

NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH MẶT TRƯỢT NGUY HIỂM NHẤT KHI TÍNH TOÁN ỔN ĐỊNH MÁI DỐC

TS. NGUYỄN CẢNH THÁI

Trường Đại học Thủy lợi

ThS. LƯƠNG THỊ THANH HƯƠNG

Trường Đại học Thủy lợi

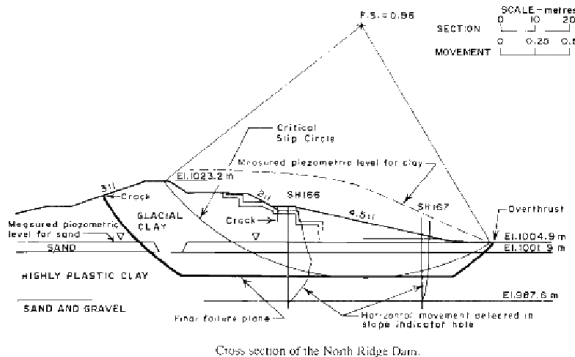
Tóm tắt: Trong thực tế khi mái dốc bị mất ổn định, mặt trượt có thể có nhiều hình dạng khác nhau. Tuy nhiên, khi tính toán phân tích ổn định mái dốc do khó khăn trong việc lựa chọn xác định hình dạng mặt trượt nên thông thường dạng mặt trượt trụ tròn được lựa chọn. Trong phần lớn các trường hợp, mặt trượt trụ tròn cho kết quả phù hợp. Tuy nhiên, trong một số trường hợp, hình dạng mặt trượt khác xa so với mặt trượt trụ tròn, dẫn đến kết quả tính toán theo mặt trượt trụ tròn có sai số lớn. Trong bài báo các tác giả đã tiến hành đánh giá hệ số an toàn ổn định của một số hình dạng mặt cắt đập theo phương pháp mặt trượt trụ tròn truyền thống và hệ số an toàn ổn định nhỏ nhất thông qua xác định mặt trượt tối ưu. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi đập có tầng phản áp, sai số giữa các phương pháp tính toán có thể đến 20-30%. Trong trường hợp này cần phải sử dụng phương pháp tính toán ổn định xét tới mặt trượt nguy hiểm nhất để đảm bảo an toàn.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

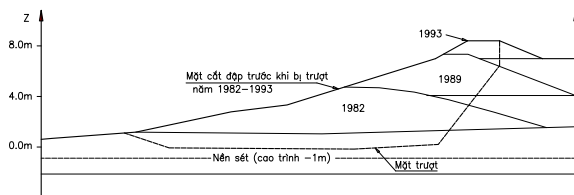
Trong các công trình xây dựng như thủy lợi, thủy điện, giao thông... thường xuyên gặp các mái dốc đào, đắp. Khi đó cần phải tính toán ổn định mái dốc để xác định hình dạng mặt trượt và hệ số an toàn nhỏ nhất của mái dốc nhằm đảm bảo độ an toàn cho phép. Do việc xác định chính xác mặt trượt nguy hiểm nhất gặp nhiều khó khăn nên trong phần lớn các trường hợp chỉ tính toán các mặt trượt dạng cung tròn. Giả thiết mặt trượt dạng cung tròn đơn giản hoá việc tính toán, đặc biệt khi các chương trình máy tính được sử dụng để tìm mặt trượt tròn có hệ số an toàn nhỏ nhất. Tuy nhiên, trong một số trường hợp, mặt trượt nguy hiểm nhất không thể mô tả gần đúng

là mặt tròn. Trong những trường hợp này, việc tính toán hệ số an toàn ổn định với giả thiết mặt trượt trụ tròn sẽ dẫn đến sai số lớn.

Ví dụ, các tài liệu nước ngoài đã đề cập đến hiện tượng sạt mái của đập Waco - Mỹ như một hiện tượng điển hình, trong đó hình dạng mặt trượt khác rất nhiều so với mặt trượt trụ tròn, hệ số an toàn tương ứng của nó chỉ là 1,08 (đập thực tế đã bị mất ổn định) so với hệ số 1,32 của mặt trượt trụ tròn tính toán (sai số 22%). Do đó, việc xác định mặt trượt nguy hiểm nhất cũng như tìm được những trường hợp có sự sai lệch lớn giữa việc tính toán theo mặt trượt nguy hiểm nhất với mặt trượt trụ tròn có ý nghĩa rất quan trọng góp phần nâng cao độ an toàn khi tính toán thiết kế mái dốc.



Hình 1. Mặt cắt đập North Ridge khi mất ổn định



Hình 2. Mặt cắt đập quan trắc sau khi bị trượt mái

Xác định mặt trượt có hệ số an toàn ổn định nhỏ nhất là một vấn đề quan trọng trong tính toán ổn định. Có rất nhiều thuật toán đã được phát triển nhằm mục đích tự động hóa quá trình tìm kiếm này.

Việc xác định mặt trượt trụ tròn nguy hiểm nhất tương đối đơn giản. Phần lớn các phần mềm máy tính sử dụng một lưới tâm trượt, ứng với mỗi tâm trượt tính toán với nhiều bán kính khác nhau để tìm ra mặt trượt nguy hiểm nhất. Đối với đập có mặt cắt phức tạp có thể tồn tại một số điểm cực trị địa phương do đó cần thực hiện quá trình tìm kiếm rộng với các điểm xuất phát tìm kiếm khác nhau, bước lưới nhỏ để đảm bảo tìm ra hệ số an toàn ổn định nhỏ nhất.

Việc xác định mặt trượt nguy hiểm nhất có hình dạng bất kỳ phức tạp hơn rất nhiều, đã có nhiều tác giả đã đưa ra các kỹ thuật tìm kiếm khác nhau để xác định mặt trượt có hình dạng bất kỳ ấy. Phần lớn các phương pháp tìm kiếm mặt trượt nguy hiểm nhất có hình dạng bất kỳ thường được kết hợp được với các phương pháp tính toán ổn định cho phép tính toán mặt trượt có hình dạng bất kỳ như phương pháp Janbu, Spencer, Morgenstern-Price, Cân bằng giới hạn tổng quát (GLE) ...

Trong những năm gần đây, quy hoạch phi tuyến đã trở nên phổ biến trong việc xác định mặt trượt nguy hiểm nhất trong phân tích ổn định mái dốc bằng công cụ tối ưu hoá. Theo hướng đi này, Baker [1] kết hợp phương pháp quy hoạch động với phương pháp Spencer để tìm ra mặt trượt nguy hiểm nhất. Celestino và Duncan [2] đã xây dựng thuật toán trong đó tại mỗi thời điểm dịch chuyển 1 điểm trên mặt trượt theo một phương xác định nào đó để tìm ra mặt trượt nguy hiểm nhất. Van Uu Nguyen [5] sử dụng kỹ thuật phản xạ đơn hình, Venanzio [8] gần đây dùng kỹ thuật tìm kiếm ngẫu nhiên theo lý thuyết Monte Carlo cho cùng mục đích tìm kiếm mặt trượt có hệ số an toàn ổn định nhỏ nhất.

Bên cạnh các phương pháp phân thời để tính toán ổn định truyền thống, việc sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) cũng phát triển. Thông qua việc tính toán ứng suất, biến dạng, áp lực kẽ rỗng, sẽ tiến hành tính toán hệ số an toàn ổn định và xác định mặt trượt. Ưu điểm của

FEM là xét được tính chất phi tuyến của vật liệu, không phụ thuộc vào các giả thiết về hình dạng mặt trượt và tương tác giữa các thoi như phương pháp phân thời truyền thống.

Tuy nhiên việc xác định các thông số, chỉ tiêu của vật liệu phức tạp hơn, đòi hỏi thời gian tính toán lâu hơn. Việc xác định mặt trượt khi tính toán ổn định bằng phương pháp phần tử hữu hạn được đề cập trong các tài liệu [4,9,10].

Sự xuất hiện các kỹ thuật này là một bước tiến trong việc xác định hình dạng của các mặt trượt cũng như các hệ số an toàn tương ứng.

2. CÁC KỸ THUẬT TÌM KIẾM MẶT TRƯỢT THEO LÝ THUYẾT MONTE CARLO

Phương pháp Monte Carlo là kỹ thuật tìm kiếm một cách ngẫu nhiên, cấu trúc của nó rất đơn giản. Trong thực tế, đó là kỹ thuật dựa trên sự tổng hợp ngẫu nhiên của các mặt trượt thử. Theo cách tiến hành thử cung trượt, phương pháp Monte Carlo có thể chia thành 2 nhóm: phương pháp bước nhảy ngẫu nhiên và phương pháp di chuyển ngẫu nhiên.

Phương pháp bước nhảy ngẫu nhiên dựa trên việc tạo nên một cách ngẫu nhiên một số lượng lớn các mặt trượt thử và thừa nhận mặt trượt nguy hiểm nhất là mặt trượt có hệ số an toàn nhỏ nhất. Vì các giải pháp mặt trượt thử này được tạo nên mà không xét đến lời giải tốt nhất hiện có (mặt trượt có hệ số an toàn nhỏ nhất hiện tại), nên kỹ thuật này vẫn thô sơ và thiếu chiến lược tìm kiếm hiệu quả. Do đó, khi số lượng các biến không nhỏ, khả năng tìm được hệ số an toàn nhỏ nhất chỉ là lý thuyết.

Phương pháp dịch chuyển ngẫu nhiên, trái lại, tạo nên các mặt trượt ngẫu nhiên dựa trên mặt trượt có hệ số an toàn ổn định nhỏ nhất hiện có bằng cách thay đổi nhỏ các điểm trên mặt trượt. Kết quả là việc tìm nghiệm tối ưu có thể đạt được dễ dàng hơn.

Tìm kiếm mặt trượt nguy hiểm

Khi đề cập đến bài toán ổn định mái dốc hai chiều, trong hệ tọa độ đề các Oxy, có :

$y=t(x)$ là hàm toán học mô tả đường bao giới hạn trên cùng của lớp đất (kích thước hình học của đập)

$y=s(x)$: là hàm mô tả mặt trượt.

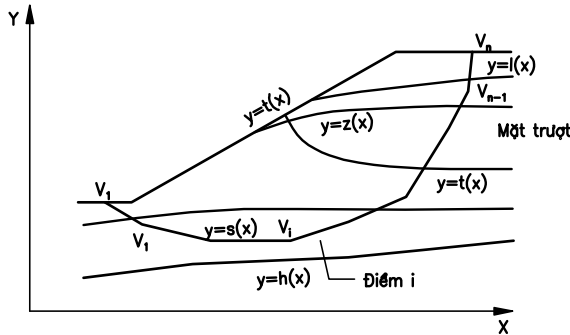
$y=z(x)$: hàm mô tả mực nước ngầm trong mái dốc nếu chúng có tồn tại

$l_j(x)$: hàm mô tả đường phân cách giữa các lớp đất khác nhau.

Mặt trượt phải được xác định trong vùng mặt phẳng xy. Cách đơn giản để thực hiện điều này là giả định hoành độ của các điểm trên mặt trượt nằm giữa 2 biên:

$$x_{\min} < x < x_{\max}$$

Tung độ các điểm thuộc mặt trượt nằm giữa biên thấp nhất $h(x)$ và đường bao trên đỉnh $t(x)$ đảm bảo: $h(x) \leq s(x) \leq t(x)$ với $\forall x: x_{\min} < x < x_{\max}$



Hình 3. Mặt cắt ngang mái dốc

Mục tiêu của bài toán

Một mặt trượt có khả năng xảy ra có thể được xấp xỉ bằng một đường thẳng gãy khúc gồm n điểm: $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$, mà các tọa độ của chúng $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots, (x_n, y_n)$ đều chưa xác định. Những tọa độ này có thể coi như các thành phần của mảng $2n$ chiều:

$$S = \{x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n\}^T$$

Mỗi mặt trượt có khả năng xảy ra đều được đại diện bằng một điểm S là mảng $2n$ chiều. Giữa tất cả các mặt trượt có khả năng xảy ra, mặt trượt cân quan tâm là mặt trượt có hệ số an toàn nhỏ nhất, tức là mặt trượt nguy hiểm nhất. Bằng cách này, việc tìm kiếm mặt trượt nguy hiểm là tối ưu hoá các hàm mục tiêu F là hệ số an toàn tương ứng với mảng S

$$\text{Min } F(S)$$

Để mặt trượt đảm bảo về mặt hình học, một số điều kiện ràng buộc cũng được đặt ra với các biến:

$$x_i < x_{i+1} \quad \text{với } i=1 \text{ đến } i=n-1 \quad (1)$$

$$y_i = t(x_i) \quad \text{với } i=1 \text{ và } i=n \quad (2)$$

$$h(x_i) < y_i < t(x_i) \quad \text{với } i=2 \text{ đến } n-1 \quad (3)$$

Điều kiện ràng buộc (1) đảm bảo các điểm luôn theo thứ tự trong suốt quá trình dịch chuyển để tìm tối ưu. Điều kiện (2) và (3) đảm

bảo các điểm bên ngoài cùng của mặt trượt luôn nằm trên đường bao ngoài cùng là mặt phía trên trong khi các điểm khác nằm bên dưới đường này. Cả 3 điều kiện này đảm bảo dạng hình học của mặt trượt luôn được kiểm tra trong suốt quá trình tối ưu hoá.

$$F(S_0) > F(S_1) > \dots > F(S_k) > F(S_{k+1})$$

Trong đó:

$$S_k = \{x_1^k, y_1^k, x_2^k, y_2^k, \dots, x_n^k, y_n^k\}^T$$

$$S_{k+1} = \{x_1^{k+1}, y_1^{k+1}, x_2^{k+1}, y_2^{k+1}, \dots, x_n^{k+1}, y_n^{k+1}\}^T$$

(x_i^k, y_i^k) : tọa độ điểm thứ i trên mặt trượt ở bước thứ k của quá trình tối ưu hoá.

(x_i^{k+1}, y_i^{k+1}) : tọa độ điểm thứ i trên mặt trượt ở bước thứ k+1 của quá trình tối ưu hoá.

Các bước xử lý thuật toán chi tiết được trình bày trong tài liệu [8]

3. ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC DẠNG MẶT CẮT ĐẾN ỔN ĐỊNH.

Thông qua việc tìm kiếm mặt trượt có hình dạng bất kỳ các tác giả trước đây đã đi đến kết luận trừ trường hợp do điều kiện địa chất không chế (các vết xen kẹt, các vết nứt, tầng đá) tạo nên các mặt trượt không phải là cung tròn, trong tính toán có thể giả thiết là mặt trượt cung tròn mà không dẫn đến sai số lớn. Spencer [6] nhận thấy mặt trượt tròn có hệ số an toàn nhỏ nhất cũng tương đương với hệ số an toàn nhỏ nhất của mặt trượt dạng cong logarit. Celestino và Duncan [2] và Spencer [7] thấy rằng khi tính toán ổn định cho mặt trượt có hình dạng bất kỳ, mặt trượt nguy hiểm nhất tìm được thông qua các kỹ thuật tìm kiếm về cơ bản là trụ tròn. Chen [3] cho rằng mặt trượt nguy hiểm nhất là mặt cong dạng logarit. Tuy nhiên các tính toán cho thấy sự sai khác giữa hệ số an toàn ổn định nhỏ nhất của mặt trượt dạng trụ tròn và hệ số an toàn ổn định nhỏ nhất của mặt trượt dạng cong logarit rất nhỏ có thể bỏ qua trong thực tế.

Trong các nghiên cứu trước đây mặt cắt đập thường là mặt cắt đồng chất, đơn giản. Để đánh giá ảnh hưởng của hình dạng mặt cắt đập đến ổn định mái đập (hệ số an toàn và hình dạng mặt trượt) các tác giả đã tiến hành khảo sát một số trường hợp tính toán bao gồm mặt cắt đập đồng chất, đập có tường lõi và đập có tầng phản áp ở hạ lưu.

Thuật toán tối ưu tìm kiếm mặt trượt nguy hiểm nhất theo phương pháp Monte Carlo đã

được áp dụng trong phần mềm Geostudio của hãng GEOSLOPE international LTD. Các tác giả đã sử dụng phần mềm này để tính toán ổn định mái đập. Phương pháp tính toán ổn định Morgenstern-Price thỏa mãn được các điều kiện cân bằng và tính toán được cho mặt trượt bất kỳ được sử dụng. Ứng với mỗi trường hợp tính toán hệ số an toàn ổn định của mái dốc được xác định bằng hai phương pháp: a) hệ số ổn định khi tính bằng mặt trượt trụ tròn truyền thống theo phương pháp Morgenstern-Price (K_{M-P}) và b) hệ số an toàn ổn định cũng như hình dạng mặt trượt khi mặt trượt được xác định theo kỹ thuật

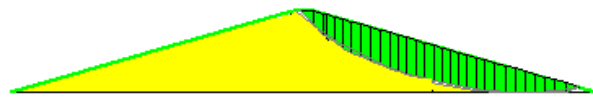
tối ưu để tìm ra hệ số an toàn ổn định tương ứng ($K_{tối\ ưu}$).

a. Đập đồng chất

Mặt cắt đập được xét là đập đồng chất trên nền đá. Đập có chiều cao 40m, độ dốc mái $m=3.5$, dung trọng $\gamma=20$ (KN/m³), lực dính $C=20$ (KN/m²), các góc ma sát trong $\varphi=25^\circ, 15^\circ, 10^\circ, 5^\circ$. Kết quả tính toán của 2 phương pháp và sai số giữa 2 phương pháp được thể hiện trong bảng 1. Mặt trượt trụ tròn có hệ số an toàn nhỏ nhất và mặt trượt nguy hiểm nhất được thể hiện trong hình 4

Bảng 1. Kết quả tính toán, đập cao 40m

Trường hợp	TH1	TH2	TH3	TH4
K_{M-P}	2.13	1.377	0.655	0.795
$K_{tối\ ưu}$	2.12	1.372	0.65	0.791
Sai số %	0.42	0.364	0.769	0.506



Hình 4. Mặt trượt trụ tròn và mặt trượt nguy hiểm nhất TH2

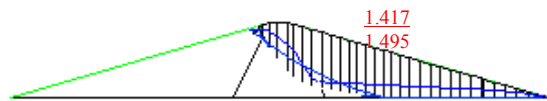
Kết quả tính toán cho thấy: Với đập đồng chất, sai số giữa 2 mặt trượt trụ tròn và tối ưu là không đáng kể (<1%). Trên hình 4 cho thấy hai mặt trượt gần trùng vào nhau. Tác giả đã khảo sát các trường hợp đập có chiều cao khác nhau, kết quả tính toán cũng dẫn đến kết luận tương tự.

b. Đập có tường lõi

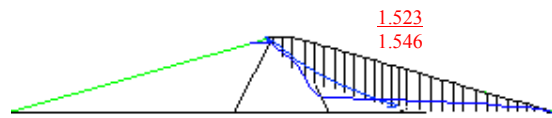
Xét mặt cắt đập là loại đập có tường lõi, chiều cao đập $H=40m$, hệ số mái $m=3.5$ có hệ số mái lõi m_1 thay đổi ($m_1=0.5, 1.0, 1.5$), khối đất 2 bên có chỉ tiêu $\gamma_{bh}=18$ (KN/m³), $\varphi_{bh}=20^\circ$, $C_{bh}=15$ (KN/m²), $k=5.10^{-5}$ (m/s). Kết quả tính thể hiện trên bảng 2.

Bảng 2. Kết quả tính toán với đập có tường lõi

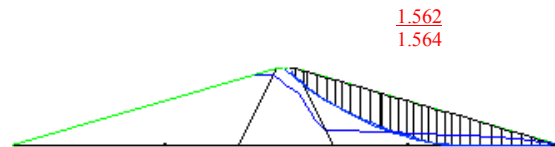
$\gamma / \varphi / C$	Hệ số mái lõi	$K_{trụ\ tròn}$	$K_{tối\ ưu}$	Sai số %
20/15/20	0,5	1.546	1.523	1.51
	1,0	1.48	1.426	3.79
	1,5	1.364	1.336	2.10
20/10/20	0,5	1.495	1.417	5.50
	1,0	1.364	1.272	7.23
	1,5	1.157	1.115	3.77
20/20/20	0,5	1.564	1.562	0.13
	1,0	1.609	1.573	2.29
	1,5	1.545	1.521	1.58
20/15/10	0,5	1.535	1.522	0.85
	1,0	1.45	1.402	3.42
	1,5	1.323	1.3	1.77
20/15/25	0,5	1.558	1.536	1.43
	1,0	1.51	1.453	3.92
	1,5	1.402	1.373	2.11



Hình 5a. $\varphi_{lõi} = 10^\circ$



Hình 5b. $\varphi_{lõi} = 15^\circ$



Hình 5c. $\varphi_{lõi} = 20^\circ$

Từ kết quả tính toán có thể rút ra một số nhận xét như sau:

* *Khí mặt cắt giống nhau* (hệ số mái lồi như nhau):

- Chỉ tiêu φ của lớp đất lồi tăng, chênh lệch giữa chỉ tiêu của 2 lớp đất khối 1 và 2 giảm, sai số của 2 mặt trượt là nhỏ nhất. Tương tự chỉ tiêu φ đất lồi giảm, sai số giữa 2 mặt trượt này là lớn nhất. Đập đồng chất, sai số này là không đáng kể. Với các trường hợp được khảo sát, sai số của hệ số an toàn ổn định là 1-8%

- Hình dạng cung trượt: với đập 2 khối, có đường bão hoà như nhau, mặt trượt có xu hướng cắt sâu vào lõi đất có chỉ tiêu φ nhỏ. Phần mặt trượt qua lõi đất có chỉ tiêu φ nhỏ có độ cong lớn hơn so với hình dạng mặt trượt trụ tròn.

- Ảnh hưởng của lực dính C , khi tăng chỉ tiêu C của lõi, chỉ tiêu giữa lớp đất lồi và lớp đất bên ngoài chênh lệch nhỏ nhất (C cùng bằng 20), sai số giữa mặt trượt nguy hiểm nhất và mặt trượt trụ tròn là nhỏ nhất. Chỉ tiêu C của 2 lớp đất càng khác nhau, sai số càng lớn.

- Ảnh hưởng của lực dính C đến sai số mặt trượt nguy hiểm nhất và mặt trượt trụ tròn nhỏ hơn sự thay đổi của góc ma sát trong φ .

Về hình dạng cung trượt, mặt trượt cắt qua đất có chỉ tiêu C nhỏ độ cong mặt trượt nhỏ hơn so với mặt trượt có hệ số C lớn.

* *Ảnh hưởng của mái dốc lồi*: Với các mái lồi thay đổi, sai số giữa mặt trượt trụ tròn và mặt trượt nguy hiểm nhất cũng khác nhau. Xét trong

điều kiện cùng chỉ tiêu φ , C , sai số giữa 2 mặt trượt trường hợp mái $m=1$ là lớn nhất. Hình dạng mặt trượt cho thấy:

- Mặt trượt qua vị trí có đường bão hoà sâu hơn so với cung trụ tròn, mặt trượt thay đổi càng gấp, độ cong càng lớn.

- Sai khác giữa 2 mặt trượt phụ thuộc vào phần tỉ lệ mặt trượt đi qua các lớp đất khác nhau.

Hình dạng mặt trượt cũng như hệ số an toàn ổn định của một số tổ hợp tính toán có mái lồi $m_1=0,5$ với các chỉ tiêu của lõi $\gamma_1=20 \text{ KN/m}^3$, $C_1=20 \text{ KN/m}^2$, $K_1=1e-6 \text{ cm/s}$ và góc ma sát trong thay đổi $\varphi_{bh1}=10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$, được thể hiện trong hình 5a, b, c.

c. Đập có tầng phân áp hạ lưu

Khi hệ số an toàn ổn định của mái dốc nhỏ hơn hệ số an toàn ổn định cho phép, cần phải xử lý để đảm bảo an toàn bằng cách tăng độ thoải của mái, hạ thấp đường bão hoà, lựa chọn vật liệu đắp đập khác có chỉ tiêu cơ lý cao hơn, sử dụng các biện pháp gia cố ... Đối với đập đắp trên nền đất yếu, mặt trượt có xu hướng ăn sâu vào trong nền, việc tăng độ thoải của mái có hiệu quả không cao. Một trong các biện pháp phổ biến nhất được sử dụng là làm tầng phân áp ở thượng, hạ lưu để tăng ổn định. Để nghiên cứu ảnh hưởng của tầng phân áp đến ổn định của mái dốc và hình dạng mặt trượt các tác giả đã tiến hành khảo sát một số mặt cắt đập có chiều cao khác nhau, ứng với mỗi chiều cao đập tính toán với các chiều dài tầng phân áp khác nhau.

Bảng 3: Chỉ tiêu cơ lý của các mặt cắt đập tính toán

TH khảo sát	Đập			Nền			Tầng phân áp		
	γ_{bh}/γ_n (KN/m ³)	φ°	C (KN/m ²)	γ (KN/m ³)	φ°	C (KN/m ²)	γ (KN/m ³)	φ°	C (KN/m ²)
Đập đất đồng chất H=12m	20	20	15	16	7	10	16	10	10
Đập 2 khối H=20m $k_1/k_2=50$	20/18	15/17	20/22	16	7	10	16	10	10
Đập 2 khối H=40m	20/18	15/17	20/22	16	14	12	18	18	18

Tuỳ theo chiều dài tầng phân áp, loại vật liệu làm tầng phân áp, cũng như các chỉ tiêu vật liệu làm đập, nền, hai phương pháp tính

toán cho kết quả khác nhau. Kết quả và sai số cho các trường hợp tính toán được thể hiện trong các bảng 4,5,6.

Bảng 4. Kết quả tính toán đập cao $H=12m$

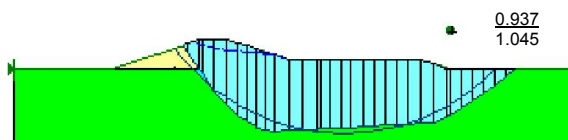
L phân áp	0	1H	2H	3H	4H
K_{M-P}	0.689	0.793	0.870	0.975	1.045
$K_{tối\ ưu}$	0.678	0.761	0.827	0.895	0.937
Sai số %	1.622	4.205	5,199	8.939	11.53

Bảng 5. Kết quả tính toán đập cao $H=20m$

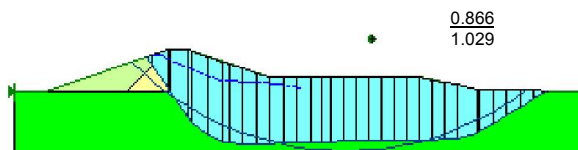
L phân áp	0	1.0	1.5H	2.0H	3.0H
K_{M-P}	0.53	0.70	0.8	0.87	1.02
$K_{tối\ ưu}$	0.53	0.67	0.72	0.78	0.86
Sai số %	1.12	3.98	10.0	10.6	18.8

Bảng 6. Kết quả tính toán đập cao $H=40m$

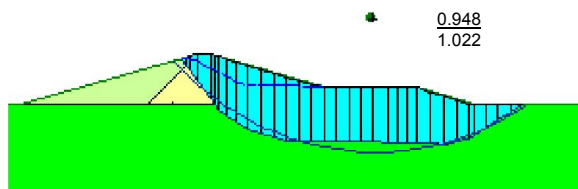
L phân áp	0	1H	1.5H	1.7H
K_{M-P}	0.855	0.915	0.969	1.022
$K_{tối\ ưu}$	0.853	0.857	0.901	0.948
Sai số %	0.234	6.767	7.547	7.806



Hình 6a. Đập $H=12m$, Chiều dài phân áp $L= 4H$



Hình 6b. Đập $H=20m$, Chiều dài phân áp $L= 3H$



Hình 6c. Đập $H=40m$, Chiều dài phân áp $L= 1,7H$

Kết quả tính toán cho thấy chiều dài tầng phân áp càng lớn sai số giữa hệ số an toàn ổn định tính toán theo phương pháp mặt trượt trụ tròn với mặt trượt nguy hiểm nhất càng lớn. Trong các kết quả tính toán có trường hợp sai số lên đến 18.8%

Kết quả xác định mặt trượt nguy hiểm nhất cho thấy khi có tầng phân áp, hình dạng mặt trượt khác hẳn mặt trượt trụ tròn (hình 6a, b, c). Do ảnh hưởng lớp phân áp, mặt trượt không cắt sâu xuống nền mà có xu hướng nằm ngang, đặc biệt đoạn dưới tầng phân áp... Do đó sai số và hình dạng của 2 mặt trượt khác nhau lớn thay đổi theo chiều dài của lớp phân áp. Như vậy, sẽ có trường hợp mặt trượt trụ tròn đạt hệ số an toàn, trong khi mặt trượt tính bằng kỹ thuật tối ưu hệ số an toàn ổn định <1 . Sai số trong trường hợp này lớn, có thể lên tới 20%, nếu không chế hệ số ổn định của mặt trượt trụ tròn sát với hệ số an toàn ổn định cho phép thì không đảm bảo được an toàn của công trình.

Hình dạng mặt trượt tìm được phù hợp với các kết quả quan trắc của các mái dốc bị mất ổn định khi hạ lưu có tầng phân áp hoặc mái hạ lưu rất thoải.

Kiểm tra ổn định đập nhiều khối có tầng phân áp

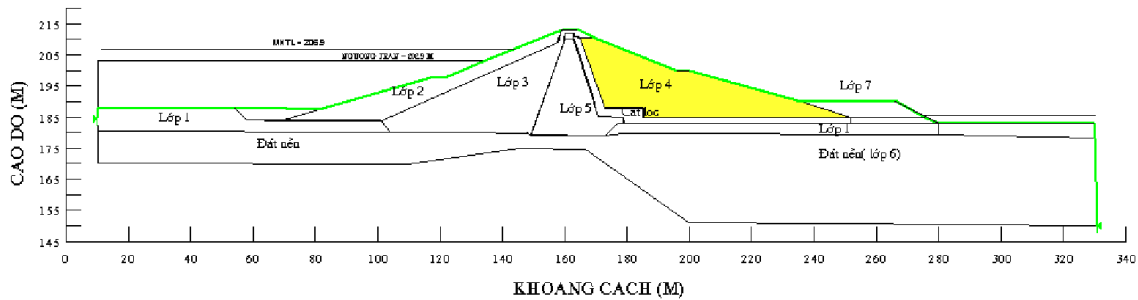
Tính toán cho đập đất nhiều khối, có thiết bị thoát nước kiểu ống khói ở hạ lưu. Mặt cắt đập như trong hình 7. Mái thượng lưu đập: tạo cơ chiều rộng $b=4m$, tại cao trình $+198m$, hệ số mái từ đỉnh đập đến cao trình cơ $m=3,25$; từ cao trình cơ đến chân mái $m=3,5$. Bảo vệ mái thượng lưu bằng đá xây kích thước $(70 \times 70 \times 25)cm$. Mái hạ lưu đập: tạo cơ chiều rộng $b=4m$ tại cao trình $+200m$, bố trí bộ phân áp hạ lưu tại cao trình $+190.00$ (ở vị trí lòng sông). Hệ số mái từ đỉnh đập đến cao trình cơ $m=3,25$; từ cao trình cơ đến bộ phân áp hạ lưu $m=3,5$; từ bộ phân áp qua thiết bị tiêu nước đến chân đập $m=2,0$.

Bảng 7. Các chỉ tiêu tính toán đập nhiều khối

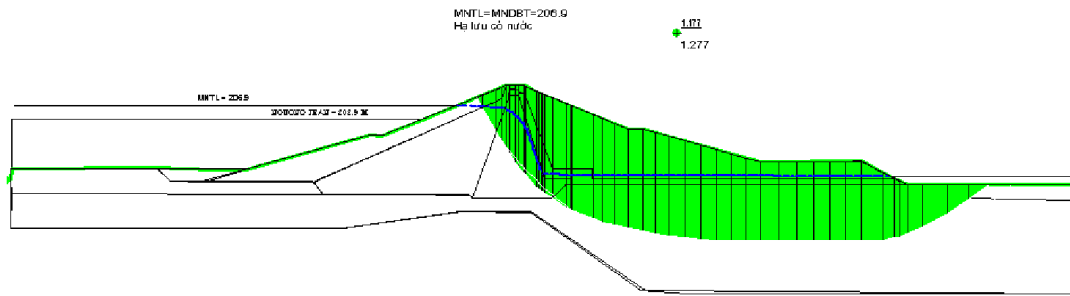
Loại đất	γ_{TN} (T/m^3)	γ_{bh} (T/m^3)	ϕ	C kg/cm^2	K (m/s)
Đất đắp lớp 2	19	20	22	0.12	5.10^{-5}
Đất đắp lớp 3	20.5	20.7	18	0.12	5.10^{-5}
Đất đắp lớp 4	19.0	20.1	15	0.13	1.10^{-6}
Đất đắp lớp 5	20	20.7	14	0.16	3.10^{-7}

Loại đất	γ_{TN} (T/m^3)	γ_{bh} (T/m^3)	ϕ	C kg/cm^2	K (m/s)
Đất nền lớp 1	19.5	21.0	34	0	5.10^{-6}
Lớp 6	19.0	19.2	14	0.16	$1 \cdot 10^{-6}$
Lớp 7	20.0	20.1	15	0.13	$5 \cdot 10^{-5}$
Cát lọc	19.0	20.0	20	0	10^{-4}

Với mặt cắt đập lựa chọn, tính toán cho trường hợp MNTL là MNDBT= 206,9m, mực nước hạ lưu 185,5m.



Hình 7. Mặt cắt đập nhiều khối tính toán



Hình 8. Hình dạng mặt trượt nguy hiểm nhất

Tính toán hệ số an toàn ổn định cho mặt trượt trụ tròn và mặt trượt nguy hiểm nhất cho kết quả $K_{\text{trụ tròn}} = 1,277$; $K_{\text{tối ưu}} = 1,177$.

Hình dạng mặt trượt của mặt trượt trụ tròn và mặt trượt nguy hiểm nhất được thể hiện trên hình 8. Hình dạng mặt trượt nguy hiểm nhất tương tự với các trường hợp đập có tầng phản áp khác (hình 6a,b,c).

4. KẾT LUẬN

Khi đập là dạng đồng chất hoặc đập có tường lõi có chỉ tiêu các lớp vật liệu chênh lệch không lớn, mặt trượt nguy hiểm nhất dạng cung tròn gần như trùng với mặt trượt tìm được theo phương pháp tối ưu, hệ số an toàn gần bằng nhau. Khi đó có thể sử dụng phương pháp tính toán cung trượt trụ tròn truyền thống để tính toán mà vẫn đạt kết quả đáng tin cậy.

Khi đập trên nền yếu, biện pháp gia tăng độ ổn định phổ biến là làm các khối phản áp. Do ảnh

hưởng của khối phản áp, mặt trượt tìm được theo phương pháp tối ưu khác nhiều so với mặt trượt hình trụ tròn. Mặt trượt không ăn sâu xuống nền mà có xu hướng nông hơn và kéo dài về phía thượng, hạ lưu, đặc biệt đoạn mặt trượt nằm dưới tầng phản áp có xu hướng nằm ngang. Sai số trong trường hợp này lớn, có thể lên tới 20%.

Chiều dài tầng phản áp càng lớn, sai số giữa hệ số an toàn ổn định tính toán theo phương pháp mặt trượt trụ tròn với mặt trượt nguy hiểm nhất càng lớn.

Trong một số trường hợp như khi nền có lớp xen kẽ xấu hay đập có lớp phản áp ở hạ lưu, sai số giữa hệ số an toàn xác định theo phương pháp mặt trượt trụ tròn và phương pháp tìm mặt trượt nguy hiểm nhất khá lớn, nên sử dụng phương pháp tìm hệ số an toàn ổn định theo mặt trượt nguy hiểm nhất để đảm bảo an toàn cho công trình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Baker, r., (1980): "Determination of critical slip surface in slope stability computation", Int. J. for Numerical and analytical method in geomechanics, 4, 333-359.

- [2] Celestino, T. B., Duncan, J. M. (1981): “ *Simplified search for noncircular slip surface*” Proc 10th Int. Conf. Numerical Methods in Geotechnical Engineering, Stockholm, pp 391-394.
- [3] Chen, W. F. (1970): Discussion of “ *Circular and logarithmic spiral slip surface*” J. SM. ASCE 97(1), pp 324-326.
- [4] Kim, J. Y., Lee, S. Y. (1997): “ *An improved search strategy for critical slip surface using finite element stress fields*” J. Computer and Geotechnics, Vol 21 No 4. pp 295-312
- [5] Nguyen V. U. (1985): “ *Determination of critical slope failure surface*”, J. of Geotech. Eng. ASCE 111(2), pp 238-250.
- [6] Spencer, E. (1969): “ *Circular and logarithmic spiral slip surface*” J. SM. ASCE 95(1) pp 227-234.
- [7] Spencer, E. (1981): “ *Slip circles and critical shear planes*” J. SM. ASCE 107(7) pp 927-942..
- [8] Venanzio R.Greco (1996) , “ *Efficient Monte Carlo technique for locating critical slip surface*” Journal of Geotechnical Engineering ASCE, Vol 122, No 7, pages 517-526
- [9] Yamagami, T., Ueta, Y. (1988): “ *Search for critical slip line in finite element stress field by dynamic programming*” , Proc. 6th Int. Conf. on Numerical Method in Geomechanics, pp 1335-1339
- [10] Zou, J. Z., Williams, D. J. and Xiong, W. L., (1995): “ *Search for critical slope surface base on finite element method*”, *Geotechnique*, 32, pp 233-246.

Abstract:

A STUDY ON CRITICAL FAILURE SURFACE IN SLOPE STABILITY ANALYSIS

Dr. NGUYEN CANH THAI - WRU

Msc. LUONG THI THANH HUONG - WRU

When an earthen slope was unstable the failure surface can be of any shape. In slope stability analysis due to the difficulties in determining the shape of critical failure surface, usually circular sliding surface was selected. In most cases choosing circle failure surface are appropriate and lead to reasonable results. However in several cases the shape of actual failure surfaces are very far from circular shape, as a result safety factor calculation using circular failure surface will cause large errors. In this paper the authors evaluated the safety factors and shape of critical failure surfaces of several dam cross sections. In each case both safety factor of circular failure surface and safety factor of critical failure surface determined by optimization technique are analyzed and compared. The results show that in case of embankment dam with counter berm the difference between two analyses can be as large as 20-30%. Therefore in these cases slope stability analysis with failure surface determined using optimization technique should be used to attain safety margin.