NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH ĐẶC TRƯNG CƠ HỌC CỦA KHỐI ĐÁ SAN HÔ THEO TIÊU CHUẨN HOEK - BROWN

ThS. **NGUYỄN QUÝ ĐẠT**
Học viện kỹ thuật Quân sự

Tóm tắt: *Bài báo trình bày phương pháp tính toán các đặc trưng cơ học của khối đá san hô tại nền, mái dốc và tuynel theo tiêu chuẩn Hoek – Brown bằng phần mềm Roclab. Phương pháp này mới được tiếp cận và sử dụng trên cơ sở một số khối đá ở nước ta nên các kết quả so sánh với các phương pháp khác chưa nhiều. Kết quả của bài báo bước đầu có ý nghĩa thực tiễn trong việc nghiên cứu, kiến nghị giá trị tính toán chỉ tiêu cơ học của khối đá san hô phục vụ cho thiết kế và thi công công trình.*

Abstract: *The paper presents a method to determine the mechanical properties of the coral rock mass at the base foundations, slopes, and tunnel based on Hoek-Brown Criterion using Roclab software. This method has been recently used for some rock mass in Vietnam, there are lacks of comparisons the results obtained using other methods. The results presented in this paper have practical meaning for research, proposing mechanical properties of coral rock mass for design and construction.*

Đặt vấn đề

Theo kết quả khảo sát địa chất công trình, cấu trúc nền san hô bao gồm 3 lớp chính từ trên xuống: cát san hô; cành nhánh san hô và lớp đá san hô. Trong đó, lớp cành nhánh làm nền chính cho các công trình nhỏ. Tuy nhiên, trong tương lai khi qui mô công trình tăng lên thì lớp đá san hô sẽ là lớp được lựa chọn đặt móng của công trình. Do vậy, việc xác định các chỉ tiêu về độ bền của khối đá san hô là rất cần thiết.

Hiện nay, có nhiều phương pháp xác định các đặc trưng cơ học của khối đá nền các công trình ngầm, công trình thủy công như: xác định theo quy phạm TCVN 4253-2012, xác định bằng các thí nghiệm địa cơ học ngoài trời, xác định theo tiêu chuẩn Hoek - Brown,… Việc thí nghiệm hiện trường trên nền đá san hô gần như là không thể hoặc chi phí rất tốn kém. Còn chỉ tiêu cơ học của khối đá lấy theo tiêu chuẩn TCVN 4253-2012 dựa trên các thông số đầu vào của độ bền nén mẫu đá nên không đại diện được cho khối đá. Khi đó phương pháp dựa theo tiêu chuẩn Hoek – Brown khi nghiên cứu, tính toán các đặc trưng cơ học của khối đá san hô cho thấy sự khả quan, bởi những ưu điểm sau:

Tiêu chuẩn Hoek-Brown là tiêu chuẩn lý thuyết thực nghiệm chặt chẽ và logic, các chỉ tiêu tính toán: Modul biến dạng, sức kháng cắt, kháng nén đều được định lượng hóa bằng các hàm toán học. Phương pháp này có tính thực tế khi đã được áp dụng ở một số công trình thủy điện, công trình ngầm ví dụ như: Công trình thủy lợi, thủy điện Cửa Đạt - Thanh Hóa…[2] Tiêu chuẩn được xây dựng trên cơ sở kinh nghiệm từ nhiều số liệu thực tế bao gồm nhiều loại đá khác nhau, đường bao độ bền có dạng phi tuyến phù hợp với thí nghiệm ở điều kiện áp lực hông. Tiêu chuẩn Hoek-Brown rất phù hợp với đá giòn hay trong điều kiện ứng suất đảm bảo đá có phá hoại giòn.

1. Tiêu chuẩn Hoek-Brown

1.1 Khái quát về tiêu chuẩn Hoek - Brown

Chuẩn phá hoại Hoek-Brown (HB) còn gọi là chuẩn bền HB là một tiêu chuẩn được lập từ kinh nghiệm cho phép xác định quan hệ tương quan giữa các thành phần ứng suất ở trạng thái giới hạn của khối đá. Mối quan hệ này có dạng phi tuyến. Theo HB, độ bền khối đá nứt nẻ có thể xác định được từ kết hợp kết quả thí nghiệm trong phòng với quan sát mô tả và đo đạc hiện trường [1], [2].

- Nguyên lý nghiên cứu đánh giá độ bền và tính biến dạng của khối đá nứt nẻ:

- Tiêu chuẩn đưa ra với mục đích xác định các đặc trưng cơ học của khối đá nứt nẻ ở điều kiện ứng suất tương tự như điều kiện làm thí nghiệm ba trục mẫu đá;

- Tiêu chuẩn phá hủy được đề xuất có khả năng mở rộng áp dụng thích hợp đối với mọi khối đá nứt nẻ;

- Tiêu chuẩn phá hủy được diễn giải bằng phương trình toán học đơn giản, các thông số có đơn vị đo thông dụng và hợp lý.

Để xác định đường bao độ bền của khối đá nứt nẻ, các tác giả đã đưa thêm các hệ số vào phương trình đường bao độ bền của đá liền khối. Các hệ số này có sự liên hệ với đặc điểm của khối đá, thường thông qua các đo đạc, mô tả, nhận dạng và phân loại khối đá. Như vậy, theo HB, độ bền khối đá nứt nẻ có thể xác định được từ kết hợp kết quả thí nghiệm trong phòng với quan sát, mô tả và đo đạc hiện trường [3].

- Tiêu chuẩn Hoek-Brown áp dụng cho các khối đá nứt nẻ:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci}(m_b\sigma_3'/\sigma_{ci} + s)^a \quad (1)$$

trong đó:

σ'_1, σ'_3: ứng suất chính hữu hiệu lớn nhất và nhỏ nhất tại thời điểm phá hủy trong thí nghiệm nén 3 trục;

σ_{ci}: cường độ kháng nén một trục của mẫu đá nguyên vẹn; xác định bằng cách cho $\sigma'_3 = 0$ trong công thức (1) ta có: $\sigma'_1 = \sigma_{ci}(s)^a$ (2)

m_b: hệ số Hoek-Brown phụ thuộc vào từng loại đá (theo hệ số m_i);

$$m_b = m_i exp[(GSI - 100)/(28 - 14D)] \quad (3)$$

Với:

- m_i: hệ số vật liệu phụ thuộc từng loại đá; xác định từ đường cong thí nghiệm 3 trục mẫu đá

- với GSI > 25 thì: $s = exp[(GSI - 100)/(9 - 3D)]$

- với GSI < 25 thì: $s = 0$

- với GSI = 100 thì: $s = 1$ (khi khối đá nguyên trạng)

$$a = 1/2 + 1/6\left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3}\right) \quad (7)$$

Ứng suất pháp và cắt liên hệ với các ứng suất chính bởi các công thức của Balmer:

nguyên khối hoặc theo bảng kinh nghiệm Hoek-Brown;

- *GSI* (Geological Strengh Index): chỉ số độ bền địa chất, sử dụng cho việc đánh giá độ bền của khối đá cho các điều kiện địa chất khác nhau, chủ yếu là mức độ nứt nẻ và đặc điểm bề mặt khe nứt.

+ với $RMR_{76} > 18$: $GSI = RMR_{76}$

+ với $RMR_{89} > 23$: $GSI = RMR_{89} - 5$ (4)

+ với $RMR_{89} < 23$ (đá có chất lượng kém): GSI có thể tra bảng của Hoek-Brown hoặc xác định qua hệ số Q' của Barton:

$GSI = 9\log Q' + 44$ với $Q' = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a}$ (5)

(Các trị số J_r, J_n, J_a tra bảng phân loại của Barton đề xuất năm 1974).

+ RMR_{76} và RMR_{89} là giá trị phân loại khối đá theo Bieniaswki đề xuất năm 1976 và 1989 (Rock Mass Rating) phụ thuộc các thông số: σ_{ci}, chỉ số RQD, bước khe nứt, đặc tính khe nứt.

- *D*: hệ số xáo động hay hệ số tác động của biện pháp thi công (nổ mìn hoặc đào) đối với mức độ nguyên vẹn của khối đá (hệ số nguyên khối). D chạy từ 0 (khối đá nguyên vẹn) đến 1 (khối đá bị xáo động mạnh).

s và *a*: hằng số Hoek-Brown phụ thuộc vào đặc tính của khối đá.

(6)

$$\sigma_n' = \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2} + \frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2}.\frac{d\sigma_1'/d\sigma_3' - 1}{d\sigma_1'/d\sigma_3' + 1} \quad (8)$$

$$\tau = (\sigma_1' - \sigma_3').\frac{\sqrt{d\sigma_1'/d\sigma_3'}}{d\sigma_1'/d\sigma_3' + 1} \quad (9)$$

Trong đó:

$$d\sigma_1'/d\sigma_3' = 1 + \alpha m_b(m_b\sigma_3'/\sigma_{ci} + s)^{a-1} \quad (10)$$

Modul biến dạng của khối đá:

$$E_m(GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right)\sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}}.10^{((GSI-10)/40)} (sigci <= 100) \quad (11)$$

$$E_m(GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right).10^{((GSI-10)/40)} (sigci > 100) \quad (12)$$

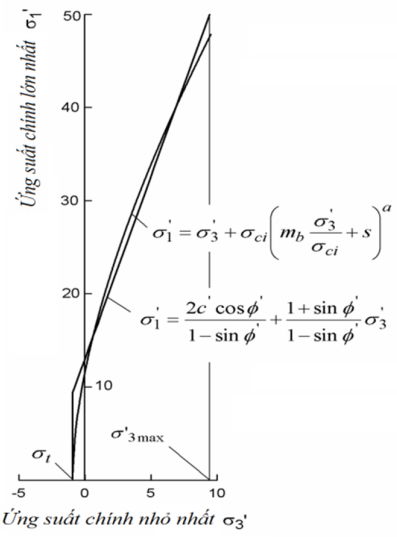
1.2 Quan hệ giữa tiêu chuẩn Mohr-Coulomb (MC) và Hoek - Brown (HB)

Thực tế thiết kế xây dựng công trình vẫn sử dụng tiêu chuẩn phá hoại MC cho tính toán (c và φ gần gũi hơn các thông số m_b, s hay a theo chuẩn HB); ngoài ra, không xác định được trực tiếp c và φ cho khối đá. Do vậy, nên cần phải xác định c và φ tương đương cho khối đá từ quan hệ của HB. Điều này được thực hiện bằng cách khớp đường bao tuyến tính của MC với đường cong của HB từ phương trình (1) trong khoảng giá trị ứng suất chính nhỏ nhất σ_t đến $\sigma_3 = \sigma'_{3max}$, như hình minh họa 1 [4]. Quá trình khớp bao gồm việc làm cân bằng các diện tích phía trên và phía dưới đồ thị MC được giới hạn bởi đường bao HB. Kết quả của việc xác định này sẽ khác nhau tùy thuộc vào việc chọn giá trị σ'_{3max}.

Việc làm này cho ta các công thức sau đây về góc ma sát ϕ' và lực dính c':

$$\phi' = \sin^{-1}\left[\frac{6\alpha m_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{\alpha-1}}{2(1+\alpha)(2+\alpha)+6\alpha m_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{\alpha-1}}\right] \quad (13)$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci}\left[(1+2\alpha)s+(1-\alpha)m_b\sigma'_{3n}\right](s+m_b\sigma'_{3n})^{\alpha-1}}{(1+\alpha)(2+\alpha)\sqrt{1+\left(6\alpha m_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{\alpha-1}\right)/((1+\alpha)(2+\alpha))}} \quad (14)$$



Hình 1. *Quan hệ giữa các ứng suất chính lớn nhất và nhỏ nhất cho các tiêu chuẩn Hoek - Brown và Mohr - Coulomb tương đương*

2. Nghiên cứu xác định đặc trưng cơ học của khối đá san hô bằng phần mềm Roclab

2.1 Thông số đầu vào của phần mềm Roclab

Phương trình (1) sẽ có ba tham số cần phải xác định để tìm ra lời giải. Trong việc tìm lời giải đánh giá cường độ của khối đá nứt nẻ Hoek-Brown nhận thấy có thể xác định các thông số m_b, a, và S bằng cách đo đạc và quan sát các khối đá, các thông số này có ý nghĩa tương tự các tham số được Bieniawski và Barton đề cập trong các phân loại khối đá của họ. Do đó Hoek và Brown đã kiến nghị dùng các giá trị điểm số phân loại chất lượng khối đá RMR của Bieniawski và Q của Barton để xác lập các giá trị m_b, a, và S [2]. Phần mềm Roclab được xây dựng trên cơ sở tiêu chuẩn Hoek-Brown là một trong những phần mềm xác định chỉ tiêu cơ học của khối đá phổ biến nhất sử dụng hệ thống phân loại theo Q và RMR.

- Phần mềm Roclab chứa đựng toàn bộ các biểu thức, cho phép tính toán các giá trị chỉ tiêu cơ lý của khối đá. Thông số đầu vào cho phần mềm Roclab như sau:

- Các giá trị m_b, a, và S đánh giá bằng các phương trình thực nghiệm (3), (6) và (7);

- Cường độ kháng nén một trục của mẫu đá nguyên vẹn σ_c và hằng số vật liệu đá m_i được xác định bằng các thí nghiệm trong phòng;

- σ_{ci}: Cường độ kháng nén một trục của mẫu đá ở trạng thái bão hòa, (MPa);

- GSI: Chỉ số độ bền địa chất của khối đá, xác định theo công thức:

$$GSI = RMR - 5$$

- m_i - Hệ số Hoek-Brown đặc trưng cho từng loại đá, đá càng cứng và hạt càng thô thì giá trị m_i càng cao. Hằng số m_i được xác định bằng thí nghiệm nén 3 trục hoặc tra bảng; Do không có các thí nghiệm ba trục đối với mẫu đá, vị vậy giá trị hằng số vật liệu đá m_i được tra bảng.

- D: Hệ số tác động của biện pháp thi công đối với mức độ nguyên vẹn của khối đá;

- Tính toán cho nền đá chọn mục Application - Custom - (nhập giá trị ứng suất ngang cực đại σ_{3max} (Mpa)):

$$\sigma_{3\max} = \gamma H$$

γ_c: Dung trọng khô của khối đá - Unit weight (Mpa).

- Tính toán cho tuynel chọn mục: Application - Tunnels - Nhập giá trị dung trọng khô của khối đá - Unit weight (Mpa) và chiều sâu của tuyến tuynel - Tuynel depth (m);

- Tính toán cho mái dốc chọn mục: Application - Slopes - Nhập giá trị dung trọng khô của khối đá - Unit weight (Mpa) và chiều cao của mái dốc - Slope Height (m).

2.2 Thông số đầu ra của phần mềm Roclab

Phần mềm Roclab sẽ tính toán và cung cấp các kết quả sau:

- Giá trị hệ số Hoek-Brown (Hoek-Brown criterion): m_b, S và a;

- Chỉ tiêu kháng cắt của khối đá: (Mohr-Coulomb fit) bao gồm:

+ Giá trị lực dính kết C (Cohesion, Mpa);

+ Giá trị góc ma sát trong (Friction angle, deg).

- Chỉ tiêu cơ học của khối đá (Rock mass parameters) bao gồm:

+ Giá trị cường độ kháng cắt σ_t (Tensile strength, Mpa);

+ Giá trị cường độ kháng nén một trục của trụ đá σ_c (Unixial compressive Strength, Mpa);

+ Giá trị cường độ kháng nén của khối đá σ_c (Global Strength, Mpa);

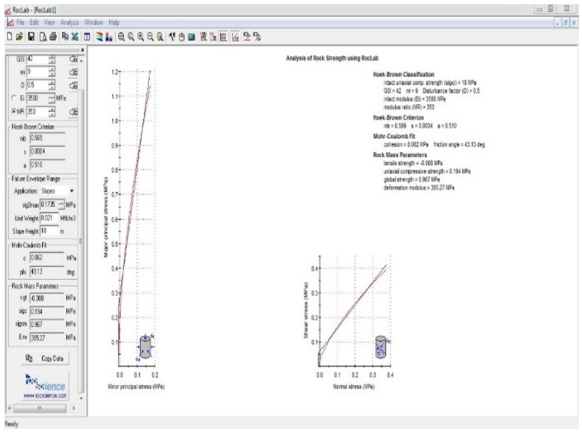
+ Modul tổng biến dạng (Modulus of deformation, Mpa).

- Các đồ thị kháng nén và kháng cắt: cho phép hiển thị (và không hiển thị) đường quan hệ theo tiêu chuẩn của Mohr - Colomb, các giá trị σ_1, σ_3, σ_n, C', φ'.....[5].

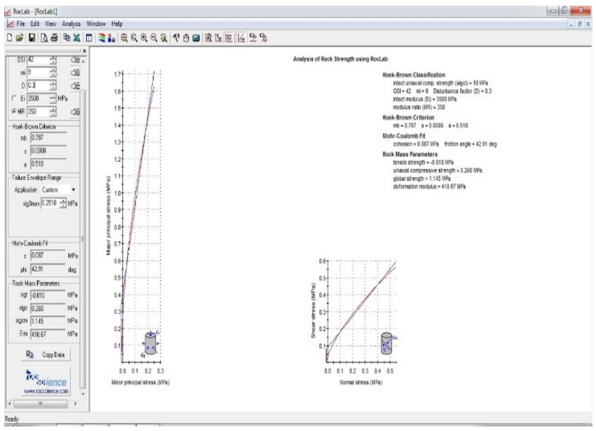
2.3 Ứng dụng phần mềm Roclab tính toán các đặc trưng cơ học khối đá san hô

San hô phát triển trong môi trường biển, chịu tác động của bức xạ nhiệt, năng lượng gió lớn. Do vậy, khối đá san hô được hình thành ở dưới sâu, trong điều kiện ngập nước, chịu các tác nhân phong hóa như nhiệt độ, nước biển, không khí, gió. Các tác nhân trên làm cho phong hóa hóa học và vật lý phát triển, các quá trình oxy hóa, thủy phân làm cho các trầm tích san hô bị biến đổi về màu sắc, hình dạng, kích thước và thành phần.

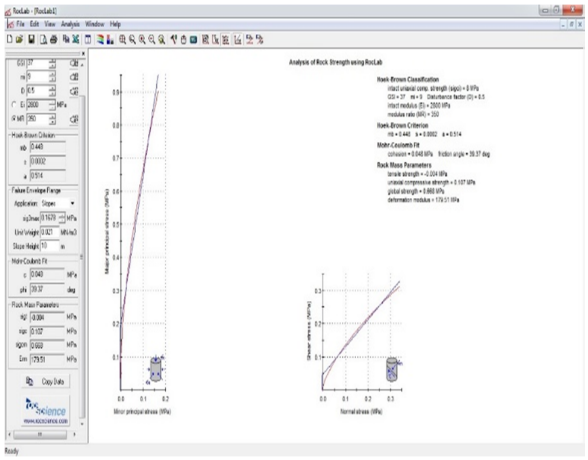
Dưới đây, ứng dụng phần mềm Roclab tính toán các đặc trưng cơ học khối đá san hô tương ứng với điều kiện hình thành của chúng, kết quả được thể hiện từ hình 2 đến hình 5 và bảng 1 đến bảng 2.



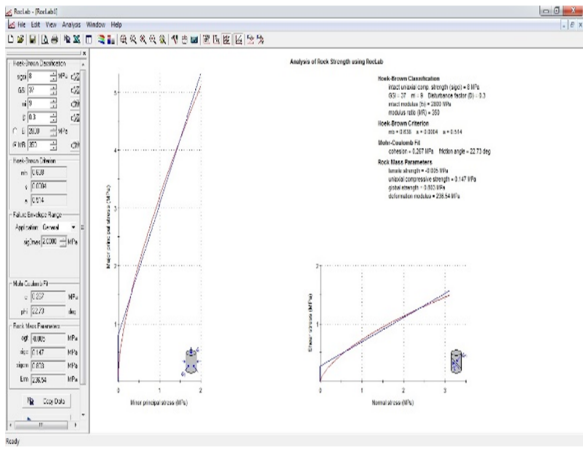
Hình 2. *Cường độ khối đá vôi san hô phong hóa vừa cho nền công trình đảo Trường Sa lớn*



Hình 3. *Cường độ khối đá vôi san hô phong hóa vừa cho mái dốc công trình đảo Trường Sa lớn*



Hình 4. *Cường độ khối đá vôi san hô phong hóa vừa cho nền công trình đảo Đá Tây*



Hình 5. *Cường độ khối đá vôi san hô phong hóa vừa cho mái dốc công trình đảo Đá Tây*

Bảng 1. *Tính toán giá trị tính toán chỉ tiêu cơ lý của khối đá*

TT	Các thông số	Đơn vị	Đá vôi san hô Trường Sa lớn		Đá vôi san hô Đảo Đá Tây	
			Lớp 7 - phong hóa vừa		Lớp 7 - phong hóa vừa	
			Giá trị	Cho điểm	Giá trị	Cho điểm
A	Xác định RMR_{89} của khối đá (theo Bieniawski 1989)					
1	Cường độ kháng nén mẫu đá ở trạng thái bão hoà 1KG/cm^2 = 0.09807Mpa	Mpa	10	2	8	2
2	Giá trị RQD	%	60	13	40	8
3	Bước của khe nứt	m	0.05	5	0.03	5
4	Đặc điểm của mặt khe nứt					
	A = Rất nhám, kín, không phong hoá		c	20	c	20
	B = Hơi nhám, khe nứt rộng <1mm, phong hoá nhẹ					
	C = Hơi nhám, khe nứt rộng <1mm, phong hoá mạnh					
	D = Phẳng nhẵn, có lấp nhét, khe nứt rộng từ 1 - 5mm					
	E = Khe nứt tạo rãnh mềm rộng >5mm, liên tục					
5	Nước ngầm					
	Lượng nước chảy trên 10m đường hầm, q_{10} =	l/ph				
	Áp lực nước khe nứt /ứng suất chính lớn nhất					
	Điều kiện của nước trong khe nứt					
	A = Khô		c	7	c	7
	B = Ẩm					
	C = Ướt					
	D = Chảy giọt					
	E = Chảy dòng					
	Cộng A = RMR_{89}			47		42

Bảng 2. *Tính toán giá trị tính toán chỉ tiêu cơ lý của khối đá (tiếp)*

TT	Các thông số	Đơn vị	Đá vôi san hô Trường Sa lớn		Đá vôi san hô Đảo Đá Tây	
			Lớp 7 - phong hóa vừa		Lớp 7 - phong hóa vừa	
			Giá trị	Cho điểm	Giá trị	Cho điểm
B	Tính toán theo RocLab					
1	Cường độ kháng nén mẫu đá ở trạng thái bão hoà 1KG/cm2 = 0.09807Mpa	Mpa	10		8	
2	Giá trị GSI = RMR89 - 5		42		37	
3	Giá trị mi (Phụ thuộc loại đá): Đá vôi		9	Đá vôi	9	Đá vôi
4	Tính toán cho nền					
	Yếu tố phá huỷ D		0.3		0.3	
	Ứng suất ngang cực đại $\sigma'_{3max} = \gamma H$ (lấy H=10)	Mpa	0.251		0.251	

5	Tính toán cho mái dốc					
	Yếu tố phá huỷ D		0.5		0.5	
	Chiều cao mái dốc trung bình	m	10		10	
	Dung trọng $1T/m^3 = 9.807KN/m^3 = 0.09807MN/m^3$	MN/m^3	0.021		0.021	
C	Kết quả tính toán					
1	Tính toán cho nền					
	Lực dính	MPa	0.087		0.267	
	Góc ma sát	độ	42.91		22.73	
	Cường độ kháng nén một trục của trụ đá	MPa	0.26		0.147	
	Cường độ kháng nén của khối đá	MPa	1.145		0.803	
	Moduyn biến dạng	Mpa	410.67		236.54	
2	Tính toán cho mái dốc					
	Lực dính	MPa	0.062		0.048	
	Góc ma sát	độ	43.13		39.37	
	Cường độ kháng nén một trục của trụ đá	MPa	0.194		0.107	
	Cường độ kháng nén của khối đá	MPa	0.967		0.668	
	Moduyn biến dạng	Mpa	305.27		179.51	

3. Kiến nghị

Từ kết quả xác định các đặc trưng cơ học của khối đá bằng nhiều phương pháp khác nhau đã trình bày ở trên cho phép chúng ta kiến nghị giá trị tính toán các đặc trưng cơ học của khối đá san hô như sau:

Bảng 3. *Kiến nghị giá trị tính toán chỉ tiêu cơ học của khối đá*

TT	Các thông số	Đơn vị	Đá vôi san hô Trường Sa lớn	Đá vôi san hô Đá Tây
			Lớp 7 - phong hóa vừa	Lớp 7 - phong hóa vừa
1	**Tính toán cho nền**			
	Lực dính	kG/cm^2	0.9	3.0
	Góc ma sát	độ	43.0	23.0
	Cường độ kháng nén	kG/cm^2	11.50	8.00
	Moduyn biến dạng	kG/cm^2	4100	2400
2	**Tính toán cho mái dốc**			
	Lực dính	kG/cm^2	0.6	0.5
	Góc ma sát	độ	43.0	39.0
	Cường độ kháng nén	kG/cm^2	9.70	6.70
	Moduyn biến dạng	kG/cm^2	3100	1800

Khối đá có các mặt cấu trúc rất khác nhau. Ứng suất tự nhiên của khối đá chịu tác động của quá trình phong hóa. Do đó để có được các thông tin phục vụ xác định chính xác các đặc trưng cơ học của khối đá cần chú ý đến các vấn đề sau:

- Khi nghiên cứu các đặc trưng cơ học của khối đá cần nghiên cứu đầy đủ các yếu tố đặc trưng của khối đá như: đặc điểm phong hóa, nước trong khối đá và ứng suất tự nhiên;

- Khi nghiên cứu để phân loại chất lượng khối đá, việc phân loại chất lượng khối đá trong trường hợp không có công trình thăm dò thì quan trọng nhất là phải xác định RQD của đá;

- Phần mềm RocLab được xác lập trên cơ sở kết hợp nghiên cứu nhiều khối đá của các nước trên thế giới, nhưng bước đầu mới được tiếp cận và sử dụng trên cơ sở một số khối đá ở nước ta. Ở nước ta thí nghiệm 3 trục đối với mẫu đá còn hạn chế, nên việc xác định hệ số Hoek-Brown m_i vẫn phải tra bảng. Cần có thí nghiệm 3 trục mẫu đá để có giá trị m_i xác thực hơn;

- Phần mềm Roclab mới được ứng dụng vào nước ta, nên các kết quả so sánh với các phương pháp khác chưa nhiều, vì vậy, cần phải nghiên cứu áp phần mềm này trong nhiều công trình xây dựng trên các khối đá khác nhau ở nước ta để liên tục cập nhật các thông tin và hoàn thiện phương pháp, phù hợp với điều kiện khối đá ở Việt Nam. Từ đó có thể áp dụng rộng rãi phương pháp này trong thiết kế khối đá làm nền móng công trình khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Quang Phích (2000), Lý thuyết cơ học khối đá nguyên khối và nứt nẻ, *Trường Đại học Mỏ địa chất, Hà Nội.*
2. Phan Thế Thọ (2016), Nghiên cứu xác định đặc trưng cơ học của khối đá nền đập công trình thủy điện Lông Tạo, tỉnh Điện Biên bằng phần mềm Roclab và kiến nghị sử dụng kết quả trong thiết kế thi công công trình, *luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ địa chất - Hà Nội.*
3. Hoek E. and Brown E.T (1983), Strengh of jointed rock masses, *bài giảng Rankine năm 1983.*
4. Hoek-Brown Failure Criterion (2006) Edition by Evert Hoek, Carlos Caranza-Torres and Brent Corkum.
5. Roclab - User's guide for Rock mass Strength analysis using the Hoek-Brown criterion software, 2002.

Ngày nhận bài: 10/4/2018.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 17/5/2018.