

Phân tích sức chịu tải của móng rãnh hình nón trên mái dốc Hoek-brown bằng phương pháp phần tử hữu hạn

Phạm Gia Huy^{1,2}, Cao Hữu Quân^{1,2}, Phạm Văn Quảng^{1,2}, Lại Văn Quý^{1,2,*}

¹ Khoa Kỹ Thuật Xây Dựng, Trường Đại Học Bách Khoa TP.HCM

² Đại Học Quốc Gia TP.Hồ Chí Minh

TỪ KHÓA

Móng rãnh hình nón
Móng nón mái dốc
Phương pháp phần tử hữu hạn
Mô hình hoek-brown

TÓM TẮT

Trong khoảng thập kỉ gần đây, xu hướng xây dựng và vận hành những công trình trên các vùng địa hình đồi núi đang ngày càng phổ biến do sự thiếu hụt đất đai và tốc độ đô thị hóa nhanh của toàn cầu. Vì vậy, đối với công trình tuabin điện gió thường được xây dựng với kết cấu móng chịu lực thường gặp như móng hình nón trên địa hình mái dốc của vùng đồi núi. Những nghiên cứu trước đây đã áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn để nghiên cứu ứng xử của các loại móng nông như móng băng, móng tròn và móng vành khăn trên nền đất có mái dốc có xét đến sức chịu tải cực hạn bằng nhiều mô hình đất nền địa kĩ thuật và tải trọng tác dụng. Trong bài báo này, sức chịu tải của móng rãnh hình nón được khảo sát khi đặt gần mái dốc cùng với các thông số ảnh hưởng của đất nền thông qua phần mềm phần tử hữu hạn Plaxis 3D và tiêu chuẩn phá hoại Hoek-Brown. Trước hết, mô hình được mô phỏng cùng những thông số của mô hình đá bao gồm chỉ số độ bền địa chất và thông số đá nguyên dạng. Ngoài ra, mặt trượt phá hoại của móng nón trên khối đá Hoek-Brown cũng được thể hiện để đánh giá ảnh hưởng của tất cả các thông số khác. Thông qua nghiên cứu, kết quả của bài báo sẽ là một phần thông tin đóng góp khi thiết kế và nghiên cứu cho các điều kiện địa chất nhằm tối ưu giải pháp xây dựng cho loại móng rãnh hình nón này.

KEYWORDS

Conical foundation
Conical on slope
Finite element method
Hoek-Brown model

ABSTRACT

There has been a growing trend toward constructing and operating infrastructure in mountainous terrains in recent decades due to land scarcity and the rapid pace of global urbanization. Therefore, for wind turbine projects, structures are often constructed with standard load-bearing footings, such as conical foundations on sloping terrain. Previous studies have applied the finite element method to investigate the behavior of various shallow foundations, such as strip foundations, circular foundations, and ring footings on sloping ground, considering ultimate bearing capacity with multiple geotechnical soil models and applied loads. In this paper, the bearing capacity of conical foundations is investigated when placed near the slope crest, along with the influential parameters of the soil through finite element software Plaxis 3D and the Hoek-Brown yield criterion. Firstly, the model is simulated along with the rock model parameters, including the geological strength index and yield parameters. Additionally, the failure mechanism of the conical foundation on the Hoek-Brown rock mass is also depicted to assess the influence of all other parameters. The study's findings will provide valuable insights for optimizing construction solutions for conical foundations under different geological conditions.

1. Giới thiệu

Hiện nay, dân số trên thế giới ngày một tăng, kéo theo đó là công trình nhà ở, nhà máy, xí nghiệp,... được xây dựng nhiều vô số. Việc này đòi hỏi nguồn năng lượng lớn để phục vụ cho đời sống sinh hoạt. Trong đó, năng lượng xanh được tạo nhờ vào nguồn gió tự nhiên được chú trọng vì năng lượng này không phát thải khí CO₂ và giảm thiểu ảnh hưởng tới hiệu ứng nhà kính. Nhưng có sự hạn chế của các công trình tuabin gió khi xây dựng chủ yếu ở các vùng đồng bằng là diện tích nông nghiệp bị thu hẹp đáng kể. Vì vậy, giải pháp đưa ra là di chuyển vị trí xây dựng các công trình tuabin gió lên vùng đồi núi. Tuy nhiên, giải

pháp kết cấu móng cho tuabin gió cho vùng đồi núi có mái dốc vẫn chưa được nghiên cứu rộng rãi.

Để giải quyết tình trạng trên, các dự án nghiên cứu và thiết kế móng cho các khu vực đồi núi được chú trọng. Trong số đó, móng rãnh hình nón cho tuabin gió đang là phương án mới, bởi đây là loại móng nông có khả năng chịu được tải trọng lớn. Vì phần lõi được lấp đầy bằng đất đào và đá vụn, do đó sẽ làm giảm khối lượng bê tông cốt thép và giảm chi phí xây dựng nhưng khả năng chịu tải cực hạn sẽ tăng so với khối móng thông thường. Trong khoảng thập kỉ gần đây, những nghiên cứu về sức chịu tải móng trên địa hình đất đá khá phổ biến với những loại móng băng, móng tròn và móng vành khăn được áp dụng

*Liên hệ tác giả: lvqui@hcmut.edu.vn

Nhận ngày 15/04/2024, sửa xong ngày 09/07/2024, chấp nhận đăng ngày 15/07/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2024.679>

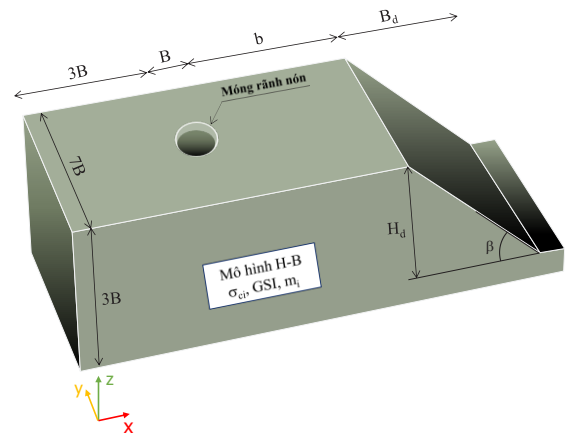
bởi các ưu điểm riêng. Thông qua nghiên cứu của Wu và cộng sự năm 2021 [1] đã áp dụng phần tử hữu hạn để đánh giá sự ổn định của móng băng với tiêu chuẩn phá hoại Hoek-Brown năm 2002 [2] và ảnh hưởng của cung trượt phá hoại lên mái dốc. Bên cạnh đó, Keshavarz và Kumar năm 2017 [3] đã phân tích sức chịu tải của móng băng và móng tròn trên khối đá bằng phương pháp phân tích đặc trưng ứng suất (Method of stress characteristics) hay Chakraborty và Kumar năm 2015 [4], Yodsomjai và cộng sự năm 2021 [5] đã nghiên cứu về sức chịu tải của móng tròn và móng vành khăn trên đất đá dựa trên phương pháp phân tích biên trên và biên dưới của giới hạn phần tử hữu hạn (Lower and upper bound finite element limit analysis). Ngoài ra, gần đây cũng có những nghiên cứu về móng rãnh hình nón đặt trên mái dốc với mô hình Mohr-Coulomb cũng được chú trọng thông qua nghiên cứu của Chakraborty và Kumar năm 2016 [6] về hệ số sức chịu tải N_γ kết hợp với sự ảnh hưởng khi thay đổi đường kính móng nón đặt trên mái dốc. Bên cạnh đó, Lai năm 2022 [7] nghiên cứu về hệ số ổn định N cho móng hình nón trên mái dốc với phương pháp phần tử hữu hạn cho mô hình đất sét không đồng nhất và không đẳng hướng, kết hợp với phương pháp phân tích biên trên và biên dưới của giới hạn phần tử hữu hạn. Đáng chú ý, có thể kể đến các nghiên cứu về móng rãnh nón với mô hình Hoek-Brown (HB), kết hợp với phương pháp phần tử hữu hạn (FEA) như nghiên cứu của Yodsomjai và Keawsawavong năm 2020 [8] đã phân tích hệ số ổn định của móng nón khi đặt trên mái dốc và Keawsawavong năm 2021 [9] sử dụng phần mềm OptumG2 để nghiên cứu về sức chịu tải của móng rãnh hình nón trên mô hình đất phẳng. Tuy nhiên, có thể nhận thấy nghiên cứu về sức chịu tải của móng rãnh hình nón trên mái dốc sử dụng mô hình HB vẫn còn hạn chế và chưa được mở rộng cho đến thời điểm hiện tại.

Trong phạm vi nghiên cứu của bài báo sẽ tiến hành phân tích sức chịu tải của móng rãnh hình nón trên mái dốc, các thông số vật liệu đất nền HB trong phần mềm Plaxis 3D V20 [10] bao gồm thông số đá nguyên dạng m_i và chỉ số độ bền địa chất GSI, độ bền nén một trục s_{ci} . Ngoài ra, thông số tỉ lệ lõi b/B , và góc dốc b , và góc nón α cũng được khảo sát. Bằng việc phân tích cách thay đổi các thông số đầu vào để đầu ra là sức chịu tải cực hạn của móng rãnh hình nón, ký hiệu là N_s , để đưa ra một nghiên cứu về sự ảnh hưởng của các thông số đầu vào đối với hệ số sức chịu tải N_γ . Ngoài ra, để bài báo mang tính hợp lý và thuyết phục, nghiên cứu cũng đã so sánh với kết quả của nghiên cứu trước. Từ đó, đánh giá được sức chịu tải của móng nón trong trường hợp đặt trên mái dốc cùng với mô hình ứng xử của đá khối HB, và đồng thời thể hiện sự ảnh hưởng của mặt trượt lên mái dốc trong từng trường hợp góc dốc với từng điều kiện của thông số đầu vào khác nhau.

2. Đặt vấn đề nghiên cứu

Hình 1 mô tả móng cấu tạo móng hình nón được xây dựng trên mái dốc. Giả định khối móng thuộc loại móng cứng và chỉ chịu duy nhất tải trọng đứng và phân bố đều trên bề mặt diện tích móng. Các thông số hình học của móng nón bao gồm đường kính vành móng được ký hiệu là $B = 1$ (m), góc mở đỉnh nón ký hiệu là α . Đồng thời, cao độ mặt trên

móng nón được xây dựng trùng với cao độ mặt đất. Giả thiết khoảng cách tối ưu được sử dụng để mô phỏng móng nón trên mái dốc theo phương x (từ rìa trong của vành móng đi vào) là $3B$, theo phương y là $7B$, và phương z là $3B$. Bên cạnh đó, khoảng lùi từ rìa mái dốc đến vành ngoài móng hình nón được ký hiệu là b . Ngoài ra, thông số góc dốc β được xác định dựa trên mối liên hệ giữa theo chiều cao độ dốc H_d và khoảng cách giữa đỉnh và đáy độ dốc theo phương x là B_d , với công thức $\tan(\beta) = H_d/B_d$.

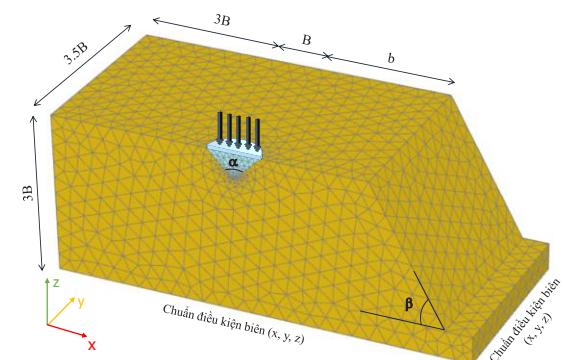


Hình 1. Móng rãnh hình nón trên mái dốc Hoek-Brown.

Đối với nghiên cứu ở bài báo, mô hình đẳng hướng đàn hồi hoàn toàn dẻo HB được sử dụng để mô phỏng trạng thái đất nền là đá phong hóa bao gồm các thông số cơ bản như m_i (thông số đá nguyên dạng), GSI (chỉ số độ bền địa chất) nhằm đánh giá độ bền của đá, và σ_{ci} (độ bền nén một trục), như chú thích trong Hình 1. Nhằm đơn giản kết quả tính toán sức chịu tải của móng nón, ảnh hưởng của mực nước ngầm được bỏ qua và xem dung trọng khối đá toàn bộ đồng nhất. Cuối cùng, kết quả trong bài báo nghiên cứu có sử dụng công thức tính khả năng chịu tải của móng rãnh nón theo điều kiện cường độ của nền đất Hoek-Brown dựa trên công thức được đề xuất bởi Merifield năm 2006 [11].

$$N_\sigma = \frac{q_u}{\sigma_{ci}} \quad (1)$$

3. Mô hình phần tử hữu hạn cho bài toán móng nón



Hình 2. Mô hình phần tử hữu hạn Plaxis 3D cho móng rãnh nón trên mái dốc.

Nhằm mục đích đánh giá và tính toán sức chịu tải của móng nón đặt trên mái dốc khối đá, phương pháp phần tử hữu hạn (FEA) và phần mềm thương mại Plaxis 3D V20 được áp dụng cùng với tiêu chuẩn phá hoại dẻo HB để mô phỏng bài toán nghiên cứu ở Hình 2. Nhằm đơn giản việc mô phỏng nên mô hình được cấu tạo đối xứng một nửa. Giả thiết móng đàn hồi tuyến tính và trọng lượng riêng lấy bằng 0, nghĩa là bỏ qua trọng lượng bản thân của móng. Ngoài ra, kích thước của mô hình trong tất cả các miền được chọn với thông số kỹ lưỡng để đủ lớn sao cho không có sự giao cắt của các đới trượt với các ranh giới bên phải và phía dưới vị trí đặt móng. Bên cạnh đó, mô hình khối đá tuân theo vật liệu HB hoàn toàn dẻo và giả định là cổ kết thoát nước (drained consolidation). Cuối cùng, điều kiện biên trong mặt phẳng của mô hình được thiết lập theo các gối tựa di động ngăn cản chuyển vị mô hình theo các phương. Cụ thể, đối với rìa phía trong móng nón theo mặt phẳng Oyz, biên trái và biên phải trục z được gán tự do theo phương đứng, trong khi trục y được cố định theo phương ngang. Đối với mặt phẳng đáy của mô hình được giới hạn chuyển vị theo phương x và phương y. Riêng đối với mặt phẳng trên cùng của mô hình thì không có điều kiện ràng buộc về chuyển vị. Mô hình cũng được gán thêm thêm tải trọng tác dụng lên diện tích mặt của móng nón dưới dạng tải phân bố đều. Ngoài ra, chú ý rằng sức chịu tải N_s được sử dụng trong bài báo là không có đơn vị trong các kết quả thể hiện ở các phần tiếp theo. Thông số của đất đá và móng nón được thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Thông số đầu vào mô hình cho đất Hoek-Brown và móng nón.

	Thông số	Đơn vị	Giá trị độ lớn
Đất	Độ bền nén σ_{ci}	kN/m ²	200
	Thông số đá m_i	-	10/ 20/ 30
	Độ bền địa chất GSI	-	30/ 50/ 70/ 90
	Hệ số xáo trộn D	-	0
	Trọng lượng riêng γ	kN/m ³	16
Móng nón	Trọng lượng riêng γ	kN/m ³	0
	Module đàn hồi E	kN/m ²	30 x 10 ⁶
	Hệ số Poisson ν	-	0,2

Trong phần mô hình, các đại lượng kí hiệu cũng được thể hiện ở Hình 2. Thứ nhất, khoảng cách từ biên trong của mô hình đến rìa móng nón theo phương x và bề rộng theo phương y được mô phỏng với khoảng cách lần lượt là 3B và 3.5B, trong đó B là bề rộng của móng rãnh nón (đường kính) có giá trị hằng số là 1 (m). Thứ hai, giá trị b đặc trưng cho khoảng lùi của móng từ mép rìa của mặt dốc ngược về gốc tọa độ theo phương x. Giá trị của tỉ lệ lùi b/B được khảo sát lần lượt là 0, 1, 2, 4, 8 nhằm mục đích nghiên cứu tỉ lệ lùi tối ưu cho khả năng chịu tải cực hạn của móng nón trên mặt dốc HB. Thứ ba, độ sâu chôn móng tùy thuộc vào góc mở của hình nón được khảo sát với giá trị tương ứng a lần lượt là 60, 90, 120 và 150 (độ). Thứ tư, độ bền nén một trục của đá nguyên khối s_{ci} , thông số đá nguyên khối m_i , và chỉ số độ bền địa chất GSI cũng được sử dụng trong mô hình HB với các thông số đã nêu ở Bảng 1. Cuối cùng,

góc dốc β của mô hình được cố định với giá trị cụ thể là $\beta = 45^\circ$ để đánh giá sức chịu tải cực hạn của móng trên nền mái dốc.

Lưu ý rằng toàn bộ tải trọng được áp dụng trong mô hình như đã đề cập ở trên là tải phân bố đều khi chạy phân tích trên mô hình Plaxis 3D, kết quả tăng từ 0 đến 100 % so với tải trọng gán ban đầu là 20.000 kN, sau đó kết quả trong mô hình Plaxis sẽ được biểu thị với hệ số nhân tổng (M_{stage}). Do đó, giá trị của M_{stage} sẽ nằm trong giới hạn khoảng từ 0 đến 1 và tải trọng cực đại ($q_u - \text{kN/m}^2$) của móng nón trong mô hình HB bất kì sẽ được tính bằng cách lấy tích giữa hệ số M_{stage} với tải trọng ban đầu là 20.000 kN. Cuối cùng, khả năng chịu tải cực hạn N_s được áp dụng tính toán theo công thức (1).

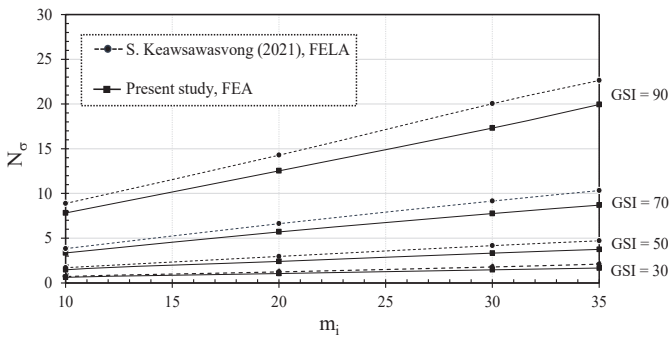
Bảng 2. Kết quả phân tích cho trường hợp góc dốc $\beta = 45^\circ$ với sức chịu tải N_s khi b/B thay đổi.

β	α	m_i	GSI	b/B				
				0	1	2	4	8
45	60	10	30	0,35	0,60	0,67	0,70	0,78
			50	0,72	1,09	1,23	1,24	1,26
			70	1,45	2,11	2,32	2,42	2,60
			90	3,19	4,45	4,78	5,05	5,00
		20	30	0,60	0,95	1,09	1,09	0,92
			50	1,13	1,81	1,99	1,98	1,99
			70	1,93	3,41	3,80	4,07	4,39
			90	4,07	6,87	7,20	7,31	7,40
		30	30	0,82	1,32	1,48	1,51	1,82
			50	1,43	2,47	2,62	2,63	2,65
			70	2,48	4,55	5,13	5,18	5,33
			90	4,38	8,78	10,33	10,47	10,53
45	90	10	30	0,30	0,56	0,54	0,61	0,67
			50	0,62	1,09	1,09	1,17	1,24
			70	1,28	2,13	2,18	2,34	2,51
			90	2,87	4,58	4,64	5,00	5,31
		20	30	0,49	0,98	0,96	1,06	1,12
			50	0,93	1,81	1,87	1,95	1,96
			70	1,83	3,40	3,52	3,72	3,73
			90	3,39	6,86	7,52	8,06	8,27
		30	30	0,64	1,35	1,37	1,44	1,50
			50	1,23	2,01	2,48	2,44	2,47
			70	2,36	4,31	4,93	5,22	5,45
			90	4,39	8,52	9,84	10,65	10,69
45	120	10	30	0,27	0,52	0,52	0,61	0,62
			50	0,62	1,01	1,06	1,09	1,18
			70	1,25	2,15	2,11	2,00	2,38
			90	3,01	2,16	4,41	4,67	4,94
		20	30	0,51	0,93	0,90	0,98	1,05
			50	0,98	1,43	1,82	1,91	1,93
			70	1,79	3,36	3,26	3,56	3,67
			90	3,07	6,82	7,32	7,43	7,88

β	α	m_i	GSI	b/B				
				0	1	2	4	8
45		30	30	0,66	0,96	1,27	1,84	1,88
			50	1,13	2,16	2,39	2,43	2,51
			70	2,12	3,57	4,53	4,85	5,15
			90	3,16	4,26	9,04	9,48	9,59
		10	30	0,20	0,44	0,49	0,54	0,62
			50	0,42	1,00	1,03	1,12	1,10
			70	1,27	2,03	2,10	2,39	2,63
			90	2,66	4,41	4,46	4,65	4,88
		20	30	0,30	0,47	0,89	1,33	1,54
			50	0,81	1,71	1,72	1,72	1,87
			70	1,59	3,27	3,25	3,78	3,96
			90	3,63	6,58	7,12	7,62	7,79
		30	30	0,33	0,55	1,18	1,78	1,88
			50	0,58	2,11	2,14	2,21	2,32
			70	2,15	4,31	4,44	4,90	5,33
			90	4,18	7,35	9,07	9,25	9,27

4. Kết quả

4.1. Kết quả kiểm chứng từ nghiên cứu trước đó



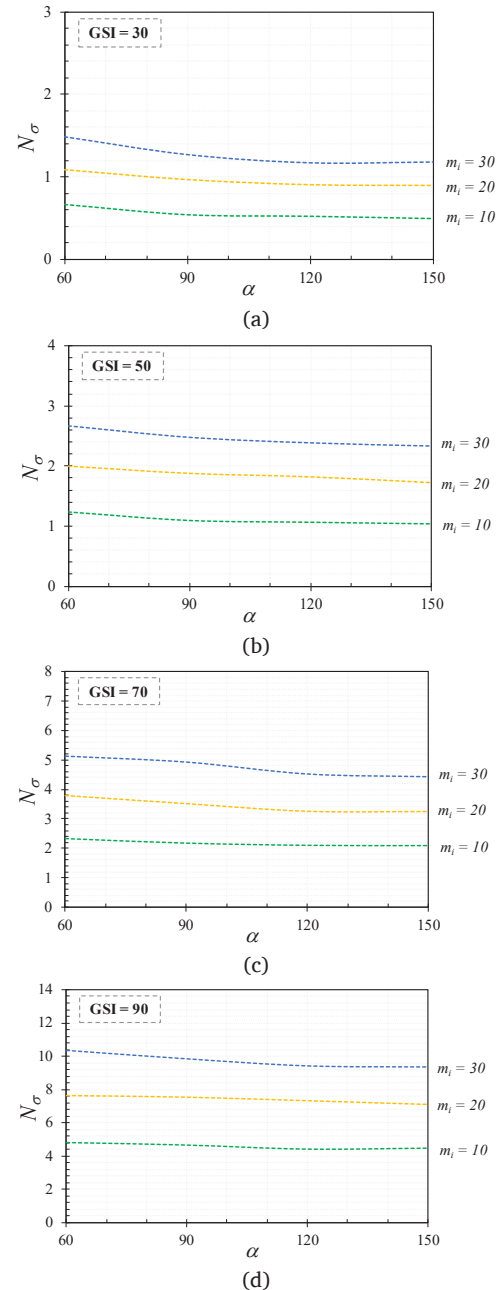
Hình 3. Kiểm chứng nghiên cứu hiện tại (Present study) với góc nón $\alpha = 90^\circ$.

Để kiểm chứng độ chính xác từ việc mô phỏng mô hình phần tử hữu hạn trên phần mềm Plaxis 3D, kết quả nghiên cứu trước từ S. Keawsawasvong năm 2021 [9] được sử dụng để so sánh và đối chiếu khi móng nón được mô phỏng trên mặt đất phẳng bằng phương pháp FELA với phân tích giới hạn biên trên và biên dưới (UB và LB). Nhằm mục đích đảm bảo tính hợp lý và đồng nhất của các phương pháp với nhau, kết quả được kiểm chứng đối với sức chịu tải của móng trong khối đá được chọn ngẫu nhiên trong trường hợp đất đá bằng phẳng với giá trị $\beta = 0$, và góc nón $\alpha = 90^\circ$. Đồng thời, thông số đá m_i nằm trong khoảng giá trị từ 10 đến 35 như Hình 3.

Từ kết quả của đồ thị khi so sánh hai phương pháp, có thể thấy được sự chênh lệch về độ lớn sức chịu tải so với nghiên cứu trước do nhiều nguyên nhân như ảnh hưởng của tải trọng tác dụng, hệ thống chia lưới phần tử (mesh) và phương pháp tính của phần tử hữu hạn dựa trên cơ sở tính toán của từng phần mềm. Ngoài ra, độ sai số chênh

lệch của đồ thị giữa nghiên cứu hiện tại so với nghiên cứu trước nằm trong khoảng chấp nhận khi khảo sát bốn trường hợp GSI với nhau, do đó kết quả kiểm chứng đủ khả năng chính xác để đánh giá được sức chịu tải của móng nón trên địa hình mái dốc với các cặp thông số đất đá theo mô hình Hoek-Brown trong các phần phân tích tiếp theo.

4.2. Phân tích kết quả từ mô hình Plaxis 3D

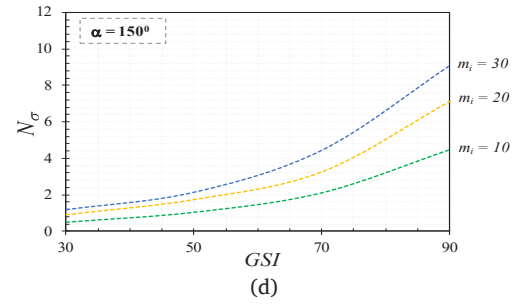
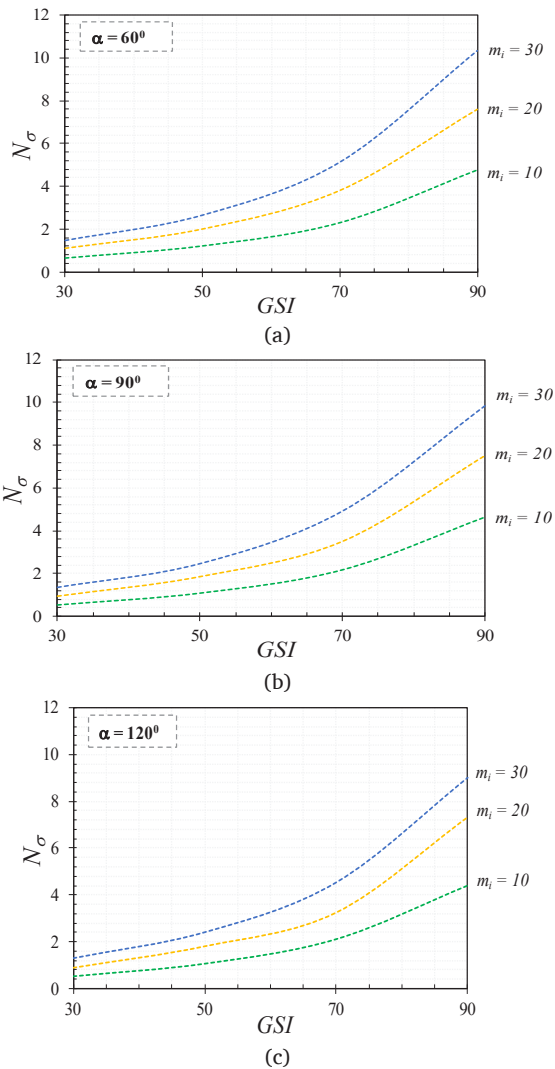


Hình 4. (a-d) Ảnh hưởng của góc nón α đến sức chịu tải N_s của móng nón trong với GSI = 30, 50, 70, 90; $m_i = 10, 20, 30$ và $b/B = 2$.

Từ kết quả các đồ thị ở Hình 4. (a-d) thể hiện sự ảnh hưởng giữa sức chịu tải N_s và góc nón α . Thông số được sử dụng để khảo sát bao

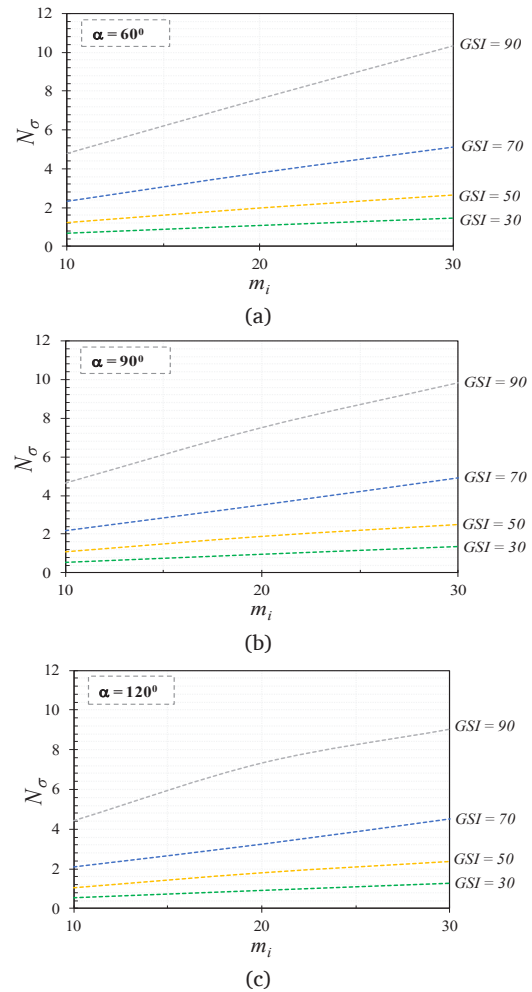
gồm thông số đá nguyên dạng m_i là 10, 20, 30, góc dốc $\beta = 45^\circ$ và tỷ lệ lồi $b/B = 2$ được sử dụng nhằm đánh giá độ lớn sức chịu tải N_σ . Bên cạnh đó, chỉ số bền địa chất GSI cũng thay đổi từ 30, 50, 70, và 90. Nhìn chung, khi góc mở hình nón α tăng, sức chịu tải N_σ giảm, cụ thể khi α tăng từ 60° đến 90° . Nhưng khi α lớn hơn 90° độ lớn sức chịu tải N_σ thay đổi không đáng kể. Có thể thấy sự thay đổi của góc nón α không ảnh hưởng đáng kể lên sức chịu tải N_σ . Tuy nhiên, sự ảnh hưởng của thông số đá nguyên dạng m_i và chỉ số bền địa chất GSI lên sức chịu tải N_σ rất rõ rệt.

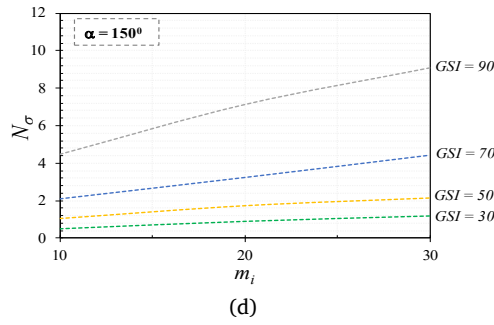
Hình 5. (a-d) thể hiện mối liên hệ giữa sức chịu tải cực hạn N_σ của móng nón lên mái dốc và chỉ số bền địa chất GSI. Nhìn chung, các đường đồ thị biểu diễn mối quan hệ phi tuyến tính. Khi độ bền địa chất GSI tăng từ 30 đến 70, sức chịu tải N_σ tăng tuyến tính; tuy nhiên, khi GSI vượt mốc 70, sức chịu tải N_σ có xu hướng tăng theo hàm phi tuyến. Ngoài ra, thông số đá nguyên dạng m_i tăng cũng làm tăng sức chịu tải N_σ . Cuối cùng, khi so sánh giữa các đồ thị, ta thấy sức chịu tải N_σ giảm khi góc nón α tăng, tuy nhiên sự thay đổi đó không đáng kể.



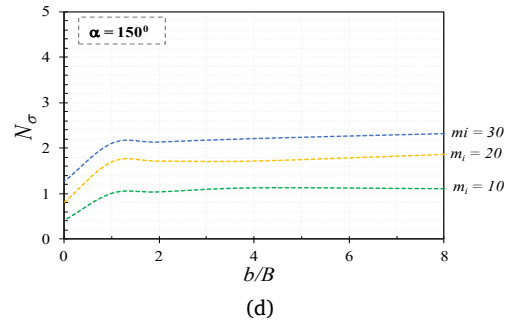
Hình 5. (a-d) Ảnh hưởng của chỉ số bền địa chất GSI đến sức chịu tải N_σ của móng nón với $\alpha = 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$; $m_i = 10, 20, 30$ và $b/B = 2$.

Ở Hình 6. (a-d) mô tả ảnh hưởng thông số đá nguyên dạng m_i lên giữa sức chịu tải N_σ . Nhìn chung các đường đồ thị biểu diễn mối quan hệ tăng tuyến tính. Khi xét mối liên hệ giữa sức chịu tải N_σ , GSI với cùng một giá trị m_i , có thể thấy chênh lệch sức chịu tải N_σ giữa hai cặp giá trị GSI là khác nhau, ví dụ với $m_i = 30$, khi GSI = 30 và GSI = 50 thì độ chênh lệch N_σ là 1,12, nhưng khi GSI = 70 và GSI = 90, thì độ chênh lệch N_σ là 4,51. Ngoài ra, khi so sánh giữa các đồ thị, có thể thấy giá trị sức chịu tải N_σ gần như không đổi khi góc nón α thay đổi.



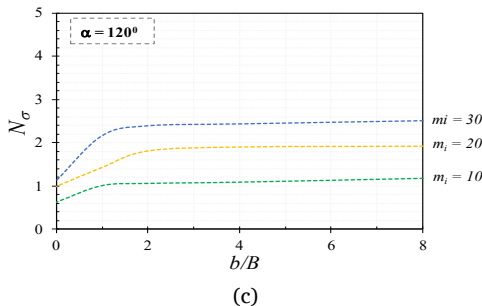
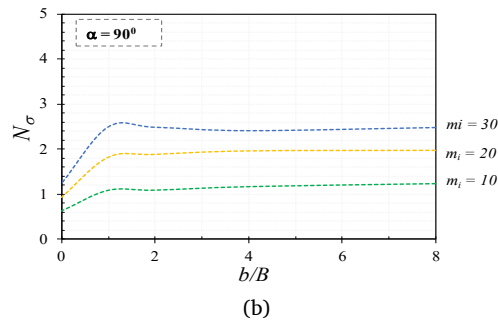
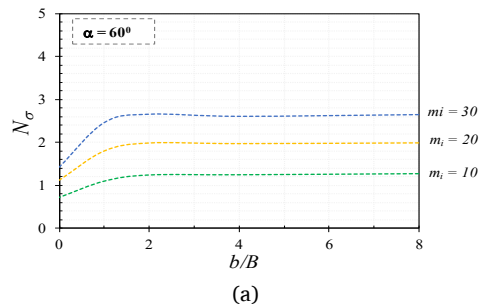


Hình 6. (a-d) Ảnh hưởng của thông số đá nguyên dạng m_i đến sức chịu tải N_s của móng nón với $\alpha = 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$; $GSI = 30, 50, 70, 90$ và $b/B = 2$.



Hình 7. (a-d) Ảnh hưởng của tỷ lệ lùi b/B đến sức chịu tải N của móng nón với $\alpha = 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$; $m_i = 10, 20, 30$ và $GSI = 50$.

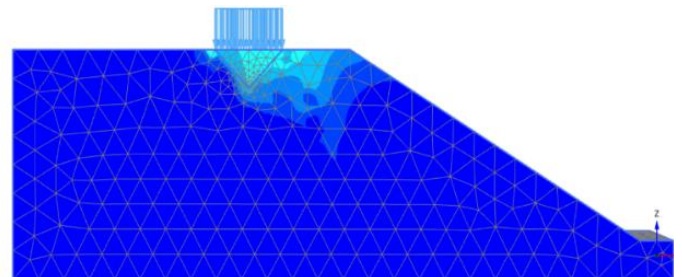
Cuối cùng, Hình 7. (a-d) minh họa sự ảnh hưởng của tỉ lệ lùi b/B với sức chịu tải N_σ thông qua các thông số được khảo sát lần lượt là m_i và góc nón α . Có thể thấy, các đường biểu diễn sức chịu tải có xu hướng tăng tuyến tính sau đó đạt giá trị sức chịu tải là hằng số trong bốn trường hợp góc α . Cụ thể, khi $b/B \leq 2$, độ lớn sức chịu tải tăng tuyến tính với từng giá trị m_i tương ứng, và duy trì độ lớn sức chịu tải khi vị trí đặt móng xa với mái dốc hơn. Điều này có thể chứng minh được sự ảnh hưởng của mái dốc lên sức chịu tải của móng nón không còn tồn tại và sức chịu tải của móng nón đạt giá trị nhất định khi tỉ lệ lùi càng tăng.



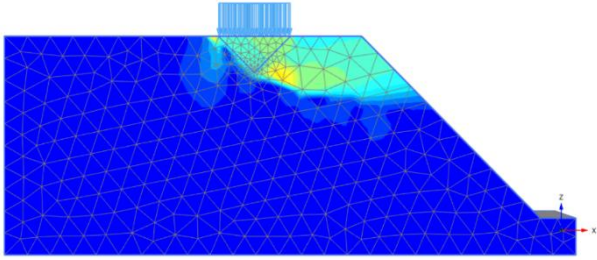
5. Ảnh hưởng của mái dốc lên mặt trượt phá hoại

Ảnh hưởng của mặt trượt lên mái dốc sẽ được xác định bằng phần mềm phần tử hữu hạn Plaxis 3D V20 thông qua các dải màu (contour) để xác định được độ lớn và ảnh hưởng của mặt trượt như Hình 8, 9, 10. Mô hình được thể hiện dưới dạng mặt cắt đứng với các phân vùng được chia thành các lưới phần tử tam giác (triangular nodes) và đường đồng biến dạng cắt gia tăng để thể hiện khả năng phá hoại của mái dốc. Các thông số được sử dụng để khảo sát đối với góc nón $\alpha = 90^\circ$, chỉ số đá nguyên dạng $m_i = 30$, độ bền địa chất $GSI = 70$ và tỉ lệ lùi $b/B = 1$. Ngoài ra, nhằm mục đích đánh giá trong các điều kiện cụ thể khi xây dựng trên từng loại địa hình dốc khác nhau, góc dốc β được xem xét khảo sát chính nhằm đánh giá được sức chịu tải của móng nón trong từng trường hợp.

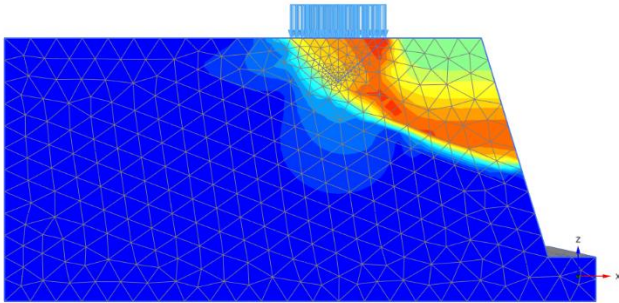
Có thể nhận thấy, sự ảnh hưởng của mặt trượt lên mái dốc thay đổi khi giá trị góc dốc β tăng dần, cụ thể với giá trị góc dốc $\beta = 30^\circ$ thì ảnh hưởng lên mái dốc tại vị trí đặt móng với mặt trượt phá hoại rất nhỏ. Tuy nhiên khi góc dốc càng tăng và đạt tới giá trị $\beta = 75^\circ$ thì ảnh hưởng của mặt trượt lên mái dốc rất lớn. Có thể kết luận được rằng khi tỉ lệ lùi $b/B = 1$ và góc dốc $\beta = 75^\circ$ thì ảnh hưởng của mặt trượt lên mái dốc rất rõ ràng. Lúc này mặt trượt sẽ có dạng cung tròn hình trụ nếu xảy ra sự mất ổn định lên mái dốc khi chịu tải trọng. Vì vậy, khi xây dựng cần bổ sung những biện pháp gia cố để đảm bảo giảm thiểu nguy hiểm khi vận hành tuabin điện gió.



Hình 8. Mặt trượt phá hoại với góc dốc $\beta = 30^\circ$, $\alpha = 90^\circ$.



Hình 9. Mực trượt phá hoại với góc dốc $\beta = 45^\circ$, $\alpha = 90^\circ$.



Hình 10. Mực trượt phá hoại với góc dốc $\beta = 75^\circ$, $\alpha = 90^\circ$.

6. Kết luận

Dựa trên kết quả từ đồ thị và mặt trượt, bài báo đề xuất một phương pháp để xác định khả năng chịu tải của móng nón trên mái dốc với thông số khảo sát theo mô hình HB bằng phần mềm thương mại Plaxis 3D và phương pháp phần tử hữu hạn (FEA). Bên cạnh đó, thông qua kết quả đồ thị đã trình bày ở Hình 4, 5, 6 và 7. với thông số được áp dụng theo mô hình HB gồm thông số đá nguyên dạng m_i và chỉ số bền địa chất GSI nhằm tính toán khả năng chịu tải. Cụ thể, sức chịu tải của móng nón tăng khi m_i và GSI tăng. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng đã chứng minh được khi góc mở hình nón tăng thì khả năng chịu tải của móng nón thay đổi không đáng kể khi xét sự ảnh hưởng của hai thông số m_i và GSI, nhưng giảm đáng kể khi có sự ảnh hưởng của tỉ lệ lồi b/B. Ngoài ra, đối với vị trí đặt móng nón gần mái dốc, ảnh hưởng của mặt trượt lên mái dốc càng lớn khi góc dốc tăng. Cuối cùng, có thể kết luận rằng, thông số đá nguyên dạng và độ bền địa chất của mô hình HB bằng cặp thông số m_i và GSI là hai thông số quan trọng ảnh hưởng đến khả năng chịu tải tối đa của móng nón.

Để mở rộng sự đa dạng của vị trí xây dựng móng nón, trong tương lai bài báo sẽ tiến hành thêm nghiên cứu để phân tích những yếu tố khác ảnh hưởng đến khả năng chịu tải của móng nón trên một số địa hình khác như tuabin gió cho vùng biển, vùng mái dốc đất sét,... và thay đổi các biến số như kích thước và hình dạng của móng, thành phần đất và sự hiện diện của nguồn nước ngầm có thể ảnh hưởng đến khả năng chịu tải của móng nón. Do đó, nghiên cứu các đặc điểm bổ sung này sẽ có thể giúp ích và mở rộng thông tin hơn về thiết kế cũng như xây dựng cho loại móng nón tuabin gió trên nhiều loại địa hình khác nhau.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM trong khuôn khổ đề tài. Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Wu, G., Zhao, M., Zhang, R., Lei, M., [2020]. Ultimate Bearing Capacity of Strip Footings on Hoek–Brown Rock Slopes Using Adaptive Finite Element Limit Analysis. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 54:1621–1628.
- [2]. Hoek E, Carranza-Torres C, Corkum B [2002]. Hoek–Brown failure criterion—2002 edition. In: *Proceedings of NARMS-TAC*, vol 1, pp 267–273.
- [3]. Keshavarz, A., Kumar, J., [2018]. Bearing capacity of foundations on rock mass using the method of characteristics. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 42, 542–557.
- [4]. Chakraborty, M., Kumar, J., [2015]. Bearing capacity of circular footings over rock mass by using axisymmetric quasi lower bound finite element limit analysis. *Computers and Geotechnics*, 70, 138–149.
- [5]. Yodsomjai, W., Keawsawasvong, S., Lai, V.Q. [2021]. Limit analysis solutions for bearing capacity of ring foundations on rocks using Hoek–Brown failure criterion, *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 7, 29.
- [6]. Chakraborty, D., Kumar, J., [2016]. The size effect of a conical footing on $N_{\square}$. *Computers and Geotechnics*, 76, 212–221.
- [7]. Lai, V.Q., Dang, K.N., Banyong, R., Keawsawasvong, S. [2022]. Limit analysis solutions for stability factor of unsupported conical slopes in clays with heterogeneity and anisotropy. *International Journal of Computational Materials Science and Engineering*, Vol. 11, No. 01, 2150030 (2022).
- [8]. Yodsomjai, W., Keawsawasvong, S., Likitlersuang, S., [2020]. Stability of Unsupported Conical Slopes in Hoek–Brown Rock Masses. *Transportation Infrastructure Geotechnology*, Volume 8, pages 279–295, (2021).
- [9]. Keawsawasvong, S. [2021]. Bearing capacity of conical footings on Hoek–Brown rock masses using finite element limit analysis. *International Journal of Computational Materials Science and Engineering*, 10(03), 2150015.
- [10]. Mehdi, M., Meysam, I., Ahmad, F. [2019]. Ultimate bearing capacity of rock masses under square and rectangular footings. *Computers and Geotechnics*, Volume 111, July 2019, Pages 1–9.
- [11]. Merifield RS, Lyamin AV, Sloan SW [2006]. Limit analysis solutions for the bearing capacity of rock masses using the generalise Hoek–Brown criterion. *Int J Rock Mech Min Sci* 43(6):920–937.