

RBST 装置による岩盤の破壊挙動に関する基礎実験

曾根好徳・田中達吉

Fundamental Study of Fracture Behaviour of a Rock Mass using the Rock Borehole Shear Test (RBST) Apparatus

Yoshinori SONE and Tatsukichi TANAKA

Abstract

The RBST apparatus has been developed with the aim of evaluating in a simplified manner the shear strength characteristics of in situ rock mass using a borehole.

This report concerns a laboratory test apparatus (Fig. 2) used to conduct experiments for studying the RBST, using cement-paste testing specimens (Table 1). The results obtained are summarized below.

Because of the way RBST conducts measurement (Fig. 1), it is necessary to seat the specimen against the toothed shear plate. It has been found that in determining stress necessary for this seating pressure, it is effective to know the displacement of the shear plate in the direction of the pressure and its relationship with stress (Figs. 5, 7 and 8). It has also been found that there is very good correlation between the seating pressure and unconfined compressive strength of the specimen (Fig. 11). From this correlation, seating pressure was determined.

From seating pressure tests in which the size and geometry of the teeth (Fig. 3) were changed, it was found that the specimen is not damaged when the shear plate has teeth of about 1 mm in height.

In the shear test, displacement of the shearing direction was measured and the shearing fracture process investigated. As a result, it was found that the process of shearing fracture based on the principle of measurement by the RBST is similar to the behaviour obtained under the conventional shear test. Also, observation of the fracture surface after the test confirmed that fracturing was of the shear type.

As an example of an actual in situ test using the RBST apparatus, the strength anisotropy of a rock mass and the distribution of shear strength characteristics were examined. The results confirmed the potential for applying the RBST apparatus to engineering purpose of this kind.

Comparison of the results from the RBST apparatus with those from the conventional in situ rock shearing test showed a good correlation (Fig. 17). It is therefore considered that, as measurement data is accumulated, the RBST apparatus can be used to measure the shear strength characteristics for various applications in civil engineering design.

1 まえがき

岩盤を対象とする各種土木構造物の設計において、原位置における岩盤の強度・変形などの力学特性を適切に評価することは重要であり、このためにせん断試験およ

び平板載荷試験が実施されている。しかしながら、これらの原位置試験は大がかりで、その実施に際して多大の経費と時間を要するなどの欠点がある。

一般に、岩盤中には節理、層理、亀裂などの不連続面が存在し、また、その性質の不均質性などのために、上

記の岩盤試験によって得られる測定値は、ばらつく傾向がある。このような試験結果のばらつきに加え、従来の原位置試験が多額の経費と時間を要することから生じる試験数量の制限のために、対象とする岩盤全体の力学的特性を評価することは容易ではない。

これらの試験法に対して、ボーリング孔内において岩盤の強度・変形を測定する方法が開発されている。これらの方法は、試験対象となる岩盤の大きさが原位置試験法に比べて極めて小さいという欠点があるとはいえ、他の目的のために設けられたボーリング孔を利用することができ、操作が簡便で経費も少なく済み、短時日の間に比較的多くの測定ができるという利点を持っている。

一般に、ボーリング孔内における岩盤の変形計測はいろいろの孔内載荷試験装置によって実施されているが、強度に関しては、いくつかの方法が提案されているとはいえ、未だ試行段階にある。

筆者は、Handy et al. (1976) が提案した RBST 装置によってせん断強度を計測する際の破壊挙動を調べて、圧着応力の設定、せん断プレートの寸法および形状の影響などの検討のために室内実験を実施した。

2 室内基礎実験

2.1 室内実験装置

RBST の測定原理は、図-1 に示すように数枚の歯を有するせん断プレートを孔壁の岩盤に押し付け、この歯

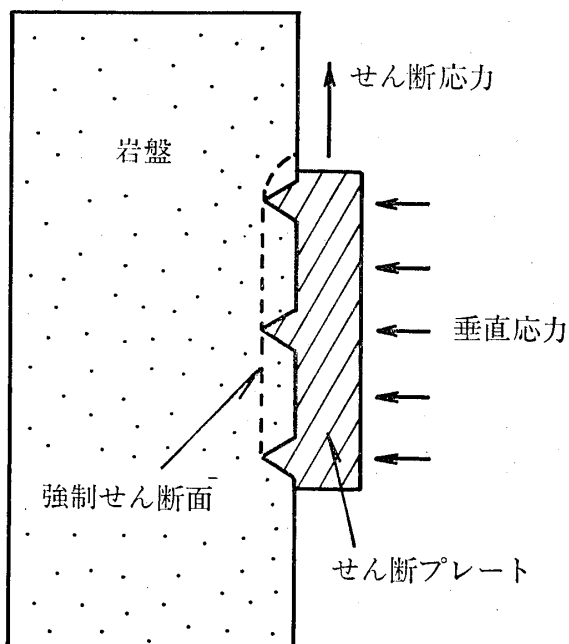


図-1 RBSTの測定原理
Fig. 1 Principle of RBST

で囲まれた岩盤をせん断破壊させ、そのときの応力をもってせん断強度とするものである。このとき、図中に破線で示すように、歯の先端を結ぶ面が強制せん断面となることを仮定している。

しかしながら、Handy et al. (1976) による RBST 装置を用いて計測を実施するに際して、つぎのことを明らかにしておくことが必要であると考えられる。

(1) あらかじめ、せん断プレートを岩盤に圧着すること（せん断プレートにある歯が完全に岩盤に食込み、垂直応力あるいはせん断応力が加えられたときに緩みがないようにすること）が重要である。この圧着に必要な圧力（圧着圧力）は岩盤の強度に依存し、岩盤の強度が大きくなるに従って圧着圧力も大きくなることが考えられる。したがって、試験を実施する前に適切な圧着圧力の設定が必要となる。

(2) また、RBST 装置のせん断プレートは、曲率が 38mm で、25mm×25mm の矩形の tool steel の板で、この板の表面には長さ 25mm、頂角 60°、高さ 1mm の歯が 10mm の間隔で並んでいる。しかし、この歯の寸法および形状の違いが圧着圧力に影響することも考えられる。

(3) さらに、RBST 装置による測定では、せん断強度を圧着後における垂直応力とせん断応力の 2 量の関係から求めているが、せん断破壊の挙動を評価するためには、せん断プレートの変位を知ることが必要である。

これらの事項を明らかにするために、RBST 装置と同じ原理に基づいて、室内実験のための装置（室内 RBST 装置と呼ぶ）を設計・試作した。この装置を設計するに当たっては、実験時に生じる回転モーメントを吸収すること、せん断方向の摩擦力を極力少なくすること、および垂直圧用ジャッキのピストン部の剛性を高めることに留意した。

室内 RBST 装置の概要は図-2 に示すとおりで、装置の本体は、

- ① せん断圧用ジャッキ（最大荷重 10ton）
- ② 垂直圧用ジャッキ（最大荷重 4.5ton）
- ③ せん断プレート
- ④ ローラベアリング（基本静定格荷重 14.5ton）

などによって構成されており、これらの各部は H 鋼製の剛性枠の中に収納してある。

RBST 装置におけるせん断プレートは 38mm の曲率をもっているが、この室内 RBST 装置のせん断プレートは、図-3 に示すように、30mm×34mm の平板とし、10mm 間隔に 30mm の長さの歯が付いている。そして、歯の寸法および形状の違いが圧着圧力に与える影響を調べるために、図-3 の下部に示すように、A、B および C の

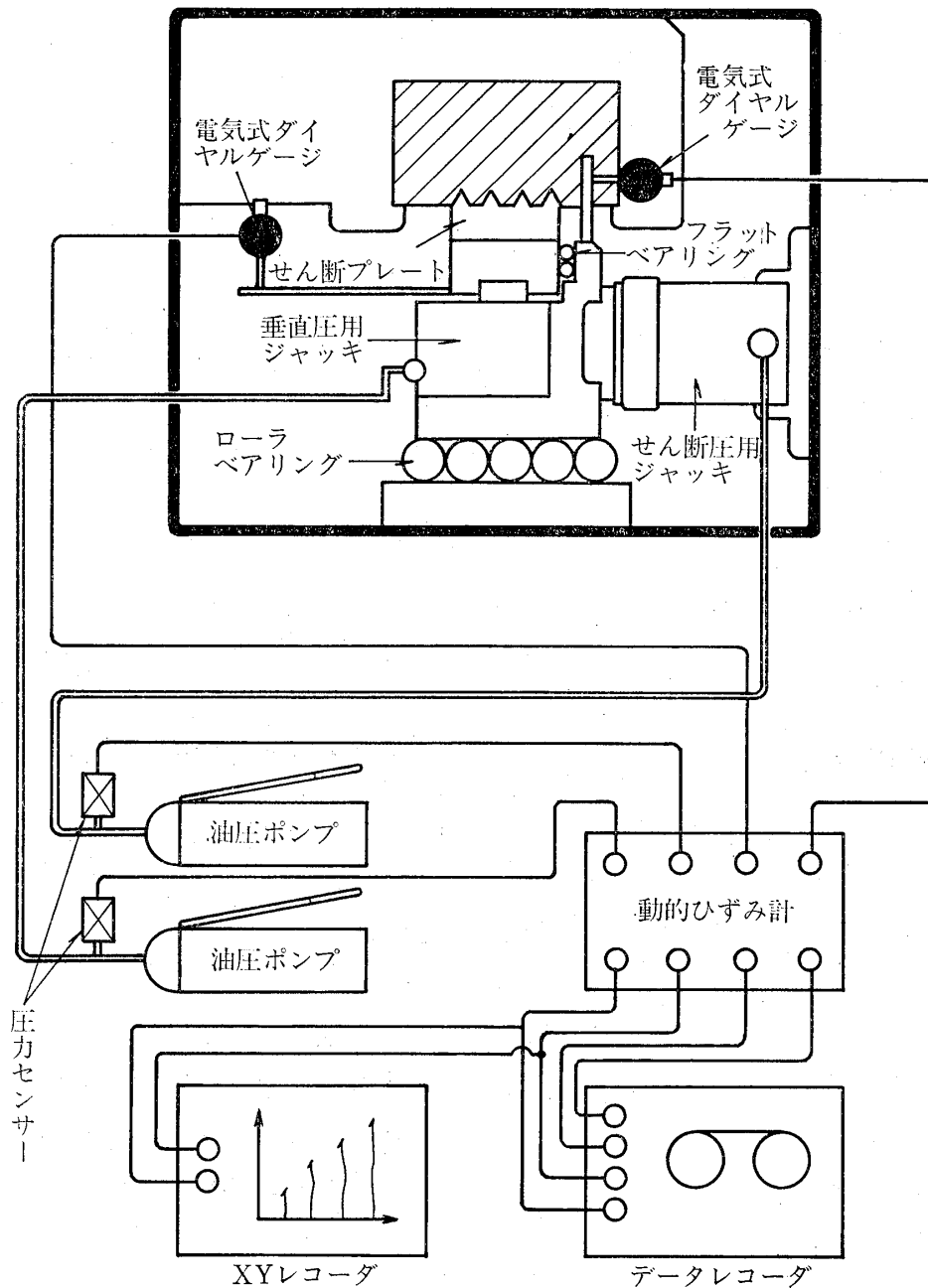


図-2 室内 RBST の測定システム
Fig. 2 System of laboratory type RBST

3つのタイプの歯を持ったせん断プレートを準備した。
せん断プレートを押付ける応力（垂直応力）およびせん断するための応力は、それぞれ手動式油圧ポンプ（吐出圧力；0~605kgf/cm²）を用い、各圧力用ジャッキを介して与えられる。
このときの垂直応力およびせん断応力は、圧力センサーによって動ひずみアンプを通してデータレコーダに収録され、同時にXYレコーダに記録する。また、垂直応力およびせん断応力の各段階に応じた垂直変位（歯の貫入量）およびせん断変位は、電気式ダイヤルゲージに

よって動ひずみアンプを通して上記の記録器に収録あるいは記録される。

2・2 圧着実験

RBSTの測定原理から明らかなように、実験を実施するに当たっては、せん断プレートの歯を実験の対象材料に予め十分に圧着させることが大切である。この圧着に必要な圧力は圧着圧力（seating pressure）と呼ばれている。

この圧着圧力は対象材料（岩盤）の強度に依存し、強

表-1 セメンペースト供試体の主な物性

Table 1 Mechanical and physical properties of cement-paste testing specimens

供試体種類	配合比*	単位体積重 (gf/cm ³)	P波速度 (km/sec)	S波速度 (km/sec)	一軸圧縮強 (kgf/cm ²)	圧裂引張強 (kgf/cm ²)
I	1:2:0.2:2	1.63	1.98	0.88	28.3	4.3
II	1:1:0.2:1.5	1.62	2.04	1.01	48.6	7.0
III	1:1:0.2:1.25	1.67	2.11	1.06	88.0	11.7
IV	1:1:0.2:1	1.79	2.23	1.15	160.0	16.5

* セメント:粘土:膨脹剤:水

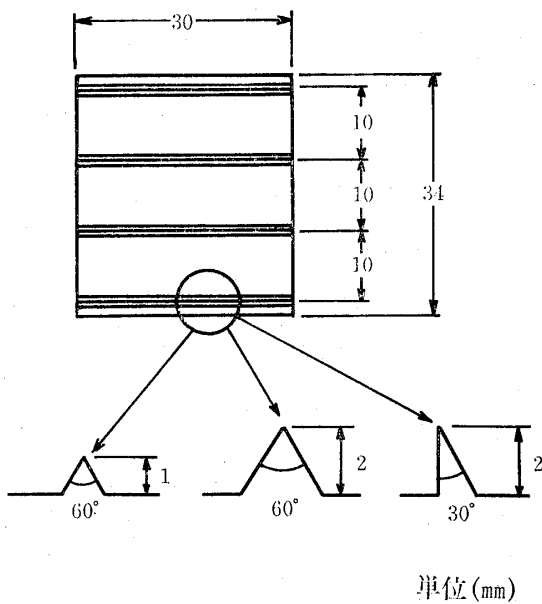


図-3 セン断プレートの寸法および形状
Fig. 3 Size and geometry of the shear plate

度が増加するに従って大きくなることが予測される。そこで、表-1に示すように、セメントと粘土を主体として、水セメント比を変えて、強度の異なる4種類の供試体を作製し、圧着圧力と材料の強度との関係を探るために、これらの供試体を用いて圧着実験を実施した。

図-4に示すように、実験前にはせん断プレートは供試体に接しているが、垂直力Fが加えられると、せん断プレートは d_N だけ変位し、その量はダイヤルゲージによって読取られる(このダイヤルゲージに読取られる変位を見掛け貫入変位と呼ぶ)。このとき、一般的には、供試体も変位(変位量 d_e)する。歯の供試体への貫入量を d_i とすれば、

$$d_N = d_i + d_e \quad (1)$$

と表される。

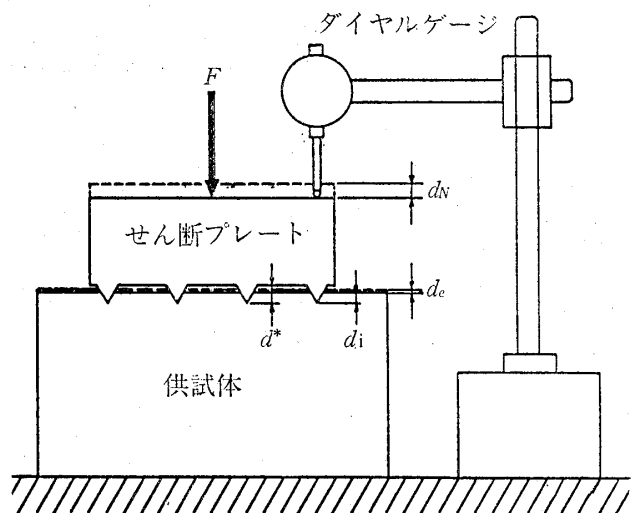


図-4 圧着実験装置の模式図
Fig. 4 Scheme of the apparatus of seating test

したがって、歯の高さを d^* とすると、ダイヤルゲージによる読取り値 d_N が歯の高さ d^* と等しくなるとすると、(1)式は

$$d^* = d_i + d_e \quad (2)$$

となり、実際の歯の供試体への貫入量 d_i は、

$$d_i < d^*$$

であるので、 $d_N = d^*$ における垂直力によって圧着圧力を求めると、過小評価することになる。

したがって、ここでは、圧着実験から得られる垂直応力 σ_{SN} ($=F$ /せん断プレートの面積)と見掛け貫入変位 d_N との関係曲線を用いて圧着圧力の評価を試みた。

(1) Aタイプの歯による圧着実験結果

図-5は、Aタイプの歯を用いて実施した圧着実験によって得られた $\sigma_{SN} \sim d_N$ 曲線の典型例である。この図は供試体の種類Iに関する曲線であるが、供試体の種類

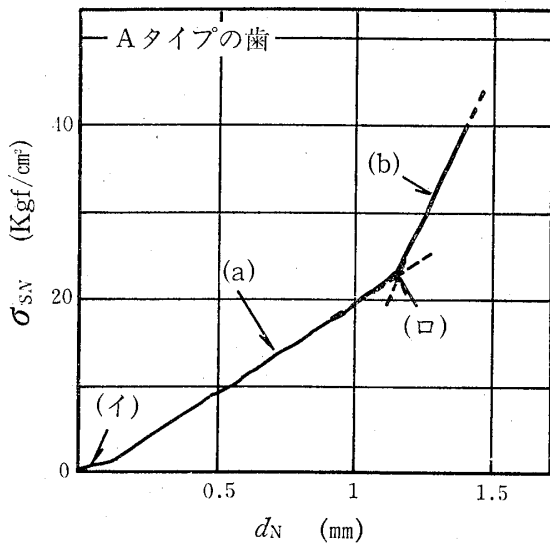


図-5 圧着実験における垂直応力と見掛け貫入変位の関係 (Aタイプの歯の場合)
 Fig. 5 Relationship between vertical stress and apparent indentation displacement of shear plate in seating test (A type shear plate)

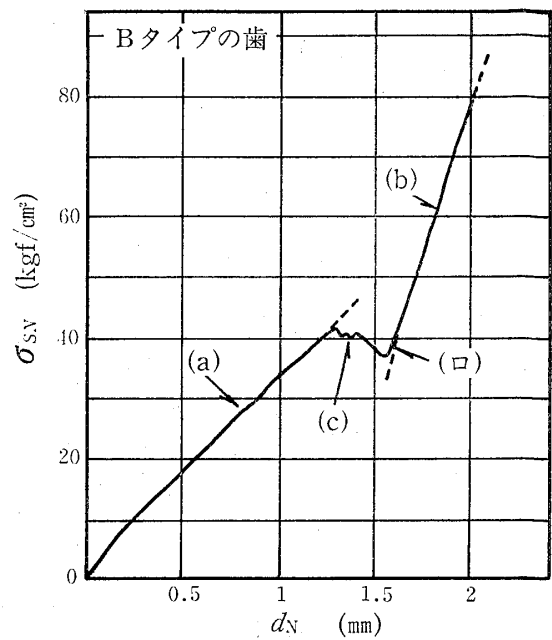


図-7 圧着実験における垂直応力と見掛け貫入変位の関係 (Bタイプの歯の場合)
 Fig. 7 Relationship between vertical stress and apparent indentation displacement of shear plate in seating test (B type shear plate)

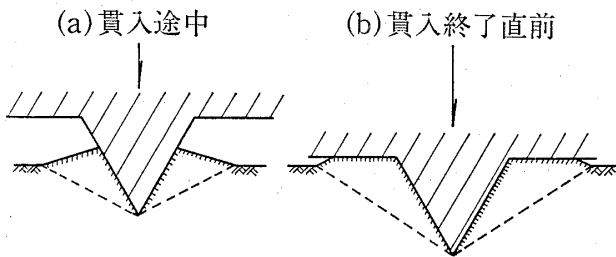


図-6 歯の貫入状況の模式図
 Fig. 6 Indentation process of shear teeth

によらず、Aタイプの歯の場合はすべて、図-5に示すような形の曲線であった。

まず、载荷初期(イ)においては非線形の変形挙動が見られる。これは試験装置と供試体との整合あるいは供試体内部に潜在する開いたクラックの閉合などによって生じる挙動と考えられ、一般の圧縮試験などにおいてもよく見られるものである。

その後、荷重の増加に伴って直線の変形(a)が進行する。この変形挙動はせん断プレートの歯が供試体に貫入している過程である。

そして、荷重がある値に達すると下に凸形の非線形の変形(b)を示し、その後は再び直線の変形(b)を示すようになる。この直線の勾配は(a)の直線の勾配よりも大きくなっている。(ロ)の挙動についてはつぎのように考えられる。すなわち、図-6に示すように、供試体に歯が貫入するに伴い、その周辺の供試体内にすべりが発生し、図

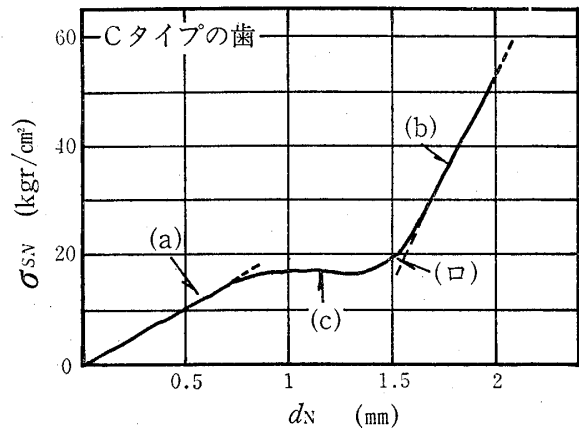


図-8 圧着実験における垂直応力と見掛け貫入変位の関係 (Cタイプの歯の場合)
 Fig. 8 Relationship between vertical stress and apparent indentation displacement of shear plate in seating test (C type shear plate)

6(a)に AC として示したような隆起が生じる。そして、せん断プレートを供試体に圧着するためには、この隆起した部分を圧縮・圧密し、元の状態に戻す必要がある。したがって、これに相当する仕事が入力のために仕事に加わるために、結果的に非線形挙動を示すような曲線となるものと解される。そして、図-6(b)に示すように、AC 部分が十分圧縮され、貫入が終了して以降は、

せん断プレートによる平板載荷の過程に入るものと考えられる。この場合、図-5の(b)が直線的挙動であることは、その供試体が弾性的材料であることを示すことになる。

(2) BタイプおよびCタイプの歯による圧着試験結果

BタイプおよびCタイプの歯を用いて、供試体の種類Iに対して実施した実験によって得られた $\sigma_{SN} \sim d_N$ 曲線の典型例を図-7および図-8に示す。これらの図において、載荷を開始した初期の段階の挙動(a)は、Aタイプの歯の場合と同様に解釈することができる。

しかしながら、BタイプおよびCタイプの歯の場合の $\sigma_{SN} \sim d_N$ 曲線において、Aタイプの歯の場合と異なる点は、(c)に示すような破壊を示唆する挙動が見られることである。すなわち、Bタイプの歯の場合(図-7)には、押付け応力が急激に低下しており、Cタイプの歯の場合には、押付け応力の上昇が見られないにもかかわらず大量の見掛け貫入変位が生じている。これらの破壊挙動は、Bタイプの歯の場合は脆性的であり、Cタイプの歯の場合は塑性的であるということが出来る。

さらに、押付け応力が増加すると、図中の(d)のような非線形の変形挙動が見られ、その後は(b')のような直線的な挙動を示している。そして、その傾きは、いずれの歯の場合においても、Aタイプの歯の場合と同様に、初期に見られる直線(a)の傾きに比べて大きくなっている。

しかしながら、直線(b')の開始点の見掛け貫入変位量 d_N は、約1.6mmで、歯の高さ(2mm)よりも小さい。このことは、歯が完全に貫入していないことを示しているものと思われる。

これらの挙動については、Paul and Skarskie (1965)

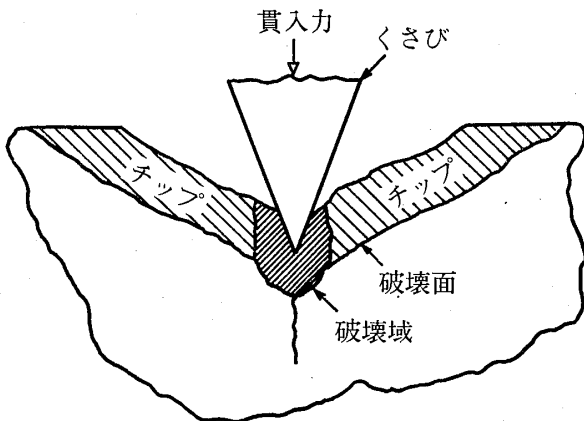


図-9 脆性材料に対するくさびの貫入状況の模式図 (Paul et al, 1965 による)
 Fig. 9 Indentation of cone into brittle materials (after Paul et al, 1965)

によって、つぎのように説明されている。すなわち、図-9は、脆性材料に対してくさびが静的に貫入するときの貫入状況の模式図である。図に示すように、歯の先端部においては破壊が生じる。この破壊域はくさびに加わる貫入力が増加するにしたがって増大する。

このようにして、くさびの貫入量がある値に達したとき、ある面に沿った応力が破壊条件を満たすと、図に示すような面に沿って破壊が生じる。この破壊によって形成された破損部を“チップ”と呼び、このような破壊現象を“チップング”と呼んでいる。貫入量が増加するにしたがって、破壊域はつぎつぎと拡大し、このチップングは繰り返されることになる。

また、かれらは、くさびの静的貫入における貫入荷重と貫入量との関係を図-10のように示している。この図において、実線は載荷速度を一定に保った場合の変形挙動であり、破線は一般的試験における変形挙動である。

図-8および図-9に示した $\sigma_{SN} \sim d_N$ 曲線が示す挙動は、図-10に示す一般的な試験の場合の貫入挙動と同等である。したがって、Bタイプの歯およびCタイプの歯を用いて実施した圧着実験の $\sigma_{SN} \sim d_N$ 曲線の(c)の段階では、まさに“チップ”を形成するような破壊が発生していることが考えられる。

(3) 圧着実験の $\sigma_{SN} \sim d_N$ 曲線から定義される圧着圧力

Aタイプ、BタイプおよびCタイプの歯による圧着実験の変形挙動を踏まえて、圧着圧力をつぎのように定義した。

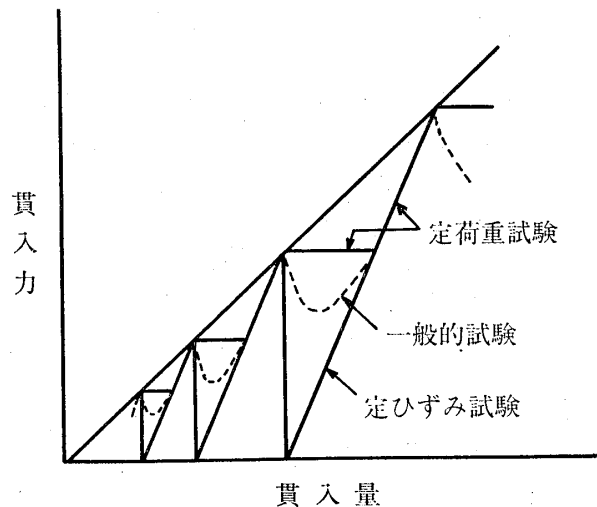


図-10 くさびの貫入力と貫入量との関係 (Paul et al, 1965 による)
 Fig.10 Correlation of indentation force and displacement of cone (after Paul et al, 1965)

- (a) Aタイプの歯の貫入過程のように、チップングを生じない場合は、直線(b)の開始点を圧着圧力とする。
- (b) BタイプあるいはCタイプの歯の貫入過程のように、チップングを生じる場合には、合理的な圧着圧力を定義することは困難である。ここでは、とりあえず、せん断プレートの歯の高さに相当する見掛け貫入変位量(BタイプおよびCタイプの歯の場合は2mm)になったときの圧力を圧着圧力とすることにする。

表-1に示した4種類の供試体に対して、Aタイプの歯を用いて実施した圧着実験の結果から、上記の定義に従って求めた圧着圧力 σ_{seat} とそれらの供試体の一軸圧縮強度 q_u の関係を示すと図-11のようになり、

$$\sigma_{seat} = 0.986 \times q_u \quad (3)$$

と表される。このとき、相関係数は0.99であり、

(a) せん断応力とせん断方向変位の関係

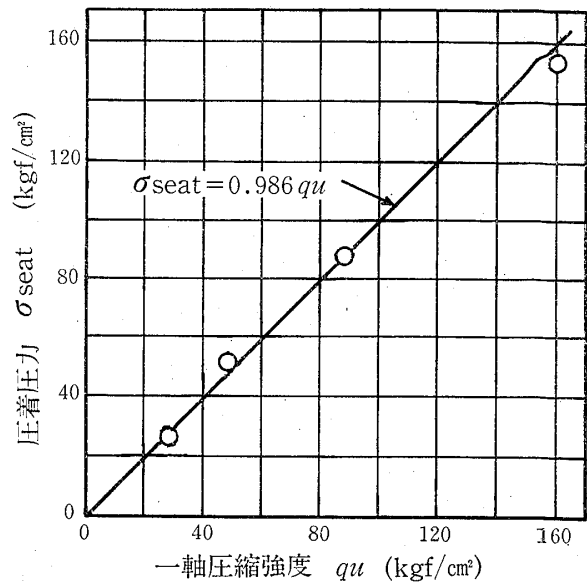
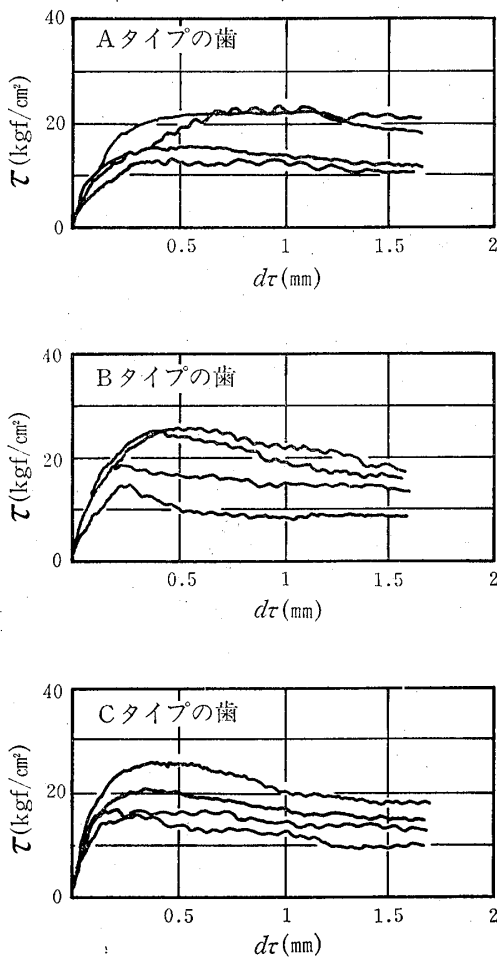


図-11 圧着圧力と一軸圧縮強度との関係
Fig.11 Relationship between seating pressure and uniaxial compressive strength

(b) せん断応力と垂直応力との関係

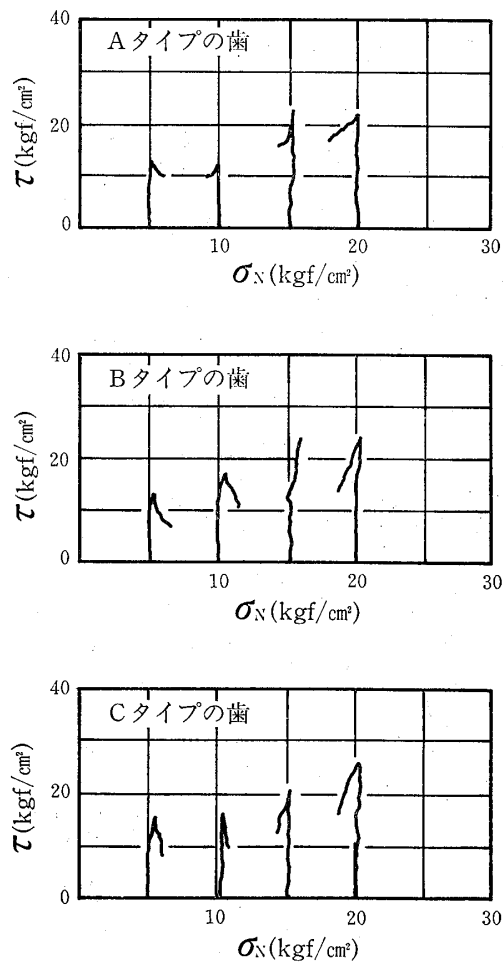


図-12 室内 RBST 装置によるせん断実験の結果

Fig.12 Results of shear test using laboratory type RBST apparatus.

- (a) Relationship between shear stress and shear displacement
- (b) Relationship between shear stress and normal stress—stress path

$$\sigma_{seat} = q_u$$

とみなしても差し支えないことがわかった。

2・3 せん断実験

室内 RBST 装置を用いたせん断実験の実施に当たっては、まず、さきに述べた圧着実験の結果から定義した圧着圧力を用いて、せん断プレートを供試体に十分圧着させた。ついで、前もって設定した垂直応力を供試体を与えて、ひずみ制御方式によってせん断応力を徐々に増加し、せん断応力 (τ) とせん断方向の変位 (d) との関係求めた。この実験における垂直応力は、5 kgf/cm²、10kgf/cm²、15kgf/cm² および 20kgf/cm² とした。なお、破壊時の挙動をモニターするために、せん断応力 (τ) と垂直応力 (σ_N) との関係求めた。

図-12(a)は、供試体 I に対して3種類の歯を用いて実施したせん断実験によって求められたせん断応力～せん断方向変位曲線の一例を、歯の種類別に示したものである。この結果によれば、せん断応力がピークに達するまでは比較的滑らかな曲線を示しているが、ピークに達した後は、変位の増加とともにせん断応力は増減しつつ徐々に小さくなっている。このことは、せん断応力がピークに達したときに破壊が起こり始め、その後はスティック・スリップ的な破壊が進行しているものと考えられる。また、ピークせん断応力時における変位量は0.2～0.5mmの範囲である。

また、せん断応力～垂直応力曲線は、図-12(b)に示すようになる。これらの図に示すように、せん断応力がピ

ークに達した後に、その値が減少するに伴って垂直応力に変化が生じ、垂直応力が小さい場合には垂直応力が増加し、垂直応力が大きいときには減少している。これ

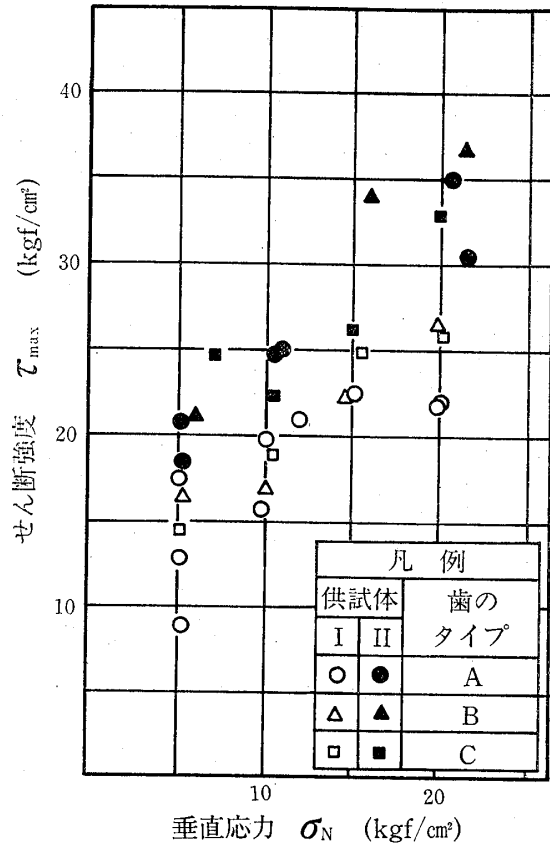


図-13 せん断強度と垂直応力との関係
Fig.13 Relationship between shear strength and normal stress

Aタイプの歯



Bタイプの歯



Cタイプの歯



せん断方向

図-14 せん断実験後の破壊状況
Fig.14 Fracture conditions after shear testing

は、破壊の発生によるダイラタンシーの影響によるものと考えられる。

供試体 I および供試体 II について、せん断実験によって得られたせん断強度と垂直応力の関係を各歯タイプ別に示すと図-13 のようになる。この結果によれば、供試体の強度特性（たとえば、一軸圧縮強度）の違いによるせん断強度の違いは明瞭にあるが、この実験で使用した3種類の歯の間では、タイプによるせん断強度の特性の差異は認められない。

せん断実験終了後における破壊面の一例を図-14 に示す。せん断プレートの歯の形状によらず、破壊面が歯の先端を連ねる面に沿って形成されていることが認められる。また、歯の形状による破壊状況の相異は認められない。さきに述べたように、圧着の際に歯のタイプによってチップングが生じるなどの差異があったけれども、これは歯の周辺部のみの現象で、せん断が発生した面には影響を及ぼさなかったことが考えられる。

2・4 基礎実験のまとめ

さきに示した室内 RBST 装置による圧着実験および

せん断実験の結果から、以下のことが明らかになった。

- (1) 圧着圧力の決定に当たっては、対象としている岩石の一軸圧縮強度が有効な指標となる。
- (2) この実験によって得られたせん断応力～せん断変位曲線によれば、RBST における岩盤の変形挙動は、通常の原因位置せん断試験における変形挙動と同じ挙動を示すことがわかった。
- (3) 実験終了後のせん断面の観察によれば、せん断プレートの歯の先端を連ねる面に沿って、せん断破壊が発生することが明らかになった。
- (4) この実験に用いた歯のタイプの範囲では、その違いが圧着圧力に影響を与えるが、せん断強度に対しては影響を及ぼさないことが判明した。

3 RBST による岩盤のせん断強度の評価例

まえがきにも述べたことではあるが、RBST は、従来から行われている原因位置せん断試験と比較して、操作が簡便で経費も少なく済み、短時日の間に比較的多くの測定ができるという利点を持っている。しかも、この

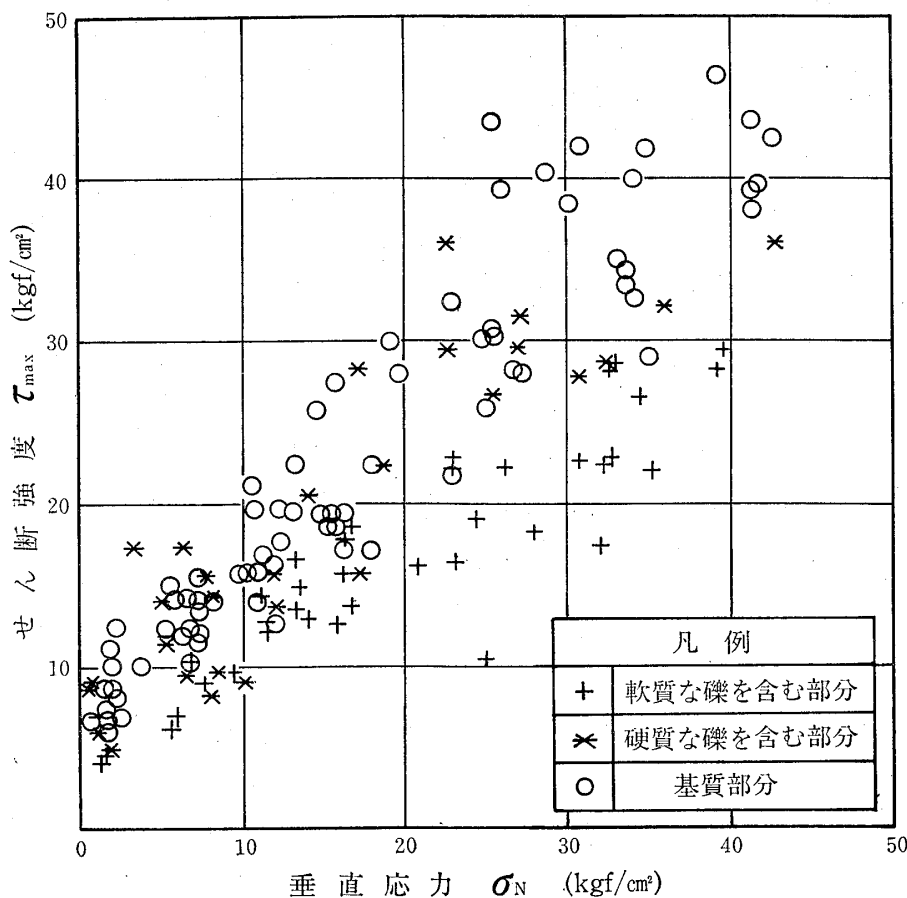


図-15 RBST による岩盤強度の不均質性の検討
 Fig. 15 Investigation of inhomogeneity of rock mass strength

報文で示したように、対象とする岩盤に対するせん断プレート歯の圧着を適切に行えば、十分信頼できる値を得ることが判明した。そこで、RBSTによるせん断強度の測定によって岩盤の評価を行った若干の例について述べる。

(1) 礫を含む凝灰岩のせん断強度の差

露頭観察の結果によれば、この地点の岩盤は径が1~2cmの礫を不規則に含む凝灰岩から成り、諸種の物性値が場所によって大きくばらつくことが懸念された。

試験に際しては、一定間隔で鉛直方向のコアボーリングを実施し、各孔について一定深度間隔に試験面を設定した。試験面に対応するコアによって試験面の岩石の種類、岩質などを観察した結果、大別して、軟質な礫を含む部分、硬質な礫を含む部分および基質部分(凝灰岩)に分類できることがわかった。

垂直応力をいろいろに変えて、100点余りの計測を実施した。試験の結果得られたせん断強度 τ_{max} と垂直応力 σ_N との関係の種類別に示すと図-15のようになり、軟質な礫をふくむ部分(47個)、硬質な礫を含む部分(31個)および基質部分(78個)のそれぞれは、つぎのように表される。

$$\tau_{max} = 5.5 + \sigma_N \tan 30^\circ \quad (\text{軟質な礫を含む部分-S})$$

$$\tau_{max} = 8.2 + \sigma_N \tan 36^\circ \quad (\text{硬質な礫を含む部分-H})$$

$$\tau_{max} = 7.4 + \sigma_N \tan 41^\circ \quad (\text{基質部分-B})$$

上に示したそれぞれの種類の間の粘着力Cおよび内部摩擦角 ϕ の値の差の検定を行うと、

C_S と C_H の間には差が認められる。

C_S と C_B の間には差が認められる。

C_B と C_H の間には差が認められない。

ϕ_S と ϕ_H の間には差が認められる。

ϕ_S と ϕ_B の間には差が認められる。

ϕ_B と ϕ_H の間には差が認められる。

となる。すなわち、内部摩擦角 ϕ には差があるという結果になっているが、粘着力Cに関しては、硬質な礫を含む部分と基質部分の間には差が認められず、したがって、せん断強度 τ_{max} と垂直応力 σ_N の関係を求めるとつぎのようになる。

$$\tau_{max} = 7.6 + \sigma_N \tan 40^\circ$$

この関係式は基質部分のみの場合とほとんど同じであ

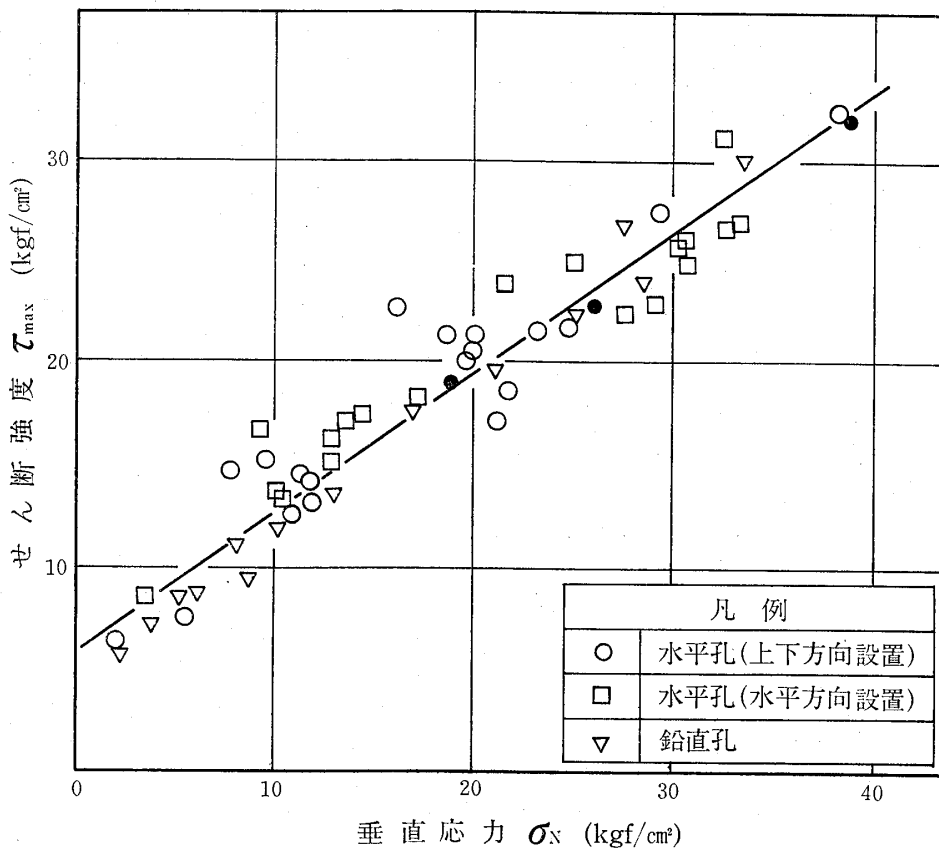


図-16 RBSTによる岩盤強度の異方性の検討
Fig.16 Investigation of anisotropy of rock mass strength

って、粘着力および内部摩擦角の両者ともに、軟質な礫を含む部分との間には差が認められるという検定結果が得られている。

(2) 岩盤のせん断強度の異方性の検討

この地点の岩盤は、水平な成層構造をしている新第三紀の砂質シルト岩から成り、岩盤の強度が異方性を示す可能性が考えられた。そこで、水平方向および鉛直方向に掘削されたボーリング孔内において RBST を実施した。水平孔においては、層理面に平行方向のせん断を行うために、せん断プレートを水平に設置し（設置タイプ a）、また、層理面にまたがって水平方向のせん断を行うために、せん断プレートを層理面に対して直角に設置した（設置タイプ b）。さらに、鉛直孔においては、せん断プレートを層理面にまたがって直角に設置し（設置タイプ c）、層理面に直角方向のせん断を行った。

試験の結果得られたせん断強度 τ_{max} と垂直応力 σ_N との関係を示す、せん断プレートの設置タイプ別に示すと、図-16 のようになり、それぞれの設置タイプは、つぎのように表される。

$$\begin{aligned} \tau_{max} &= 8.3 + \sigma_N \tan 29^\circ && \text{(設置タイプ a)} \\ \tau_{max} &= 6.4 + \sigma_N \tan 34^\circ && \text{(設置タイプ b)} \\ \tau_{max} &= 4.0 + \sigma_N \tan 36^\circ && \text{(設置タイプ c)} \end{aligned}$$

上に示したそれぞれの設置タイプの粘着力 C および内部摩擦角 ϕ の値の差の検定を行うと、

C_b と C_a の間には差が認められない。
 C_b と C_c の間には差が認められない。

C_a と C_c の間には差が認められる。
 ϕ_b と ϕ_a の間には差が認められない。
 ϕ_b と ϕ_c の間には差が認められない。
 ϕ_a と ϕ_c の間には差が認められる。

となる。すなわち、設置タイプ a および設置タイプ c の間には、粘着力および内部摩擦角の両者ともに等しいとみなすことはできないが、設置タイプ b との関係においては、設置タイプ b の粘着力 C_b および内部摩擦角 ϕ_b のばらつきの中に包含されることを示している。

一方、上に示した各設置タイプの関係式によれば、粘着力 C の値および内部摩擦角 ϕ の値の大小関係は、

$$\begin{aligned} C_a &> C_b > C_c \\ \phi_a &< \phi_b < \phi_c \end{aligned}$$

となっており、これらの関係式が表す直線は互いに交差することを示している。すなわち、これらの交点を求めると、

	σ_N (kgf/cm ²)	τ_{max} (kgf/cm ²)
a と b	18.5	18.7
c と a	26.2	23.0
b と c	39.3	32.5

となり、図-16 に示すように、ほとんど一直線に並んでいる。

さきに示した粘着力の値および内部摩擦角に関する検定結果および直線の交点の分布の状態を考慮するとき、せん断プレートの設置タイプによる差異はないものと考えられ、このサイトの岩盤のせん断強度は、

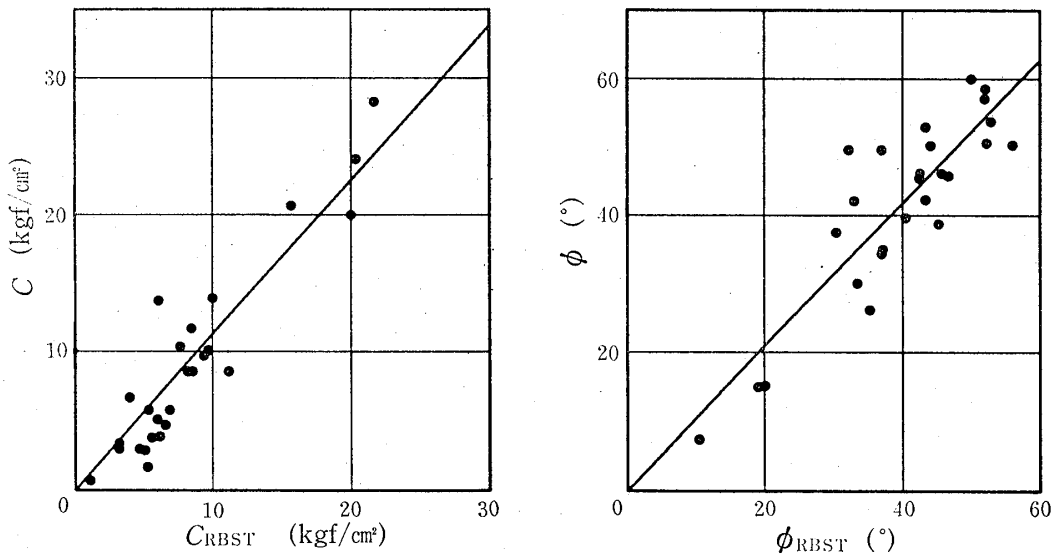


図-17 RBST と原位置せん断試験による岩盤の粘着力および内部摩擦角の比較
 Fig.17 Comparison of cohesion and angle of internal friction of rock mass from RBST and in situ shear testing

$$\tau_{max} = 6.2 + \sigma_N \tan 33^\circ$$

と表すことができ、せん断強度の異方性はないものと判断した。

(3) RBST によるせん断強度と原位置せん断試験によるせん断強度との比較

従来から原位置における岩盤のせん断強度は、横坑内などで実施される原位置せん断試験によって求められており、これらの値が設計・施工に利用されている。したがって、RBST によって求められたせん断強度の値を実際に利用するためには、従来の方法によって求められた値との関係を明らかにしておくことが必要である。

図-17は、いろいろの種類の岩盤において計測されたRBSTによる粘着力 C_{RBST} および内部摩擦角 ϕ_{RBST} をそれぞれ、原位置せん断試験によって得られた粘着力 C および内部摩擦角 ϕ と比較したものである。図から明らかのように、両者ともに原点を通る直線で近似することができる。すなわち、

$$C = 1.13 C_{RBST} \quad (r = 0.844)$$

$$\phi = 1.05 \phi_{RBST} \quad (r = 0.856)$$

となり、比較的良い相関を示している。

これらの関係式の係数の値は、今後、試料の数が增加することによって変化するであろうが、相関係数がそれぞれ0.844および0.856であることを考慮するとき、上式を用いて、 C_{RBST} から C を求めても差し支えないものと考えられる。

4 あとがき

RBST を実施するに当たって、最も重要な事項の1つとして、せん断プレートの歯を完全に岩盤に貫入させなければならない。そのための圧着圧力をどのようにし

て決めたらよいか。また、圧着圧力との関係において、どのような歯の形状・寸法（高さ）が最適であるのか。などの疑問を解明するために、応力のほかに、変位をも測定できるようにした室内 RBST 装置を試作した。

この装置を用いて行った若干の実験から、圧着圧力としては、その岩石の供試体による一軸圧縮強度値に相当する応力を必要とすることがわかった。また、歯の高さは1mmが最適であること、また、せん断応力と変位の関係が明瞭になり、破壊後のせん断面の観察などから、歯の先端を連ねる面が破壊面となっていることが確認された。

このような実験結果を踏まえて、種々の岩盤において実施したRBSTによる結果から得られた粘着力および内部摩擦角の値と原位置せん断試験による値との関係を求めた。これらの関係式は、さらにデータを増やして、より確実なものにすることの必要性はいうまでもない。

また、孔内において岩盤の変形係数ならびに弾性係数を測定することができるエラストメーターのような孔内試験装置と併用し、孔内における測定値によって、広い範囲にわたる岩盤の力学特性を総合的に評価する方法の確立に努力する積もりである。

参 考 文 献

- Handy, R. L., Pitt, J. M. and Rlocklow, D. E. (1976): Rock borehole shear test. Proc. 17th U. S. Symp. on Rock Mech., pp. 4B6-1~4B6-11.
- Paul, B. and Sikarskie, D. L. (1965): A preliminary theory of static penetration by a rigid wedge into a brittle material. AIME Trans., No. 232. pp. 372~383.