

LÝ THUYẾT ỔN ĐỊNH MÁI DỐC

Giới thiệu

Xác định các biến

Phương pháp cân bằng giới hạn

Hệ số an toàn cân bằng Moment

Hệ số an toàn cân bằng lực

Lực pháp tuyến tại đáy cột đất

Lực giữa các cột đất

Xác định theo phương pháp của Công ty Kỹ thuật

Xác định theo phương pháp Lowe-Karafiath

Ảnh hưởng của Áp lực nước lỗ rỗng âm

Hệ số an toàn đối với loại đất chưa bão hoà nước

Sử dụng các thông số ứng suất tiếp của loại đất chưa bão hoà

Xác định hệ số an toàn

Giai đoạn 1

Giai đoạn 2

Giai đoạn 3

Giai đoạn 4

Tính tương tự của các phương pháp

Nội suy phi tuyến áp lực nước lỗ rỗng

Bề rộng cột đất

Moment trục

Cường độ của đất

Cường độ không đẳng hướng

Hàm cường độ không đẳng hướng cải biên

Hàm cường độ pháp tuyến / tiếp tuyến

GIỚI THIỆU

Phần này giải thích lý thuyết đã được sử dụng trong phần mềm ONDINH. Các biến được dùng trước hết để xác định những mô tả chung của phương pháp cân bằng giới hạn (GLE). Các công thức lập ra bao gồm các công thức xác định các lực và các công thức xác định hệ số an toàn. Sau đây là phần mô tả thủ tục lập trong việc xác định hệ số an toàn phi tuyến. Ngoài ra, cũng cần chú ý vấn đề các lớp đất có áp lực nước lỗ rỗng âm.

ONDINH xác định hai công thức hệ số an toàn : cân bằng lực và cân bằng mô men. Các phương pháp xác định lực khác nhau trong các cột đất (hoặc cung trượt) được coi là các trường hợp đặc biệt của lý thuyết cân bằng giới hạn.

XÁC ĐỊNH CÁC BIẾN

ONDINH sử dụng lý thuyết cân bằng giới hạn lực và moment để tính toán hệ số an toàn chống trượt.

Hệ số an toàn được xác định như một hệ số mà ứng suất tiếp trong khối đất bị giảm xuống đưa khối đất vào trạng thái cân bằng giới hạn tại mặt trượt cho trước.

Đối với việc phân tích ứng suất hiệu quả, ứng suất tiếp xác định như sau :

$$s = c' + (\sigma_n - u) \tan \phi' \quad (8.1)$$

ở đây : s = ứng suất tiếp

c'	=	lực dính hiệu quả
ϕ'	=	góc ma sát trong hiệu quả
σ'_m	=	ứng suất pháp tổng
u	=	áp lực nước lỗ rỗng

Đối với việc phân tích ứng suất tổng, các thông số cường độ được xác định dưới dạng ứng suất tổng, và không kể đến áp lực nước lỗ rỗng.

Việc phân tích ổn định yêu cầu phải giới hạn khối đất bởi một mặt trượt và chia khối ấy thành những cột đất thẳng đứng. Cung trượt có thể là hình tròn, hỗn hợp (giữa cung tròn và đoạn thẳng) hoặc có dạng là tổ hợp của các đoạn thẳng.

Lý thuyết cân bằng giới hạn giả thuyết rằng :

1. Đất là loại vật liệu tuân theo định luật Mohr-Coulomb.
2. Hệ số an toàn của các thành phần cường độ lực dính và góc ma sát là bằng nhau đối với mọi loại đất có cùng giá trị lực dính và góc ma sát.
3. Hệ số an toàn là giống nhau đối với mọi cột đất.

Hình 8.1 cho thấy tất cả các lực tác động lên cung trượt tròn. Các biến xác định như sau :

W = tổng trọng lượng cột đất có bề rộng b và chiều cao h

N = tổng lực pháp tuyến tác dụng lên đáy cột đất

S = lực tiếp tuyến tại đáy mỗi cột đất.

E = lực nằm ngang giữa các cột đất. Các chỉ số L và R là bên trái và bên phải cột đất.

X = lực tiếp tuyến giữa các cột đất. Các chỉ số L và R là bên trái và bên phải cột đất.

D = Tải trọng ngoài.

kW = tải trọng động đất nằm ngang tác dụng vào tâm cột đất.

R = bán kính cung trượt hoặc cách tay đòn tác dụng của lực tiếp tuyến, S_m đối với hình dạng mặt trượt bất kỳ.

f = khoảng cách từ lực pháp tuyến tính từ tâm trượt hoặc tâm mô men. Khoảng cách f ở bên phải tâm trượt của mái dốc âm (tức là mái dốc quay mặt về bên phải) là âm và ở bên trái tâm quay là dương. Đối với mái dốc dương, không cần dùng ký hiệu +.

x = khoảng cách nằm ngang từ đường tâm mỗi cột đất đến tâm quay.

e = khoảng cách thẳng đứng từ trọng tâm cột đất đến tâm quay.

d = khoảng cách từ tải trọng tập trung đến tâm quay.

h = khoảng cách thẳng đứng từ tâm của đoạn cung trượt thuộc mỗi cột đất tới đường cao nhất của khối đất (thường là mặt đất tự nhiên).

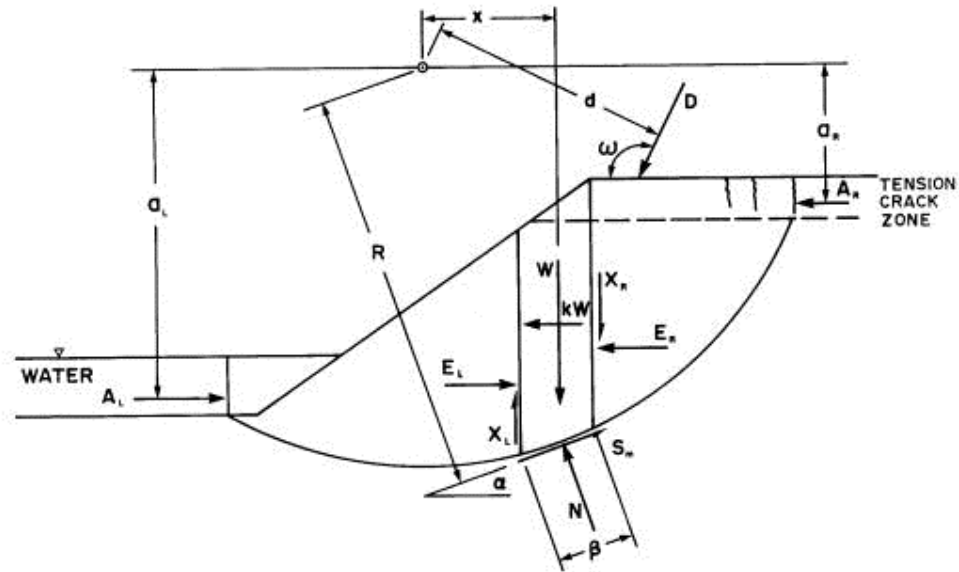
a = khoảng cách thẳng đứng từ áp lực nước bên ngoài đến tâm quay. Các chỉ số L và R để chỉ mái dốc bên trái và bên phải.

A = Áp lực nước bên ngoài. Các chỉ số L và R để chỉ mái dốc bên trái và bên phải.

ω = góc của tải trọng tập trung đến đường nằm ngang. Góc này đo theo chiều kim đồng hồ từ trục X dương.

α = góc giữa phương của lực tiếp tuyến với đường nằm ngang. Dấu xác định như sau : khi góc này cùng phía với góc của mái khối đất, thì lấy dấu dương và ngược lại.

Hình 8.1 Các lực tác động lên cột đất trong 1 khối trượt với mặt trượt tròn



Độ lớn của lực tiếp tuyến thỏa mãn điều kiện cân bằng giới hạn là :

$$S_{ms} = \frac{s \beta}{F} = \frac{\beta (c' + (\sigma_n - u) \tan \phi')}{F} \quad (8.2)$$

ở đây:

$$\sigma_n = \frac{N}{\beta} = \text{ứng suất pháp trung bình tại đáy cột đất}$$

F = hệ số an toàn

b = chiều dài đoạn cung trượt thuộc cột đất

Các yếu tố xác định (đã biết) được dùng để xác định hệ số an toàn là tổng các lực và tổng các mô men theo hai hướng. Các yếu tố này là không đủ để xác định vấn đề. Cần biết thêm thông tin về thành phần lực pháp tuyến tại đáy cột đất hoặc thành phần lực giữa các cột đất. Các bảng 8.1 và 8.2 tổng hợp các thành phần đã biết và chưa biết liên quan đến việc phân tích ổn định mái dốc.

Table 8.1 Tổng hợp các thành phần đã biết trong việc xác định hệ số an toàn

Số lượng đã biết	Mô tả
------------------	-------

n	Tổng các lực theo hướng nằm ngang
n	Tổng các lực theo hướng thẳng đứng
n	Tổng mô men
n	Các công thức Mohr-Coulomb
4n	Tổng số các phương trình

Table 8.2 Tổng hợp các thành phần chưa biết trong việc xác định hệ số an toàn

Số lượng chưa biết	Mô tả
n	Độ lớn lực pháp tuyến tại đáy cột đất, N
n	Điểm tác dụng của lực pháp tuyến tại đáy cột đất
n - 1	Độ lớn lực pháp tuyến giữa các cột đất, E
n - 1	Điểm tác dụng của lực pháp tuyến giữa các cột đất, X
n - 1	Độ lớn lực tiếp tuyến giữa các cột đất, X
n	Lực tiếp tuyến tại đáy cột đất, S_m
1	Hệ số an toàn, F
1	Giá trị, I
6n - 1	Tổng số các thành phần chưa biết

Khi số lượng các thành phần chưa biết vượt quá số lượng các thành phần đã biết, vấn đề chưa được xác định. Cần có các giả thiết về hướng, độ lớn, và/hoặc điểm tác dụng của một số lực để làm cho vấn đề trở nên xác định. Mọi phương pháp đều giả thiết lực pháp tuyến tại đáy cột đất tác dụng qua đường tâm cột đất. Sau đó là các giả thiết liên quan đến độ lớn, hướng, hoặc điểm đặt lực tác dụng giữa các cột đất. Nhìn chung các phương pháp cột đất khác nhau là tổ hợp của (1) những công thức sử dụng trong việc xác định hệ

số an toàn và (2) giả thiết lực giữa các cột đất để làm cho vấn đề trở nên xác định.

PHƯƠNG PHÁP CÂN BẰNG GIỚI HẠN

Phương pháp cân bằng giới hạn sử dụng những công thức sau trong việc xác định hệ số an toàn :

1. Tổng các lực theo hướng thẳng đứng đối với mỗi cột đất. Công thức lập cho lực pháp tuyến tại đáy cột đất, N .

2. Tổng các lực theo hướng nằm ngang đối với mỗi cột đất dùng để tính toán lực pháp tuyến giữa các cột đất, E . Công thức áp dụng thống nhất cho toàn khối trượt (tức là : từ trái qua phải).

3. Tổng mô men đối với tâm trượt. Công thức dùng trong việc xác định hệ số an toàn cân bằng mô men, F_m .

4. Tổng các lực theo hướng nằm ngang đối với tất cả các cột đất, dùng để xác định hệ số an toàn cân bằng lực F_f .

Vấn đề vẫn chưa trở nên xác định, cần giả thiết thêm về hướng của lực giữa các cột đất. Hướng được giả thiết để mô tả hàm lực giữa các cột đất. Đến đây, hệ số an toàn có thể được tính toán dựa trên cân bằng mô men F_m và cân bằng lực F_f . Hệ số an toàn có thể khác nhau phụ thuộc vào tỉ lệ % λ của hàm lực dùng trong tính toán.

Hệ số an toàn thoả mãn cả hai điều kiện cân bằng mô men và cân bằng lực gọi là hệ số an toàn của phương pháp GLE (cân bằng giới hạn tổng quát).

Sử dụng cùng một cách tiếp cận vẫn đề như phương pháp GLE, có thể chỉ cần thoả mãn một trong các điều kiện cân bằng mô men hoặc cân bằng lực, khi đó ta có các phương pháp khác.

Hệ số an toàn cân bằng mô men

Có thể dựa trên hình 8.1 để lập công thức tính hệ số an toàn cân bằng mô men. Trong trường hợp này, tổng mô men của tất cả các cột đất đối với tâm trượt, có thể viết như sau:

$$\sum W_x - \sum S_m R - \sum N_f + \sum kWe \pm [Dd] \pm Aa = 0 \quad (8.3)$$

Dấu móc [•] trong công thức 8.3 có nghĩa rằng các lực này chỉ tính đối với cột đất trên đó có lực tác dụng. Trừ công thức 8.2 vào công thức 8.3 và tính ra hệ số an toàn

$$F_m = \frac{\sum (c' \beta R + (N - u\beta) R \tan \phi')}{\sum W_x - \sum N_f + \sum kW_e \pm [Dd] \pm Aa} \quad (8.4)$$

công thức 8.4 là phi tuyến khi lực pháp tuyến, N , cũng là một hàm của hệ số an toàn.

Hệ số an toàn cân bằng lực

Có thể dựa trên hình 8.1 để lập công thức tính hệ số an toàn cân bằng lực. Tổng các lực theo hướng nằm ngang đối với tất cả các cột đất :

$$\sum (E_L - E_R) - \sum (N \sin \alpha) + \sum (S_m \cos \alpha) - \sum (kW) \quad (8.5)$$

Thành phần $\sum(E_L - E_R)$ phải bằng không khi tính cho toàn khối trượt. Trừ công thức 8.2 vào công thức 8.5 và tính ra hệ số an toàn :

$$F_f = \frac{\sum (c' \beta \cos \alpha + (N - u\beta) \tan \phi' \cos \alpha)}{\sum N \sin \alpha + \sum kW - [D \cos \omega] \pm A} \quad (8.6)$$

công thức 8.6 cũng là phi tuyến, thủ tục giải công thức này được mô tả trong phần [Ảnh hưởng của Áp lực nước lỗ rỗng âm](#).

Lực pháp tuyến tại đáy cột đất

Lực pháp tuyến tại đáy cột đất xác định từ tổng các lực theo hướng thẳng đứng trên mỗi cột đất

$$-W + (X_L - X_R) + N \cos \alpha + S_m \sin \alpha - [D \sin \omega] = 0 \quad (8.7)$$

Trừ công thức 8.2 vào công thức 8.7 và tính ra lực pháp tuyến N ,

$$N = \frac{W + (X_R - X_L) - \frac{c' \beta \sin \alpha + u\beta \sin \alpha \tan \phi'}{F} + [D \sin \omega]}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{F}} \quad (8.8)$$

Mẫu số trong công thức 8.8 thường được gọi là biến m_x . hệ số an toàn F , bằng hệ số an toàn cân bằng mô men, F_m , khi giải quyết vấn đề cân bằng mô

men, và bằng hệ số an toàn cân bằng lực, F_t , khi giải quyết vấn đề cân bằng lực.

Công thức 8.8 không thể giải trực tiếp khi hệ số an toàn (F) và lực pháp tuyến giữa các cột đất (tức là, X_L và α) chưa biết. Lực pháp tuyến tại đáy mỗi cột đất xác định dựa trên một sơ đồ tương tác.

Để bắt đầu giải quyết bài toán hệ số an toàn, có thể bỏ qua lực tiếp tuyến và pháp tuyến trên mỗi cột đất (Fellenius, 1936). Khi các lực được công lại theo hướng vuông góc với đoạn cung trượt ở đáy cột đất, công thức sau xác định lực pháp tuyến :

$$N = W \cos \alpha - kW \sin \alpha + [D \cos (\omega + \alpha - 90)] \quad (8.1)$$

Sử dụng công thức đơn giản 8.9 vào công thức 8.4 và 8.6 cho ta giá trị ban đầu để tính hệ số an toàn. **hệ số an toàn tính theo công thức 8.4 là hệ số an toàn của phương pháp Fellenius.**

Tiếp theo, giả thiết rằng lực tiếp tuyến giữa các cột đất trong công thức 8.8 bằng không, lực pháp tuyến tại đáy cột đất tính theo công thức sau :

$$N = \frac{W - \frac{c' \beta \sin \alpha + u \beta \sin \alpha \tan \phi'}{F} + [D \sin \omega]}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{F}} \quad (8.2)$$

Khi công thức 8.10 được dùng để tính hệ số an toàn cân bằng mô men (theo công thức 8.4). Đó là phương pháp Bishop's đơn giản.

Cả hai công thức cân bằng lực và cân bằng mô men được sử dụng, để tính toán lực pháp tuyến giữa các cột đất.

Lực giữa các cột đất

Lực tiếp tuyến giữa các cột đất là cần để tính toán lực pháp tuyến tại đáy mỗi cột đất. Lực tiếp tuyến giữa các cột đất được tính như phần trăm % của lực pháp tuyến giữa các cột đất theo công thức kinh nghiệm, (Morgenstern và Price, 1965):

$$X = E \lambda f(x) \tag{8.3}$$

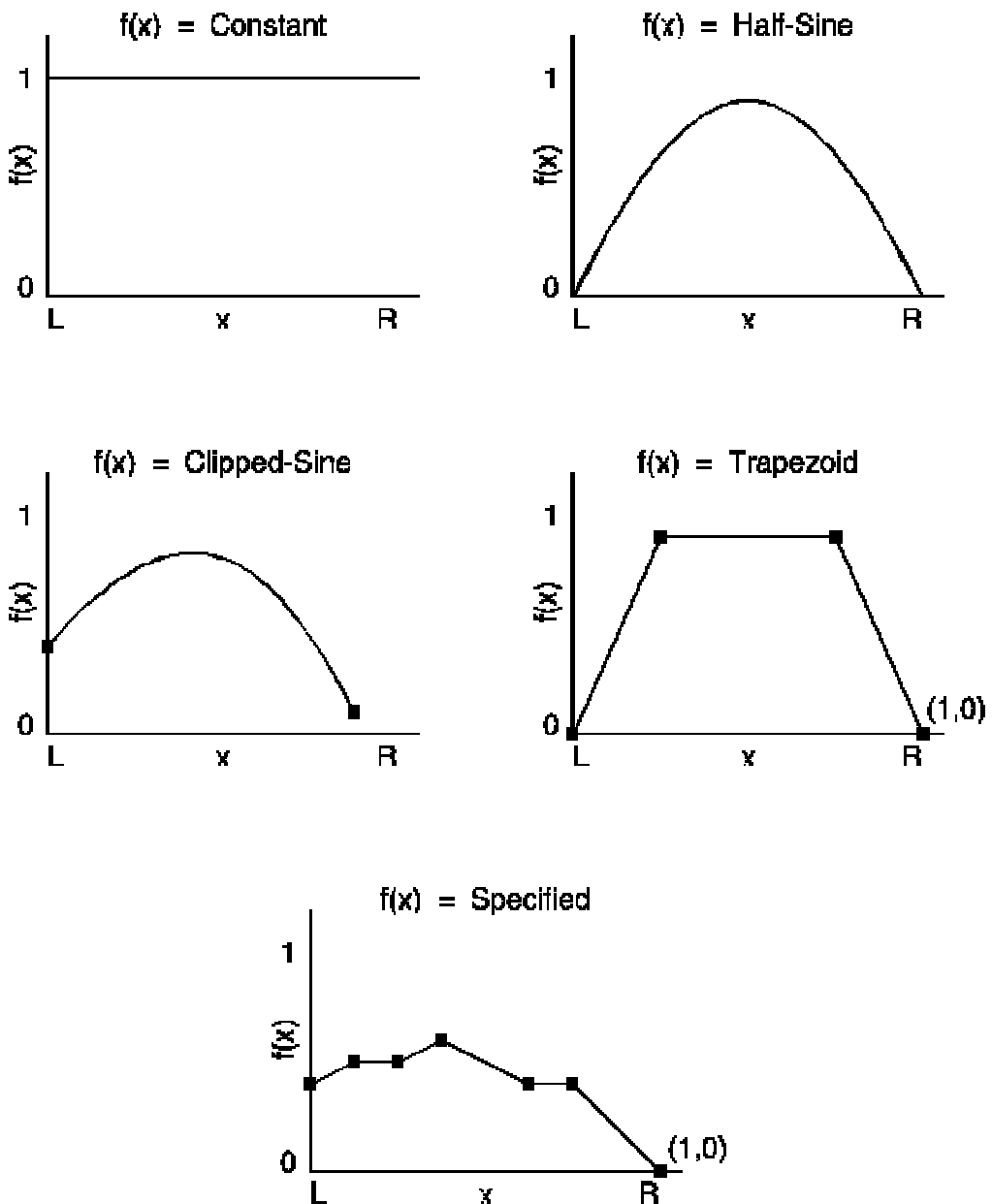
Ở đây:

λ = phần trăm (%)

$f(x)$ = hàm lực giữa các cột đất thể hiện hướng liên quan của lực giữa các cột đất

Hình 8.6 cho thấy một số dạng hàm điển hình. Dạng hàm lực được sử dụng trong việc tính hệ số an toàn.

Hình 8.6 Biến thiên của hướng lực giữa các cột đất theo hướng X



Hình 8.7 minh họa cách dùng hàm lực giữa các cột đất $f(x)$ để tính lực tiếp tuyến giữa các cột đất. Có thể coi hàm như một nửa hình sin. Giả thiết rằng lực pháp tuyến E giữa các cột đất 1 và 2 là 100 kN, và giá trị λ sử dụng là 0.5. Biên cột đất ở điểm 1/4 dọc theo cung trượt. Giá trị $f(x)$ ở điểm này là 0.707 ($\sin 45^\circ$). Lực tiếp tuyến khi đó bằng,

$$f(x) = \sin 45 = 0.707$$

$$\lambda = 0.5$$

$$E = 100$$

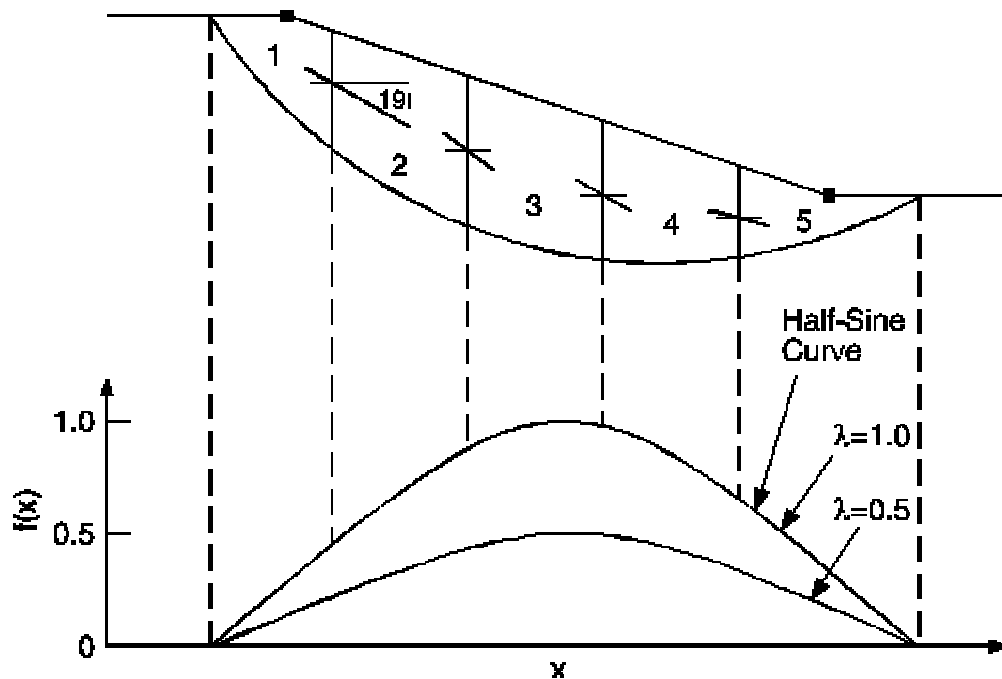
$$X = 100 \times 0.5 \times 0.707 = 35.35 \text{ kN}$$

Trong ví dụ này, tỉ số giữa lực tiếp tuyến và lực pháp tuyến thường biến đổi từ 0.0 tại đỉnh và chân cung trượt, tới trị lớn nhất 0.5 tại điểm giữa cung trượt.

Tổng các lực theo hướng nằm ngang có thể tính cho mỗi cột đất:

$$(E_1 - E_2) - N \sin \alpha + S_m \cos \alpha - kW + [D \cos \alpha] = 0 \quad (8.4)$$

Hình 8.1 Quy ước lực giữa các cột đất



Trừ công thức 8.2 vào công thức 8.15 và tính ra lực pháp tuyến ở bên phải mỗi cột đất,

$$E_x = E_L + \frac{(c'\beta - u\beta \tan \phi') \cos \alpha}{F} + N \left(\frac{\tan \phi' \cos \alpha}{F} - \sin \alpha \right) - kW + [D \cos \alpha] \quad (8.16)$$

Lực pháp tuyến giữa các cột đất được sử dụng mở rộng cho phía trái mỗi cột đất.

Xem thêm :

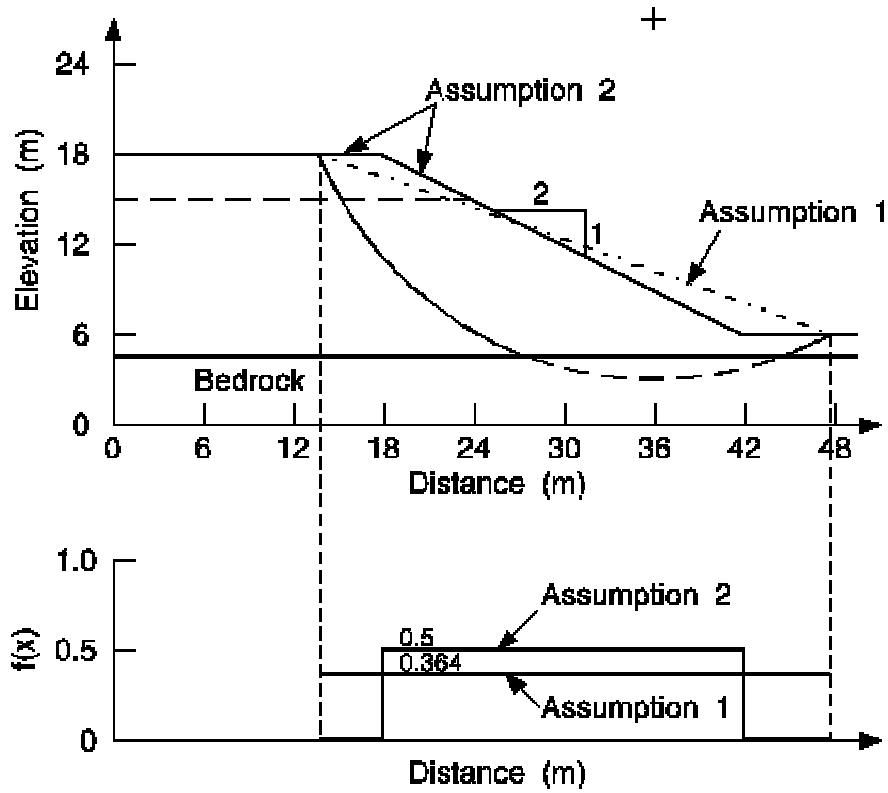
[Xác định theo phương pháp của Công ty Kỹ thuật](#)

[Xác định theo phương pháp Lowe-Karafiath](#)

Hàm lực giữa các cột đất của Công ty Kỹ thuật

Phương pháp của Công ty kỹ thuật chỉ thỏa mãn điều kiện cân bằng mô men cho toàn mái dốc. Hướng của các lực giữa các cột đất được giả thiết bằng với trị trung bình của mặt mái dốc. Điều này được hiểu hoặc là bằng trị trung bình của hai trị số mái dốc đại đầu và cuối cùng trượt (giả thiết số 1) hoặc bằng trị trung bình của sự thay đổi độ dốc mặt đất trên toàn mái dốc (giả thiết số 2, Hình 8.8). Nói cách khác, theo giả thiết số 2, độ dốc các lực giữa các cột đất thay đổi phụ thuộc vào mặt đất. Trong cả hai trường hợp, ONDINH đều xác định được hàm lực giữa các cột đất.

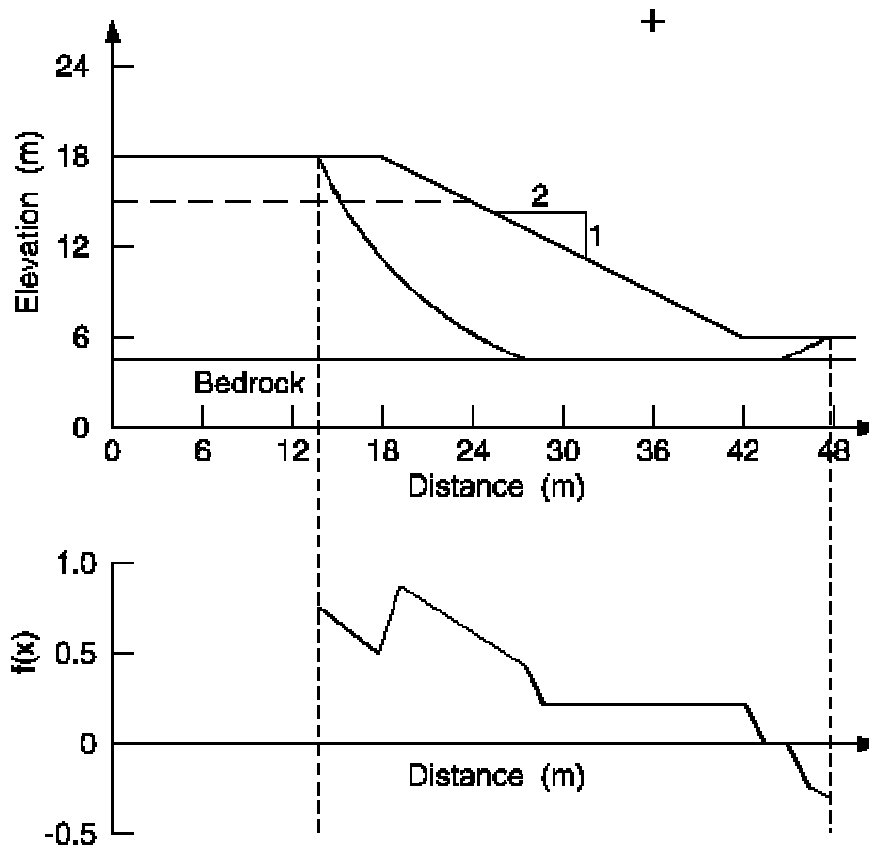
Hình 8.8 Mô tả giả thiết của Cty kỹ thuật liên quan đến hướng của lực giữa các cột đất



Hàm lực giữa các cột đất theo Lowe-Karafiath

Phương pháp Lowe-Karafiath chỉ thỏa mãn điều kiện cân bằng lực cho toàn mái dốc. Hướng của lực giữa các cột đất được giả thiết bằng trị trung bình của độ dốc mặt đất và độ dốc mặt trượt. Hình 8.9 minh họa hàm này đối với mặt trượt hỗn hợp.

Hình 8.9 Giả thiết hướng lực giữa các cột đất theo Lowe-Karafiath (mặt trượt hỗn hợp)



Ảnh hưởng của áp lực nước lỗ rỗng âm

Ở vị trí bên trên đường bão hòa, áp lực nước lỗ rỗng trong đất có giá trị âm liên quan đến áp lực không khí trong lỗ rỗng. áp lực nước lỗ rỗng âm này thường được quy thành lực hút (theo khối) của đất. Dưới điều kiện áp lực nước lỗ rỗng âm cường độ ứng suất tiếp có thể thay đổi không theo cùng tỷ lệ như trong trường hợp áp lực nước lỗ rỗng dương. Do đó một dạng cải biên của công thức Mohr-Coulomb phải được dùng để mô tả cường độ ứng suất tiếp trong đất không bão hòa nước (tức là : đất có áp lực nước lỗ rỗng âm):

$$s = c' + (\sigma_x - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi^b \quad (8.5)$$

ở đây:

u_a = áp lực khí lỗ rỗng

u_w = áp lực nước lỗ rỗng

ϕ^b = góc xác định sự tăng cường độ ứng suất tiếp khi có sự tăng lực hút khối, $u_a - u_w$.

công thức 8.19 chỉ ra rằng cường độ ứng suất tiếp của một loại đất có thể xem như có ba thành phần : cường độ lực dính do c' , cường độ ma sát do ϕ' và cường độ hút do ϕ^b .

Hệ số an toàn đối với loại đất không bão hoà nước

Có thể thiết lập lại công thức tính hệ số an toàn ở trên sử dụng công thức tính ứng suất tiếp đối với loại đất không bão hoà nước. Lực tiếp tuyến, S_m , tại đáy cột đất trong trường hợp này có thể viết như sau

$$S_m = \frac{\beta}{F} \left(c' + \left(\sigma_n - u_a \right) \tan \phi' + \left(u_a - u_w \right) \tan \phi^{\beta} \right) \quad (8.6)$$

Lực pháp tuyến tại đáy cột đất, N , tính bằng tổng các lực theo hướng thẳng

$$\text{đứng } N = \frac{W + (X_R - X_L) - \frac{c' \beta \sin \alpha}{F} + \frac{u_a \beta \sin \alpha (\tan \phi' - \tan \phi^{\beta})}{F} + \frac{u_w \beta \sin \alpha \tan \phi^{\beta}}{F}}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{F}} \quad (8.7)$$

Trong hầu hết các trường hợp áp lực khí lỗ rỗng có thể lấy bằng không và công thức 8.21 trở thành,

$$N = \frac{W + (X_R - X_L) - \frac{c' \beta \sin \alpha}{F} + \frac{u_w \beta \sin \alpha \tan \phi^{\beta}}{F}}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{F}} \quad (8.8)$$

Khi đất trở nên bão hoà nước, ϕ^{β} có thể lấy bằng ϕ' , do đó cùng một công thức (8.22) có thể dùng cho đất bão hoà nước và không bão hoà nước. ONDINH sử dụng ϕ^{β} khi áp lực nước lỗ rỗng là âm và ϕ' khi áp lực nước lỗ rỗng là dương.

Hai hệ số an toàn độc lập được xác định, một theo điều kiện cân bằng mô men và một theo điều kiện cân bằng lực nằm ngang. Khi chỉ có điều kiện cân bằng mô men được thỏa mãn, hệ số an toàn có thể viết như sau,

$$F_m = \frac{\sum \left(c' \beta R + \left[N - u_w \beta \frac{\tan \phi^{\beta}}{\tan \phi'} - u_a \beta \left(1 - \frac{\tan \phi^{\beta}}{\tan \phi'} \right) \right] R \tan \phi' \right)}{\sum W_x - \sum N'} \quad (8.9)$$

hệ số an toàn theo điều kiện cân bằng lực nằm ngang có thể viết như sau,

$$F_f = \frac{\sum \left(c' \beta \cos \alpha + \left[N - u_w \beta \frac{\tan \phi^{\beta}}{\tan \phi'} - u_a \beta \left(1 - \frac{\tan \phi^{\beta}}{\tan \phi'} \right) \right] \tan \phi' \cos \alpha \right)}{\sum N \sin \alpha} \quad (8.10)$$

Khi áp lực khí lỗ rỗng bằng không (tức là bằng áp suất không khí), có thể bỏ qua áp lực khí lỗ rỗng. công thức trên áp dụng cho cả đất bão hoà nước và không bão hoà nước. Khi đất bão hoà nước, thành phần α phải được lấy bằng 1.

Sử dụng các thông số cường độ cường độ ứng suất tiếp không bão hoà nước

ONDINH chỉ coi là điều kiện cường độ ứng suất tiếp không bão hoà nước khi áp lực nước lỗ rỗng là âm. Trong điều kiện này, góc được dùng để tính toán lực tiếp tuyến tại đáy cột đất.

Loại số liệu đầu vào sau đây giúp giải thích cách ONDINH giải quyết trong điều kiện đất không bão hoà nước :

1. $\alpha = 0$. Khi α ở cận trái của 0.0 hoặc lấy bằng 0.0, bất kỳ áp lực nước lỗ rỗng nào cũng lấy bằng không. Sẽ không có sự tăng cường độ ứng suất tiếp do áp lực nước lỗ rỗng âm (lực hút). Thường thì các kỹ sư không muốn tin tưởng vào bất kỳ cường độ ứng suất tiếp nào do áp lực nước lỗ rỗng âm. Trong trường hợp này, góc ϕ phải lấy bằng 0.0.
2. $\alpha = 1$. Đây là giới hạn trên của giá trị α . Số liệu nhập vào trong dạng này cho thấy rằng áp lực nước lỗ rỗng âm phải được xem là có ảnh hưởng đến việc tăng cường độ ứng suất tiếp cũng như áp lực nước lỗ rỗng dương làm giảm cường độ ứng suất tiếp. Điều này có thể là hợp lý đối với vùng mao dẫn bên trên mực nước ngầm. Tuy nhiên, người kỹ sư phải tự quyết định xem áp lực nước lỗ rỗng âm có giữ nguyên cường độ trong khoảng thời gian nghiên cứu không.
3. $0 < \alpha < 1$. Điều kiện này giả thiết rằng α nằm giữa không và góc ma sát trong hiệu quả. Tất cả các nghiên cứu đã công bố chỉ ra rằng điều này chỉ xảy ra trong điều kiện phòng thí nghiệm. Thường thì giá trị thay đổi từ 15 - 20°. Tuy nhiên, người kỹ sư lại phải tự quyết định xem áp lực nước lỗ rỗng âm có giữ nguyên cường độ trong khoảng thời gian nghiên cứu không.

Khi đất đã được đầm nén, áp lực khí lỗ rỗng có thể cũng tăng tới giá trị lớn hơn áp suất khí trời. Điều này được giải quyết bằng cách chia đất đầm nén thành các lớp và nhập áp lực khí lỗ rỗng khác nhau cho mỗi lớp.

Xác định hệ số an toàn

có 4 giai đoạn khác nhau trong việc tính toán các loại hệ số an toàn khác nhau. Sau đây mô tả các giai đoạn này.

Giai đoạn 1

Trong phép lặp đầu tiên, cả hai cường độ ứng suất tiếp và cường độ ứng suất pháp giữa các cột đất được lấy bằng không. Kết quả hệ số an toàn cân bằng mô men là hệ số an toàn của phương pháp Fellenius. Kết quả hệ số an toàn trong phép lặp thứ nhất được dùng làm giá trị ban đầu trong giai đoạn 2.

Giai đoạn 2

Giai đoạn 2 bắt đầu tính toán hệ số an toàn phi tuyến. λ , I , được lấy bằng không, lực tiếp tuyến giữa các cột đất lấy bằng không. Sử dụng 4 đến 6 phép lặp là đủ để tính hệ số an toàn cân bằng mô men và cân bằng lực. Kết quả từ công thức hệ số an toàn cân bằng mô men là của phương pháp Bishop's cải tiến.

Giai đoạn 3

Trừ phương pháp Fellenius, giai đoạn 3 cần cho mọi phương pháp sử dụng lực giữa các cột đất. Giai đoạn 3 tính toán hệ số an toàn cân bằng mô men và cân bằng lực cho bất kỳ một hàm lực giữa các cột đất nào.

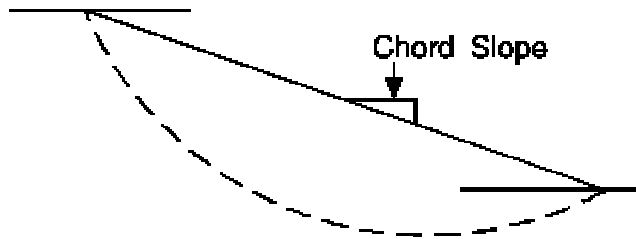
Trong giai đoạn 3, ONDINH tính toán λ , cấp cho một giá trị cân bằng giữa hệ số an toàn cân bằng mô men và cân bằng lực (tức là $F_m = 1$). Kỹ thuật được sử dụng gọi là "Giải quyết nhanh" và tương tự khái niệm trong kỹ thuật Newton-Raphson.

Kỹ thuật giải quyết nhanh như sau. ONDINH tính toán giá trị ban đầu cho λ , bằng 2/3 của mái **chord slope** (Hình 8.13). hệ số an toàn cân bằng mô men và cân bằng lực được tính toán sử dụng λ đã cho. Các hệ số an toàn này cùng với hệ số an toàn tính được khi cho $\lambda = 0$ được dùng để dự đoán giá trị λ mà các hệ số an toàn cân bằng mô men và cân bằng lực bằng nhau (Hình 8.14).

Thủ tục xác định giá trị λ mới ở trên được lặp lại cho đến khi hệ số an toàn cân bằng mô men và cân bằng lực sai khác nhau một khoảng cho trước.

Bất kỳ một hàm lực giữa các cột đất nào, $f(x)$, cũng có thể dùng được để xác định hệ số an toàn.

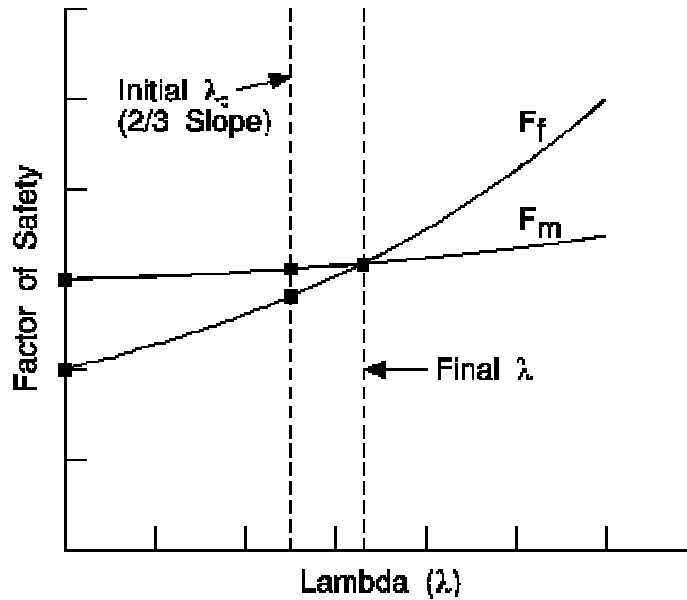
Figure 8.13 Xác định giá trị Lambda ban đầu trong kỹ thuật "giải quyết nhanh"



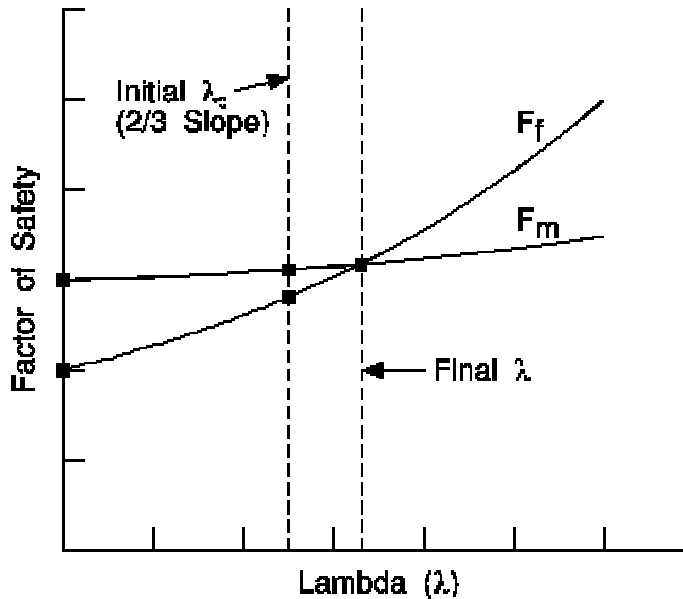
$$\text{Initial Lambda} = \frac{2}{3} (\text{Chord Slope})$$

Figure 8.2 Các thủ tục giải quyết nhanh dùng trong PP Cân bằng giới hạn

(a) $F_m > F_f$ tại giá trị λ_0



(b) $F_m < F_f$ tại giá trị λ_0



Giai đoạn 4

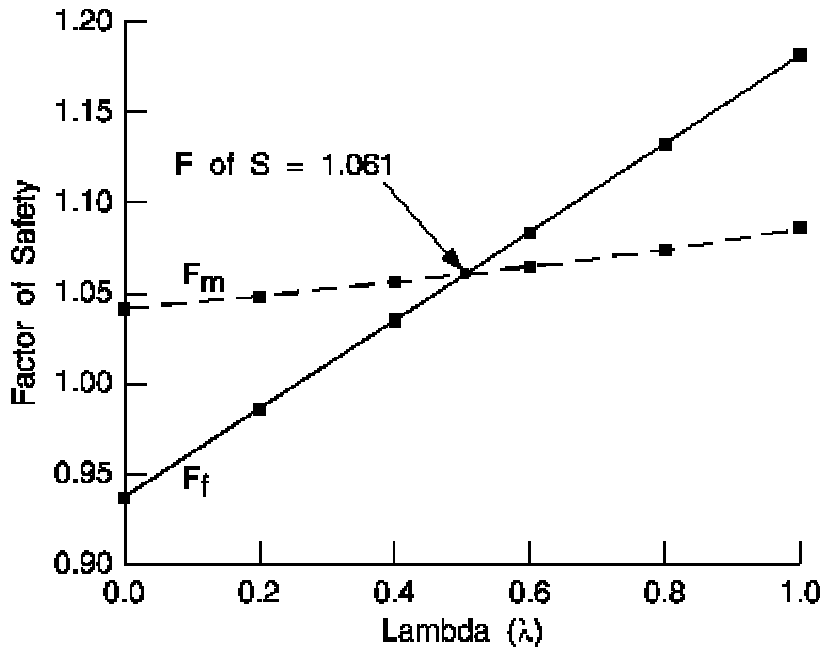
Giai đoạn 4 được dùng khi khi có một loạt giá trị lambda được chọn và một số hệ số an toàn cân bằng mô men và / hoặc cân bằng lực được tính. Giai đoạn 4 luôn luôn được dùng trong các phương pháp Bishop và Fellenius. Các hệ số an toàn đối với các trị lambda khác nhau có thể được vẽ như ở hình 8.15. hệ số an toàn thoả mãn cả hai điều kiện cân bằng mô men và cân bằng lực được chọn từ hình vẽ.

Giai đoạn 4 cho ta khái niệm về mối quan hệ giữa hệ số an toàn cân bằng mô men và cân bằng lực đối với một hàm lực giữa các cột đất đã cho. Nó có thể được mô phỏng trong mọi phương pháp phân tích ổn định mái dốc có sử dụng hàm lực giữa các cột đất.

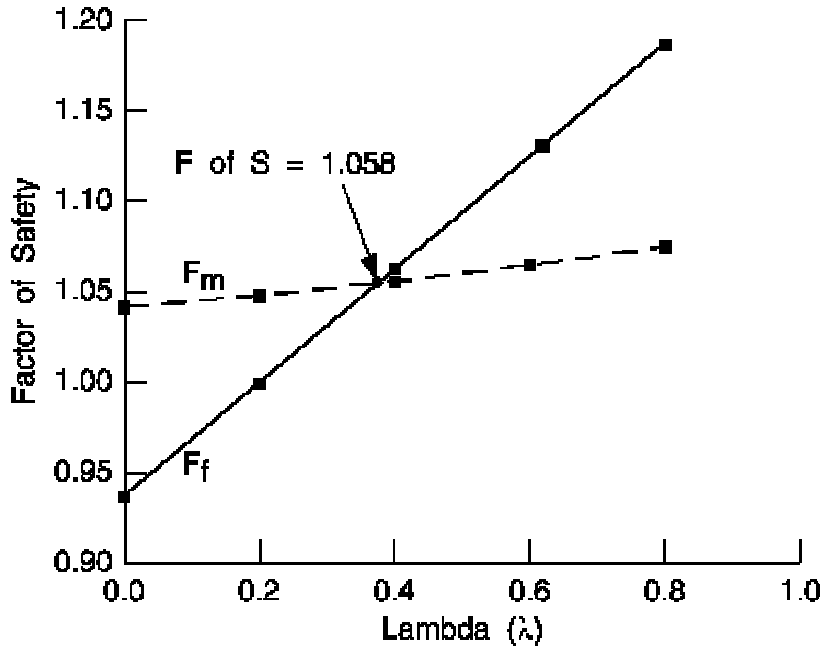
Giai đoạn 4 cũng được dùng trong các phương pháp của Cty kỹ thuật (Hội công binh Hoa Kỳ) và của Lowe-Karafiath. Hệ số an toàn tính toán từ điều kiện cân bằng lực đối với giá trị lambda = 1.0.

Hình 8.15 Sự biến thiên hệ số an toàn cân bằng mô men và cân bằng lực theo giá trị Lambda

(a) $f(x) = \text{Nửa hình sin}$



(b) $f(x) = \text{Hằng số}$



Tính tương tự của các phương pháp

Các công thức cân bằng giới hạn có thể được sử dụng trong hầu hết các phương pháp dùng cột đất. Từ cùng một điểm lý thuyết xuất phát, nhiều phương pháp cột đất khác nhau được phát triển trên cơ sở thỏa mãn điều kiện cân bằng tĩnh và giả thiết liên quan đến lực giữa các cột đất. Bảng 8.3 tổng hợp các điều kiện cân bằng tĩnh được thỏa mãn bởi nhiều phương pháp có sử

dụng cột đất. Bảng 8.4 tổng hợp các giả thiết sử dụng trong mỗi phương pháp cột đất để làm cho bài toán trở nên xác định.

Bảng 8.3 Các điều kiện cân bằng tĩnh thỏa mãn bởi nhiều phương pháp CBGH khác nhau

Phương pháp	Cân bằng lực		cân bằng mô men
	Hướng 1 * (thẳng đứng)	Hướng 2 * (nằm ngang)	
Fellenius	Có	Không	Có
Bishop cải tiến	Có	Không	Có
Công ty kỹ thuật	Có	Có	Không
Lowe-Karafiath	Có	Có	Không

* Có thể chọn bất kỳ một trong hai hướng để tổng hợp lực.

** cân bằng mô men được dùng để tính lực pháp tuyến giữa các cột đất .

Bảng 8.4 Giả thiết dùng trong các phương pháp CBGH khác nhau

Phương pháp	Giả thiết
Fellenius	Lực giữa các cột đất bỏ qua.
Bishop's Cải tiến	Tổng lực giữa các cột đất nằm ngang (không có lực tiếp tuyến giữa các cột đất).
Công ty kỹ thuật	Hướng của lực tổng giữa các cột đất : i) bằng mái dốc trung bình từ đầu đến cuối cung trượt hoặc ii) song song với mặt đất.
Lowe-Karafiath	Hướng của lực tổng giữa các cột đất bằng trung bình cộng giữa độ dốc mặt đất và mái dốc đáy mỗi cột đất.

Bảng 8.5 cho biết các thủ tục dùng trong các phương pháp cột đất khác nhau.

Phương pháp	Giai đoạn	Hàm lực giữa các cột đất	Lambda
Fellenius	1	N.A.	N.A. (lấy = 0.0)
Bishop cải tiến	2	N.A.	0.0
Công ty kỹ thuật	4	Như minh họa trên hình 8.8	$\lambda = 1.0$
Lowe-Karafiath	4	Như minh họa trên hình 8.9	$\lambda = 1.0$
<p>N.A. không áp dụng.</p> <p>* Phải được nhân với hệ số sửa chữa, f_o.</p> <p>** Không thể mô phỏng.</p>			

Nội suy phi tuyến áp lực nước lỗ rỗng

Một kỹ thuật nội suy phi tuyến được sử dụng để xác định áp lực nước lỗ rỗng tại đáy cột đất khi áp lực nước lỗ rỗng được tính toán tại một điểm cụ thể.

Kỹ thuật bao gồm việc xấp xỉ một hàm phi tuyến cho thích hợp với một dãy điểm thành phần trong không gian. Việc xấp xỉ một hàm tới các điểm dẫn tới kết quả là hệ số trọng lượng. Hệ số trọng lượng sau đó có thể được dùng để tính toán các giá trị cho bất kỳ điểm nào khác trong vùng. Tuy việc giải quyết một vấn đề lớn sử dụng kỹ thuật này đòi hỏi cấu hình máy tính phải mạnh, người ta cũng đã nhận thấy rằng một số lượng nhỏ các điểm cho trước có thể cho kết quả có mức độ chính xác hợp lý.

Để minh họa kỹ thuật nội suy phi tuyến, hãy xem xét bài toán hai biến sau đây. Giả sử chúng ta đã biết một dãy giá trị, u_i , tại N điểm cho trước (X_i, Y_i với $i = 1, N$), và chúng ta muốn xác định giá trị của u tại một điểm khác, $M(x, y)$.

Ta có:

$$u(x, y) = P(x, y) + \sum_{i=1}^N \lambda_i K \left(h_{mm} - h_i \right) \quad (8.11)$$

Ở đây:

$P(x,y)$ = Xu hướng đã chọn,

$K(h)$ = Hàm xấp xỉ đã chọn,

h = khoảng cách giữa hai điểm, (tức là $h = h_m - h_i$),

ở đây : $(h_m - h_i) = (x_m - x_i)^2 + (y_m - y_i)^2$

λ_i = hệ số trọng lượng coi như hệ số Kriging.

Trong công thức ONDINH,

$$P(x,y) = a + bx + cy \quad (8.12)$$

-- và --

$$K(h) = \delta(0) + h^2 \log h \quad (8.13)$$

ở đây $\delta(0)$ là giá trị vàng. Điều này sẽ được giải thích sau và hiện tại giả thiết nó bằng không.

Hệ số trọng lượng ($a, b, c, I_1, I_2, \dots, I_N$) là kết quả của việc giải hệ phương trình tuyến tính sau:

$$\begin{bmatrix} K(0) & \dots & K(h_1 - h_m) & 1 & x_1 & y_1 \\ & & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ & & & 1 & x_N & y_N \\ & & & 0 & 0 & 0 \\ & & & & 0 & 0 \\ & & & & & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 \\ \cdot \\ u_N \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Hệ phương trình tuyến tính trên được giải để xác định hệ số trọng lượng. Giá trị $u(x,y)$ bây giờ có thể tính toán tại điểm x,y bất kỳ dùng công thức :

$$u(x,y) = a + bx + cy + \sum_{i=1}^N \left(\lambda_i \left(h_m - h_i \right) \log \left(h_m - h_i \right)^2 \right) \quad (8.14)$$

Các tính chất sau có thể rút ra từ công thức 8.14:

- Tại điểm x_I, y_I , if $a(0) = 0$ và $K(0) = 0$, thì,
 $u(x_I, y_I) = u_I$
- Nếu tại điểm x_I, y_I , $K(0) = a_I$ và $u(x_I, y_I) \neq u_I$, thì,
 $d(0) = d(I) \neq 0$

Sau đó, bằng việc chọn các giá trị vàng khác nhau làm điểm ban đầu, có thể giúp cho việc xác định các giá trị trùng khớp với giá trị ban đầu. Tại giới hạn của nó, nếu $d(0)$ giống nhau tại mọi điểm và giá trị của nó trở nên lớn,

$$u(x,y) = P(x,y) = a + bx + cy \quad (8.15)$$

Điều này tương đương với phương pháp bình phương nhỏ nhất.

Chúng ta hãy chọn hàm $K(h) = h^2 \log h$ trong công thức 8.27. Lời giải cho bài toán phi tuyến này có thể hình dung như một cái đĩa mỏng biến dạng theo cách võng xuống D , tại mọi điểm, x_I, y_I .

Bề rộng cột đất

ONDINH phân tích mỗi mặt trượt tiềm tàng bằng cách chia thành các đoạn và sau đó chia mỗi đoạn thành một hay nhiều cột đất. Bề rộng mỗi cột đất là một biến.

Hình 8.17 chỉ ra cách chia khối trượt tiềm tàng thành các đoạn. Trước hết, ONDINH tính toán các giao điểm trái và phải. Sau đó, từ trái qua phải, ONDINH chia mặt trượt thành các đoạn, dựa vào sự thay đổi hình học hoặc địa tầng và vào giao điểm giữa mặt trượt và đường bao các lớp đất. Đối với những mặt trượt đặc biệt, các đoạn được xác định tại điểm gãy của mặt trượt. Đối với trường hợp đường bao áp suất, điểm gãy của đường bao áp suất được xem như là điểm chia đoạn.

Khi tính được các giao điểm trái và phải, ONDINH tính ra bề rộng cột đất trung bình dựa trên số lượng cột đất. Ta có công thức

$$W_a = \frac{x_R - x_L}{n} \quad (8.16)$$

ở đây:

W_a = bề rộng cột đất trung bình

x_R = tọa độ x của giao điểm bên phải

x_L = tọa độ x của giao điểm bên trái

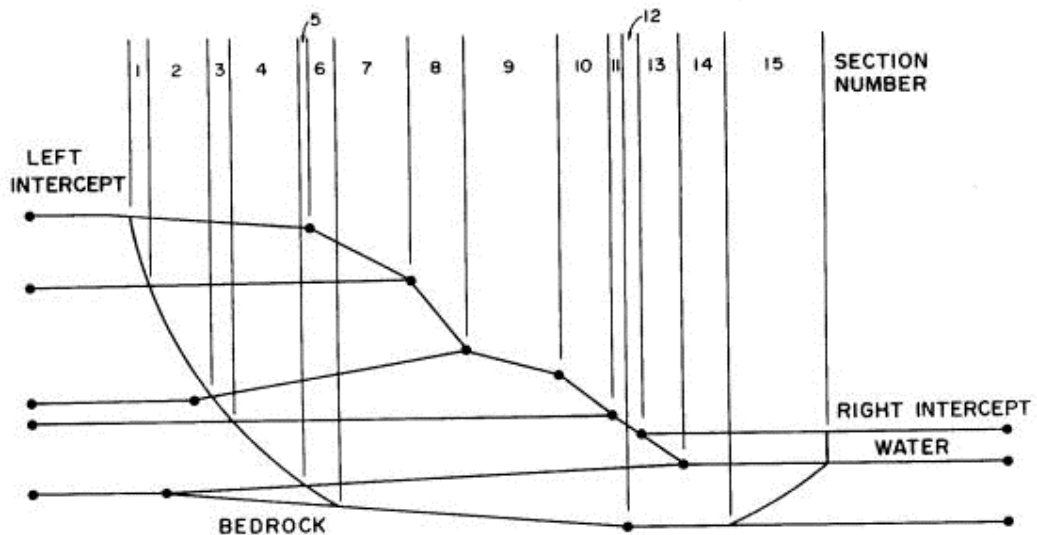
n = số cột đất (do người dùng xác định)

Số cột đất trong mỗi đoạn lấy theo phần nguyên của kết quả chia bề rộng đoạn cho bề rộng cột đất trung bình. Bề rộng cột đất trong mỗi đoạn sau đó được tính bằng phép chia bề rộng đoạn cho số cột đất trong đoạn.

Trong một số trường hợp, ONDINH có thể thêm vài cột đất vào số lượng cột đất do người dùng nhập vào nhằm để duy trì hệ thống chia nhỏ khối trượt tiềm tàng. Ví dụ , mỗi đoạn phải có tối thiểu một cột đất. Trong một số trường hợp, Nếu một đoạn hẹp hơn 1% bề rộng trung bình của cột đất, đoạn sẽ được thêm vào đoạn kề nó. Điều này để ngăn sự tồn tại của một cột đất có bề rộng cực kỳ nhỏ.

Hệ thống chia khối trượt thành các đoạn và sau đó thành các cột đất dẫn tới kết quả hệ số an toàn không bị ảnh hưởng bởi bề rộng cột đất.

Hình 8.17 Xác định các đoạn trong mặt trượt hỗn hợp



Mô men trực

Khi lưới và bán kính được nạp vào, hệ số an toàn cân bằng mô men được tính bằng việc lấy tổng mô men đối với mỗi điểm lưới. Tuy nhiên, không thể sử dụng một điểm duy nhất để tính tổng mô men của mọi mặt trượt đối với nó. Điểm này được biết như là trực. Điểm lưới được dùng để xác định hình dạng mặt trượt, và điểm trực được dùng để tính tổng mô men.

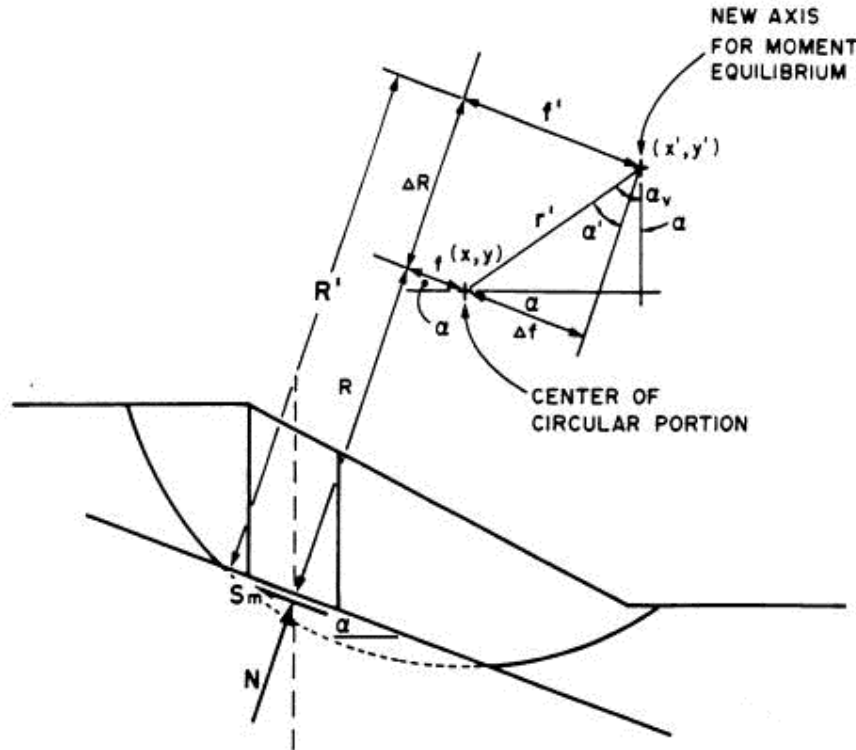
Hình 8.19 minh họa sự điều chỉnh bán kính khi điểm quay thuộc lưới (tâm trượt) và điểm trực khác nhau.

Có thể bỏ qua ảnh hưởng của vị trí tâm mô men đến hệ số an toàn tính toán bởi các phương pháp thỏa mãn cả hai điều kiện cân bằng mô men và cân bằng lực. Hệ số an toàn có thể bị ảnh hưởng nhỏ bởi vị trí trực mô men khi mặt trượt không có dạng tròn và phương pháp sử dụng chỉ thỏa mãn một trong

hai điều kiện cân bằng mô men hoặc cân bằng lực (Fredlund, Zhang and Lam, 1992).

Như một quy tắc chung, điểm trục sẽ gần trùng với tâm quay của mặt trượt.

Figure 8.19 Xác định các biến liên quan đến trục cân bằng mô men độc lập



$$r' = \sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2}$$

$$\alpha_v = \arctan \left(\frac{x' - x}{y' - y} \right)$$

$$\alpha' = \alpha_v - \alpha$$

$$\Delta R = r' \cos \alpha'$$

$$\Delta f = r' \sin \alpha'$$

$$f = f + \Delta f$$

$$R' = r + \Delta R$$

Cường độ đất

Xem :

[Cường độ không đẳng hướng](#)

[Hàm cường độ không đẳng hướng cải biên](#)

[Hàm cường độ ứng suất tiếp / ứng suất pháp](#)

Cường độ không đẳng hướng

Cường độ không đẳng hướng, cụ thể là cường độ ứng suất tiếp (c và f) có thể tách ra thành các thành phần nằm ngang và thẳng đứng. Các giá trị c và f tại đáy mỗi cột đất sử dụng trong tính toán cường độ được điều chỉnh dựa trên góc nghiêng như :

$$\begin{aligned} c &= c_x \cos^2 \alpha + c_y \sin^2 \alpha \\ \phi &= \phi_x \cos^2 \alpha + \phi_y \sin^2 \alpha \end{aligned}$$

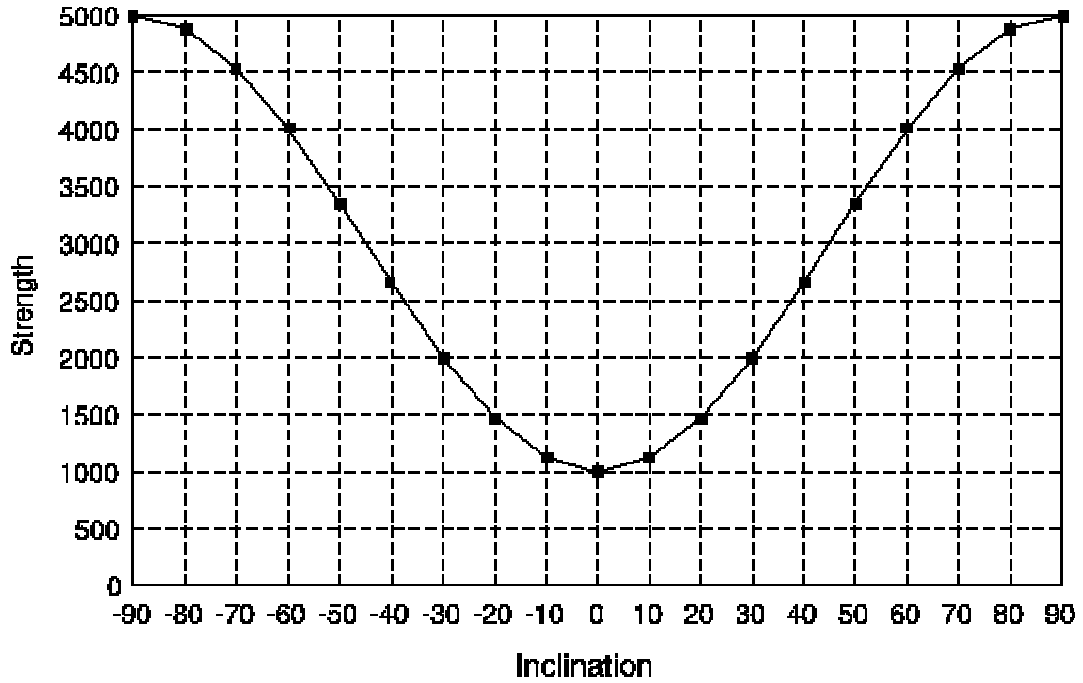
(8.17)

ở đây:

- c = lực dính điều chỉnh dọc theo đáy cột đất
- c_x = lực dính nằm ngang đã biết
- c_y = lực dính thẳng đứng đã biết
- α = góc nghiêng của đáy cột đất
- ϕ = góc ma sát điều chỉnh dọc theo đáy cột đất
- ϕ_x = góc ma sát nằm ngang đã biết
- ϕ_y = góc ma sát thẳng đứng đã biết

Hình 8.20 cho ta một ví dụ về sự thay đổi cường độ theo góc nghiêng đáy cột đất khi cường độ ứng suất tiếp là 1000 và 5000 với các hướng nằm ngang và thẳng đứng.

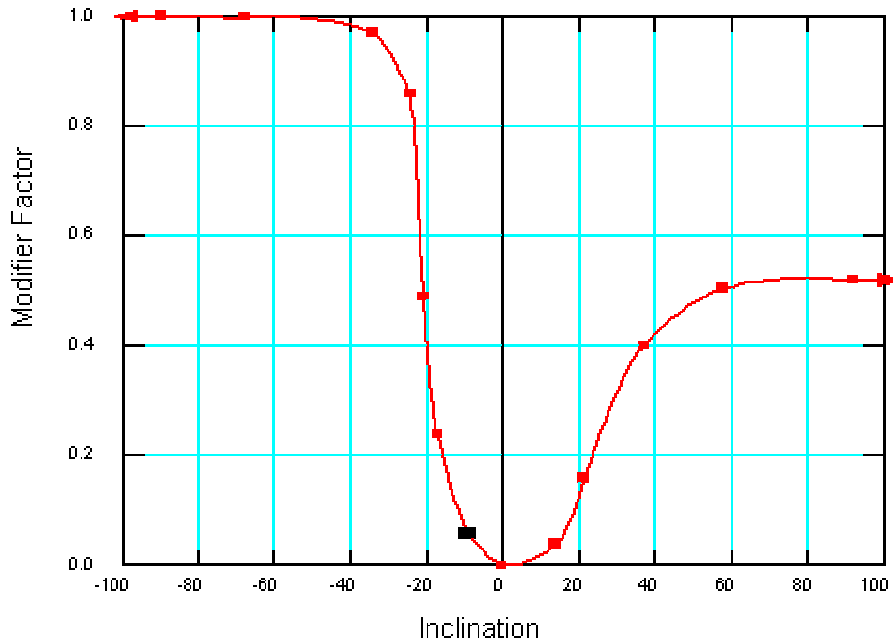
Hình 8.20 Sự biến thiên các thông số cường độ không đẳng hướng theo góc nghiêng đáy cột đất



Hàm cường độ không đẳng hướng cải biên

Cường độ không đẳng hướng có thể xác định bằng việc cải biên cường độ ứng suất tiếp tại đáy mỗi cột đất với một hàm cải biên. Hàm cải biên có thể xác định như là một hàm của số liệu nhập vào, được minh họa trên hình 8.21. Ví dụ , nếu góc của đáy cột đất là -20 độ, hệ số cải biên sẽ là 0.4 và cường độ ứng suất tiếp tại đáy cột đất sẽ là 40% cường độ lớn nhất.

Hình 8.21 Ví dụ điển hình của một hàm cường độ không đẳng hướng

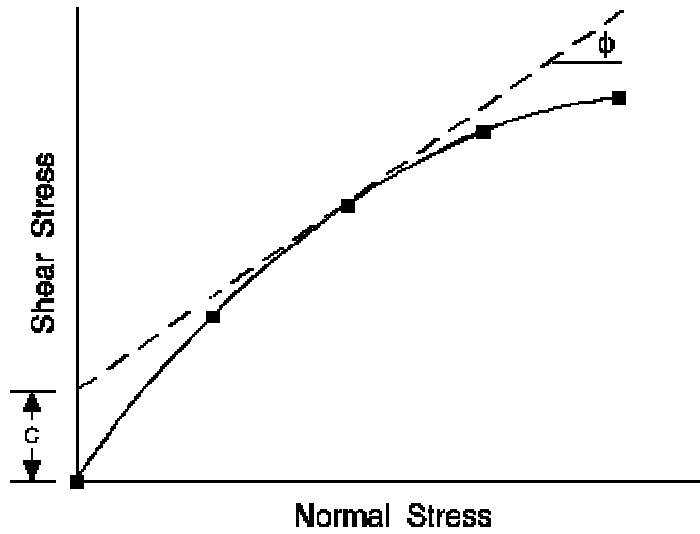


Góc dương là đối với cột đất có xu hướng di chuyển xuống dốc, và góc âm khi ngược lại.

Hàm cường độ ứng suất tiếp / cường độ ứng suất pháp

Đường bao trượt có thể xác định như là một hàm điểm số liệu chung, như minh họa trên hình 8.22, bằng việc chọn các hàm cường độ ứng suất tiếp / cường độ ứng suất pháp .

Figure 8.22 Xác định lực dính và góc ma sát bằng hàm cường độ ứng suất tiếp / ứng suất pháp



ONDINH tính toán góc dốc (f) và tọa độ Y của giao điểm (c) cho mỗi cột đất như một hàm của của cường độ ứng suất pháp tại đáy cột đất. Do đó, c và (f) có thể thay đổi đối với mỗi cột đất. Tại điểm cường độ ứng suất pháp lớn hơn số liệu của điểm trước đó, ONDINH dùng các giá trị c và (f) của điểm trước đó. Hàm cường độ ứng suất tiếp / ứng suất pháp có thể luôn luôn bắt đầu bằng (0,0).