## 岩盤の強度

堆積岩の堆積過程での軟岩,硬岩の物性変化を図 1 に示す.横軸は圧密過程における間隙比eで,縦軸は固結の程度として一軸圧縮強度 $q_u$ を生成年代別に表している.本図によると,両者の変化は連続的である.なお,一般に軟岩と呼ばれている範囲は $1MN/m^2(10kgf/cm^2) \sim 10$ あるいは $20 \ MN/m^2(100$ あるいは $200kgf/cm^2)$ 程度の範囲である.

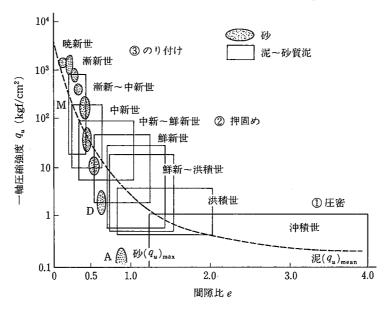


図 1 岩化に伴なう日本の新生代堆積物の物理的性質の変化1)

図2は,花崗岩における岩盤分類を示す.一般に風化軟岩と呼んでいるのは,土砂化の著しく進んだD級の一部「風化土」を除いた,D~CL級に対応する.また,物性値として強度,透水性および風化の指標としての弾性波(P波)速度の概略を図の右端に示す.

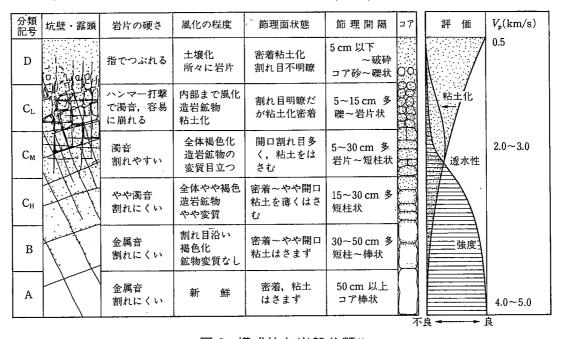


図 2 模式的な岩盤分類1)

図3は,高速道路において崩壊したのり面についての地質構成の分類を示している.これによると,道路等の切土のり面は,67%が風化部,破砕帯,変質部で,19%が切土により生じた急激な風化部,残り14%が未固結層または崖錐等の崩積土層で発生しており,何らかの地質劣化部で発生することが圧倒的に多いと言える.

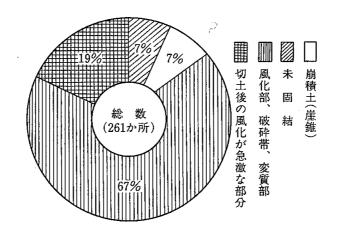


図3 崩壊のり面の地質構成の分類1)

このような崩壊を引き起こす要因となる地質劣化部は、必ずしものり面全体に分布するわけではなく、一般にある一定の地質構造に基づいている。図4は、この崩壊を引き起こす地質構造を示すものであり、のり面表層の風化が進行する場合、岩盤の割れ目が多い場合、層理面・破砕帯などの地質的弱面(弱層)が一定方向に卓越分布する場合に起きやすいことを示している。

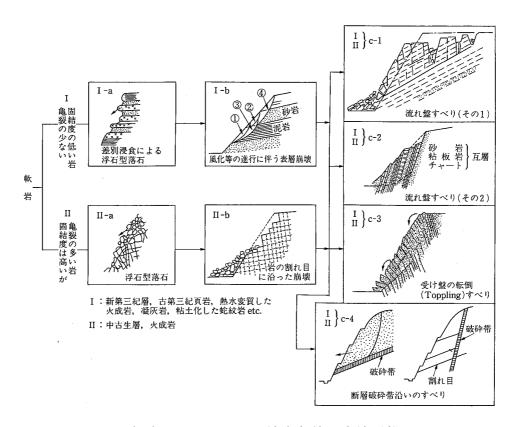


図4 切土のり面における地山条件と崩壊形態1)

## 岩盤の工学的分類

岩盤の強度評価の目安を与えるものとして岩盤分類による方法がある.従来よりわが国の各機関でいくつかの岩盤分類が開発されてきたが,これらに加えて,最近ではRMR(Bieniawski)<sup>2)</sup>やQ値(Barton)<sup>3)</sup>による方法が実際の現場でもよく用いられるようになってきた.表1にRMR法,表2にQ値による岩盤分類を示す.RMR法は岩石の一軸圧縮強度,ボーリングコアのRQD,節理面の間隔・方向・状態,地下水の湧出量の合計評価点を5階級に分けて分類するもので,それぞれに対応するトンネル掘削時の切羽自立時間を想定している.Q値はRQD,Jn(節理数とその形態などから求める),Jr(節理の密着具合や伸長度,鏡肌の有無などから求める),Ja(節理面の変質状態や粘土鉱物の種類,その挟在の有無から求める),Jw(地下水の湧出量とその水圧から求める),SRF(トンネル掘削時の土被り,破砕帯,塑性流動などによる応力低下から求める)の6要素から算出する指標である.RMR法やQ値法は定量的な岩盤分類方法としてわが国では急速に用いられてきたものの,何れも硬岩ないし中硬岩といわれる亀裂性岩盤に適用されている.分類をHoek-Brownの破壊基準に適用することにより岩盤の変形・強度特性が推定されているが,この破壊基準は十分に不連続面が発達する岩盤にのみ適用されるべきである.

表 1 RMR法による岩盤の分類<sup>4)</sup>

#### (a) 分類要素と評点

1	インタクトな岩の 一軸圧縮強度	>200 MPa	100~200 MPa	50~100 MPa	25~50 MPa	<25 MPa
•	評 点	10	5	2	1	0
2	RQD(ボーリング・ コアの性質)	90~100 %	75 <b>~</b> 90 %	50~75 %	25~50 %	<25 % ないし 強風化
	評 点	20	17	14	8	3
3	節理間隔	>3 m	1~3 m	0.3~1 m	50~300 mm	<50 mm
J	評 点	30	25	20	10	5
4	節理の方向(走向・ 傾斜)	非常に有利	有 利	中 位	不 利	非常に不利
	評 点	15	13	10	6	3
5	節理の状態	密着:分離<0.1 mm,不連続		ほとんど密着:< 1 mm, 連続, ゲー ジなし	1	開口:>5 mm 連続, ゲージ>5 mm
	評 点	19	5	10	5	0
6	地下水(トンネル10 m 当たりの流量)	滴	水	<25 l/min	25~125 l/min	>125 l/min
	評 点	1	0	. 8	5	2

# (b) 岩級と評点

分	類	No.		I		II			I	II			IV	-	V
分 類	Ø	記	載	非常に良好な岩	良	好	岩	中	位	の	岩	不	良	岩	非常に不良な岩
評			点	100 ← 90		90 ← 70			70 ←	- 50			50 ← 2	5	< 25

### (c) トンネルでの岩級の掘削性

分 類 No.	I	П	Ш	IV	V
支 保 工 間 隔	5 m	4 m	3 m	1.5 m	0.5 m
平均自立時間	10年	6カ月	1 週間	5 時間	10 分

表 2 Q値による岩盤の分類5)

抽牛 無フルナーボルン かっか	Jn	-	節理面の変質度	Ja	1	こ力に関する要素	SR
塊状, 無又はわずかな節理 1 節理群	0.5-1.0	J 147	A. 十分な強度, 堅硬, 無軟化, 不透		(a)	A. 粘土含有又は化学分解された岩から成る弱	
"と不規則節理	2.0	岩盤	水性物質例えば石英又は緑簾石な	0.75	ト削ン部	いゾーンの多数の事象、周辺岩盤の極端な	10
2節理群	3.0	一面	どで充塡		ネを	ゆるみ (深度がどのような場合でも)	
"と不規則節理	6.0	が接	B. 表面汚染のみで性質不変の節理面	1.0	ル横 掘断	B. 単一の粘土含有弱帯または化学的に分解さ	5.
3 節理群	9.0	触	C. やや変質した節理面。軟質でない		削す	れた岩(掘削漆さ50m以浅)	
"と不規則節理	12	<u> </u>	鉱物の被覆、砂状物質、遊離した	2.0	時る	C . 単一の粘土含有弱帯または化学的に分解さ	2.
4 節理群以上,不規則,	14	てい	粘土に分解された岩など		によう	れた岩(掘削深さ50m以深)	
	15	る	D. シルト質又は砂質粘土の被覆, 粘	3.0	盤な	D. 十分な強度を有する岩盤 (粘土遊	
変位した節理、"角砂糖状"など	-	場	土の小破片(軟化していない)		の場	離)中に多くの破砕帯、周辺岩盤	7.
破砕岩、土砂状記>	20	台	E. 軟質又は低摩擦係数の粘土鉱物被		ゆ合る	のゆるみ (深度にかかわらず)	
			覆、例えばカオリン、雲母など。		4	E. 十分な強度を有する岩盤 (粘土遊離) で単	5.
i) 交差部の場合は (3.0×Jn)	4 4 4 TO 1	1	緑泥石、滑石、石膏や少量の膨張		を誘	一の破砕帯(掘削深さ50m以浅)	ο.
ii) 坑門部の場合は (2.0×Jn)	9.35		性粘土も同様。(被覆は連続せず厚		起	F. 十分な強度を有する岩盤(粘土遊離)で単	2.
節理面の粗さ	Jr	L	さ1~2 mm以下)		す	一の破砕帯(掘削深さ50m以深)	۷.
) A.連続していない節理	4.0	(b)	F. 砂状物質, 遊離粘土に分解した岩	4.0	るよう	G. ゆるんだ開口節型、極端な割れ目または	
0 B. 粗いか又は不規則、波打ち	3.0	10 cm	など	1.0	3	"角砂糖状"など(深度にかかわらず)	5.
と、平角、波引ら	2.0	-t-	G. 十分締固まった軟質でない粘土鉱		な弱帯	〈注記〉	
D. すべり面, 波打ち	1.5	1.	物で充てん(連続的、厚さ5mm以	6.0	難	(i) SRFのこれらの値は、もし関係ある	破碎
F. 粗いか又は不規則, 平坦	1.5	断変	下)		" 」	空洞と交差はしないが、影響すると	
F. 平滑, 平坦	1.0	位	H. 中~弱い締固め、軟質、粘土鉱物	. A	掘	でも25~50%減じる。	. , .
J G. すべり面, 平坦	0.5	Hij	で充てん(連続的, 厚さ5 mm以下)	8.0	(b)	H. 低い応力, 地表付近	
〈注記〉		接	J. 膨張性粘土の填充, 例えばモンモ		+	$\sigma_c/\sigma_1 > 200  \sigma_t/\sigma_1 > 13$	2.
(i)適当な節理群の平均的な開隔が3	m以上の場	触	リロナイト (連続的、厚さ5㎜以		分	J. 中間的な応力	
合には1.0を加える		す	下)。Jaの値は膨張性粘土の含有量	8 0-12 0	な	200-10 13-0.66	1.
。 (ii) Jr=0.5 という値は、平坦なすべ	り面を右す	る場	のパーセントと水の出入などに左	0.0 12.0	強度		
る節理が線構造を有し、その線構		台	右される。		を	K. 高い応力、非常に緊結された構造	
方向を有するという条件で使うこ			K,L, 分解又は破砕された岩のゾー		在	(一般に安定性には有利で、岩壁	0.5
77.32 k / 32. / x / C / C / C	- // ( - 0	(c) 岩場		, ,	する	の安定には不利かもしれない)	
H. 岩盤面が全く接触しない厚さの粘	1.0	盤合		または	<b>光</b>	10-5 0.66-0.33	
		茰	粘土の状態の記載参照)	8.0-12.0	岩	L. 弱度の山はね (塊状岩)	5-
土鉱物より成るゾーン	(名義上)	が接	N.シルト質又は砂質粘土のゾーン又	5.0	盤	5-2.5 0.33-0.16	
1. 石監明が至く接触しない序さの形		触	は縞、小粘土片(軟質でない)		龙	M. 強度の山はね (塊状岩)	10-
状、礫状または破砕されたゾーン	(名義上)	しし	O,P, 厚く、連続する粘土のゾーン	10.0, 13.0	カー	<2.5 <0.16	10-
	100	ない	R. 又は縞(G,H,Jの粘土の状	または	の問	〈注記〉	
	a a Nemerica		態の記載参照)	13.0-20.0	題	(ii) 強度の異方性のある応力の場 (計測	された
		ñ	前理内の水に関する要素	Jw		合) に対して:	
	4.4	A.#	悪水掘削又は微少な湧水,例えば局部的	1.0		5 ≦σ₁/σ₃≦10であるときσ。とσ。δ	÷0.8a
	175	, t	こ5 l/min以下		444	0.8のに減する	
	1	В. в	寺々節理塡充物を洗い出す程度の中位の	0.00	1	$\sigma_1/\sigma_3 > 10$ であるとき $\sigma_c$ と $\sigma_1$ を $0.6$	0. F
		湧力	k又は水圧	0.66		0.6σ,に減する	
		C. 均	真充物がない節理で十分な強度を有する	0.5		ここに σ。は拘束されない圧縮強	16"
		若	<b>岩盤で大きな湧水又は水圧</b>	0.5		σιは引張り強度(点荷重	
	ſ	D. M	前理充塡物の流出を伴う大量の湧水又は		- 1	σ1, σ3は最大, 最小三応	
	1 1		k任	0.33		(iii)地表下のクラウン部の深度が、スパ	
	F	E. 19	列外として爆破時に大量の湧水又は水圧			よりも小さいところでは有効な記録	
				0.2-0.1	- 1		がなこ
	1			0.2	- 1		
		F. 49	外として顕著な岩盤劣化かしに継続す			SRFの提案値は、このようなケース	
			別外として顕著な岩盤劣化なしに継続す ような大量の漁水又は水圧	0.1	(0)		
			引外として顕著な岩盤劣化なしに継続す 5ような大量の湧水又は水圧	0.1	(c)	SRFの提案値は、このようなケース	
		<u>چ</u>	るような大量の湧水又は水圧		正碎	SRFの提案値は、このようなケース	
	- 1	〈注記〉	るような大量の湧水又は水圧 >	0.1	圧砕岩	SRFの提案値は、このようなケース から5に増やす(日参照)	では
	- 1	《注記》 (i)要	らような大量の湧水又は水圧 ⟩ 浸素のC.からF.は自然のままの評価でも	0.1 - 0.05	圧砕岩(高)	SRFの提案値は、このようなケース	では
	V-11	《注記》 (i)要 排	ような大量の湧水又は水圧 > 浸素のC.からF.は自然のままの評価であ F水ますが設置されればJwの値は増加す	0.1 - 0.05	圧砕岩(高)	SRFの提案値は、このようなケース から5に増やす(日参照)	では
	V-11	〈注記〉 (i)要 排 (ii)外	sような大量の湧水又は水圧  >>	0.1 	圧砕岩(り強度の	SRFの提案値は、このようなケース から5に増やす(日参照)	では
	V-11	〈注記〉 (i)要 排 (ii)外	ような大量の湧水又は水圧 > 浸素のC.からF.は自然のままの評価であ F水ますが設置されればJwの値は増加す	0.1 0.05 5る。もし る。	圧砕岩(り強度のな	SRFの提案値は、このようなケース から5に増やす(日参照)	では
	V-11	〈注記〉 (i)要 排 (ii)外	sような大量の湧水又は水圧  >>	0.1  0.05 うる。もし る。	圧砕岩(り強度のない	SRFの提案値は、このようなケース から5に増やす(日参照)	では
	V-11	〈注記〉 (i)要 排 (ii)外	sような大量の湧水又は水圧  >>	0.1 0.05	圧砕岩(高い岩盤圧力の影圧砕岩(り強度のない岩の	SRFの提案値は、このようなケース から5に増やす(日参照)	では
	V-11	〈注記〉 (i)要 排 (ii)外	sような大量の湧水又は水圧  >>	0.1 0.05	圧砕岩(高い岩盤圧力の影圧砕岩(り強度のない岩の	SRFの提案値は、このようなケース から5に増やす(日参照) N. 弱度の圧砕岩盤圧力	では 5 —
	V-11	る 〈注記〉 (i)要 が (ii)外	らような大量の湧水又は水圧	0.1 - - 0.05 かる。もし る。	圧砕岩(り強度のない岩の塑性	SRFの提案値は、このようなケース から5に増やす(日参照)	では 5 —
		〈注記〉 (i)要 排 (ii)外	らような大量の湧水又は水圧	0.1 - 0.05 5\$. & L 5.	圧砕岩(り強度のない岩の塑性流動	SRFの提案値は、このようなケース から5に増やす(日参照) N. 弱度の圧砕岩盤圧力	では 5 —
		る 〈注記〉 (i)要 が (ii)外	sような大量の湧水又は水圧  >>	0.1 - 0.05 5\$. & L 5.	圧砕岩(り強度のない岩の塑性流動	SRFの提案値は、このようなケース から5に増やす(日参照) N. 弱度の圧砕岩盤圧力	では 5 —
		を (注記: (i) 要 (ii) 外	sような大量の湧水又は水圧  >>	0.1 - 0.05 5\$. & L 5.	圧砕岩(高い岩盤王力の影響下のあま)	SRFの提案値は、このようなケース から5に増やす(日参照) N. 弱度の圧砕岩盤圧力	では 5 —
		る (注記) (i) 要 別 (ii) み	らような大量の湧水又は水圧  大  大  大  大  大  大  大  大  大  大  大  大  大	0.1 0.05 55.66 55.66 55.66	圧砕岩(り強度のない岩の塑性流動 ) ()影	SRFの提案値は、このようなケース から5に増やす(日参照) N. 弱度の圧砕岩盤圧力	では 5 —
		る (注記) (i) 要 別 (ii) み	sような大量の湧水又は水圧  >>	0.1 0.05 55.66 55.66 55.66	圧砕岩(り強度のない岩の塑性流動 ) ()影	SRFの提案値は、このようなケース から5に増やす(日参照) N. 弱度の圧砕岩盤圧力 O. 強度の圧砕岩盤圧力	5 - 10-:
		る (注記)要 (ii) (ii) (ii) (ii) (ii) (ii) (ii) (ii) (ii) (ii) (ii) (ii) (ii) (ii) (iii)	らような大量の湧水又は水圧  大  大  大  大  大  大  大  大  大  大  大  大  大	0.1 0.05 55.66 55.66 55.66	圧砕岩(り強度のない岩の塑性流動 ) ()影	SRFの提案値は、このようなケース から5に増やす(日参照) N. 弱度の圧砕岩盤圧力	5 - 10-:
		る 〈注記〉 (i) 要 (ii) 氷	sような大量の湧水又は水圧  R表のC、からF、は自然のままの評価でま  水ますが設置されればJwの値は増加す  大層による特殊な問題については考慮しな	0.1 0.05 55.66 55.66 55.66	圧砕岩(り強度のない岩の塑性流動 ) ()影	SRFの提案値は、このようなケース から5に増やす(日参照) N. 弱度の圧砕岩盤圧力 O. 強度の圧砕岩盤圧力	5 - 10-:
		る 〈注記〉 (i) 要 (ii) 氷	sような大量の湧水又は水圧  >>	0.1 0.05 55.66 55.66 55.66	圧砕岩(り強度のない岩の塑性流動 ) ()影	SRFの提案値は、このようなケース から5に増やす(日参照) N. 弱度の圧砕岩盤圧力 O. 強度の圧砕岩盤圧力	では 5 -
		る 〈注記〉 (i) 要 排 (ii) み	らような大量の湧水又は水圧	0.1 0.05 55.66 55.66 55.66	圧砕岩(り強度のない岩の塑性流動 ) ()影	SRFの提案値は、このようなケース から5に増やす(日参照) N. 弱度の圧砕岩盤圧力 O. 強度の圧砕岩盤圧力	
		る 〈注記〉 (i) 要 排 (ii) み	sような大量の湧水又は水圧  R表のC、からF、は自然のままの評価でま  水ますが設置されればJwの値は増加す  大層による特殊な問題については考慮しな	0.1 0.05 55.66 55.66 55.66	圧砕岩(り強度のない岩の塑性流動 ) ()影	SRFの提案値は、このようなケース から5に増やす(日参照) N. 弱度の圧砕岩盤圧力 O. 強度の圧砕岩盤圧力	5 - :
		る 〈注記〉 (i) 要 (ii) み	sような大量の湧水又は水圧  R表のC、からF、は自然のままの評価でき  水ますが設置されればJwの値は増加す  、層による特殊な問題については考慮しな	0.1 0.05 55.66 55.66 55.66	圧砕岩(り強度のない岩の塑性流動 ) ()影	SRFの提案値は、このようなケース から5に増やす (日参照) N. 弱度の圧砕岩盤圧力 O. 強度の圧砕岩盤圧力	では: 5-: 10-: 5-1
		る 〈注記〉 (i) 要 (ii) み	らような大量の湧水又は水圧	0.1 0.05 55. bl	圧砕岩(高い岩壁圧力の影響下のあま) (山膨張性岩盤(動する化学的)	SRFの提案値は、このようなケース から5に増やす (日参照) N. 弱度の圧砕岩盤圧力 O. 強度の圧砕岩盤圧力	5 - 10-:
	1 日本の日本の日本の日本の日本の日本の日本の日本の日本の日本の日本の日本の日本の日	る(注記) (i) 要 (ii) み	sような大量の湧水又は水圧  R表のC、からF、は自然のままの評価でき  水ますが設置されればJwの値は増加す  、層による特殊な問題については考慮しな	0.1 	圧砕岩(り強度のない岩の塑性流動 ) ()影	SRFの提案値は、このようなケース から5に増やす (日参照) N. 弱度の圧砕岩盤圧力 O. 強度の圧砕岩盤圧力	5- 10-

しかし、比較的良質な岩盤ではRMR値から岩盤特性が評価されるけれども、RMR値が低い不良な岩盤や著しく破砕された岩盤などのようにRMR値そのものを算出できないような岩盤では、その評価は困難である。

Hoek<sup>6</sup>はこのような不良な岩盤を含めて,種々の地質学的条件に対する岩盤強度の低減

を見積もるために,岩盤の状態に応じた分類方法としてGeo1ogical Strength Index(GSI) なる分類指標を導入している.最近になって,多くの原位置岩盤試験結果とHoekのGSIによる評価を比較検討することにより,H.Sonmez & R.Ulusay  $^{7}$ が修正GSIを提案している.基本的にはHoekのGSIと同じであるが,表3に示すように岩盤構造指標を $0 \sim 100$ に,岩盤表面の状態を表す指標を18段階に,各々区分して使用しやすくしている.

BLOCKY DISINTEGRATED 100 80 70 **新なコーチェングをたはら** - BIND, DTBCBR 60 50 していて、自分で門るれた説服 ・森の異様で š 40 (VERT GOOD) (VELLY POOR) 484 報報 30 CARLCRE. SWIEST LERE 20 (0000) GVAIR (POOR) BREAD ŧ 0,1 1 体積ジョイント数(ジョイント/㎡) 表面状盤消費 (Surface Co (Valumetric joint count, 1) 岩塊状(BLOCKY) - 非常に良く噛み 合っている不攪乱の岩盤。 三方向に直 交した不違統而群により形成された方 形状の岩塊よりなる。 非常に岩塊状 (VERY BLOCKY) あっているが部分的に提乱された岩盤。 4つあるいはそれ以上の不連続而群によ り形成された多而体状のブロックを伴う 岩塊状 / 攪乱された状態(BLOCKY/ DISTURBED - 褶曲ないし斯爾作用を受 けた岩盤、多くの交差した不連続面群 により形成された角張った岩塊を伴う。 35 30 25 20 攪乱された状態 (DISINTEGRATED) 十分に増み合わさっていない。著しく破砕 15 された岩盤、角張った岩片と丸まった岩 片あるいはそれらの混ざったものを伴う 10

表 3 修正GSI (H.Sonmez & R.Ulusay, 1999) 7)

# 参考文献

- 1) 土木学会:軟岩評価 調査・設計・施工への適用 , 1992
- 2) Bieniawski, Z.T.: Geomechanics classification of rock masses and its application in tunneling, Proc, 3<sup>rd</sup> Int, Cong. Rock Mech., Vol.2, Part A, pp27-32, 1974
- 3) Barton, N., Lien, R. and Lunde, J.: Engineering Classification of rock Masses for Design of Tunnel Support, Rock Mech., Vol. 6, No. 4, pp. 189-236, Springer-Verlog, 1974
- 4) 土木学会岩盤力学委員会:トンネルの地質調査と岩盤計測,1999
- 5) 日本応用地質学会:岩盤分類 応用地質特別号,1984
- 6) Hoek, E.: Reliability of the Hoek-Brown estimates of rock mass properties and their impact on design, Int. J. Rock Mech. Min. Sci.Vol. 35, No. 1, 63-68, 1998
- 7) H. Sonmez, R. Ulusay: Modifications to the geological strength index (GSI) and their applicability to stability of rock slopes., Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol. 36, No. 6, 743-760, 1999