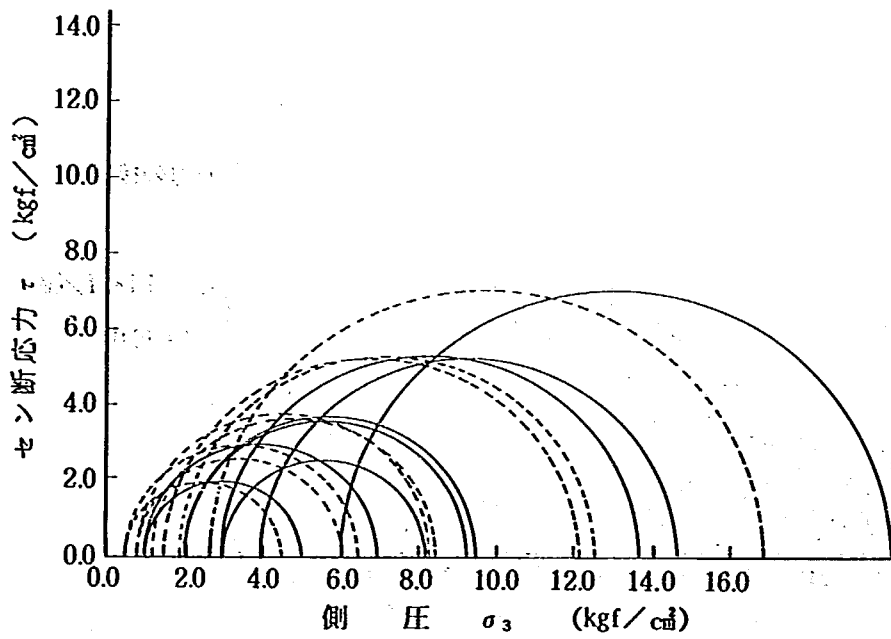
K_oU 三軸圧縮強度定数

注) 土粒子の比重 G_s = 2.80

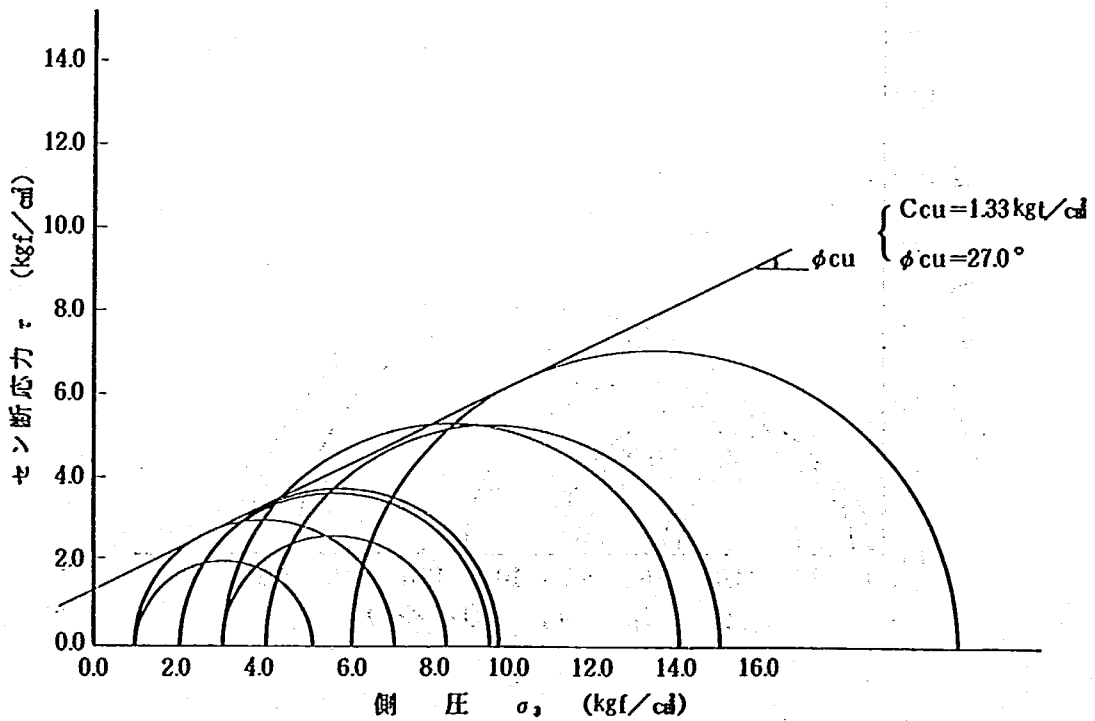
内部摩擦角 $\phi_{K_oU} = 29.5^\circ$
 $\phi' = 41.7^\circ$

粘着力 $C_{K_oU} = 1.90 \text{ kgf/cm}^2$
 $C' = 1.00 \text{ kgf/cm}^2$

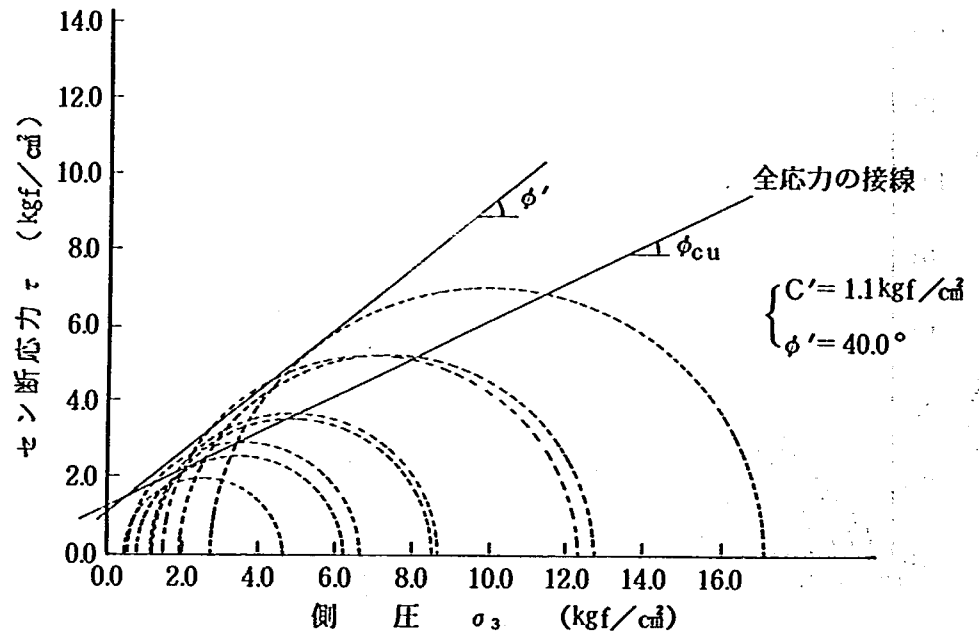
CU試験



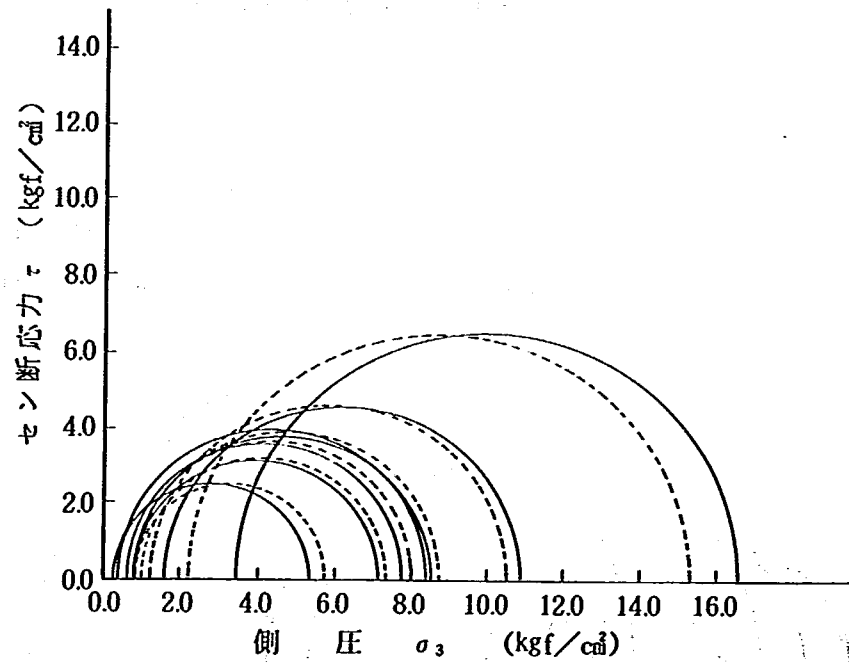
CU試験 (全応力のモール円)



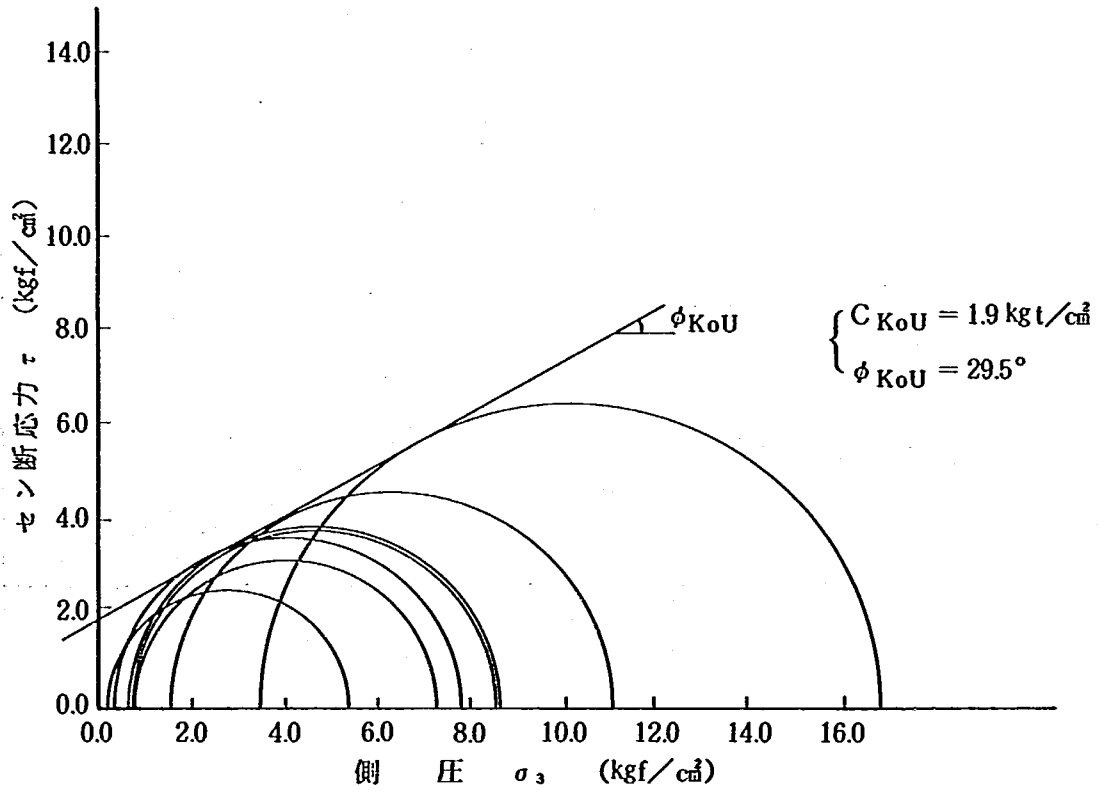
CU試験(有効応力のモール円)



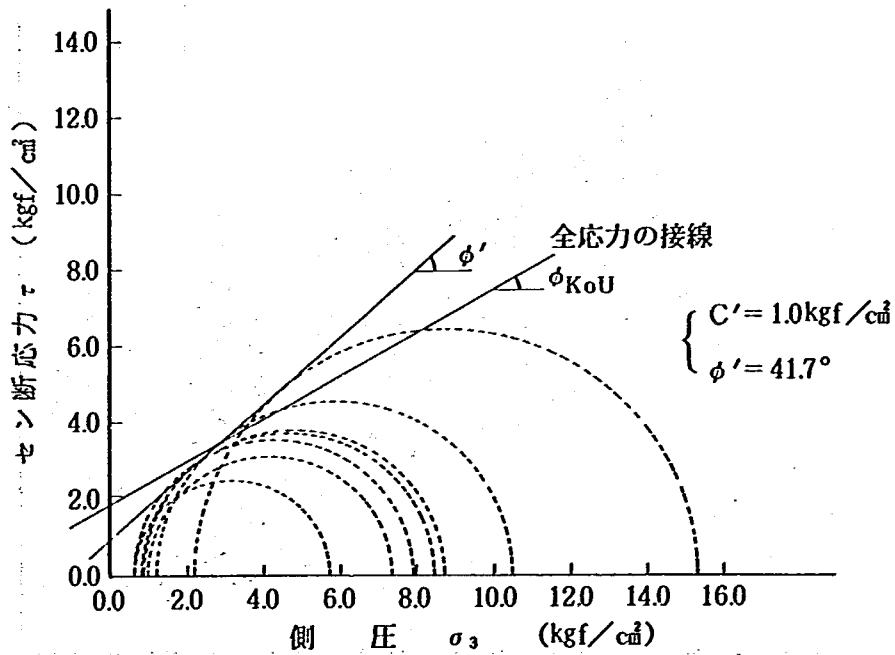
KoU試験

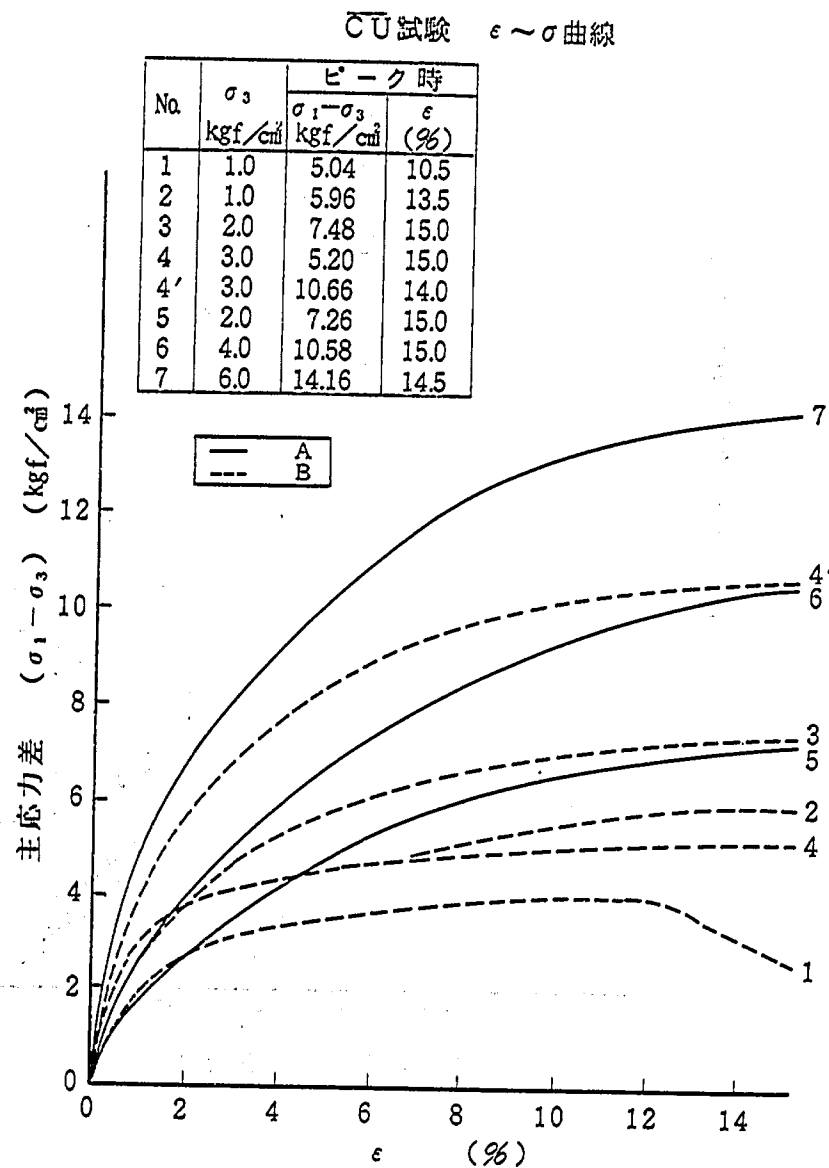
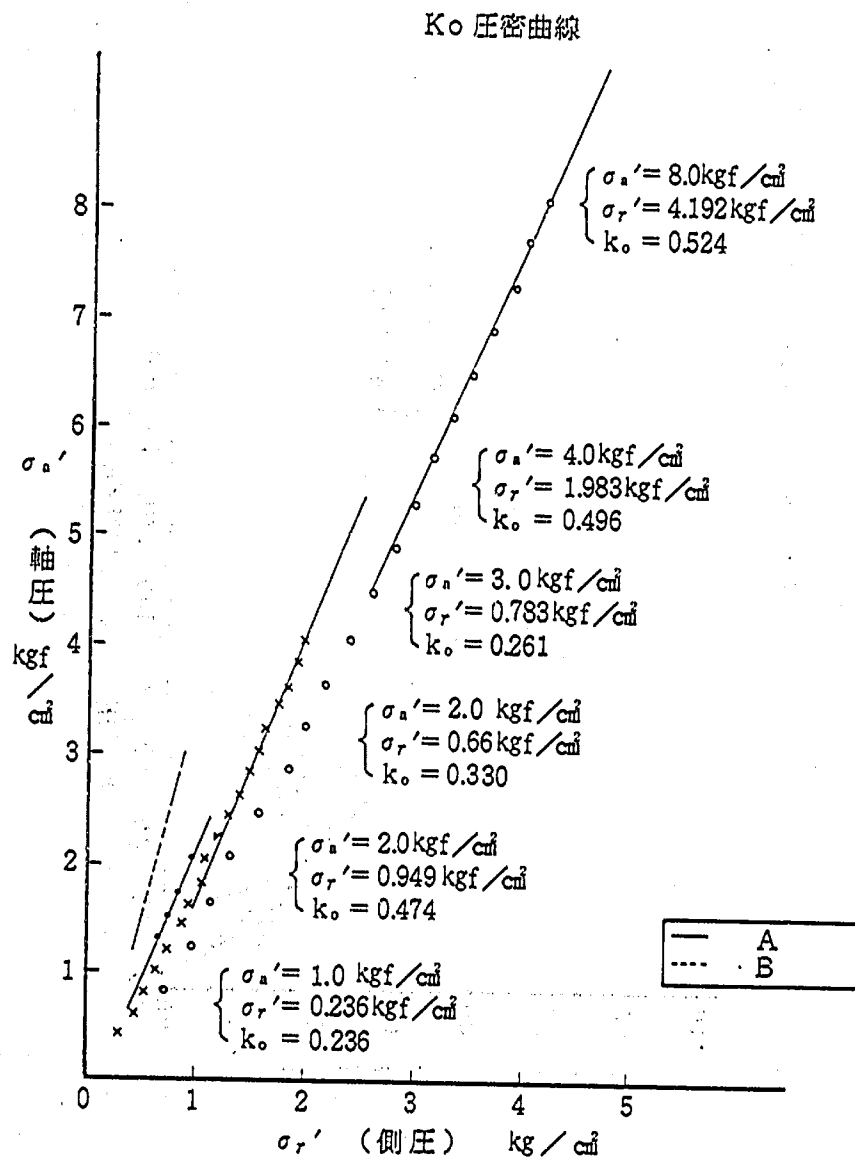


KoU 試験 (全応力のモール円)



KoU 試験 (有効応力のモール円)

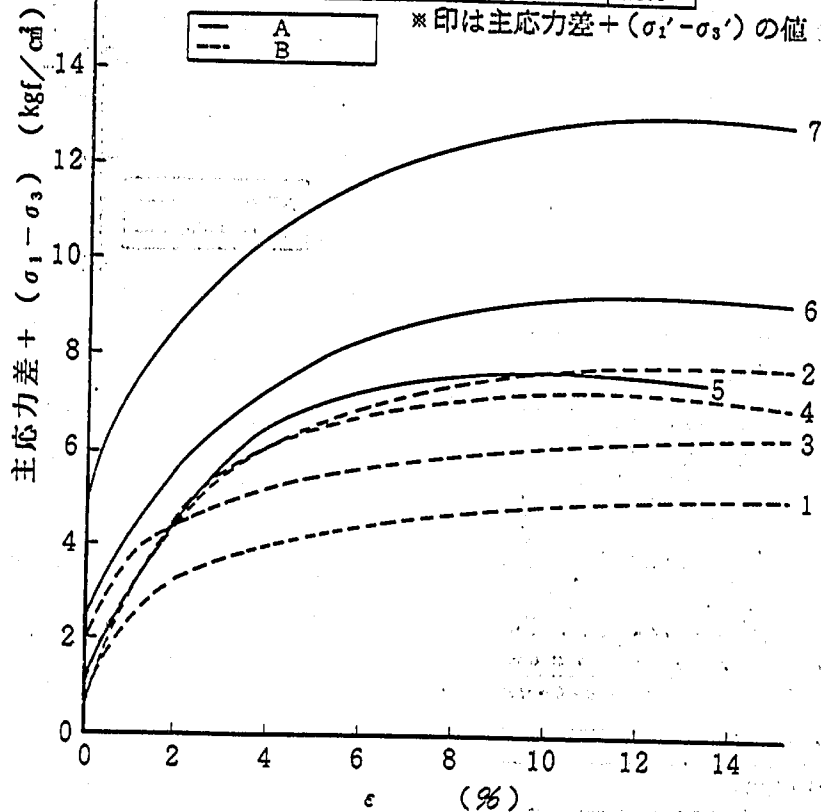




KoU 試験 $\epsilon \sim \sigma$ 曲線

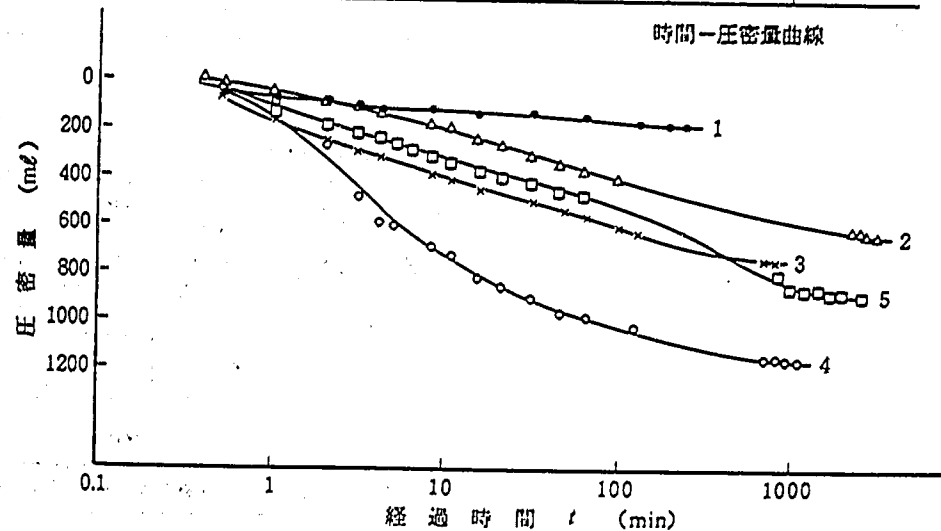
No.	σ_1 kgf/cm ²	σ_3 kgf/cm ²	K_0	ピーク時	
				ϵ^* (kgf/cm ²)	ϵ (%)
1	1.0	0.236	0.24	5.15	15.0
2	1.0	0.335	0.34	7.40	11.5
3	2.0	0.660	0.33	8.03	14.5
4	3.0	0.783	0.26	6.71	15.0
5	2.0	0.728	0.36	7.57	10.5
6	4.0	1.536	0.38	9.18	12.5
7	8.0	3.365	0.42	13.00	13.0

*印は主応力差 + ($\sigma_1' - \sigma_3'$) の値



三軸圧縮試験 (UU, CU, <u>CU</u> CD)		(初期状態) (圧密過程)		報告用紙 I				
調査名・調査地点		七ヶ宿ダムコア材料-A		試験年月日 年 月 日				
試料番号・深さ: No.		(m ~ m)		試験者				
試料の 一次性質	土質名称	試料の状態 又は 供試体の作製方法	$\rho_s = 2.0 \text{ t/m}^3$ にな るように8層に分 けランマーにて突 固める	試 機 番 号	No.			
	土粒子の比重 G_s			2.800	型 式			
	塑性限界 w_L %				圧密中の 排水条件	常圧 () 密 ()		
	液性限界 w_L %							
供試体番号			No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	
側 圧			σ_3 kgf/cm ²	1.0	2.0	3.0	1.0	3.0
初 期 状 態	高 さ L cm		79.7	79.8	79.8	80.0	80.0	
	直 径 D_0 cm		36.28	36.24	36.30	36.27	36.29	
	体 積 V_0 cm ³		82391.0	82313.0	82588.0	82668.0	82747.0	
	質 量 m_0 kg		181.8	184.0	181.5	185.37	186.0	
	湿 潤 密 度 ρ_t t/cm ³		2.206	2.235	2.198	2.242	2.248	
	含 水 比 w %		13.1	12.6	13.4	12.9	12.8	
	乾 燥 質 量 m_s kg		160.74	163.41	160.05	164.19	164.89	
	土粒子の体積 V_s cm ³		57408.0	58360.8	57181.0	58639.0	58890.0	
	空隙率 e_0		0.435	0.410	0.445	0.409	0.405	
	飽和度 S_{at} %		84.3	85.9	84.4	88.2	88.5	
圧 密 過 程	圧密時間 t_c min		210.0	840.0	1020.0	2880.0	2220.0	
	体積圧縮量 ΔV ml		250(200)	790(605)	1190(1220)	690(532)	920(938)	
	圧密後の空隙率 e_c		0.431(0.432)	0.397(0.399)	0.424(0.424)	0.397(0.400)	0.389(0.389)	
	室 温 $^{\circ}\text{C}$		() 内は体積ビューレットによる排水量					

時間-圧密度曲線



三軸圧縮試験 (UU, CU, CD) (軸圧縮過程)

保管用紙 II

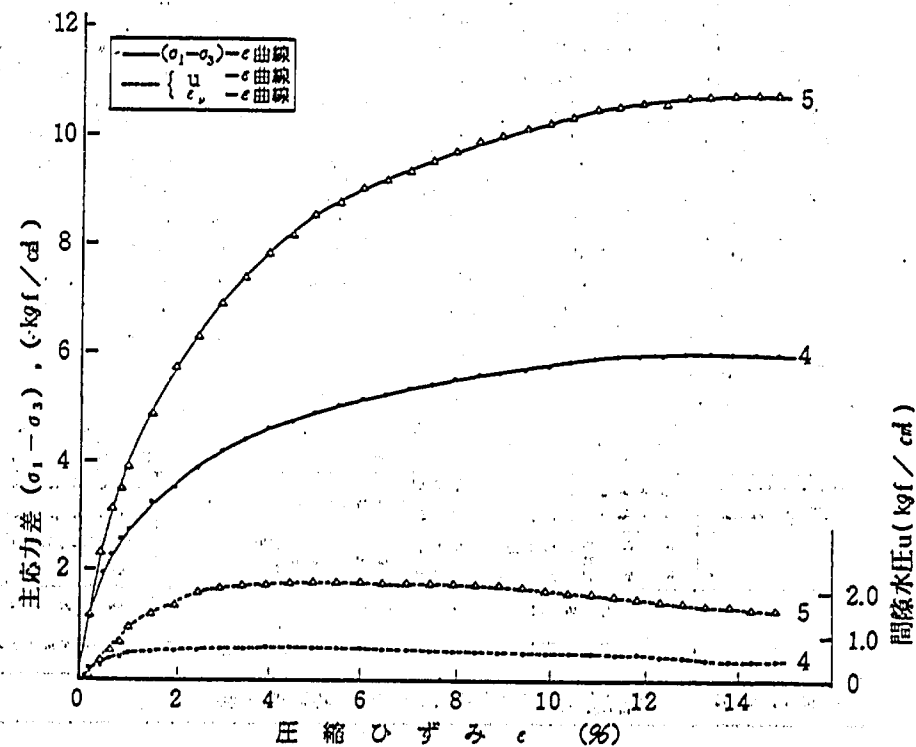
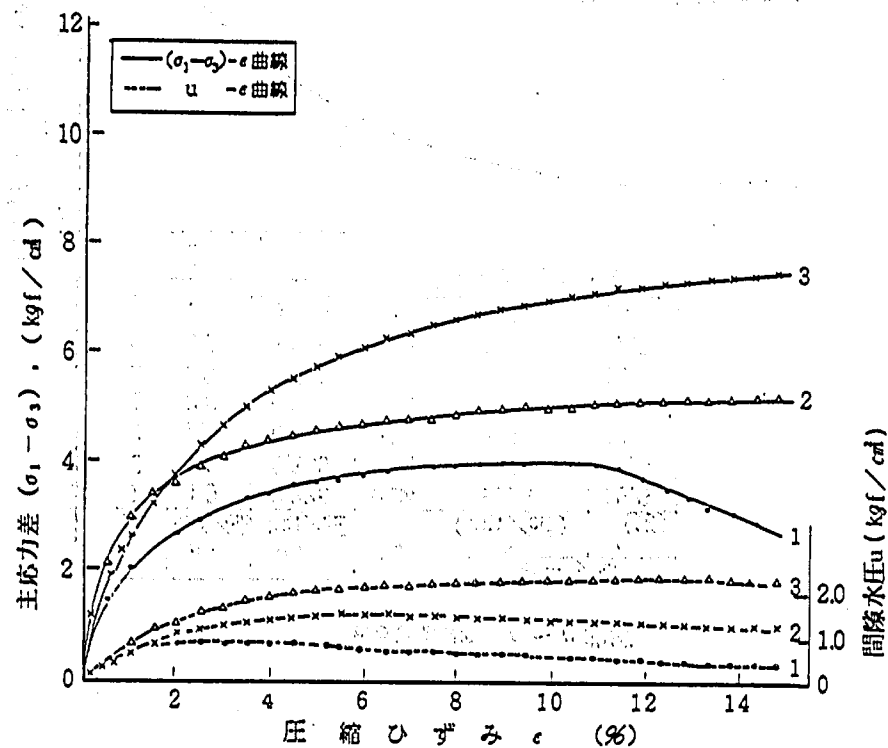
調査名・調査地点 セケ宿グムコア材料 A

試験年月日 年 月 日

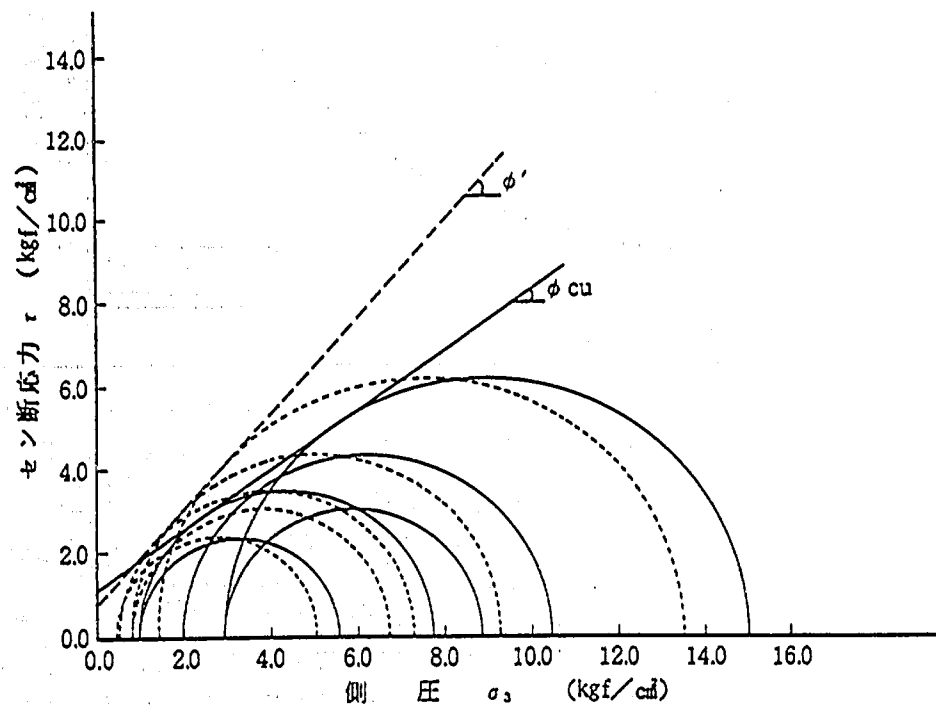
試料番号・深さ: No. (m ~ m)

試験者

軸圧縮方法	ひずみ制御, 応力調整, 荷重保持		力計ひょう量	35000 kgf				
軸圧縮速度	軸ひずみ速度 0.175% / min, 応力増加速度		kgf/cm ² / min	寒	温			
	試 験 体 番 号	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5		
	側 圧	kgf/cm ²	1.0	2.0	3.0	1.0	3.0	
主応力差ピーク時	主 応 力 差 ($\sigma_1 - \sigma_3$) _f		kgf/cm ²	4.07	7.48	5.20	5.96	10.68
	圧縮ひずみ ϵ_f		%	10.5	15.0	15.0	13.5	14.0
	CU	間隙水圧 u_f	kgf/cm ²	0.55	1.20	2.15	0.45	1.55
		間隙圧係数 A_f		0.138	0.18	0.41	0.08	0.14
	CD	間 隙 比 e_f						
	体積ひずみ ϵ_{vf}	%						
供 試 体 の 破 壊 状 況								



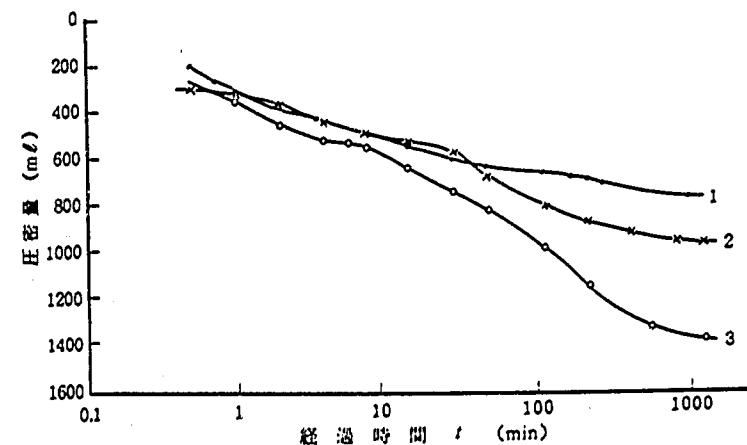
三軸圧縮試験 (CU, CU, CU , CD) (調圧一最大主応力系、常応力一せん断応力)		報告用紙 Ⅲ				
調査名・調査地点 <u>七ヶ宿ダムコア材料 A</u>		試験年月日 <u> </u> 年 <u> </u> 月 <u> </u> 日				
試験番号・深さ: No. <u> </u> (<u> </u> m - <u> </u> m)		試験者 <u> </u>				
強度規定数	応力範囲	c kgf/cm ²	ϕ 度	$\tan \phi$	c' kgf/cm ²	ϕ' 度
	正規圧常領域					
	過圧常領域	1.0	32.5	0.6371	0.70	45.0



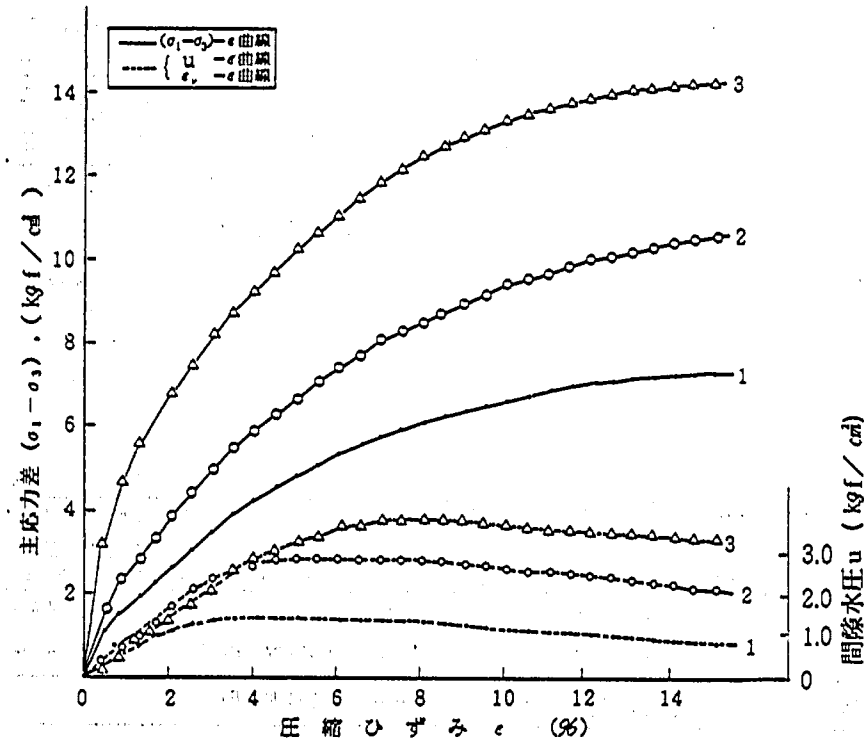
三軸圧縮試験 (UU・CU・ CB) (初期状態 圧密過程)		報告用紙 I	
調査名・調査地点		七ヶ宿ダムコア材料 B	
試験年月日		年 月 日	
試料番号・深さ: No.		(m ~ m) 試験者	

試料の 一次作質	土質名称	標準砂質粘土	試料の状態 又は 供試体の作製方法	所定密度に突固め て作製する	試験番号 No.	型式
	■土粒子の比重 G_s	2.80			圧密中の 排水条件	片側 (側面) Free drainage (側面)
	■液性限界 w_L %					
	■塑性限界 w_p %					

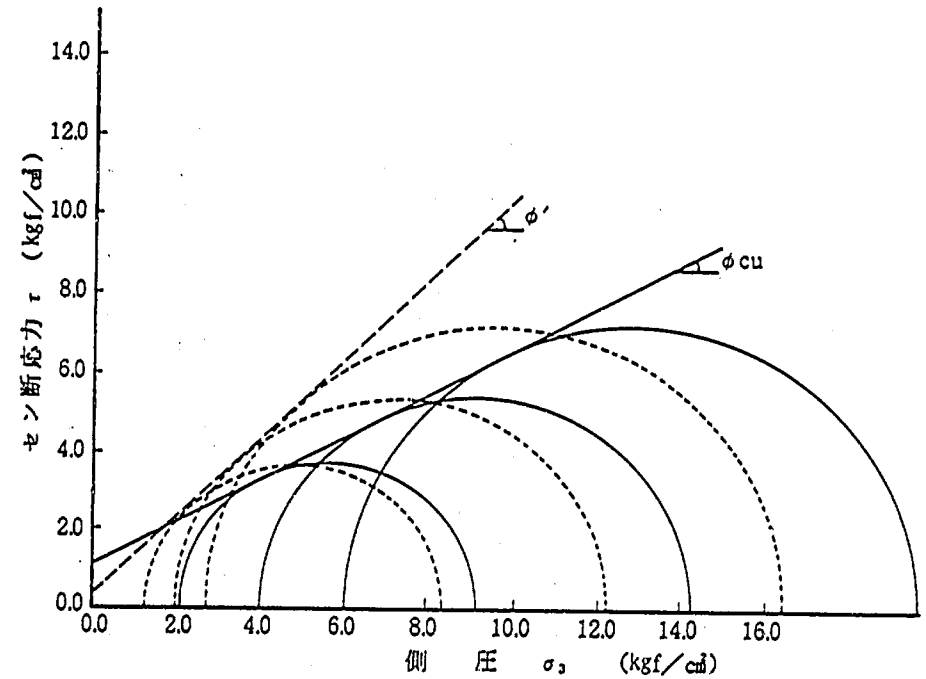
供試体番号		No. 1	No. 2	No. 3	No.	No.
割 花		2.0	4.0	6.0		
初 期 状 態 試 験	高さ L_0 cm	79.6	79.6	79.6		
	直径 D_0 cm	38.6	38.5	38.6		
	体積 V_0 cm ³	83746.4	83209.4	83746.0		
	質量 m_0 kg	185.0	184.8	185.2		
	湿潤密度 ρ_0 g/cm ³	2.209	2.219	2.209		
	含水比 w_0 %	11.8	13.3	12.3		
	乾燥質量 m_s kg	185.47	183.11	185.92		
	■土粒子の体積 V_s cm ³	59098.0	58252.0	58898.0		
	■空隙比 e_0	0.417	0.430	0.423		
	■孔隙率 S_{v0} %	79.2	86.6	81.4		
圧 密 過 程	圧密時間 t_c min	600	1280	1320		
	体積圧縮量 ΔV ml	1060 (508)	2440 (763)	3050 (1220)		
	■圧密後の空隙比 e_c	0.399 (0.408)	0.388 (0.417)	0.371 (0.402)		
室温 T °C		() 内は内体観ビューレットによる排水量				



三軸圧縮試験 (UU, CU, CD) (軸圧縮過程)				報告用紙 II
調査名・調査地点	七ヶ宿ダムコア材料 B			試験年月日 年 月 日
試料番号・深さ: No.	(m ~ m)			試験者
軸圧縮方法	ひずみ制御, 応力制御, 両者併用			力計ひょう量 kgf
軸圧縮速度	軸ひずみ速度 %/min	応力増加速度 kgf/cm ² /min	室温	℃
試験体番号	No. 1	No. 2	No. 3	No.
側圧	σ_2 kgf/cm ²	2.0	4.0	8.0
主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ kgf/cm ²	7.26	10.58	14.18	
圧縮ひずみ ϵ_f %	15.0	15.0	14.5	
CU 間隙水圧 u_f kgf/cm ²	0.82	2.09	3.33	
間隙圧係数 A_f	0.41	0.523	0.555	
CD 間隙比 e_f				
体積ひずみ ϵ_{vf} %				
試験体の破壊状況				

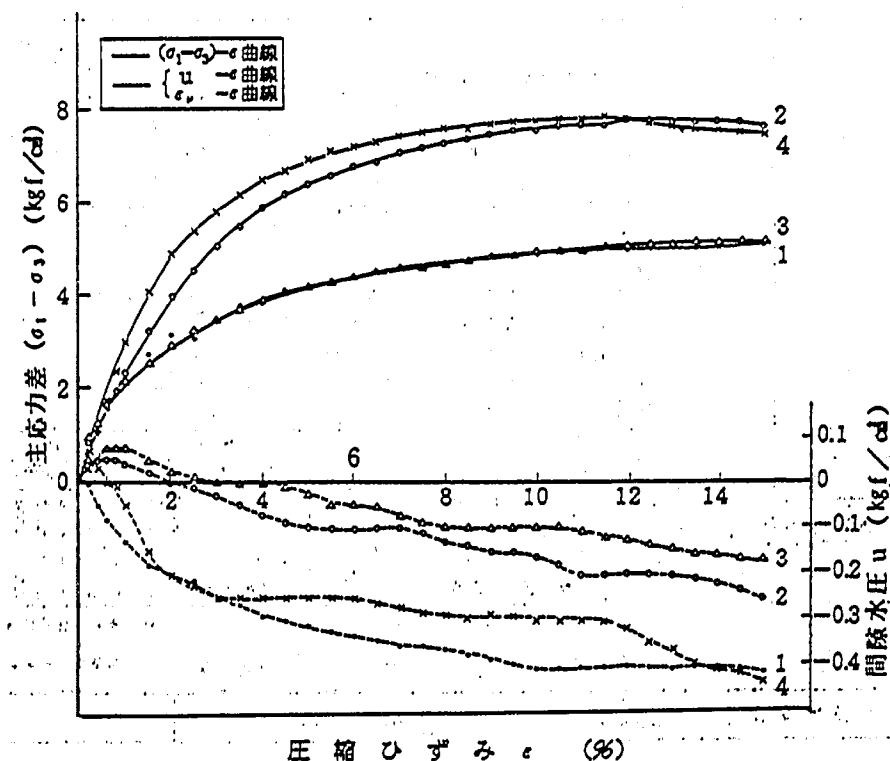


三軸圧縮試験 (UU, CU, CD) (間圧 - 最大主応力, 平均応力 - セン断応力)				報告用紙 III
調査名・調査地点	七ヶ宿ダムコア材料 B			試験年月日 年 月 日
試料番号・深さ: No.	(m ~ m)			試験者
応力範囲	c_{cu} kgf/cm ²	ϕ_{cu} 度	$\tan \phi$	c' kgf/cm ²
正規圧密領域	1.15	27.5	0.5208	0.47
過圧密領域				44.0

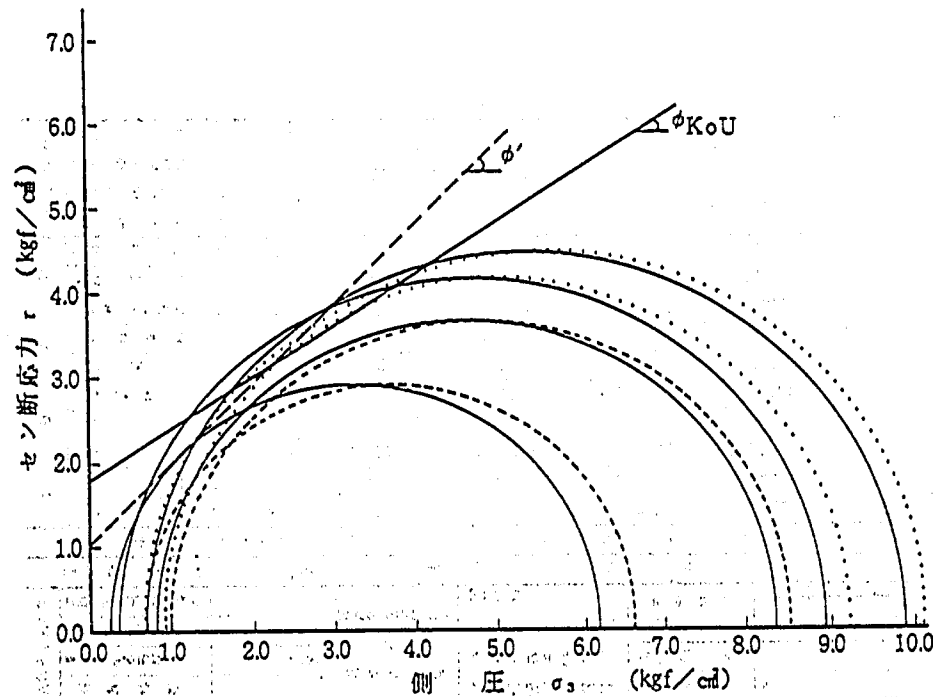


三軸圧縮試験 (K.U)				(初期状態) 圧密過程	報告用紙 I
調査名・調査地点 七ヶ宿ダムコア材料 B				試験年月日 年 月 日	
試料番号・深さ: No. (m - m)				試験者	
土質名称		試料の状態	$\rho_s = 2.0t/m^3$ になるように8層に分けてサンマーにて採取する	試験番号 No.	
固土粒子の比重 G_s	2.80	Xは:		試験機	
固相性: 固: 軟 %		供試体の作製方法		圧密中の排水条件	
固相性: 固: 軟 %					
供試体番号	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No.
側圧 σ_3 (kgf/cm ²)	1.0	2.0	3.0	1.0	
高さ L_0 (cm)	79.8	79.8	79.7	79.8	
直径 D_0 (cm)	38.30	38.29	38.27	38.28	
体積 V_0 (cm ³)	82379.1	82333.7	82346.0	82197.7	
質量 m_0 (g)	184.3	185.2	184.30	184.61	
飽和密度 ρ_s (g/cm ³)	2.237	2.249	2.238	2.246	
含水比 w_0 (%)	12.28	12.06	11.92	12.20	
乾燥質量 m_s (g)	164.17	165.27	164.67	164.54	
固土粒子の体積 V_s (cm ³)	58633.0	59024.5	58774.4	58763.0	
空隙率 e_0	0.405	0.395	0.400	0.399	
空隙和度 S_{w0} (%)	84.78	85.5	83.4	85.7	
圧密時間 t (min)					
体積圧縮量 ΔV (cm ³)					
圧密後の空隙率 e					
室温 T (°C)					

三軸圧縮試験 (K.U)				(軸圧縮過程)	報告用紙 II
調査名・調査地点 七ヶ宿ダムコア材料 B				試験年月日 年 月 日	
試料番号・深さ: No. (m - m)				試験者	
軸圧縮方法	ひずみ制御, 主応力制御, 側力制御			力計ひずみ器	35000 kgf
軸圧縮速度	軸ひずみ速度 0.175 %/min, 主応力増加速度			温度	°C
供試体番号	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No.
側圧 σ_3 (kgf/cm ²)	10.238	0.680	0.783	0.335	
主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ (kgf/cm ²)	5.1+0.764	8.03+1.34	8.71+2.22	7.40+0.685	
圧縮ひずみ ϵ_f (%)	15.0	14.5	15.0	11.5	
CU 間隙水圧 u_f (kgf/cm ²)	-0.41	-0.23	-0.17	-0.30	
CD 間隙水圧係数 A_f	-1.74	-0.35	-0.22	-0.898	
間隙比 e_f					
体積ひずみ ϵ_v (%)					
供試体の破壊状況					

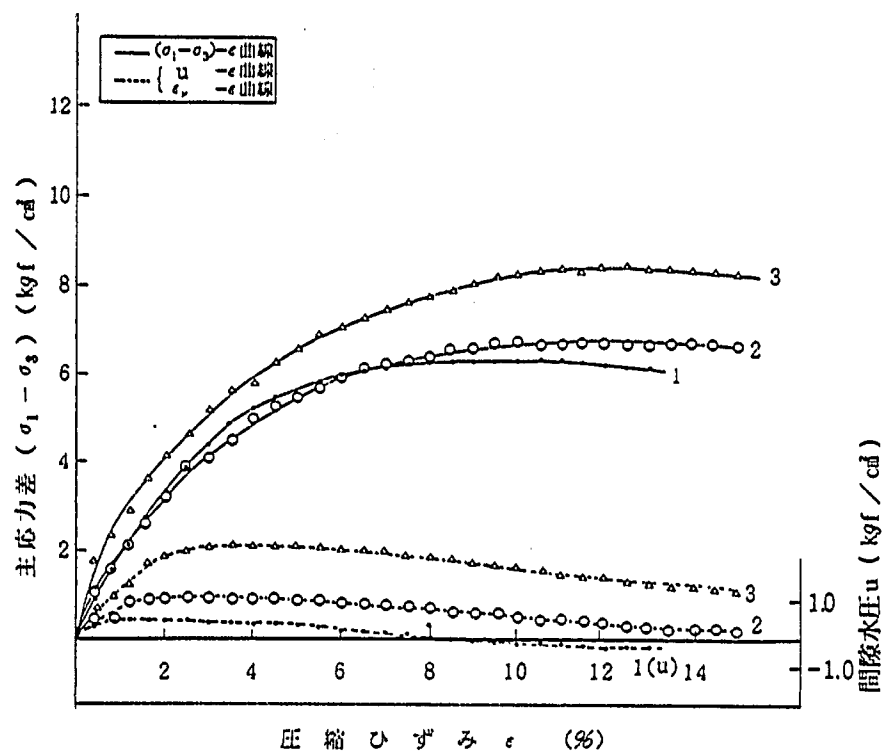


三軸圧縮試験 (K ₀ U)		(側圧 = 最大主応力) (垂直応力 = せん断応力)	報告用紙 III
調査名・調査地点	七ヶ宿ダムコア材料 B		試験年月日 年 月 日
試料番号・深さ: No.	(m ~ m)		試験者
側圧定数	応力範囲	c kgf/cm ²	φ 度
	正圧範囲		
	過圧範囲	1.75	33.0
		0.6494	45.0

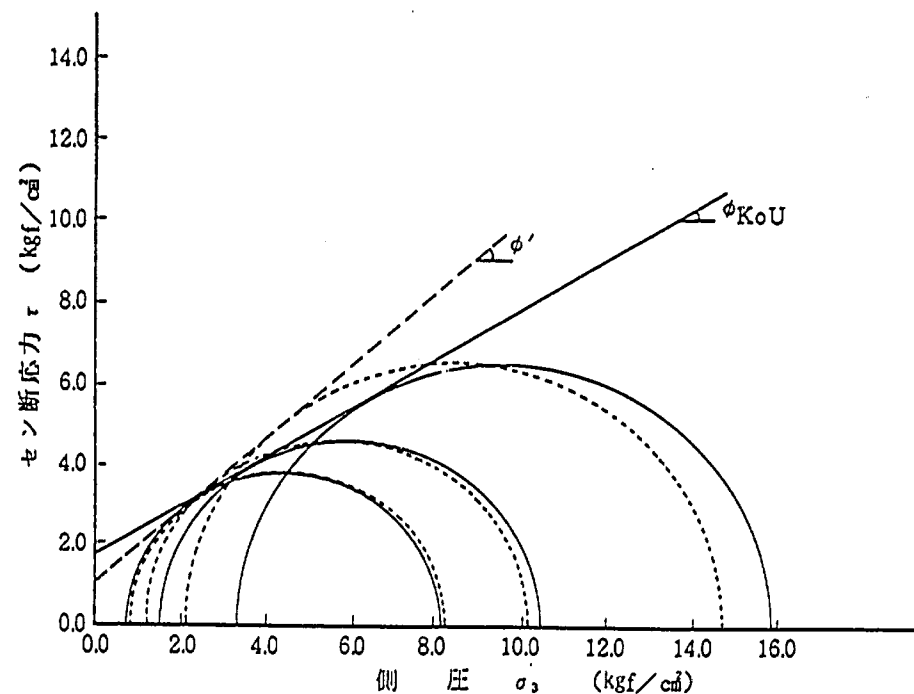


三軸圧縮試験 (K ₀ U)		(初期状態) (圧密過程)	報告用紙 I
調査名・調査地点	七ヶ宿ダムコア材料 B		試験年月日 年 月 日
試料番号・深さ: No.	(m ~ m)		試験者
試料の土質名称	風化残留土	試料の性状	所定の密度になるように8層に分けてランマーで突固め作製する
土粒子の比重 G _s	2.697	又は	
塑性限界 w _p %		供試体の作製方法	
液性限界 w _L %			
供試体番号	No. 1	No. 2	No. 3
側圧 σ₃ kgf/cm ²	2.0	4.0	8.0
高さ L ₀ cm	79.7	80.1	79.8
直径 D ₀ cm	38.5	38.5	38.4
体積 V ₀ cm ³	83394.1	83812.0	83145.8
質量 m ₀ kg	184.9	185.2	184.7
湿潤密度 ρ ₀ g/cm ³	2.228	2.210	2.221
含水比 w ₀ %	12.8	12.7	12.2
乾燥質量 m _d kg	163.941	164.330	164.818
土粒子の体積 V _s cm ³	58550.5	58689.3	58791.8
間隙比 e ₀	0.419	0.428	0.414
飽和度 S _{rs} %	85.53	83.08	82.51
圧密時間 t _c min			
体積圧縮量 ΔV ml			
圧密後の間隙比 e _c			
温度 t _c °C			

三軸圧縮試験 (K _o U)		(軸圧縮過程)	報告用紙 II
調査名・調査地点	七ヶ宿ダムコア材料 B		試験年月日 年 月 日
試料番号・深さ: No.	(m ~ m)		試験者
軸圧縮方法	(ひずみ制御) 圧力制御 両方併用		力計ひょう量 35000 kgf
軸圧縮速度	軸ひずみ速度 0.175 %/min, 圧力増加速度		℃
供試体番号	No. 1	No. 2	No. 3
側圧 σ_3 (kgf/cm ²)	0.728	1.538	3.365
主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ (kgf/cm ²)	6.30	6.72	8.36
圧縮ひずみ ϵ_f (%)	10.5	12.5	13.0
間隙水圧 u_f (kgf/cm ²)	-0.11	0.32	1.21
間隙圧係数 A_f	-0.017	0.048	0.145
軸圧 σ_1' (kg/cm ²)	2.0	4.0	8.0
$\sigma_1' - \sigma_3'$ (kg/cm ²)	1.272	2.464	4.635
主応力差 $(\sigma_1' - \sigma_3')$ (kg/cm ²)	7.572	9.184	12.955
→強度密度を求める値			
供試体の破壊状況			



三軸圧縮試験 (K _o U)		(側圧 - 最大主応力系)	報告用紙 III
調査名・調査地点	七ヶ宿ダムコア材料 B		試験年月日 年 月 日
試料番号・深さ: No.	(m ~ m)		試験者
側圧 σ_3 (kgf/cm ²)	ϕ (度)	$\tan \phi$	c' (kgf/cm ²)
正圧密領域	1.75	30.0	0.5774
過圧密領域			1.05
			41.2



I. 2 寒河江ダムコア材料

寒河江ダム遮水材料

1) 圧密非排水 (CU) 試験結果

	供試体 No	湿潤密度 ρ_t (t/m^3)	含水比 W (%)	乾燥密度 ρ_d (t/m^3)	間隙比 e	有効軸圧 σ_3 (kgf/cm^2)	ピーク時		
							主応力差 $\sigma_1 - \sigma_3$ (kgf/cm^2)	圧縮 ヒズミ ϵ (%)	間隙水圧 u (kgf/cm^2)
A	1	2.218	14.4	1.939	0.391	1.0	7.70	10.5	0.21
	2	2.219	13.5	1.955	0.379	2.0	12.59	13.0	0.04
	3	2.208	13.3	1.949	0.384	3.0	14.53	13.5	0.25
B	4	2.217	13.2	1.959	0.377	2.0	6.88	13.5	1.32
	5	2.209	13.7	1.942	0.389	4.0	9.92	14.5	2.69
	6	2.209	13.6	1.945	0.387	6.0	12.80	14.5	4.02

注) 土粒子の比重 $G_s = 2.697$

強度定数

内部摩擦角 $\phi_{cu} = 25.0^\circ$
 $\phi' = 43.5^\circ$
 粘着力 $C_{cu} = 1.28 \text{ kgf/cm}^2$
 $C' = 0.90 \text{ kgf/cm}^2$

2) Ko 圧密非排水 (KoU) 試験結果

	供試体 No	湿潤密度 ρ_t (t/m^3)	含水比 W (%)	乾燥密度 ρ_d (t/m^3)	間隙比 e	有効軸圧 σ_a' (kgf/cm^2)	有効側圧 σ_r' (kgf/cm^2)
A	1	2.215	12.9	1.961	0.375	1.0	0.33
	2	2.219	13.7	1.951	0.382	2.0	0.75
	3	2.220	13.1	1.969	0.384	3.0	0.76
B	4	2.209	14.0	1.937	0.392	2.0	(1.06) (1.85)
	5	2.203	13.8	1.936	0.393	4.0	(1.788) (1.147)
	6	2.217	14.0	1.945	0.387	8.0	(3.912) (4.070)

				K o 圧密終了後の三軸圧縮の部			
	供 試 体 No	K o 値 K o	$\sigma_a' - \sigma_r' \textcircled{1}$ (kgf/cm ²)	軸圧縮によるピーク時			
				主応力差 $\textcircled{2}$ (kgf/cm ²)	$\textcircled{1} + \textcircled{2}$ (kgf/cm ²)	圧縮ヒズミ ϵ (%)	間隙水圧 u (kgf/cm ²)
A	1	0.330	0.67	7.40	8.07	11.0	-0.89
	2	0.375	1.25	8.23	9.48	10.5	-0.89
	3	0.253	2.24	8.26	10.50	10.0	-0.66
B	4	(0.53) (0.925)	0.15	6.40	6.55	13.5	1.51
	5	(0.447) (0.287)	2.853	3.80	6.653	13.0	0.57
	6	(0.489) (0.509)	3.93	5.70	9.63	14.5	2.78

() 内の数値は K o 圧密終了時の値

() 内の数値は三軸セン断開始時の値

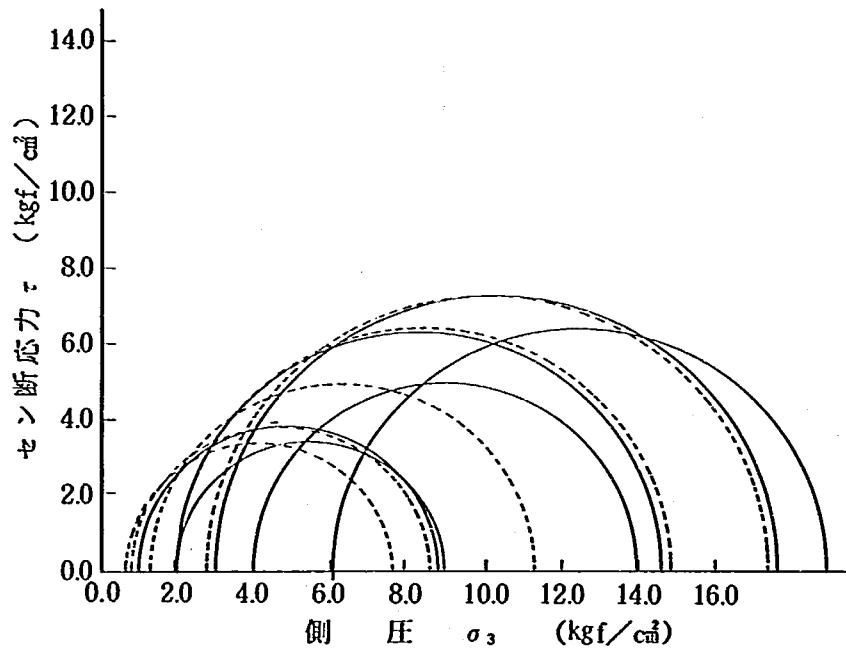
注) 土粒子の比重 $G_s = 2.697$

KoU 三軸圧縮強度定数

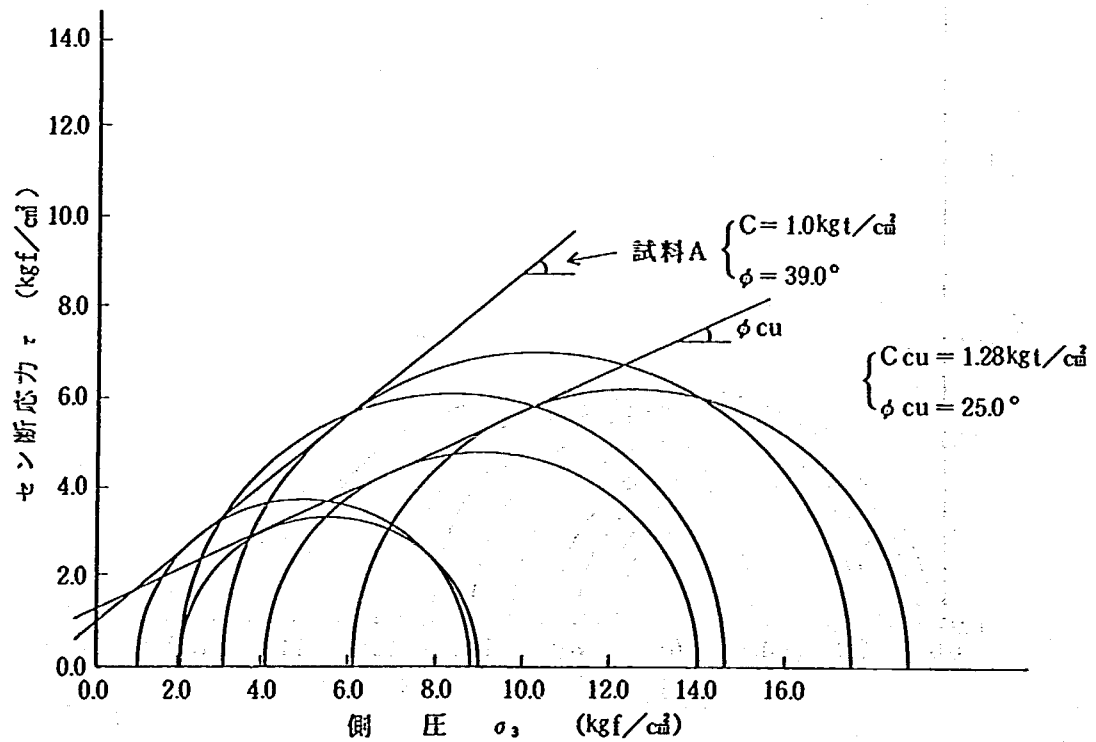
内部摩擦角 $\phi_{KoU} = 22.5^\circ$
 $\phi' = 38.0^\circ$

粘着力 $C_{KoU} = 1.55 \text{ kgf/cm}^2$
 $C' = 1.35 \text{ kgf/cm}^2$

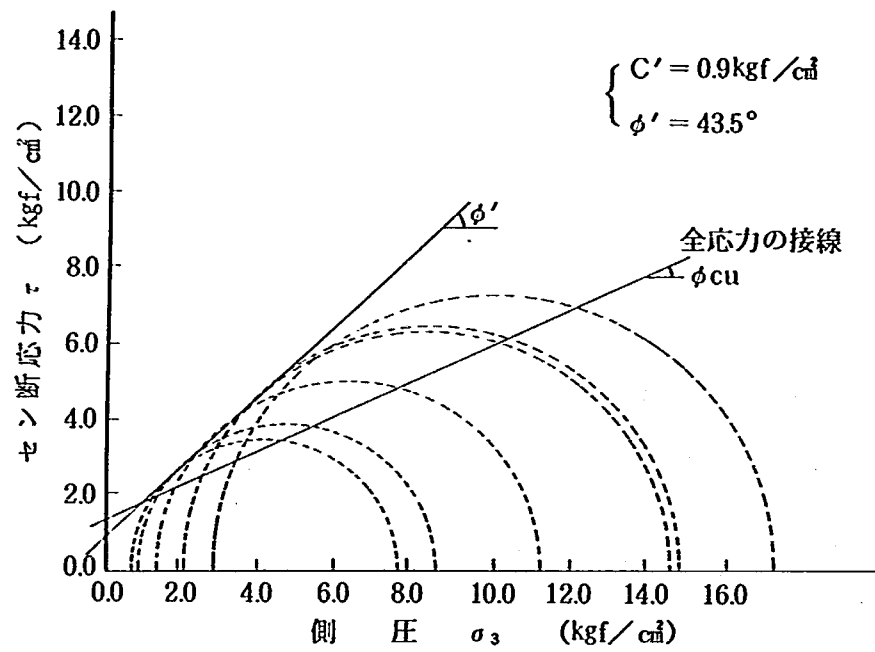
CU試験



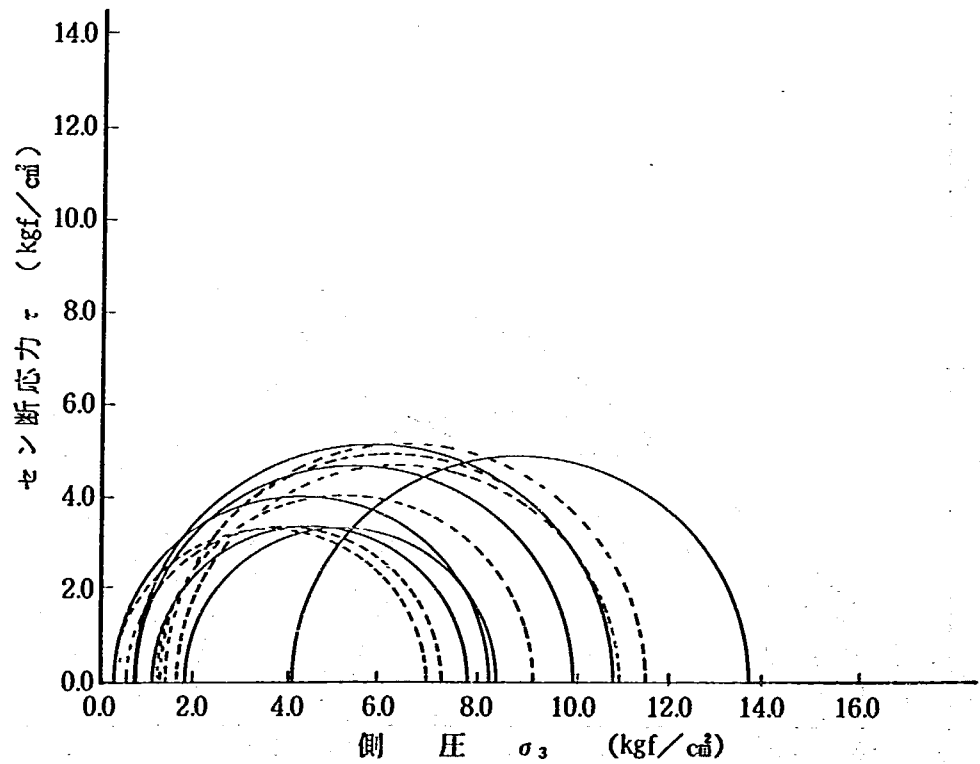
CU試験 (全応力のモールの円)



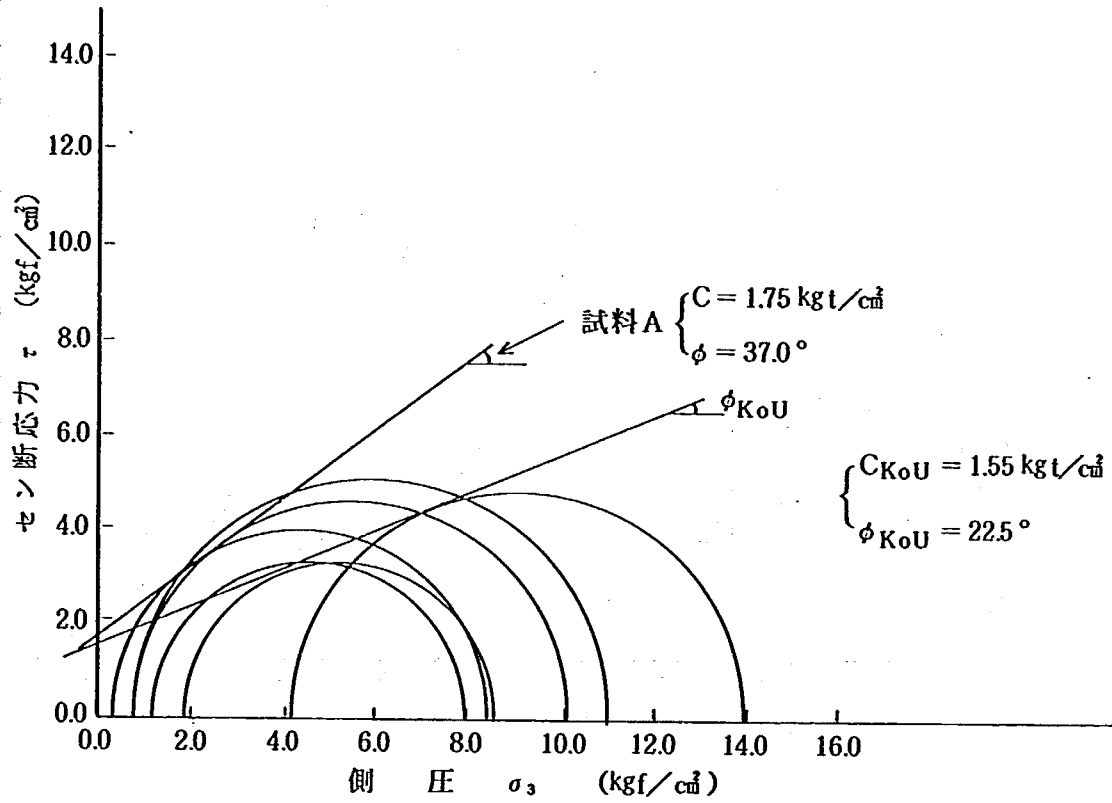
CU試験(有効応力のモールの円)



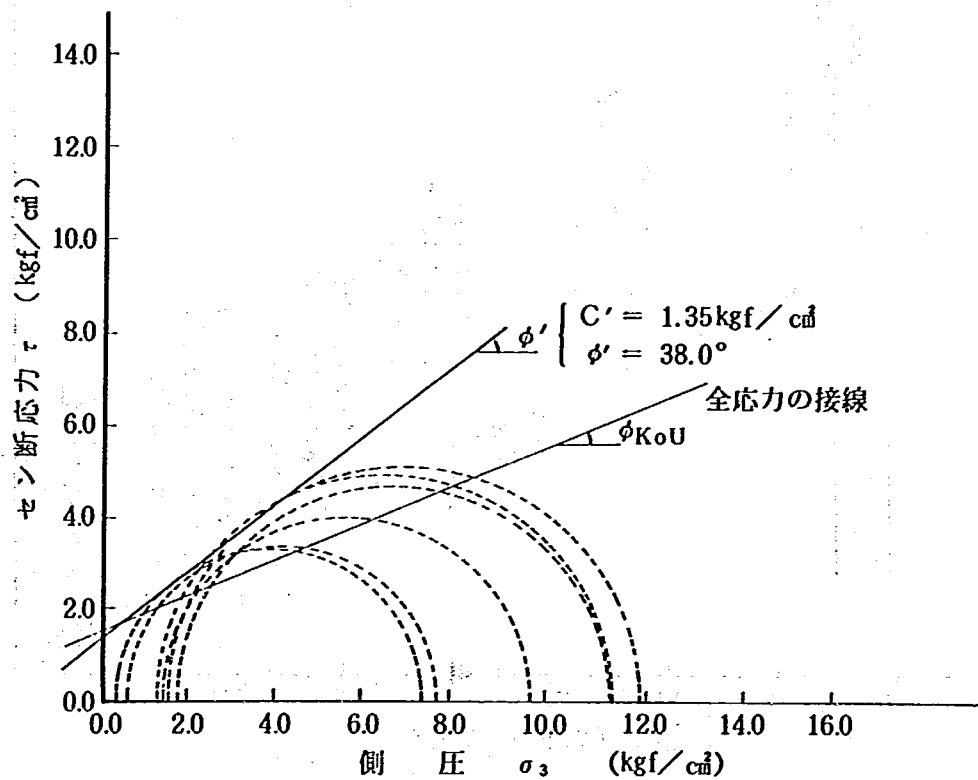
KoU試験



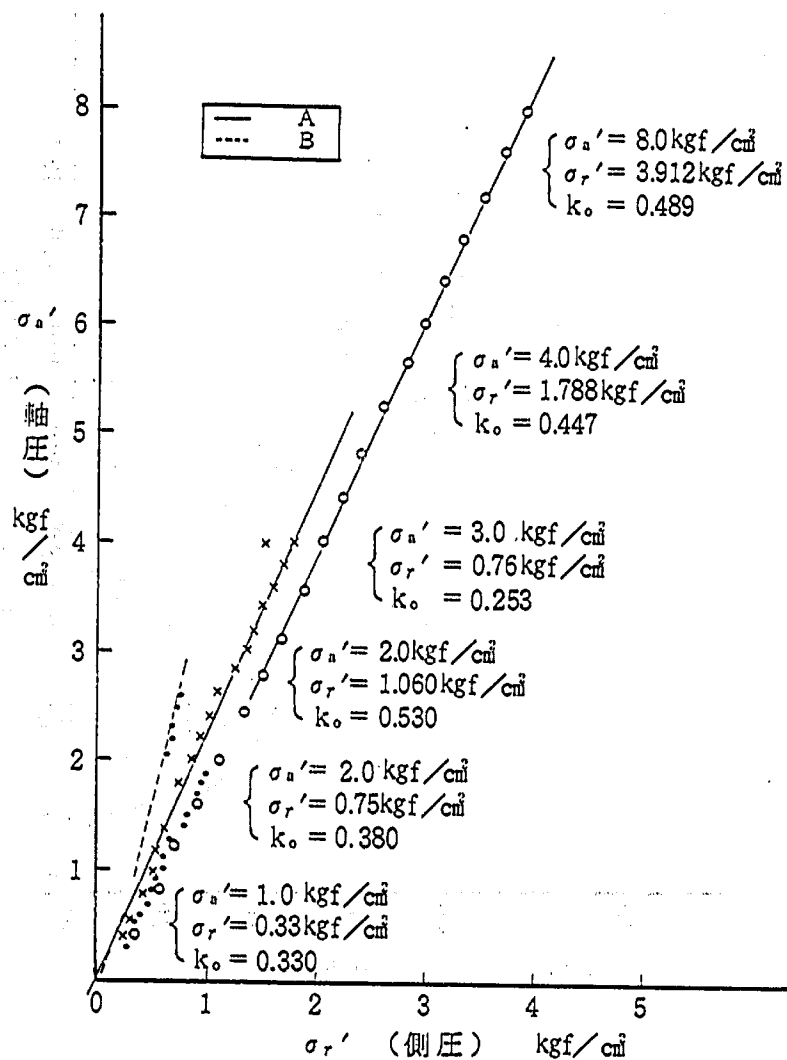
KoU 試験 (全応力のモール円)



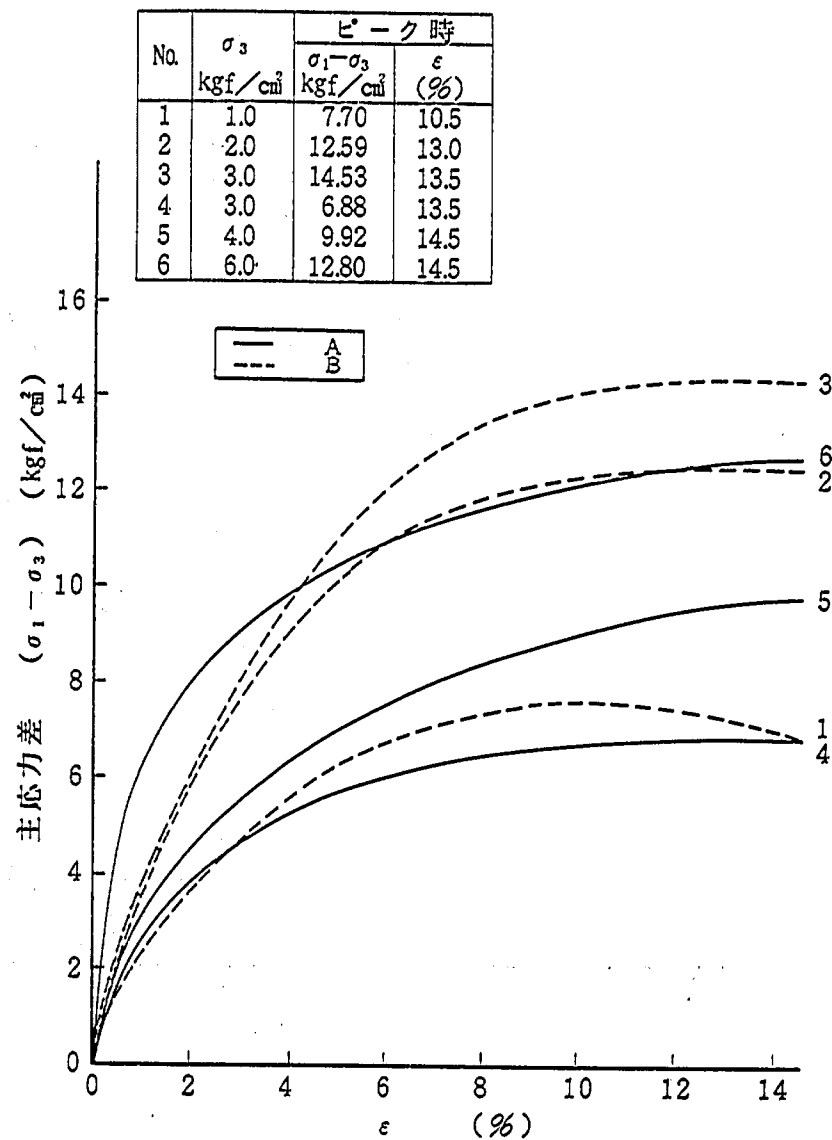
KoU 試験 (有効応力のモール円)



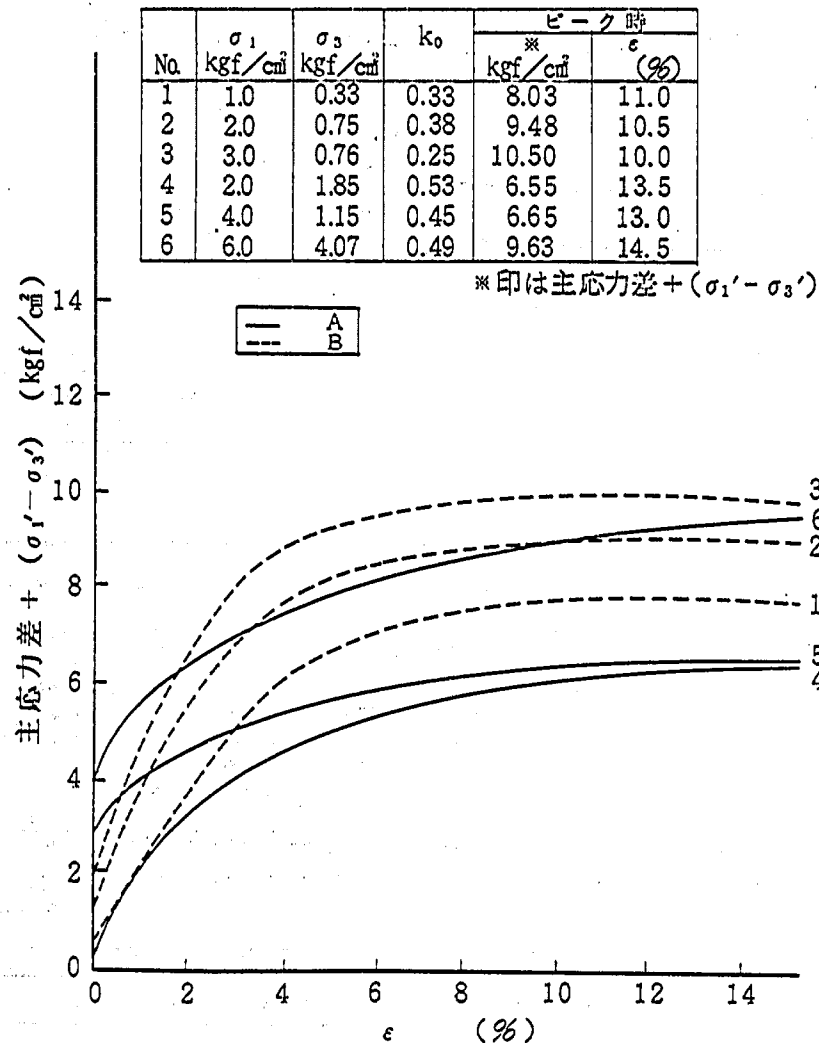
Ko 圧密曲線



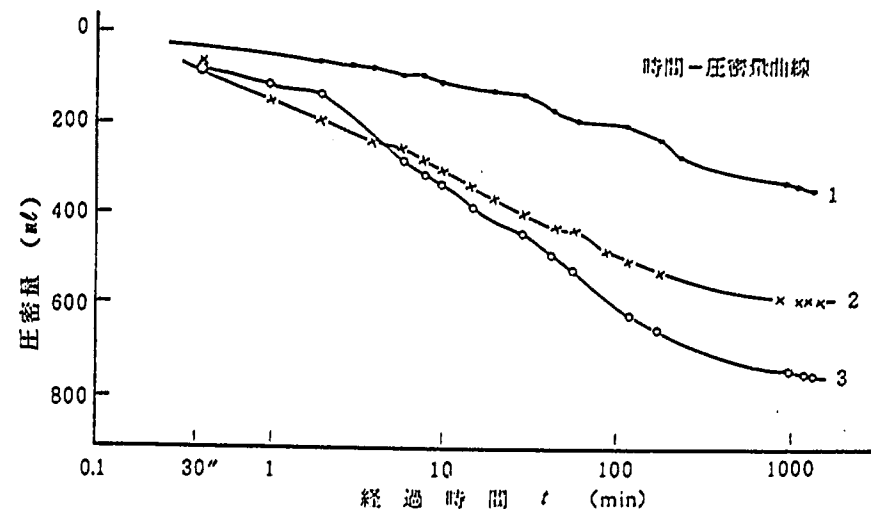
CU試験 $\epsilon \sim \sigma$ 曲線



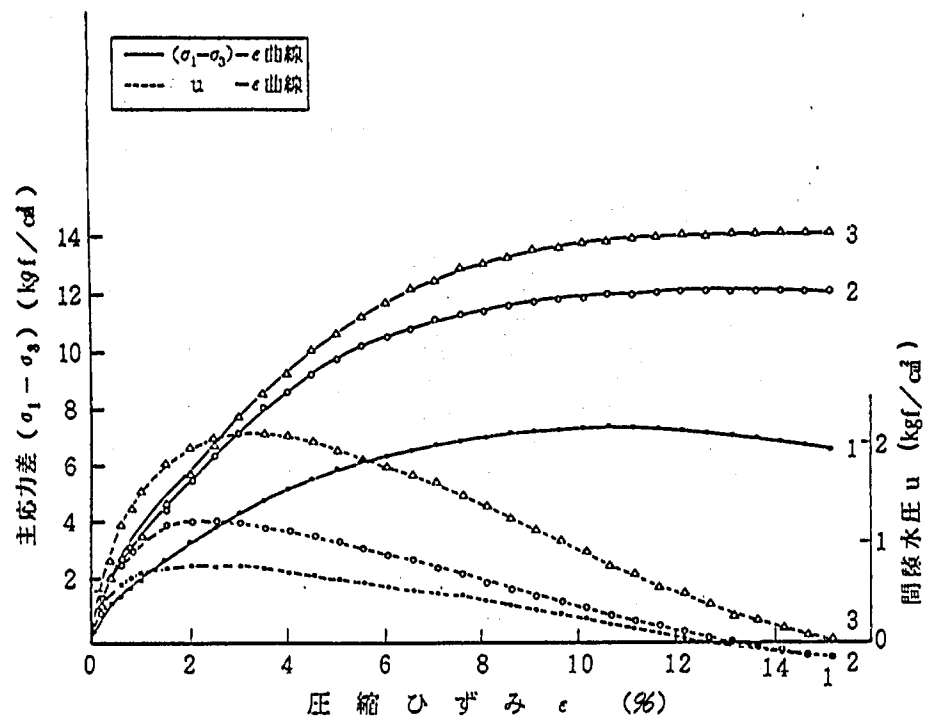
KoU試験 $\varepsilon \sim \sigma$ 曲線



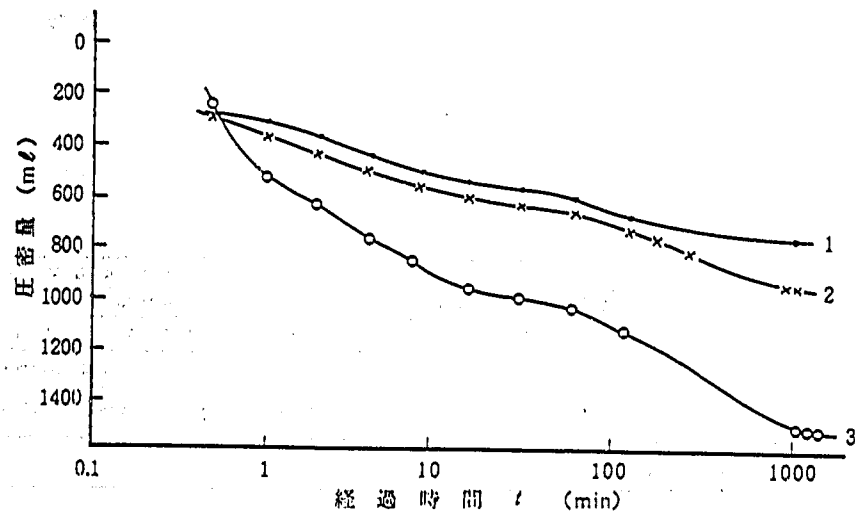
三軸圧縮試験 (UU, CU, CD) (初期状態) (圧密過程)				報告用紙 I	
調査名・調査地点		寒河江ゴムコア材料 A		試験年月日	
試験番号・深さ: No.		(m ~ m)		試験者	
試験の 土質名	土質名	試験の 状態 又は 供試体の作製方法	$\rho_s = 1.95 \text{ t/m}^3$ にな るように8層に分 けランマーにて突 固める	試験 機 型 式	No.
	土質の比重量 G_s				
	液性限界 w_L %				
	塑性限界 w_p %				
供試体番号		No. 1	No. 2	No. 3	No.
初 期	側圧 σ_3 kgf/cm ²	1.0	2.0	3.0	
	高さ L_0 cm	79.7	79.8	79.6	
	直径 D_0 cm	38.31	38.30	38.3	
	体積 V_0 cm ³	82528.0	82379.0	82379.0	
開 始	質量 m_0 kg	183.08	182.80	181.90	
	湿潤密度 ρ_i g/cm ³	2.218	2.219	2.208	
	含水比 w_0 %	14.4	13.6	13.3	
	乾燥質量 m_s kg	160.03	161.08	160.55	
型 式	土粒子の体積 V_s cm ³	59338.14	59717.19	59528.1	
	空隙比 e_0	0.391	0.379	0.384	
	孔隙度 S_{v0} %	99.4	95.9	93.4	
	圧密時間 t_c min	1380.0	1440.0	1320.0	
圧 密 過 程	体積圧縮量 ΔV ml	370.0(336.0)	800.0(568.0)	750.0(691.0)	
	圧密後の空隙比 e_c	0.385(0.385)	0.369(0.370)	0.371(0.372)	
	室温 $^{\circ}\text{C}$	() 内は内体積ピュレットによる排水量			



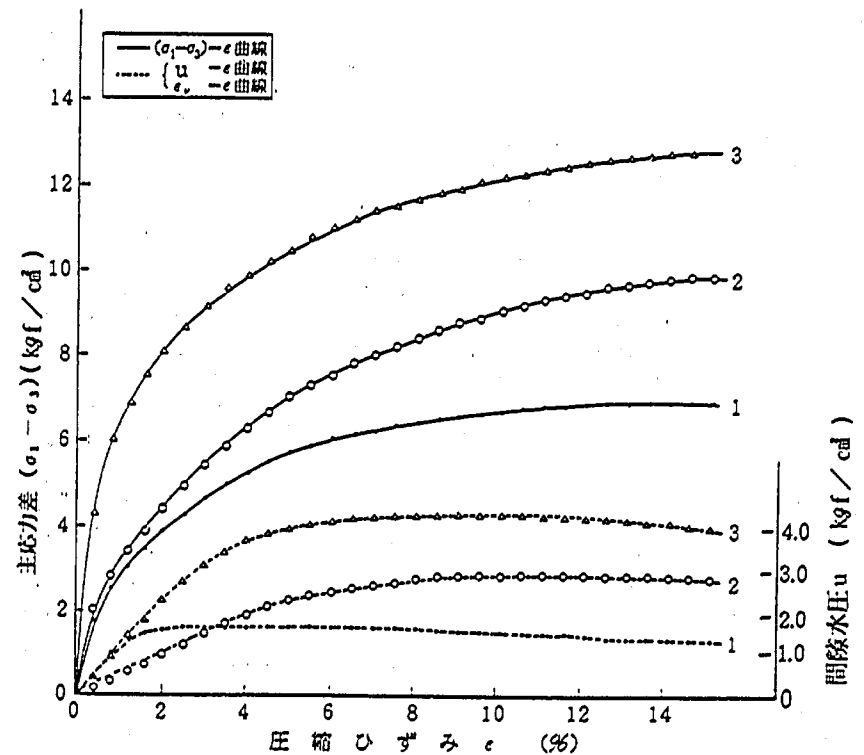
三軸圧縮試験 (UU, CU, CD) (軸圧縮過程)				報告用紙 II
調査名・調査地点 寒河江ダムコア材料 A		試験年月日 年 月 日		
試料番号・径さ: No. (m)		試験者		
軸圧縮方法 ひずみ制御, 応力制御, 両者併用		力計ひょう量	35000 kgf	
軸圧縮速度 軸ひずみ速度 0.175 %/min, 軸圧縮速度		室温	℃	
供試体番号		No. 1	No. 2	No. 3
主応力差ピーク時	主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ kgf/cm ²	1.0	2.0	3.0
	圧縮ひずみ ϵ_f %	7.70	12.59	14.53
	間隙水圧 u_f kgf/cm ²	0.21	0.04	0.26
	間隙圧係数 A_f	0.027	0.003	0.018
	間隙比 e_f			
供試体の破壊状況				



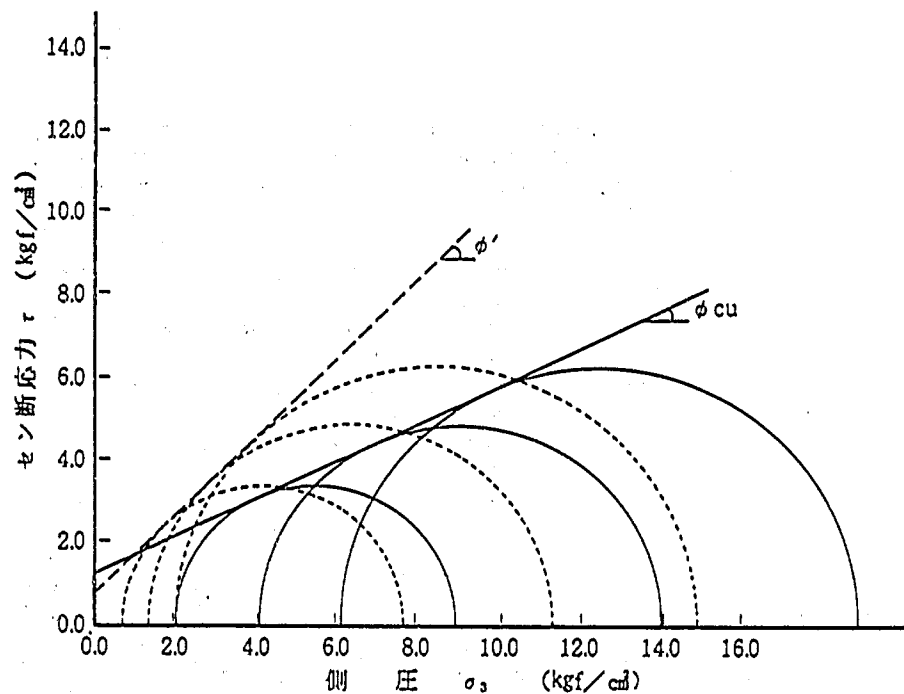
三軸圧縮試験 (CU, CC, CU, CD) (初期状態)				報告用紙 I	
調査名・調査地点 寒河江ダムコア材料 B				試験年月日 年 月 日	
試験番号・深さ: No (m ~ m)				試験者	
土質名称	風化残留土	試験の状態	所定の密度になるように8層に分けてランマーで突固め作製する	試験機	No
主応力の比値 G	2.697	又は		圧室中の排水条件	
含水比限界 w_L %		供試体の作製方法		片側、両側	
液性限界 w_P %				・・・・・ドレーン併用	
供試体番号	No 1	No 2	No 3	No	No
間隙比 e_0 kgf/cm ²	2.0	4.0	8.0		
高さ S cm	79.7	79.7	79.9		
直径 D_0 cm	36.5	36.6	36.5		
体積 V_0 cm ³	83394.0	83851.0	83603.3		
質量 m_0 kg	184.9	185.2	184.7		
密度 ρ_0 g/cm ³	2.217	2.209	2.209		
含水比 w_0 %	13.2	13.7	13.6		
乾燥質量 m_s kg	163.339	162.885	162.590		
土粒子の体積 V_s cm ³	80583.3	60394.8	60280.0		
間隙比 e_0	0.377	0.389	0.387		
飽和度 S_r %	94.43	94.98	94.78		
圧密時間 t_c min	20h	20h	28h		
体積圧縮量 ΔV ml	700(647)	1210(820)	1720(1225)		
圧密体の間隙比 e_c	0.365(0.366)	0.369(0.375)	0.358(0.367)		
温度 T °C	() 値はピュレットより求む				



三軸圧縮試験 (CU, CC, CU, CD) (軸圧縮過程)				報告用紙 II	
調査名・調査地点 寒河江ダムコア材料 B				試験年月日 年 月 日	
試験番号・深さ: No (m ~ m)				試験者	
軸圧縮方法	ひずみ制御, 比力制御, 両者併用			力計の量程	35000 kgf
軸圧縮速度	軸ひずみ速度 %/min	比力増加速度 kgf/cm ² /min		室温	°C
供試体番号	No 1	No 2	No 3	No	No
主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ kgf/cm ²	2.0	4.0	6.0		
圧縮ひずみ ϵ_f %	8.88	9.92	12.80		
間隙水圧 u_f kgf/cm ²	13.5	14.5	14.5		
間隙圧係数 A_f	1.32	2.69	4.02		
間隙比 e_f	0.192	0.271	0.314		
体積ひずみ ϵ_{vf} %					
供試体の破壊状況					

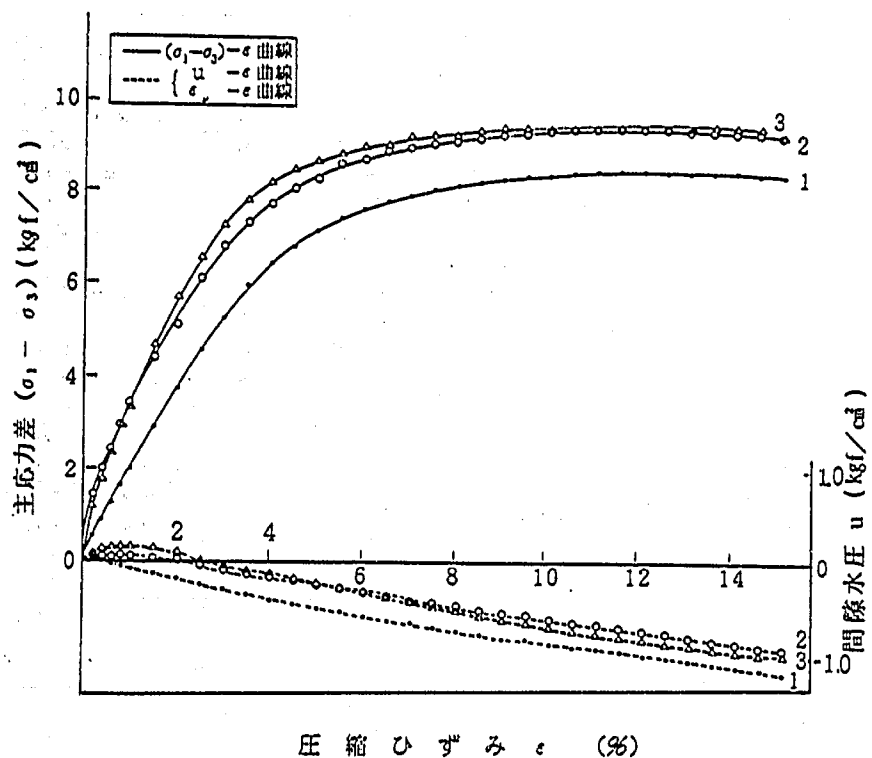


三軸圧縮試験 (UU, CU, CD) (側圧 - 最大主応力比) (垂直応力 - せん断応力)							報告用紙 III
調査名・調査地点		寒河江ダムコア材料 B		試験年月日		年 月 日	
試料番号・深さ: No.		(m ~ m)		試験者			
試験方法	応力範囲	c kgf/cm ²	φ 度	tan φ	c' kgf/cm ²	φ' 度	
正圧密領域		1.28	25.0	0.4683	0.80	43.7	
過圧密領域							



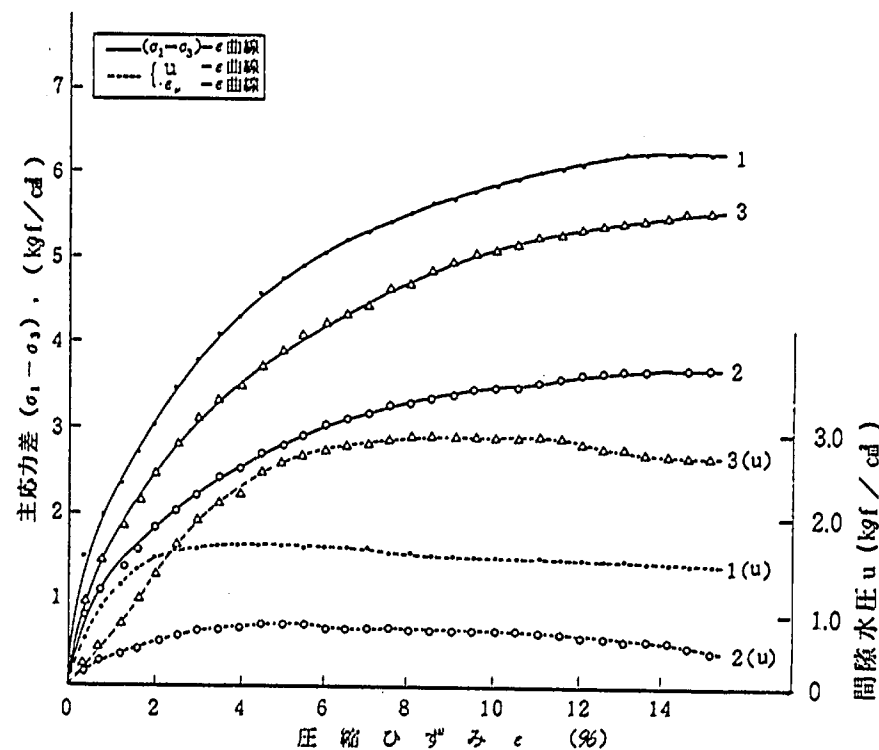
三軸圧縮試験 (K ₀ U)				(初期状態) (圧密過程)	報告用紙 I
調査名・調査地点		寒河江ダムコア材料 A		試験年月日	
試料番号・深さ: No.		(m ~ m)		試験者	
試料の一次元質	土質名称		試験の状態 又は 供試体の作製方法	ρ _s =1.95t/m³になるように8層に分けてランマーにて突固める	試験機
	土粒子の比重 G _s	2.697			番号 No.
	液性限界 w _L %				型式
	塑性限界 w _P %				圧密中の排水条件
供試体番号	No. 1	No. 2	No. 3	No.	No.
軸圧 σ ₁	kgf/cm ²	1.0	2.0	3.0	
初期状態	高さ L ₀ cm	79.7	79.7	79.7	
	直径 D ₀ cm	38.30	38.30	38.3	
	体積 V ₀ cm ³	82482.6	82482.6	82482.6	
	質量 m ₀ kg	182.70	183.01	183.10	
	湿潤密度 ρ ₀ g/cm ³	2.215	2.219	2.220	
	含水比 w ₀ %	12.90	13.69	13.90	
	乾燥質量 m _s kg				
	土粒子の体積 V _s cm ³	60001.7	59685.9	60079.9	
	空隙率 e ₀	0.375	0.382	0.384	
	飽和度 S _r %	92.86	96.6	97.7	
圧密過程	圧密時間 t _c min				
	体積圧縮量 ΔV ml				
	圧密後の空隙率 e _c				
	温度 t _c °C				

三軸圧縮試験 (K ₀ U)			(軸圧縮過程)		報告用紙Ⅱ	
調査名・調査地点 寒河江ダムコア材料 A			試験年月日 年 月 日			
試料番号・径さ: No (m m)			試験者			
軸圧縮方法 ひずみ制御, 主圧制御, 主圧自由		力計ひょう量		35000 kgf		
軸圧縮速度 軸ひずみ速度 0.175 %/min, 主圧増加速度 1 kgf/cm ² /min		温度		℃		
供試体番号		No. 1	No. 2	No. 3	No.	No.
開 圧 σ_3 kgf/cm ²		0.33	0.75	0.76		
主 応 力 差 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ kgf/cm ²		7.4±0.67	8.23±1.25	8.26±2.24	←この値はK ₀ 圧密終了時の ($\sigma_1' - \sigma_3'$)の値を加	
圧縮ひずみ ϵ_1 %		11.0	10.6	10.0	える	
主 応 力 差 一 時	●間隙水圧 u_f kgf/cm ²	-0.89	-0.61	-0.66		
	●間隙圧係数 A_f	-2.70	-0.61	-0.87		
CD	●間 隙 比 e_f					
	体積ひずみ ϵ_{v_f} %					
供試体の破断状況						

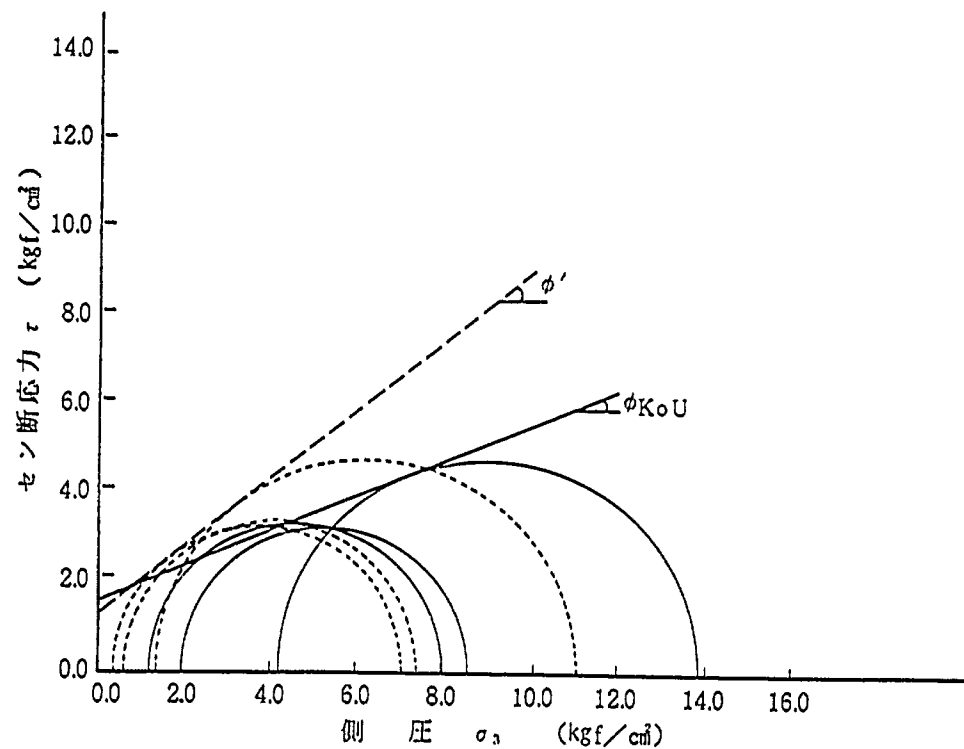


三軸圧縮試験 (K.O.U)		(初期状態)	報告用紙 I
調査名・調査地点	寒河江ゴムコア材料 B		試験年月日 年 月 日
試料番号・深さ: No	(m - m)		試験者
土質名称	風化残留土	試料の状態 又は 供試体の作製方法	所定の密度に なるように8層 に分けランマー で突固め作製する
土粒子の比重 G_s	2.697		
液性限界 w_L %			
塑性指数 PI %			
供試体番号	No 1	No 2	No 3
軸圧 σ_1 (kgf/cm ²)	2.0	4.0	8.0
高 さ L (cm)	80.0	79.9	79.7
直径 D (cm)	36.5	36.6	36.5
体積 V_0 (cm ³)	83708.0	84062.0	83394.0
質量 m_0 (kg)	184.9	185.2	184.9
体積密度 ρ_0 (g/cm ³)	2.209	2.203	2.217
含水比 w_0 %	14.0	13.8	14.0
乾燥質量 m_s (kg)	162.193	162.74	162.193
土粒子の体積 V_s (cm ³)	60138.2	60341.7	60138.2
空隙率 e_0	0.392	0.393	0.387
飽和度 S_{at} %	98.32	94.70	97.56
圧密時間 t_c (min)			
体積圧縮量 ΔV (ml)			
圧密後の空隙率 e_c			
温度 T (°C)			

三軸圧縮試験 (K.O.U)		(軸圧縮過程)	報告用紙 II
調査名・調査地点	寒河江ゴムコア材料 B		試験年月日 年 月 日
試料番号・深さ: No	(m - m)		試験者
軸圧縮方法	リヤム制御, 圧力制御, 水圧制御		力計の容量 35000 kgf
軸圧縮速度	軸ひずみ速度 0.175 %/min, 圧力増加速度		温度 °C
供試体番号	No 1	No 2	No 3
調 理	σ_0 (kgf/cm ²)	1.85	1.147
主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ (kgf/cm ²)	6.40	3.80	5.70
圧縮ひずみ e_f %	13.5	13.0	14.5
■ 間隙水圧 u_f (kgf/cm ²)	1.51	0.57	2.78
■ 間隙圧係数 A_f	0.236	0.150	0.488
軸圧 σ_1' (kg/cm ²)	2.0	4.0	8.0
$\sigma_1' - \sigma_3'$ (kg/cm ²)	0.15	2.853	3.93
主応力差 $(\sigma_1' - \sigma_3')$ (kg/cm ²)	6.55	6.653	9.63
供試体の破壊状況			



三軸圧縮試験 (K ₀ U)		(側圧: 最大主応力比) 垂直応力: 最大主応力		報告用紙 Ⅲ		
調査名・調査地点 寒河江ダムコア材料 B		試験年月日		年 月 日		
試料番号・深さ: No. (m ~ m)		試験者				
側圧	応力範囲	c kgf/cm ²	ϕ 度	$\tan \phi$	c' kgf/cm ²	ϕ' 度
正側圧密領域		1.60	22.0	0.4040	1.35	38.0
減圧密領域						



II 標準砂・礫質土試験結果

II. 1 豊浦標準砂

豊浦標準砂

a) 圧密排水 (CD) 試験結果

供試体 No	湿潤密度 ρ_t (t/m^3)	含水比 W (%)	乾燥密度 ρ_d (t/m^3)	間隙比 e _o	有効拘束圧 σ_c (kgf/cm^2)	ピーク時		
						主応力差 $\sigma_1 - \sigma_3$ (kgf/cm^2)	圧縮 ヒズミ ϵ (%)	体積 ヒズミ ϵ_v (%)
1	1.514	0.42	1.508	0.757	1.0	2.82	5.5	-1.40
2	1.520	0.18	1.517	0.747	2.0	5.40	6.0	-1.22
3	1.518	0.16	1.516	0.749	3.0	9.28	4.5	-1.50
4	1.547	0.15	1.545	0.715	1.0	3.49	3.5	-1.86
5	1.541	0.11	1.540	0.718	2.0	8.05	5.5	-2.19
6	1.536	0.15	1.534	0.725	3.0	9.33	5.0	-2.94

強度定数

供試体No 1, 2, 3の場合

内部摩擦角 $\phi_{CD} = 39^\circ$, $\phi_{CD} = 36.0^\circ$

粘着力 $C_{CD} = 0.0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_{CD} = 0.0 \text{ kgf/cm}^2$

供試体No 4, 5, 6の場合

内部摩擦角 $\phi_{CD} = 42.3^\circ$

粘着力 $C_{CD} = 0.0 \text{ kgf/cm}^2$

b) Ko圧密三軸試験 (KoD) 試験結果

供試体 No	湿潤密度 ρ_t (t/m^3)	含水比 W (%)	乾燥密度 ρ_d (t/m^3)	間隙比 e	有効軸圧 σ_a' (kgf/cm^2)	有効側圧 σ_r' (kgf/cm^2)
1	1.544	0.17	1.541	0.719	1.0	0.44
2	1.547	0.12	1.545	0.715	2.0	0.816
3	1.542	0.11	1.540	0.720	3.0	1.265

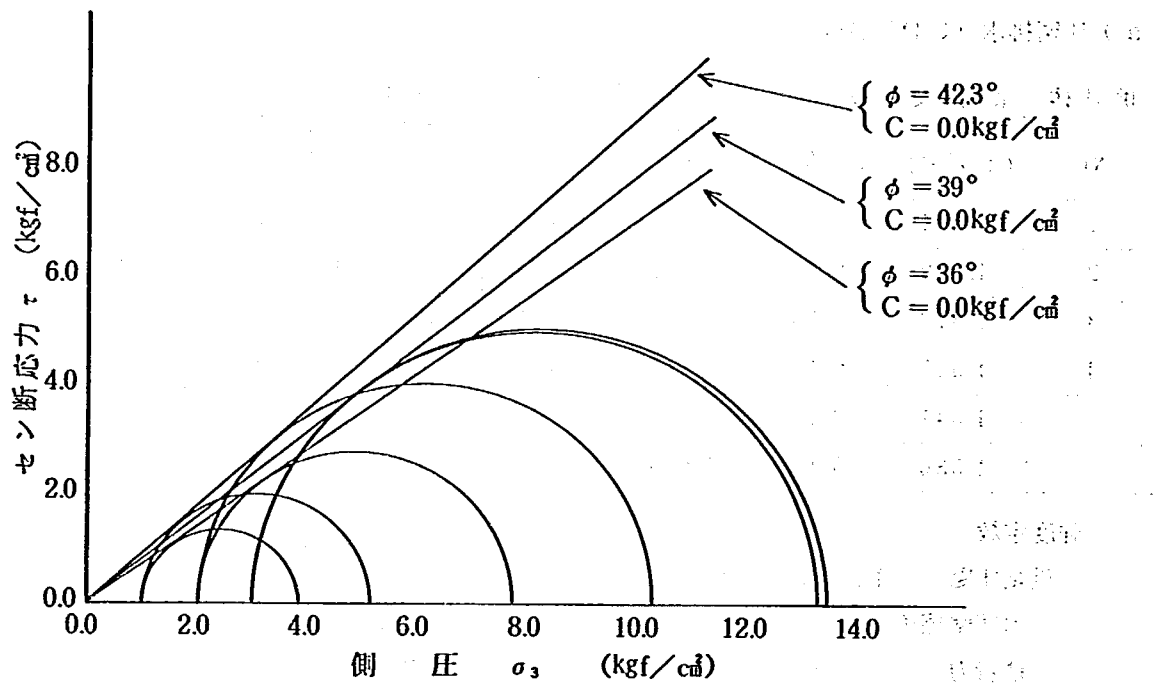
Ko圧密終了後の三軸圧縮の部					
Ko値 Ko	$\sigma_a' - \sigma_r'$ (kgf/cm^2)	軸圧縮ピーク時			
		主応力差 (kgf/cm^2)	主応力差 + $\sigma_a' - \sigma_r'$	圧縮ヒズミ ϵ (%)	体積ヒズミ
0.440	0.56	1.04	1.60	4.5	-1.74
0.408	1.18	2.26	3.44	5.0	-1.55
0.422	1.73	3.46	5.16	3.0	-1.22

Ko三軸圧縮強度定数

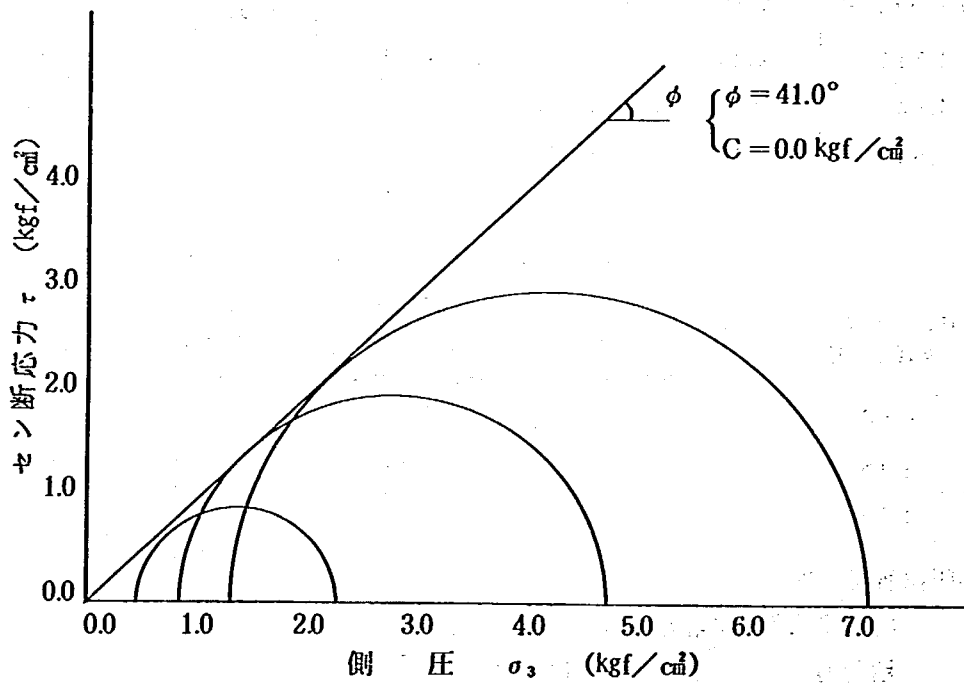
内部摩擦角 $\phi_{KoD} = 41.5^\circ$

粘着力 $C_{KoD} = 0.0 \text{ kgf/cm}^2$

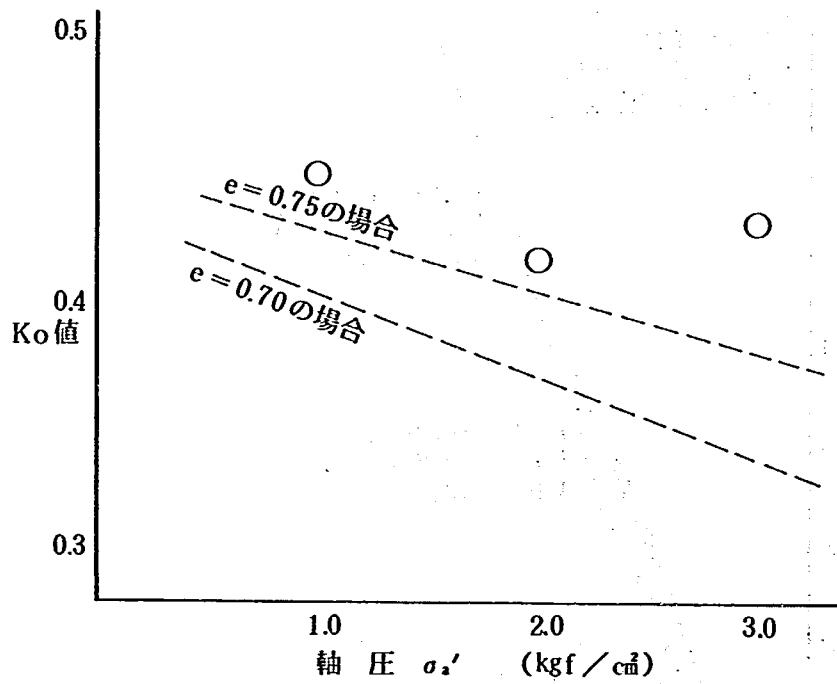
CD 試験



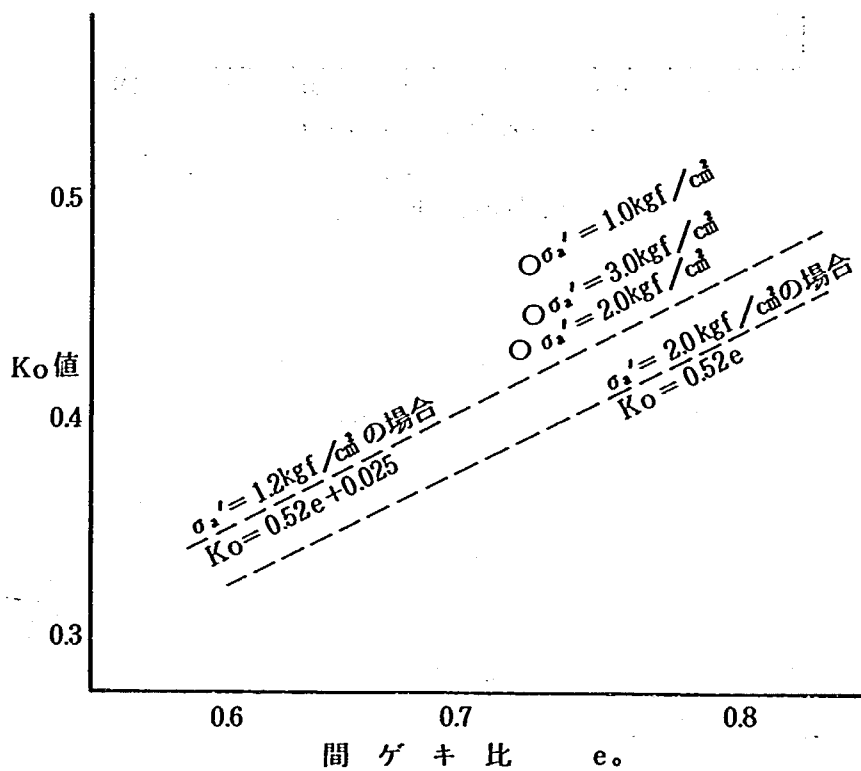
KoD 試験



○は大型Ko三軸で求まった値である。



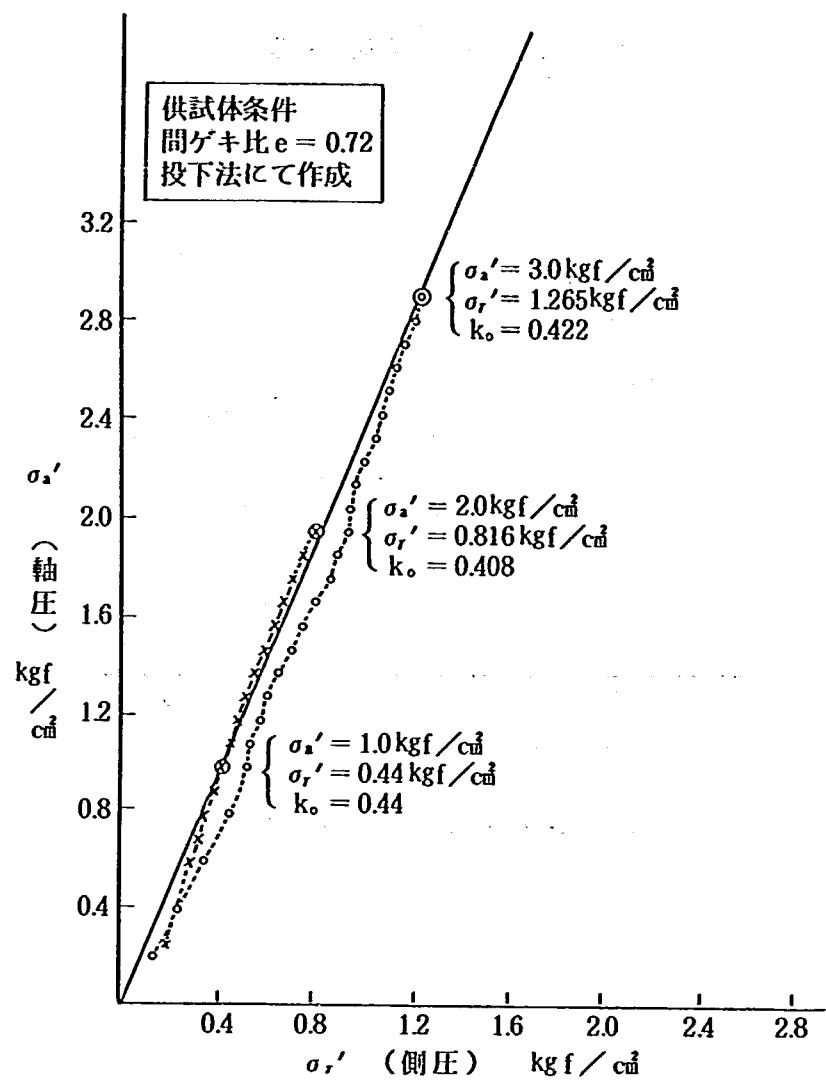
σ_a' の変化と K_o 値の関係 (標準砂)



K_o と e_o の関係 (標準砂)

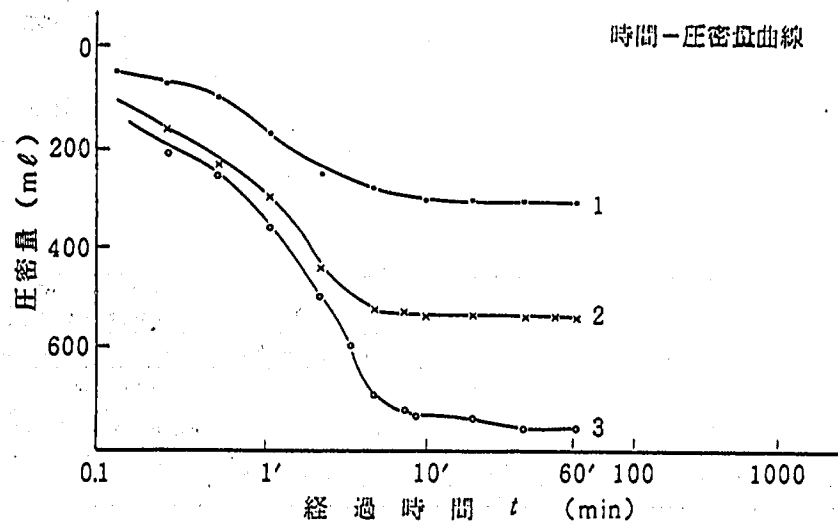
(東京大学生産研の値を参考にする)

○……は今回大型 K_o 三軸で求まった値

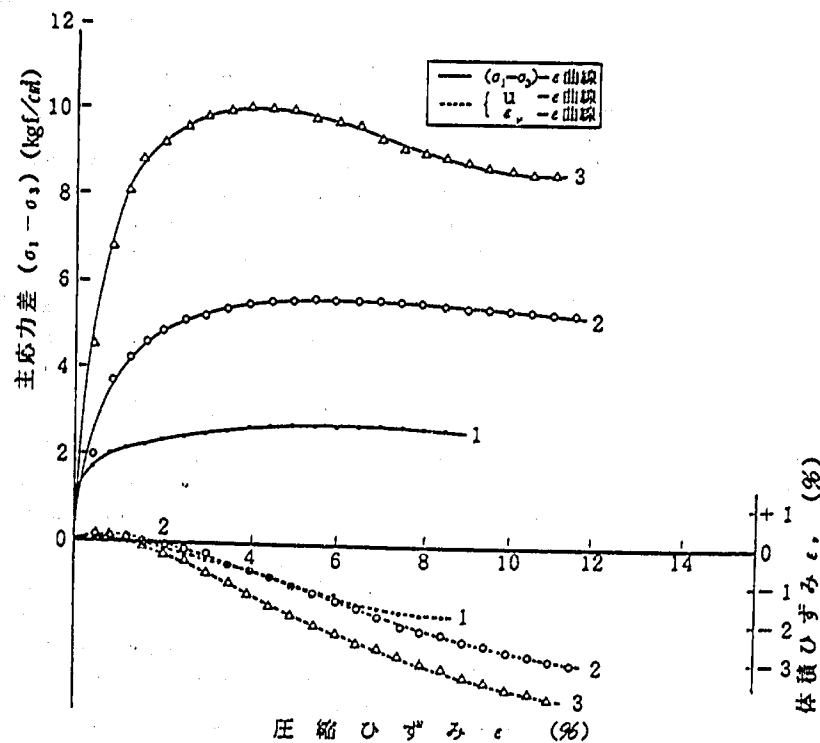


標準砂 K_o 圧密曲線

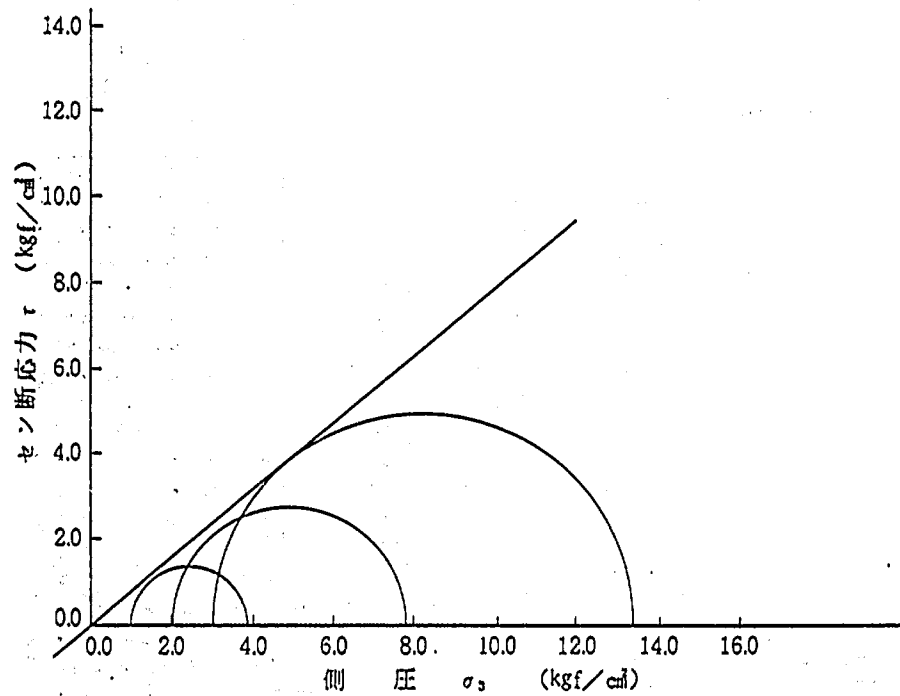
三軸圧縮試験 (su, eu, eu, CD) (初期状態)		報告用紙 I	
調査名・調査地点		試験年月日	
試験番号・深さ: No. (m - m)		試験者	
土質名称	試験の状況	一定の高さより自由落下して作製する	試験番号
最大粒子の比重 G_s	2.650	又は	試験型式
塑性限界 w_p %	供試体の作製方法		
液性限界 w_L %	圧密中の排水条件		
供試体番号	No. 1	No. 2	No. 3
縦圧 σ_v kgf/cm ²	1.0	2.0	3.0
高さ L_0 cm	78.7	79.3	79.1
直径 D_0 cm	36.07	36.05	36.04
体積 V_0 cm ³	80419.0	80718.0	80693.0
質量 m_0 kg	121.77	122.87	122.52
湿密度 ρ_0 g/cm ³	1.514	1.520	1.518
含水比 w_0 %	0.42	0.18	0.18
乾質量 m_s kg	121.26	122.45	122.32
土粒子の体積 V_s cm ³	45758.7	46207.4	46180.1
空隙率 e_0	0.757	0.747	0.748
孔隙比 S_{r0} %	1.47	0.64	0.57
圧密時間 t_0 min	60.0	60.0	60.0
体積圧縮量 ΔV ml	289.0	531.0	752.0
圧密後の空隙率 e_0	0.751	0.735	0.732
温度 $^{\circ}\text{C}$			



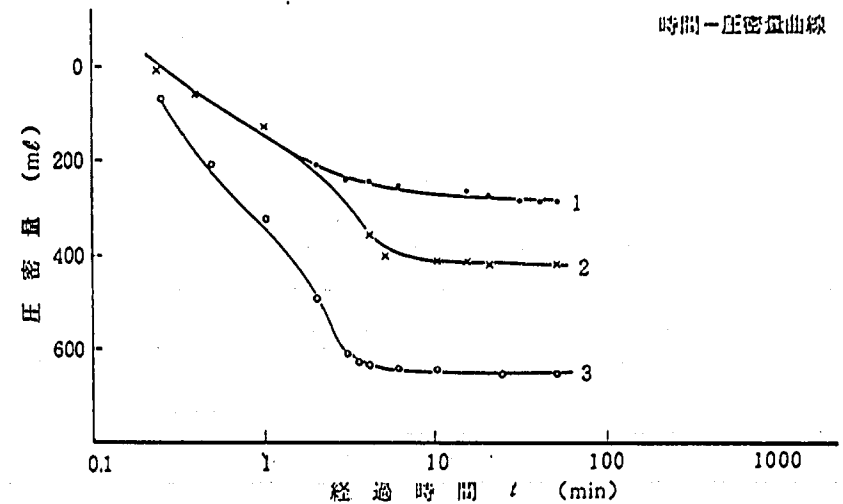
三軸圧縮試験 (su, eu, eu, CD) (軸圧縮過程)		報告用紙 II	
調査名・調査地点		試験年月日	
試験番号・深さ: No. (m - m)		試験者	
軸圧縮方法	シヤム別測, 芯子同測, 固定別測	力計ひょう数	35000 kgf
軸圧荷速度	軸ひずみ速度 0.175 %/min, 芯子増加速度	kgf/cm ² /min	温度 $^{\circ}\text{C}$
供試体番号	No. 1	No. 2	No. 3
縦圧 σ_v kgf/cm ²	1.0	2.0	3.0
主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ kgf/cm ²	2.82	5.40	9.28
圧縮ひずみ ϵ_v %	5.5	6.0	4.5
CU 間隙水圧 u kgf/cm ²			
間隙圧係数 A_f			
CD 間隙比 e_v			
体積ひずみ ϵ_v %	-1.40	-1.22	-1.50
供試体の破壊状況			



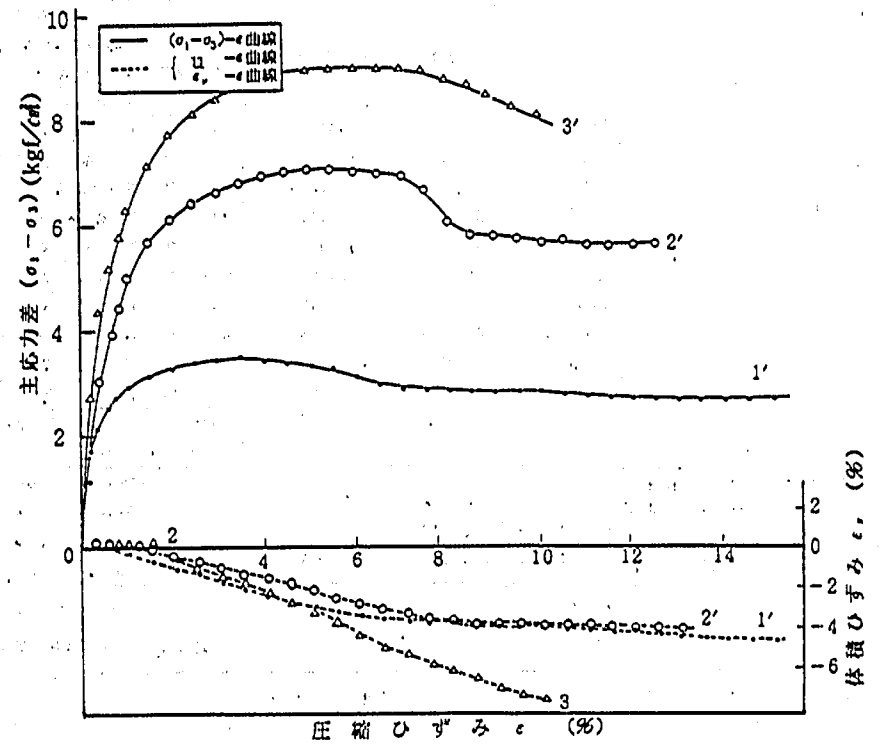
三軸圧縮試験 (UU, CU, C $\bar{U}$, (CD)) (調圧 - 最大主応力差) (垂直応力 - せん断応力)							報告用紙 III
調査名・調査地点 標準砂		試験年月日 年 月 日					
試料番号・深さ: No. (m ~ m)		試験者					
垂直応力	側圧	c kgf/cm ²	ϕ 度	$\tan \phi$	c' kgf/cm ²	ϕ' 度	
正規圧密領域		0.0	39.3	0.8185			
過圧密領域							



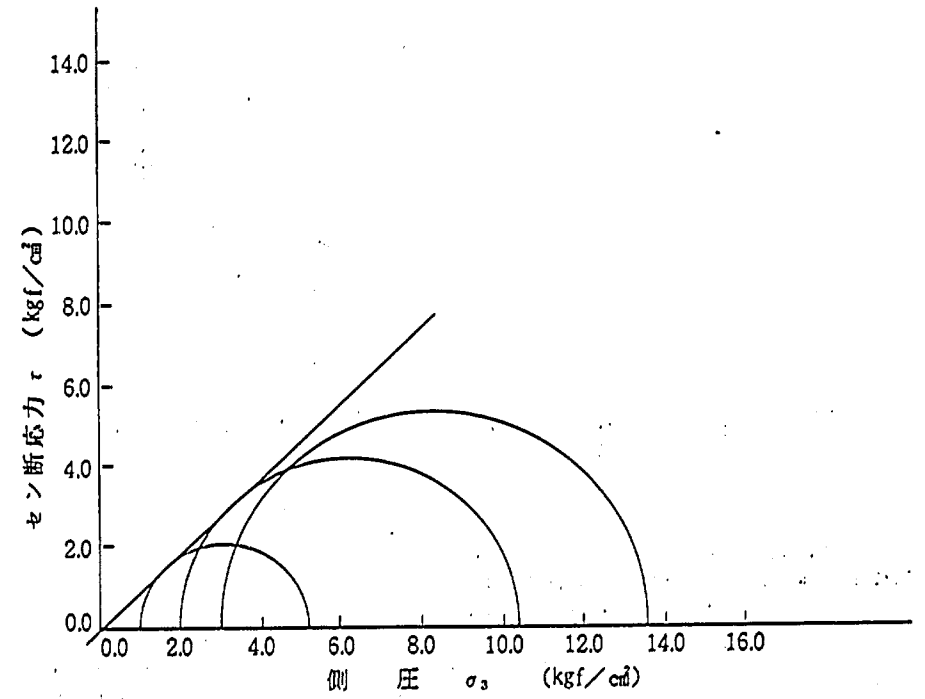
三軸圧縮試験 (UU, CU, C $\bar{U}$, (C)) (初期状態) (圧密過程)							報告用紙 I
調査名・調査地点 標準砂		試験年月日 年 月 日					
試料番号・深さ: No. (m ~ m)		試験者					
試料の 性質	土質名称	試料の状態	一定の高さより白	試験 機	器 材	No.	
	土粒子の比重 G_s	2.650	又は 山落下して作製する	圧密中の 排水条件	(調出)		
	液性限界 w_L %						
	塑性限界 w_p %						
供試体番号	No. 4	No. 5	No. 6	No.	No.		
側圧 σ_3 kgf/cm ²	1.0	2.0	3.0				
初 期 状 態	高さ L_0 cm	79.3	79.0	79.4			
	直径 D_0 cm	38.03	36.08	36.09			
	体積 V_0 cm ³	80852.0	80770.0	80819.0			
	質量 m_0 kg	125.083	124.463	124.124			
	湿側密度 ρ_0 g/cm ³	1.547	1.541	1.538			
	含水比 w_0 %	0.15	0.11	0.15			
	乾燥質量 m_s kg	124.87	124.33	123.938			
	土粒子の体積 V_s cm ³	47122.9	46915.6	46769.1			
	空隙率 e_0	0.716	0.722	0.728			
	空隙率 S_v %	0.56	0.40	0.546			
圧 密 過 程	圧密時間 t_c min	60.0	60.0	60.0			
	体積圧縮量 ΔV ml	299.0	426.0	652.0			
	圧密後の空隙率 e_c	0.709	0.712	0.714			
	温度 T °C						



三軸圧縮試験 (UU, CU, $\overline{CU}$, CD) (軸圧縮過程)				報告用紙 II	
調査名・調査地点 標準砂		試験年月日 年 月 日			
試験番号・深さ: No (m ~ m)		試験者			
軸圧縮方法 ひずみ制御, 荷重制御, 両者併用		力計ひょう量 35000 kgf			
軸圧縮速度 軸ひずみ速度 $0.175\%/min$, 応力増加速度 kgf/cm ² /min		室温		℃	
供試体番号		No 4	No 5	No 6	No
側圧		1	2	3	
主応力差ピーク時	主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ kgf/cm ²	4.14	8.30	10.52	
	圧縮ひずみ ϵ_f %	3.5	5.5	5.0	
	CU 間隙水圧 u_f kgf/cm ²				
	CU 間隙圧係数 A_f				
	CD 間隙比 e_f				
体積ひずみ ϵ_{vf} %		-1.86	-2.19	-2.94	
供試体の破壊状況					

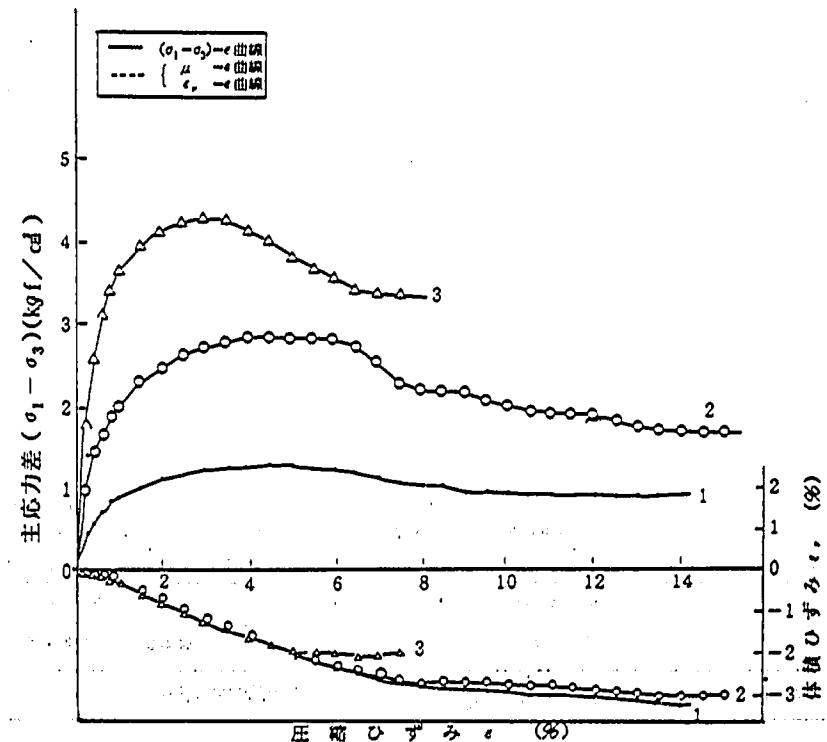


三軸圧縮試験 (UU, CU, $\overline{CU}$, CD) (側圧 - 最大主応力差, 側圧 - 最大主応力差)				報告用紙 III	
調査名・調査地点 標準砂		試験年月日 年 月 日			
試験番号・深さ: No (m ~ m)		試験者			
側圧係数	側力範囲	c kgf/cm ²	ϕ 度	$\tan \phi$	$e - \epsilon$ kgf/cm ²
	正規圧縮領域	0.0	42.3	0.9099	
	過圧縮領域				

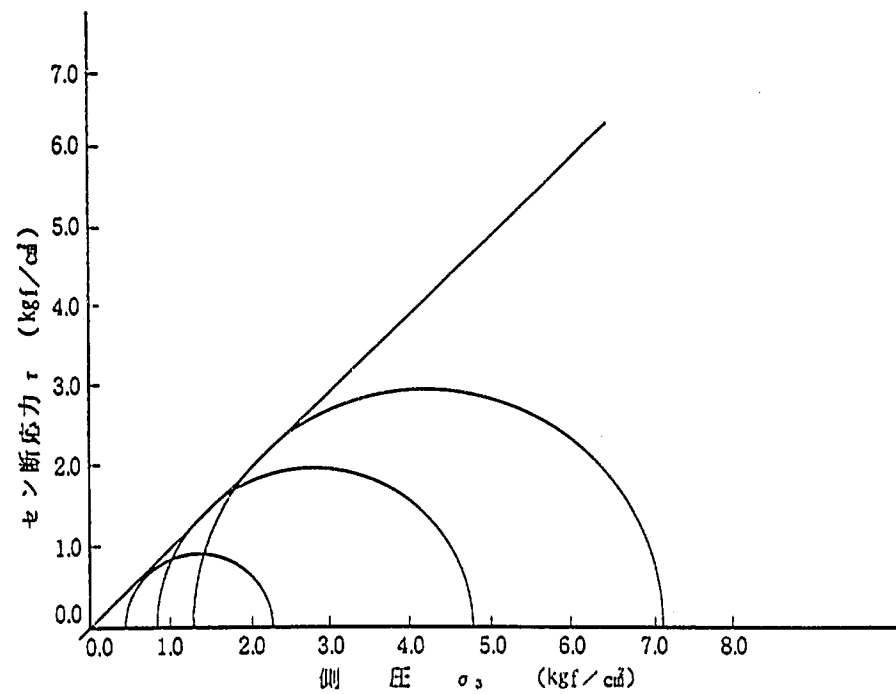


		三軸圧縮試験 (K.O.U)		(初期状態) (圧密過程)		報告用紙 I	
調査名・調査地点 標準砂				試験年月日 年 月 日			
試料番号・深さ: No (m ~ m)				試験者			
試験の 土質名称 ●土粒子の比重 G_s ●液性限界 w_L % ●塑性限界 w_P %	2.650	試験の状態 又は 供試体の作製方法	一定の高さより自由落下で詰めて作製する	試験番号 No			
				試験機 型式			
				圧密中の排水条件	試験機 図		
				試験機 図			
供試体番号		No 1	No 2	No 3	No		
軸圧 σ_1 kgf/cm^2		1.0	2.0	3.0			
初期	高さ L_0 cm	79.2	79.1	79.3			
	直径 D_0 cm	36.02	36.02	36.07			
	体積 V_0 cm^3	80705.6	80803.7	81031.9			
	質量 m_0 kg	124.81	124.86	124.83			
状態	湿潤密度 ρ g/cm^3	1.544	1.547	1.538			
	含水比 w_0 %	0.17	0.118	0.112			
	乾燥質量 m_s kg	124.40	124.52	124.49			
	土粒子の体積 V_s cm^3	46941.0	46987.0	46977.9			
試験過程	空隙率 e_0	0.719	0.718	0.725			
	孔隙率 S_{v0} %	0.640	0.44	0.41			
	圧密時間 t_c min						
	体積圧縮量 ΔV ml						
圧密後の空隙率 e_c		ko圧密データー参照					
温度 $^{\circ}\text{C}$							

		三軸圧縮試験 (K. D)		(軸圧縮過程)		報告用紙 II	
調査名・調査地点 標準砂				試験年月日 年 月 日			
試料番号・深さ: No (m ~ m)				試験者			
軸圧縮方法 ひずみ制御, 軸力制御, 軸力制御				力計の容量		35000 kgf	
軸圧縮速度 軸ひずみ速度 0.175%/min, 軸力増加速度				kgf/cm ² /min		室温	
供試体番号				No 1	No 2	No 3	No
軸圧 σ_1 kgf/cm ²				0.44	0.82	1.27	
主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_p$ kgf/cm ²				1.24±0.39	2.72±0.85	4.08±1.28	— この値はko圧密終了時の値を加える
圧縮ひずみ ϵ_1 %				4.5	5.0	3.0	
CD							
●空隙率 e_1 kgf/cm ²							
●空隙率係数 A_1							
●空隙率 e_1							
CD							
●空隙率 e_1							
体積ひずみ ϵ_v %				-1.74	-1.55	-1.22	
ko圧密終了後のせん断主応力差 kgf/cm ²				1.43	3.11	4.68	
供試体の試験状況							



三軸圧縮試験 (K. D)		(原土・最大主応力差) (平均応力・平均主応力)		報告用紙 Ⅲ	
調査名・調査地点 標準砂		試験年月日 年 月 日			
試料番号・深さ: No (m)		試験者			
縦断断面	c kgf/cm ²	φ 度	tan φ	c' kgf/cm ²	φ' 度
正圧圧縮断面	0.0	41.0	0.86929		
偏圧圧縮断面					



Ⅱ． 2 礫質土

礫質土

1) 圧密非排水 ($\overline{cu}$) 試験

供試体 No	湿潤密度 ρ_t (t/m^3)	含水比 W (%)	乾燥密度 ρ_d (t/m^3)	間隙比 e	有効 拘束圧 σ_c (kgf/cm^2)	ビーク時		
						主応力差 $\rho_1 - \rho_3$ (kg/cm^2)	圧縮 ヒズミ ϵ (%)	間隙水圧 u (kgf/cm^2)
1	2.369	7.41	2.206	0.309	1.0	2.24	11.5	-0.08
2	2.376	6.36	2.234	0.293	1.0	2.73	1.5	0.30
3	2.369	6.61	2.223	0.299	2.0	4.61	0.8	0.75
	2.374	6.38	2.231	0.294	3.0	6.03	5.5	1.30

強度定数

内部摩擦角 $\phi_{cu} = 27.5^\circ$ $\phi' = 39^\circ$

粘着力 $C_{cu} = 0.32 \text{ kg/cm}^2$ $C' = 0.10 \text{ kg/cm}^2$

2) Ko 圧密非排水 ($\overline{KoU}$) 試験結果

供試体 No	湿潤密度 ρ_t (t/m^3)	含水比 W (%)	乾燥密度 ρ_d (t/m^3)	間隙比 e	有効軸圧 σ_a' (kgf/cm^2)	有効側圧 σ_r' (kgf/cm^2)
1	2.373	5.61	2.247	0.285	1.0	0.30
2	2.374	6.36	2.232	0.294	2.0	0.554
3	2.380	7.04	2.224	0.299	3.0	0.830

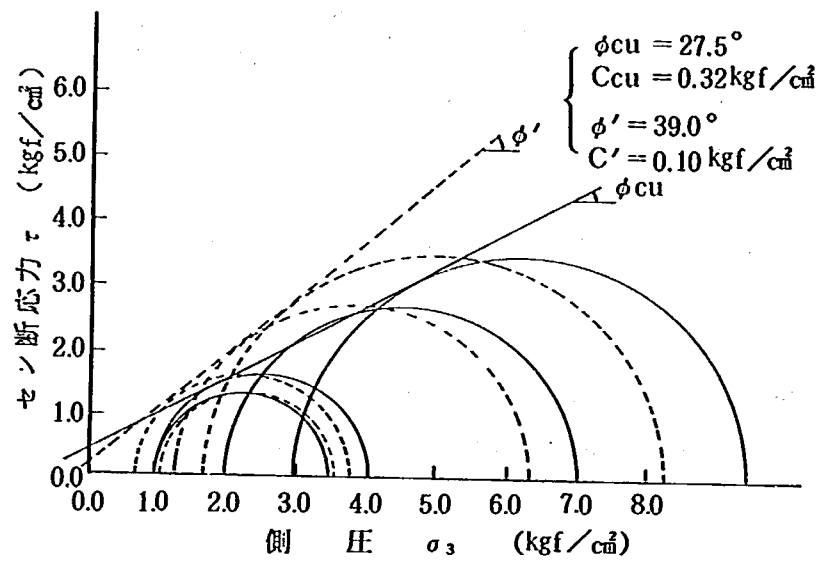
Ko 圧密終了後の三軸圧縮の部						
Ko 値 Ko	$\sigma_a - \sigma_r$ (kgf/cm^2)	軸圧縮ビーク時				試験後の 含水比 (%)
		主応力差 (kg/cm^2)	主応力差 + $\sigma_a' - \sigma_r'$	圧縮ヒズミ ϵ (%)	間隙水圧 u (kgf/cm^2)	
0.30	0.70	1.75	2.450	1.0	-0.25	8.48
0.277	1.446	1.66	3.106	1.5	-0.06	9.46
0.277	2.17	1.31	3.480	1.5	0.06	10.99

Ko 三軸圧縮強度定数

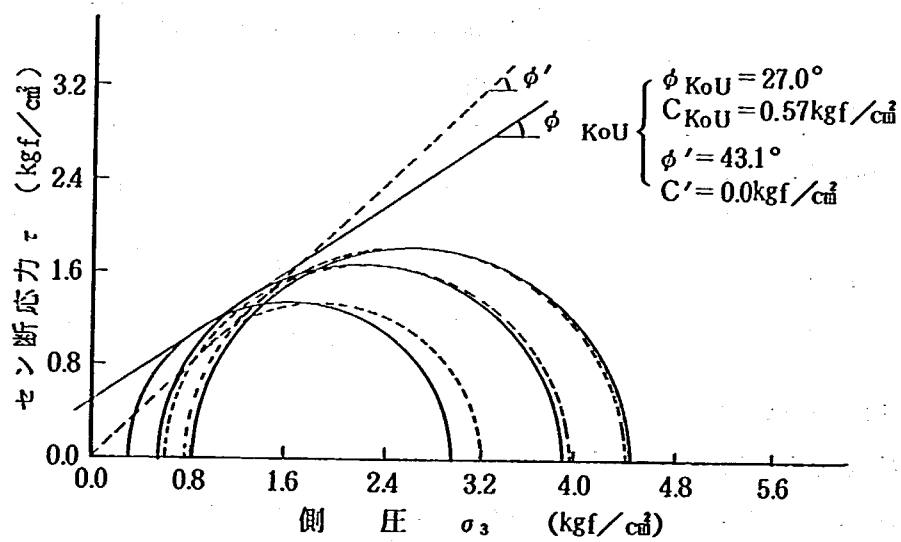
内部摩擦角 $\phi_{Ko} = 27.0^\circ$ $\phi' = 43.1^\circ$

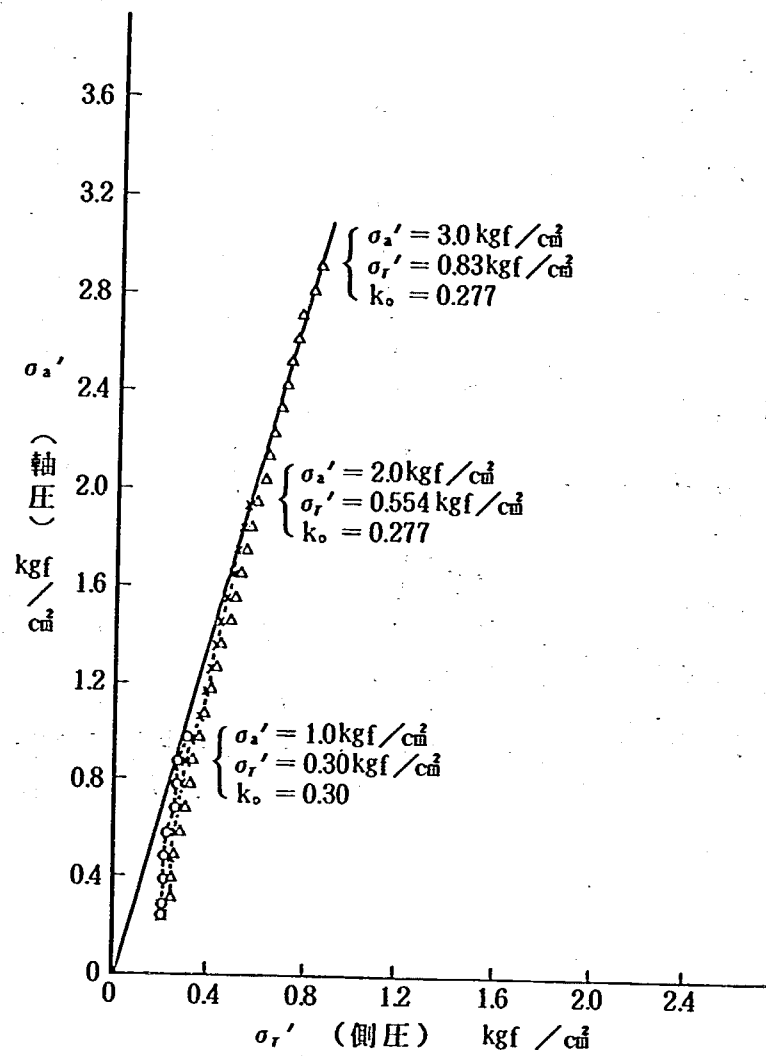
粘着力 $C_{Ko} = 0.57 \text{ kgf/cm}^2$ $C' = 0.0 \text{ kgf/cm}^2$

CU 試験



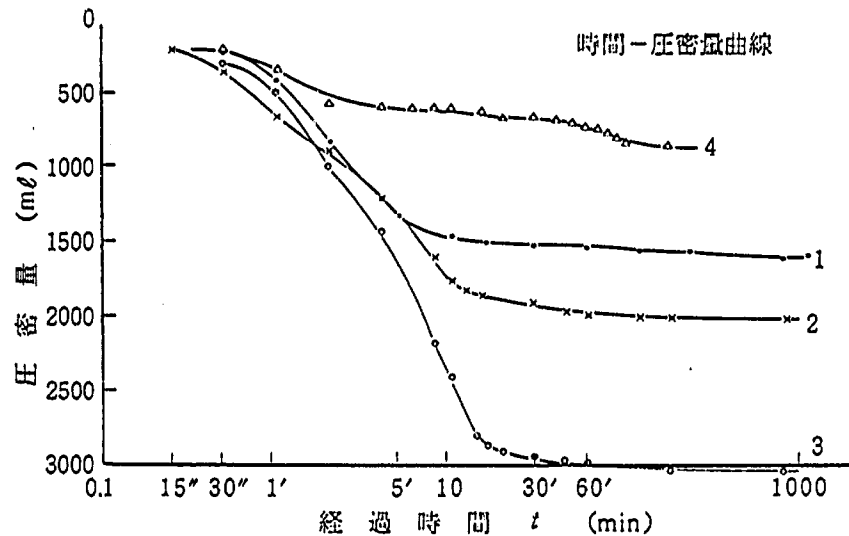
KoU 試験



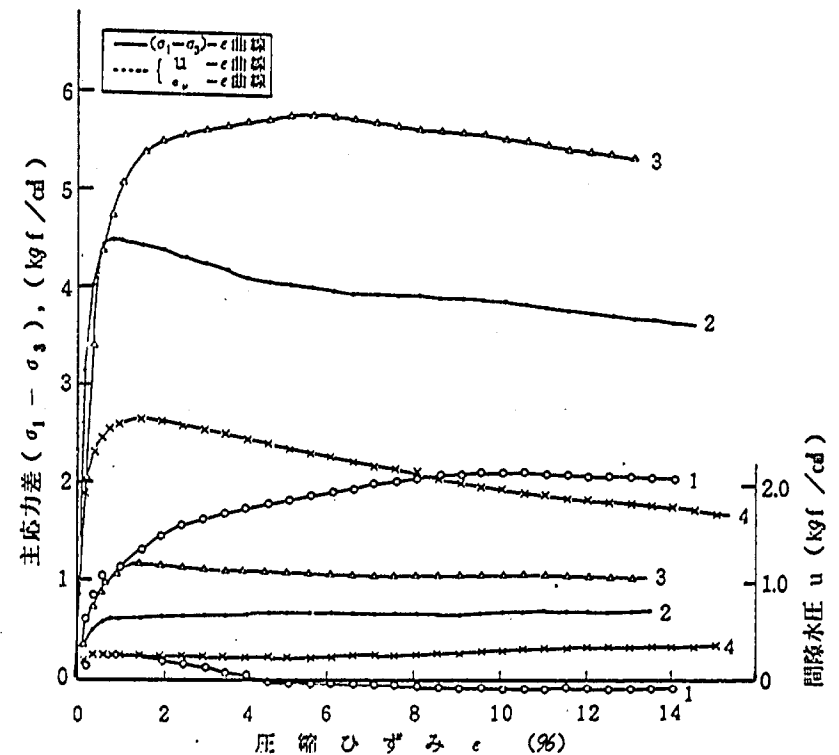


Ko 圧密曲線

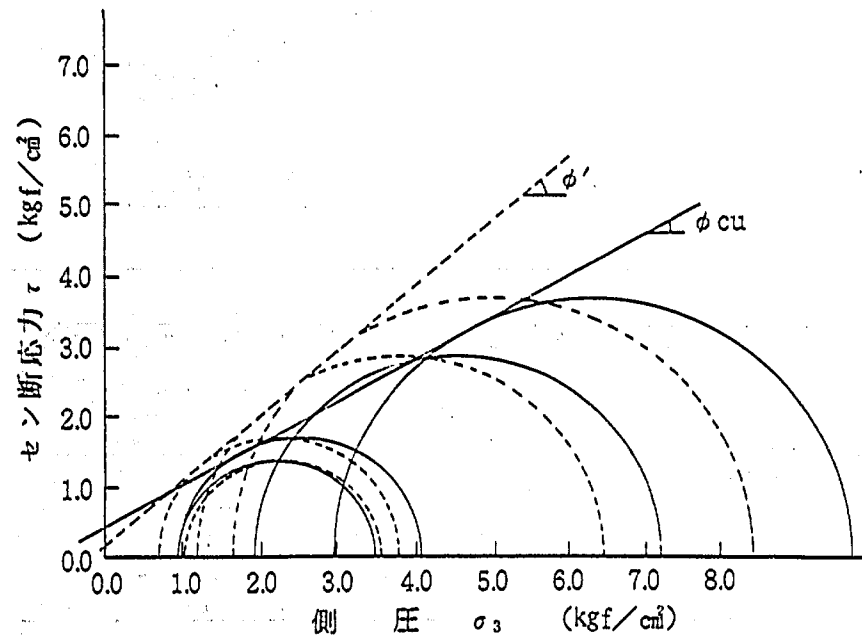
三軸圧縮試験 (UU, CU, $\odot$ U) CD				(初期状態 圧密過程)		報告用紙 I	
調査名・調査地点 礫質土				試験年月日 年 月 日			
試料番号・深さ: No. (m ~ m)				試験者			
試験の 主 次 特 質	土質名称	試験の状態 又は 供試体の作製方法	$\rho_s=2.31\text{t/m}^3$ になる ように8層に分 けダンパで締め 固め 作製する	試験機	番号	No.	
	土粒子の比重 G_s			型 式			
	液性限界 w_L %			圧密中の 排水条件	試験開始		
	塑性限界 w_p %				試験終了		
供試体番号		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No.	
調 圧 σ_v kgf/cm ²		1.0	2.0	3.0	1.0		
初 期 状 態	高 さ L_0 cm	79.6	79.6	79.6	79.5		
	直 径 D_0 cm	36.22	36.17	36.18	36.17		
	体 積 V_0 cm ³	82016.0	81790.0	81835.0	81687.0		
	質 量 m_0 kg	194.3	193.8	194.3	194.1		
	飽和密度 ρ_s g/cm ³	2.369	2.369	2.374	2.376		
	含 水 比 w_0 %	7.4	6.8	6.4	6.4		
	乾 燥 質 量 m_s kg	180.9	181.80	182.6	182.4		
	土粒子の体積 V_s cm ³	62642.0	62950.0	63231.0	63158.0		
	間 隙 比 e_0	0.309	0.299	0.294	0.293		
	飽 和 度 S_r %	69.1	63.7	62.8	63.03		
圧 密 過 程	圧密時間 t_c min	1080.0	874.0	802.0	180.0		
	体積圧縮量 ΔV ml	1580(1346)	2000(1657)	3020(2856)	800(810)		
	圧密後の間隙比 e_c	0.284(0.288)	0.286(0.273)	0.246(0.249)	0.281(0.280)		
	温 度 θ °C	() 内は内体積ピュレットによる排水量					



三軸圧縮試験 (UU, CU, $\odot$ U, CD) (軸圧縮過程)				報告用紙 II	
調査名・調査地点 礫質土				試験年月日 年 月 日	
試料番号・深さ: No. (m ~ m)				試験者	
軸圧縮方法 ひずみ制御, 応力制御, 両条件併用				力計ひょう量 35000 kgf	
軸圧縮速度 軸ひずみ速度 0.175 %/min, 応力増加速度 kgf/cm ² /min				温 度 °C	
供試体番号		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
調 圧 σ_v kgf/cm ²		1.0	2.0	3.0	1.0
主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ kgf/cm ²		2.24	4.61	6.03	2.73
圧縮ひずみ ϵ_f %		11.5	0.8	5.5	1.5
CU	間隙水圧 u_f kgf/cm ²	-0.08	0.75	1.3	0.3
	間隙圧係数 A_f	-0.038	0.065	0.478	0.124
CD	間隙比 e_f				
	体積ひずみ ϵ_v %				
供試体の破壊状況					

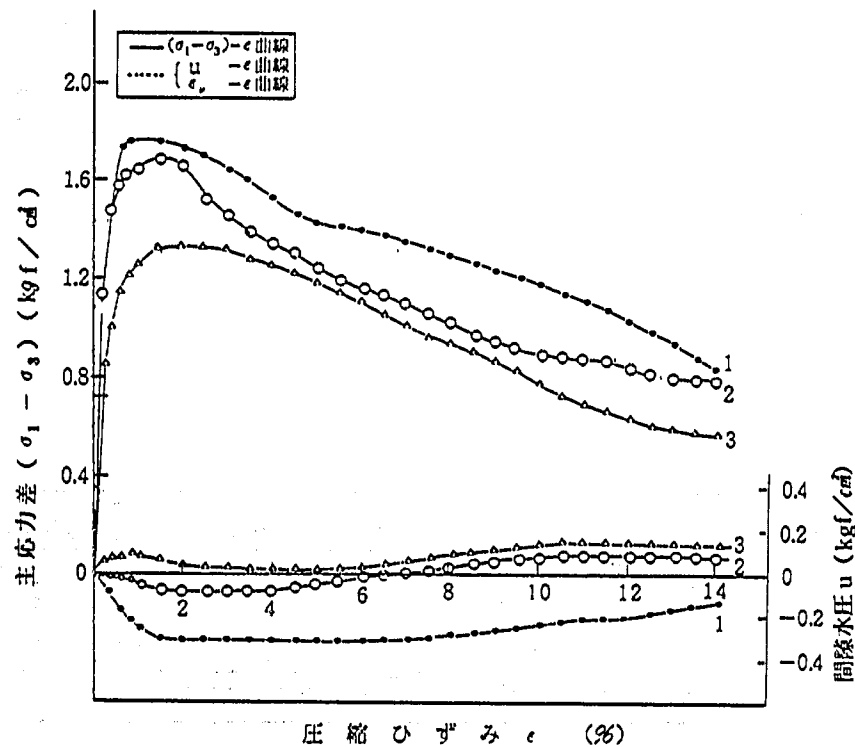


三軸壓縮試驗 (CU, CU, CU - CD)		(無 任 一 最 大 主 應 力 為 準 應 力 之 一 半 之 應 力)	報 告 用 紙 Ⅲ
調查名・調査地点 <u>磯賀土</u>		試験年月日 <u> </u> 年 <u> </u> 月 <u> </u> 日	
試料番号・径寸: <u> </u> (<u> </u> m - <u> </u> m)		試 験 者 <u> </u>	
應 力 變 形 係 數	應 力 組 圓	c kgf/cm ²	ϕ 度
	正 規 壓 強 組 圓	0.32	27.5
	過 壓 強 組 圓	0.10	39.0

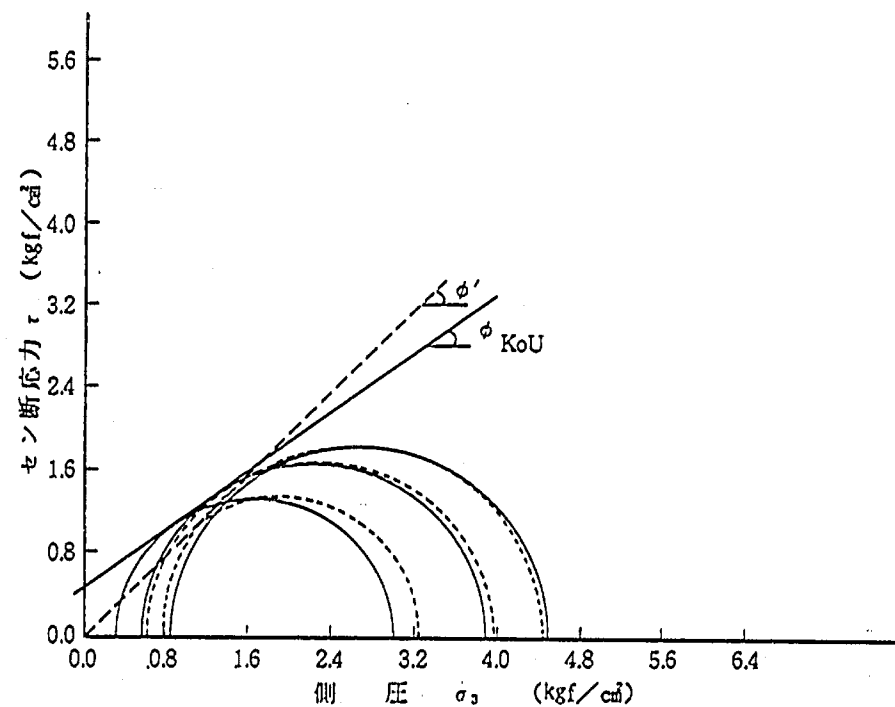


三軸圧縮試験 (K.O.U)		(初期状態) (圧密過程)		報告用紙 I		
調査名・調査地点 硬質土		試験年月日 年 月 日				
試験番号・深さ: No. (m - m)		試験者				
試験 の 次序	土質名称	試験の 状態 又は 供試体の作製方法	$p_a = 2.3t/cm^2$ になるように8層に分けグンパで締固め作製する		試験番号 No.	
	●土粒子の比重 G_s				2.888	試験機 型式
	●塑性限界 w_L %					正室中の排水条件
	●塑性限界 w_p %					
供試体番号		No. 1	No. 2	No. 3	No.	
軸圧 σ_1 kgf/cm^2		1.0	2.0	3.0		
切 削 期 間 状 況 測 定	高さ L_0 cm	79.5	79.7	79.5		
	直径 D_0 cm	38.22	38.17	38.17		
	体積 V_0 cm^3	81913.4	81892.9	81687.0		
	質量 m_0 kg	194.35	194.42	194.42		
	湿潤密度 ρ_1 g/cm^3	2.373	2.374	2.380		
	含水比 w_0 %	5.61	6.38	7.04		
	乾燥質量 m_s kg	184.02	182.79	181.63		
	●土粒子の体積 V_s cm^3	83720.9	83294.4	82892.3		
	●間隙比 e_0	0.285	0.294	0.298		
	●飽和度 S_w %	58.75	62.51	68.04		
圧 密 過 程	圧密時間 t_c min					
	体積圧縮量 ΔV ml	ko圧密アーク参照				
	●圧密後の間隙比 e_c					
	室温 $^{\circ}C$					

三軸圧縮試験 (K。U)				(軸圧縮過程)		報告用紙 II	
調査名・調査地点 礫質土				試験年月日		年 月 日	
試料番号・深さ: No				m ~ m		試験者	
軸圧縮方法 ひずみ制御, 応力制御, 両者併用				力計ひょう量		35000 kgf	
軸圧縮速度・軸ひずみ速度 % min, 応力増加速度 kgf/cm ² /min				度		℃	
供試体番号				No 1	No 2	No 3	No
間 隙 水 圧 u kgf/cm ²				0.30	0.554	0.83	
主 応 力 差 ビ ー ク 時	主 応 力 差 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ kgf/cm ²			1.75~0.70	1.66~1.448	1.31~2.17	←この値は k_0 圧密
	圧 縮 ひ ず み ϵ %			1.0	1.5	1.5	終了時の $(\sigma_1 - \sigma_3')$ の値を
	CU	間 隙 水 圧 u_f kgf/cm ²	-0.25	-0.08	0.08		加える
		間 隙 圧 係 数 A_f	-0.14	0.038	0.05		
	CD	間 隙 比 e_f					
圧 縮 ひ ず み ϵ_f %							
ko圧密終了後のせん断主応力差 kgf/cm ²				2.32	2.84	3.07	
供試体の破壊状況							



三軸圧縮試験 (K。U)			(測定 - 最大主応力系)		報告用紙 III	
調査名・調査地点 礫質土			試験年月日		年	月 日
試料番号・深さ: No			(m ~ m)		試験者	
軸圧縮速度	c kgf/cm ²	ϕ KoU 度	tano	c' kgf/cm ²	ϕ' 度	
正規圧密速度	0.57	27.0	0.5095	0.0	43.1	
過圧密速度						



Ko圧密下における礫混じり土
の変形特性

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2667号
昭和63年10月
土質研究室 室長 久楽 勝行
主任研究員 三木 博史
工藤 浩一郎

要 旨

本調査は、フィルダム遮水ゾーンの盛立て時の変形予測に役立てるため、大型三軸圧縮試験機を用いた礫混じり土のKo圧密試験を用い礫混じり土の変形係数について考察を加えたものである。また、それらの土質定数を用いて沈下解析を実施して実際の現場での計測結果と比較検討を行い、Ko圧密試験結果を用いた新しい沈下予測手法を提案した。

キーワード：フィルダム，沈下予測，礫混じり土，変形特性，Ko圧密

郵便はがき

41円切手
をはって下
さい。

305-□□

筑城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

土質研究室 御中

No. 41

No. 41

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料第 2667 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印