

PHÂN TÍCH CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN TÍNH AN TOÀN VÀ ỔN ĐỊNH CỦA THÀNH HỒ ĐÀO KHI ĐƯỢC GIA CỐ BẰNG ĐINH ĐẤT TRONG XÂY DỰNG HẦM ĐẶT NÔNG

ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING THE SAFETY AND STABILITY OF EXCAVATION PIT WALLS REINFORCED WITH SOIL NAILS IN SHALLOW TUNNEL CONSTRUCTION

TS. Trần Anh Bảo - Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt, Học viện Kỹ thuật quân sự
E-mail: trananhbao@lqdtu.edu.vn

Tóm tắt: Bài báo trình bày các tính toán lý thuyết và các ví dụ số về việc sử dụng đinh đất kết hợp với bê tông phun để gia cố và ổn định mái dốc của hố đào sâu. Nghiên cứu tập trung phân tích ảnh hưởng của chiều dài đinh đất và một số đặc trưng cơ lý của đất xung quanh đến tính an toàn và ổn định của thành hố đào. Trên cơ sở kết quả khảo sát, bài báo tiến hành phân tích, đánh giá và đưa ra các nhận xét, khuyến nghị cho công tác tính toán và ứng dụng đinh đất kết hợp bê tông phun nhằm gia cố và giữ ổn định mái dốc hố đào trong thực tiễn thi công hầm đặt nông.

Từ khóa: Đinh đất, hệ số an toàn, gia cố mái dốc, thành hố đào, hầm đặt nông.

1. Đặt vấn đề

Cùng với sự phát triển của khoa học - kỹ thuật và công nghệ, hiện nay nhiều giải pháp mới dùng để gia cố và ổn định nền đất yếu, mái dốc hố đào phục vụ xây dựng các công trình đã được nghiên cứu và áp dụng, phù hợp với thực tiễn và mang lại hiệu quả cao [1][5]. Ở Việt Nam, để gia cố mái đất dốc đã áp dụng một số công nghệ như: chống đỡ vách đất (tường chắn bê tông cốt thép, tường cọc ván cừ các loại đặc biệt và tường ván thép, cọc xi măng đất); neo trong đất, neo ứng suất trước (ground anchor)... Tuy nhiên các giải pháp công nghệ nêu trên thường gặp những khó khăn về mặt bằng thi công, thiết bị, giá thành cao, khi thi công có thể ảnh hưởng đến các công trình lân cận... Giải pháp sử dụng công nghệ “đinh đất” (soil nailing) để gia cố mái đào trong môi trường đất là một hướng đi mới phù hợp và hiệu quả hơn, đặc biệt là khi thi công các công trình ngầm đặt nông xây dựng trong các khu đô thị, mặt bằng thi công hạn chế.

Đất có cường độ chống cắt rất thấp, hầu như không có cường độ chịu kéo. Công nghệ đinh đất (soil nailing) sử dụng một số cọc vữa xi măng có cốt như những đinh neo có chiều dài nhất định, được đóng theo phương xiên vào trong các tầng đất với phân bố tương đối dày, cùng làm việc với vách đất, làm cho vách đất rắn lại, đồng thời đặt lưới thép trên bề mặt mái dốc, sau đó phun bê tông lên theo từng lớp hình thành một thể phức hợp có

Abstract: The paper presents theoretical calculations and numerical simulations on the use of soil nails combined with shotcrete to reinforce and stabilize deep excavation slopes. The study focuses on analyzing the effects of soil nail length and certain geotechnical properties of the surrounding soil on the safety and stability of the excavation walls. Based on the analysis results, the paper provides evaluations and practical recommendations for the design and application of soil nails combined with shotcrete to reinforce and stabilize excavation slopes in shallow tunnel construction.

Keywords: Soil nail, Factor of Safety, slope reinforcement, excavation pit walls, shallow tunnel.

thể bù đắp được sự thiếu hụt về cường độ của đất. Mái dốc thành hố đào được gia cố bằng công nghệ đinh đất hình thành thân tường phức hợp (tường đinh đất) nâng cao được độ cứng tổng thể của khối đất, bù đắp sự thiếu hụt về khả năng chịu kéo, chịu cắt của đất thông qua tác động tương hỗ, phát huy được khả năng tự chịu lực của đất, làm tăng tính ổn định tổng thể vách đất. Khác với công nghệ neo đất là sử dụng các neo đơn lẻ, thi công neo vào đất hoặc neo kết hợp với tường vây để giữ ổn định mái đất, tác dụng của neo chỉ nằm ở bầu neo, để tạo sự ổn định cho mái đất thì chiều sâu cắm neo thường phải rất lớn (do neo đất có cả phần dây neo và bầu neo), thì đinh đất sử dụng hệ đinh neo có tác dụng trên toàn bộ chiều dài mỗi đinh, độ sâu cắm đinh không quá lớn mà vẫn giữ được ổn định cho mái dốc thành hố đào, ít ảnh hưởng đến các công trình lân cận. Thành hố đào có thể đứng thẳng 900 hoặc dốc khoảng 800. Độ dài đinh đất được xác định theo thiết kế [1].

Đinh đất là một công nghệ có nhiều ưu điểm đã được nghiên cứu và áp dụng ở một số nước phát triển trên thế giới, trong các hạng mục công trình như gia cố mái ta-luy, mái dề, mái đập, mố trụ cầu, tường vây, mái hố móng công trình, thành hố đào sâu... tuy nhiên còn ít được ứng dụng tại Việt Nam. Việc đi sâu nghiên cứu về công nghệ đinh đất; phân tích, đánh giá về mặt khoa học và các chỉ tiêu kinh tế - kỹ thuật của công nghệ này để có thể ứng dụng

rộng rãi vào thực tế xây dựng tại Việt Nam là rất cần thiết. Trong bài báo này, tác giả giới thiệu những tính toán lý thuyết và thử nghiệm số việc sử dụng đinh đất kết hợp lưới thép, bê tông phun để giữ ổn định mái dốc thành hố đào, từ đó phân tích ảnh hưởng của chiều dài đinh đất và một số đặc trưng cơ lý của đất xung quanh đến tính an toàn và ổn định của thành hố đào với những số liệu địa chất cụ thể, điển hình tại Hà Nội.

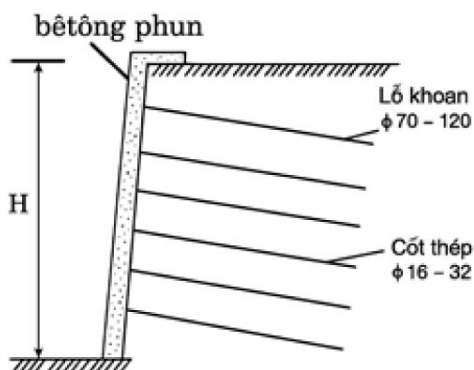
2. Cơ sở lý thuyết và trình tự tính toán

2.1. Tính toán tường đinh đất cho thành hố đào [1][8].

Để nghiên cứu, tính toán tường đinh đất giữ thành hố đào cho một công trình cụ thể trước tiên cần tiến hành khảo sát, lấy đủ số liệu về địa chất tại khu vực xây dựng công trình.



Hình 2.1. Hình ảnh sử dụng đinh đất



Hình 2.2. Mặt cắt hệ đinh đất - bê tông phun

2.1.1 Xác định các số liệu về tường đinh đất

- Tường đinh đất thường được thiết kế có độ nghiêng từ $80^\circ - 90^\circ$.

- Đinh đất được bố trí đều trên mặt đứng của thành hố đào với bước đinh từ $1 \div 2\text{m}$ (thường chọn bước đinh đất là $1,5\text{m}$).

- Cốt thép làm đinh đất sử dụng thép gờ CII trở lên, có đường kính thường từ $\phi 16 \div \phi 16\text{mm}$.

- Đường kính lỗ khoan làm đinh đất thường từ $70 \div 120\text{mm}$.

- Góc nghiêng của đinh đất với mặt phẳng nằm ngang từ $10^\circ \div 20^\circ$. $A = \pi r^2$

- Độ dài của đinh đất thường lấy bằng $0,5 \div 1,2$ lần độ sâu đào đất.

Mô hình tính toán tường đinh đất được thể hiện như hình 2.1.

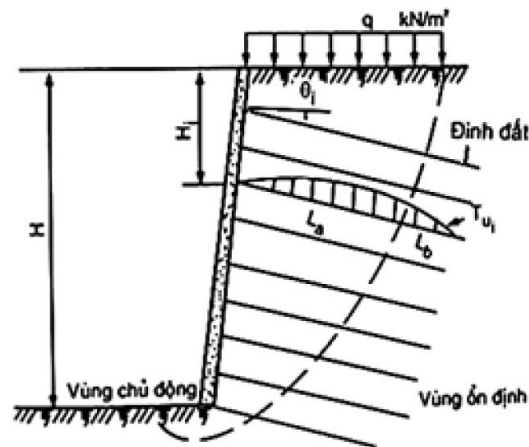
2.1.2 Xác định áp lực đất tác dụng lên từng đinh đất

Áp lực đất tác dụng lên từng đinh đất được xác định theo công thức:

$$T_i = \left[(q + \gamma \cdot H_i) \cdot K_{a_i} - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_{a_i}} \right] \cdot S_x \cdot S_y \quad (1)$$

Trong đó:

- T_i : áp lực đất tác dụng lên đinh đất thứ i (kN);
- q : tải trọng thẳng đứng trên bờ hố đào (kN/m^2);
- γ : trọng lượng thể tích của đất (kN/m^3);
- H_i : độ sâu của đinh đất thứ i (m);
- hệ số của góc ma sát trong phi tầng thứ i ;
- S_x và S_y : khoảng cách theo phương ngang và phương đứng (tức hình chiếu lên hai phương x, y) của đinh đất (m);
- c : lực dính kết của đất (kPa).



Hình 2.3. Mô hình tính toán đinh đất

2.1.2 Xác định độ dài trong vùng ổn định của thân đinh đất

Độ dài trong vùng ổn định của thân đinh đất được xác định theo công thức:

$$L_{b_i} = \frac{K_i T_i}{T_t} \quad (2)$$

* Bước 4: Tính toán chiều dài các phân đoạn và tổng thể của thân đỉnh đất.

* Bước 5: Tính toán diện tích mặt cắt ngang và lựa chọn đường kính cốt thép.

* Bước 6: Phân tích ổn định nội bộ, kiểm tra hệ số an toàn tổng thể.

* Bước 7: Xác định khả năng chống nhổ của đỉnh đất ngoài mặt trượt.

* Bước 8: Kiểm tra hệ số an toàn chống nhổ của đỉnh đất.

* Bước 9: Kiểm tra ổn định chống trượt, chống lật bên ngoài tường đỉnh đất.

Để giải quyết bài toán đặt ra, với cơ sở lý thuyết và sơ đồ khối đã được trình bày ở trên, sử dụng ngôn ngữ lập trình Matlab lập chương trình tính toán đỉnh đất. Ngoài ra phần mềm lập nên còn cho phép kiểm soát các thông số thiết kế và rất thuận tiện trong hiệu chỉnh cũng như khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến sự làm việc và ổn định của tường đỉnh đất.

3. Ví dụ số và kết quả khảo sát

3.1. Ví dụ số

Ví dụ dưới đây lựa chọn và tính toán các thông số về đỉnh đất và tường đỉnh đất cho mái dốc hố đào phục vụ xây dựng tầng hầm tại một công trình cụ thể thuộc địa bàn quận Cầu Giấy, TP. Hà Nội. Các số liệu khảo sát địa chất thể hiện trên hình 3.1.

* Các số liệu địa chất:

- Lớp số 1: Đất lấp chiều dày trung bình 1,5m có các thông số địa chất là: $\phi = 0^\circ$; $c=0\text{kPa}$; $\gamma = 19\text{kN/m}^3$.

- Lớp 2: Đất sét pha dẻo mềm, chiều dày trung bình 5,5m có các thông số địa chất là: $\phi = 15^\circ$; $c = 15\text{kPa}$; $\gamma = 16,7\text{kN/m}^3$.

- Lớp 3: Đất sét pha dẻo cứng, chiều dày trung bình 7,5m có các thông số địa chất là: $\phi = 19^\circ$; $c = 24\text{kPa}$; $\gamma = 16,7\text{kN/m}^3$.

* Chiều sâu hố đào thiết kế là 10m (tính từ mặt đất tự nhiên).

* Tải trọng mặt đất: $q = 20\text{kN/m}^2$; $B = 20\text{m}$.

* Góc nghiêng của thành hố đào so với mặt đất: 90° .

Bảng 3.1 Kết quả tính toán đỉnh đất

Đỉnh đất	K_a	C (kPa)	ϕ (°)	H_i (m)	T_i (kN)	L_{ni} (m)	L_{bi} (m)	T_{ui} (kN)	A (cm ²)	ϕ (mm)	K_i
1	0,589	15	15	1,5	52.68	11	4,0	100.53	1.73	16	1.79
2	0,589	15	15	3,0	89.01	12	6,0	150.80	2.93	20	1.59
3	0,589	15	15	4,5	127.22	12	8,5	213.63	4.18	25	1.58
4	0,509	24	19	6,0	165.44	13	11,0	276.46	5.44	28	1.57
5	0,509	24	19	7,5	116.91	13	8,0	201.06	3.82	22	1.63
6	0,509	24	19	9,0	145.92	12	9,5	238.76	4.80	25	1.54

Các hệ số: $K_t=1,69$; $K_H=3,28$; $K_Q=2,79$

* Góc nghiêng của đỉnh đất so với mặt đất: 20° .

* Đỉnh đất được bố trí đều theo hai phương trên mặt đứng thành hố đào, bước đỉnh 1,5m.

3.2 Kết quả khảo sát

(Bảng 3.1)

Bảng 3.2 Giá trị các hệ số an toàn của tường đỉnh đất khi lực dính của đất thay đổi

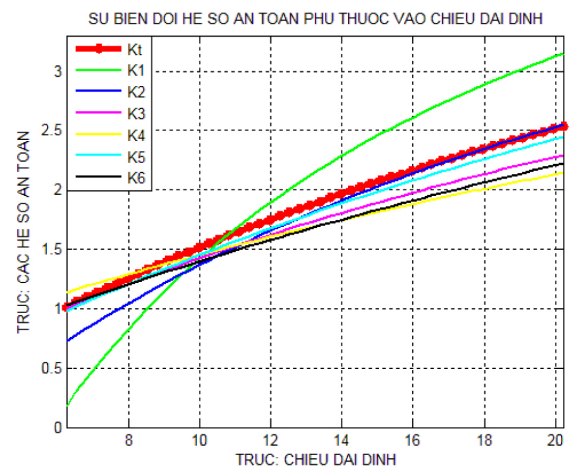
c	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K_t	K_H	K_Q
0	1.07	1.04	1.27	1.19	1.07	0.96	1.12	2.16	1.84
5	1.15	1.13	1.38	1.32	1.22	1.15	1.23	2.39	2.04
10	1.25	1.25	1.51	1.48	1.42	1.44	1.38	2.67	2.28
15	1.37	1.39	1.67	1.67	1.70	1.91	1.57	3.02	2.58
20	1.50	1.56	1.87	1.94	2.10	2.84	1.81	3.49	2.98
25	1.67	1.78	2.11	2.30	2.77	5.54	2.14	4.13	3.53

Bảng 3.3 Giá trị các hệ số an toàn của tường đỉnh đất khi góc ma sát trong của đất thay đổi

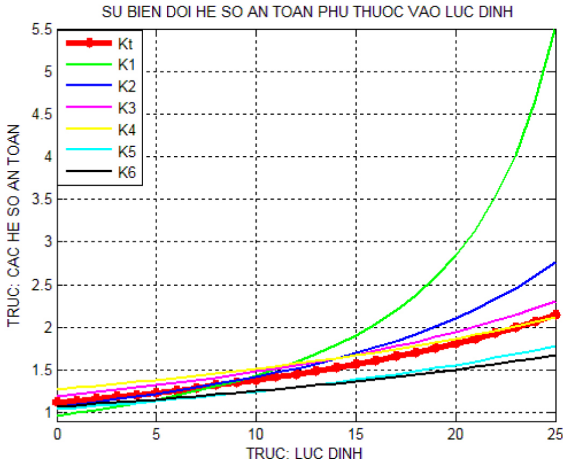
ϕ	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K_t	K_H	K_Q
5	0.89	0.91	1.12	1.10	1.09	1.15	1.02	0.45	1.69
10	1.10	1.17	1.44	1.51	1.67	2.40	1.38	1.24	2.27
15	1.36	1.48	1.77	1.88	2.12	3.29	1.73	2.47	2.85
20	1.71	1.89	2.19	2.35	2.73	4.72	2.19	4.54	3.61
25	2.19	2.44	2.75	3.00	3.60	7.31	2.82	8.31	4.65

Bảng 3.4 Giá trị các hệ số an toàn của tường đỉnh đất khi trọng lượng riêng của đất thay đổi

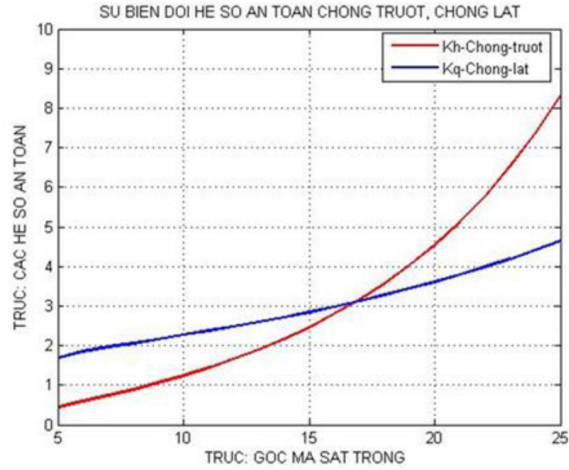
γ	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K_t	K_H	K_Q
10	3.77	4.42	3.21	3.38	3.73	5.39	3.72	1.97	1.68
15	1.96	2.11	1.95	1.99	2.06	2.47	2.03	1.41	1.21
20	1.32	1.39	1.40	1.41	1.42	1.61	1.40	1.20	1.03
25	0.99	1.03	1.10	1.09	1.09	1.19	1.07	1.09	0.93
30	0.80	0.82	0.89	0.89	0.88	0.94	0.86	1.026	0.88



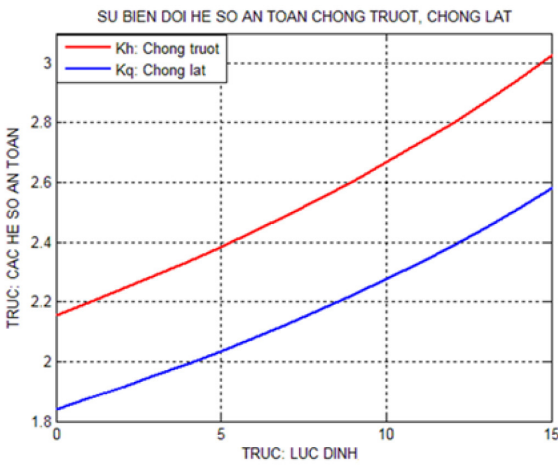
Hình 3.2: Mối quan hệ giữa chiều dài đỉnh đất L_n (m) với các hệ số an toàn K_v , K_i



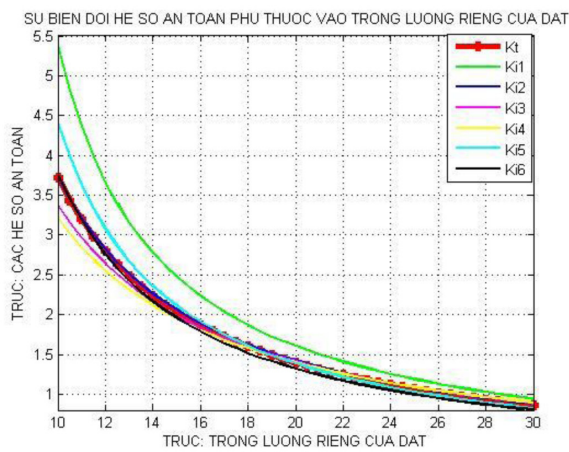
Hình 3.3. Mỗi quan hệ giữa lực dính c (kPa) của đất với các hệ an toàn K_r, K_i



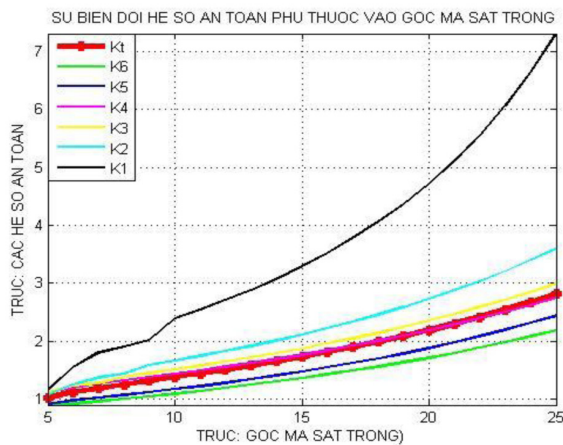
Hình 3.6. Mỗi quan hệ giữa góc ma sát trong φ (°) của đất với hệ số an toàn chống trượt K_p , chống lật K_q



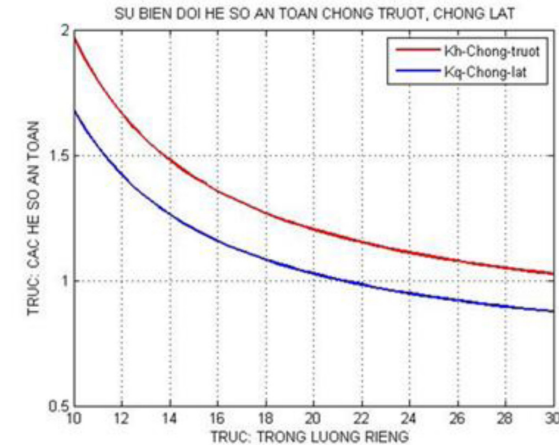
Hình 3.4 Mỗi quan hệ giữa lực dính c (kPa) của đất với hệ số an toàn chống trượt K_p , chống lật K_q



Hình 3.7. Mỗi quan hệ giữa trọng lượng riêng của đất γ (kN/m³) với các hệ an toàn nội bộ K_r, K_i



Hình 3.5. Mỗi quan hệ giữa góc ma sát trong φ (°) của đất với các hệ an toàn nội bộ K_r, K_i



Hình 3.8. Mỗi quan hệ giữa trọng lượng riêng của đất γ (kN/m³) với hệ số an toàn chống trượt K_p , chống lật K_q

4. Nhận xét và thảo luận

Qua kết quả trong bảng 3.1 và đồ thị ở hình 3.2 ta nhận thấy hệ số an toàn của các đỉnh đất K_i và hệ số an toàn tổng thể của hệ đỉnh đất K_t đều tăng

khi chiều dài đỉnh tăng lên. Chiều dài đỉnh đất có thể thay đổi do phụ thuộc vào phạm vi tác dụng của siêu tải mặt đất, phạm vi cung trượt của các lớp đất. Tuy nhiên, qua hình vẽ cho thấy, với số liệu địa

chất và các thông số của đỉnh đất trong bài toán này thì hệ số an toàn bằng 1,5 bắt đầu từ điểm có chiều dài đỉnh trong khoảng từ 10-12m, do đó không nên chọn chiều dài các đỉnh đất có giá trị nhỏ hơn 10m nhưng cũng không nên chọn quá lớn dẫn đến lãng phí vật liệu và khó khăn trong thi công. Do đó trong bài báo này khuyến cáo nên chọn chiều dài đỉnh đất nằm trong khoảng từ 10-14m.

Qua các bảng kết quả tính toán và các đồ thị khảo sát ở trên ta nhận thấy hệ số an toàn nội bộ (an toàn tổng thể và chống nhỏ) của các đỉnh và các hệ số an toàn chống trượt, chống lật (giữ ổn định bên ngoài) của tường đỉnh đất đều tăng khi lực dính của đất (c) tăng hoặc góc ma sát trong của đất (φ) tăng. Tuy nhiên, giá trị các hệ số an toàn trên giảm đi khi trọng lượng riêng của đất (γ) tăng lên.

Lực dính (c) đóng vai trò rất quan trọng trong việc tăng cường khả năng chống trượt của khối đất. Khi lực dính tăng, sức kháng trượt của đất tăng theo, từ đó hệ số an toàn tăng đáng kể. Đối với đất có lực dính cao (như sét cứng), tường đỉnh đất có thể yêu cầu ít đỉnh hơn hoặc đỉnh ngắn hơn mà vẫn bảo đảm an toàn. Trong thiết kế thực tế, nếu lực dính giảm (do thời tiết, đất nứt nẻ hoặc ảnh hưởng của hóa chất), hệ số an toàn sẽ giảm nhanh chóng, vì lực dính là thành phần đóng góp trực tiếp vào lực kháng cắt. Vì vậy, khi sử dụng công nghệ đỉnh đất cần kiểm tra các điều kiện môi trường mang tính lâu dài để không làm suy giảm lực dính của đất, đặc biệt với đất sét trong môi trường ngập nước.

Góc ma sát trong (φ) thể hiện khả năng phát triển ma sát bên trong khối đất, là yếu tố then chốt trong việc tạo ra lực kháng cắt. Khi φ tăng, lực ma sát giữa các hạt đất và giữa đỉnh đất với đất tầng, làm tăng đáng kể giá trị các hệ số an toàn. Đất cát, đất sỏi thường có φ cao nên có lợi cho công nghệ đỉnh đất. Với đất có φ thấp (như sét mềm, đất bùn), cần bố trí đỉnh đất dày hơn, dài hơn hoặc tăng thêm các biện pháp gia cố khác. Khi độ bão hòa nước cao, φ có thể giảm, ảnh hưởng tiêu cực đến độ ổn định tường đỉnh đất.

Trọng lượng riêng (γ) ảnh hưởng đến lực tác động lên mặt trượt tiềm năng. Khi γ tăng, tải trọng bản thân đất tăng, đồng thời làm tăng lực cắt trên mặt trượt dẫn đến làm giảm hệ số an toàn nếu không tăng cường khả năng kháng trượt tương ứng. Tuy nhiên, trọng lượng bản thân đất cũng giúp tăng ma sát ở các mặt trượt nằm ngang. Đất có γ thấp (như đất tơi xốp, đất hữu cơ) sẽ tạo ra tải trọng nhỏ nhưng đồng thời cũng có sức kháng nhỏ. Đất có γ cao (như đất sét nén chặt, đất có hàm lượng nước cao) cần tính toán cẩn trọng vì lực gây trượt tăng nhanh.

Tài liệu tham khảo

- [1]. PGS.TS Nguyễn Bá Kế, Thiết kế và thi công hố móng sâu, Nhà xuất bản Xây dựng, số 385, 2002.
- [2]. Nguyễn Thế Phùng, Nguyễn Ngọc Tuấn, Thi công hầm, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 1997.
- [3]. Nguyễn Xuân Trọng, Thi công hầm và công trình ngầm, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội, 2004.
- [4]. Vũ Công Ngữ, Nguyễn Văn Dũng, Cơ học đất, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 2006.
- [5]. Hoàng Văn Tân, Trần Đình Ngô, Phan Xuân Trường, Phạm Xuân, Nguyễn Hải, Những phương pháp xây dựng công trình trên nền đất yếu, Nhà xuất bản Giao thông Vận tải, TP. Hồ Chí Minh, 2006.
- [6]. Đặng Trung Thành, Đặng Văn Quân, Gia cố đất đá và thi công công trình ngầm trong điều kiện đặc biệt, NXB Xây dựng, 2018.
- [7]. Đỗ Ngọc Thái, Phạm Thị Nhân, Thi công công trình ngầm, NXB Xây dựng, 2021.
- [8]. Malcom Puller, Deep excavation: a practical manual, Thomas Telford, London, 1996.
- [9]. Kai S. Wong, Deep excavation in clay, Ashort course, Hanoi, 2001.
- [10]. В.М. Кузнецов, Математические модели взрывного дела, "НАУКА Новосибирск", Киев, 1977.
- [11]. М.И. Даниленко, Использование энергии взрыва в строительстве, "Будивельник", Киев, 1981.