



# PHÂN TÍCH ỔN ĐỊNH MÁI DỐC 3D LỒI VÀ LỖM BẰNG PHƯƠNG PHÁP CÂN BẰNG GIỚI HẠN

Nguyễn Hoàng Giang<sup>1</sup>

**Tóm tắt:** Bài báo giới thiệu nghiên cứu phân tích ổn định của mái dốc theo mô hình 3D cong. Hai dạng mái dốc 3D lồi và lõm được xét và phân tích trong nghiên cứu này. Thông số tỷ lệ chiều cao trên bán kính cong,  $H/R_c$ , được đề xuất nhằm đánh giá ảnh hưởng của bán kính cong lên hệ số ổn định và vị trí cung trượt của mái dốc nguy hiểm. Dựa trên phương trình cân bằng tĩnh học mô men và phương pháp phân mảnh, chương trình phần mềm đã được lập ra để phân tích xác định hệ số ổn định của mái dốc cong 3D. Kết quả được phân tích so sánh với mái dốc 3D thẳng. Phân tích cho thấy hệ số ổn định của mái dốc lõm lớn hơn hệ số ổn định của mái dốc thẳng. Tuy nhiên, với mái dốc lồi, hệ số ổn định thay đổi ở đó nó có thể lớn hơn hoặc nhỏ hơn hệ số đó của 3D thẳng phụ thuộc góc nghiêng, bán kính cong và bề rộng mái dốc. Các biểu đồ về hệ số ổn định, tâm vị trí cung trượt cho mái dốc 3D lồi và lõm được xây dựng.

**Từ khóa:** Mái dốc 3D cong; mái dốc lõm; mái dốc lồi, hệ số ổn định, tâm mặt trượt nguy hiểm.

**Summary:** The three-dimensional curvature slope was analyzed. In this research, convex and concave slopes were considered with toe failure case. The parameter,  $H/R_c$ , ratio of height of slope to curvature radius, is introduced. This parameter will show how the change of curvature radius affects on slope stability and position of critical toe circle. A program was developed based on 3D curvature cases, method of slices and limit-equilibrium analysis method for slope stability analyses. The results show that stability number of 3D concave slope situation is higher than that of 3D straight slope while that of 3D convex slope is smaller or greater than 3D straight slope's stability number depending on slope angle, curvature radius and width. Stability number and center of critical sliding surface of concave and convex slopes are shown in kind of charts.

**Keywords:** 3D curvature slope; concave slope; convex slope, stability number, center of critical sliding surface.

Nhận ngày 03/12/2015, chỉnh sửa ngày 17/12/2015, chấp nhận đăng 07/01/2016



## 1. Giới thiệu

Hiện nay phần lớn các nghiên cứu phân tích cho ổn định mái dốc được thực hiện với mái dốc thẳng, Totoni [17]. Với bài toán phẳng, nhiều phương pháp phân tích hệ số ổn định đã được phát triển và áp dụng khá phổ biến như: Bishop [2], Morgenstern [13], Fellenius [4], Leshchinsky [11]. Taylor [14] đưa ra biểu đồ hệ số ổn định  $N_s$  và vị trí tâm cung trượt nguy hiểm nhất cho mái dốc 2D.

Tuy nhiên, trên thực tế, các vụ sạt trượt có thể xảy ra thì mái dốc có bề mặt không thẳng mà ở dạng 3D. Mặt trượt thực tế có thể ở dạng mái dốc dạng lồi và dạng lõm. Một số các học giả đã tiến hành phân tích cho mái dốc cong như Leshchinsky [9, 10], Giger và Krizek [7, 8], Baker và Leshchinsky [1], Xing [18], Ohlmacher [14] cho một số trường hợp đặc biệt. Leshchinsky [10] đã giới thiệu phương pháp phân tích hệ số ổn định của mái dốc 3D theo các phương pháp cân bằng giới hạn. Xing [17] giới thiệu phương pháp tính ổn định mái dốc 3D lõm. Michalowski [12] giới thiệu phương pháp tính cho mái dốc 3D phẳng có địa chất đồng nhất. Phương pháp này sau đó được Farzaneh [3] phát triển cho mái dốc 3D có địa chất không đồng nhất. Giang [5] nghiên cứu phương pháp tính độ ổn định của mái dốc thẳng 3D với ảnh hưởng của tỷ lệ chiều rộng trên chiều cao mái dốc. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu chưa đưa ra được bài toán tổng quát cho mái dốc 3D lồi và lõm có các góc nghiêng mái dốc thay đổi, chiều rộng và bán kính khác nhau để từ đó có thể xác định hoặc làm bài toán kiểm tra với các mái dốc 3D bị sạt trượt trong thực tế.

<sup>1</sup> TS, Khoa Xây dựng dân dụng và công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng. E-mail: giangnh@nuce.edu.vn.

Trong nghiên cứu này, các mái dốc dạng 3D lồi và lõm được xem xét nghiên cứu cho trường hợp trượt qua chân dốc. Tỷ số chiều cao trên bán kính cong được giới thiệu nhằm phân tích độ ảnh hưởng của bán kính cong lên hệ số ổn định và tâm vị trí cung trượt nguy hiểm. Chương trình tính toán sử dụng ngôn ngữ Fortran tính toán cho các mái dốc khác nhau. Kết quả tính được thể hiện dạng bảng tra sẽ giúp kỹ sư nhanh chóng xác định hệ số ổn định và tâm trượt của các mái dốc cong.

## 2. Phương pháp tính

### 2.1 Nguyên lý xác định kích thước hình học của mái dốc cong

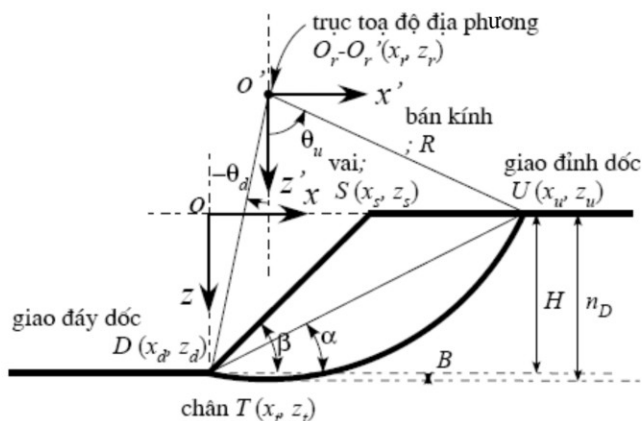
Với một mái dốc, để đánh giá xem nó có ổn định không thì tâm và bán kính của cung trượt sẽ được xác định như Hình 1. Cung trượt nguy hiểm nhất là cung trượt có tỷ số giữa lực kháng cắt dọc theo cung trượt của mái dốc và lực cắt của mái dốc ấy là nhỏ nhất.

Vị trí mái dốc được xác định bởi 2 giá trị góc:  $\alpha$  và góc tâm trượt  $\theta = \theta_u + \theta_d$  như Hình 1.

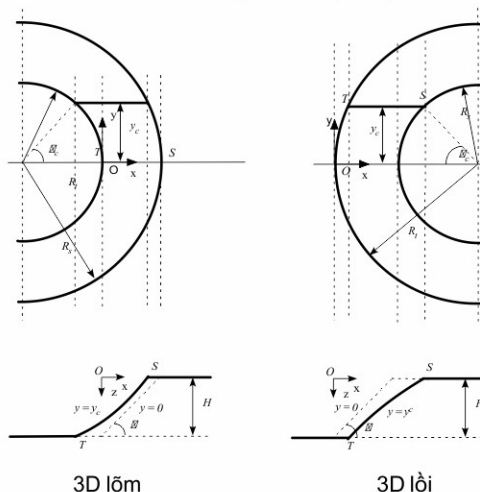
Trong nghiên cứu này, chỉ xét cho trường hợp đất thuần dính:  $s = c_u$

Hệ số an toàn của mái dốc được tính toán xác định bằng phương pháp thử. Các cung trượt khác nhau được tính toán với các hệ số an toàn khác nhau. Cung trượt có hệ số an toàn nhỏ nhất chính là cung trượt nguy hiểm nhất.

Giang [5] đã xác định nguyên lý tính toán cho mái dốc thẳng 3D (3DT) cho mái dốc cho các góc mái dốc từ 0 đến 90°. Với mái dốc cong, có hai dạng mái dốc cong chính là mái dốc 3D lồi (3DCV) và mái dốc 3D lõm (3DCC) như trong Hình 2.



**Hình 1.** Sơ đồ và vị trí của mặt trượt 2D



**Hình 2.** Mái dốc cong

Ở đó đỉnh dốc và đáy dốc là hai đường tròn đồng tâm và phương trình cho đáy dốc và đỉnh lần lượt được thể hiện như sau: ( $R_t$  là bán kính đáy dốc và  $R_s$  là bán kính đỉnh dốc).

$$(x - R_t)^2 + y^2 = R_t^2 \quad \text{Đáy dốc} \quad (1)$$

$$(x - R_s)^2 + y^2 = R_s^2 \quad \text{Đỉnh dốc} \quad (2)$$

Với hệ trục tọa độ như trong Hình 1, với mái dốc lồi, tâm mặt trượt có giá trị âm trên trục x do đó giá trị  $R_t$  và  $R_s$  là âm. Trong phân tích cân bằng giới hạn cho mái dốc 3D cong, mặt trượt có thể được xác định gần đúng dưới dạng hình elip.

$$\frac{(x - x_r)^2}{R^2} + \frac{y^2}{W^2} + \frac{(z - z_r)^2}{R^2} = 1 \quad (3)$$

trong đó:  $x_r, z_r$  là tọa độ tâm trượt tại  $O'$ ;  $W$  là bề rộng khối trượt;  $R$  là bán kính mặt trượt trong hệ tọa độ xoz.

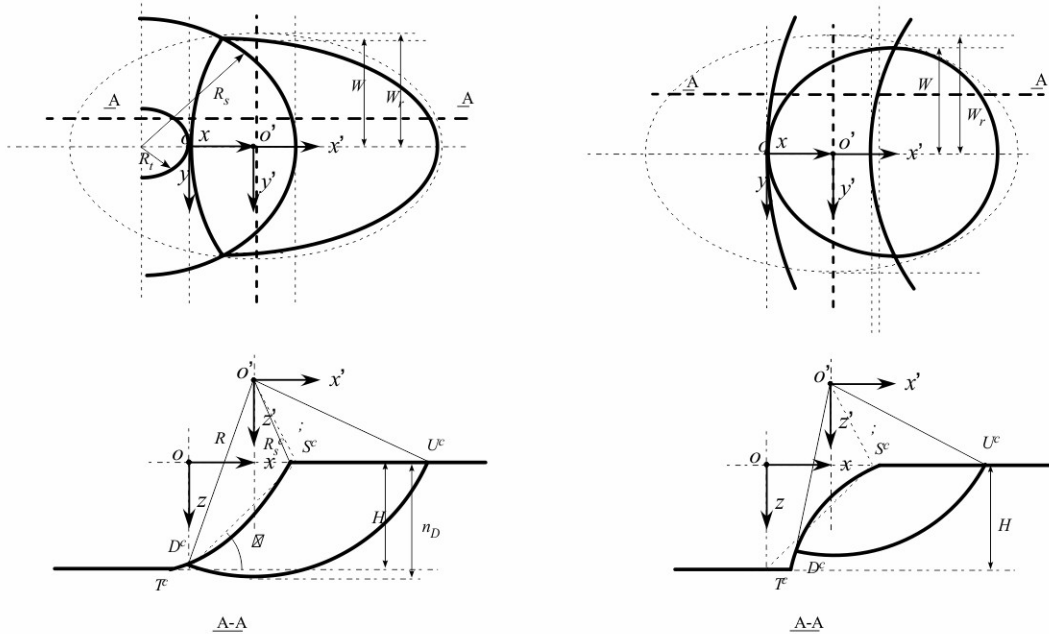
$$R = \sqrt{(x_d - x_r)^2 + (z_d - z_r)^2} \quad (4)$$

$H, \beta$  lần lượt là chiều cao và góc nghiêng mái dốc.

Phương trình mặt dốc là dạng đường cong hypecbon có phương trình như sau:

$$\frac{(H.R_s - (R_s - R_t)z)^2}{(H.y)^2} - \frac{(x - R_t)^2}{y^2} = 1 \quad (5)$$

Hình 3 thể hiện mặt giao giữa cung trượt tròn 3D và mặt dốc cong.

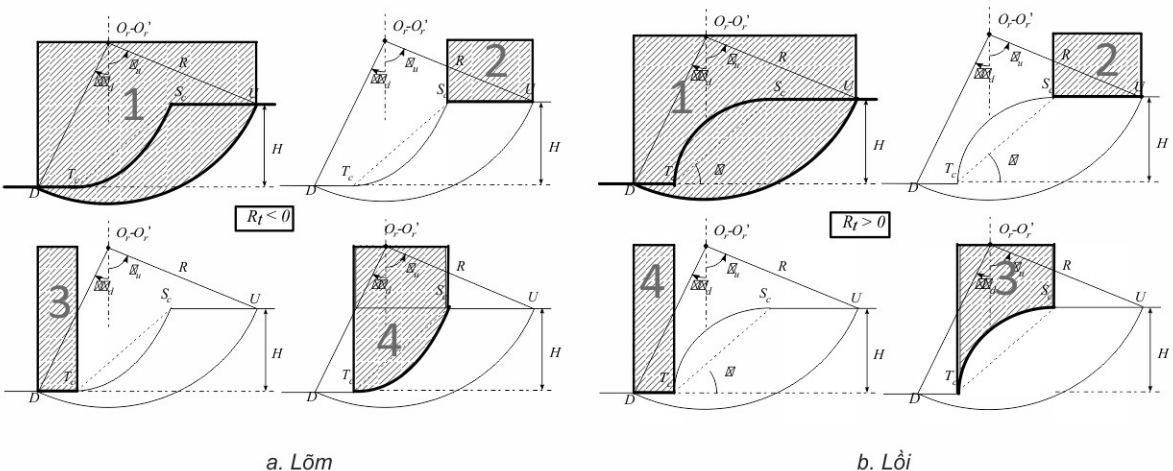


Hình 3. Giao cung trượt tròn 3D và mái dốc cong

## 2.2 Nguyên lý xác định hệ số ổn định mái dốc cong

Theo phương pháp tính cân bằng giới hạn, khối trượt được chia thành các mảnh theo phương trục y. Trên mỗi mảnh, việc tính toán hệ số  $F_s$  sẽ được tiến hành như với 2D. Yếu tố bề rộng của khối trượt 3D ( $W$ ) như trong Hình 3 được đưa vào tính toán. Trong tính toán 3D, hình dạng mặt trượt nguy hiểm được xác định theo dạng hình elip. Với khối trượt cong 3D, phương pháp cân bằng giới hạn và phân mảnh cũng được áp dụng, ở đó xác định mô men theo hình học được xác định như Hình 4.

Trong phạm vi nghiên cứu này, tính toán ổn định cho khối trượt là dạng ổn định có mái trượt đi qua chân mái dốc.



Hình 4. Phương pháp phân mảnh cho mái dốc cong 3D

Theo Hình 4, các thông số của cung trượt được xác định như sau:

- Phương trình cân bằng mô men quanh trục  $x'$  của một lát cắt được xác định như sau:

$$A = \langle 1 \rangle - \langle 2 \rangle - \langle 3 \rangle - \langle 4 \rangle \quad (6)$$

trong đó:

$$\langle 1 \rangle = \int_{x'_d}^{x'_u} z'_{\overline{BU}} x' dx' ; \quad \langle 2 \rangle = \int_{x'_s}^{x'_u} z'_{\overline{SU}} x' dx' ; \quad \langle 3 \rangle = \int_{x'_c}^{x'_s} z'_{\overline{Sc}} x' dx' ; \quad \langle 4 \rangle = \int_{x'_d}^{x'_c} z'_{\overline{Dc}} x' dx'$$

- Mô men gây trượt tương ứng với khối trượt

$$M_d = \rho g \int_0^w A dy \quad (7)$$

- Mô men kháng trượt của khối trượt

$$M_r = c_u R L^b \quad (8)$$

$$\text{Trong đó: } L = \int_{\theta_d}^{\theta_u} R d\theta = R(\theta_u - \theta_d) \quad (9)$$

Diện tích của khối trượt

$$L^b = \int_0^y L dy \quad (10)$$

- Hệ số an toàn theo điều kiện cân bằng mô men cho khối trượt

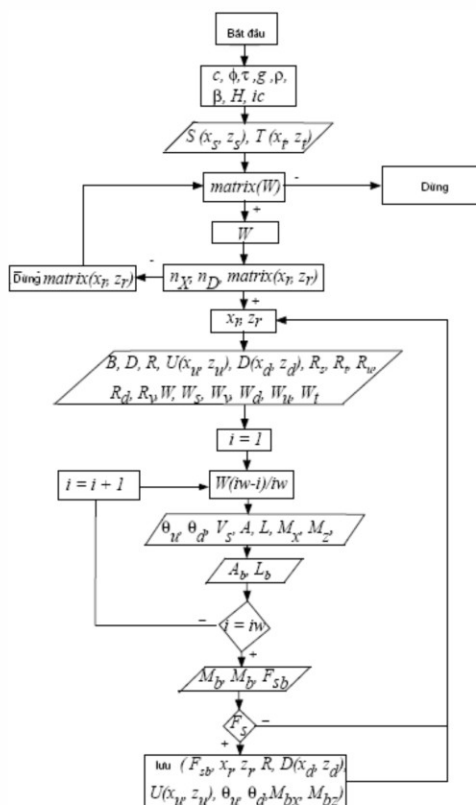
$$F_s = \frac{M_r}{M_d} = \frac{c_u R L^b}{\rho g \int_0^w A dy} = \frac{c_u}{\rho g H} \frac{H R L^b}{\int_0^w A dy} \quad (11)$$

- Hệ số ổn định được giới thiệu bởi Terzaghi [16] theo điều kiện cân bằng mô men của khối trượt

$$N_s = F_s \frac{\rho g H}{c_u} = \frac{H R L^b}{\int_0^w A dy} \quad (12)$$

Chương trình tính toán viết bằng ngôn ngữ Fortran để tính toán và xác định hệ số an toàn, tâm và cung trượt nguy hiểm nhất của mái dốc 3D cong cho các phương trình tính ở trên.

Chương trình tính toán cho mái dốc 3D lồi và lõm được thực hiện theo sơ đồ Hình 5.



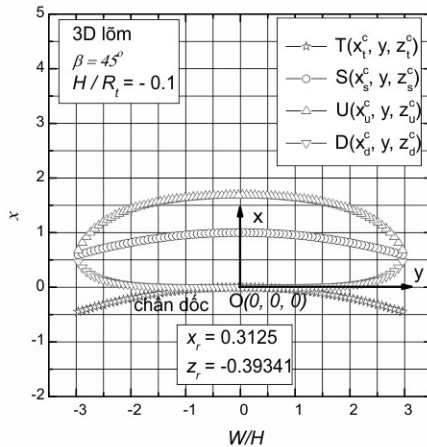
Hình 5. Sơ đồ và quy trình tính



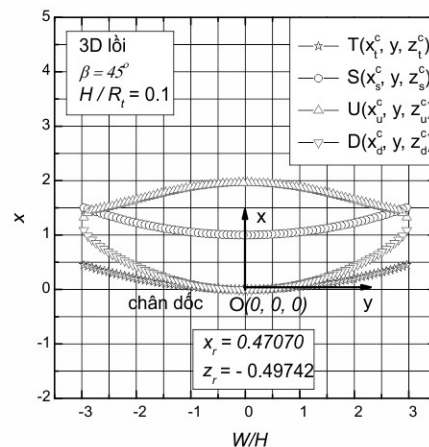
### 3. Kết quả và phân tích

Hệ số, tỷ số giữa chiều cao mái dốc và bán kính cong,  $H/R_t$ , được giới thiệu nhằm phân tích ảnh hưởng của độ cong của mái dốc lên hệ số ổn định. Giang [5] đã phân tích ảnh hưởng của tỷ số chiều rộng trên chiều cao mái dốc,  $W/H$ , lên hệ số ổn định và tâm cung trượt nguy hiểm trong trường hợp mái dốc 3D. Trong nghiên cứu này, tỷ số  $W/H$  cũng được dùng phân tích đánh giá ảnh hưởng của bề rộng lên cung trượt 3D cong.

Chương trình theo sơ đồ tính trong hình 4 được viết cho mái dốc 3D lồi và lõm các góc mái dốc từ 0 đến  $90^\circ$ . Tỷ số  $H/R_t$ ,  $W/H$  biến thiên nhằm phân tích ảnh hưởng của các hệ số này lên hệ số ổn định và tâm cung trượt nguy hiểm nhất. Tâm cung trượt, kích thước, bề rộng và vị trí của khối trượt được xác định. Hình 6 cho thấy ví dụ về khối trượt của mái dốc lồi và lõm có góc  $\beta = 45^\circ$ .



a. Cung trượt nguy hiểm mái dốc lõm



b. Cung trượt nguy hiểm mái dốc lồi

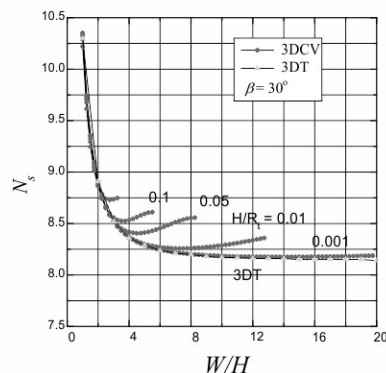
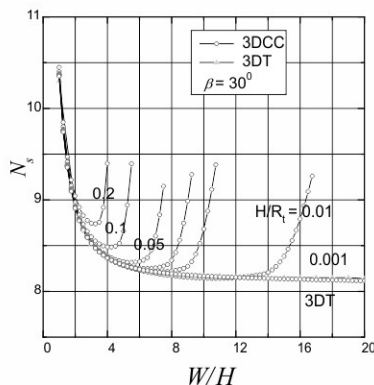
Hình 6. Tâm và vị trí cung trượt nguy hiểm  $\beta = 45^\circ$

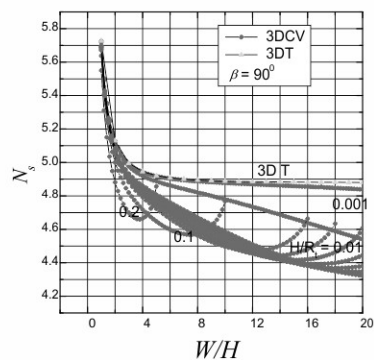
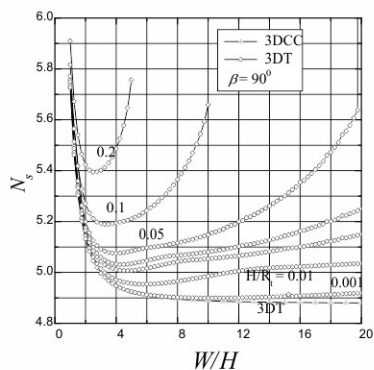
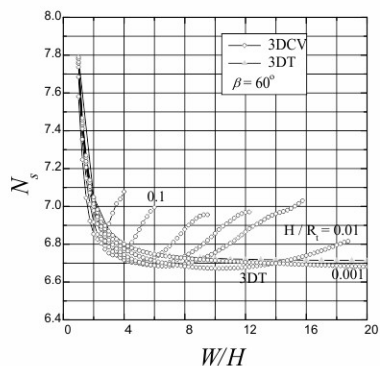
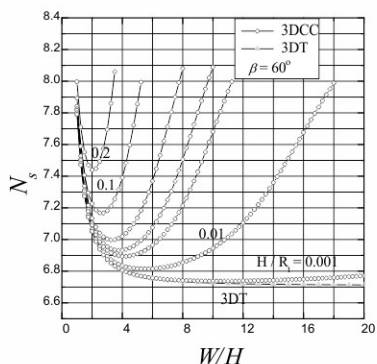
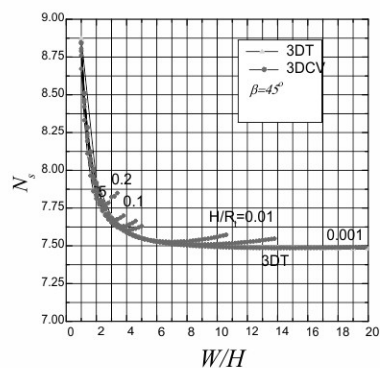
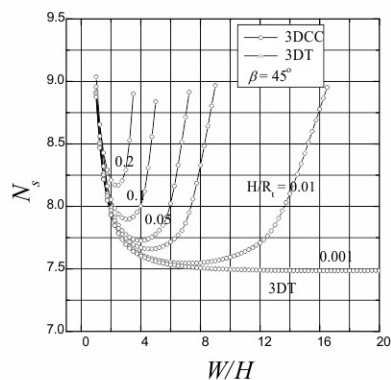
Hình 7 cho thấy kết quả của hệ số ổn định  $N_s$  cho các góc mái dốc  $\beta = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ . Kết quả của mái dốc 3D lồi sẽ được so sánh với hệ số ổn định của mái dốc 3D phẳng được Giang [5] công bố.

Kết quả cho thấy hệ số ổn định của mái dốc lõm lớn hơn hệ số đó của mái dốc thẳng 3D cho tất cả các góc nghiêng mái dốc và hệ số  $H/R_t$ ,  $W/H$ . Tuy nhiên, với mái dốc lồi, hệ số ổn định thay đổi có thể lớn hoặc nhỏ hơn hệ số ổn định của mái dốc 3D thẳng tùy thuộc vào góc nghiêng mái dốc và hệ số  $H/R_t$ ,  $W/H$  như Hình 7, góc  $\beta = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ .

Khi  $H/R_t$  không (bán kính cong rất lớn tiệm cận đường thẳng), hệ số ổn định của mái dốc cong tiệm cận với mái dốc thẳng 3D.

Từ Hình 6 cho thấy, với cả mái dốc 3D lồi và lõm khi hệ số  $W/H$  tăng dần, hệ số ổn định  $N_s$  giảm về giá trị nguy hiểm nhất sau đó tăng dần.

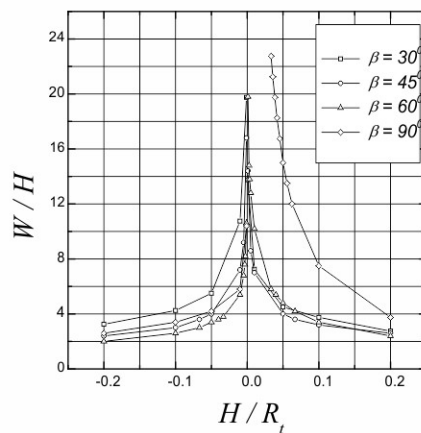




Hình 7. Hệ số ổn định của mái dốc 3D lồi và lõm

Hệ số  $W/H$  và  $H/R_t$  được dùng xác định tâm cung trượt nguy hiểm cho các góc mái dốc của 3D lồi và lõm. Hình 8 thể hiện kết quả vị trí tâm cung trượt nguy hiểm cho mái dốc  $\beta = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ .

Hệ số ổn định và tâm vị trí cung trượt của mái dốc 3D lồi và lõm trong Hình 7, 8 có thể áp dụng trong trường hợp tổng quát ở đó các kỹ sư có thể xác định với các mái dốc cho thiết kế mới hoặc kiểm tra lại với các mái dốc xảy ra sạt lở.



Hình 8. Tâm và vị trí cung trượt nguy hiểm



#### 4. Kết luận

Nghiên cứu tập trung tính toán ổn định của mái dốc 3D lồi và lõm. Bài toán áp dụng cho trường hợp tổng quát của mái dốc đối xứng. Nghiên cứu kết hợp sử dụng ngôn ngữ Fortran tính toán cho một số góc nghiêng mái dốc  $\beta = 0 \div 90^\circ$  ở đó hệ số  $W/H$  và  $H/R_i$  thay đổi. Các kết luận sau có thể rút ra:

- Hệ số ổn định của mái dốc lõm lớn hơn hệ số đó của mái dốc thẳng 3D cho tất cả các góc nghiêng mái dốc và hệ số  $W/H$ ,  $H/R_i$ . Tuy nhiên với mái dốc lồi, hệ số ổn định thay đổi có thể lớn hoặc nhỏ hơn hệ số ổn định của mái dốc 3D thẳng tùy thuộc vào góc nghiêng mái dốc và hệ số  $W/H$ ,  $H/R_i$ .
- Khi  $H/R_i$  tiến tới không, hệ số ổn định của mái dốc cong tiệm cận với mái dốc thẳng 3D.
- Với cả mái dốc 3D lồi và lõm, khi hệ số  $W/H$  tăng dần, hệ số ổn định  $N_s$  giảm về giá trị nguy hiểm nhất sau đó tăng dần.
- Từ nghiên cứu, các biểu đồ để tính, xác định vị trí, độ ổn định mái dốc 3D lồi và lõm nhằm giúp các kỹ sư có thể kiểm tra lại an toàn, cung trượt của mái dốc 3D trong trường hợp bị sạt lở xảy ra.

#### Tài liệu tham khảo

1. Baker, R. & Leshchinsky, D. (1987), *Stability analysis of conical heaps, Soils Found*, Vol. 27, No. 4, pp. 99-110.
2. Bishop, A. W. (1955), "The use of the slip circle in the stability analysis of slopes", *Geotechnique, London*, Vol. 5, No. 1, pp. 7-17.
3. Farzaneh, O. & Askari, F. (2003), "Three-dimensional analysis of nonhomogeneous slopes", *J. Geotech Geoenviron Eng ASCE*, Vol. 134, No. 8, pp. 137-45.
4. Fellenius, W. (1927), *"Erdstatische Berechnungen (Calculation of stability of slopes)"*, Berlin, (Revised ed. 1939, 48 pp.)
5. Nguyễn Hoàng Giang (2015), "Phân tích ổn định mái dốc phẳng theo mô hình 3D bằng phương pháp cân bằng giới hạn", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Xây dựng*, Số 25, T 67-73.
7. Giger, M. W. & Krizek, R. J. (1975), "Stability analysis of vertical cut with variable corner angle", *Soils Found*, Vol. 15, No. 2, pp. 63-71.
8. Giger, M. W. & Krizek, R. J. (1976), "Stability of vertical corner cut with concentrated surcharge load", *J. Geotech. Engrg. Div.*, Vol. 102, No. 1, pp. 31-40.
9. Leshchinsky, D. & Baker, R. (1986), "Three-dimensional slope stability: end effects", *Soils Found*, Vol. 26, 4, pp. 98-110.
10. Leshchinsky, D., Baker, R. & Silver, M. L. (1985), "Three-dimensional analysis of slope stability", *Int. J. Numer. Analyt. Meth. Geomech.*, Vol. 9, pp. 199-223.
11. Leshchinsky, D., and Huang, C.-C. (1992), "General three-dimensional slope-stability analysis", *J. Geotech. Eng.*, ASCE, 118(11), 1748-1764.
12. Michalowski, R. L. (1989), "Three dimensional analysis of locally loaded slopes", *Geotechnique*, Vol. 39, No. 1, pp. 27-38.
13. Morgenstern, N.R. and Price, V.E. (1967), "A Numerical Method for Solving the Equations of Stability of General Slip Surfaces", *The Computer Journal, Great Britain*, Vol. 9, No. 4, February, pp. 388-393.
14. Ohlmacher, G. C. (2007), "Plan curvature and landslide probability in regions dominated by earth flows and earth slides", *Eng. Geol. (Amsterdam)*, Vol. 91, pp. 117-134.
15. Taylor, D.W. (1937), "Stability of earth slopes", *J. Boston Soc. Civil Engrs.*, 24, pp. 197-246.
16. Terzaghi, K., Peck, R., Mesri, G. (1996), "Soil Mechanics in Engineering Practice", John Wiley & Sons, INC.
16. Totoni, A., and Askari, F., and Farzaneh (2012), "3D stability of concave slope in plan view using linear finite element and lower bound method", *IJST, Transactions of Civil Engineering*, Vol. 36, No. C2, pp 181-194.
17. Xing, Z. (1988), "Three-dimensional stability analysis of concave slopes in plan view", *J. Geotech. Engrg*, Vol. 114, No. 6, pp. 658-671.