

岩盤の安定解析における不連続面の力学的特性の評価法

九州大学工学部 学生員○前田俊郎 正会員 江崎哲郎
正会員 蔣 宇静 学生員 T.N.Bhattarai

1. はじめに

斜面や地下空間などの岩盤構造物の安定性は、岩盤基質部よりも不連続面の幾何学的分布特性と単一不連続面の力学的特性に大きく依存する場合が多い。そこで、不連続面を境界要素で表し、大変形挙動も表現できる個別要素法による不連続性岩盤の安定解析が試行的に用いられている。しかし、不連続面の挙動モデルの選定や力学的特性などについて、まだ明確な決定方法が確立されているとは言えない。

本研究は、岩盤不連続面の室内せん断試験法と岩盤構造物の安定解析を行うのに必要な不連続面の変形剛性・強度特性値を室内試験に基づいて求める方法を示す。また、この方法の実際の現場への適用を試みる。

2. 自然の岩盤不連続面の試験方法

2. 1 試験方法

岩石の含水状態や不連続面のかみ合い状態を変化させないように、現場から採取してきた不連続面のサンプルはFig.1に示すようにせん断用型枠内にエポキシ樹脂と珪砂で混合したSBモルタルを用いて固定し、供試体を作成する。試験は江崎らが開発した直接せん断装置を用いて実施する。

まず、垂直剛性(K_n)を求めるために、せん断変位を与えない初期状態で、不連続面供試体とインタクト部分の垂直剛性試験を行う。最大垂直荷重は掘削や施工などによる地山応力の再配分を考慮して、サンプルを採取した深度から計算した垂直応力の2倍以上と設定すべきと考える。試験結果より、試験体の垂直変位からインタクトな部分の変位を除いた不連続面そのものの垂直荷重-垂直変形曲線を回帰分析し、その直線部の傾きを K_n とする。

次に、不連続面の力学的特性とせん断剛性(K_s)を求めるために、せん断試験を行う。不連続面の賦存状況に基づき不連続面にかかる垂直荷重を設定し、それを一定に保ちながら、残留強度も求められるように、最大20mmまでせん断変位を与える。垂直応力やせん断履歴などによる影響を調べるために、同じ試験体を用いて、垂直荷重を変化させて同様のせん断試験を行う。

K_s の算出に関しては、せん断変位に伴いせん断応力がピークを示したものはその値を用い、ピークを示さなかったものはSecant法を用い、せん断応力-せん断

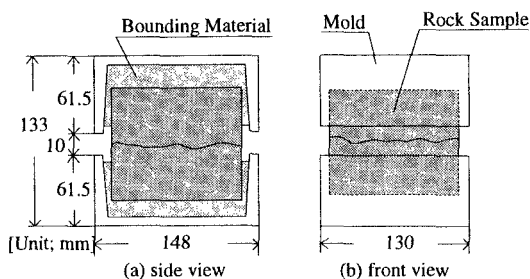


Fig.1 Sample set up for the shear test.

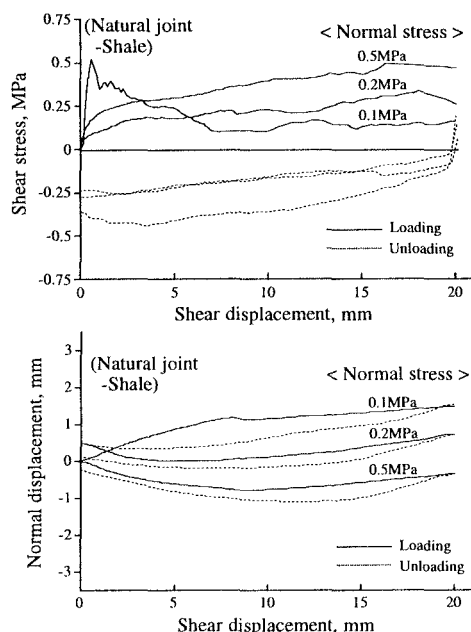


Fig.2 Shear strength and dilation of a natural rock joint (shale).

変位曲線上の残留せん断応力の半分の点と原点を結んだ直線の傾きにより算出する。

ダイレクシー角(i)は、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。

ピーク時の摩擦角(ϕ_p)と粘着力(c_p)及び、残留時の摩擦角(ϕ_r)と粘着力(c_r)は、せん断応力と垂直応力との関係から求められる。

2. 2 応用例と考察

不連続面の基質部が砂岩と頁岩の2種類の岩種からなる斜面から、不連続面を採取し、上に示した方法を

Table1 Joint material properties obtained from direct shear test.

Rock Types	Kn MPa/m	Ks MPa/m	Cohesion		Friction(°)		Dilation i(°)
			Cp MPa	Cr MPa	ϕ_p	ϕ_r	
Shale	1869.0	647.0	0.489	0.119	24	24	9.6
Sandstone	1137.0	675.0	0.097	0.097	26	26	8.3

p: peak r: residual

用いて得られた試験結果の一部を Fig.2 に示す。

試験体を埋め込んだときに、せん断方向の平面から傾き (δ) を生じた。ダイレタンシー角などを求めるためにその傾きの補正を行う必要がある。せん断試験終了後表面形状の計測により δ を求めて垂直変位—せん断変位曲線の接線の傾きから求めた角度に δ を加えてダイレクション角とした。

頁岩の場合、せん断応力がピークを示すのは初期の垂直応力 0.1MPa のみであり、その後垂直応力を 0.2, 0.5MPa と変化させたせん断ではピークを示さなくなる。これは、一回目のせん断で不連続面の凹凸が破壊されたためと考えられる。砂岩の場合、いずれの垂直応力でもピークがなかったため、 ϕ_p と ϕ_r 、 c_p と c_r は同じとみなした。以上より得られた物性値は Table1 に示す。

Fig.3 は、いくつかの種類の不連続面サンプルを用いたせん断試験の結果をまとめてプロットしたせん断剛性と垂直応力との関係を表す。同じ垂直応力下であっても岩のタイプによって、また、同じタイプの岩の不連続面であってもせん断剛性が垂直応力に応じてばらつきが大きいため、全体には明瞭な相関関係を見出すことは困難であり、他の物性値についても同様の傾向が示された。したがって、安定解析に用いる不連続面の物性値は、岩のタイプなどを参考にして決定するのではなく、実際のサンプルを用いた試験によって求める必要があると考えられる。

3. 不連続性岩盤斜面の安定性評価

Table1 に示した不連続面の物性値を用いて、実際の岩盤斜面の安定解析を行う。不連続面の現場調査に基づいた解析モデルを Fig.4 に示す。斜面に沿った不連続面は頁岩の層理面で、それとはほぼ平行に散在するのが砂岩の不連続面である。仮にダムが建設されると、湛水（最大水深 47m）による斜面の不安定化が問題になる。そこで、個別要素法(UDEC)を用いた安定解析と評価を行った。

解析結果を Fig.5 に示す。図中の解析点 hist10 から hist20 は斜面の表面の水平変位を時間ステップごとの増分形式で計算しており、計算ステップを増やせば水平

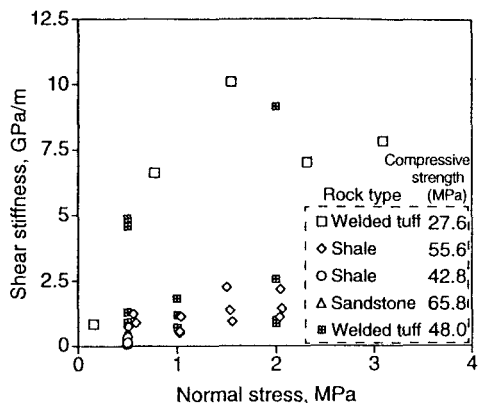


Fig.3 Relationship between normal stress and shear stiffness.

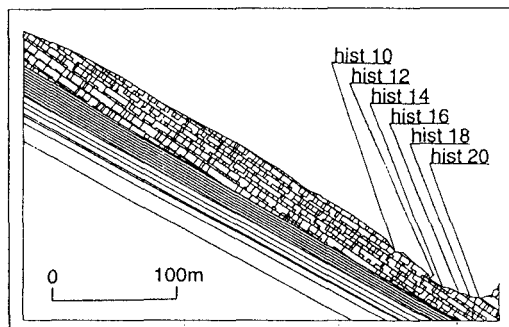


Fig.4 DEM model of a discontinuous rock slope.

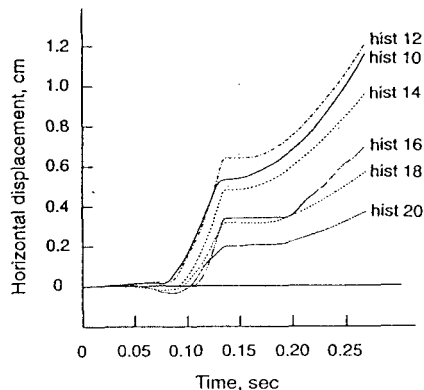


Fig.5 Deformation of the slope face.

変位は増加し、破壊に至ると考えられる。つまり、現在安定しているが、ダム湛水により頁岩層理面に沿ってせん断破壊の発生が予測される。

4. まとめ

本研究では、岩盤の安定解析に必要な岩盤不連続面のせん断強度特性及び変形特性を決定する方法を示した。また、実際の現場から採取した不連続面を実際の試験結果に基づいて個別要素法を用いた解析に適用することにより、その有用性を確かめた。