

# 琉球石灰岩地盤の解析に用いた RQMR より算定した強度に関する考察

(株)南城技術開発 ○比嘉 優, 井上 英将  
 琉球大学 伊東 孝  
 島嶼防災研究センター 渡嘉敷 直彦  
 琉球大学名誉教授 藍檀 オメル

## 1. はじめに

琉球石灰岩は空隙の多い岩盤である。同地盤の地下空洞あるいは斜面の解析を行う際に室内試験で得られた強度をそのまま適用することは危険側の解析となり、妥当性が低い。現地岩盤の強度を推定する方法として藍檀(2014)<sup>1)</sup>、藍檀ら(2016)<sup>2)</sup>により新しい岩盤評価手法(RMQR)、および RMQR を用いた強度算定方法が示されている。本稿では、琉球石灰岩の地下空洞(糸数壕)の安定性評価のため行った、琉球石灰岩コアの力学試験結果、RMQR 判定および原位置で実施した弾性波速度との関係性等より、RMQR を用いて算出した強度の適合性について考察した。

## 2. 地形・地質概要

琉球石灰岩は更新世に形成した比較的新しい地層である。琉球石灰岩は沖縄島の中南部域に広く分布している(図-1)。対象とした糸数壕は琉球石灰岩の台地に位置する(図-2)。

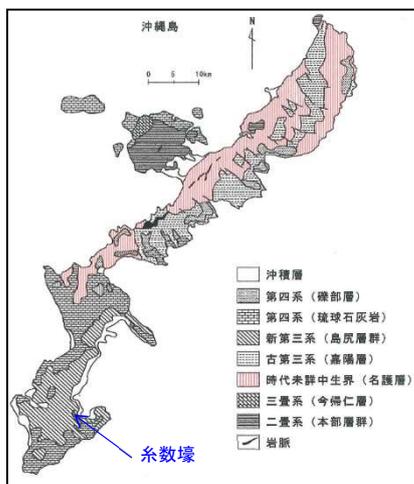


図-1 沖縄島地質概要図<sup>3)</sup>

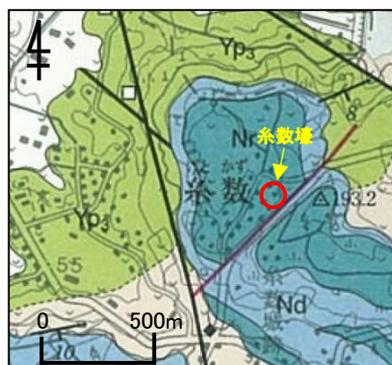


図-2 周辺地質図<sup>4)</sup>

## 3. 壕の状況

糸数壕は延長約200m、地表からの深度6~17m、空洞幅12~30m となっている。戦時中は、現存する洞窟内の概ね全体が壕として活用されていた。これより、洞窟内の概ね全てが入壕者が回るルートとなっている。安定性評価は、壕の形状、天端厚等を勘案し7つのエリアに区分し、任意に解析断面を設け行っている(図-3)。

## 4. 調査・検討の流れ

実施した調査～解析の流れを図-4に示す。

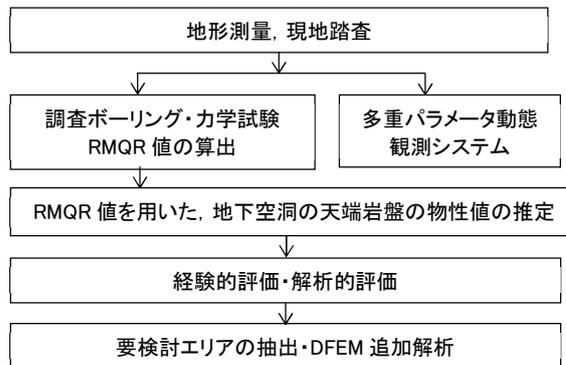


図-4 検討の流れ

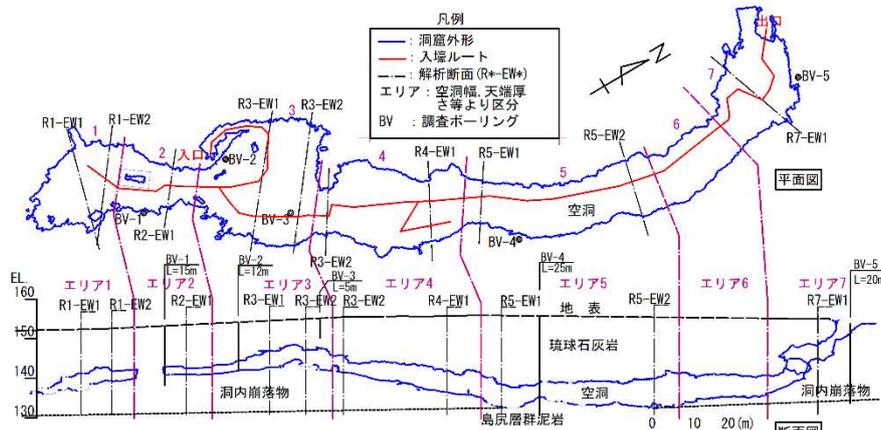


図-3 糸数アプチラガマの地下空洞平面図・断面図

5. 各種試験結果

室内力学試験は、天端岩盤厚が薄く、かつ地下空洞幅が広いこと、形状的不安定性が考慮されたエリア3の天端で行ったBV-3 コアを利用し行った。

供試体の空隙率、弾性波速度と強度との関係を図-5に示す。図より同関係は概ね比例的な傾向が見取れる。また、調査孔で実施したPS 検層結果を表-1に示す。原位置地盤の弾性波速度は供試体の弾性波速度より低い。上記状況を踏まえると天端を構成する岩盤の強度は室内試験強度より低いことが推察される。

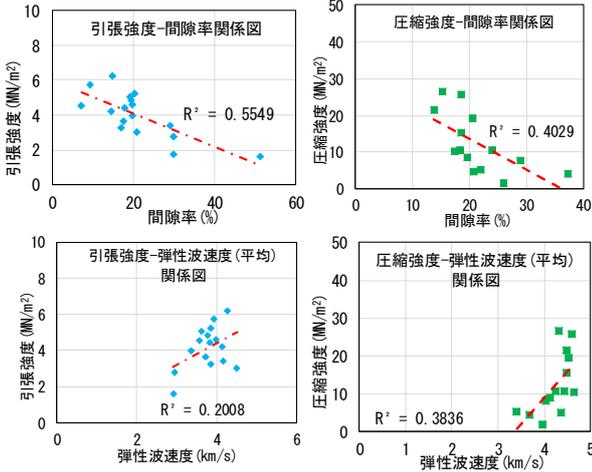


図-5 空隙率、P 波速度と各強度との関係

表-1 PS 検層結果

地層	記号	P波速度(Vp)(km/s)					平均
		BV-1	BV-2	BV-3	BV-4	BV-5	
礫質石灰岩	RLg	1.2	0.7~1.1	2.3	1.4~1.7	1.6	1.4
石灰岩	RL	1.4			1.8	1.6	1.6
崩落岩塊	Gr1	1.9				1.4~2.1	1.8
礫質石灰岩	RLg				2.0		1.9
固結粘土	sm				2.2	2.2	2.2

6. RMQR を利用した現地岩盤強度の算出

藍檀ら(2016)<sup>2)</sup>による現地岩盤の強度推定のためのRMQR を用いた低減率の算出式<sup>2)</sup>を以下に示す。

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

[ $\alpha$ : 母岩に対する現地岩盤の強度の比(低減係数)  
 $\alpha_0, \alpha_{100}, \beta$ : 実験定数(特性値)]

表-2 上式に利用する特性値<sup>2)</sup>

特性( $\alpha$ )	$\alpha_0$	$\alpha_{100}$	$\beta$
変形係数	0	1	6
Poisson比	2.5	1	0.3
一軸圧縮強度	0	1	6
引張強度	0	1	6
粘着強度	0	1	6
摩擦角	0	1	1

エリア3解析のため算出した RMQR 値を表-3に、上式より算出される現地岩盤の強度を表-4に示す。

表-3 エリア3解析用の RMQR 値

断面名	表土	各層厚 h(m)						RMQR 値		
		1層	2層	3層	4層	5層	6層	平均	最大	最小
R3-EW1	a) 層厚(m)	1.0	0.8	1.6	1.8	1.7	1.2	53	61	43
	b) RMQR 値		43	58	43	60	61			
R3-EW2	a) 層厚(m)	0.5	1.4	1.9	1.8	2.1		52	60	43
	b) RMQR 値		43	57	48	60				

表-4 RMQR 値より算出される現地岩盤の強度(エリア3)

RMQR 値	$\alpha = \alpha_0 - (\alpha_0 - \alpha_{100}) \times \frac{RMQR}{RMQR + \beta \times (100 - RMQR)}$	比を考慮した強度(MPa)			
		$\sigma_{cm}$	$\sigma_{tm}$	$\alpha \times \sigma_{ci}$	$\alpha \times \sigma_{ti}$
平均	53	0.16	0.16	1.95	0.63
最大	60	0.20	0.20	2.47	0.80
最小	43	0.11	0.11	1.38	0.45

※室内試験の圧縮強度(平均) $\sigma_{ci} = 12.34$  MPa

引張強度(平均) $\sigma_{ti} = 4.0$  MPa

7. 原位置試験結果との対比

弾性波速度と強度との関係について以下の式<sup>5)</sup>が示されている。

$$qu' = (V_P / U_P)^2 \times qu$$

[ $qu'$ : 現地岩盤の強度(MPa),  $V_P$ : 地山の弾性波速度(km/s),  
 $U_P$ : 供試体の弾性波速度(km/s),  
 $qu$ : 試料の一軸圧縮強度(MPa)]

上式を利用し算出される現地岩盤の推定強度を表-5に示す。PS 検層では BV-3 で計測された弾性波速度が突出して高く、これより推定される強度は高くなる。RMQR より算出される現地岩盤の強度は表-5 中、現地平均～現地(BV-3)の間に概ね収まっている。

表-5 弾性波速度より推定される現地岩盤の推定強度

弾性波速度(km/s)	低減率		現地強度 $qu'$ (MPa)	
	現地 $V_P$	試験値 $U_P$	圧縮	引張
現地(BV-3)	2.3	3.99	0.33	4.10 1.33
現地平均	1.4	3.99	0.12	1.52 0.49

8. まとめ

RMQR より算出される現場岩盤強度は弾性波速度より推測される現場強度との整合性が確認された。

なお実際の解析には、現地の地下空洞の安定状況との再現性より、表-4 中、RMQR 値の最大値を用いた現地岩盤強度を利用した。同値は表-5 中、現地平均～現地(BV-3)のほぼ中間の値となる。

解析に用いる強度の算定に当たっては、対象地下空洞の安定状況との整合、現場の弾性波速度等との整合性等を鑑み、RMQR 値を設定することが重要となる。

《引用・参考文献》

- 1) Aydan, Ö., Ulusay, R. & 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 Rock Eng* 47: 1255-1276, 2014
- 2) 藍檀オメル, 渡嘉敷直彦: 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, 第44回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, 240~245, 2016
- 3) 沖縄地学会, 1997
- 4) 産業技術総合研究所: 那覇及び沖縄市南部, 2006
- 5) 道路トンネル技術基準(構造編)・同解説: (社)日本道路協会, H15