

簡易原位置せん断試験装置の開発とその二三例

大成建設（株）技術研究所 ○正員 木 沢 恒 雄
同 上 五十嵐 孝 文

1. まえがき

岩盤の原位置せん断試験法には、岩盤もしくはコンクリートブロックの底面をせん断する方法か、大孔径コアをねじ切るいわゆるねじりせん断試験による方法、更にはボーリング孔々間における孔壁を孔内用ジャッキにより打ち抜く方法等がそれぞれ提案され実用に供されている。

しかし、前2者は多額な費用と時間を要し、後者は、手軽に行なえるもののせん断方向荷重のみのため、任意の垂直応力時のせん断応力を得ることが出来ず、摩擦角 ϕ が決められない欠点を有している。しかし、摩擦角 ϕ および結合力 τ_0 を知ることは、大ダムに限らず、トンネル、橋梁、斜面などの設計・施工に不可欠であり、試験が行なえない所では、止むを得ず他の試験値や室内試験の結果より推定しているのが実情である。筆者らはこのような実情に鑑み、横坑やトレンチの有無にかかわらず載荷試験程度の規模で行なえるせん断試験装置を考案し、検討の結果、十分に実用に供せるものと判断したので、ここに発表し御批判を仰ぐ次第である。

2. 試験の装置および原理

岩盤各所のせん断強度を求めるため、機動性を良くし、肉厚 10^{mm} 内径 150^{mm} のダイヤモンドビットを使用し、任意の深度までさく孔した後、底面を平滑に研磨した上で更に 25^{cm} さく孔し、コアを孔中に残した状態のまま、図-1に示すように移動枠、反力枠のセット(13)を掘り溝に挿入し、地上まで連結した楔金具(12)、荷重伝達棒(8, 11)及びロードセル(9)を介したせん断用ジャッキ(10)で移動枠に楔力を与え、移動枠で抱持したコアに水平力を与えせん断するもので、水平ひずみは移動金具より取り出したステンレス線を介してダイヤルゲージ(18)で測定する。

又垂直荷重は、載荷板(7)、転子(6)並びに、前記せん断用装置をとり囲むように配置した荷重伝達円筒(5)、ロードセル(1)を介したセンターホールジャッキ(4)で加圧する。この場合の垂直ひずみは、荷重伝達金具より張り出したプレートの動きをダイヤルゲージ(19)で測定する。

従って、両者の反力点は、装置の延長上1箇所(3)ですみ、ロックボルト(2)などで反力用アンカーがとれる所であれば、試験が可能となる。

本試験の原理は、図-2に示すような水平および、垂直方向の力の平衡条件で理解出来る。

即ち、せん断方向の力の均合は、

$$N_1 \cos \lambda_1 + N_3 \sin \lambda_3 - P = 0 \quad \cdots \cdots (1)$$

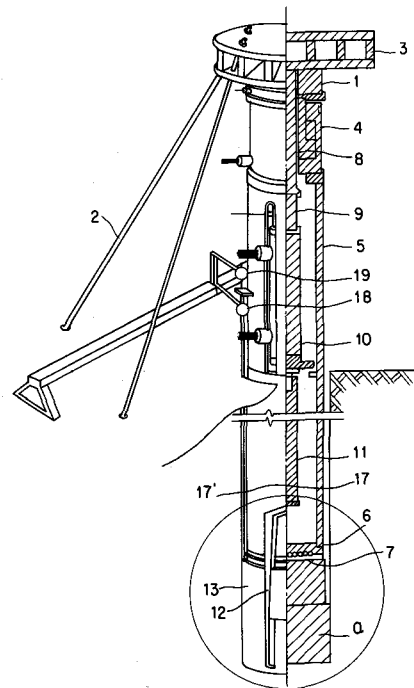


図-1 せん断試験装置の機構図

水平方向の力の均合は

$$Q + N_1 \cos \lambda_1 - N_3 \cos \lambda_3 = 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

又
$$\frac{\sin \frac{\pi}{2} - (\alpha + \lambda_1 + \lambda_2)}{Q} = \frac{\sin(\alpha + \lambda_2)}{N_1} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$\lambda = \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3$ のとき、上記 3 式より

$$P = Q \tan(2\lambda + \alpha) \quad \dots\dots\dots(4)$$

よって、垂直応力 n におけるせん断応力 τ_n は次式で求めることができる。

$$\tau_n = \frac{Q}{S} = \frac{P \cot(2\lambda + \alpha)}{\pi r^2} \quad \dots\dots\dots(5)$$

こゝで Q は、せん断力、 S はせん断面積、 P はくさびの挿入力、 λ は装置間に働く摩擦角、 α はくさびの挿入方向とのおなす角度である。

今、くさびの挿入方向とのおなす角度 α は 6° で、銅と銅の摩擦係数 $\mu = 0.1 \sim 0.2$ であるから、

$$\lambda = \tan^{-1} \mu = 5.7^\circ \sim 11.3^\circ$$

4 式より

$$Q = 3.19P \sim 1.8P$$

となり、くさびに加える荷重の約 2 ～ 3 倍の力がせん断力として働くことが判る。

こゝで、本装置に使用した特殊鋼の引張強度は 100 Kg/mm^2 見込むことが出来、移動枠の耐伸荷重は $2^m \times 150^m \times 100^m \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} = 30 \text{ ton}$ となり、せん断荷重約 150 Kg/cm^2 迄の測定が可能となる。

3. 装置の検定

前節の検討のために、 $\phi 400^m$ の鋼管中に、 $\phi 170^m \times 300^m$ の鍵穴型空間を残し、モルタルを打設した模擬岩盤を用意し、内部にローラでせん断面の摩擦を低減した一對の鋼製コアを抱えた装置を挿入、くさび挿入圧力 P とせん断力 Q の関係を求めた。図-3 はその検定装置、図-4 はその結果で、X 印はくさび間に減摩材を挟まない場合、他は各種の高分子材料を挟んだものである。

この結果より銅と銅の λ を求めると $7.16^\circ \sim 10.28^\circ$ 、 μ になおすと $0.13 \sim 0.18$ となり鋼の摩擦係数の範囲内にあることが判った。しかし、くさび挿入面の加工上の微細な凹凸がバラツキとして、挿入圧が増すにつれて拡がるため、高分子材料を減摩材として挟んで、その懸念を解消した。

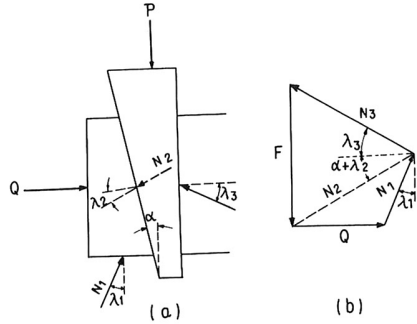


図 - 2

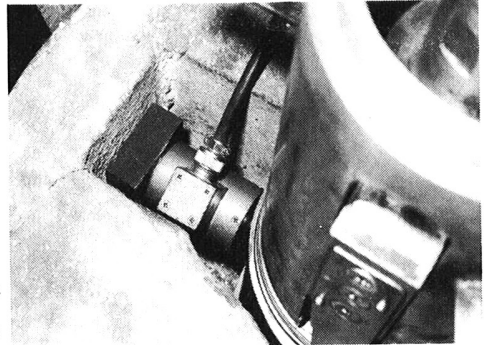


図-3 せん断荷重の検定装置

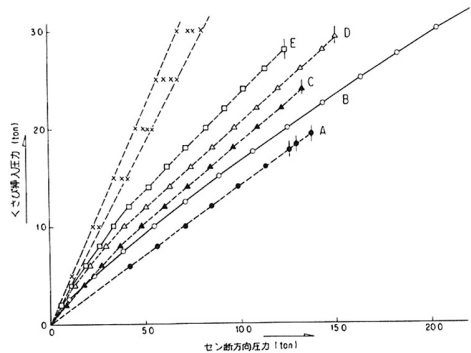


図-4 減摩材によるせん断荷重への影響

減摩材 A は、せん断面に働く力が、くさび挿入圧力の約 7 倍となり、バラツキも少なく優れているが、せん断応力で 70 Kg/cm^2 位ですり切れてしまう。そこで多少放物線を描くがバラツキの少ない減摩材 B を使用し、測定することにした。

又、ステンレス線でとり出した移動量と実際のブロックの動きを検定するために、模擬岩盤中のロードセルをダイヤルゲージに換えて、測定した。その関係を示したのが図-5 で、せん断時のひずみ変化は移動枠の移動につれて、実際より約 1 割減少して測定されることが判った。これは、ステンレス線の取り出し口の構造上の問題である。

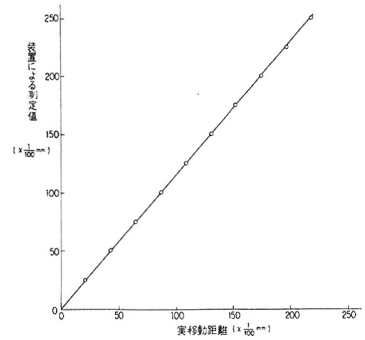


図-5 ひずみ校正曲線

4. せん断試験

図-6 は、試験用円溝とその掘削機械で、地表近くの試験の場合、このような携帯用機械で十分である。

又、図-7 は、本試験の状況で、わずか 2 名の試験員で十分測定出来た。試験は、垂直荷重 2 ton, 3 ton, 4 ton, 5 ton の各段階で行なった。

荷重速度は 1 ton/min にし、各 ton 毎 5 分の待ち時間を設けた。

又せん断荷重は、くさび挿入圧 0.2 ton/min の速度で 0.2 ton 毎、2 分の待ち時間を設けてひずみ測定を行なった。

せん断面の状況は図-8, 図-9 に示すが、単なる横断面で見るよりも、等高線で表す方が、より適格に判断出来るとの考えから、ディップスケールを図のような装具の穴に挿入、基準面より凹凸面にあたる深さを測定した。

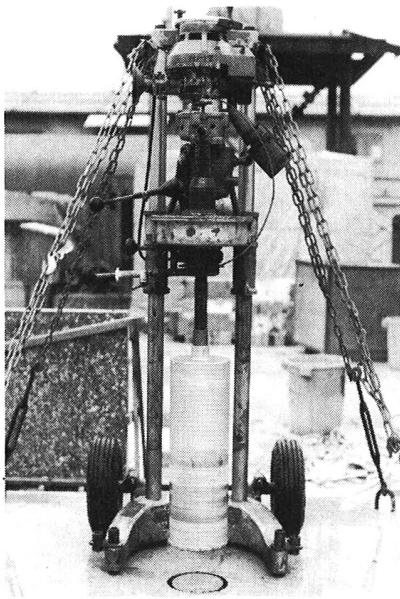


図-6 試験用円溝とその掘具

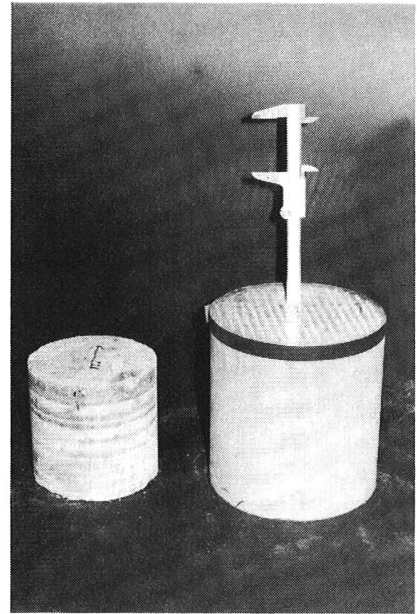


図-8 せん断コアとせん断面測定具

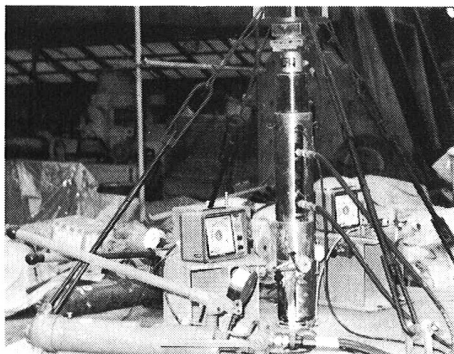


図-7 せん断試験の状況

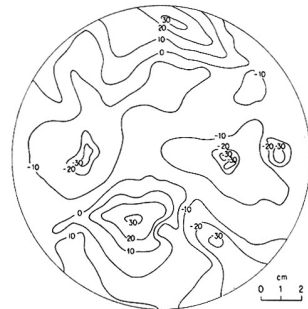


図-9 せん断面の一例

5. 結果の検討

図-10は、本試験での応力-ひずみ曲線の一例であり、図の下部にはブロック移動方向の断面図を附記した。

この例でも判るように、コア上部と下部の動きは、破壊時で0.6mmの差しかなく、装置が正常に働いていることを示している。この時は、転倒による引張破壊の徴候は認められず、又、引張亀裂も目測出来なかった。

図-11は、せん断面が転倒の影響を受けた粗粒砂岩塊の垂直応力4 ton時の応力-ひずみ曲線および断面を描いたもので、凝灰岩塊、モルタル塊の同垂直応力時のデータも附記した。この場合、図にも表われているように、初期破壊と最終破壊の間には約20kg/cm²の差があり、この原因については、粗粒砂岩の組成が、凝灰岩やモルタルのように均質でなく、ほぼ30°の角度で硬軟互層になっていることがあげられ、その硬軟が顕著なものほどこの傾向が著しかった。

図-12はこれらの結果を、モール・クーロンの包絡線に模して整理したもので、同一岩塊より採取したコアの圧縮・引張強度より推定した破壊包絡線も附記した。粗粒砂岩においては、前記した初期破壊値の包絡線と最終破壊値のそれはほぼ平行になった。

各岩塊の結合力 τ_0 と摩擦角 ϕ について、本試験値と圧縮・引張強度より推定した値と比較すると、表-1の如く良い近似が得られた。

表-1 試験結果総括表

岩石名	τ_0 (Kg/cm ²)	ϕ (°)
緑色凝灰岩	58.0 (56.5)	48.0 (47.0)
粗粒砂岩	21.5, 48.5 (37.5)	55.5 (50.0)
モルタル	23.5 (24.5)	45.5 (47.5)

()内は圧縮・引張強度値からの推定値

6. むすび

本試験装置の場合、150mmの円筒ブロックをせん断したが、円溝の掘さくは、ボーリング機如何で1000mm程度のブロックまで作成可能であり、ブロックの寸法に合わせた治具を作成することにより自由に選定出来る。

又、くさび挿入孔をあらかじめ円溝の両端に掘削しておけば孔底でのせん断試験も、同じ原理で行なえるはずであり、この方向で現在研究続行中である。

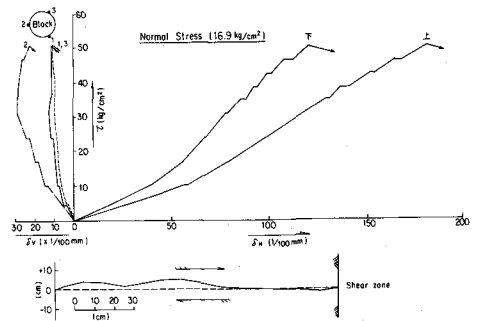


図-10 応力-ひずみ曲線（粗粒砂岩）

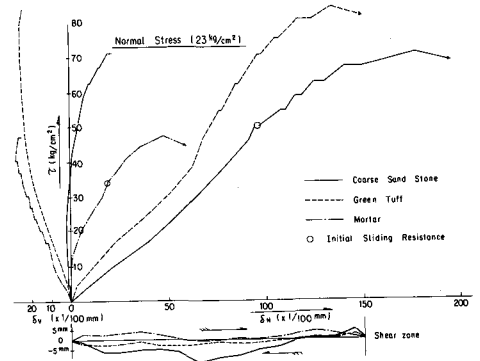


図-11 応力-ひずみ曲線の比較

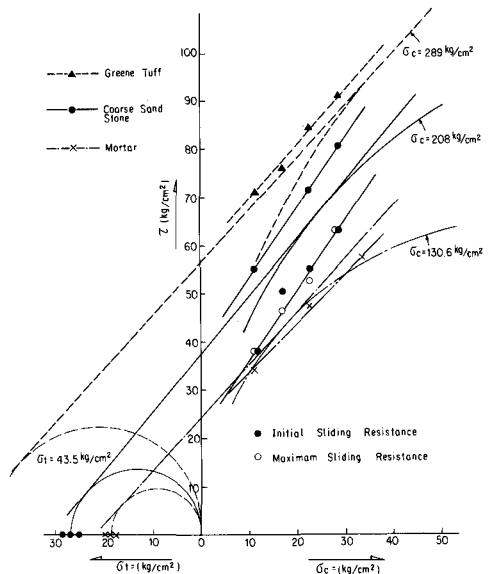


図-12 各岩塊の破壊包絡線

A Handy Method for in-Situ Bore Hole Shear Test

by Tsuneo KIZAWA and Takafumi IGARASHI

Taisei Corporation

The authors developed a handy apparatus for bore hole shear tests which is applicable for in situ. After a bore hole with the diameter of fifteen centimeters has reached the planned depth, the bottom surface of the bore hole is ground flat. Then the cylindrical core of twenty-five more centimeters deep is cut, which is left in the bore hole and is tested. Shear force is applied by using a 10 ton jack, and is transferred by a pair of wedges and double tubes, under any normal load which is applied by using a 20 ton jack.

Shearing stress under normal stress n may be expressed as

$$\tau_n = \frac{Q}{S} = \frac{P \cot(2\lambda + \alpha)}{\pi r^2}$$

Where,

- Q: Shear load,
- S: Area which carries the shear,
- P: The force applied to push the wedge,
- λ : Angle of friction between steel pieces,
- α : Angle between the face of the wedge and the pushing direction.

Proof tests show that P to Q ratio is 1 to 2.7, from which λ and μ are derived as 7° and 0.13, respectively.

Some test results obtained at laboratory on cylindrical core specimens of tuff, coarse sand stone and mortar blocks are shown in figures. Obtained shear strengths are very close to those which are calculated from the tensile and compressive strengths of the specimens by using the method of least squares for the familiar Coulomb-Navier equation as follows,

$$\tau = \tau_0 + \sigma \tan \phi$$