

GIẢI BÀI TOÁN ỔN ĐỊNH TRƯỢT CUNG TRÒN NỀN ĐẤT ĐẤP BẰNG PHƯƠNG PHÁP XÁC SUẤT PROBABILISTIC SLOPE STABILITY ANALYSIS

ThS. HOÀNG HỒNG GIANG
Khoa Công trình, Trường ĐHHH

Tóm tắt:

Bài toán ổn định trượt cung tròn mái dốc của nền đất đắp thường bao hàm nhiều yếu tố ngẫu nhiên. Hiện nay, người ta thường áp dụng phương pháp phân mảnh, cân bằng lực để tính toán xác định hệ số an toàn theo bài toán tiền định, không xét đến các yếu tố ngẫu nhiên. Mục đích của bài báo này là giới thiệu thông qua một ví dụ thực tế bài toán ổn định trượt mái dốc nền đất theo phương pháp xác suất xét đến các yếu tố ngẫu nhiên, so sánh khái niệm xác suất trượt và khái niệm hệ số an toàn truyền thống.

Abstract:

Slope stability is one of the geotechnical subject mostly concerned with uncertainties. The current practice in slope stability analysis is based on the limit equilibrium, slides, factor of safety and not directly addresses uncertainty. The objective of this paper is to introduce via a real analysis the probabilistic slope stability analysis to incorporate uncertainty in the calculation and brings the full overview of the different between probability of failure and traditional factor of safety.

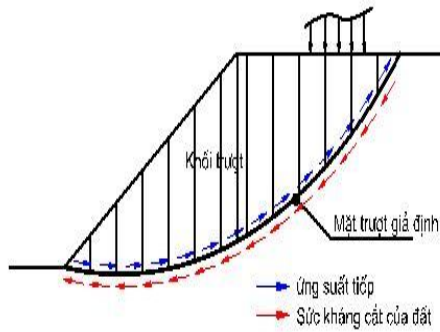
1. Giới thiệu chung

Tính toán ổn định trượt cung tròn của nền đất đắp là bài toán truyền thống được sử dụng để đánh giá mức độ an toàn của các công trình nền đất đắp như nền đường giao thông, đê, đập. Phương pháp đánh giá phụ thuộc vào điều kiện từng khu vực và loại phá hoại (hư hỏng) có thể xảy ra.

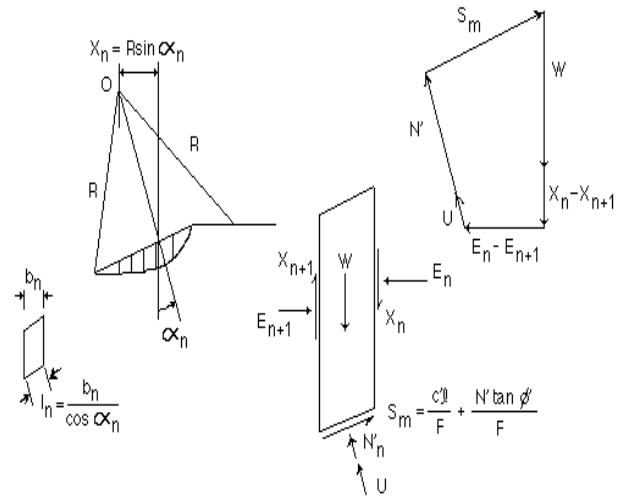
Bài toán đánh giá ổn định trượt cung tròn gồm nhiều yếu tố ngẫu nhiên. Sự ngẫu nhiên của điều kiện địa chất, ngẫu nhiên của đặc tính vật liệu tạo nền, ngẫu nhiên của điều kiện tự nhiên, ngẫu nhiên trong các phương pháp tính... tạo nên sự ngẫu nhiên của bài toán đánh giá ổn định trượt. Giải bài toán ổn định trượt theo phương pháp định tính sẽ không xét đến các yếu tố ngẫu nhiên này do đó kết quả sẽ khó gần với thực tế và do vậy khó long đạt được kết quả tính toán tối ưu về kinh tế và không cho phép lượng hoá mức độ an toàn của nền đất sau khi được xây dựng. Giải bài toán trượt cung tròn bằng phương pháp áp dụng lý thuyết xác suất cho phép xem xét ảnh hưởng của các yếu tố ngẫu nhiên và do vậy kết quả tính toán sẽ gần với thực tế hơn, cho phép tối ưu hoá thiết kế.

2. Bài toán trượt cung tròn theo phương pháp cổ điển

Bài toán về ổn định trượt cung tròn của mái đất được khảo sát từ rất lâu. Tuy vậy, cho tới cuối thế kỷ 20 người ta vẫn dùng phương pháp giả định mặt trượt là cung tròn và xét trạng thái cân bằng của khối trượt.



Hình 1: Mặt trượt cong tròn



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

Hệ số ổn định của mái đất được xác định là:

$$F_s = \frac{\text{Tổng ứng suất tiếp (sức kháng cắt) giới hạn}}{\text{Tổng ứng suất thực ở khối trượt}}$$

Trong thực tế tính toán, ta chia khối trượt (bằng các mặt thẳng đứng, song song với nhau) thành nhiều mảnh rồi tiến hành xét cân bằng. Khi xét đầy đủ các lực tương tác giữa các mảnh (có kể đến biến dạng của khối trượt) thì bài toán rất cồng kềnh. Vì vậy, người ta đã đưa thêm một số giả thiết vào bài toán để nó trở nên đơn giản hơn. Hai phương pháp được dùng phổ biến cho tới nay là:

- Phương pháp Fellenius với giả thiết là tổng các lực tương tác bằng không trên trục vuông góc với đường bán kính.
- Phương pháp Bishop (đơn giản) với giả thiết là tổng các lực tương tác bằng không trên trục nằm ngang.

Các tính toán cho thấy là: trong cùng điều kiện, hệ số an về ổn định F_s tính toán theo Bishop (đơn giản) luôn lớn hơn F_s tính toán theo Fellenius khoảng 8-10%. Trong các tiêu chuẩn thiết kế, có thể cho phép, khi đánh giá ổn định mái đất, dùng cả hai phương pháp và yêu cầu $[F_s]$ lấy bằng 1.10-1.15 khi tính toán theo Fellenius và lấy bằng 1.25->1.30 khi tính toán theo Bishop (simplified).

Ngoài ra còn có các phương pháp như Janbu, Spencer, Morgenstern-Price, GLE, Lowe-Karafiath, Sarma. Hiện có sẵn những phần mềm tốt để tính toán theo các phương pháp này như GeoSlope, Sted.

Bản chất phương pháp luận của các phương pháp nói trên là phương pháp định tính đơn giản (tiền định). Nếu hệ số an toàn lớn hơn 1, mái đất được coi là ổn định. Việc sử dụng hệ số an toàn bằng bao nhiêu phụ thuộc vào kinh nghiệm của người kỹ sư thiết kế, các tiêu chuẩn qui định cũng như các điều kiện khác. Yếu tố ngẫu nhiên của các thông số đầu vào không được tính đến trong bài toán tiền định và do vậy kết quả tính toán không cho phép đánh giá toàn diện vấn đề.

3. Các yếu tố ngẫu nhiên trong tính toán ổn định trượt nền đắp

Trong các bài toán cơ học đất nói chung tồn tại nhiều yếu tố ngẫu nhiên và ngày nay người ta có thể nhận biết rõ ràng về chúng. Một vài yếu tố cơ bản như: (1) các yếu tố gắn liền với sự ngẫu nhiên của thiên nhiên; (2) sự ngẫu nhiên của mô hình tính toán, của phương pháp tính toán cũng như của các công thức kinh nghiệm mô tả đặc điểm vật lý của hệ thống, ví dụ như việc tính toán xác định hệ số an toàn của mái dốc dựa vào phương pháp chia mảnh và cân bằng lực; (3) Sự ngẫu nhiên của các kết quả đầu ra là kết quả của việc không thể đưa các thông số đầu vào chính xác; (4) Sự ngẫu nhiên của dữ liệu đầu vào bao gồm (a) sai số do đo đạc, khảo sát, thí nghiệm (b) sai số do các dữ liệu không thống nhất và không đồng nhất và (c) sai số do xử lý dữ liệu.

Các yếu tố ngẫu nhiên sau là chủ yếu trong bài toán ổn định trượt:

- Đặc tính cơ lý của đất.
- Yếu tố ngẫu nhiên trong mô hình tính, phương pháp tính.
- Áp lực nước.

3.1 Tính ngẫu nhiên của đặc tính cơ lý của đất

Các yếu tố ngẫu nhiên trong mô tả đặc tính cơ lý của đất có thể sinh ra do sự phân bố ngẫu nhiên trong không gian của các loại đất khác nhau hoặc do các sai số của quá trình thí nghiệm. Sự biến thiên theo không gian là sự thay đổi về đặc điểm cơ lý của cùng 1 lớp đất giữa lỗ khoan này và lỗ khoan khác, điều này cần phải được xem xét trong quá trình tính toán. 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.

Theo Lumb (1996) và Christian (1994), các yếu tố ngẫu nhiên đóng vai trò chủ yếu trong bài toán ổn định trượt cung tròn là sự ngẫu nhiên về đặc tính cơ lý của đất. Trong đó các thông số sau là chính:

- Lực dính (Cohesion).
- Góc nội ma sát (Friction angle).
- Dung trọng đơn vị (Unit weight).
- Độ chặt (soil density).

3.2 Tính ngẫu nhiên của mô hình tính

Sự sai khác giữa lý thuyết áp dụng khi tính toán và thực tế tạo ra các yếu tố ngẫu nhiên trong mô hình tính. So sánh kết quả tính toán với sự vận hành thực tế hoặc với kết quả của các mô hình tính phức tạp hơn có lẽ là cách trực tiếp nhất và tin cậy nhất để xác định các yếu tố ngẫu nhiên tồn tại trong mô hình tính. Sự ngẫu nhiên của mô hình tính bao gồm:

Mô tả các lớp địa chất:

- Chiều dày các lớp địa chất khác nhau.
- Sự hiện diện của các điểm địa chất yếu.

Áp lực nước:

- Mức nước ngầm.
- Áp lực nước, áp lực nước lỗ rỗng.

3.3 Lựa chọn các thông số để tính toán

Bước đầu tiên, quan trọng nhất là xác định thông số nào sẽ được tính toán theo quan điểm ngẫu nhiên (biến ngẫu nhiên). Việc xác định dựa trên sự biến thiên giá trị của các thông số và mức độ ảnh hưởng đến kết quả tính toán (Hệ số an toàn). Thông thường ta có thể quan tâm đến các lực dính (c), góc nội ma sát (ϕ) và áp lực nước lỗ rỗng. Các thông số khác như dung trọng riêng, các thông số hình học, đường mặt nước... có thể coi như các biến riêng biệt ngẫu nhiên nếu xét thấy cần thiết. Bảng 1 dưới đây tổng kết các giá trị và sự biến thiên của các thông số nói trên.

Bảng 1: Biến thiên của các thông số cơ lý (US Army Corp)

| Thông số | Hệ số biến thiên, % | Tác giả |
|--|---------------------|--|
| Dung trọng riêng | 3, 4 đến 8 | Hammit (1966), Harr (1987), Wolff (1994) |
| Cường độ thoát nước của cát ϕ' | 3.7 đến 9.3, 12 | Wolff (1994), Schultze (1972), Harr (1987) |
| Cường độ thoát nước của đất sét ϕ' | 7.5 đến 10.1 | Cannon Dam, Wolff (1985) |
| Hệ số thấm, k | 90 | Nielson, Biggar, Erh (1973, Harr (1987) |
| Hệ số thấm của lớp cát phía trên, kb | 20 đến 30 | Wolff (1994) |
| Hệ số thấm của lớp cát nằm phía dưới, kf | 20 đến 30 | Wolff (1994) |
| Tỉ số thấm k f/ kb | 40 | Sử dụng 30% đối với kf và kb |
| Hệ số thấm của nền cát | 30 | Wolff (1994) |

Mức độ biến thiên của đất có thể được biểu diễn qua hệ số biến thiên (COV – Coefficient of variation), COV là hệ số thể hiện mức độ ngẫu nhiên (sai số) của các đặc tính cơ lý của đất. COV được định nghĩa như sau:

$$COV = \frac{\sigma}{\mu}$$

Trong đó: σ : Độ lệch chuẩn của các thông số
 μ : Giá trị trung bình của thông số

Bảng 2 dưới đây tổng kết các giá trị COV đã được nghiên cứu và xuất bản bởi các tác giả khác nhau:

Bảng 2: Các giá trị của COV

| Tác giả | COV của lực dính (c) | COV của góc nội ma sát (ϕ) | COV tan(Φ) |
|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Bakker (2004) | 0.275 | | 0.15 |
| Geodelft (1998) | 0.20 | 0.10 | 0.10-0.20 |
| JCSS (2002) | 0.1 – 0.5 | | 0.1-0.2 |
| NEN (1997) | 0.2 | 0.1 | |
| Phoon (1995) | | | |
| - Cát | | 0.05 – 0.11 | 0.05 – 0.14 |
| - Sét | | 0.15 – 0.5 | 0.46 |
| - Bùn | | 0.04 – 0.23 | 0.15 |
| Baecher và Christian (2003) | | | |
| - Cát | | 0.05 – 0.15 | 0.05 – 0.15 |
| - Sét | 0.2 – 0.50 | 0.12 – 0.56 | |
| Lumn (1996) | 0.16 – 0.32 | | 0.138 – 0.148 |
| Schultze (1971) | | 0.053 | 0.073 |
| Babu (2004) | 0.125 – 0.4 | | |

4. Bài toán mẫu tính toán ổn định trượt cung tròn theo phương pháp xác suất

Tiến hành xem xét ổn định nền đất đắp đơn giản, mái dốc 1:1 (1V: 1H), chiều cao đất đắp 6m. Bài toán được xem xét trong 2 trường hợp: có sự tồn tại của mực nước ngầm và không tồn tại mực nước ngầm. Sử dụng phần mềm GEOSTUDIO và phương pháp Monte Carlo để tiến hành giải bài toán. Trình tự giải bài toán như sau: phần mềm GEOSTUDIO sẽ tiến hành xác định mặt trượt nguy hiểm bằng phương pháp tiên định (Bishop) với các thông số đầu vào là giá trị trung bình của các thông số cơ lý sau đó tiến hành xử lý theo lý thuyết xác suất đối với mặt trượt nguy hiểm có xét đến sự biến thiên của các thông số đầu vào (COV). Sự biến thiên của các thông số đầu vào được giả sử tuân theo hàm phân phối chuẩn (normal distribution) với độ lệch chuẩn và giá trị trung bình. Ở đây, giá trị độ lệch chuẩn của lực dính (c), của góc nội ma sát (ϕ) là 5, 10 và 15 và của dung trọng riêng là từ 1 đến 3. Chi tiết các trường hợp tính toán được nêu trong bảng 3. Ví dụ cũng xét tới trường hợp các giá trị lực dính (c) và góc nội ma sát (ϕ) có quan hệ và không có quan hệ với nhau, trường hợp có quan hệ thì mối quan hệ này là -0.5. Mực nước ngầm dao động trong khoảng 2m đối với trường hợp có mực nước ngầm. Qua tính toán, xác định được số lần tính toán theo Monte Carlo là 20,000 bước với trường hợp có mực nước ngầm và 15,000 bước với trường hợp không có mực nước ngầm.

Bảng 3: Thông số cơ lý cho các trường hợp tính toán

| Thông số | Giá trị trung bình | Độ lệch chuẩn | | | | | |
|---|--------------------|---------------|-------------|--------------|----------------|----------------|----------------|
| | | TH 1 | TH 2 | TH 3 | TH 4 | TH 5 | TH 6 |
| Lực dính, c (kN/m ³) | 15 | 5 (33%) | 10 (67%) | 15 (100%) | 1-5 (7-33%) | - | - |
| Góc nội ma sát ϕ (o) | 25 | 5 (20%) | 10 (40%) | 15 (60%) | - | 1-5 (4-20%) | - |
| Dung trọng riêng γ (kN/m ³) | 18 | 1 (6%) | 2 (11%) | 3 (17%) | - | - | 1-3 (6-17%) |

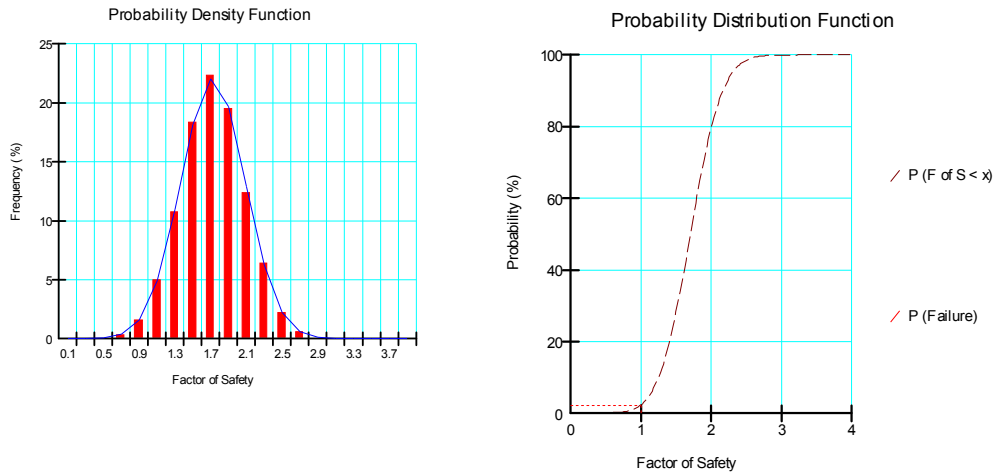
5. Kết quả

5.1 Trường hợp C-(ϕ) không liên quan

Về cơ bản, tính toán bằng phương pháp xác suất cho hệ số an toàn cao hơn phương pháp tiên định. Cho từng trường hợp riêng lẻ, giá trị hệ số an toàn trong trường hợp tồn tại mực nước ngầm thấp hơn trường hợp không có mực nước ngầm. Xác suất trượt tăng khi các thông số về đặc tính cơ lý của đất tăng về giá trị biến thiên. Bảng 4 liệt kê chi tiết kết quả tính toán:

Bảng 4: Kết quả tính toán cho TH1 đến TH3 với C-(ϕ) không liên quan

| | TH 1 | | TH 2 | | TH 3 | |
|----------------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|
| | Không nước ngầm | Nước ngầm | Không nước ngầm | Nước ngầm | Không nước ngầm | Nước ngầm |
| Hệ số an toàn (F) | 1.7265 | 1.554 | 1.7796 | 1.6874 | 2.0018 | 1.8905 |
| Chỉ số độ tin cậy | 2.013 | 1.391 | 1.096 | 1.012 | 0.929 | 0.889 |
| Xác suất trượt P (%) | 2.09361 | 7.76733 | 13.79497 | 15.69085 | 17.70158 | 19.31653 |
| Độ lệch chuẩn | 0.361 | 0.398 | 0.711 | 0.679 | 1.079 | 1.002 |
| Số lần thử | 15000 | 20000 | 15000 | 20000 | 15000 | 20000 |



Hình 3: Đường cong phân phối của Hệ số an toàn

5.1 Trường hợp C-(ϕ) có quan hệ về giá trị

Bảng 5 liệt kê kết quả tính toán của trường hợp các giá trị C- ϕ có sự quan hệ về giá trị. Hệ số tương quan ở đây được giả sử là -0.5.

Bảng 5: Kết quả tính toán cho TH1 đến TH3 với C-(ϕ) có liên quan

| | TH 1 | | TH 2 | | TH 3 | |
|----------------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|
| | Không nước ngầm | Nước ngầm | Không nước ngầm | Nước ngầm | Không nước ngầm | Nước ngầm |
| Hệ số an toàn (F) | 1.7034 | 1.6036 | 1.7314 | 1.6374 | 1.8045 | 1.7253 |
| Chỉ số độ tin cậy | 2.795 | 2.283 | 1.447 | 1.228 | 1.06 | 0.937 |
| Xác suất trượt P (%) | 0.40667 | 1.29026 | 6.44967 | 10.04119 | 12.07073 | 15.70312 |
| Độ lệch chuẩn | 0.252 | 0.264 | 0.506 | 0.519 | 0.759 | 0.774 |
| Số lần thử | 15000 | 20000 | 15000 | 20000 | 15000 | 20000 |

6. Vài nhận xét

So sánh, đánh giá các kết quả tính toán có thể kết luận rằng:

- Xác suất trượt giảm nếu xét đến mối quan hệ tương quan về giá trị của lực dính (c) và góc nội ma sát (ϕ);
- Giá trị độ lệch chuẩn của các đặc tính cơ lý của đất càng cao thì xác suất trượt của nền đất càng lớn;
- sự có mặt của mực nước ngầm làm tăng khả năng trượt của nền đất.

Bên cạnh đó, cũng có thể nhận thấy với 3 thông số đầu vào: Lực dính, góc nội ma sát và dung trọng riêng, số lần thử Monte Carlo tối ưu là 15,000 lần với 4 thông số đầu vào: Lực dính, góc nội ma sát, dung trọng riêng, mực nước ngầm, số lần thử tối ưu là 20,000 lần. Điều này có nghĩa là để đảm bảo độ chính xác, càng nhiều thông số đầu vào thì số lần thử Monte Carlo càng nhiều.

Nền đất đắp có giá trị hệ số an toàn trung bình cao không có nghĩa là đã an toàn vì có thể tồn tại giá trị xác suất trượt lớn. Do vậy, không có mối quan hệ trực tiếp giữa xác suất trượt và hệ số an toàn. Điều này cũng có nghĩa là giải bài toán trượt cung tròn nền đất đắp bằng phương pháp xác suất cho cái nhìn tổng thể và toàn diện hơn về độ ổn định của nền đất đắp.

Các tính toán về độ nhạy của các thông số đặc tính cơ lý của đất tham gia quá trình tính toán cho thấy giá trị lực dính (c) ảnh hưởng trực tiếp và nhiều nhất tới xác suất trượt của nền đất đắp tuy nhiên không gây ảnh hưởng lớn tới giá trị trung bình của hệ số an toàn.

Ví dụ này cho thấy tác dụng to lớn của phương pháp xác suất trong bài toán ổn định trượt của nền đất so với lý thuyết tính ổn định trượt theo phương pháp tiền định truyền thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Alonso, E.E.(1976). Risk Analysis of Slopes and Its Application to Slopes in Canadian Sensitive clays. Geotechnique. Vol.26 (3)
- [2]. Anderson, L.R., Sharp, K.D., Bowles, D.S. and Canfield, R.V.(1984). Application of Method of Probabilistic Characterization of Soil Properties. Proceeding of ASCE Symposium on Probabilistic Characterization of Soil Properties-Bridge between Theory and Practice. Atlanta, USA, May 17.
- [3]. Baecher, B.T. and Christian J.T. (2003). Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering. England, John Wiley & Sons.
- [4]. Bromhead, E.N. (1994). The Stability of Slopes. 2Edition. Blackie Academic & professional, Glasgow.
- [5]. Claes, A. (1996). Application of Probabilistic Approach in Slope Stability Analyses. Proceeding of 7th International Symposium on Landslide, Trondheim, Norway. June 17-21.

Người phản biện: PGS. TS. Nguyễn Văn Ngọc
