

(91) 孔内せん断試験のモデル実験

応用地質株式会社

○曾根 好徳

応用地質株式会社

荘司 泰敬

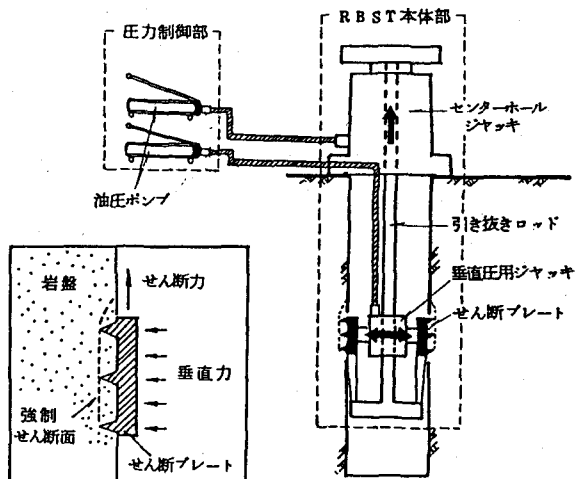
応用地質株式会社

田中 達吉

1. はじめに

RBST (Rock Borehole Shear Test) 装置は、ボーリング孔を利用して原位置岩盤のせん断強度を評価する目的で開発された試験装置である¹⁾。著者らは、これまで同装置を用いた各種岩盤における原位置測定により、RBST結果と岩盤せん断試験結果を比較検討してきた²⁾。その結果、両者の試験結果には良好な対応関係が認められ、RBSTが岩盤の強度評価の一方法として適用できる見通しが得られた。

しかしながら、RBST装置による試験では、試験時の岩盤の挙動を直接見る事ができず、岩盤の破壊の様子は明らかではない。そこでRBST試験実施時の試験面の状況観察ができるようにRBST試験と同じ原理の室内試験機を作成した。この試験機によりRBSTモデル実験を行い、試験実施上の諸条件が試験結果に及ぼす影響を検討した。ここでは、モデル実験の状況と、実験結果のうちせん断プレートを試験岩盤に圧着させるに必要な押しつけ圧の選定、せん断プレートに付された歯の形状およびびす法効果について、報告する。

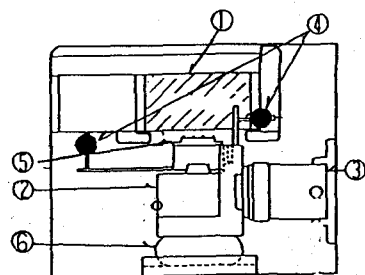


第1図 RBSTの基本原則

2. 試験装置および試験方法

2-1 試験装置

RBSTの基本原則は、第1図に示すように、歯を有するせん断プレートをボーリング孔壁の岩盤に押し付けて貫入させ、装置を孔口から引き抜くことで歯で囲まれた岩盤を破壊させるものである。すなわち、同試験は、せん断プレートに付された歯の先端を結ぶ線上を強制的に破壊させるような直接せん断試験とみなすことができる。本実験では、上記のRBSTの測定原理に基づく室内試験装置を作成した(第2図)。第2図において、②と③は小型の油圧ジャッキで、②を作動させると、上部に設置された供試体①に垂直圧が加わる。その後、③を作動させると、②と⑤が一体となって図の左方に移動し、供試体にせん断力が加わる。このとき、底部の摩擦をなくすために、ローラーベアリング⑥を設置してある。これらは 150×150mm のH鋼による剛性枠内に配置した。一方せん断プレ



①供試体
②油圧ジャッキ (垂直荷重用)
③油圧ジャッキ (せん断荷重用)
④ダイヤルゲージ
⑤せん断プレート
⑥ローラーベアリング

第2図 試作室内試験装置の模式図

トに付した歯の形状と寸法は第3図のとおりとした。また、モデル実験の材料として、第1表に示す物性を有するセメントモルタルを用いた。

第1表 実験に用いたモデル材料

モデル材料	配合比 [*]	単位体積重量 (gf/cm ³)	P波速度 (km/sec)	S波速度 (km/sec)	一軸圧縮 強度 (kgf/cm ²)	圧裂引張 強度 (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

^{*}配合比 セメント：粘土：デンカ：水

2-2 シーティング試験

RBSTの測定原理から明らかなように試験の実施にあたっては、せん断プレートに付された歯を対象材料に予め十分に圧着させる必要がある。ここでは、この圧着に必要な圧力をシーティング圧と呼び、これを求める試験をシーティング試験と呼ぶこととする。シーティング試験は第4図に示すようにせん断プレートを押し付ける力(F)とプレートが材料に貫入していく変位(d_N)とを測定し、F～d_N曲線からシーティング圧の評価を試みた。

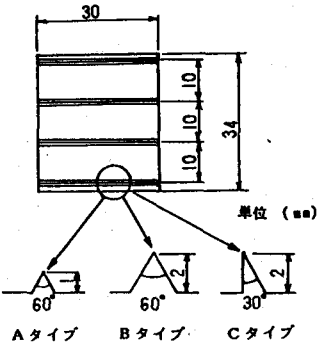
2-3 せん断試験

せん断試験は、RBSTの原理に準拠し、次のように行った。まず、せん断プレートを対象材料にシーティングさせ、その後、選定した垂直応力をせん断プレートに作用させた状態を保ちながらせん断応力を加え、対象材料を破断させた。この際、垂直応力(σ_N)～せん断応力(τ)の関係、せん断応力(τ)～せん断方向変位(d_τ)の関係を測定した。以下は通常のせん断試験と同様に、供試体を換え、選定した各垂直応力下におけるせん断試験を繰り返し、モール・クーロンの破壊限界説に基づき、粘着力Cおよび内部摩擦角φを評価した。

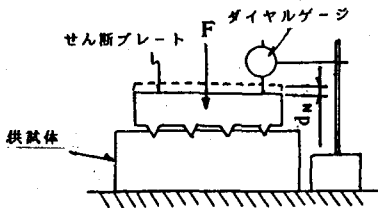
3. 試験結果および考察

3-1 シーティング試験

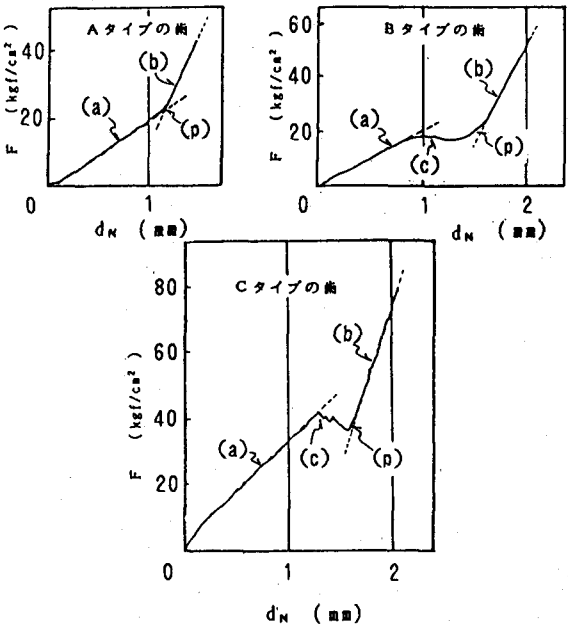
第5図は、3種類のせん断プレート(第3図)によるシーティング試験の応力～変位関係の代表例である。各図の直線(a)部分は、せん断プレートに付された歯の貫入過程を示している。さらに荷重レベルを増大させるとAタイプのせん断プレートの場合では、(p)点を経て直線(b)となるのに対し、B、Cタイプのせん断プレートの場合、(p)にみられる挙動に先立ち、(c)で示すような挙動が



第3図 せん断プレートと付した歯の形状及び寸法



第4図 シーティング試験の模式図



第5図 シーティング試験による応力・変位線図

みられる。この点について、脆性材料にクサビを貫入させた場合の報告²⁾を参考に考察すると、(c)で示される挙動は、歯の貫入に伴い、いわゆるチップを形成するような破壊が進行しているものと思われる。この破壊挙動は頂角の大きいBタイプの歯の方がCタイプのそれに比べてより脆性的に生じている。また各タイプのプレートにみられる直線(b)の部分は、いわば、せん断プレートによる平板載荷過程における供試体の応力～変位曲線とみなすことができる。

以上の変形挙動を踏まえ、シーティング圧を次のように定義した。

- (1) Aタイプのせん断プレートのように歯の貫入過程において、チップング的破壊を生じないような場合は、直線(b)の開始点をシーティング圧とする。
- (2) B、Cタイプのせん断プレートのようにチップング的破壊を生ずるような場合には、せん断プレートに付した歯高に相当する変位(B、Cタイプの歯の場合は2mm)が生じたときの圧力をシーティング圧とする。

第6図は、シーティング圧(σ_{seat})と材料の一軸圧縮強度(q_u)との関係を示したものである。図より、Aタイプのせん断プレートの場合、 σ_{seat} と q_u の間に一次の相関性が認められる。参考までに σ_{seat} と q_u の関係を最小自乗法により直線回帰すると次式で示される。

$$\sigma_{seat} = 0.986 \times q_u$$

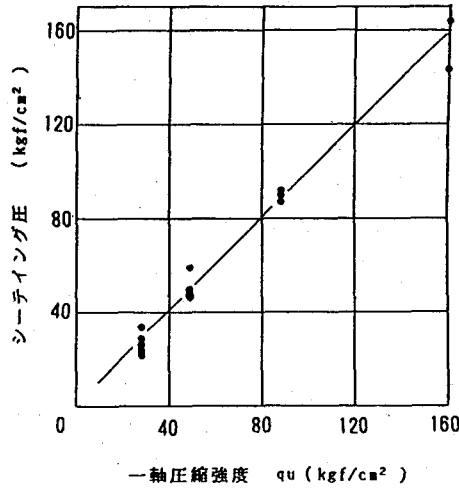
(相関係数 0.99)

すなわち、 $\sigma_{seat} = q_u$ とみなすことができる。

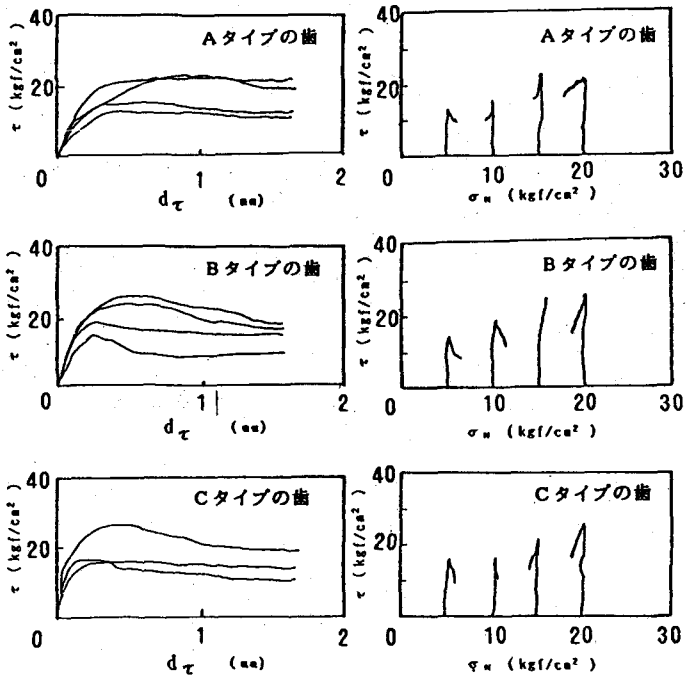
3-2 せん断試験

第7図は、モデル材料Iを用いた場合の各せん断プレートによる試験結果例を示した図である。せん断応力～せん断方向変位線図(第7図の左側)によると、各条件下での試験結果とも、せん断応力載荷後、直線的あるいは上に凸な形状の変形挙動がみられ、せん断応力のピークをすぎると徐々にせん断応力の低下を示しながら変位が進行している。最大せん断応力時における変位量は、おおむね0.2～0.5mmの範囲となっている。

また、せん断応力と垂直応力の関係を示した図(第7図の右側)をみると、初期の設定した垂直応



第6図 シーティング圧と一軸圧縮強度との関係



第7図 試作室内試験装置によるせん断試験結果

力が小さいときの試験では、最大せん断応力値以下において、せん断応力の減少にともない垂直応力の増大がみられる。これに対して、より大きい初期設定垂直応力下では、せん断応力の減少にともない垂直応力の減少がみられる。

以上のモデル材料Ⅰにより得られた試験結果は、モデルⅡについても同様であった。第8図は、各せん断プレートを用いたせん断試験により得られたモデル材料ⅠおよびⅡのせん断強度と垂直応力との関係を示した図である。同図よりせん断プレートの違いによる強度特性の明瞭な差異が認められないことがわかる。第9図は、せん断試験後の破壊面の代表例を示したものである。せん断プレートの形状によらず、破壊面はプレートに付された歯の先端を結ぶ線上に形成されており、破壊状況は同等であったと判断できる。すなわち、せん断プレートの形状が違い、シーティングの際にチッピング現象が起っても、これは歯の周縁部のみの現象で、強制せん断面には影響がなかったものと考えられる。

4. まとめ

R B S T室内実験装置を用いた実験により、以下のことが明らかにになった。

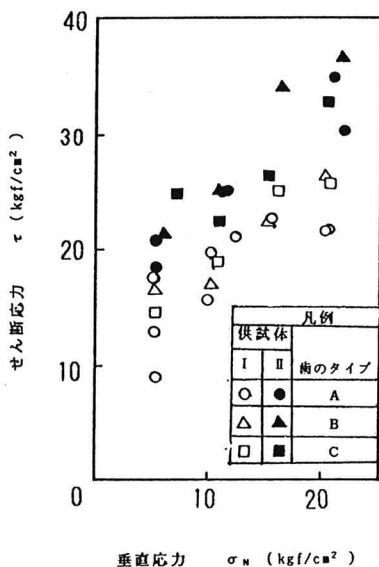
①シーティング圧の決定にあたって、対象材料の一軸圧縮強度が有効な指標となること。

②せん断試験により得られたせん断応力～変位線および試験面の観察により、R B S Tの測定原理に基づく試験が、通常の直接せん断試験と同様の变形挙動を示すこと、せん断破壊がせん断プレートに付された歯先端付近を結ぶ面に沿って生じていること。

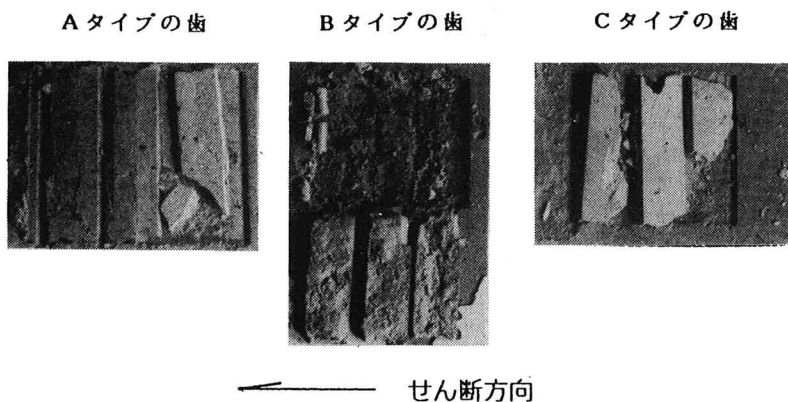
③せん断プレートに付された歯の形状および寸法の違いが試験に及ぼす影響については、今回用いた種類の中では、シーティング圧に影響はあるが、強度特性には顕著な差異が認められなかった。

今後はさらに、原位置岩盤を考慮した実験やケーススタディ的な実験、たとえば、供試体表面の仕上がり

程度を変えた試験、シーティング圧が不十分な場合の試験、不連続面を考慮した実験などを行い、R B S T装置による試験の適用性を検討していく予定である。



第8図 各条件下におけるせん断強度と垂直応力との関係



第9図 せん断試験により得られた破壊面の代表例

参 考 文 献

- 1) Handy, et. al.; Proc. of 17th U.S. Symposium on Rock Mechanics, 1976.
- 2) 田中他; 第6回岩の力学国内シンポジウム, 1984.
- 3) Paul, B. et. al.; Trans. Soc. Min. Engrs., 232, 1965.

(91) Model Test for Rock Borehole Sear Test

OYO Corporation

Yoshinori SONE

Yasunori SHOJI

Tatsukichi TANAKA

Abstract

The Rock Borehole Shear Test (RBST) apparatus is to determine shear strength parameters of the walls of a test borehole. The RBST showed to be a practical method of testing rock masses in situ in a short time.

However, it is impossible to observe directly the place where the RBST was carried out, so that failure behavior of the rock is not clear. A laboratory apparatus which was developed on the same principles of the RBST was used in this work.

The purpose of these tests is to establish the test conditions of RBST such as seating pressure and determination of the peak strength.

Some results obtained by these tests are as follows;

1. Sealing pressure which must be applied to penetrate the teeth of the shear plate into the material is showed a function of uniaxial compressive strength.
2. The shear stress vs. shear displacement curves which were obtained by the laboratory tests, are similar to these of the direct shear test.
3. The shape and size of the teeth are not affected to estimate the shear strength of the materials.