

# PHƯƠNG PHÁP TÍNH LỰC TƯƠNG TÁC GIỮA CÁC THỎI TRONG PHÂN TÍCH ỔN ĐỊNH MÁI DỐC

## Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến phương pháp tính lực tương tác giữa các thỏi trong phân tích ổn định mái dốc để tính toán kiểm tra ổn định sườn dốc tự nhiên, thiết kế các mái đào hoặc mái đắp như mái hố móng, mái taluy đường, mái đê, mái đập...bảo đảm ổn định cho công trình.

## Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong các phương pháp tính toán ổn định các sườn dốc tự nhiên, mái dốc để thiết kế các mái đào, mái đắp trong xây dựng phương pháp ra đời sớm nhất và cũng là phương pháp được sử dụng rộng rãi nhất hiện nay là phương pháp phân thỏi cung trụ tròn. Để xét đến lực tương tác giữa các thỏi các nhà khoa học đều có cách làm chung là chia khối trượt thành các thỏi thẳng đứng có chiều dày như nhau (Hình 1). Vẽ các lực tác dụng lên thỏi gồm lực trọng trường tạo nên trọng lượng thỏi  $W_i$ , lực kháng cắt  $S_i$ , phản lực của đất nền lên đáy thỏi  $P_i$ , lực tác dụng theo phương ngang  $E_i, E_{i+1}$  và lực tác dụng theo phương đứng  $X_i, X_{i+1}$  (Hình 2). Chiếu các lực lên các trục vuông góc và song song với đáy thỏi để lập phương trình cân bằng lực. Các nhà khoa học lập luận ở trạng thái cân bằng giới hạn khối trượt còn phải thỏa mãn cân bằng momen để lập thêm phương trình cân bằng momen. Như vậy bài toán có 4 phương trình là 2 phương trình cân bằng lực trên hai trục, phương trình cân bằng momen và phương trình tiêu chuẩn Mohr-Coulomb nhưng 12 ẩn số là hệ số ổn định, lực kháng cắt huy động dọc theo đáy thỏi và điểm đặt của nó, điểm đặt của phản lực  $P$  lên đáy thỏi và hai lực tương tác theo hai phương đứng và ngang tác dụng tại hai mặt bên của thỏi và các điểm đặt của chúng. Một số nhà khoa học không xét lực tương tác giữa các thỏi theo phương đứng và phương ngang riêng rẽ mà dưới dạng hợp lực làm giảm một ẩn thì lại xuất hiện ẩn mới là điểm đặt của hợp lực và cánh tay đòn, bài toán vẫn là bất định. Để giải bài toán các nhà khoa học phải đưa thêm các giả thiết, từ đó hình thành các phương pháp giải khác nhau mang tên các nhà khoa học như phương pháp Bishop, Spencer, Morgenstern-Price, Janbu...

Các phương pháp đã biết có những yếu điểm sau:

1. Lực tương tác đưa vào phương trình không dựa vào phương trình đặc tính của chúng (phương trình xác định bản chất của lực) vì thế chúng mới chỉ là một ký hiệu, không có nội hàm, bởi vậy kết quả giải ra không phản ánh đúng bản chất sự tương tác giữa các thỏi. Để làm rõ hơn vấn đề này hãy so sánh với trường hợp tính trọng lượng thỏi đất. Trọng lượng của một thỏi đất  $W$  bằng thể tích thỏi  $V$  nhân với trọng lượng riêng  $\gamma$ . Trọng lượng riêng bằng khối lượng  $\rho$  nhân với gia tốc trọng trường  $g$ . Nếu không biết khối lượng thì không tính được trọng lượng riêng và vì thế không tính được trọng lượng. Nếu lấy một con số bất kỳ nào đó đem lắp vào công thức để tính trọng lượng riêng thì tính được trọng lượng nhưng chắc chắn kết quả đó không đúng là trọng lượng thực của thỏi. Tương tự như vậy, để tính đúng hệ số ổn định của mái dốc thì phải biết chính xác lực tương tác và để xác định chính xác lực tương tác thì phải dựa vào phương trình đặc tính của chúng. Vì mới chỉ đưa vào một ký hiệu mà không có nội hàm, không dựa vào phương trình đặc tính, chỉ dùng thủ thuật toán để tính lực tương tác thì không khác gì lấy một số bất kỳ để tính trọng lượng riêng như đã nói ở trên, không phản ánh đúng bản chất của lực tương tác, vì vậy không bao giờ tính đúng được lực tương tác.

2. Vì biết rõ rằng kết quả tính của các phương pháp tính lực tương tác đã có trước đây đều không phải là giá trị đúng của lực tương tác vì vậy công cuộc tìm kiếm lời giải cho lực tương tác bắt đầu từ cách đây 65 năm đến nay vẫn cứ tiếp tục mà chưa có hồi kết. Tất cả các phương pháp đưa ra hiện nay đều được công nhận, không ai phủ nhận ai. Không ai có thể đánh giá được cụ thể phương pháp nào tin cậy hơn phương

pháp nào. Trong các phần mềm thương mại cung cấp cho người dùng thì cung cấp tất cả các phương pháp rồi tùy người dùng lựa chọn.

3. Vì lực tương tác được xác định chưa chính xác và cũng không biết được mức độ sai lệch của nó là bao nhiêu nên để bảo đảm an toàn khi thiết kế mái dốc tiêu chuẩn hiện hành TCVN 8216:2018 quy định hệ số an toàn nhỏ nhất cho phép của đập đối với điều kiện làm việc bình thường phải từ 1,25 đến tận 1,5 tùy cấp đập. Mặc dầu quy định đã cao như vậy nhưng vì tiêu chuẩn không quy định giới hạn trên, thực tế trong sản xuất người thiết kế thường thiết kế mái dốc với hệ số ổn định thậm chí cao hơn 2 có thể gây lãng phí.

4. Cũng vì hệ số ổn định mái dốc xác định trên cơ sở các phương pháp tính lực tương tác không chính xác như vậy nên khi xảy ra trượt khó có thể phân tích nguyên nhân và phân định trách nhiệm giữa các bên.

### **Mục đích của sáng chế**

Mục đích của sáng chế là đưa ra được một phương pháp tính lực tương tác giữa các thỏi một cách chính xác để bảo đảm tính đúng hệ số ổn định của mái dốc, từ đó tính toán thiết kế các mái dốc được chính xác, khắc phục được các yếu điểm của các phương pháp đã biết nêu trên.

### **Bản chất kỹ thuật của sáng chế**

Bản chất của sáng chế ban đầu cũng làm như các phương pháp đã biết tức là lập sơ đồ lực tác dụng lên thỏi có vẽ thêm lực tương tác, chiếu các lực lên các trục để thiết lập phương trình cân bằng lực; thiết lập phương trình cân bằng momen. Đến đây không giải tìm lực tương tác từ các phương trình mới thành lập như các phương pháp đã biết mà dựa vào lịch sử hình thành đất, sự xuất hiện các loại ứng suất ở trong đất tiến hành phân tích cơ chế lan truyền ứng suất để thiết lập phương trình đặc tính của lực tương tác. Lần lượt tính tất cả các đại lượng trong các phương trình cân bằng lực và cân bằng momen nói trên. Tất cả các đại lượng đều tính được trừ lực tương tác theo phương đứng và momen do lực này gây ra do chúng có chứa sức kháng cắt  $\tau$ . Tại thời điểm đạt trạng thái cân bằng giới hạn mái dốc phải thỏa mãn đồng thời cân bằng lực và cân bằng momen, vì thế cân bằng hai phương trình cân bằng lực và cân bằng momen được một phương trình chứa duy nhất một ẩn số là sức kháng cắt  $\tau$ . Sức kháng cắt  $\tau$  là đại lượng mà đất huy động để mái dốc đạt trạng thái cân bằng giới hạn, vì thế dùng phương pháp thử dần sẽ nhanh chóng xác định được  $\tau$ , từ đó tính được lực tương tác và hệ số ổn định. Bằng cách tính này giá trị tính được thỏa mãn đồng thời cân bằng lực theo cả hai phương, cân bằng momen và phản ánh đúng bản chất của sự tương tác giữa các thỏi.

### **Mô tả vắn tắt các hình vẽ**

Hình 1 là hình mô phỏng một mái dốc với mặt trượt giả định cung trụ tròn, trên nó khối trượt được phân chia thành các thỏi thẳng đứng.

Hình 2 minh họa một thỏi đất với các lực tác dụng lên nó gồm trọng lượng  $W$ , lực kháng cắt  $S$ , phản lực của đất nền lên đáy thỏi  $P$ , lực tương tác giữa các thỏi theo phương ngang  $E$  và theo phương đứng  $X$ .

Hình 3 minh họa ba loại thỏi khác nhau gồm loại 1 là các thỏi ở phần đỉnh của mái dốc có mặt trên tròn vện trong mặt phẳng ngang; loại 2 là các thỏi ở phần nghiêng của mái dốc có mặt trên nằm tròn vện trong mặt phẳng nghiêng; loại 3 là các thỏi ở phần chân của mái dốc có mặt trên nằm tròn vện trong mặt phẳng ngang.

Hình 4a minh họa một phân tố đất trong nền bán không gian vô hạn với các ứng suất pháp tác dụng lên nó theo phương đứng  $\sigma_y$ , theo phương ngang  $\sigma_x$  và ứng suất tiếp  $\tau$ ; hình 4b minh họa một bờ vách của một hố đào với một phân tố đất nằm sát bờ vách đó.

### Mô tả chi tiết sáng chế

Bản chất kỹ thuật của sáng chế có thể được mô tả chi tiết thông qua các bước tính toán như sau:

#### Bước 1. Mô phỏng một khối trượt

Khối trượt được mô phỏng bằng các phương trình toán học:

$$x^2 + y^2 = R^2 \quad (1)$$

$$y = mx - p \quad (2)$$

$$y = d \quad (3)$$

$$y = h + d \quad (4)$$

trong đó  $d$  là tung độ của bề mặt mái dốc,  $h$  là hiệu của tung độ chân mái dốc và đỉnh mái dốc;  $m$  và  $p$  lần lượt là hệ số góc và hệ số tự do của phương trình mặt nghiêng của mái dốc;  $p > 0$  (Hình 1).

#### Bước 2: Phân thời khối trượt.

Chia khối trượt thành các thời thẳng đứng bởi đường thẳng có phương trình:  $x = it$  với  $i$  là số tự nhiên chạy từ gốc tọa độ,  $t$  là giá trị khoảng chia thời cố định,  $it \leq R$  (Hình 1). Với cách phân chia thời như trên sẽ có 4 loại thời sau đây (Hình 3):

Loại 1 - Các thời ở phần đỉnh của mái dốc có mặt trên trọn vẹn trong mặt phẳng ngang.

Loại 2 - Các thời ở phần nghiêng của mái dốc có mặt trên nằm trọn vẹn trong mặt phẳng nghiêng

Loại 3 - Các thời ở phần chân của mái dốc có mặt trên nằm trọn vẹn trong mặt phẳng ngang.

Loại 4 - Các thời nằm ở chỗ tiếp giáp của mặt ngang và mặt nghiêng có mặt trên một phần là mặt phẳng ngang, một phần là mặt nghiêng. Trong quá trình tính toán sau này tùy thuộc phần nào lớn hơn mà xếp chúng vào loại thời đó. Vì số lượng chỉ có hai thời nên sai số rất không đáng kể.

#### Bước 3. Lập sơ đồ lực tác dụng lên thời, lập phương trình cân bằng lực và cân bằng momen

Các lực, các momen tác dụng lên thời gồm:  $W_i$  - trọng lượng thời;  $P_i$  - phản lực của đất nền lên đáy thời;  $S_i$  - lực kháng cắt dọc theo đáy thời;  $E_i, E_{i+1}$  - lực tương tác theo phương ngang;  $X_i, X_{i+1}$  - lực tương tác theo phương đứng;  $M_{gt}$  - momen gây trượt;  $M_{ct}$  - momen chống trượt (Hình 2).

Lần lượt chiếu các lực lên các trục vuông góc và song song với đáy thời:

$$P_i = (W_i - X_i + X_{i+1})\cos \alpha_i + (E_i - E_{i+1})\sin \alpha_i \quad (5)$$

$$S_i = (W_i - X_i + X_{i+1})\sin \alpha_i - (E_i - E_{i+1})\cos \alpha_i \quad (6)$$

Kết hợp với tiêu chuẩn phá hoại Morh-Coulomb:

$$S = \frac{1}{F}(P \tan \varphi + cl) \quad (7)$$

Từ 3 phương trình trên lập được phương trình tính hệ số ổn định:

$$F = \frac{\sum \{W_i \cos \alpha_i \tan \varphi + cl_i - [(X_i - X_{i+1}) \cos \alpha_i - (E_i - E_{i+1}) \sin \alpha_i] \tan \varphi\}}{\sum \{W_i \sin \alpha_i - (X_i - X_{i+1}) \sin \alpha_i - (E_i - E_{i+1}) \cos \alpha_i\}} \quad (8)$$

Để mái dốc ở trạng thái cân bằng nó còn phải thỏa mãn cân bằng momen, vì thế cần phải thiết lập phương trình cân bằng momen. Có hai xu thế thiết lập phương trình là lấy momen tương đối với tâm trượt và với điểm giữa của đáy thoi. Theo xu thế đầu có các nhà khoa học như Bishop (1955), Spencer (1967), R. D. Espinoza (1992), J. Krahn (2001), Y.M. Cheng and C.K. Lau (2008), J.M. Duncan và các cộng sự (2014)...Thuộc nhóm thứ hai có Janbu (1957), Morgenstern-Price (1965), Tianyun Liu (2012), Yu Zhao (2014)...Nhóm đầu khi lấy momen tương đối với tâm trượt bỏ qua không xét momen của lực tương tác. Ngược lại nhóm kia chỉ xét momen của lực tương tác vì các ngoại lực ( $W, P, S$ ) có điểm đặt trùng với điểm xét momen nên không gây ra momen quay. Để bảo đảm tính tổng quát của phương pháp trong sáng chế này momen được lấy tương đối với tâm trượt có xét đầy đủ momen của tất cả các lực, kể cả lực tương tác. Các lực gây moment như sau:

- Momen do lực trọng trường (momen gây trượt):  $M_w = Wx = W_i R \sin \alpha_i$
- Momen do lực kháng cắt (momen chống trượt) :  $M_s = S_i R$
- Momen do lực tương tác chống trượt:  $M_{E_i}, M_{X_i}$
- Momen do lực tương tác gây trượt:  $M_{E_{i+1}}, M_{X_{i+1}}$

Phương trình cân bằng moment như sau:

$$\sum RS_i + \sum M_{E_i} + \sum M_{X_i} = \sum RW_i \sin \alpha_i + \sum M_{E_{i+1}} + \sum M_{X_{i+1}} \quad (9)$$

Thay thế  $S_i$  từ phương trình (7) cùng với các moment ở trên vào phương trình (9) ta được:

$$F = \frac{R \sum (W_i \cos \alpha_i \tan \varphi + cl_i)}{R \sum W_i \sin \alpha_i - \sum (M_{E_i} - M_{E_{i+1}}) - \sum (M_{X_i} - M_{X_{i+1}})} \quad (10)$$

#### Bước 4. Lập các phương trình tính lực tương tác.

Trong các phương pháp đã biết lực tương tác giữa các thoi được giải tìm ngay từ phương trình (8), nơi mà chúng vừa mới được đưa vào dưới dạng một ký hiệu, chưa có nội hàm nên vừa làm cho bài toán trở nên bất định, phải đưa thêm giả thiết và phải mày mò giải trong suốt 65 năm qua chưa có hồi kết, vừa không phản ánh đúng bản chất tương tác giữa các thoi khi giải ra kết quả. Trong sáng chế này lực tương tác giữa các thoi được giải tìm dựa vào bản chất vật lý của lực, cụ thể như sau. Các hạt đất khi mới hình thành đều là vật liệu xốp rời. Theo thời gian dưới tác dụng của lực trọng trường chúng có xu hướng dịch chuyển theo phương đứng để chặt lại hình thành ứng suất pháp theo phương đứng  $\sigma_y$ .  $\sigma_y = \gamma y$ , trong đó  $\gamma$  là trọng lượng riêng của đất,  $y$  là độ sâu tại điểm tính ứng suất  $\sigma_y$ . Trong quá trình dịch chuyển đó chúng phải dồn đẩy các hạt cản đường sang hai bên hình thành ứng suất pháp theo phương ngang  $\sigma_x$ . Quá trình đó diễn ra liên tục kể từ khi đất được hình thành. Như vậy, về bản chất ứng suất pháp theo phương ngang là ứng suất thứ phát, được sinh ra từ ứng suất pháp theo phương đứng và như vậy, nó được sinh ra cũng do lực trọng trường. Trong Địa kỹ thuật đã xác lập được:

$$\sigma_x = \xi \sigma_y \quad (11)$$

trong đó  $\xi$  là hệ số áp lực hông. Ngoài ra khi đất được nén chặt hình thành ứng suất tiếp  $\tau$  ở cả ba mặt mà đất sẽ huy động nếu có lực cắt tác dụng. Trong môi trường bán không gian vô hạn các ứng suất này tác dụng lên một phân tố đất được mô hình hóa như trong hình 4a. Do tính chất đối xứng các ứng suất theo phương ngang ở trạng thái cân bằng. Giả sử trong môi trường đó người ta đào một hố sâu, xét một phân

tổ đất nằm sát mép của hố sâu đó (Hình 4b). Khi đó ứng suất pháp và ứng suất tiếp ở phía mép mái dốc (phía bên trái hình) bị triệt tiêu. Xảy ra tình trạng mất cân bằng ứng suất, dưới tác dụng của ứng suất pháp từ phía đối diện phân tổ đất bị dịch chuyển về phía hố đào. Đồng thời phân tổ đất sát phân tổ đó cũng bị mất cân bằng ứng suất và bị dịch chuyển theo nhưng ở mức độ ít hơn vì bị hạn chế một phần do phản lực của phân tổ đứng trước nó. Cứ thế tiếp diễn cho đến khi hết phạm vi ảnh hưởng của sự mất cân bằng ứng suất. Nếu thay vì phân tổ đất ta xét thoi đất thì sự tương tác cũng xảy ra tương tự nhưng lúc này không gọi là ứng suất mà là lực. Ứng suất là lực tác dụng tại một điểm, ngược lại, lực là tổng ứng suất tác dụng lên một bề mặt có diện tích nhất định. Như vậy, lực tương tác giữa các thoi đất trong mái dốc chính là áp lực hông và phản lực của chúng mà được sinh ra do nguyên nhân sâu xa là lực trọng trường. Chúng được xác định bằng các phương trình:

$$E_i = \int_z^y \sigma_x dy \quad (12)$$

$$X_i = \int_z^y \tau_{xy} dy \quad (13)$$

trong đó  $\sigma_x$  là ứng suất pháp theo phương ngang;  $\tau_{xy}$  là ứng suất tiếp theo phương đứng. Phương trình (12) và (13) chính là phương trình đặc tính của lực tương tác và chúng cũng chính là phương trình (13) và (14) của Morgenstern - Price trong bài “Phân tích ổn định mái dốc mặt trượt dạng tổng quát” đăng trên tạp chí Géotechnique. Vol. 15.1. Hai ông cũng đã đi được đến phương trình đặc tính của lực tương tác nhưng đã không phát triển tiếp theo hướng này mà quay lại giải tìm lực tương tác từ phương trình (8) như các nhà khoa học khác.

*Bước 5: Tính các đại lượng trong phương trình:*

- Tính trọng lượng của thoi:

$$W_i = \omega_i \gamma \quad (14)$$

- Tính diện tích các loại thoi:

Đối với thoi loại 1:

$$\omega_{1i} = \int_{it}^{(i+1)t} \left( d + \sqrt{R^2 - x^2} \right) dx = dt + \frac{1}{2} \left[ (i+1)t \sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2} + R^2 \arcsin \frac{(i+1)t}{R} - it \sqrt{R^2 - (it)^2} - R^2 \arcsin \frac{it}{R} \right] \quad (15)$$

Đối với thoi loại 2:

$$\omega_{2i} = \int_{it}^{(i+1)t} \left( mx - p + \sqrt{R^2 - x^2} \right) dx = \frac{m}{2} \left[ (i+1)^2 t^2 - (it)^2 \right] - pt + \frac{1}{2} \left[ (i+1)t \sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2} + R^2 \arcsin \frac{(i+1)t}{R} - it \sqrt{R^2 - (it)^2} - R^2 \arcsin \frac{it}{R} \right] \quad (16)$$

Đối với thoi loại 3:

$$\omega_{3i} = \int_{it}^{(i+1)t} \left( h + d + \sqrt{R^2 - x^2} \right) dx = (h + d)t + \frac{1}{2} \left[ (i+1)t \sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2} + R^2 \arcsin \frac{(i+1)t}{R} - it \sqrt{R^2 - (it)^2} - R^2 \arcsin \frac{it}{R} \right] \quad (17)$$

- Tính độ dài cung của dáy thỏi:

$$l_i = \int_{\phi_i}^{\phi_{i+1}} \sqrt{(-R \sin \phi)^2 + (R \cos \phi)^2} d\phi = R(\phi_{i+1} - \phi_i) = R \left[ \arccos \frac{(i+1)t}{R} - \arccos \frac{it}{R} \right] \quad (18)$$

- Tính góc nghiêng của dáy thỏi:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-x}{-\sqrt{R^2 - x^2}} \rightarrow \alpha_i = \arctan \frac{(i+1/2)t}{\sqrt{R^2 - (i+1/2)^2 t^2}} \quad (19)$$

- Tính lực tương tác theo phương ngang cho thỏi loại 1:

$$E_{1i} = \gamma \xi \int_d^{-\sqrt{R^2 - (it)^2}} (y - d) dy = \gamma \xi \left[ \frac{R^2 - (it)^2}{2} + d \sqrt{R^2 - (it)^2} + \frac{d^2}{2} \right] \quad (20)$$

$$E_{1i+1} = \gamma \xi \int_d^{-\sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2}} (y - d) dy = \gamma \xi \left[ \frac{R^2 - (i+1)^2 t^2}{2} + d \sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2} + \frac{d^2}{2} \right] \quad (21)$$

- Tính lực tương tác theo phương ngang cho thỏi loại 2:

$$E_{2i} = \gamma \xi \int_{mit-p}^{-\sqrt{R^2 - (it)^2}} (y - mit + p) dy = \gamma \xi \left[ \frac{R^2 - (it)^2}{2} + (mit - p) \sqrt{R^2 - (it)^2} + \frac{(mit - p)^2}{2} \right] \quad (22)$$

$$E_{2i+1} = \gamma \xi \int_{m(i+1)t-p}^{-\sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2}} [y - m(i+1)t - p] dy = \gamma \xi \left[ \frac{R^2 - (i+1)^2 t^2}{2} + (m(i+1)t - p) \sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2} + \frac{(m(i+1)t - p)^2}{2} \right] \quad (23)$$

- Tính lực tương tác theo phương ngang cho thỏi loại 3:

$$E_{3i} = \gamma \xi \int_{d+h}^{-\sqrt{R^2 - (it)^2}} [y - (d+h)] dy = \gamma \xi \left[ \frac{R^2 - (it)^2}{2} + (d+h) \sqrt{R^2 - (it)^2} + \frac{(d+h)^2}{2} \right] \quad (24)$$

$$E_{3i+1} = \gamma \xi \int_{d+h}^{-\sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2}} [y - (d+h)] dy = \gamma \xi \left[ \frac{R^2 - (i+1)^2 t^2}{2} + (d+h) \sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2} + \frac{(d+h)^2}{2} \right] \quad (25)$$

- Tính lực tương tác theo phương đứng cho thỏi loại 1. Lưu ý rằng lực tương tác theo phương đứng  $X_i$ ,  $X_{i+1}$  và momen của chúng  $M_{X_i}$ ,  $M_{X_{i+1}}$  có chứa  $\tau$ .  $\tau$  là sức kháng cắt huy động để phương trình momen đạt được cân bằng, vì thế nó là ẩn số. Để tính được tích phân tạm thời coi  $\tau$  là hằng số và sẽ được giải thích rõ ở bước 6.

$$X_{1i} = \int_d^{-\sqrt{R^2 - (it)^2}} \tau dy = \tau \left[ -\sqrt{R^2 - (it)^2} - d \right] \quad (26)$$

$$X_{1i+1} = \int_d^{-\sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2}} \tau dy = \tau \left[ -\sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2} - d \right] \quad (27)$$

- Tính lực tương tác theo phương đứng cho thời loại 2:

$$X_{2i} = \int_{mit-p}^{-\sqrt{R^2-(it)^2}} \tau dy = \tau \left[ -\sqrt{R^2-(it)^2} - mit + p \right] \quad (28)$$

$$X_{2i+1} = \int_{m(i+1)t}^{-\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2}} \tau dy = \tau \left[ -\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2} - m(i+1)t + p \right] \quad (29)$$

- Tính lực tương tác theo phương đứng cho thời loại 3:

$$X_{3i} = \int_{d+h}^{-\sqrt{R^2-(it)^2}} \tau dy = \tau \left[ -\sqrt{R^2-(it)^2} - (d+h) \right] \quad (30)$$

$$X_{3i+1} = \int_{d+h}^{-\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2}} \tau dy = \tau \left[ -\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2} - (d+h) \right] \quad (31)$$

- Tính momen chống trượt và gây trượt của lực tương tác theo phương ngang cho thời loại 1:

$$M_{E1i} = \gamma \xi \int_d^{-\sqrt{R^2-(it)^2}} y(y-d) dy = \gamma \xi \left[ -\frac{(R^2-i^2 t^2)^{3/2}}{3} - \frac{R^2-i^2 t^2}{2} d + \frac{d^3}{6} \right] \quad (32)$$

$$M_{E1i+1} = -\gamma \xi \int_d^{-\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2}} y(y-d) dy = -\gamma \xi \left[ -\frac{(R^2-(i+1)^2 t^2)^{3/2}}{3} - \frac{R^2-(i+1)^2 t^2}{2} d + \frac{d^3}{6} \right] \quad (33)$$

- Tính momen chống trượt và gây trượt của lực tương tác theo phương ngang cho thời loại 2:

$$M_{E2i} = \gamma \xi \int_{mit-p}^{-\sqrt{R^2-(it)^2}} y(y-mit+p) dy = \gamma \xi \left[ -\frac{(R^2-i^2 t^2)^{3/2}}{3} - (mit-p) \frac{R^2-i^2 t^2}{2} + \frac{(mit-p)^3}{6} \right] \quad (34)$$

$$M_{E2i+1} = -\gamma \xi \int_{m(i+1)t-p}^{-\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2}} y(y-m(i+1)t+p) dy = -\gamma \xi \left[ -\frac{(R^2-(i+1)^2 t^2)^{3/2}}{3} - (m(i+1)t-p) \frac{R^2-(i+1)^2 t^2}{2} + \frac{(m(i+1)t-p)^3}{6} \right] \quad (35)$$

- Tính momen chống trượt và gây trượt của lực tương tác theo phương ngang cho thời loại 3:

$$M_{E3i} = \gamma \xi \int_{d+h}^{-\sqrt{R^2-(it)^2}} y(y-d-h) dy = \gamma \xi \left[ -\frac{(R^2-i^2 t^2)^{3/2}}{3} - (d+h) \frac{R^2-i^2 t^2}{2} + \frac{(d+h)^3}{6} \right] \quad (36)$$

$$M_{E3i+1} = -\gamma \xi \int_{d+h}^{-\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2}} y(y-d-h) dy = -\gamma \xi \left[ -\frac{(R^2-(i+1)^2 t^2)^{3/2}}{3} - (d+h) \frac{R^2-(i+1)^2 t^2}{2} + \frac{(d+h)^3}{6} \right] \quad (37)$$

- Tính momen chống trượt và gây trượt của lực tương tác theo phương đứng cho thời loại 1:

$$M_{X1i} = \int_d^{-\sqrt{R^2-(it)^2}} \tau(it) dy = it \left( -\sqrt{R^2-(it)^2} - d \right) \quad (38)$$

$$M_{X_{i+1}} = - \int_d^{-\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2}} \tau(i+1)t dy = -\tau(i+1)t \left[ -\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2} - d \right] \quad (39)$$

- Tính momen chống trượt và gây trượt của lực tương tác theo phương đứng cho thỏi loại 2:

$$M_{X_{2i}} = \int_{mit-p}^{-\sqrt{R^2-(it)^2}} \tau(it) dy = \tau it \left( -\sqrt{R^2-(it)^2} - mit + p \right) \quad (40)$$

$$M_{X_{2i+1}} = - \int_{mit-p}^{-\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2}} \tau(i+1)t dy = -\tau(i+1)t \left[ -\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2} - mit + p \right] \quad (41)$$

- Tính momen chống trượt và gây trượt của lực tương tác theo phương đứng cho thỏi loại 3:

$$M_{X_{3i}} = \int_{d+h}^{-\sqrt{R^2-(it)^2}} \tau(it) dy = \tau it \left( -\sqrt{R^2-(it)^2} - d - h \right) \quad (42)$$

$$M_{X_{3i+1}} = - \int_{d+h}^{-\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2}} \tau(i+1)t dy = -\tau(i+1)t \left[ -\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2} - d - h \right] \quad (43)$$

### Bước 6: Tính hệ số ổn định

Từ bước 3 ta thấy, vì cả hai phương trình cân bằng lực và cân bằng momen được thiết lập cho cùng một mặt trượt, cùng một hệ số ổn định nên cùng đồng thời thỏa cân bằng, vì thế cân bằng hai phương trình ta có:

$$\frac{\sum \{W_i \cos \alpha_i \tan \varphi + cl_i - [(X_i - X_{i+1}) \cos \alpha_i - (E_i - E_{i+1}) \sin \alpha_i] \tan \varphi\}}{\sum [W_i \sin \alpha_i - (X_i - X_{i+1}) \sin \alpha_i - (E_i - E_{i+1}) \cos \alpha_i]} = \frac{R \sum (W_i \cos \alpha_i \tan \varphi + cl_i)}{R \sum W_i \sin \alpha_i - \sum (M_{E_i} - M_{E_{i+1}}) - \sum (M_{X_i} - M_{X_{i+1}})} \quad (44)$$

Như đã nói trong bước 5, tất cả các đại lượng đều tính được ngoại trừ lực tương tác theo phương đứng  $X_i$ ,  $X_{i+1}$  và momen của chúng  $M_{X_i}$ ,  $M_{X_{i+1}}$  vì chúng có chứa ẩn số  $\tau$ . Nếu trong các phương trình từ (26) đến (31) và từ (38) đến (43) ta biết giá trị  $\tau$  thì có thể tính được tích phân và thay vào phương trình (44) thì sẽ đạt được cân bằng hai vế. Vì lẽ đó ta thay đổi cách làm, trong các phương trình trên tạm thời coi  $\tau$  là hằng số để lấy được tích phân và lập được phương trình (44) như đã làm ở trên. Đến đây ta chỉ việc thử dần các giá trị khác nhau của  $\tau$  sẽ nhanh chóng tìm được  $\tau$  mà làm cân bằng phương trình (44). Khi đó giá trị của mỗi vế chính là hệ số ổn định của mái dốc và bài toán giải quyết xong trọn vẹn. Mọi tính toán rất đơn giản, có thể lập trình hoặc lập bảng để tính. Bất cứ một kỹ sư nào chỉ cần biết sử dụng EXCEL cơ bản cũng có thể tự tính được.

### Ví dụ thực hiện sáng chế

Dưới đây là một ví dụ tính toán để so sánh với các phương pháp hiện có. Thực tế thì phương pháp của sáng chế là phương pháp đúng còn các phương pháp đã có chỉ là gần đúng, tuy nhiên ở đây vẫn so sánh để xem các phương pháp gần đúng đã sai lệch ở mức độ nào. Các phương pháp so sánh là các phương pháp Bishop, Janbu, Morgenstern-Price, Spencer và ordinary trong phần mềm GEOSLOPE. Các thông số của mái dốc và chỉ tiêu của đất dùng để tính toán được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Các thông số của mái dốc và các chỉ tiêu của đất



Chiều cao h, m	Góc nghiêng $\beta$	Trọng lượng riêng $\gamma$ , kN/m <sup>3</sup>	Góc ma sát trong $\varphi$ , độ	Lực dính c, kPa	Hệ số áp lực hông, $\xi$
20	30 <sup>0</sup>	1.7	14 <sup>0</sup>	20	0.75808

Quy trình tính toán như sau. Trước tiên dùng phần mềm GEOSLOPE của các phương pháp đã có tính hệ số ổn định của mái dốc, xác định được hệ số ổn định, tọa độ tâm trượt và bán kính cung trượt. Tiếp theo dùng phương pháp của sáng chế tính hệ số ổn định ứng với vị trí tâm trượt, bán kính mặt trượt đã xác định đó. Bán kính cung trượt xác định được của tất cả các phương pháp là 37m. Tọa độ tâm trượt của tất cả các phương pháp là  $x = 55.8m$ ;  $y = 54m$ . Hệ số áp lực hông xác định theo Jaky (1944),  $\xi = 1 - \sin \varphi = 0.75808$ . Kết quả tính toán được trình bày trong bảng sau:

*Bảng 2. Kết quả tính hệ số ổn định theo các phương pháp*

Bishop	Spencer	M-P	Janbu	Ordinary	PP. sáng chế không tính lực tương tác	P.P. sáng chế có tính lực t.t.
1,105	1,102	1,102	1,006	1,026	1,024	1,146
3.46%	3.72%	3.72%	12,11%	0,195%		

Từ bảng kết quả trên có thể nêu một số nhận xét:

- Cùng điều kiện không xét đến lực tương tác phương pháp ordinary so với phương pháp của sáng chế chênh lệch chỉ 0,195%. Nói chung là rất không đáng kể. Đúng ra khi không xét đến lực tương tác thì kết quả của 2 phương pháp hoàn toàn bằng nhau. Sự chênh lệch rất không đáng kể này là do khác nhau về phương pháp tính. Phương pháp ordinary tính bằng sai phân trong khi phương pháp của sáng chế tính bằng tích phân. Khi chia thời càng nhỏ độ lệch này sẽ càng giảm.
- So với các phương pháp truyền thống phương pháp đề xuất cho hệ số ổn định lớn hơn gần 4% ngoại trừ phương pháp Janbu. Hệ số ổn định của phương pháp Janbu lệch đến 12,11%. Kết quả này có lẽ có liên quan đến cách giải toán của Janbu.
- Lực tương tác được xác định có liên quan mật thiết đến hệ số áp lực hông của đất. Vì thế để kết quả tính toán được chính xác cần phải nghiên cứu, đánh giá áp lực hông một cách đầy đủ. Hệ số áp lực hông phụ thuộc đồng thời vào thành phần, tính chất, trạng thái của đất, tuy nhiên hiện nay các nhà khoa học chỉ mới đánh giá theo một chỉ tiêu là chưa đầy đủ, ví dụ như Jaky (1944) mới chỉ đánh giá theo góc ma sát trong.

### **Hiệu quả đạt được của sáng chế**

Hiệu quả đạt được của sáng chế nói một cách tổng thể, là có được một phương pháp tính lực tương tác giữa các thoi một cách chính xác, chấm dứt quá trình tính toán một cách mò mẫm như đã xảy ra trong suốt 65 năm qua. Nói cụ thể, hiệu quả đạt được của sáng chế như sau:

- Khác với các phương pháp đã biết chỉ tính lực tương tác mà không giải thích được nguồn gốc của chúng, sáng chế đã xây dựng phương pháp tính lực tương tác xuất phát từ sự hình thành và phân bố ứng suất ở trong đất mà có liên quan chặt chẽ đến quá trình hình thành đất, vì thế nó phản ánh đúng bản chất của sự tương tác và giải thích được nguồn gốc của lực tương tác.

2. Với sự phân tích lịch sử hình thành đất và phân bố ứng suất trong đất để lập phương trình đặc tính của lực tương tác sáng chế đã dựa vào cơ sở khoa học Vật lý và Địa kỹ thuật để giải quyết vấn đề, làm tăng phương trình để bài toán trở thành xác định, bảo đảm kết quả giải ra là đúng đắn.
3. Do sáng chế tính lực tương tác từ phương trình đặc tính, ngoài việc phản ánh được bản chất của sự tương tác và nguồn gốc của chúng như đã nói ở trên, nó còn thể hiện được mối liên quan chặt chẽ của lực tương tác giữa các thoi với tính chất và trạng thái của đất vì trong phương trình tính lực tương tác có chứa hệ số áp lực hông. Rõ ràng các thoi đất càng chặt, càng cứng thì tương tác với nhau sẽ mạnh hơn so với giữa các thoi đất yếu. Các phương pháp đã biết không xét được sự ảnh hưởng này.
4. Do sáng chế tính đúng lực tương tác giữa các thoi nên hệ số ổn định mái dốc xác định được chính xác hơn, việc thiết kế mái dốc sẽ bảo đảm độ tin cậy cao hơn và cũng kinh tế hơn. Đồng thời khi có sự cố trượt xảy ra việc phân tích nguyên nhân sự cố dễ dàng hơn.
5. Sáng chế đã giải tìm được đúng lực tương tác giữa các thoi, khép lại bài toán kéo dài hơn 65 năm qua.

### **Yêu cầu bảo hộ**

1. Phương pháp tính lực tương tác giữa các thoi trong phân tích ổn định mái dốc, phương pháp này được thực hiện bởi thiết bị tính toán, bao gồm các bước như sau:

- Mô phỏng một khối trượt bằng các phương trình giải tích:  $x^2 + y^2 = R^2$ ;  $y = mx - p$ ;  $y = d$ ;  $y = h + d$ , trong đó  $d$  là tung độ của bề mặt trên của mái dốc;  $h$  là hiệu của tung độ chân mái dốc và đỉnh mái dốc;  $m$  và  $p$  lần lượt là hệ số góc và hệ số tự do của phương trình mặt nghiêng của mái dốc;  $p > 0$  (Hình 1);
- Phân chia khối trượt thành các thoi thẳng đứng bởi đường thẳng có phương trình  $x = it$  với  $i$  là số tự nhiên chạy từ gốc tọa độ,  $t$  là giá trị khoảng chia thoi cố định,  $it \leq R$ ;
- Lập sơ đồ lực tác dụng lên thoi gồm: Trọng lượng thoi  $W_i$ , phản lực của đất nền lên đáy thoi  $P_i$ , lực kháng cắt dọc theo đáy thoi  $S_i$ , lực tương tác theo phương ngang  $E_i$ ,  $E_{i+1}$  lực tương tác theo phương đứng  $X_i$ ,  $X_{i+1}$ ;
- Chiếu các lực lên các trục vuông góc và song song với đáy thoi kết hợp tiêu chuẩn phá hoại Mohr-Coulomb để lập phương trình cân bằng lực;

$$F = \frac{\sum \{W_i \cos \alpha_i \tan \varphi + cl_i - [(X_i - X_{i+1}) \cos \alpha_i - (E_i - E_{i+1}) \sin \alpha_i] \tan \varphi\}}{\sum [W_i \sin \alpha_i - (X_i - X_{i+1}) \sin \alpha_i - (E_i - E_{i+1}) \cos \alpha_i]}$$

- Lập phương trình cân bằng momen;

$$F = \frac{R \sum (W_i \cos \alpha_i \tan \varphi + cl_i)}{R \sum W_i \sin \alpha_i - \sum (M_{E_i} - M_{E_{i+1}}) - \sum (M_{X_i} - M_{X_{i+1}})}$$

- Lập phương trình đặc tính của lực tương tác;

$$E_i = \int_z^y \sigma_x dy$$

$$X_i = \int_z^y \tau_{xy} dy$$

- Tính trọng lượng của thỏi;

$$W_i = \omega_i \gamma$$

- Tính diện tích thỏi cho các loại thỏi (1), (2), (3);

$$\omega_{1i} = \int_{it}^{(i+1)t} \left( d + \sqrt{R^2 - x^2} \right) dx = dt + \frac{1}{2} \left[ (i+1)t \sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2} + R^2 \arcsin \frac{(i+1)t}{R} - it \sqrt{R^2 - (it)^2} - R^2 \arcsin \frac{it}{R} \right]$$

$$\omega_{2i} = \int_{it}^{(i+1)t} \left( mx - p + \sqrt{R^2 - x^2} \right) dx = \frac{m}{2} \left[ (i+1)^2 t^2 - (it)^2 \right] - pt + \frac{1}{2} \left[ (i+1)t \sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2} + R^2 \arcsin \frac{(i+1)t}{R} - it \sqrt{R^2 - (it)^2} - R^2 \arcsin \frac{it}{R} \right]$$

$$\omega_{3i} = \int_{it}^{(i+1)t} \left[ h + d + \sqrt{R^2 - x^2} \right] dx = (h+d)t + \frac{1}{2} \left[ (i+1)t \sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2} + R^2 \arcsin \frac{(i+1)t}{R} - it \sqrt{R^2 - (it)^2} - R^2 \arcsin \frac{it}{R} \right]$$

- Tính độ dài cung của đáy thỏi;

$$l_i = \int_{\phi_i}^{\phi_{i+1}} \sqrt{(-R \sin \phi)^2 + (R \cos \phi)^2} d\phi = R(\phi_{i+1} - \phi_i) = R \left[ \arccos \frac{(i+1)t}{R} - \arccos \frac{it}{R} \right]$$

- Tính góc nghiêng của đáy thỏi;

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-x}{-\sqrt{R^2 - x^2}} \rightarrow \alpha_i = \arctan \frac{(i+1/2)t}{\sqrt{R^2 - (i+1/2)^2 t^2}}$$

- Tính lực tương tác theo phương ngang cho các loại thỏi (1), (2), (3);

$$E_{1i} = \gamma \xi \int_d^{-\sqrt{R^2 - (it)^2}} (y-d) dy = \gamma \xi \left( \frac{R^2 - (it)^2}{2} + d \sqrt{R^2 - (it)^2} + \frac{d^2}{2} \right)$$

$$E_{1i+1} = \gamma \xi \int_d^{-\sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2}} (y-d) dy = \gamma \xi \left[ \frac{R^2 - (i+1)^2 t^2}{2} + d \sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2} + \frac{d^2}{2} \right]$$

$$E_{2i} = \gamma \xi \int_{mit-p}^{-\sqrt{R^2 - (it)^2}} (y - mit + p) dy = \gamma \xi \left[ \frac{R^2 - (it)^2}{2} + (mit-p) \sqrt{R^2 - (it)^2} + \frac{(mit-p)^2}{2} \right]$$

$$E_{2i+1} = \gamma \xi \int_{m(i+1)t-p}^{-\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2}} [y - m(i+1)t - p] dy =$$

$$\gamma \xi \left[ \frac{R^2 - (i+1)^2 t^2}{2} + (m(i+1)t - p) \sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2} + \frac{(m(i+1)t - p)^2}{2} \right]$$

$$E_{3i} = \gamma \xi \int_{d+h}^{-\sqrt{R^2-(it)^2}} [y - (d+h)] dy = \gamma \xi \left( \frac{R^2 - (it)^2}{2} + (d+h) \sqrt{R^2 - (it)^2} + \frac{(d+h)^2}{2} \right)$$

$$E_{3i+1} = \gamma \xi \int_{d+h}^{-\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2}} [y - (d+h)] dy = \gamma \xi \left[ \frac{R^2 - (i+1)^2 t^2}{2} + (d+h) \sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2} + \frac{(d+h)^2}{2} \right]$$

- Tính lực tương tác theo phương đứng cho các loại thời (1), (2), (3);

$$X_{1i} = \int_d^{-\sqrt{R^2-(it)^2}} \tau dy = \tau \left[ -\sqrt{R^2 - (it)^2} - d \right]$$

$$X_{1i+1} = \int_d^{-\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2}} \tau dy = \tau \left[ -\sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2} - d \right]$$

$$X_{2i} = \int_{mit-p}^{-\sqrt{R^2-(it)^2}} \tau dy = \tau \left[ -\sqrt{R^2 - (it)^2} - mit + p \right]$$

$$X_{2i+1} = \int_{m(i+1)t}^{-\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2}} \tau dy = \tau \left[ -\sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2} - m(i+1)t + p \right]$$

$$X_{3i} = \int_{d+h}^{-\sqrt{R^2-(it)^2}} \tau dy = \tau \left[ -\sqrt{R^2 - (it)^2} - (d+h) \right]$$

$$X_{3i+1} = \int_{d+h}^{-\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2}} \tau dy = \tau \left[ -\sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2} - (d+h) \right]$$

- Tính momen chống trượt và gây trượt của lực theo phương ngang cho các loại thời . (1), (2), (3)

$$M_{E1i} = \gamma \xi \int_d^{-\sqrt{R^2-(it)^2}} y(y-d) dy = \gamma \xi \left[ -\frac{(R^2 - i^2 t^2)^{3/2}}{3} - \frac{R^2 - i^2 t^2}{2} d + \frac{d^3}{6} \right]$$

$$M_{E1i+1} = \gamma \xi \int_d^{-\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2}} y(y-d) dy = \gamma \xi \left[ -\frac{(R^2 - (i+1)^2 t^2)^{3/2}}{3} - \frac{R^2 - (i+1)^2 t^2}{2} d + \frac{d^3}{6} \right]$$

$$M_{E2i} = \gamma \xi \int_{mit-p}^{-\sqrt{R^2-(it)^2}} y(y-mit+p) dy = \gamma \xi \left[ -\frac{(R^2 - i^2 t^2)^{3/2}}{3} - (mit-p) \frac{R^2 - i^2 t^2}{2} + \frac{(mit-p)^3}{6} \right] \quad ($$

$$M_{E2i+1} = \gamma \xi \int_{mit-p}^{-\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2}} y(y - mit + p) dy = \gamma \xi \left[ \frac{-(R^2 - (i+1)^2 t^2)^{3/2}}{3} - (mit - p) \frac{R^2 - (i+1)^2 t^2}{2} + \frac{(mit - p)^3}{6} \right]$$

$$M_{E3i} = \gamma \xi \int_{d+h}^{-\sqrt{R^2-(i)^2}} y(y - d - h) dy = \gamma \xi \left[ \frac{-(R^2 - i^2 t^2)^{3/2}}{3} - (d+h) \frac{R^2 - i^2 t^2}{2} + \frac{(d+h)^3}{6} \right]$$

$$M_{E3i+1} = \gamma \xi \int_{d+h}^{-\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2}} y(y - d - h) dy = \gamma \xi \left[ \frac{-(R^2 - (i+1)^2 t^2)^{3/2}}{3} - (d+h) \frac{R^2 - (i+1)^2 t^2}{2} + \frac{(d+h)^3}{6} \right]$$

- Tính momen chống trượt và gây trượt của lực theo phương đứng cho các loại thời (1), (2), (3);

$$M_{X1i} = \int_d^{-\sqrt{R^2-(i)^2}} \tau(it) dy = \tau it \left( -\sqrt{R^2 - (it)^2} - d \right)$$

$$M_{X1i+1} = \int_d^{-\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2}} \tau(i+1)t dy = \tau(i+1)t \left[ -\sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2} - d \right]$$

$$M_{X2i} = \int_{mit-p}^{-\sqrt{R^2-(i)^2}} \tau(it) dy = \tau it \left( -\sqrt{R^2 - (it)^2} - mit + p \right)$$

$$M_{X2i+1} = \int_{mit-p}^{-\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2}} \tau(i+1)t dy = \tau(i+1)t \left[ -\sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2} - mit + p \right]$$

$$M_{X3i} = \int_{d+h}^{-\sqrt{R^2-(i)^2}} \tau(it) dy = \tau it \left( -\sqrt{R^2 - (it)^2} - d - h \right)$$

$$M_{X3i+1} = \int_{d+h}^{-\sqrt{R^2-(i+1)^2 t^2}} \tau(i+1)t dy = \tau(i+1)t \left[ -\sqrt{R^2 - (i+1)^2 t^2} - d - h \right]$$

- Cân bằng hai phương trình cân bằng lực và cân bằng momen;

$$\frac{\sum \{W_i \cos \alpha_i \tan \varphi + cl_i - [(X_i - X_{i+1}) \cos \alpha_i - (E_i - E_{i+1}) \sin \alpha_i] \tan \varphi\}}{\sum [(X_i - X_{i+1}) \sin \alpha_i - (E_i - E_{i+1}) \cos \alpha_i]} = \frac{R \sum (W_i \cos \alpha_i \tan \varphi + cl_i)}{R \sum W_i \sin \alpha_i - \sum (M_{Ei} - M_{Ei+1}) - \sum (M_{Xi} - M_{Xi+1})}$$

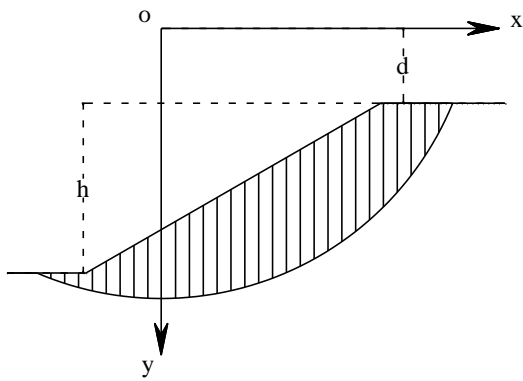
- Thay các đại lượng đã tính được vào phương trình trên;
- Dùng phương pháp thử dần xác định cường độ kháng cắt huy động  $\tau$  của đất;
- Xác định hệ số ổn định của mái dốc, chính bằng giá trị của mỗi vế của phương trình cân bằng lực và cân bằng momen.

## BẢN TÓM TẮT SÁNG CHẾ

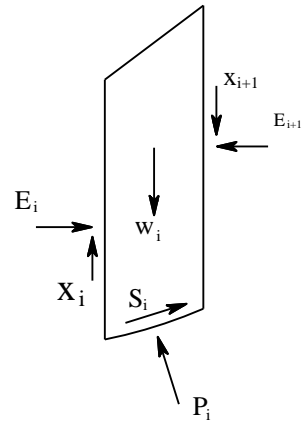
Sáng chế đề xuất phương pháp tính lực tương tác giữa các thỏi theo một cách tiếp cận khác với các phương pháp đã có. Đó là dựa trên cơ sở lý thuyết Vật lý và Địa kỹ thuật tiến hành phân tích để thiết lập phương trình đặc tính của lực tương tác (phương trình tính lực tương tác giữa các thỏi dựa trên bản chất vật lý của lực). Mấu chốt của vấn đề là phân tích ứng suất trong nền đất. Đất trong quá trình hình thành và tồn tại dưới tác dụng của lực trọng trường sẽ tự nén chặt hình thành ứng suất pháp theo phương đứng  $\sigma_y$ . Khi các hạt dịch chuyển theo phương đứng để tự nén chặt chúng phải dồn đẩy các hạt cản đường sang hai bên hình thành ứng suất thứ phát theo phương ngang  $\sigma_x$ ,  $\sigma_x = \xi \sigma_y$ , trong đó  $\xi$  là hệ số áp lực hông.

Đồng thời trong quá trình đó sẽ hình thành ứng suất tiếp  $\tau$  theo cả ba phương khi có ứng suất cắt tác dụng. Trong Địa kỹ thuật đã mô phỏng các ứng suất này tác dụng lên một phân tố đất trong nền. Ứng suất là lực tác dụng tại một điểm và ngược lại, lực là tổng ứng suất tác dụng lên một bề mặt có diện tích nhất định. Xét trường hợp cho một thỏi đất, tích phân các ứng suất này trên diện tích mặt bên của thỏi chính là lực tương tác. Bằng cách này sẽ có phương trình đặc tính để tính được lực tương tác giữa các thỏi. Sau đó mới đưa chúng vào phương trình tính hệ số ổn định. Phương trình tính hệ số ổn định được thiết lập bằng cách đồng nhất phương trình cân bằng lực và cân bằng momen. Phương trình cân bằng lực có được bằng cách chiếu các lực lên cả hai phương vuông góc và song song với đáy thỏi kết hợp phương trình Morh - Coulomb; phương trình cân bằng momen có được bằng cách lập phương trình tương quan giữa tổng momen chống trượt và gây trượt tương đối với tâm trượt. Sau khi thay phương trình đặc tính vào và đồng nhất phương trình cân bằng lực và cân bằng momen, sử dụng phương pháp thử dần để xác định lực kháng cắt huy động  $\tau$ , từ đó tính được hệ số ổn định. Như vậy, phương pháp của sáng chế thỏa mãn đồng thời cả cân bằng lực và cân bằng momen. Bằng cách này bài toán hoàn toàn xác định, vì thế hệ số ổn định tính được là đúng đắn, chấm dứt tình trạng đưa thêm giả thiết và mày mò giải như trước đây. Không những thế lực tương tác tính được của sáng chế giải thích được nguồn gốc hình thành của chúng, phản ánh đúng bản chất của sự tương tác giữa các thỏi và thể hiện mối liên quan chặt chẽ giữa thành phần, tính chất và trạng thái của đất với cường độ của lực tương tác.

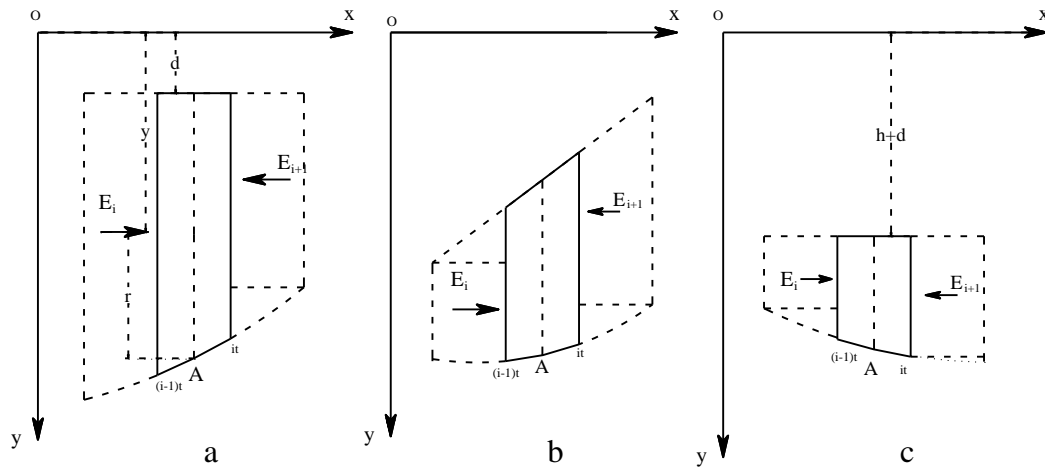
Các hình vẽ:



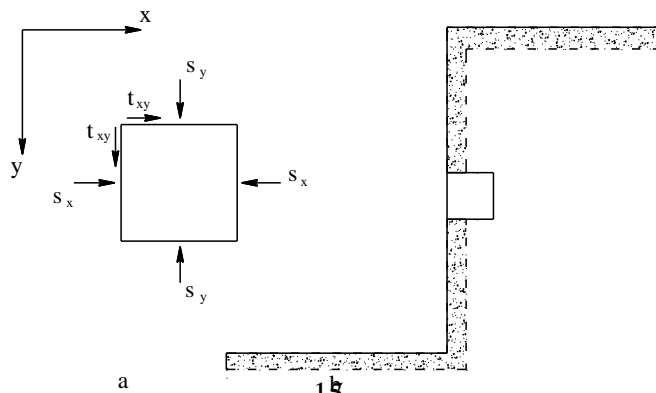
Hình 1



Hình 2



Hình 3



Hình 4. a, b