

MÔ HÌNH SỐ PHÂN TÍCH ỔN ĐỊNH MÁI DỐC THEO LÝ THUYẾT ĐỘ TIN CẬY BẰNG PHẦN MỀM GEOSTUDIO

Nguyễn Văn Toàn¹

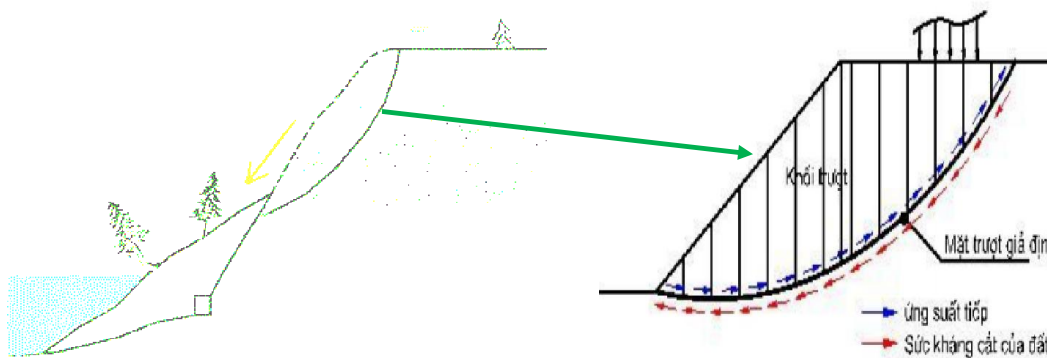
Tóm tắt: Đánh giá ổn định trượt của mái dốc bằng phân tích trạng thái cân bằng giới hạn đã được áp dụng phổ biến trong các bài toán địa kỹ thuật. Tuy nhiên, còn bao hàm nhiều yếu tố ngẫu nhiên trong phân tích ổn định. Mục đích của bài báo này là mô phỏng số ổn định mái dốc bằng cách sử dụng phần mềm GeosStudio (Slope/w). Hệ số an toàn chống trượt (FOS) được xác định bằng cách sử dụng trạng thái cân bằng giới hạn trong phương pháp Morgenstern-Price cùng thuộc tính Mohr-Coulomb của đất. Ảnh hưởng của áp lực nước lỗ rỗng, lực dính, góc ma sát trong, dung trọng riêng của đất, và tải trọng bên ngoài vào đến ổn định mái dốc được nghiên cứu thông qua một bài toán ổn định cụ thể theo phương pháp xác suất. Kết quả cho thấy FOS trượt của mái dốc phụ thuộc vào các yếu tố ngẫu nhiên và ứng với độ tin cậy càng cao thì mức độ phạm vi thay đổi của FOS càng lớn.

Từ khoá: Cân bằng giới hạn, ổn định mái dốc, hệ số an toàn, tính cơ lý đất, GeoStudio.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Phân tích ổn định mái dốc được thực hiện để đánh giá mức độ an toàn thiết kế và kinh tế của các mái đất dốc của công trình (ví dụ kè, taluy đường, đê, đập, khai thác mỏ lộ thiên, và bãi chôn lấp, tập kết vật liệu rời...) hoặc sườn núi tự

nhiên. Trong đánh giá ổn định mái dốc, kỹ sư chủ yếu căn cứ vào giá trị của hệ số FOS để đánh giá là ổn định hay bị trượt. Khi giá trị FOS > 1, sức kháng cắt lớn hơn ứng suất cắt cùng hướng và mái dốc được xem là ổn định (R. Whitlow, 1997).



Hình 1. Mái dốc bị trượt và dạng mặt trượt cung tròn giả định

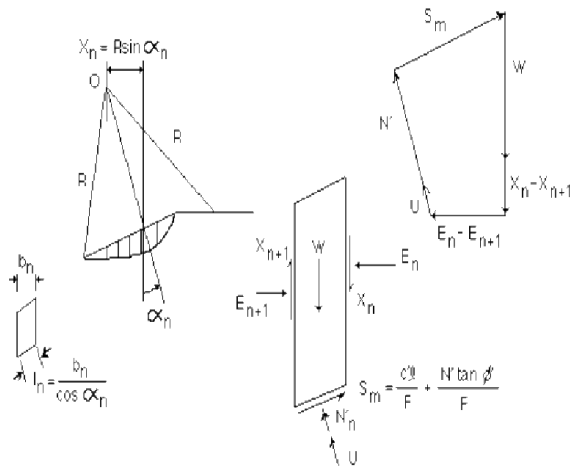
Ổn định trượt của đất được phân tích theo trạng thái giới hạn là phương pháp phổ biến

nhất trong lĩnh vực địa kỹ thuật nhiều thập kỷ qua. Chương trình phần mềm GeoStudio (Slope/w) phân tích trên máy tính cho phép các kỹ sư địa kỹ thuật thực hiện tính toán cân bằng giới hạn phân tích ổn định các kiểu mái dốc mái

¹ Bộ môn Kỹ thuật Công trình, Đại học Thủy Lợi, Cơ sở 2

dốc đa dạng. Thuật toán chương trình sử dụng nhiều phương pháp như: phương pháp Bishop giản đơn, phương pháp giản Janbu giản đơn, phương pháp Spencer, phương pháp Morgenstern-Price. Thêm vào đó, Slope/w cho phép áp dụng các phương pháp này với các dạng mặt trượt phong phú có thể xảy ra trong tự nhiên như mặt cung tròn, mặt phức hợp hoặc không tròn (GeoStudio, 2007).

Thông thường, khi phân tích đánh giá ổn định, người thiết kế thường không xem xét đến các yếu tố ngẫu nhiên. Trong khi đó, có nhiều yếu tố mang tính ngẫu nhiên có thể thấy rõ ràng trong bài toán này như điều kiện địa mạo, địa chất thực tế của mái dốc; hoặc sai số trong thí nghiệm khảo sát. Vì vậy, thay vì việc chỉ giải bài toán đơn thuần thông thường người kỹ sư cần cân nhắc việc đánh giá chúng bao hàm cả yếu tố ngẫu nhiên. Kết quả tính toán có thể sẽ tối ưu hơn về kinh tế và đánh giá khách quan hơn về mức độ rủi ro của công trình.



Hình 2. Các thành phần lực tương tác lên mảnh trượt thứ i

2. HỆ SỐ AN TOÀN VÀ PHƯƠNG PHÁP CÂN BẰNG GIỚI HẠN

Hệ số an toàn chống trượt FOS (Factor of Safe) tại một điểm nào đó theo một hướng xác định được hiểu là hệ số chiết giảm khả năng chống cắt của đất sao cho trạng thái cân bằng giới hạn xảy ra (Fredlund, 1977):

$$FOS = \frac{s}{\tau} \quad (1)$$

Trong đó: s là sức kháng cắt của đất trên hướng đang xét;

τ là ứng suất cắt thực tế tác dụng trên hướng đó.

Phổ biến nhất trong thực tế tính toán ổn định mái dốc là giả thiết mặt trượt trụ tròn với nhiều nghiên cứu liên quan đã và đang được thực hiện, ví dụ: phương pháp cân bằng giới hạn tổng quát; phương pháp Fellenius cổ điển; phương pháp Bishop giản đơn; phương pháp Morgenstern-Price. Tuy nhiên, dựa vào số lượng phương trình cân bằng được sử dụng ở mỗi phương pháp mà có thể phân chia một cách đơn giản các phương pháp đó như sau:

- Một phương trình cân bằng: cân bằng moment quanh tâm trượt;
- Hai phương trình cân bằng: cân bằng moment và cân bằng lực theo một phương bất kì;
- Ba phương trình cân bằng: cân bằng moment và cân bằng lực theo hai phương liên hợp.

Các phương pháp khảo sát có thể tiến hành khảo sát chung của toàn khối trượt hoặc khảo sát chung kết hợp khảo sát riêng từng mảnh.

3. YẾU TỐ NGẪU NHIÊN TRONG BÀI TOÁN ỔN ĐỊNH TRƯỢT

Đối với bài toán ổn định trượt của mái đất tồn tại nhiều yếu tố ngẫu nhiên, trong đó có một số yếu tố như: (1) Yếu tố ngẫu nhiên mang tính khách quan (các yếu tố gắn liền với sự ngẫu nhiên của thiên nhiên); (2) Yếu tố ngẫu nhiên mang tính chủ quan (sự ngẫu nhiên của mô hình tính toán, phương pháp tính toán, công thức kinh nghiệm mô tả đặc điểm vật lý của đất; sự ngẫu nhiên của các kết quả thí nghiệm thông số vật lý của đất; sự ngẫu nhiên của dữ liệu đầu vào bao gồm sai số do đo đạc, khảo sát, thí nghiệm; sai số do xử lý dữ liệu). Trong đó các yếu tố ngẫu nhiên chủ yếu trong bài toán ổn định trượt bao gồm: Đặc tính vật lý của đất; Yếu tố ngẫu nhiên trong mô hình tính, phương pháp tính; Áp lực nước.

Biến ngẫu nhiên đóng vai trò chủ yếu trong bài toán ổn định trượt cung tròn là tính chất vật lý của đất, trong đó có các thông số chính: Trọng lượng đơn vị; Lực dính; Góc ma sát

trong; Độ chặt (Lumb, 1996 và Christian, 1994). Biến ngẫu nhiên đặc tính vật lý của đất có thể do sự phân bố ngẫu nhiên trong không gian của các loại đất khác nhau (tính không đồng nhất về tính chất vật lý theo cả không gian và thời gian) hoặc do các sai số thí nghiệm. Các sai số ngẫu nhiên thường xảy ra trong các quá trình liên quan đến việc đo đạc, xác định các thông số như lỗi của người thí nghiệm viên hay lỗi của thiết bị thí nghiệm. Các sai số ngẫu nhiên dạng này cần phải được loại bỏ trước khi tính toán.

Đối với một bài toán cụ thể, trước hết và cần thiết là lựa chọn biến ngẫu nhiên, mức độ biến thiên giá trị của biến. Các biến ngẫu nhiên phổ biến về tính chất vật lý của đất như là: trọng lượng riêng; lực dính; góc ma sát trong; và áp lực nước lỗ rỗng. Bên cạnh đó có thể đánh giá ngẫu nhiên của mực nước, tải trọng trên bờ. Những thông số tự nhiên của các vật liệu này có thể biến phân phối thông thường biểu diễn bằng các kiểu hàm mật độ xác suất khác nhau như: Normal; Lognormal; Uniform; Triangular; Generalized Spline (GeoStudio, 2007). Ví dụ đối với hàm Normal:

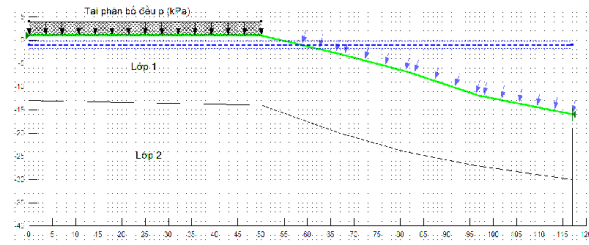
$$f(x) = \frac{e^{-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}} \quad (2)$$

Trong đó: x là biến liên quan;
 σ là độ lệch chuẩn;
 u là giá trị trung bình.

Mức độ biến thiên của một thông số được biểu diễn qua hệ số biến thiên COV (Coefficient of Variation), các hệ số COV cho thấy mức độ sai số và các mức độ tập trung giá trị của các đại lượng ngẫu nhiên biểu diễn: $COV = \sigma / u$ (3)

4. BÀI TOÁN PHÂN TÍCH ỔN ĐỊNH TRƯỢT THEO PHƯƠNG PHÁP XÁC SUẤT CÓ XÉT YẾU TỐ NGẪU NHIÊN

Hình 3 minh họa mô hình hình học của mái dốc bờ sông phân tích trên Slope/w, tải trọng của công trình trên bờ được xem như là tải trọng phân bố đều theo diện tích.



Hình 3. Mô hình hình học mái dốc phân tích (các kích thước tính bằng mét)

FOS được xác định bằng cách sử dụng trạng thái cân bằng giới hạn trong phương pháp Morgenstern-Price cùng với thuộc tính Mohr-Coulomb của đất. Sự ảnh hưởng của các yếu tố như áp lực nước lỗ rỗng, sự gắn kết, góc ma sát trong, trọng lượng đơn vị của lớp đất đến vấn đề ổn định mái dốc được xem xét trong bài toán này thông qua các đại lượng ngẫu nhiên, bao gồm: trọng lượng riêng của đất; lực dính; góc ma sát trong, mực nước. Ngoài ra bài toán còn xét thêm đến sự thay đổi của tải trọng phân bố đều trên bờ. Hệ số Monte-Carlo (số lần thử) 2000 lần.

Địa chất bờ sông trong mô hình gồm hai lớp đất L1 và L2 có vị trí đường biên không thay đổi. Biến ngẫu nhiên trong bài toán phân tích gồm: thông số vật lý của từng lớp đất (γ ; c ; ϕ) và mực nước tự nhiên theo luật phân phối chuẩn thường. Mức độ biến thiên của các biến biểu diễn qua độ lệch chuẩn SD (Standard Deviation) trong các trường hợp phân tích được tổng hợp trong bảng 1.

Bảng 1. Lớp đất và giá trị trung bình của các thông số vật lý

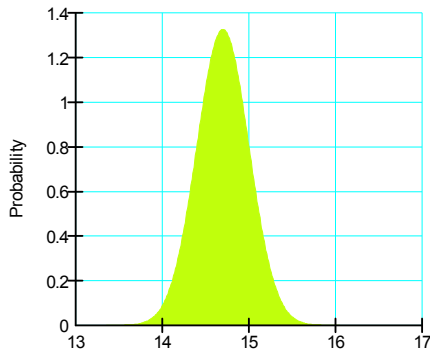
Lớp đất	Kí hiệu	Giá trị trung bình (Mean)			Độ lệch chuẩn của các thông số			
		Trọng lượng riêng, γ (kN/m^3)	Lực dính, c (kN/m^2)	Góc ma sát trong, ϕ (độ)	SD_γ	SD_c	SD_ϕ	SD_{pwl}
Lớp trên	L1	14.7	6.7	7.5	0.3	0.4	0.4	0.15
Lớp dưới	L2	19.3	5.7	23	0.8	1.0	1.0	0.15

Tiến hành khảo sát FOS theo các kịch bản mực nước trên sông thay đổi ($H_1 = 1\text{m}$; $H_2 = 0\text{m}$; $H_3 = -1\text{m}$; $H_4 = -2\text{m}$; $H_5 = -3\text{m}$). Trong mỗi kịch bản phân tích, tải trọng công trình trên bờ sông cũng thay đổi theo 6 mức ($P_0 = 0\text{ kPa}$; $P_1 =$

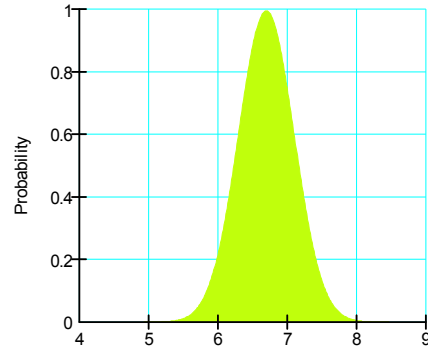
10 kPa ; $P_2 = 20\text{ kPa}$; $P_3 = 30\text{ kPa}$; $P_4 = 40\text{ kPa}$; $P_5 = 50\text{ kPa}$).

Hình 4 minh họa hàm mật độ xác suất các thông số vật lý của lớp đất **L1** và mực nước tự nhiên theo luật phân phối chuẩn thường:

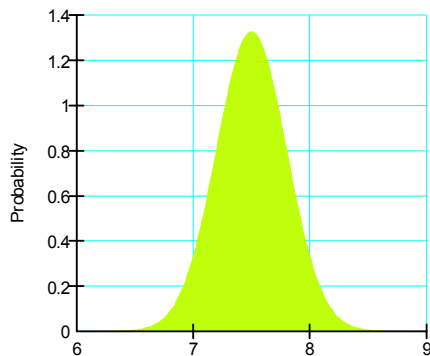
Hàm mật độ xác suất dung trọng riêng



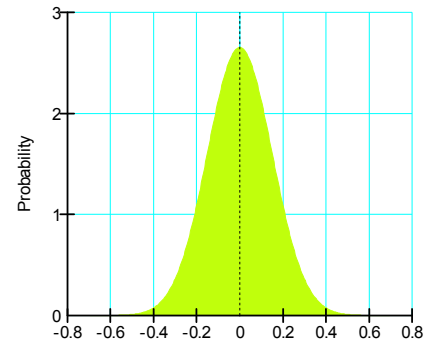
Hàm mật độ xác suất lực dính



Hàm mật độ xác suất góc ma sát trong



Hàm mật độ xác suất mực nước tự nhiên

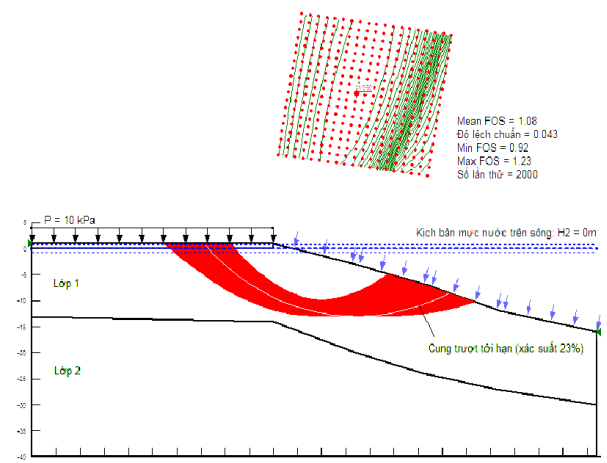


Hình 4. Hàm mật độ xác suất của lớp đất **L1** và mực nước tự nhiên

5. KẾT QUẢ VÀ PHÂN TÍCH

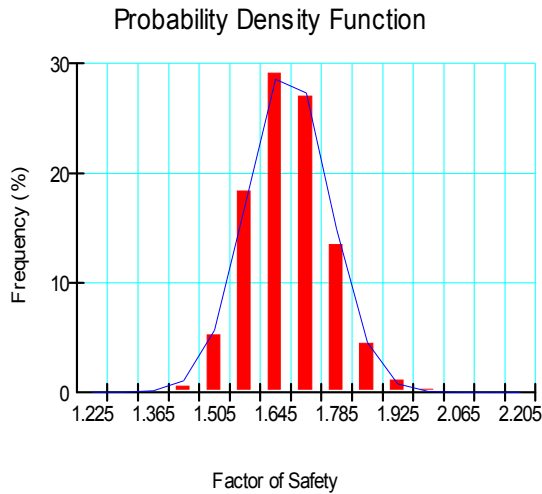
Ví dụ kết quả ở hình 5 thể hiện bản đồ vùng trượt của các mặt trượt tới hạn trong kịch bản ứng với mực nước sông $H_2 = 0\text{m}$, tải trọng phân bố trên bờ $P=10\text{kPa}$. FOS tính được theo phương pháp Morgenstern-Price có giá trị trong phạm vi từ 0.916 đến 1.232, giá trị trung bình là Mean FOS = 1.08 với xác suất xảy ra 23%; nhưng trong phạm vi FOS = (1.00-1.16) thì xác suất xảy ra 95%.

Hệ số an toàn giảm dần khi tải trọng trên bờ tăng lên và phân phối xác suất xảy ra của FOS thể hiện trong hình 6. Khi độ tin cậy yêu cầu tăng thì phạm vi của hệ số an toàn càng rộng.

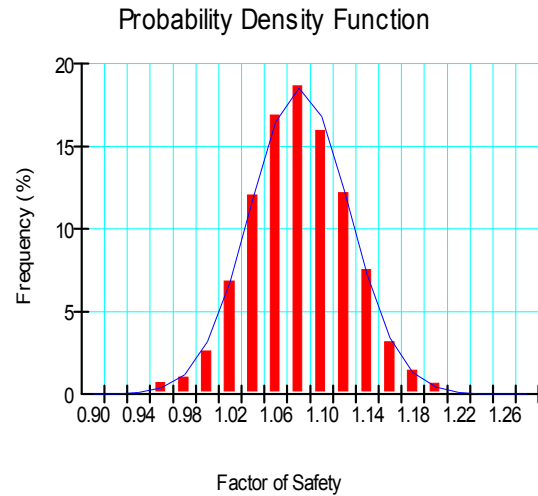


Hình 5. Bản đồ vùng trượt ứng với kịch bản $H_2=0\text{m}$ và $p=10\text{kPa}$

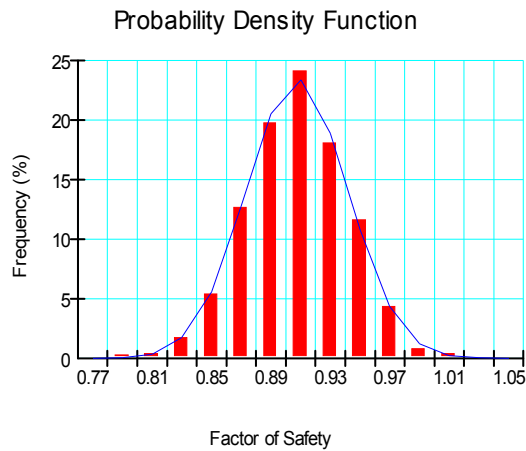
Không có tải



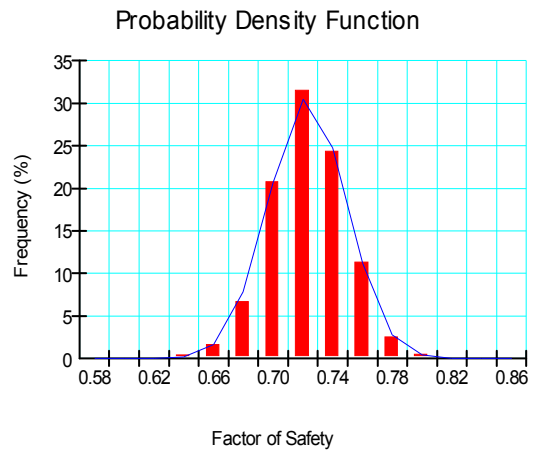
Tải phân bố 10 kPa



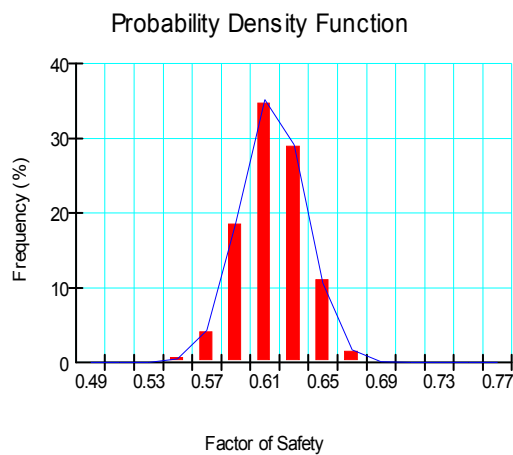
Tải phân bố 20 kPa



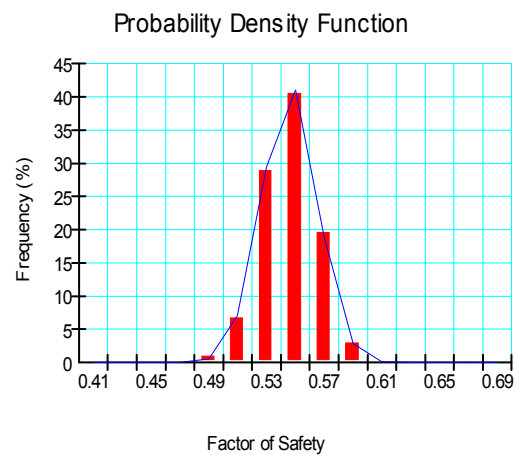
Tải phân bố 30 kPa



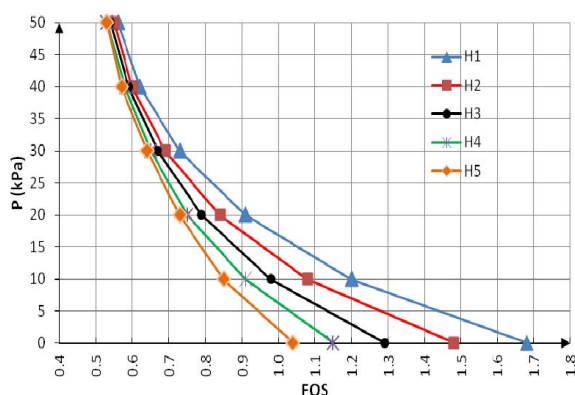
Tải phân bố 40 kPa



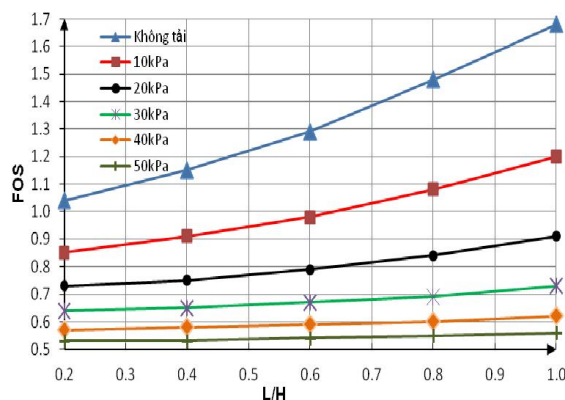
Tải phân bố 50 kPa



Hình 6. Xác suất của FOS ứng với kịch bản mực nước $H_2 = 0m$



Hình 7. Mối quan hệ giữa FOS và tải trọng ứng với các kịch bản mực nước trên sông



Hình 8. Mối quan hệ giữa FOS và mực nước ứng với các trường hợp tải

Tổng hợp kết quả của mối quan hệ FOS và tải trọng khi phân tích theo lý thuyết độ tin cậy được thể hiện trong hình 7. Khi tải trọng càng tăng thì mức độ giảm của FOS càng mạnh và FOS có xu thế chụm lại gần hơn. Ứng với cùng một mức tải trọng trên bờ sông thì FOS giảm khi mực nước sông giảm, điều này có nghĩa là nguy cơ mất ổn định bờ càng tăng khi mực nước sông giảm xuống.

Tổng hợp kết quả của mối quan hệ FOS và tỷ lệ đầy nước trên sông $L/H = (H-H_{min})/((H_{max}-H_{min}))$ khi phân tích theo lý thuyết độ tin cậy được thể hiện trong hình 8.

6. KẾT LUẬN

Một vài kết luận rút ra từ nghiên cứu này:

Sự có mặt của nước tự nhiên làm thay đổi khả năng trượt của mái dốc, trong một phạm vi tải trọng nào đó khi mực nước tự nhiên giảm thì đất xu thế ổn định hơn.

Giá trị độ lệch chuẩn của các đặc tính cơ lý đất càng cao thì đất có nguy cơ trượt càng nhiều nghĩa là độ tin cậy của các tham số đầu vào ảnh hưởng tới hệ số an toàn và xác suất xảy ra trạng thái cân bằng giới hạn.

Theo lý thuyết độ tin cậy thì FOS sẽ thay đổi phụ thuộc vào mức độ tin cậy yêu cầu. Vì vậy, khi nghiên cứu ổn định mái dốc cần xem xét đến mức độ tin cậy để lựa chọn FOS hợp lý.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Baecher B.T. and Christian J.T., (2003) *Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering*, John Wiley & Son England.
- B. K. Low, (2003) *Practical Probabilistic Slope Stability Analysis*, Nanyang Technological University, Singapore.
- D. G. Fredlund and J. Krahn, (1977) *Comparison of slope stability methods of analysis*, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 14, No. 3, pp. 429-439.
- Morgenstern N. R., (1995) *Managing Risk in Geotechnical Engineering*, Proc., Pan Am. Conf., ISSMFE.
- SLOPE/W, (2007) *An Engineering Methodology*, Geo-Slope International, Canada.

Abstract:
**NUMERICAL MODELING OF PROBABILISTIC
SLOPE STABILITY ANALYSIS ON GEOSTUDIO**

Assessing the stability of slopes by limit equilibrium analysis methods have been applied commonly to solve geotechnical engineering problems. Nevertheless, regarding slope stability analysis, there are many random factors. The aim of this paper is to numerically simulate of the slope stability by using the GeoStudio software (Slope/w). The Factors of Safe (FOS) determined by the limit equilibrium following the Morgenstern-Price method combination with Mohr-Coulomb soil properties. The effects of pore-water pressure, cohesion, internal friction angle, unit weight of soil and surcharge loading on slope stability were investigated through a prime instance, take into consideration the random variables with Monte Carlo simulations. The result demonstrates that the FOS of slope depends on random factors and if reliability is increases then the range of FOS is lager. In addition, the change of water level and surcharge should also be taken into account.

Keywords: Limit equilibrium, slope stability, factor of safe, soil parameter, GeoStudio.

BBT nhận bài: 03/9/2016

Phản biện xong: 10/10/2016