

# NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH HỆ SỐ VẬT LIỆU HOEK - BROWN ( $m_i$ ) CỦA ĐÁ SAN HỒ NỨT NẸ BẰNG CÁC KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM BA TRỤC

ThS. NGUYỄN QUÝ ĐẠT, KS. TRẦN VĂN CƯỜNG

Học viện Kỹ thuật Quân sự

*Tóm tắt: Bài báo trình bày phương pháp xác định hệ số vật liệu  $m_i$  của đá san hô bằng hệ thống thí nghiệm ba trục. Hệ số  $m_i$  thường được xác định bằng phương pháp tra bảng hoặc xác định giá trị theo kinh nghiệm, việc ứng dụng hệ thống thí nghiệm ba trục đá sẽ giúp việc xác định  $m_i$  cho cơ sở xác định chính xác hơn. Kết quả của bài báo có ý nghĩa thực tiễn trong việc nghiên cứu khi đưa ra khuyến nghị giá trị  $m_i$  của mẫu đá san hô dựa trên kết quả thí nghiệm mẫu thực tế.*

*Abstract: The paper presents a method to determine the Hoek-Brown material constant  $m_i$  of the coral rock using triaxial test systems. The  $m_i$  has been recently determined by using a reference table or experience, therefore using triaxial test systems on rock specimens helps determine the  $m_i$  for determined basis more exactly. The results presented in this paper have practical meaning for research, proposing the  $m_i$  of coral specimen based on results of reality experimental samples.*

## Đặt vấn đề:

Hệ số  $m_i$  là thông số quan trọng để sử dụng tiêu chuẩn Hoek-Brown trong tính toán chỉ tiêu cơ học của khối đá. Nó được xác định bằng thí nghiệm nén ba trục đá, tuy nhiên, nhiều dự án không có đủ kết quả thí nghiệm 3 trục hoặc để đơn giản ước lượng giá trị  $m_i$  bằng tra bảng tham khảo. Cách thức này chỉ giới hạn trong một số loại đá và dựa vào giá trị cường độ kháng nén một trục của đá do thiết bị thí nghiệm ba trục đá tại Việt Nam vẫn còn hạn chế và loại đá được thí nghiệm chủ yếu lấy tại những thực địa nơi xây dựng dự án. Tập hợp kết quả lớn và nhiều chủng loại thường ở các dự án lớn như: thủy điện Cửa Đạt - Thanh Hóa, thủy điện Se San 3. Đối với đá san hô, loại đá khá đặc biệt từ nguồn gốc thành tạo chưa được nghiên cứu nhiều do vùng phân bố đá san hô ở ngoài khơi, điều kiện nghiên cứu khó khăn.

Mẫu thí nghiệm được nghiên cứu trong bài báo được lấy ở trong hố khoan ngoài hiện trường trên lớp đá san hô. Việc xác định các chỉ tiêu về đặc trưng cơ học của khối đá san hô cần thiết cung cấp số liệu thiết kế. Thí nghiệm hiện trường trên nền đá

san hô trong điều kiện ngoài đảo xa khó thực hiện, do đó nghiên cứu xác định trên số liệu thí nghiệm trong phòng. Việc tính toán các chỉ tiêu cơ học của khối đá lấy theo tiêu chuẩn TCVN 4253:2012 dựa trên độ bền nén mẫu đá, việc thí nghiệm này chưa hoàn toàn đặc trưng được cho khối đá. Phương pháp dựa theo tiêu chuẩn Hoek - Brown, một phương pháp phổ biến khác tính toán các đặc trưng cơ học trong đó phù hợp với khối đá san hô, dựa trên lý thuyết thực nghiệm chặt chẽ, logic, phù hợp với ứng xử phá hoại giòn của vật liệu đá. Phương pháp này đã được áp dụng ở một số công trình thủy điện, công trình ngầm trong nước.

Sử dụng tiêu chuẩn Hoek-Brown, để xác định cường độ và biến dạng của khối đá nói chung, cần tính đến ba tính chất của khối đá đó là: cường độ kháng nén một trục của các mẫu đá, chỉ số độ bền địa chất GSI và hệ số vật liệu Hoek-Brown  $m_i$ . Bài báo trình bày phương pháp xác định  $m_i$  của đá san hô, đây là hệ số quan trọng đòi hỏi được xác định bằng hệ thống thí nghiệm ba trục trên mẫu đá.

## 1. Tổng quan về hệ số vật liệu trong 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. 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. 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]. Xác định  $m_i$  sử dụng phương trình của tiêu chuẩn Hoek-Brown:

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

trong đó:

$\sigma_1, \sigma_3$  - ứng suất chính lớn nhất và nhỏ nhất tại thời điểm phá hủy trong thí nghiệm nén 3 trục;

$\sigma_{ci}$  - cường độ kháng nén một trục của vật liệu đá nguyên vẹn lấy từ khối đá được tạo thành;

s, a - hằng số phụ thuộc vào đặc tính của khối đá; giá trị s nằm trong khoảng từ 0 với khối đá nứt

- với  $GSI > 25$  thì:  $s = \exp[(GSI - 100)/(9 - 3D)]$ ;  $a = 0.5$ ;

- với  $GSI < 25$  thì:  $s = 0$ ;  $a = 0.65 - GSI/200$ ;

- với  $GSI = 100$  thì:  $s = 1$  (khi khối đá nguyên trạng);  $a = 1/2 + 1/6(e^{-GSI/15} - e^{-20/3})$ .

GSI (Geological Strength Index): chỉ số độ bền địa chất khối đá, sử dụng cho việc đánh giá độ bền khối đá trong các điều kiện địa chất khác nhau.

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

$m_b$  - hệ số Hoek-Brown cho khối đá phụ thuộc từng loại đá (theo hệ số vật liệu  $m_i$ ):

$$m_b = m_i \exp[(GSI - 100)/(28 - 14D)] \quad (2)$$

Hệ số vật liệu  $m_i$  xác định từ thí nghiệm 3 trục mẫu đá nguyên vẹn lấy từ khối đá tạo thành.

Từ công thức (1) và (2) cho thấy mối quan hệ giữa các ứng suất chính tại thời điểm phá hoại của đá và vai trò của hệ số  $m_i$  trong tiêu chuẩn Hoek-Brown và cần được xác định bằng phân tích kết quả của thí nghiệm ba trục trên mẫu đá. Ngoài ra, hệ số  $m_i$  còn gây ảnh hưởng đến hình dạng của đường bao phá hoại Mohr và góc ma sát tức thời của đá ở các mức ứng suất pháp hiệu quả khác nhau.

Với đặc điểm đá san hô, có  $GSI = 42$ , để xác định  $m_i$  sử dụng công thức:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + (m_i \sigma_{ci} \sigma_3 + s \sigma_{ci}^2)^{1/2} \quad (3)$$

Với 5 hoặc nhiều hơn kết quả thí nghiệm ba trục trên mẫu đá thu nhận được, chúng có thể được phân tích để xác định cường độ kháng nén một trục  $\sigma_{ci}$  và hệ số Hoek-Brown  $m_i$  như mô tả bởi Hoek và Brown (1980). Thí nghiệm nén được thực hiện với cấp áp lực hông được chọn trong khoảng  $0 < \sigma_3 < 0.5\sigma_{ci}$ . Trong phân tích này, phương trình (3) được viết lại dưới dạng sau [2]:

$$y = m_i \sigma_{ci} x + s \sigma_{ci}^2 \quad (4)$$

trong đó:  $x = \sigma_3$  và  $y = (\sigma_1 - \sigma_3)^2$

• Cho n mẫu, với mẫu đá nguyên vẹn  $s = 1$ , cường độ kháng nén một trục  $\sigma_{ci}$  và hệ số vật liệu  $m_i$  được tính theo các công thức dưới đây:

$$\sigma_{ci}^2 = \frac{\sum y}{n} - \frac{\left[ \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} \right] \frac{\sum x}{n}}{\quad} \quad (5)$$

$$m_i = \frac{1}{\sigma_{ci}} \left[ \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} \right] \quad (6)$$

nê đến 1 với vật liệu đá nguyên vẹn. s được tính như sau:

Hệ số xác định  $r^2$ :

$$r^2 = \frac{[\sum xy - (\sum x \sum y/n)]^2}{[\sum x^2 - (\sum x)^2/n][\sum y^2 - (\sum y)^2/n]} \quad (7)$$

Dữ liệu thí nghiệm chất lượng cao sẽ thường sẽ cho hệ số xác định  $r^2$  lớn hơn 0.9.

• Trường hợp đá vỡ hoặc nứt nê mạnh, giá trị của hệ số  $m_i$  được tính theo phương trình:

$$s = \frac{1}{\sigma_{ci}^2} \left[ \frac{\sum y}{n} - m_i \sigma_{ci} \frac{\sum x}{n} \right] \quad (8)$$

Khi giá trị s gần bằng không, phương trình (1.6) đôi khi sẽ cho giá trị âm, trong trường hợp này đặt  $s = 0$  và tính hệ số  $m_i$  như sau:

$$m_i = \frac{\sum y}{\sigma_{ci} \sum x} \quad (9)$$

## 2. Mẫu đá san hô nghiên cứu

San hô là lớp động vật, có bộ khung xương cứng cấu tạo từ các ô vôi ( $CaCO_3$ ) do các cá thể san hô tạo ra trong quá trình sống. Các quần thể san hô chỉ phát triển ở vùng biển nhiệt đới, nước trong sạch, độ mặn vừa phải (34 - 36‰) và nhiệt độ trung bình năm không dưới  $18^\circ C$ . Những san hô sống không nhô cao hơn mặt nước triều xuống và không sâu dưới 50m, chúng được phát triển mạnh ở độ sâu không quá 10m. Ở độ sâu lớn, thức ăn và ôxy cần thiết cho sự hô hấp của san hô không còn nữa, chúng sẽ bị chết. Bộ khung xương còn lại của chúng tạo nên những đảo hình vành khuyên, hình móng ngựa và các rạn chắn có quy mô khác nhau.

Các loại đá vôi thông thường có thành phần chủ yếu là canxit hoặc dolomit, thì đá san hô là một loại đá vôi nhưng có thành phần khoáng vật là aragonit và canxit. Do trong quá trình kiến tạo tầng trầm tích đá, tinh thể aragonit bị canxit hoá và các hạt canxit đóng vai trò là xi măng gắn kết; kết quả phân tích thành phần thạch học trong đá san hô cho thấy thành phần cacbonat chiếm tỷ lệ trung bình là 80%. Ngoài ra, khối đá san hô còn chịu tác động mạnh của quá trình phong hóa và điều kiện thành tạo từ nhiều loại san hô khác nhau dẫn đến đá có tính bất đồng nhất cao và độ lỗ rỗng lớn.

Trong quá trình tồn tại và phát triển, các đảo san hô đã trải qua nhiều lần nâng hạ do chuyển động kiến tạo của vỏ Trái đất tương ứng với các

## ĐỊA KỸ THUẬT - TRẮC ĐỊA

chu kỳ phát triển và diệt vong của quần thể san hô. Sự thành tạo các lớp đá san hô có liên quan mật thiết với sự dao động của mực nước biển.

Đá san hô này nằm chủ yếu ngoài khơi trên các đảo san hô với điều kiện lấy mẫu rất khó khăn; hiện nay đã thực hiện được lỗ khoan đạt tới độ sâu 60m. Hình trụ địa chất phổ biến trên các đảo san hô từ trên xuống dưới bao gồm các lớp sau:

Lớp 1: Cát san hô, độ dày 0.8m – 1.0m;

Lớp 2: Cành nhánh san hô lẫn cát sạn, tầng san hô, độ dày 12.5m – 15m;

Lớp 3: Đá vôi san hô màu trắng xám, xám vàng, độ dày khoảng 44m chưa kết thúc lớp.

Tầng đá san hô được hình thành chủ yếu từ quá trình canxit hoá các tinh thể aragonit, hầu hết các tinh thể aragonit được thay thế bằng các tinh

thể canxit để trở thành đá vôi san hô. Lớp này phân bố tương đối ổn định, độ sâu gặp lớp từ 11.2 – 15.0m, bề dày lớp tương đối lớn; cấu tạo đá khá vững chắc, nhưng có độ rỗng lớn (10 – 20%), được lấp nhét bởi dăm, sạn, cát san hô, cấu tạo khối.

Kết quả phân tích thạch học mẫu đá cho thấy thành phần chủ yếu là carbonat dạng ẩn tinh, vi hạt đi cùng tập hợp có màu phớt xám nâu (thành phần sét và vật chất hữu cơ), đa phần chúng thay thế giả hình cho phần xương của sinh vật, một số nơi vẫn quan sát rõ phần carbonat thay thế cho các vách ngăn có dạng tỏa tia của cá thể san hô hoặc một vài mảnh sinh vật có dạng lưới liềm không hoàn chỉnh.

Các chỉ tiêu cơ lý trung bình của lớp theo thí nghiệm trong phòng như trong bảng 1.

**Bảng 1. Tổng hợp các chỉ tiêu cơ lý trung bình của đá san hô**

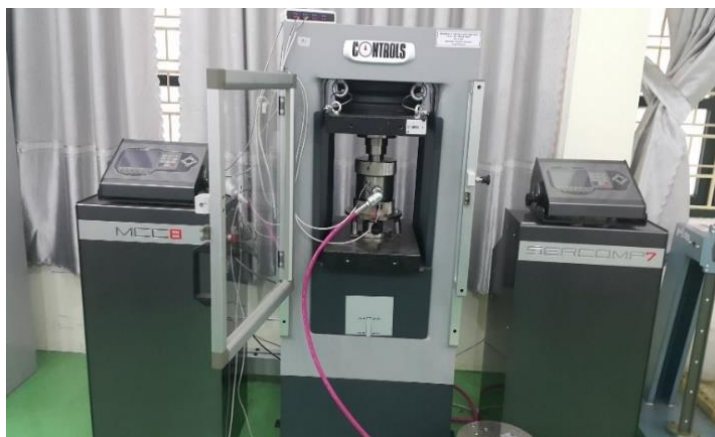
Tên chỉ tiêu		Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị trung bình
Độ ẩm bão hòa		W	%	6.88
Khối lượng thể tích	khô	$\gamma_c$	g/cm <sup>3</sup>	2.21
	bão hòa	$\gamma_{bh}$		2.36
Khối lượng riêng		$\gamma_s$	g/cm <sup>3</sup>	2.72
Độ rỗng	hở	$n_h$	%	15.18
	tổng	$n_t$		18.81
Cường độ kháng nén	khô	$\sigma_n^k$	kG/cm <sup>2</sup>	79.2
	bão hòa	$\sigma_n^{bh}$		60.0
Cường độ kháng kéo		$\sigma_k$	kG/cm <sup>2</sup>	14.0
Hệ số biến mềm		K		0.76
Môđun đàn hồi	khô	$E \times 10^4$	kG/cm <sup>2</sup>	0.49
	bão hòa			0.37
Môđun tổng biến dạng	khô	$E_o \times 10^4$	kG/cm <sup>2</sup>	0.40
	bão hòa			0.30

### 3. Thí nghiệm ba trục trên mẫu đá nghiên cứu

#### 3.1 Thiết bị thí nghiệm và qui trình thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện trên hệ thống thí nghiệm ba trục (Triaxial test system) của hãng

Controls của Ý. Hệ thống bao gồm ba bộ phận chính là khung nén, thiết bị tạo áp lực hông và thiết bị gia tải thẳng đứng (hình 1). Các phụ kiện đi kèm bao gồm: buồng ba trục, bộ dụng cụ tạo mẫu và gắn tem điện trở đo biến dạng mẫu.



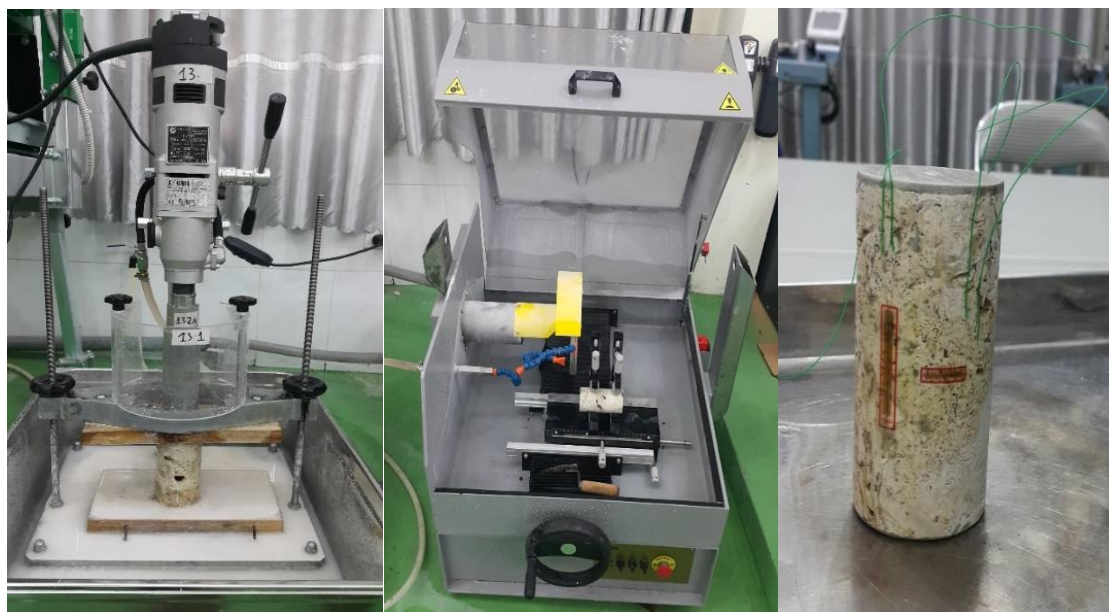
**Hình 1. Hệ thống thí nghiệm ba trục đá**

## ĐỊA KỸ THUẬT - TRẮC ĐỊA

Qui trình thí nghiệm bao gồm các bước:

Bước 1. Chế bị mẫu và gắn biến trở đo biến dạng. Mẫu đá san hô được khoan, cắt đảm bảo độ vuông trục của mặt mẫu và mài mẫu tiêu chuẩn

hình trụ đường kính 54mm và chiều cao mẫu 108mm. Mẫu được đánh dấu vị trí gắn biến trở đo biến dạng dọc trục và biến dạng ngang. Kiểm tra hoạt động của biến trở bằng ôm kế (hình 2).



a) Máy khoan lõi đá

b) Máy cắt, mài mẫu đá

c) Mẫu đá sau khi chế bị

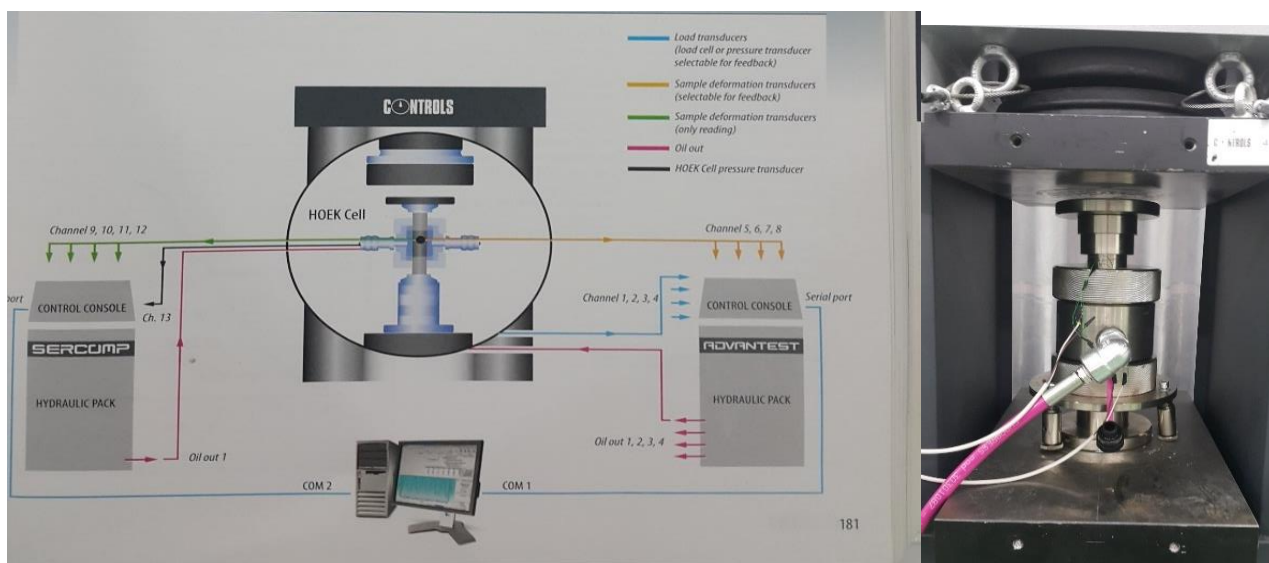
Hình 2. Chế bị mẫu thí nghiệm

Bước 2. Lắp đặt thí nghiệm: Tiến hành lắp mẫu vào buồng 3 trục, cài đặt phần mềm điều khiển và kết nối buồng gia tải đứng với máy tính, thiết lập các thông số thí nghiệm.

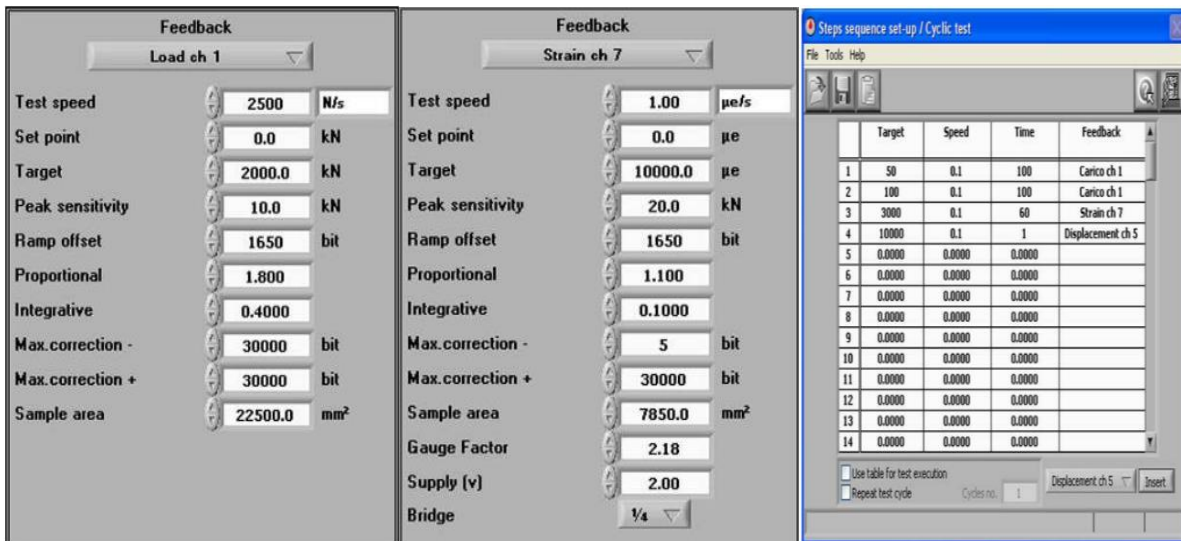
Sơ đồ kết nối hệ thống thí nghiệm ba trục với máy tính được thể hiện ở hình 3 (có thể tham khảo

thêm cách lắp đặt theo các tiêu chuẩn khác nhau trên website của controlgroup [7]).

Trong quá trình lắp mẫu vào buồng nén ba trục cần kiểm tra lại điện trở, mở phần mềm trước và bật thiết bị buồng gia tải kết nối với máy tính. Sau đó mới thiết lập các thông số đầu vào của máy và điền các thông số của tem đo biến dạng mẫu đá (hình 3 và 4).



Hình 3. Sơ đồ kết nối hệ thống thí nghiệm và mẫu trong buồng nén sau khi lắp đặt

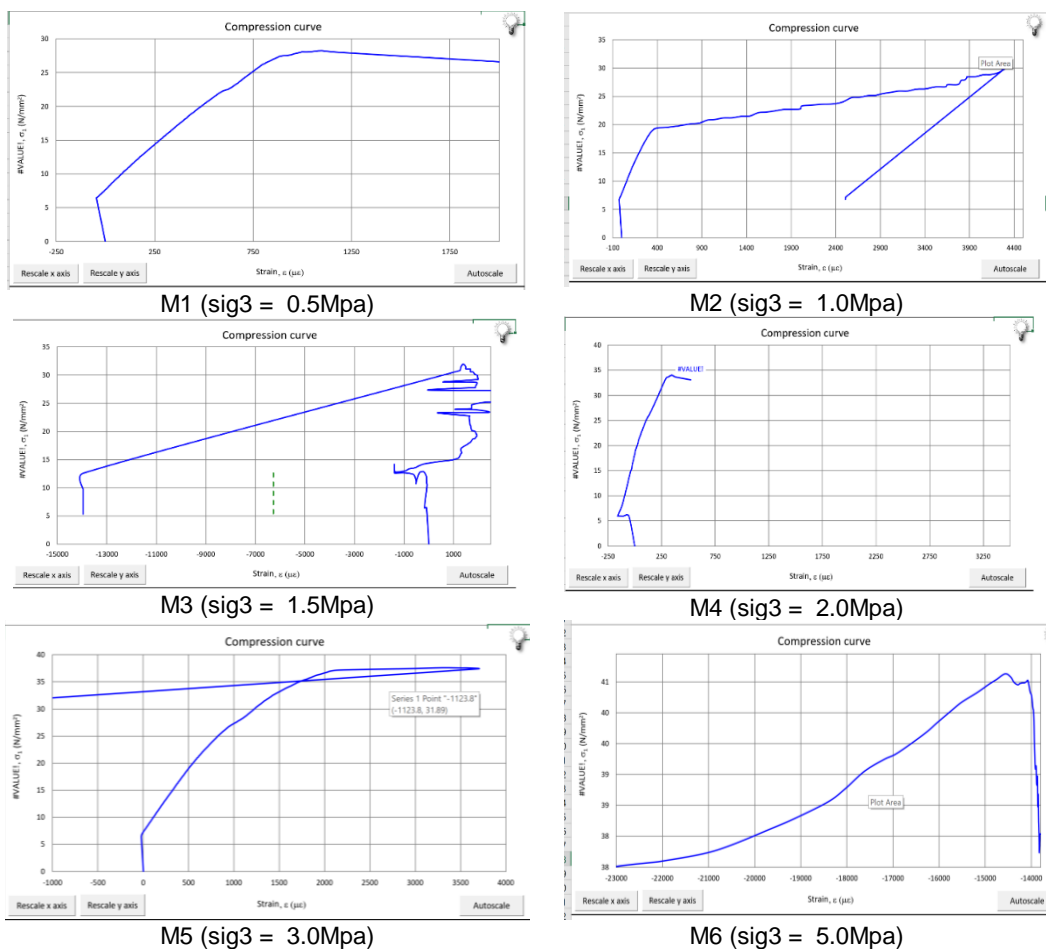


**Hình 4.** Thiết lập thông đầu vào, kiểm soát tải và biến dạng

Bước 3. Tiến hành thí nghiệm: tạo áp lực thẳng đứng ban đầu khi đầu gia tải tiếp xúc mẫu, tạo áp lực hông theo nguyên tắc  $0 < \sigma_3 < 0.5\sigma_{ci}$  và tiến hành tăng tải thẳng đứng đến khi mẫu phá hủy. Kết quả thí nghiệm thể hiện ở mục 2.2.

Kết quả thí nghiệm các mẫu đá nghiên cứu được thể hiện thông qua biểu đồ quan hệ ứng suất – biến dạng; bảng chỉ tiêu cơ học: modun biến dạng, hệ số poisson, ứng suất chính lớn nhất và nhỏ nhất tại thời điểm mẫu phá hủy trong hình 5.

**3.2 Kết quả thí nghiệm**



**Hình 5.** Biểu đồ ứng suất biến dạng ứng với áp lực hông khác nhau



**4. Xác định hệ số vật liệu  $m_i$  sử dụng kết quả thí nghiệm ba trục**

Kết quả thí nghiệm ba trục đá cho các dữ liệu về ứng suất chính lớn nhất  $\sigma_1$  và ứng suất chính nhỏ nhất  $\sigma_3$  tại thời điểm phá hủy mẫu. Do đá san hô là loại đá có tính nứt nẻ vừa đến mạnh nên để xác định  $m_i$  cần bổ sung các thông số hệ số Hoek-Brown  $s$ , chỉ số độ bền địa chất GSI, hệ số xáo động  $D$  (sử dụng phương pháp tra bảng kinh

nghiệm) và cường độ kháng nén một trục của mẫu đá.

Sử dụng các công thức (8) để tính  $m_i$  [2], [3]:

$$s = \frac{1}{\sigma_{ci}^2} \left[ \frac{\sum y}{n} - m_i \sigma_{ci} \frac{\sum x}{n} \right]$$

trong đó:  $s = \exp[(GSI - 100)/(9 - 3D)]$

$$r^2 = \frac{[\sum xy - (\sum x \sum y/n)]^2}{[\sum x^2 - (\sum x)^2/n][\sum y^2 - (\sum y)^2/n]}$$

Kết quả thí nghiệm như sau:

**Bảng 2. Kết quả tính toán các giá trị  $x, y$  phục vụ xác định  $m_i$**

TT	$x = \sigma_3$	$\sigma_1$	$y = (\sigma_1 - \sigma_3)^2$	xy	$x^2$	$y^2$
	(MPa)	(MPa)				
1	0.5	28.26	770.62	385.309	0.25	593851.5
2	1.0	30.01	841.58	841.580	1.00	708257.1
3	1.5	31.89	923.55	1385.328	2.25	852948.5
4	2.0	34.05	1027.20	2054.405	4.00	1055145.0
5	3.0	37.58	1190.25	3570.750	9.00	1416695.1
6	5.0	40.68	1273.06	6365.312	25.00	1620687.9
Tổng	13		6026.26	14602.68	41.50	6247584.94

Kết quả xác định các thông số:  $n = 6$ ;  $\text{sigci} = 27.4$ ;  $D = 0.7$ ;  $S = 0.00022$ ;  $GSI = 42$  và hệ số vật liệu  $m_i = 16.88$  theo kết quả tập hợp số liệu thí nghiệm với hệ số độ tin cậy  $r^2 = 0.919$ .

**5. Kết luận và kiến nghị**

Từ kết quả thí nghiệm ba trục trên mẫu đá san hô, đã xác định được hệ số vật liệu đại diện  $m_i = 16.88$ . Kết quả này đóng vai trò quan trọng trong việc tính toán các thông số tính chất cơ học của khối đá theo tiêu chuẩn Hoek-Brown.

Số liệu của đá san hô còn khá khiêm tốn, do vậy bài báo này góp phần bổ sung giá trị hệ số vật liệu đối với loại đá san hô vào trong bảng kinh nghiệm xác định hệ số vật liệu cho các loại đá. Điều này có ý nghĩa khoa học khi nghiên cứu các đặc trưng cơ học của khối đá san hô phục vụ thiết kế và xây dựng công trình trên loại nền đá này.

So sánh với giá trị tra bảng giá trị hệ số vật liệu  $m_i$  của đá vôi thông thường là 9÷12 thì với đá vôi san hô khoảng 16.88. Bằng việc kết hợp thí nghiệm ba trục trên mẫu đá và đánh giá về chất lượng khối đá ngoài hiện trường, kết quả sơ bộ ban đầu cho thấy sự giảm các giá trị  $m_i$  so với mức độ gia tăng khe nứt và mức độ phong hóa.

Tuy nhiên, để nâng cao độ chính xác khi xác định giá trị  $m_i$  và kiểm tra độ tin cậy của nhận định

trên, cần thí nghiệm trên số lượng mẫu đá lớn hơn. Mặt khác, do trầm tích san hô có tính bất đồng nhất cao nên cần tăng số mẫu đá được lấy tại các độ sâu lớn hơn và mở rộng thêm khu vực khảo sát để có tập hợp số liệu dày hơn, cho kết quả xác định hệ số vật liệu  $m_i$  có hệ số tin cậy cao.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. Nguyễn Quang Phích (2000), Lý thuyết cơ học khối đá nguyên khối và nứt nẻ, Trường Đại học Mở địa chất, Hà Nội.
2. Evert Hoek (2006), Practical Rock Engineering.
3. Hoek E. and Brown E.T (1983), Strength of jointed rock masses, bài giảng Rankine.
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.
6. Xia-Ting Feng (2017), Rock Mechanics and Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences.
7. <https://www.controls-group.com/eng/rock-mechanics-testing-equipment/automatic-uniaxial-and-triaxial-test-system.php>.

**Ngày nhận bài:** 17/6/2019.

**Ngày nhận bài sửa lần cuối:** 29/6/2019.