

## Analysis of rock masses behavior and shotcrete support with Mohr-Coulomb and Hoek-Brown failure criteria

Nhu Trang Do, Thanh Hung Nguyen, Van Quang Nguyen  
University of Transport Technology, Hanoi 100000, Vietnam

### Article info

#### Type of article:

Original research paper

#### \*Corresponding author:

E-mail address:

hungnt@utt.edu.vn

**Received:** 30/2/2022

**Accepted:** 30/9/2022

**Published:** 11/10/2022

**Abstract:** In underground construction due to the diversity of the rock mass and rock classification systems leading the different rock mass failure models are used to calculate and analyze the support system in the underground construction. The use of the criteria depends on the purpose of the evaluation and using the results in different application models. In this paper, the authors analyze and evaluate the two main standards that are most commonly applied, namely Mohr-Coulomb and Hoek-Brown, which are applied to the Deo Ca Road tunnel in the tunnel construction by NATM technology.

**Keywords:** failure criteria, rock masses, shotcrete, rock mass behaviour.

## Phân tích ứng xử của khối đá xung quanh hầm và bê tông phun theo các tiêu chuẩn phá hỏng Mohr-Coulomb và Hoek-Brown

Đỗ Như Tráng, Nguyễn Thanh Hưng, Nguyễn Văn Quang  
Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải, Hà Nội, Việt Nam

### Thông tin bài viết

Bài báo nghiên cứu

Tác giả liên hệ:

Địa chỉ E-mail:

hungnt@utt.edu.vn

Ngày nộp bài: 30/2/2022

Ngày chấp nhận: 30/9/2022

Ngày đăng bài: 11/10/2022

**Tóm tắt:** Trong các tiêu chuẩn xây dựng công trình ngầm trên thế giới và ở Việt Nam có nhiều hệ thống phân loại đất đá, từ đó có các mô hình đất đá khác nhau được sử dụng để tính toán, phân tích hệ thống chống đỡ trong công trình ngầm. Cách đánh giá và nhận định về kết quả áp dụng các mô hình cũng khác nhau. Trong bài báo này các Tác giả thực hiện phân tích đánh giá 2 tiêu chuẩn chính được áp dụng nhiều hơn cả là Mohr – Coulomb và Hoek-Brown được áp dụng cho hầm đường bộ Đèo Cả trong giai đoạn thi công theo công nghệ NATM.

**Từ khóa:** tiêu chuẩn phá hỏng, khối đá, bê tông phun, ứng xử của khối đá.

### 1. Đặt vấn đề

Các tiêu chuẩn-mô hình Mohr-Coulomb và Hoek-Brown ở Việt Nam đã được áp dụng nhiều trong công tác thiết kế chống công trình ngầm tại các Dự án thủy điện Sử pán, Sầm nưa ở phía Bắc, Quảng trị... [1][2] “Xác định chỉ tiêu cơ học khối đá công trình thủy điện Bình Điền theo tiêu chuẩn Nga (sử dụng tiêu chuẩn Mohr – Coulomb) và tiêu chuẩn Hoek Brown”. [1],[2],[3]). Trong công tác chống công trình ngầm nếu áp dụng quy trình, quy phạm Việt Nam (TCVN 9154:2012 Công trình thủy lợi – quy trình tính toán đường hầm thủy lợi) để thiết kế biện pháp chống tạm sẽ rất tốn kém.

Dưới đây là các tiêu chuẩn phá hủy Mohr – Coulomb (MC) và Hoek – Brown (HB):

#### Tiêu chuẩn phá hủy Mohr – Coulomb

Mô hình phá hủy Mohr –Coulomb được sử dụng rộng rãi để nghiên cứu khối đá ở trạng thái ứng suất ba trục. Tiêu chuẩn này đánh giá độ bền khối đá dựa trên hai thông số cơ bản là góc ma sát trong của đất  $\varphi$  và lực dính  $C$ . Một cách khái quát, phương trình ứng suất cắt có quan hệ tuyến tính với ứng suất pháp tuyến như sau:

$$\tau = C + \sigma_n \tan \varphi \quad (1)$$

$\tau$ : cường độ chống cắt của đất đá,  $\sigma_n$ : ứng suất pháp tuyến.  $\varphi$ : góc ma sát trong của đất đá.  $C$ : lực dính của đất đá (MPa).

Trong vùng dẻo, tiêu chuẩn Mohr – Coulomb có dạng sau:

$$\sigma_1 = \sigma_c + k\sigma_3 \quad (2)$$

trong đó  $\sigma_c = \frac{2C \cos \varphi}{1 - \sin \varphi}$ ;  $k = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$

#### Tiêu chuẩn Hoek – Brown

Mẫu đá được thí nghiệm dưới điều kiện tải trọng ba trục cho phép xác định các ứng suất phá hủy của đá. Theo Hoek –Brown, điều kiện phá hủy của mẫu đá nguyên khối theo quy luật parabol dưới đây:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \sqrt{m_i \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + 1} \quad (3)$$

Mối quan hệ giữa các ứng suất chính ở trạng thái bị phá hủy được xác định bằng hai thông số: độ bền nén một trục  $\sigma_{ci}$  và hằng số  $m_i$  là thông số phụ thuộc vào loại đá (thông thường thì  $5 \leq m_i \leq$

40). Cả hai thông số  $\sigma_{ci}$ ,  $m$  có thể được xác định bằng phân tích hồi quy của các kết quả thí nghiệm mẫu. Bằng việc sử dụng Chỉ số độ bền địa chất (*Geological strength Index – GSI*) có thể điều chỉnh được các thông số trong tiêu chuẩn phá hủy nhằm đánh giá sự suy giảm độ bền ngoài hiện trường. GSI là một số không thứ nguyên, có phạm vi biến đổi từ 10 đến 100 và được rút ra theo kinh nghiệm. Khi đưa hệ số GSI vào, tiêu chuẩn phá hủy Hoek – Brown được thể hiện bằng mối quan hệ sau (Hoek và Brown, 1997):

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (4)$$

Thông số  $m_b$  trong công thức trên phụ thuộc vào cả thông số  $m_i$  của đá nguyên khối và giá trị GSI và được xác định bằng công thức:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28}\right) \quad (5)$$

Các tham số  $s$ , và  $a$  cũng phụ thuộc vào kinh nghiệm dựa trên giá trị GSI và được xác định bằng công thức sau:

Khi  $GSI \geq 25$ :

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9}\right); \quad a = 0.5 \quad (6)$$

Khi  $GSI < 25$ :

$$s = 0; \quad a = 0.65 - \left(\frac{GSI}{200}\right) \quad (7)$$

Cần phải chú ý rằng, tiêu chuẩn này thừa nhận tính chất đồng nhất - liên tục của khối đá và không nên áp dụng cho các trường hợp có các khối đá có các khe nứt rõ ràng và do đó khối đá không có tính chất đồng nhất – liên tục.

Từ kết quả tính toán các chỉ tiêu cơ học của khối đá tại công trình thủy điện Bình Điền [3] theo 2 tiêu chuẩn Hoek-Brown và tiêu chuẩn của Mohr-Coulomb cho thấy:

– Kết quả tính toán theo tiêu chuẩn Hoek-Brown cho giá trị C,  $\varphi$  cao hơn so với tính toán theo tiêu chuẩn của Nga sử dụng theo tiêu chuẩn Mohr-Coulomb: lực dính C kết quả cao hơn khoảng 4 lần, góc ma sát  $\varphi$  kết quả cao hơn khoảng 1,4 lần.

– Trị số mô đun biến dạng theo 2 tiêu chuẩn gần tương đương nhau.

– Cường độ kháng nén khối đá theo tiêu chuẩn Mohr-Coulomb lớn hơn so với tiêu chuẩn Hoek – Brown.

– Tiêu chuẩn Hoek – Brown đáp ứng được đồng thời việc tính toán chỉ tiêu khối đá cho nền đập, bờ dốc và hầm. [3]

Theo [3] các thông số đầu vào đã bao hàm đầy đủ các đặc trưng của khối đá cho thấy ưu điểm vượt trội so với các tiêu chuẩn Mohr-Coulomb. Tuy nhiên các hệ thống này ít nhiều mang tính chủ quan, thể hiện ở chỉ tiêu phân loại cũng như thang, nhóm khối đá.

Về sự tương thích của tiêu chuẩn Hoek-Brown với tiêu chuẩn Mohr-Coulomb theo Hoek [4],[5] hầu hết các chương trình địa kỹ thuật đều được viết trên nền tiêu chuẩn phá hủy Mohr-Coulomb trong đó cường độ khối đá được định nghĩa bởi lực dính có hiệu  $c'$  và góc ma sát trong có hiệu  $\varphi'$ . Mối quan hệ tuyến tính giữa ứng suất chính nhỏ nhất và lớn nhất là:

$$\sigma_1' = \sigma_{cm} + k\sigma_3' \quad (8)$$

trong đó  $\sigma_{cm}$  là cường độ nén đơn trục của khối đá,  $k$  là hệ số góc của đồ thị.

Giá trị của  $c'$  và  $\varphi'$  được tính như sau:

$$\varphi' = \sin^{-1} \left[ \frac{6am_b(s + m_b\sigma_{3n}')^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma_{3n}')^{a-1}} \right] \quad (9)$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma_{3n}'] (s + m_b\sigma_{3n}')^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + (6am_b(s + m_b\sigma_{3n}')^{a-1}) / [(1+a)(2+a)]}} \quad (10)$$

trong đó  $\sigma_{3n}' = \sigma'_{3max} / \sigma_{ci}$

Lưu ý rằng giá trị của  $\sigma'_{3max}$ , giới hạn trên của ứng suất nén ép ba chiều mà dựa vào đó để xét mối quan hệ giữa hai tiêu chuẩn Hoek-Brown và Mohr-Coulomb, cần phải được xác định cho từng trường hợp riêng. Hướng dẫn để lựa chọn giá trị này cho mái dốc và cho các hầm đặt nông cũng như hầm đặt sâu được trình bày ở phần sau.

Không có mối quan hệ trực tiếp nào giữa

phương trình (1) với đường cong phi tuyến Hoek-Brown. Vì vậy việc đánh giá  $c'$  và  $\varphi'$  bằng tiêu chuẩn Hoek-Brown là một vấn đề rất khó.

Sau khi đánh giá một lượng lớn các phương pháp tiếp cận khả dĩ cho vấn đề này có thể kết luận được rằng biện pháp thiết thực nhất để giải quyết vấn đề này là phân tích một tập hợp

đầy đủ các thí nghiệm 3 phương. Kết quả của các thí nghiệm như vậy được mô phỏng bằng cách sử dụng phương trình (1) của Hoek-Brown để tính hàng loạt các giá trị của thí nghiệm 3 phương. [6] Hoek Practical\_Rock\_Engineering

Dưới đây là một số kết quả khảo sát tại một số công trình.

**Bảng 1.** Tính chất cơ học của khối đá theo tiêu chuẩn Mohr-Coulomb (PECC2, 2004a) và Các tính chất của khối đá theo tiêu chuẩn Hoek-Brown cho các công trình thủy điện [1],[2].

Tính chất cơ học của khối đá theo tiêu chuẩn Mohr - Coulomb (PECC2, 2004a)				Các tính chất của khối đá theo tiêu chuẩn Hoek - Brown			
Tính chất	Đơn vị	Độ bền tới hạn	Độ bền dư	Lớp	Các thông số	Độ bền tới hạn	Độ bền dư
Mật độ	T/m <sup>3</sup>	2,65	2,65		Hệ số Poisson	0,3	0,3
Hệ số Poisson		0,3	0,3		$m_i$	7	7
Mô đun biến dạng	MPa	500 -1500	500 -1500		D	0,3	0,5
Góc ma sát	Độ	40	38	IA2	GSI	53	37
Lực dính	MPa	5	1,33	IB	GSI	58	43
Độ bền nén của khối đá	MPa	10,84	2,17	II	GSI	58	42

**Bảng 2.** Kết quả khảo sát địa chất cho hầm đường bộ Đèo Cả

Ký hiệu loại đất đá	Mô tả	Chiều cao tầng phủ	Chỉ số RMR	Tốc độ truyền sóng (km/s)
R3b	Đá granit phong hóa, nứt nẻ mạnh, độ cứng cấp 4-6	Từ cửa hầm đến tầng phủ khoảng 3D	20 - 40	0,8 - 3,0
R3a	Đá granit phong hóa, nứt nẻ trung bình, độ cứng cấp 7-8	3D - 5D	40 - 60	3,0 - 4,0
R2b	Đá granit phong hóa, ít nứt nẻ, độ cứng cấp 9-10	> 5D	> 60	4,0 - 5,5

**Bảng 3.** So sánh các cách phân loại đất đá tại dự án hầm Đèo Cả [5]

Phân loại cấp đất đá trong lõi khoan	Phân loại cấp đất đá trong thiết kế hầm (Tiêu chuẩn kỹ thuật cho hầm 2006: hầm qua núi, Nhật Bản)	Tiêu chuẩn quốc gia về Công trình xây dựng - Phân cấp đá trong thi công TCVN 11676:2016
B	A	Phong hóa nhẹ
CH	B	Đá cứng
CM	C <sub>I</sub> , C <sub>II</sub>	
CL	D <sub>I</sub>	Phong hóa mạnh
D <sub>H</sub>	D <sub>II</sub>	Đá cứng
D <sub>L</sub>	D <sub>III</sub>	Đất cố kết, đất cát

**Bảng 4.** Thông số địa kỹ thuật đầu vào tại dự án hầm đường bộ Đèo Cả

Các thông số cơ bản	Tên thông số	Ký hiệu	Đơn vị tính	Loại đất đá			
				C <sub>II</sub>	D <sub>I</sub>	D <sub>II</sub>	D <sub>III</sub>
Khối lượng thể tích của đất	$\gamma_h$		Kg/m <sup>3</sup>	2420	1910	1870	1870
Mô đun đàn hồi của đất đá	$E_g$		MPa	275	59,28	44,97	18,37
Hệ số poisson	$\nu$		-	0,31	0,35	0,35	0,35
Mô đun đàn hồi của bê tông	$E_b$		MPa	33500	33500	33500	33500
Cường độ chịu nén của bê tông	$R_b$		MPa	27,184	27,184	27,184	27,184

Dưới đây sẽ trình bày các kết quả phân tích theo 2 mô hình trên trong quá trình thi công, các mô hình được tính toán thông qua các quan hệ (2) và (3), thông qua phần mềm Rocklab.

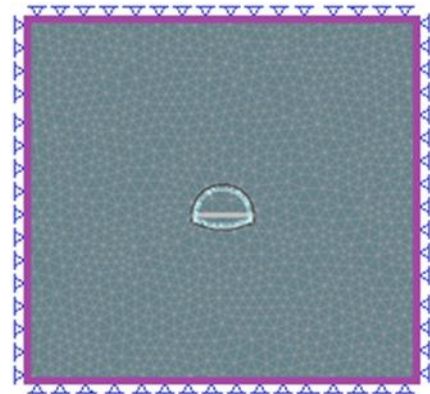
**2. Mô hình tính**

Mô hình tính được lựa chọn để phân tích ứng xử của đất đá xung quanh hầm và hệ gia cố trong giai đoạn thi công. Quá trình đào chống được thực hiện qua các giai đoạn (bước-stage) như dưới đây. Các điều kiện ban đầu và biên được chọn theo khuyến cáo trong sử dụng phần mềm Địa kỹ thuật PHASE2. Vùng khảo sát chịu các thành phần ứng suất thẳng đứng và nằm ngang ban đầu trên biên, các điểm trên biên không dịch, kích thước được chọn là 6D quy đổi (Với D là đường kính quy đổi của đường hầm). Đường kính quy đổi D(m) được

tính theo công thức sau:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} \tag{3}$$

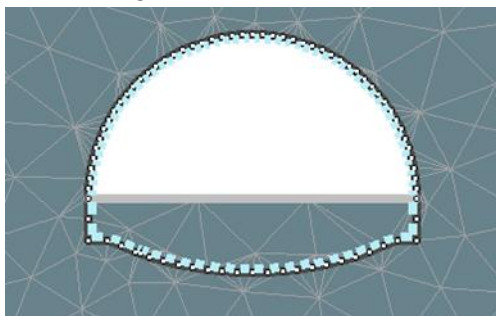
Trong đó: S- diện tích đường hầm (m<sup>2</sup>)



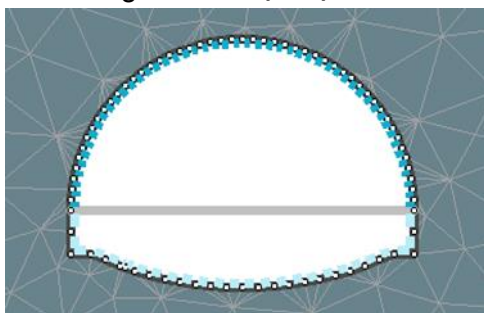
**Hình 1.** Mô hình tính toán

Các giai đoạn đào – chống như sau:

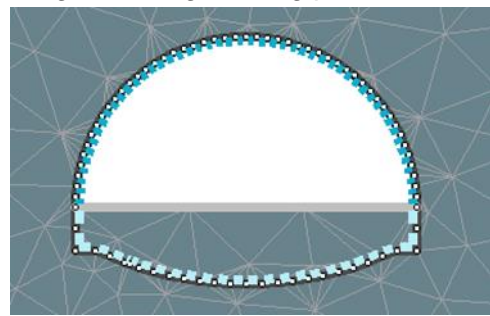
Stage 2 đào phá bậc trên



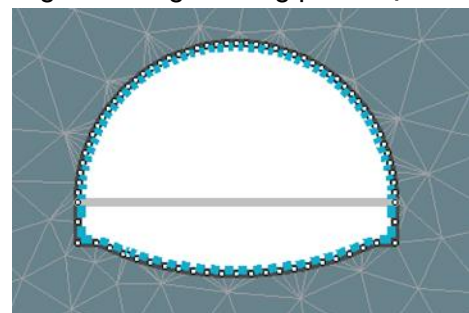
Stage 4 đào bậc bậc dưới



Stage 3 chống bê tông phun bậc trên



Stage 5 chống bê tông phun bậc dưới



**Hình 2.** Các bước đào – gia cố

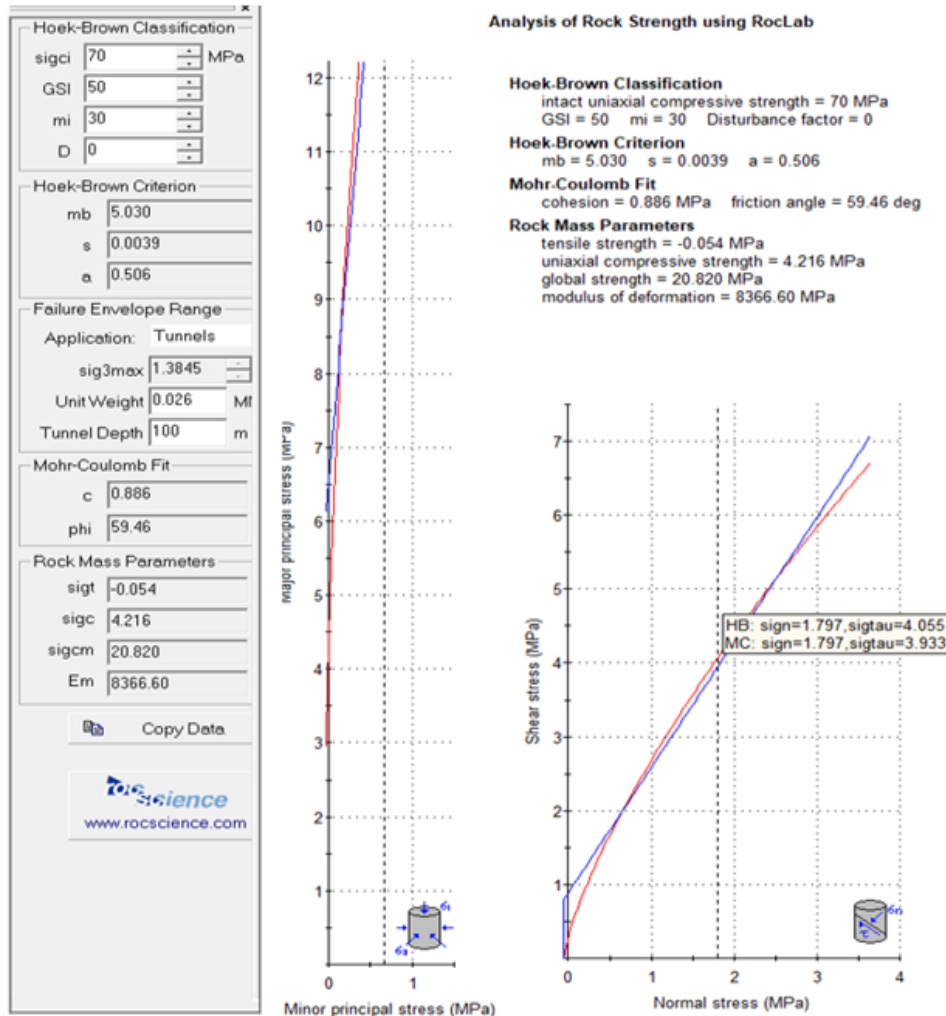
Các thông số tính toán theo các tiêu chuẩn trong bài toán khảo sát là đất đá loại C với các tính chất cơ lý như sau:

Mohr - Coulomb:  $C_\tau = 0,054$  MPa;  $\varphi = 59,46$ .  $C = 0,886$  MPa;  $\mu = 0,3$ ;  $\gamma = 0,025$  mN/m<sup>3</sup>;  $E = 275$  mPa.

Hoek-Brown:  $\sigma_{ci} = 70$  Mpa;  $m_b = 5,03$ ;  $s =$

$0,0039$ ;  $\mu = 0,3$ ;  $\gamma = 0,025$  mN/m<sup>3</sup>;  $E = 275$  mPa.

Cách thông số được chọn bằng cách tính toán theo các công thức (9) và (10) [HB] hay theo phần mềm Rocklab, các kết quả theo Rocklab cho đất đá loại C thuộc dự án Hàm đường bộ Đèo Cả như trên các Hình 3 dưới đây.



Hình 3. Thông số cơ lý của mô hình tính

### 3. Các kết quả tính toán

#### 3.1. Phá hỏng

Dưới đây là kết quả tính toán phá hỏng của đất đá xung quanh hầm.

##### 3.1.1. Vùng phá hỏng

##### 3.1.2. Số phần trăm phần tử bị phá hỏng trên biên và tại các khoảng cách 3m và 5m

Nhận xét: Từ các số liệu trong mục 3.1 có thể thấy rằng tại bước đào (Stage3-ST3 đào và chống bậc trên) đất đá tại bậc dưới bị phá hỏng nhiều.

Kích thước của phạm vi vùng phá hỏng trong HB 9,570x 4,053 (m) lớn hơn so với MC 8,590x3,986 (m). Đất đá tại bậc dưới bị phá hỏng trong HB do trượt và kéo, trong khi đó trong MC chủ yếu là do kéo.

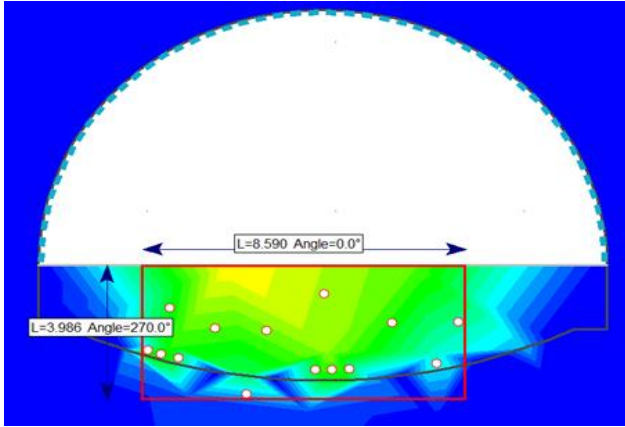
Tại giai đoạn 5 (ST5) phạm vi phá hỏng của đất đá trong cả hai mô hình MC và HB nhỏ đi nhiều và giới hạn chủ yếu trên và gần biên, trong cả hai mô hình phá hỏng gây ra bởi do trượt và kéo, trong khi đó trong MC chủ yếu là do kéo, còn trong HB là do kéo và trượt.

Tại MC phá hỏng chủ yếu xuất hiện hai bên hông, còn trong HB phá hỏng xuất hiện đều cả hai bên hông và tại đáy.

Kết quả khảo sát cho cá vùng phá hoại tại các khoảng cách khác nhau trên Hình 4 và Hình 5

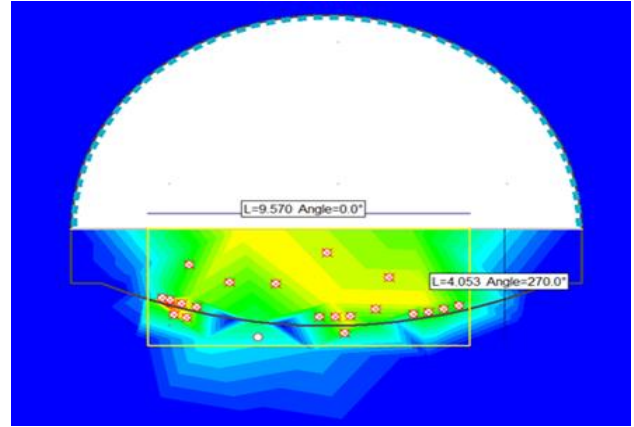
cho thấy ngoài những điểm cả HB và MC có số phần trăm bằng nhau, tại các vị trí còn lại, số phần trăm của HB cao hơn so với MC.

Tại khoảng cách 5,5m tính từ biên hầm, không còn xuất hiện phá hỏng trong cả HB và MC.



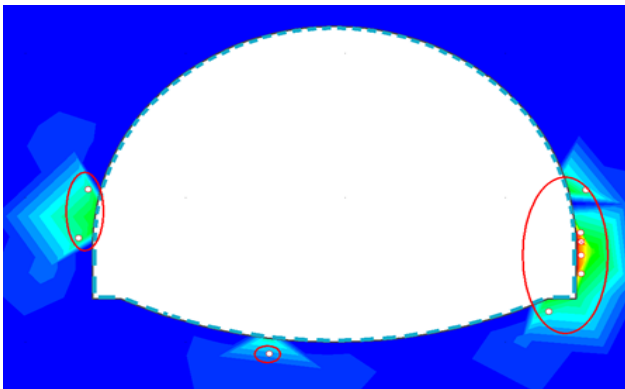
Giai đoạn -ST3

Chú thích: Vùng phá hỏng 8,590 x 3,986 (m)

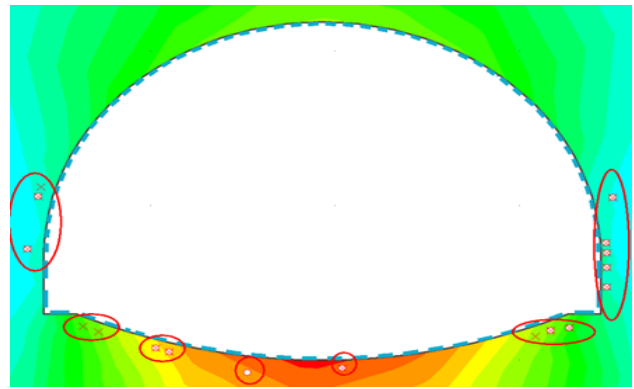


Giai đoạn -ST3

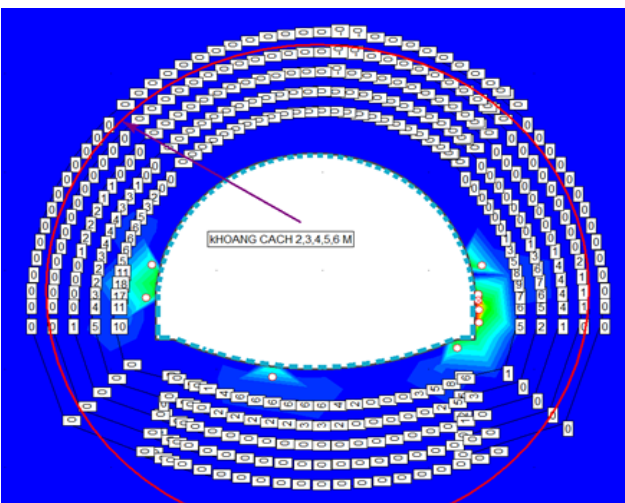
Chú thích: Vùng phá hỏng 9,570 x 4,053 (m)



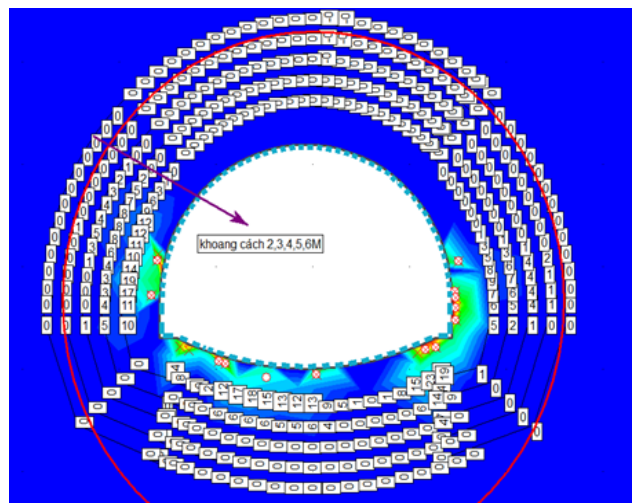
Giai đoạn -ST5



Giai đoạn -ST5

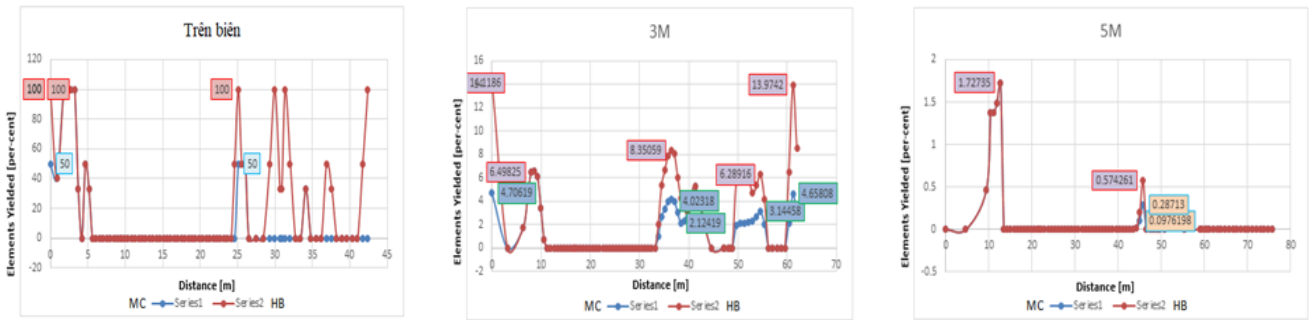


Các phần tử bị phá hỏng trên biên và trên các khoảng cách 2,3,4,5,6 m tính từ biên (a)



Các phần tử bị phá hỏng trên biên và trên các khoảng cách 2,3,4,5,6 m tính từ biên (b)

**Hình 4.** Các vùng phá hỏng theo hai tiêu chuẩn Mohr – Coulomb và Hoek – Brown: (a) Mohr – Coulomb; (b) Hoek – Brown



Hình 5. Số lượng phần trăm các phần tử bị phá hỏng theo Hoek -Brown (HB) và Mohr -Coulomb (MC)

3.2. Chuyển vị

- Chuyển vị tính từ biên
- Chuyển vị trên biên và 5m tính từ biên
- Chuyển vị đất đá trên biên và trên khoảng 3 m và 5 m tính từ biên

Từ Hình 6 có thể thấy các chuyển vị tổng tại các điểm trên trục đứng tính từ đỉnh vòm và các chuyển vị tổng trên trục ngang tính từ hông gần như bằng nhau tính từ khoảng gần 5m tính từ biên.

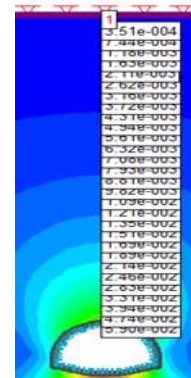
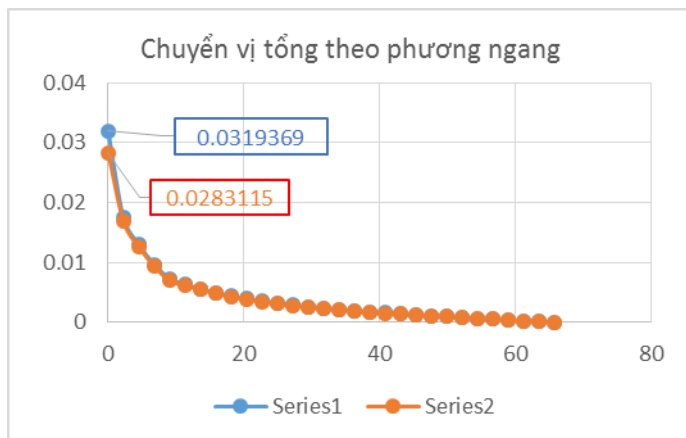
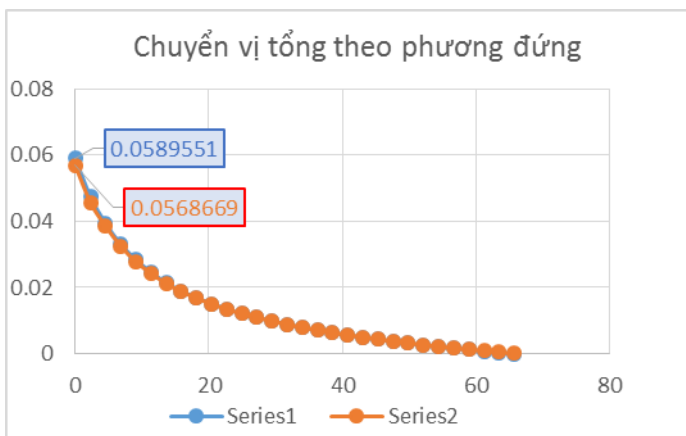
Sự khác nhau chỉ được thể hiện rõ trên biên:

Trên trục đứng MC là 0,0568669m HB là 0,0589551m. Sự khác nhau là 0,0354%

Trên trục ngang MC là 0,0283115m và HB là 0,0319369m. Sự khác nhau là 0,1135%.

Trên Hình 7b các giá trị chuyển dịch của nền theo MC và HB hầu như khác nhau không đáng kể trên toàn bộ các miền khảo sát trên biên, 3m và 5m.

Có thể kết luận từ các phân tích trên là chuyển dịch của nền theo cả hai mô hình MC và HB là như nhau, sự khác nhau có thể bỏ qua (0,0354% và 0,1135%). Với HB giá trị chuyển dịch có lớn hơn so với MC, các giá trị này có thể thể hiện được tính an toàn và chính xác của tiêu chuẩn.



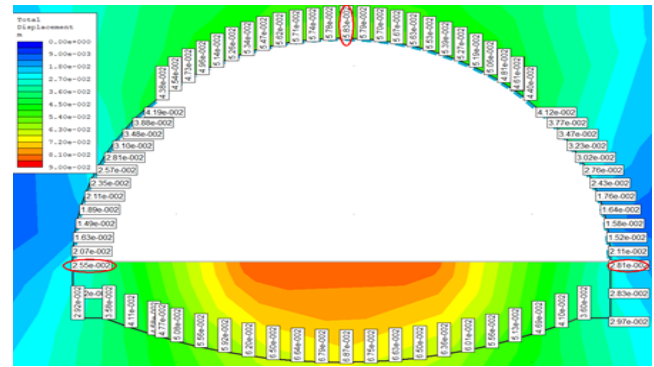
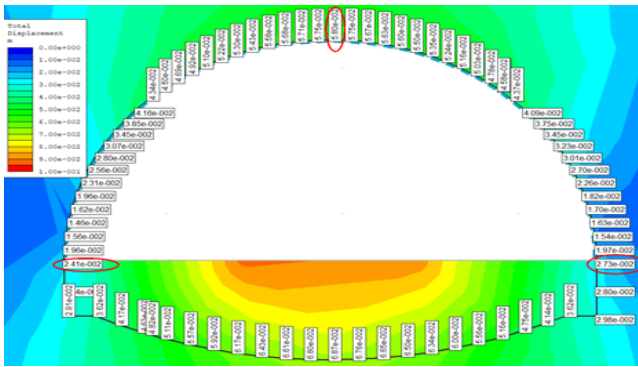
Ghi chú: Chuỗi 1 HB; Chuỗi 2 MC



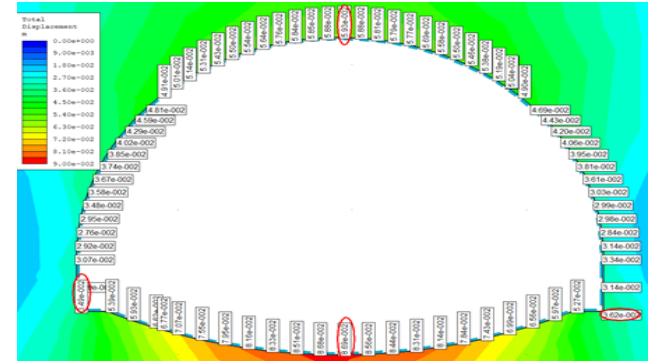
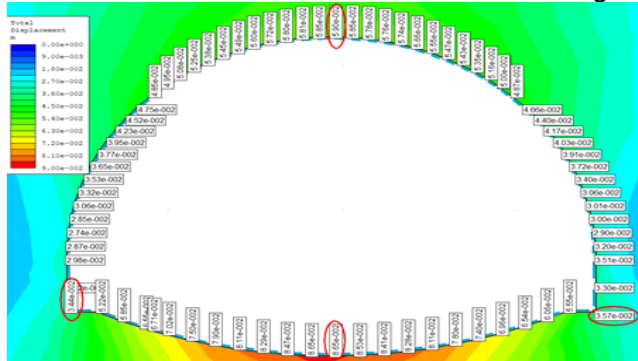
Ghi chú: Chuỗi 1 HB; Chuỗi 2 MC

Hình 6. Chuyển vị tổng theo phương đứng và ngang

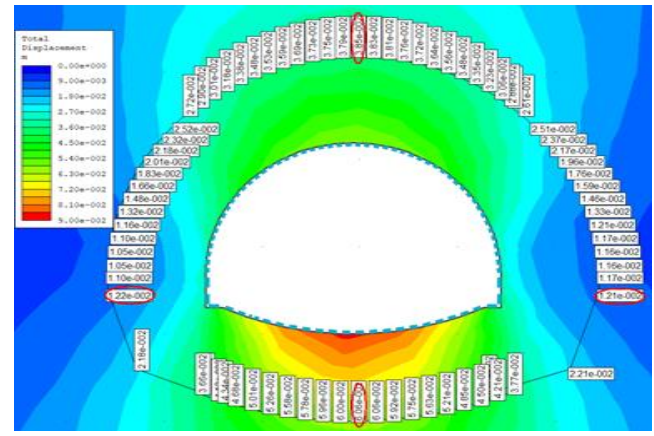
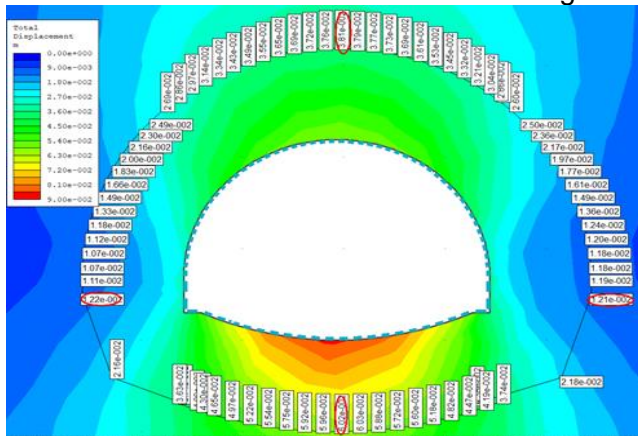




Stage 5 Trên biên



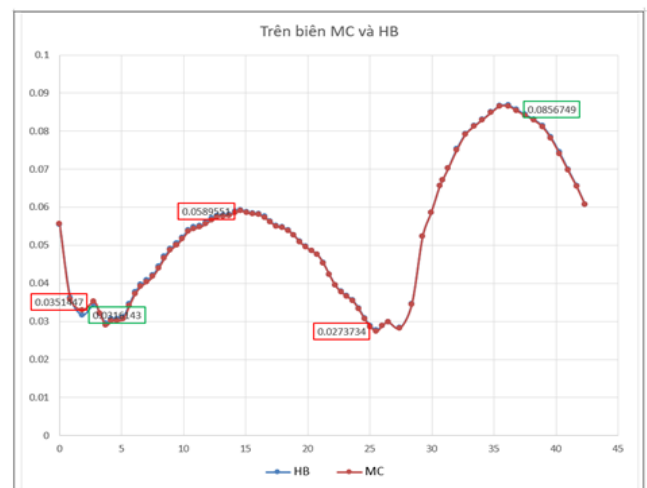
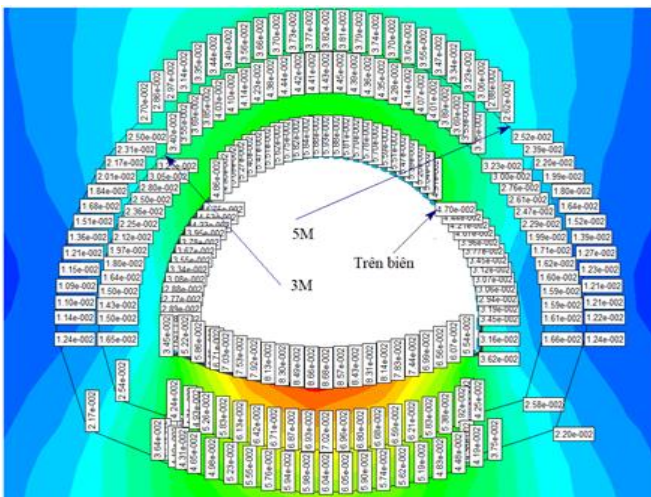
Stage 5 Cách biên 5 m

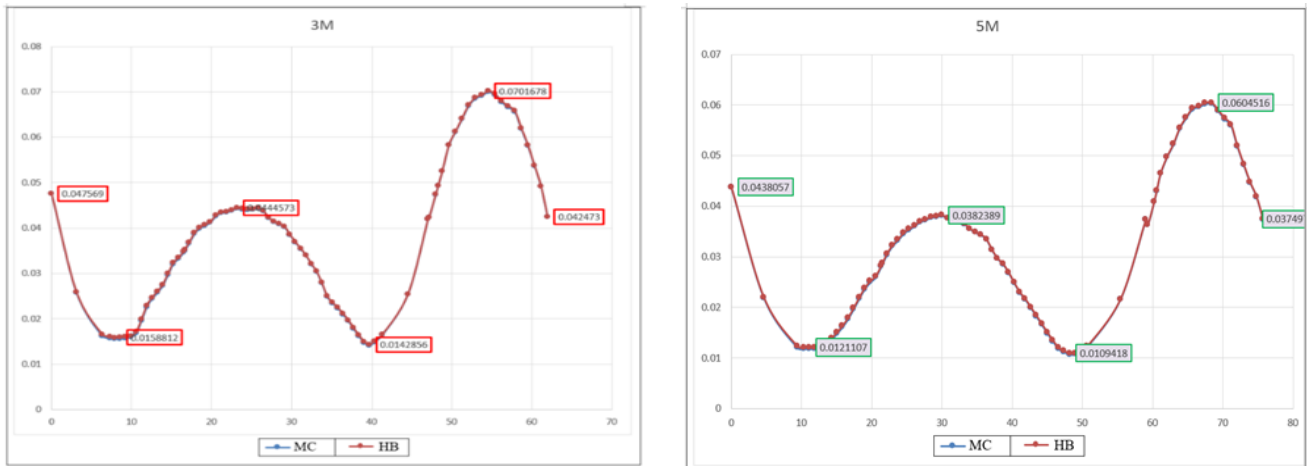


(a)

(b)

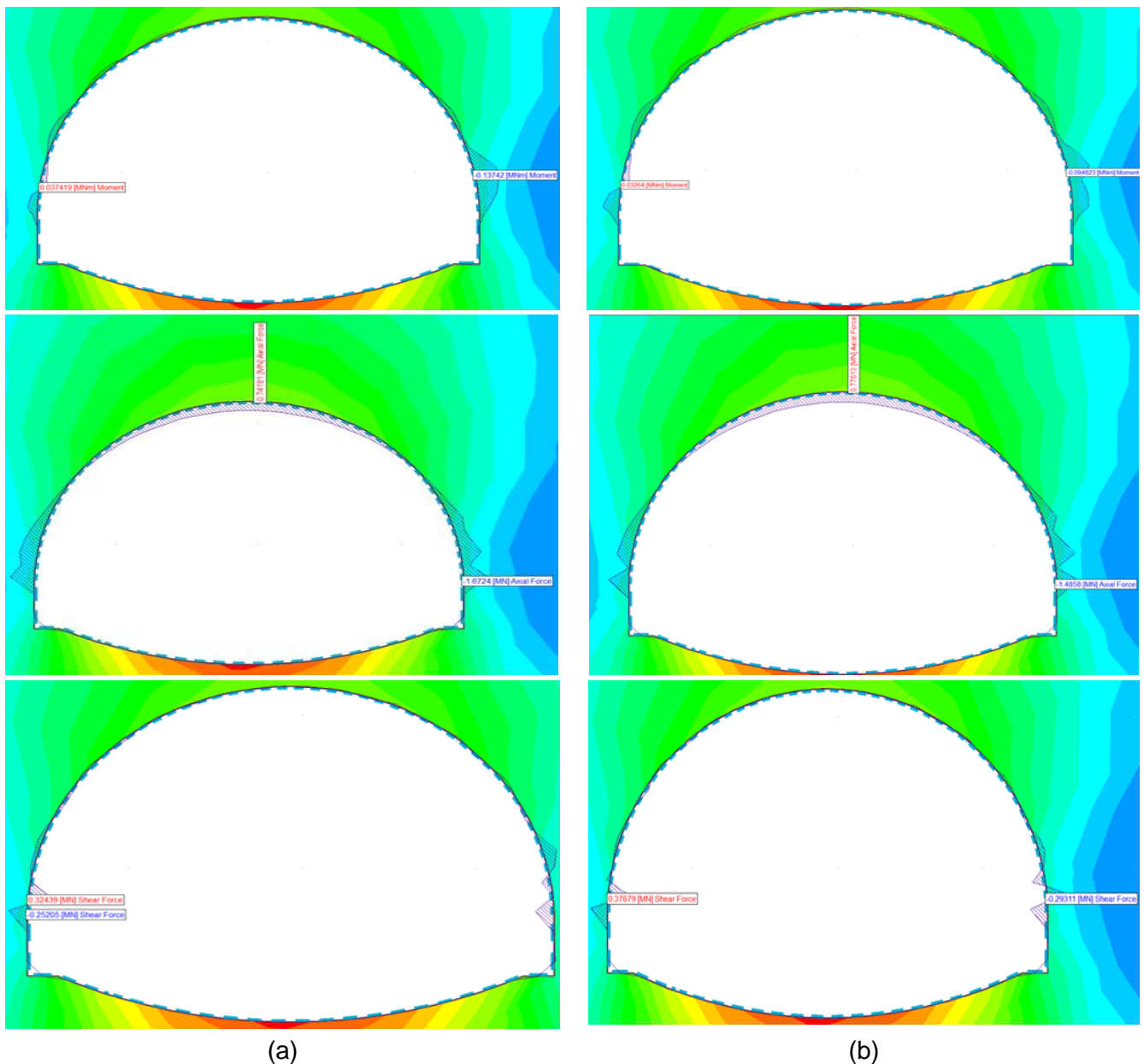
Hình 7a. So sánh các chuyển dịch đất đá theo Mohr – Coulomb và Hoek Brown tại biên và khoảng cách 5 m tính từ biên: (a) Mohr – Coulomb; (b) Hoek - Brown



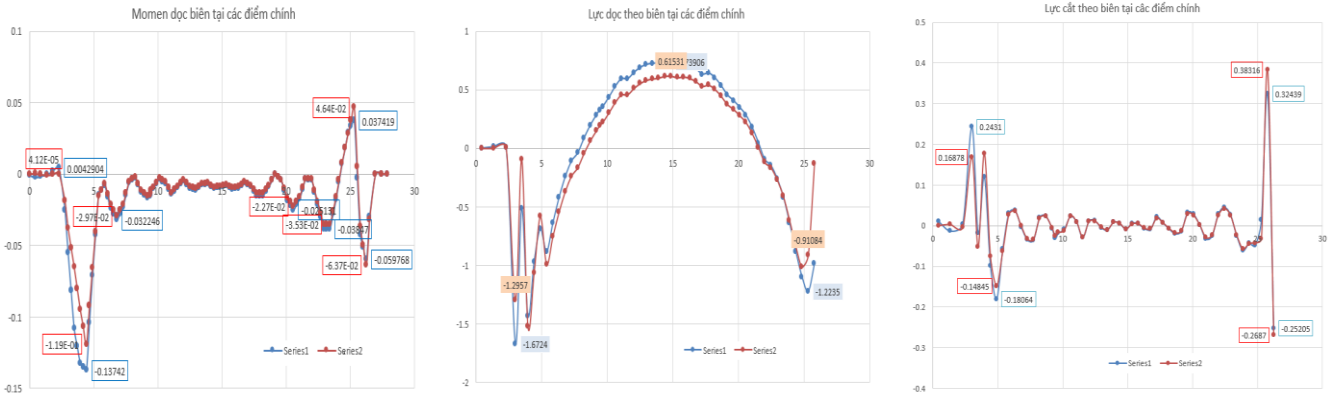


Hình 7b. Chuyển vị đất đá gần biên

### 3.3. Nội lực



Hình 8a. Nội lực Max /Min trên biên theo giai đoạn 5 (ST5): (a) Mohr – Coulomb; (b) Hoek-Brown



Ghi chú: Series 1: MC; Series 2: HB

Hình 8b. Nội lực M, Q, N xung quanh biên đào

Bảng 5. Bảng so sánh nội lực theo mô hình MC và mô hình HB

Nội lực	MC		HC	
	Max	Min	Max	Min
Mô men (MN.m)	0,037419	-0,13742	0,03264	-0,094823
Lực cắt (MN)	0,32439	-0,25205	0,37879	-0,29311
Lực dọc (MN)	0,74181	-1,6724	0,77613	-1,4858
Sự khác nhau (%)				
	Mô men (+) 0,1277		Mô men (-) 0,3100	
	Lực dọc (+) 0,0442		Lực dọc (-) 0,1116	
	Lực cắt (+) 0,1427		Lực cắt (-) 0,1401	

Từ Hình 8a và 8b có thể thấy rằng: giá trị Max/Min của hai tiêu chuẩn được thể hiện trong Bảng 5.

Kết quả phân tích nội lực cho thấy, nội lực trong cả hai trường hợp có sự khác nhau song sự khác nhau đó là không đáng kể, sai số trong khoảng (0,0442 ÷ 0,3100) % là hoàn toàn chấp nhận được. Sự phân bố các giá trị Max và Min có sự khác nhau trong biểu đồ lực cắt Q.

**4. Kết luận và kiến nghị**

Trên đây là kết quả tính toán và phân tích ứng xử của đất đá xung quanh hầm và của lớp gia cố bê tông phun trong đất đá loại C cho hầm đường bộ thuộc dự án Hàm đường bộ Đèo Cả trong giai đoạn thi công.

Các kết quả tính toán cho thấy việc áp dụng các tiêu chuẩn Mohr-Coulomb và Hoek- Brown trong tính toán cho những kết quả có sự khác nhau cả về sự phá hỏng của nền, nội lực trong lớp vỏ bê tông phun gia cố. Sự khác nhau đó là nhỏ và chấp

nhận được.

Việc tính toán trên đây mới chỉ được thực hiện cho đất đá loại C là cứng Có RQD, RMR nằm trong khoảng (50 ÷ 80). Để có thể kết luận toàn diện hơn, cần thực thi tính toán cho các loại đất đá còn lại B, D, E,...

**Tài liệu tham khảo**

- [1]. Công ty Cổ phần đầu tư Đèo Cả (2011). Thuyết minh thiết kế Dự án Hàm đường bộ Đèo Cả.
- [2]. S.T. Nguyễn, Đ.T. Phan (2005). Xác định chỉ tiêu cơ học khối đá công trình thủy điện Bình Điền theo tiêu chuẩn Nga và tiêu chuẩn Hoek Brown. Tuyển tập công trình khoa học - Hội nghị khoa học toàn quốc: “Địa chất công trình và môi trường”, NXB Xây dựng.
- [3]. M.Đ. Tạ, V.H. Nguyễn, C.C. Lê (2005). Ứng dụng hiệu quả phương pháp phân loại chất lượng khối đá theo RMR và Q trong công tác thiết kế gia cố công trình ngầm tại Dự án thủy

- điện Quảng trị. Tuyển tập công trình khoa học - Hội nghị khoa học toàn quốc: “Địa chất công trình và môi trường”, NXB Xây dựng.
- [4]. E. Hoek (2000). Practical Rock Engineering, USA.
- [5]. Brady, Barry H.G., Brown, E.T (2006). Rock Mechanics for underground mining. Third edition, Springer.
- [6]. Brady-Brown (2005). Rock Mechanics for underground mining.