

新しい岩盤クオリティー評価システム (RMQR) と琉球諸島の岩盤評価への適用

藍檀 オメル^{1*}・渡嘉敷 直彦²

¹琉球大学工学部 環境建設工学科 (〒903-0213沖縄県中頭郡西原町千原1番地)

²琉球大学島嶼防災研究センター 地殻工学防災研究所 (〒903-0213沖縄県中頭郡西原町千原1番地)

*E-mail: aydan@tec.u-ryukyu.ac.jp

不連続性岩盤の状態を表す定量的指標として、代表的な岩盤分類法であるRMRやQシステムが提案されている。しかしながら、これらの岩盤分類法は、適用に際し様々な問題が指摘されており、著者らは、既存の問題点を解決し、岩盤の評価に関してこれまでに考慮されていないパラメータを含む新たな岩盤クオリティー評価システム (Rock Mass Quality Rating, RMQR) を提案している。

本論文は、提案した岩盤クオリティー評価システムの概要を紹介し、琉球諸島に分布する岩盤の岩盤分類を行い、RMQR値と岩盤の物性値を統一的に評価する提案式を用いて、適用する岩盤の各種物性値を推定する事例を示す。

Key Words : rock mass classifications, rock mass quality rating, RMQR, estimation of rock mass properties

1. はじめに

地質的な要因によって岩盤内に生じた不連続面の存在により、岩盤構造物 (トンネル, 地下空洞, 斜面, 基礎など) の安定性や力学挙動は大きく影響を受ける。この不連続性岩盤の状態を表す定量的岩盤分類として、RMR, およびQ値システムが提案^{1), 2)}され、これまでに大きな役割を果たしている。

著者らは、RMRおよびQ値システムによる評価値と岩盤物性値の関係について、主として国内の岩盤を対象に検討を行ってきた。RMRを適用する際、母岩の風化、水分量および従来の不連続性の考え方が不適切であり、特に不連続面の影響が二重に過大評価されていることが明らかになっている³⁾。また、Q値システムは、主に不連続面に重点が置かれ、母岩に対する考慮が不十分である。

著者らは、これらの定量的な岩盤分類の問題点を念頭に置き、今までに国内外で用いられている主な岩盤分類を考慮した新たな岩盤分類として、岩盤クオリティー評価システム (RMQR) を提案³⁾した。岩盤の状況がRMQR値として点数化され、岩盤の各種物性値を統一的に評価する関係式を示している。

本研究は、提案された岩盤クオリティー評価システムの概要を示し、琉球諸島に分布する岩盤の岩盤分類を行

って、評価したRMQR値と岩盤の物性値を統一的に評価する提案式を用い、岩盤の各種物性値を推定する適用事例を示す。

2. 岩盤クオリティー評価システム (RMQR)

提案した岩盤クオリティー評価システム (Rock Mass Quality Rating, RMQR) は、岩盤の調査、母岩に関連する岩盤の物理特性の定量測定とともに、既存の岩盤分類を考慮し岩盤を表す適切なパラメータを組み合わせた分類法であり、岩盤の状況に応じて各パラメータが点数化され、岩盤の状況を定量化する。この岩盤クオリティー評価システムは、母岩の力学特性に基づいて岩盤としての物性値を推定することなどに用いられる。

地層の複雑な形成過程を経て、岩盤には多くの不連続面が生じている。本論文では、岩盤全体の連続性を妨げるすべてを表す用語として、‘ジョイント’にかわり‘不連続面’を用いる。層理面、変理面、流理面、シーティングジョイント、断層面 (破碎帯・せん断帯) のような不連続面は、岩盤構造物の大きさ (寸法) と比較して連続的であるのに対し、ジョイントや亀裂のような不連続性は、有限の長さの状態にある。

岩盤の工学的性状を表す共通の項目は、不連続面の状

態と幾何学的特性である。したがって、不連続面に関するパラメータは、不連続面群数（DSN）、不連続面の間隔（DS）および不連続面の状況（DC）である。

不連続面周辺の母岩は、その不連続面が大気環境や岩盤内を浸透した熱水などに触れると、それぞれ、風化や劣化が発生する。岩盤の風化は、大気環境に対する物理的あるいは化学的作用によって生じ、周辺岩盤の軟弱化や粘性材料に含まれる鉱物の腐食が発生する。

岩盤を構成する母岩は、岩盤の力学的特性に影響を与える重要なパラメータの一つであり、風化あるいは熱水による母岩の化学的劣化は、母岩の劣化度（DD）として考慮される。地下水の状況（GW）も、岩盤の力学的特性に影響する重要なパラメータであり、岩盤の種類に

よっては、電気的あるいは化学的に吸水すると、母岩の材料特性が急激に低下するか、膨潤を起こす。

提案された岩盤クオリティー評価システムは、岩盤を定量評価する重要なパラメータとして、これらの評価項目を組み入れた岩盤分類法である。岩盤の状態を定量的に評価する各パラメータの評価点を、表-1に示す。なお、表-1の不連続面状況パラメータで、「なし」あるいは「再溶着あるいは非不連続的」以外の項目に対する詳細な評価点を表-2に示す。

この岩盤クオリティー評価システムは、従来の手法と比べて岩盤としての物理的特性をより正確に評価することができると考えている。

表-1 岩盤クオリティー評価（RMQR*）における各パラメータとその評価点

劣化度 (DD)	新鮮	色変質	若干	中程度	強劣化	粘土化
評点 (R_{DD})	15	12	9	6	3	1-0
不連続面群数 (DSN)	なし	1群+ランダム	2群+ランダム	3群+ランダム	4群+ランダム	破碎帯
評点 (R_{DSN})	20	16	12	8	4	1-0
不連続面の間隔 (DS)	なし あるいは $DS \geq 24m$	$24 > DS \geq 6m$	$6m > DS \geq 1.2m$	$1.2m > DS \geq 0.3m$	$0.3m > DS \geq 0.07m$	$0.07m > DS$
あるいは RQD**	100			$100 > RQD \geq 75$	$75 > RQD \geq 35$	$35 > RQD$
評点 (R_{DS})	20	16	12	8	4	1-0
不連続面の状況 (DC)***	なし	再溶着 あるいは 非連続的	粗い	やや平で密着している	薄い充てん物を有し、鏡肌 あるいは開口幅 ($t < 5mm$)	厚い充てん物 あるいは開口幅 ($t > 10mm$)
評点 (R_{DC})	30	26	22	15	7	1
地下水の浸透状況 (GWSC)	乾燥	やや湿潤	湿潤	滴水	流水	大流水
評点 (R_{GWSC})	9	7	5	3	1	0
地下水吸水状況 (GWAC)	非吸水	毛管あるいは電気的な吸水	やや吸水	吸水	強吸水	超吸水
評点 (R_{GWAC})	6	5	4	3	2	1-0

* $RMQR = R_{DD} + R_{DSN} + R_{DS} + R_{DC} + R_{GWSC} + R_{GWAC}$

** RQD：不連続面の間隔が1m以上の場合、無関係となる。

*** 不連続面の状況：詳細な評価についてはAydanら（2014）を参照のこと。

表-2 表-1における不連続面状況パラメータで「なし」あるいは「再溶着あるいは非不連続的」以外の項目に対する詳細な決定のための評点

開口幅あるいは分離幅		なし, あるいは 密着<0.1 mm	0.1-0.25 mm		0.25-0.5 mm		0.5-2.5 mm		2.5-10 mm		>10 mm
評点 (R _{DCA})*		6	5		4		3		2		1-0
充填物		なし	表面の変色 のみ		薄膜 <1 mm		薄い充填物 1<t<10 mm		厚い充填物 60>t>10 mm		かなり厚い充 填物あるいは 破碎帯 t>60 mm
評点 (R _{DCI})*		6	5		4		3		2		1-0
粗さ	粗さの記述	かなり粗い	粗い		表面が滑ら かで波状		表面が滑ら かで平ら		鏡肌		せん断帯
	ISRMプロ ファイル番 号.	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1-0
評点 (R _{DCR})*		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1-0

$$* R_{DC} = R_{DCA} + R_{DCI} + R_{DCR}$$

3. RMQRと既存の岩盤分類の関係

提案されたRMQR岩盤分類は、国内外における既存の主な岩盤分類における重要なパラメータを取り入れており、RMQRとこれらの岩盤分類の関係について示す。図-1および図-2に、RMQRとRMRの関係、RMQRとQ値の関係をそれぞれ示す。これらのデータは、これまでに国内で実施された主な建設プロジェクトの調査結果に基づいている。RMQRとRMRの関係は、次の近似式で与えられる。

$$RMR = 100 \cdot \frac{RMQR}{RMQR + \beta(A - RMQR)} \quad (1)$$

ここで、 β および A は、図-1のデータの近似に応じた値をとる。

RMQRとQ値の関係は、次の近似式で与えられる。

$$Q = 10^{0.06 RMQR - 3} \quad (2)$$

次に、RMQRと国内で用いられている主な岩盤分類の関係を示す。表-3 に、RMQRとNEXCO（旧日本道路

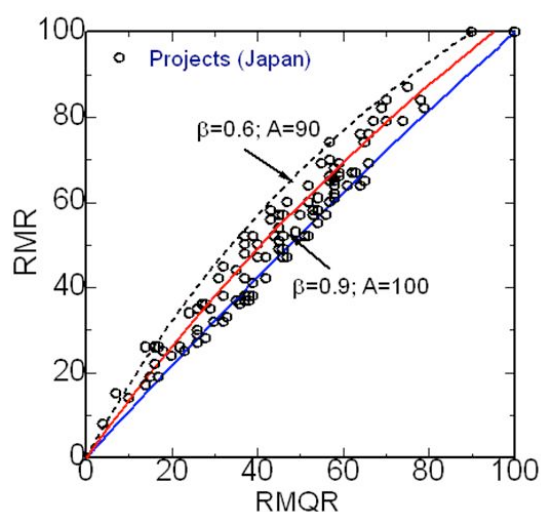


図-1 RMQRとRMRの関係

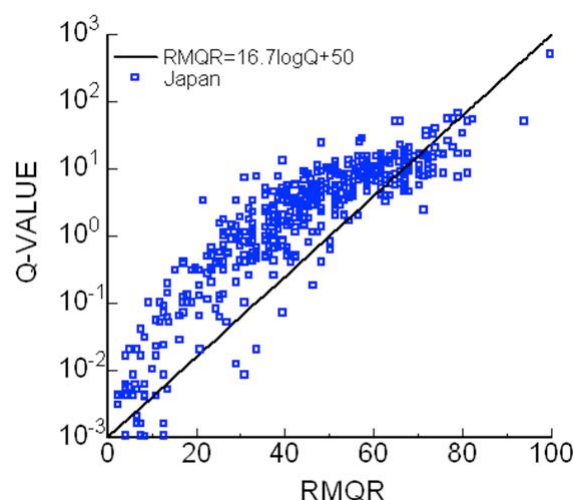


図-2 RMQRとQ値の関係

表-3 RMQRとNEXCO（旧日本道路公団）岩盤分類の関係

NEXCO 岩盤等級	RMQR		
	H	M	L
A	100-99	98-97	97-96
B	95-91	90-86	85-81
CI	80-74	73-67	66-61
CII	60-54	53-47	46-41
DI	40-34	33-27	26-21
DII	20-14	13-6	6-0

表-4 RMQRと電研岩盤分類の関係

岩盤等級	I	II	III	IV	V	VI
岩盤の記述	岩石材料ある いはマッシブ	良好	良	中級	弱	貧弱
RMQR	$100 \geq \text{RMQR} > 95$	$95 \geq \text{RMQR} > 80$	$80 \geq \text{RMQR} > 60$	$60 \geq \text{RMQR} > 40$	$40 \geq \text{RMQR} > 20$	$20 \geq \text{RMQR}$
電研等級	A	B	CH	CM	CL	DあるいはF

公団）の岩盤分類の関係を示す。RMQRの値は、0 - 100の範囲である。表-4 に、RMQRと電研岩盤分類の関係を示す。岩盤は、6つの等級に分かれており、それぞれRMQRの範囲が対応している。RMQRの値は、岩盤を構成する母岩の物性値に対する岩盤物性値の指標として導入している。

4. RMQR岩盤分類による岩盤物性値の推定

Aydanら⁴⁾、Aydan, Ulusay⁵⁾は、Aydan, Kawamoto⁶⁾が提案した関係式に基づいて、6種類の岩盤物性値とRMRの関係式を示した。Aydanら³⁾では、RMRに換わり、岩盤クオリティー評価値RMQRを用いて、岩盤を構成する母岩の各物性値に対する岩盤としての物性値の比を、次のように与えた。

$$\alpha = \alpha_0 - (\alpha_0 - \alpha_{100}) \frac{\text{RMQR}}{\text{RMQR} + \beta(100 - \text{RMQR})} \quad (3)$$

ここで、 α_0 、 α_{100} は、それぞれ、各物性値 α のRMR=0とRMR=100に対する関係式の値である。 β は、得られた物理特性あるいは力学的特性の実験値を近似式によって決定した実験定数である。

表-5 岩盤の各種物性値の評価式(3)における α_0 、 α_{100} 、 β および β の値

特性(α)	α_0	α_{100}	β
変形係数	0.0	1.0	6
Poisson 比	2.5	1.0	0.3
一軸圧縮強度	0.0	1.0	6
引張強度	0.0	1.0	6
粘着強度	0.0	1.0	6
摩擦角	0.3	1.0	1.0

著者らは、国内のサイト（原子力発電所、地下発電所およびダム）で実施された原位置試験結果および母岩の室内試験結果とともに、RMQRによる岩盤分類を実施して、岩盤の各種物性値とRMQRの関係を整理した。RMQRと母岩の物性値で正規化した岩盤の各種物性値の関係を図-3に示す。これらの関係に式(3)を適用して、各物性値に対する実験定数 α_0 、 α_{100} および β の値を定めた。これらの結果を表-5に示す。

対象となる岩盤の調査を行い、代表的なRMQRを評価して、式(3)と表-5に示す係数を用いて各種岩盤物性値を推定することができる。

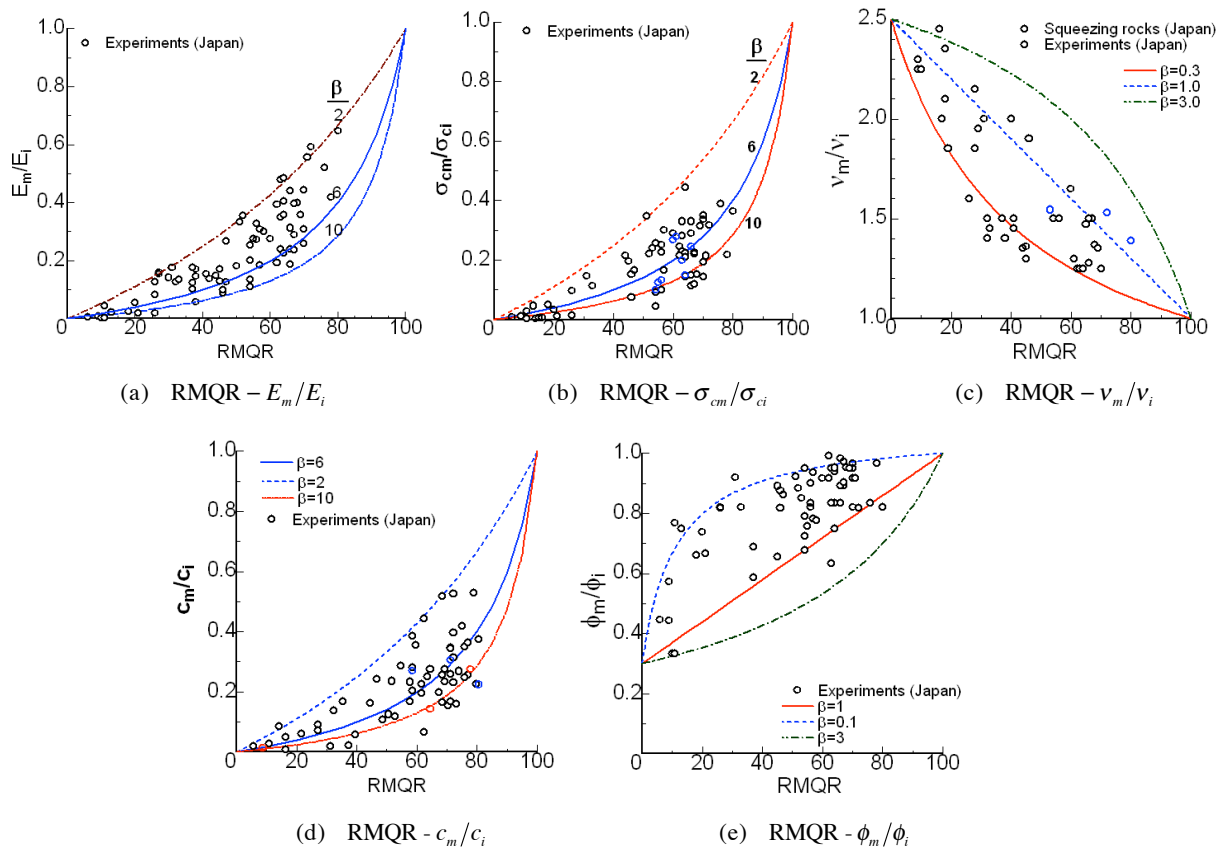


図-3 母岩の特性で正規化された岩盤の物性値とRMQRの関係

5. 琉球諸島における岩盤物性値の評価

琉球諸島には、琉球石灰岩層が広く分布しており、図-4のような海食による急崖の不安定性を含め、自然岩盤構造物の安定性評価が問題となっている。このような岩盤構造物の安定性を評価するため、琉球石灰岩岩盤の物性値を把握する必要がある。

RMQR岩盤分類による岩盤物性値を推定するため、これまでに実施された琉球石灰岩層のボーリングコアデータ、原位置試験結果、室内試験結果の収集と、現地調査を実施し、RMQRと岩盤物性値の関係を検討した。岩盤の引張強度の推定に際しては、海食崖を片持ちばりでモデル化し、その曲げ理論から予測される崖崩壊の限界条件に基づいて、急崖岩盤モデルの引張強度を導いた⁷⁾。実際の海食崖岩盤の引張強度を推定するため、沖縄本島、宮古島、石垣島、西表島における急崖オーバーハングの形状計測およびRMQR岩盤分類を実施し、同時に室内試験による母岩の物性値を求めた。

このようにして推定した琉球石灰岩岩盤の引張強度とRMQRの関係を図-5に示す。同図には、母岩の引張強度で正規化した岩盤の引張強度の推定値と、RMQRによる岩盤物性値を推定する式(3)の係数 $\beta = 3, 6$ および



図-4 琉球石灰岩層の海食崖（糸満市）

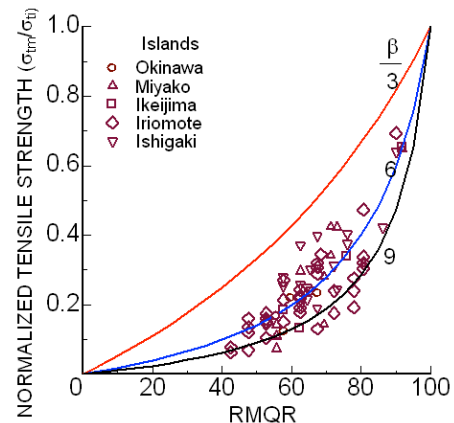


図-5 琉球石灰岩岩盤の引張強度とRMQRの関係

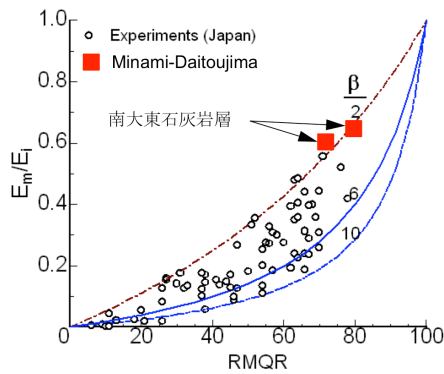


図-6 南大東石灰岩岩盤の変形係数とRMQRの関係

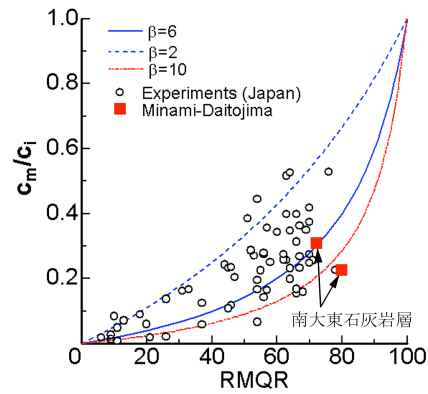


図-7 南大東石灰岩岩盤の粘着力とRMQRの関係

$\beta=9$ による推定式がプロットされている。RMQRによって推定される琉球石灰岩岩盤の引張強度は、 $\beta=6$ の推定式が最良となる。

次に、南大東石灰岩層における変形係数、粘着強度とRMQRの関係を国内のデータ（図-3(a), (d)）とともに図-6および図-7に示す。南大東石灰岩層の岩盤物性値の最良の推定式は、変形係数の場合、 $\beta=2$ 、粘着強度の場合、 $\beta=6\sim10$ で与えられる。

6. 結論

岩盤の物理的性状を評価する新たな岩盤クオリティ評価システム（RMQR）を用い、既存の岩盤分類との関係を示すと共に、国内の原位置試験結果に基づいて、RMQRと母岩の物性値から岩盤の物性値を推定する提案式を示した。この提案式を用い、琉球石灰岩岩盤の変形係数、引張強度および粘着力を推定した。

本手法は、岩盤力学の原理、解析および数値解析を考慮する際に種々の条件について容易に適用することが可能である。また、RMQRと岩盤の水理・熱特性についても検討を行っている。

参考文献

- 1) Bieniawski, Z.T.: *Engineering rock mass classifications*. Wiley, New York, 1989.
- 2) Barton N, Lien R and Lunde I: Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech*, 6(4), pp.189-239, 1974.
- 3) Aydan, Ö., Ulusay, R. and Tokashiki, N.: A new Rock Mass Quality Rating System: Rock Mass Quality Rating (RMQR) and its application to the estimation of geomechanical characteristics of rock masses. *Rock Mech. and Rock Eng.*, 47, pp.1255-1276, 2013.
- 4) Aydan, Ö., Tokashiki, N. and Genis, M.: Some considerations on yield (failure) criteria in rock mechanics. *Proceedings of the 46th US rock mechanics/geomechanics symposium*, Chicago, Illinois, ARMA 12-640 (on CD), 2012.
- 5) Aydan, Ö., and Ulusay, R.: Application of RMQR Classification System to Rock-Support Design for Underground Cavems and Tunnels. *Proc. of the 3rd Int. Symp. on Underground Excavations for Transportation*, İstanbul, pp.387-398, 2013.
- 6) Aydan, Ö. and Kawamoto, T.: The assessment of mechanical properties of rock masses through RMR rock classification system. *GeoEng2000, UW0926*, Melbourne, 2000.
- 7) Tokashiki, N. and Aydan, Ö.: The stability assessment of overhanging ryukyu limestone cliffs with an emphasis on the evaluation of tensile strength of rock mass. 土木学会論文集 C 部門, Vol.66, No.2, pp.397-406, 2010.

ROCK MASS QUALITY RATING (RMQR) AND ITS APPLICATION TO THE ESTIMATION OF GEOMECHANICAL CHARACTERISTICS OF ROCK MASS OF RYUKYU ARCHIPELAGO

Ömer AYDAN and Naohiko TOKASHIKI

A new rock classification named as Rock Mass Quality Rating (RMQR) proposed by the authors (Aydan et al. 2013). This new rock classification quantify the state of rock mass and possible geomechanical properties of rock masses can be estimated using the classification system together with intrinsic geo-mechanical properties of intact rock. Rock Mass Quality Rating (RMQR) proposed by the authors has been briefly explained and related to major rock mass classification of Japan, and its application to the estimation of rock mass of Ryukyu Archipelago is given in this paper.