

Ⅲ-336

JRC指標による岩盤不連続面のせん断強度特性に関する一検討

大成建設 正○大里 祥生 正 岩野 政浩 正 飯星 茂

1.はじめに

岩盤の力学的挙動は、岩盤内に含まれる不連続面の挙動を把握することが重要であり、不連続面の挙動はその表面特性と深い関係がある。本研究ではノルウェー地盤工学研究所(NGI)のN.Bartonらが提案している岩盤不連続面の強度、変形特性についての評価手法に着目し、この評価手法が我が国の岩盤不連続面にどの程度の適用性を有するのか検討した。

N.Bartonらは表面形状の粗さを考慮して次式のせん断強度式を提案している。

$$\tau = \sigma_n \tan(JRC \log(JCS/\sigma_n) + \phi_r) \quad (1)$$

ここで、 τ はせん断応力(MPa)、 σ_n は垂直応力(MPa)、JRCは不連続面表面の粗さを表す指標、JCSは不連続面表面の圧縮強度(MPa)、 ϕ_r は残留摩擦角(°)を示す。せん断強度式の適用性の検討は、実際のせん断試験結果と比較することによって実施した。せん断強度式の各種不連続面パラメーターは、圧裂試験によって作製した白河凝灰岩の人工的な不連続面に対し、室内試験によって求めた。

2.供試体および実験方法

本研究で実施した試験項目と、供試体の基本的な物理的性質を表-1,2に示す。

(1)式より、実験によって求めるNGI方式の不連続面パラメーターはJRCとJCS、 ϕ_r である。それぞれのパラメーターは以下の経験式で表わされる。

$$JRC = (\alpha - \phi_r) / \log(JCS/\sigma_n) \quad (2)$$

$$\phi_r = (\phi_n - 20) + 20(r/R) \quad (4)$$

表-1 供試体と試験項目の一覧

岩石名	No.	目の方向	試験項目
白河凝灰岩	AL1	軸に垂直	圧裂引張試験, フネス計測, 傾斜試験, せん断試験, シュミットハンマー試験
	AL2		圧裂引張試験, フネス計測, 傾斜試験, せん断試験, シュミットハンマー試験
	AL3		圧裂引張試験, フネス計測, 傾斜試験, せん断試験, シュミットハンマー試験
	SA3P		繰り返し載荷試験, 圧縮強度試験
灰岩	SA4L	軸に平行	カッターにて半割り, 傾斜試験, シュミットハンマー試験
	BL1		圧裂引張試験, フネス計測, 傾斜試験, せん断試験, シュミットハンマー試験
	BL2		圧裂引張試験, フネス計測, 傾斜試験, せん断試験, シュミットハンマー試験
	BL3		圧裂引張試験, フネス計測, 傾斜試験, せん断試験, シュミットハンマー試験
岩	SA2P		繰り返し載荷試験, 圧縮強度試験

$$JCS = 10^{0.0008 \rho r + 1.01} \text{ (MPa)} \quad (3)$$

表-2 白河凝灰岩の物理的性質

岩石名	試料No.	直径 (mm)	高さ (mm)	重量 (g)	単位体積重量 (g/cm ³)	静弾性係数 Es(GPa)	ポアソン比 ν	圧縮強度 (MPa)	破壊時ひずみ (%)
白河凝灰岩	SA3P	48.81	100.02	411.17	2.20	10.98	0.201	64.17	0.64
	SA2P	48.85	99.99	411.75	2.20	9.93	0.193	61.55	0.54

ここで α は傾斜角(°)、 ϕ_n は基礎摩擦角(滑らかな表面の岩石の傾斜角)、 σ_n は不連続面に作用して

いる垂直応力(MPa)、 r は不連続面のシュミットハンマー反発値、 R は滑らかな表面のシュミットハンマー反発値、 ρ は密度(KN/m³)を示す。 α と ϕ_n は供試体を水平状態から傾け、滑り出したときの角度である。また、 r と R はL型シュミットハンマー(衝撃エネルギー0.085mkg)によって不連続面を打撃した反発値である。JRCの算定には式-2の他に、ISRM指針²⁾に採用されている10種類のプロファイルと岩石不連続面の視覚的な比較によりJRCを推定する方法と、岩石不連続面の凸凹(アスペリティ)を計測し、表面形状の定量化によって推定する方法とがある。ここではR.TseとD.M.Crudan³⁾が提案した不連続面の定量化指標 Z_2 (勾配の自乗平均の平方根)による近似式からJRCを算定した。このJRCは、レーザー変位計によって各供試体の上下面各々5本づつ0.5mmピッチで計測した結果から算定する。

$$Z_2 = \sqrt{(1/L) \int_0^L (dy/dx)^2 dx} \quad (5)$$

$$JRC = -4.41 + 64.46(Z_2) \quad (6)$$

ここで、 L は亀裂の長さ(mm)、 (dy/dx) は不連続面の凹凸の傾きを表す。

せん断試験は3つの異なる拘束圧下で実施し、ROCKTEST社のポータブルせん断機(PHI-10)を用いた。

3.実験結果

供試体の不連続面作製時の圧裂試験による引張強度、傾斜試験結果、シュミットハンマー試験結果、また、それらのNGI方式の不連続面パラメーターから算定される ϕ_r 、JCS、JRC(NGI)、さらに不連続面

の定量化指標値 Z_2 から推定されたJRC(計測)を表-3にまとめて示す。図-1にはレーザー変位計によって計測された不連続面の例を示す。図-2には縦軸にNGI方式によって算定されたJRCをとり、横軸にレーザー変位計によって計測した定量化指数 Z_2 から推定されたJRCをとって比較を行った。その結果、両者の相関性は良く、ISRM指針の10種類のプロファイルと視覚的に比較しても適切なJRCであると判断される。

せん断試験より図-3のせん断応力と水平変位の関係が得られた。また、せん断試験とせん断強度評価式によって、それぞれ算定された垂直応力とピークせん断強度の関係を図-4と表-4に示す。これより、NGIのせん断強度式の値は実際のせん断試験結果の50%程度とかなり小さな値を示すことが判った。これに関しては深く考察を行いたい。

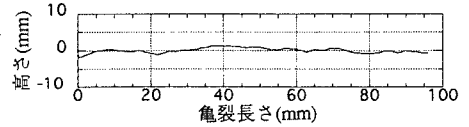


図-1 不連続面の計測結果例

表-3 各種試験結果

岩石名	試料No.	直径 (mm)	高さ (mm)	接触面積 (mm ²)	重さ (g)	垂直応力 (MPa)	単位体積重量 (g/cm ³)	引張強度 (MPa)	平均傾斜角 α (°)	シャフトハマー 平均反発値 r	残留摩擦角 ϕ_r (°)	表面強度 JCS(MPa)	JRC(NGI)	JRC(計測)
白河凝灰岩	AL1	49.97	99.94	4994.0	431.43	0.000043	2.20	4.93	78.4	24	22.7	29.8	9.5	10.1
	AL2	48.89	99.98	4888.0	411.59	0.000042	2.19	5.02	78.0	25	23.1	31.1	9.4	9.6
	AL3	48.82	100.00	4882.0	408.39	0.000042	2.18	4.88	82.2	24	22.7	29.6	10.2	10.9
	BL1	48.94	99.96	4892.0	412.60	0.000042	2.19	4.21	78.2	20	20.9	24.9	9.9	9.4
	BL2	49.20	99.98	4919.0	409.96	0.000042	2.16	3.94	83.4	24	22.7	29.2	10.4	9.4
	BL3	49.00	99.94	4897.1	413.64	0.000042	2.19	4.08	76.5	23	22.2	28.5	9.3	8.7
	SAL4	50.00	99.95	4997.5	433.50	0.000043	2.21	-	$\phi = 32$	45	32.0	$\sigma_c = 76.8$	0.0	0.0

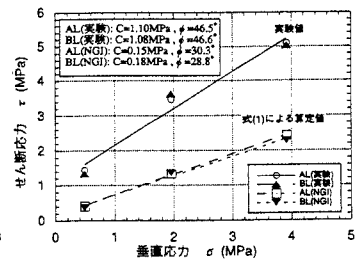
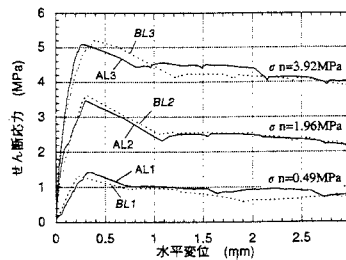
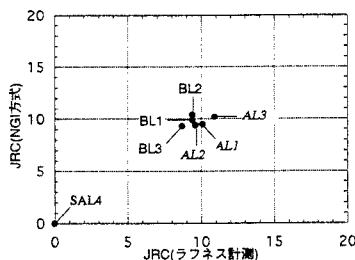


図-2 NGI方式と計測によるJRCの比較 図-3 せん断応力と水平変位の関係 図-4 垂直応力とせん断応力との関係

表-4 せん断試験結果と推定せん断強度の結果

岩石名	試料No.	垂直 応力 (MPa)	実験結果					せん断強度推定式	
			せん断強度 (MPa)	ピーク時 変位(mm)	残留強度 (MPa)	ピーク時変位までの 割線剛性(MPa/mm)	粘着力 (MPa)	せん断強度 (MPa)	粘着力 (MPa)
白河凝灰岩	AL1	0.49	1.44	0.352	0.79	4.1		0.41	
	AL2	1.96	3.47	0.300	2.19	11.6	1.10	1.34	0.15
	AL3	3.92	5.10	0.266	4.02	19.2		2.43	
	BL1	0.49	1.33	0.219	0.75	6.1		0.38	
	BL2	1.96	3.63	0.307	2.20	11.8	1.08	1.37	0.18
	BL3	3.92	5.03	0.340	3.90	14.8		2.28	

4. おわりに

本研究では白河凝灰岩を用いてJRCをNGI方式（傾斜試験）とレーザー変位計でのラフネス計測値から推定した。また、NGI方式によるせん断強度評価式から求められたせん断強度を実際の一面せん断試験結果と比較することにより、その妥当性を検討した。それにより、1. レーザー変位計による計測から算定されるJRCとNGI方式により算定されるJRCは、ほぼ一致した値を得る、2. NGI方式のせん断強度式の値は実際のせん断試験結果の50%程度とかなり小さな値を示す、ことが判った。

今後は自然不連続面を用いた多くの実験を実施し、新しい試験方法、評価手法の提案を目標に鋭意努力を続ける所存である。

参考文献

- 1) N. Barton (1973), Review of a new shear-strength criterion for rock joints, Eng. Geology, Vol. 7, pp. 287-332.
- 2) ISRM (1978), Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses, Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech. Anstr., Vol. 15, pp. 319-368.
- 3) R. Tse and D. M. Cruden (1979), Estimating joint roughness coefficients, Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech. Anstr., Vol. 16, pp. 303-307.