

1. はじめに 亀裂の著しい岩盤、風化岩あるいは顕著な弱面を有する岩盤などは工事を行うさいにさまざまな問題をひきおこす。岩盤工事の設計に必要な定数は、変形係数と強度定数であると考えられているが、特に残留強度は寸法効果の影響を受け難い定数として(Bernaix, 1974)として、Barton (1977) などはトンネルの設計などの基準的な値の一つとして大いに利用している。そこで、本報告では室内実験で残留強度を求めみときの注意と残留強度の利用法について検討を行う。

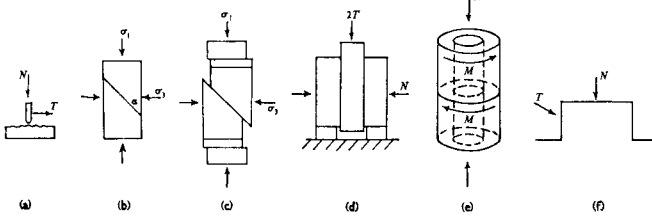


図-1. 岩石の強度試験の種類

## 2. 試験方法

岩石あるいは岩盤の強度を求める実験として利用されるものの例は図1のようである。それ以外の手法についてはJaeger (1971) が説明しているので省略するが、ここでは主として不連続面を含む試料の三軸圧縮せん断

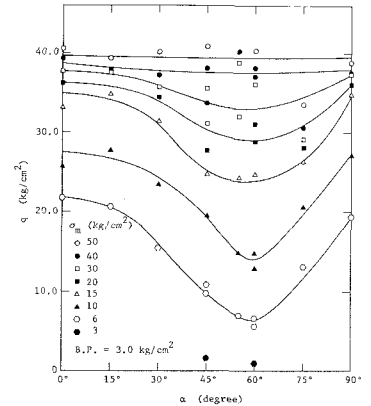
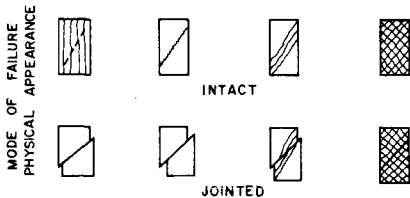
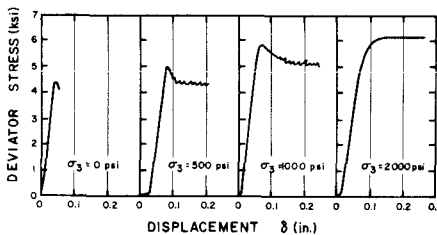
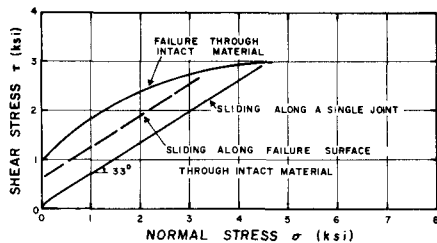


図-2. 不連続面を有する岩石の強度



NOTE 1ksi = 6.89 MN/m², 1psi = 6890 N/m², 1in. = 2.54 cm

図-3. 不連続面のある岩とない岩の挙動

について述べる。三軸試験によるせん断強度の測定は最もよく行われている試験方法の一つであるが、通常の装置では岩石のせん断破壊後の挙動を正確にとらえることが困難である。その主な理由は、破壊後の試料の形状変化に装置が十分対応できない、すなわち端面摩擦、回転などの影響で破断面に沿って正しくずべりが起こらないためといわれているが、Resengren が提案した図1(c)による方法で、この問題に対処できるようになったとされている。しかし、三軸試験では実験装置上の制約から、試料の変形をあまり大きくすることはできず、またせん断面上のせん断にともなうダイレイタンスを正確に測定することがおつけないという欠点があり、これらの点では直接せん断試験にあることに注意すべきであろう。

## 3. 残留強度

図-2は赤井ら(1979)が行った人工の不連続面を含む砂質シルト岩の残留強度を示すものである。不連続面の角度による残留強度の値が変化し、不連続面のない試料(0°あるいは90°の角度の試料に相当する)の強度が極大で、60°近くの値で残留強度が極小値を示すことがわかる。また、拘束圧が大きくなると不連続面の影響が小さくなり、ついに無くなりうることも判断できる。同様の実験結果を別な形で表現したのが、Einsteinら(1973)による図-3である。この図から不連続面を含む岩石の挙動がよくわかる。

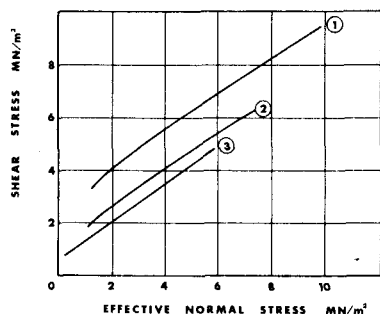


図-4. 石英閃輝綠岩のジョイントの原位置せん断試験結果

- ① 平均せん断面積 200 cm<sup>2</sup>  
 ② 1500 cm<sup>2</sup>, ③ 5000 cm<sup>2</sup>.

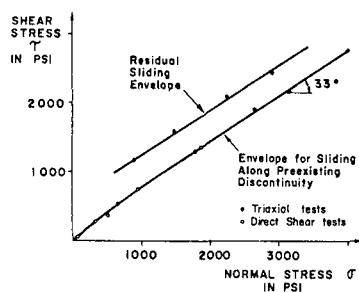


図-5. 直接せん断と三軸試験の結果

たとえば10段階に分けることができると仮定すれば、図-6に示すとおり、岩盤の破壊度(不連続性)は割れ目の程度)に応じて一本ずつ包絡線を引くことができ、これらが全体としての包絡線群を構成する。岩盤本体から採取したすべてのコアについて調査を行ったのち、この岩盤の破壊度はこの目盛の1と2の間で表すことができると判断できれば、図-6の斜線部で岩盤強度を表現することが可能なのである。

図-6の図表は三軸試験から上限、下限値が求められ、中間の値は2つ以上の弱面(不連続面)を含む岩石の試験結果を引用して推定できるので、実験室内で作成されることもさほど困難ではないと考えられる。したがって、こうした図表を他の関係(たとえば拘束圧と強度など)の図表と組み合わせればさらに岩盤工事の設計の精度を向上させることができるものと思われる。

謝辞: 本報告はN.G.I.のNick Barton博士、及びUniv. of Calif. BerkeleyのGoodman教授の討論と助言のもとでできあがったので、ここに二人に対して感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 永井・大西・李(1979): 第14回土質工学研究発表会講演集; Barton (1977): Proc. Symp. on Exploration for Rock Eng., Johannesburg; Bernaix (1974): Proc. 3rd. Congress, ISRM, Denver; Einstein & Hirschfeld (1973): Journal of SMFE Div., ASCE, March; Jaeger (1971): Geotechnique, 21, Vol.No.2; Patton (1968): Proc. 1st. Congress, ISRM, Lisbon; ; Pratt, et.al.(1974): Proc. 3rd Congress, ISRM; Raphael & Goodman (1979): 岩盤工学, 1.

図-2と図-3から残留強度の極小値を求めるには約60°の角度で人工の不連続面に沿って試料を滑動さ せばよいことが確信できる。ただし残留強度に極大値から極小値まであるとすることが残留強度の定義に反するかどうか議論する必要があり。

通常の試料の残留強度の方が大きいのは、ジョイントの強度が岩の構成材料の真の摩擦角と平均的後表面粗さ(surface roughness)に強く影響されるという Patton の実験結果(1966)においても明らかである。Barton (1979)は直接せん断試験によりジョイントの残留強度(極小値)を求めるには、ピーク強度時の変位の約100倍程度の変位までせん断をしなければならぬと述べていること、図-4に示すような、せん断面積が大きくなると強度が低下し、残留強度の極小値に近くなること(Pratt, et.al., 1974), 残留強度の極小値は三軸試験の結果と直接せん断試験の結果がよく一致すること(図-5の実験結果など)を考慮すると、三軸試験を行う場合には人工不連続面を含む試料から残留強度の極小値を求めておくのが実用的には最良であると考えられる。

このような考えを実際の岩盤に適用しようとすると Raphael & Goodman (1979)の示した図-6のような図表が役に立つ。一般の岩盤の挙動は図-6のように上限強度包絡線と下限強度包絡線の間に位置する別のモーメント包絡線として表す必要があることは明らかである。上限強度包絡線は不連続面の全くない岩石の強度から求められ、下限値は上記のジョイントせん断強度から決定される。この上限値と下限値の間をた

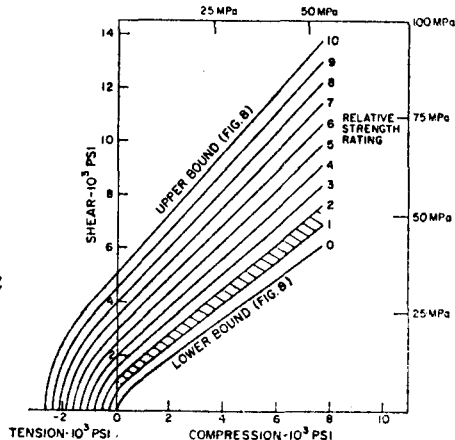


図-6. 岩盤強度包絡線