

室内試験による岩盤不連続面の力学的特性の評価法

九州大学工学部 学生員○伊藤 努 正会員 江崎哲郎
正会員 蔣宇静 学生員 T.N.Bhattarai

1. はじめに

岩盤構造物の安定性評価のために数値解析手法がよく用いられているが、岩盤の挙動を大きく支配する不連続面の力学的特性値の決定に際して、経験または分類によるものが多い。解析結果の実用性を考えて、実際の現場状況を反映した上で、不連続面の特性を求めるべきである。本研究は、岩盤挙動での解析に必要とする不連続面の特性値を室内せん断試験に基づいて正確に求める方法を提案する。

2. 室内せん断試験方法

不連続面のサンプルをボーリングで採取し、含水状態やかみ合い状態を変化させないように粘着テープで固定し、せん断用型枠に入るよう岩石カッターで切断し不連続面がせん断箱中央に、水平になるよう埋め込む。その時生じた埋め込みによる不連続面の水平に対する傾きをレーザー変位計で計測する。試験は本研究室が開発した直接せん断装置を用いて実施する。

せん断試験は、残留強度も求められるように最大せん断変位を決定する。垂直応力は実際の現場でその不連続面に作用する垂直応力を考慮して決定する。

3. 力学的特性の評価方法

不連続体の安定解析には、不連続面の力学的特性値として内部摩擦角(ϕ)、粘着力(c)、せん断剛性(K_s)、垂直剛性(K_n)、ダイレーション角(i)がある。以下にそれらの決定方法を示す。

垂直剛性(K_n)は、垂直方向変位の増分に対する垂直応力の増分の比で定義され、垂直応力-垂直変位曲線の直線部分の傾きから求める。しかし、垂直剛性試験によって得られる垂直変位量には、joint部分だけでなく、Intact部分も含まれるので、Fig.1に示すモデルを考えて補正する。実際の計測による垂直剛性を K_n' 、

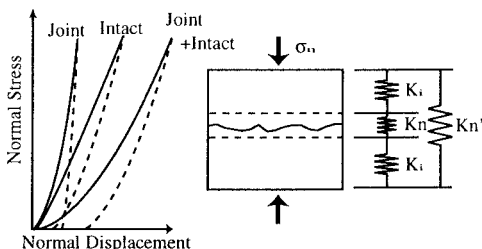


Fig.1 Illustration of normal stress-deformation behavior of a joint.

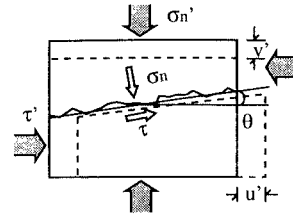


Fig.2 Normal & shear stresses acting on an inclined shear plane.

インタクト部分の垂直剛性を K_i とすると、不連続面そのものの垂直剛性 K_n は次のように求められる。

$$K_n = \frac{K_i \times K_n'}{K_i - K_n'} \quad (1)$$

せん断剛性(K_s)は、せん断変位の増分に対するせん断応力の増分の比で定義される。 K_s は垂直応力により異なるので、実際にその不連続面に作用する垂直応力でのせん断応力-せん断変位曲線のピークまでの曲線の接線の傾きより求める。不連続面試験体が水平面に対して θ と傾いてセットされてしまう場合、Fig.2に示したように、試験から得られた垂直応力(σ_n')、せん断応力(τ')、垂直変位(v')、せん断変位(u')から、不連続面に働く応力とその変位を次の変換式を用いて求める必要がある。

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \sigma_n' \cos \theta - \tau' \sin \theta & \tau &= \sigma_n' \sin \theta + \tau' \cos \theta \\ u &= u' / \cos \theta & v &= v' (1 - \tan \theta) / \cos \theta \end{aligned} \quad (2)$$

ダイレーション角(i)は、ピークせん断変位の増分に対する垂直変位の増分の比と定義され、向かい合った凹凸が互いに乗り越えてスライドするために生じ、傾きを補正した垂直変位-せん断変位曲線から、ピークせん断応力の位置に対応する曲線の接線の傾き、もしくは、残留応力の位置に至る位置のせん断変位に対する垂直変位の変化量で算出する。ダイレーション角はピークせん断応力に達したとき最大となる。

ピーク時の摩擦角(Φ_p)と粘着力(c_p)は、ピークせん断応力と垂直応力の間の関係を直線回帰し、この直線のピークせん断応力軸における切片を粘着力、傾きを摩擦角とする。不連続面が過去に履歴等をうけ比較的滑らかな場合やピークせん断応力が現れなかった場合には、粘着力をゼロとして直線回帰分析により摩擦角(Φ_p)を求める。

4. 応用例と考察

以上に提案した方法がある岩盤斜面に適用した。現場は溶結凝灰岩の柱状節理が卓越する急斜面であり、最近崩落を生じた。斜面の安定性を解析的に評価するために不連続面の特性値を決定する必要がある。不連続面はその崩落により発生した2次的と以前から潜在する初生の2種類に分けられる。現場では不連続面に約0.5MPa程度の垂直応力が働いていると予測されたため、採取した不連続面試験体を用いて垂直応力0.5、1.0と2.0MPaでのせん断試験を実施した。

レーザー変位計で計測した試験前後の不連続面の表面形状の変化の一例をFig.3に示す。この試験体の作成時にせん断面が2.26°の傾きを生じた。そこで、式(2)を用いて補正し、試験結果の一部をFig.4に例示する。求められた不連続面の特性値はTable.1に示す。せん断応力-せん断変位の関係 (Fig.4(a)) からど

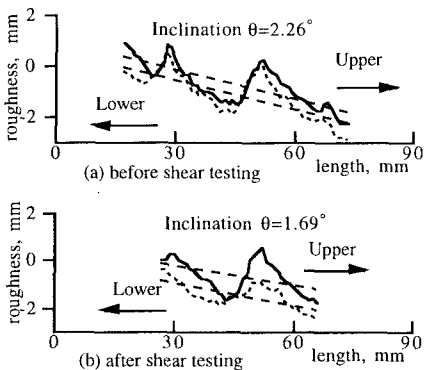


Fig.3 Roughness profile measured on a joint surface.

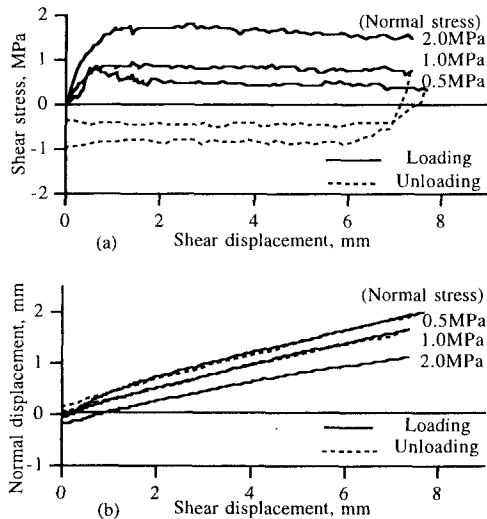


Fig.4 Shear strength and dilation of a natural rock joint.

Table.1 Joint material properties established by direct shear test.

Joint Types	Kn GPa/m	Ks GPa/m	Cohesion	Friction	Dilation
			Cr MPa	ϕ r (°)	i (°)
初生	22.9	1.62	0	36	1.42
2次	25.6	1.72	0	39	9.05

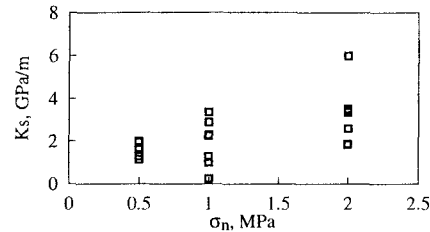


Fig.5 Relationship between shear stiffness and normal stress.

の垂直応力レベルでも、ピークせん断応力が現れなかった。初生と2次的亀裂間では、後者のほうが大きなKs, ϕ を示した。また、垂直応力とKsの関係をFig.5に示す。垂直応力が大きくなればKsも大きくなる。

垂直変位-不連続面せん断変位の関係 (Fig.4(b)) に関しては、2次的亀裂はダイレーションの傾向を示すが、初生の亀裂には、ダイレーションの傾向をあまり示さなかった (Table.1)。このダイレーションの違いは、不連続面の凹凸によるものと考えられる。すなわち、初性の不連続面には、凹凸がほとんどなく滑らかで、2次的な不連続面では、凹凸の変化が大であることが、表面形状の計測により分かった。また、せん断をうけて凹凸が削られるため、ダイレーションが徐々に生じにくくなる。このことが、試験後の表面凹凸の計測によって明らかになった(Fig.3)。

5. おわりに

本研究では、岩盤挙動の解析に必要な不連続面の力学的特性を求めるための、室内せん断試験の方法と、特性値の評価の方法を示した。特に垂直剛性とせん断剛性について、埋め込みによる不連続面の水平に対する傾きによる影響の補正方法も示した。今後は、試験体の寸法効果や、不連続面の表面凹凸と特性値の関係などを明らかにする必要がある。

参考文献

1. Barton,N.,S.Bandis & K.Baktar : Testing and modelling of rock joints,Mechanics of Jointed and Faulted Rock, Balkema, 37-47, 1995.
2. 蔣宇静, 江崎哲郎ほか: 自然の岩盤不連続面のせん断特性の実験的評価, 第10回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 73-78, 1998.