ISSN 0386—5878
土研資料 第1787号

# 土木研究所資料

# 辺野喜ダム，ロック材料試験報告

昭和57年3月

建設省土木研究所
ダム部フィルダム研究室

Copyright ©1982 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 permission of the Director 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，複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

# 辺野喜ダム，ロック材料試験報告

松本徳久
渡辺和夫
小川　優

## 目　次

1. まえがき …… 1

2. 試験目的 …… 1

3. 試験概要 …… 1
3.1 試験項目 …… 1
3.2 試験方法 …… 1
3.2.1 比重および吸水量試験 …… 1
3.2.2 点載荷圧裂試験 …… 1
3.2.3 粒子形状調査 …… 2
3.2.4 粒度試験 …… 2
3.2.5 締固め試験 …… 2
3.2.6 大型三軸圧縮試験 …… 3
3.3 試験材料 …… 3
3.3.1 原石山の概要 …… 3
3.3.2 試験材料 …… 4
3.3.3 材料の採取方法 …… 4
3.4 試験ケース …… 4

4. 試験結果 …… 13
4.1 材料の性質 …… 13
4.2 締固め試験 …… 20
4.3 大型三軸圧縮試験 …… 20

5. 考　察 …… 37

付　録
試験装置の概要 …… 39

## 1. まえがき

辺野喜ダムは，沖縄県国頭郡国頭村字辺野喜地先の辺野喜川水系辺野喜川に，コンクリート部およびフィル部をもつダム高37.5m，総貯水容量450万$m^3$の複合ダムとして計画中の多目的ダムであり，沖縄本島河川総合開発事業の一環をなすものである。

本報告書は，沖縄総合事務局北部ダム事務所の依頼により，昭和55年度，昭和56年度の2カ年において辺野喜ダムのフィル部堤体材料として使用予定であるロック材料（粘板岩）について物理試験および力学試験を実施した結果を報告するものである。

## 2. 試験目的

ロック材料の採取予定地は，ダムサイトより下流約2km（右岸）の辺野喜地先の原石山である。原石山は北部ダム事務所によれば，中生代の粘板岩類（粘板岩，緑色岩）により構成される。

本試験は，使用予定ロック材として過半をしめる粘板岩を試験対象材料として実施した。試験は，ロック材料の比重，吸水量等を求めるための物理試験，材料の締固まり特性を求めるための締固め試験，せん断特性を求めるための大型三軸圧縮試験からなり，ロックゾーンの密度および強度定数の試験値を求め設計値を考察することを目的としている。

## 3. 試験概要

### 3.1. 試験項目

主な試験項目は，物理試験，粒度試験，締固め試験および大型三軸圧縮試験から成る。

### 3.2. 試験方法

#### 3.2.1. 比重および吸水量試験

表－1.に示す試験方法により実施した。

表－1. 試験方法

| 試験 | 規格 | 対象粒径 |
|---|---|---|
| 含水量試験 | JIS A 1203－1978 | 全粒径 |
| 粗粒材の比重及び吸水量試験 | JIS A 1110－51 | 4.76mm 以上 |
| 土粒子の比重試験 | JIS A 1202－1978 | 4.76mm 以下 |

#### 3.2.2. 点載荷圧裂試験

ロック材料の粒子強度を引張強度によって評価しようとするための簡易試験方法である。

試験は非整形の岩石に点載荷を与えて破壊時の極限荷重$F_0$から引張強度$S_t$を求るものである。$S_t$の値は近似的に次式で与えられている。

$$S_t \fallingdotseq 0.9\frac{F_0}{d^2} \quad \cdots\cdots(1)$$

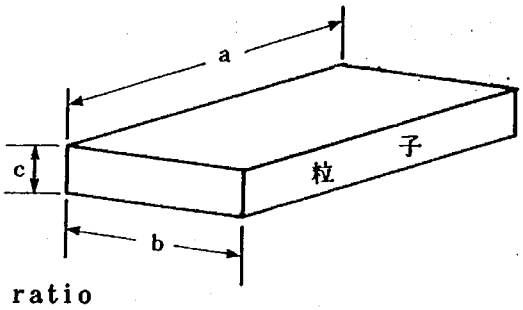
d：載荷点間隔

試験は 9.52～63.5 ㎜ の粒径範囲の中を 5 種類に分級した粒径の各々から無作為に10個抽出して行った。

3.2.3. 粒子形状調査

ロック材料の粒子形状を分類するために粒子の最大長(a)，中間長(b)，最短長(c)を測定した。測定値を基に次式による比を求め Zingg の提案している形状比によって粒子の形状を分類した。

$$\left.\begin{aligned} q &= \frac{b}{a} \\ p &= \frac{c}{b} \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$




q：elongation ratio　　p：flatness ratio

調査した粒子の大きさは点載荷圧裂試験と同様に 9.52～63.5 ㎜ の粒径範囲の中から各粒径別に無作為に30個抽出したものを対象とした。

3.2.4. 粒度試験

試験方法は土の粒度試験方法（JIS. A. 1204）に準拠したものである。以下に試験手順を示す。

① 搬入された材料を，0.074，0.42，0.84，2.0，4.76，9.52，19.1，25.4，38.1，50.8，63.5 ㎜ の木枠網フルイによってふるい分けを行う。

② ①によって粒径別にふるい分けられた材料を締固め試験および大型三軸圧縮試験粒度分布となるように材料の調合を行う。

③ ②によって作られた材料について締固め試験および大型三軸圧縮試験を行う。

④ ③で実施した各々の試験後の材料について，①で使用した木枠網フルイによってふるい分けを行い粒径別の重量百分率を求める。

⑤ ②で作成した粒度分布における粒径別の重量百分率と④で求められた粒径別の重量百分率との差を求める。

⑥ ⑤で得られた粒径別の重量百分率の差を基に Marsal の定義に従って粒子破砕率を求める。

3.2.5. 締固め試験

振動締固め試験機を用いて絶乾重量，締固め層数，振動数および振動時間を一定として加速度を変化させることにより締固めエネルギーと締固まり密度（または間隙比）の関係を求める。振動時には試料上面の乱れを防ぐために上面に 0.5 kg/cm² 程度の上載応力を与える。

試験の手順は，

① 締固め条件（加速度値）の設定。

② 試料（重量＝78 kg）を試験粒度分布に従い粒径毎に必要量を計量する。

③ ②によって計量されたものを各粒径毎に 6 等分した後，等分された試料を混合して試験粒度分布状態の試料を 6 個作成する。

④ ③で準備された試料を各層毎にハンドスコップで静かにモールド(内径 30 cm)内に投入した後に初期高さを測定する。また振動後においても高さを測定する。以上を繰返して6層まで締固めて試料の締固まり密度を求める。

締固め条件を表－2に示す。

表－2. 締固め条件

| 項目 | 条件および方法 |
|---|---|
| 絶乾重量 | 78 kg |
| 振動数 | 30 Hz |
| 振動時間 | 480 sec/層 |
| 層数 | 6層(1層約10 cm) |
| 締固めエネルギー | 振動時の加速度は起振モーターの偏心重錘重量(枚数)を変化することにより調整する。 試験加速度 0～4 g |
| 最大粒径 | 試験試料の最大粒径は63.5㎜ とする。 |
| モールド | 三軸供試体作成用の三割モールド |

3. 2. 6. 大型三軸圧縮試験

土質工学会基準「土の三軸圧縮試験法(案)」に準拠した方法であり，試験方法の概要を表－3に示す。

表－3. 試験方法

| 項目 | 条件および方法 |
|---|---|
| 供試体寸法 | 径 30×高さ 60 cm |
| 試験密度 | 締固め試験結果より決定する。 |
| 試験側圧 | 基本側圧 1.5, 3.0, 4.5, 6.0 kg/cm$^2$ |
| 方法 | CD試験(不飽和) |
| 制御 | 軸方向変位制御 6㎜/min |
| 最大粒径 | 試験試料の最大粒径は63.5㎜ とする。 |
| 供試体作成 | 振動締固め試験に準拠した方法 |

3. 3. 試験材料

3. 3. 1. 原石山の概要

原石山の地質は中生代に属する名護層群の粘板岩類が広く分布している。

粘板岩類は黒色および灰～緑色の色調で分類されている。黒色の粘板岩は一部で千枚岩状を呈しており，灰～緑色の緑色岩は片状化しやすい。また，黒色の粘板岩と緑色岩の互層を呈している箇所では脆弱な部分と堅硬な部分が存在している。顕微鏡監察の結果では黒色の粘板岩と緑色岩には大差がなく低変成度の絹雲母片岩と判定されている。

原石山の地質平面図を図－1に，地質横断図を図－2に示す。また，原石山について北部ダム事務所で実施された調査項目と調査数量を表－4に示す。

表－4.　調査項目と調査数量

| 調査項目 | 調査数量 |
|---|---|
| ボーリング | 15孔　765 m |
| 横坑 | 4坑　165 m |
| 弾性波探査 | 7測線　1.99 km |

3.3.2.　試験材料

試験は昭和55年度，昭和56年度の2カ年にわたって実施した。試験材料は調査横坑BA－60より採取したものであるが，各年度での採取深度が異なっている。昭和55年度，昭和56年度に実施した試料のそれぞれに以後B－55，B－56と整理番号をつける。試料採取位置を表－5に示す。

表－5.　試料採取位置

| 材料採取地 | 沖縄県国頭郡国頭村字辺野喜地先<br>ダムサイト下流約2 km，右岸 | |
|---|---|---|
| 採取横坑<br>（採取深度） | BA－60（EL＝59 m）<br>（14 m 地点） | BA－60（EL＝59 m）<br>（39 m 地点） |
| 整理番号 | B－55 | B－56 |

3.3.3.　材料の採取方法

昭和55年度，56年度における横坑内での材料採取方法を表－6に示す。

昭和54年度，55年度，56年度に横坑内で材料採取をしたときの採取粒度分布を図－3に示す（北部ダム事務所の資料による）。

3.4.　試験ケース

(1)　試験粒度分布

横坑内採取粒度分布曲線と相似な粒度分布について行った。粒度分布は図－3に示した昭和54年度，55年度，56年度の採取粒度分布から判断して粒度組成の良い均等係数が27の場合と粒度組成の悪い均等係数が6の場合について行った。試験粒度分布を図－4および表－7に示す。

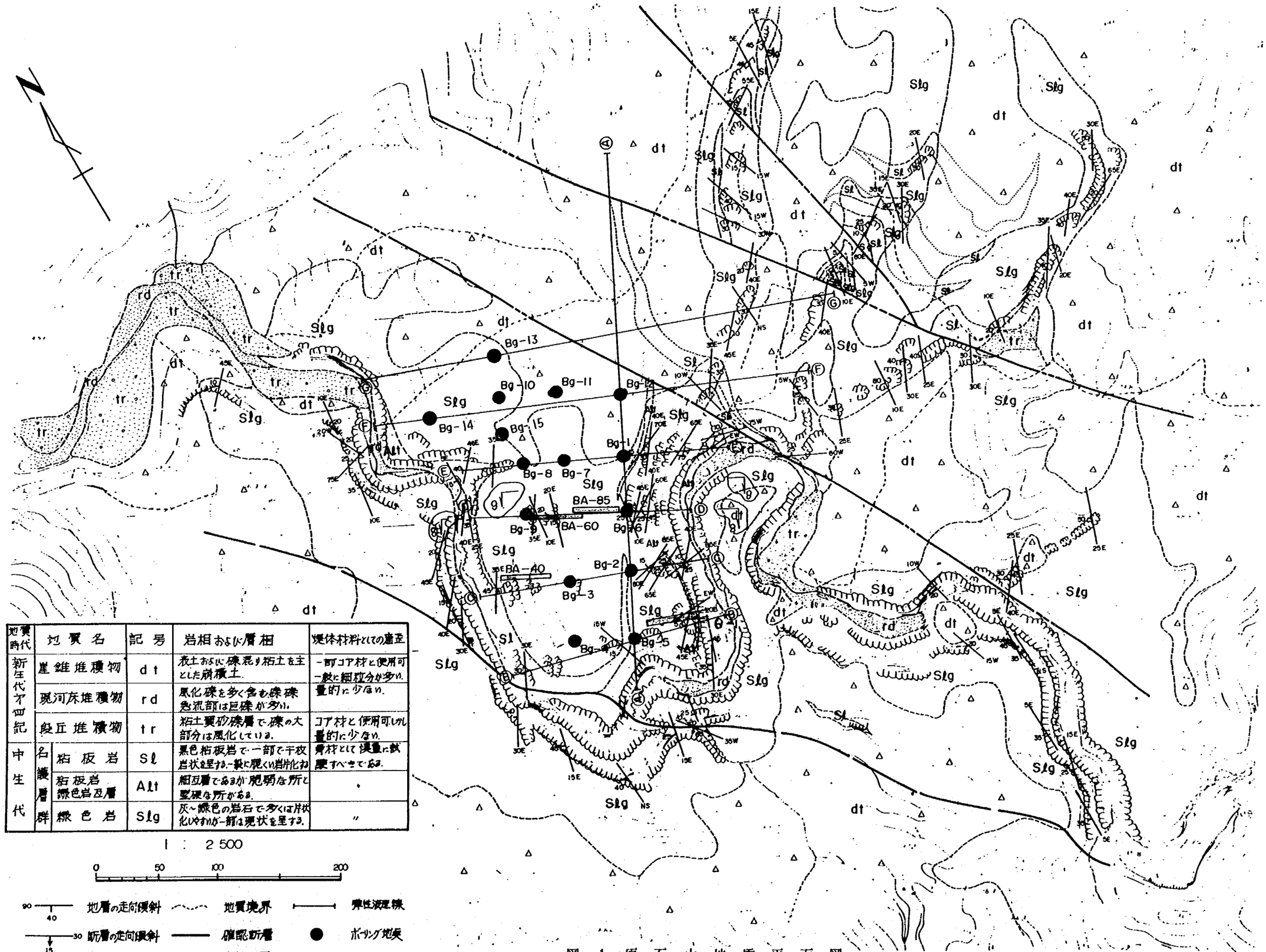
(2)　締固め試験

均等係数が6と27の試験粒度分布について締固めエネルギーを6種類に変化して行った。締固めエネルギーの調節は振動締固め時に試料に与える加速度の大きさを変える方法で行った。締固めエネルギーの与え方を分類すると以下の三通りである。

①　試料をモールド内に静かに投入しただけで締固めを行なわない。

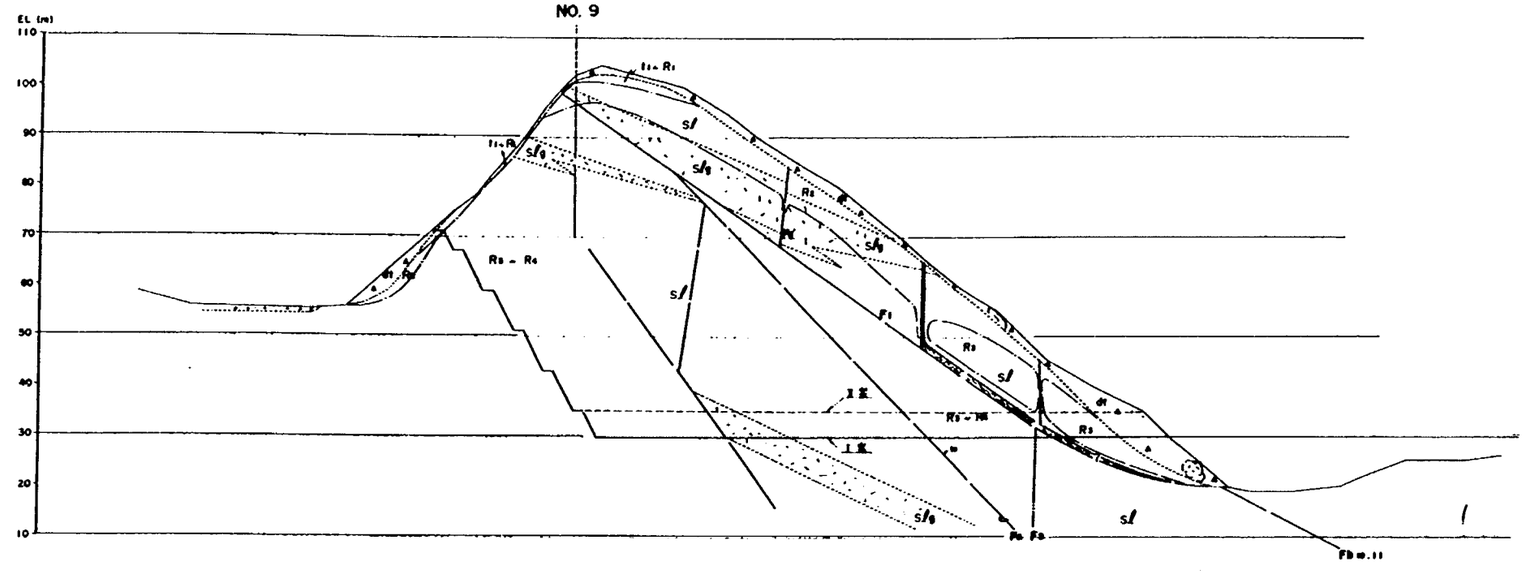
②　締固め時に試料に与える加速度の大きさを0.3，2，3，4 g の4種類とする。

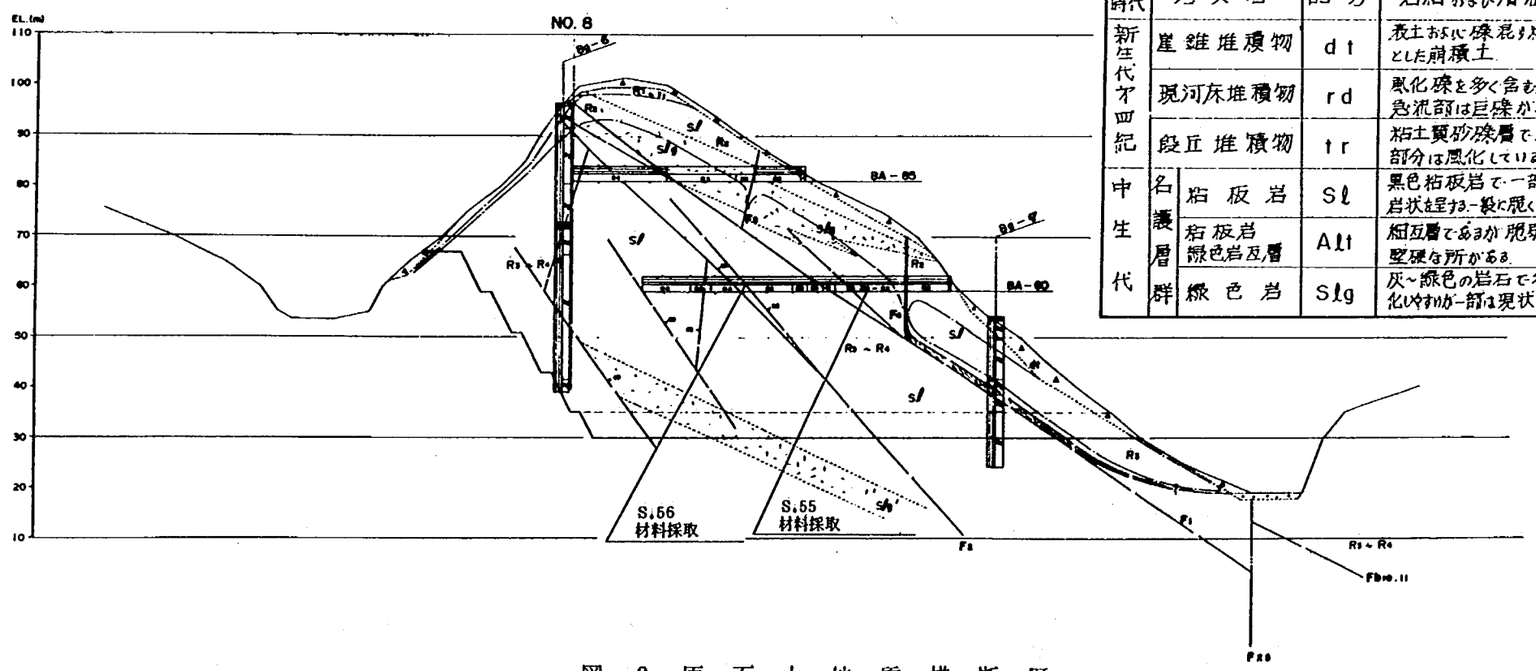
③　4 g の加速度を与えて締固めた試料にさらに静的な荷重を約4 ton 載荷する。




| 地質時代 | | 地質名 | 記号 | 岩相および層相 | 煉体材料としての適正 |
|---|---|---|---|---|---|
| 新生代才四紀 | | 崖錐堆積物 | dt | 表土および礫混り粘土を主とした崩積土. | 一部コア材と使用可 一般に細粒分が多い. |
| | | 現河床堆積物 | rd | 風化礫を多く含む礫礫急流部は巨礫が多い. | 量的に少ない. |
| | | 段丘堆積物 | tr | 粘土質砂礫層で礫の大部分は風化している. | コア材と使用可しかし量的に少ない. |
| 中生代 | 名護層群 | 粘板岩 | Sl | 黒色粘板岩で一部で千枚岩状を呈する.一般に脆くい岩片化する | 骨材として漠量に試験すべきである. |
| | | 粘板岩 緑色岩互層 | Alt | 細互層であるが脆弱な所と堅硬な所がある. | 〃 |
| | | 緑色岩 | Slg | 灰～緑色の岩石で多くは片状化しやすいが一部は現状を呈する. | 〃 |

図－1 原石山地質平面図

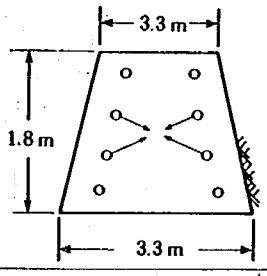
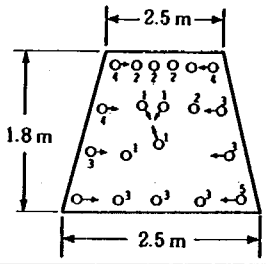
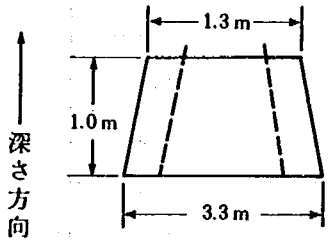
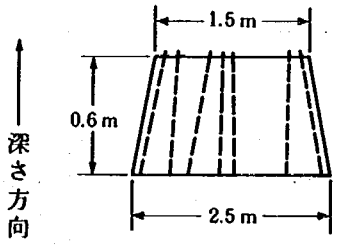


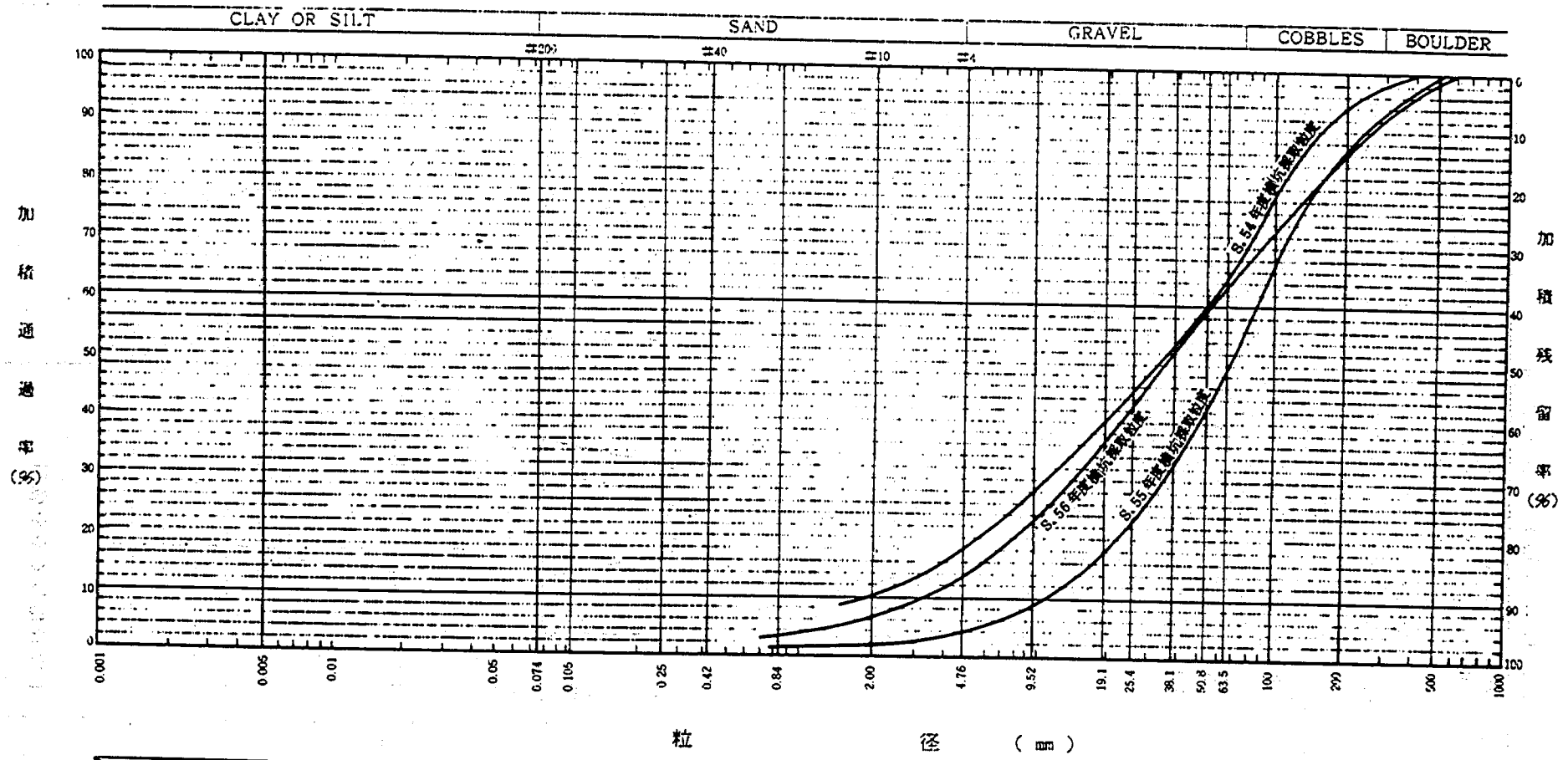

| 地質時代 | | 地質名 | 記号 | 岩相および層相 | 堤体材料としての適否 |
|---|---|---|---|---|---|
| 新生代第四紀 | | 崖錐堆積物 | dt | 表土および礫混り粘土を主とした崩積土. | 一部コア材と使用可 一般に細粒分が多い. |
| | | 現河床堆積物 | rd | 風化礫を多く含む礫 礫 急流部は巨礫が多い. | 量的に少ない. |
| | | 段丘堆積物 | tr | 粘土質砂礫層で,礫の大部分は風化している. | コア材と使用可しかし量的に少ない. |
| 中生代 | 名護層群 | 粘板岩 | Sl | 黒色粘板岩で一部で千枚岩状を呈する.一般に脆くい岩片化お | 骨材として慎重に試験すべきである. |
| | | 粘板岩 緑色岩互層 | Alt | 細互層であるが脆弱な所と堅硬な所がある. | 〃 |
| | | 緑色岩 | Slg | 灰~緑色の岩石で多くは片状化しやすいが一部は現状を呈する. | 〃 |

図－2 原 石 山 地 質 横 断 図

表－6.　ロック材料の横坑内採取方法

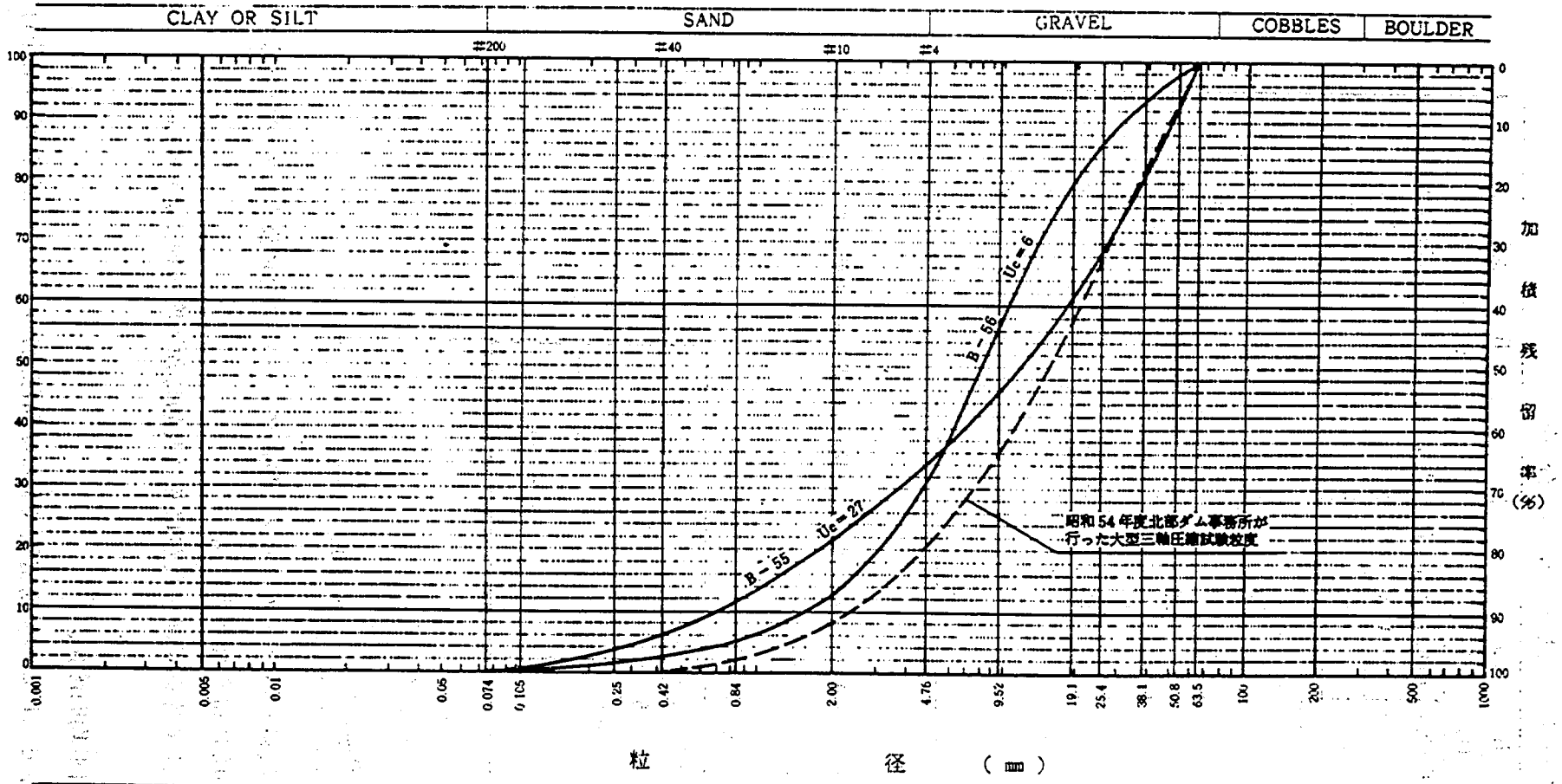
| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ダム名 | | | 辺野喜（沖縄，北部ダム） | | | | |
| 横坑名 | | | BA－60（EL＝59 m） | | | BA－60（EL＝59 m） | |
| 試験区間（m） | | | 14 m 地点 | | | 39 m 地点 | |
| 試験年月日 | | | S. 55. 10 ～ S. 55. 10 | | | S. 56. 7. 7～ S. 56. 7. 31 | |
| 岩種 | | | 粘板岩 | 年代 | 中生代 | 粘板岩 | 年代 | 中生代 |
| 岩級 | | | ～ | 平均： | | ～ | 平均： | |
| 弾性波速度（km/sec） | | | 1.3 ～1.5 | 平均：1.4 | | 2.0 ～2.2 | 平均：2.1 |
| 一軸強度（kg/cm²） | | | 1,120～1,530 | 平均：1,325 | | 1,120～1,530 | 平均：1,325 |
| 物性値（4.76 mm 以上） | 真比重（Gg） | | 2.744～2.754 | 平均：2.750 | | 2.742～2.763 | 平均：2.749 |
| | 表乾比重（Ga） | | 2.691～2.728 | 平均：2.712 | | 2.706～2.727 | 平均：2.716 |
| | 絶乾比重（Gb） | | 2.653～2.713 | 平均：2.688 | | 2.672～2.718 | 平均：2.698 |
| | 吸水率 %（Q） | | 0.55 ～1.17 | 平均：0.81 | | 0.33 ～1.24 | 平均：0.70 |
| 採取方法 | 穿孔長（m） | | 1.3 | | | 0.7～0.8 | |
| | 穿孔径（mm） | | 32 | | | 32 | |
| | 穿孔数（本） | | 8 | | | 20 | |
| | 火薬の種類 | | ダイナマイト（2号榎） | | | ダイナマイト（2号榎） | |
| | 全火薬使用量（kg） | | 8.5 | | | 4.0 | |
| | 単位火薬使用量（kg/m³） | | 2.0 | | | 1.8 | |
| | 穿孔配置 | 正面図および穿孔間隔 |  | | |  | |
| | | 断面図および穿孔方向 |  | | |  | |
| | 地山体積（m³） | | 4.2 | | | 2.2 | |
| | 総重量（ton） | | 10.3 | | (2.5 t/m³) | 5.4 | (2.4 t/m³) |
| 粒度分布 | 総重量（ton） | | 10.3 | $D_{10}$＝13 | $D_{60}$＝88 | 5.4 | $D_{10}$＝3 | $D_{60}$＝51 |
| | 最大粒径（mm） | | 500 | | | 600 | |
| | 加積通過率（%） | 200（mm） | 87 | | | 86 | |
| | | 101.6（mm） | 65 | | | 73 | |
| | | 63.5（mm） | 51 | | | 65 | |
| | | 38.1（mm） | 33 | | | 54 | |
| | | 19.1（mm） | 18 | | | 37 | |
| | | 9.52（mm） | 8 | | | 23 | |
| | | 4.76（mm） | 5 | | | 14 | |
| | | 2.0（mm） | 3 | | | 7 | |
| 備考 | 1. 試験作業者<br>2. その他特記すべき事項<br>3. その他参考となる資料を付録する | | 千枚岩化してやや脆弱 | | | | |

$D_{10}$：10 %粒径，$D_{60}$：60 %粒径




| | S.54年度採取粒度 | S.55年度採取粒度 | S.56年度採取粒度 | | S.54年度採取粒度 | S.55年度採取粒度 | S.56年度採取粒度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 最大粒径 mm | 400 | 500 | 600 | $D_{85}$ 粒径 mm | 120 | 190 | 190 |
| 最小粒径 mm | 2以下 | 0.84以下 | 0.84以下 | 均等係数 Uc | 27 | 6 | 17 |
| $D_{10}$ 粒径 mm | 1.9 | 13 | 3 | 曲率係数 U'c | | | |
| $D_{15}$ 粒径 mm | 3.7 | 17 | 5.2 | 比重 | | | |
| $D_{50}$ 粒径 mm | 32 | 64 | 35 | 吸水量 % | | | |
| $D_{60}$ 粒径 mm | 50.7 | 88 | 51 | | | | |

図－3 横坑内採取粒度分布




| | S.55年度試験粒度 | S.56年度試験粒度 | S.54年度試験粒度 | | S.55年度試験粒度 | S.56年度試験粒度 | S.54年度試験粒度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 最大粒径 mm | 63.5 | 63.5 | 63.5 | $D_{85}$ 粒径 mm | 44 | 23 | 40 |
| 最小粒径 mm | 0.074 | 0.074 | 0.42 | 均等係数 Uc | 27 | 6 | 10 |
| $D_{10}$ 粒径 mm | 0.7 | 1.75 | 2.2 | 曲率係数 U'c | | | |
| $D_{15}$ 粒径 mm | 1.2 | 2.1 | 3.5 | 比重 | | | |
| $D_{50}$ 粒径 mm | 12 | 8.4 | 17 | 吸水量 % | | | |
| $D_{60}$ 粒径 mm | 19 | 10.5 | 22 | | | | |

図－4 試験粒度分布

表－7.　試験粒度分布

| 粒径 (mm) | B－55 $U_c$＝27 重量百分率(%) | B－55 加積通加率(%) | B－56 $U_c$＝6 重量百分率(%) | B－56 加積通加率(%) |
|---|---|---|---|---|
| 63.5 | | 100 | | 100 |
| 50.8 | 8 | 92 | 2 | 98 |
| 38.1 | 12 | 80 | 5 | 93 |
| 25.4 | 10 | 70 | 6 | 87 |
| 19.1 | 10 | 60 | 6 | 81 |
| 9.52 | 14 | 46 | 26 | 55 |
| 4.76 | 12 | 34 | 24 | 31 |
| 2.0 | 12 | 22 | 18 | 13 |
| 0.84 | 11 | 11 | 8 | 5 |
| 0.42 | 5 | 6 | 2 | 3 |
| 0.074 | 6 | 0 | 3 | 0 |

(3)　大型三軸圧縮試験

均等係数が6と27の試験粒度分布の各々について二種類の供試体初期密度を設定してせん断試験を行った。試験ケースを表－8に示す。

表－8.　試験ケース

| 均等係数 | 設定相対密度 | 材料 |
|---|---|---|
| 27 | 45 % | B－55 |
| | 85 % | |
| 6 | 45 % | B－56 |
| | 85 % | |

相対密度は下記の定義による値である。

$$\text{相対密度}(\%) = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100 \quad \cdots\cdots(3)$$

$e_{max}$ ：締固め試験で試料をハンドスコップで静かにモールド内に投入した状態で締固めを行わない時に得られた間隙比。

$e_{min}$ ：振動締固め条件で片側重錘枚数が15枚（振動時加速度が約4 g）の時に得られた間隙比。

e ：供試体の初期平均間隙比。

各々の試験粒度分布条件で二種類の初期密度（または間隙比）について三軸圧縮試験を行った理由は，初期密度の相違が強度定数に与える影響を求めることと得られた密度と強度定数の関係から異なる密度状態で期得できる強度定数を内挿または外挿によって推定しようと

するためである。

初期密度の設定は，設計密度を考慮したものと内挿または外挿するために前者の密度状態の間隙比に 0.1 程度の間隙比の差を与えた密度状態を対象とした。

## 4. 試験結果

### 4.1. 材料の性質

搬入材料についての比重および吸水量試験の結果を表－9，図－5 に示す。なお，表中における比重および吸水率は以下の定義によるものである。

表乾比重　$Ga = \dfrac{B}{B - C}$

絶乾比重　$Gb = \dfrac{A}{B - C}$

JIS A 1202に対応した比重　$Gg = \dfrac{A}{A - C}$

吸水率　$Q = \dfrac{B - A}{A} \times 100\ (\%)$

A：絶乾重量　　B：表乾重量　　C：水中重量

測定結果より真比重（Gg）の値は 2.74～2.78 であり粘板岩としては一般的な値であると考えられる。絶乾比重（Gb）は 2.65～2.72 の範囲にあり，また吸水率も 0.33～1.24％と小さく粒径別のバラツキも少なく安定した値を示している。B－55 と B－56 材料の比重および吸水率の差は少なく採取箇所の相違が現われていない。

点載荷圧裂試験の結果を図－6 に示す。試験は自然乾燥状態（w ＜ 1％）の粒子について行ったものである。測定値にバラツキがあるが，粒径が小さな方が点載荷圧裂強度が大きい傾向を示している。材料の採取位置による強度の相違は顕著に認められない。試験結果からはほぼ 100 kg/cm² 以上の点載荷圧裂強度（引張強度）が得られており，一般に岩の一軸圧縮強度は引張強度の約10倍程度の値を示すことを考慮すると 1,000 kg/cm² 以上の一軸圧縮強度を有するロック材料であると考えられる。

粒子形状調査の結果を図－7～12 および表－10 に示す。調査結果からは，材料の採取箇所，採取方法および粒径サイズによる相違が認められず，板状および葉状に分類される形状の粒子が全体の70％を占めており全体としては偏平であると判断することができる。

上記，材料の性質を求める試験結果より

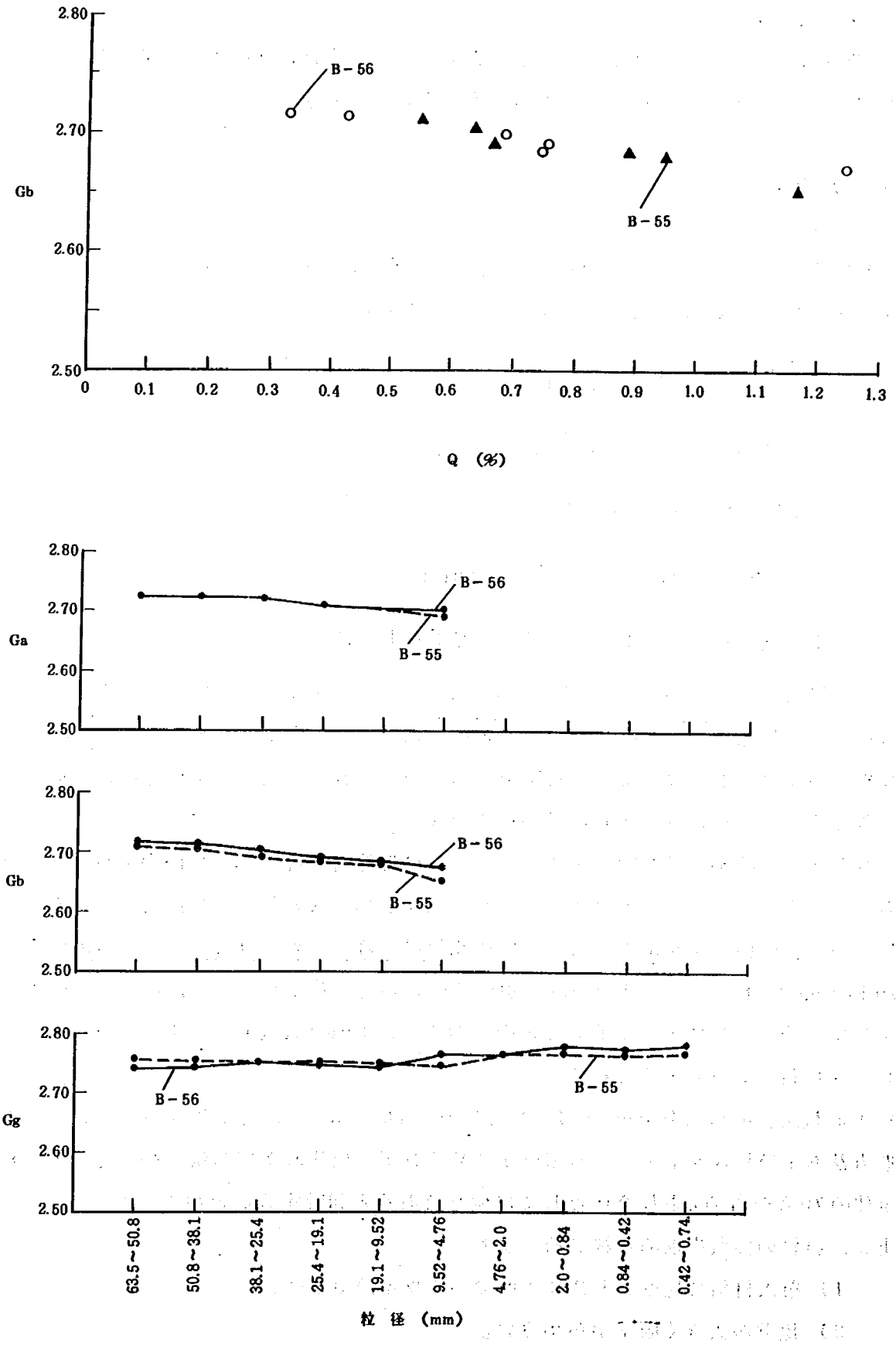
1）搬入材料の比重および吸水率のバラツキが少ない。

2）比重が大きく吸水率が小さい。

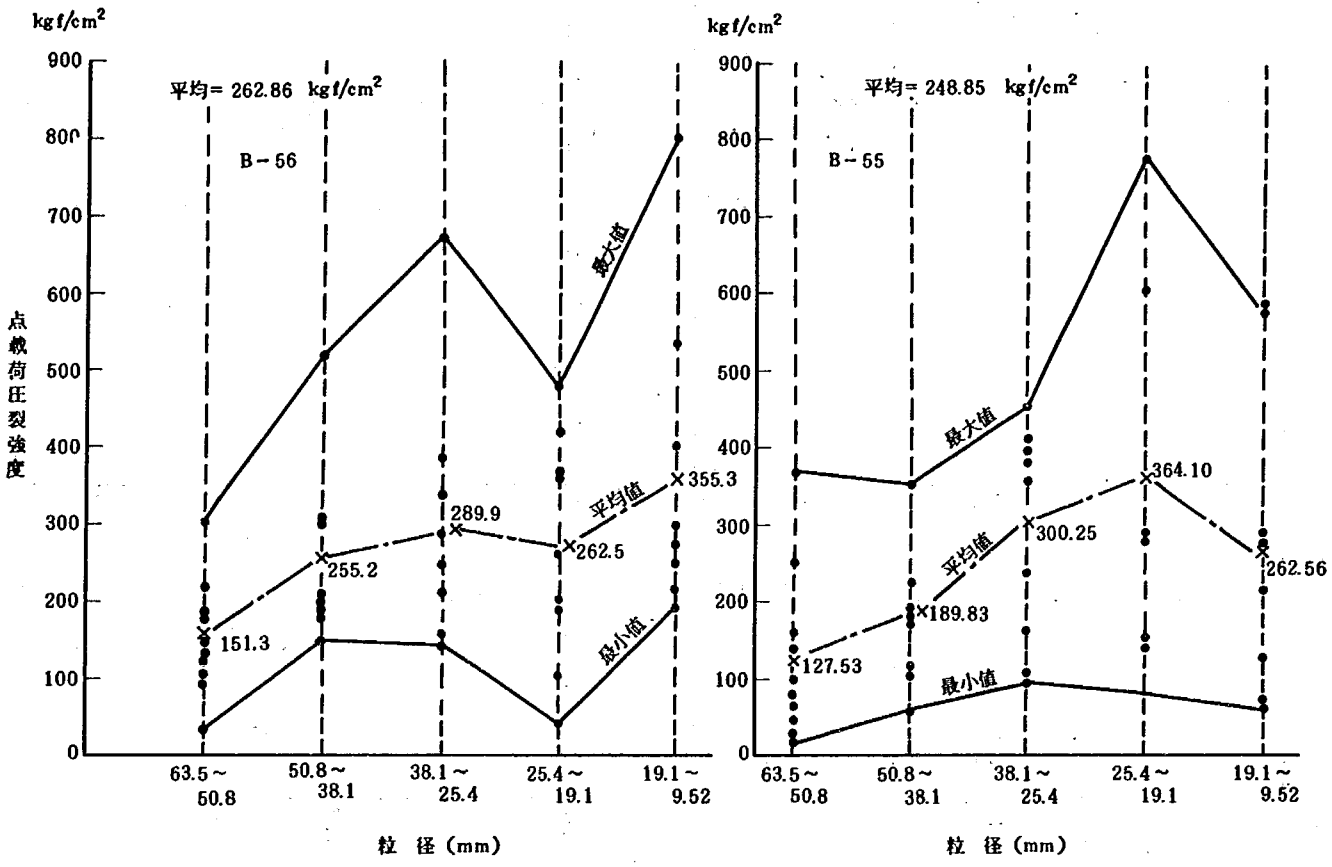
3）点載荷圧裂強度が 100 kg/cm² 以上と大きい。

4）一軸圧縮強度が 1,120～1,530 kg/cm² と大きい（北部ダム事務所の試験結果）。

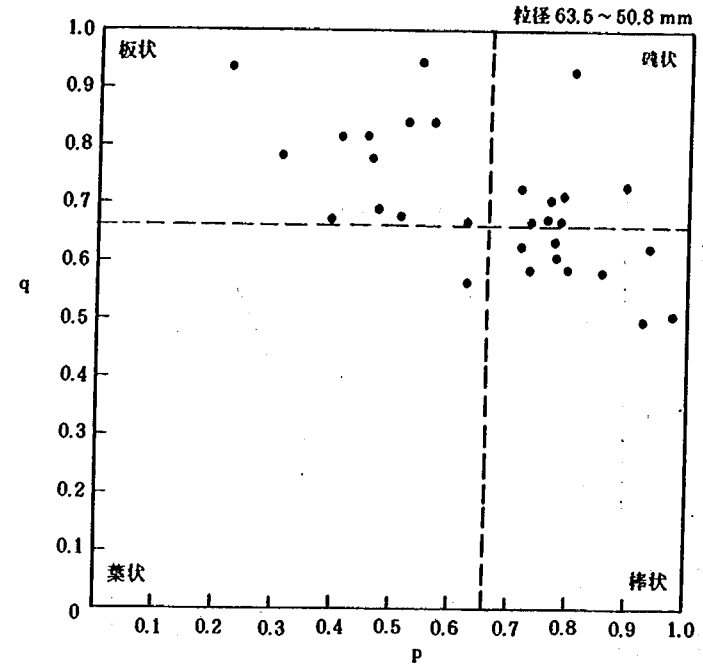
以上の結果から堅硬なロック材料であると判断することができる。

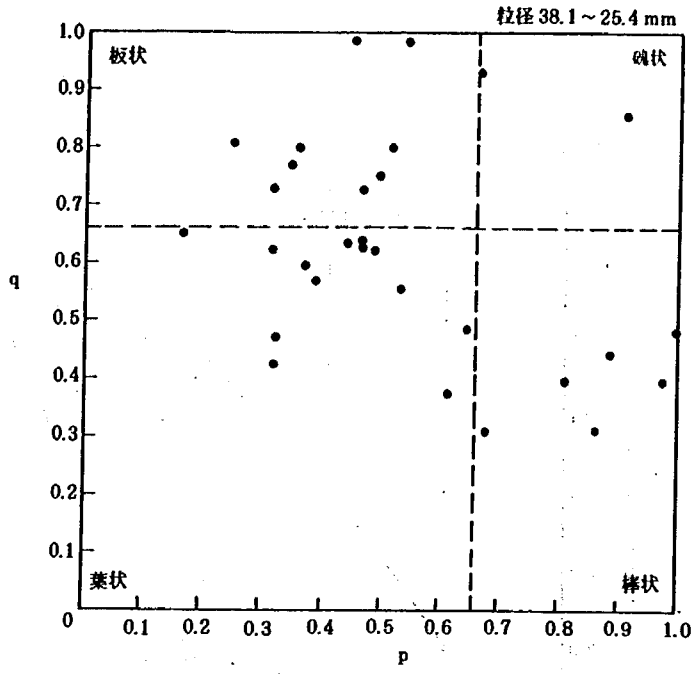

2.80
2.70
2.60
2.50
Gb
B－56
B－55
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
1.1
1.2
1.3
Q (%)
Ga
Gb
Gg
63.5～50.8
50.8～38.1
38.1～25.4
25.4～19.1
19.1～9.52
9.52～4.76
4.76～2.0
2.0～0.84
0.84～0.42
0.42～0.74
粒 径 (mm)

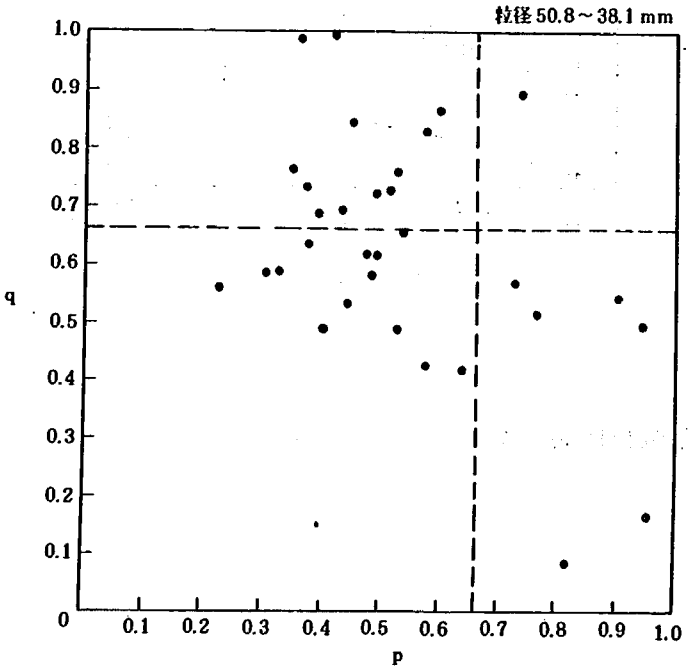
図－5　粒径と物性値



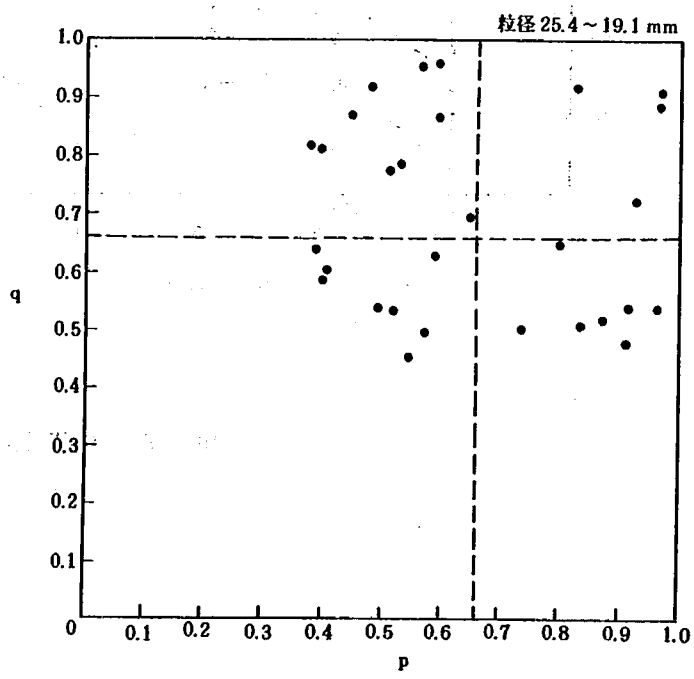

図－6　粒径別の点載荷圧裂強度



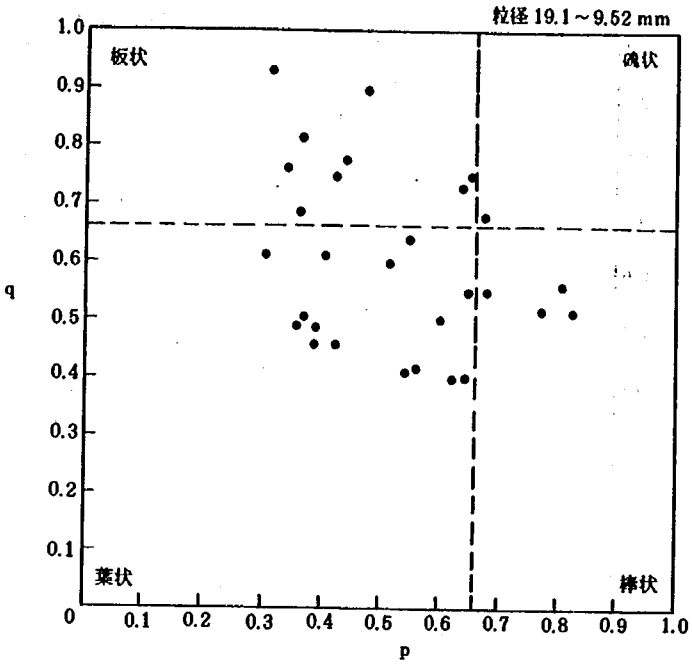



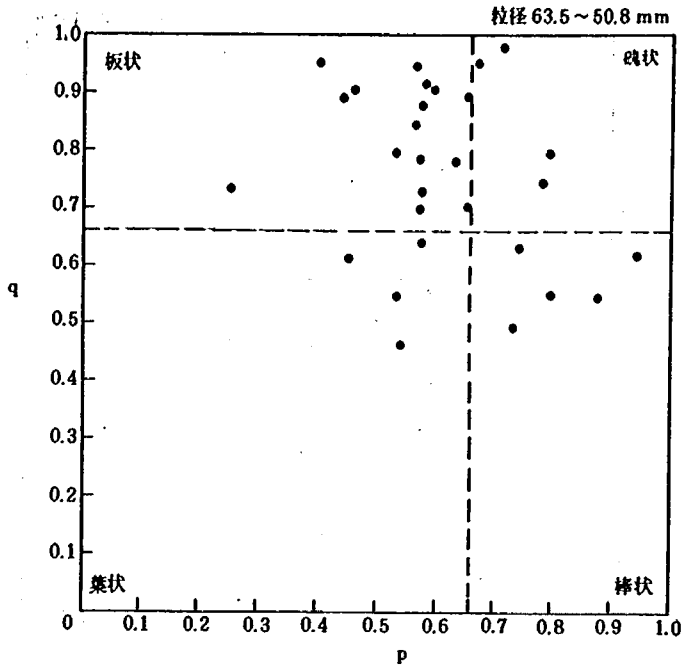

図－7　粒子形状の分布（B－55）

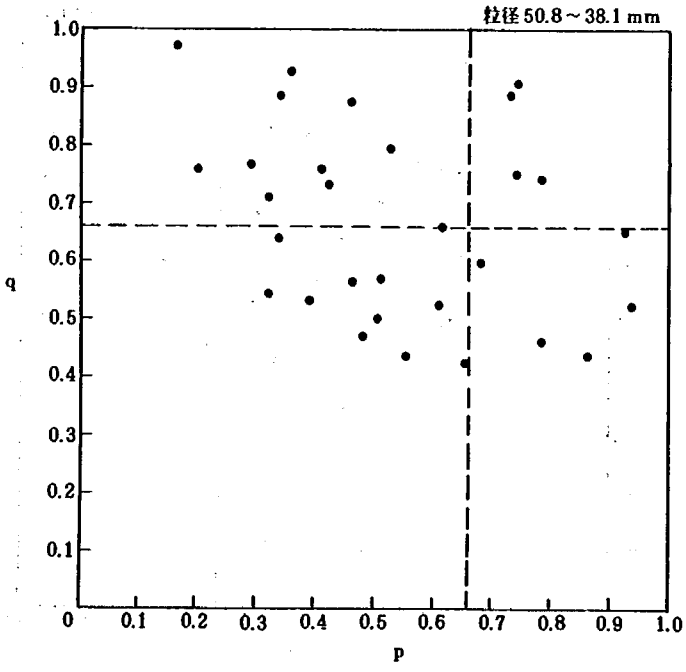



図－8　粒子形状の分布（B－55）

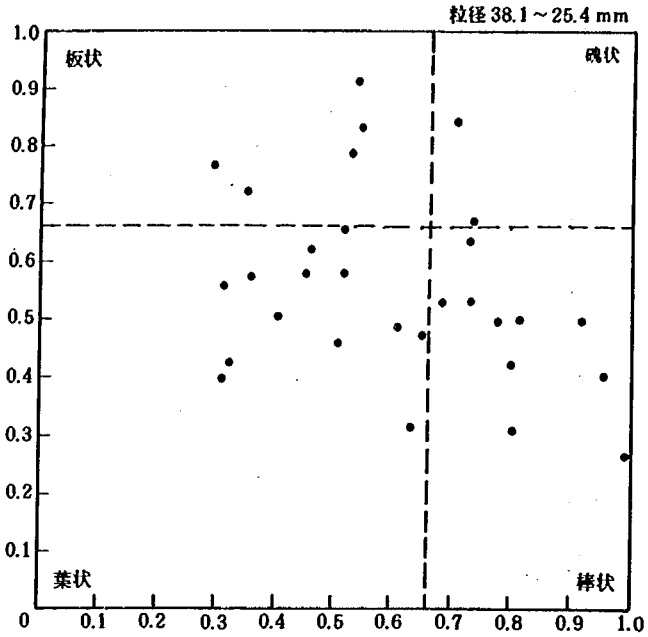


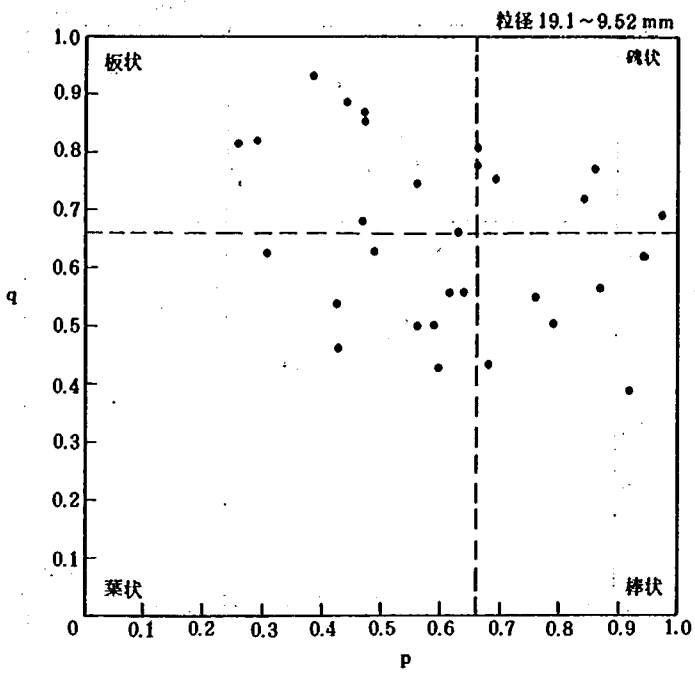

図－9　粒子形状の分布（B－55）



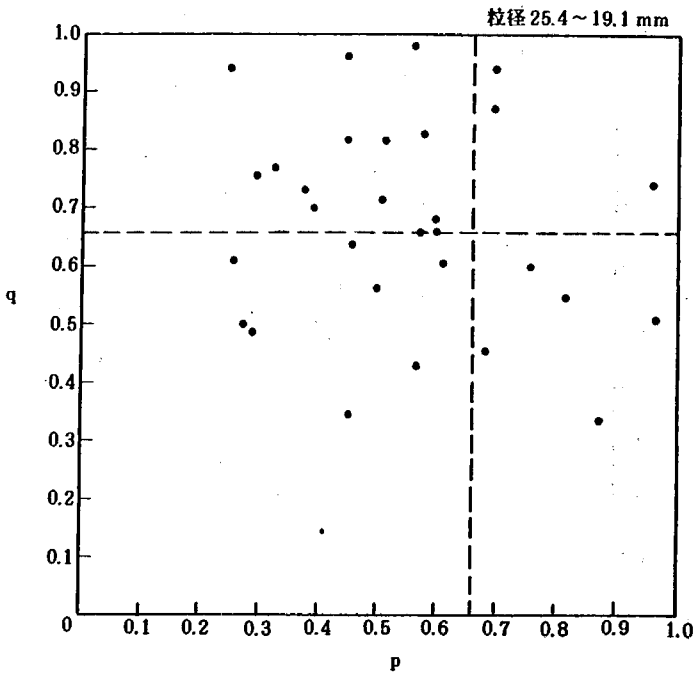




図－10　粒子形状の分布（B－56）




図－12　粒子形状の分布（B－56）




図－11　粒子形状の分布（B－56）

## 表－9. 比重および吸水率

昭和55年度試料（B－55）

| 粒径 (mm) | 表乾比重 Ga | 絶乾比重 Gb | 真比重 Gg | 吸水率 (%) |
|---|---|---|---|---|
| 63.5 ～50.8 | 2.728 | 2.713 | 2.754 | 0.549 |
| 50.8 ～38.1 | 2.722 | 2.705 | 2.752 | 0.636 |
| 38.1 ～25.4 | 2.719 | 2.691 | 2.751 | 0.666 |
| 25.4 ～19.1 | 2.709 | 2.685 | 2.751 | 0.883 |
| 19.1 ～ 9.52 | 2.706 | 2.681 | 2.750 | 0.946 |
| 9.52～ 4.76 | 2.691 | 2.653 | 2.744 | 1.166 |
| 4.76～ 2.0 | － | － | 2.760 | － |
| 2.0 ～ 0.84 | － | － | 2.763 | － |
| 0.84～ 0.42 | － | － | 2.765 | － |
| 0.42～ 0.074 | － | － | 2.766 | － |
| 加重平均値 | | 2.712 | 2.754 | |

昭和56年度試料（B－56）

| 粒径 (mm) | 表乾比重 Ga | 絶乾比重 Gb | 真比重 Gg | 吸水率 (%) |
|---|---|---|---|---|
| 63.5 ～50.8 | 2.727 | 2.718 | 2.742 | 0.331 |
| 50.8 ～38.1 | 2.726 | 2.714 | 2.746 | 0.425 |
| 38.1 ～25.4 | 2.721 | 2.702 | 2.753 | 0.684 |
| 25.4 ～19.1 | 2.710 | 2.692 | 2.747 | 0.755 |
| 19.1 ～ 9.52 | 2.708 | 2.688 | 2.742 | 0.743 |
| 9.52～ 4.76 | 2.706 | 2.672 | 2.763 | 1.245 |
| 4.76～ 2.0 | － | － | 2.765 | － |
| 2.0 ～ 0.84 | － | － | 2.782 | － |
| 0.84～ 0.42 | － | － | 2.776 | － |
| 0.42～ 0.074 | － | － | 2.780 | － |
| 加重平均値 | | 2.713 | 2.757 | |

## 表－10. 粒子形状の分布比率

S.55（B－55）　　（各粒径毎30個）

| 形状＼粒径(mm) | 63.5～50.8 | 50.8～38.1 | 38.1～25.4 | 25.4～19.1 | 19.1～9.52 | 63.5～9.52 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 板状 | 40 (%) | 40 (%) | 30 (%) | 33 (%) | 30 (%) | 35 (%) |
| 葉状 | 3 | 43 | 43 | 30 | 53 | 35 |
| 魂状 | 27 | 4 | 7 | 13 | 4 | 10 |
| 棒状 | 30 | 13 | 20 | 24 | 13 | 20 |
| 判別 | 板状 | 葉状 | 葉状 | 板状 | 葉状 | 葉状 |

S.56（B－56）

| 形状＼粒径(mm) | 63.5～50.8 | 50.8～38.1 | 38.1～25.4 | 25.4～19.1 | 19.1～9.52 | 63.5～9.52 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 板状 | 61 (%) | 37 (%) | 20 (%) | 46 (%) | 37 (%) | 40 (%) |
| 葉状 | 13 | 33 | 40 | 27 | 30 | 29 |
| 魂状 | 13 | 13 | 7 | 10 | 13 | 11 |
| 棒状 | 13 | 17 | 33 | 17 | 100 | 20 |
| 判別 | 板状 | 板状 | 葉状 | 板状 | 板状 | 板状 |

4. 2.　締固め試験

図－13に加速度および片側偏心重錘枚数と間隙比および乾燥密度の関係を示す。なお，間隙比は絶乾比重を用いて求めた値である。

均等係数が6および27の粒度状態とも加速度と間隙比の関係は加速度の増加に伴い間隙比は減少するが，加速度がほぼ3 g以上では顕著な締固め効果が認められない。また，同一締固め条件（同じ加速度の大きさ）で得られた間隙比についてみると，均等係数が27の粒度分布の方が均等が6の粒度分布よりもほぼ一定して0.08 程度小さな値が現われている。

ここで，片側偏心重錘枚数が15枚（加速度が約4 g）の締固め条件で得られた間隙比を最小間隙比と定義すると，二種類の粒度組成で得られた最小間隙比は

均等係数　$U_c$ ＝ 6 の場合が　$e_{min}$ ＝ 0.321

均等係数　$U_c$ ＝ 27 の場合が　$e_{min}$ ＝ 0.239

である。他ダムのロック材料（主に火成岩類）についてフィルダム研究室で同様な締固め試験を実施した結果を，均等係数と最小間隙比の関係で整理して得られた図－14に本試験結果をプロットして比較すると平均的な締固まり程度を示している。

粒度試験より振動締固めによって生じた粒子破砕率は締固め加速度が約4 gの条件で3.6～4.7 %と少ない値であった。また，破砕を生じた粒径範囲の傾向は顕著に認められない。

4. 3.　大型三軸圧縮試験

(1)　供試体初期間隙比

せん断試験を行った時の供試体初期平均間隙比を表－11に示す。表中の間隙比は絶乾比重（Gb）により算出した値である。

表－11.　平均初期間隙比

| 材　料 | 均等係数 $U_c$ | 密度状態 | 平均間隙比 $\bar{e}_0$ | 相対密度 Dr (%) |
|---|---|---|---|---|
| B－55 | 27 | Loose | 0.401 | 45 |
| | | Dense | 0.287 | 84 |
| B－56 | 6 | Loose | 0.474 | 52 |
| | | Dense | 0.373 | 84 |

(2)　応力とひずみの関係

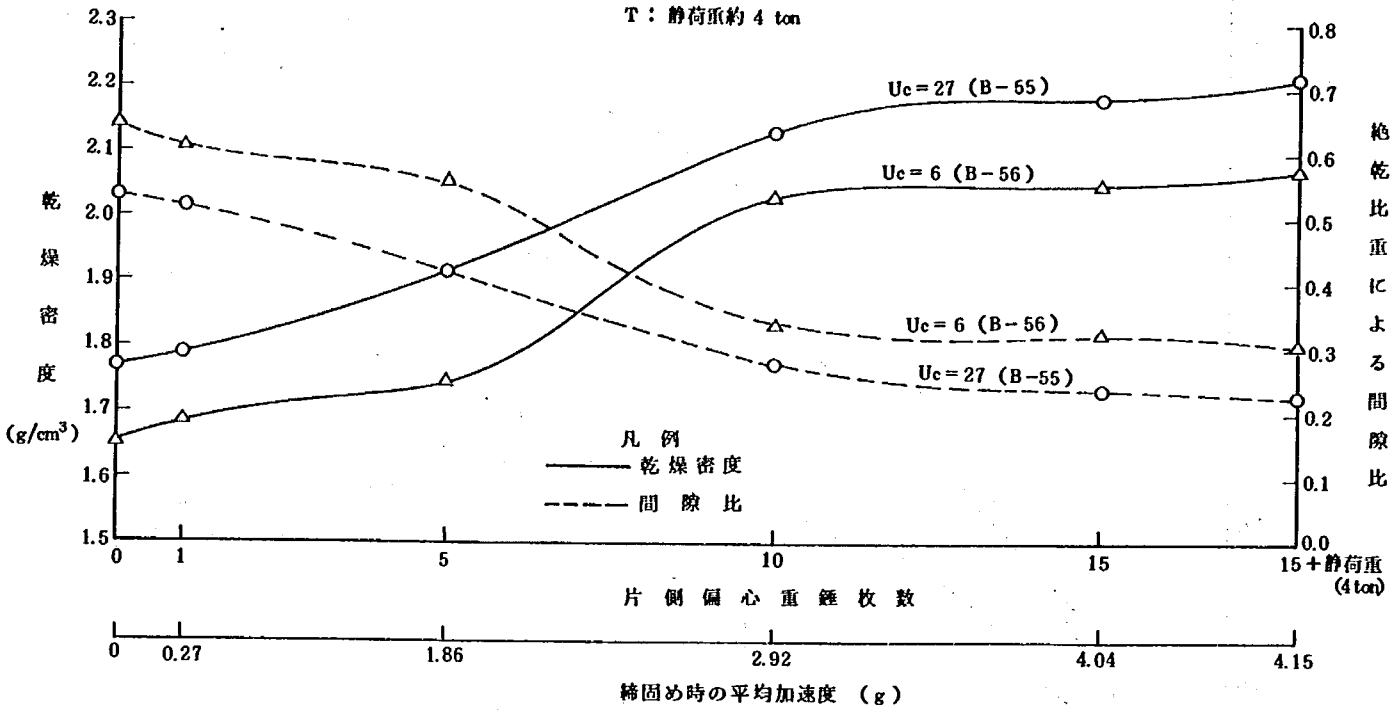
応力～ひずみ曲線を図－15から図－18に示す。全ケースとも最大主応力差に対応した軸ひずみ（$\varepsilon_f$）および体積ひずみ（$\varepsilon_v$）は側圧（$\sigma_3$）の増加に伴い増加する傾向を示している。

軸方向ひずみが15 %以内において明確な最大主応力差が現われているのは $U_c$ ＝ 27で，$\bar{e}_0$ ＝0.287 条件の試験結果だけである。

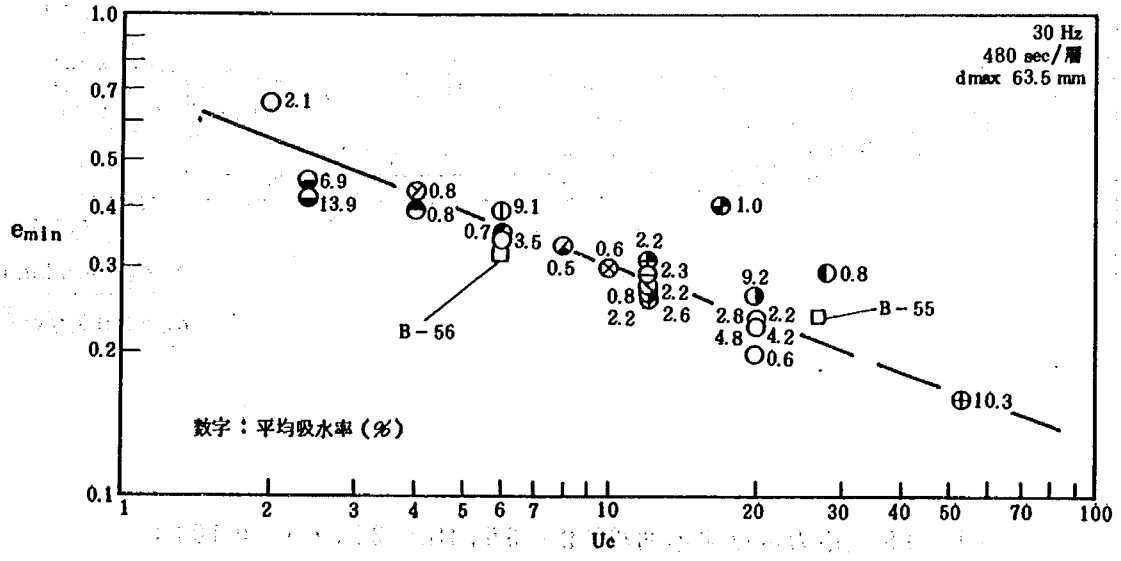
体積ひずみは主応力差の増加に伴って圧縮の傾向にあるが，圧縮から膨張の傾向に推移して行く場合には主応力差の最大値が現われており，供試体の初期密度が大きい方がその傾向が顕著である。

| 粒度 | 重錘 | γd (g/cm³) | e | 加速度 g | 破砕率 (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| Uc = 6 | 0 | 1.651 | 0.643 | 0 | − |
| | 1 | 1.686 | 0.609 | 0.28 | − |
| | 5 | 1.744 | 0.557 | 2.08 | 2.0 |
| | 10 | 2.031 | 0.336 | 2.86 | − |
| | 15 | 2.053 | 0.321 | 3.95 | 4.7 |
| | 15+T | 2.073 | 0.309 | | − |

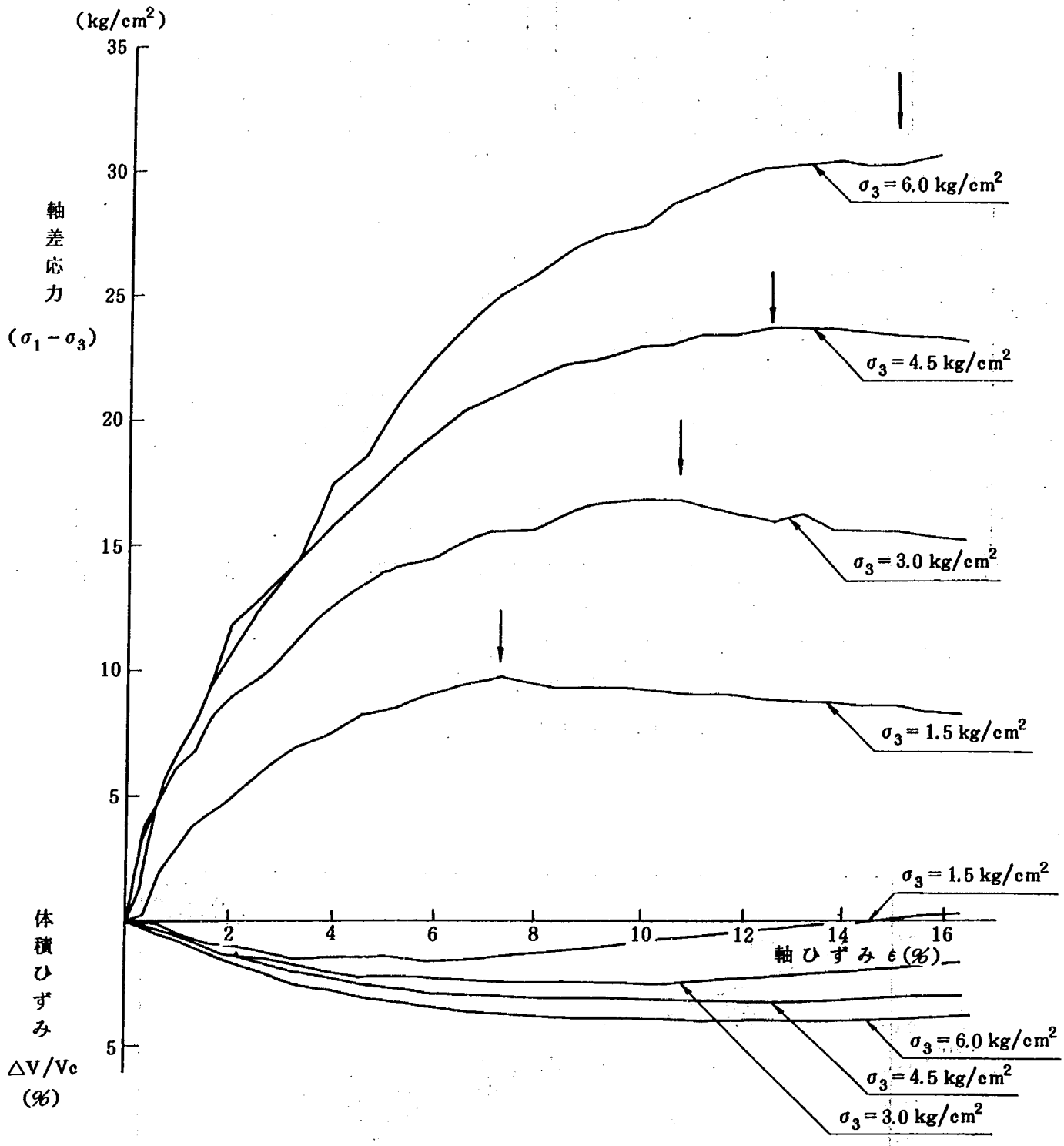
| 粒度 | 重錘 | γd (g/cm³) | e | 加速度 g | 破砕率 (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| Uc = 27 | 0 | 1.771 | 0.531 | 0 | − |
| | 1 | 1.790 | 0.515 | 0.26 | 1.9 |
| | 5 | 1.914 | 0.417 | 1.64 | 4.2 |
| | 10 | 2.132 | 0.272 | 2.98 | 3.2 |
| | 15 | 2.189 | 0.239 | 4.14 | 3.6 |
| | 15+T | 2.216 | 0.224 | | 5.3 |



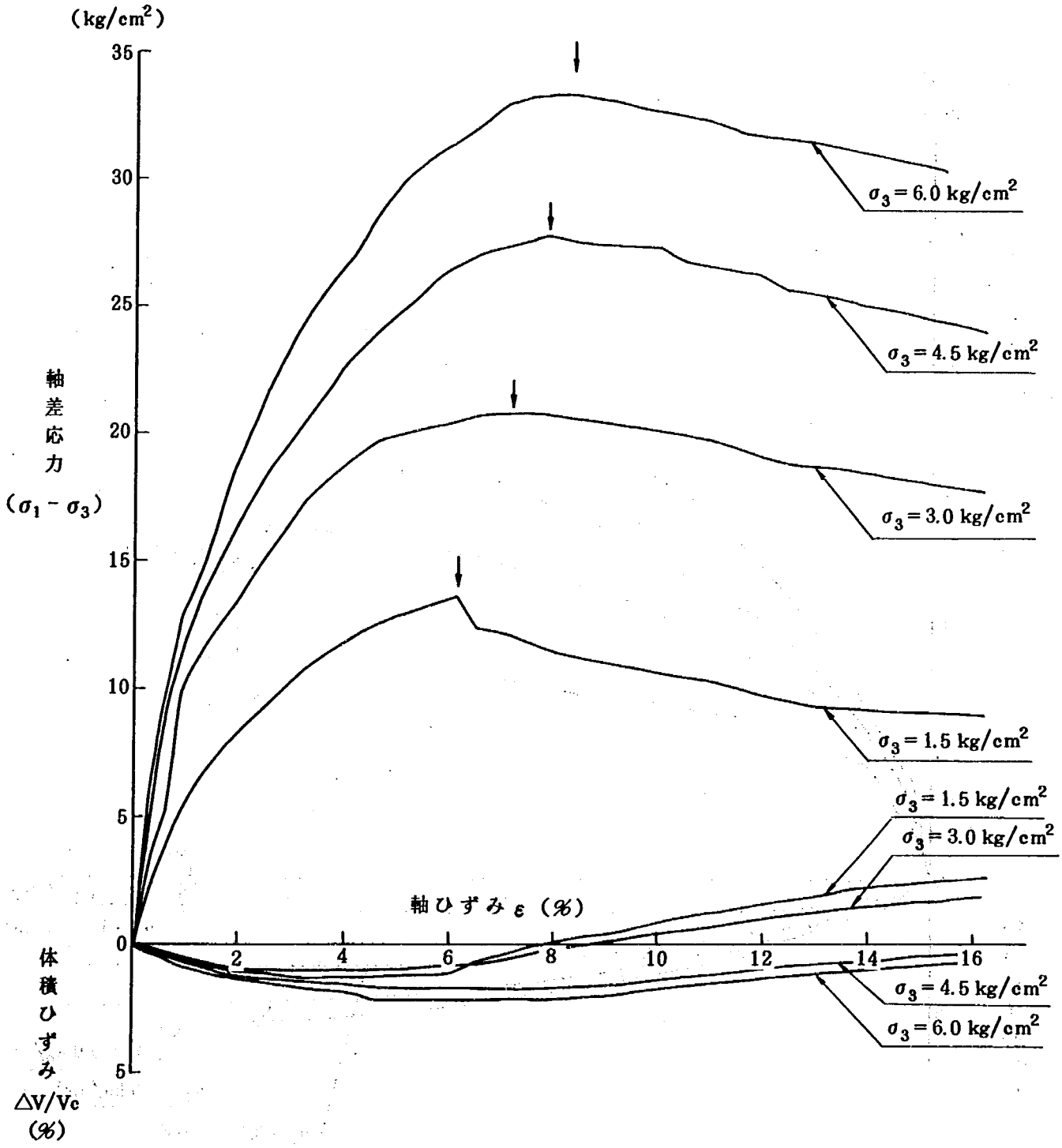

図－13　振動締固め試験結果



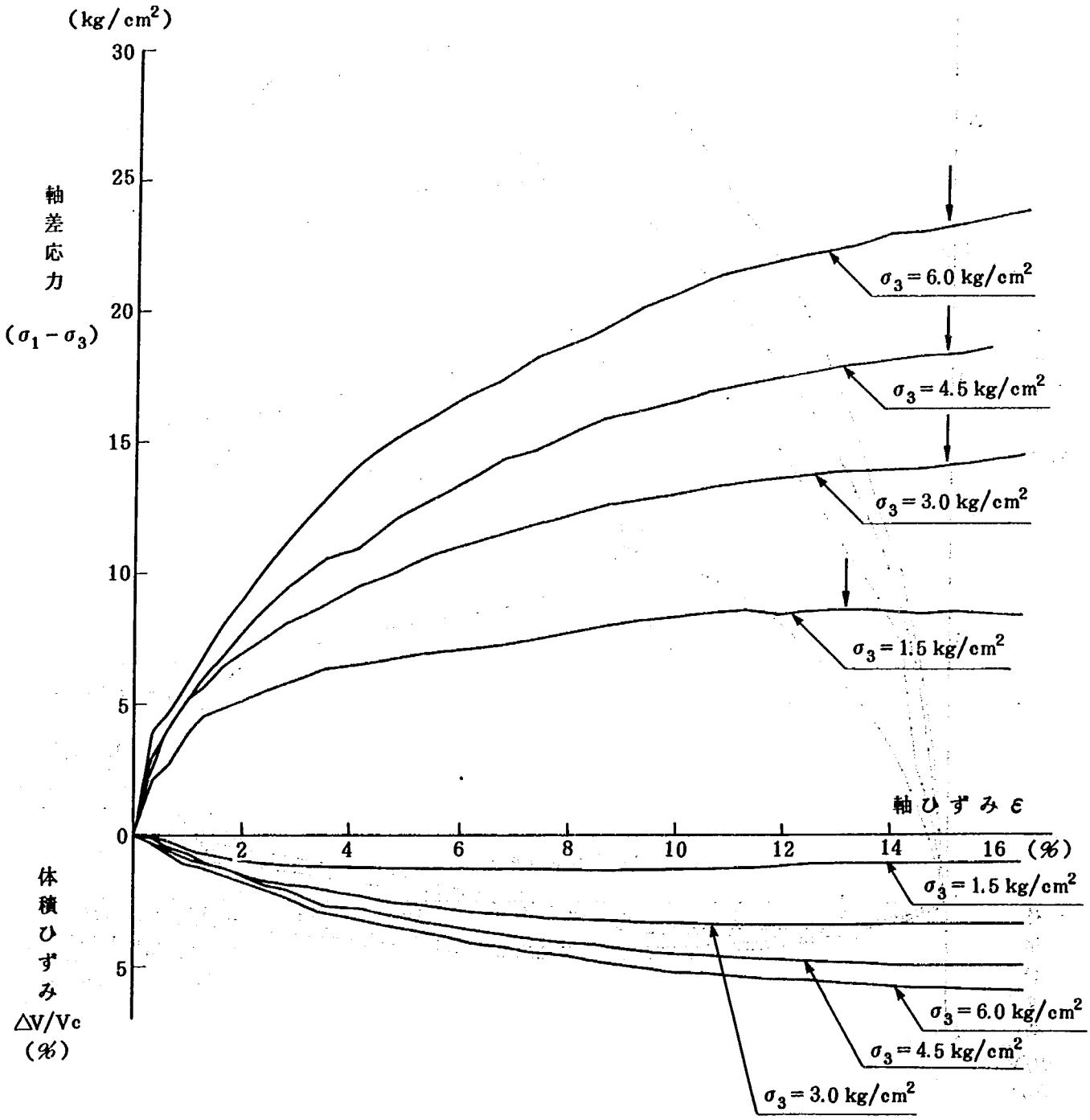

図－14　均等係数と最小間隙比



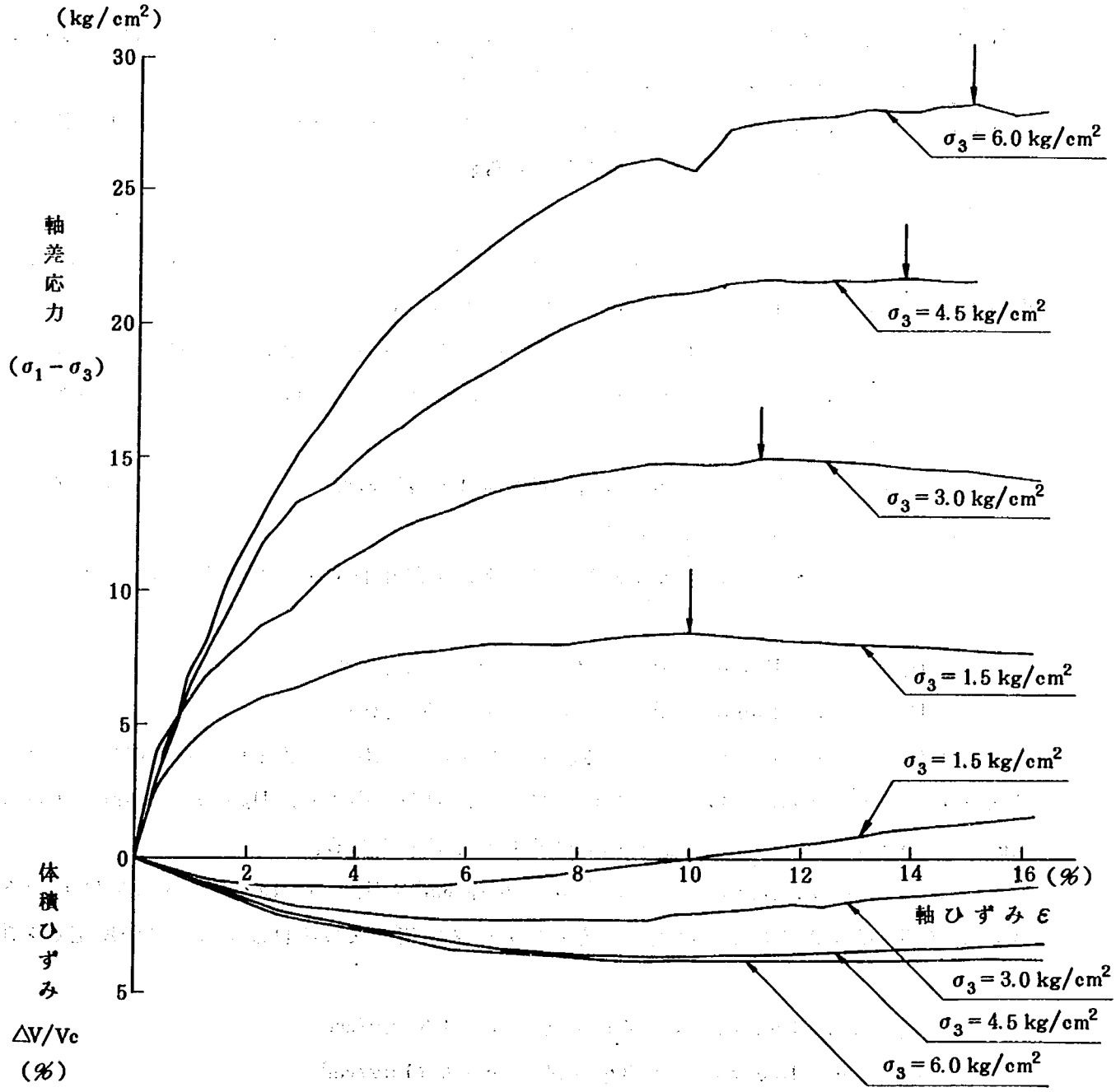

図－15　応力～ひずみ曲線（B－55，Uc＝27，$\bar{e}o$＝0.401）




図－16 応力～ひずみ曲線（B－55，Uc＝27，$\bar{e}o$＝0.287）




図－17　応力～ひずみ曲線（B－56，Uc＝6，$\bar{e}o$＝0.474）




図－18　応力～ひずみ曲線（B－56，Uc＝6，$\bar{e}o$＝0.373）

側圧と割線変形係数の関係を図－19に示す。割線変形係数は $(\sigma_1-\sigma_3)/\varepsilon$ によって求めた値である。$E_f$ は $(\sigma_1-\sigma_3)_f$ に，$E_{50}$ は $(\sigma_1-\sigma_3)_f/2$ に対応した軸方向ひずみ（$\varepsilon$）によって求めた値である。

$E_{50}$ および $E_f$ は同程度の相対密度では均等係数の大きな粒度組成の方が大きな値となっている。また，均等係数の大きな方が密度が割線変形係数に与える影響が大きい。

以上のことから，粒度組成の良い方が応力増分に伴う変位量が少ないが，変形性は密度状態に大きく影響されるロック材料であると考えられる。

(3) 強度定数

モールの応力円と破壊包絡線を図－20から図－23に示す。強度定数の値は側圧と最大主応力差の関係より最小自乗法によって求めたものである。

均等係数が6の粒度組成では供試体の初期密度が大きなものは小さいものに比べ粘着力成分（c）が小さくて内部摩擦角（$\phi$）が大きい。これは通常のロック材料にみられる傾向と一致したものである。

一方，均等係数が27の粒度組成の場合には供試体の初期密度が大きい方が粘着力成分が大きいが，内部摩擦角はほとんど変らない。

破壊包絡線は4組の側圧と最大主力差のデータから最小自乗法によって求めたものであるが，

$U_c=27$，Dense　$\bar{e}_0=0.287$，　$\sigma_3=6\ kg/cm^2$

$U_c=6$，Loose　$\bar{e}_0=0.474$，　$\sigma_3=3\ kg/cm^2$

の応力円が破壊包絡線からはずれている。図－24の試験側圧と最大主応力差の関係から判断すると $U_c=27$，Dense，$\sigma_3=6\ kg/cm^2$ の最大主応力差が小さく，$U_c=6$，Loose，$\sigma_3=3\ kg/cm^2$ の最大主応力差が大きく現われているものと考えられる。

ここで，$U_c=27$，Dense の場合には $\sigma_3=6\ kg/cm^2$ を $U_c=6$，Loose の場合には $\sigma_3=3\ kg/cm^2$ を除いた3組の側圧と最大主応力差のデータを用いて最小自乗法により強度定数を求めると，

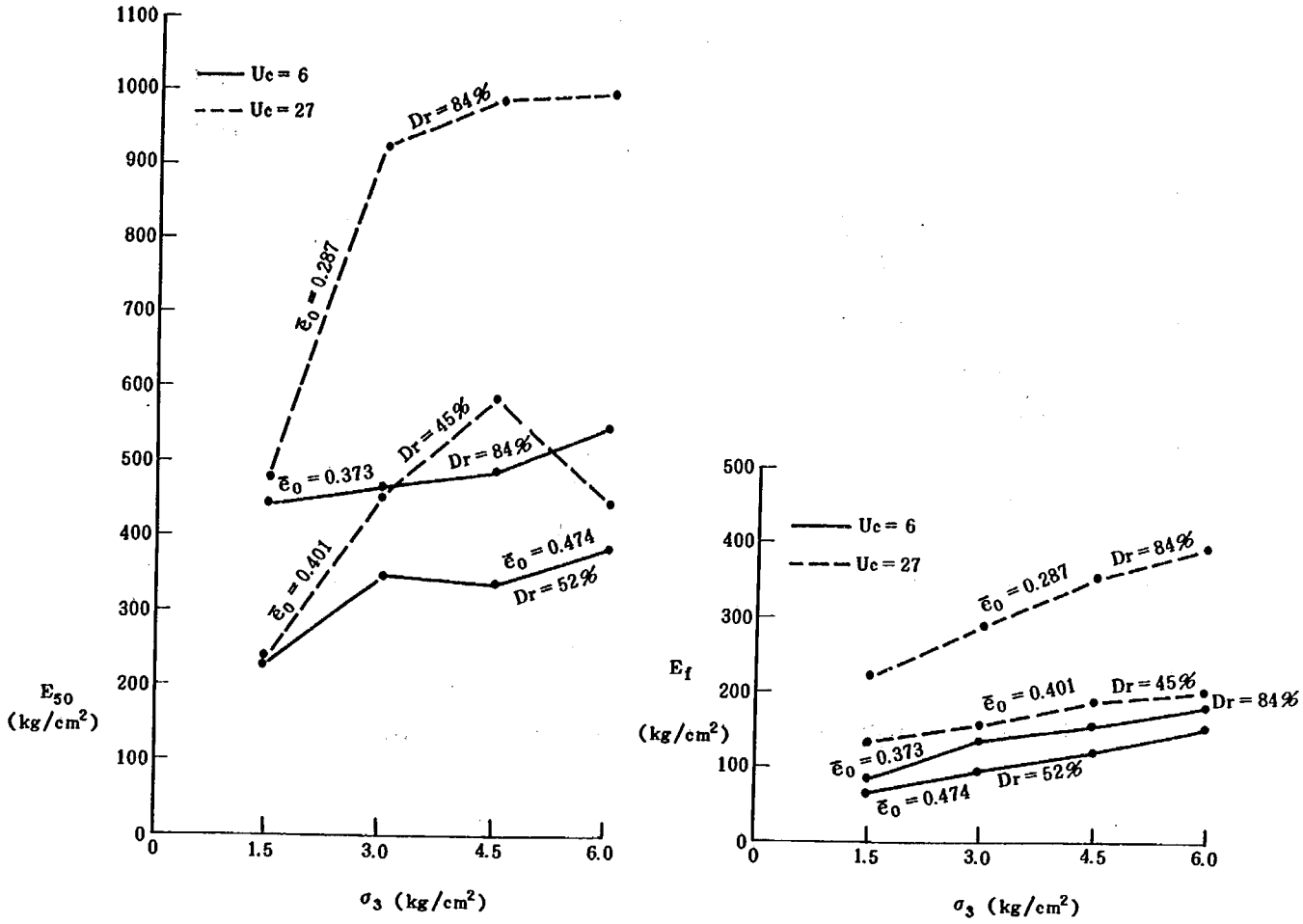
$U_c=27$，Dense，　$\phi=44.46$度，　$c=1.39\ kg/cm^2$

$U_c=6$，Loose，　$\phi=38.24$度，　$c=0.91\ kg/cm^2$

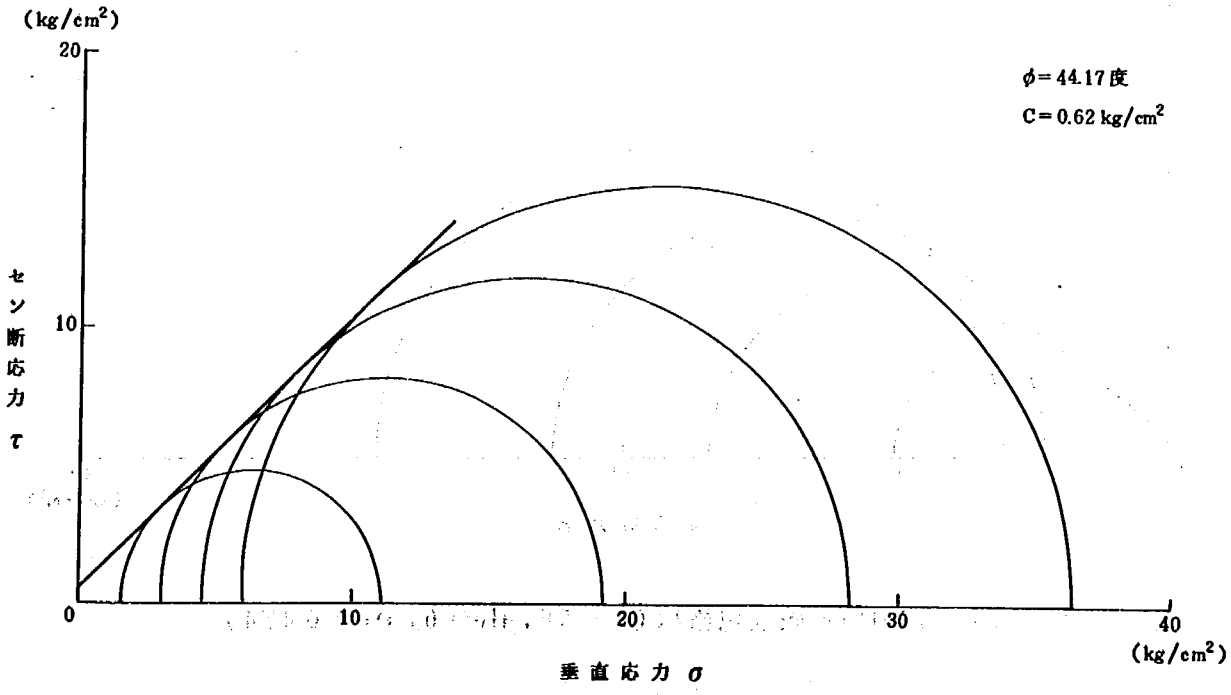
の値を得る。上記の値を含めて試験結果をとりまとめたものを表－12に示す。

初期間隙比と強度定数の関係を図－25に示す。一般にロック材料の内部摩擦角は密度が大きい方が小さいものより大きく現われることが知られている。しかし，均等係数が27の試験結果は密度の大きい方が小さいものより粘着力成分が大きく現われており，内部摩擦角がほとんど同じである。

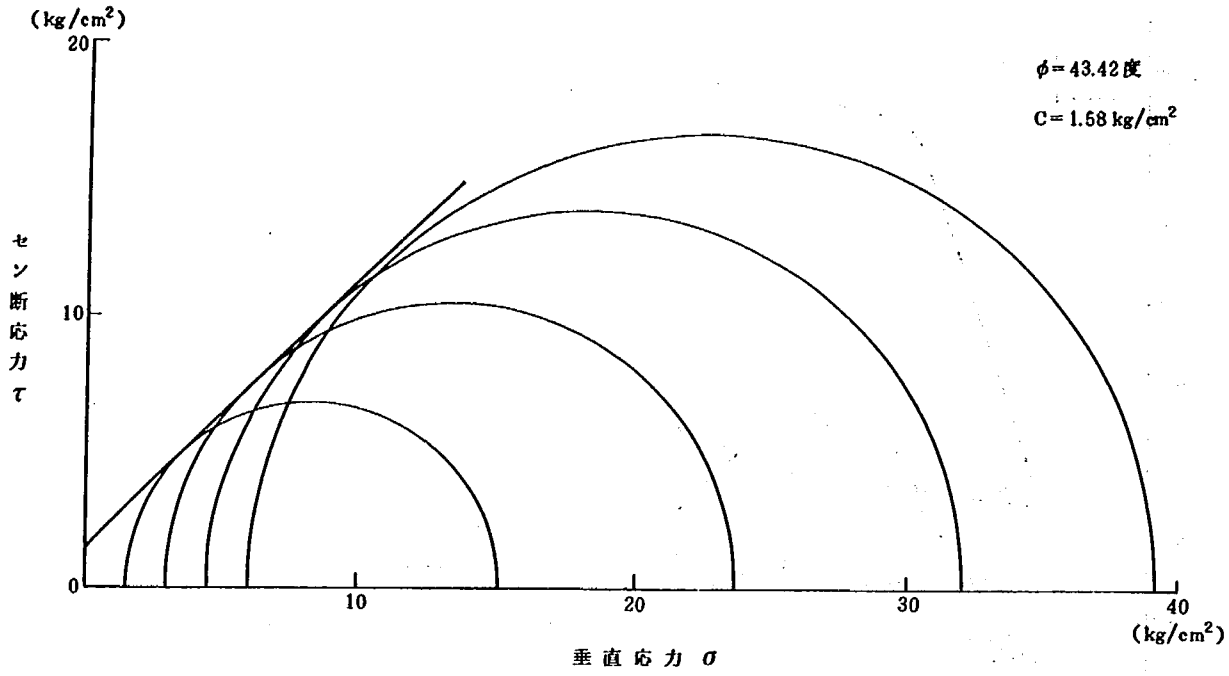
図－25の回印は昭和54年度に北部ダム事務所が行った大型三軸圧縮試験（供試体直径30cm，試験最大粒径63.5mm）の結果である。供試体の作成は，15kg のランマーで45cm の落下高を与えて5層に突固めたものである。供試体の作成時には8.8～12.6％の粒子破砕が生



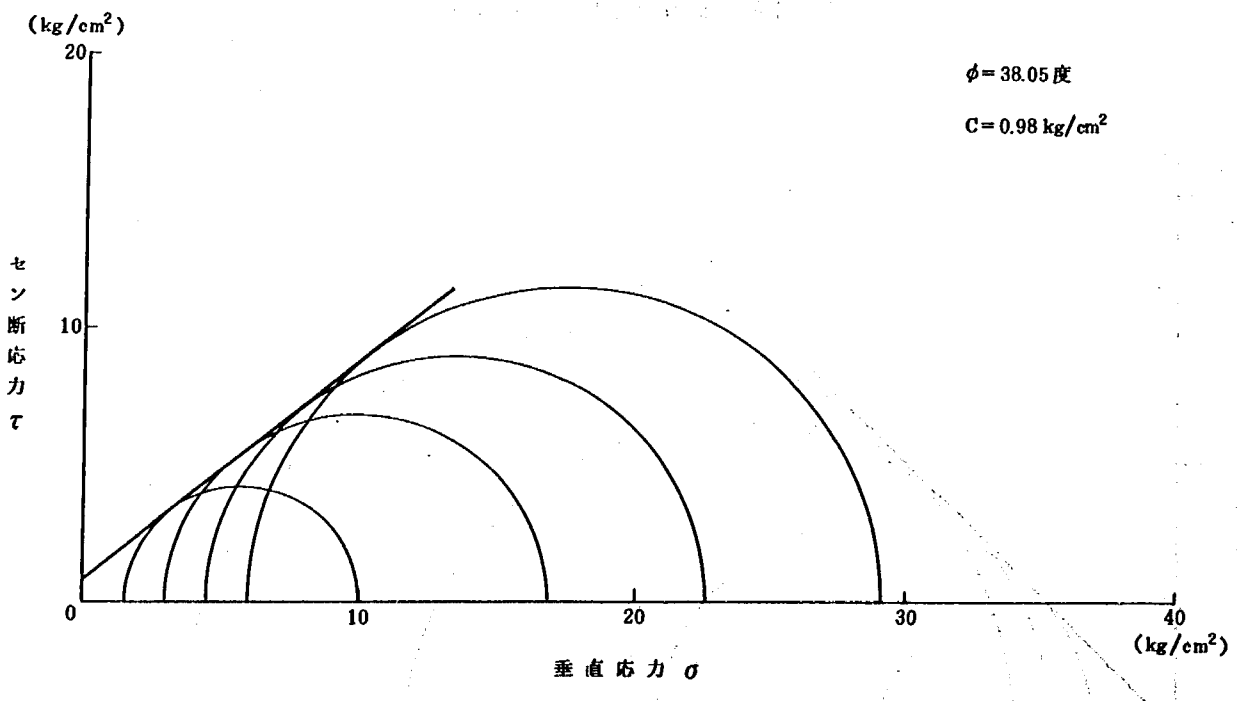

図－19　側圧と割線変形係数



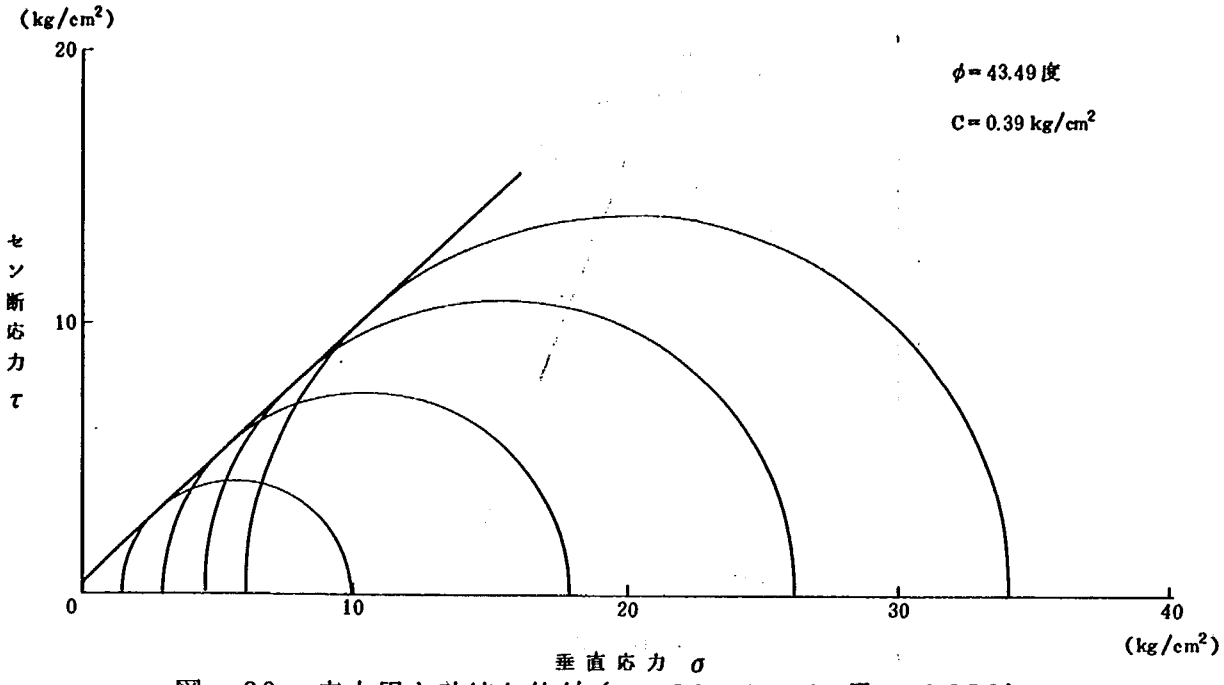

図－20　応力円と破壊包絡線（B－55，Uc＝27，$\bar{e}_0$＝0.401）



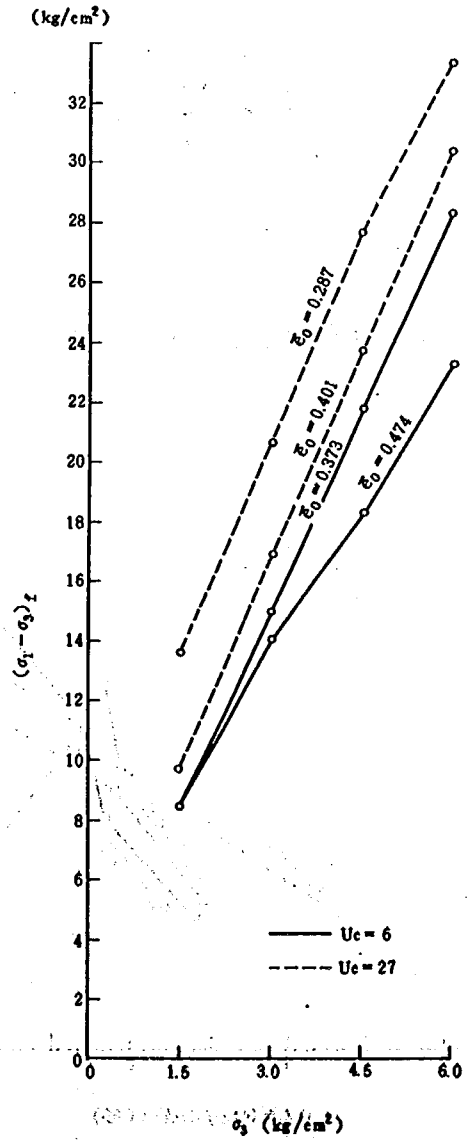

図－21　応力円と破壊包絡線（B－55，Uc＝27，$\bar{e}o$＝0.287）



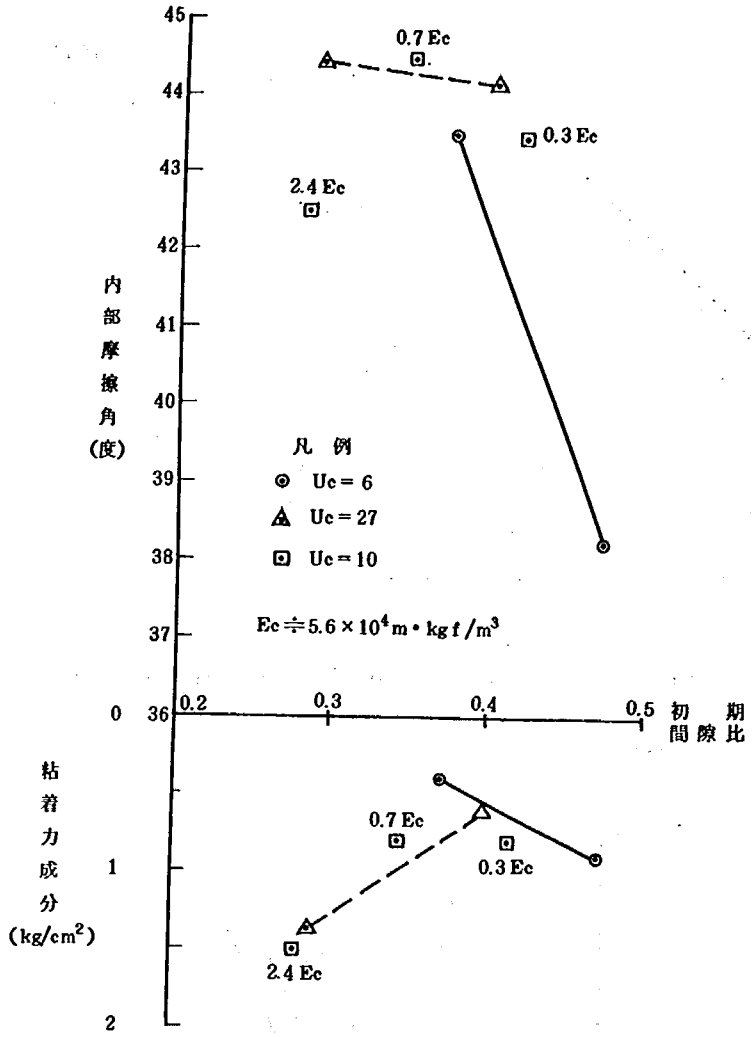

図－22　応力円と破壊包絡線（B－56，Uc＝6，$\bar{e}o$＝0.474）



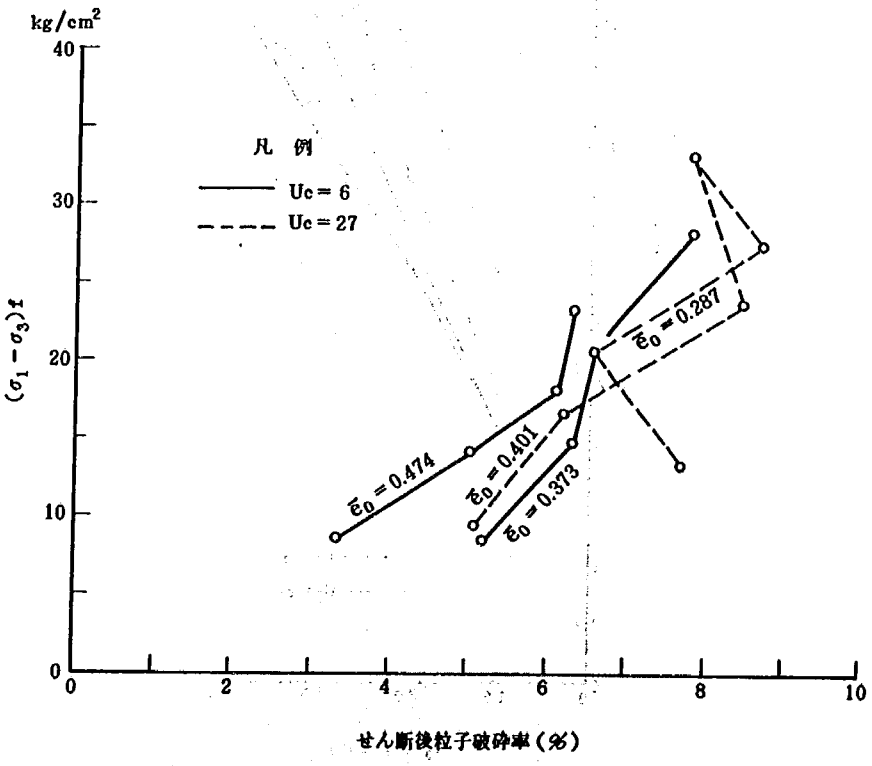

図－23　応力円と破壊包絡線（B－56，Uc＝6，$\bar{e}_o$＝0.373）




図－24　試験側圧と最大主応力差




図－25　初期間隙比と強度定数




図－26　粒子破砕率と最大主応力差

表－12. 大型三軸圧縮試験の結果一覧表

| ケース名 | 均等係数 $U_c$ 平均比重 Gb 平均吸水率 Q (%) | 側圧 $\sigma_3$ (kg/cm²) | 初期乾燥密度 $\gamma d$ (g/cm³) | 間隙比の変化 初期 $e_0$ | 圧密後 $e_c$ | 破壊時 $e_f$ | 破壊時 $(\sigma_1-\sigma_3)_f$ (kg/cm²) | $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ | $\sigma_{1f}$ (kg/cm²) | $\varepsilon_f$ (%) | $(\Delta V/V_c)_f$ (%) | $E_{50}$ (kg/cm²) | $E_f$ (kg/cm²) | 粒子破砕率 B (%) | 強度定数 $\phi$ (度) | C (kg/cm²) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LOOSE (B－55) | $U_c=27$ Gb=2.712 Q=0.83 | 1.5 | 1.937 | 0.400 | 0.358 | 0.338 | 9.69 | 7.46 | 11.19 | 7.30 | 1.48 | 235 | 133 | 5.1 | 44.17 | 0.62 |
| | | 3.0 | 1.935 | 0.402 | 0.335 | 0.302 | 16.83 | 6.61 | 19.83 | 10.71 | 2.47 | 450 | 157 | 6.2 | | |
| | | 4.5 | 1.937 | 0.400 | 0.331 | 0.289 | 23.72 | 6.27 | 28.22 | 12.46 | 3.17 | 584 | 190 | 8.5 | | |
| | | 6.0 | 1.935 | 0.402 | 0.314 | 0.262 | 30.37 | 6.06 | 36.37 | 15.00 | 3.92 | 444 | 202 | 8.1 | | |
| DENSE (B－55) | | 1.5 | 2.109 | 0.286 | 0.217 | 0.203 | 13.59 | 10.06 | 15.09 | 6.16 | 1.18 | 478 | 221 | 7.7 | 43.42 (44.46) | 1.58 (1.39)*1 |
| | | 3.0 | 2.115 | 0.282 | 0.243 | 0.238 | 20.75 | 7.91 | 23.75 | 7.13 | 0.44 | 926 | 291 | 6.6 | | |
| | | 4.5 | 2.106 | 0.288 | 0.210 | 0.189 | 27.62 | 7.14 | 32.12 | 7.83 | 1.77 | 986 | 353 | 8.6 | | |
| | | 6.0 | 2.100 | 0.291 | 0.229 | 0.204 | 33.29 | 6.55 | 39.29 | 8.41 | 2.01 | 996 | 396 | 7.8 | | |
| LOOSE (B－56) | $U_c=6$ Gb=2.713 Q=0.88 | 1.5 | 1.845 | 0.470 | 0.424 | 0.410 | 8.63 | 6.75 | 10.13 | 13.17 | 0.97 | 224 | 65 | 3.3 | 38.05 (38.24) | 0.98 (0.91)*2 |
| | | 3.0 | 1.839 | 0.475 | 0.404 | 0.356 | 14.04 | 5.68 | 17.04 | 15.00 | 3.40 | 344 | 94 | 4.0 | | |
| | | 4.5 | 1.836 | 0.478 | 0.394 | 0.325 | 18.31 | 5.07 | 22.81 | 15.00 | 4.97 | 336 | 122 | 6.1 | | |
| | | 6.0 | 1.840 | 0.474 | 0.389 | 0.366 | 23.27 | 4.88 | 29.27 | 15.00 | 5.83 | 385 | 155 | 6.3 | | |
| DENSE (B－56) | | 1.5 | 1.975 | 0.374 | 0.340 | 0.341 | 8.47 | 6.65 | 9.97 | 9.89 | −0.10 | 441 | 86 | 5.2 | 43.49 | 0.39 |
| | | 3.0 | 1.976 | 0.373 | 0.323 | 0.299 | 14.96 | 5.99 | 17.96 | 11.21 | 1.84 | 464 | 133 | 6.3 | | |
| | | 4.5 | 1.976 | 0.373 | 0.306 | 0.261 | 21.78 | 5.84 | 26.28 | 13.84 | 3.45 | 486 | 157 | 6.7 | | |
| | | 6.0 | 1.976 | 0.373 | 0.300 | 0.251 | 28.27 | 5.71 | 34.27 | 15.00 | 3.75 | 545 | 188 | 7.8 | | |

註：(　)内の強度定数について。*1の値は $\sigma_3$=1.5, 3.0, 4.5 kg/cm² のデータで求めたもの。*2の値は $\sigma_3$=1.5, 4.5, 6.0 kg/cm² のデータで求めたもの。

じている。

(4) 粒子破砕

粒子破砕率と最大主応力差の関係を図－26に示す。粒子破砕率はせん断後の値であり，最大主応力差が大きい方が小さなものより粒子破砕が多く生じているが3.3～8.7%と通常のロック材料に見られる値である。

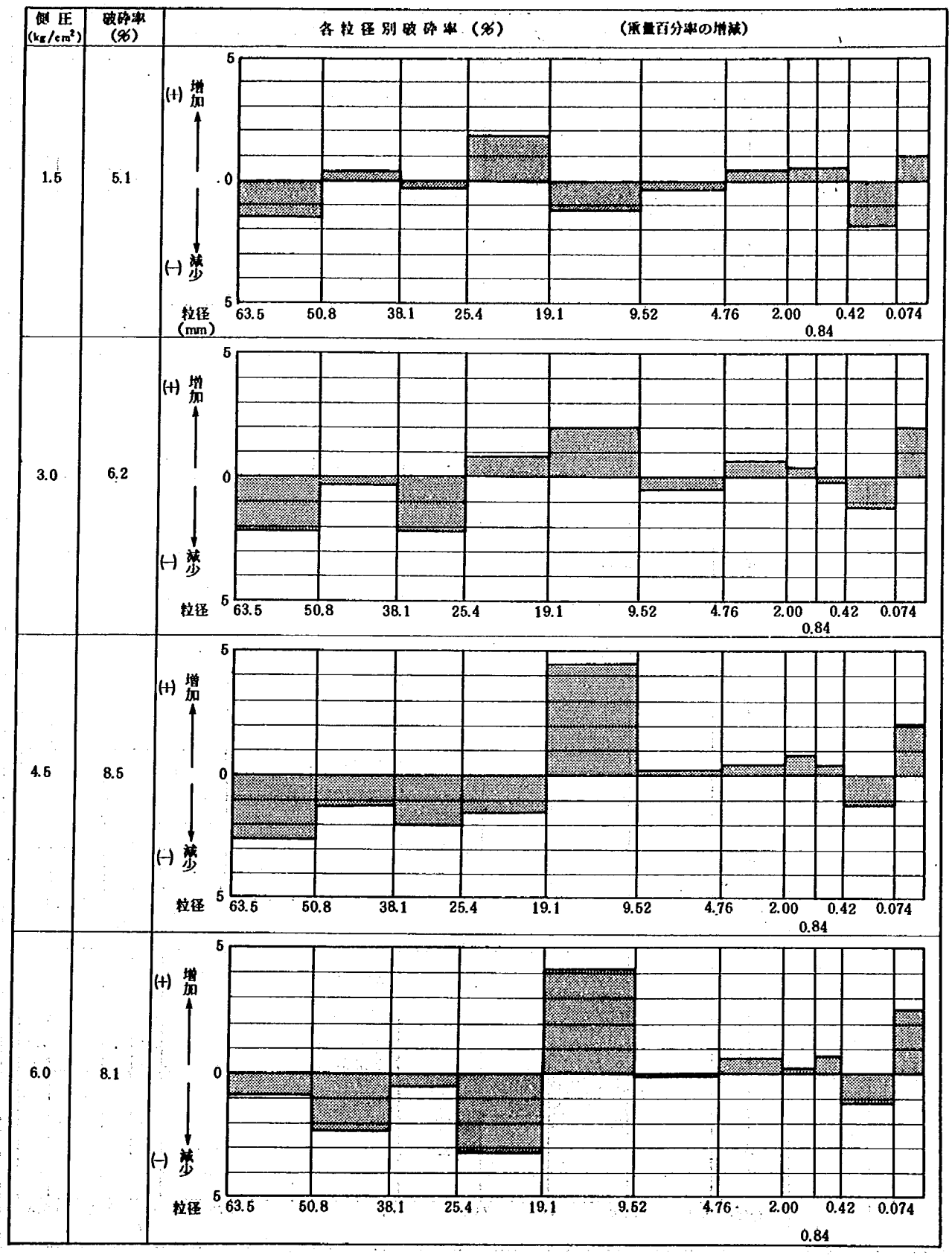
粒径別の粒子破砕率を図－27～30に示す。破砕を生じて初期の重量百分率が減少している粒径は $U_c=27$ の粒度分布で19.1㎜以上の粒径（60%粒径以上），$U_c=6$ の粒径分布で4.76㎜以上の粒径（30%粒径以上）であり，粒度組成の悪い場合には広い粒径範囲で粒子の破砕が生じるものと考えられる。

北部ダム事務所が昭和54年度に行った大型三軸圧縮試験時（試験側圧が1.5，3，4.5，6kg/cm²）に測定した粒子破砕率を表－13に示す。

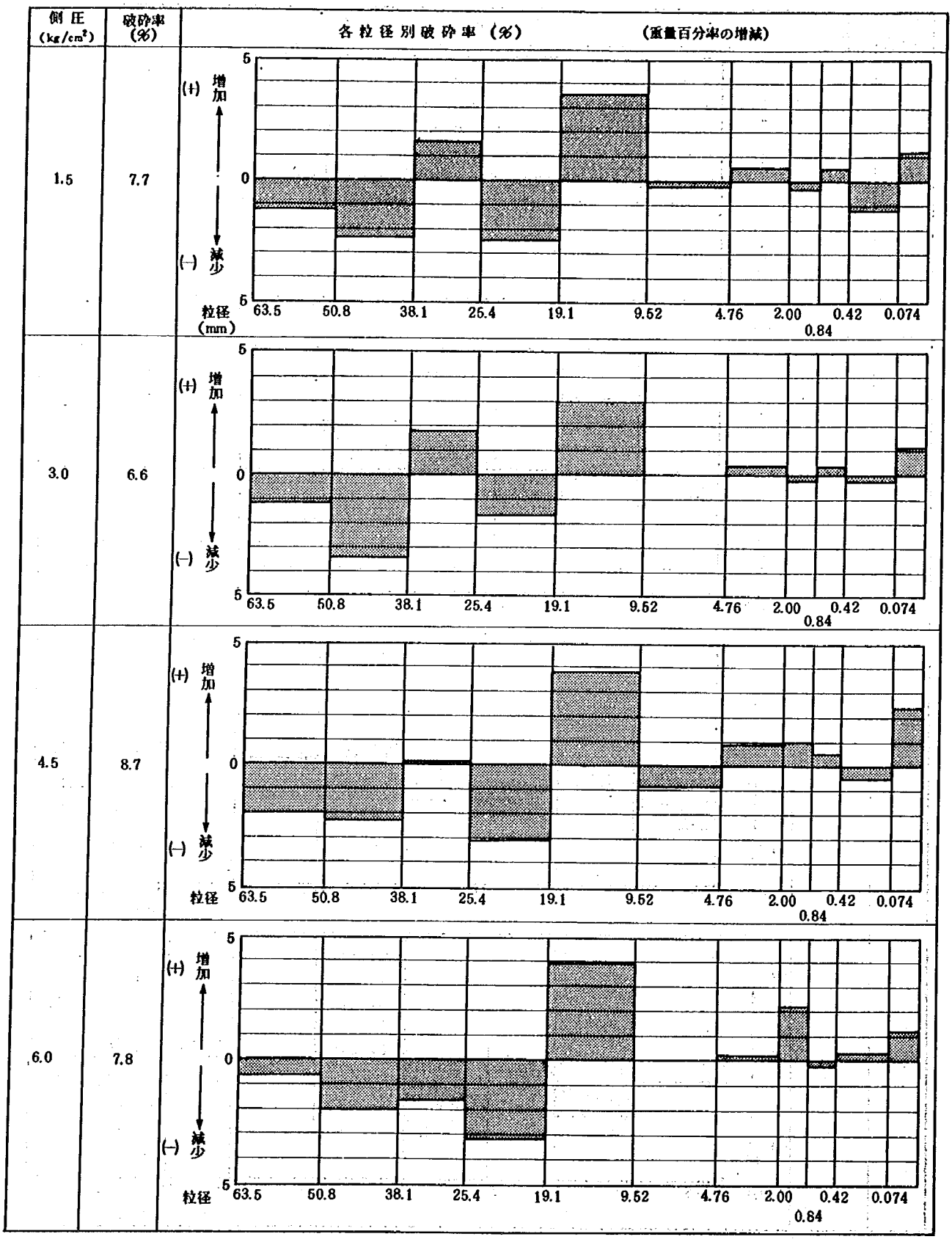
表－13. せん断後の粒子破砕率

| 供試体作成時の突固めエネルギー | 初期供試体密度（$\gamma_d$） | 初期供試体間隙比（$\bar{e}_0$） | 粒子破砕率（%） |
|---|---|---|---|
| 0.3 $E_c$ | 1.9 t/m³ | 0.416 | 8.8～12.3 |
| 0.7 $E_c$ | 2.0 t/m³ | 0.345 | 13.1～14.8 |
| 2.4 $E_c$ | 2.1 t/m³ | 0.281 | 15.8～19.6 |

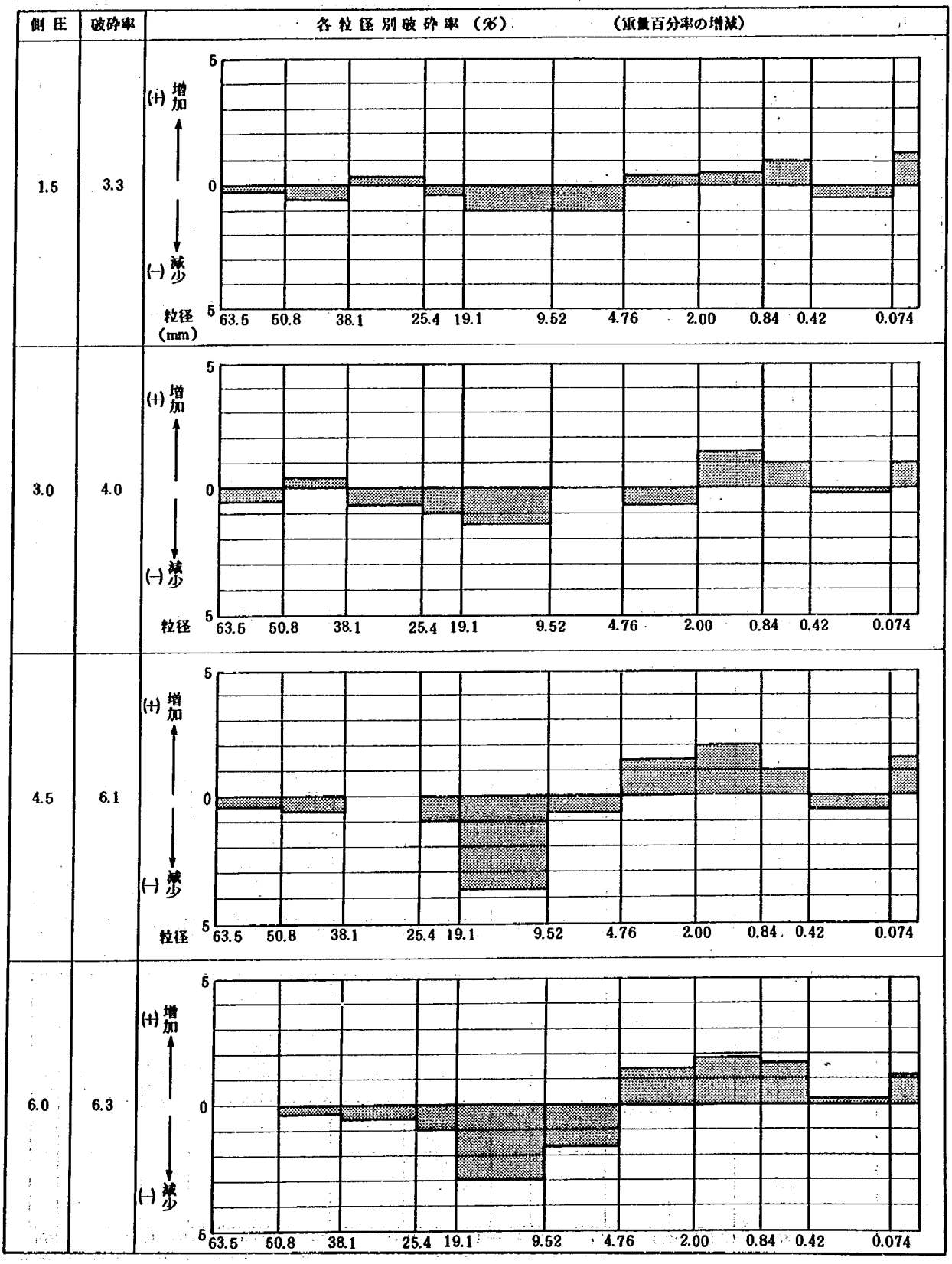
本試験と比較して大きな破砕率となっている。これは，ランマーによる締固め時に生じた破砕率が含まれていることによるものと考えられる。



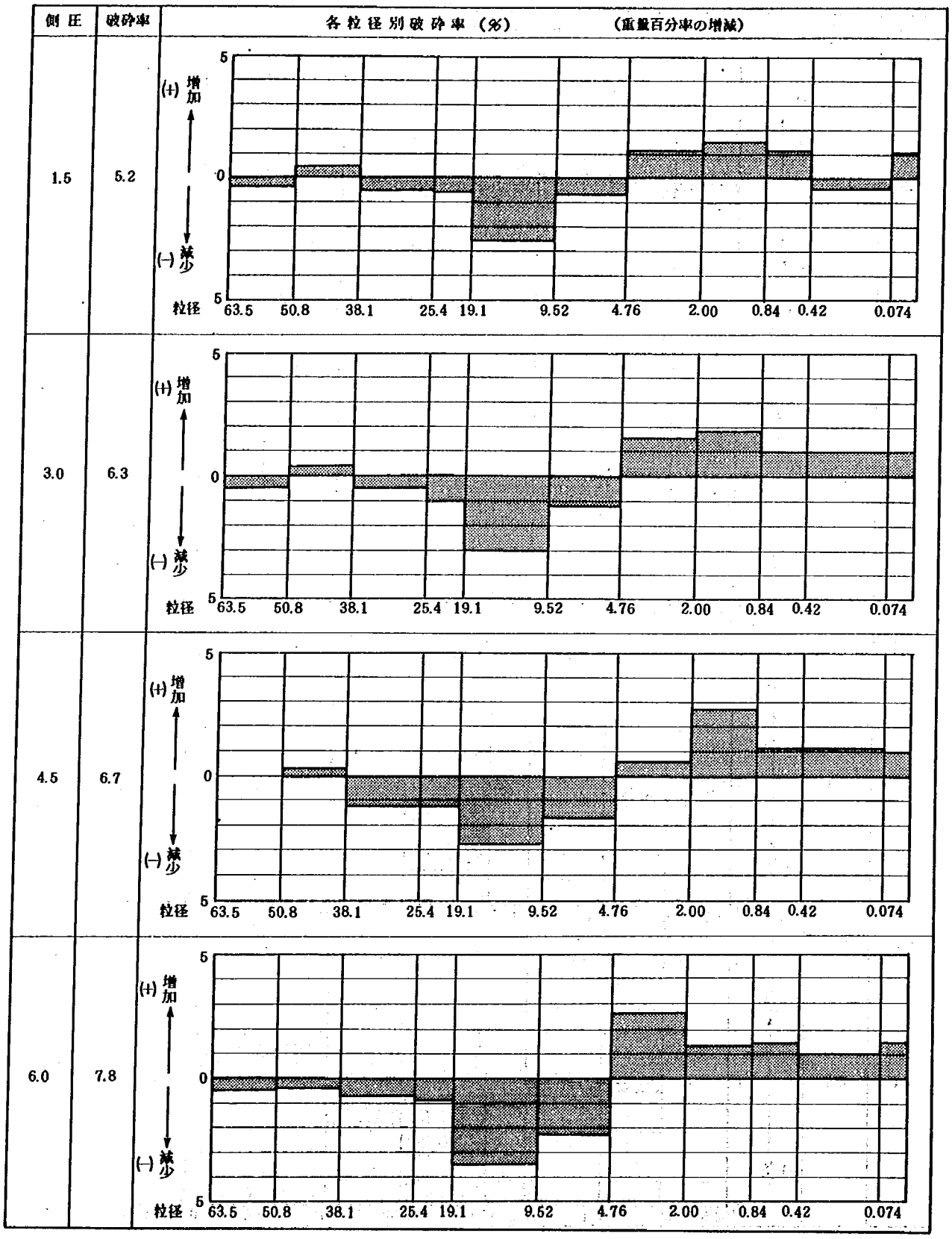

図－27 粒径別の粒子破砕率（B－55，Uc＝27，$\bar{e}o$＝0.401）




図－28 粒径別の粒子破砕率（B－55，Uc＝27，$\bar{e}_0$＝0.287）




図－29 粒径別の粒子破砕率（B－56，Uc＝6，$\bar{e}o$＝0.474）




図－30　粒径別の粒子破砕率（B－56，Uc＝6，$\bar{e}_o$＝0.373）

## 5. 考　　察

(1) ロック材料の比重は，真比重（Gg）で2.74～2.78，絶乾比重（Gb）で2.65～2.72の範囲にある。また，吸水率は0.33～1.24％の範囲にある。比重および吸水率の点では比重が大きく吸水率が小さいことから通常のロック材料として問題はない。

(2) 粒子強度については，北部ダム事務所で行った一軸圧縮試験の結果（1,120～1,530 kg/cm²）と本試験で得られた点載荷圧裂強度（ほぼ100kg/cm²以上）の値から判断して堅硬なロック材料であるといえる。

(3) 締固まり特性および最小間隙比の値は通常のロック材料の粒度状態（$U_c=27$ および $U_c=6$）でみられる値と大きな相違が認められない。しかし，粒子形状が通常のロック材料に比較して偏平であることから，材料の巻き出し厚さおよび転圧機種，転圧回数による締固まり特性を転圧試験によって求めておくことが望ましい。

(4) 変形性については，粒度組成の良い方が$E_{50}$および$E_f$の割線変形係数が大きいため盛立て後の変形量は少さいと考えられるが，密度が変形性に与える影響が大きなロック材料である。

(5) 粒度組成および密度の変化が内部摩擦に与える影響については，通常のロック材料にみられるような明瞭な傾向が得られなかった。主な要因は，粒子形状が極めて偏平であることによるものと考えられる。試験結果から判断すると，粒度組成の良い場合には密度変化による影響が少なく安定した内部摩擦角が期待できるものと考えられる。

(6) 設計参考値の検討を行うと以下の値を得る。

設計参考値の検討は以下の手順で行うことにする。

① 設計密度は締固め試験で定義した相対密度が85％の値とする。

② 内部摩擦角の値は大型三軸圧縮試験で求められた圧密後間隙比と内部摩擦角のデータより求める。

③ 設計密度と内部摩擦角の間にはほぼ(4)式の最上式の関係があることを想定する。

$$\sin\phi = \frac{3 \cdot k_t}{2(1+e)+k_t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

e：間隙比，　　$k_t$：三軸圧縮試験より求まる定数

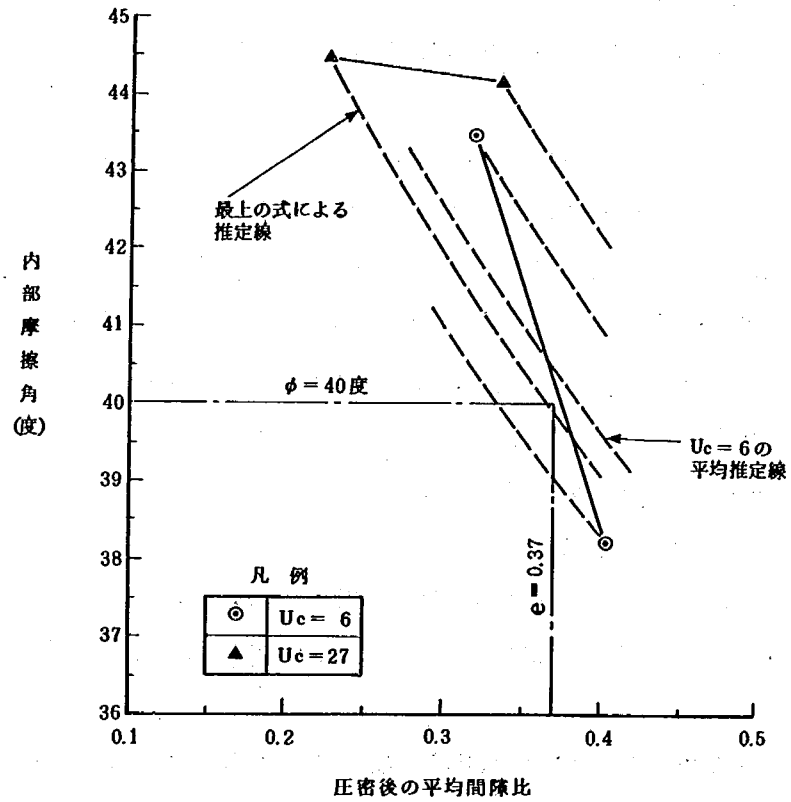
④ 内部摩擦角の過大評価を避けるため本試験より得られた下限値の内部摩擦角の値を重視して設計内部摩擦角を求める。

現場での施工可能密度は一般に均等係数の大きなものより小さな粒度組成の方が小さいことから，施工可能な設計密度は均等係数が6の締固め試験データから求める。締固め試験結果は$e_{max}=0.643$，$e_{min}=0.321$であるから$D_r=85$％の間隙比を求めると0.37となる。

以上から設計参考値の提案を表－14に示す。また，内部摩擦角の試験値と参考値の関係を図－31に示す。

表－14.　設　計　参　考　値

| ゾーン | 岩　種 | 絶乾比重 Gb | 真比重 Gg | 乾燥密度 ($\gamma_d$) | 飽和重量 ($\gamma_{sat}$) | 水中重量 ($\gamma_{sub}$) | $\phi$ (度) | C kg/cm² |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ロック | 粘板岩 | 2.71 | 2.75 | 1.98 t/m³ | 2.26 t/m³ | 1.26 t/m³ | 40 | 0 |



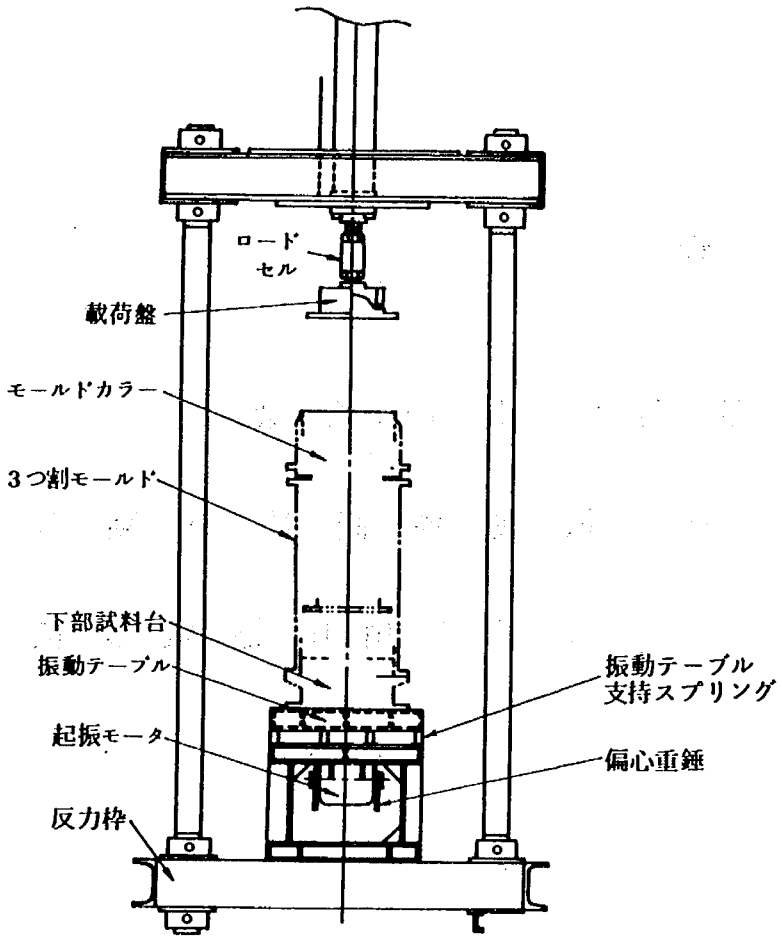

図－31　試験値と設計参考値の関係

# 付　　録

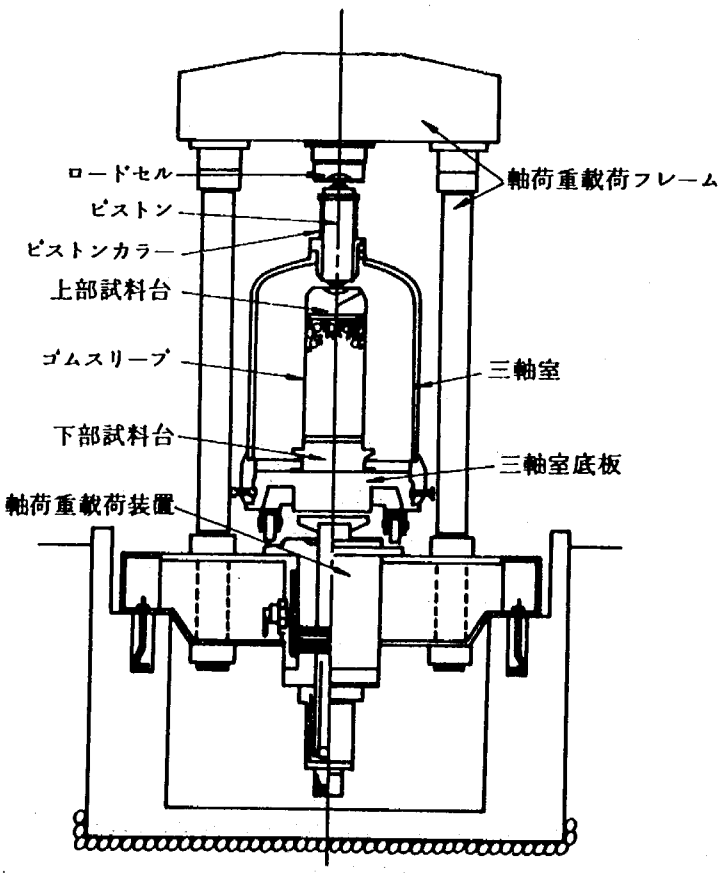
## 試験装置の概要

(1)　振動締固め試験機

(2)　大型三軸圧縮試験機




図－1　振動締固め試験機




図－2　大型三軸圧縮試験機

# 辺野喜ダム，ロック材料試験報告

ＩＳＳＮ０３８６－５８７８
土木研究所資料第１７８７号
昭和５７年３月　（１９８２）
松本徳久，渡辺和夫，小川優

キーワード　ロック材料，大型三軸圧縮試験

**要　旨**

辺野喜ダムのロック材料である粘板岩について物理試験および大型三軸圧縮試験を行った結果を報告し，ロックゾーンの設計値を考察したものである。

郵便はがき

四十円切手をはって下さい

3 0 5 －□□

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

フィルダム研究室　御中

No.

No.

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第1787号　　部

上記のとおり受領しました。

所　属（住所）

氏　名　　印