

(36) 孔内試験による

岩盤のせん断強度測定法と結果の評価

応用地質調査事務所 〇田中達吉 大橋武一郎 武内俊昭

1. まえがき

原位置において、岩盤の強度特性を簡便に求める方法として、筆者等はボーリング孔を利用した原位置試験の適用性を検討してきた。リツ3) これらは、ボーリング孔内載荷試験(等分布載荷試験)の応力～変位曲線に見られる降伏点に着目して岩盤のC、 ϕ を求めるもの、およびボーリング孔内せん断試験装置—Rock Borehole Shear Tester—(RBS T)—により直接的に岩盤の強度を求めるもの等である。

ボーリングを用いる原位置試験法は、地下深部の岩盤の状況を直接的に把握し得る方法として利点があり、今後大いに発展が望まれる方法である。しかしながらこの2つの方法は、岩盤に生ずる応力状態が必ずしも同じではないため、それぞれの方法で得られた結果がどのような関係にあるかを検討し、それらの検討を通してそれぞれの方法がどのような特徴及び適用性を持っているかをより明らかにしていくことが必要である。その結果、いろいろな種類の岩盤に対し、より適した方法が用いられ、岩盤の強度特性を有効に把握することが可能となっていくと考えられる。

本稿では、これら2つの方法を同一岩盤に対して実施した1、2の例について検討し、上に述べた様なそれぞれの方法で得られた結果の関係や適用性などについて若干の考察を加えたものである。

2. 孔内試験による岩盤の強度測定法

2-1. 孔内載荷試験(等分布載荷試験)

孔内載荷試験において得られる応力～変位曲線上に、一般に降伏点と称される点が見れる。この降伏点が岩盤の塑性化により生じ、岩盤がモールクーロンの破壊規準に従うと仮定すると、降伏点応力(P_y)はC、 ϕ および拘束条件(初期地圧 P_0)を定めれば、次式によって求めることができる。

$$P_y = C \cos \phi + (1 + \sin \phi) P_0 \quad \text{----- (1)}$$

また武内他(1982)は、 P_y を精度良く定めるため、次に示す応力と変位の関係を用いて実測の曲線との曲線近似による方法をとっている。

$$U = \frac{1+\nu}{E} \cdot \{ 2(1-\nu) P_0 - P_y \} \cdot R_1 \cdot \exp \left(-\frac{P - P_y}{P_y - P_0} \right) \quad \text{----- (2)}$$

ここにU: 応力(P)の時の孔壁の変位

E: 地盤の弾性係数

R_1 : 孔の半径

ν : 地盤のポアソン比

岩盤の強度定数を求めるためには、2点以上の深度方向の測定結果による P_y 及び P_0 の値から(1)式によりC、 ϕ を求めることになる。図-1に P_y の深度分布の例を示すが、この場合その深度方向にできるだけ長い区間岩盤状況が同様であるという条件が必要であり、この区間が長く、測定点が多いほど P_y の深度分布が明確になり、C、 ϕ を求める精度は増すことになる。一方、岩石の三軸試験より求まるC、 ϕ から

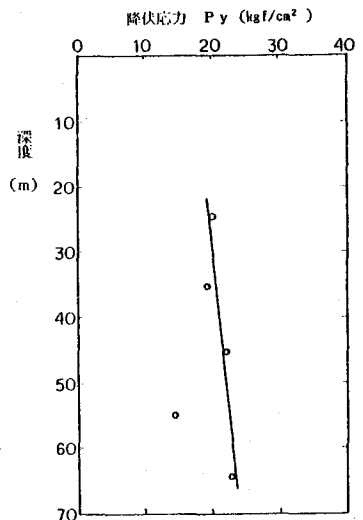


図-1 P_y の深度分布

(1) 式により P_y を計算し、これにより (2) 式を用いて応力～変位曲線を描くと図-2 のように供試体採取した地点で測定した孔内载荷試験の実測の曲線とよい一致を示すものがあり、この方法の妥当性を示す例として考えることができる。

2-2. R B S T 試験

ボーリング孔内せん断試験装置 (R B S T) は、ボーリング孔の側壁岩盤を利用し、そこを試験面とし、岩盤のせん断強度を原位置で直接的に求めることを目的としているものである。図-3 に装置の概略図を示す。载荷部には3つの歯を有する2枚のせん断プレート (25×20mm) が配置されている。測定は、载荷部のジャッキによりせん断プレートを孔壁に密着させた後、孔口に据え付けたセンターホールジャッキで、载荷部全体を孔口方向に引き上げるという手順で行われる。この時、せん断プレートを岩盤に密着させる力が垂直荷重であり、孔口方向に引き上げる力がせん断荷重となる。試験結果から最大せん断応力とその時の垂直応力を読みとり、垂直応力 (σ) ～せん断応力 (τ) 関係図にプロットする。R B S T はせん断面積が小さいことから、同一深度で载荷部を90°回転させることにより2点の測定ができ、深度間隔も10 cm程度で十分である。したがって短いボーリング区間で多点のデータを短時間に得ることができる。このようにして、同一岩盤において垂直応力の大きさを変えた幾つかの測定データの組み合わせから岩盤の C 、 ϕ が求められる。幾つかの岩種について R B S T の結果を原位置岩盤せん断試験の結果と比較すると図-4 のようになり、よく対応しているといえよう。

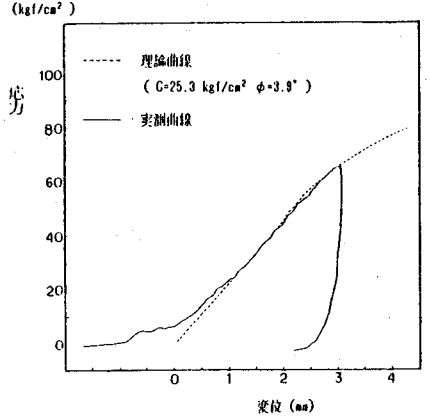


図-2 孔内载荷試験による応力～変位曲線

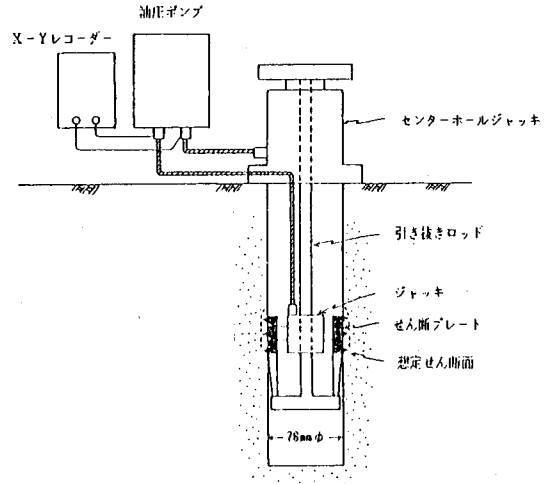


図-3 R B S T 装置の概略図

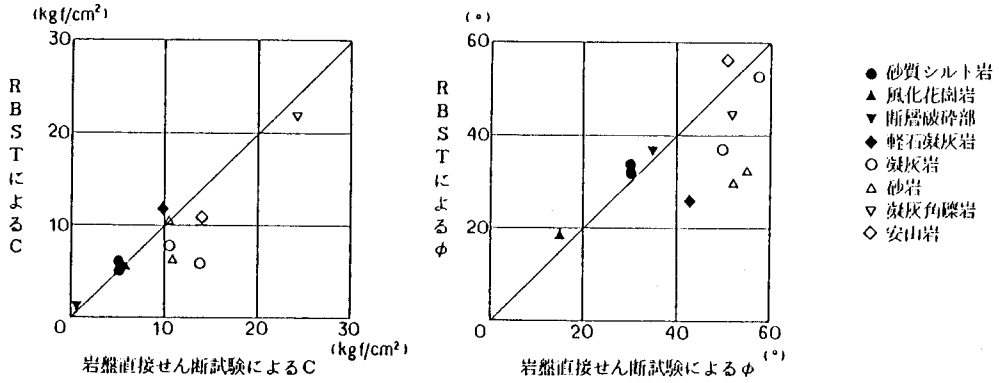


図-4 R B S T と岩盤直接せん断試験による C 、 ϕ の比較

3. 同一岩盤におけるRBS T及び孔内载荷試験の測定結果と検討

試験対象とした岩盤は第三紀の凝灰岩、砂質シルト岩であり、凝灰岩については地質観察により凝灰岩Ⅰ、凝灰岩Ⅱ、凝灰岩Ⅲに分類しており、合計4種類である。凝灰岩Ⅰ、Ⅱは対象とした岩盤の中で最も軟質であり、また均質なものである。凝灰岩Ⅲ、砂質シルト岩は前者よりも固結度は高く、大きな岩盤マスとしては均質であるが、挟み層や礫などを含み微視的にはやや不均質とみることができる岩盤である。

図-5はこれら4種類の岩盤について実施したRBS T試験結果から得られた垂直応力(σ)とせん断応力(τ)の関係をプロットしたものである。これらのプロットは各岩種とも多少バラツキはあるものの、それぞれ最小自乗法により直線近似を行いこの直線よりC、 ϕ を求めることができる。一方、図-6はRBS T試験を実施したすぐ近傍で、岩盤として同等とみなせる箇所で行った孔内载荷試験の応力~変位曲線である。それぞれの図には(2)式による曲線近似で求めた P_y 点を示してある。今回の測定では凝灰岩Ⅰ、Ⅱ、Ⅲについては地表から浅い深度(3メートル以内)で実施しており、 P_0 はすべてゼロとみなされる。従って岩盤のC、 ϕ を一義的に求めることはできない。そのためここでは(1)式の関係を利用して P_y からCと ϕ の関係図を作成し、この図の上で他の試験結果との関係を検討することにした。

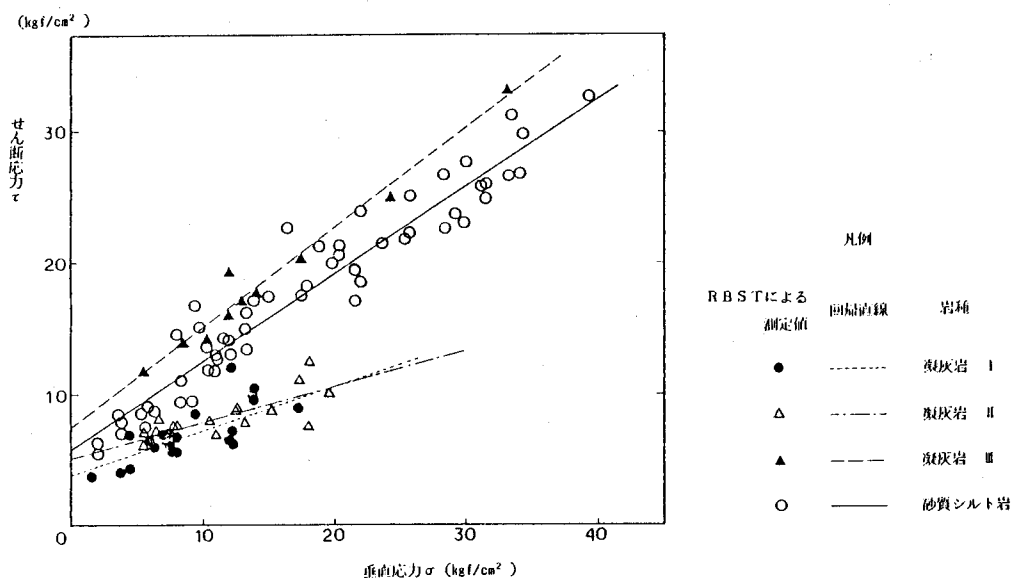


図-5 RBSTによる $\sigma \sim \tau$ 関係図

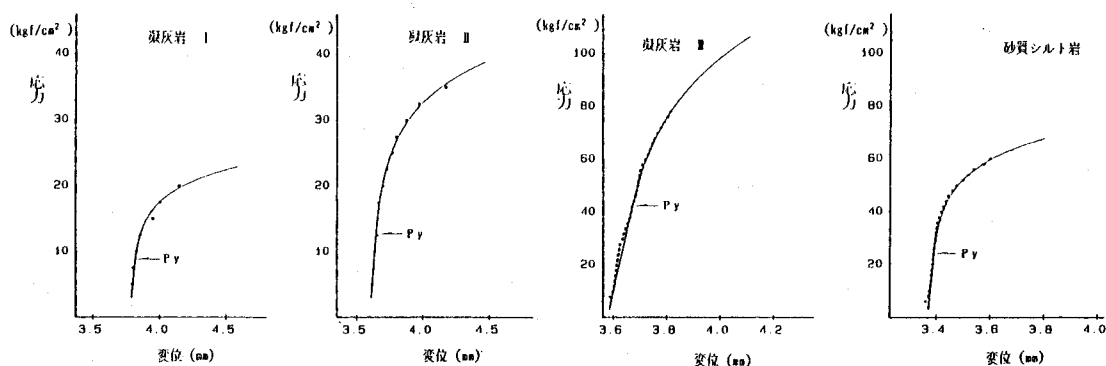
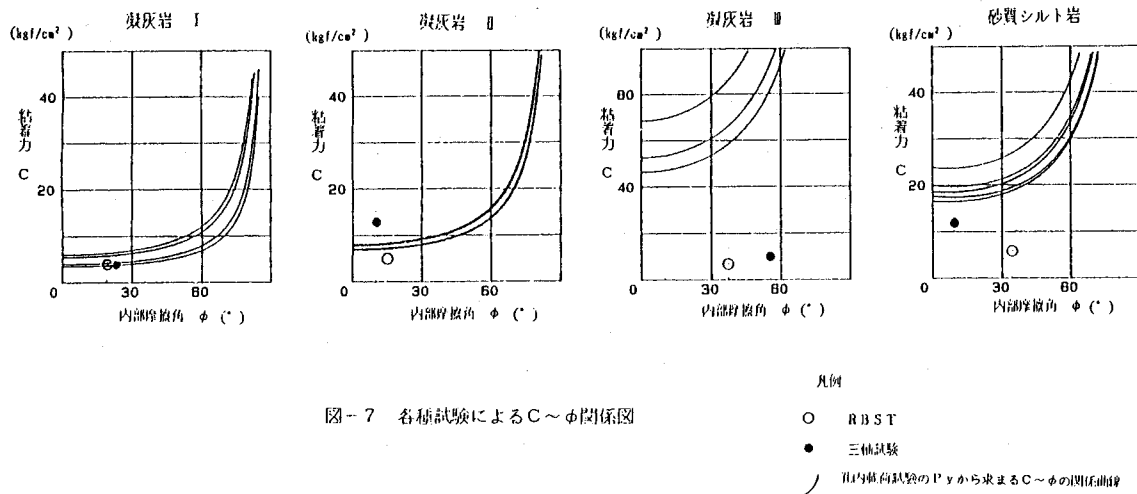


図-6 孔内载荷試験による応力~変位曲線

R B S T 試験と孔内载荷試験の他に、参考として岩石サンプルによる三軸試験を実施しており、これらの結果も $C \sim \phi$ 関係図に示す (図-7)。凝灰岩 I については、R B S T、三軸試験の結果とも C 、 ϕ はほとんど同じであり、孔内载荷試験の P_y から求めた C 、 ϕ 関係を示す曲線の上に乗るものが多い。凝灰岩 II では C の値が各試験で若干異ってくるが、おおむね一致しているといえよう。凝灰岩 III 及び砂質シルト岩については、 C 、 ϕ の値がそれぞれの試験により差があり、孔内载荷試験の結果は他の試験より C の値が大きくなっている。



上記の試験結果から、均質な岩盤を対象とした場合は、それぞれの試験で同様な強度定数が得られると考えられるが、部分的に不均質性の強い岩盤では、R B S T 試験が非常に小さい範囲の岩盤を試験面としているのに対し、孔内载荷試験はそれに比べると広い範囲を対象としていることから、これらの範囲の違いが試験結果に影響しているものと思われる。また、孔内载荷試験の場合は、試験によって岩盤に形成されるせん断面の形状が現実には不明瞭であるのに対し、R B S T 試験では原位置岩盤せん断試験とよく似たせん断破壊を起こしているものと考えられ、このような破壊機構の違いが試験結果に何らかの形で影響を及ぼしているものと思われるが、これらについては今後の検討に待つところである。

5. まとめ

原位置岩盤の強度をボーリング孔を利用して求める2つの手法について、それを同じ岩盤で測定した結果について検討した。その結果、これらの試験により求まる強度定数は必ずしも一致するものではなく、適用岩盤の均質性の違いや、試験面の大きさによる違いが結果の差として現れるものとする。今回は少ない測定結果による概略の検討であるが、今後はこれらの試験について測定実績を増やしていくことにより、それらの対比を通して試験法の特徴と適用性を明らかにし、孔内試験による原位置岩盤の強度推定法を確立することが望まれる。

参考文献

- 1) 武内俊昭他 孔内载荷試験による岩盤の強度測定について 第14回岩盤力学に関するシンポジウム 1982.2
- 2) 武内俊昭他 孔内载荷試験による原位置岩盤のせん断強度測定 第15回岩盤力学に関するシンポジウム 1983.2
- 3) 田中達吉他 ボーリング孔を用いる原位置岩盤のせん断強度測定 第38回土木学会年次学術講演会 1983.9

(36) EVALUATION OF SHEAR STRENGTH OF ROCK BY BOREHOLE TEST

OYO CORPORATION Tatsukichi TANAKA
Takeichiro OHHASHI
Toshiaki TAKEUCHI

We have been considered methods for estimating shear strength of rocks by borehole tests and proposed two methods as follows:

- 1) A method for estimating shear strength, i.e. cohesion C , and angle of friction, ϕ , by the borehole load test under an assumption that the rock mass behaves on the Mohr-Coulomb criterion.

This method is suitable for uniform rocks which have no cracks or joints.

- 2) A method that the shear strength is determined directly by Rock Borehole Shear Tester (RBST). A schematic diagram of RBST is shown in Fig. 1.

As shown in Fig. 1, the loading equipment which has two shear plates located in the opposite side each other is inserted into a borehole, a shear plates are contacted closely to the borehole wall and a normal stress is applied, then, a shear stress is applied by pulling up the loading equipment using the center hole jack set up at the borehole mouth.

This paper describes some examples in which both methods, mentioned above, were applied to the same rock masses. In the case of uniform rock mass, the shear strengths obtained from two methods showed similar values.

When the rock mass was not homogeneous, however, shear strengths were different, due to various factors such as size of loading area, mechanism of failure.