

Ảnh hưởng một số tham số của neo đến hệ số ổn định tổng thể mái dốc

The influence of some anchor parameters on the overall stability factor of slopes

> TS NGUYỄN MINH KHOA^{1*}, TS ĐỖ MINH NGỌC¹, THS TRỊNH MINH HOÀNG¹
KS TRẦN NGỌC HÙNG¹, TS ĐỖ MINH TÍNH²

¹Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

²Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

*Email: minhkhoa.nguyen@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo thông qua việc thay đổi góc nghiêng của neo và chiều dài đoạn neo giữ tiến hành khảo sát sự ảnh hưởng của hai tham số này đến hệ số ổn định mái dốc. Kết quả khảo sát cho thấy chiều dài đoạn neo giữ nên bằng 1/2 chiều dài thân neo và góc nghiêng nằm trong khoảng 10° đến 20° là phù hợp. Đây là những tham số quan trọng ảnh hưởng nhiều đến hệ số ổn định, do vậy khi thiết kế nên xem xét đến để công trình đạt được yêu cầu và hiệu quả.

Từ khóa: Neo; mái dốc; hệ số ổn định; chiều dài neo giữ.

ABSTRACT

The study investigates the influence of two key parameters-anchor inclination angle and bond length-on the slope stability factor. The results indicate that the optimal bond length should be half of the total anchor length, while the recommended inclination angle ranges between 10° and 20° . These parameters significantly impact stability and thus, they should be carefully considered in design to ensure effectiveness of the structure.

Keywords: Anchor; slope; stability coefficient; anchored length.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phương pháp neo gia cố ổn định mái dốc đầu tiên kể đến là một công ty của Đức sử dụng để giữ ổn định thành hố móng. Sau đó, phương pháp neo đã được phát triển mạnh mẽ trong những năm 50, các nghiên cứu về các cơ chế làm việc của neo đã được nhiều tác giả phân tích. Nghiên cứu của Gunnar Wigk (1987) đã sử dụng lý luận đàn hồi của Mindlin phân tích cơ chế gia cố của hệ neo dự ứng lực trước. A.P.S.Selvadurai (Caned, 1979) và Stille (1989) vận dụng lý luận đàn hồi nghiên cứu cơ lý gia cố của neo. Ông đã căn cứ vào điều kiện biên mô hình đàn hồi - dẻo nghiên cứu tác dụng của neo đối với đá. B.Benmokran (1995) thông qua mô hình thí nghiệm trong phòng phân tích cơ chế kháng nhổ của neo [2]. S.S.Penre và L.B.Geori (1995) đưa ra phương pháp thiết kế của neo ngàm vào đá sử dụng các điều kiện biên và GargeV.k (1991) nghiên cứu hệ neo gia cố cho đá nứt nẻ mạnh và đưa ra phương pháp tính toán biến dạng bằng phân tử hữu hạn [1]. Pockoski (2000) đã nghiên cứu các phương pháp đánh giá tính ổn định mái dốc được gia cố bằng neo [3]. D.Y.Zhu (2005) cho rằng lực tập trung ở đầu neo khi tính toán không phù hợp với kết quả thực tế, từ đó đưa ra phương pháp tính mới [4]. Đối với ảnh hưởng của các tham số của neo đến hệ số ổn định mái dốc, Xiong WenLin (2005) nghiên cứu góc nghiêng của neo ảnh hưởng đến hệ số ổn định của mái dốc [1]. Nghiên cứu này có thể cho phép đánh giá ảnh hưởng các tham số khác của hệ neo đến hệ số ổn định mái dốc (FS). Zhao HongLin (2006) sử dụng phương pháp cân bằng giới hạn và đưa ra 3 phương pháp tính toán chiều sâu ngàm của neo [5]. Kết quả của ông chỉ ra, trong 3 phương pháp đó, phương pháp thứ ba cho kết quả hợp lý và sát với thực tế.

Wang Po (2016) - Trường Đại học Kỹ thuật HuaZhong - Trung Quốc sử dụng phần mềm Ansys kết hợp Plac 3D phân tích cơ chế làm việc của neo và một số tham số như góc nghiêng, khoảng cách các neo đến hệ số ổn định mái dốc [6].

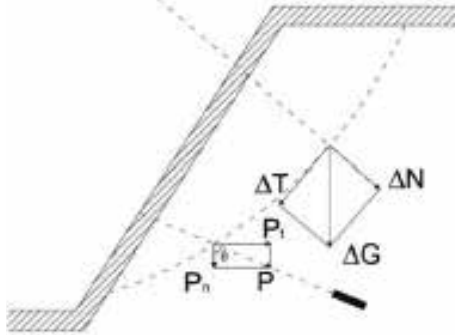
Những năm 80, ở nước ta đã bắt đầu có những nghiên cứu về neo và dẫn được ứng dụng rộng rãi, nhất là gia cố ổn định mái dốc nền đường ở miền núi. Trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ GTVT 2001- 2003 về neo, Viện Khoa học và Công nghệ GTVT đã nghiên cứu các tiêu chuẩn thiết kế, thi công và nghiệm thu neo trong đất và đã biên dịch quy trình "Neo trong đất" BS 8091 - 1989 [7]. Tác giả Doãn Minh Tâm đã tiến hành nghiên cứu các giải pháp chống sụt trượt có sử dụng neo cho mái dốc nền đường đắp cao và đắp sâu; tác giả Lê Đình Thành (2016) - Đại học Đà Nẵng đã tìm hiểu khả năng ứng dụng của neo cho một công trình mái dốc thuộc tỉnh Lào Cai. Tác giả Nguyễn Đức Mạnh (2020) - Trường Đại học GTVT đã tiến hành giới thiệu công nghệ neo vịnh cứu cho công trình mái dốc [8, 9]. Các nghiên cứu này còn chưa xét đến các tham số của neo đến ổn định mái dốc như: Đường kính, góc nghiêng, chiều dài neo giữ. Trong các tham số đó, chiều dài neo giữ hay chiều dài bầu neo và góc nghiêng của neo so với phương nằm ngang là những tham số ảnh hưởng nhiều nhất. Vì vậy, trong bài báo này, tác giả chủ yếu tập trung tìm hiểu sự ảnh hưởng của hai tham số này đến hệ số ổn định mái dốc được gia cố bằng neo.

2. TÍNH TOÁN THIẾT KẾ VÀ ẢNH HƯỞNG MỘT SỐ THAM SỐ NEO ĐẾN ỔN ĐỊNH MÁI DỐC

2.1. Tính toán thiết kế

2.1.1. Lực tác dụng lên neo

Với đất, sự hình thành phá hoại trên các mái dốc thường có dạng cung tròn. Khi lực giữ trên bề mặt cung trượt nguy hiểm lớn hơn lực gây trượt thì sự ổn định của mái dốc được duy trì. Trong trường hợp mái dốc được bố trí neo như Hình 1, ta có ΔG - Trọng lượng khối trượt và P - Lực nhổ thiết kế của neo.



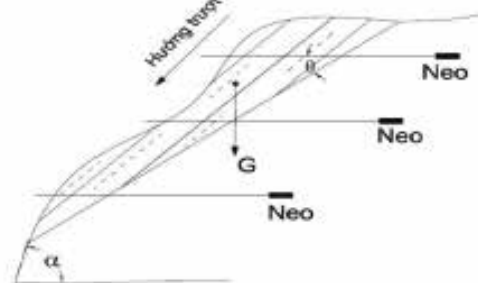
Hình 1. Lực tác dụng lên neo với mái dốc đất

Trọng lượng khối trượt được phân chia thành DT - tổng lực gây trượt và DN - áp lực vuông góc với mặt trượt. Lực nhổ thiết kế của neo được tách thành P_n - theo phương pháp tuyến và P_t - theo phương pháp tiếp tuyến. Lực nhổ thiết kế của neo là:

$$P = \frac{k \sum \Delta T - f \sum \Delta N - \sum C \Delta L}{k \sin \theta + f \cos \theta} \quad (1)$$

Trong đó: k - Hệ số ổn định của mái dốc; f và C - Hệ số ma sát và lực dính của đất; ΔL - Chiều dài cung trượt.

Xét mái dốc đá có các khe nứt trong trường hợp bố trí neo, để tính toán lực neo giữ cần tính thể tích khối đá có thể tách khỏi mái dốc tại mặt trượt nguy hiểm nhất, từ đó tính trọng lượng của khối đá, các vật liệu khác trên bề mặt G (Hình 2).



Hình 2. Lực tác dụng lên neo với mái dốc đá

Khi lực neo và mặt trượt tạo nên một góc nghiêng θ thì lực tác dụng lên neo là:

$$P' = \frac{T - LC - f/m \cdot N}{\sin \theta + f/m \cos \theta} \quad (2)$$

Trong đó: T - Lực gây trượt do trọng lượng bản thân khối đá và phụ tải; N - Lực pháp tuyến do trọng lượng bản thân khối đá và phụ tải; m - Số an toàn thiết kế; L - Chiều dài mặt trượt; C, f - Lực dính đơn vị của đất hoặc hệ số ma sát mặt cắt trượt của đá.

2.1.2. Sức chịu tải của neo

Khả năng chịu tải của thanh neo bơm vữa có liên quan đến đường kính lỗ khoan, độ dài và cường độ chịu cắt của đất/vữa [7]:

$$T_n = L_a \cdot \pi \cdot D \cdot \tau \quad (3)$$

Với: T_n - Khả năng chịu lực dọc trục của neo; L_a - Chiều dài đoạn neo giữ; D - Đường kính lỗ khoan; τ - Cường độ dính kết giữa xi măng và đất, đá.

2.1.3. Chiều dài neo

Khi chịu tác dụng của lực nhổ thiết kế P (của toàn bộ thanh

neo). Sơ đồ cấu tạo của neo gồm 2 phần là chiều dài đoạn neo giữ L_a và chiều dài đoạn tự do L_t (Hình 3). Đoạn neo giữ này hay còn gọi là bầu neo, cần đủ dài để chịu được lực nhổ nêu trên.



Hình 3. Sơ đồ tính chiều dài neo

Trong trường hợp bố trí nhiều neo, mỗi neo sẽ chịu một phần của lực nhổ, khi đó chiều dài đoạn neo giữ [7]:

$$L_a = \frac{K \cdot N_t}{\pi D \tau} \quad (4)$$

Với: K - Hệ số an toàn của neo; N_t - Lực kéo dọc trục thiết kế của neo đơn.

2.1.4. Đường kính neo

Diện tích tiết diện neo được xác định như sau [7]:

$$A_s \geq \frac{K \cdot N_t}{f_y} \quad (5)$$

Với: A_s - Diện tích tiết diện thanh neo; f_y - Cường độ chịu kéo của neo.

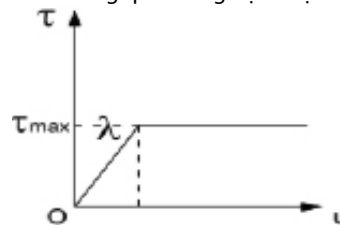
2.2. Một số ảnh hưởng của tham số neo đến hệ số ổn định mái dốc

2.2.1. Ảnh hưởng chiều dài neo giữ

Kết cấu hệ neo có thành công hay không phụ thuộc vào tầng chịu lực, đây là tầng neo được neo vào và để chống lại lực nhổ. Lực này phải đảm bảo lớn hơn hoặc bằng lực tác dụng lên neo và thỏa mãn các yêu cầu về hệ số ổn định.

Thông thường, chiều dài đoạn neo giữ tỉ lệ thuận với lực neo. Nhưng trong thực tế, cùng với sự tăng lên của đoạn neo giữ thì lực neo không tăng lên một cách rõ rệt. Fujita và các cộng sự (1977) sử dụng phân tích mô hình và 20 thí nghiệm hiện trường. Kết quả cho thấy, với đất rời đoạn neo giữ 6 m, khi vượt quá chiều dài này thì sự gia tăng lực kháng nhổ không đáng kể [10].

Xét mô hình quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị của neo (Hình 4), với λ là hệ số ma sát cường độ bên thể hiện sự phát huy lớn nhỏ của lực cản do ma sát. Độ lớn nhỏ của hệ số này không chỉ có quan hệ với tính chất cơ học của các lớp đất đá, mà còn quyết định đến mức độ thô ráp của loại neo, áp lực phun vữa. Để xác định chính xác giá trị này có thể thông qua thí nghiệm hiện trường.



Hình 4. Mô hình quan hệ giữa tải trọng - chuyển vị

Trong Hình 3, tại tiết diện điểm B đạt đến lực kháng nhổ giới hạn thì neo cũng đạt đến khả năng chịu tải tới hạn. Trước khi đạt đến trạng thái giới hạn, đoạn neo giữ làm việc ở trạng thái đàn hồi. Lúc này, ngoại lực P tác dụng vào đoạn bầu neo và tại tiết diện chuyển vị một đoạn u(x) phải thỏa mãn điều kiện biên:

$$\begin{cases} EA \frac{d^2 u}{dx^2} - \lambda u = 0 \\ EA \frac{du}{dx} \Big|_{(x=L_a)} = P \\ EA \frac{du}{dx} \Big|_{(x=0)} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Công thức (6) căn cứ vào điều kiện cân bằng về lực vị trí B và C để giải:

$$u(x) = \frac{Pch(kx)}{EAksh(kL_a)} \quad (7)$$

$$k = \sqrt{\frac{\lambda}{EA}} \quad (8)$$

Với: E - Mô-đun đàn hồi của hỗn hợp vữa xi măng và đất đá;
A - Diện tích tiết diện đoạn neo đang xét.

Suy ra, lực cản τ phân bố trong thanh neo:

$$\tau(x) = \lambda u(x) = Pk \frac{ch(kx)}{sh(kL_a)} \quad (9)$$

Tại vị trí điểm B ta có:

$$\tau_B = Pk \coth(kL_a) \quad (10)$$

Khi khả năng neo giữ tại điểm B đạt đến giá trị tới hạn, neo cũng đạt tới khả năng chịu lực tới hạn P_u :

$$P_u = \frac{\tau_B \tanh(kL_a)}{k} \quad (11)$$

Từ công thức (10) khi $kL_a = 4$, thì giá trị $\tanh(kL_a) \approx 1$, P_u đạt đến giá trị max:

$$P_{umax} = \frac{\tau_{Bmax}}{k} \quad (12)$$

Dựa vào chiều dài neo được kiến nghị:

$$L_c = 4/k = \frac{4}{\sqrt{\lambda/EA}} = 4\sqrt{\frac{EA}{\lambda}} \quad (13)$$

Từ công thức (9), Zhang Hao đã xây dựng mối quan hệ giữa sức chịu tải của neo và chiều dài neo giữ. Như Hình 6 thể hiện, khi chiều dài neo giữ bằng 1/2 chiều dài toàn neo thì $P_u/P_{umax} = 96\%$ hay sức chịu tải của neo đạt đến 96% sức chịu tải giới hạn [11]. Nên trong thực tế, khi gia cố bằng neo tỉ số L_a/L_c nên nhỏ hơn 1/2.

2.2.2. Ảnh hưởng góc nghiêng

Góc nghiêng của cọc neo là một thông số quan trọng trong tính toán thiết kế, việc lựa chọn chính xác thông số này có ảnh hưởng lớn đến trạng thái chịu lực của kết cấu chống đỡ bằng neo, chiều dài neo và độ khó thi công. Nhìn chung, khi góc giữa neo và mặt phẳng ngang tăng lên sẽ tạo ra lực thành phần thẳng đứng lớn hơn, từ đó làm giảm lực chống đỡ ngang cần thiết. Theo một số kết quả phân tích lý thuyết đã đề xuất rằng góc giữa cọc neo và mặt phá hủy nên là $45^\circ + \varphi/2$ (trong đó, φ là góc ma sát trong của đất đá) [1].

3. KHẢO SÁT CÔNG TRÌNH THỰC TẾ

3.1. Hiện trạng mái dốc

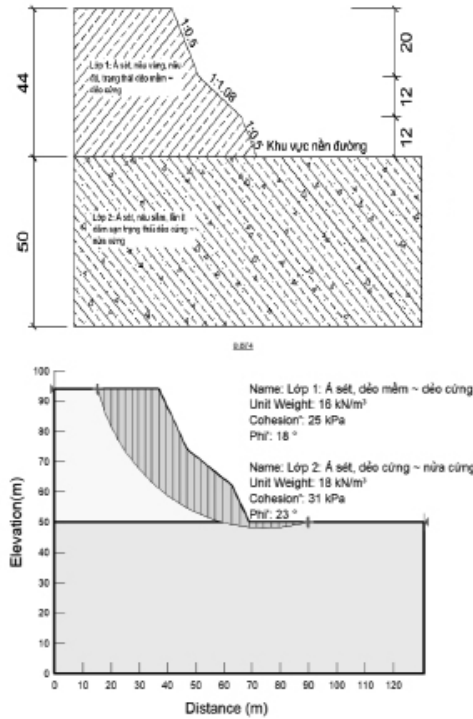
Mái dốc nghiên cứu thuộc tỉnh Nghệ An ở phía dưới là đường giao thông, ở đây thường xảy ra hiện tượng sạt trượt. Hiện trạng mái dốc có dạng hình lưỡi, trên hẹp dưới rộng, trên thoải dưới dốc, trên dày dưới mỏng. Đất đá tương đối phức tạp, do tác động quá trình phong hóa mức độ vỡ vụn mạnh, bề dày lớp vỏ lớn, chủ yếu là sét cát hạt tương đối nhỏ. Nguyên nhân chính gây ra sự mất ổn định mái dốc là do sự bào mòn của nước mặt do mưa lớn, mái dốc cao và độ dốc lớn. Theo kết quả khảo sát cấu tạo địa chất khu vực như sau:

- Lớp trên á sét, dẻo mềm dày 44 m có $\gamma=16 \text{ kN/m}^3$, $C=25 \text{ kPa}$, $\phi = 18^\circ$;

- Lớp bên dưới á sét, dẻo cứng dày 50 m có $\gamma=18 \text{ kN/m}^3$, $C=31 \text{ kPa}$, $\phi=23^\circ$.

Mái dốc chiều dài 78 m, trên đỉnh độ dốc 1:0,5, giữa 1:1,08 và chân dốc 1:0,5 với phía dưới là nền đường xây mới có cao độ mặt đường nằm ở vị trí mặt phân lớp giữa hai lớp đất. Theo cách phân loại mái dốc theo chiều cao thì đây là mái dốc có chiều cao lớn. Tại thời điểm điều tra mái dốc đã bắt đầu có hiện tượng mất ổn định. Tính toán bằng phần mềm Geo Slope được hệ số ổn định tương

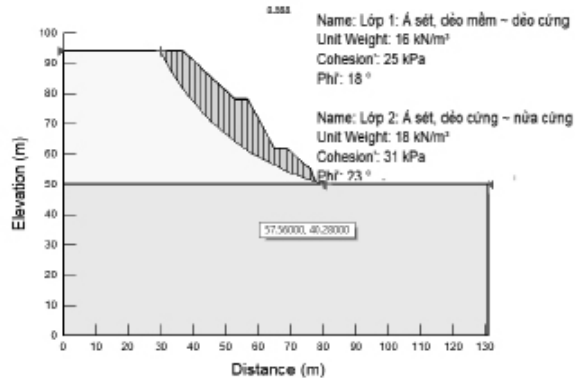
đối thấp $FS=0,874$, cho thấy không đáp ứng được yêu cầu (Hình 5). Do đó, cần phải có các giải pháp gia cố nhằm đảm bảo ổn định cho mái dốc.



Hình 5. Cấu tạo mái dốc tự nhiên và hệ số ổn định

3.2. Phương án tính toán thiết kế neo cáp dự ứng lực

Do mái dốc tương đối cao, độ dốc lớn nên trước khi gia cố mái được tiến hành tạo thành các cấp khác nhau. Cụ thể, mái dốc chia thành 3 cấp: cấp I cao 16 m độ dốc 1:1; cấp II cao 16 m độ dốc 1:0,5 và cấp 3 cao 12 m độ dốc 1:1.



Hình 6. Cấu tạo mái dốc và hệ số ổn định sau khi giằng cáp

Kết quả sau khi giằng cáp, hệ số ổn định $FS = 0,988$, vẫn chưa đáp ứng được yêu cầu nên cần được gia cố tăng cường ổn định. Ở đây, giải pháp neo được lựa chọn, với mái dốc cấp I, II sử dụng 4 neo dài 14 m, khoảng cách theo phương đứng và ngang lần lượt là 4 m và 2 m, góc nghiêng 30° . Với mái dốc cấp III sử dụng hệ gồm 3 neo được bố trí tương tự. Đường kính neo được lựa chọn là loại neo cáp dự ứng lực có $f = 10,8 \text{ mm}$ gồm 5 bó cáp diện tích tiết diện $457,82 \text{ mm}^2$, $f_y = 1.720 \text{ N/mm}^2$.

Để tính toán ổn định, các thông số đầu vào như Bảng 1, 2:

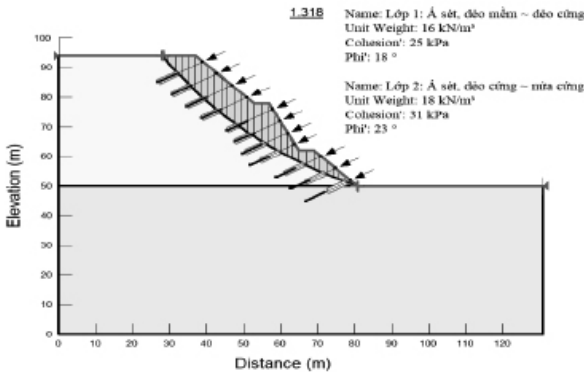
Bảng 1. Các chỉ tiêu tính toán của đất

Lớp đất	Trọng lượng thể tích γ (kN/m ³)	Mô-đun đàn hồi E (MPa)	Hệ số poisson μ	Lực dính đơn vị C (kPa)	Góc ma sát trong ($^\circ$)
Lớp 1	16	2	0,21	25	18
Lớp 2	18	1,5	0,23	31	23

Bảng 2. Một số thông số neo

Chiều dài neo (m)	14
Góc nghiêng neo ($^\circ$)	30
Đường kính neo (mm)	10,8
Số bó cáp	5
Chiều dài bầu neo (m)	6
Mô-đun đàn hồi neo (MPa)	$1,9 \times 10^5$
Khoảng cách dọc (m)	4
Khoảng cách ngang (m)	2
Cường độ chịu kéo fy (N/mm ²)	1720

Kết quả tính toán bằng phần mềm Geo Slope được hệ số FS = 1,318, cho thấy mái dốc đảm bảo yêu cầu ổn định (Hình 7).

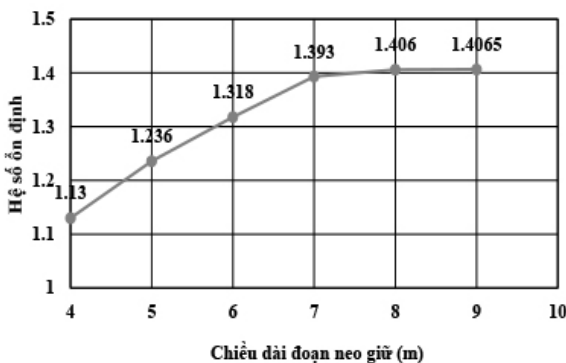


Hình 7. Kết quả hệ số ổn định

3.3. Ảnh hưởng các tham số của neo đến hệ số ổn định

3.3.1. Ảnh hưởng chiều dài neo giữ

Để khảo sát sự ảnh hưởng của chiều dài neo giữ, giữ nguyên góc nghiêng của neo và thay đổi chiều dài neo giữ lần lượt là 4 m, 5 m, 6 m, 7 m, 8 m và 9 m. Kết quả tính và quan hệ giữa chiều dài neo giữ - hệ số ổn định (FS) như Hình 8.

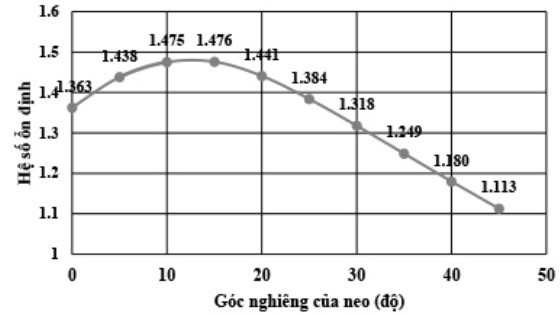


Hình 8. Quan hệ giữa chiều dài neo giữ - Hệ số ổn định

Từ Hình 8 cho thấy cùng với sự gia tăng chiều dài đoạn neo giữ, hệ số ổn định tăng lên nhất là ở giai đoạn đầu. Nhưng khi chiều dài neo giữ này đạt đến 7 m, tức là 1/2 toàn bộ chiều dài thân neo thì hệ số này gia tăng không đáng kể và khi chiều dài đạt đến 9 m thì hệ số ổn định gần như không gia tăng.

3.3.2. Ảnh hưởng của góc nghiêng neo

Để khảo sát góc nghiêng của neo, giữ nguyên chiều dài neo và đoạn neo giữ, sau đó thay đổi góc nghiêng của neo từ 0 đến 45 $^\circ$ với mỗi bước thay đổi là 5 $^\circ$. Kết quả tính và quan hệ giữa góc nghiêng của neo - hệ số ổn định (FS) như Hình 9.



Hình 9. Quan hệ giữa góc nghiêng của neo - Hệ số ổn định

Từ Hình 9 cho thấy góc neo ảnh hưởng khá nhiều đến hệ số ổn định của mái dốc. Khi góc nghiêng thay đổi từ 0 $^\circ$ đến 15 $^\circ$ thì hệ số ổn định tăng lên, nhưng sau đó tiếp tục tăng dần góc nghiêng này lên thì hệ số ổn định lại giảm, thậm chí khi lớn hơn 35 $^\circ$ còn không đảm bảo yêu cầu ổn định. Mặt khác, xét tới yếu tố thi công, khi góc nghiêng của neo nhỏ hơn 10 $^\circ$, quá trình thi công sẽ dễ gây ra hiện tượng trào vữa ảnh hưởng đến chất lượng gia cố, nên góc nghiêng của neo được kiến nghị trong khoảng 10 $^\circ$ đến 20 $^\circ$.

4. KẾT LUẬN

Khi chiều dài đoạn bầu neo lớn quá thì hệ số ổn định mái dốc tăng lên không đáng kể. Chiều dài đoạn bầu neo này không nên vượt quá 1/2 toàn bộ thân neo. Ngoài ra, góc nghiêng của neo cũng là một trong những yếu tố ảnh hưởng lớn đến hệ số ổn định và góc nghiêng này hiệu quả nên xem xét trong khoảng 10 $^\circ$ đến 20 $^\circ$. Kết quả nghiên cứu này rất có ý nghĩa đối với công tác thiết kế, nên xem xét đến các tham số của neo trong gia cố mái dốc để đảm bảo kỹ thuật và kinh tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Xu XueWen (2006), Nghiên cứu cơ chế làm việc của hệ neo và ứng dụng, Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Kỹ thuật Tây An.
- [2]. Wang LaCai (1995), Nghiên cứu cơ lý làm việc của hệ neo trong đất, đá và ứng dụng, Luận án Tiến sĩ, Viện Địa kỹ thuật Vũ Hán, Trung Quốc.
- [3]. Pockoski M, Duncan J.M. (12/2000), Comparison of computer programs for analysis of reinforced slopes, Virginia polytechnic institute and state of university, report.
- [4]. Zhu D.Y, Lee C, et.al. (2005), Evaluation of stability of anchor - reinforced slopes. Canadian Geotechnical Journal, 42(5): 1342-1249.
- [5]. Zhao HongLin, Tai JiaJia, et.al. (2006), Thảo luận phương pháp tính toán đoạn neo giữ ổn định mái dốc, Tạp chí Khoa học thủy lợi thủy điện Trung Quốc, 4(4), 271-276.
- [6]. Wang Bo (5/2016), Phân tích ổn định công trình mái dốc bằng neo, Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Kỹ thuật Hoa Trung - Trung Quốc.
- [7]. Tiêu chuẩn BS 8081-1989 (2008), Neo trong đất, Nguyễn Hữu Đầu (bản dịch), NXB. Xây dựng.
- [8]. Trần Thị Thơm (2015), Nghiên cứu giải pháp kỹ thuật neo đất gia cường ổn định mái dốc - Ứng dụng xử lý mái dốc taluy đường cao tốc Hà Nội - Lào Cai, Lý trình Km45+300, Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Thủy lợi.
- [9]. Nguyễn Đức Mạnh, Lê Anh Đức, Vũ Văn Đạt (2020), Chống sụt trượt bờ dốc bằng công nghệ neo đất vịnh cứu, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam.
- [10]. Yan MoMing, Xu ZhenXiang (2000), Kỹ thuật neo đất, đá phát triển mới, NXB. Giao thông dân tộc, Bắc Kinh.
- [11]. ZhangHao, Shang YueQuan, et.al. (2005), Phương pháp giải tích xác định tải trọng trong neo từ đường cong P-s, Tạp chí đất đá và công trình (Trung Quốc), (24)6. 3072-3076.