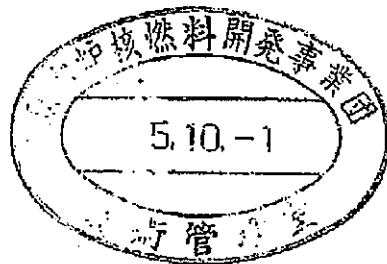


本資料は 1993年 8月 9日付けで  
登録区分変更する。 [技術展開部技術協力課]

# 堆積軟岩の透水性および変形特性の 異方性に関する研究 (Ⅳ)

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)



1993年3月

北海道大学工学部  
基礎地盤工学講座

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者にだけ配布するものです。従って、その取扱いには十分注意を払って下さい。なお、この資料の供覧、複製、転載、引用等には事業団の承認が必要です。また今回の配布目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。

This document is not intended for publication. No public reference nor disclosure to the third party should be made without prior written consent of Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

本資料についての問合せは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術情報室

堆積軟岩の透水性および変形・強度特性の  
異方性に関する研究 (IV)

土 岐 祥 介\*、三 浦 均 也\*

要 旨

昨年度に続き、試験条件を種々に変えて、強度・変形特性を中心に褶曲作用の影響とそれにともなう力学特性の異方性を、三軸圧縮試験を中心とした室内試験によって実験的に研究した。試料は地層の堆積（褶曲）状況が比較的良く調査されているダム建設地点から採取した。このサイトでは、右岸の地層はほぼ水平であるのに対し、左岸では地層がほぼ垂直、また中央部では水平面に対しほぼ $45^\circ$ に傾斜している。

試験結果の考察より、以下のような知見を得た。

- 1) 堆積年代が最も古く、密度も最も高い左岸試料の、室内試験より求めたS波速度、一軸圧縮試験より求めた強度と剛性は最も低く、透水係数も大きかった。しかし三軸圧縮試験では、拘束圧によって試料採取地点の力学特性の相互関係が大きく異なり、大きな拘束圧の下では褶曲作用によって生じた供試体内部の微小な不連続面の影響は消失し、応力履歴の影響が再現されることが明らかにされた。
- 2) 三軸圧縮試験より求めた降伏拘束圧力、剛性および強度の異方性と、試料採取地点および採取方向の関係の考察より、過去の応力状態を説明する力学特性の異方性は上載圧の減少のような応力状態の変化が存在するにも関わらず、現在も残されていることが明かとなった。

など、力学特性に及ぼす褶曲作用の影響についての知見を得た。

---

本報告書は、土岐祥介が動力炉・核燃料開発事業団 の依頼により実施した研究の成果である。

契 約 番 号 : 0 3 0 D 0 1 5 3

事業団担当者 : 服部弘通

\* : 北海道大学工学部基礎地盤工学講座

Study on the Anisotropic Characteristics of Permeability and  
Deformation-Strength behavior of Sedimentary Soft Rock (IV)

Shosuke TOKI\* and Kinya MIURA\*

Abstract

To investigate the effects of folding on the mechanical behavior of sedimentary soft rock, and the anisotropy of engineering properties, induced by tectonic forces, a series of triaxial compression tests, unconfined compression tests and permeability tests were carried out on sedimentary soft rock. Test specimens were secured from a dam site, where its geological structure is well documented by a series of geological surveys; the bedding planes of the left bank are almost upright in contrast to the right bank, where they are almost horizontal, and these in the middle point of the dam site slope 45 from horizontal.

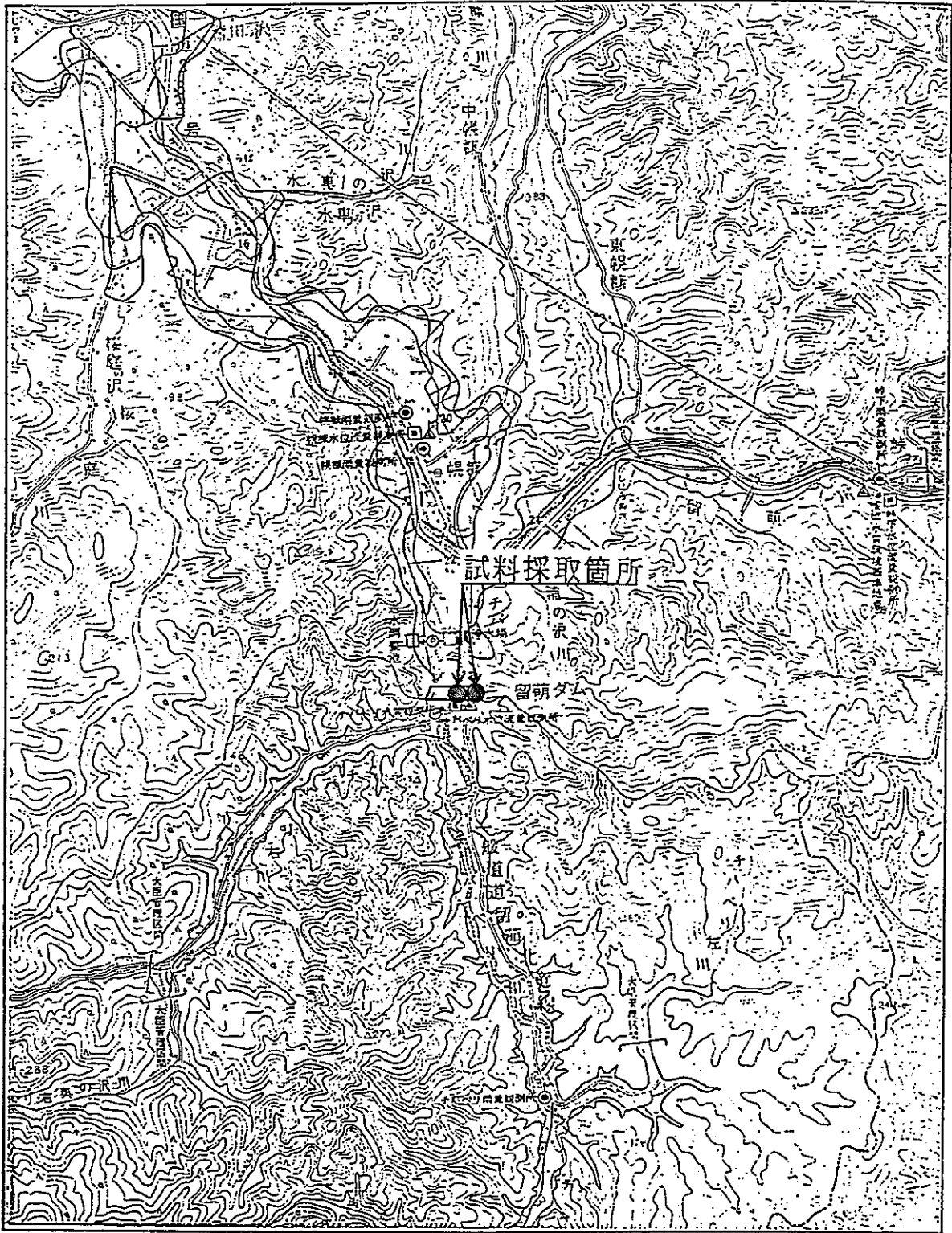
Based on the examination of the test results, the following findings were obtained.

- 1) In the samples taken from the left bank, where its age of stratum is the oldest and the density is the highest, the elastic wave and the stiffness and strength in unconfined compression tests were the lowest, and the permeability was the highest within the samples secured from the three sites. But in the triaxial compression tests, the relationships in the mechanical properties of the samples were varied by the magnitude of confining pressure. In addition, it was found that the even if the effect of micro discontinuities exerted by the folding is disappeared by such a reason as the increase of overburden pressure, then effect of stress history reappears as the confining pressure increases.
- 2) Based on the examination on the yielding confining pressure, anisotropy of stiffness and strength obtained from triaxial tests, it was also found that the anisotropy of mechanical properties induced by previous stress state is not vanished by the decrease of overburden pressure.

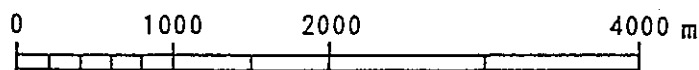
Work Performed Shosuke TOKI under contraction with power  
Reactor and Nuclear Fuel development Corporation  
PNC Liaison: Hiromichi HATTORI (Technical information Service)

\* : Foundation Engineering, department of Civil Engineering,  
Faculty of Engineering, Hokkaido University

# 調査地案内図



1 : 50, 000



## 目 次

	頁
1. まえがき -----	1
2. 調査概要 -----	4
3. 調査地の地質概要 -----	8
4. 試料採取および運搬保存 -----	10
5. 試験方法 -----	14
6. 試験結果及び考察 -----	23
7. まとめ -----	85
8. あとがき -----	88

### < 巻末資料 >

- ・ 試験結果
- ・ 現場写真
- ・ 採取コア写真
- ・ 試験状況写真

## 1. まえがき

本調査は、動力炉・核燃料開発事業団の御依頼により、留萌ダム建設予定地における基礎岩盤の物理的・力学的性質を地質構造を含めた観点から把握し、設計・施工上の基礎的研究資料を得ることを目的としている。また、本調査は5ヶ年計画で行なっているものであり、本年は最終の5年目に当たる。

調査地の地質は、顕著な褶曲構造を有しており、右岸部では地層面水平を示すが、豎坑部では地層の傾斜角 $45^{\circ}$ を持ち、左岸部では、ほぼ直立した状態になっている。

今回、試験試料は、ダム建設予定地の右岸調査横坑より、水平ダム軸方向に対し、 $45^{\circ}$ 傾いた軸対象の2方向、ダムサイト中央の豎坑からは、鉛直面に対し $45^{\circ}$ 左岸側に傾いた方向より採取したものである。採取試料については、これまでと同様の試験を行なった。

本試験結果に、前年度までの試験結果を加え、右岸部、左岸部、豎坑部の性質の相違を比較し、本軟岩の物性値に対する褶曲作用による影響、また、右岸部、左岸部、豎坑部の異方性について検討した。

昭和63年度から、平成3年度までの本業務の調査数量を表1-1に示し、各地点における採取方向、概念図を図1-1に示す。

表 1 - 1 岩石試験数量表

		昭和 6 3 年度	平成 元 年度	平成 2 年度	平成 3 年度	平成 4 年度
ボーリング		○右岸横坑 鉛直5m×4=20m	○右岸横坑 水平ダム軸 5m×2=10m 水平ダム軸直角 5m×2=10m  ○左岸横坑 鉛直5m×2=10m	○右岸横坑 鉛直面に対し 45°傾斜 (東) 3m×1=3m 鉛直面に対し 45°傾斜 (西) 3m×1=3m  ○左岸横坑 水平ダム軸 3m×2=6m 水平ダム軸直角 3m×2=6m	○左岸横坑 鉛直面に対し 45°傾斜 (東) 3m×3=9m 鉛直面に対し 45°傾斜 (西) 3m×3=9m  ○豎坑 鉛直 3m×2=6m 水平ダム軸 3m×2=6m	○右岸横坑 水平面に対し 45°傾斜 (北) 3m×3=9m 水平面に対し 45°傾斜 (南) 3m×3=9m  ○豎坑 鉛直面に対し 45°傾斜 (東) 3m×3=9m
室内試験	土粒子の密度	3	3	4	4	3
	含水比	3	3	4	4	3
	粒土	3	3	4	4	3
	見掛比重	3	3	—	—	—
	透水 (変水位)	—	3	4	4	3
	透水 (定水位)	—	3	—	—	—
	一軸圧縮	9 供試体	9 供試体	20 供試体	20 供試体	15 供試体
	超音波伝播速度	9 供試体	9 供試体	20 供試体	20 供試体	15 供試体
	三軸圧縮 (UU)	15 供試体	15 供試体	—	—	—
	三軸圧縮 (CU)	—	15 供試体	—	—	—
三軸圧縮 (CD)	15 供試体	21 供試体	34 供試体	24 供試体	18 供試体	



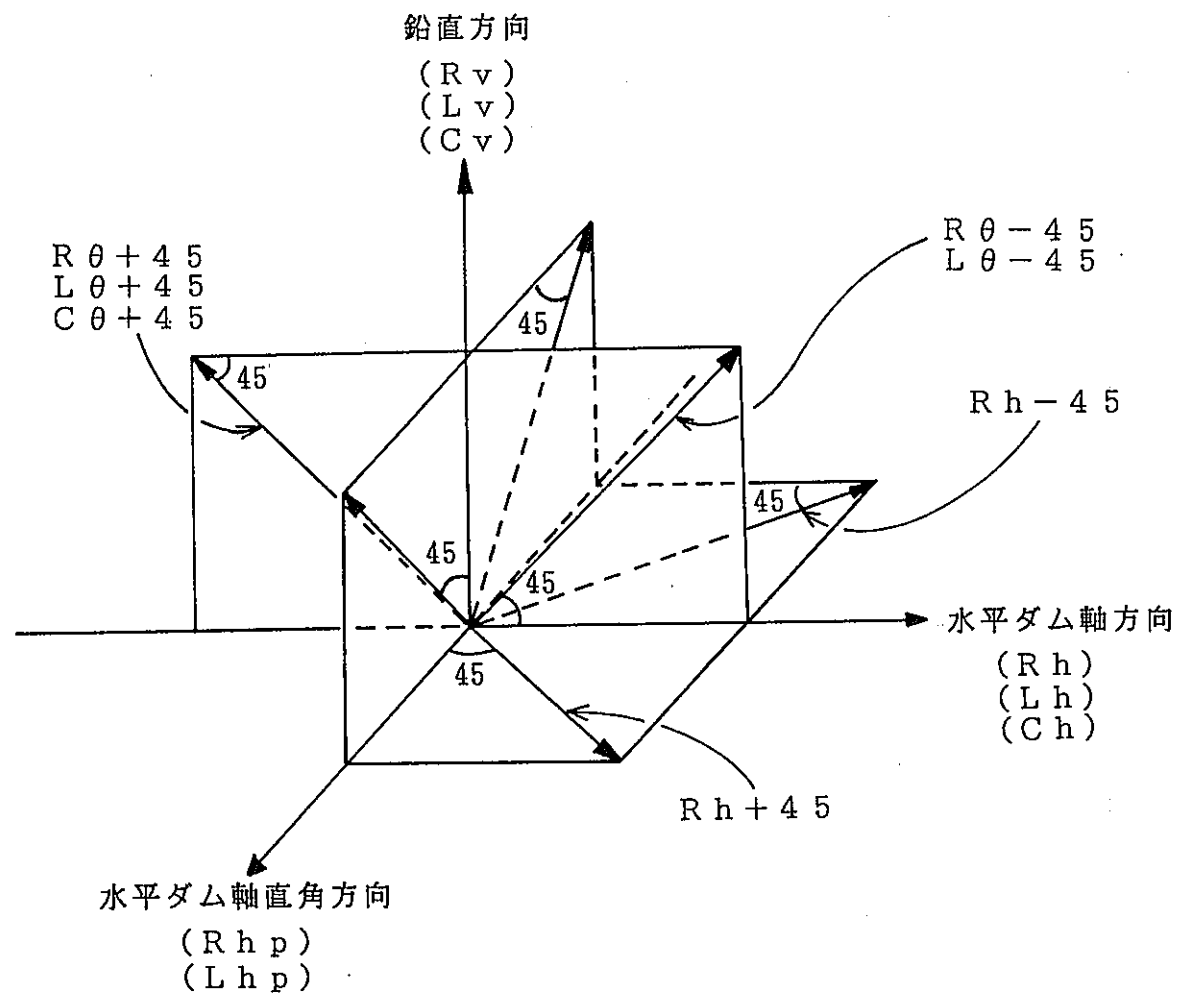


図 1 - 1 昭和 63 年度 ~ 平成 4 年度 まで 試料採取方向 概念 図

## 2. 調査概要

### < 調査名 >

堆積軟岩の透水性および変形特性の異方性に関する研究 (IV)

### < 調査期間 >

(自) 平成4年9月28日～(至) 平成5年1月29日

### < 調査目的 >

留萌ダム建設予定地における基礎岩盤を構成する細粒砂岩の物理的、力学的性質について把握すること、および、それらの諸性質と地質構造との関連性について検討する事にある。

### < 調査地 >

北海道留萌市幌糠町字チバベリ110林班地先

右岸横坑内 (61T-3)

竪坑内 (H2V-1)

試料採取位置を図2-1, 2に示す。

### < 調査項目及び数量 >

#### ● ボーリングコア採取

右岸横坑 ダム軸水平面に対し45°傾いた方向

(北側) Rh+45 ---- 3m × 3ヶ所 計9m

(南側) Rh-45 ---- 3m × 3ヶ所 計9m

竪坑 鉛直面に対し右岸側に45°傾いた方向

(西側) Cθ+45 ---- 3m × 3ヶ所 計9m

#### ● 物理試験、岩石試験

表2-1、表2-2に一括して示す。

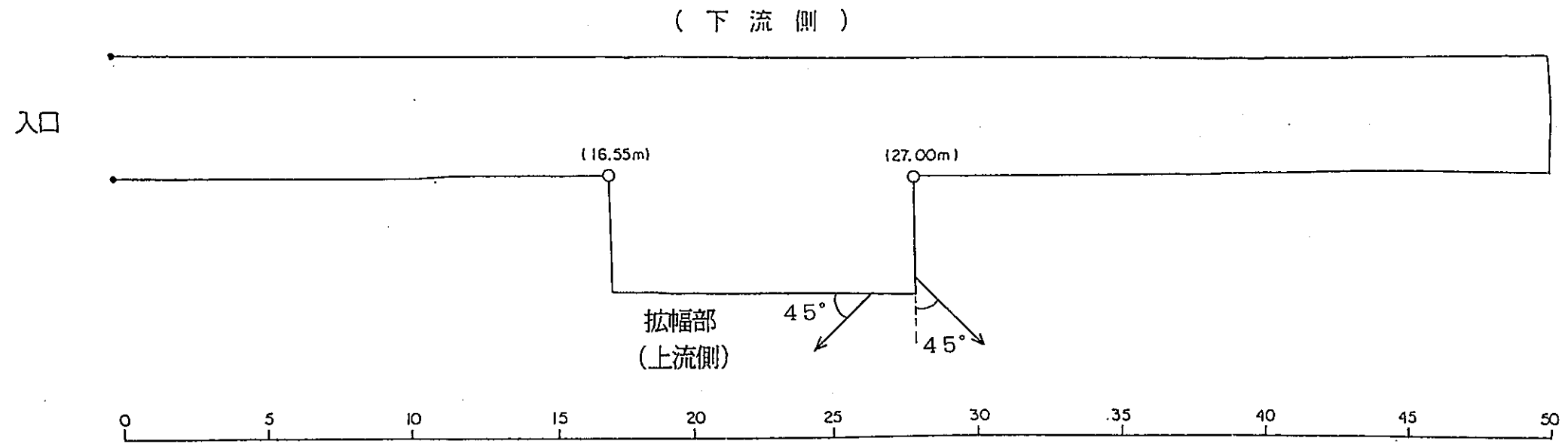
表 2 - 1 物理試験実施数量表

試験項目	試料数	1試料当りの個数	合計	備考
土粒子の密度試験	3	1ケ	3	三軸圧縮試験用供試体の成形切削物を用いる。
含水比試験	3	1ケ	3	三軸圧縮試験用供試体の成形切削物を用いる。
粒度試験	3	1ケ	3	高さ100mm、径50mmの試料を過酸化水素水に、約一週間浸し、土粒子の固結を解放した後行う。

表 2 - 2 岩石試験実施数量表

試験項目	試料数	1試料当りの個数	合計	備考
透水試験 (変水位法)	3	1ケ	3	任意の側圧段階において、それぞれの透水係数を求めるものとする。
一軸圧縮試験	3	5ケ	15	高さ100mm、径50mmに供試体を成形。
超音波伝播速度測定	3	5ケ	15	一軸圧縮試験用の供試体で実施。
三軸圧縮試験 (CD)	18	-	18	高さ100mm、径50mmに供試体を成形し、各種条件によって実施。

• T-3右岸試掘横坑平面図



• 拡幅部分展開図

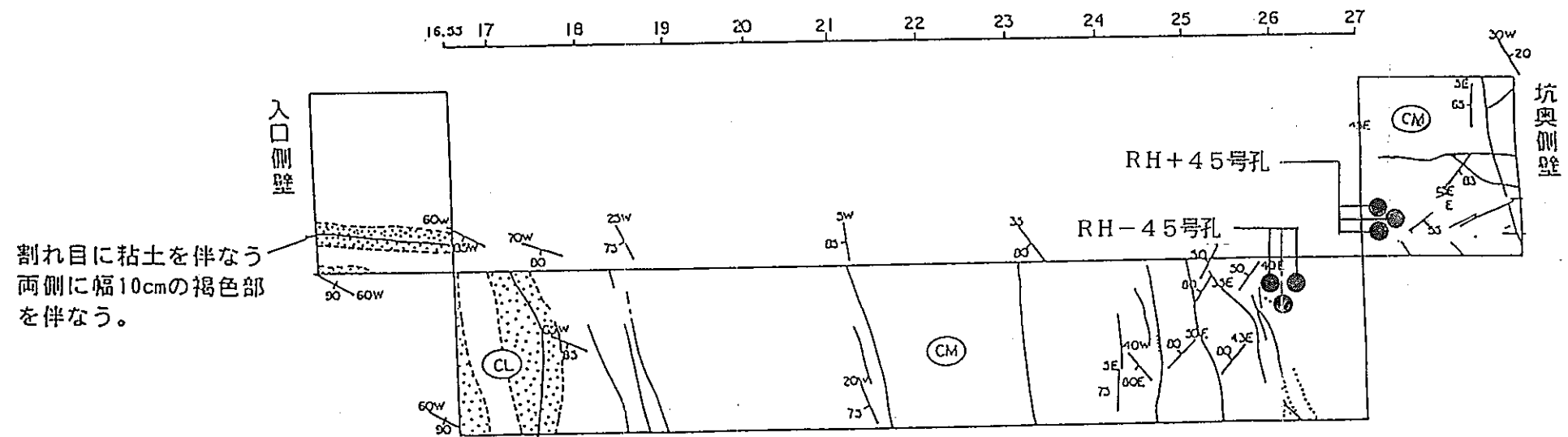
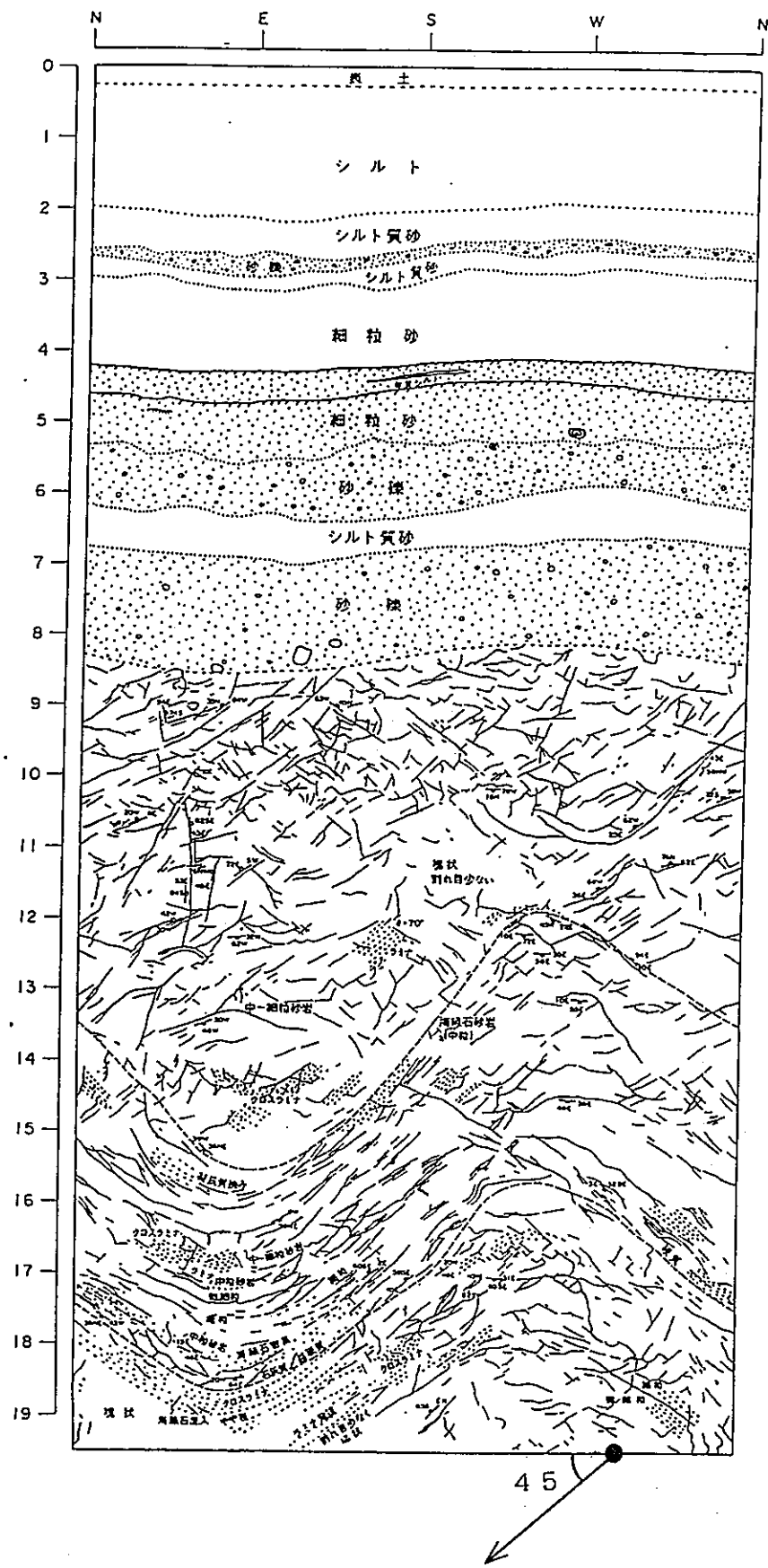


図2-1 コア採取位置図 (61 T-3右岸横坑)

・ 豎坑展開図



・ 豎坑平面図

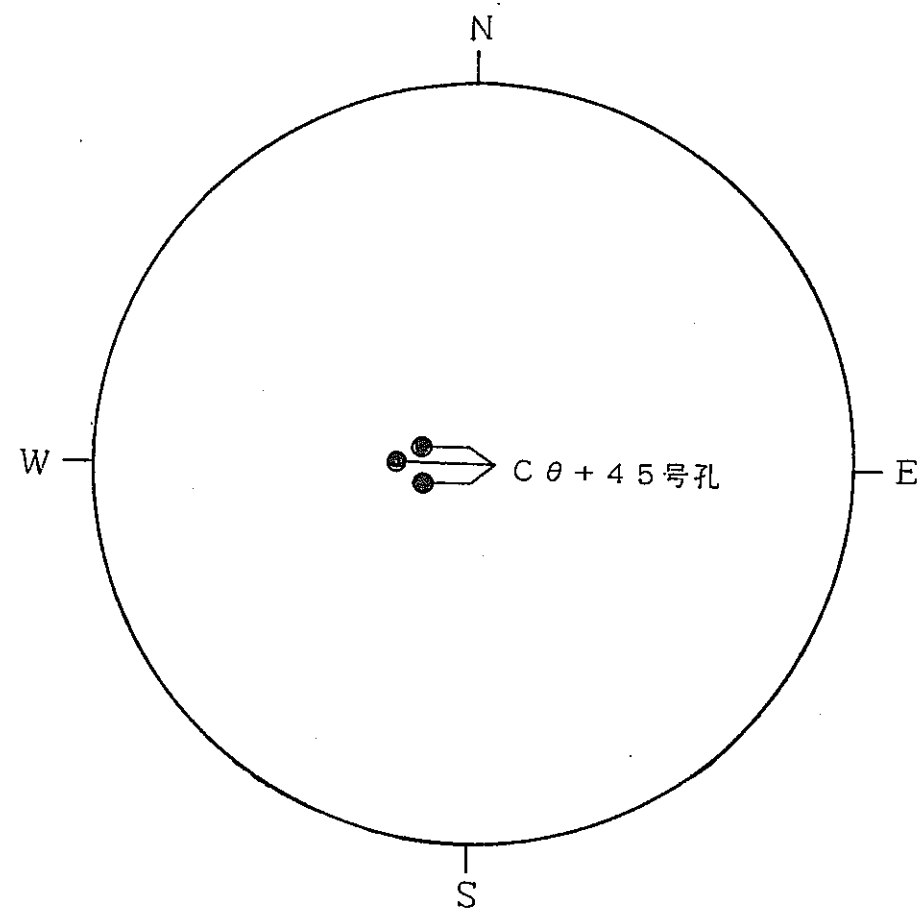


図 2-2 コア採取位置図 (H2-V-1 豎坑)

### 3. 調査地の地質概要

試料採取地点は、留萌市の南東約15km、留萌川支流チバベリ川流域に計画されている留萌ダムダムサイト部に位置している。同サイトの地質は新第三紀鮮新世深川層群幌加尾白利加層に相当する細粒砂岩（軟岩）で構成されており、南北にのびる河床部には、砂れきを主とする氾濫原堆積物が薄く分布している。

ダムサイトは、樺戸背斜と称される褶曲帯にあり、その地質構造は河床の向きと同様に南北の方向性を持っている。

ダムサイト周辺の地質構造を図3-1の断面図に示す。また、ダムサイト付近でその詳細を見ると、地層（細粒砂岩）は、図3-2に示すように、右岸部で水平層をなすが、豎坑部では、地層の傾斜角 $45^{\circ}$ を持ち、左岸部では直立に近い急勾配となっている。

なお、右岸、左岸横坑は、横坑掘削後、8年が経過し、内部は常に外気と接している。豎坑部では、掘削後2.5年程度で内部は地下水で満たされているが、各種調査のため年間数回の地下水を汲み上げ作業を行っている。



#### 4. 試料採取及び運搬・保存

##### 4. 1 試料採取

試料は、ボーリング位置図（図2-1, 2）に示す10ヶ所から採取した。  
採取に当っては、シングルコアカッター（外径55mm）を用い、コア径約53.5  
m/mのコアを採取した。

ボーリング概念図を図4-1, 2, 3に示す。

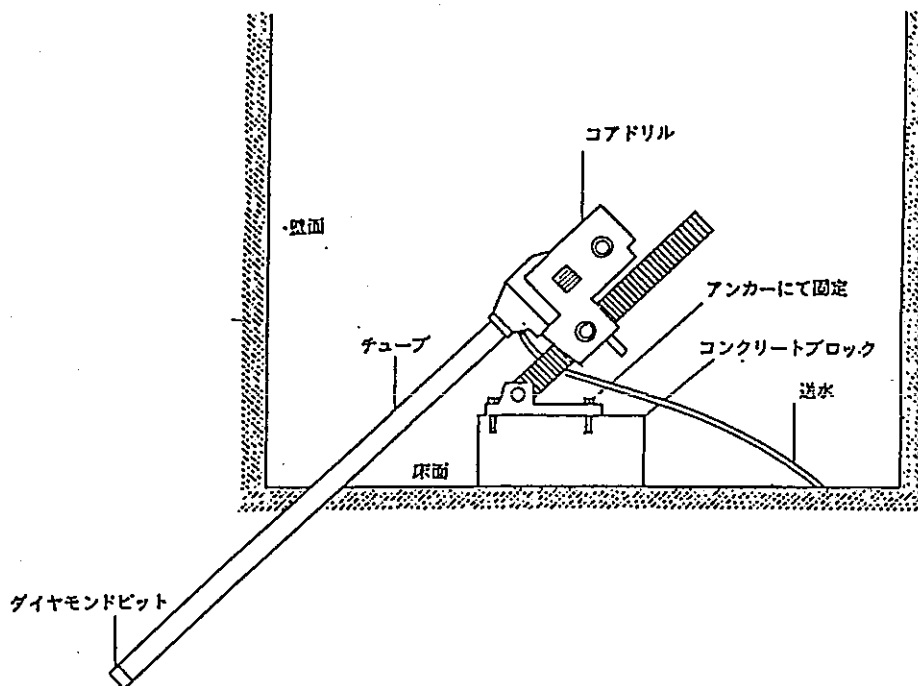


図4-1  $\theta = 45^\circ$  方向によるボーリング概念図



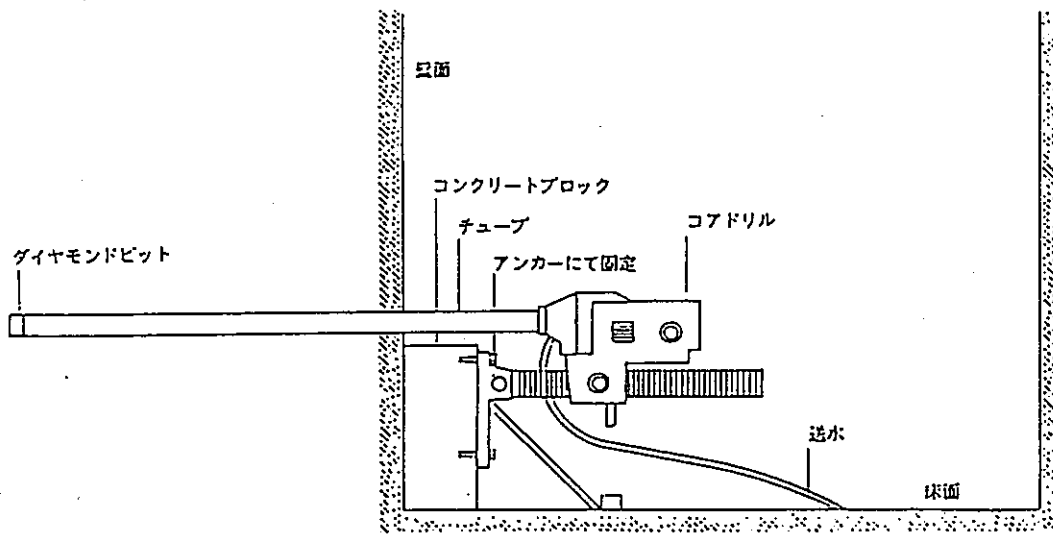


図4-2 水平方向によるボーリング概念図

採取試料については以下の措置を講じた。

- ① ボーリングコアは乾燥を防ぐため、速やかにポリ塩化ビニールフィルムでシールし、採取深度及び上下方向を明記したラベルを添付する。
- ② ポリ塩化ビニールフィルムでシールしたコアはエアキャップ等クッション材の敷いてあるコア箱に収納する。

#### 4. 2 試料の運搬・保存

試料の運搬に当っては、スポンジ、エアーマット等のクッション材を敷いた保護箱に試料を格納し、運搬車の荷台に緩衝材を敷いた上にこの保護箱を載せ、衝撃を与えないように配慮して試験室に搬入した。

試料の保存については、保存・期間中に極端な温度・湿度変化が生じないように細心の注意をはらった。

温度調節機により、室内温度を20° 前後に保ち、室内の水槽に水を張って、高湿な状態の中に試料を保存した。

## 5. 試験方法

### 5. 1 物理試験及び岩石鉱物学的試験

本試験は、以下に示す方法で実施した。

- ・土粒子の密度試験 → JSF T 111
- ・土の含水比試験 → JSF T 121
- ・土の粒度試験 → JSF T 131
- ・湿潤密度試験 → JSF T 191
- ・R Q D値測定

### 5. 2 超音波伝播速度測定

試験は、物理探査学会の指針に準拠して実施した。

直径50mm、高さ100mm に成形した一軸圧縮試験用供試体を用い、1対のP波用およびS波用発振子、受振子を備えた透過式超音波伝播速度測定装置 (Model 5210 SONIC VIEWER , 応用地質(株)製) でP波とS波の伝播速度を測定した。

図5-1に概念図を示す。

発振子と受振子の波の伝播時間は、デジタルオシロスコープの時間軸上で、供試体の有無による初動の「立ち上がり時間」の差として読み取った。なお、測定は発振子と受振子の位置を正逆2通り入れ換えて2回行なうものとし、この2回の測定による到達時間差が5%以上の時は再測定を行なった。ここで、供試体の高さはノギスを用いてあらかじめ測定し、P波およびS波速度は、供試体の高さを伝播時間で割ることによって算出した。ここで得られたP波速度、S波速度、密度から以下の物性値を求めた。

○ 動ポアソン比

$$\nu_d = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2 \{ (V_p/V_s)^2 - 1 \}}$$

○ 動剪断弾性係数

$$G_d = \frac{10^{-3} \cdot \rho_t \cdot V_s^2}{980} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

○ 動弾性係数

$$E_d = 2 (1 + \nu_d) \cdot G_d \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

ここで、

$V_p$  : P波速度 (m/sec)

$V_s$  : S波速度 (m/sec)

$\rho_t$  : 密度 (g/cm<sup>3</sup>)

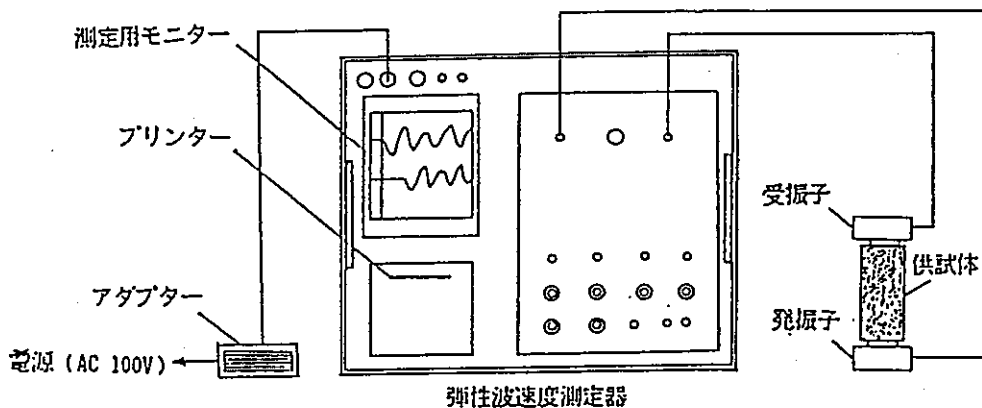
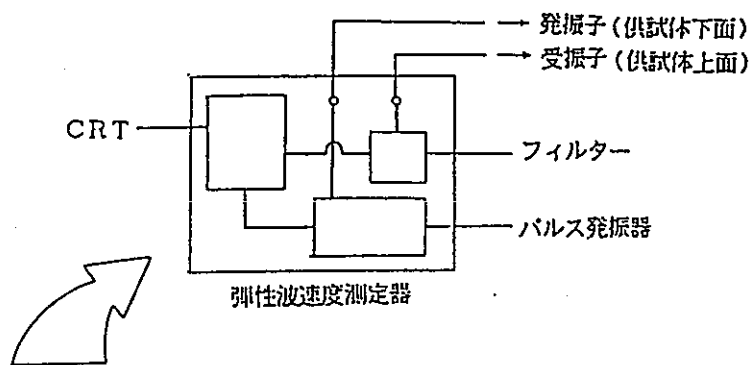


図 5 - 1 超音波速度測定概念図

### 5.3 透水試験（変水位法）

試験は以下の手順で実施した。

- ① 供試体を成形し、その側面にシリコン系ゴムを塗布する（図5-2）。
- ② 塗布したゴムが硬化する前に、ゴムスリーブをかぶせ三軸セルにセットする（図5-2）。
- ③ 三軸セルを水で満たす。
- ④ 供試体の下方から、上方向に通水させ供試体内の空気を排除する。
- ⑤ 任意の応力で圧密する（段階的に載荷する場合や背圧を負荷した状態で行う場合もある）
- ⑥ 圧密終了は、3セ法により判断する（三軸CD試験手順参照）。
- ⑦ 圧密終了後、側圧を一定に保った状態で、供試体下方部より圧力水を浸透させ、上方より排水させる。この時の排水量と、排水に要した時間により透水係数を算出する（概念図を図5-3に示す）。

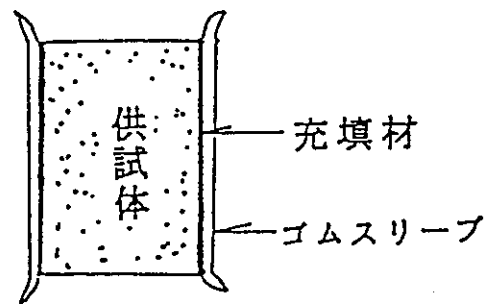


図5-2 供試体作成状況

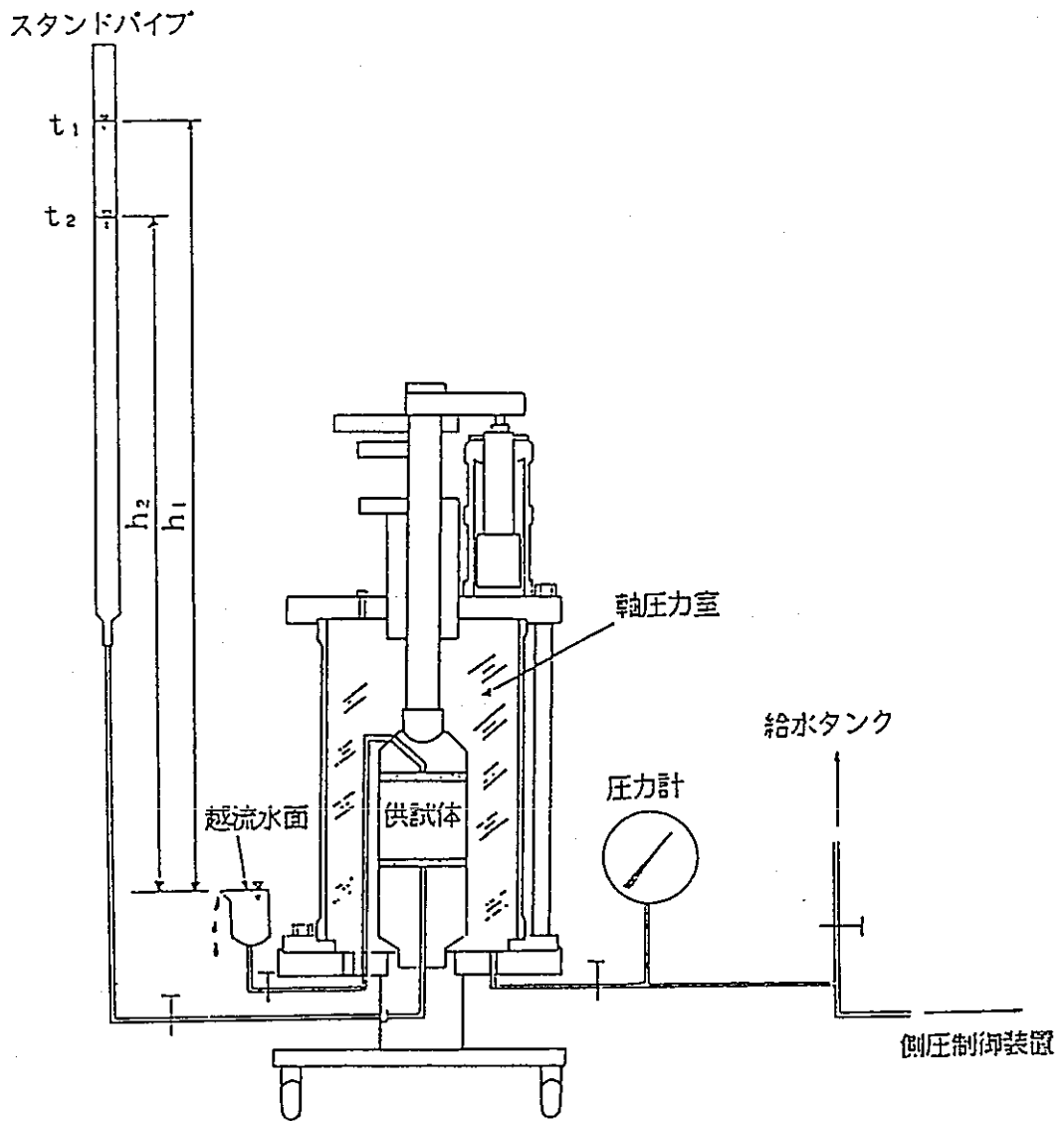


図 5 - 3 三軸室を用いた変水位透水試験概念図

#### 5. 4 一軸圧縮試験

本試験は、側方拘束のない状態での圧縮強度と変形係数を求める試験である。自然状態の試料を用い JIS A 1216 ならびに JIS M 0302 により実施した。

##### (1) 試験方法

供試体は、直径50mm、高さ100mm に成形し、密度（ノギス法）および含水比の測定も行なった。

##### — 試験条件 —

- 載荷方式 ひずみ制御法
- 載荷速度 0.1 %/min

概念図を図5-4に示す。

載荷時の応力～ひずみ関係（ $\sigma - \varepsilon$  曲線）は、データロガーに収録し、その後、コンピューターにより演算、図化させた。

試験終了後、供試体の破壊状況を観察記録するとともに写真を撮影実施した。得られた応力～ひずみ関係から以下の物性値を求めた。

- 一軸圧縮強度（ $q_u$ ）（ $\text{kgf/cm}^2$ ）：  $\sigma \sim \varepsilon$  曲線上の最大応力値
- 破壊ひずみ（ $\varepsilon_f$ ）（%）： 最大応力値に対応するひずみ
- 変形係数（ $E_{50}$ ）（ $\text{kgf/cm}^2$ ）：  $\sigma \sim \varepsilon$  曲線上の  $q_u/2$  における割線

勾配



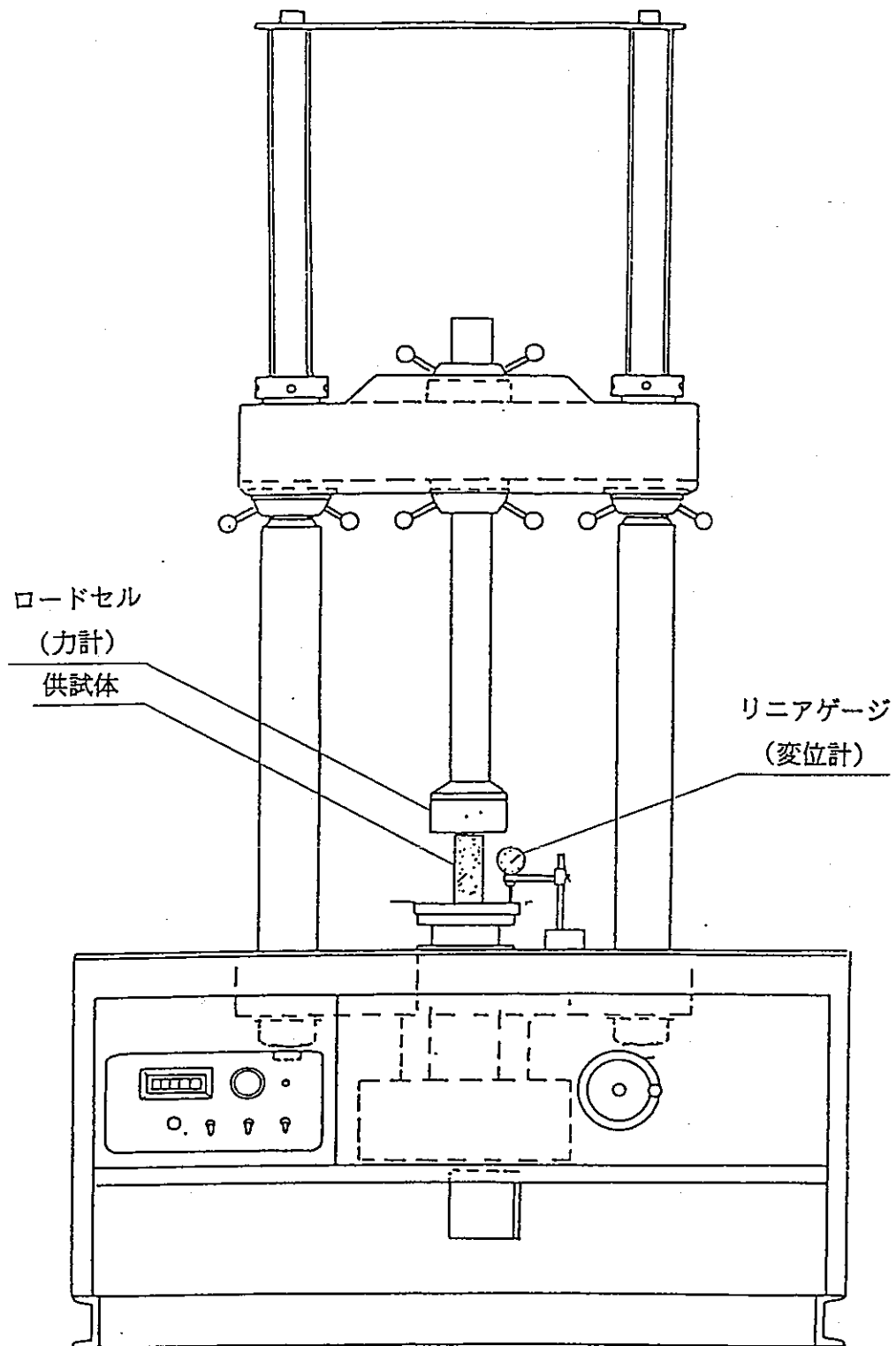


図5-4 一軸圧縮試験概念図

### 5.5 三軸圧縮試験<CD試験>

本試験は、圧密排水条件下で行なうもので剪断中において供試体内に間隙水圧が残らないような速度で実施した。

供試体は直径50mm、高さ100mm に成形し、成形時には密度（ノギス法）及び含水比の測定も併せて実施した。

#### — 試験条件 —

- ・排水条件 : 圧密排水
- ・載荷方法 : ひずみ制御法
- ・供試体の脱気 : 供試体を脱気水に沈め24時間真空脱気
- ・応力条件は、表5-1に示す。
- ・圧密終了の決定 : 3 $\tau$ 法による（注）

試験概念図を図5-5に示す。

表5-1 三軸圧縮試験条件一覧表

試料名	有効拘束圧 $\sigma_3$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	背 圧 U <sub>b</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	セル 圧 $\sigma_3$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ (%/min)
R h + 4 5	5	5	10	0.1
	15	5	20	0.1
R h - 4 5	25	5	30	0.1
C $\theta^{\circ}$ + 4 5	35	5	40	0.1
	45	5	45	0.1
	50	5	55	0.1
	70	5	75	0.1
	90	5	95	0.1

測定は、荷重、変位、体積変化をデータロガーに収録し、その後、コンピュータにより演算、図化した。

試験結果として、次の物性値が求められる。

・軸差強度  $(\sigma_1 - \sigma_3) P$  :

$\varepsilon \leq 15\%$ での  $\sigma - \varepsilon$  曲線上の最大軸差応力  $(\sigma_1 - \sigma_3) \max (\text{kgf/cm}^2)$

・残留強度  $(\sigma_1 - \sigma_3) r$  :

$\sigma \sim \varepsilon$  曲線において  $(\sigma_1 - \sigma_3) \max$  に到達後、一定値に収束した時点での軸差応力  $(\sigma_1 - \sigma_3) (\text{kgf/cm}^2) \rightarrow 10\%$  時

・変形係数  $E_{s0}$  :

$\sigma \sim \varepsilon$  曲線において原点と  $(\sigma_1 - \sigma_3) \max / 2$  の割線勾配  $(\text{kgf/cm}^2)$

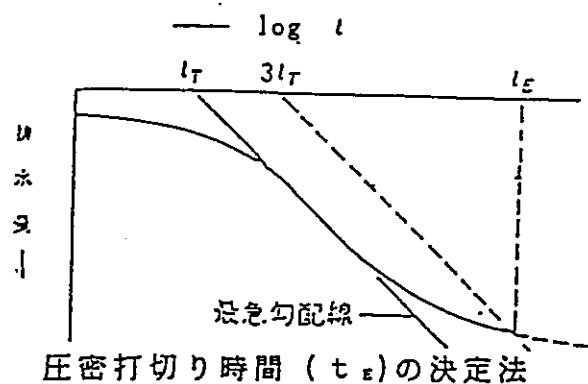
・モールの応力円 ( $\sigma \sim \tau$  関係) と強度定数

供試体中には、間隙水圧が発生しないので、有効応力と全応力は一致し、破壊時の供試体内の平面上の応力状態を表わすモールの応力円の位置は確保する。一連のモール円に破壊包絡線を引いて、次の強度定数を算定する。

$C_a, \phi_a$  : 有効応力状態での強度定数

注) 3t 法 :

圧密終了の判定は右図に示すように、排水量～時間(対数目盛)曲線の最急勾配を引き、これを時間的に3倍だけ右に平行移動させた線を引き、これと排水量～時間曲線が交わった時点をもって圧密終了する。



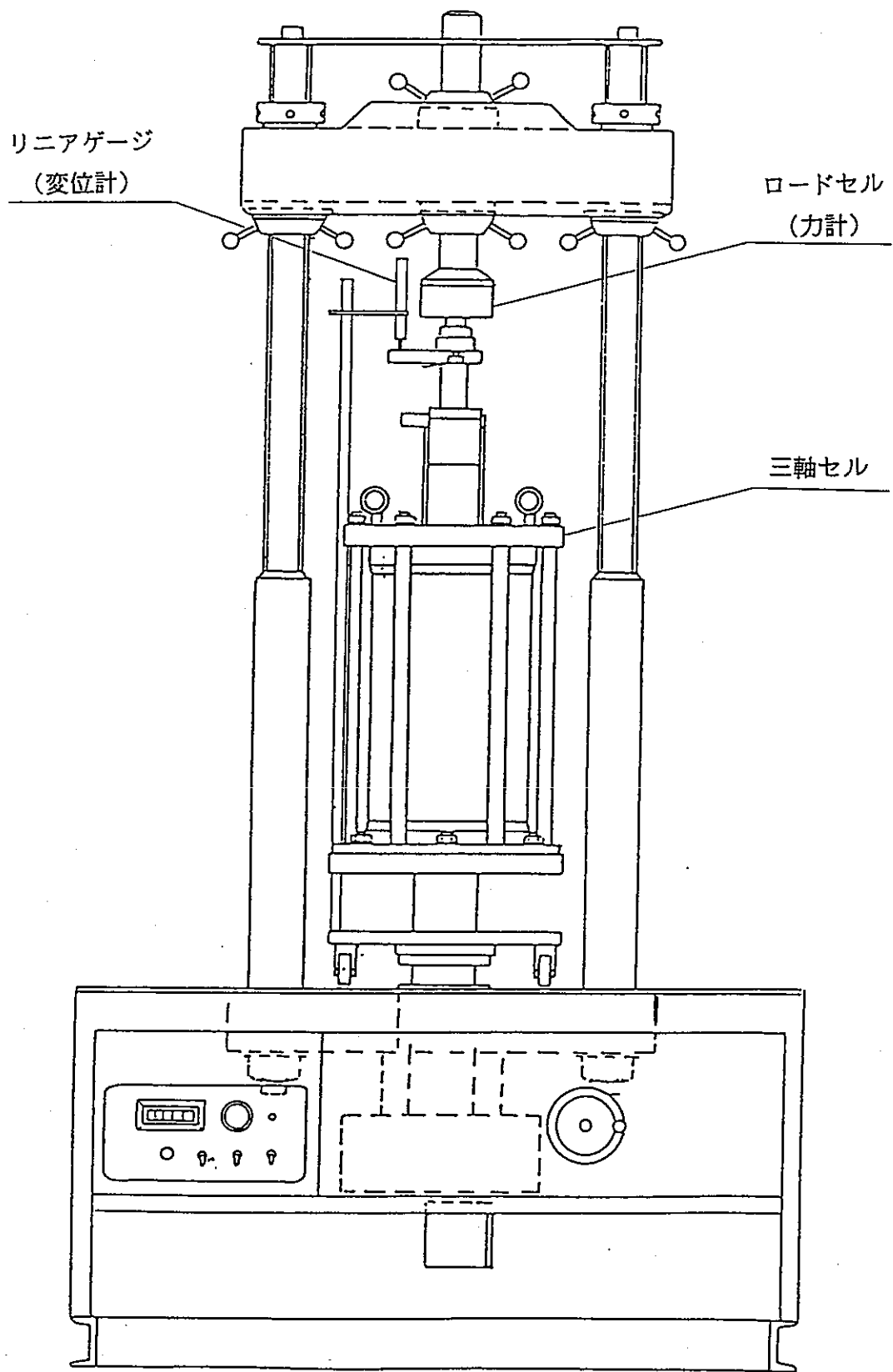


図5-5 三軸圧縮試験概念図

## 6. 試験結果及び考察

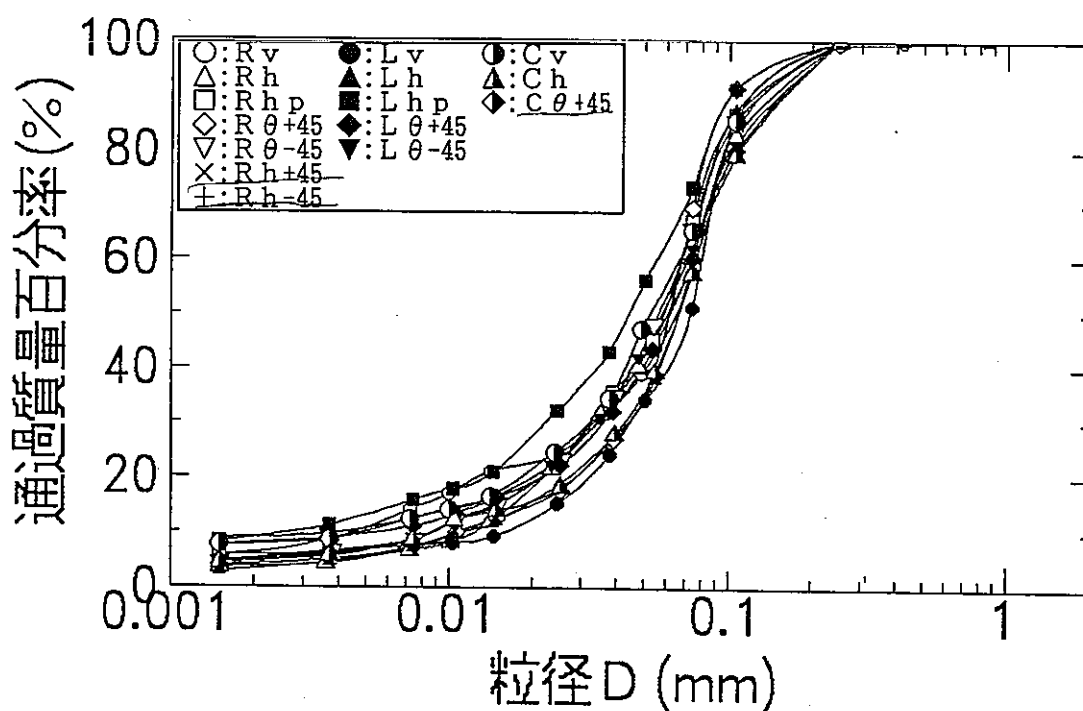
### 6. 1 物理試験及び岩石鉱物学的試験結果

各試料の物理的性質を把握するため、試験方法の項で述べた各種の物理試験を実施した。この結果を以下に示す。(昭和63年度～平成3年度までの結果も併記する)

#### 6. 1. 1 物理試験結果

各試料の粒度組成を図6-1-1に、物理試験結果を表6-1-2に示す。

図6-1-1、表6-1-1から、粒度組成を比較すると、右岸試料、左岸試料、豎坑試料共に砂分(細砂)、シルト分がほぼ同量で全体の約90%を占めている。また、これらは日本統一土質分類によると細粒土に分類される。



Rh+45 (H4)

図6-1-1 各試料の粒度組成

表6-1-1 物理試驗結果一覽表

試料名	礫分 (%)	砂分 (%)	泥分 (%)	粘土分 (%)	最大粒径 (mm)	均等係数 Uc	曲率係数 Uc'	土粒子密度 (g/cm <sup>3</sup> )	自然含水比 (%)
Rv	0.0	40.8	47.8	11.4	0.425	21.2	3.8	2.632	22.6
Rh	0.0	39.5	53.2	7.3	0.25	7.3	2.8	2.628	22.1
Rhp	0.0	31.0	62.3	6.7	0.25	6.3	1.4	2.603	22.7
Rθ+45	0.0	29.6	64.3	6.0	0.25	6.5	2.9	2.591	22.3
Rθ-45	0.0	33.8	57.5	8.7	0.25	8.2	1.8	2.585	22.5
☆ Rh +45	0.0	9	75.0	16.0	0.425	25.0	4.0	2.622	22.5
☆ Rh -45	0.0	28.0	60.0	12.0	0.425	20.0	4.4	2.619	22.1
Lv	0.0	49.0	44.3	6.7	0.25	6.0	2.0	2.664	20.3
Lh	0.0	37.7	56.0	6.3	0.25	6.8	2.0	2.658	19.1
Lhp	0.0	8.0	80.3	11.7	0.25	10.5	1.6	2.654	18.1
Lθ+45	0.0	39.9	50.7	9.4	0.25	13.2	2.8	2.666	18.9
Lθ-45	0.0	37.8	51.7	10.5	0.25	16.6	4.2	2.675	18.7
Cv	0.0	42.5	51.2	6.3	0.25	9.4	2.4	2.696	21.6
Ch	0.0	34.6	55.2	10.2	0.25	14.5	3.0	2.698	21.9
☆ Cθ+45	0.0	48.0	47.0	5.0	0.85	4.6	1.8	2.649	23.2

☆印 …… 平成4年度実施

## 6. 1. 2 偏光顕微鏡観察結果

岩石の薄片試料を作成し偏光顕微鏡を用いて観察した。

昭和63年度および平成元年度に実施した鏡下観察によるコアの横断面写真と、ここで見られる全体的特徴を表6-1-2、3に示し、また、今回求めた構成鉱物の量比を表6-1-4に示した(Rv, Rh, Rhp, Lvについてのみ実施)。これらの結果から、砂岩の岩石学的特徴についてみると、いずれの試料も細粒砂岩に分類され、構成粒子も石英、長石類、雲母類の結晶片の他、岩片類、火山ガラス、火山岩片等が含まれており、基質部は変質した粘土鉱物により充填されている。これらの配列には、特記するような相違は認められない。

また、構成鉱物の量比を見ると、右岸試料、左岸試料、共に基質部、褐色粘土化粒子が全体の約60%を占めており、岩石自体が粘着性を発揮する要素を有していることがわかる。

表6-1-2 コアの横断面写真および特徴

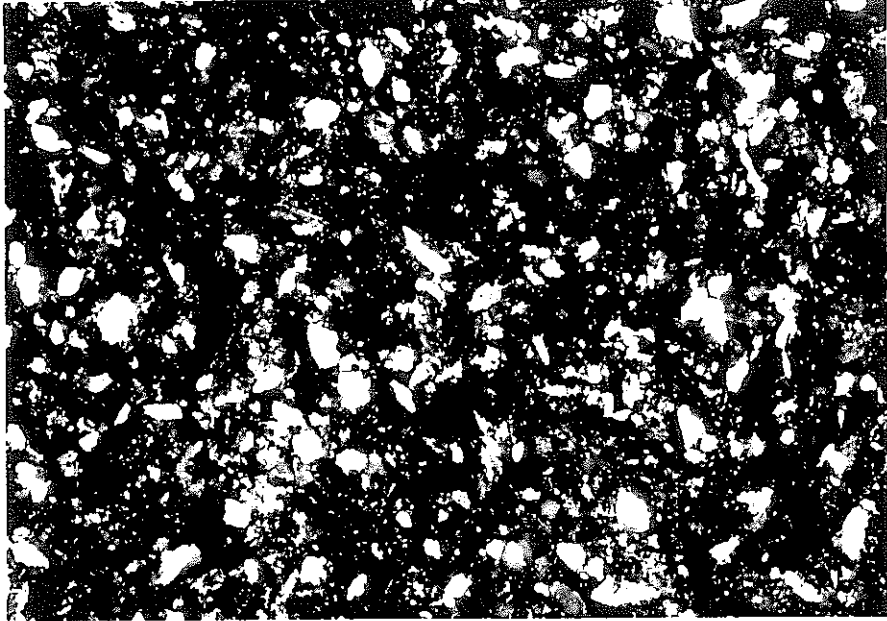
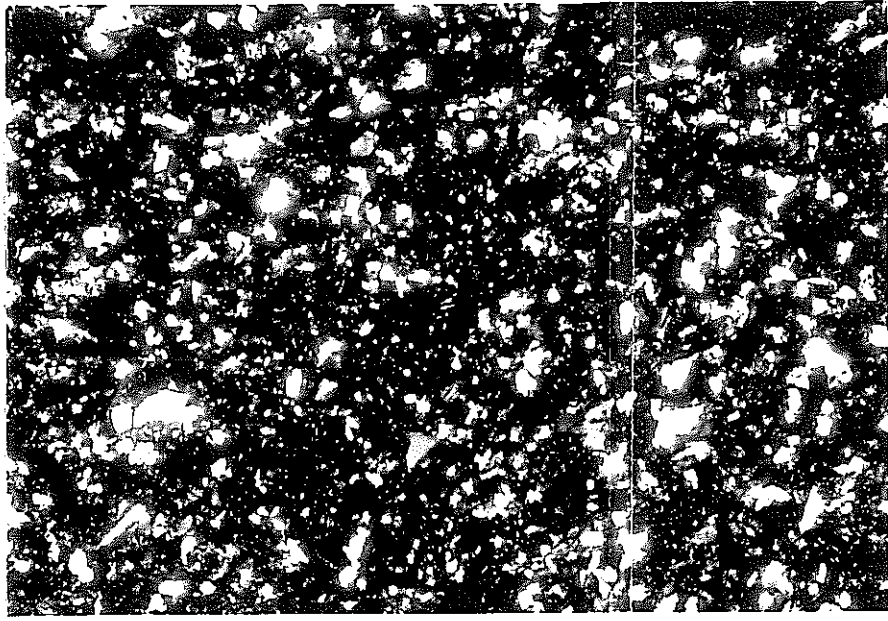

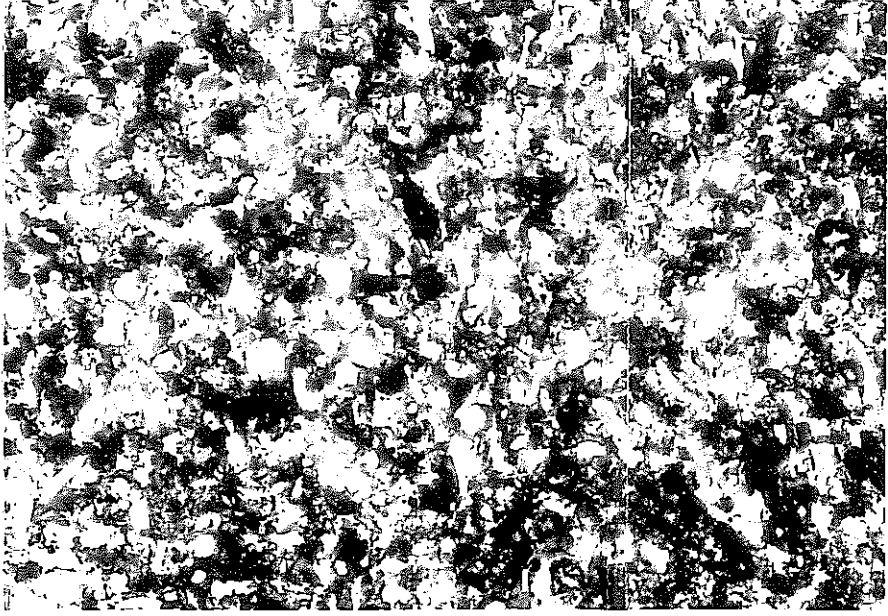
	右岸 Rv (鉛直方向)	右岸 Rhp (ダム軸直角方向)
コアの横断面 顕微鏡写真 (Crossed nicols)		
コアの横断面 顕微鏡写真 (Open nicols)		
岩石名	細粒砂岩	細粒砂岩
岩全体の特徴	色は暗灰色を呈し、非常に脆い。生物擾乱構造が認められる。構成粒子は、石英、長石類、雲母類などの結晶片や、淡褐色～濃褐色を呈す。粘土鉱物からなる強変質した岩片類、また、珪藻類の化石片を含む。基質部は、淡褐色～濃褐色の粘土鉱物からなり、粒状の不透明鉱物を多数含む。モンモリロン石化している部分も認められる。	色は暗灰色を呈し、固結度低く非に脆い。生物擾乱構造が認められる。構成粒子は、石英、長石類、褐色の粘土化した粒子が主体であるが、雲母類、角閃石などの結晶片や、緑色粘土鉱物からなる粒子、火山岩片、火山ガラス、化石片などが含まれている。基質部は、淡褐色を呈する不均質な粘土鉱物からなり、部分的に量比が異なる。



表6-1-3 コアの横断面写真および特徴

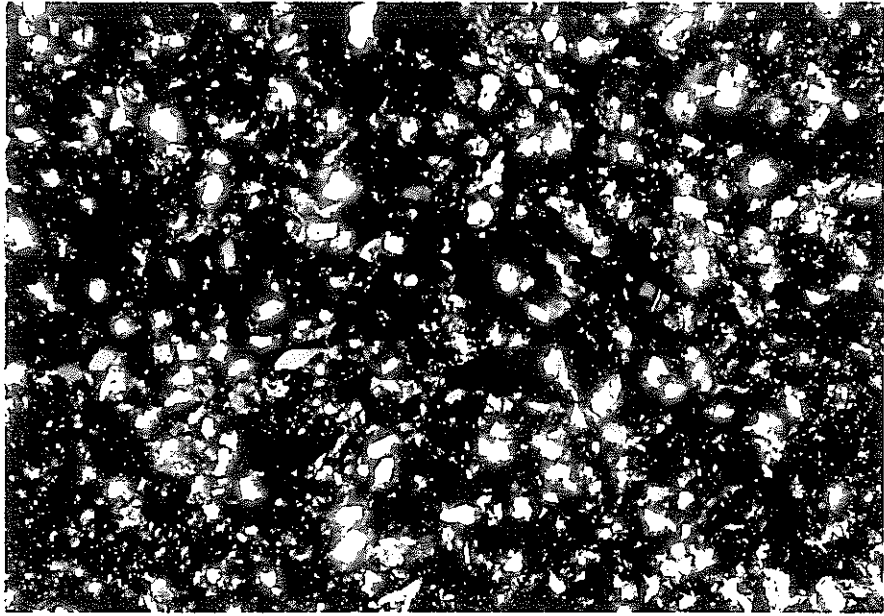
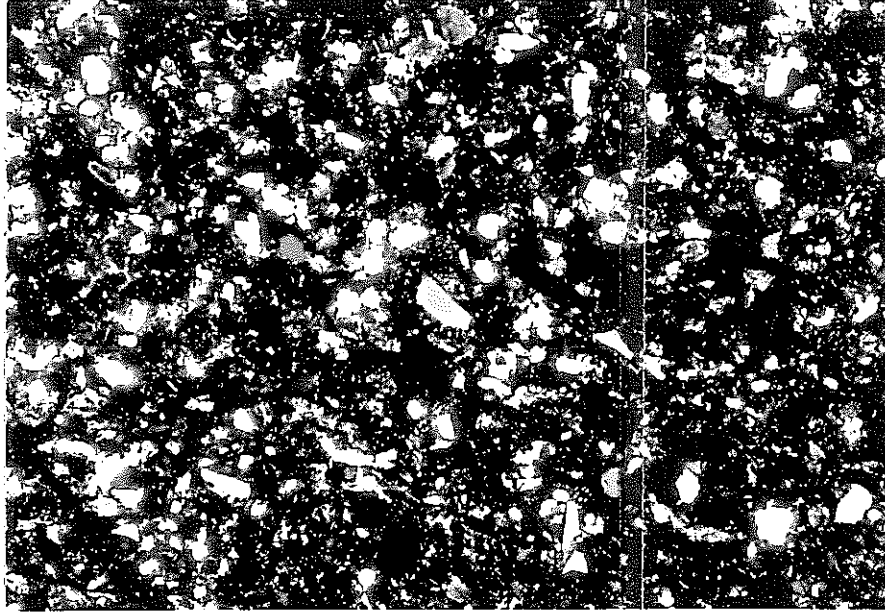
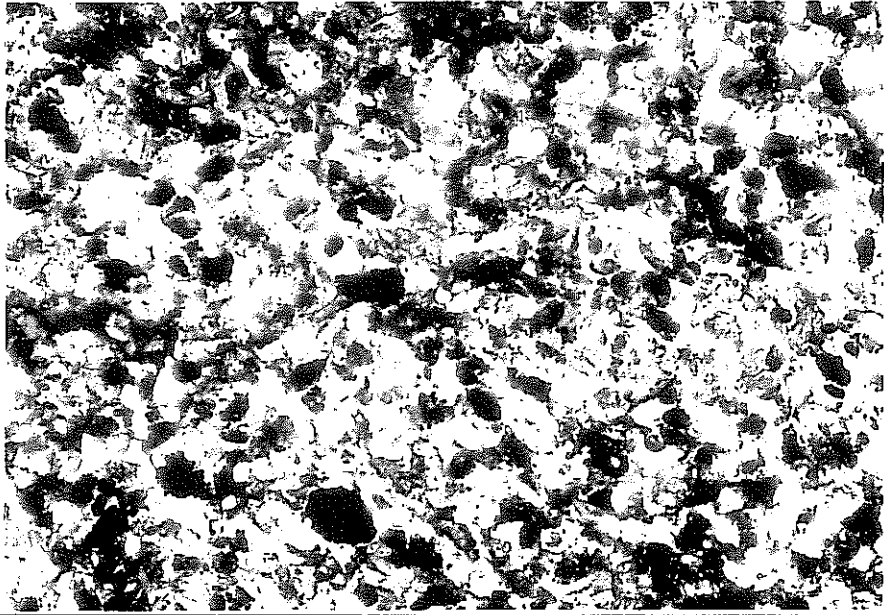
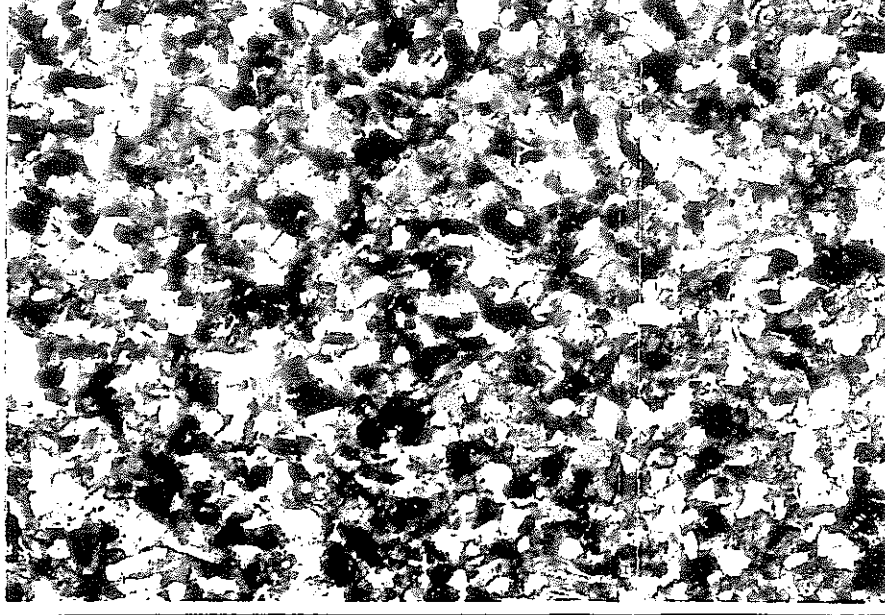
	右 岸 Rh (ダム軸方向)	左 岸 Lv (鉛直方向)
コアの横断面 顕微鏡写真 (Crossed nicols)		
コアの横断面 顕微鏡写真 (Open nicols)		
岩石名	細 粒 砂 岩	細 粒 砂 岩
岩全体の特徴	色は暗灰色を呈し、固結度低く、非常に脆い。生物擾乱と思われる層理の乱れが認められる。構成粒子は、石英、長石類、角閃石、雲母類などの鉱物片や、中性火山岩、塩基性火山岩、などの岩片類、また、有孔虫、放散虫、珪藻などの微化石片を含む。大量の茶～緑褐色の粘土化した粒子を含む、その一部は石英片、斜長石片を含んでいる。基質部は、濃褐～淡褐色を呈し、大部分は、非熔結の粘土粒子である。	色は暗灰色を呈し、固結度低く非に脆い。生物擾乱構造が認められる層理の乱れがあり不均質である。。構成粒子は、石英、長石類、雲母類などの結晶片や、珪長質岩などの岩片類、火山ガラス、珪藻、有孔虫などの化石岩片及び褐色粘土化粒子である。基質部は、淡褐色～褐色を呈す微細な粘土鉱物である。

表6-1-4 構成鉱物のモード測定結果 (横断方向)

	Qm	Qp	Fel	Kf	Mic	Cpx	Bi	Ho	Lv	Lp	Lm	Br	Gr	Fo	Per	Unk	G1	Opq	Po	Max	Total
右岸 Rv (鉛直方向)	267	4	153	7	0	0	16	13	21	0	0	165	38	58	22	6	21	24	0	185	1000
右岸 Rhp (ダム軸直角方向)	173	3	20	14	3	0	14	3	47	0	0	159	10	17	20	7	64	14	3	427	1000
右岸 Rh (ダム軸方向)	167	8	49	8	3	3	21	3	90	8	0	128	13	23	8	3	38	23	5	403	1000
左岸 Lv (鉛直方向)	177	10	82	21	3	0	31	0	86	8	0	175	78	21	10	0	23	26	5	243	1000

凡例

Qm; 単結晶石英, Qp; 複結晶石英, fel; 斜長石, Kf; カリ長石, Mic; 白雲母, Cpx; 単斜輝石, Bi; 黒雲母, Ho; 角閃石  
Lv; 火山岩~火山砕屑岩片, Lp; 深成岩片, Lm; 変成岩片, Br; 褐色粘土化粒子, Gr; 緑色粘土化粒子, Fo; 化石片, Per; 軽石片  
Unk; 未区分粘土粒子, G1; 火山ガラス, Opq; 不透明鉱物, Po; 孔隙, Max; 基質

### 6. 1. 3 R Q D値測定結果

表6-1-5に各試料のR Q D値を示している。これによると、右岸試料はいずれも約90%を示しているのに対し、左岸試料では約50%、豎坑試料は約35%と極めて低いことがわかる。

これは、左岸試料、豎坑試料はクラックの存在が極めて多いことを意味している。

表6-1-5 各試料のR Q D値

試料名	コア採取率 R Q D (%)
R v	89.0
R h	87.0
R hp	89.0
R $\theta$ + 45	93.0
R $\theta$ - 45	84.0
☆ R h + 45	88.8
☆ R h - 45	86.3
L v	60.5
L h	43.0
L hp	60.4
L $\theta$ + 45	48.2
L $\theta$ - 45	46.0
C v	29.0
C h	43.6
☆ C $\theta$ + 45	46.4

☆印……平成4年度実施

また、力学試験に供する試料についてみると、左岸部 Lhp 試料を除く、全ての試料は暗灰色を呈する細粒砂岩～微細粒砂岩である。しかし、Lhp 試料は暗灰色を呈す凝灰質細粒砂岩で、その性質についてみると粒度組成には差はないが、含水比、密度、間隙比等で他の試料と相違している。

したがって、本軟岩の力学的性質における褶曲作用による影響や異方性について検討する場合、Lhp については一部これを省くこととする。

#### 6. 1. 4 基礎的性質のまとめ

以上の物理的及び岩石学的性質を整理すると、右岸試料、左岸試料、豎坑試料いずれも、粒度組成に顕著な差がなく、また、右岸・左岸試料での構成鉱物、その量地においても顕著な差が認められない。ただし、豎坑試料については、鏡下観察を行っていないため明らかでないが、粒度分布やその他物理諸量、堆積した時代背景から考えると右岸、左岸試料と大差はないものと考えられる。

したがって、これら3試料の基本的な岩質には差はないものと思われる。しかし、右岸試料と左岸試料、豎坑試料を比較すると後者の方が密度が大きく、間隙比が小さいという傾向がある。これは、図3-2からも明らかなように、左岸試料、豎坑試料は右岸試料よりも地層的には下位にあり、土被り荷重も大きく、圧密の程度に差がある事も一因と考えられる。

表6-1-6に試験に用いた供試体の全平均値として求めた各試料の物理諸量を示す。

表6-1-6 各試料の物理諸量

試料名	自然含水比 W (%)	土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	乾燥密度 $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	間隙比 e
Rv	21.7	2.632	1.627	0.618
Rh	22.1	2.628	1.653	0.590
Rhp	22.8	2.603	1.616	0.611
R $\theta$ +45	22.3	2.591	1.636	0.594
R $\theta$ -45	22.8	2.585	1.628	0.588
☆ Rh +45	23.3	2.622	1.623	0.616
☆ Rh -45	22.3	2.619	1.648	0.589
Lv	20.3	2.664	1.716	0.552
Lh	19.0	2.658	1.773	0.499
Lhp	25.8	2.573	1.541	0.670
L $\theta$ +45	20.7	2.666	1.701	0.567
L $\theta$ -45	18.9	2.675	1.745	0.533
Cv	21.8	2.696	1.695	0.591
Ch	22.1	2.698	1.685	0.601
☆ C $\theta$ +45	23.5	2.649	1.632	0.623

☆印 …… 平成4年度実施

## 6. 2 超音波速度測定結果

各試料の超音波速度測定結果を表6-2-1~3に示し、図6-2-1にP波速度 ( $V_p$ ) とS波速度 ( $V_s$ ) の関係を示す。

これらの結果から、各試料間の相違について検討し、地質構造との関連について以下に考察を加える。

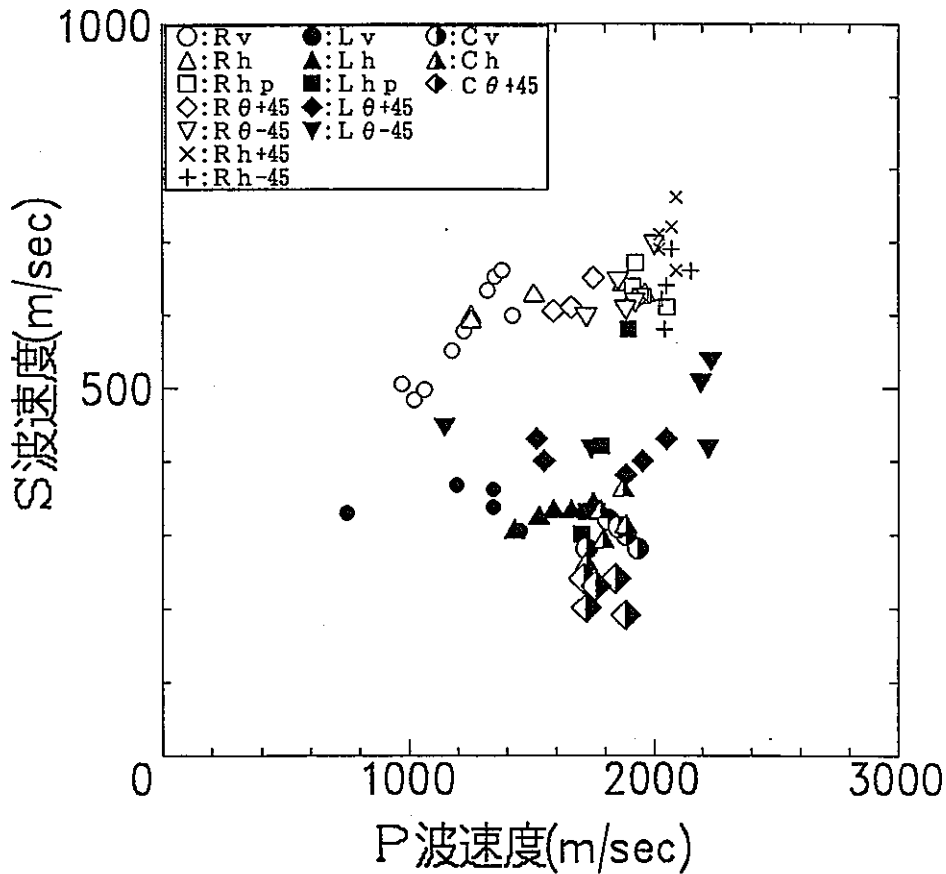


図6-2-1 P波速度～S波速度の関係

### (1) 褶曲作用による影響

図6-2-1より、右岸試料、左岸試料、豎坑試料について比較してみると、P波速度は、いずれの試料も1000~2200m/secの範囲内にあり、顕著な差は認められない。

S波速度では、左岸試料は右岸試料の60~70%程度を示すが、豎坑試料では

40%程度と、さらに低い値を示している。

一般に飽和した軟岩のP波速度は供試体内部の含有水分の影響を受け、水の速度 $V_p \approx 1500\text{m/sec}$ を示し、S波速度はP波速度と同様に含有水分の影響を受けるものの、粒径や構成鉱物、軟岩自体が持つせん断剛性率に直接依存するとされている。

本軟岩の飽和度から考えると、P波速度は含有水分の影響を受けたものと考えられる。一方、S波速度では、左岸試料、豎坑試料が右岸試料よりも、はるかに低い値を示した。これはRQD値にも現われているように褶曲時に発生した大きなクラックに加え微小な不連続面が多数存在しているものと考えられ、これが原因の一つであると思われる。

## (2) 異方性

右岸試料、左岸試料、豎坑試料における採取方向の相違による超音波速度の差は認められない。

表 6 - 2 - 1 (1) 超音波速度測定結果 (右岸試料)

試料名		P波速度 (m/sec)	S波速度 (m/sec)	動せん断 弾性係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	動弾性係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	動ポア ソン比
R v	1	971	505	5070	13300	0.31
	2	1060	497	4910	13400	0.36
	3	1020	483	4630	12600	0.35
	4	1320	633	8110	22000	0.35
	5	1350	651	8700	23300	0.35
	6	1380	661	8960	24300	0.35
	7	1170	550	6110	16700	0.36
	8	1220	577	6780	18300	0.36
	9	1420	599	7820	20300	0.39
	平均	1210	573	6790	21100	0.35
R h	1	1250	596	7330	19800	0.35
	2	1250	590	7140	19500	0.36
	3	1510	625	7980	22400	0.40
	4	1960	626	8090	23400	0.44
	5	1870	641	8530	24600	0.43
	平均	1570	620	7810	21900	0.40
R hp	1	1910	638	8320	23900	0.44
	2	1920	671	9170	26200	0.43
	3	1950	625	7980	23000	0.44
	4	1940	625	7600	22000	0.44
	5	2000	610	7660	22100	0.45
	平均	1940	634	8150	23400	0.44
R $\theta$ + 45	1	1590	605	7440	21070	0.42
	2	1660	610	7530	21420	0.42
	3	1750	650	8600	24410	0.42
	4	1920	620	7900	22790	0.44
	5	1920	620	7920	22840	0.44
	平均	1770	621	7880	22510	0.43
R $\theta$ - 45	1	1920	620	7880	22710	0.44
	2	1720	600	7260	20780	0.43
	3	1850	650	8650	24740	0.43
	4	2000	700	9940	28430	0.43
	5	1880	610	7600	21900	0.44
	平均	1870	640	8270	23710	0.44



表 6 - 2 - 1 (2) 超音波速度測定結果 (右岸試料)

試料名		P波速度 (m/sec)	S波速度 (m/sec)	動せん断 弾性係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	動弾性係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	動ポア ソン比
☆ Rh + 45	1	2090	660	9000	28000	0.44
	2	2070	720	10500	30000	0.43
	3	2020	710	10300	29000	0.43
	4	2020	690	9700	29000	0.43
	5	2090	760	11600	34000	0.42
	平均	2060	710	10200	24000	0.43
☆ Rh - 45	1	2070	690	10000	27000	0.44
	2	2030	620	7900	22000	0.45
	3	2040	580	6900	18000	0.46
	4	2050	640	8400	23000	0.45
	5	2150	660	9200	26000	0.45
	平均	2070	640	8500	23200	0.45

☆印：平成4年度実施

表 6 - 2 - 2 超音波速度測定結果 (左岸試料)

試料名		P波速度 (m/sec)	S波速度 (m/sec)	動せん断 弾性係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	動弾性係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	動ポア ソン比
L v	1	1340	360	2750	8050	0.46
	2	1340	336	2390	7070	0.47
	3	1190	367	2860	8290	0.45
	4	744	328	2250	6220	0.38
	5	1450	305	1930	5690	0.48
	平均	1210	339	2440	7060	0.45
L h	1	1590	330	2350	6950	0.48
	2	1660	330	2320	6870	0.48
	3	1750	340	2490	7360	0.48
	4	1430	303	1980	5000	0.48
	5	1530	321	2230	5800	0.48
	平均	1592	325	2274	6396	0.48
L hp	1	1990	560	6250	17400	0.46
	2	1890	710	10810	29800	0.42
	3	1950	732	11250	31300	0.42
	4	1710	730	11300	33200	0.41
	5	1170	820	14090	39100	0.42
	平均	1982	710	10740	30160	0.43
L $\theta$ + 45	1	1520	430	4000	11000	0.46
	2	1950	400	3400	9000	0.48
	3	1880	380	3000	8000	0.48
	4	2050	430	3900	10000	0.48
	5	1550	400	3400	11000	0.46
	平均	1790	410	3540	9800	0.47
L $\theta$ - 45	1	1740	420	4000	11000	0.47
	2	1140	450	4300	12000	0.41
	3	2190	510	5600	17000	0.47
	4	2230	540	6300	18000	0.47
	5	2220	420	4000	13000	0.48
	平均	1900	470	4840	14200	0.46

表 6 - 2 - 3 超音波速度測定結果 ( 豎坑試料 )

試料名		P波速度 (m/sec)	S波速度 (m/sec)	動せん断 弾性係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	動弾性係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	動ポア ソン比
Cv	1	1880	310	2000	4000	0.49
	2	1870	360	2700	8000	0.48
	3	1790	290	1800	4000	0.49
	4	1780	330	2600	9000	0.48
	5	1720	260	1400	4000	0.49
	平均	1800	310	2100	5800	0.49
Ch	1	1810	320	2000	8000	0.48
	2	1930	280	1600	5000	0.49
	3	1720	280	1600	4000	0.49
	4	1880	300	1900	4000	0.49
	5	1850	310	2000	4000	0.49
	平均	1840	300	1920	5000	0.49
Cθ + 45	1	1840	240	1000	4000	0.49
	2	1710	240	1200	4000	0.49
	3	1720	200	800	4000	0.49
	4	1760	230	1100	4000	0.49
	5	1880	190	700	4000	0.49
	平均	1780	220	960	4000	0.49

☆

☆印 : 平成 4 年度実施

### 6. 3 透水試験結果

各試料の透水試験結果を表6-3-1に、拘束圧 $\sigma_v$ と透水係数 $k$ の関係を図6-3-1に示す。また、図6-3-2, 3, 4には、透水係数と試料採取方向との関係を示している。

図6-3-1から、各試料共に透水係数は $\sigma_v$ が $5 \text{ kgf/cm}^2$ までは急激に低下するが、それ以上の $\sigma_v$ では安定する傾向がみられる。低拘束圧下で透水係数が急激に低下する原因としては、供試体側面と充填材との間に残留している間隙が影響している可能性も考えられるが、両者の関係を両対数表示で整理すると直線関係になることから軟岩特有の性質を表しているものと考えられる。

図6-3-2, 3, 4では、 $\sigma_v = 30 \text{ kgf/cm}^2$ の値を採用している。

次に、各試料を比較することにより褶曲作用による影響について、また、採取方向の相違から透水係数の差により異方性を検討する。

#### (1) 褶曲作用による影響

図6-3-1より、各試料について比較すると、透水係数は右岸試料が最も小さく、堅坑、左岸試料は右岸試料よりも大きな値を示している。

一般に、堆積軟岩の透水係数は、一般の土質材料同様に粒度組成、間隙比の割合、粒子配列構造、構成鉱物の種類に影響される。また、それらの要因に加え、粒子相互を膠結しているセメンテーションの状態も影響するとされている。このことから、堅坑、左岸試料の透水係数が増大した原因として、次のことが考えられる。

堅坑、左岸試料は右岸試料に大して、粒度組成やその岩石学的性質に差はないという結果を得ているが、一方では、地層の堆積した年代による圧密作用の差から密度が大きくて間隙比が小さいという特徴が認められている。

このことから考えるC、両者の関係は逆になると思われる。

しかし、堅坑試料では地層の傾斜角 $45^\circ$ 、左岸試料ではほぼ直立するほど大きな褶曲作用を受けたために、大きなクラックの北海道か、供試体内部に微少な不連続面が多数発生したものと思われる。このことは、S波速度の低下にも現れている。したがって、この不連続面が形成されたことによりセメンテーションが破壊され、水と骨格粒子の摩擦抵抗が低減し、透水係数が増大したと考えられる。

## (2) 異方性

格試料間における異方性を図6-3-2, 3, 4に示す。これを右岸試料についてみると、透水係数は鉛直方向 ( $R_v$ ) および鉛直面に対しダム軸側に $45^\circ$  傾斜した方向 ( $R_{\theta+45}$ ,  $R_{\theta-45}$ ) よりも、水平ダム軸方向 ( $R_h$ ) や、ダム軸水平面に対し $45^\circ$  傾斜した方向 ( $R_{h+45}$ ,  $R_{h-45}$ ) が、はるかに低い値を示している。これは、長期間にわたり褶曲構造を形成することになった水平力に起因しているものと思われる。水平力が加わったと思われる  $R_{h+45}$ ,  $R_{h-45}$  は、他の試料よりも大きな応力を受け、圧密効果が促進されたものと推測される。その結果、これらの内部構造は、物理的性質における密度が他よりもわずかながら大きいことでもわかるように、構造が緻密で水と粒子骨格との摩擦抵抗が増大したためと考えられる。

左岸試料、堅坑試料では、採取方向の相違による  $k$  の差は認められない。

両者の異方性は、褶曲時に発生したと思われる内部の微小な不連続面の存在の仕方に支配的と考えられる。

表6-3-1 透水試験結果一覽表

試料名	拘束圧 $\sigma_3$ (kgf/cm <sup>2</sup> )						
	透水係数 K (cm/sec)						
	0.2	1.0	5.0	10.0	20.0	30.0	40.0
RV	$1.19 \times 10^{-6}$	$5.46 \times 10^{-7}$	$3.15 \times 10^{-7}$	$2.66 \times 10^{-7}$	$2.53 \times 10^{-7}$	$2.28 \times 10^{-7}$	$2.64 \times 10^{-7}$
Rh	$2.08 \times 10^{-7}$	$1.11 \times 10^{-7}$	$9.20 \times 10^{-8}$	$8.75 \times 10^{-8}$	$7.20 \times 10^{-8}$	$7.04 \times 10^{-8}$	$6.41 \times 10^{-8}$
RhP	$7.93 \times 10^{-8}$	$4.09 \times 10^{-8}$	$3.23 \times 10^{-8}$	$3.95 \times 10^{-8}$	$2.70 \times 10^{-8}$	$2.75 \times 10^{-8}$	$2.95 \times 10^{-8}$
R $\theta$ +45	$2.99 \times 10^{-7}$	$2.60 \times 10^{-7}$	$2.18 \times 10^{-7}$	$1.88 \times 10^{-7}$	$1.70 \times 10^{-7}$	$1.58 \times 10^{-7}$	$1.42 \times 10^{-7}$
R $\theta$ -45	$2.75 \times 10^{-7}$	$1.59 \times 10^{-7}$	$1.32 \times 10^{-7}$	$1.11 \times 10^{-7}$	$1.04 \times 10^{-7}$	$9.39 \times 10^{-8}$	$8.47 \times 10^{-8}$
Rh+45	$7.26 \times 10^{-8}$	$7.02 \times 10^{-8}$	$4.55 \times 10^{-8}$	$3.37 \times 10^{-8}$	$2.57 \times 10^{-8}$	$2.31 \times 10^{-8}$	$1.84 \times 10^{-8}$
Rh-45	$8.07 \times 10^{-8}$	$8.05 \times 10^{-8}$	$4.85 \times 10^{-8}$	$4.05 \times 10^{-8}$	$2.75 \times 10^{-8}$	$2.46 \times 10^{-7}$	$2.03 \times 10^{-8}$
LV	$5.31 \times 10^{-6}$	$2.86 \times 10^{-6}$	$1.20 \times 10^{-6}$	$1.02 \times 10^{-6}$	$8.44 \times 10^{-7}$	$7.32 \times 10^{-7}$	$6.41 \times 10^{-7}$
Lh	$2.44 \times 10^{-6}$	$1.08 \times 10^{-6}$	$8.53 \times 10^{-7}$	$7.16 \times 10^{-7}$	$6.26 \times 10^{-7}$	$5.79 \times 10^{-8}$	$5.31 \times 10^{-7}$
LhP	$2.66 \times 10^{-6}$	$2.59 \times 10^{-6}$	$2.20 \times 10^{-6}$	$1.88 \times 10^{-6}$	$1.83 \times 10^{-6}$	$1.61 \times 10^{-7}$	$1.59 \times 10^{-6}$
L $\theta$ +45	$7.12 \times 10^{-7}$	$6.18 \times 10^{-7}$	$4.10 \times 10^{-7}$	$3.34 \times 10^{-7}$	$2.83 \times 10^{-7}$	$2.85 \times 10^{-7}$	$2.81 \times 10^{-7}$
L $\theta$ -45	$5.03 \times 10^{-7}$	$4.13 \times 10^{-7}$	$2.43 \times 10^{-7}$	$2.09 \times 10^{-7}$	$1.94 \times 10^{-7}$	$1.97 \times 10^{-7}$	$1.88 \times 10^{-7}$
CV	$8.54 \times 10^{-7}$	$7.58 \times 10^{-7}$	$6.32 \times 10^{-7}$	$5.61 \times 10^{-7}$	$4.98 \times 10^{-7}$	$4.71 \times 10^{-7}$	$4.13 \times 10^{-7}$
CH	$2.00 \times 10^{-6}$	$1.51 \times 10^{-6}$	$1.26 \times 10^{-6}$	$1.15 \times 10^{-6}$	$1.03 \times 10^{-6}$	$8.99 \times 10^{-7}$	$8.48 \times 10^{-7}$
C $\theta$ +45	$9.82 \times 10^{-6}$	$4.05 \times 10^{-6}$	$1.16 \times 10^{-6}$	$9.74 \times 10^{-7}$	$7.59 \times 10^{-7}$	$7.30 \times 10^{-7}$	$6.64 \times 10^{-7}$

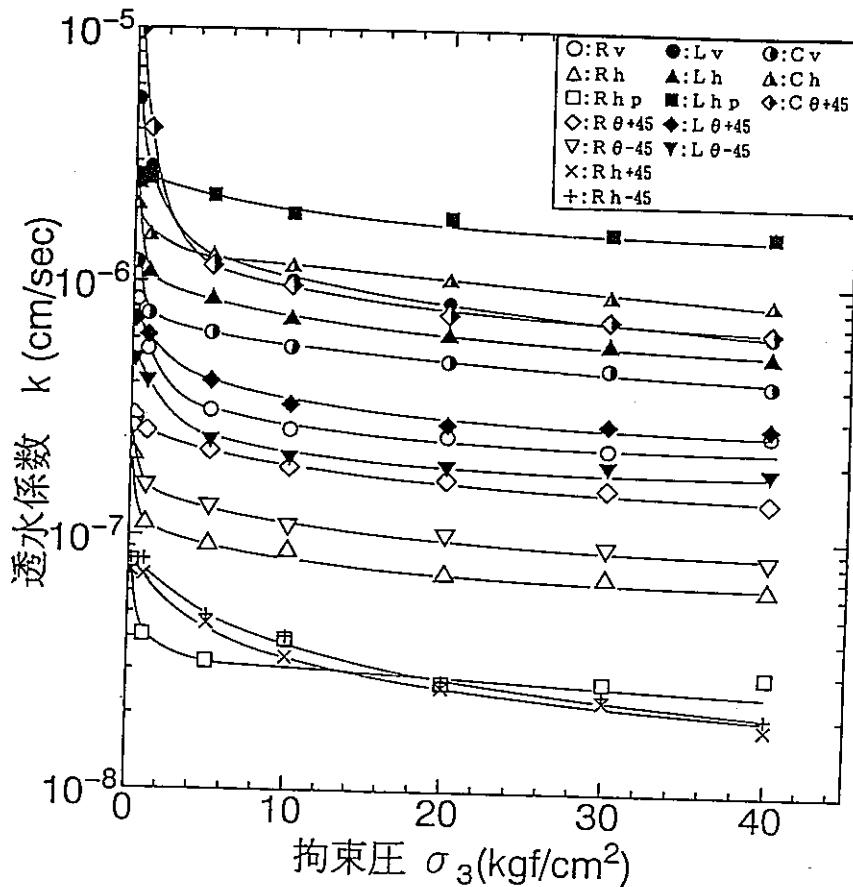


図6-3-1 拘束圧～透水係数の関係

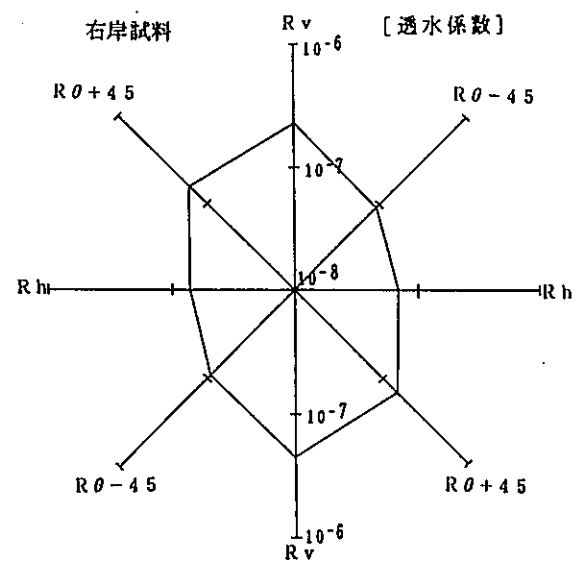


図6-3-2 (a) Rv~Rh平面内の分布

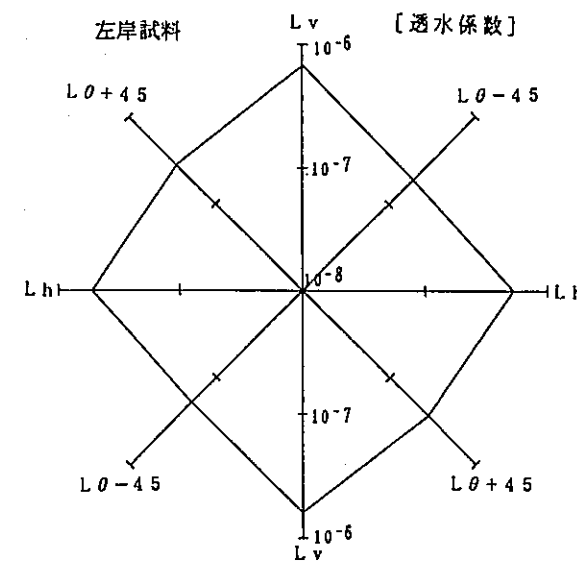
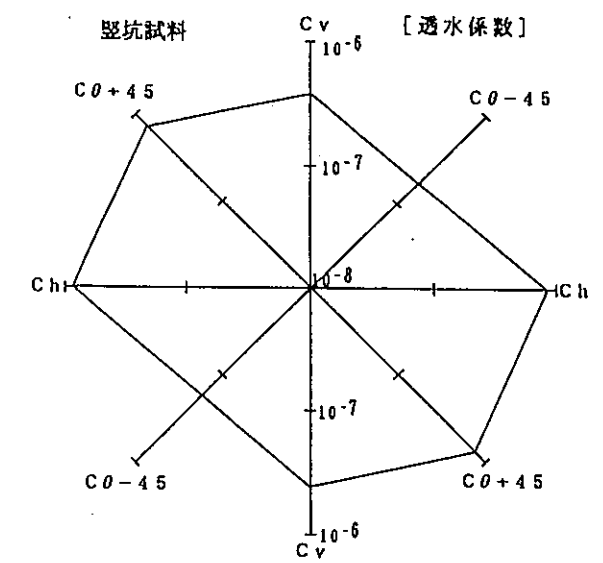


図6-3-3 (a) Lv~Lh平面内の分布



Cv~Ch平面内の分布

図6-3-4 透水係数~試料採取方向の関係  
( 豎坑試料 )

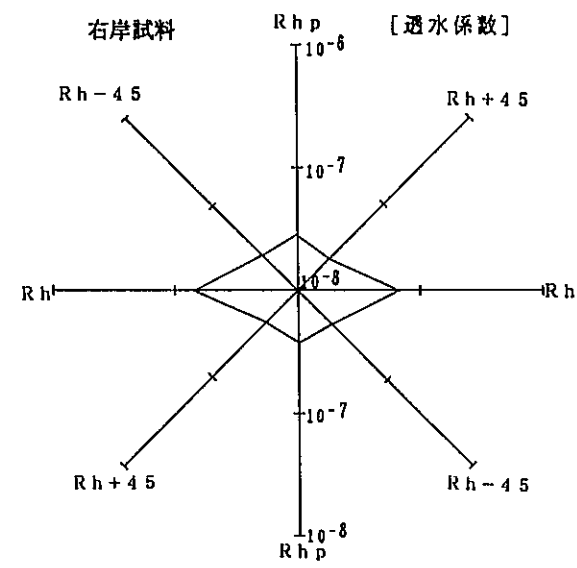


図6-3-2 (b) Rhp~Rh平面内の分布

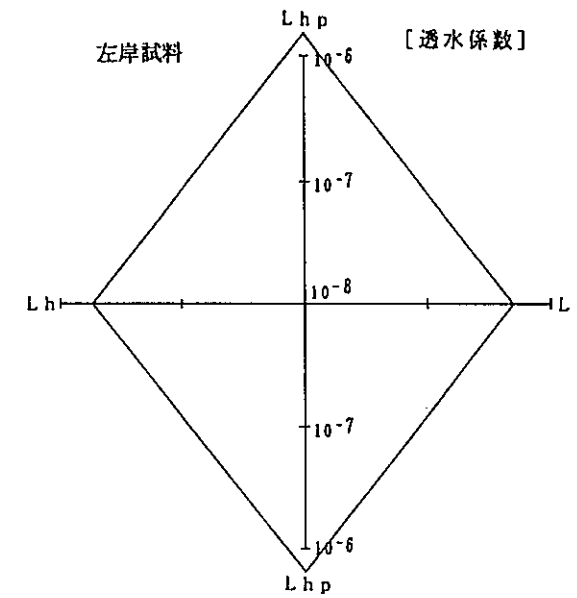


図6-3-3 (b) Lhp~Lh平面内の分布

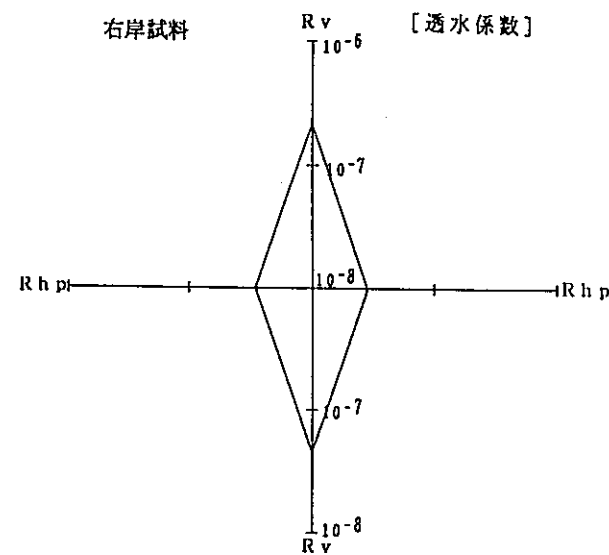


図6-3-2 (c) Rv~Rhp平面内の分布

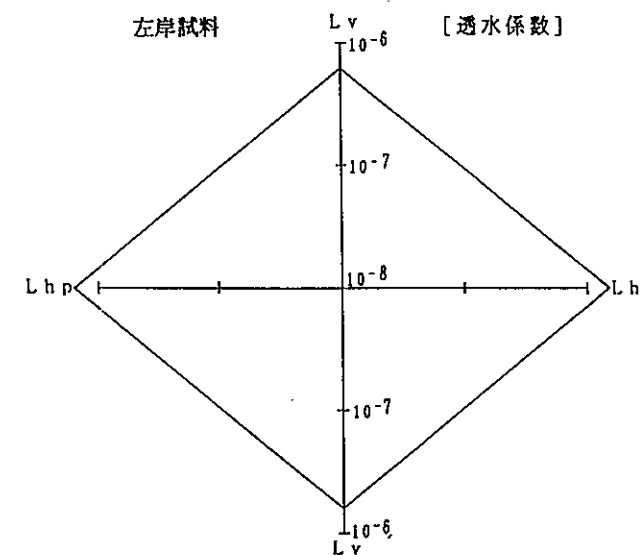


図6-3-3 (c) Lv~Lhp平面内の分布

図6-3-2 透水係数~試料採取方向の関係  
( 右岸試料 )

図6-3-3 透水係数~試料採取方向の関係  
( 左岸試料 )

#### 6. 4 一軸圧縮試験結果

各試料の一軸圧縮試験結果を表6-4-1~3に示し、一軸圧縮強度 $q_u$ と変形係数 $E_{u50}$ の関係を図6-4-1に示す。また、図6-4-2~7は、変形係数、一軸圧縮強度と試料採取方向の関係を示している。

図6-4-1から、いずれの試料も $q_u$ が増加するにしたがい、 $E_{u50}$ も増加するという一般的な傾向があるが、 $L\theta-45$ 試料は、 $q_u$ に対する $E_{u50}$ の値に変化がない。

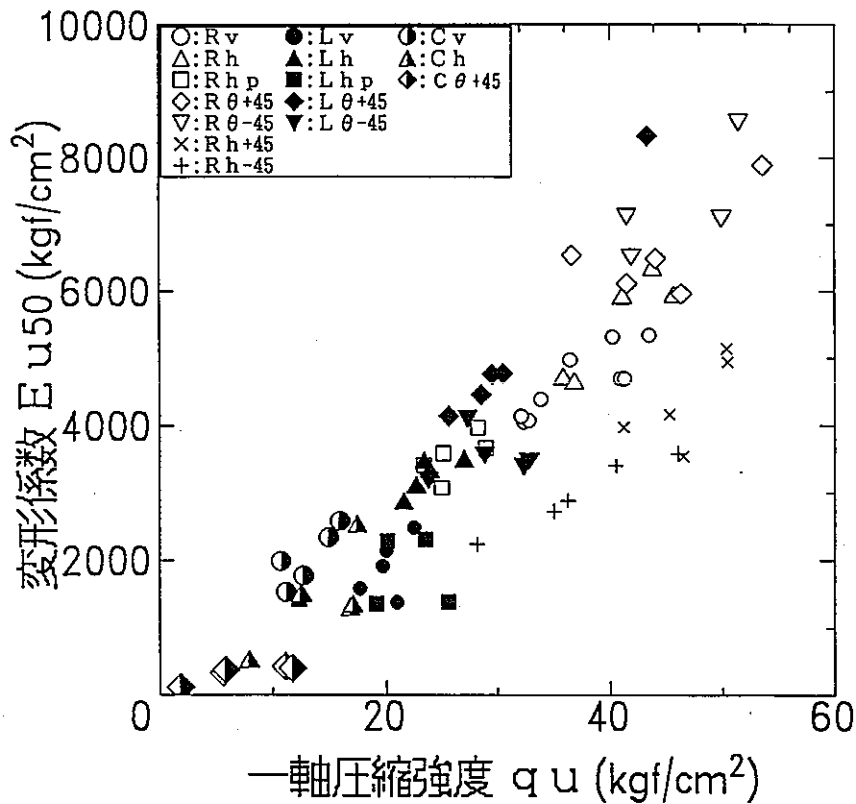


図6-4-1 一軸圧縮強度～変形係数の関係

##### (1) 褶曲作用による影響

図6-4-1から、各試料を比較すると $q_u$ 、 $E_{u50}$ は、右岸・左岸・堅坑



の順に低下している。堅坑・左岸試料は地質構造からもわかるように、右岸試料よりも年代が古く、地層も下位に属していたと考えられ右岸試料よりも大きな応力履歴を受け圧密が進行していたと推測できる。また、これは右岸試料よりも大きな密度、小さな間隙比となって現われていることからわかる。このことから考えると、剛性、強度共に、堅坑、左岸試料の方が上回ると予想された。しかし、本結果は逆であった。

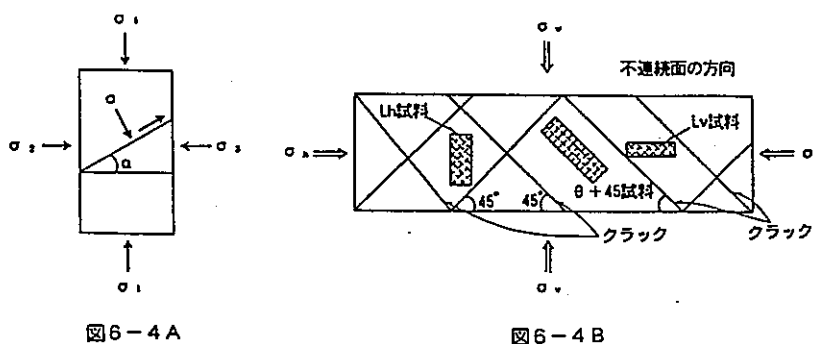
この原因としては、前節で考察したS波速度の低下や透水係数の増大からもわかるように、褶曲時に発生したと思われる微小な不連続面の存在が影響しているものと考えられる。

## (2) 異方性

右岸試料、左岸試料、堅坑試料の剛性、強度における異方性を図6-4-2~7に示している。

これを右岸試料について見ると、剛性、強度共に褶曲作用を受けた時の最大圧縮方向と思われるRhが、他を卓越している。

左岸試料では $\theta + 45$ 方向が他よりも大きいようである。左岸試料を褶曲作用を受ける前の地質構造で考えると過去に水平方向であった現在の鉛直方向Lvが、Rhと同様に強い剛性、強度を発揮すると予想されたが、結果は相違している。図6-4Aに三軸圧縮試験時における供試体破壊時の平面上の応力状態



を示し、図6-4Bには、前者を左岸部の地盤に当てはめてモデル化したものである。

左岸部のように大きなクラックが存在する場合、これに平行なもの他に概ね直行する形で微小なクラックが発生しているといわれている。

図示のとおり、 $\theta + 45$ 方向のクラックの存在の仕方は、他の左岸試料よりも大きな剛性を発揮する有利な条件を持っていると考えられる。このことが $\theta + 45$ の剛性が他を卓越した原因の一つと推測することもできるが、堆積面の層理の存在や褶曲に伴う水平力の加わった時期など確認しなければならない点もあり、今回の結果のみで結論づけることはできない。

また、堅坑試料では、採取方向が3方向と少ないこともあり、明瞭な異方性は認められなかった。

このように、無拘束圧状態でせん断する一軸圧縮時の変形・強度特性は、右岸試料では明瞭な異方性として現れているが、左岸・堅杭試料では供試体内部の不連続面の存在の仕方に影響を受けるため、予想に反した結果となっており、明瞭な異方性はとらえられていない。

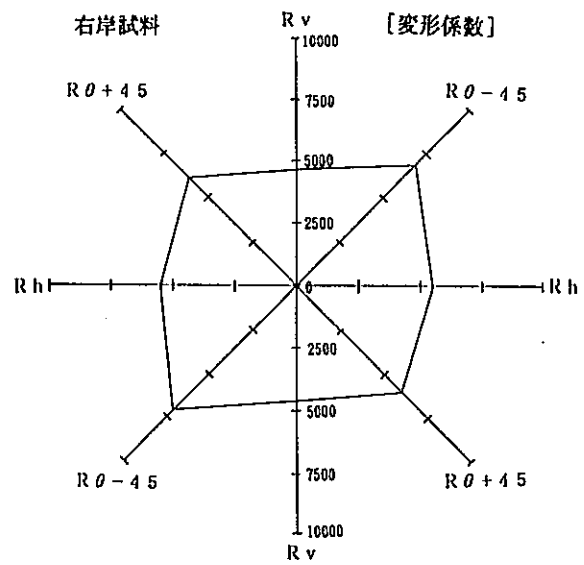


図6-4-2 (a) Rv~Rh平面内の分布

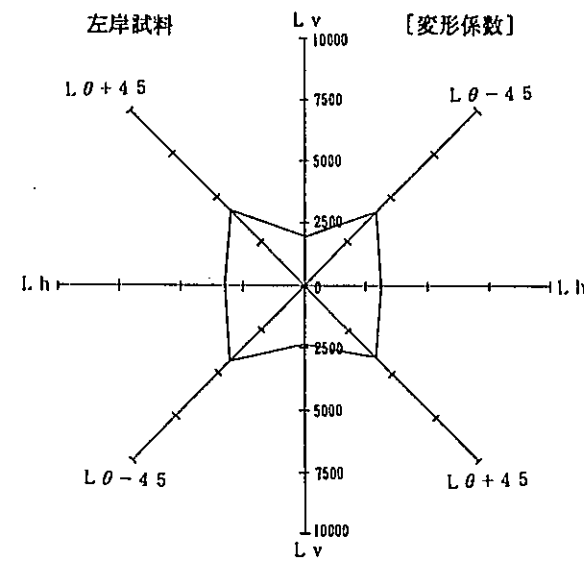
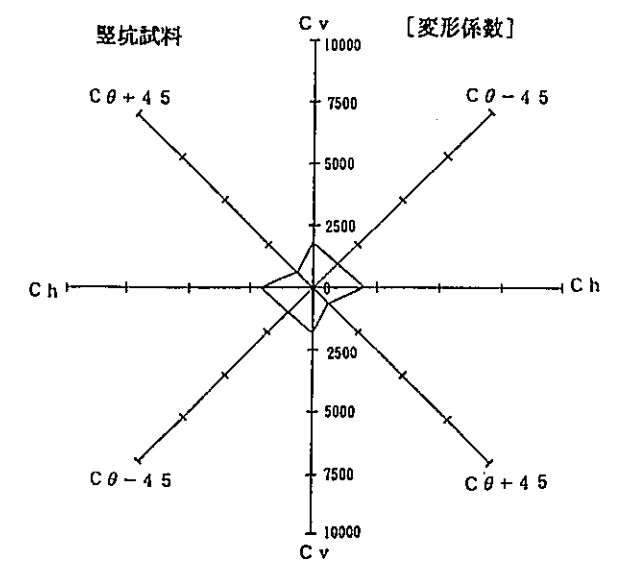


図6-4-3 (a) Lv~Lh平面内の分布



Cv~Ch平面内の分布  
図6-4-4 変形係数~試料採取方向の関係 (壺坑試料)

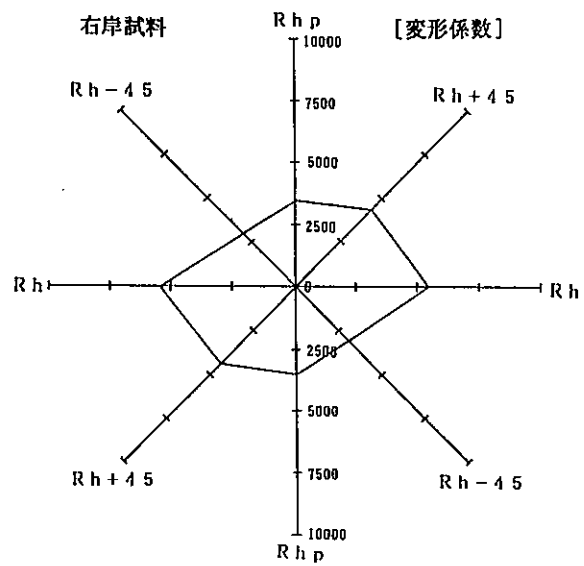


図6-4-2 (b) Rhp~Rh平面内の分布

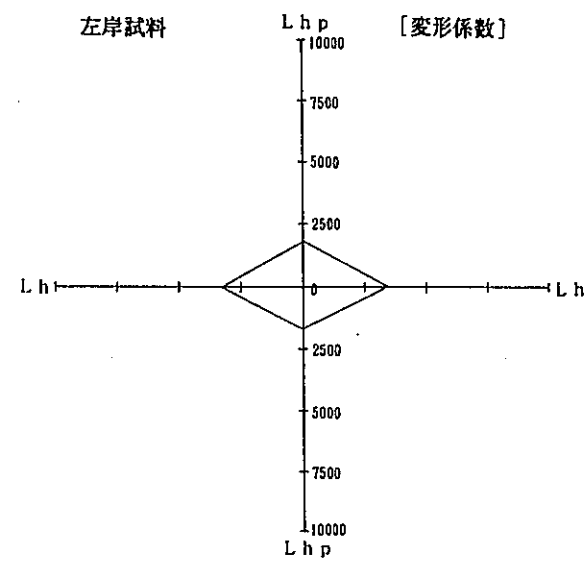


図6-4-3 (b) Lhp~Lh平面内の分布

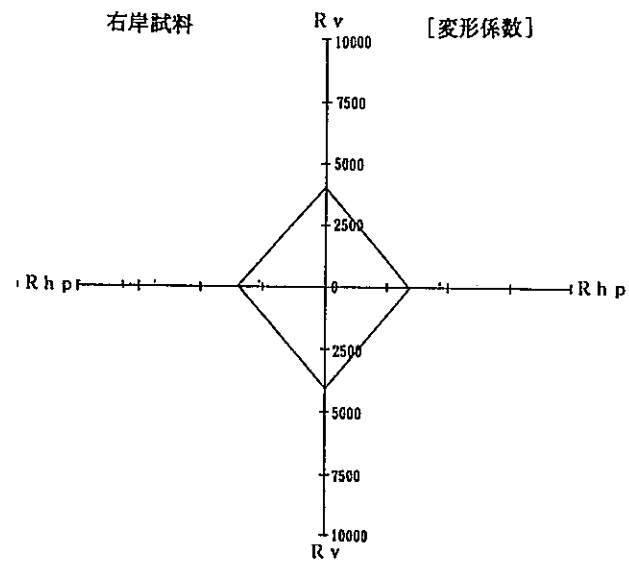


図6-4-2 (c) Rv~Rhp平面内の分布

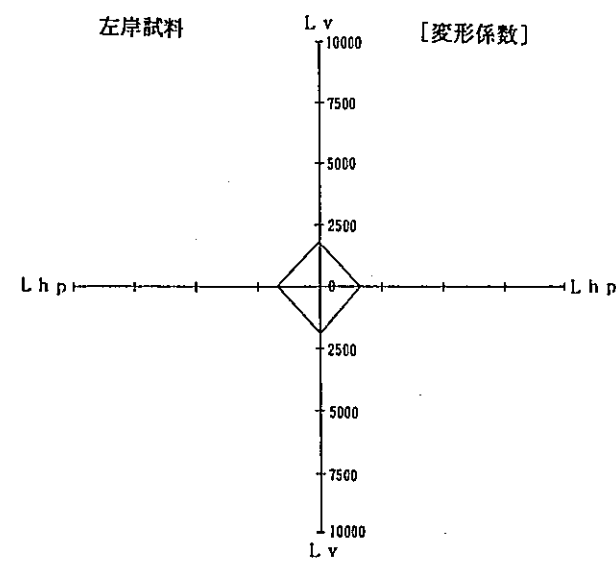


図6-4-3 (c) Lv~Lhp平面内の分布

図6-4-2 変形係数~試料採取方向の関係 (右岸試料)

図6-4-3 変形係数~試料採取方向の関係 (左岸試料)

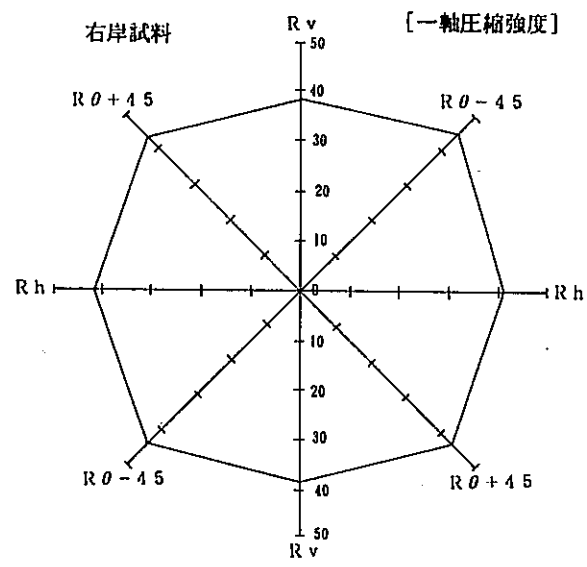


図 6-4-5 (a) Rv~Rh 平面内の分布

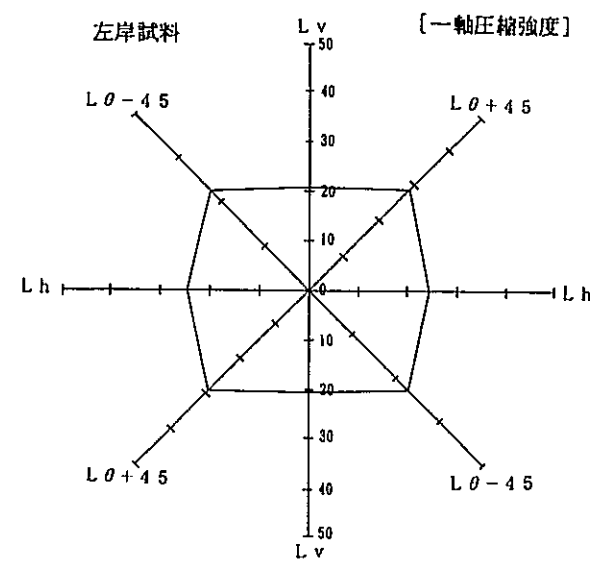
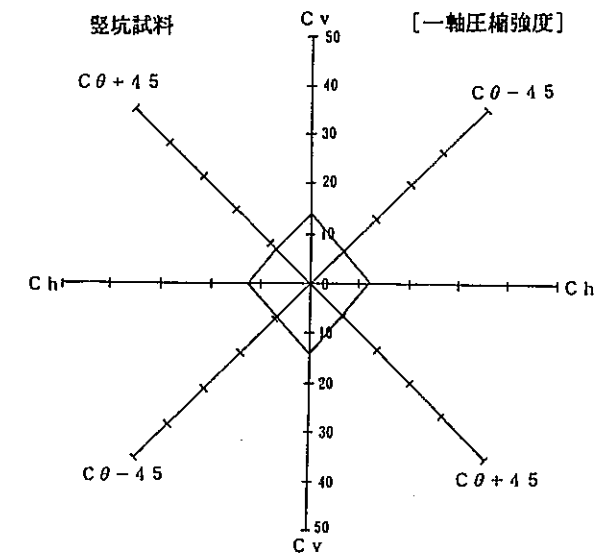


図 6-4-6 (a) Lv~Lh 平面内の分布



Cv~Ch 平面内の分布  
図 6-4-7 一軸圧縮強度~試料採取方向の関係 (竪坑試料)

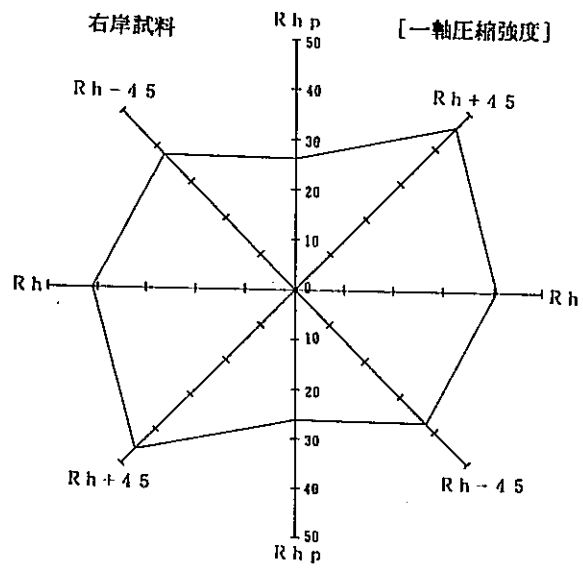


図 6-4-5 (b) Rhp~Rh 平面内の分布

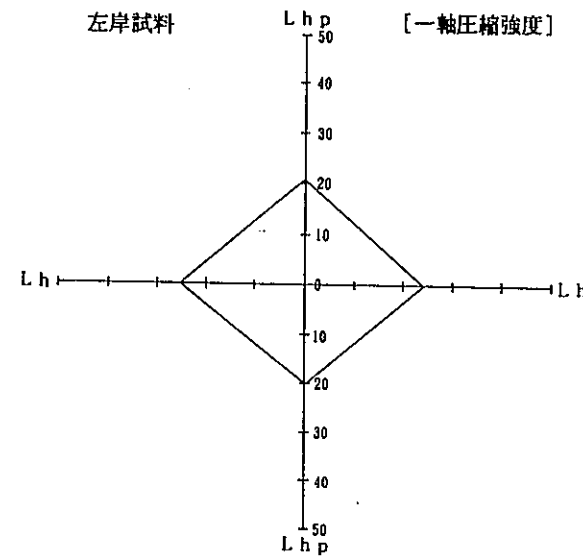


図 6-4-6 (b) Lhp~Lh 平面内の分布

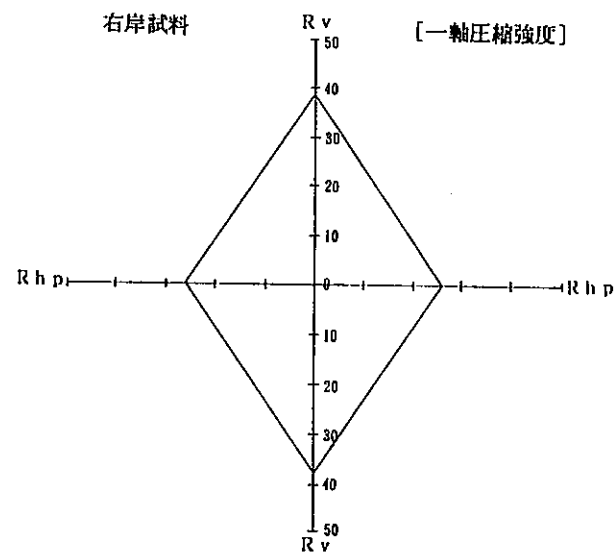


図 6-4-5 (c) Rv~Rhp 平面内の分布

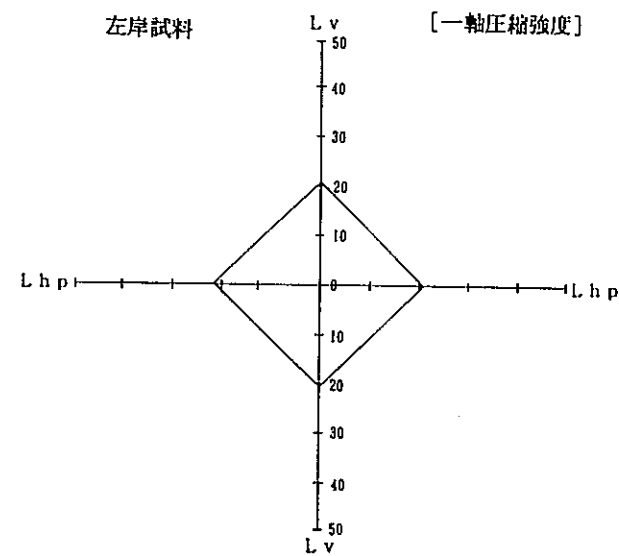


図 6-4-6 (c) Lv~Lhp 平面内の分布

図 6-4-5 一軸圧縮強度~試料採取方向の関係 (右岸試料) 図 6-4-6 一軸圧縮強度~試料採取方向の関係 (左岸試料)

表6-4-1 (a) 一軸圧縮試験結果一覧表 (右岸試料)

試料名	軸ひずみ速度 (%/min)	自然含水比 (%)	湿潤密度 (t/m <sup>3</sup> )	一軸圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	破壊ひずみ (%)	変形係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	P波速度 (m/sec)	S波速度 (m/sec)	
Rv	1	0.1	21.7	1.950	40.9	0.95	4690	971	505
	2	0.1	23.5	1.948	32.3	0.74	4050	1060	497
	3	0.1	23.7	1.943	33.8	0.83	4390	1020	483
	4	0.1	22.8	1.984	40.2	0.84	5310	1320	633
	5	0.1	21.9	2.012	41.3	0.85	4690	1350	651
	6	0.1	21.9	2.010	43.5	0.89	5340	1380	661
	7	0.1	19.7	1.978	32.8	0.86	4070	1170	550
	8	0.1	20.3	1.997	31.2	0.84	4140	1220	557
	9	0.1	19.7	1.998	36.4	0.79	4970	1420	599
	平均		21.7	1.980	36.9	0.84	4630	1210	573
Rh	1	0.1	21.8	2.023	35.8	0.80	4680	1250	596
	2	0.1	22.0	2.009	36.8	0.86	4620	1250	590
	3	0.1	22.4	2.002	41.1	0.71	5890	1510	625
	4	0.1	22.3	2.024	43.8	0.71	6320	1960	626
	5	0.1	22.2	2.034	45.7	0.80	5910	1870	641
	平均		22.1	2.018	40.6	0.78	5480	1570	616
Rhp	1	0.1	22.7	2.004	28.2	0.75	3960	1910	638
	2	0.1	22.8	1.995	23.4	0.81	3410	1920	671
	3	0.1	22.7	2.003	28.9	0.83	3660	1950	625
	4	0.1	22.9	1.906	25.0	0.89	3070	1940	625
	5	0.1	22.7	2.017	25.1	0.81	3580	2000	610
	平均		22.8	1.984	26.1	0.82	3540	1940	634
Rθ+45	1	0.1	21.6	1.933	41.5	0.74	6110	1590	605
	2	0.1	22.1	1.984	46.6	0.76	6540	1660	610
	3	0.1	22.7	1.994	44.1	0.76	6490	1750	650
	4	0.1	22.0	2.015	46.4	0.77	5990	1920	620
	5	0.1	23.0	2.019	53.5	0.72	7880	1920	620
	平均		22.3	2.001	44.4	0.75	6600	1770	620
Rθ-45	1	0.1	22.0	2.008	49.9	0.71	7130	1920	605
	2	0.1	21.8	1.977	41.9	0.72	6550	1720	610
	3	0.1	22.4	2.007	51.4	0.67	8660	1850	650
	4	0.1	24.3	1.988	61.6	0.55	13400	2000	620
	5	0.1	22.4	2.001	41.5	0.64	7160	1880	620
	平均		22.6	1.996	49.3	0.68	8560	1870	620

表6-4-1 (b) 一軸圧縮試験結果一覧表 (右岸試料)

試料名	軸ひずみ 速度 (%/min)	自然 含水比 (%)	湿潤密度 (t/m <sup>3</sup> )	一軸圧縮 強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	破壊 ひずみ (%)	変形係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	P波速度 (m/sec)	S波速度 (m/sec)	
☆ Rh+45	1	0.1	23.3	2.014	41.2	0.80	3970	2090	660
	2	0.1	23.0	1.985	50.3	0.90	5130	2070	720
	3	0.1	22.7	2.007	46.5	1.00	3540	2020	710
	4	0.1	23.0	2.001	45.3	1.00	4160	2020	690
	5	0.1	23.1	1.969	50.4	0.82	4930	2090	760
	平均		23.0	1.995	46.7	0.90	4350	2060	710
☆ Rh-45	1	0.1	22.1	2.015	46.1	1.00	3580	2070	690
	2	0.1	21.9	2.013	40.5	1.00	3400	2030	620
	3	0.1	21.5	2.007	28.1	1.10	2230	2040	580
	4	0.1	21.3	2.021	36.2	0.90	2880	2050	640
	5	0.1	18.7	2.066	35.0	1.00	2720	2150	660
	平均		21.1	2.024	37.8	0.90	2960	2070	640

☆印 …… 平成4年度実施

表6-4-2 一軸圧縮試験結果一覧表 (左岸試料)

試料名	軸ひずみ 速 (%/min)	自然 含水比 (%)	湿潤密度 (t/m <sup>3</sup> )	一軸圧縮 強 度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	破 壊 ひずみ (%)	変形係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	P波速度 (m/sec)	S波速度 (m/sec)	
Lv	1	0.1	20.2	2.083	21.0	1.36	1370	1340	360
	2	0.1	20.1	2.075	22.5	0.93	2470	1340	336
	3	0.1	20.2	2.079	19.7	1.05	1900	1190	367
	4	0.1	20.7	2.054	17.6	1.14	1580	744	328
	5	0.1	20.4	2.029	20.4	0.93	2130	1450	305
	平 均		20.3	2.064	20.2	1.08	1890	1210	339
Lh	1	0.1	18.3	2.118	22.7	0.76	3070	1590	330
	2	0.1	19.4	2.089	27.0	0.82	3460	1660	330
	3	0.1	18.3	2.108	23.4	0.70	3440	1750	340
	4	0.1	18.1	2.115	21.6	0.79	2830	1430	303
	5	0.1	19.2	2.125	23.9	0.75	3300	1530	321
	平 均		18.7	2.111	23.7	0.76	3220	1592	325
Lhp	1	0.1	21.6	1.995	24.8	0.28	5900	1990	560
	2	0.1	18.1	2.084	39.0	0.53	6290	1890	710
	3	0.1	19.3	2.058	49.4	0.79	5610	1950	730
	4	0.1	19.1	2.072	51.2	0.61	5820	1910	730
	5	0.1	18.8	2.079	69.1	0.82	7510	2170	820
	平 均		19.4	2.058	46.7	0.61	6230	1980	710
Lθ+45	1	0.1	19.6	2.075	29.5	0.81	4760	1520	430
	2	0.1	20.2	2.053	30.5	0.80	4770	1950	400
	3	0.1	19.8	2.051	43.3	0.71	8330	1880	380
	4	0.1	19.5	2.056	25.6	0.82	4130	2050	430
	5	0.1	20.7	2.077	28.5	0.85	4450	1550	400
	平 均		20.0	2.062	31.5	0.80	5290	1790	408
Lθ-45	1	0.1	20.2	2.165	32.3	1.22	3430	1740	420
	2	0.1	19.6	2.088	27.3	0.94	4140	1140	450
	3	0.1	20.6	2.110	28.8	1.07	3600	2190	510
	4	0.1	20.6	2.130	32.8	1.10	3510	2230	540
	5	0.1	21.0	2.196	23.8	0.99	3220	2220	420
	平 均		20.4	2.138	29.0	1.06	3580	1904	468

表6-4-3 一軸圧縮試験結果一覧表（壱坑試料）

試料名	軸ひずみ 速度 (%/min)	自然 含水比 (%)	湿潤密度 (t/m <sup>3</sup> )	一軸圧縮 強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	破 壊 ひずみ (%)	変形係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	P波速度 (m/sec)	S波速度 (m/sec)	
Cv	1	0.1	21.4	2.056	17.4	1.08	2490	1880	310
	2	0.1	22.2	2.049	16.8	1.55	1270	1870	360
	3	0.1	23.3	2.065	17.0	1.53	1310	1790	290
	4	0.1	22.2	2.060	7.94	2.00	490	1780	330
	5	0.1	21.0	2.067	12.5	1.13	1470	1720	260
	平 均		22.0	2.059	14.3	1.46	1406	1808	310
Ch	1	0.1	21.6	2.078	11.2	1.07	1520	1810	320
	2	0.1	22.2	2.040	10.7	0.96	1980	1930	280
	3	0.1	22.5	2.044	14.9	1.15	2340	1720	280
	4	0.1	21.3	2.075	15.9	0.89	2580	1880	300
	5	0.1	21.7	2.081	12.7	1.06	1760	1850	310
	平 均		21.9	2.064	13.1	1.03	2036	1838	298
☆ Cθ+45	1	0.1	22.8	1.982	11.1	2.30	417	1840	240
	2	0.1	22.1	2.027	5.62	1.80	333	1710	240
	3	0.1	22.6	2.024	5.84	1.30	368	1720	200
	4	0.1	23.5	2.015	11.7	2.40	393	1760	230
	5	0.1	23.3	2.017	182	1.10	118	1880	190
	平 均		22.9	2.013	7.22	1.78	326	1780	220

☆印 …… 平成4年度実施



## 6. 5 三軸圧縮試験結果

各試料の三軸圧縮試験結果を表6-5-1、2、3に示す。

### 6. 5. 1 応力～ひずみ～ダイレイタンスー特性

図6-5-1～15に各試料の応力～ひずみ～ダイレイタンスーの関係を示す。この図から、応力ひずみの関係はいずれの試料共 $\sigma_3'$ が低いほど脆性破壊によるひずみ軟化傾向が著しく、それが大きくなるにしたがい延性破壊によるひずみ硬化型の傾向を示している。これは、岩石材料が示す典型的傾向である。

また、ダイレイタンスー～ひずみの関係では、ダイレイタンスーは $\sigma_3'$ が低いほどせん断初期段階において急激に収縮し、ピーク強度に達する直前に膨張に転じている。この時の体積膨張は $\sigma_3'$ が小さいほど著るしくなる。このように、変形挙動がひずみ軟化型でダイレイタンスーが膨張を示すものは、弾性領域、また、ひずみ軟化型でダイレイタンスーが収縮を示すものは、塑性領域とされている。この弾性領域から塑性領域に移行する $\sigma_3'$ が降伏応力（降伏拘束圧）と一致するといわれている。

表6-5-1(a) 三軸圧縮試験結果 (右岸試料)

試料名	有効側圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )	背 圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )	軸ひずみ 速 度 (%/min)	破 壊 時 主応力差 (kgf/cm <sup>2</sup> )	残 留 時 主応力差 (kgf/cm <sup>2</sup> )	変形係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	破 壊 時 軸ひずみ (%)	破壊時体 積ひずみ (%)
Rv	5	5	0.1	49.19	21.26	5550	1.40	0.16
	15	5	0.1	78.58	52.50	7580	1.60	0.43
	25	5	0.1	85.14	74.64	8880	1.70	0.51
	35	5	0.1	90.29	87.12	8520	2.00	0.03
	40	5	0.1	106.00	106.00	9220	15.00	0.87
	50	5	0.1	117.00	117.00	10500	15.00	5.72
	70	5	0.1	152.40	152.40	9900	15.00	7.22
	90	5	0.1	177.90	177.90	5080	15.00	8.81
Rh	5	5	0.1	70.86	20.46	8820	0.85	0.30
	15	5	0.1	99.86	59.33	9800	1.25	0.50
	25	5	0.1	109.27	80.99	12300	1.29	0.48
	35	5	0.1	123.55	100.61	13000	1.24	0.55
	40	5	0.1	128.71	100.04	12840	1.39	0.62
	50	5	0.1	114.80	114.80	12500	1.58	0.74
	70	5	0.1	142.40	142.40	14000	15.16	6.48
	90	5	0.1	167.90	167.90	15200	15.11	7.76
Rhp	5	5	0.1	51.64	27.10	6120	1.10	0.48
	15	5	0.1	58.37	56.09	7690	1.42	0.46
	25	5	0.1	75.78	75.78	9120	13.60	1.95
	35	5	0.1	93.80	93.80	9200	15.00	2.37
	40	5	0.1	105.51	105.51	9260	15.00	4.78
	50	5	0.1	120.10	120.10	9000	15.00	6.14
	70	5	0.1	147.90	147.90	4090	15.00	7.65
	90	5	0.1	168.50	168.50	2310	15.00	8.59
Rθ+45	5	5	0.1	60.97	26.50	7070	1.20	0.40
	15	5	0.1	87.52	32.00	9050	1.40	0.30
	25	5	0.1	92.99	77.00	10100	1.20	0.50
	35	5	0.1	90.46	88.00	8220	15.00	0.60
	40	5	0.1	105.66	102.90	11800	1.60	0.50
	50	5	0.1	119.60	119.60	14700	15.07	0.86
	70	5	0.1	138.40	138.40	14900	15.06	0.78
	90	5	0.1	154.00	154.00	14600	15.12	0.73
Rθ-45	5	5	0.1	67.09	24.50	8030	1.10	0.30
	15	5	0.1	87.78	56.00	8700	1.30	0.30
	25	5	0.1	103.52	76.20	11100	1.30	0.50
	35	5	0.1	114.37	96.50	12200	1.50	0.60
	40	5	0.1	114.31	104.10	12700	1.30	0.60
	50	5	0.1	124.30	118.00	15000	1.41	0.66
	70	5	0.1	144.50	144.50	16000	15.16	0.59
	90	5	0.1	167.80	167.80	01580	15.08	0.51

表6-5-1 (b) 三軸圧縮試験結果 (右岸試料)

試料名	有効側圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )	背 圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )	軸ひずみ 速 度 (%/min)	破 壊 時 主応力差 (kgf/cm <sup>2</sup> )	残 留 時 主応力差 (kgf/cm <sup>2</sup> )	変形係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	破 壊 時 軸ひずみ (%)	破壊時体 積ひずみ (%)
☆ Rh +45	5	5	0.1	52.81	25.70	6820	1.06	0.30
	15	5	0.1	71.22	53.05	8600	1.18	0.34
	25	5	0.1	91.97	71.83	13000	1.10	0.55
	35	5	0.1	97.94	97.94	12000	14.70	3.83
	40	5	0.1	101.80	101.80	13400	15.10	4.21
	50	5	0.1	114.10	114.10	12700	15.30	5.61
	70	5	0.1	123.20	123.20	13700	15.10	6.74
	90	5	0.1	120.60	120.60	13200	15.10	5.81
☆ Rh -45	5	5	0.1	49.95	20.94	7150	0.90	0.17
	15	5	0.1	72.92	54.55	10000	1.10	0.42
	25	5	0.1	85.51	76.73	12000	1.33	0.39
	35	5	0.1	95.61	95.61	13700	14.85	3.11
	40	5	0.1	105.10	105.10	12300	15.15	4.20
	50	5	0.1	121.40	121.40	11600	15.16	5.80
	70	5	0.1	152.50	152.50	14700	15.09	6.20
	90	5	0.1	158.90	158.90	10400	15.22	8.08

☆印 …… 平成4年度実施

表 6 - 5 - 2 三軸圧縮試験結果 (左岸試料)

試料名	有効側圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )	背 圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )	軸ひずみ 速 度 (%/min)	破 壊 時 主応力差 (kgf/cm <sup>2</sup> )	残 留 時 主応力差 (kgf/cm <sup>2</sup> )	変形係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	破 壊 時 軸ひずみ (%)	破壊時体 積ひずみ (%)
Lv	5	5	0.1	56.57	25.38	4350	1.43	0.16
	15	5	0.1	92.51	52.90	6670	1.82	0.21
	25	5	0.1	120.82	96.25	8450	1.74	0.49
	35	5	0.1	126.71	105.39	9430	1.71	0.45
	40	5	0.1	131.76	113.36	9800	1.75	0.56
	50	5	0.1	201.20	148.00	16200	1.34	0.42
	70	5	0.1	196.90	169.00	17400	1.63	0.54
	90	5	0.1	226.10	194.00	18500	1.64	0.62
Lh	5	5	0.1	45.06	21.00	3760	1.70	0.00
	15	5	0.1	71.09	59.50	5050	2.20	0.20
	25	5	0.1	99.09	86.00	9100	1.90	0.40
	35	5	0.1	106.46	103.00	8190	2.40	0.60
	40	5	0.1	138.18	123.00	13000	2.10	0.60
	50	5	0.1	136.30	136.30	12700	15.13	2.85
	70	5	0.1	164.30	164.30	11600	15.07	5.44
	90	5	0.1	199.70	199.70	17700	15.01	6.61
Lhp	5	5	0.1	41.9	26.1	2160	2.69	-0.38
	15	5	0.1	62.8	54.0	3900	6.84	-0.16
	25	5	0.1	81.0	77.0	6150	8.42	0.83
	35	5	0.1	103.3	103.3	6000	15.0	2.87
	40	5	0.1	113.9	113.9	5000	15.0	3.49
	50	5	0.1	137.5	137.5	7440	15.0	4.41
	70	5	0.1	181.1	181.1	6760	15.0	5.18
	90	5	0.1	239.9	239.9	7510	15.0	4.64
Lθ+45	5	5	0.1	62.30	27.00	8070	1.14	0.25
	15	5	0.1	113.50	40.00	11800	1.28	0.43
	25	5	0.1	128.40	56.10	14260	1.07	0.47
	35	5	0.1	150.60	84.10	14800	1.12	0.52
	40	5	0.1	154.80	113.00	17900	1.20	0.54
	50	5	0.1	149.20	138.00	12400	2.28	0.72
	70	5	0.1	166.20	166.20	18600	15.00	4.70
	90	5	0.1	167.60	167.60	17400	15.20	4.83
Lθ-45	5	5	0.1	54.00	15.60	5350	1.31	0.45
	15	5	0.1	120.90	41.00	11800	1.31	0.56
	25	5	0.1	152.60	62.00	13300	1.66	0.68
	35	5	0.1	118.70	81.00	5610	5.12	1.05
	40	5	0.1	152.40	96.00	10900	2.31	0.84
	50	5	0.1	177.40	122.00	12100	3.18	0.87
	70	5	0.1	196.60	179.00	12200	8.37	1.59
	90	5	0.1	232.60	232.60	12000	12.40	2.51

表6-5-3 三軸圧縮試験結果(堅坑試料)

試料名	有効側圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )	背 圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )	軸ひずみ 速 度 (%/min)	破 壊 時 主応力差 (kgf/cm <sup>2</sup> )	残 留 時 主応力差 (kgf/cm <sup>2</sup> )	変形係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	破 壊 時 軸ひずみ (%)	破壊時体 積ひずみ (%)
Cv	5	5	0.1	41.80	22.00	3720	1.79	-0.18
	15	5	0.1	63.80	48.00	5720	1.69	0.32
	25	5	0.1	77.50	<del>73.00</del>	7580	2.43	0.68
	35	5	0.1	97.40	<del>97.00</del>	5550	12.30	2.63
	40	5	0.1	107.30	107.30	8380	15.20	3.46
	50	5	0.1	126.80	126.80	9130	15.10	5.15
	70	5	0.1	165.40	165.40	4870	15.30	6.29
	90	5	0.1	178.40	178.40	6310	15.20	2.47
Ch	5	5	0.1	39.40	23.00	4340	1.30	-0.19
	15	5	0.1	67.60	49.00	6510	1.49	0.28
	25	5	0.1	77.90	69.50	6040	2.16	0.69
	35	5	0.1	97.40	97.00	8850	12.80	2.49
	40	5	0.1	103.20	103.20	6900	15.20	4.14
	50	5	0.1	130.60	136.60	12700	14.80	4.91
	70	5	0.1	155.60	155.60	7930	15.00	6.76
	90	5	0.1	182.70	182.70	5710	15.20	8.78
☆ Cθ+45	5	5	0.1	32.32	21.40	2630	2.00	-0.37
	15	5	0.1	65.90	55.46	5700	2.32	0.29
	25	5	0.1	76.78	76.78	4610	15.28	1.98
	35	5	0.1	96.95	96.95	4140	15.19	3.94
	40	5	0.1	106.00	106.00	7270	14.92	4.64
	50	5	0.1	120.00	120.00	6420	15.21	5.84
	70	5	0.1	160.70	160.70	3780	15.13	7.71
	90	5	0.1	181.30	181.30	2950	15.11	9.59

☆印 …… 平成4年度実施

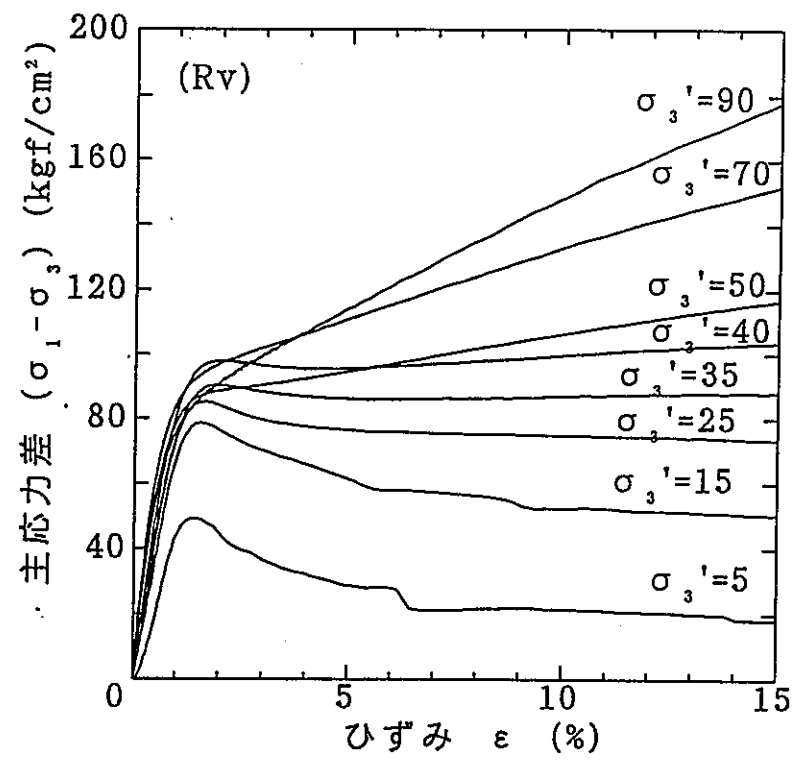


図6-5-1 (a)

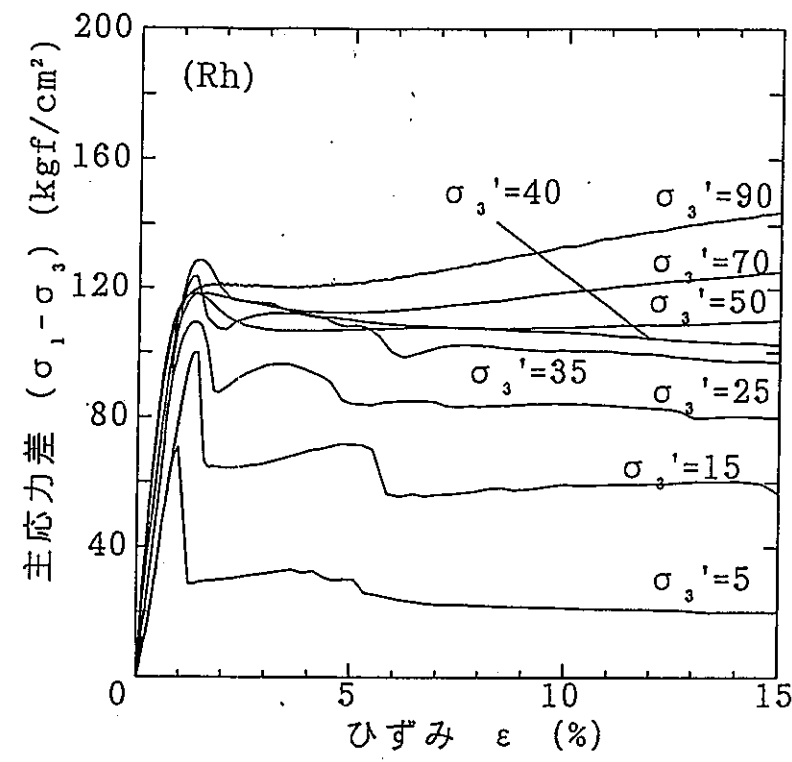


図6-5-2 (a)

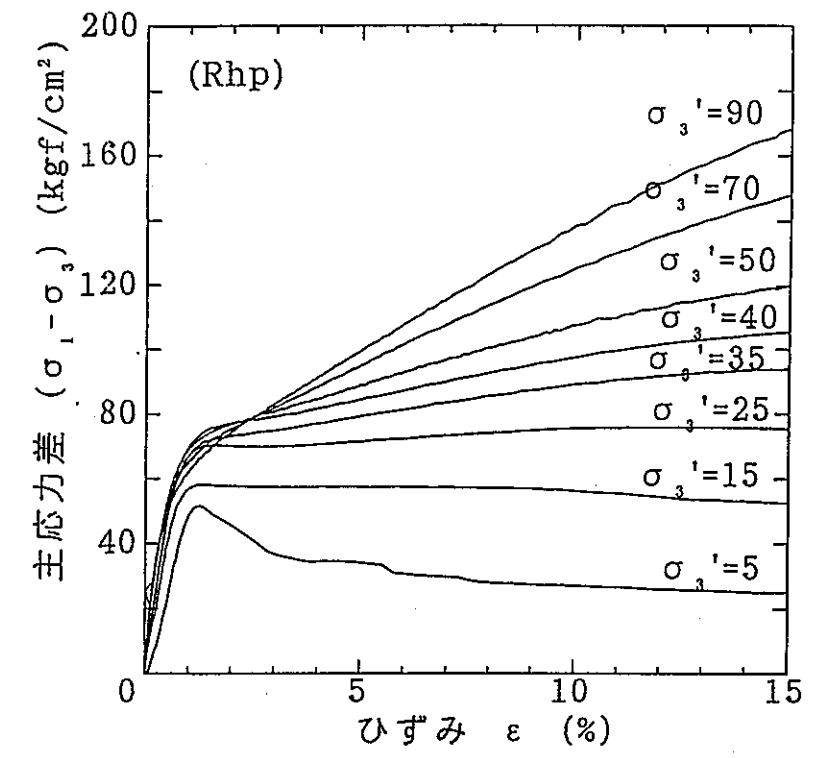


図6-5-3 (a)

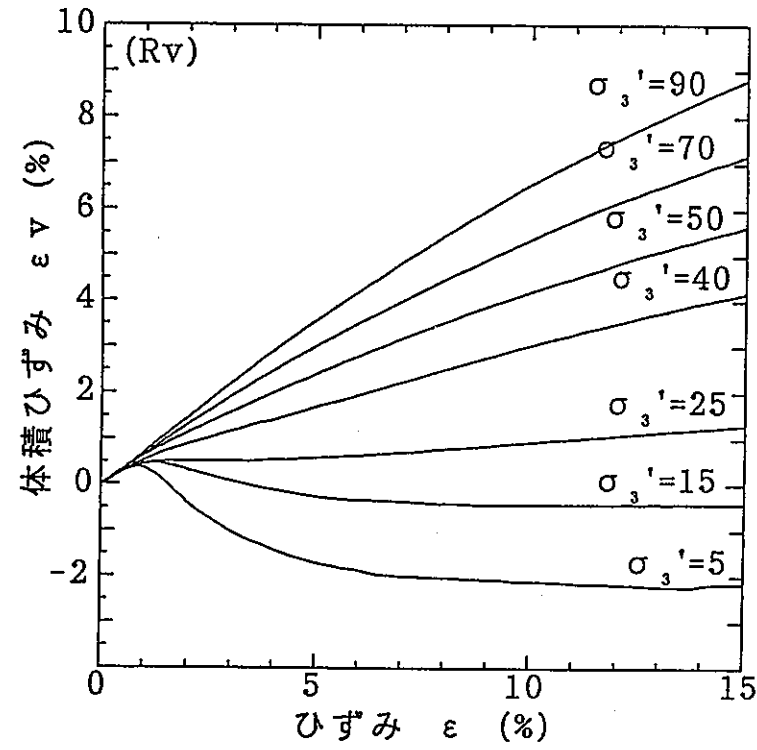


図6-5-1 (b)

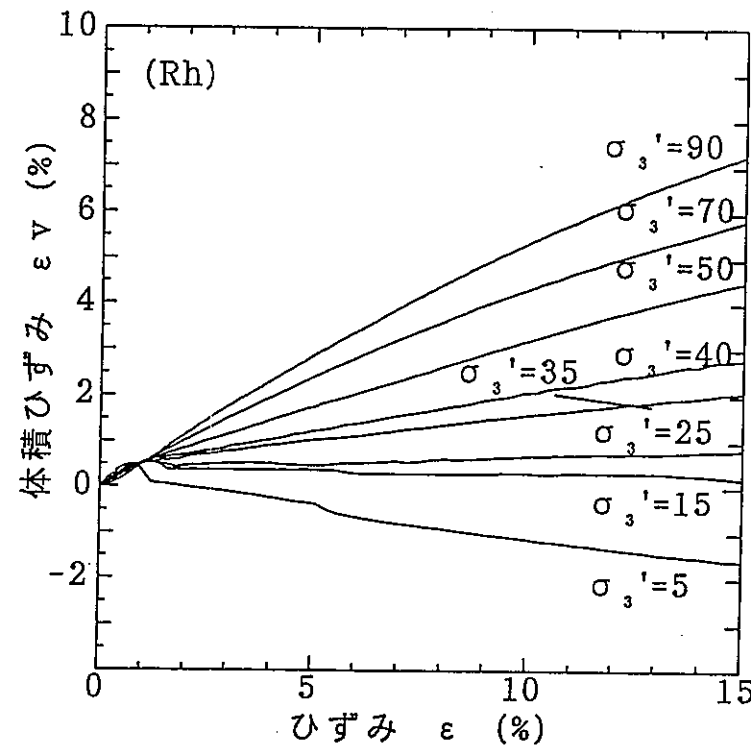


図6-5-2 (b)

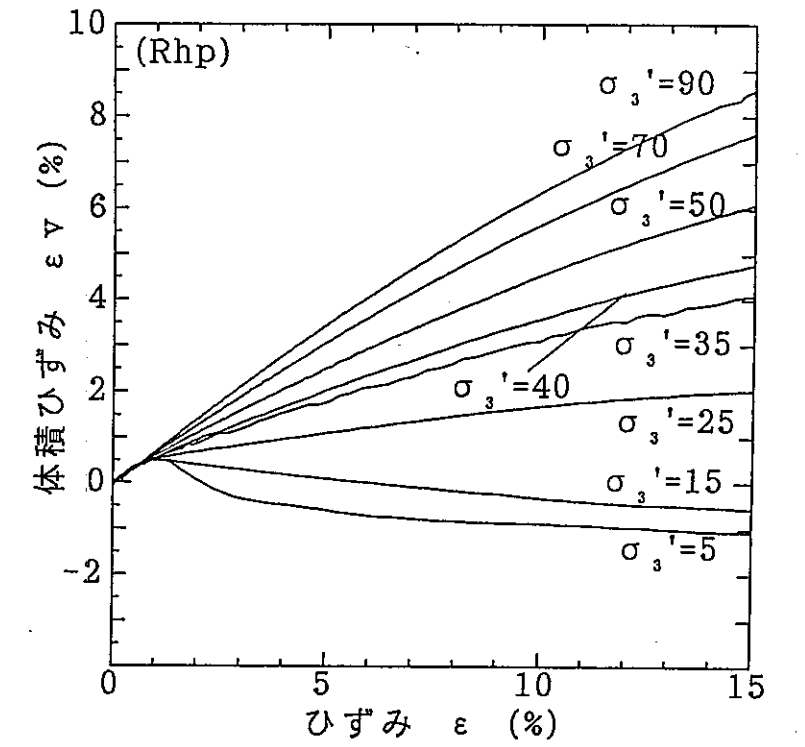


図6-5-3 (b)

図6-5-1 応力～ひずみ～ダイレイタンスー関係  
(Rv試料)

図6-5-2 応力～ひずみ～ダイレイタンスー関係  
(Rh試料)

図6-5-3 応力～ひずみ～ダイレイタンスー関係  
(Rhp試料)

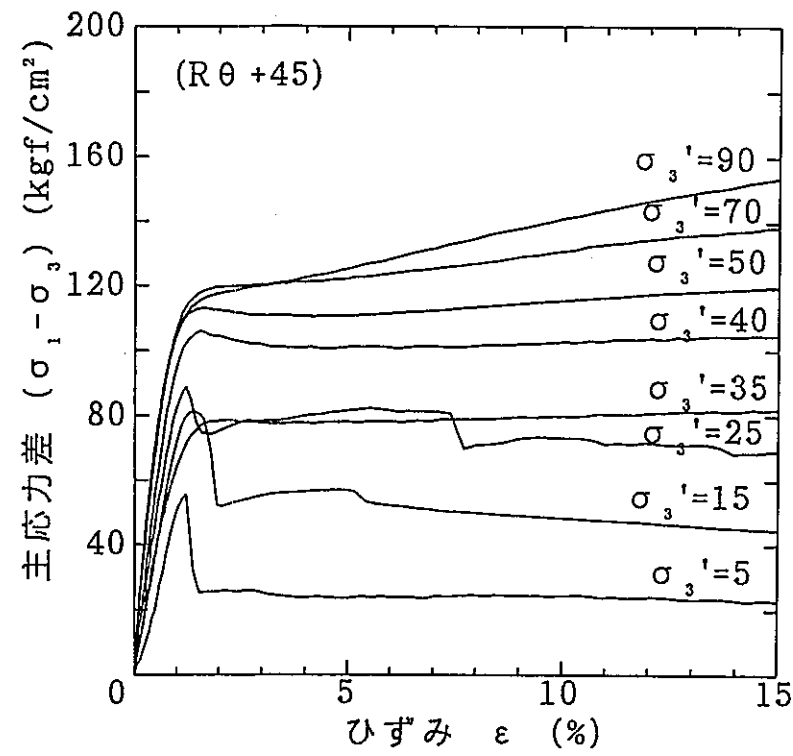


図6-5-4 (a)

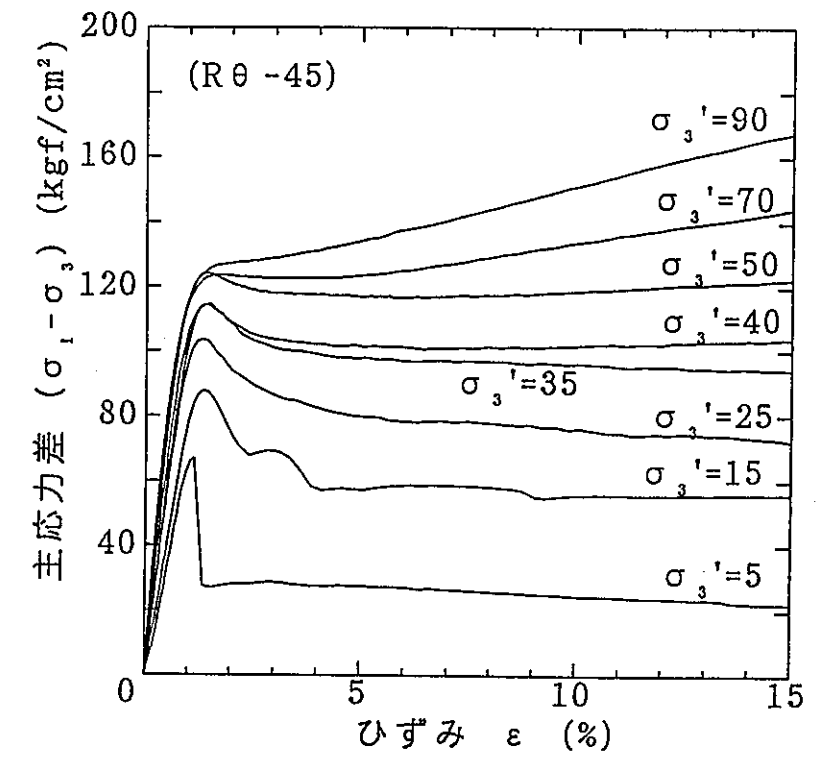


図6-5-5 (a)

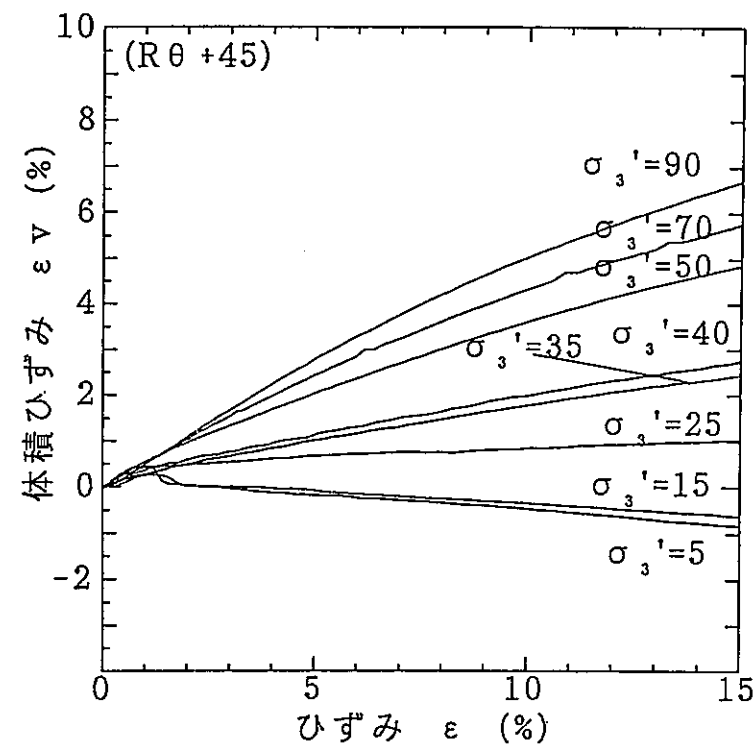


図6-5-4 (b)

図6-5-4 応力～ひずみ～ダイレイタンスー関係  
(Rθ+45試料)

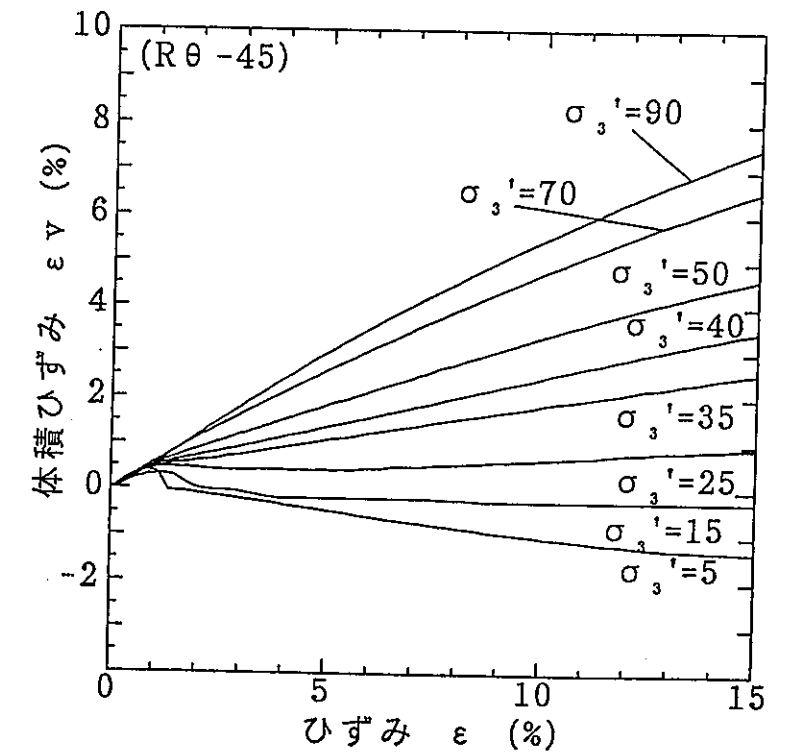


図6-5-5 (b)

図6-5-5 応力～ひずみ～ダイレイタンスー関係  
(Rθ-45試料)

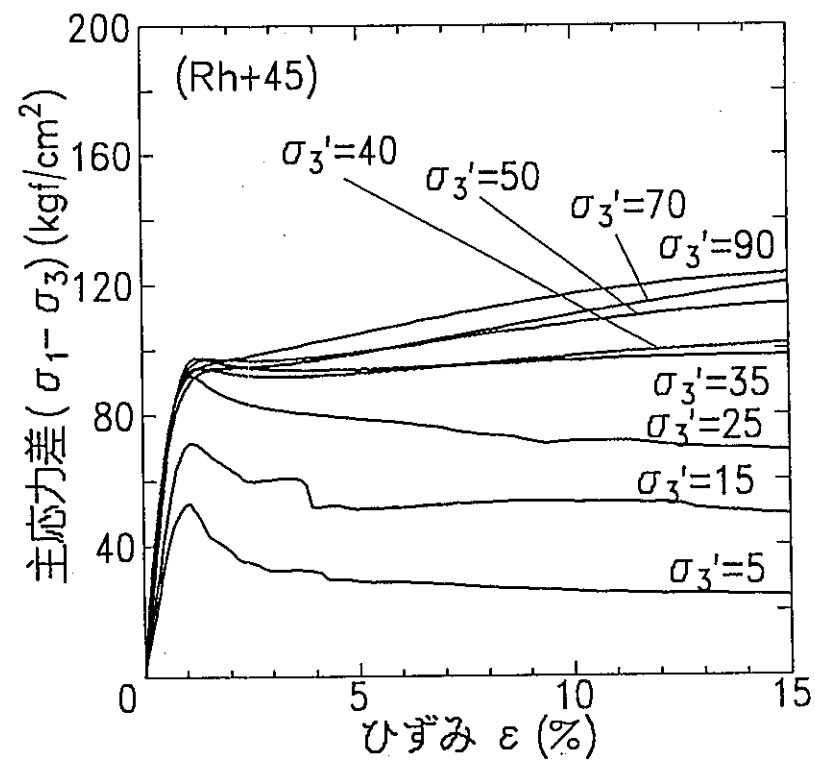


図6-5-6 (a)

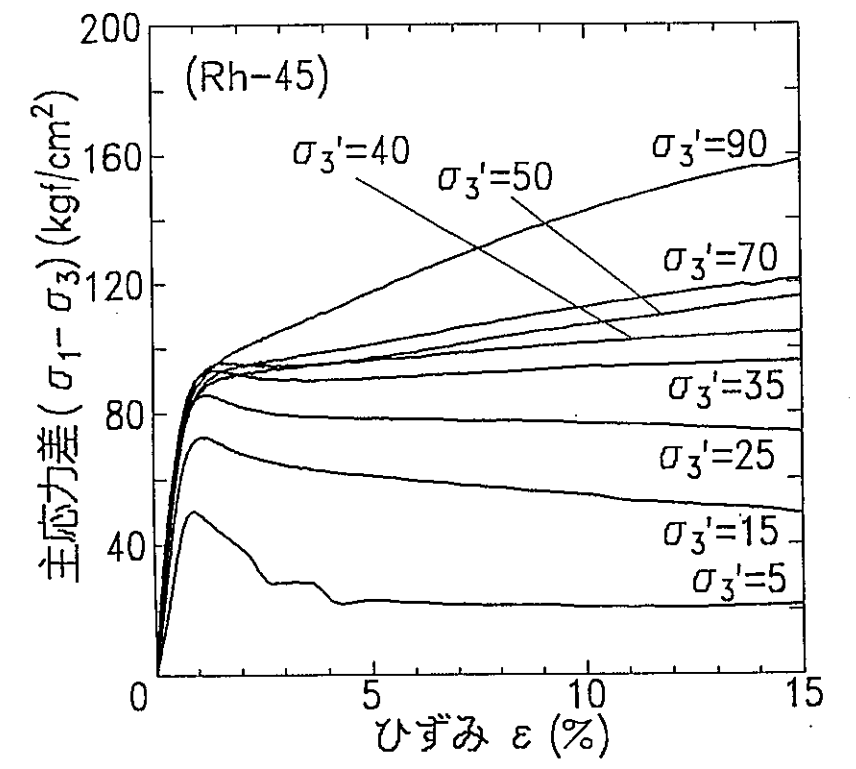


図6-5-7 (a)

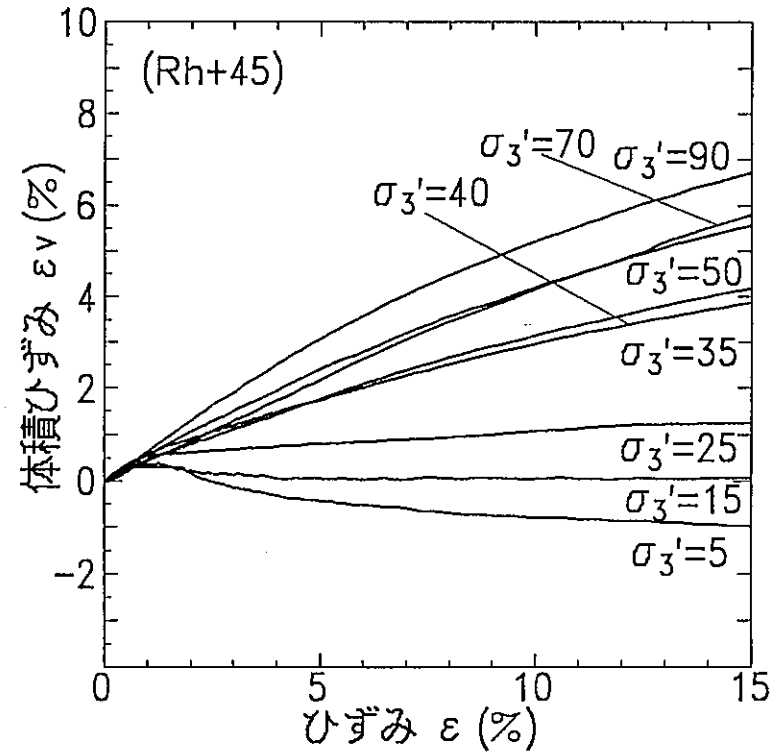


図6-5-6 (b)

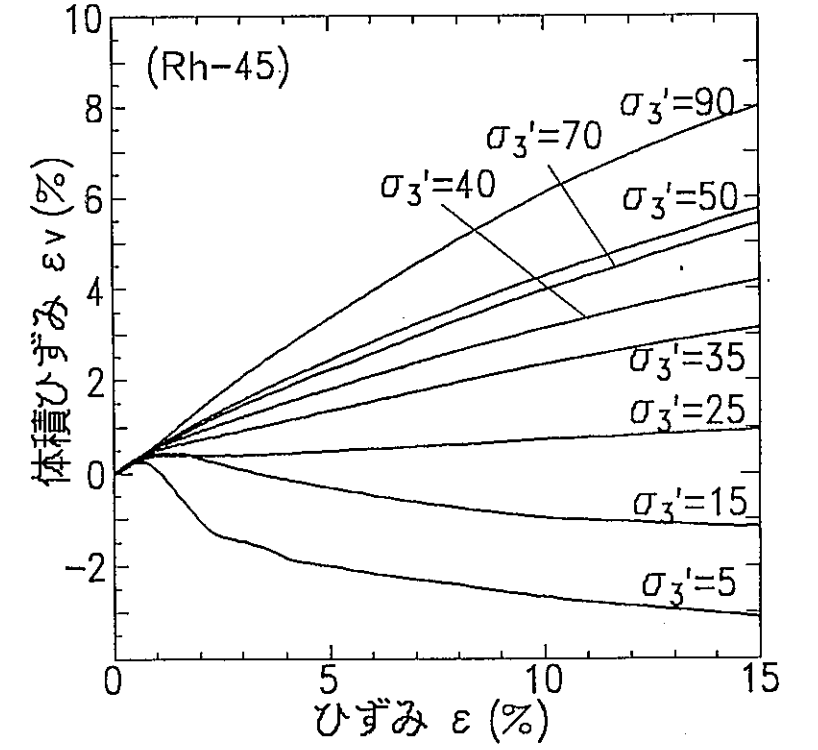


図6-5-7 (b)

図6-5-6 応力～ひずみ～ダイレイタンスー関係  
(Rh+45試料)

図6-5-7 応力～ひずみ～ダイレイタンスー関係  
(Rh-45試料)



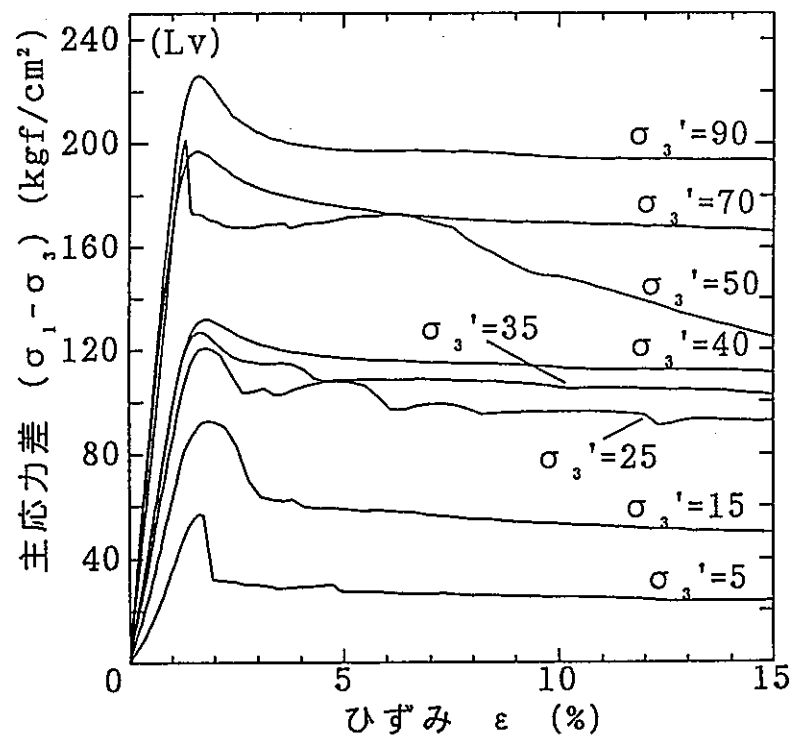


図6-5-8 (a)

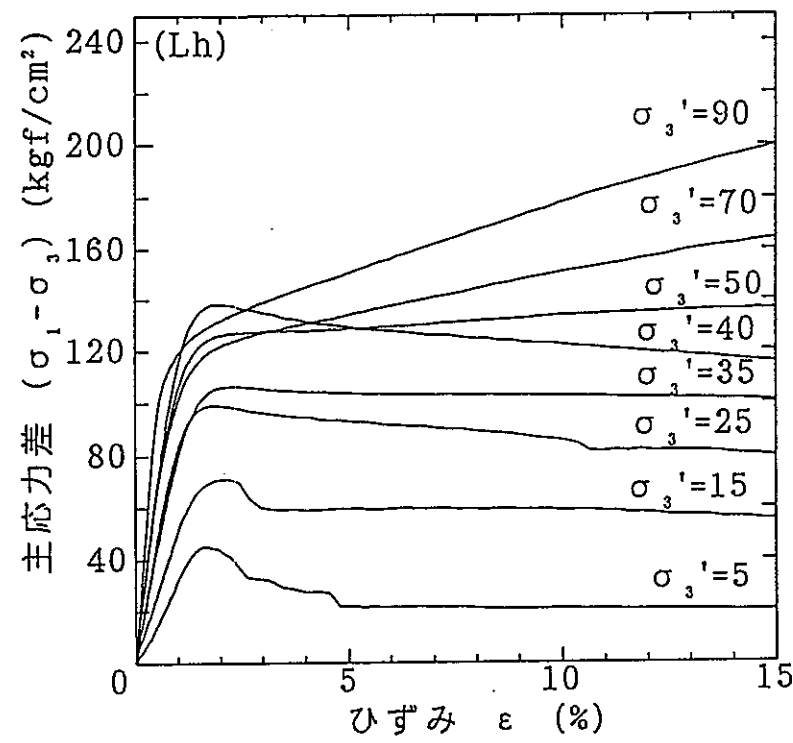


図6-5-9 (a)

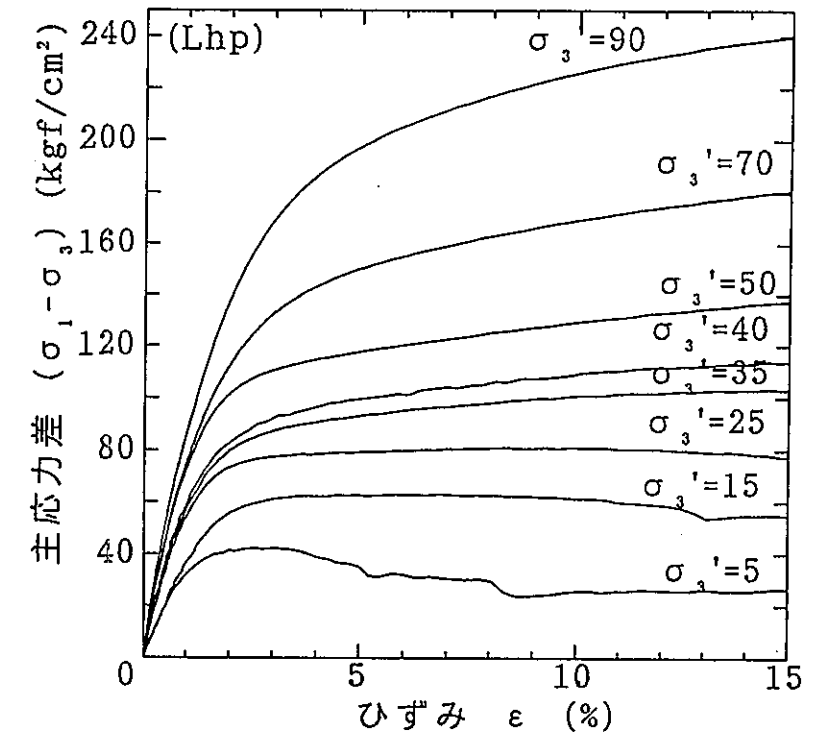


図6-5-10 (a)

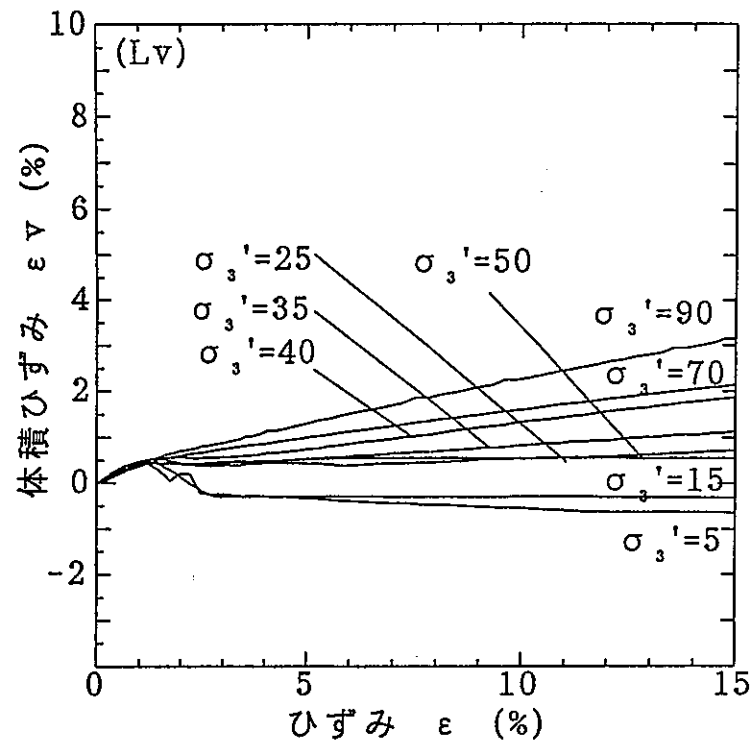


図6-5-8 (b)

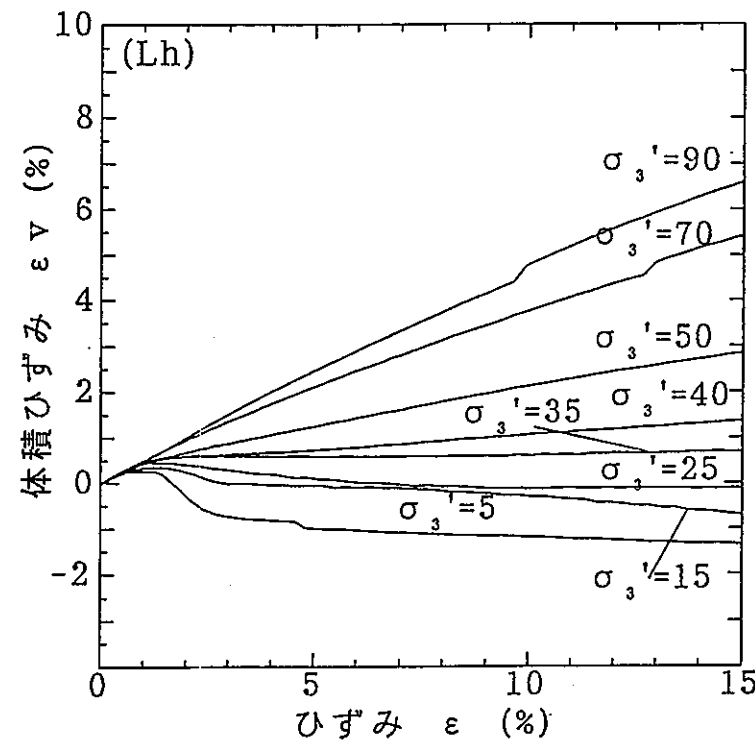


図6-5-9 (b)

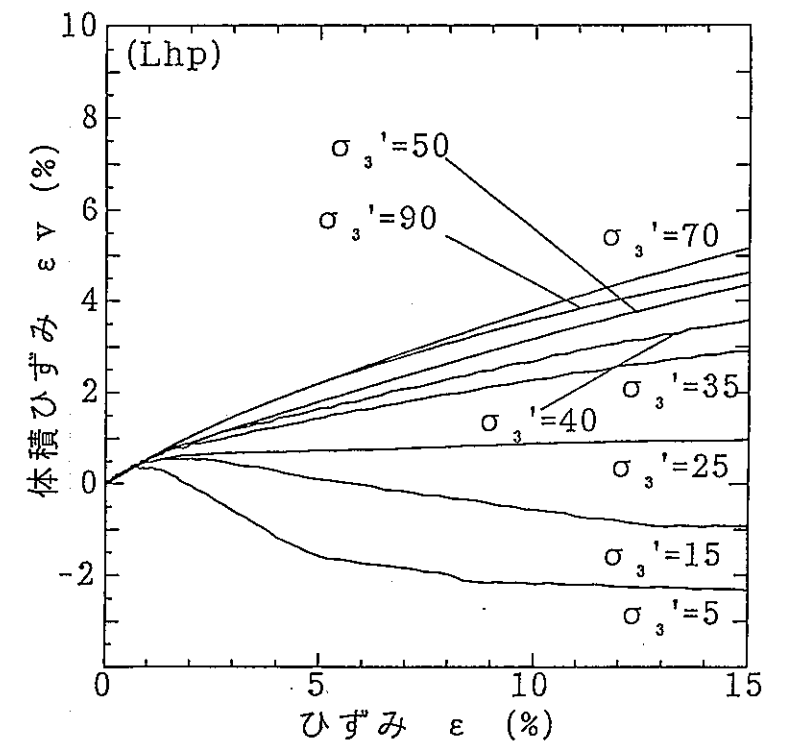


図6-5-10 (b)

図6-5-8 応力～ひずみ～ダイレイタンスー関係  
(Lv試料)

図6-5-9 応力～ひずみ～ダイレイタンスー関係  
(Lh試料)

図6-5-10 応力～ひずみ～ダイレイタンスー関係  
(Lhp試料)

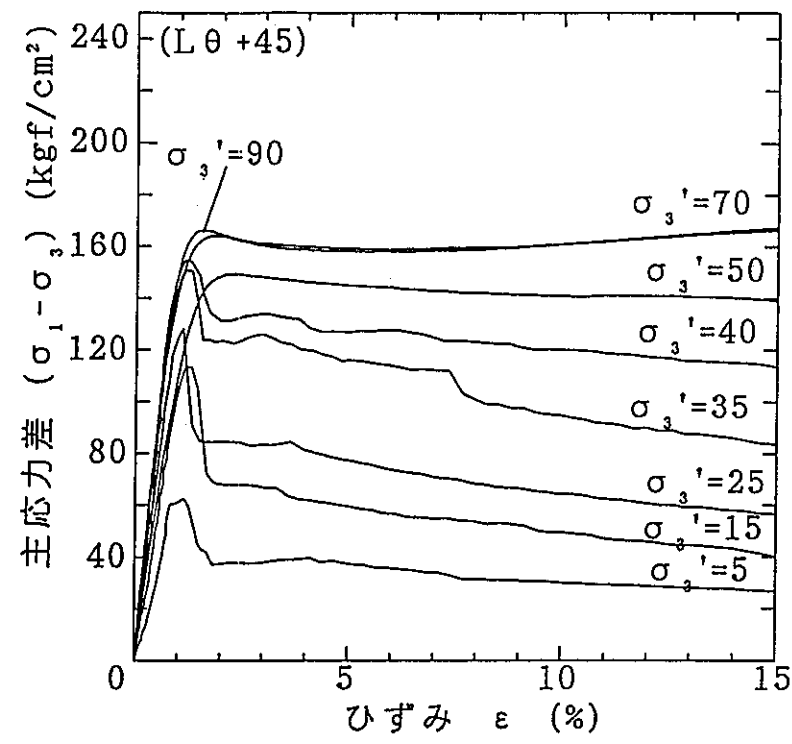


図6-5-11(a)

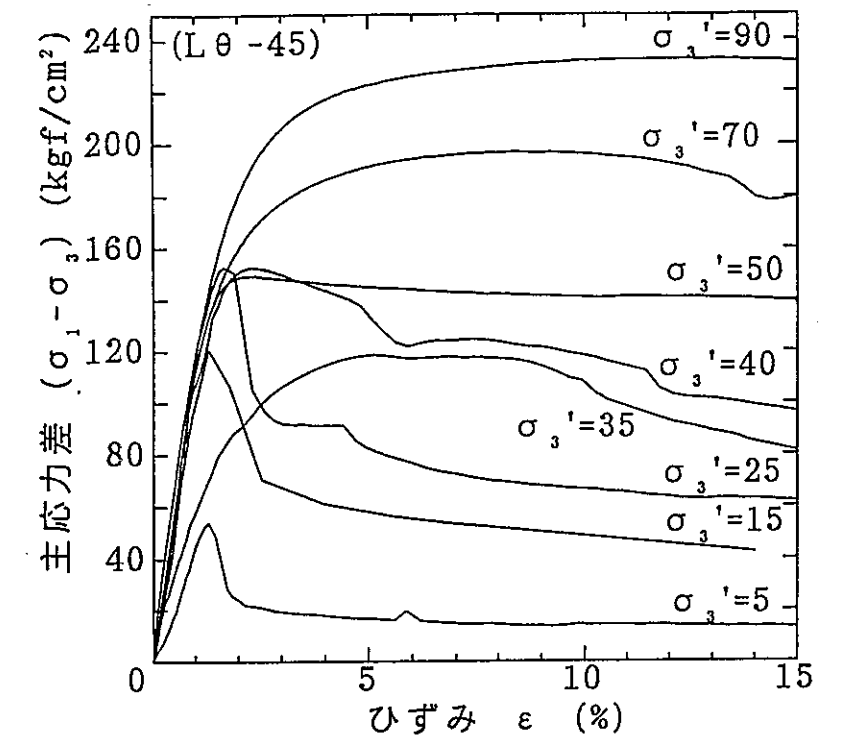


図6-5-12(a)

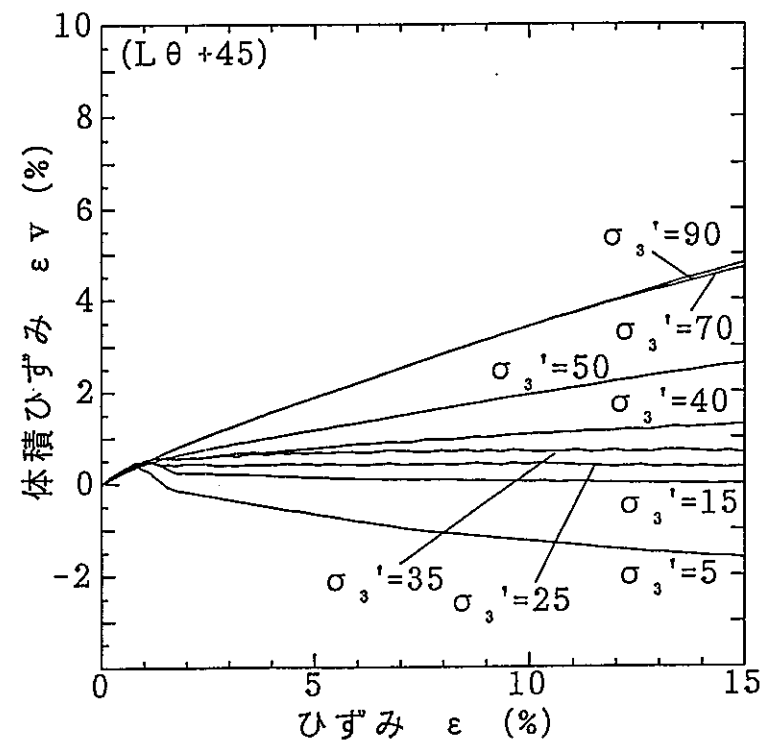


図6-5-11(b)

図6-5-11 応力～ひずみ～ダイレイタンスー関係  
(Lθ+45試料)

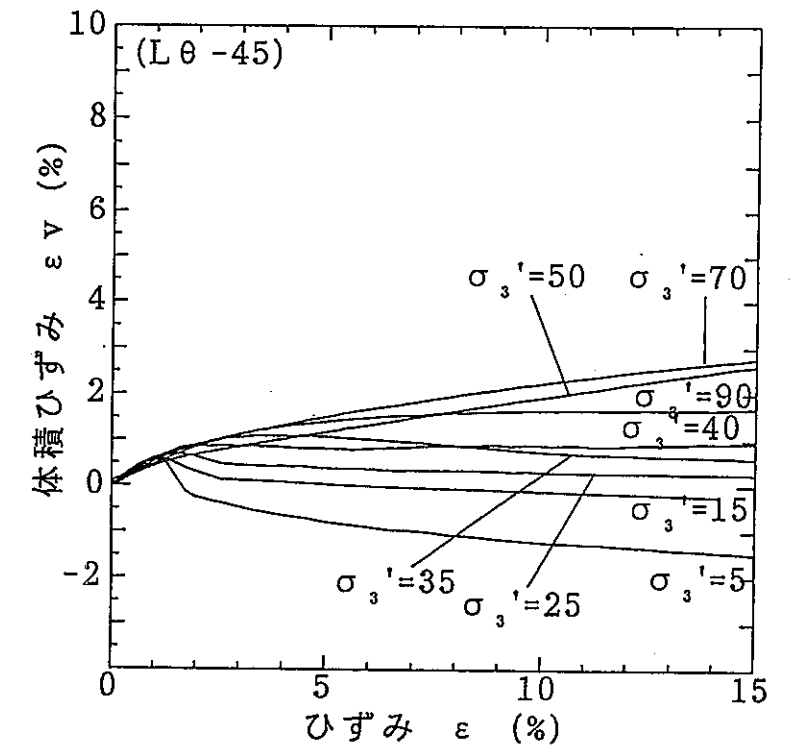


図6-5-12(b)

図6-5-12 応力～ひずみ～ダイレイタンスー関係  
(Lθ-45試料)

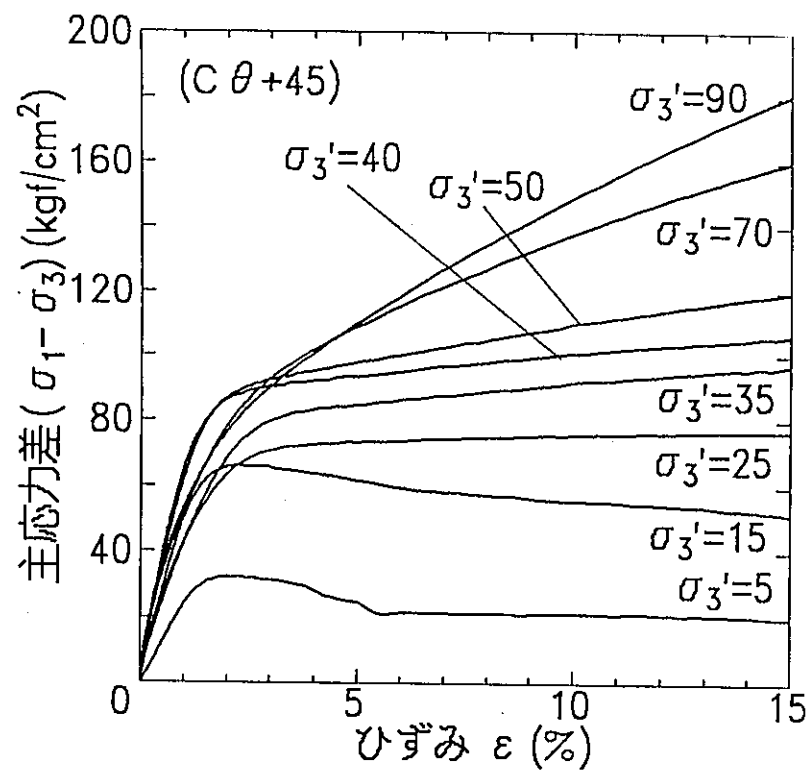


図6-5-13 (a)

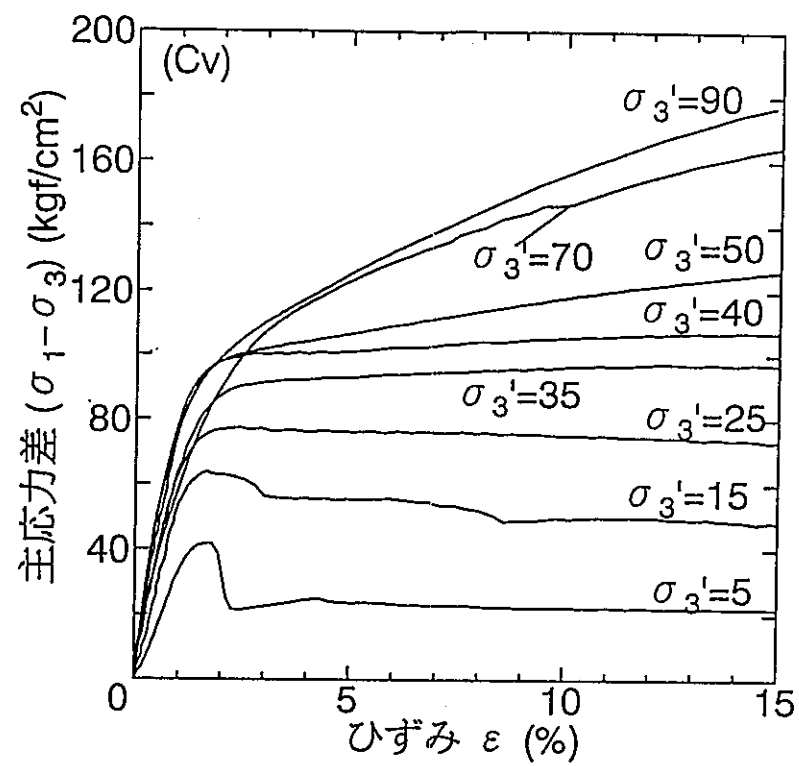


図6-5-14 (a)

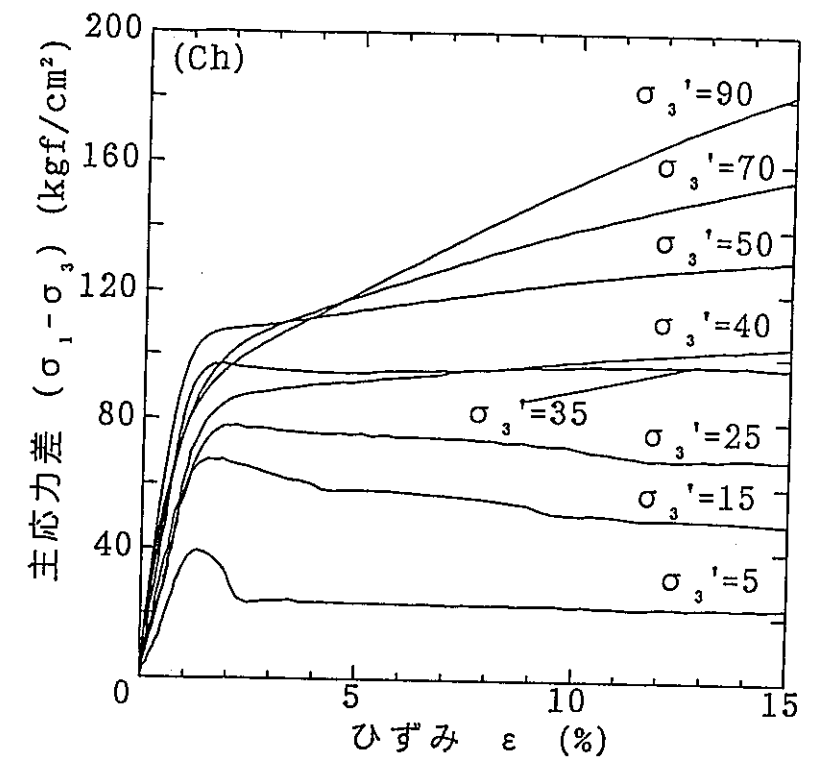


図6-5-15 (a)

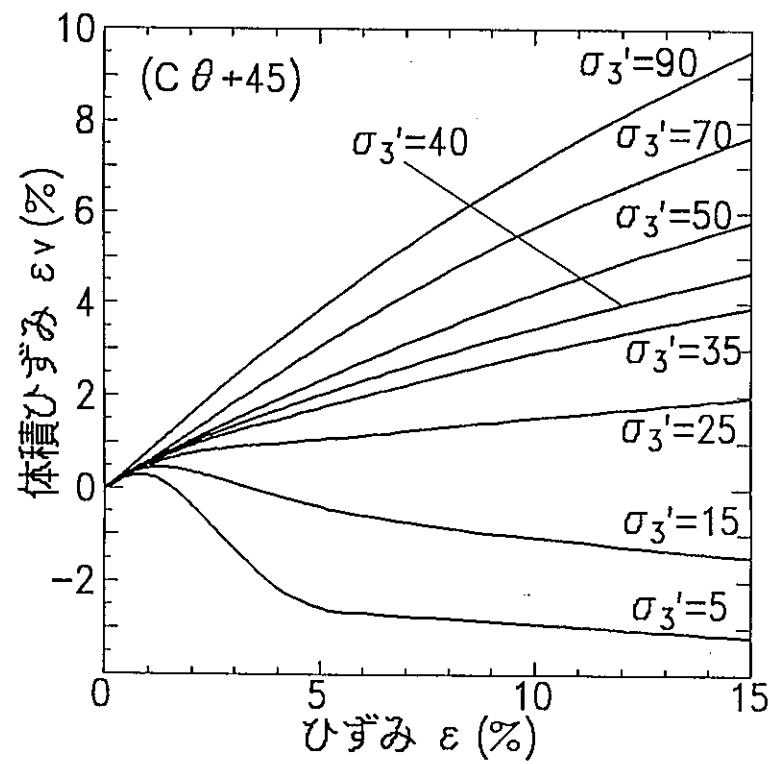


図6-5-13 (b)

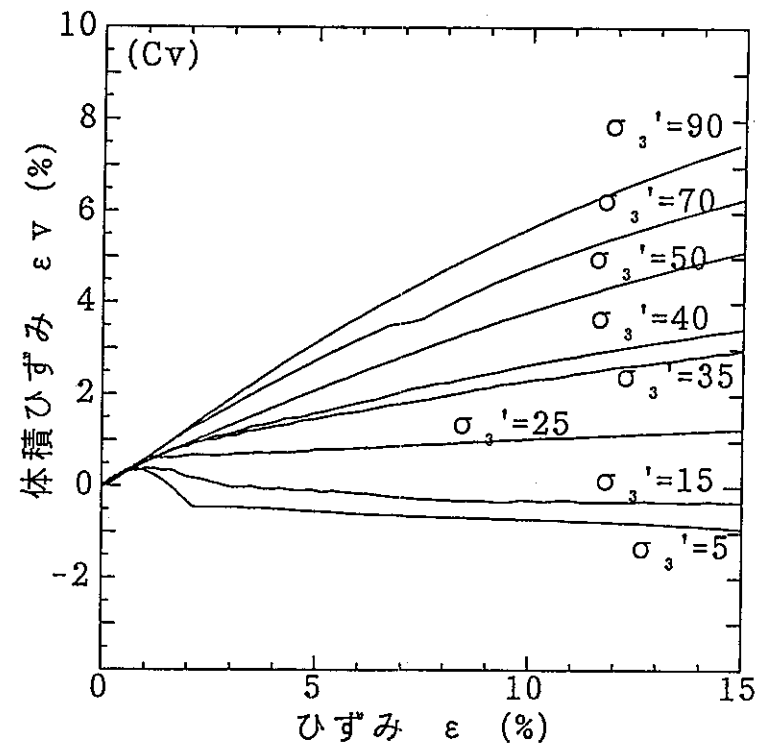


図6-5-14 (b)

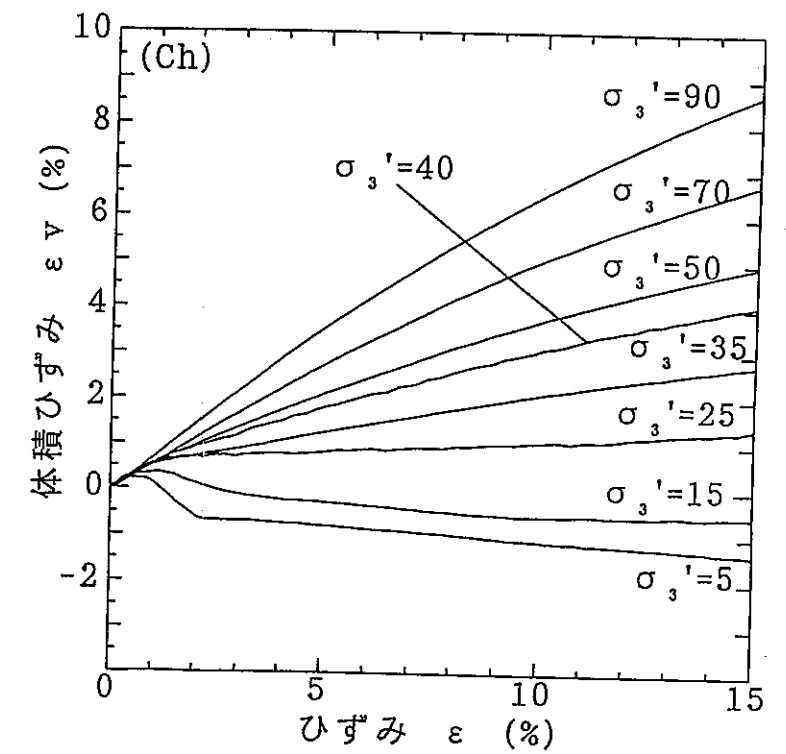


図6-5-15 (b)

図6-5-13 応力～ひずみ～ダイレイタンスー関係  
(Cθ+45)

図6-5-14 応力～ひずみ～ダイレイタンスー関係  
(Cv試料)

図6-5-15 応力～ひずみ～ダイレイタンスー関係  
(Ch試料)

## 6. 5. 2 変形特性

図6-5-16に、割線変形係数 $E_{s0}$ と有効拘束圧 $\sigma_{s'}$ の関係を示し、図6-5-17、18、19は変形係数と試料採取方向との関係を示している。

図6-5-16から、右岸試料と堅坑・左岸試料を比較し、褶曲作用の影響について検討する。左岸試料は一部の試料を除き、低い拘束圧の下では、一軸圧縮時の剛性と同様に小さな剛性を示すが、それが大きくなるとその傾向は逆になり、左岸試料の方が上回っている。

低拘束圧部での剛性の低下は、弾性波速度特性、一軸圧縮時の剛性、透水性の特徴と整合するもので、褶曲作用を受けたことにより発生した不連続面の存在が影響したものと思われる。

また、高拘束圧状態では、存在する不連続面が閉塞し、過去に持っていた剛な構造が再現されたと推測できる。

一方、堅坑試料では、左岸試料と同様に大きな密度と小さな間隙比を示していることもあり、高拘束圧状態では大きな剛性を示すと予想されたが、結果は反対であった。この原因については種々考えられるが、長期間にわたり坑内が水と接触していたことや、地下水汲み上げ等によって繰り返し応力が作用したために粒子構造が他の試料よりも大きく変化し、剛性が低下したことも一因と考えられる。

次に、図6-5-17、18、19で、異方性についてみると、右岸試料では、一軸圧縮時の剛性と同様に水平ダム軸方向で最も大きく、水平力による応力履歴の影響が見られる。

左岸試料では、一軸圧縮時の剛性とは逆に、鉛直方向で大きくなっている。

このことから、左岸試料は褶曲作用を受け直立する以前（当時の水平方向）の応力状態の影響が残っていると推測できる。

一方、堅坑試料では前述した要因により、明瞭な異方性は認められない。

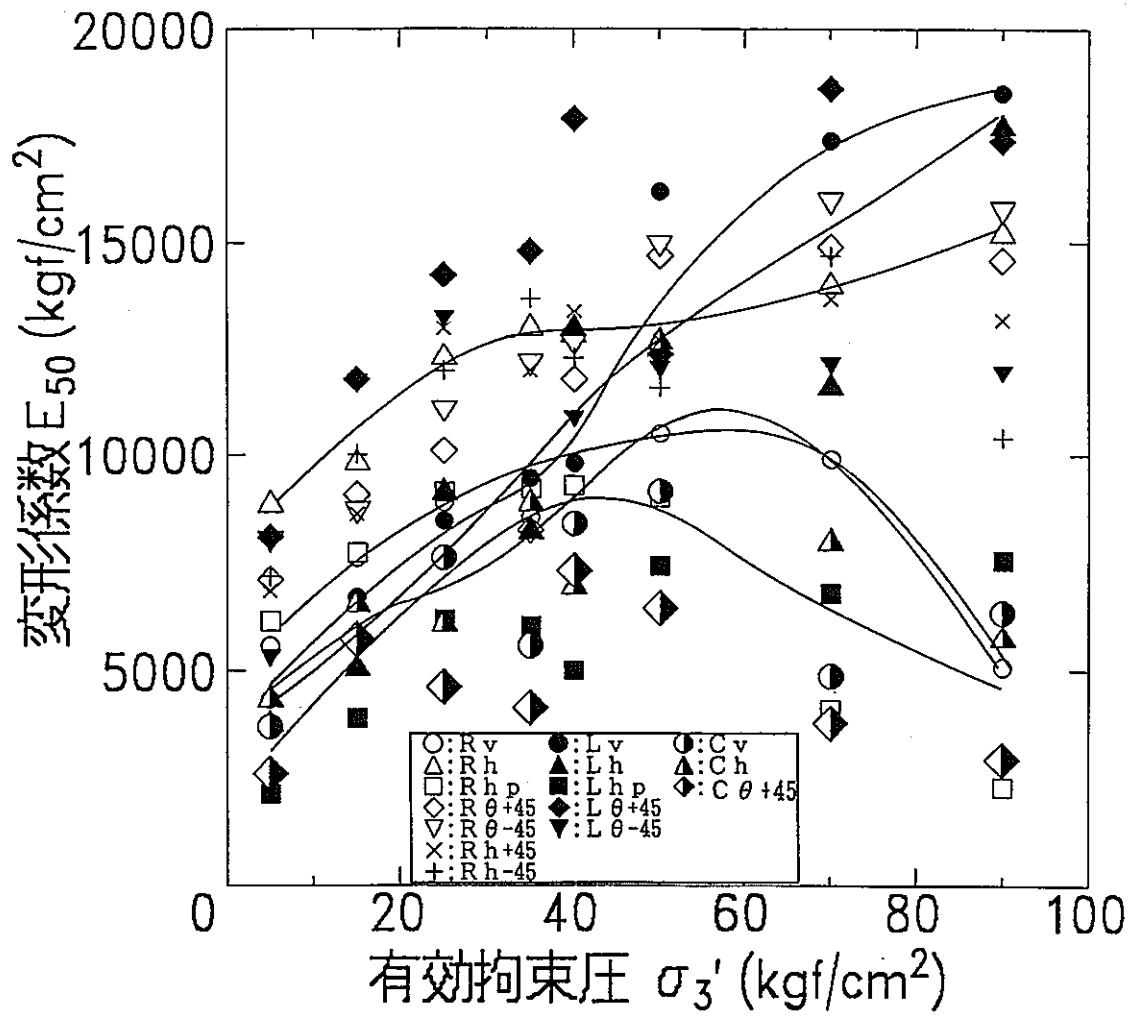


図 6 - 5 - 1 6 有効拘束圧～変形係数の関係

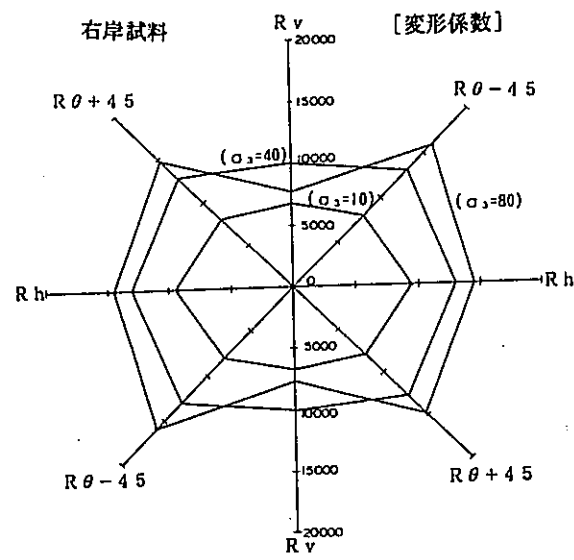


図6-5-17(a) Rv~Rh平面内の分布

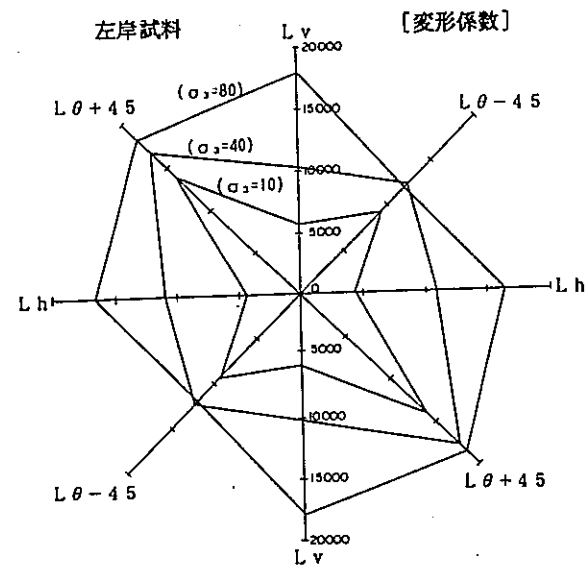


図6-5-18(a) Lv~Lh平面内の分布

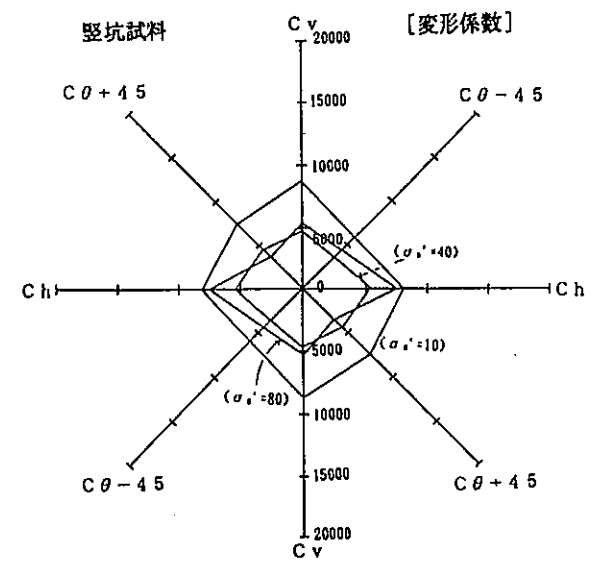


図6-5-19 変形係数~試料採取方向の関係 (豎坑試料)

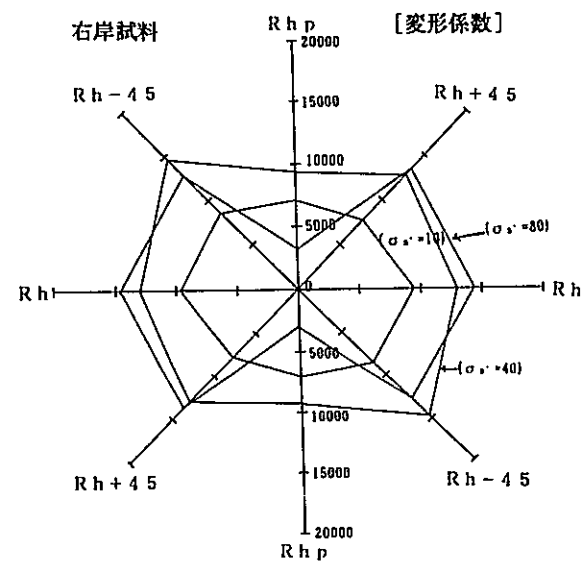


図6-5-17(b) Rhp~Rh平面内の分布

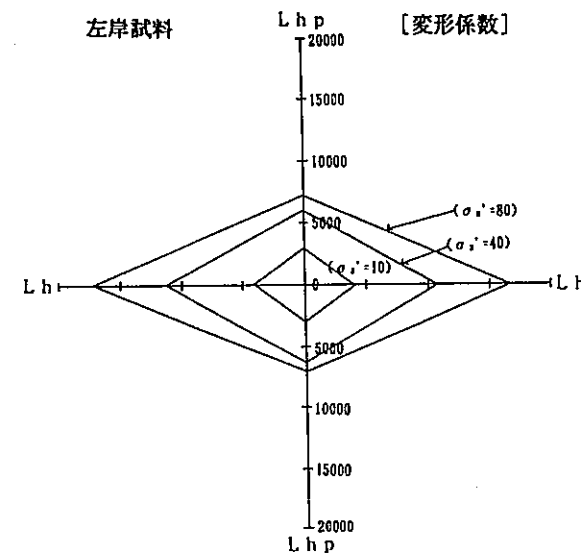


図6-5-18(b) Lhp~Lh平面内の分布

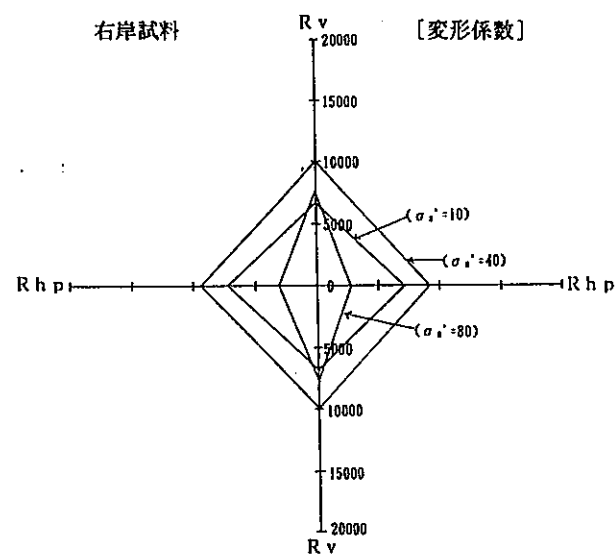


図6-5-17(c) Rv~Rhp平面内の分布

図6-5-17 変形係数~試料採取方向の関係 (右岸試料)

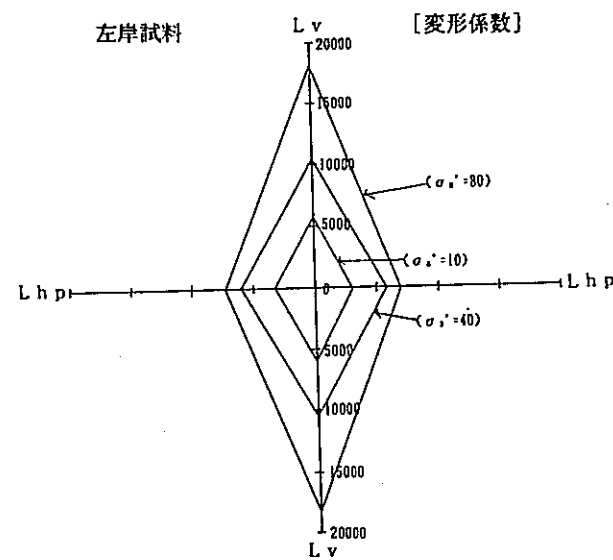


図6-5-18(c) Lv~Lhp平面内の分布

図6-5-18 変形係数~試料採取方向の関係 (左岸試料)

### 6. 5. 3 破壊強度特性

図6-5-20に、ピーク強度 $(\sigma_1 - \sigma_3)_p$ と有効拘束圧 $\sigma_3'$ の関係を示し、図6-5-21、22、23には、ピーク強度と試料採取方向との関係を示す。

図6-5-15より、右岸試料と堅坑・左岸試料を比較し、褶曲作用による影響を検討する。左岸試料では剛性と同様に低拘束圧部では右岸試料と同等もしくは小さな強度を示すが、拘束圧が大きくなるにしたがい、両者は逆転している。ところが、堅坑試料では剛性特性でみられた性質とは逆に広い拘束圧の範囲で右岸試料を上回っている。

これは、後節で述べる降伏拘束圧より大きな拘束圧を与えることによって、粒子構造の変化の影響は消滅し、正規圧密状態で新たに出現した構造を反映したものと見える。

次に、図6-5-21、22、23より異方性についてみると、右岸試料では低拘束圧では水平ダム軸方向が他を卓越し、高拘束圧部ではその傾向は消滅している。また、左岸試料では広い拘束圧の範囲で鉛直方向が他を卓越し、堅坑試料では、剛性特性と同様に顕著な異方性は認められない。

強度の異方性は、剛性特性と同様に褶曲時に受けた応力履歴の影響に起因しているものと考えられるが、降伏拘束圧を越えるとその異方性は消滅する傾向にある。

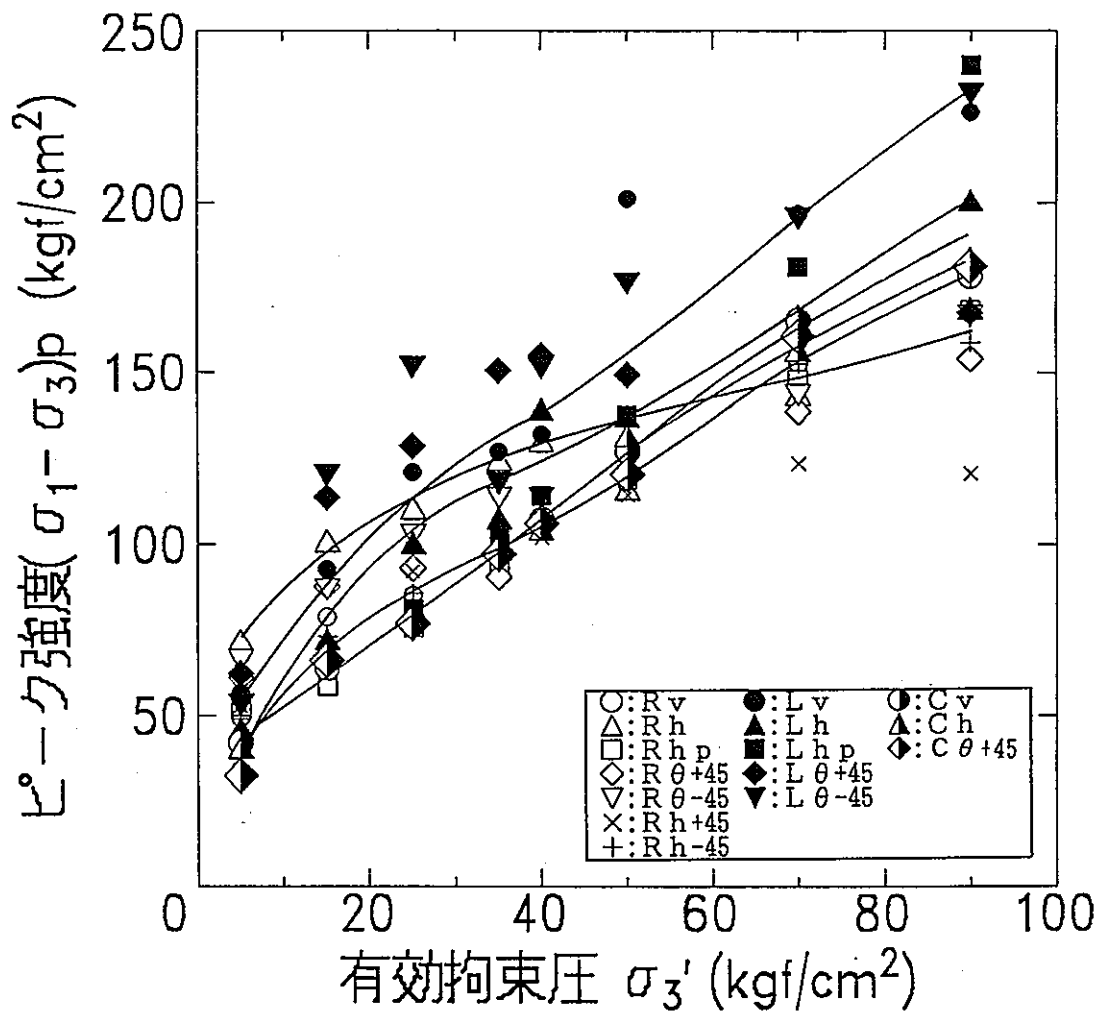


図 6 - 5 - 2 0 有効拘束圧～ピーク強度の関係



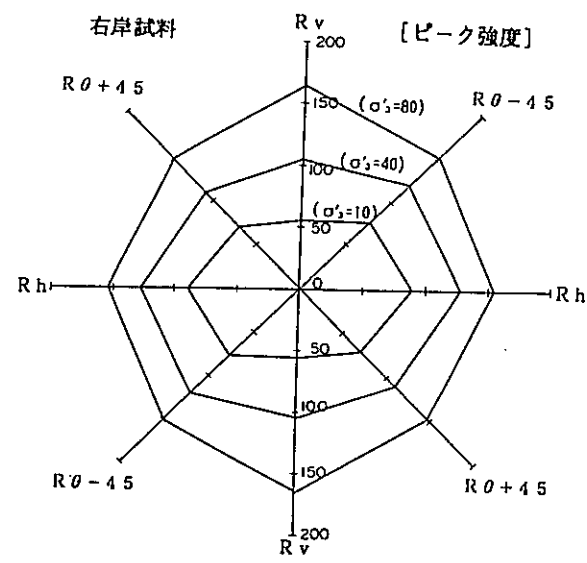


図 6-5-21 (a) Rv~Rh 平面内の分布

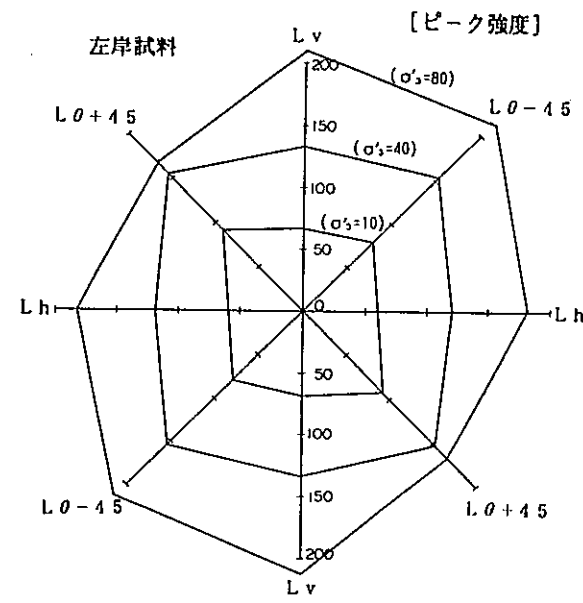


図 6-5-22 (a) Lv~Lh 平面内の分布

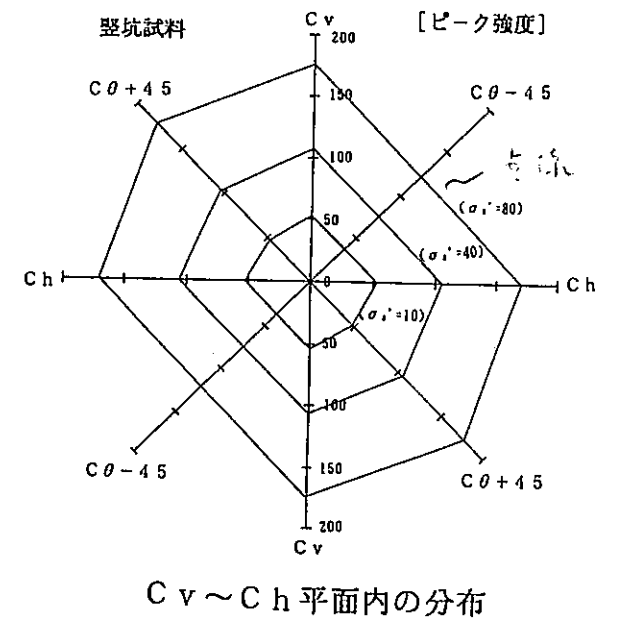


図 6-5-23 ピーク強度~試料採取方向の関係 (縦坑試料)

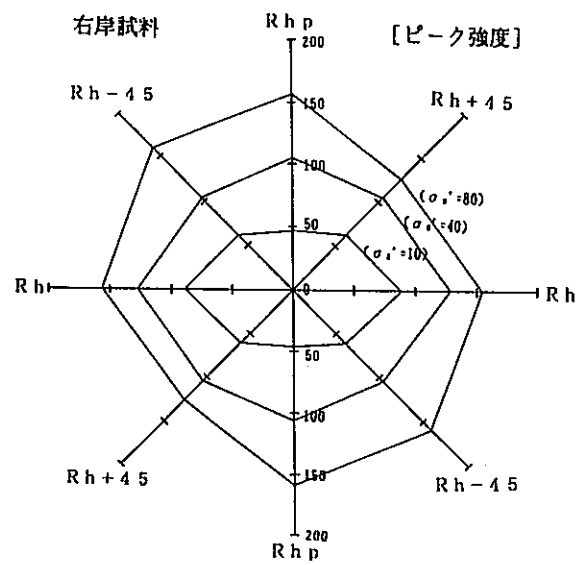


図 6-5-21 (b) Rhp~Rh 平面内の分布

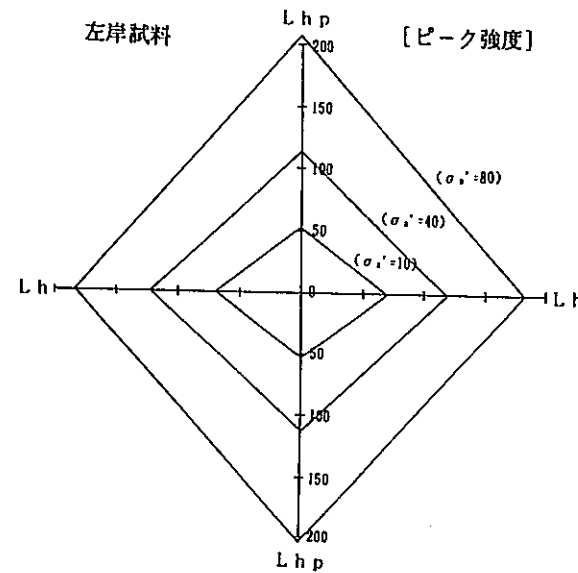


図 6-5-22 (b) Lhp~Lh 平面内の分布

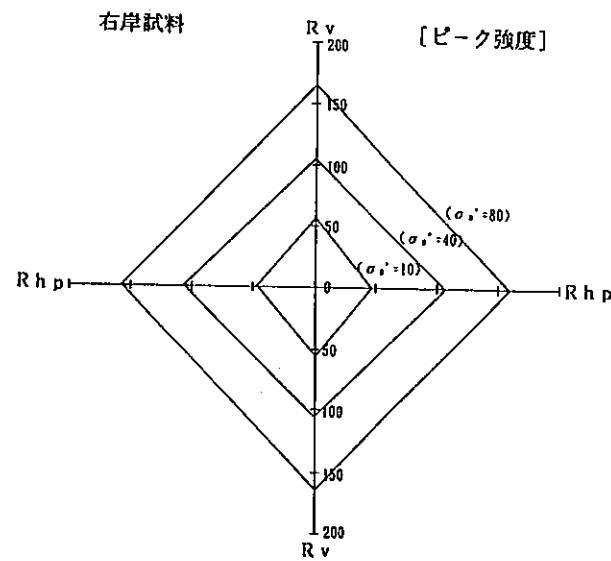


図 6-5-21 (c) Rv~Rhp 平面内の分布

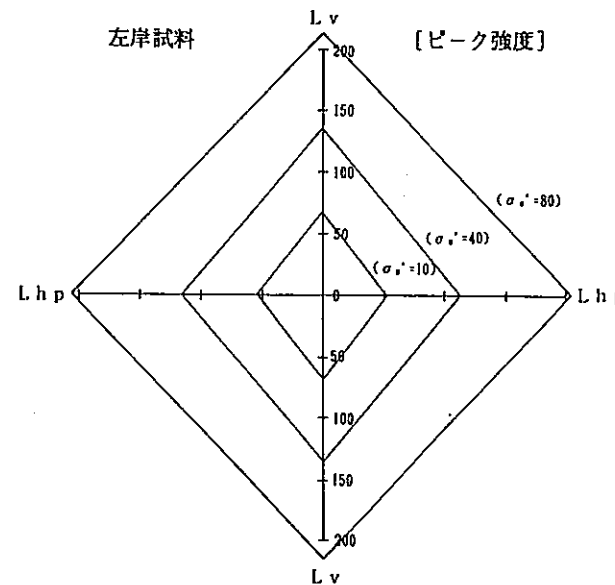


図 6-5-22 (c) Lv~Lhp 平面内の分布

図 6-5-21 ピーク強度~試料採取方向の関係 (右岸試料)

図 6-5-22 ピーク強度~試料採取方向の関係 (左岸試料)

#### 6. 5. 4 残留強度特性

図6-5-24に残留強度 $(\sigma_1 - \sigma_3)_r$ と、有効拘束圧 $\sigma_3'$ の関係を示し、図6-5-25、26、27には、残留強度と試料採取方向との関係を示す。

図6-5-24で、各試料を比較し、褶曲作用による影響をみると、広い拘束圧の範囲で左岸試料が他の試料を卓越している。これは、ピーク強度と同様の傾向である。

また、異方性では全ての試料においてピーク強度でみられた明瞭な異方性は認められない。残留強度が発揮されている状況は粒子間のセメンテーションが破壊され、粒子が再配列している状態である。このような状態では水平力に起因する応力履歴の影響はすでに消滅しているためと考えられる。

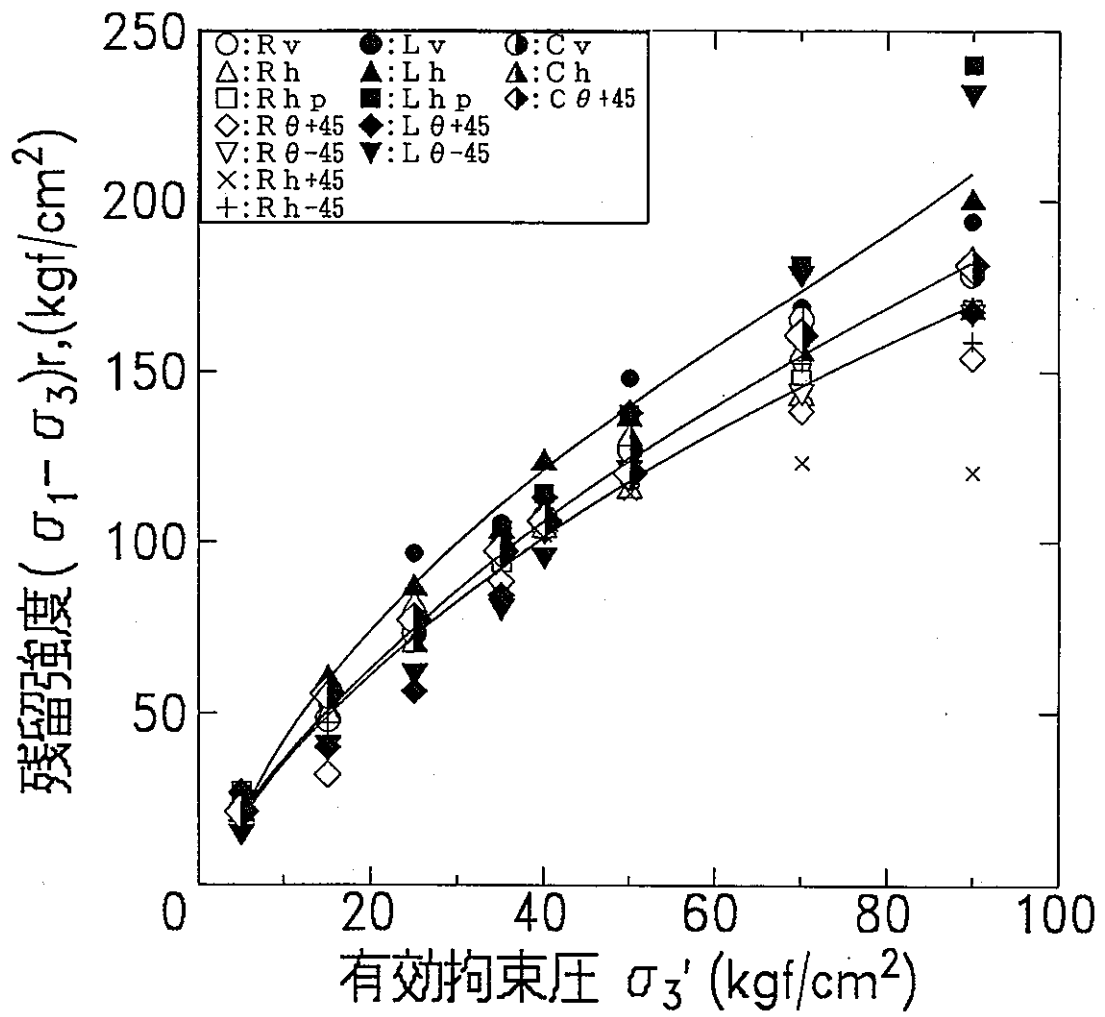


図 6 - 5 - 2 4 有効拘束圧～残留強度の関係

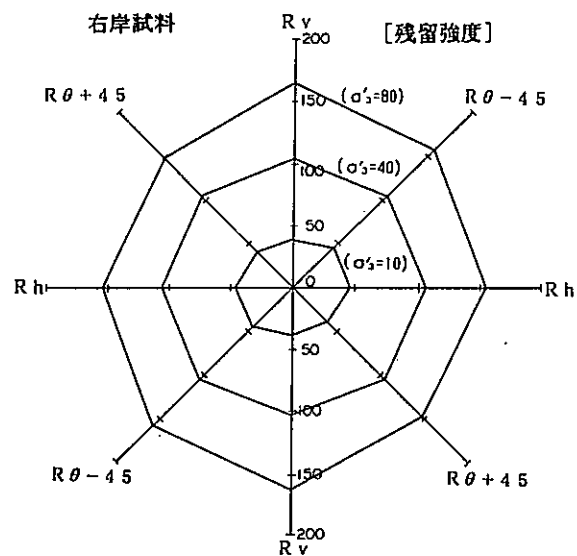


図 6-5-25 (a) Rv~Rh 平面内の分布

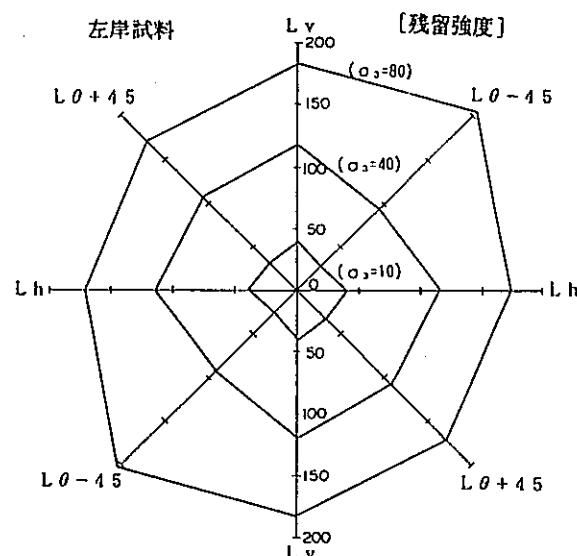
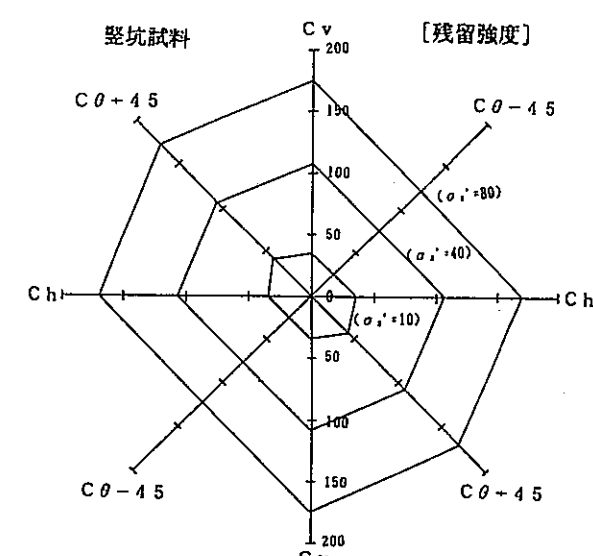


図 6-5-26 (a) Lv~Lh 平面内の分布



Cv~Ch 平面内の分布

図 6-5-27 残留強度～試料採取方向の関係 (竪坑試料)

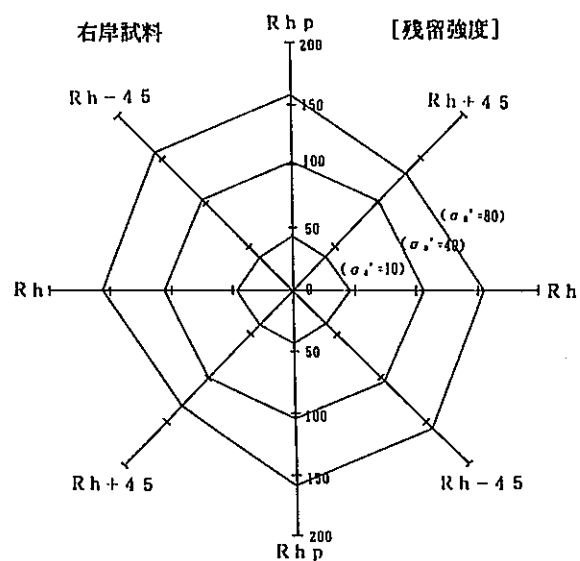


図 6-5-25 (b) Rhp~Rh 平面内の分布

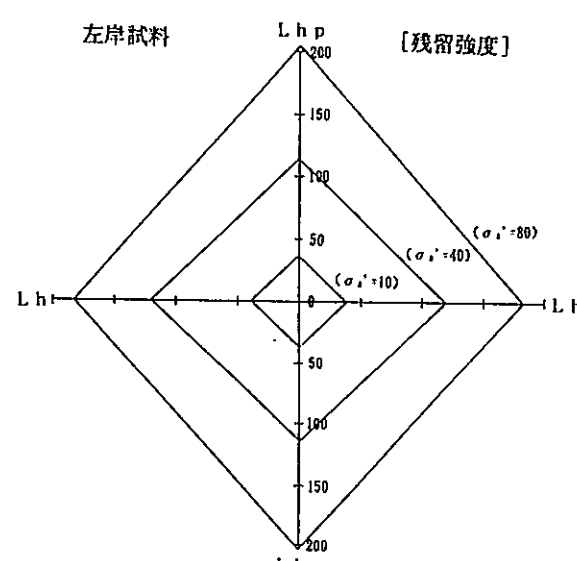


図 6-5-26 (b) Lhp~Lh 平面内の分布

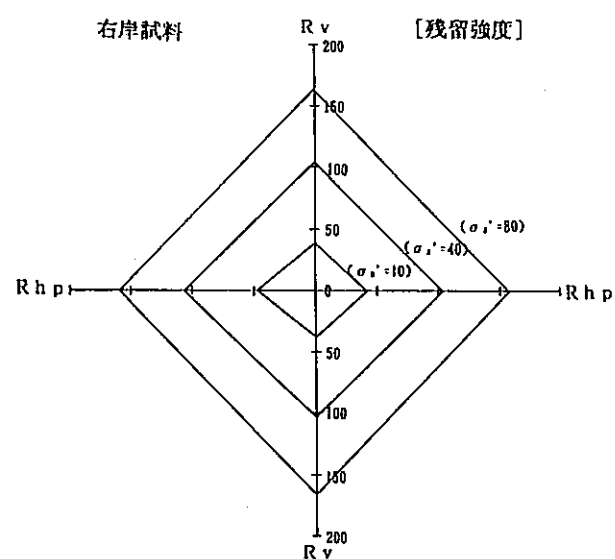


図 6-5-25 (c) Rv~Rhp 平面内の分布

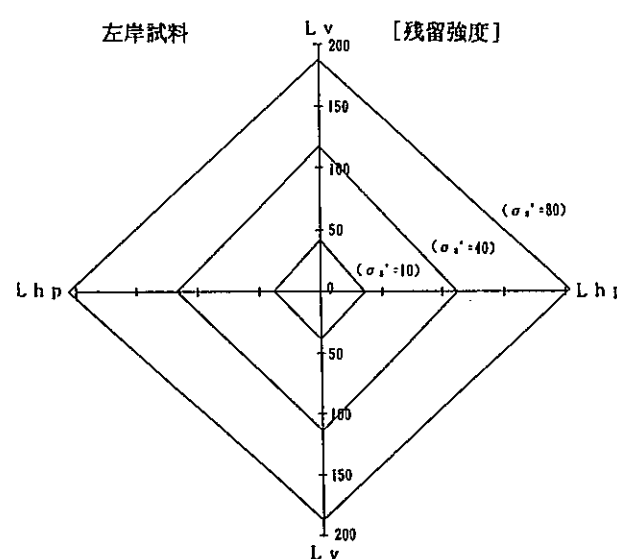


図 6-5-26 (c) Lv~Lhp 平面内の分布

図 6-5-25 残留強度～試料採取方向の関係 (右岸試料)

図 6-5-26 残留強度～試料採取方向の関係 (左岸試料)

### 6. 5. 5 降伏拘束圧 $\sigma_y$

ここでは、6. 5. 2で説明した応力～ひずみ関係が、ひずみ軟化から硬化へ移行する時の拘束圧を降伏拘束圧  $\sigma_y$  と定義し、その差異について考察する。

図6-5-28～42は、各試料のピーク強度・残留強度と拘束圧との関係を示したものであり、ひずみ特性が軟化から硬化へ転ずる拘束圧、すなわち、ピーク強度と残留強度が一致する時の拘束圧を降伏拘束圧とし、図のように決定できる。

このようにして求めた降伏拘束圧の値を、表6-5-4に示す。

図6-5-43～45は前者をもとに決定した降伏拘束圧と、試料採取方向について示したものである。

右岸試料、左岸試料が示す降伏拘束圧は極めて異方的で、右岸試料では水平方向、左岸試料では鉛直方向が最大となっている。ただし、堅坑試料では、他の諸性質と同様に明瞭な異方性は認められない。

これらの結果から、試料採取地一帯の地盤は以前、長時間にわたり強い水平力を受けていたと証明でき、これが褶曲構造を形成した原因になっていたと推測できる。

堅坑・左岸試料が物理的性質において大きな密度と小さな間隙比を示したのも、このことから説明できる。左岸試料は地層が直立したために、降伏拘束圧は現在の鉛直方向（過去の水平方向）に卓越した形で残っていると判断できる。

一方、堅坑試料は、降伏拘束圧は他のどの試料よりも小さく、異方性も明瞭ではない。これは、前述のとおり水浸による岩盤の劣化や、地下水汲み上げにより岩盤に繰り返し応力が作用したことにより構造が変化し、応力履歴の影響

が消滅したためと考えられる。

以上のように、変形・強度特性の異方性は、降伏拘束圧の大きさとその異方性に一元的に支配されているとみることができ、現在の褶曲構造を形成した力の方向と矛盾しない結果となっている。

表6-5-4 各試料の降伏拘束圧

試料名	Rv	Rh	Rhp	R $\theta$ +45	R $\theta$ -45	☆	☆
						Rh +45	Rh -45
降伏拘束圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )	38.9	66.4	20.4	50.0	60.0	40.0	34.7

試料名	Lv	Lh	Lhp	L $\theta$ +45	L $\theta$ -45
降伏拘束圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )	146.7	53.7	32.1	65.8	84.8

試料名	Cv	Ch	☆
			C $\theta$ +45
降伏拘束圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )	35.0	33.1	31.8

☆印：平成4年度実施

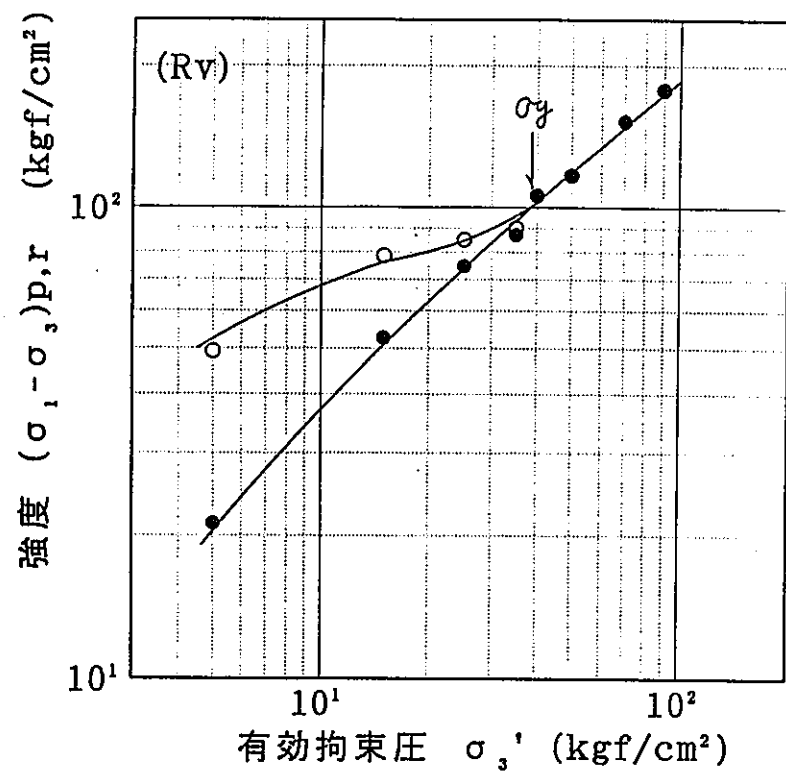


図6-5-28 有効拘束圧～強度の関係 (Rv)

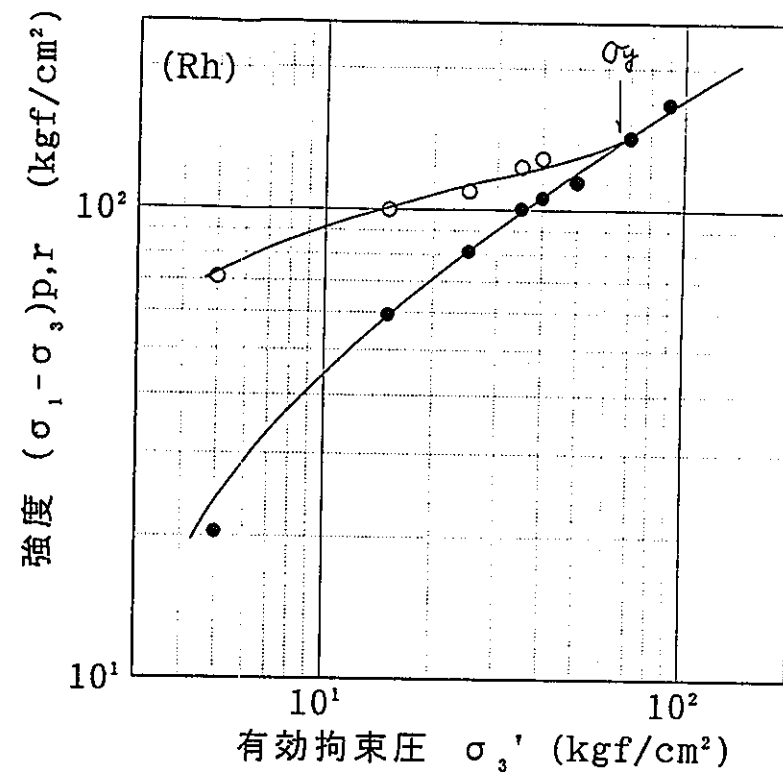


図6-5-29 有効拘束圧～強度の関係 (Rh)

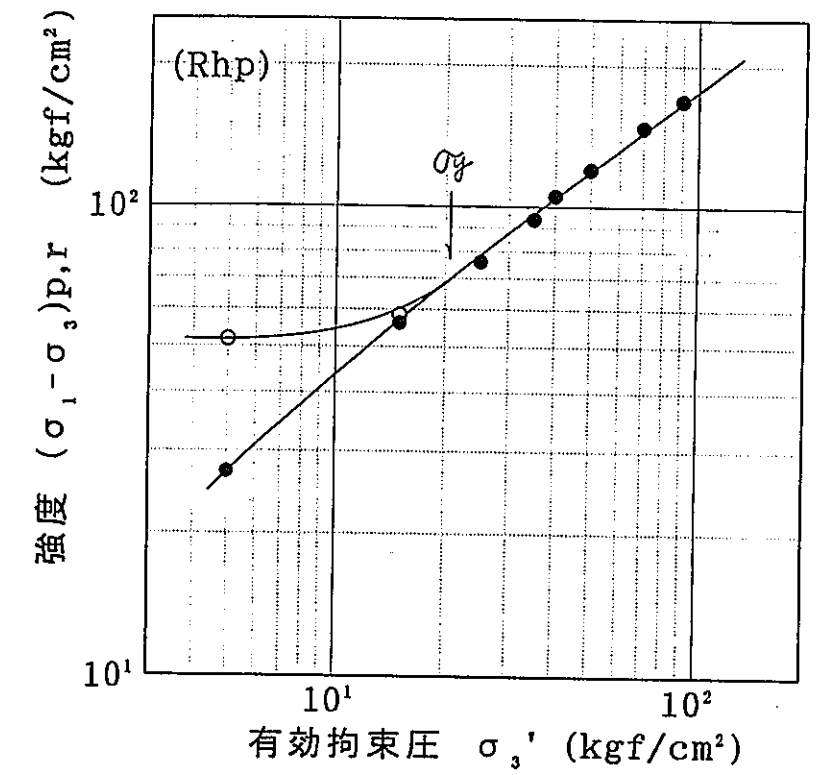


図6-5-30 有効拘束圧～強度の関係 (Rhp)

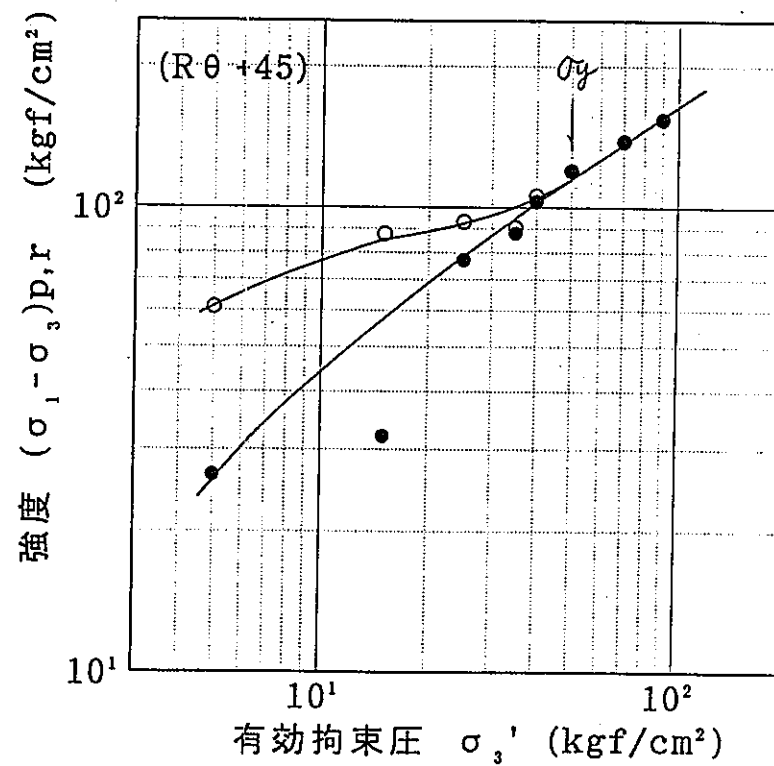


図6-5-31 有効拘束圧～強度の関係 (Rθ+45)

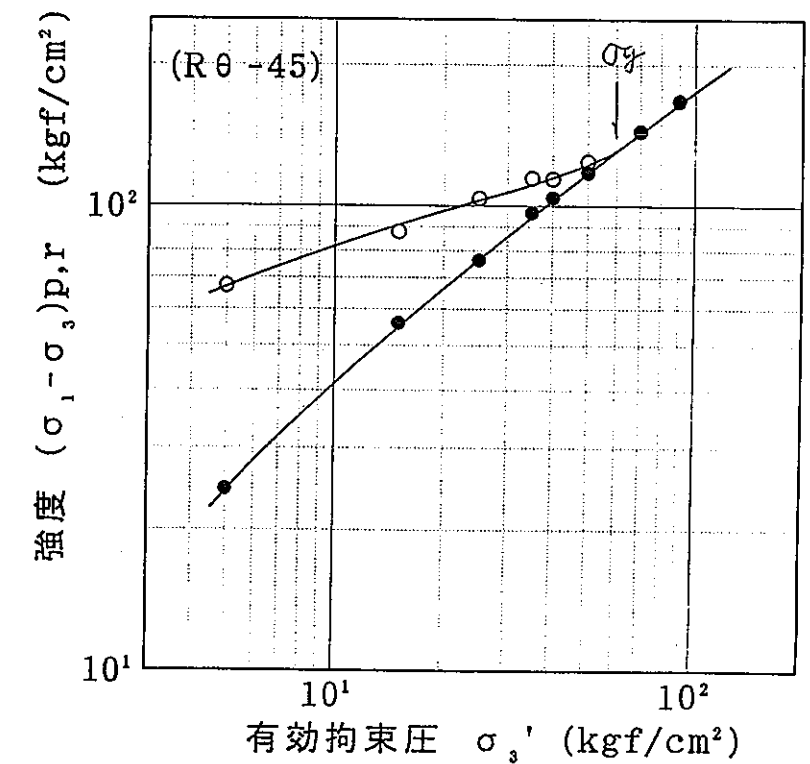


図6-5-32 有効拘束圧～強度の関係 (Rθ-45)

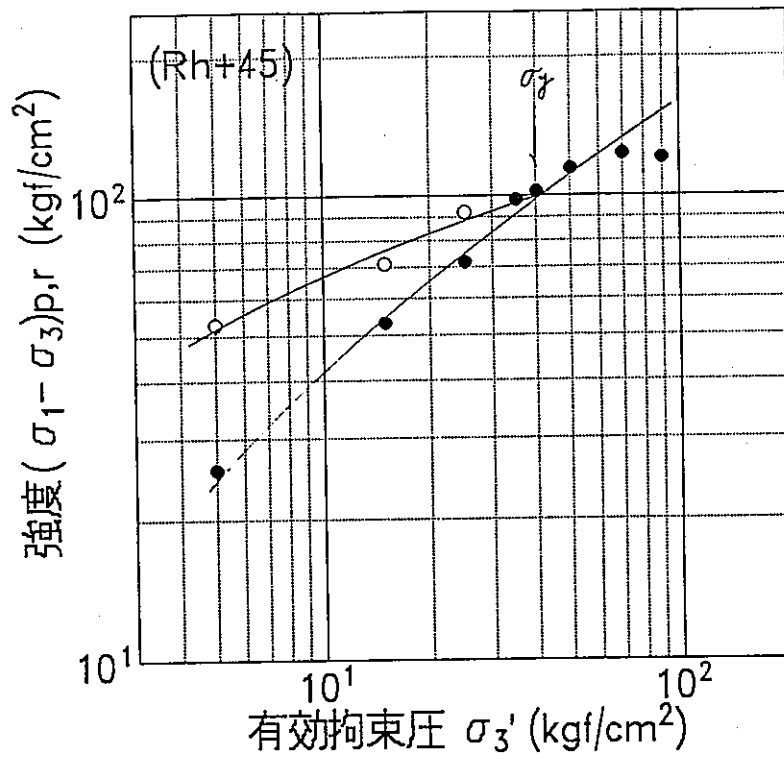


図 6 - 5 - 3 3 有効拘束圧～強度の関係 (R h + 4 5)

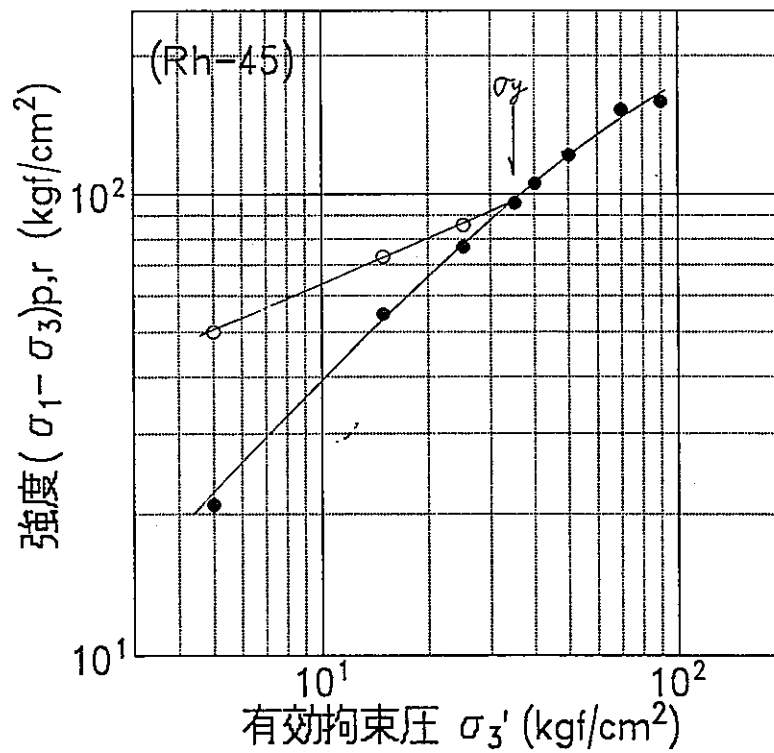


図 6 - 5 - 3 4 有効拘束圧～強度の関係 (R h - 4 5)



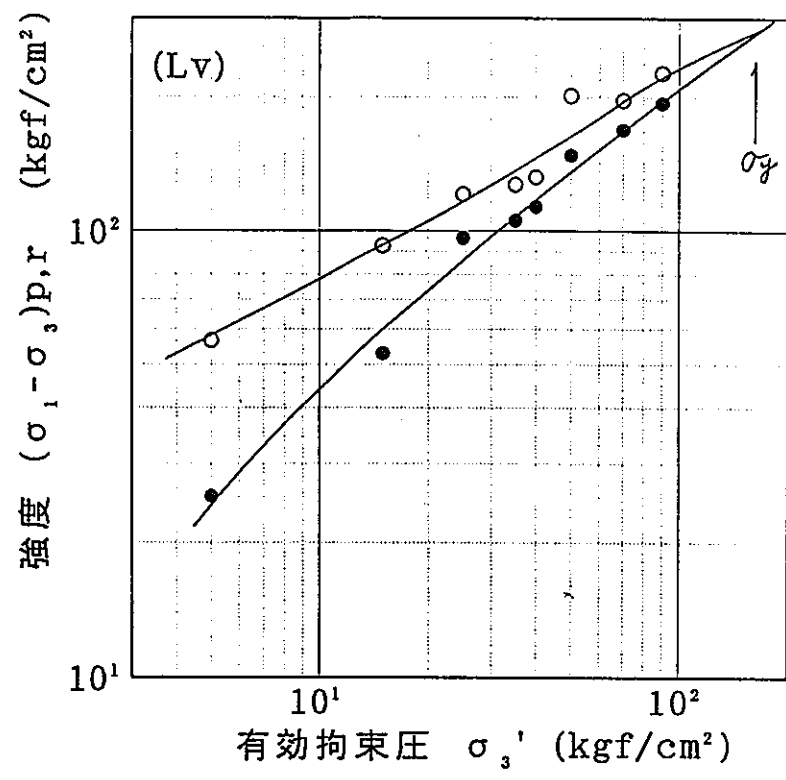


図6-5-35 有効拘束圧～強度の関係 (Lv)

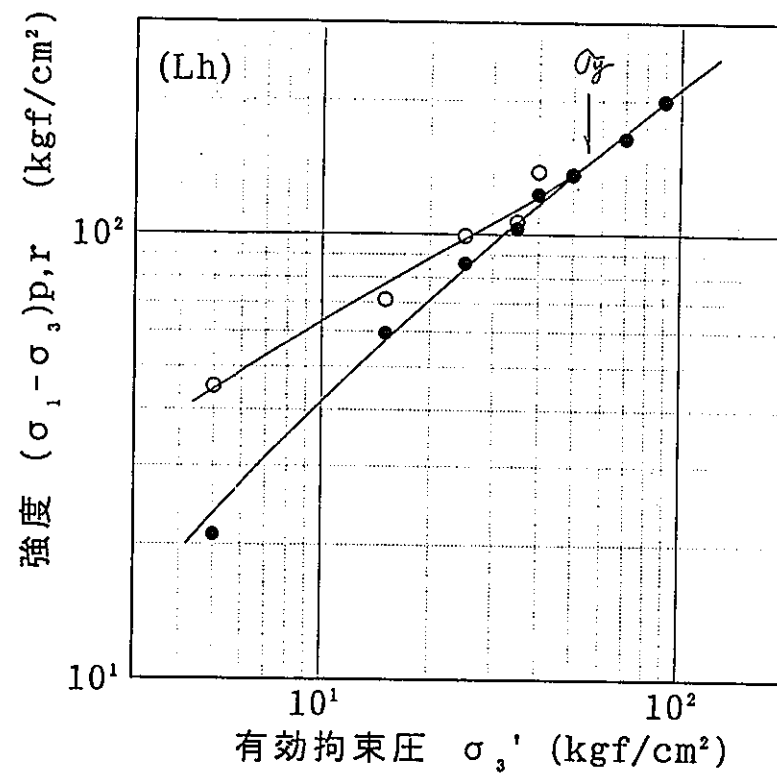


図6-5-36 有効拘束圧～強度の関係 (Lh)

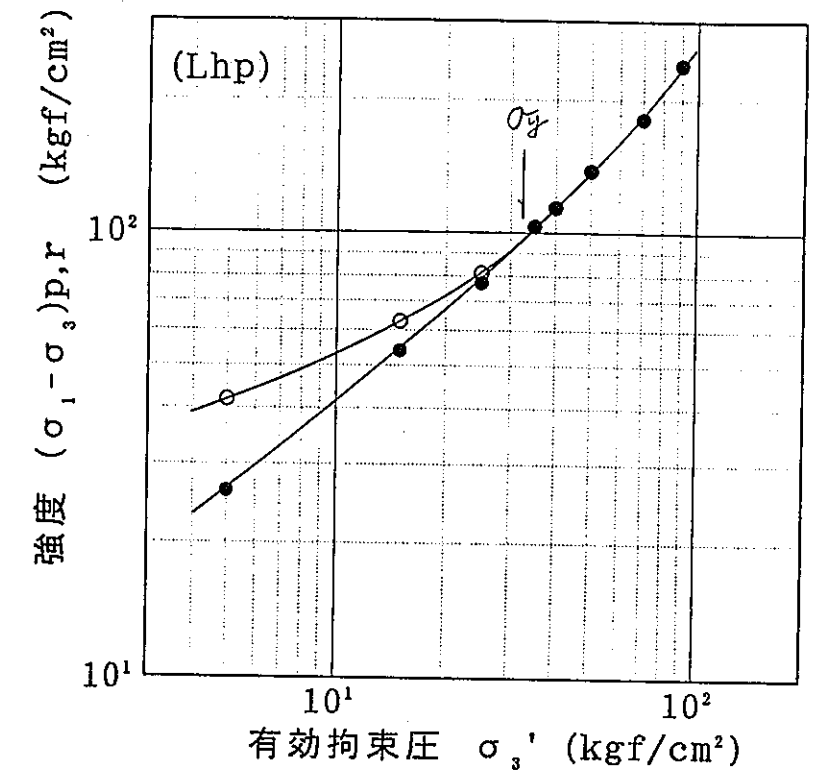


図6-5-37 有効拘束圧～強度の関係 (Lhp)

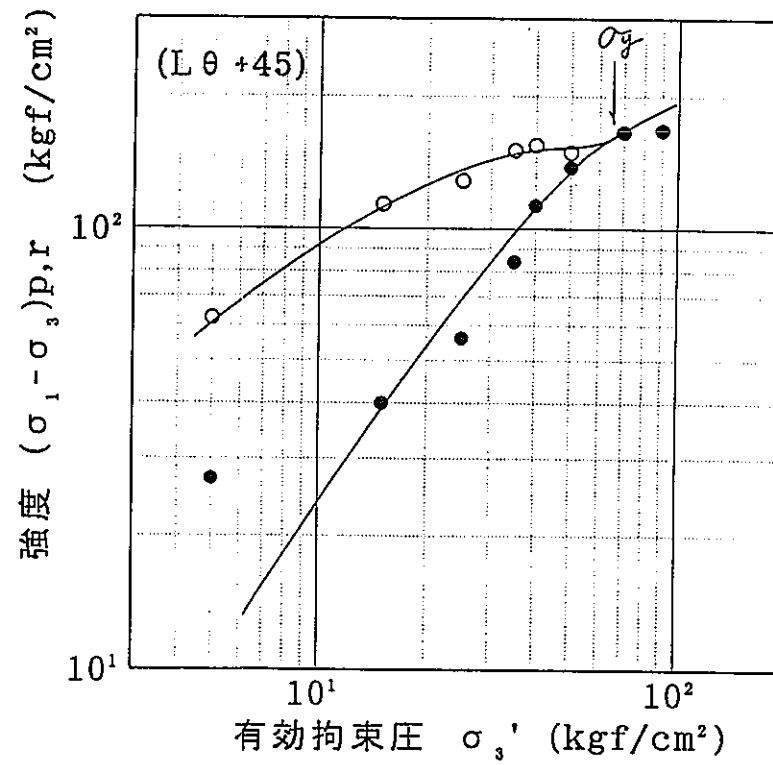


図6-5-38 有効拘束圧～強度の関係 (Lθ+45)

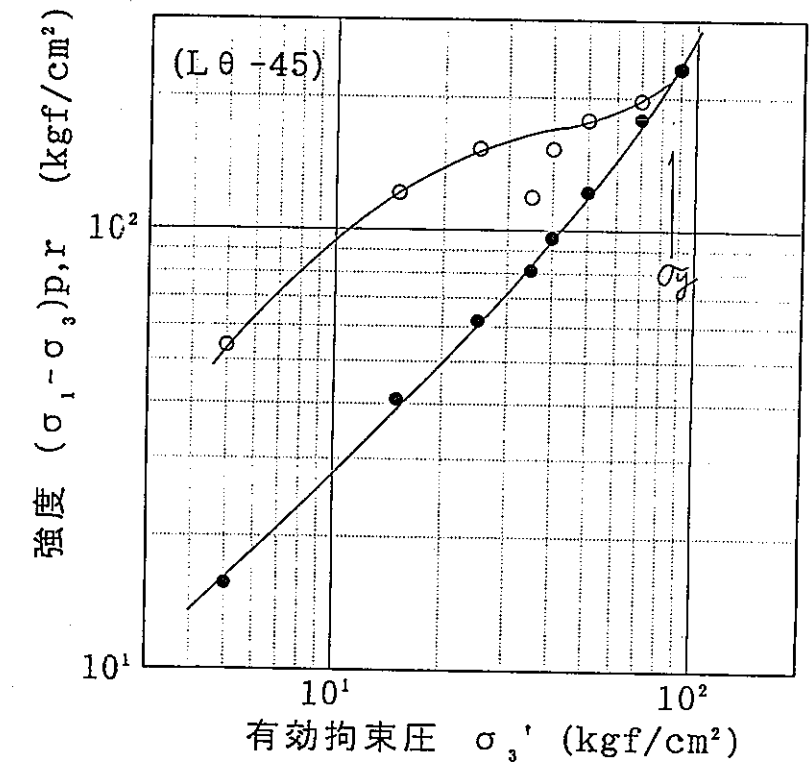


図6-5-39 有効拘束圧～強度の関係 (Lθ-45)

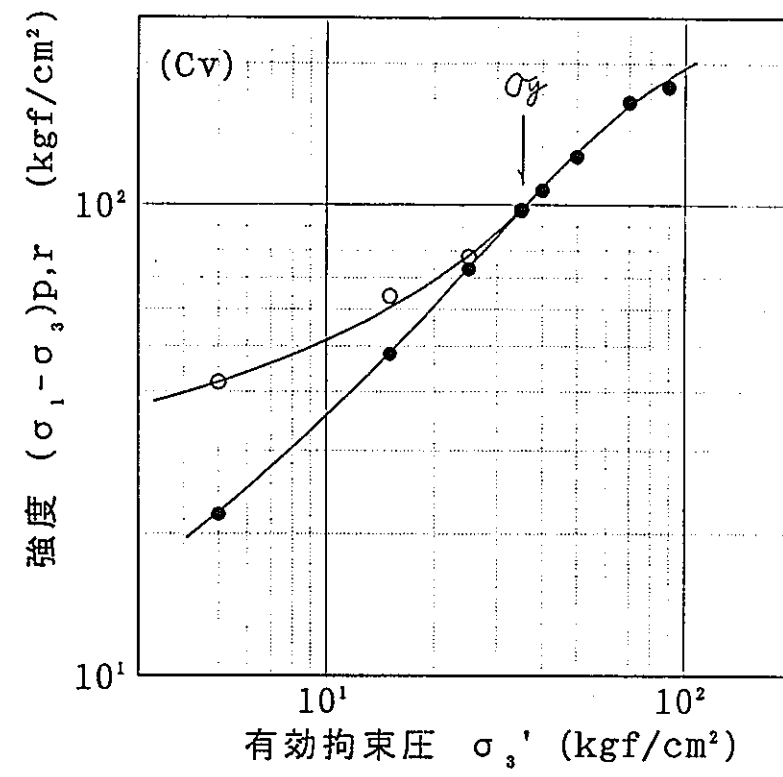


図6-5-40 有効拘束圧～強度の関係 (Cv)

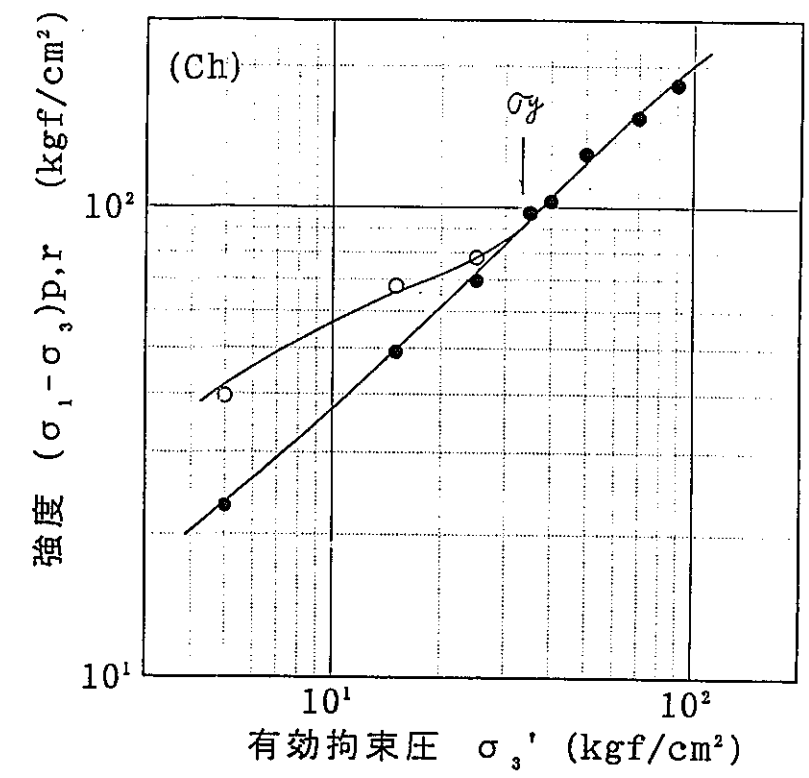


図6-5-41 有効拘束圧～強度の関係 (Ch)

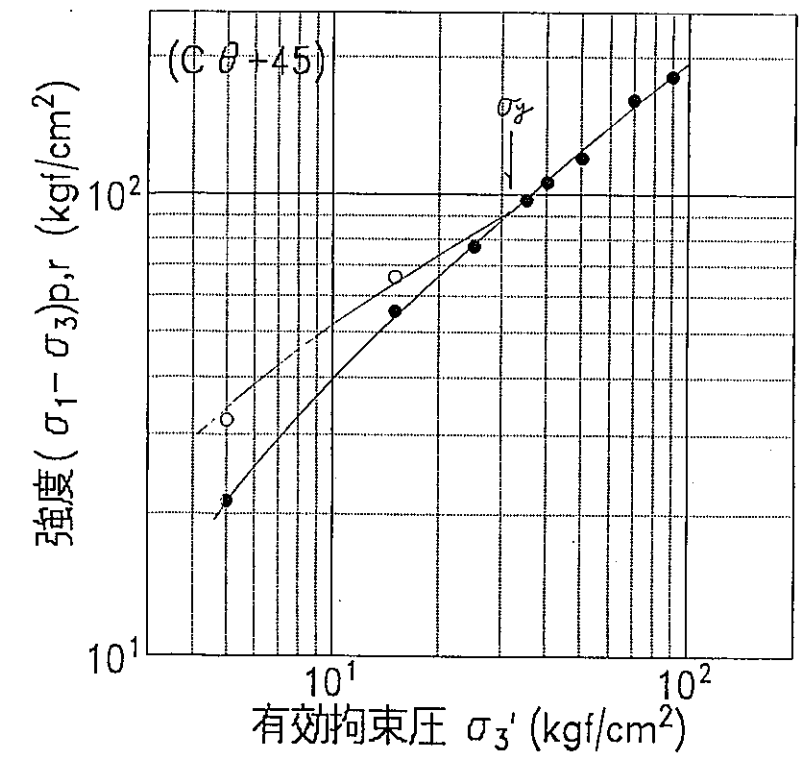


図6-5-42 有効拘束圧～強度の関係 (Cθ+45)

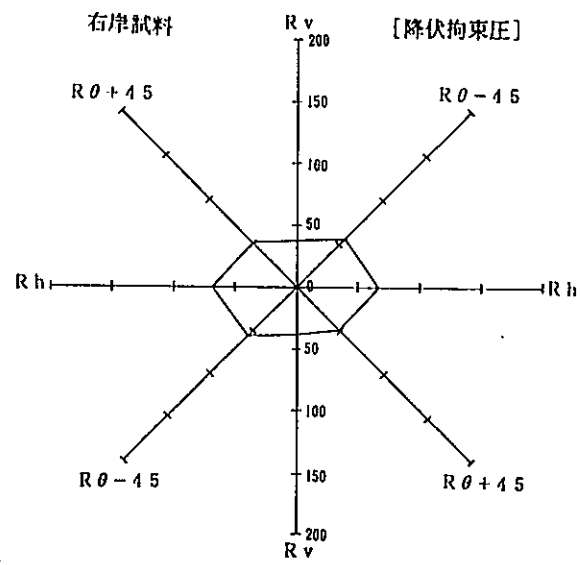


図 6-5-43 (a) Rv ~ Rh 平面内の分布

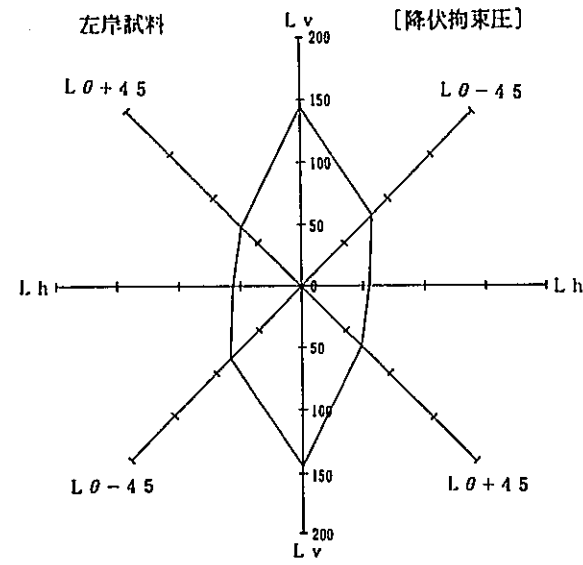
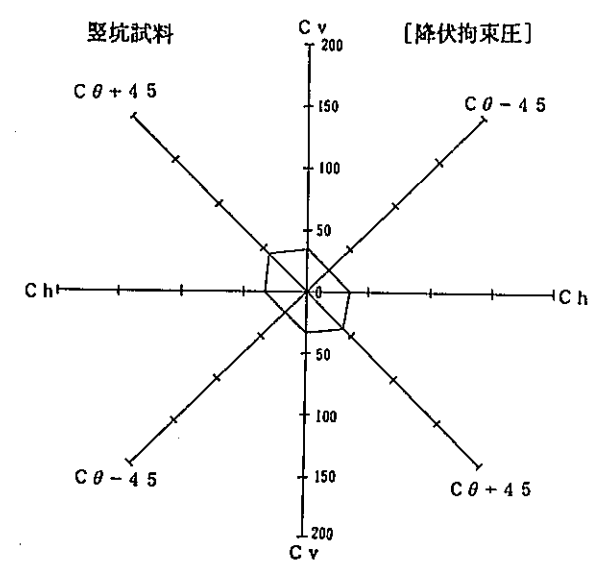


図 6-5-44 (a) Lv ~ Lh 平面内の分布



Cv ~ Ch 平面内の分布

図 6-5-45 降伏拘束圧 ~ 試料採取方向の関係 (竪坑試料)

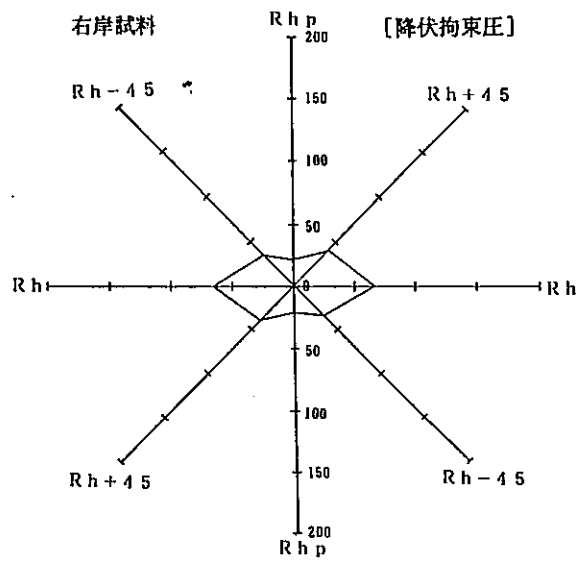


図 6-5-43 (b) Rhp ~ Rh 平面内の分布

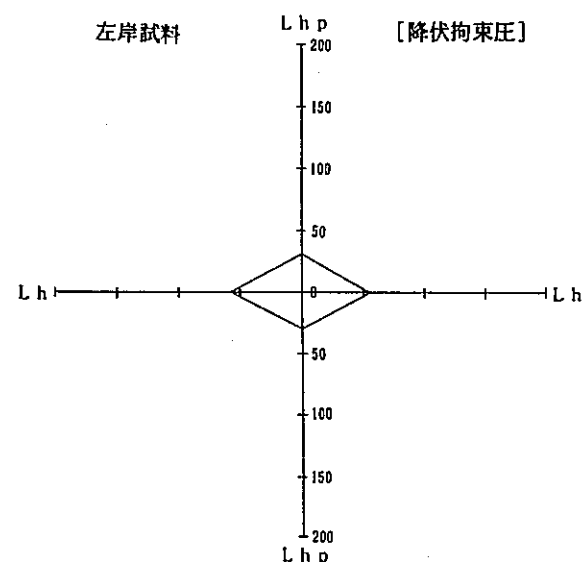


図 6-5-44 (b) Lhp ~ Lh 平面内の分布

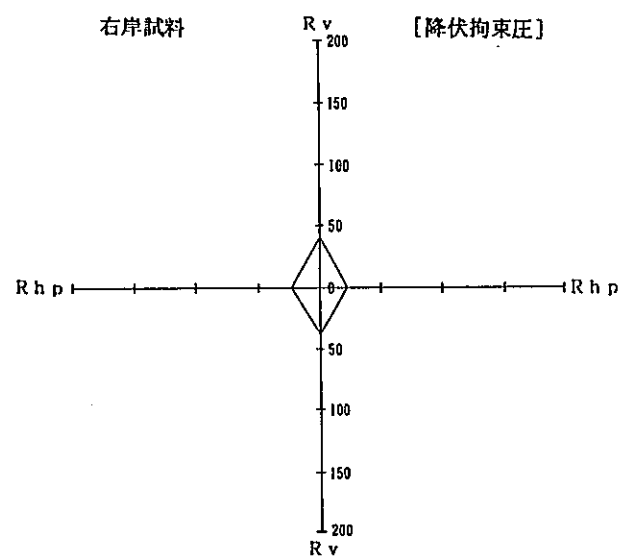


図 6-5-43 (c) Rv ~ Rhp 平面内の分布

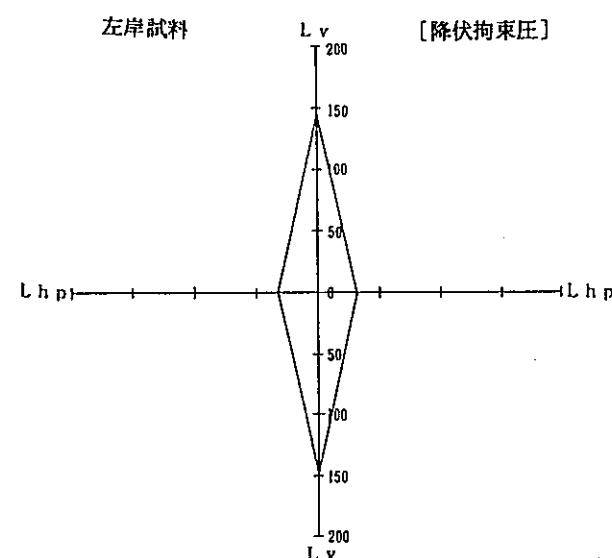


図 6-5-44 (c) Lv ~ Lhp 平面内の分布

図 6-5-43 降伏拘束圧 ~ 試料採取方向の関係 (右岸試料)

図 6-5-44 降伏拘束圧 ~ 試料採取方向の関係 (左岸試料)

### 6. 5. 7 強度定数 C, $\phi$

図6-5-46~60に各試料のピーク強度、残留強度におけるモールの応力円を示し、表6-5-5には、前者をもとに最小二乗法により近似して求めた粘着力Cとせん断抵抗角 $\phi$ を示している。

軟岩地盤の場合、一般にピーク強度はその地盤の持つ最大の強度、また残留強度は最小の強度として評価してよいという考え方もできる。

この観点から、各試料についてみるとピーク強度、残留強度で求めたC、 $\phi$ は、右岸・左岸試料では採取方向に関係なく大差はないが、堅坑試料では、他の試料に比べ $\phi$ が大きく、Cが小さくなっている。

これは、前節まで説明してきた堅坑試料の諸性質と整合するもので、堅坑部の岩盤そのものが他よりも脆弱で不安定な状態にあるとってよい。

表6-5-5 各試料のせん断強度定数

試料名	ピーク強度		残留強度	
	Cd (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ d (deg)	Cd (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ d (deg)
Rv	16.6	24.6	7.1	28.4
Rh	27.6	20.0	9.8	26.7
Rhp	16.6	23.7	9.6	26.9
R $\theta$ +45	21.2	19.9	7.7	26.7
R $\theta$ -45	21.0	21.7	9.4	26.8
☆ Rh+45	23.0	17.1	13.0	22.2
☆ Rh-45	16.5	23.6	9.1	27.0
Lv	23.8	26.6	8.7	30.1
Lh	15.5	26.3	8.1	30.2
Lhp	6.9	32.6	4.1	33.4
L $\theta$ +45	29.5	21.9	5.2	29.7
L $\theta$ -45	20.8	29.4	0.0	34.1
Cv	11.5	27.3	6.7	29.4
Ch	11.5	27.1	6.6	29.2
☆ C $\theta$ +45	10.1	27.7	7.5	28.8

☆印：平成4年度実施

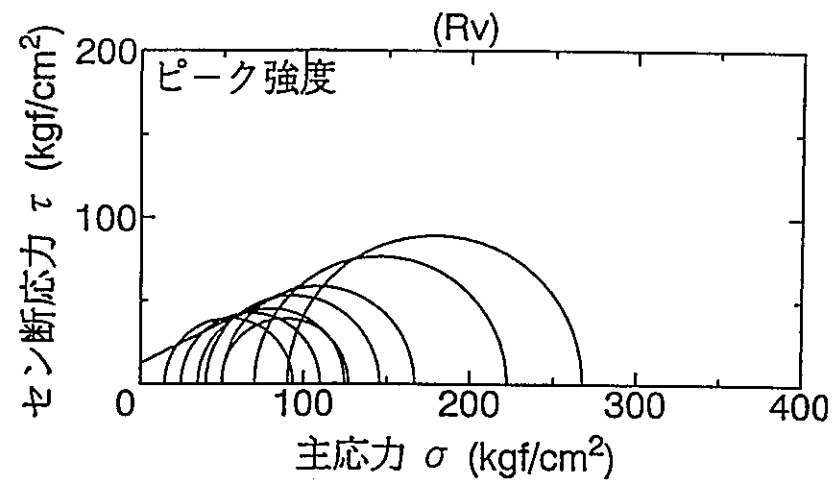


図6-5-46(a)

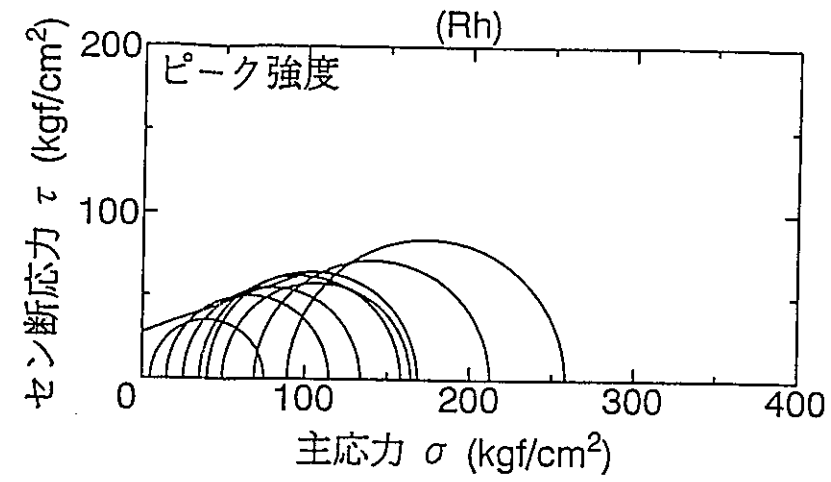


図6-5-47(a)

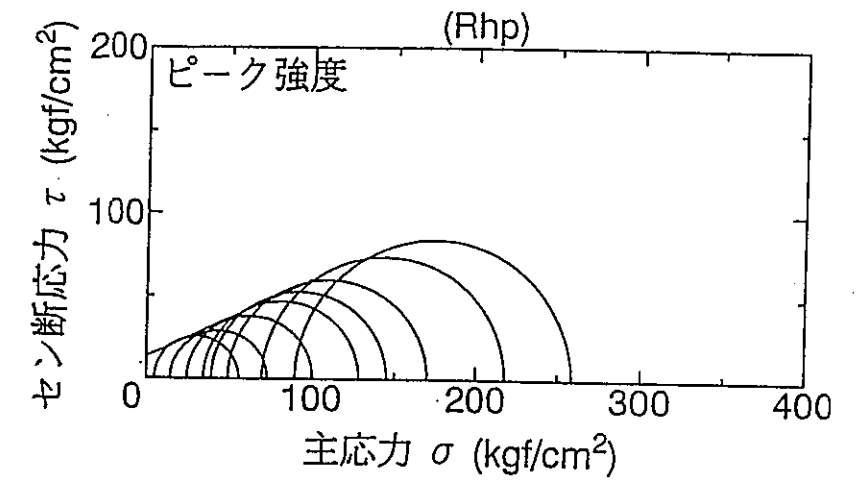


図6-5-48(a)

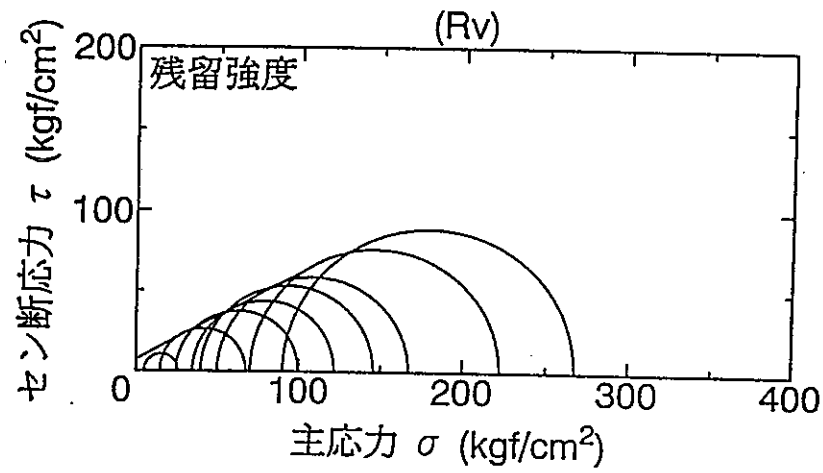


図6-5-46(b)

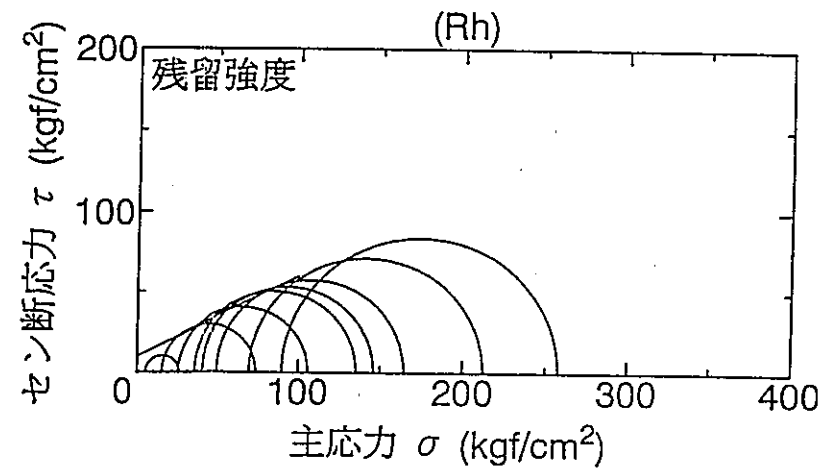


図6-5-47(b)

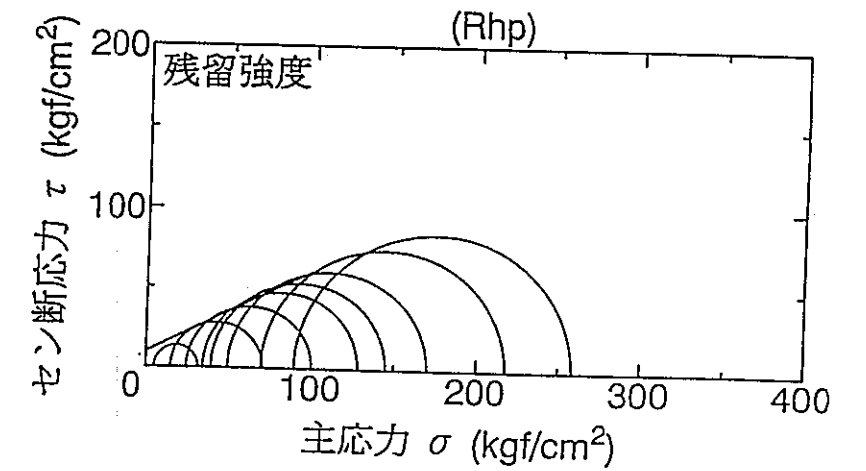


図6-5-48(b)

図6-5-46 モールの応力円  
(Rv)

図6-5-47 モールの応力円  
(Rh)

図6-5-48 モールの応力円  
(Rhp)

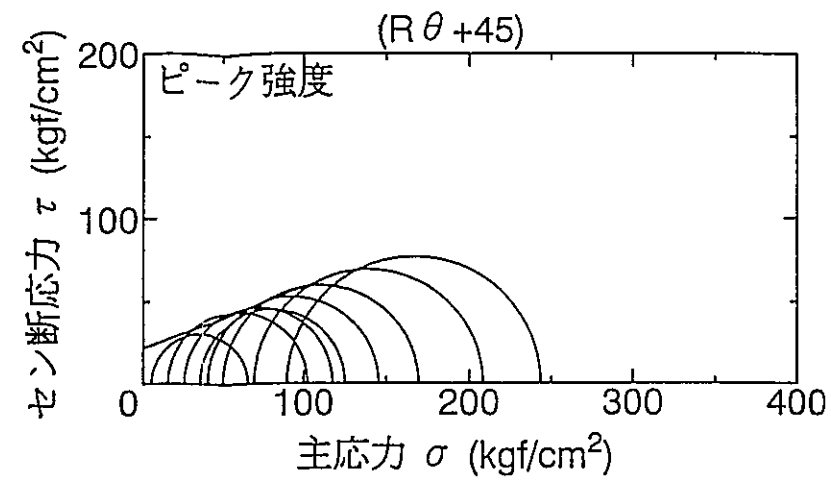


図6-5-49 (a)

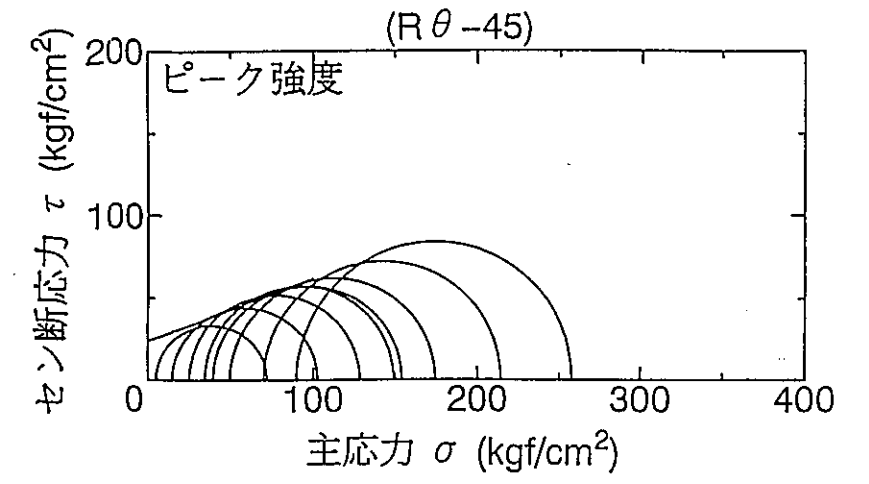


図6-5-50 (a)

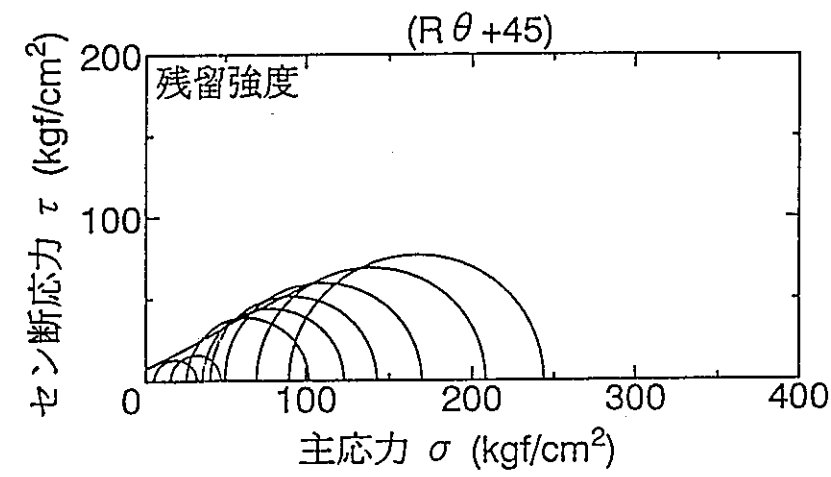


図6-5-49 (b)

図6-5-49 モールの応力円  
(Rθ+45)

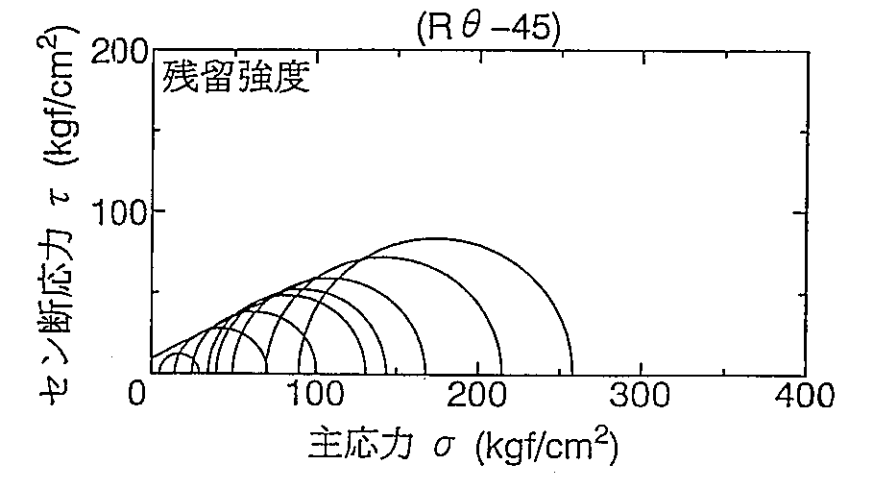


図6-5-50 (b)

図6-5-50 モールの応力円  
(Rθ-45)

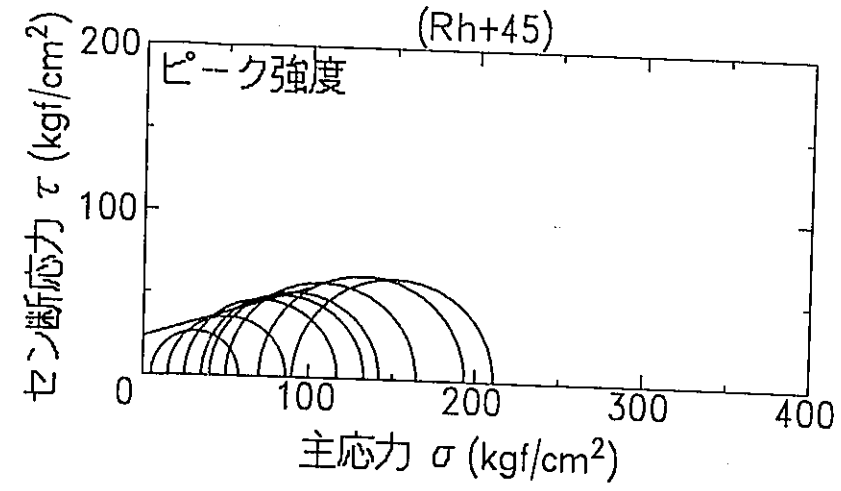


図 6-5-51 (a)

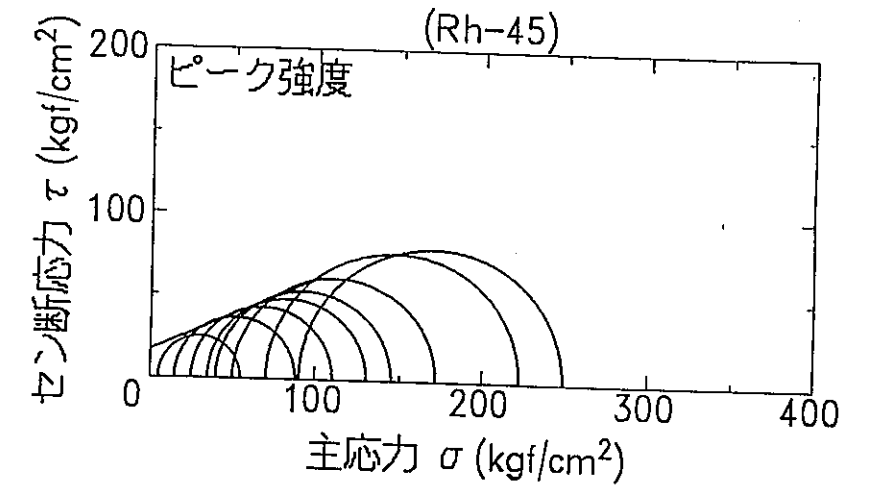


図 6-5-52 (a)

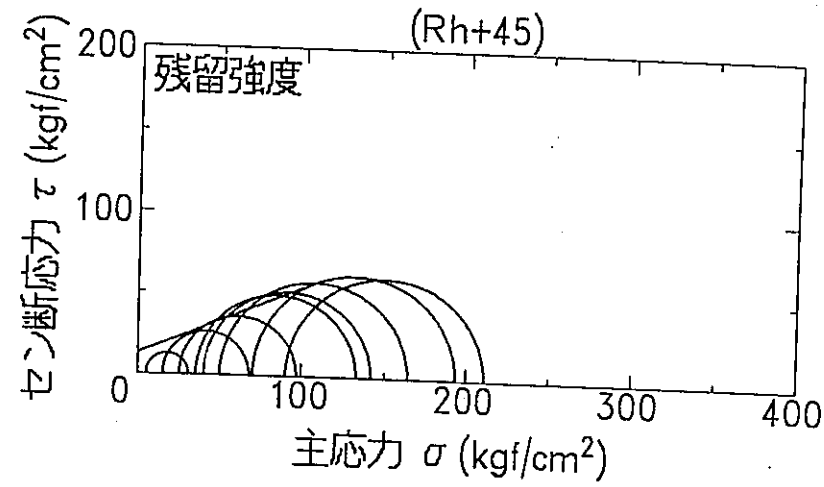


図 6-5-51 (b)

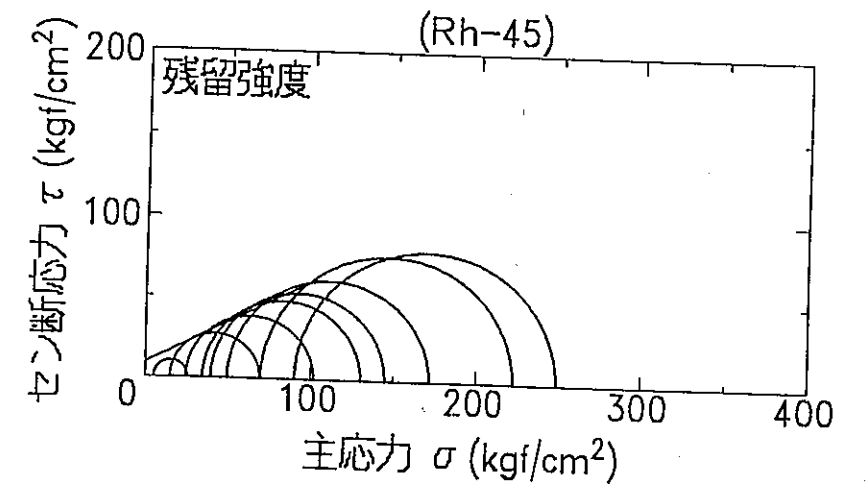


図 6-5-52 (b)

図 6-5-51 モールの応力円  
(Rh+45)

図 6-5-52 モールの応力円  
(Rh-45)

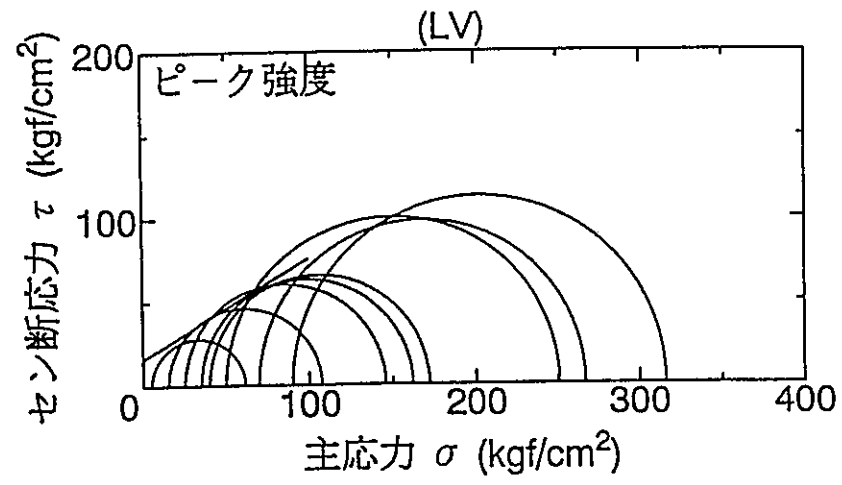


図6-5-53(a)

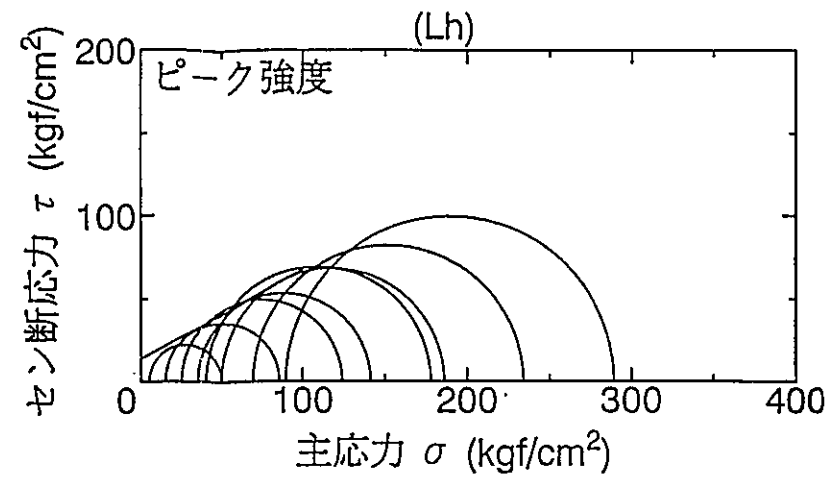


図6-5-54(a)

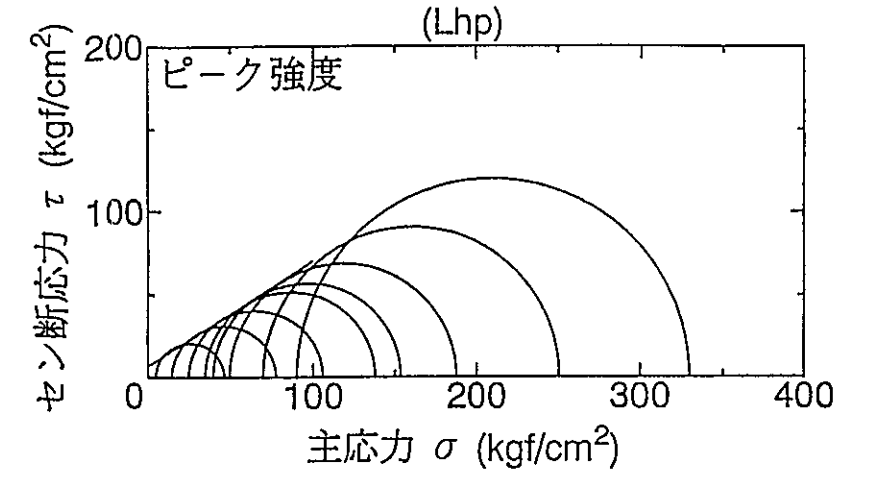


図6-5-55(a)

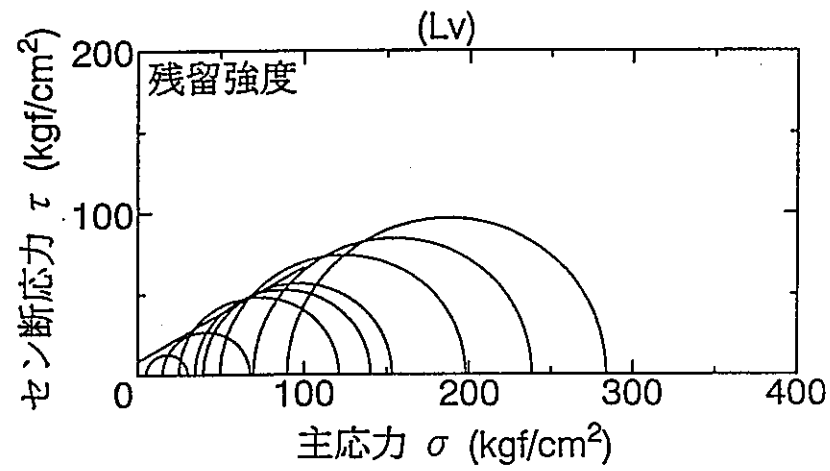


図6-5-53(b)

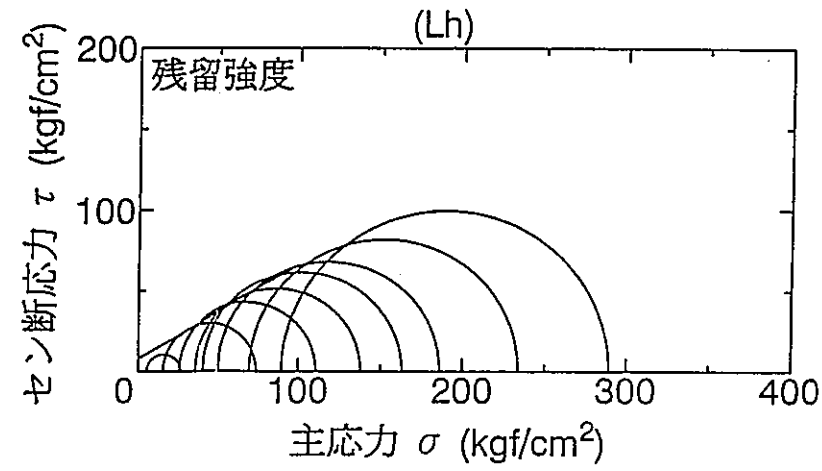


図6-5-54(b)

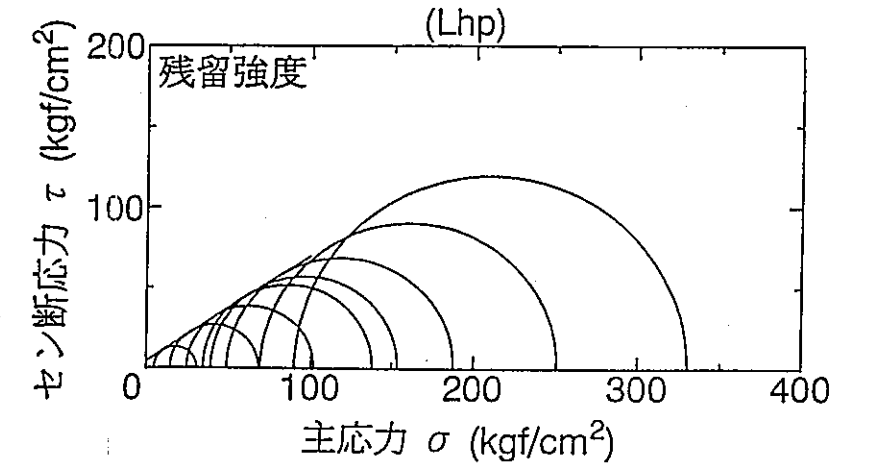


図6-5-55(b)

図6-5-53 モールの応力円  
(Lv)

図6-5-54 モールの応力円  
(Lh)

図6-5-55 モールの応力円  
(Lhp)



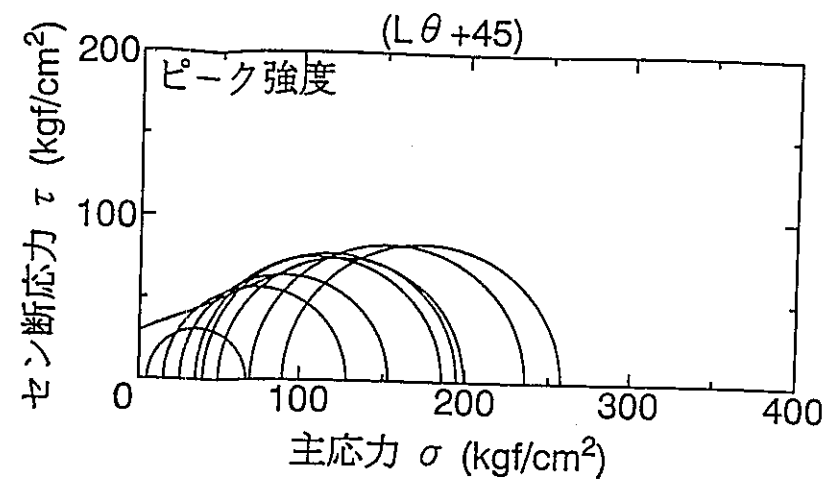


図6-5-56(a)

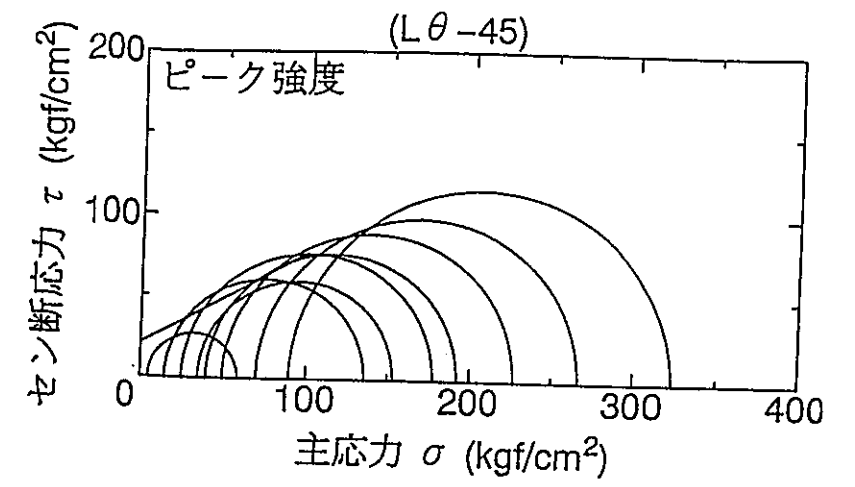


図6-5-57(a)

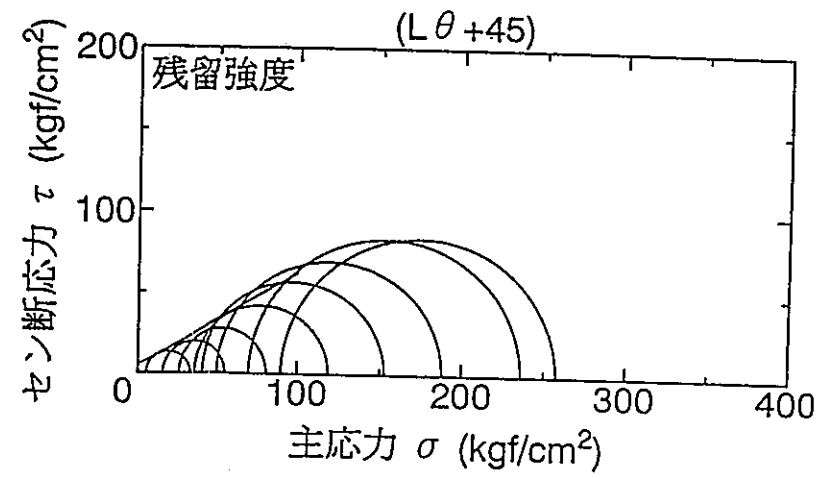


図6-5-56(b)

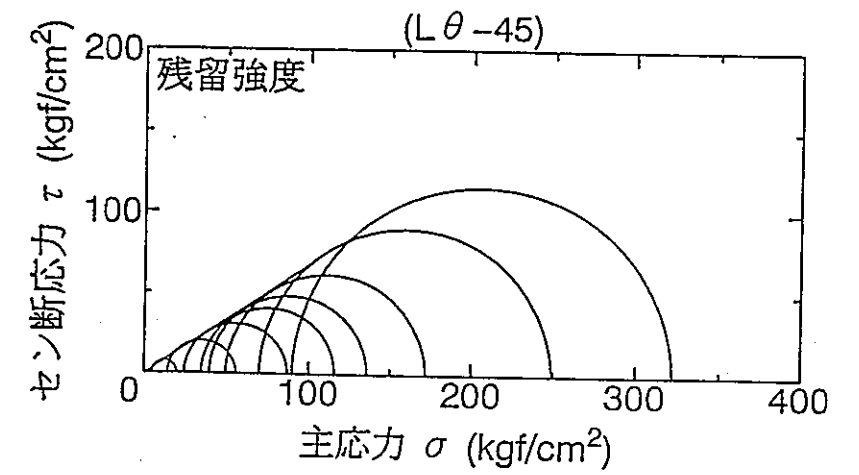


図6-5-57(b)

図6-5-56 モールの応力円  
( $L\theta+45$ )

図6-5-57 モールの応力円  
( $L\theta-45$ )

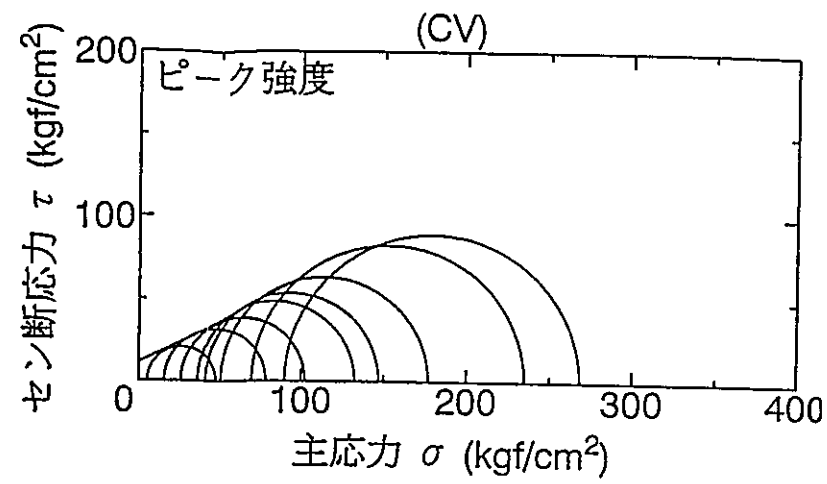


図6-5-58 (a)

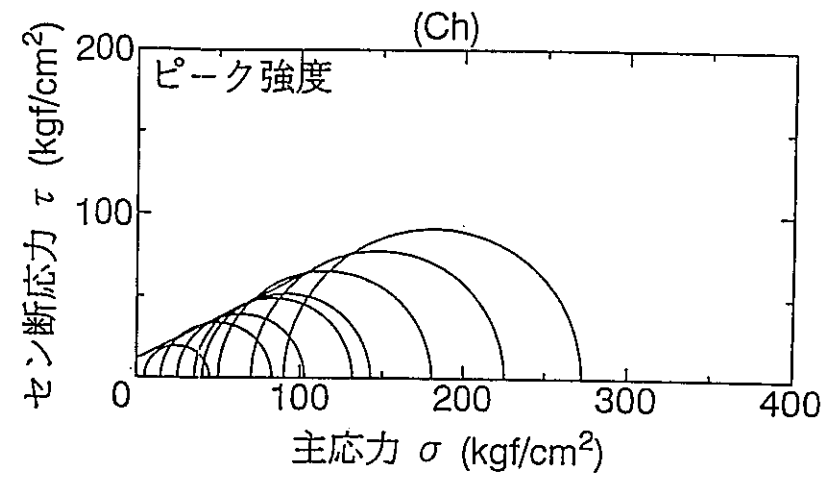


図6-5-59 (a)

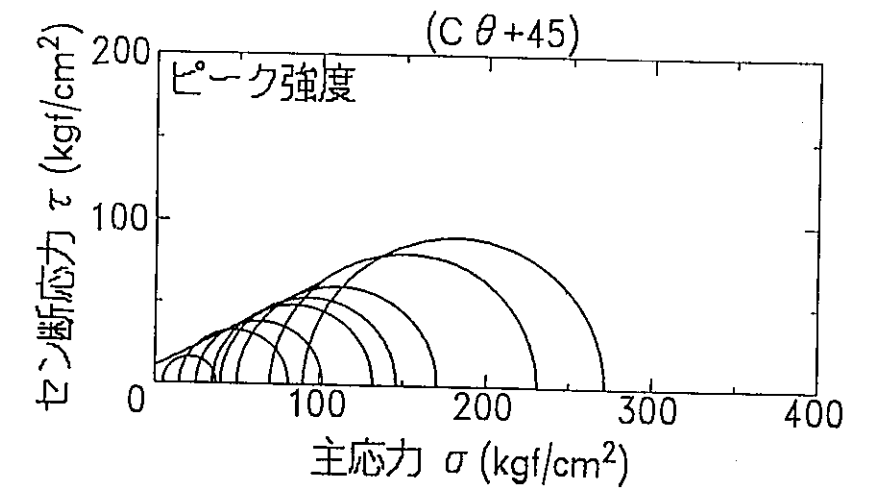


図6-5-60 (a)

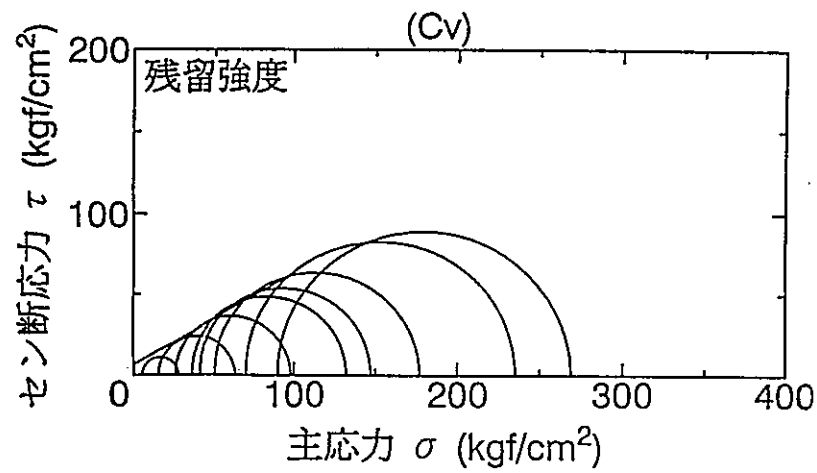


図6-5-58 (b)

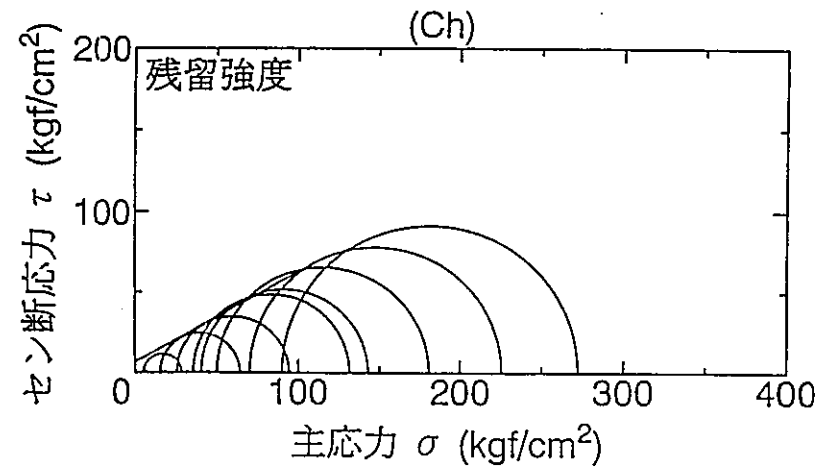


図6-5-59 (b)

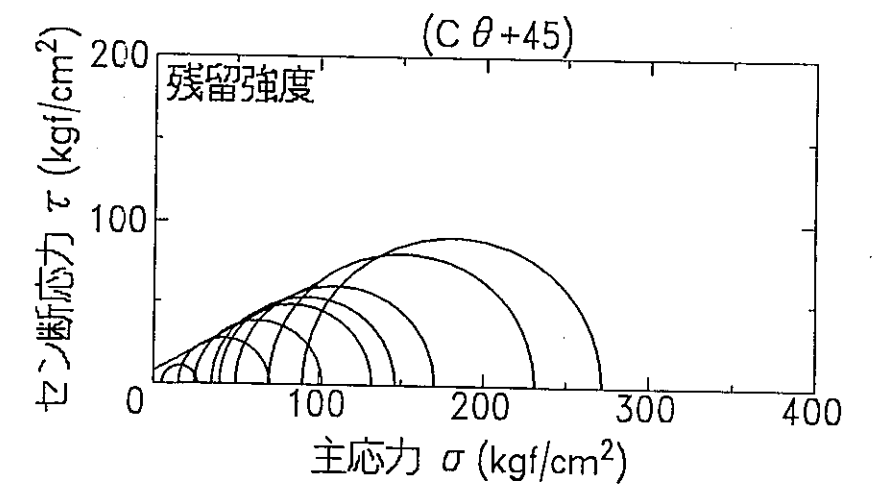


図6-5-60 (b)

図6-5-58 モールの応力円  
(Cv)

図6-5-59 モールの応力円  
(Ch)

図6-5-60 モールの応力円  
(Cθ-45)

## 7. まとめ

以上の試験考察結果から、本軟岩の変形・強度特性に関し、褶曲作用による影響および異方性についてまとめる。

### 7. 1 褶曲作用による影響

図3-2で示したように、試料採取地に当たるダム建設予定地の基礎岩盤は、右岸部では水平層、豎坑部では地層傾斜角 $45^{\circ}$ を持ち、左岸部では、ほぼ直立となっている。

地層傾斜が変化するほど大きな褶曲作用を受けた豎坑・左岸試料は試料採取時に大きなクラックが多数確認され、これはRQD値に現れている。また、岩石学的には、このような大きなクラックが存在する場合、これに平行なもの他に、概ね $90^{\circ}$ の角度で微少なクラックが発生しているといわれている。

このことから考えると、両者には大きなクラック以外にも肉眼では確認できない微小な不連続面が多数存在しているものと予想できる。

また、両者は右岸試料よりも堆積していた年代も古く、地層も下位に属しているため、密度が大きく、間隙比が小さいという特徴を示している。これらから推測すると、両者は右岸試料よりも岩質そのものとしては、固結が進んでいるかのように思われる。

しかし、試験結果では供試体内部に存在すると思われる微少な不連続面の影響によって、内部構造を反映するとされるS波速度は低下し、無拘束圧状態でせん断する一軸圧縮時の剛性・強度も低下、また、透水係数は大きな値を示した。

ただし、三軸圧縮特性では、左岸試料は低拘束圧状態では剛性・強度は低下するものの、高い拘束圧を負荷することにより、右岸試料よりも高い剛性・強

度を示すようになる。

このことは、供試体内部の微小な不連続面の影響が消滅し、過去の応力履歴の影響が再現されたとみることができる。また、豎坑試料では剛性では広い拘束圧の範囲で他の試料よりも小さいが、強度では右岸試料をやや上回る程度となった。これは、豎坑部では長期間水浸しており、岩盤面が地下水に常に接触していることで岩質の劣化が進行し、また掘削後の地下水汲み上げ作業により岩盤に繰り返し応力が作用したために、構造が大きく変化してしまったためと推測した。

## 7. 2 異方性

岩石や土が過去に地盤内で受けた応力履歴の影響は、その後の変形・強度・破壊特性に現れてくる。本軟岩の場合も、地盤内で受けた応力状態が極めて異方的であったため、力学的性質における異方性が顕著に認められた。

右岸試料では、降伏拘束圧の最も大きい水平ダム軸方向の試料で、一軸および三軸圧縮時の剛性・強度が他を卓越し、水平方向からの応力履歴の影響が顕著であった。

左岸試料では、右岸試料とは逆に、鉛直方向で高い降伏拘束圧を示していた。このことは、現在左岸部の地層は直立していることから、現在の鉛直方向は、過去には水平方向であったと想像でき、その水平方向であった時代に受けた応力履歴の影響が現在でも残っているものと推測できる。

一方、豎坑試料は、降伏拘束圧は最も小さく採取方向が3方向と少ないこともあるが、剛性で推測したと同様、理由によって顕著な異方性は示されていない。

## 8. あとがき

ダム堤体の基礎岩盤である新第三紀鮮新世の細流砂岩の物性を把握するため、地層傾斜の異なる右岸、堅坑、および左岸から採取した試料を対象に、種々の物理的・力学的観点から物性値を検討した。

これまでの調査・試験に基づき、右岸部、左岸部の試料が示す物性値から、本軟岩の持つ変形・強度特性と地質構造とは、おおよそ関連付けて説明することができた。

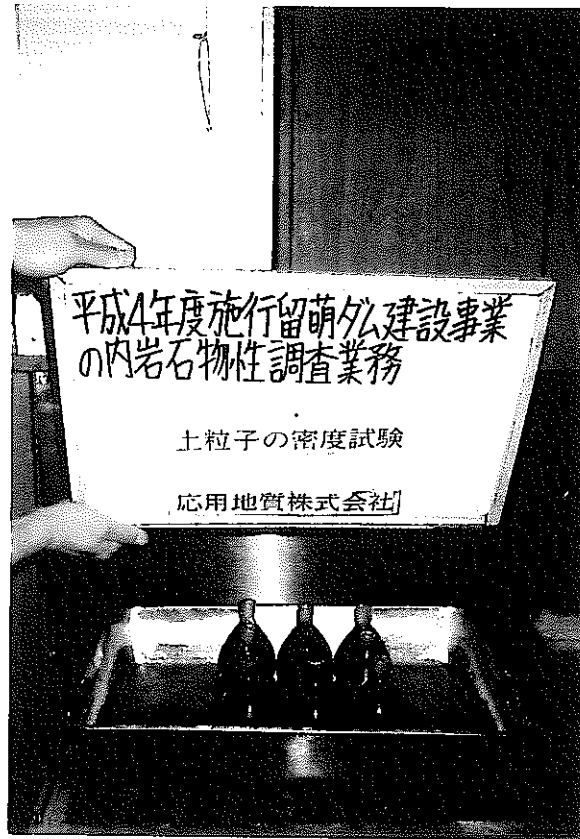
ただし、ダム建設予定地のほぼ中央に位置する堅坑では、地下水の汲み上げによる乾湿の繰り返し等の影響のため、軟岩の性質を適切に調査できなかったのは残念であった。

この研究の実施にあたり、研究テーマ、試料の採取ならびに研究費の面で種々御高配を頂いた、動力炉・核燃料開発事業団の関係各位に深甚の謝意を表すものであります。また、砂岩試料の採取および室内試験の実施に多大のご協力を下さった北海道開発局留萌開発建設部留萌ダム建設事務所、応用地質株式会社札幌支社、ならびに試料の整理に協力頂いた本研究室西村右敏助手に、同じく心から感謝の意を表します。

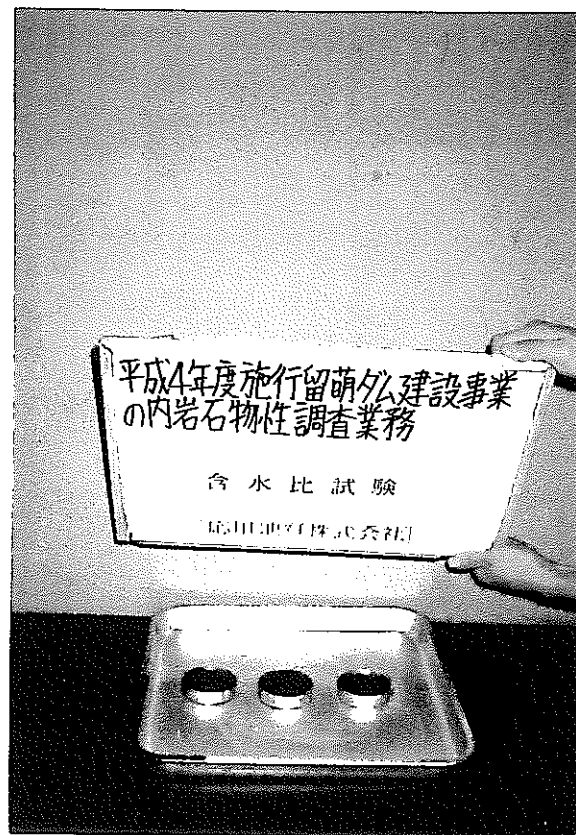
卷末資料

# 試験状況写真





土粒子の密度試験



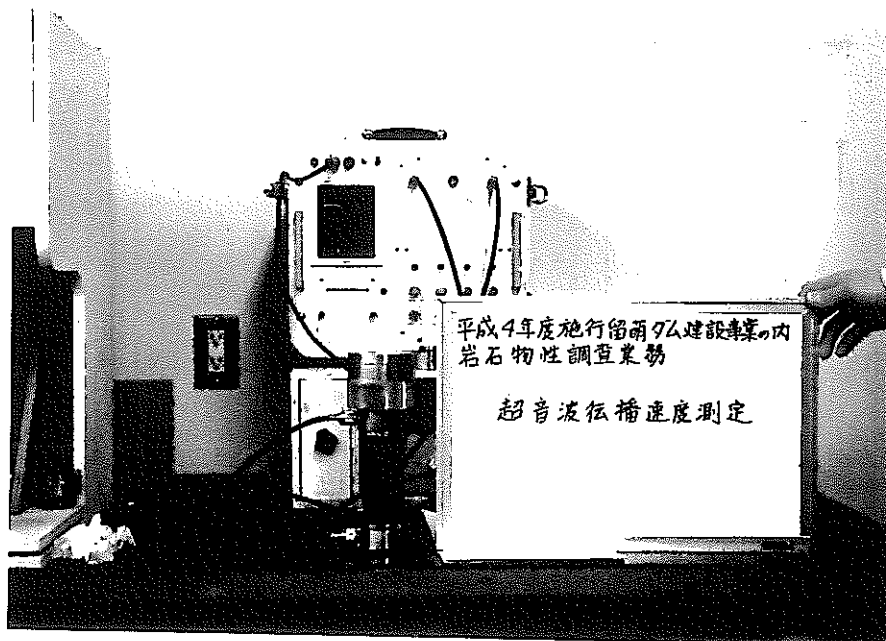
含水比試験



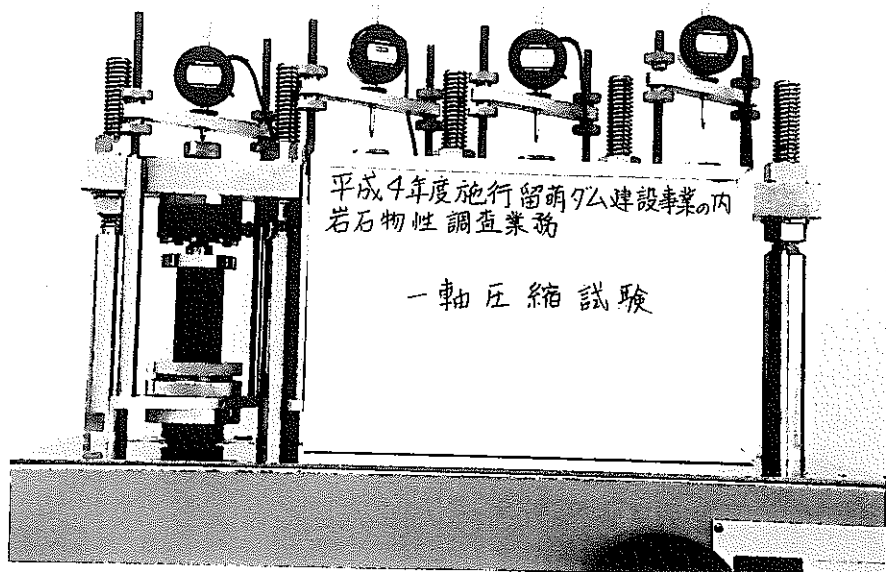
粒度試験（沈降分析）



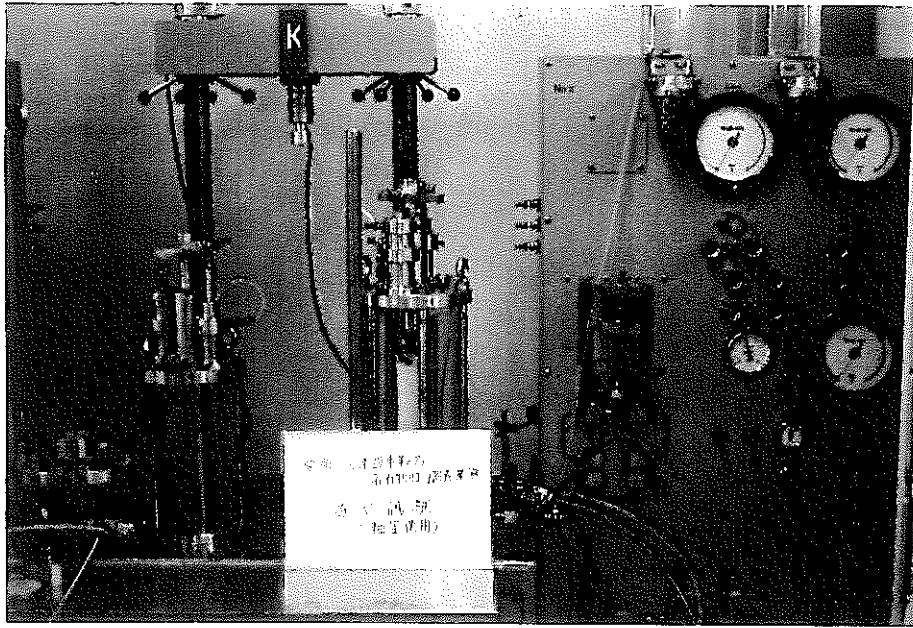
粒度試験（ふるい分け）



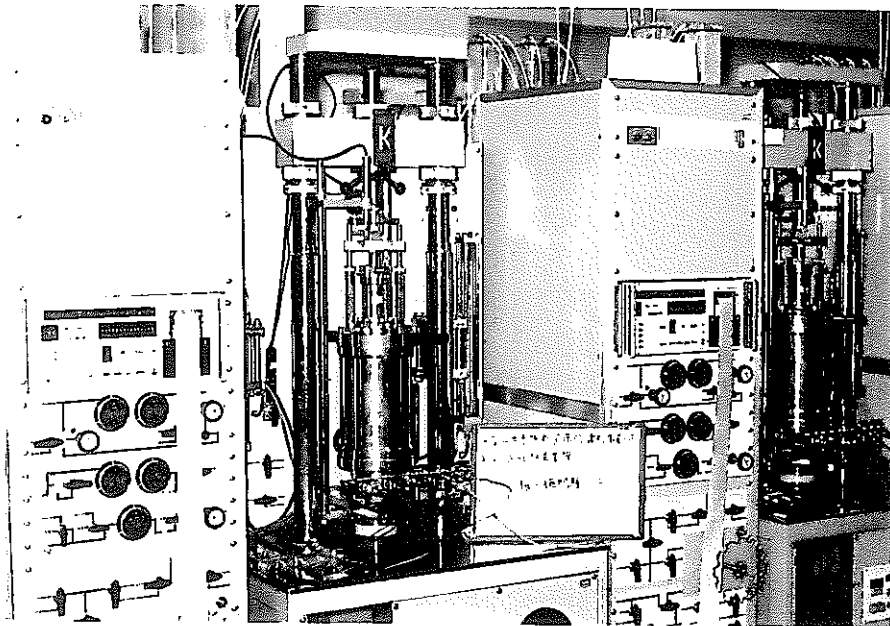
超音波速度測定



一軸圧縮試験



三軸室使用による変水位透水試験



三軸圧縮試験 (CD)