

PHÂN TÍCH CƠ CẤU PHÁ HOẠI CỦA MÁI DỐC TRÊN NỀN NHIỀU LỚP ĐẤT



ANALYSIS OF THE FAILURE MECHANISM OF SLOPED ROOFS ON MULTI-LAYERED SOIL

Ths. KS Nguyễn Mạnh Trường¹

Tóm tắt: Đề tài "Phân tích cơ cấu phá hoại của mái dốc trên nền nhiều lớp đất" sử dụng các phương pháp cân bằng giới hạn theo lời giải của Bishop (BSM) [1], Janbu (JSM) [2] và Spencer (SM) [3] với phần mềm SLOPE/W, và so sánh với phương pháp phần tử hữu hạn sử dụng phần mềm PLAXIS. Nghiên cứu tập trung vào việc xác định và so sánh các yếu tố ảnh hưởng đến sự phá hoại của mái dốc trên nền nhiều lớp đất. Mục tiêu là đánh giá độ ổn định của mái dốc dưới các điều kiện khác nhau, xác định các yếu tố chính dẫn đến sự phá hoại. Kết quả từ các phương pháp cân bằng giới hạn sẽ được so sánh với kết quả từ phương pháp phần tử hữu hạn để đánh giá tính hiệu quả và độ chính xác của từng phương pháp.

Từ khóa: Ổn định mái dốc, cân bằng giới hạn, phần tử hữu hạn, hệ số an toàn.

Abstract: The study "Analysis of the Failure Mechanism of Sloped Roofs on Multi-Layered Soil" utilizes limit equilibrium methods based on the solutions of Bishop (BSM), Janbu (JSM), and Spencer (SM) using the software SLOPE/W, and compares them with the finite element method using the software PLAXIS. The research focuses on identifying and comparing the factors influencing the failure of sloped roofs on multi-layered soil. The objective is to evaluate the stability of the slope under various conditions, identify the key factors leading to failure, and propose optimal design solutions. The results from the limit equilibrium methods will be compared with those from the finite element method to assess the effectiveness and accuracy of each approach.

Keywords: Slope stability, limit equilibrium methods, finite element method, safety factor.

Nhận bài ngày 5/5/2024, chỉnh sửa bài ngày 24/5/2024, chấp nhận đăng ngày 5/6/2024.

1. Đặt vấn đề

Trong lĩnh vực kỹ thuật xây dựng và địa kỹ thuật, ổn định mái dốc là một vấn đề quan trọng và phức tạp, đặc biệt khi mái dốc được

xây dựng trên nền nhiều lớp đất với các đặc tính khác nhau. Việc đánh giá và phân tích cơ cấu phá hoại của mái dốc trong điều kiện này đóng vai trò then chốt trong đảm bảo an toàn và hiệu quả của các công trình xây dựng. Các phương pháp phân tích khác nhau, từ phương pháp cân bằng giới hạn (LEM) đến phương pháp phần tử hữu hạn (FEM), đều được áp dụng nhằm đưa ra những giải pháp tối ưu và đáng tin cậy.

Phương pháp cân bằng giới hạn (LEM) bao gồm các giải pháp nổi tiếng của Bishop, Janbu và Spencer, được sử dụng rộng rãi do tính đơn giản và hiệu quả trong việc dự đoán sự ổn định của mái dốc. Tuy nhiên, phương pháp này có những hạn chế nhất định trong việc mô tả chi tiết các tương tác phức tạp giữa các lớp đất và cấu trúc mái dốc.

Phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) sử dụng phần mềm PLAXIS cung cấp một cách tiếp cận chi tiết và chính xác hơn trong việc mô phỏng sự ổn định của mái dốc, nhờ khả năng mô hình hóa các yếu tố phức tạp và phi tuyến tính. Sự kết hợp giữa các phương pháp này có thể giúp nâng cao độ chính xác và độ tin cậy của các kết quả phân tích.

Đề tài "Phân tích cơ cấu phá hoại của mái dốc trên nền nhiều lớp đất" sử dụng các phương pháp cân bằng giới hạn và phương pháp phần tử hữu hạn nhằm mục tiêu đánh giá sự ổn định của mái dốc dưới những điều kiện khác nhau, so sánh kết quả từ các phương pháp LEM và FEM, từ đó xác định các yếu tố chính dẫn đến sự phá hoại và đề xuất các giải pháp thiết kế tối ưu. Nghiên cứu này không chỉ đóng góp vào việc nâng cao kiến thức khoa học mà còn mang lại những ứng dụng thực tiễn quan trọng trong việc đảm bảo an toàn và hiệu quả cho các công trình xây dựng trên nền đất phức tạp.

2. Tổng quan các phương pháp phân tích

2.1. Phương pháp cân bằng giới hạn (LEM)

Phương pháp cân bằng giới hạn là một phương pháp truyền thống và phổ biến để phân tích sự ổn định của mái dốc. LEM dựa trên nguyên tắc cân bằng giữa lực tác động gây trượt và lực kháng trượt. Các phương pháp cụ thể trong LEM bao gồm:

¹ Khoa Kỹ thuật, Trường ĐH Công nghệ Đồng Nai
Email: nguyenmanhtruong@dntu.edu.vn

Phương pháp Bishop (BSM): Giải pháp bán phân đoạn, tập trung vào cân bằng lực dọc và mô men. BSM đưa ra một giải pháp lặp để xác định hệ số an toàn (FS) của mái dốc.

Phương pháp Janbu (JSM): Sử dụng cân bằng lực toàn phần và mô men. JSM có hai dạng: đơn giản và tổng quát. Dạng đơn giản chỉ cân bằng lực dọc, trong khi dạng tổng quát cân bằng cả lực ngang và mô men.

Phương pháp Spencer (SM): Giải pháp chính xác hơn, cân bằng cả lực và mô men cho tất cả các phân đoạn của mái dốc. SM thường được coi là chính xác nhất trong các phương pháp LEM.

Các bước chung của phương pháp cân bằng giới hạn (LEM):

Chia mái dốc thành các phân đoạn nhỏ.

Xác định các lực tác động và kháng trượt trên mỗi phân đoạn.

Thiết lập các phương trình cân bằng lực và mô men.

Tính toán hệ số an toàn (FS).

Ưu điểm của phương pháp cân bằng giới hạn là đơn giản, dễ hiểu và nhanh chóng cung cấp kết quả ban đầu. Tuy nhiên, nó giả định mặt trượt đã biết trước, không tính đến sự biến dạng của đất và kết cấu phức tạp.

2.2. Phương pháp phần tử hữu hạn (FEM)

Phương pháp phần tử hữu hạn là một phương pháp phân tích số phức tạp hơn, được sử dụng rộng rãi để mô hình hóa và phân tích sự ổn định của mái dốc trong các điều kiện thực tế phức tạp. FEM chia kết cấu thành các phần tử nhỏ và sử dụng các phương trình vi phân để mô tả hành vi của từng phần tử.

Các bước chung của FEM:

Lưới hóa (Meshing): Chia kết cấu thành các phần tử nhỏ

Thiết lập mô hình vật liệu: Xác định các đặc tính vật liệu cho mỗi phần tử.

Áp dụng tải và điều kiện biên: Đặt các điều kiện biên và tải trọng lên mô hình.

Giải các phương trình: Sử dụng phương pháp số để giải các phương trình cân bằng.

Phân tích kết quả: Đánh giá sự phân bố ứng suất, biến dạng và xác định vùng nguy cơ phá hoại.

Ưu điểm của FEM:

Mô hình hóa chính xác hơn các điều kiện thực tế phức tạp.

Khả năng xử lý các vật liệu phi tuyến và đa lớp.

Cung cấp chi tiết về sự phân bố ứng suất và biến dạng trong mái dốc.

Nhược điểm:

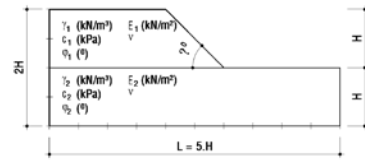
Đòi hỏi kiến thức chuyên môn cao.

Yêu cầu tính toán phức tạp và thời gian giải lâu hơn.

Hai phương pháp LEM và FEM đều có vai trò quan trọng trong phân tích sự ổn định của mái dốc. LEM thích hợp cho các phân tích nhanh và đơn giản, trong khi FEM cung cấp độ chính xác và chi tiết cao hơn cho các điều kiện phức tạp. Sự kết hợp của hai phương pháp này trong nghiên cứu giúp đạt được kết quả toàn diện và đáng tin cậy hơn.

3. Bài toán phân tích cơ cấu phá hoại

Hình 1 mô tả sơ đồ kích thước hình học mái dốc trên nền hai lớp đất thỏa mãn điều kiện bài toán biến dạng phẳng. Sơ đồ bài toán là sự kết hợp của độ cao H với nhiều điều kiện độ dốc β khác nhau lực dính c của 2 lớp đất thay đổi theo các trường hợp c_1/c_2 và c_2/c_1 , các thông số khác của 2 lớp đất như γ, ϕ, E, k, v được giả thiết là giống nhau. Hệ số an toàn giới hạn $[FS]_{gh}=1.2$ được sử dụng để đánh giá độ ổn định của mái dốc khảo sát, mái dốc đảm bảo ổn định khi thỏa mãn điều kiện $FS \geq [FS]_{gh}$.



Hình 1. Mô hình bài toán phân tích ổn định mái dốc 2 lớp đất

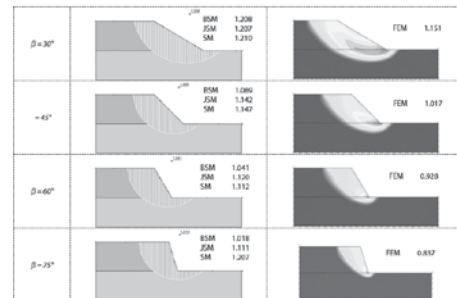
Bảng 1. Thông số đất nền khi phân tích cơ cấu trượt mái dốc

Stt	Thông số	Ký hiệu	Vật liệu		Đơn vị
			Lớp 1	Lớp 2	
1	Mẫu vật liệu	Model	M-C	M-C	
2	Loại vật liệu tác động	Type	Drained	Drained	
3	Trọng lượng riêng của đất	γ	18,5	18,5	kN/m ³
4	Hệ số thấm theo phương ngang	k_x	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	m/s
5	Hệ số thấm theo phương dọc	k_y	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	m/s
6	Modun biến dạng	E_{ref}	5000	5000	kN/m ²
7	Hệ số Poisson	ν	0,3	0,3	
8	Lực dính (Với trường hợp c_2/c_1)	c_{ref}	20	5 ÷ 35	kN/m ²
9	Góc ma sát trong	ϕ	5÷20	5÷20	°
10	Góc trượt nở	ψ	0	0	°

4. Phân tích kết quả

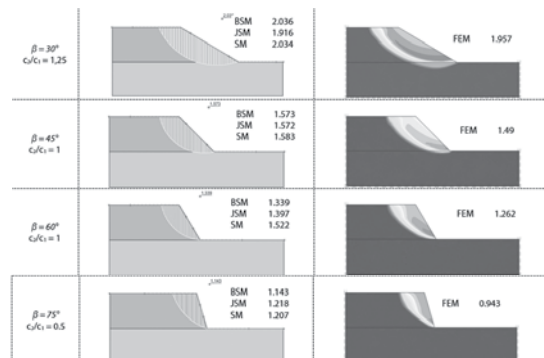
4.1. Nhận xét cơ cấu phá hoại mái dốc

Với giả thiết lớp đất phía trên với các thông số đất nền không đổi, lớp đất phía dưới tăng lực dính c từ lớp đất yếu sang đất tốt hơn, nhận thấy rằng với mái dốc có góc nghiêng $\beta = 30^\circ$ và $\beta=45^\circ, \beta=60^\circ, \beta=75^\circ$ khi hệ số lực dính 2 lớp đất nhỏ $c_2/c_1 = 0.25$ mái dốc có khuynh hướng phá hoại mở rộng ở đỉnh và trượt sâu xuống lớp đất phía dưới như hình 2.



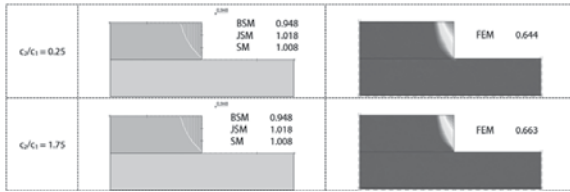
Hình 2. Cơ cấu phá hoại của mái dốc khi $\beta=30^\circ \div 75^\circ$, hệ số $c_2/c_1 = 0.25$

Cơ chế phá hoại như trên thay đổi thu hẹp ở đỉnh và trượt ở chân mái dốc khi tăng hệ số $c_2/c_1 = 1,25$ với góc nghiêng mái dốc $\beta=30^\circ, c_2/c_1 = 1$ với góc nghiêng mái dốc $\beta = 45^\circ, \beta=60^\circ$ và $c_2/c_1 = 0.5$ với góc nghiêng mái dốc $\beta=75^\circ$ như hình 3. Điều này chứng tỏ khi lớp 2 yếu hơn lớp 1, mái dốc bị trượt mở rộng sâu xuống lớp dưới. Khi lớp đất 2 được thay đổi là lớp đất tốt, mái dốc có khuynh hướng bị trượt ở lớp bên trên và thu hẹp lại, đồng thời hệ số an toàn FS tăng lên, mái dốc càng ổn định hơn.



Hình 3. Cơ cấu phá hoại của mái dốc khi $\beta=30^\circ \div 75^\circ$

Đối với góc nghiêng mái dốc $\beta = 90^\circ$, cơ cấu phá hoại chỉ xảy ra ở lớp đất ở trên với tất cả các hệ số c_2/c_1 như hình 4. Để sử dụng đảm bảo yêu cầu ổn định, chúng ta cần có biện pháp gia cố nền để tăng cường độ cho đất nền, bên cạnh đó khi góc nghiêng mái dốc lớn cần có biện pháp neo, chống...



Hình 4. Cơ cấu trượt của mái dốc khi $\beta = 90^\circ$

Theo kết quả phân tích, ta thấy cơ cấu trượt ở hai phương pháp LEM và FEM có sự khác biệt không đáng kể, hệ số FS tăng lên khi c_2/c_1 tăng, bảng 2, bảng 3.

Bảng 2. Kết quả khi phân tích bằng Slope/W

	$\beta = 30^\circ$		$\beta = 45^\circ$	
	$c_2/c_1 = 0.25$	$c_2/c_1 = 1.25$	$c_2/c_1 = 0.25$	$c_2/c_1 = 1$
FS	BSM: 1.208	BSM: 2.036	BSM: 1.089	BSM: 1.573
	JSM: 1.207	JSM: 1.916	JSM: 1.142	JSM: 1.572
	SM: 1.210	SM: 2.034	SM: 1.147	SM: 1.583
	$\beta = 60^\circ$		$\beta = 75^\circ$	
	$c_2/c_1 = 0.25$	$c_2/c_1 = 1$	$c_2/c_1 = 0.25$	$c_2/c_1 = 0.5$
FS	BSM: 1.041	BSM: 1.339	BSM: 1.018	BSM: 1.143
	JSM: 1.120	JSM: 1.397	JSM: 1.111	JSM: 1.218
	SM: 1.112	SM: 1.522	SM: 1.207	SM: 1.207

Bảng 3. Kết quả khi phân tích bằng Plaxis

	$\beta = 30^\circ$		$\beta = 45^\circ$	
	$c_2/c_1 = 0.25$	$c_2/c_1 = 1.25$	$c_2/c_1 = 0.25$	$c_2/c_1 = 1$
FS	1.152	1.957	1.017	1.490
	$\beta = 60^\circ$		$\beta = 75^\circ$	
	$c_2/c_1 = 0.25$	$c_2/c_1 = 1$	$c_2/c_1 = 0.25$	$c_2/c_1 = 0.5$
FS	0.928	1.262	0.837	0.943

4.2. Nhận xét kết quả phân tích

4.2.1. Ảnh hưởng của hệ số c_2/c_1 đến hệ số an toàn của mái dốc (FS) với $\varphi = 10^\circ$

Bảng 4 trình bày sự thay đổi của hệ số an toàn FS mái dốc phụ thuộc vào góc nghiêng β và hệ số c_2/c_1 của 2 lớp đất. Kết quả cho thấy, với góc nghiêng mái dốc β cho trước, khi hệ c_2/c_1 tăng thì hệ số an toàn FS càng tăng.

Hình 5, hình 6 trình bày hệ số an toàn mái dốc sử dụng SLOPE/W và PLAXIS, ta thấy góc nghiêng mái dốc $\beta = 30^\circ, \beta = 45^\circ$ nếu $c_2/c_1 > 0.5$, mái dốc đảm bảo điều kiện ổn định, $FS > [FS]_{gh} = 1.2$. Tuy nhiên, khi $c_2/c_1 \geq 1.25$ hệ số an toàn FS không tăng và $FS > [FS]_{gh} = 1.2$, điều này chứng tỏ mái dốc đảm bảo điều kiện ổn định trong điều kiện tự nhiên.

Trường hợp góc nghiêng mái dốc $\beta = 60^\circ, \beta = 75^\circ, \beta = 90^\circ$ hệ số an toàn $FS < [FS]_{gh} = 1.2$ ứng với tất cả các hệ số lực dính c_2/c_1 , mái dốc không đảm bảo điều kiện ổn định trong điều kiện tự nhiên, cần các biện pháp gia cố mái dốc đảm bảo ổn định.

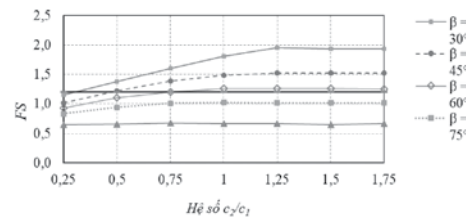
Theo kết quả phân tích, khi góc nghiêng mái dốc tăng, kết quả phân tích bằng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) hệ số an toàn.

FS thấp hơn. Cơ cấu trượt khi sử dụng phương pháp cân bằng giới hạn (phần mềm SLOPE/W) có dạng mặt trượt tròn hoặc mặt trượt không tròn được giả định trước, trong khi cơ cấu trượt theo phương pháp phần

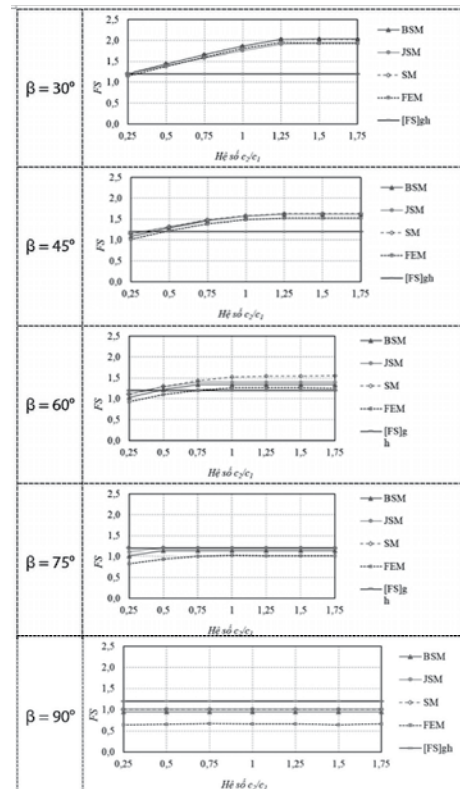
tử hữu hạn (PLAXIS) không cần giả định trước. Tuy nhiên, cơ cấu trượt ở hai phương pháp có sự khác biệt không đáng kể.

Bảng 4. Hệ số FS thay đổi theo c_2/c_1 với $\varphi = 10^\circ$

β°	c_2/c_1	Cân bằng giới hạn LEM			FEM
		BSM	JSM	SM	
30	0.25	1.208	1.207	1.210	1.151
	0.5	1.440	1.399	1.441	1.381
	0.75	1.661	1.581	1.662	1.603
	1	1.868	1.757	1.867	1.808
	1.25	2.036	1.916	2.034	1.957
	1.5	2.039	1.943	2.037	1.934
	1.75	2.039	1.943	2.037	1.931
45	0.25	1.089	1.142	1.147	1.017
	0.5	1.291	1.312	1.319	1.224
	0.75	1.469	1.478	1.486	1.389
	1	1.573	1.572	1.583	1.490
	1.25	1.627	1.619	1.632	1.529
	1.5	1.627	1.619	1.632	1.526
	1.75	1.627	1.619	1.632	1.527
60	0.25	1.041	1.120	1.112	0.928
	0.5	1.223	1.289	1.292	1.103
	0.75	1.337	1.397	1.443	1.204
	1	1.339	1.397	1.522	1.262
	1.25	1.339	1.397	1.546	1.258
	1.5	1.336	1.397	1.550	1.259
	1.75	1.336	1.397	1.552	1.255
75	0.25	1.018	1.111	1.207	0.837
	0.5	1.143	1.218	1.207	0.943
	0.75	1.143	1.218	1.207	1.012
	1	1.143	1.218	1.207	1.024
	1.25	1.143	1.218	1.207	1.015
	1.5	1.143	1.218	1.207	1.016
	1.75	1.143	1.218	1.207	1.016
90	0.25	0.948	1.018	1.008	0.644
	0.5	0.948	1.018	1.008	0.662
	0.75	0.948	1.018	1.008	0.675
	1	0.948	1.018	1.008	0.665
	1.25	0.948	1.018	1.008	0.670
	1.5	0.948	1.018	1.008	0.647
	1.75	0.948	1.018	1.008	0.663



Hình 5. Hệ số an toàn của mái dốc khi hệ số c_2/c_1 thay đổi (lời giải sử dụng Plaxis)

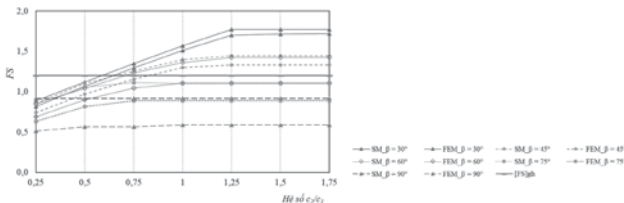


Hình 6. So sánh FS của LEM và FEM với $c_2/c_1 = (0.25 \div 1.75)$

4.2.2. Ảnh hưởng của hệ số c_2/c_1 đến hệ số an toàn của mái dốc (FS) với $\varphi = 5^\circ$

Bảng 5. Hệ số FS thay đổi theo c_2/c_1 với $\varphi = 5^\circ$

β°	c_1/c_2	Cân bằng giới hạn LEM			FEM
		BSM	JSM	SM	
30	0,25	1,501	1,467	1,503	1,435
	0,5	1,731	1,655	1,734	1,669
	0,75	1,951	1,832	1,949	1,881
	1	2,132	1,999	2,129	2,066
	1,25	2,276	2,141	2,273	2,200
	1,5	2,276	2,164	2,273	2,200
	1,75	2,276	2,164	2,273	2,200
45	0,25	1,311	1,361	1,372	1,236
	0,5	1,510	1,524	1,534	1,431
	0,75	1,663	1,670	1,686	1,571
	1	1,756	1,737	1,765	1,676
	1,25	1,799	1,771	1,800	1,689
	1,5	1,805	1,786	1,809	1,689
	1,75	1,805	1,790	1,809	1,689
60	0,25	1,236	1,324	1,344	1,108
	0,5	1,409	1,477	1,550	1,267
	0,75	1,466	1,525	1,605	1,355
	1	1,466	1,525	1,635	1,395
	1,25	1,466	1,525	1,635	1,395
	1,5	1,466	1,525	1,635	1,395
	1,75	1,466	1,525	1,635	1,395
75	0,25	1,205	1,308	1,309	1,080
	0,5	1,255	1,316	1,324	1,084
	0,75	1,255	1,316	1,324	1,121
	1	1,255	1,316	1,324	1,121
	1,25	1,255	1,316	1,324	1,121
	1,5	1,255	1,316	1,324	1,121
	1,75	1,255	1,316	1,324	1,122
90	0,25	1,056	1,084	1,075	0,728
	0,5	1,056	1,084	1,075	0,733
	0,75	1,056	1,084	1,075	0,737
	1	1,056	1,084	1,075	0,748
	1,25	1,056	1,084	1,075	0,748
	1,5	1,056	1,084	1,075	0,748
	1,75	1,056	1,084	1,075	0,748

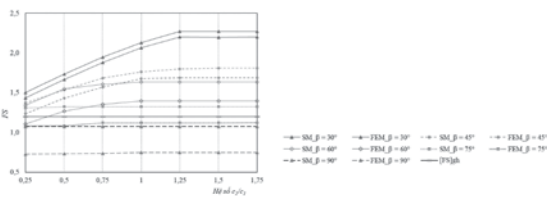


Hình 7. So sánh hệ số FS giữa phương pháp SM và PLAXIS

4.2.3. Ảnh hưởng của hệ số c_2/c_1 đến hệ số an toàn của mái dốc (FS) với $\varphi = 15^\circ$

Bảng 6. Hệ số FS thay đổi theo c_2/c_1 với $\varphi = 15^\circ$

β°	c_1/c_2	Cân bằng giới hạn LEM			FEM
		BSM	JSM	SM	
30	0,25	1,501	1,467	1,503	1,435
	0,5	1,731	1,655	1,734	1,669
	0,75	1,951	1,832	1,949	1,881
	1	2,132	1,999	2,129	2,066
	1,25	2,276	2,141	2,273	2,200
	1,5	2,276	2,164	2,273	2,200
	1,75	2,276	2,164	2,273	2,200
45	0,25	1,311	1,361	1,372	1,236
	0,5	1,510	1,524	1,534	1,431
	0,75	1,663	1,670	1,686	1,571
	1	1,756	1,737	1,765	1,676
	1,25	1,799	1,771	1,800	1,689
	1,5	1,805	1,786	1,809	1,689
	1,75	1,805	1,790	1,809	1,689
60	0,25	1,236	1,324	1,344	1,108
	0,5	1,409	1,477	1,550	1,267
	0,75	1,466	1,525	1,605	1,355
	1	1,466	1,525	1,635	1,395
	1,25	1,466	1,525	1,635	1,395
	1,5	1,466	1,525	1,635	1,395
	1,75	1,466	1,525	1,635	1,395
75	0,25	1,205	1,308	1,309	1,080
	0,5	1,255	1,316	1,324	1,084
	0,75	1,255	1,316	1,324	1,121
	1	1,255	1,316	1,324	1,121
	1,25	1,255	1,316	1,324	1,121
	1,5	1,255	1,316	1,324	1,121
	1,75	1,255	1,316	1,324	1,122
90	0,25	1,056	1,084	1,075	0,728
	0,5	1,056	1,084	1,075	0,733
	0,75	1,056	1,084	1,075	0,737
	1	1,056	1,084	1,075	0,748
	1,25	1,056	1,084	1,075	0,748
	1,5	1,056	1,084	1,075	0,748
	1,75	1,056	1,084	1,075	0,748

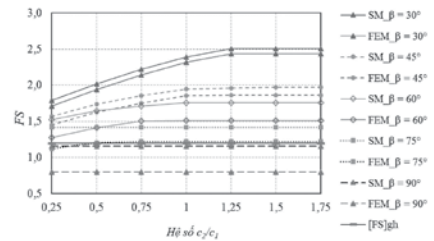


Hình 8. So sánh hệ số FS giữa phương pháp SM và PLAXIS

4.2.4. Ảnh hưởng của hệ số c_2/c_1 đến hệ số an toàn của mái dốc (FS) với $\varphi = 20^\circ$

Bảng 7. Hệ số FS thay đổi theo c_2/c_1 với $\varphi = 20^\circ$

β°	c_1/c_2	Cân bằng giới hạn LEM			FEM
		BSM	JSM	SM	
30	0,25	1,787	1,717	1,790	1,714
	0,5	2,017	1,963	2,019	1,940
	0,75	2,222	2,075	2,220	2,145
	1	2,393	2,238	2,390	2,320
	1,25	2,510	2,369	2,506	2,436
	1,5	2,510	2,369	2,506	2,436
	1,75	2,510	2,369	2,506	2,436
45	0,25	1,534	1,563	1,572	1,452
	0,5	1,721	1,718	1,736	1,626
	0,75	1,855	1,846	1,858	1,752
	1	1,942	1,901	1,945	1,854
	1,25	1,969	1,924	1,963	1,860
	1,5	1,969	1,933	1,970	1,860
	1,75	1,969	1,941	1,970	1,860
60	0,25	1,472	1,510	1,522	1,274
	0,5	1,588	1,644	1,649	1,412
	0,75	1,599	1,644	1,710	1,502
	1	1,599	1,651	1,757	1,514
	1,25	1,599	1,651	1,757	1,514
	1,5	1,599	1,651	1,757	1,514
	1,75	1,599	1,651	1,757	1,514
75	0,25	1,331	1,412	1,418	1,122
	0,5	1,331	1,412	1,418	1,208
	0,75	1,331	1,412	1,418	1,224
	1	1,331	1,412	1,418	1,224
	1,25	1,331	1,412	1,418	1,224
	1,5	1,331	1,412	1,418	1,224
	1,75	1,331	1,412	1,418	1,224
90	0,25	1,113	1,169	1,159	0,800
	0,5	1,113	1,169	1,159	0,800
	0,75	1,113	1,169	1,159	0,800
	1	1,113	1,169	1,159	0,800
	1,25	1,113	1,169	1,159	0,800
	1,5	1,113	1,169	1,159	0,800
	1,75	1,113	1,169	1,159	0,800



Hình 9. So sánh hệ số FS giữa phương pháp SM và PLAXIS

5. Kết luận

Theo kết quả phân tích, cơ cấu phá hoại của hai phương pháp LEM và FEM có sự khác biệt không đáng kể, hệ số an toàn FS chênh lệch không nhiều, và phương pháp FEM cho kết quả hệ số an toàn FS nhỏ hơn phương pháp LEM. Do đó, có thể sử dụng cả hai phương pháp LEM và FEM để tính toán mái dốc.

Khi lớp đất 1 tốt hơn lớp 2 phía dưới ($c_2/c_1 < 1$), mái dốc trượt mở rộng ở đỉnh và trượt sâu xuống lớp đất yếu hơn, khi lớp đất 2 có khả năng chịu tải lớn hơn lớp đất 1 ($c_2/c_1 > 1$), mái dốc có mặt trượt thu hẹp ở đỉnh và trượt ở chân mái dốc trong phạm vi lớp đất yếu phía trên. Tuy nhiên, với những mái dốc thẳng đứng thì chỉ xảy ra ở lớp đất phía trên với tất cả các hệ số c_2/c_1 . Qua đó, nhận thấy rằng khi c_2/c_1 tăng từ 0.25÷1.25 hệ số an toàn tăng liên tục, điều này chứng tỏ lực dính lớp đất 2 ảnh hưởng đến hệ số an toàn mái dốc FS, khi $c_2/c_1 \geq 1.25$ thì việc thay đổi lực dính c_2 không còn ảnh hưởng đến hệ số an toàn FS.

Sự ổn định của mái dốc tự nhiên phụ thuộc vào góc nghiêng mái dốc β , góc ma sát trong φ và lực dính c , do đó sức chống cắt của đất c , φ ảnh hưởng đến hệ số an toàn mái dốc. Khi góc nghiêng mái dốc càng lớn, cần phải có biện pháp gia cường để mái dốc đảm bảo ổn định.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Bishop, A.W. (1955), "The use of slip circles in stability analysis of slopes", *Geotechnique*, 5(1), 7-17.
- [2]. Janbu, N. (1954), "Stability analysis of Slopes with Dimensionless parameters", Thesis for the Doctor of Science in the Field of Civil Engineering, Harvard University Soil Mechanics Series.
- [3]. Spencer, E. (1967), "A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice force", *Geotechnique*, 15, 11-26.