

# 土 木 研 究 所 資 料

フィルダム材料の性質に関する試験(寒河江ダム)

昭和54年 3 月

建設省土木研究所  
ダム部フィルダム研究室

# フィルダム材料の性質に関する試験（寒河江ダム）

建設省土木研究所フィルダム研究室

北 条 紘 次  
播 田 一 雄  
北 村 康 雄

## 目 次

|                     |    |
|---------------------|----|
| 1. ま え が き .....    | 1  |
| 2. 目 的 .....        | 5  |
| 3. 試験方法 .....       | 6  |
| 3.1 試験項目 .....      | 6  |
| 3.2 試験装置 .....      | 8  |
| 3.3 ロック材料 .....     | 8  |
| 3.4 崖 錐 .....       | 11 |
| 4. 試験結果 .....       | 13 |
| 4.1 ロック材料 .....     | 13 |
| 4.2 崖 錐 .....       | 48 |
| 5. 考察および今後の課題 ..... | 50 |
| 5.1 玄武岩 .....       | 50 |
| 5.2 花崗閃緑岩 .....     | 50 |
| 5.3 崖 錐 .....       | 51 |
| 5.4 設計値の検討 .....    | 51 |

## 1. ま え が き

本報告は、東北地方建設局寒河江ダム工事々務所の依頼により、昭和52年度、53年度の2年間にわたって、寒河江ダム堤体予定材料であるロック材料（閃緑岩，玄武岩）およびロックゾーン基礎の崖錐について、材料試験を行った結果を報告するものである。

これらの試験は、本来堤体材料としての適否を判定し使用可能な材料については設計値および施工管理目標値を決定することを最終目的とするが、現地調査の進捗状況を勘案して、搬入された材料に対する適否の判定とこれらの材料が現場の代表材料であると仮定して設計参考値を示し、設計値を求めるための今後の調査課題について考察を加えた。

寒河江ダムは山形県最上川の支川である寒河江川流域に多目的ダムとして建設を予定している、ダム高115m、総貯水容量約1.1億 $m^3$ の大規模なロックフィルダムである。ダムサイトの流域図、ダム平面図、断面図、およびダム諸元を図-1.1～1.3および表-1.1に示す。

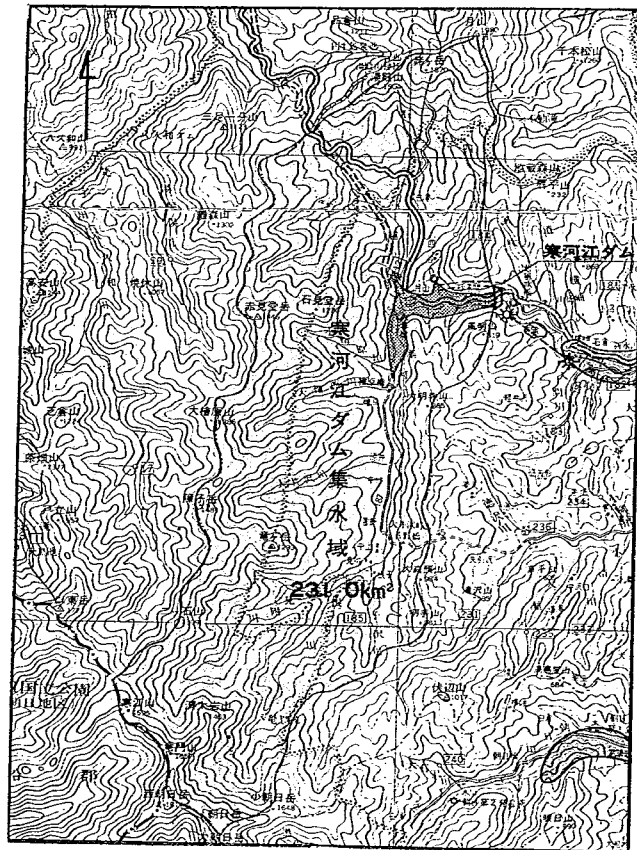


図1-1 ダム流域図

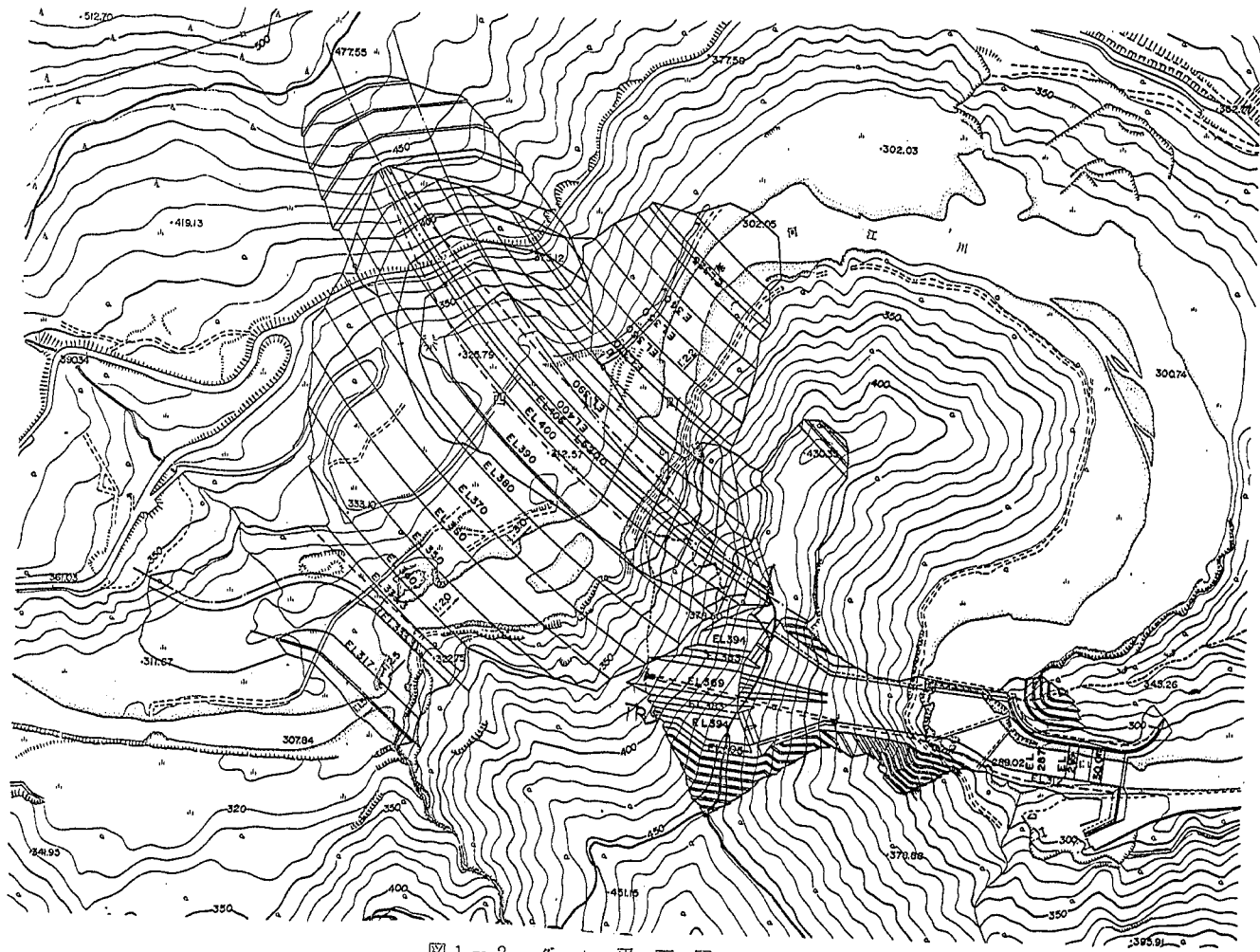


图 1-2 夕ム平面图

堤体断面図  $S = 1:2000$

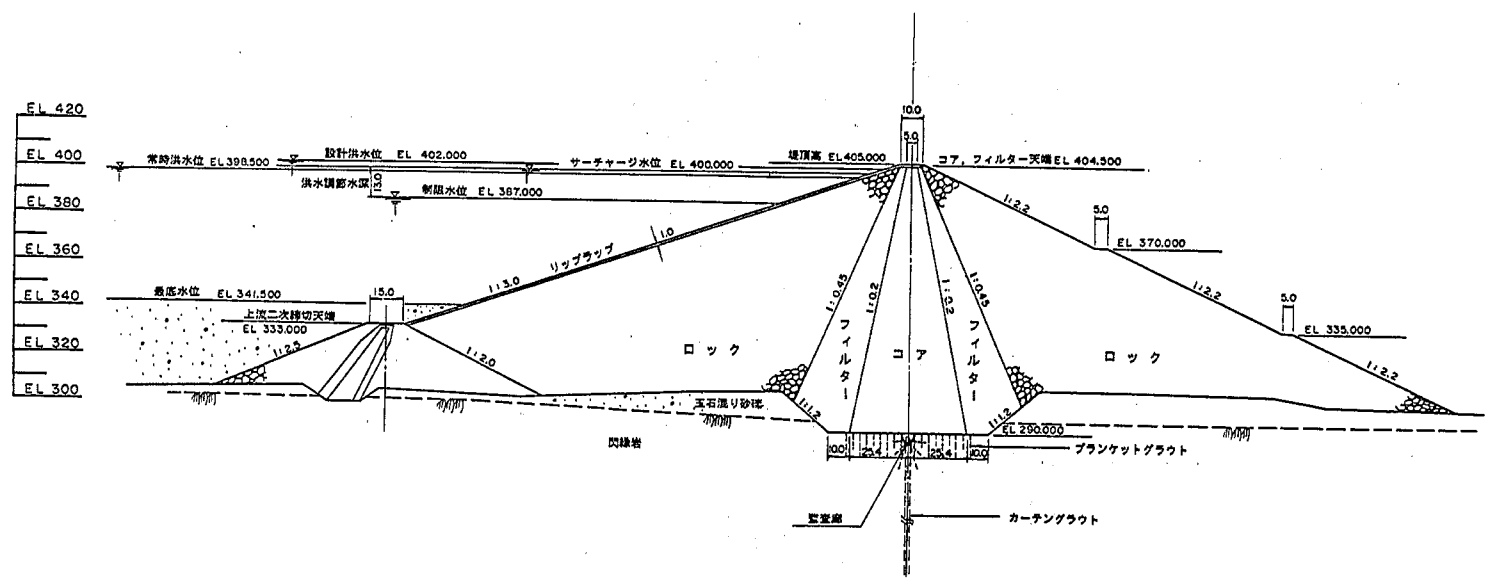


図 1 - 3 ダム断面図

表-1.1 ダム及貯水池諸元

| 河川名      | 最上川水系寒河江川                                                     | ダム名        | 寒河江ダム                    | 位置            | 山形県西村山郡内                    |
|----------|---------------------------------------------------------------|------------|--------------------------|---------------|-----------------------------|
| 流域面積     | 231.0km <sup>2</sup>                                          | 目的         | 洪水調節・かんがい都市用水・発電         |               |                             |
| 貯水池      |                                                               | ダム         |                          | 治水 (洪水調節)     |                             |
| 洪水面積     | 3.4km <sup>2</sup>                                            | 型式         | 中央コルア型<br>ロックフィルダム       | 計画高水流量        | 2,000m <sup>3</sup> /s      |
| 洪水延長     | 7.8km                                                         | 堤頂標高       | E.L. 405.00m             | 計画放流量         | 300m <sup>3</sup> /s        |
| サージ水位標高  | 400.0m                                                        | 堤高         | 115.00m                  | 調節流量          | 1,700m <sup>3</sup> /s      |
| 常時満水位標高  | 398.5m                                                        | 堤頂長        | 52000m                   | 利水            |                             |
| 制限水位標高   | 387.0m                                                        | 堤頂巾        | 10.00m                   |               |                             |
| 最低水位標高   | 341.5m                                                        | 堤体積        | 8500000m <sup>3</sup>    | かんがい最大取水量     | 38,150m <sup>3</sup> /s     |
| 洪水調節水深   | 13.0m                                                         | ロック        | 6350000m <sup>3</sup>    | 取水            | 263,400m <sup>3</sup> /日    |
| 発電利用水深   | 洪水期 45.5m<br>非洪水期 57.0m                                       | フィルター      | 1150000m <sup>3</sup>    | 発電所名          | 本道寺発電所 新水ヶ淵発電所              |
| 総貯水容量    | 109,000,000m <sup>3</sup>                                     | コア         | 1000000m <sup>3</sup>    | 最大有効落差        | 141.50m                     |
| 有効貯水容量   | 98,000,000m <sup>3</sup>                                      | 捨石張        | 170000m <sup>3</sup>     | 最大使用水量        | 62.50m <sup>3</sup> /s      |
| 堆砂容量     | 11,000,000m <sup>3</sup>                                      | 法          | 上流面 1:3.0                | 最大出力          | 75,000KW                    |
| 洪水調節容量   | 37,000,000m <sup>3</sup>                                      | 勾配         | 下流面 1:2.2                | 年間可能<br>発生電力量 | M.W.H<br>245,777            |
| 利水容量     | 61,000,000m <sup>3</sup>                                      | フィル部       | 土砂 1281000m <sup>3</sup> | 用地補償          |                             |
| 発電<br>容量 | 非洪水期 93,000,000m <sup>3</sup><br>洪水期 61,000,000m <sup>3</sup> | 掘削量        | 岩 728000m <sup>3</sup>   |               |                             |
|          |                                                               | 洪水吐コンクリート量 | 143000m <sup>3</sup>     | 家屋            | 105戸 (内水没93戸)               |
|          |                                                               | 洪水吐        | 土砂 293000m <sup>3</sup>  | 宅地            | 78ha                        |
|          |                                                               | 掘削量        | 岩 542000m <sup>3</sup>   | 田地            | 34.0ha                      |
|          |                                                               | 尾根部        | 土砂 31000m <sup>3</sup>   | 畑地            | 20.4ha                      |
|          |                                                               | 処埋         | 岩 12000m <sup>3</sup>    | 山林・原野他        | 265.1ha                     |
|          |                                                               | 越流設備       | クレストゲート<br>巾8.0m高9.5m2門  | 道路            | 国道4.8km 県道4.6km<br>町林道4.6km |
|          |                                                               | 放流設備       | オリフィスゲート<br>4.0m×4.0m2門  | 発電所 (東北電力)    | 1ヶ所<br>最大出力 12,700KW        |
|          |                                                               | 仮排水路       | 上段 内径6.5m 延長684m         |               |                             |
|          |                                                               |            | 下段 内径6.5m 延長617m         |               |                             |
|          |                                                               | 地質         | 閃緑岩                      |               |                             |

## 2 目 的

本報告書の目的は下記の通りである。

- 1) 玄武岩について物理試験，締固め試験，大型三軸圧縮試験および粒度試験を行ない，風化の程度による強度への影響，ロック材料としての特性を検討し，密度強度定数の設計値を検討する。
- 2) 右岸余水吐の掘削ずりである閃緑岩について物理試験，締固め試験，大型三軸圧縮試験および粒度試験を行ない，ロック材料としての強度および変形特性を検討し，密度，強度定数の設計値を検討する。
- 3) 左岸上流ロックゾーン基礎の崖錐の一部について，物理試験，締固め試験，飽和試験，大型三軸圧縮試験を行ない，安定計算の基礎資料とする。

### 3. 試 験 方 法

各材料について、以下に述べる項目および方法により試験を行なった。

#### 3. 1. 試験項目

各材料について表-3.1に示す試験を行なった。玄武岩の採取地点を図-3.1に示す。  
閃緑岩は図-1.2に示す洪水吐の掘削スリであり、試料は横抗TR-5から採取したものである。左岸上流ロック敷の崖錐堆積層は、花崗岩起源の崩壊土礫が地質学的にごく最近堆積したものであり試験したものは、このうち最上位に位置する花崗岩の角礫状のものである。

表-3.1 試 験 項 目

| 材 料   | 岩 種 | 試 験                 | 備 考                                                                                                                                                   |
|-------|-----|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ロ ッ ク | 閃緑岩 | 物理試験 含水量<br>比重及び吸水量 | 各粒径<br>粒径 $4.76mm$ で分級                                                                                                                                |
|       |     | 締固め試験               | 振動締固め試験機による                                                                                                                                           |
|       |     | 大型三軸圧縮試験            | $\left\{ \begin{array}{l} A \text{ 粒度} \cdots \cdots D_r = 50, 70, 86, 98\% \\ B \text{ 粒度} \cdots \cdots D_r = 58, 88\% \end{array} \right.$         |
|       | 玄武岩 | 粒度試験                | 締固め試験後及び各側圧ごと                                                                                                                                         |
|       |     | 物理試験 含水量<br>比重及び吸水量 |                                                                                                                                                       |
|       |     | 締固め試験               |                                                                                                                                                       |
| 崖 錐   |     | 大型三軸圧縮試験            | $\left\{ \begin{array}{l} A \text{ 粒度} \cdots \cdots D_r = 43, 74, 91, 98\% \\ B \text{ 粒度} \cdots \cdots D_r = 39, 72, 77, 95\% \end{array} \right.$ |
|       |     | 粒度試験                | $A : U_c = 12, \quad B : U_c = 20$                                                                                                                    |
|       |     | 物理試験 含水量<br>比重及び吸水量 |                                                                                                                                                       |
|       |     | 締固め試験               | 振動, 静荷重, ランマーによる                                                                                                                                      |
|       |     | 飽和試験                |                                                                                                                                                       |
|       |     | 大型三軸圧縮試験            |                                                                                                                                                       |

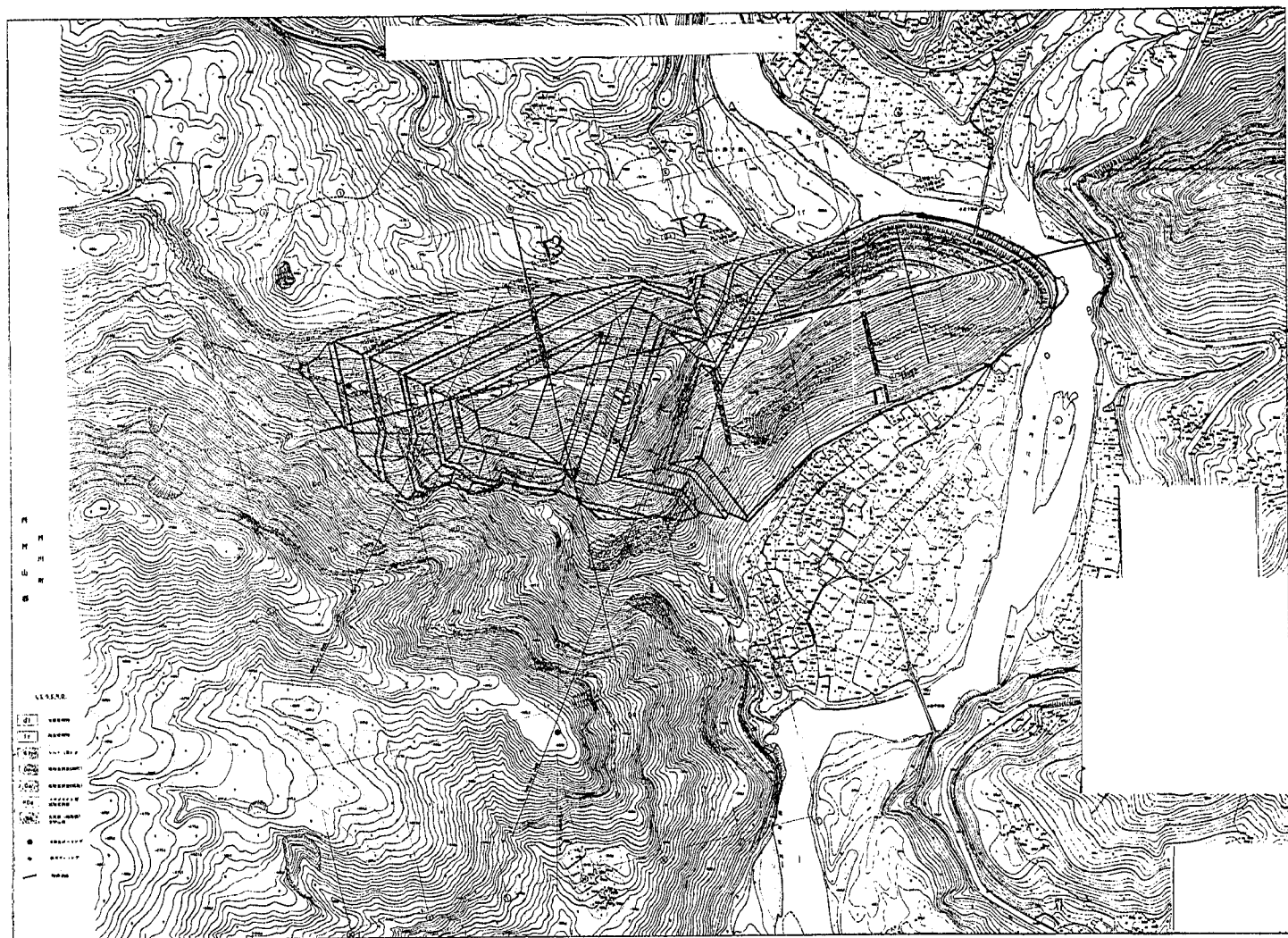
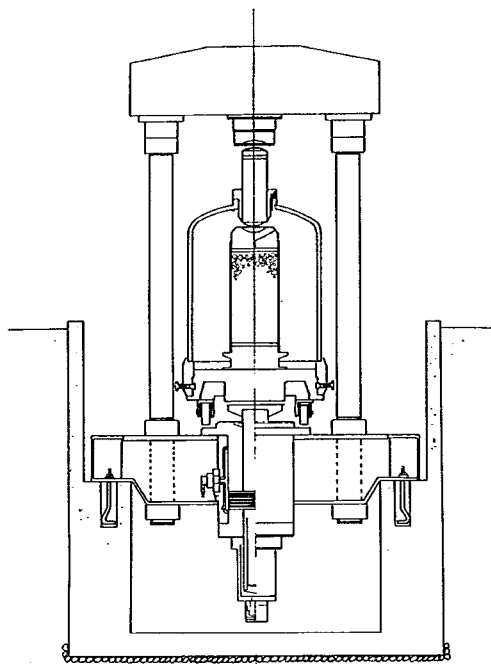


図3-1 ロック材原石山

### 3.2. 試験装置

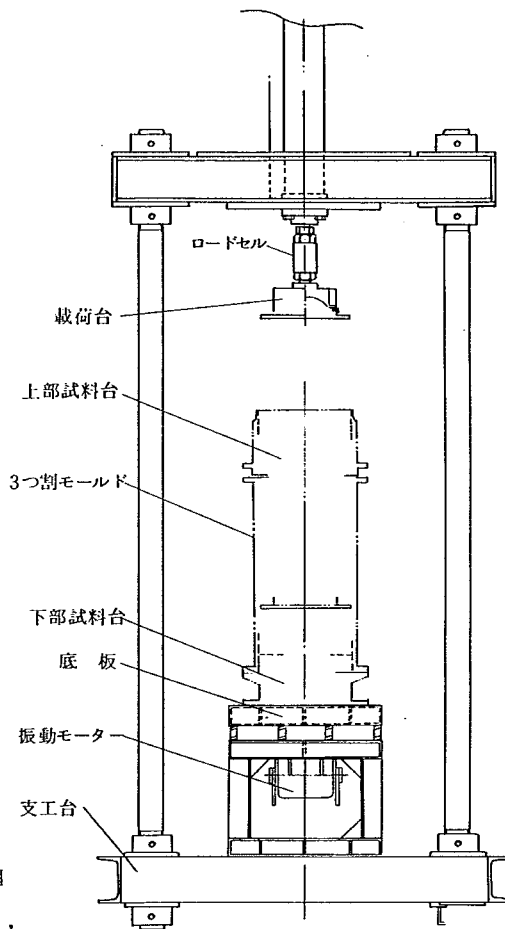
本試験に使用した振動締め試験機および大型三軸圧縮試験機の概略図を図－3.2.，3.3 に示す。



図－3.2 大型三軸圧縮試験機

また、試験装置の仕様を表－3.2 に示す。

大型三軸圧縮試験機の測定可能項目および範囲は側圧  $0 \sim 30 \text{ kg/cm}^2$ ，軸方向荷重  $0 \sim 150 \text{ ton}$ ，軸方向ヒズミ  $0 \sim 150 \text{ mm}$ ，間ゲキ水圧  $0 \sim 30 \text{ kg/cm}^2$ ，内体積および外体積  $0 \sim 5000 \text{ cc}$  である。



図－3.3 振動締め試験機

### 3.3. ロック材料

#### 1) 物理試験

含水量試験は、JIS A 1203 にて各粒径毎に行ない、比重および吸水量試験は粒径  $4.76 \text{ mm}$  で分級し、 $4.76 \text{ mm}$  以上は、各粒径毎に粗粒材の比重及び吸水量試験 (JIS A. 1100) により、 $4.76 \text{ mm}$  以下は土粒子の比重試験 (JIS A. 1202) によって試験を行なった。

#### 2) 試料調整および試験粒度の決定

搬入材料を気乾状態にて、各粒径毎にふるい分け (JIS A. 1204)，試験粒度作成のための試

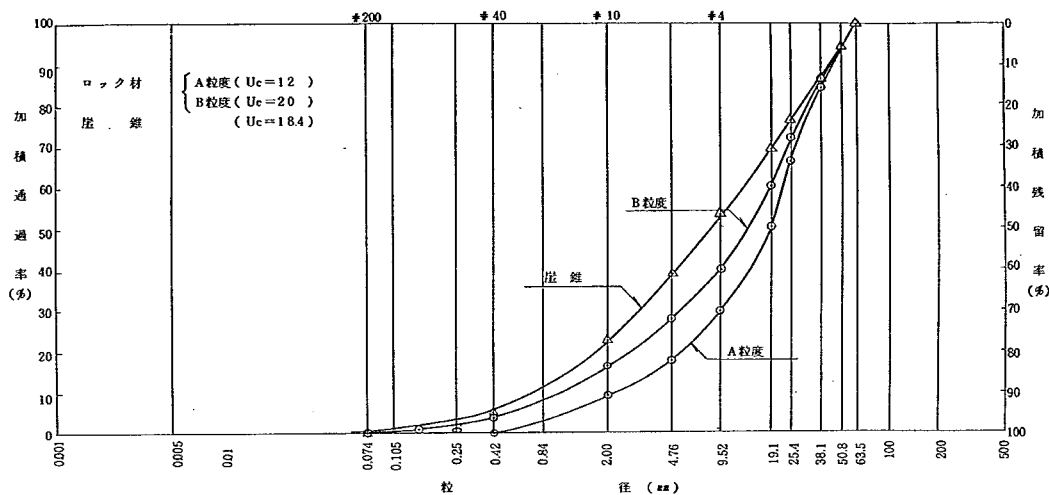
表-3.2 主要試験装置の仕様

| 試験装置      | 項目      | 仕様                                                                      |
|-----------|---------|-------------------------------------------------------------------------|
| 大型三軸圧縮試験機 | 供試体の寸法  | D300×H600mm                                                             |
|           | 最大軸力    | 150ton( $\div 215kg/cm^2$ )                                             |
|           | 最大側圧    | 30kg/cm <sup>2</sup> ( $\frac{\sigma_1 \max}{\sigma_3 \max} \div 7.2$ ) |
|           | ひずみ速度   | 6mm/min (約1%)                                                           |
|           |         | ひずみ及び荷重制御可能                                                             |
| 振動締固め試験機  | 最大静荷重   | 10ton ( $\div 14kg/cm^2$ )                                              |
|           | 定荷重     | 約200~400kg                                                              |
|           | 最大加速度   | 約4g                                                                     |
|           | 振巾      | $\pm 1mm$                                                               |
|           | 振動・載荷時間 | 1回最大200sec                                                              |

表-3.3 試験粒度

| 粒径<br>(mm) | ロ ッ ク 材      |              |              |              | 崖 錐<br>(Uc=18.4) |              |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|--------------|
|            | A粒度(Uc=12)   |              | B粒度(Uc=20)   |              | 残 留 率<br>(%)     | 加積残留率<br>(%) |
|            | 残 留 率<br>(%) | 加積残留率<br>(%) | 残 留 率<br>(%) | 加積残留率<br>(%) |                  |              |
| 63.5~50.8  | 6            | 6            | 6            | 6            | 6                | 6            |
| 50.8~38.1  | 10           | 16           | 8            | 14           | 8                | 14           |
| 38.1~25.4  | 18           | 34           | 14           | 28           | 10               | 24           |
| 25.4~19.1  | 16           | 50           | 12           | 40           | 7                | 31           |
| 19.1~9.52  | 20           | 70           | 20           | 60           | 16               | 47           |
| 9.52~4.76  | 12           | 82           | 12           | 72           | 14               | 61           |
| 4.76~2.00  | 8            | 90           | 11           | 83           | 16               | 77           |
| 2.00~0.42  | 10           | 100          | 13           | 96           | 17.5             | 94.5         |
| 0.42~0.074 |              |              | 4            | 100          | 5                | 99.5         |
| 0.074以下    |              |              |              |              | 0.5              | 100          |

料調整を行なった。なお試験粒度は現場粒度分布と想定されるものを平行移動して最大粒径63.5mmとして決めたものをB粒度(Uc=20)、現場粒度のばらつきを考慮してやや粒度分布を悪くしたものをA粒度(Uc=12)と決定した、A粒度およびB粒度の各粒径別の重量百分率を表-3.3、粒度分布を図-3.4に示す。



|            | ロック材  |       | 崖 錐   |
|------------|-------|-------|-------|
|            | A 粒度  | B 粒度  |       |
| 最大粒径 $mm$  | 6.3.5 | 6.3.5 | 6.3.5 |
| 均等係数 $U_c$ | 1.2   | 2.0   | 18.4  |

図-3.4 試験粒度

### 3) 締固め試験

三軸圧縮試験に先立って供試体の締固め条件（密度）を決定するために、加速度と密度の関係を調べた。締固めは振動締固め試験機を用いて締固め層数、振動数、振動時間を一定とし加速度（偏心重錘重量によって決定される）を変化させることにより、振動エネルギーを試料投入のみの場合を加えて計5種類行なった。なお締固めは振動を基本としたが、実際には振動時に試料の表面をおさえるために $0.5 \text{ kg/cm}^2$ 程度の上載応力を作用させた。締固め条件は表-3.4の通りである。

表-3.4 締固め条件

| 項 目      | 仕 様                                |
|----------|------------------------------------|
| 振 動 数    | 1.800 r.p.m(30Hz)                  |
| 振 動 時 間  | 8 分                                |
| 締固めエネルギー | 偏心重錘重量（片側）を0枚*1枚、5枚、10枚、15枚に変化させた。 |
| 層 数      | 6層（1層約10cm）                        |

\* 試料投入のみ

試験の手順は、締固め方法を設定し、供試体が所定の粒度分布になるように試料（重量＝78kg）を粒径毎に計量し、粒径毎に各々6等分する。よって1層毎に所定の粒度分布の試料が6層分できる。これを各層毎試料を静かに投入して、振動後高さを測定し、6層まで締固めて間ゲキ比を求めた。

#### 4) 大型三軸圧縮試験

試験供試体は、締固め試験結果より目標間ゲキ比、締固め条件を決定し、供試体を作成した。

三軸圧縮試験のせん断方法はCD試験でひずみ制御法とし、せん断速度は約1%/minとした。表－3.5に試験方法を示す。

表－3.5 大型三軸圧縮試験方法

|                                     |                    |
|-------------------------------------|--------------------|
| せん断方法                               | ひずみ制御              |
| せん断速度                               | 6mm/min（約1%）       |
| 試験の種類                               | 圧密排水（CD）           |
| 試料状態                                | 不飽和、気乾             |
| 側圧 $\sigma_3$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | 1.5, 3.0, 4.5, 6.0 |

#### 5) 粒度試験

粗粒材のように、砂などに比べて小さい応力状態でも粒子破砕が生じる材料においては、粒子の破砕がせん断特性に与える影響は無視できない。そこで、締固めおよびせん断による粒子破砕を調べるため、締固め試験後および三軸圧縮試験後（各側圧毎）に粒度試験を行なった。試験は各試験後、気乾状態（含水比約1%前後）で、供試体全試料についてふるい分け（JIS A 1204）を行なった。

### 3.4. 崖 錐

#### 1) 物理試験

含水量試験は、JIS A 1203 にて各粒径毎に行ない、比重および吸水量試験は粒径4.76mmで分級し、4.76mm以上は各粒径毎に粗粒材の比重及び吸水量試験（JIS A 1110）、4.76mm以下は土粒子の比重試験（JIS A 1202）によって試験を行なった。

#### 2) 試料調整および試験粒度の決定

搬入材料を気乾状態にて、各粒径毎にふるい分け（JIS A 1204）た。粒径2mm以下の細粒分について突固め試験JISA1210-1.1.aを行なって最適含水比を求め、2mm以下は含水比調整2mm以上は気乾状態にて試料調整を行なった。

なお試験粒度は現場粒度のまま最大粒径63.5mmとした（ $U_c=18.4$ ）。各粒径別の重量百分率および粒度分布を表－3.3、図－3.4に示す。

### 3) 締固め試験

供試体作成のための条件を決定するため、振動締固め試験機およびランマーにて、表-3.6の

4 ケースについて同一含水比2点ずつ実施した。

表-3.6 崖錐 締固め試験

| 締 固 め 方 法                            |                   | 締 固 め 条 件                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 振<br>動<br>締<br>固<br>め<br>試<br>験<br>機 | 静的荷重による<br>締固め    | 静荷重 7 t × 480 秒 × 6 層                                                                                                                                                   |
|                                      | 振動による<br>締固め      | 偏心重錘重量 15 枚 (加速度) ×<br>1800 rpm × 480 秒 × 6 層                                                                                                                           |
|                                      | 静的荷重と振動に<br>よる締固め | $\left( \begin{array}{l} \text{静荷重 7 t} \times 480 \text{ 秒} \\ \text{偏心重錘重量 15 枚} \times 1800 \text{ rpm} \end{array} \right) \times 6 \text{ 層} \times 480 \text{ 秒}$ |
| ラン<br>マ<br>ー                         | 衝撃的荷重による<br>締固め   | ランマー 4.5 kg × 45 cm<br>× 185 回 × 6 層                                                                                                                                    |

### 4) 飽和試験

三軸圧縮試験の供試体を飽和させるために、時間と飽和度の関係を求めるために行なった。方法は供試体下部より給水し、水頭差及び上部より真空ポンプを用いて吸水した。

### 5) 大型三軸圧縮試験

試験供給試体は、締固め試験結果より目標間ゲキ比、締固め条件を決定し供試体を作成した。

三軸圧縮試験は飽和、圧密排水、ひずみ制御法で行なう。試験条件を表-3.7に示す。

表-3.7 崖錐 試験条件

|                                     |                |
|-------------------------------------|----------------|
| せん断方法                               | ひずみ制御          |
| せん断速度                               | 6 mm/min (約1%) |
| 試験の種類                               | 圧密排水 (CD)      |
| 試料状態                                | 飽和             |
| 側圧 $\sigma_3$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | 1.5, 3.0, 4.5  |

## 4. 試験結果

試験結果一覧表を表-4.1に示す。

試験順序はロック材、崖錐の順で行った。

|                         |                    |
|-------------------------|--------------------|
| I-1, 2, 3, 4            | 53年1月18日~53年2月27日  |
| II-5, 6, 7, 8           | 53年2月14日~53年3月25日  |
| III-9, 10               | 53年5月9日~53年6月27日   |
| IV-11, 12, 13, 14<br>崖錐 | 53年8月30日~53年10月28日 |

### 4.1. ロック材料

#### 1) 物理試験

比重および吸水量試験結果を搬入別に表-4.2に示した。各比重の平均値は、 $4.76 \text{ mm}$ 以下は  $G_g$  を用い各粒径別重量百分率よりおもみ付きで求め、吸水率は  $4.76 \text{ mm}$ 以上を100%として同様に求めた。結果を表-4.2に示す。図4.1に絶乾比重と吸水率の関係を、図4.2に、平均粒径 ( $D_{50}=25.4\sim19.1 \text{ mm}$ ) の絶乾比重、表乾比重、真比重絶乾比重の平均値の関係を図示した。なお、岩石試験結果を表4-3に示す。

物理試験結果をまとめると、

- i) 今回搬入された閃緑岩は一般に絶乾比重  $2.6$  ( $2.439\sim2.624$ )、吸水率  $2\%$  ( $1.5\sim4\%$ ) とロック材料としては比較的比重が大きく、吸水率が小さい部類に入る。岩石試験結果から見ても、一軸圧縮強度が  $800 \text{ kg/cm}^2$  程度で比較的大きい値を示している。ただ、風化や変質によっては絶乾比重が小さく、吸水率が大きくなる可能性も表4-2、表4-3から推察できるので注意を要すると言えよう。今回の試験は時期をIとIVの2つの時期に行い搬入時期、場所も異なるが大体同じ程度の材質である。若干IV-11, 12の方が悪い値を示している。粗粒玄武岩と比べると比重は吸水率は若干小さいにしても比較的比重の小さい材料(試験1, 2, 9, 10)と同程度である。
- ii) 玄武岩は、ロック材の主たるものであるが、今回試験したものは粗粒玄武岩であり、中粒の完晶質火成岩である。この他に玄武岩、粗粒玄武岩質ペグマタイトがあるが、量も比較的少く比重、吸水率、一軸圧縮強度から見ると粗粒玄武岩と似た推質を示すようである。玄武岩(粗粒玄武岩を略称)は絶乾比重  $2.6$  ( $2.356\sim2.723$ ) 吸水率  $2.5\%$  ( $1.4\sim7.6\%$ ) であり、試験ケースによっては大きな違いがある。II-7.8が一番新鮮であり、次にII-5.6, IV-13.14が同程度の岩質である。III-9, 10は吸水率も  $4.8\%$  と大きく比重も小さい。一軸圧縮強度は、その他の試験ケースが  $800\sim1,200 \text{ kg/m}^2$  であるのに比して、このケースでは  $300 \text{ kg/m}^2 \sim 500 \text{ kg/m}^2$  と非常に小さい値を示す。凍結融解試験でも、100サイクルで破壊するものもあり風化、変質の影響を無視できないところである。

表-4.1(1) 大型三軸圧縮試験結果一覧表

| ケース名                         | 岩粒<br>子形<br>種別 | 均*2<br>等比<br>係数<br>重                   | 吸*3含<br>水率<br>比<br>(%) | 試験<br>密度                             | 側<br>圧 $\sigma_3$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 初密<br>期度<br>$r_d$<br>線(%/cm) | 間ゲキ比の変化      |              |                   |              | $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$<br>kg/cm <sup>2</sup> | $\epsilon_f$<br>% | $(dv/V_c)_f$<br>% | 破 壊 時                         |                      |                                 | 三接<br>地破<br>試験<br>率(%) | 強 度 定 数*6          |                        |
|------------------------------|----------------|----------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|----------------------|---------------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|
|                              |                |                                        |                        |                                      |                                            |                              | 初 期<br>$e_o$ | 圧密後<br>$e_c$ | 最小*4<br>$e_{min}$ | 破壊時<br>$e_f$ |                                                 |                   |                   | 変形係<br>数(kg/cm <sup>2</sup> ) | ポアソン<br>比*5<br>$\mu$ | 主応力<br>比( $\sigma_1/\sigma_3$ ) |                        | $\phi$ (度)         | C(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|                              |                |                                        |                        |                                      |                                            |                              |              |              |                   |              |                                                 |                   |                   |                               |                      |                                 |                        |                    |                        |
| ロ ッ ク 材<br>A-Medium<br>Ⅱ - 6 | 玄武<br>岩状       | 12<br>Gb=2.676<br>Ga=2.721<br>Gr=2.805 | Q=2.2<br>W=0.9         | $r_d=1.778$<br>$e_o=0.505$<br>Dr=43% | 1.5                                        | 1.781                        | 0.503        | 0.443        | 0.427             | 0.428        | 8.09                                            | 681               | 1.05              | 119                           | 0.423                | 639                             | 7.0                    | 38°20'<br>(37°32') | 075<br>(089)           |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 3.0                                        | 1.783                        | 0.501        | 0.430        | 0.391             | 0.391        | 13.14                                           | 1133              | 2.72              | 116                           | 0.380                | 538                             | 8.1                    |                    |                        |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 4.5                                        | 1.766                        | 0.515        | 0.424        | 0.371             | 0.371        | 17.84                                           | 1150              | 3.76              | 155                           | 0.336                | 496                             | 8.9                    |                    |                        |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 6.0                                        | 1.782                        | 0.502        | 0.395        | 0.328             | 0.328        | 22.10                                           | 1267              | 4.79              | 174                           | 0.311                | 468                             | 12.0                   |                    |                        |
| A-Dense<br>Ⅱ - 8             | "              | 12<br>Gb=2.722<br>Ga=2.767<br>Gr=2.855 | Q=2.2<br>W=0.9         | $r_d=1.915$<br>$e_o=0.404$<br>Dr=74  | 1.5                                        | 1.919                        | 0.395        | 0.347        | 0.337             | 0.342        | 10.53                                           | 473               | 0.36              | 223                           | 0.462                | 802                             | 6.1                    | 39°30'<br>(38°12') | 13<br>(153)            |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 3.0                                        | 1.906                        | 0.405        | 0.337        | 0.313             | 0.316        | 16.86                                           | 8.16              | 1.57              | 207                           | 0.404                | 662                             | 8.0                    |                    |                        |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 4.5                                        | 1.902                        | 0.407        | 0.332        | 0.297             | 0.298        | 21.20                                           | 1244              | 2.55              | 170                           | 0.397                | 571                             | 9.3                    |                    |                        |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 6.0                                        | 1.931                        | 0.410        | 0.327        | 0.281             | 0.281        | 25.15                                           | 10.15             | 3.48              | 248                           | 0.329                | 519                             | 11.8                   |                    |                        |
| Very<br>A-Dense<br>Ⅱ - 5     | "              | 12<br>Gb=2.676<br>Ga=2.721<br>Gr=2.805 | Q=2.2<br>W=0.9         | $r_d=2.003$<br>$e_o=0.336$<br>Dr=91  | 1.5                                        | 2.003                        | 0.336        | 0.297        | 0.290             | 0.307        | 12.08                                           | 5.09              | -0.75             | 237                           | 0.574                | 9.05                            | 6.6                    | 43°10'<br>(41°15') | 12<br>(152)            |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 3.0                                        | 2.002                        | 0.337        | 0.285        | 0.268             | 0.277        | 18.57                                           | 7.44              | 0.58              | 250                           | 0.461                | 7.19                            | 10.1                   |                    |                        |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 4.5                                        | 2.007                        | 0.333        | 0.277        | 0.255             | 0.261        | 25.16                                           | 7.74              | 1.24              | 325                           | 0.420                | 6.59                            | 12.3                   |                    |                        |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 6.0                                        | 1.998                        | 0.339        | 0.270        | 0.243             | 0.244        | 29.08                                           | 8.20              | 2.03              | 355                           | 0.376                | 5.85                            | 12.3                   |                    |                        |
| A-Very<br>Dense<br>Ⅱ - 7     | "              | 12<br>Gb=2.722<br>Ga=2.767<br>Gr=2.855 | Q=2.2<br>W=1.3         | $r_d=2.080$<br>$e_o=0.309$<br>Dr=98  | 1.5                                        | 2.075                        | 0.312        | 0.279        | 0.274             | 0.287        | 11.35                                           | 4.59              | -0.63             | 247                           | 0.569                | 8.57                            | 6.2                    | 42°30'<br>(40°05') | 12<br>(154)            |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 3.0                                        | 2.083                        | 0.307        | 0.261        | 0.252             | 0.258        | 18.08                                           | 5.93              | 0.23              | 305                           | 0.481                | 7.03                            | 9.7                    |                    |                        |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 4.5                                        | 2.085                        | 0.306        | 0.235        | 0.220             | 0.223        | 24.17                                           | 6.80              | 0.97              | 355                           | 0.429                | 6.37                            | 13.0                   |                    |                        |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 6.0                                        | 2.075                        | 0.312        | 0.245        | 0.222             | 0.226        | 27.10                                           | 8.96              | 1.52              | 302                           | 0.415                | 5.52                            | 12.9                   |                    |                        |
| B-Medium<br>Ⅲ - 10           | "              | 20<br>Gb=2.604<br>Ga=2.689<br>Gr=2.844 | Q=4.8<br>W=3.4         | $r_d=1.855$<br>$e_o=0.404$<br>Dr=39  | 1.5                                        | 1.848                        | 0.409        | 0.361        | 0.346             | 0.346        | 7.25                                            | 6.23              | 1.109             | 116                           | 0.411                | 5.83                            | 4.8                    | 40°00'<br>(38°12') | 05<br>(067)            |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 3.0                                        | 1.853                        | 0.405        | 0.349        | 0.314             | 0.314        | 12.75                                           | 9.37              | 2.532             | 136                           | 0.365                | 5.25                            | 6.2                    |                    |                        |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 4.5                                        | 1.857                        | 0.402        | 0.331        | 0.286             | 0.287        | 18.04                                           | 11.28             | 3.349             | 160                           | 0.352                | 5.01                            | 7.3                    |                    |                        |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 6.0                                        | 1.863                        | 0.398        | 0.317        | 0.264             | 0.264        | 21.61                                           | 14.18             | 4.064             | 152                           | 0.357                | 4.60                            | 7.0                    |                    |                        |
| B-Dense<br>Ⅳ - 14            | "              | 20<br>Gb=2.701<br>Ga=2.754<br>Gr=2.852 | Q=2.8<br>W=1.4         | $r_d=2.031$<br>$e_o=0.330$<br>Dr=72  | 1.5                                        | 2.030                        | 0.331        | 0.296        | 0.286             | 0.295        | 10.57                                           | 5.33              | 0.110             | 198                           | 0.490                | 8.05                            | 4.5                    | 42°00'<br>(40°51') | 105<br>(124)           |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 3                                          | 2.042                        | 0.323        | 0.281        | 0.267             | 0.272        | 17.46                                           | 5.31              | 0.721             | 329                           | 0.432                | 6.82                            | 7.0                    |                    |                        |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 4.5                                        | 2.028                        | 0.332        | 0.280        | 0.257             | 0.262        | 22.87                                           | 6.85              | 1.420             | 334                           | 0.396                | 6.08                            | 8.8                    |                    |                        |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 6                                          | 2.023                        | 0.335        | 0.275        | 0.244             | 0.244        | 27.58                                           | 7.49              | 2.335             | 368                           | 0.344                | 5.60                            | 8.8                    |                    |                        |
| B-Dense<br>Ⅲ - 9             | "              | 20<br>Gb=2.604<br>Ga=2.689<br>Gr=2.844 | Q=4.8<br>W=2.4         | $r_d=2.012$<br>$e_o=0.294$<br>Dr=77  | 1.5                                        | 2.017                        | 0.291        | 0.257        | 0.249             | 0.262        | 10.58                                           | 5.06              | -0.388            | 209                           | 0.538                | 8.05                            | 5.4                    | 41°45'<br>(40°07') | 105<br>(132)           |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 3.0                                        | 2.009                        | 0.296        | 0.251        | 0.233             | 0.237        | 16.96                                           | 6.72              | 1.122             | 252                           | 0.417                | 6.65                            | 6.0                    |                    |                        |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 4.5                                        | 2.005                        | 0.299        | 0.235        | 0.208             | 0.213        | 22.91                                           | 8.85              | 1.790             | 259                           | 0.399                | 6.09                            | 6.2                    |                    |                        |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 6.0                                        | 2.017                        | 0.291        | 0.232        | 0.205             | 0.207        | 26.54                                           | 7.56              | 2.049             | 351                           | 0.364                | 5.42                            | 6.9                    |                    |                        |
| B-Very<br>Dense<br>Ⅳ - 13    | "              | 20<br>Gb=2.701<br>Ga=2.754<br>Gr=2.852 | Q=2.8<br>W=1.4         | $r_d=2.159$<br>$e_o=0.251$<br>Dr=95  | 1.5                                        | 2.165                        | 0.248        | 0.219        | 0.216             | 0.223        | 14.14                                           | 2.34              | -0.362            | 604                           | 0.577                | 10.43                           | 4.2                    | 43°15'<br>(41°52') | 17<br>(192)            |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 3                                          | 2.157                        | 0.252        | 0.220        | 0.216             | 0.221        | 20.98                                           | 2.93              | -0.097            | 716                           | 0.517                | 7.99                            | 7.1                    |                    |                        |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 4.5                                        | 2.155                        | 0.253        | 0.210        | 0.203             | 0.207        | 27.62                                           | 4.06              | 0.243             | 680                           | 0.470                | 7.14                            | 10.4                   |                    |                        |
|                              |                |                                        |                        |                                      | 6                                          | 2.157                        | 0.252        | 0.203        | 0.190             | 0.194        | 31.86                                           | 4.57              | 0.746             | 697                           | 0.418                | 6.31                            | 10.0                   |                    |                        |

\*1 Zinggの分類による

\*2 粒径4.76mmで分級し、4.76mm以上は飽和比重( $G_b$ )、以下は真比重( $G_s$ )により、各粒徑別重量百分率よりおもみ付き平均した値

\*3 粒径4.76mm以上について求め、4.76mm以上を100%とした時の各粒徑別おもみ付き平均値

\*4 セン断時に最も圧縮した時の間ゲキ比

\*5 体積比 $\epsilon$ より $\epsilon_f = \epsilon_v - \epsilon/2$ ,  $\epsilon_c = \epsilon_f/\epsilon$ で求めた値

\*6 カッコ内は土質試験法の整理方法(第2法 $\sigma_1 + \sigma_3/2$ )より最小二乗法で求めた値

表-4.1(2) 大型三軸圧縮試験結果一覧表

| ケース名                      | 岩粒 <sup>*1</sup><br>子形<br>種状 | 均 <sup>*2</sup><br>等比<br>係<br>数重         | 吸 <sup>*3</sup> 含<br>水率<br>比<br>(%) | 試<br>験<br>密<br>度                    | 側<br>圧 $\sigma_3$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 初密<br>期度<br>乾 $r_d$<br>燥 $(\%/cm^3)$ | 間 $\gamma$ キ比の変化                 |                                  |                                  |                                  | $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$<br>kg/cm <sup>2</sup> | $e_f$<br>%                     | $(d_v/V_c)_f$<br>%                | 破 壊 時                         |                                  |                                | 三後<br>軸破<br>試験<br>率率(%)      | 強 度 定 数 <sup>*6</sup> |                         |
|---------------------------|------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------|
|                           |                              |                                          |                                     |                                     |                                            |                                      | 初 期                              | 圧密後                              | 最小 <sup>*4</sup>                 | 破壊時                              |                                                 |                                |                                   | 変形係<br>数(kg/cm <sup>2</sup> ) | ポアソン<br>比 <sup>*5</sup> $\mu$    | 主応力<br>比 $(\sigma_1/\sigma_3)$ |                              | $\phi$ (度)            | C (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|                           |                              |                                          |                                     |                                     |                                            |                                      | $e_o$                            | $e_c$                            | $e_{min}$                        | $e_f$                            |                                                 |                                |                                   |                               |                                  |                                |                              |                       |                         |
| ロック材<br>A-Medium<br>I - 2 | 塊<br>閃<br>緑状<br>岩            | 12<br>Gb=2.612<br>Ga=2.657<br>Gg=2.735   | Q=2.1<br>W=0.8                      | $r_d=1.769$<br>$e_o=0.477$<br>Dr=50 | 1.5<br>3.0<br>4.5<br>6.0                   | 1.766<br>1.773<br>1.781<br>1.756     | 0.479<br>0.473<br>0.467<br>0.487 | 0.426<br>0.363<br>0.383<br>0.382 | 0.406<br>0.364<br>0.333<br>0.300 | 0.410<br>0.364<br>0.333<br>0.300 | 7.49<br>13.08<br>18.19<br>23.32                 | 828<br>1127<br>1500<br>1500    | 11.0<br>2.74<br>3.55<br>5.91      | 90<br>116<br>121<br>155       | 0.434<br>0.378<br>0.382<br>0.303 | 60<br>5.4<br>5.0<br>4.9        | 80<br>9.2<br>10.9<br>11.3    | 39°55'<br>(39°34')    | 0.55<br>(0.56)          |
|                           |                              | 12<br>Gb=2.588<br>Ga=2.642<br>Gg=2.734   | Q=2.6<br>W=1.0                      | $r_d=1.878$<br>$e_o=0.378$<br>Dr=70 | 1.5<br>3<br>4.5<br>6                       | 1.875<br>1.883<br>1.880<br>1.875     | 0.380<br>0.375<br>0.377<br>0.380 | 0.334<br>0.320<br>0.310<br>0.299 | 0.325<br>0.297<br>0.272<br>0.255 | 0.335<br>0.297<br>0.273<br>0.255 | 8.42<br>13.56<br>18.78<br>23.48                 | 6.92<br>8.03<br>12.81<br>13.56 | -0.061<br>1.700<br>2.846<br>3.363 | 122<br>169<br>147<br>173      | 0.504<br>0.394<br>0.389<br>0.376 | 6.61<br>5.52<br>5.17<br>4.91   | 11.3<br>14.5<br>15.3<br>16.5 |                       |                         |
|                           |                              | 12<br>Gb=2.612<br>Ga=2.657<br>Gg=2.735   | Q=2.1<br>W=0.8                      | $r_d=1.961$<br>$e_o=0.332$<br>Dr=86 | 1.5<br>3.0<br>4.5<br>6.0                   | 1.949<br>1.961<br>1.968<br>1.965     | 0.340<br>0.332<br>0.327<br>0.329 | 0.306<br>0.285<br>0.266<br>0.256 | 0.303<br>0.269<br>0.243<br>0.225 | 0.308<br>0.272<br>0.247<br>0.226 | 10.86<br>15.87<br>21.03<br>27.06                | 6.43<br>6.27<br>7.95<br>9.39   | -0.15<br>1.04<br>1.48<br>2.37     | 169<br>253<br>265<br>288      | 0.512<br>0.417<br>0.407<br>0.374 | 8.2<br>6.3<br>5.7<br>5.5       | 6.1<br>9.4<br>11.2<br>11.6   |                       |                         |
|                           |                              | 12<br>Gb=2.588<br>Ga=2.642<br>Gg=2.734   | Q=2.6<br>W=0.9                      | $r_d=2.036$<br>$e_o=0.271$<br>Dr=98 | 1.5<br>3<br>4.5<br>6                       | 2.034<br>2.042<br>2.030<br>2.036     | 0.272<br>0.267<br>0.275<br>0.271 | 0.247<br>0.229<br>0.225<br>0.222 | 0.244<br>0.221<br>0.210<br>0.205 | 0.257<br>0.226<br>0.216<br>0.210 | 11.08<br>18.08<br>24.20<br>27.14                | 3.92<br>5.20<br>7.44<br>7.41   | -0.820<br>0.208<br>0.737<br>1.131 | 283<br>348<br>325<br>366      | 0.605<br>0.480<br>0.450<br>0.424 | 8.39<br>7.03<br>6.38<br>5.52   | 8.2<br>12.1<br>17.2<br>14.3  |                       |                         |
| A-Very<br>Dense<br>I - 1  | 塊<br>閃<br>緑状<br>岩            | 20<br>Gb=2.632<br>Ga=2.672<br>Gg=2.742   | Q=2.2<br>W=0.8                      | $r_d=1.903$<br>$e_o=0.383$<br>Dr=58 | 1.5<br>3.0<br>4.5<br>6.0                   | 1.899<br>1.913<br>1.914<br>1.886     | 0.386<br>0.376<br>0.375<br>0.396 | 0.339<br>0.314<br>0.304<br>0.311 | 0.329<br>0.294<br>0.276<br>0.269 | 0.335<br>0.297<br>0.278<br>0.270 | 8.33<br>14.57<br>20.51<br>24.07                 | 5.36<br>7.54<br>8.22<br>13.44  | 0.36<br>-1.27<br>1.97<br>3.07     | 155<br>193<br>250<br>179      | 0.466<br>0.416<br>0.380<br>0.386 | 6.6<br>5.9<br>5.6<br>5.0       | 3.7<br>5.6<br>7.0<br>6.4     | 42°10'<br>(39°54')    | 0.5<br>(0.81)           |
|                           |                              | 20<br>Gb=2.632<br>Ga=2.672<br>Gg=2.742   | Q=2.2<br>W=0.8                      | $r_d=2.065$<br>$e_o=0.275$<br>Dr=88 | 1.5<br>3.0<br>4.5<br>6.0                   | 2.052<br>2.064<br>2.077<br>2.065     | 0.283<br>0.275<br>0.267<br>0.275 | 0.249<br>0.228<br>0.222<br>0.230 | 0.245<br>0.217<br>0.209<br>0.209 | 0.261<br>0.227<br>0.217<br>0.213 | 11.59<br>19.15<br>24.44<br>31.71                | 4.51<br>5.07<br>6.71<br>7.19   | -0.94<br>0.10<br>0.41<br>1.34     | 257<br>378<br>364<br>441      | 0.605<br>0.490<br>0.470<br>0.407 | 8.7<br>7.4<br>6.4<br>6.3       | 3.5<br>5.6<br>7.7<br>7.9     |                       |                         |
|                           |                              | 18.4<br>Gb=2.595<br>Ga=2.635<br>Gg=2.691 | Q=2.3<br>W=1.1                      | $r_d=2.022$<br>$e_o=0.283$          | 1.5<br>3.0<br>4.5                          | 2.021<br>2.014<br>2.031              | 0.284<br>0.288<br>0.278          | 0.262<br>0.252<br>0.232          | 0.248<br>0.229<br>0.205          | 0.255<br>0.230<br>0.206          | 7.52<br>13.69<br>19.65                          | 13.72<br>9.63<br>10.20         | 0.503<br>1.720<br>2.106           | 55<br>142<br>193              | 0.482<br>0.411<br>0.397          | 6.01<br>5.56<br>5.37           | —<br>—<br>—                  |                       |                         |
|                           |                              |                                          |                                     |                                     |                                            |                                      |                                  |                                  |                                  |                                  |                                                 |                                |                                   |                               |                                  |                                |                              |                       |                         |

\*1 Zingg の分類による

\*2 粒径 4.76 mm で分級し, 4.76 mm 以上は絶対比重 (Gb), 以下は真比重 (Gs) により, 各粒径別重量百分率よりもみ付き平均した値

\*3 粒径 4.76 mm 以上について求め, 4.76 mm 以上を 100% とした時の各粒径別よりもみ付き平均値

\*4 セン断時に最も圧縮した時の間 $\gamma$ キ比

\*5 体積比 $\nu$ より  $e_f = e_v - e/2$ ,  $\nu = e_r/e$  で求めた値

\*6 カッコ内は土質試験法の整理方法 (第 2 法  $\sigma_1 + \sigma_3/2$ ) より最小二乗法で求めた値

表 4 - 1 (3) 大型三軸圧縮試験結果一覧表

| 試験ケース        | (kg/cm <sup>2</sup> ) | (kg/cm <sup>2</sup> )     | (kg/cm <sup>2</sup> ) | 初期    | 破壊時   |             | (%)  | (%)                 | (°)      | $\left(\frac{\Delta V}{V_c}\right)_f$ | $\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_3}\right)_f$ | $\left(\frac{de_v}{de_a}\right)_f$ | E50                   |
|--------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|-------|-------|-------------|------|---------------------|----------|---------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|
|              | $\sigma_3$            | $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ | $\sigma_1 f$          | $e_o$ | $e_f$ | $e_o - e_f$ | B    | $\frac{B}{1 + e_o}$ | $\phi_o$ | (%)                                   |                                            |                                    | (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| II-6         | 1.5                   | 8.09                      | 9.59                  | 0.503 | 0.428 | 0.075       | 7.0  | 4.66                | 46° 51'  | 1.05                                  | 6.39                                       | 0.069                              | 472                   |
| A-Medium     | 3.0                   | 13.14                     | 16.14                 | 0.501 | 0.391 | 0.110       | 8.1  | 5.40                | 43° 21'  | 2.72                                  | 5.38                                       | 0.003                              | 417                   |
| 玄武岩          | 4.5                   | 17.84                     | 22.34                 | 0.515 | 0.371 | 0.144       | 8.9  | 5.87                | 41° 39'  | 3.76                                  | 4.96                                       | -0.052                             | 505                   |
| (0.505, 43)  | 6.0                   | 22.10                     | 28.10                 | 0.502 | 0.328 | 0.174       | 12.0 | 7.99                | 40° 24'  | 4.79                                  | 4.68                                       | -0.088                             | 476                   |
| II-8         | 1.5                   | 10.53                     | 12.03                 | 0.395 | 0.342 | 0.053       | 6.1  | 4.37                | 51° 06'  | 0.36                                  | 8.02                                       | 0.265                              | 620                   |
| A-Dense      | 3.0                   | 16.86                     | 19.86                 | 0.405 | 0.316 | 0.089       | 8.0  | 5.69                | 47° 31'  | 1.57                                  | 6.62                                       | 0.159                              | 597                   |
| 玄武岩          | 4.5                   | 21.20                     | 25.70                 | 0.407 | 0.298 | 0.109       | 9.3  | 6.61                | 44° 35'  | 2.55                                  | 5.71                                       | 0.044                              | 570                   |
| (0.404, 74)  | 6.0                   | 25.15                     | 31.15                 | 0.410 | 0.281 | 0.129       | 11.8 | 8.37                | 42° 37'  | 3.48                                  | 5.19                                       | -0.006                             | 565                   |
| II-5         | 1.5                   | 12.08                     | 13.58                 | 0.336 | 0.307 | 0.029       | 6.6  | 4.94                | 53° 14'  | -0.75                                 | 9.05                                       | 0.465                              | 672                   |
| A-Very Dense | 3.0                   | 18.57                     | 21.57                 | 0.337 | 0.277 | 0.060       | 10.1 | 7.55                | 49° 06'  | 0.58                                  | 7.19                                       | 0.311                              | 605                   |
| 玄武岩          | 4.5                   | 25.16                     | 29.66                 | 0.333 | 0.261 | 0.072       | 12.3 | 9.23                | 47° 26'  | 1.24                                  | 6.59                                       | 0.255                              | 800                   |
| (0.336, 91)  | 6.0                   | 29.08                     | 35.08                 | 0.339 | 0.244 | 0.095       | 12.3 | 9.19                | 45° 04'  | 2.03                                  | 5.85                                       | 0.127                              | 726                   |
| II-7         | 1.5                   | 11.35                     | 12.85                 | 0.312 | 0.287 | 0.025       | 6.2  | 4.73                | 52° 16'  | -0.63                                 | 8.57                                       | 0.484                              | 887                   |
| A-Very Dense | 3.0                   | 18.08                     | 21.08                 | 0.307 | 0.258 | 0.049       | 9.7  | 7.42                | 48° 40'  | 0.23                                  | 7.03                                       | 0.282                              | 1216                  |
| 玄武岩          | 4.5                   | 24.17                     | 28.67                 | 0.306 | 0.223 | 0.083       | 13.0 | 9.95                | 46° 47'  | 0.97                                  | 6.37                                       | 0.149                              | 1324                  |
| (0.309, 98)  | 6.0                   | 27.10                     | 33.10                 | 0.312 | 0.226 | 0.086       | 12.9 | 9.83                | 43° 53'  | 1.52                                  | 5.52                                       | 0.146                              | 1006                  |
| III-10       | 1.5                   | 7.25                      | 8.75                  | 0.409 | 0.346 | 0.063       | 4.8  | 3.41                | 45° 01'  | 1.109                                 | 5.83                                       | 0.061                              | 328                   |
| B-Medium     | 3.0                   | 12.75                     | 15.75                 | 0.405 | 0.314 | 0.091       | 6.2  | 4.41                | 42° 51'  | 2.532                                 | 5.25                                       | 0.028                              | 326                   |
| 玄武岩          | 4.5                   | 18.04                     | 22.54                 | 0.401 | 0.287 | 0.115       | 7.3  | 5.21                | 41° 51'  | 3.349                                 | 5.01                                       | -0.010                             | 386                   |
| (0.404, 39)  | 6.0                   | 21.61                     | 27.61                 | 0.398 | 0.264 | 0.134       | 7.0  | 5.01                | 40° 01'  | 4.046                                 | 4.60                                       | -0.012                             | 474                   |
| IV-14        | 1.5                   | 10.57                     | 12.07                 | 0.331 | 0.295 | 0.036       | 4.5  | 3.38                | 51° 10'  | 0.110                                 | 8.05                                       | 0.405                              | 477                   |
| B-Dense      | 3.0                   | 17.46                     | 20.46                 | 0.323 | 0.272 | 0.051       | 7.0  | 5.29                | 48° 06'  | 0.721                                 | 6.82                                       | 0.259                              | 811                   |
| 玄武岩          | 4.5                   | 22.87                     | 27.37                 | 0.332 | 0.262 | 0.070       | 8.8  | 6.61                | 45° 51'  | 1.420                                 | 6.08                                       | 0.212                              | 756                   |
| (0.330, 72)  | 6.0                   | 27.58                     | 33.58                 | 0.335 | 0.244 | 0.091       | 8.8  | 6.59                | 44° 10'  | 2.335                                 | 5.60                                       | 0.090                              | 774                   |
| III-9        | 1.5                   | 10.58                     | 12.08                 | 0.291 | 0.262 | 0.029       | 5.4  | 4.18                | 51° 11'  | -0.388                                | 8.05                                       | 0.444                              | 556                   |
| B-Dense      | 3.0                   | 16.96                     | 19.96                 | 0.296 | 0.237 | 0.059       | 6.0  | 4.63                | 47° 37'  | 1.122                                 | 6.65                                       | 0.270                              | 534                   |
| 玄武岩          | 4.5                   | 22.91                     | 27.41                 | 0.299 | 0.213 | 0.086       | 6.2  | 4.77                | 45° 53'  | 1.790                                 | 6.09                                       | 0.211                              | 566                   |
| (0.294, 77)  | 6.0                   | 26.54                     | 32.54                 | 0.291 | 0.207 | 0.084       | 6.9  | 5.34                | 43° 31'  | 2.049                                 | 5.42                                       | 0.129                              | 676                   |
| IV-13        | 1.5                   | 14.14                     | 15.64                 | 0.248 | 0.223 | 0.025       | 4.2  | 3.37                | 55° 35'  | -0.362                                | 10.43                                      | 0.731                              | 1157                  |
| B-Very Dense | 3.0                   | 20.98                     | 23.98                 | 0.252 | 0.221 | 0.031       | 7.1  | 5.67                | 51° 03'  | -0.097                                | 7.99                                       | 0.510                              | 1545                  |
| 玄武岩          | 4.5                   | 27.62                     | 32.12                 | 0.253 | 0.207 | 0.046       | 10.4 | 8.30                | 48° 58'  | 0.243                                 | 7.14                                       | 0.364                              | 1727                  |
| (0.251, 95)  | 6.0                   | 31.86                     | 37.86                 | 0.252 | 0.194 | 0.058       | 10.0 | 7.99                | 46° 35'  | 0.746                                 | 4.31                                       | 0.294                              | 1923                  |

表 4-1(4) 大型三軸圧縮試験結果一覧表

| 試験コース                                             | (kg/cm <sup>2</sup> )<br>$\sigma_0$ | (kg/cm <sup>2</sup> )<br>$(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ | (kg/cm <sup>2</sup> )<br>$\sigma_{1f}$ | 初期<br>$e_0$                      | 破壊時<br>$e_f$                     | $e_0 - e_f$                      | (%)<br>B                     | (%)<br>$\frac{B}{1+e_0}$        | (°)<br>$\phi_0$                          | $(\frac{\Delta V}{V_e})_f$<br>(%) | $(\frac{\sigma_1}{\sigma_3})_f$ | $(\frac{dev}{de_a})_f$           | E 50<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| I-2<br>A-Medium<br>閃緑岩<br>$e_0$ Dr<br>(0.477, 50) | 1.5<br>3.0<br>4.5<br>6.0            | 7.49<br>13.08<br>18.19<br>23.32                    | 8.99<br>16.08<br>22.69<br>29.32        | 0.479<br>0.473<br>0.467<br>0.487 | 0.410<br>0.364<br>0.333<br>0.300 | 0.049<br>0.109<br>0.134<br>0.187 | 8.0<br>9.2<br>10.9<br>11.3   | 5.41<br>6.25<br>7.43<br>7.60    | 45° 34'<br>43° 17'<br>41° 59'<br>41° 19' | 11.0<br>2.74<br>3.55<br>5.91      | 6.0<br>5.4<br>5.0<br>4.9        | 0.143<br>0<br>0.016<br>-0.078    | 330<br>396<br>482<br>376      |
| IV-12<br>A-Dense<br>閃緑岩<br>(0.378, 70)            | 1.5<br>3.0<br>4.5<br>6.0            | 8.42<br>13.56<br>18.78<br>23.48                    | 9.92<br>16.56<br>23.28<br>29.48        | 0.380<br>0.375<br>0.377<br>0.380 | 0.335<br>0.297<br>0.273<br>0.255 | 0.045<br>0.078<br>0.104<br>0.125 | 11.3<br>14.5<br>15.3<br>16.5 | 8.19<br>10.55<br>11.11<br>11.96 | 47° 30'<br>43° 53'<br>42° 32'<br>41° 26' | -0.061<br>1.700<br>2.846<br>3.363 | 6.61<br>5.52<br>5.17<br>4.91    | 0.215<br>0.073<br>0.052<br>0     | 769<br>460<br>507<br>669      |
| I-1<br>A-Very Dense<br>閃緑岩<br>(0.332, 86)         | 1.5<br>3.0<br>4.5<br>6.0            | 10.86<br>15.87<br>21.03<br>27.06                   | 12.36<br>18.87<br>25.53<br>33.06       | 0.340<br>0.332<br>0.327<br>0.329 | 0.308<br>0.272<br>0.247<br>0.226 | 0.032<br>0.060<br>0.080<br>0.103 | 6.1<br>9.4<br>11.2<br>11.6   | 4.55<br>7.06<br>8.44<br>8.73    | 51° 35'<br>46° 31'<br>44° 27'<br>43° 51' | -0.15<br>1.04<br>1.48<br>2.37     | 8.2<br>6.3<br>5.7<br>5.5        | 0.513<br>0.325<br>0.140<br>0.076 | 399<br>629<br>726<br>703      |
| IV-II<br>A-Very Dense<br>閃緑岩<br>(0.271, 98)       | 1.5<br>3.0<br>4.5<br>6.0            | 11.08<br>18.08<br>24.20<br>27.14                   | 12.58<br>21.08<br>28.70<br>33.14       | 0.272<br>0.267<br>0.275<br>0.271 | 0.257<br>0.226<br>0.216<br>0.210 | 0.015<br>0.041<br>0.059<br>0.061 | 8.2<br>12.1<br>17.2<br>14.3  | 6.45<br>9.55<br>13.49<br>11.25  | 51° 54'<br>48° 40'<br>46° 48'<br>43° 54' | -0.820<br>0.208<br>0.737<br>1.131 | 8.39<br>7.03<br>6.38<br>5.52    | 0.563<br>0.274<br>0.195<br>0.204 | 957<br>1024<br>1133<br>1188   |
| I-4<br>B-Medium<br>閃緑岩<br>(0.383, 58)             | 1.5<br>3.0<br>4.5<br>6.0            | 8.33<br>14.57<br>20.51<br>24.07                    | 9.83<br>17.57<br>25.01<br>30.07        | 0.386<br>0.376<br>0.375<br>0.396 | 0.335<br>0.297<br>0.278<br>0.270 | 0.051<br>0.079<br>0.097<br>0.126 | 3.7<br>5.6<br>7.0<br>6.4     | 2.67<br>4.07<br>5.09<br>4.58    | 47° 20'<br>45° 06'<br>44° 02'<br>41° 52' | 0.36<br>1.27<br>1.97<br>3.07      | 6.6<br>5.9<br>5.6<br>5.0        | 0.224<br>0.217<br>0.138<br>0.060 | 325<br>573<br>593<br>519      |
| I-3<br>B-Very Dense<br>閃緑岩<br>(0.275, 88)         | 1.5<br>3.0<br>4.5<br>6.0            | 11.59<br>19.15<br>24.44<br>31.71                   | 13.09<br>22.15<br>28.94<br>37.71       | 0.283<br>0.275<br>0.267<br>0.275 | 0.261<br>0.227<br>0.217<br>0.213 | 0.022<br>0.048<br>0.050<br>0.062 | 3.5<br>5.6<br>7.7<br>7.9     | 2.73<br>4.39<br>6.08<br>6.20    | 52° 36'<br>49° 35'<br>46° 58'<br>46° 30' | -0.94<br>0.10<br>0.41<br>1.34     | 8.7<br>7.4<br>6.4<br>6.3        | 0.595<br>0.440<br>0.393<br>0.311 | 800<br>896<br>696<br>863      |
| 崖<br>$e_0$ 錐<br>(0.283)                           | 1.5<br>3.0<br>4.5                   | 7.25<br>13.69<br>19.65                             | 8.75<br>16.69<br>24.15                 | 0.284<br>0.288<br>0.278          | 0.255<br>0.230<br>0.206          | 0.029<br>0.058<br>0.072          | -<br>-<br>-                  | -<br>-<br>-                     | 45° 01'<br>44° 03'<br>43° 18'            |                                   |                                 |                                  |                               |

表 - 4. 2 比重, 吸水率

| 粒 径<br>(mm)   | 閃 緑 岩                                   |               |                             |                  |                        |       |       |         |
|---------------|-----------------------------------------|---------------|-----------------------------|------------------|------------------------|-------|-------|---------|
|               | I-1, 2, $CU_c=12$ , I-3, 4 ( $U_c=20$ ) |               |                             |                  | IV-11, 12 ( $U_c=12$ ) |       |       |         |
|               | 表乾比重<br>$G_a$                           | 絶乾比重<br>$G_b$ | $G_s/c$ 対応<br>した比重<br>$G_g$ | 吸 水 率<br>$Q(\%)$ | $G_a$                  | $G_b$ | $G_g$ | $Q(\%)$ |
| 6.3.5~5.0.8   | 2.663                                   | 2.624         | 2.731                       | 1.5              | 2.635                  | 2.581 | 2.730 | 2.1     |
| 5.0.8~3.8.1   | 2.659                                   | 2.617         | 2.731                       | 1.6              | 2.630                  | 2.573 | 2.727 | 2.2     |
| 3.8.1~2.5.4   | 2.652                                   | 2.606         | 2.731                       | 1.8              | 2.631                  | 2.570 | 2.736 | 2.4     |
| 2.5.4~1.9.1   | 2.637                                   | 2.587         | 2.724                       | 1.9              | 2.621                  | 2.561 | 2.725 | 2.4     |
| 1.9.1~9.5.2   | 2.632                                   | 2.580         | 2.723                       | 2.0              | 2.609                  | 2.538 | 2.730 | 2.8     |
| 9.5.2~4.7.6   | 2.536                                   | 2.439         | 2.700                       | 4.0              | 2.581                  | 2.499 | 2.723 | 3.3     |
| 4.7.6~2.0.0   |                                         |               | 2.748                       |                  |                        |       | 2.754 |         |
| 2.0.0~0.4.2   |                                         |               |                             |                  |                        |       | 2.760 |         |
| 0.4.2~0.0.7.4 |                                         |               | 2.818                       |                  |                        |       |       |         |
| 0.0.7.4以下     |                                         |               |                             |                  |                        |       |       |         |
| 粒 径<br>(mm)   | 玄 武 岩                                   |               |                             |                  |                        |       |       |         |
|               | II-5, 6 ( $U_c=12$ )                    |               |                             |                  | II-7, 8 ( $U_c=12$ )   |       |       |         |
|               | 表乾比重<br>$G_a$                           | 絶乾比重<br>$G_b$ | $G_s/c$ 対応<br>した比重<br>$G_g$ | 吸 水 率<br>$Q(\%)$ | $G_a$                  | $G_b$ | $G_g$ | $Q(\%)$ |
| 6.3.5~5.0.8   | 2.716                                   | 2.678         | 2.784                       | 1.5              | 2.761                  | 2.723 | 2.831 | 1.4     |
| 5.0.8~3.8.1   | 2.714                                   | 2.665         | 2.801                       | 1.8              | 2.755                  | 2.708 | 2.841 | 1.7     |
| 3.8.1~2.5.4   | 2.704                                   | 2.650         | 2.800                       | 2.0              | 2.752                  | 2.701 | 2.845 | 1.9     |
| 2.5.4~1.9.1   | 2.700                                   | 2.636         | 2.814                       | 2.4              | 2.753                  | 2.701 | 2.850 | 1.9     |
| 1.9.1~9.5.2   | 2.685                                   | 2.628         | 2.787                       | 2.2              | 2.737                  | 2.673 | 2.854 | 2.4     |
| 9.5.2~4.7.6   | 2.670                                   | 2.599         | 2.799                       | 2.8              | 2.699                  | 2.614 | 2.854 | 3.2     |
| 4.7.6~2.0.0   |                                         |               | 2.827                       |                  |                        |       | 2.892 |         |
| 2.0.0~0.4.2   |                                         |               | 2.839                       |                  |                        |       | 2.878 |         |
| 0.4.2~0.0.7.4 |                                         |               | 2.909                       |                  |                        |       | 2.934 |         |
| 0.0.7.4以下     |                                         |               |                             |                  |                        |       |       |         |
| 粒 径<br>(mm)   | 玄 武 岩                                   |               |                             |                  |                        |       |       |         |
|               | III-9, 10 ( $U_c=20$ )                  |               |                             |                  | IV-13, 14 ( $U_c=20$ ) |       |       |         |
|               | 表乾比重<br>$G_a$                           | 絶乾比重<br>$G_b$ | $G_s/c$ 対応<br>した比重<br>$G_g$ | 吸 水 率<br>$Q(\%)$ | $G_a$                  | $G_b$ | $G_g$ | $Q(\%)$ |
| 6.3.5~5.0.8   | 2.661                                   | 2.587         | 2.795                       | 2.9              | 2.744                  | 2.685 | 2.854 | 2.2     |
| 5.0.8~3.8.1   | 2.660                                   | 2.579         | 2.806                       | 3.2              | 2.738                  | 2.681 | 2.846 | 2.2     |
| 3.8.1~2.5.4   | 2.655                                   | 2.564         | 2.821                       | 3.6              | 2.717                  | 2.653 | 2.835 | 2.4     |
| 2.5.4~1.9.1   | 2.625                                   | 2.511         | 2.831                       | 4.5              | 2.701                  | 2.630 | 2.831 | 2.7     |
| 1.9.1~9.5.2   | 2.611                                   | 2.482         | 2.849                       | 5.2              | 2.676                  | 2.596 | 2.823 | 3.1     |
| 9.5.2~4.7.6   | 2.534                                   | 2.356         | 2.866                       | 7.6              | 2.646                  | 2.551 | 2.819 | 3.7     |
| 4.7.6~2.0.0   |                                         |               | 2.893                       |                  |                        |       | 2.914 |         |
| 2.0.0~0.4.2   |                                         |               | 2.845                       |                  |                        |       | 2.926 |         |
| 0.4.2~0.0.7.4 |                                         |               | 2.875                       |                  |                        |       | 2.809 |         |
| 0.0.7.4以下     |                                         |               |                             |                  |                        |       |       |         |

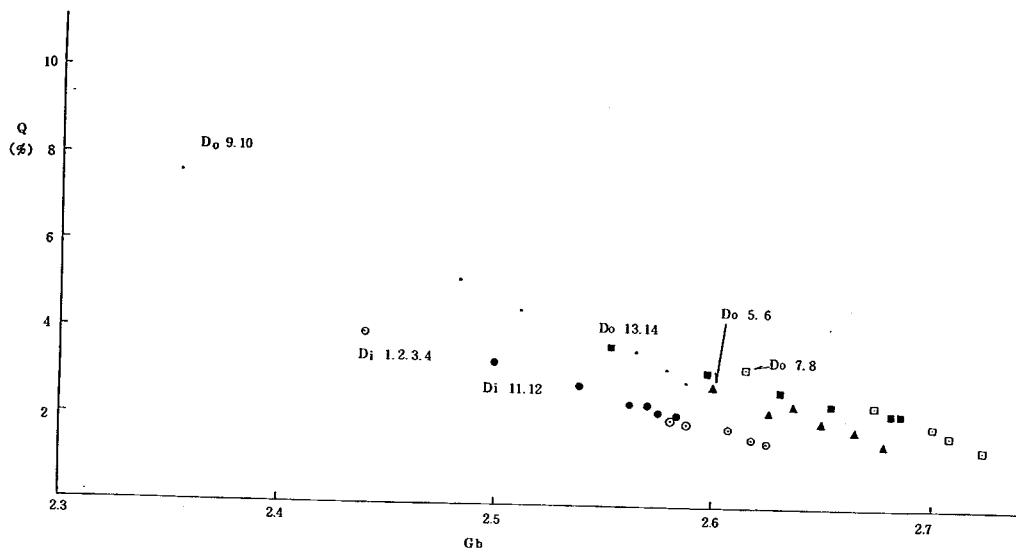


図 4.1  $Q - G_b$

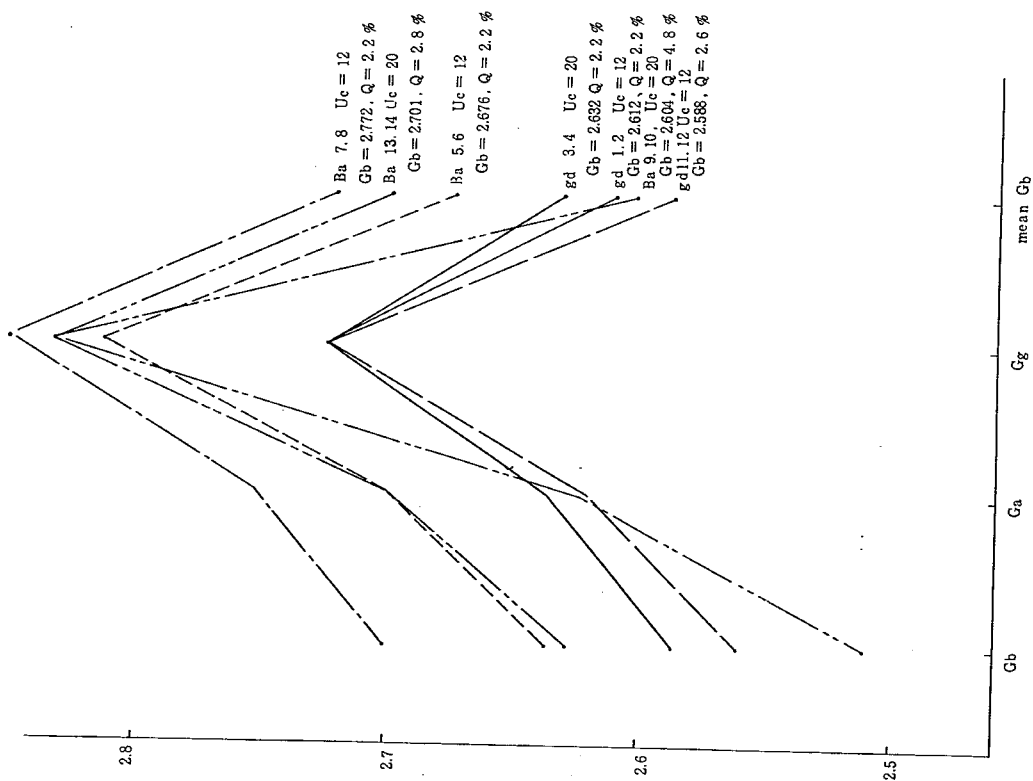


図 4.2  $D_{50} (2.54 \sim 1.91 \text{ mm})$  の比重

表 4 - 3 岩石試験結果

| 試 料 名                                    | 絶乾比重 | 吸水率<br>(%) | 一軸圧縮強度<br>(強制湿油)<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 安 定 性 試 験<br>損 失 百 分 率<br>(%) | 凍 結 融 解 試 験<br>重 度 変 化 率 (%) |         |
|------------------------------------------|------|------------|-------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------|
|                                          |      |            |                                           |                               | 100サイクル                      | 300サイクル |
| dolerite<br>II - 5. 6. 7. 8              | 2.66 | 1.14       | 898                                       | 5.1                           | 99.9                         | 99.9    |
| T - 2 A<br>(横坑名)                         | 2.70 | 0.82       | 1168                                      | 14.9                          | 99.9                         | 99.9    |
|                                          | 2.70 | 0.99       | 1052                                      | 0.9                           | 100.0                        | 100.0   |
| (平均値)                                    | 2.69 | 0.98       | 1039                                      | 7.0                           | 100.0                        | 100.0   |
| dolerite<br>IV - 13. 14                  | 2.74 | 1.11       | 752                                       | 3.7                           | 100.0                        | 100.0   |
| T - 2 C                                  | 2.71 | 1.64       | 772                                       | 6.9                           | 100.0                        | 100.0   |
|                                          | 2.72 | 1.81       | 993                                       | 8.9                           | 100.0                        | 100.0   |
| (平均値)                                    | 2.72 | 1.52       | 839                                       | 6.5                           | 99.8                         | 99.7    |
| dolerite<br>III - 9. 10                  | 2.55 | 4.27       | 523                                       | 18.6                          | 100.0                        | 100.8   |
| T - 3 - A                                | 2.51 | 4.72       | 488                                       | 48.8                          | 100.1                        | 100.7   |
|                                          | 2.60 | 3.23       | 310                                       | 75.9                          | 9.6                          | 破 壊     |
| (平均値)                                    | 2.55 | 4.07       | 440                                       | 47.8                          | 破 壊                          |         |
| diorite<br>I - 1. 2. 3. 4<br>IV - 11. 12 | 2.77 | 0.18       | 933                                       | 横坑名<br>(TLI) 新鮮               |                              |         |
|                                          | 2.61 | 1.42       | 881                                       | (TRI) やや風化                    |                              |         |
|                                          | 2.68 | 0.58       | 825                                       | (TLI) 緑泥石化                    |                              |         |

## 2) 締固め試験

閃緑岩および玄武岩の締固め試験結果（加速度と間ゲキ比の関係）を図-4.3に示す。なお相対密度は、試料投入のみの間ゲキ比を最大間ゲキ比、加速度約3.1g振動数1800rpmの時の間ゲキ比を最小間ゲキ比とし、Terzaghiの定義により求めた値である。

締固め条件を同一とすれば図4-3より閃緑岩、玄武岩とも均等係数の大きい方が間隙比は小さい。相対密度の規準となる $e_{max}$ ,  $e_{min}$ の比率は大体同じ程度であるが、岩質により夫々の値は異なる。なお、岩質が悪い程よく締る傾向にある。（図4.4）

## 3) 大型三軸圧縮試験

試験結果一覧表を表-4.1に示した。また、各ケースのモールの応力円と破壊包絡線と、応力～ひずみ曲線を図-4.5～図-4.32に示す。これらの結果についての特徴は次の通りである。

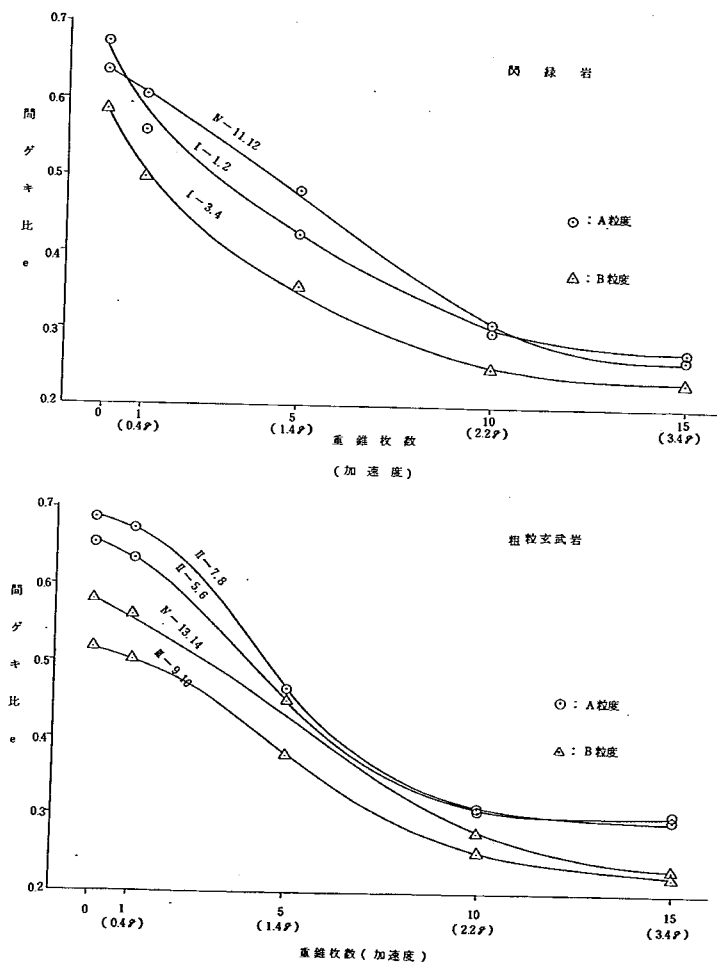
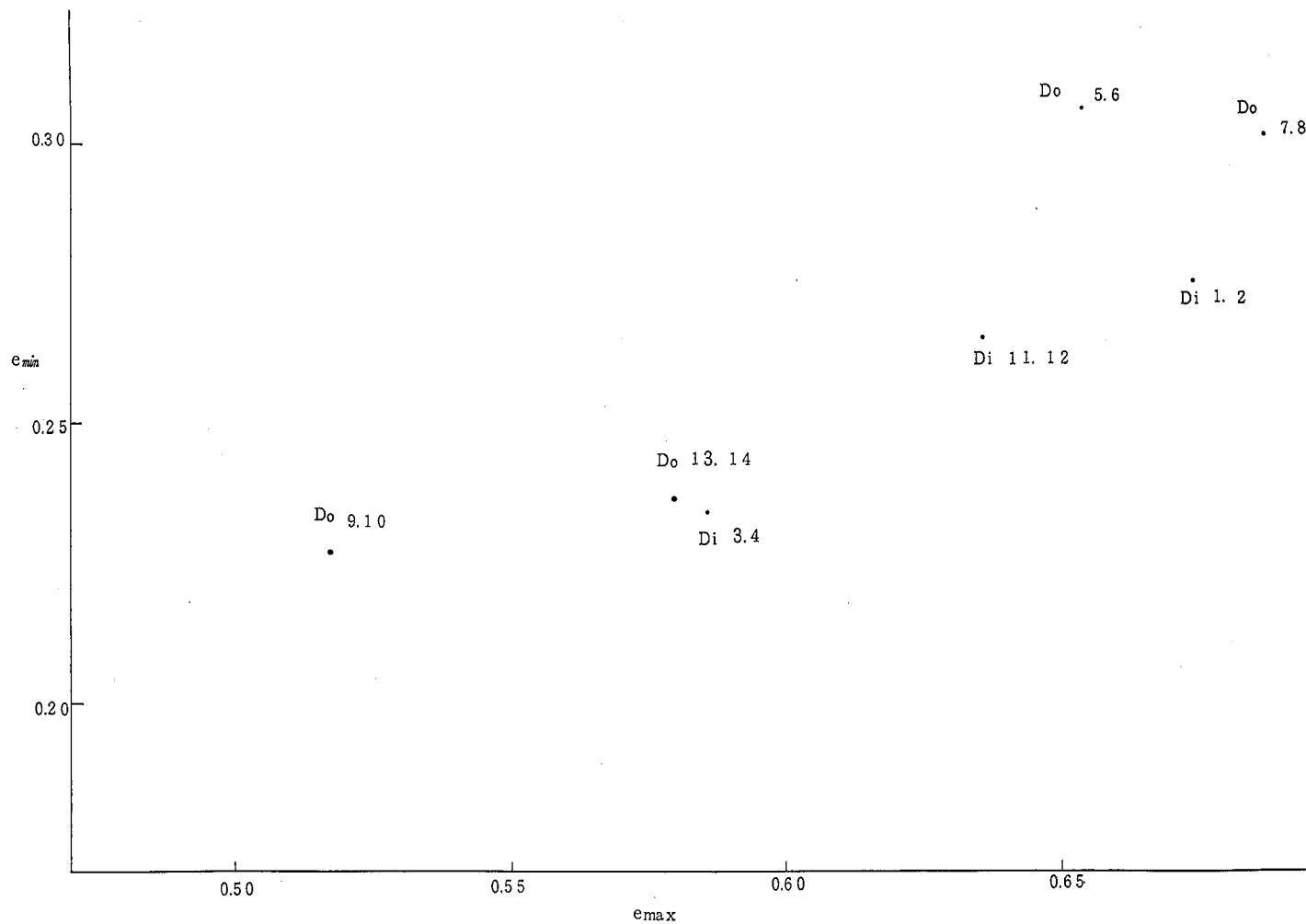


図-4.3. 締固め試験結果

□ 4 - 4  $e_{max}$  &  $e_{min}$   
 - 22 -



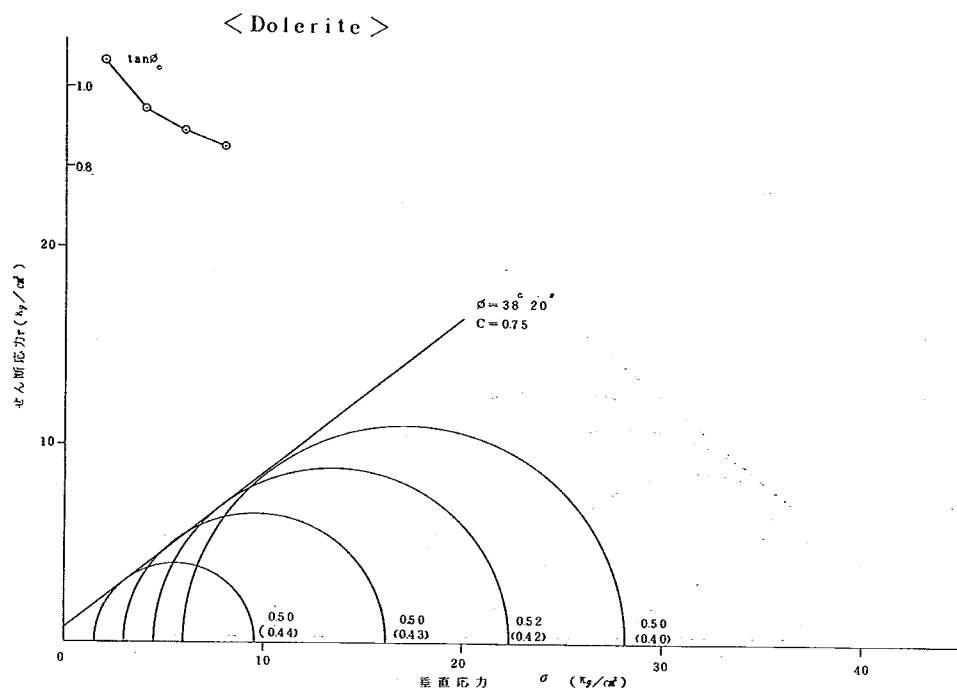


図 4 - 5 II - 6

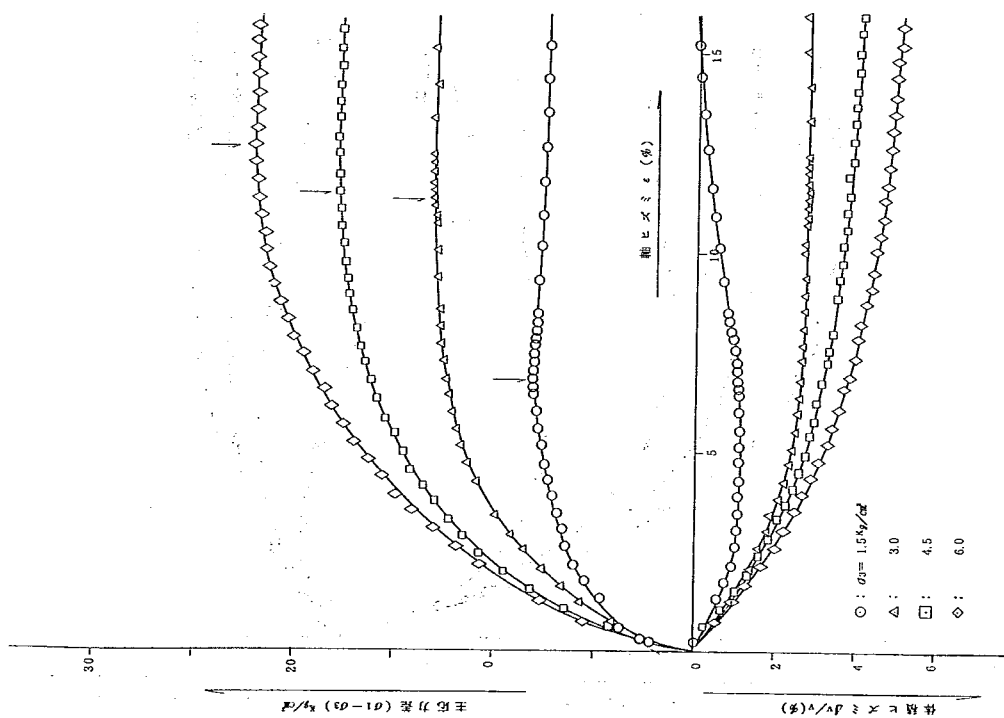


図 4 - 6 II - 6

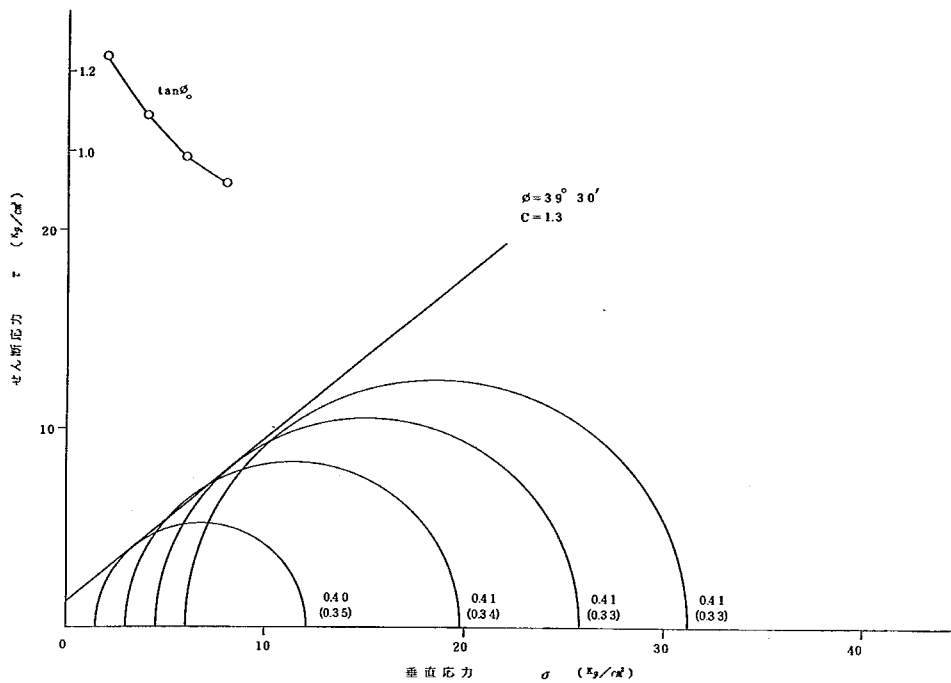


图 4-7 II-8

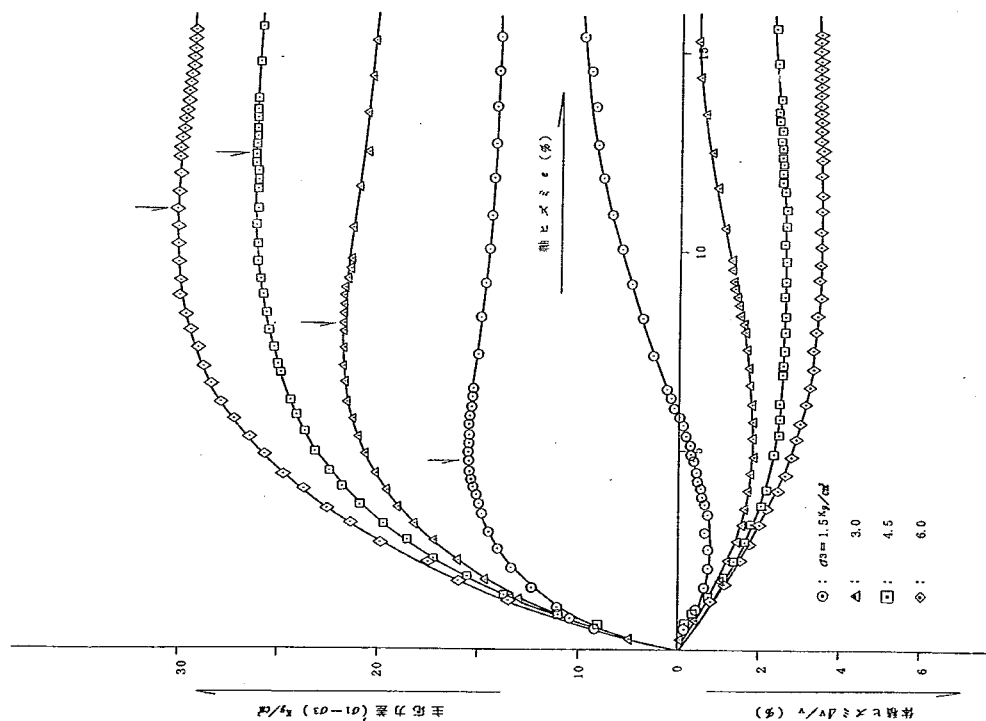


图 4-8 II-8

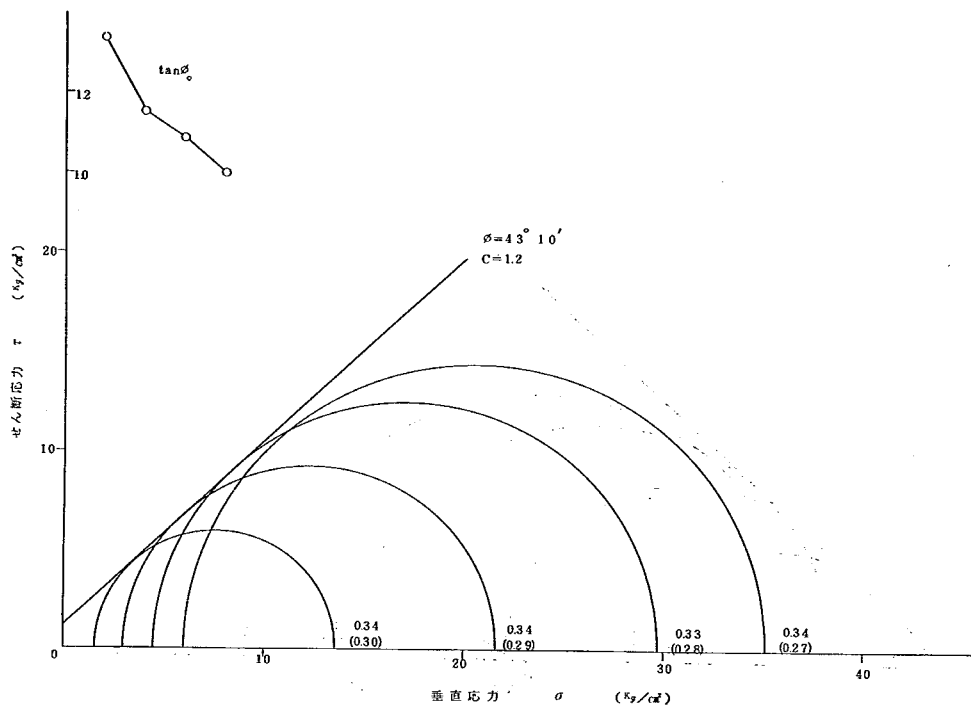


図 4-9. II-5

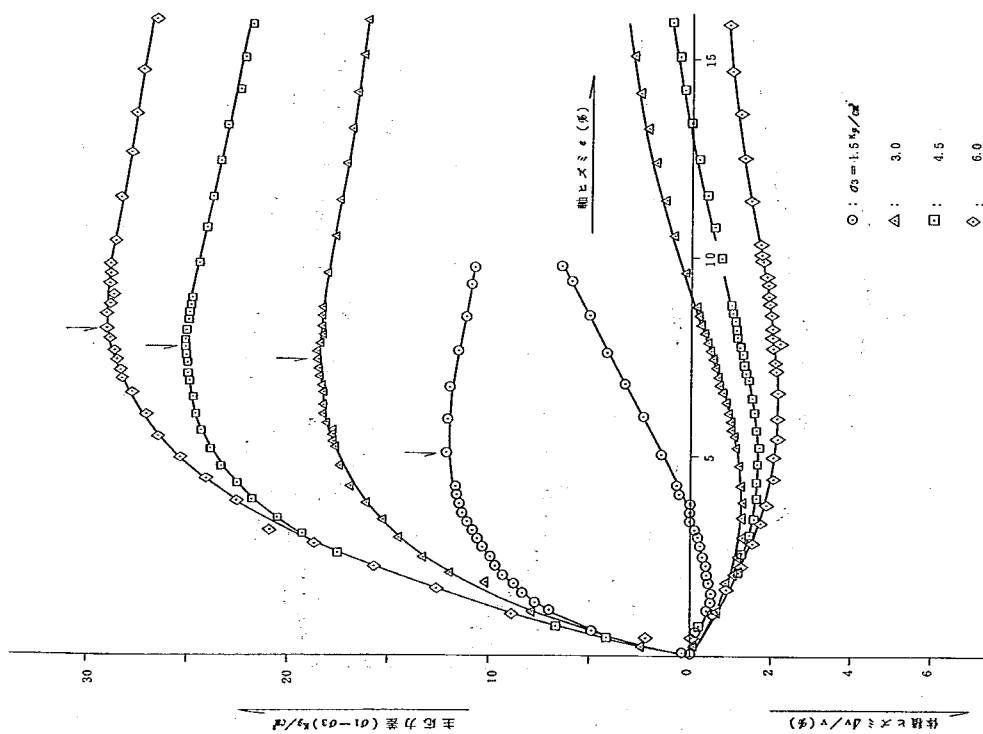


図 4-10 II-5

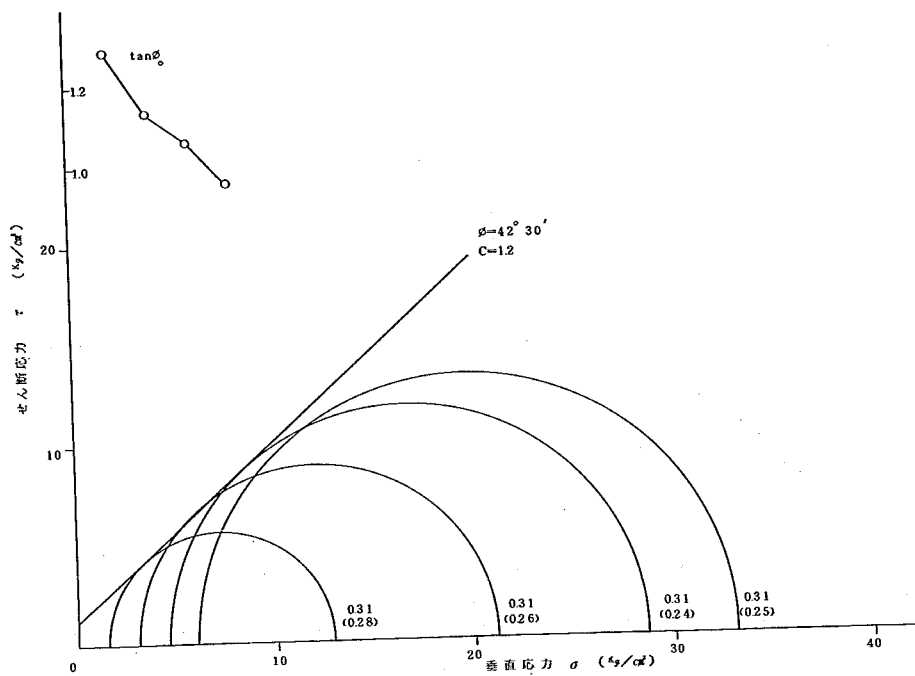


图 4-11 II-7

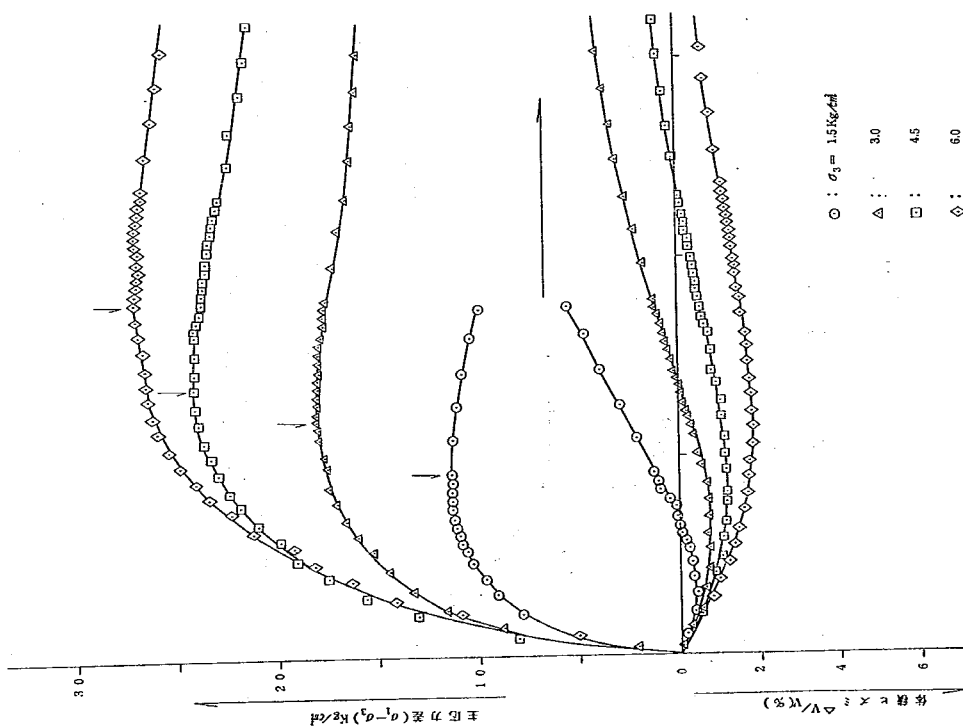


图 4-12 II-7

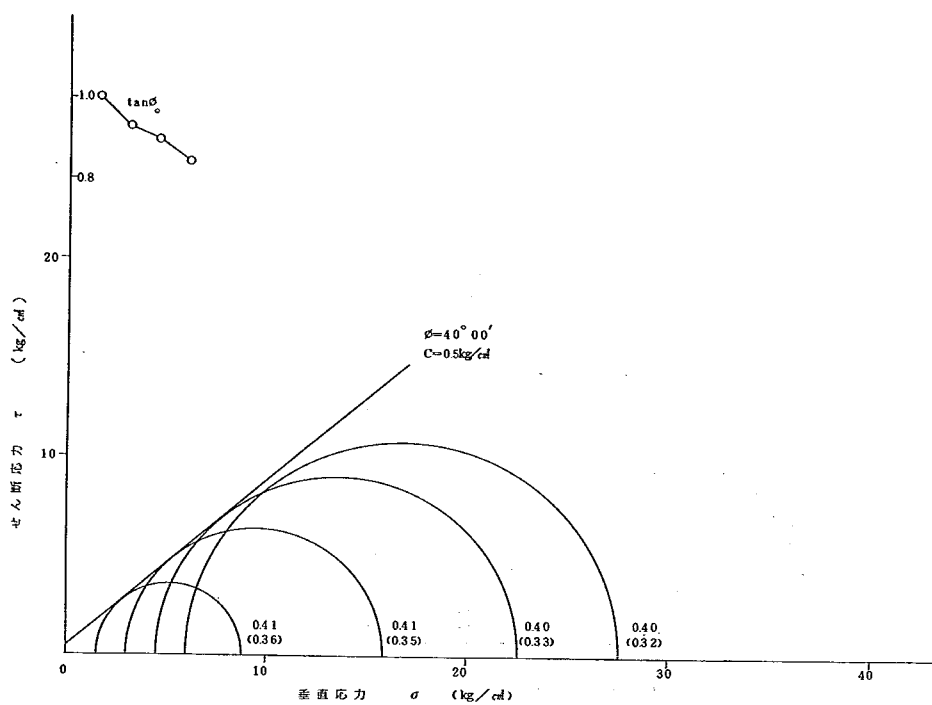


図 4-13 Ⅲ-10

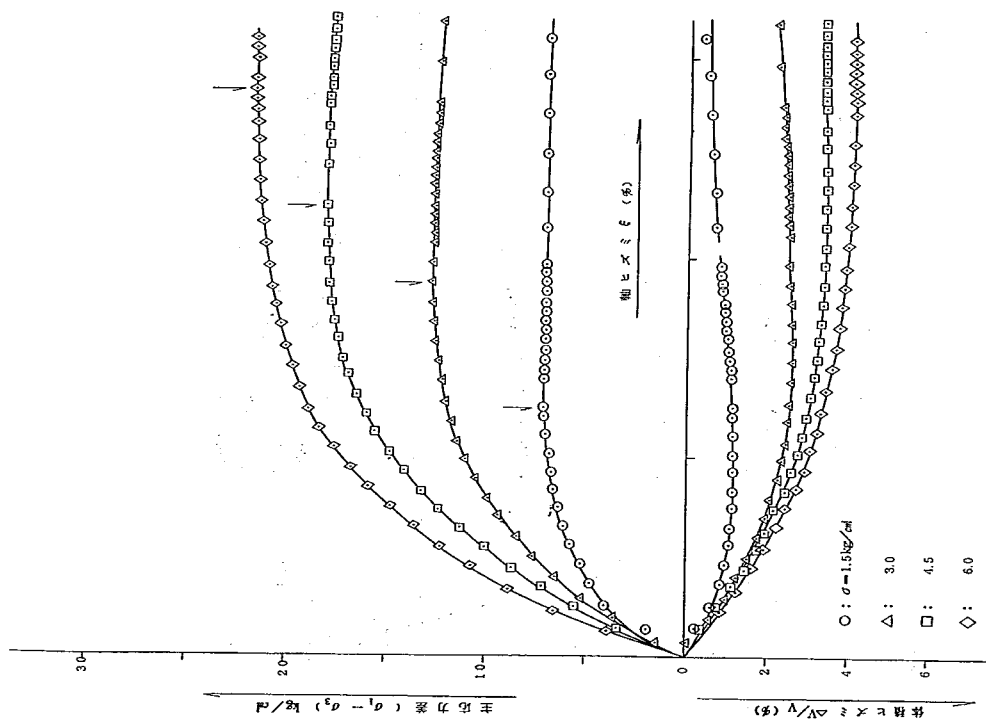


図 4-14 Ⅲ-10

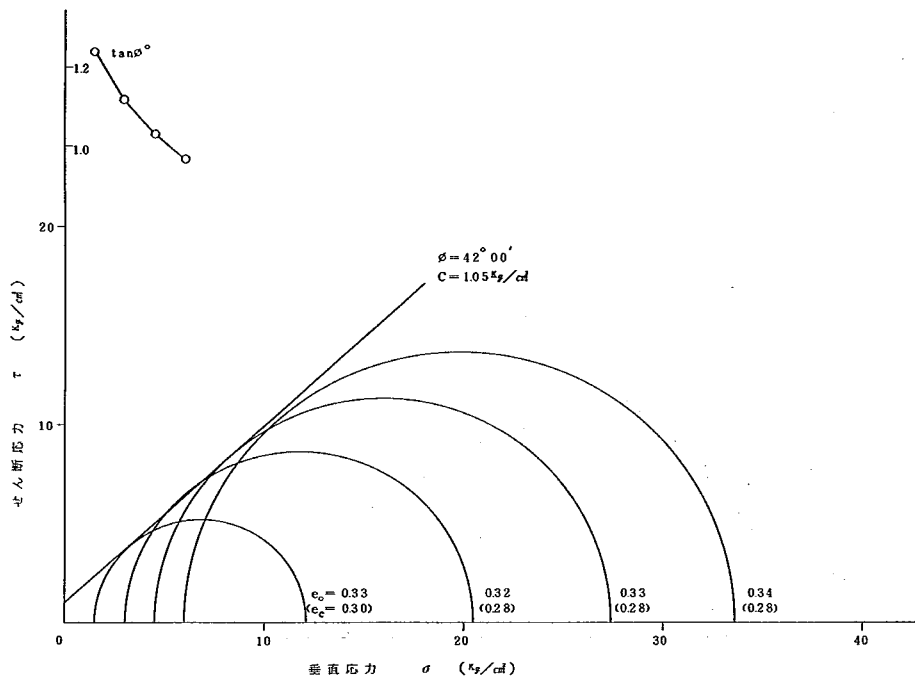


図 4-15 IV-14

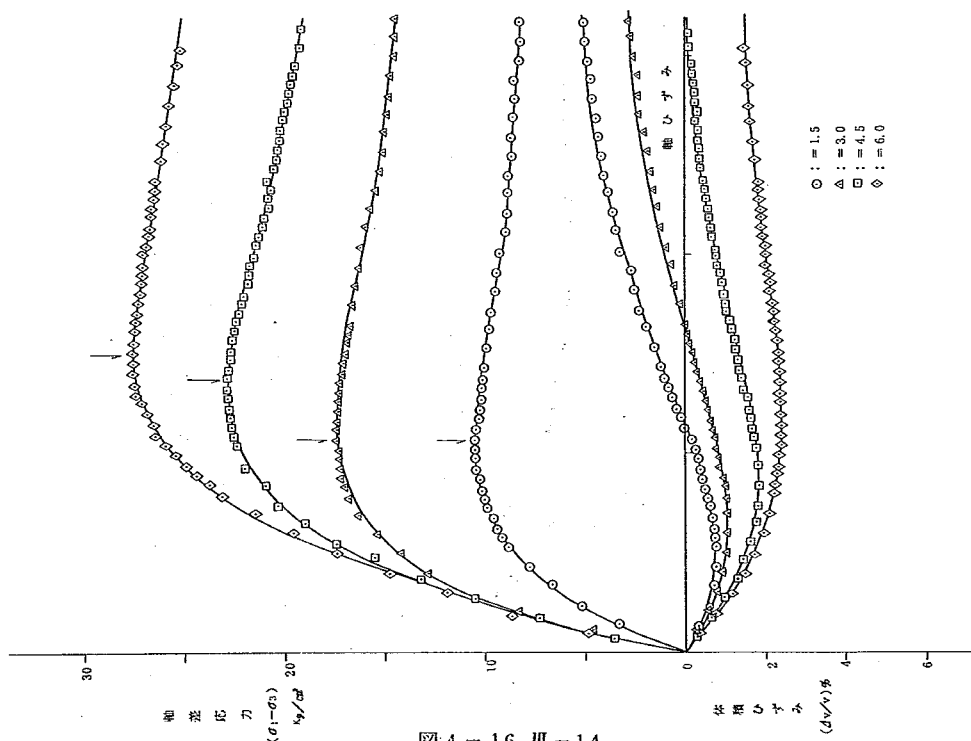


図 4-16 III-14

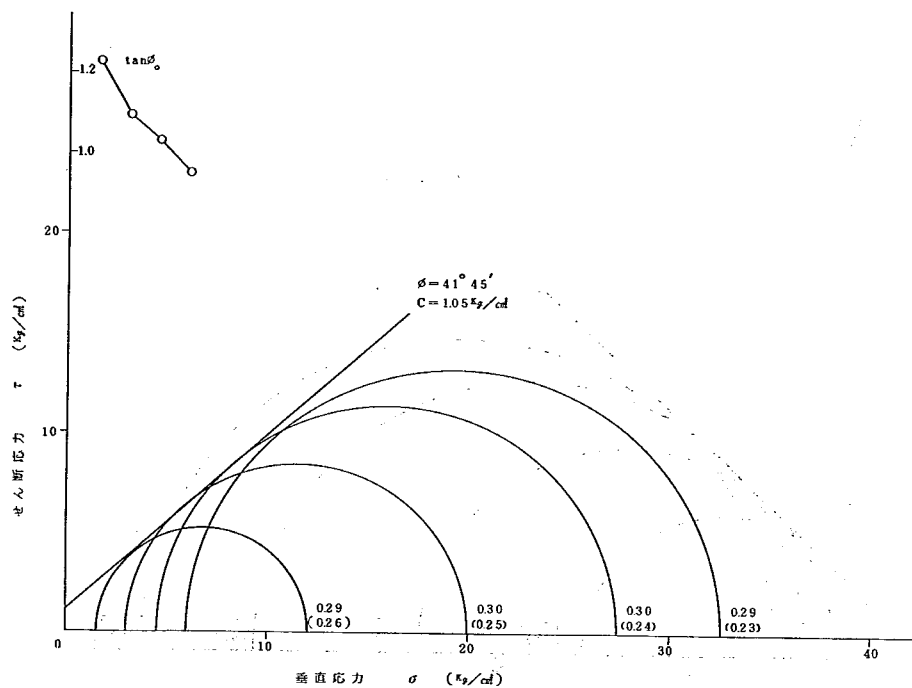


図 4-17 III-9

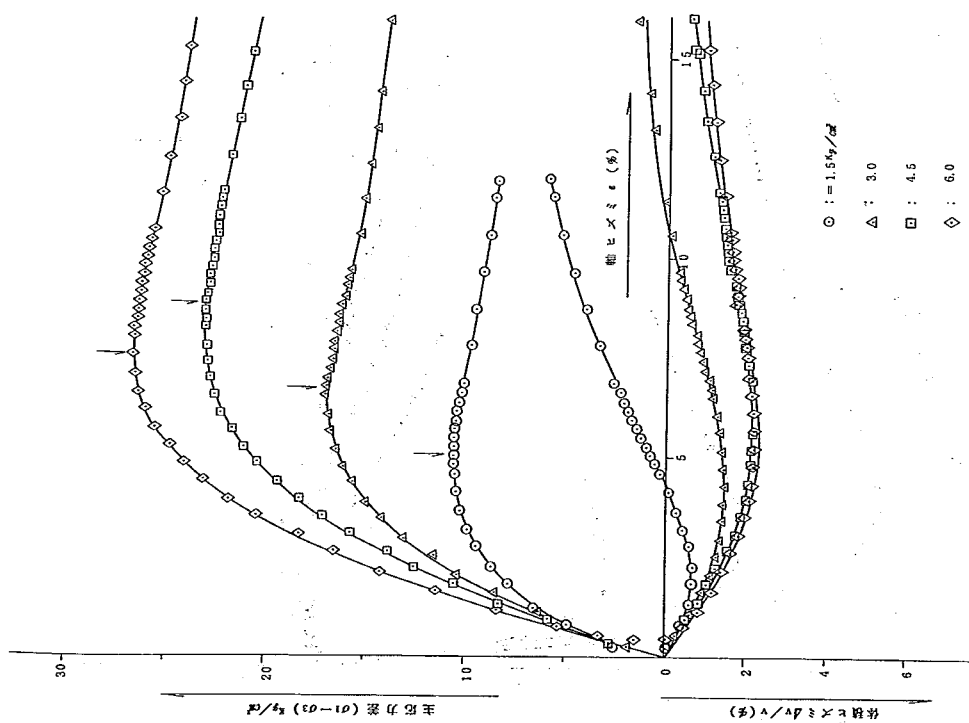


図 4-18 III-9

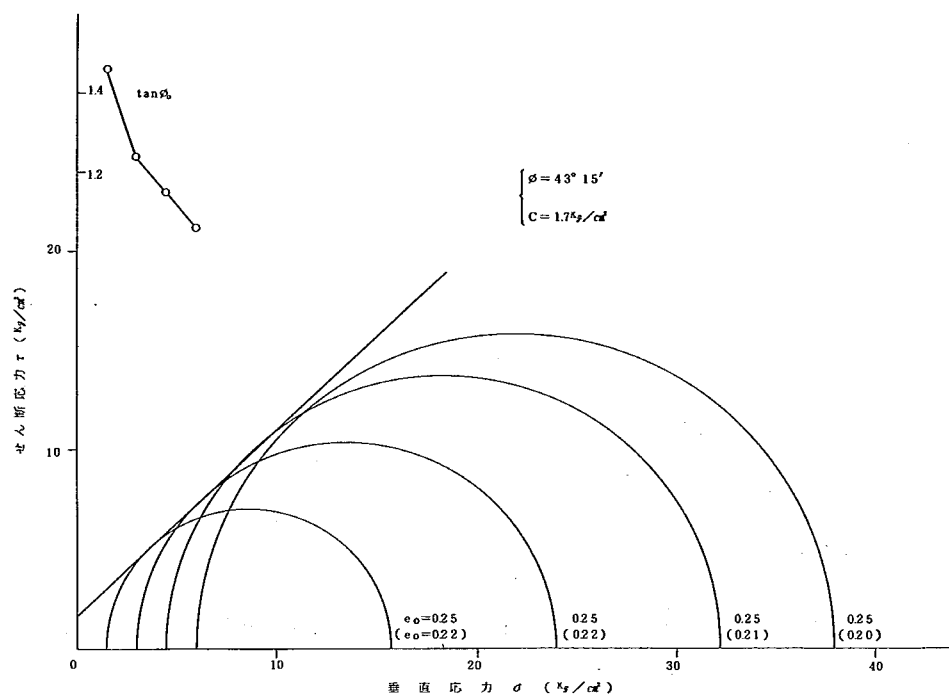


図 4-19 IV-13

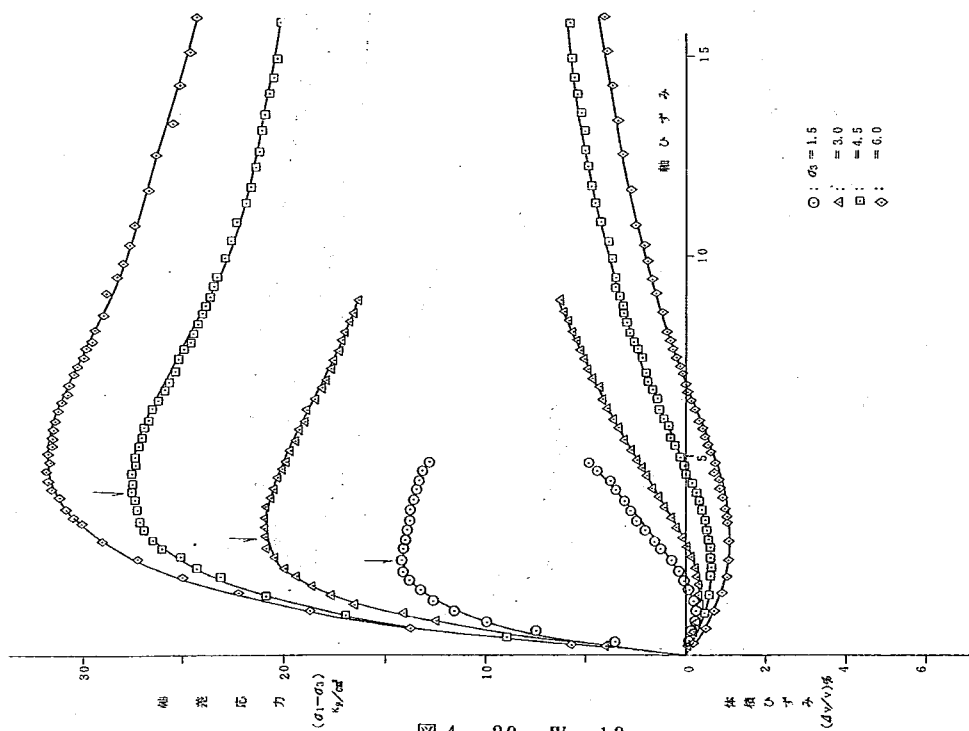


図 4-20 IV-13

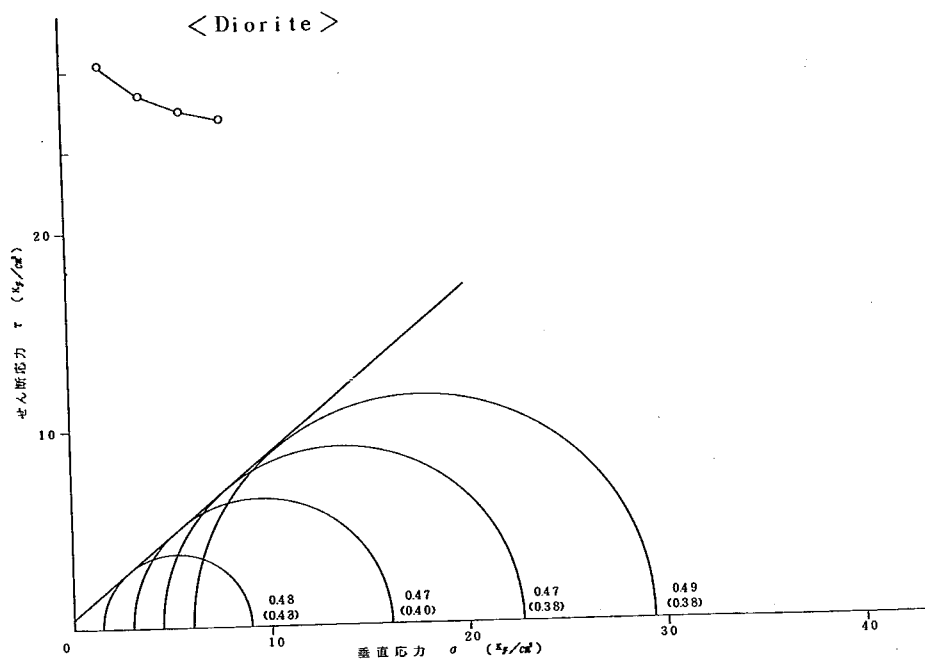


図 4-21 I-2

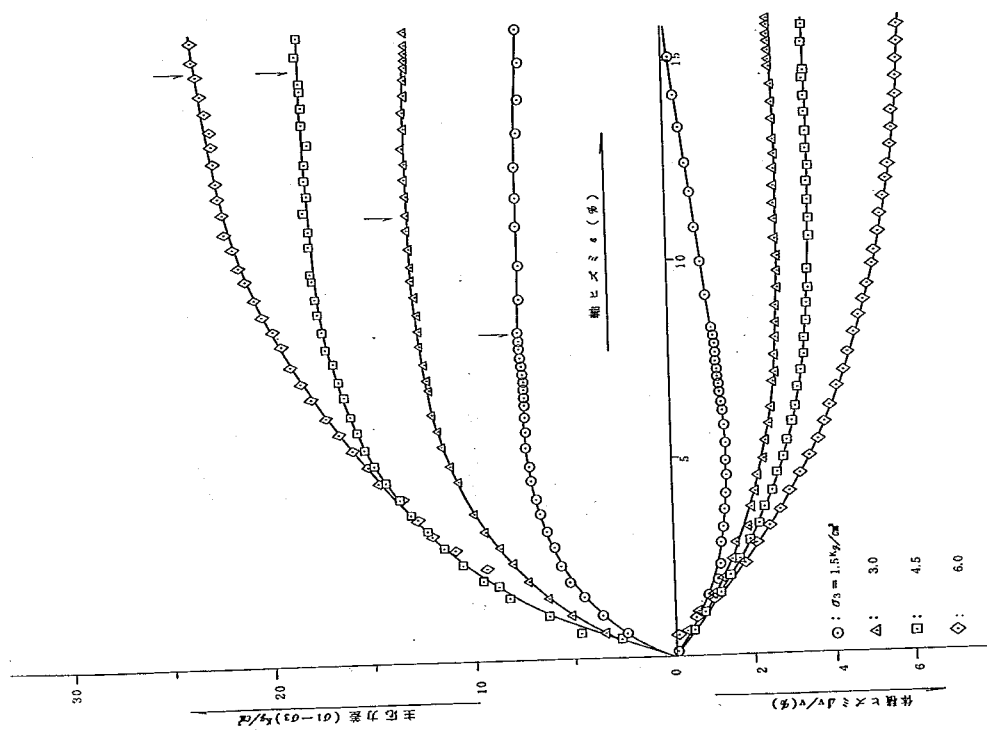


図 4-22 I-2

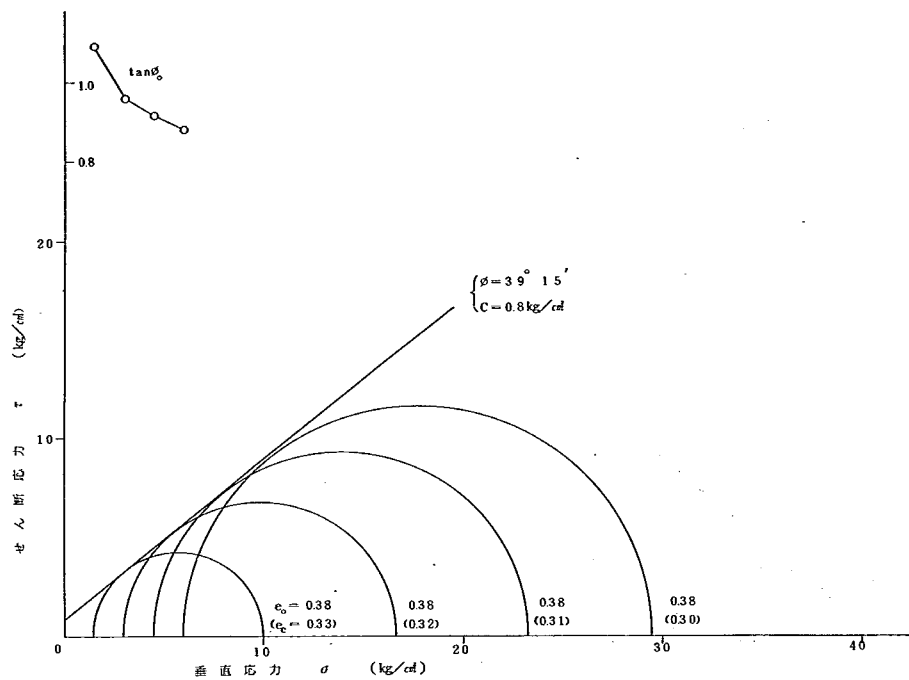


図 4-23 IV-12

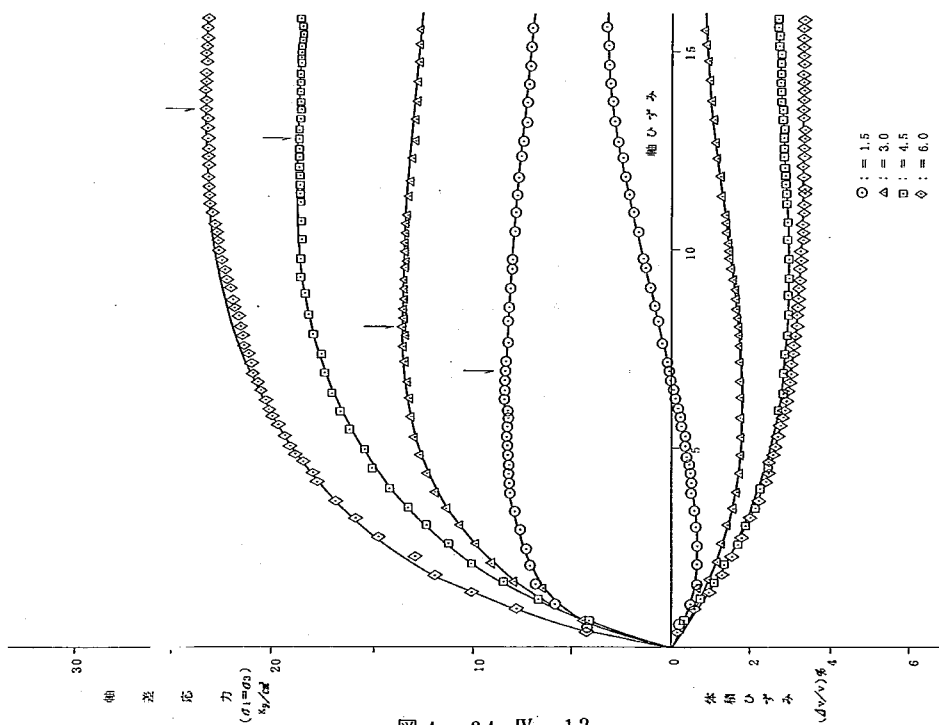


図 4-24 IV-12

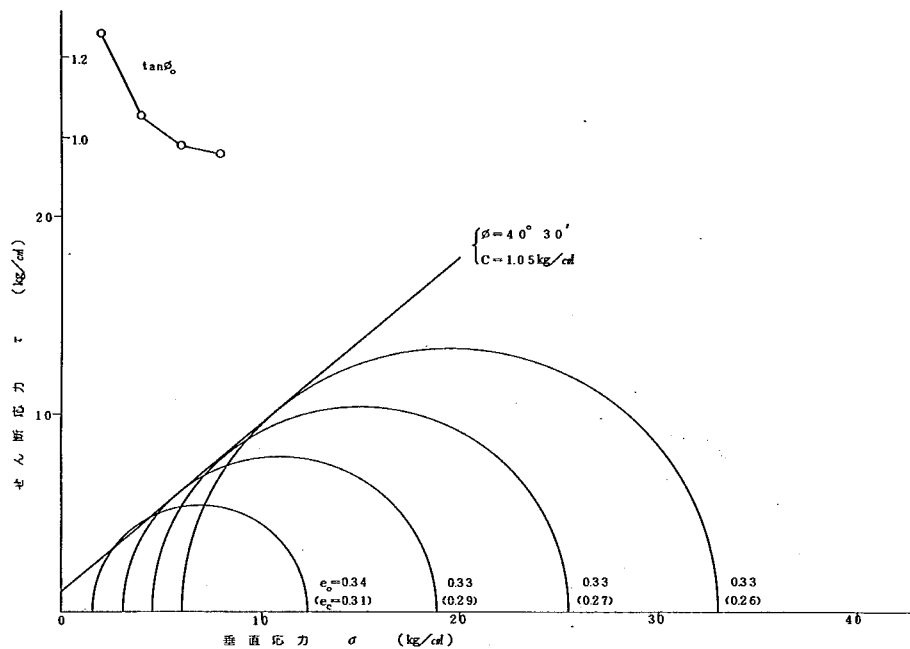


図 4-25 I-1

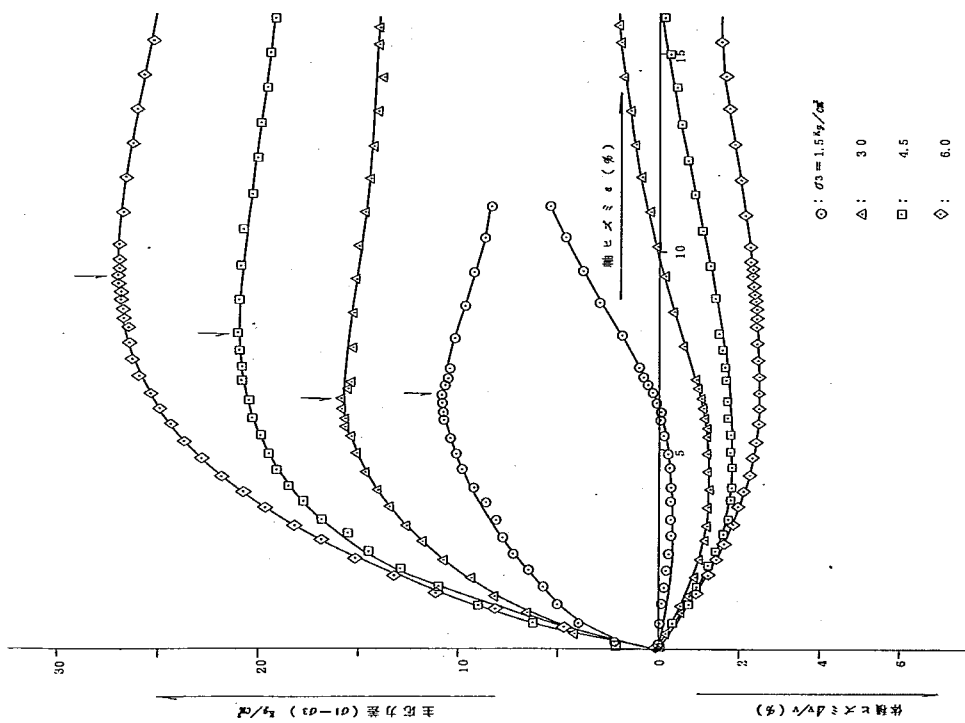


図 4-26 I-1

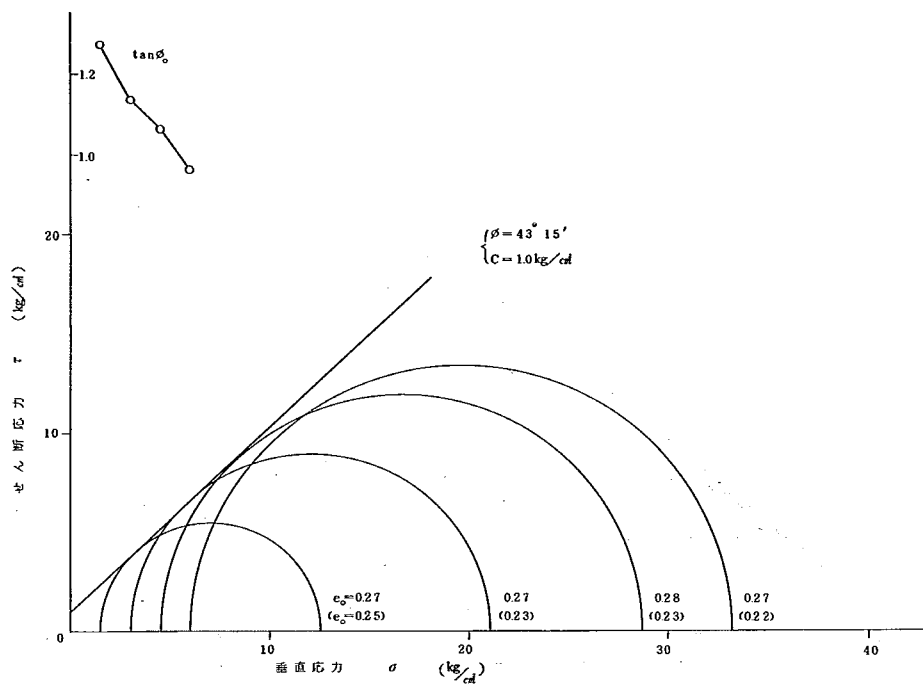


図4-27 IV-11

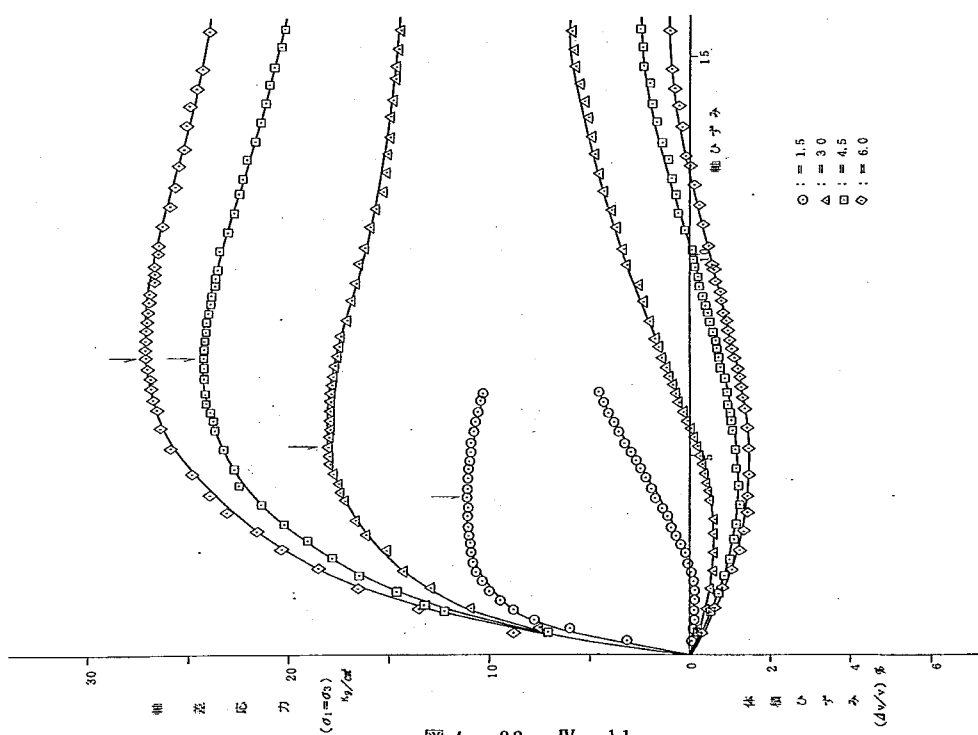


図4-28 IV-11

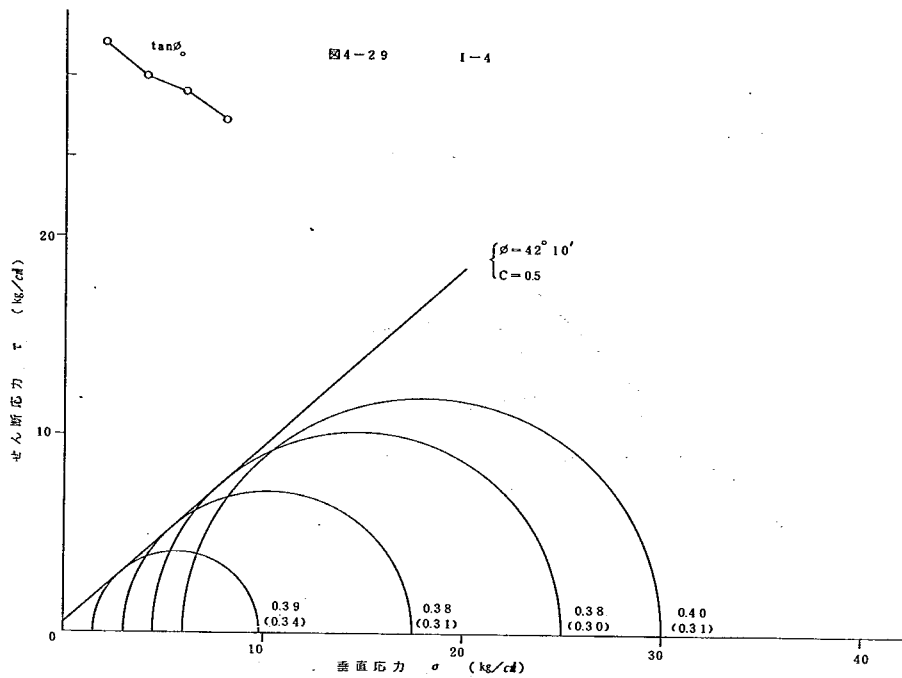


图 4-29 I-4

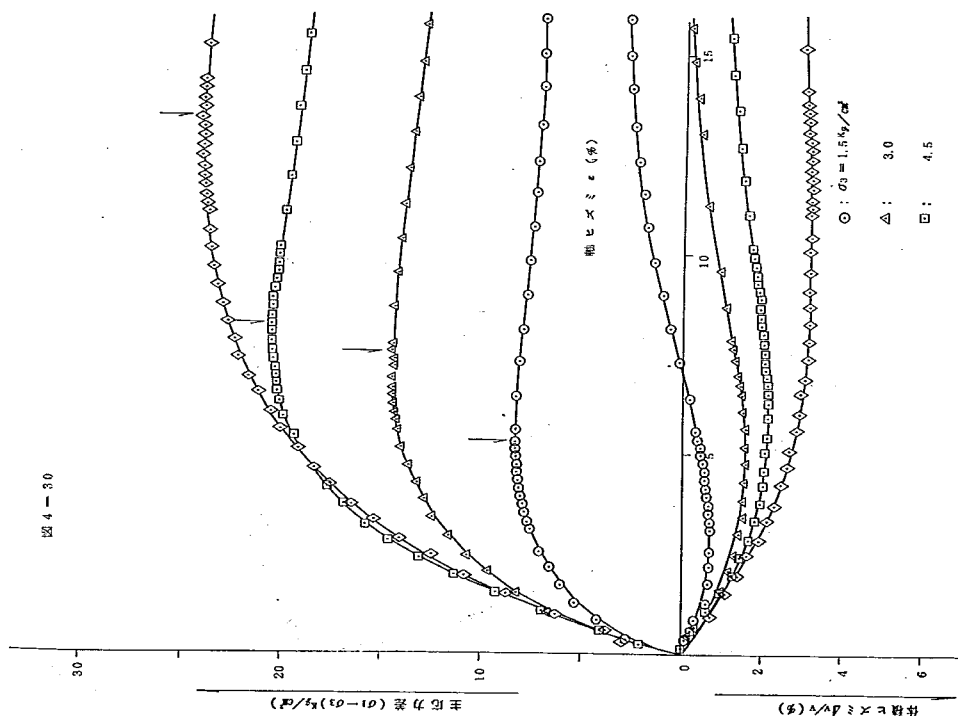


图 4-30 I-4

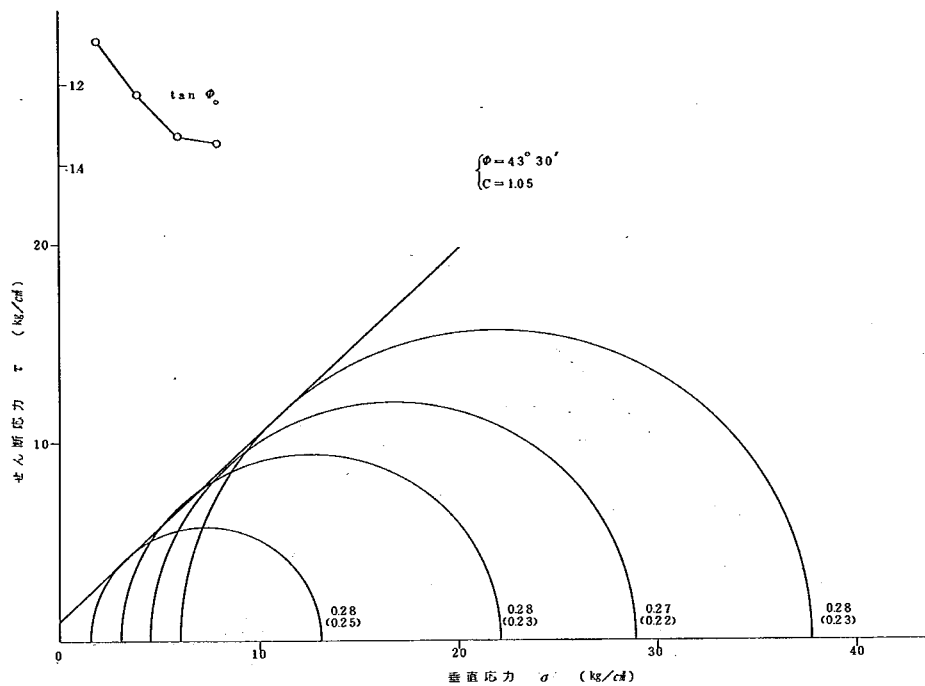


图 4-31 I-3

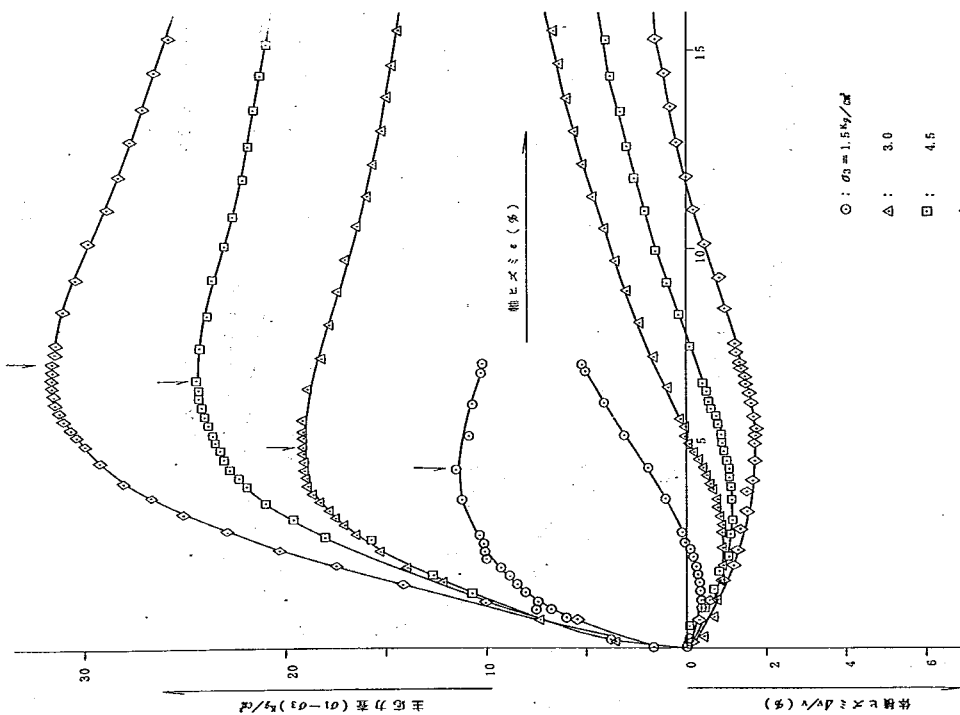


图 4-32 I-3

- i) モールの応力円の破壊包絡線は、粗粒玄武岩については多少の差はあるにしても全て  $\sigma_3 = 6.0 \text{ kg/cm}^2$  での  $(\sigma_1 - \sigma_3)$  peak が小さく若干曲線となる。閃緑岩については I-4 と IV-11, 12を除いては直線となっている。
- ii)  $(\sigma_1 - \sigma_3)$  peak の時の 15% を超えているのは閃緑岩の  $D_r = 50\%$  のケースの  $\sigma_3 = 4.5, 6.0 \text{ kg/cm}^2$  のみであり、あとの全ては  $\epsilon_a$  が 15% 以内である。玄武岩では  $D_r = 39\%$  でも  $\epsilon_a = 15\%$  以下で peak がでる。
- iii) 応力歪曲線を、破壊時の軸歪と体積歪に注目して見ると、図 4-33 に示すように相対密度が大きくなると  $\epsilon_f$ ,  $\epsilon_v$  は小さくなるが、粒度の影響があり均等係数が 12 の場合は岩質の差によらず、 $D_r = 70\%$  でも均等係数が 20 の場合の  $D_r = 50\%$  程度と同じ程度の値を示す。 $D_r = 85\%$  以上になると、大体同じような傾向を示すので、USBR で言う  $D_r = 85\%$  以上は Very dense という定義もこの二つの粒度についてはあてはまると言えよう。
- iv) 破壊時の体積変化が増加にあるか、減少にあるかは、表 4-1 のグイレンシーレポート  $(\frac{d\epsilon_v}{d\epsilon_a})_f$  で示されるが、大半の場合は破壊時に体積膨脹にある。体積減少にあるのは

|       |              |                                       |        |
|-------|--------------|---------------------------------------|--------|
| 粗粒玄武岩 | $D_r = 43\%$ | $\sigma_3 = 4.5, 6.0 \text{ kg/cm}^2$ | ( 6 )  |
|       | $D_r = 74\%$ | $\sigma_3 = 6.0$                      | ( 8 )  |
|       | $D_r = 39\%$ | $\sigma_3 = 4.5, 6.0$                 | ( 10 ) |
| 閃 緑 岩 | $D_r = 50\%$ | $\sigma_3 = 6.0$                      | ( 2 )  |

であり、前項と同様の相対密度と粒度の関係があてはまる。

- v) 強度をモールの破壊包絡線を直線として求めた内部摩擦角( $\phi$ )と粘着力(C)を表 4-4 に示す。包絡線の書き方によって強度定数は異なる。i) で述べたように玄武岩は  $\sigma_3 = 6.0 \text{ kg/cm}^2$  で  $(\sigma_1 - \sigma_3)$  peak が小さくなるので、とくにその差は大きくなってくる。また粘着力が大きくなるのも包絡線が曲線となる同じ傾向を示すものと言える(粘着力は  $1 \text{ kg/cm}^2$  程度と非常に大きい。当然包絡線の書き方で内部摩擦角を減少させると粘着力は増加すると言える。但し包絡線を直線とした場合)。
- vi)  $(\sigma_1 - \sigma_3)$  peak が  $\sigma_3 = 6 \text{ kg/cm}^2$  で低下するのは一般に破碎率が高いからと想定されている。破碎率を何をもって表示するかが問題であるが Masai の定義による B で表し、表 4-2 に示した。この値は締固め時の破碎率も入ったものである。粘着力を無視した内部摩擦角  $\phi_0$  と B の関係は図 4-34 に示す通りである。 $\sigma_3 = 6 \text{ kg/cm}^2$  までは破碎率が増加すると剪断強度( $\phi_0$ )は減少する。 $\sigma_3 = 1.5 \sim 4.5 \text{ kg}$  の場合はほぼ直線関係にあるが  $\sigma_3 = 6 \text{ kg/cm}^2$  ではあまり明確な関係が見られない。そこで破壊時の軸力  $\sigma_f$  と B の関係を図 4-35 に示した。これから次のことが言えよう。

- 均等係数が高い方が破碎率小さい
- 玄武岩について見ると、Q が大きく  $Q_b$  が小さい岩質の悪いものが破碎率小さい。これは常識的に反対のように思われる。

表 4-4 強 度 定 数

| 岩 種                   | 粒 度                       | 相対密度<br>D <sub>r</sub> (%) | 低側圧を重視<br>して求めた               | $\sigma_3=1.5$ と $6.0$<br>から求めた | 最小二乗法によ<br>る           | $\Delta \phi$     |
|-----------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------------|-------------------|
| 花<br>崗<br>閃<br>緑<br>岩 | A<br>(U <sub>c</sub> =12) | 5 0                        | $\phi=39^\circ 55'$<br>C=0.55 | $39^\circ 10'$<br>0.6           | $39^\circ 34'$<br>0.56 | $\Delta \phi=45'$ |
|                       |                           | 7 0                        | $39^\circ 15'$<br>0.8         | $38^\circ 15'$<br>0.9           | $38^\circ 49'$<br>0.83 | $1^\circ$         |
|                       |                           | 8 6                        | $40^\circ 30'$<br>1.05        | $40^\circ 00'$<br>1.25          | $39^\circ 57'$<br>1.22 | $30'$             |
|                       |                           | 9 8                        | $43^\circ 15'$<br>1.0         | $39^\circ 50'$<br>1.4           | $40^\circ 26'$<br>1.45 | $3^\circ 25'$     |
|                       | B<br>(U <sub>c</sub> =20) | 5 8                        | $42^\circ 10'$<br>0.5         | $39^\circ 25'$<br>0.75          | $39^\circ 54'$<br>0.81 | $2^\circ 45'$     |
|                       |                           | 8 8                        | $43^\circ 30'$<br>1.05        | "                               | $43^\circ 24'$<br>1.13 | 0                 |
| 玄<br>武<br>岩           | A<br>(U <sub>c</sub> =12) | 4 3                        | $38^\circ 20'$<br>0.75        | $37^\circ 30'$<br>0.85          | $37^\circ 32'$<br>0.89 | $50'$             |
|                       |                           | 7 4                        | $39^\circ 30'$<br>1.3         | $37^\circ 35'$<br>1.45          | $38^\circ 12'$<br>1.53 | $1^\circ 55'$     |
|                       |                           | 9 1                        | $43^\circ 10'$<br>1.2         | $40^\circ 30'$<br>1.5           | $41^\circ 15'$<br>1.52 | $2^\circ 40'$     |
|                       |                           | 9 8                        | $42^\circ 30'$<br>1.2         | $38^\circ 55'$<br>1.55          | $40^\circ 05'$<br>1.54 | $3^\circ 35'$     |
|                       | B<br>(U <sub>c</sub> =20) | 3 9                        | $40^\circ 00'$<br>0.5         | $37^\circ 25'$<br>0.65          | $38^\circ 12'$<br>0.67 | $2^\circ 35'$     |
|                       |                           | 7 2                        | $42^\circ 00'$<br>1.05        | $40^\circ 35'$<br>1.2           | $40^\circ 51'$<br>1.24 | $1^\circ 25'$     |
|                       |                           | 7 7                        | $41^\circ 45'$<br>1.05        | $39^\circ 10'$<br>1.35          | $40^\circ 07'$<br>1.32 | $2^\circ 35'$     |
|                       |                           | 9 5                        | $43^\circ 15'$<br>1.7         | $41^\circ 00'$<br>2.0           | $41^\circ 52'$<br>1.92 | $2^\circ 15'$     |
|                       |                           |                            | $42^\circ 00'$<br>0.33        | "                               | $41^\circ 59'$<br>0.33 | 0                 |
| 崖 錐                   | (U <sub>c</sub> =184)     |                            |                               |                                 |                        |                   |

c) 一般に  $\sigma_{1f}$  が大きくなると B は増加する。岩質が悪い程  $\sigma_{1f}$  が大きくなってもあまり B は増加しない。

d)  $\sigma_{1f}$  が大きくなっても  $\sigma_3 = 6.0 \text{ kg/cm}^2$  と  $\sigma_3 = 4.5 \text{ kg/cm}^2$  の B は差がなくなるケースが大半である。

初期間隙比と破壊時の間隙比の差  $e_0 - e_f$  と B の関係を次に図 4-36 に示す。これから次の事が言える。

a) 岩質が良い程 B が増加しても  $e_0 - e_f$  はあまり増加しない。

b)  $D_r$  が小さい程  $e_0 - e_f$  大きく B は小さい。 $D_r$  が大きい程  $e_0 - e_f$  は小さく B は大きい。

c)  $\sigma_{1f}$  が大きくなると B の増減にかかわらず、 $e_0 - e_f$  は増加する。

ダイタンシーレートと B の関係は図-37 に示す通りであるが、B が増加しないのにダイタンシーレートが減少するケースが半分もありその関係は明確でない。

以上のことから  $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{peak}}$  が  $\sigma_3 = 6 \text{ kg/cm}^2$  で低下するのは破砕率が大きいからとは必ずしも言えない。

VII) 表 4-3 に示した内部摩擦角を初期間隙比  $e_0$  と初期相対密度  $D_r$  の関係を図示すると図 4-38, 4-39 となる。ここでの内部摩擦角は、設計値を決める場合慣例として粘着力を無視すること、円弧すべり面での応力 ( $\sigma_3$ ) があまり大きくないことを考慮して求めた値である。参考までに最小二乗法で求めた  $\phi$  と  $e_0$  と  $D_r$  の関係を図 4-40 ~ 4.42 示した。これらの図から間隙比が小さく相対密度が大きくなると  $\phi$  は大きく、均等係数が大きいと  $\phi$  は大きく、岩質が良いと  $\phi$  は大きくなるのがわかる。

表 4-4 からわかるように、これらの試験結果では、粘着力が非常に大きい。 $e_0$  または  $D_r$  が大きくなると、C は非常に大きくなり、最小二乗法から求めた C で見るといずれの場合も  $D_r$  が 85% を越えると  $1.1 \text{ kg/cm}^2$  以上となっている。破砕率とこの C との関係は、今回の試験結果で見ると明瞭でない。非常に大きい粘着力を無視して各応力レベル毎に内部摩擦角 ( $\phi$ ) を求めたものは図 4-42 である。玄武岩の場合は  $\sigma_3$  が増加するにつれて直線的に  $\phi$  は減少する。閃緑岩の場合は若干異り  $\sigma_3$  が増加するにつれて  $\phi$  は減少するが、玄武岩に比し減少の仕方が小さく直線的でない。いずれにしても密度が小さくても  $\phi$  は  $40^\circ$  以上でている。

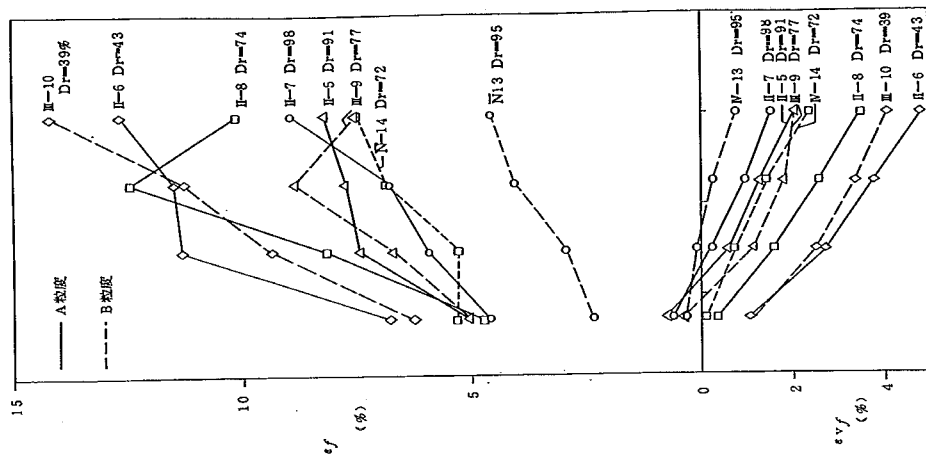


图 4-33 (1) 粗粒玄武岩

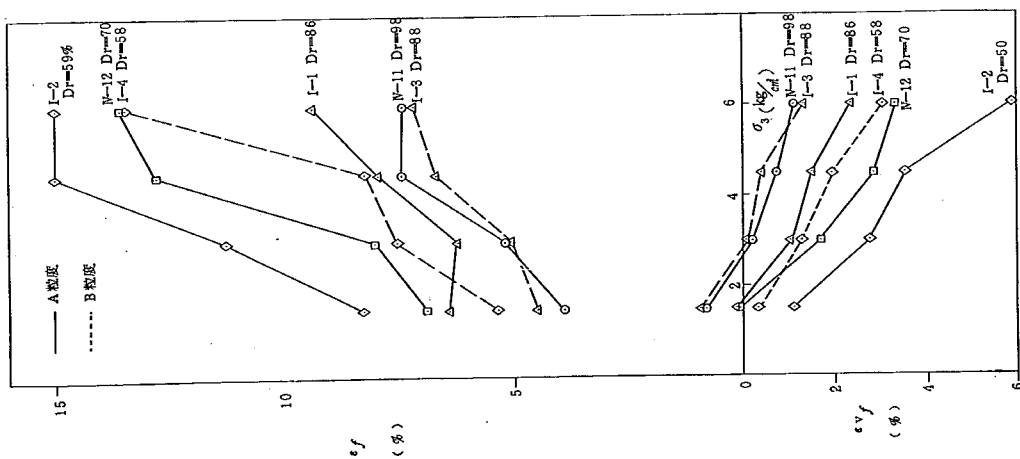


图 4-33 (2) 閃綠岩

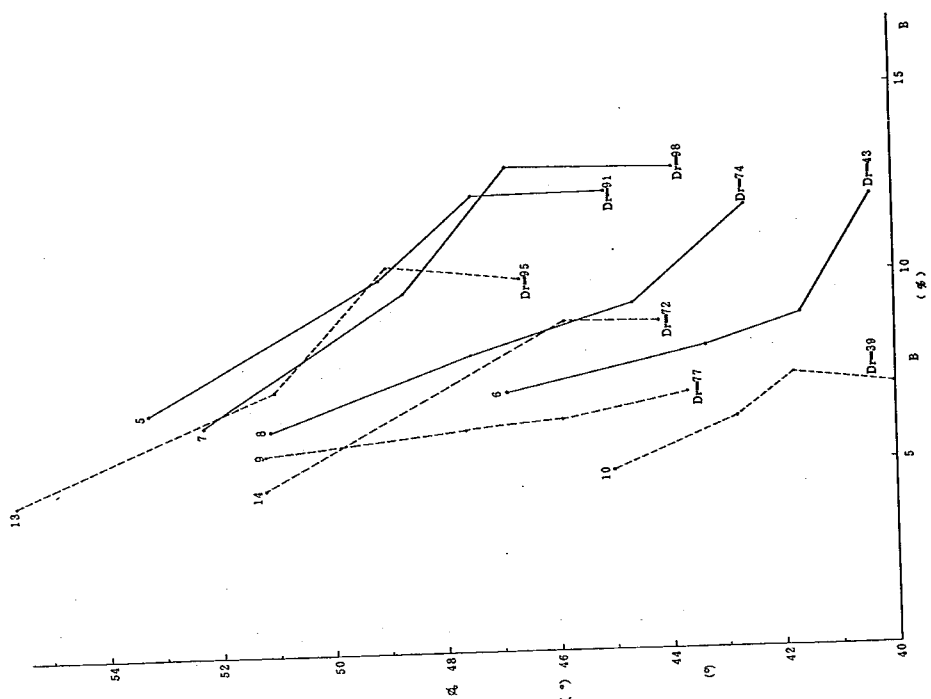


图 4-34 (1)  $\phi_0$ -B delerite

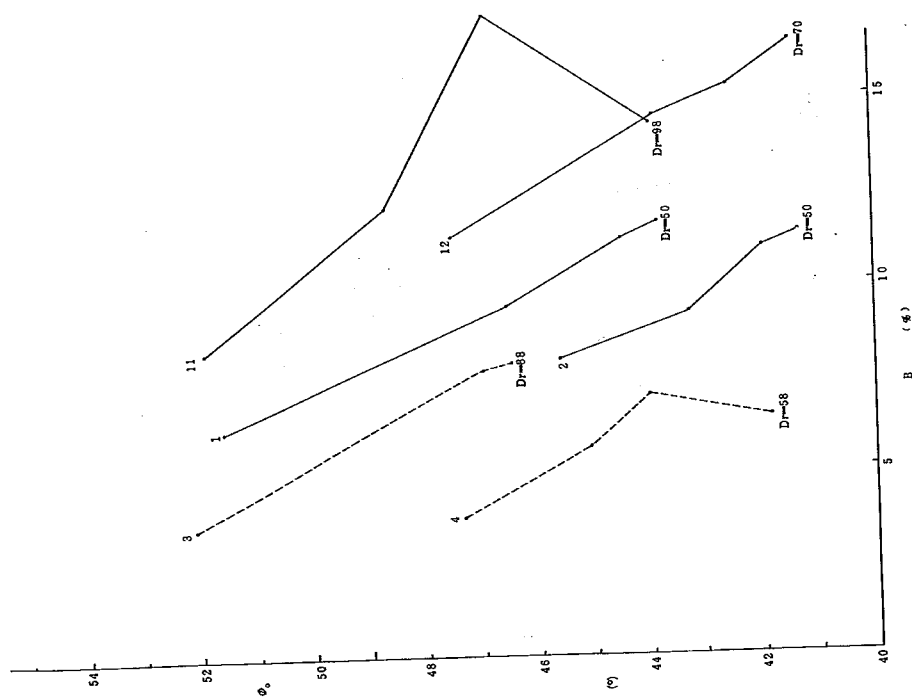


图 4-34 (2)  $\phi_0$ -B diorite

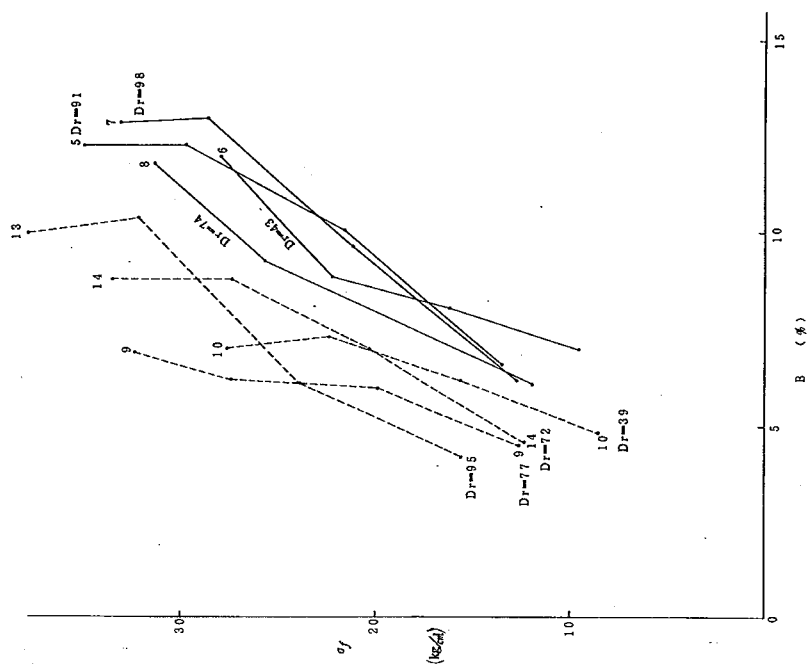


图 4 - 35 (1)  $\sigma_f$ -B dolerite

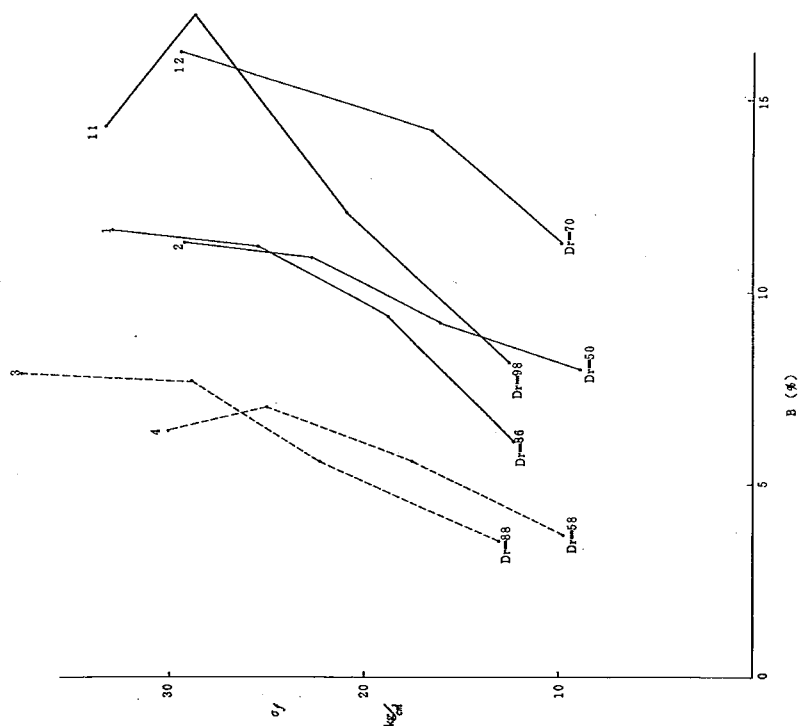


图 4 - 35 (2)  $\sigma_f$ -B djorite

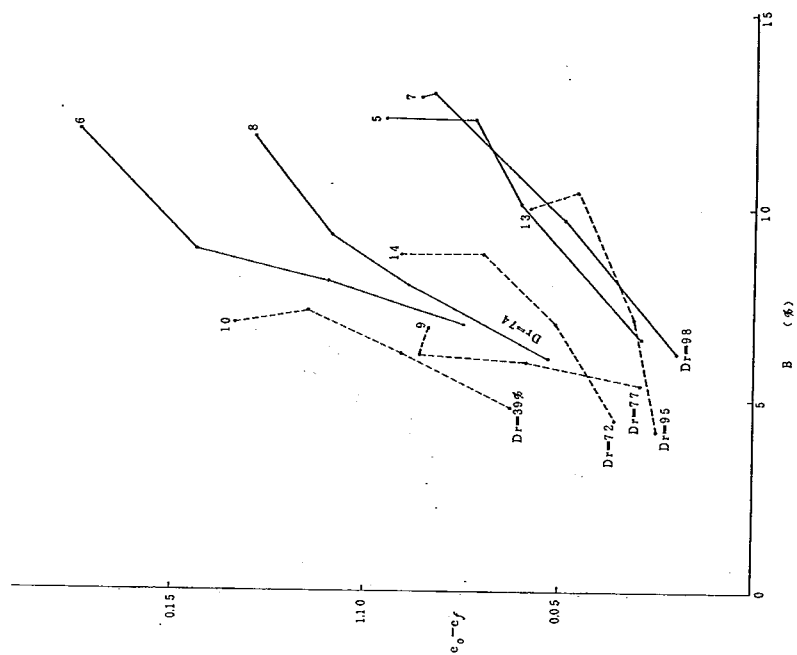


图 4-36 (1)  $e_0 - e_f \sim B$  dolerite

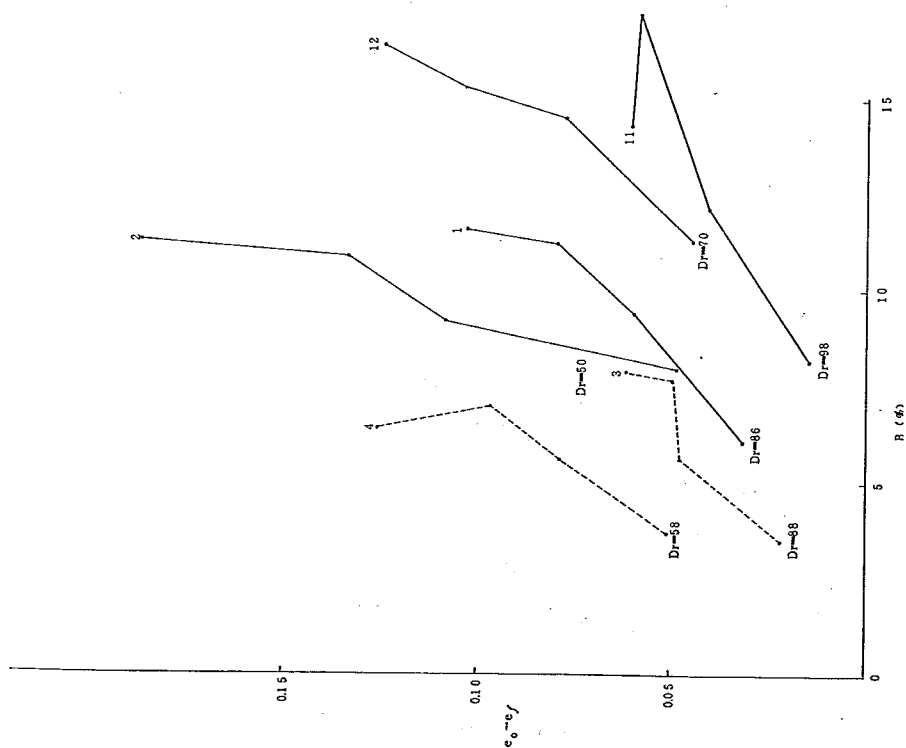


图 4-36 (2)  $e_0 - e_f \sim B$  diorite

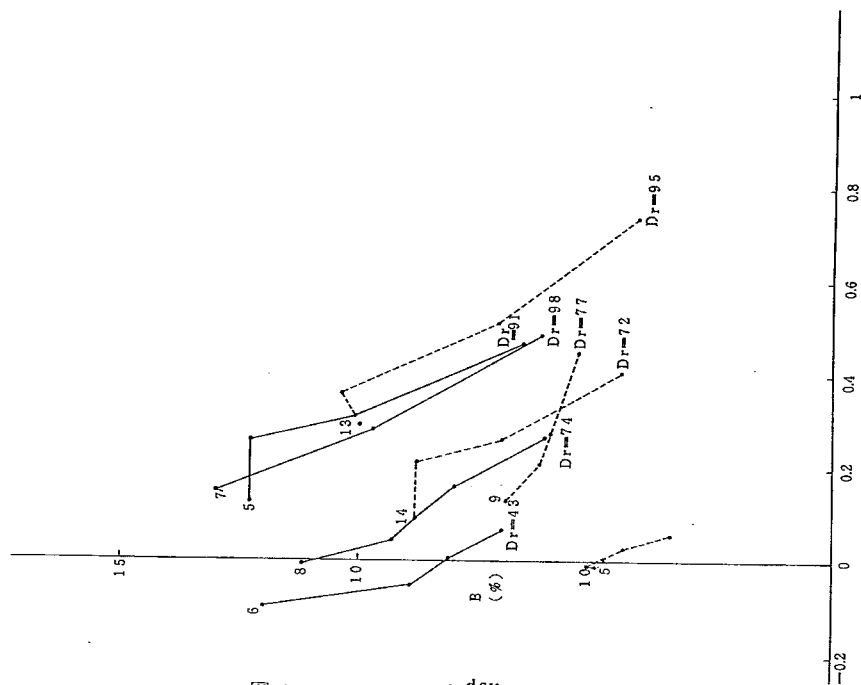


图 4-37 (1)  $B - \left(\frac{d\varepsilon_v}{d\varepsilon_2}\right) f$  dolerite

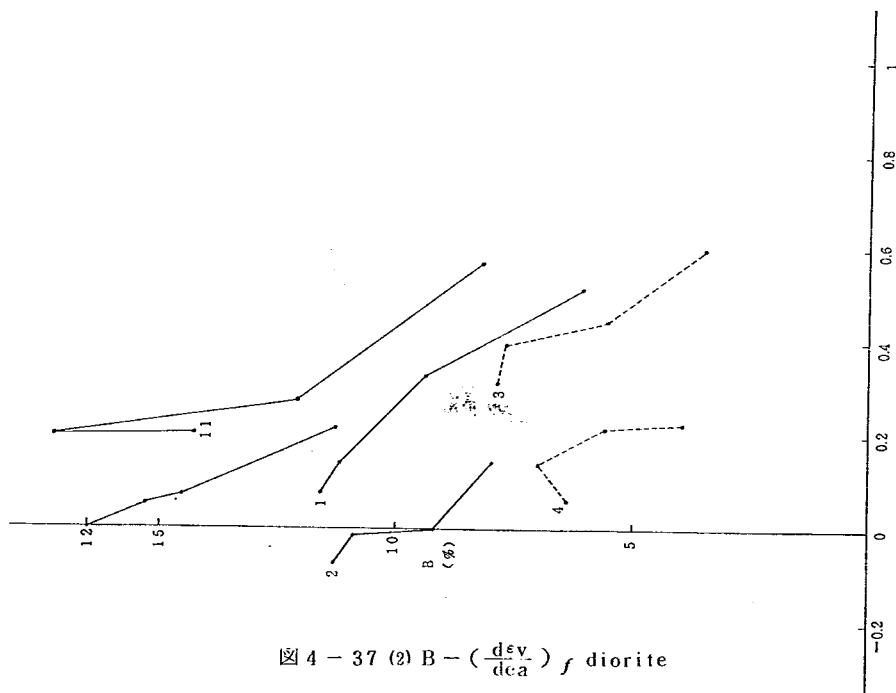


图 4-37 (2)  $B - \left(\frac{d\varepsilon_v}{d\varepsilon_2}\right) f$  diorite

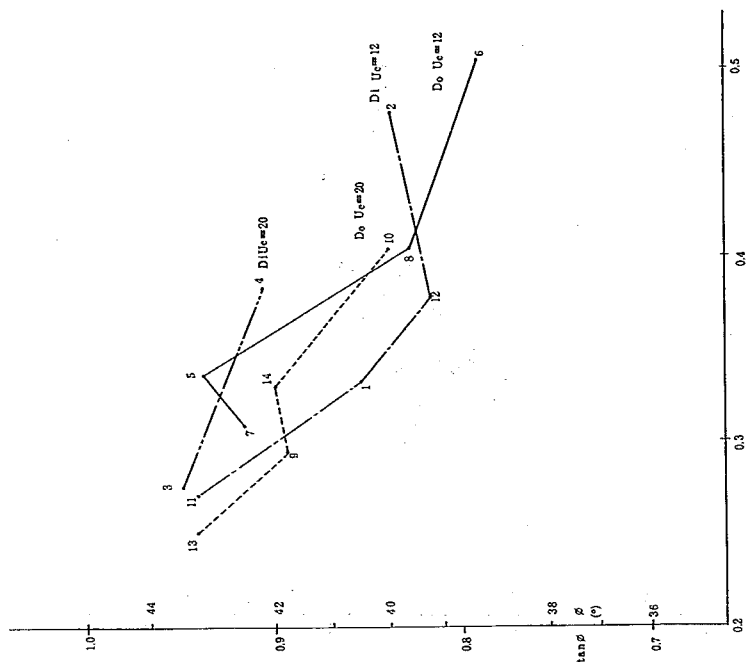


图 4 - 38  $\tan \phi - e_0$

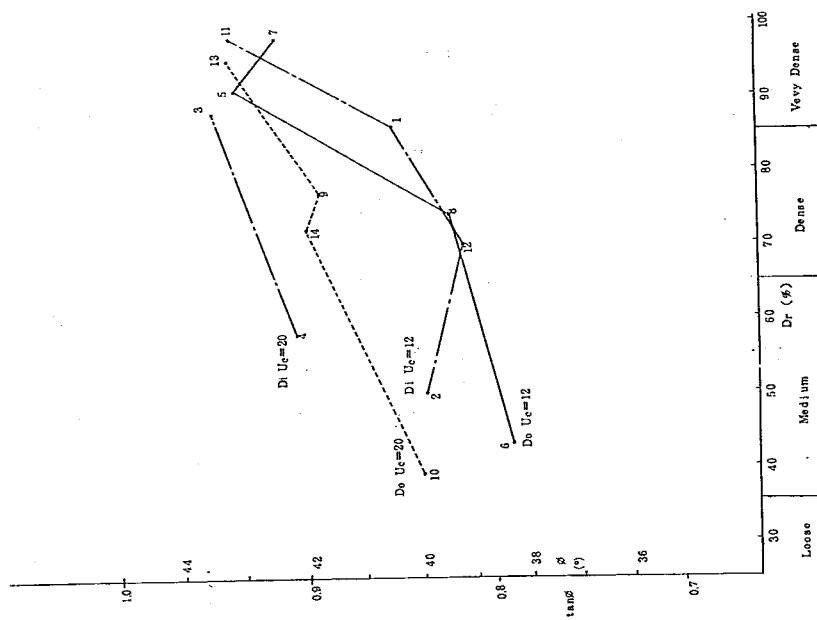


图 4 - 39  $\tan \phi - Dr$

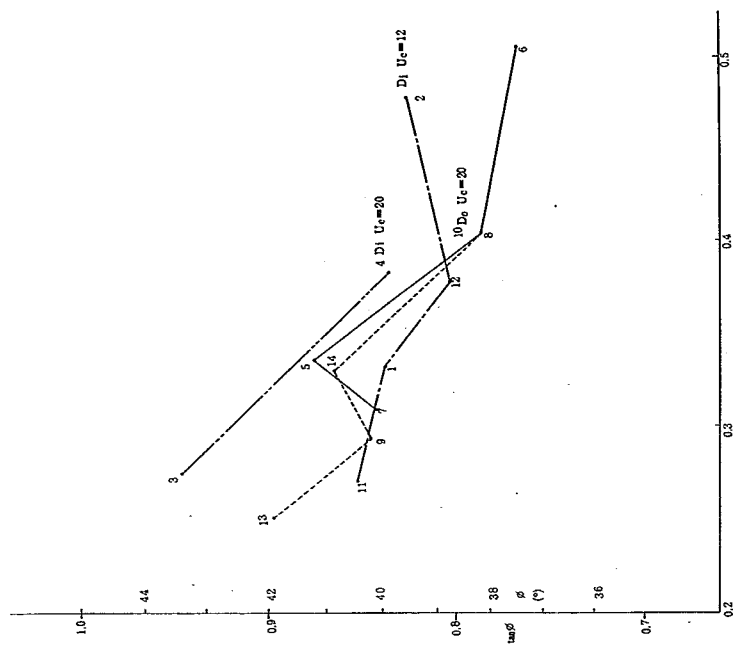


图 4 - 40  $\tan \phi - e_0$  (  $\phi$  : 最小二乘法 )

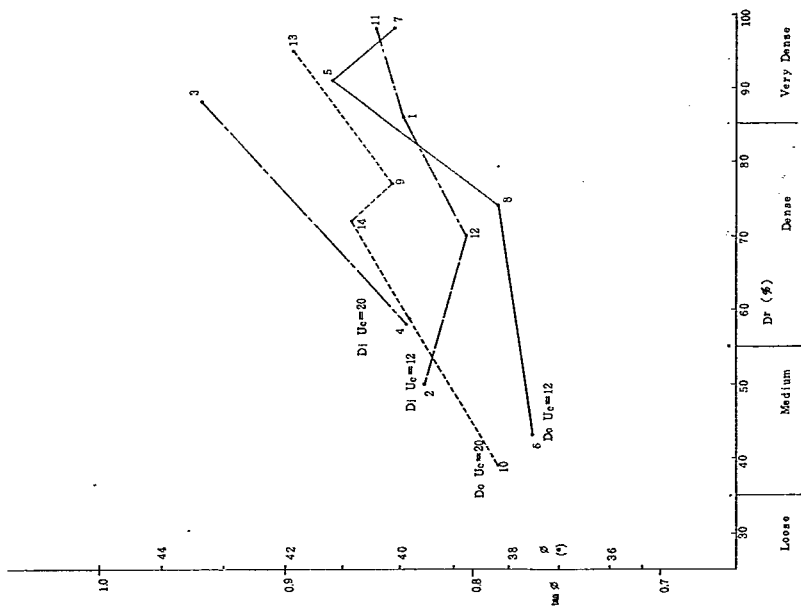


图 4 - 41  $\tan \phi - Dr$  (  $\phi$  : 最小二乘法 )

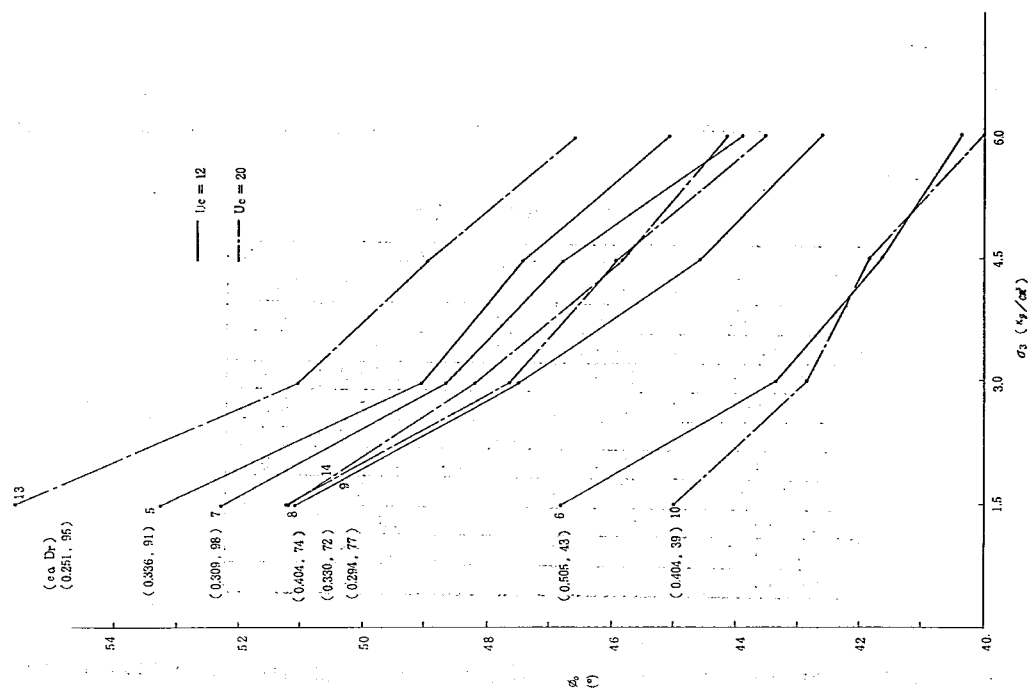


图 4-42  $\phi_0 - \sigma_3(1)$  Dolerite

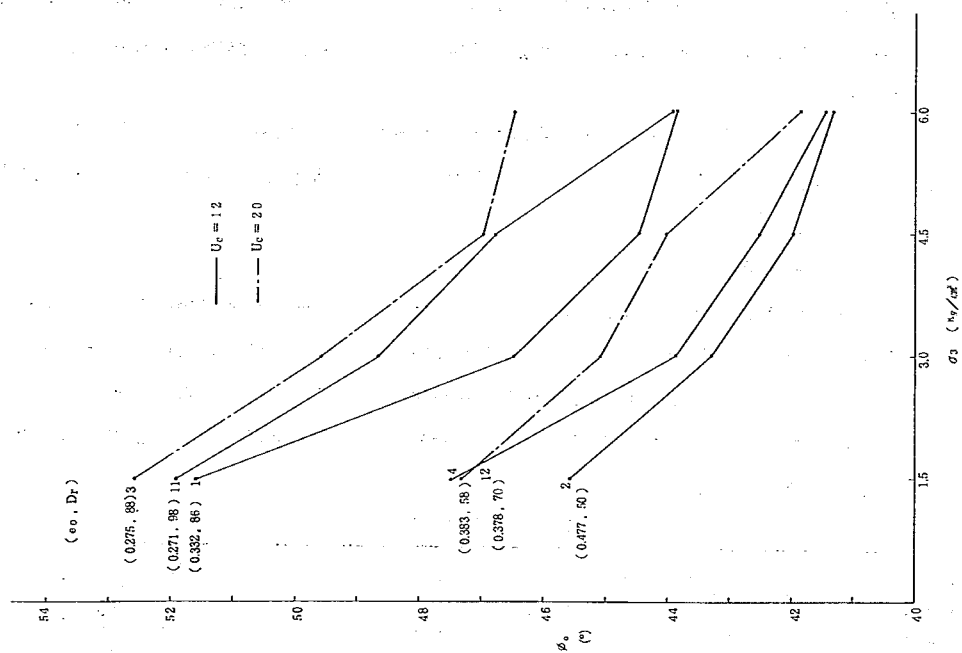


图 4-42  $\phi_0 - \sigma_3(2)$  Diorite

## 4.2. 崖 錐

### 1) 物理試験

比重および吸水量試験結果を表-4.5に示す。絶乾比重2.595，吸水率2.3%とロック材（閃緑岩）と同様な値を示している。

表4-1 崖錐の比重吸水率

| 粒径 (mm)    | 表乾比重<br>Ga | 絶乾比重<br>Gb | Gsに対応<br>した比重 | 吸水率<br>Q (%) |
|------------|------------|------------|---------------|--------------|
| 635~508    | 2.605      | 2.566      | 2.671         | 1.6          |
| 508~381    | 2.671      | 2.579      | 2.682         | 1.5          |
| 381~254    | 2.599      | 2.545      | 2.689         | 2.1          |
| 254~191    | 2.595      | 2.539      | 2.689         | 2.2          |
| 191~95.2   | 2.583      | 2.516      | 2.699         | 2.7          |
| 95.2~47.6  | 2.577      | 2.504      | 2.701         | 2.9          |
| 47.6~20.0  |            |            | 2.693         |              |
| 20.0~0.42  |            |            | 2.686         |              |
| 0.42~0.074 |            |            | 2.698         |              |
| 0.074以下    |            |            | 2.712         |              |

### 2) 締固め試験

粒径2mm以下の細粒分の突固め試験において最適含水比12.9%，最大乾燥密度1.934g/cm<sup>3</sup>であった。なお，締固め条件を4ケース変えて行った締固め試験結果を表-4.6に示す。振動による締固めより静荷重および衝撃荷重の方が密度が大きくなっている。従って現場の崖錐の乾燥密度は2.0g/cm<sup>3</sup>程度（1.75~2.29g/cm<sup>3</sup>）であり，ランマーで締固めた場合の乾燥密度に近似している事，等の理由により，三軸圧縮試験の供試体作成はランマーにより締固めを行なうこととした。

### 3) 飽和試験

供試体への通水時間24時間でほぼ飽和状態となるため，通水時間は24時間とし，日中は給水タンクより供試体下部へ給水し，上部より真空ポンプにより吸水し，夜間は水頭差のみで通水させることとした。

### 4) 大型三軸圧縮試験

試験結果一覧表を表-4.1に示した。また，モールの応力円と破壊包絡線を図-4.43に，応力-ひずみ曲線を図-4.44に示す。かなり締まっているのにロック材ほど明確なピークを示していない。また，ロック材とはほぼ同程度の強度定数が得られたが，これは比重が大きく，ロック材の粒度分布に似ている事，含水比調整を行なった細粒分（粒径2mm以下）の重量が全体の23%と少ない事等によるものと思われる。

表4-6 崖錐 締固め試験

| 締固め方法                        | 静荷重   |       | 振 動   |       | 振動+静荷重 |       | 衝撃荷重  |       |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 含水比(%)                       | 3.9   | 3.8   | 3.8   | 3.9   | 3.9    | 3.9   | 3.9   | 3.9   |
| 乾燥密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 1.868 | 1.870 | 1.706 | 1.719 | 1.871  | 1.872 | 1.987 | 2.030 |
| 間ゲキ比                         | 0.389 | 0.388 | 0.521 | 0.510 | 0.387  | 0.386 | 0.306 | 0.278 |

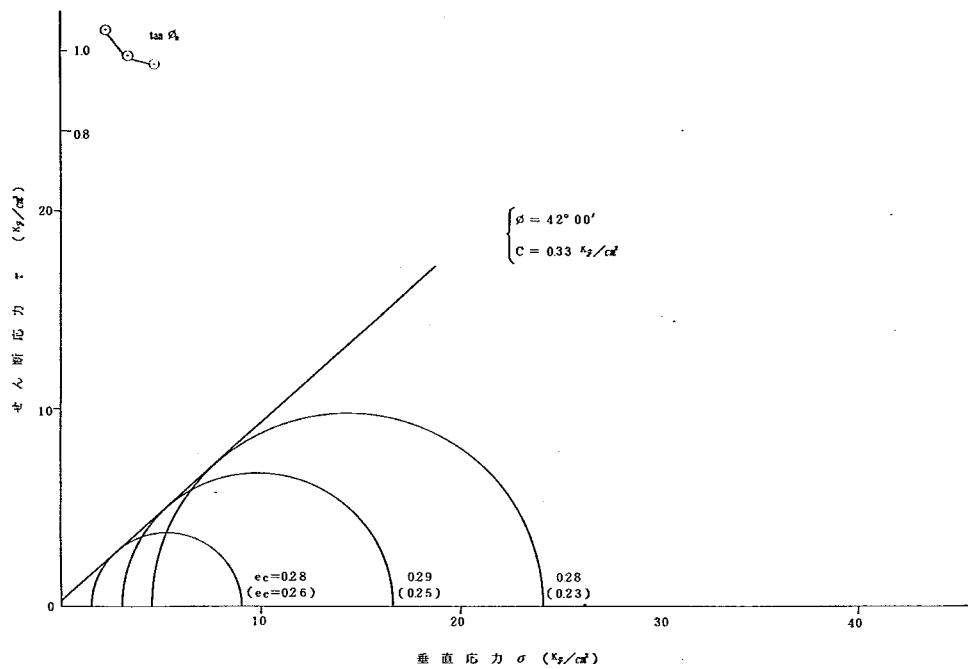


図 4 - 43 崖 錐

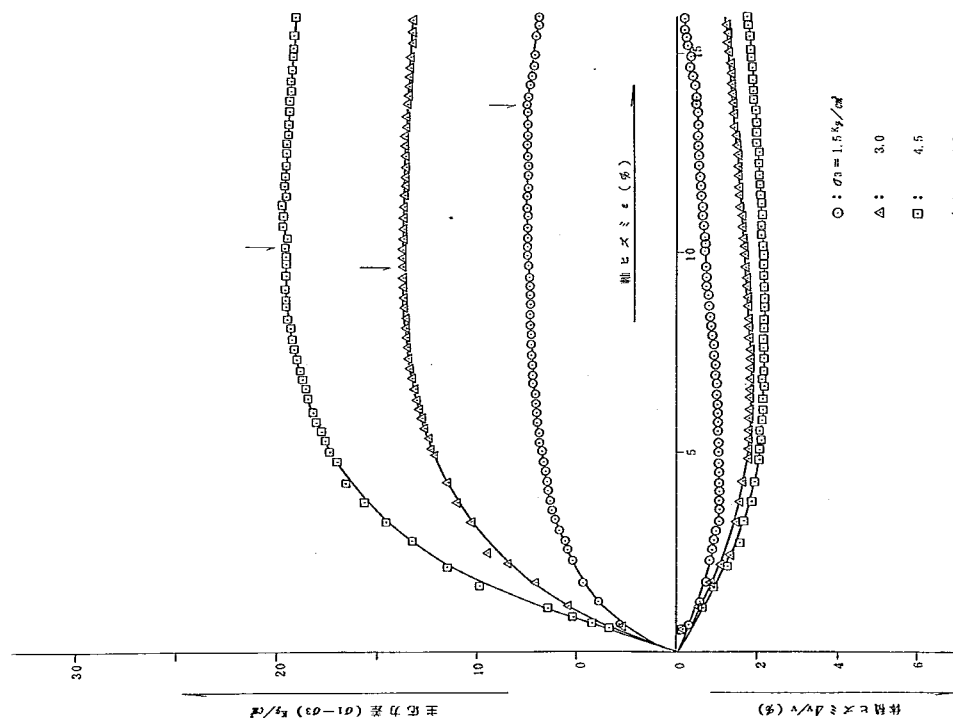


図 4 - 44 崖 錐

## 5. 考察および今後の課題

### 5.1. 玄武岩

- i) 今回試験に用いた粗粒玄武岩は表乾比重 2.73, 絶乾比重 2.68 と大きく, 吸水率 2 ~ 3 % と小さい。試験結果から判断して良質で堅硬な材料であり, 水および気象作用に対する耐久性も問題ないと思われる。ただ粗粒玄武岩の中で 風化変質したものがあり, 絶乾比重が小さく, 吸水率が大きいものがあった。この種の岩質を持つものには, 凍結融解試験 100 回のサイクルで破壊するものがあり, 気象作用に対する耐久性に問題があり, 締固め, 剪断強度に対しても影響を与える。
- ii) 今回の試験粒度は現場粒度 (横坑堀削ズリ) より最大粒径  $63.5\text{mm}$  とした B 粒度 ( $U_c=20$ ), やや粒度分布を悪くした A 粒度 ( $U_c=12$ ) で試験を行った。現段階で設計値を検討するためには十分であると思われるが, 風化変質を受けた材料については細粒分が増加したり, 粒度が悪くなることも想定して検討する必要がある。
- iii) 締固め試験において岩質と粒度分布が密度に大きな影響を与えるという一般的な傾向を示している。室内締固め条件とは異なるが, 現場施工密度が岩質と現場粒度分布によって支配されることに留意することが必要である。
- iv) 締固め後の破砕は約 3 % であり, 材料の破砕は少ない。従って盛立て時に自由な排水性を損なうような材料の破砕による細粒化はない。
- v) 2 粒度, 4 間ゲキ比の計 8 ケースについて大型三軸圧縮試験を行った。A 粒度 ( $U_c=12$ ) では, 初期間ゲキ比 0.505 ~ 0.309 にて内部摩擦角  $38^\circ \sim 43^\circ$ , 同様に B 粒度では, 初期間ゲキ比 0.404 ~ 0.251 で内部摩擦角  $40^\circ \sim 43^\circ$  となった。この関係は図-4.38~4.41 に示す通りである。

以上, 今回試験した粗粒玄武岩は岩質, 粒度, 密度, せん断強さ, 排水性, 耐久性など質的にロック材料として適当である。ただし風化変質を受けたものは要注意である。

### 5.2. 花崗閃緑岩

- i) 今回試験に用いた花崗閃緑岩は表乾比重 2.66, 絶乾比重 2.61, 吸水率 2 ~ 3 % である。試験結果から判断して良質で堅硬な材料であり, 水および気象作用に対する耐久性も問題ないと思われる。
- ii) 今回の試験粒度は現場粒度より最大粒径  $63.5\text{mm}$  とした B 粒度 ( $U_c=20$ ), やや粒度分布を悪くした A 粒度 ( $U_c=12$ ) にて試験を行ったが, 現段階で設計値を検討するためには, 十分であると思われる。
- iii) 締固め試験において, 玄武岩同様粒度分布が密度に大きな影響を与えるという一般的な傾向を示している。
- iv) 締固め後の破砕は約 3 % であり, 材料の破砕は少ない。従って盛立て時に自由な排水性

を損なうような材料の破碎による細粒化はない。

V) 2 粒度で間ゲキ比を変化させて計 6 ケースについて大型三軸圧縮試験を行った。A 粒度 ( $U_c=12$ ) では、初期間ゲキ比 0.477 ~ 0.271 で、内部摩擦角  $39^\circ \sim 43^\circ$ 、同様に B 粒度 ( $U_c=20$ ) では、初期間ゲキ比 0.383 ~ 0.275 で内部摩擦角  $42^\circ \sim 43^\circ$  となった。この関係は図 4.38 ~ 4.41 に示す通りである。内部摩擦角は粒度分布の影響を受けている。

以上、今回試験した花崗閃緑岩は粒度、密度、せん断強さ、排水性、耐久性など質的にロック材料として適当である。

### 5.3. 崖 錐

崖錐の現場密度が大きいため、室内試験としてはよく締め固めた条件で行った。 $e_0=0.283$  で  $\phi=42^\circ$  の値を得た。細粒分も少く、よく締まっているので、粒度、密度、強度とも試験を行った崖錐に関しては、ロック部の基礎として十分であろう。

### 5.4. 設計値の検討

寒河江ダムのフィル材料試験を 2 年間にわたって行ってきた。以上の試験結果から表 5-1 に示す設計参考値を求めた。

表 5-1 設計参考値

| ゾーン   | 材 質 | 乾燥密度<br>$\rho_a(t/m^3)$ | 間隙比<br>$e$ | 相対密度<br>$D_r(\%)$ | 絶対比重<br>$G_b$ | 内部摩擦係<br>$(^\circ)$ | 粘着力<br>$(kg/cm^2)$ | 備 考 |
|-------|-----|-------------------------|------------|-------------------|---------------|---------------------|--------------------|-----|
| ロ ッ ク | 玄武岩 | 1.96                    | 0.35       | 85                | 2.68          | $40^\circ$          | 0                  |     |
|       | 閃緑岩 | 1.96                    | 0.33       | 85                | 2.61          | $40^\circ$          | 0                  |     |
| ロック基礎 | 崖 錐 | 1.85                    | 0.4        | —                 | 2.60          | $38^\circ$          | 0                  |     |

玄武岩、閃緑岩ともに表の間隙比、相対密度で約 1% の余裕が見込れる。現場密度は表に示す値以上となると思われるので、設計参考値としては余裕があると言えよう。

崖錐については、低目の密度を想定して、一点の値であるが、最上の  $\phi$  と  $e_0$  の関係式から得られる値に 1% の余裕をつけて  $38^\circ$  とした。

いずれについても、慣例通り粘着力は無視した。崖錐は非粘着性の材料であるので、同様の扱いとした。