

# TÍNH HỆ SỐ ĐỘ ỔN ĐỊNH MÁI DỐC (F<sub>s</sub>) CHO TRƯỜNG HỢP TRƯỢT NÔNG XÉT ĐẾN TÁC ĐỘNG ẢNH HƯỞNG CỦA NƯỚC NGẦM

NGUYỄN HUY HÙNG

Trường Đại học Giao thông vận tải

## TÓM TẮT:

Mất ổn định mái dốc nói chung và mái dốc đường ô tô nói riêng là hiện tượng xảy ra thường xuyên, gây thiệt hại nặng nề về nhiều mặt đối với đời sống xã hội. Trong các nghiên cứu về vấn đề ổn định mái dốc người ta thường sử dụng một hệ số, gọi là hệ số độ ổn định mái dốc (ký hiệu F<sub>s</sub>) để phân loại, đánh giá về mức độ ổn định (hay mất ổn định) của mái dốc. Bài báo giới thiệu khái niệm cũng như cách tính hệ số độ ổn định mái dốc cho trường hợp trượt nông xét đến tác động ảnh hưởng của yếu tố nước ngầm.

**Từ khóa:** Hệ số độ ổn định mái dốc, trượt nông, nước ngầm.

## ABSTRACT:

Unstabilizing slope in general and highway slope in particular are a frequent occurrence, causing severe damage in many aspects to social life. In the study of slope stability problem, people often use a coefficient, called slope stability coefficient (F<sub>s</sub>) to classify and evaluate the level of stability (or instability) of slope. The paper introduces the concept as well as the calculation of slope stability coefficient for the shallow slide cases considering the impact of groundwater.

**Keywords:** Slope safety factor, shallow slide, groundwater.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong các nghiên cứu về vấn đề ổn định mái dốc người ta thường sử dụng một hệ số, gọi là hệ số độ ổn định mái dốc (ký hiệu F<sub>s</sub>) để phân loại, đánh giá về mức độ ổn định (hay mất ổn định) của mái dốc. Trên thực tế, có những khó khăn nhất định khi xác định F<sub>s</sub> do nó phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố trong khi bản thân các yếu tố đó lại không phải là bất biến. Vì vậy, việc nghiên cứu để nắm rõ cách tính và cách sử dụng hệ số F<sub>s</sub> trong các trường hợp khác nhau là rất cần thiết.

## 2. TỔNG QUAN VỀ HỆ SỐ ỔN ĐỊNH MÁI DỐC

Các yếu tố tác động lên khối đất đá mái dốc luôn diễn ra theo một

trong hai chiều hướng: theo chiều hướng làm cho khối đất đá mái dốc bị tách rời ra dẫn tới sạt trượt (mất ổn định) hoặc theo chiều hướng ngược lại là “niú giữ” khối đất đá không cho tách rời ra khỏi mái dốc. Hệ số F<sub>s</sub> có thể được hiểu là giá trị biểu diễn mối tương quan giữa độ lớn của yếu tố (nhóm yếu tố) chống lại nguy cơ mất ổn định và độ lớn của yếu tố (nhóm yếu tố) tạo ra nguy cơ mất ổn định cho mái dốc.

Một cách tổng quát, F<sub>s</sub> được tính theo công thức:

$$F_s = \frac{\text{Độ lớn của yếu tố (nhóm yếu tố) chống lại nguy cơ mất ổn định}}{\text{Độ lớn của yếu tố (nhóm yếu tố) tạo ra nguy cơ mất ổn định}} \quad (1)$$

Các yếu tố chống lại nguy cơ mất ổn định (hay còn gọi là yếu tố giữ trượt) và các yếu tố tạo ra nguy

cơ mất ổn định (hay còn gọi là yếu tố gây trượt) trong công thức trên có thể là: lực (hoặc hợp lực), ứng suất, mômen (hoặc tổng mômen), chiều cao mái dốc hoặc góc mái dốc. Như vậy, F<sub>s</sub> có thể được tính theo các công thức như trong Bảng 1 sau:

Bảng 1. Một số cách tính hệ số F<sub>s</sub> [4].

TT	Diễn giải cách tính F <sub>s</sub> (F <sub>s</sub> = ...)	Công thức
1	Tỷ số của ứng suất	$F_s = \tau / \tau$ (2)
2	Tỷ số của lực	$F_s = P_{\text{giữtrượt}} / P_{\text{gâytrượt}}$ (3)
3	Tỷ số của mômen	$F_s = M_{\text{giữtrượt}} / M_{\text{gâytrượt}}$ (4)
4	Tỷ số của chiều cao mái dốc	$F_s = H / H_{\text{max}}$ (5)
5	Tỷ số của góc nghiêng mái dốc	$F_s = \alpha / \alpha_{\text{max}}$ (6)

Điều kiện để mái dốc giữ được trạng thái ổn định là:

$$F_s \geq [F_s] \geq 1 \quad (7)$$

Đối với mái dốc nền đường ô tô, theo TCVN 9861-2013 [2], trong mọi trường hợp, mái dốc được xem là ổn định khi mà giá trị của hệ số ổn định mái dốc theo tính toán (F<sub>s</sub>, tính theo công thức (3)) lớn hơn hoặc bằng giá trị của hệ số ổn định mái dốc theo tiêu chuẩn (F<sub>s-tc</sub>): F<sub>s</sub> ≥ F<sub>s-tc</sub>. Hệ số F<sub>s-tc</sub> được chọn tùy theo ý nghĩa quan trọng của tuyến đường như trong Bảng 2 sau:

Bảng 2. Giá trị  $F_{s-tc}$  quy định trong [1].

TT	Các trường hợp đánh giá ổn định mái dốc nền đường	Giá trị $F_{s-tc}$
1	Đối với đường ô tô cao tốc	1,30
2	Đối với đường ô tô cấp I, II	1,25
3	Đối với đường ô tô cấp III, IV, V, VI	1,20
4	Đối với đường ô tô cấp tỉnh	1,15
5	Đối với đường Giao thông nông thôn	1,10

**3. TÍNH HỆ SỐ ĐỘ ỔN ĐỊNH MÁI DỐC ( $F_s$ ) CHO TRƯỜNG HỢP TRƯỢT NÔNG**

Hiện tượng trượt đất được coi là trượt nông khi mặt trượt ở độ sâu nhỏ (khoảng 10m). Trường hợp này mặt trượt thường là mặt phẳng song song với mặt mái dốc, là ranh giới giữa lớp đất yếu bên trên và lớp đất cứng hơn bên dưới. Sự cố kiểu này xảy ra thường bị thúc đẩy do áp lực nước lỗ rỗng tăng đột ngột trong khối đất phía trên đặc biệt là tại mặt tiếp xúc giữa hai lớp đất [3].

**3.1. Trường hợp mái dốc không có nước ngầm**

Theo phân tích lực trên Hình 1, biểu thức tính giá trị  $F_s$  của phân tố ABCD theo điều kiện cân bằng về lực như sau:

$$F_s = \frac{N \cdot \tan\phi + c \cdot b}{F_b \cdot \sin\alpha} = \frac{F_b \cdot \cos\alpha \cdot \tan\phi + c \cdot b}{F_b \cdot \sin\alpha}$$

$$= \frac{\gamma_d \cdot z \cdot b \cdot \cos^2\alpha \cdot \tan\phi + c \cdot b}{\gamma_d \cdot z \cdot b \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha} \quad (8)$$

Vậy:

$$F_s = \frac{c + (\gamma_d \cdot z \cdot \cos^2\alpha) \cdot \tan\phi}{\gamma_d \cdot z \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha} \quad (9)$$

Trong công thức trên, nếu  $c = 0$  thì

$$F_s = \frac{\tan\phi}{\tan\alpha}$$

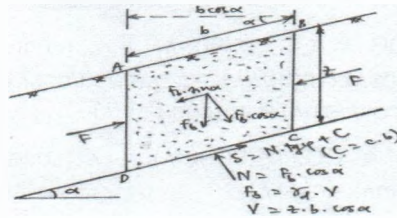
Điều kiện ổn định  $F_s \geq 1$  khi  $\alpha \leq \phi$ , điều này có nghĩa khi mái dốc được cấu tạo từ đất đá rời rạc

thì nó ổn định khi giá trị góc mái dốc nhỏ hơn giá trị góc ma sát trong.

Trong đó:

$F_b$  - Trọng lượng bản thân khối trượt;

$\gamma_d$  - Trọng lượng thể tích khô của đất đá mái dốc. Các ký hiệu khác như trên hình vẽ.



Hình 1. Sơ đồ tính  $F_s$  trường hợp không có MNN.

**3.2. Trường hợp mái dốc có nước ngầm**

(1). Khi MNN trùng với mặt mái dốc.

(a). Xét đến áp lực nước lỗ rỗng ( $u$ ), không xét đến lực thấm ( $F_w$ ).

Theo phân tích lực trên Hình 2, biểu thức tính giá trị  $F_s$  của phân tố ABCD theo điều kiện cân bằng về lực như sau:

$$F_s = \frac{N \cdot \tan\phi' + c' \cdot b}{F_b \cdot \sin\alpha} = \frac{(F_b \cdot \cos\alpha - U) \cdot \tan\phi' + c' \cdot b}{F_b \cdot \sin\alpha} \quad (10)$$

Thay  $F_b = V \cdot \gamma_{sat} = \gamma_{sat} \cdot z \cdot b \cdot \cos\alpha$  và  $U = u \cdot b = \gamma_w \cdot h \cdot b$  vào công thức (10) sẽ có:

$$F_s = \frac{(\gamma_{sat} \cdot z \cdot b \cdot \cos\alpha \cdot \cos\alpha - \gamma_w \cdot h \cdot b) \cdot \tan\phi' + c' \cdot b}{\gamma_{sat} \cdot z \cdot b \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha} \rightarrow$$

$$F_s = \frac{(\gamma_{sat} \cdot z \cdot \cos^2\alpha - \gamma_w \cdot h) \cdot \tan\phi' + c'}{\gamma_{sat} \cdot z \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha}$$

Hoặc:

$$F_s = \frac{(\gamma_{sat} \cdot z \cdot \cos^2\alpha - u) \cdot \tan\phi' + c'}{\gamma_{sat} \cdot z \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha}$$

Vậy:

$$F_s = \frac{c' + (\gamma_{sat} \cdot z \cdot \cos^2\alpha - u) \cdot \tan\phi'}{\gamma_{sat} \cdot z \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha} \quad (11)$$

Trong đó:

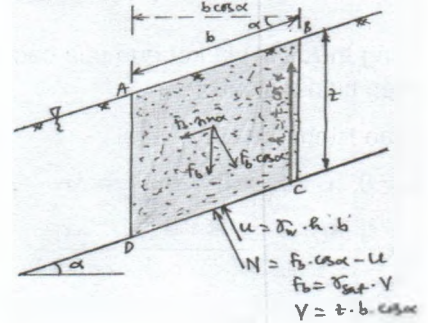
$\gamma_{sat}$  - Trọng lượng thể tích bão hòa của đất đá mái dốc;

$\gamma_w$  - Trọng lượng thể tích của nước;  
 $u (= \gamma_w \cdot h)$  - áp lực nước lỗ rỗng tác dụng lên mặt trượt;

$c', \phi'$  - Lực dính và góc ma sát trong hữu hiệu (trong điều kiện bão hòa nước);

$h$  - Thế năng thủy lực;

Các ký hiệu khác như trên hình vẽ.



Hình 2. Sơ đồ tính  $F_s$  trường hợp MNN trùng mặt mái dốc, xét tới  $u$ .

(b). Xét đến lực thấm ( $F_w$ ).

Theo phân tích lực trên Hình 3, biểu thức tính giá trị  $F_s$  của phân tố ABCD theo điều kiện cân bằng về lực như sau:

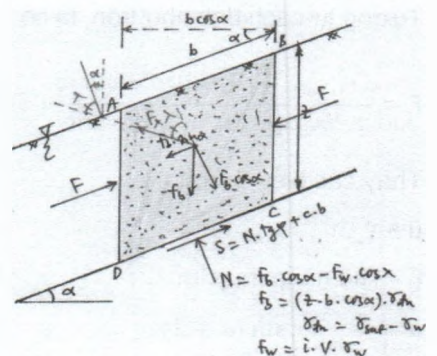
$$F_s = \frac{N \cdot \tan\phi' + c' \cdot b}{F_b \cdot \sin\alpha} = \frac{(F_b \cdot \cos\alpha - F_w \cdot \cos\lambda) \cdot \tan\phi' + c' \cdot b}{F_b \cdot \sin\alpha + F_w \cdot \sin\lambda} \quad (12)$$

Thay  $F_b = V \cdot \gamma_{dn} = \gamma_{dn} \cdot z \cdot b \cdot \cos\alpha$  và

$$F_w = i \cdot V \cdot \gamma_w = \frac{\sin\alpha}{\sin\lambda} \cdot z \cdot b \cdot \cos\alpha \cdot \gamma_w$$

vào công thức (12) sẽ có:

$$F_s = \frac{(\gamma_{dn} \cdot z \cdot b \cdot \cos\alpha \cdot \cos\alpha - \frac{\sin\alpha}{\sin\lambda} \cdot z \cdot b \cdot \cos\alpha \cdot \gamma_w \cdot \cos\lambda) \cdot \tan\phi' + c' \cdot b}{\gamma_{dn} \cdot z \cdot b \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha + \frac{\sin\alpha}{\sin\lambda} \cdot z \cdot b \cdot \cos\alpha \cdot \gamma_w \cdot \sin\lambda}$$



Hình 3. Sơ đồ tính  $F_s$  trường hợp MNN trùng mặt mái dốc, xét tới  $F_w$ .



Vì  $\gamma_{\text{đn}} = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$  nên ta có công thức:

$$F_s = \frac{c' + (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) z_1 \cos^2 \alpha - \gamma_w z_1 \cos \alpha \frac{\sin \alpha}{\sin \lambda} \cos \lambda \tan \varphi'}{\gamma_{\text{sat}} z_1 \cos \alpha \sin \alpha} \quad (13)$$

Trong phép biến đổi trên,  $i$  là gradient thủy lực của dòng thấm và được tính theo công thức (14):

$$i = \frac{\sin \alpha}{\sin \lambda} \quad (14)$$

Công thức (14) là kết quả của các phép biến đổi sau:

Theo Hình 4 ta có:

$$h_A = 0; h_B = h_C = h_{\text{elev}} + h_{\text{press}} = \Delta h$$

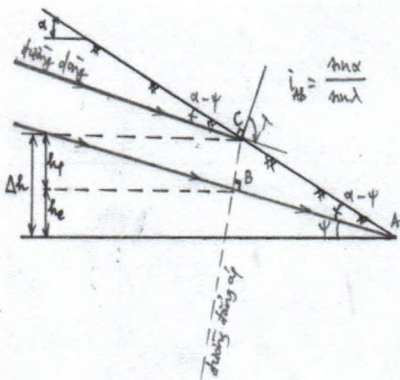
$$i_{AB} = \frac{h_B - h_A}{AB} = \frac{\Delta h}{AB} = \frac{AC \cdot \sin \alpha}{AC \cdot \cos(\alpha - \psi)} = \frac{\sin \alpha}{\cos(\alpha - \psi)}$$

$$\psi = \alpha + \lambda - 90^\circ$$

$$i_{AB} = \frac{\sin \alpha}{\cos(\alpha - \alpha - \lambda + 90^\circ)} = \frac{\sin \alpha}{\sin \lambda}$$

Vậy,

$$i_{AB} = \frac{\sin \alpha}{\sin \lambda}$$



Hình 4. Sơ đồ tính gradient thủy lực của dòng thấm BA.

(2). Khi MNN ở độ sâu  $z-z_1$

Tương tự cách tính như trên, ta có:

$$F_s = \frac{c' + (\gamma_{\text{sat}} z_1 + \gamma_d (z_2 - z_1)) \cos^2 \alpha - u}{(\gamma_{\text{sat}} z_1 + \gamma_d (z_2 - z_1)) \cos \alpha \sin \alpha} \quad (15)$$

Thay các biểu thức:

$$u = \gamma_w h$$

$h$  - Thế năng thủy lực,

$$h = \frac{z_1 \cos \alpha}{\sin \lambda} \cdot \sin(\alpha + \lambda)$$

Ta được công thức tính  $F_s$  khi MNN ở độ sâu  $(z-z_1)$  như sau:

$$F_s = \frac{c' + (\gamma_d (z - z_1) + (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) z_1) \cos^2 \alpha \tan \varphi'}{(\gamma_{\text{sat}} z_1 + \gamma_d (z - z_1)) \cos \alpha \sin \alpha} \quad (16)$$

Thế năng thủy lực ( $h$ ) sử dụng trong các công thức trên được tính theo sơ đồ Hình 5.

Ta có:

$$OA = z_1 \cdot \cos \alpha$$

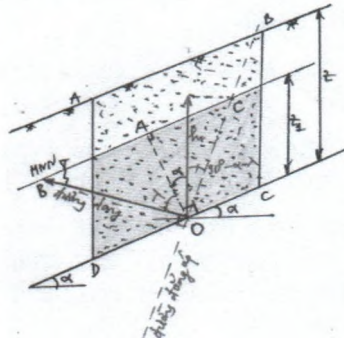
$$OB = OA / \cos \lambda = z_1 \cdot (\cos \alpha / \cos \lambda)$$

$$OC = OB \cdot \tan(90^\circ - \lambda) = z_1 \cdot (\cos \alpha / \cos \lambda) \cdot \tan(90^\circ - \lambda) = z_1 \cdot (\cos \alpha / \cos \lambda) \cdot (\cos \lambda / \sin \lambda) = z_1 \cdot (\cos \alpha / \sin \lambda)$$

$$h = OC \cdot \cos(90^\circ - \alpha - \lambda) = z_1 \cdot (\cos \alpha / \sin \lambda) \cdot \sin(\alpha + \lambda)$$

Vậy:

$$h = \frac{z_1 \cos \alpha}{\sin \lambda} \cdot \sin(\alpha + \lambda) \quad (17)$$



Hình 5. Sơ đồ tính thế năng thủy lực ( $h$ ).

Giá trị của thế năng thủy lực ( $h$ ) và gradient thủy lực ( $i$ ) cho một số trường hợp đặc biệt như Bảng 3 sau:

Bảng 3. Hướng đường dòng và gradient thủy lực tương ứng [5].

Trường hợp xét	Hướng đường dòng ( $\lambda$ , độ)	Gradient thủy lực ( $i$ )	Thế năng thủy lực ( $h$ )
Dòng // mái dốc	$\lambda = 90^\circ$	$i = \sin \alpha$	$h = z_1 \cdot \cos^2 \alpha < z_1$
Dòng nằm ngang	$\lambda = 90^\circ - \alpha$	$i = \tan \alpha$	$h = z_1$
Dòng hướng ra và vuông góc với mặt mái dốc	$\lambda \rightarrow 0$	$i \rightarrow \infty$	$h \rightarrow \infty$
Dòng hướng thẳng đứng xuống (vào trong mái dốc)	$\lambda = 180^\circ - \alpha$	$i = 1$	$h = 0$

## 4. KẾT LUẬN

Các công thức (9), (11), (13) và (16) cho thấy sự xuất hiện của nước ngầm làm giảm giá trị của  $F_s$ . Theo đó, chiều sâu ( $z_1$ ) và hướng đường dòng ( $\lambda$ ) là hai thông số của nước ngầm có ảnh hưởng trực tiếp nhất đến sự thay đổi giá trị  $F_s$ .

Thực tế cho thấy thời gian lưu trú của nước ngầm cũng ảnh hưởng đến giá trị  $F_s$  liên quan đến hiện tượng trương nở của đất. Tác động ảnh hưởng này sẽ được tác giả giới thiệu trong các nghiên cứu tiếp theo. ■

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bộ GTVT (2013). TCVN 9861-2013. Công trình phòng chống đất sụt trên đường ô tô - Yêu cầu khảo sát và thiết kế.
- [2]. Bộ GTVT (2005). TCVN 4054-2005. Đường ô tô - Yêu cầu thiết kế.
- [3]. Trịnh Minh Thụ, Nguyễn Uyên (2011). Phòng chống trượt lở đất đá ở bờ dốc - mái dốc. NXB Xây dựng, Hà Nội.
- [4]. Jean-Pierre MASEKANYA (2007). Stabilité des pentes et saturation partielle. Etude expérimentale et modélisation numérique. Thèse PhD, Belgique.
- [5]. Cornelia Sara BRÖNNIMANN (2011). Effect of Groundwater on Landslide Triggering. These PhD, Suisse.