

# TÍNH TOÁN ỔN ĐỊNH VÁCH HÀO BENTONITE TRONG ĐẤT ÍT DÍNH

Nguyễn Cảnh Thái  
Lương Thanh Hương

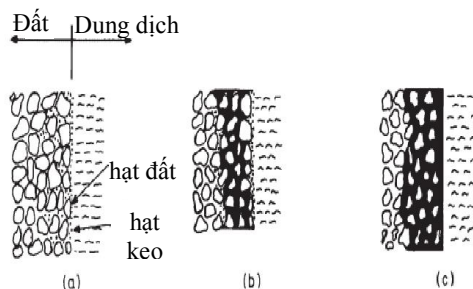
## Tóm tắt:

Tường hào bentonite thường được sử dụng để xử lý chống thấm cho đập và nền. Khi đào hào trong dung dịch bentonite, vấn đề ổn định của vách hào cần đặc biệt được quan tâm. Bài báo đề cập đến các yếu tố ảnh hưởng đến ổn định hào bentonite và phương pháp tính toán ổn định vách hào đang được sử dụng hiện nay. Các tác giả đã xây dựng các biểu đồ tra cứu ổn định vách hào trong các điều kiện khác nhau. Dựa trên các kết quả nghiên cứu, bài báo đưa ra một số khuyến cáo khi đào hào trong dung dịch bentonite để đảm bảo an toàn ổn định trong quá trình thi công.

**Keywords:** ổn định, tường hào, dung dịch bentonite, chống thấm

## 1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong những năm qua ở lĩnh vực xây dựng các công trình thủy đã có nhiều biện pháp chống thấm mới được ứng dụng mang lại hiệu quả kinh tế cao góp phần nâng cao chất lượng công trình đặc biệt là công nghệ chống thấm bằng tường hào bentonite. Tường hào được xây dựng bằng cách đào hào trong dung dịch bentonite. Ngay sau khi hào được đào xong, hào được nhanh chóng lấp đầy bằng vữa xi măng-bentonite hay hỗn hợp đất-bentonite. Để đảm bảo an toàn trong quá trình thi công, ổn định vách hào là một vấn đề được đặc biệt quan tâm.



(a) Các hạt lấp vào lỗ rỗng; (b) Dung dịch xâm nhập; (c) Hình thành màng không thấm

### Hình 1. Quá trình hình thành màng bentonite ở vách hào

Hình 1 mô tả sơ đồ nguyên lý làm việc của quá trình dung dịch bentonite xâm nhập vào vách hào. Dung dịch xâm nhập vào lỗ rỗng của đất trong vách hào do chênh lệch về áp lực giữa dung dịch vữa và nước ngầm.

Trong quá trình này một số hạt bắt đầu chiếm chỗ ở các vị trí lỗ rỗng giữa các hạt đất trong vách hào (hình 1a). Quá trình xâm nhập tiếp tục dẫn đến có nhiều hạt hơn tích lũy trong lỗ rỗng của đất. Cho đến khi các hạt nhỏ này lấp đầy các lỗ rỗng của đất tạo nên một lớp màng đặc có hệ số thấm nhỏ. Màng này sẽ được tiếp tục phủ bởi một màng gồm các hạt bentonite gọi là màng bentonite (bentonite cake, hình 1c).

Sự ổn định của các hào được chống đỡ bởi: (1) áp lực thủy tĩnh của vữa, (2) sự keo hóa của lớp vữa đã thâm nhập vào trong đất địa phương, và (3) các hiệu ứng ba chiều.

Cơ chế quan trọng nhất mà dung dịch vữa bentonite chống đỡ vách hào là áp lực hông của vữa. Hiệu quả của sự chống đỡ này phụ thuộc vào sự hình thành lớp màng có hệ số thấm nhỏ ở vách hào để áp lực thủy tĩnh do dung dịch bentonite tạo ra có thể truyền hoàn toàn lên vách hào. Lớp vữa dính bám trên vách hào đồng thời ngăn ngừa sự dịch chuyển của các hạt riêng lẻ của đất tại vách hào tránh hiện tượng mất ổn định cục bộ.

Thông thường trong thiết kế, lớp màng mỏng bentonite thường được giả thiết là đã được hình thành và vách hào sẽ ổn định nếu mức dung dịch trong hào được giữ cao hơn mực nước ngầm ở khu vực bên cạnh và dung trọng của dung dịch đủ lớn để tạo nên áp lực giữ cân bằng.

Các phương pháp phân tích ổn định đã được đề xuất dựa trên áp lực thủy tĩnh của vữa. Piaskowski và Kowalewski (1965) và Huder (1972) đã đề xuất các phương pháp đăng ứng suất, trong đó áp lực của vữa phải bằng hoặc vượt quá áp lực hông chủ động của đất tại mọi điểm trong hào, nhưng Duguid và các cộng sự (1971) đã cho thấy rằng các phương pháp đăng ứng suất đánh giá thấp sự ổn định tổng thể của hào. Nash và Jones (1963) đã phát triển phương pháp cân bằng lực, phương pháp này sau đó được tổng quát hóa bởi Morgenstern và Amir-Tahmasseb (1968), để tính toán cho các mức khác nhau của vữa trong hào và mực nước ngầm trong đất. Morgenstern và Amir-Tahmasseb cũng chỉ ra sự quan trọng của việc sử dụng trọng lượng riêng của vữa trong hào hơn là sử dụng trọng lượng riêng của vữa tươi.

Sự dính bám của vữa lên vách hào tạo nên một lớp màng mỏng giúp ổn định các hạt đất riêng lẻ, nhưng bản thân lớp màng mỏng không có đủ cường độ để có thể tạo nên ảnh hưởng đáng kể tới sự ổn định tổng thể của hào.

Theo Elson (1968) và Gill (1980), ảnh hưởng của sự xâm nhập và đông kết của vữa làm tăng cường độ của đất ở vách hào. Mặt khác, Muller-Kirchenbauer (1972) chỉ ra rằng sự xâm nhập của vữa làm giảm cường độ của đất ở vách hào.

Đối với các hào dài được đào trong dung dịch bentonite, hiệu ứng 3 chiều không được xét đến như là nhân tố quan trọng; trong khi đó, đối với các khoang đào ngắn thì hiệu ứng 3 chiều có thể rất quan trọng, ví dụ như Piaskowski và Kowalewski (1965); Huder (1972); Washbourne (1984); Wong (1984); Tsai và Chang (1996); Oblozinski và các cộng sự (2001).

Khi tính toán ổn định cần kiểm tra khả năng hình thành lớp màng mỏng, từ đó ứng với mỗi trường hợp sẽ xem xét việc tính toán ổn định tổng thể hay ổn định cục bộ của vách hào. Có thể xảy ra 3 trường hợp như sau:

**Trường hợp 1:** Hình thành màng

không thấm hoàn chỉnh tại vách hào, dung dịch vữa không thấm qua được, chênh lệch giữa áp lực của vữa trong hào và áp lực nước ngầm được truyền toàn bộ lên cốt đất.

**Trường hợp 2:** Vữa trong hào thấm tự do với chiều sâu xâm nhập (không hình thành màng) chênh lệch áp lực  $\Delta p$  cân bằng với lực cắt dọc theo hang thấm. Tại nơi miền xâm nhập kết thúc, chênh lệch áp lực được cân bằng hoàn toàn bởi ứng suất theo phương ngang.

**Trường hợp 3:** Hình thành màng không hoàn chỉnh, chênh lệch áp suất được truyền lên vách hào nằm giữa trường hợp 1 và trường hợp 2.

Trong nội dung bài báo này chúng tôi đề cập chủ yếu trường hợp hình thành lớp màng mỏng ở vách hào.

## 2. CÁC PHƯƠNG PHÁP TÍNH ỔN ĐỊNH VÁCH HÀO

### 2.1. Hào đào trong đất dính

Lực duy trì sự ổn định chính của vách hào trong quá trình đào hào là lực thủy tĩnh được tác dụng lên vách hào. Với tường hào được đào trong đất sét đồng chất, phân hào đào ra chỉ duy trì vài ngày để đổ và đầm lấp vật liệu, hệ số an toàn ổn định là (Nash và Jones 1963):

$$F = \frac{4 \cdot C_u}{H(\gamma - \gamma_s)}, \quad (1)$$

Trong đó:

F: hệ số an toàn;

$C_u$ : lực dính không thoát nước của đất;

H: Chiều sâu của hào;

$\gamma$ : trọng lượng riêng của đất;

$\gamma_s$ : trọng lượng riêng của vữa bentonite.

### 2.2. Hào đào trong đất không dính

Với tường hào được đào trong đất không dính bão hòa nước với mực nước ngầm và mực vữa trong quá trình đào đều ở mặt đất tự nhiên (Nash và Jones 1963):

$$F = \frac{2 \cdot (\gamma' \cdot \gamma_s')^{0.5} \cdot \text{tg} \varphi}{\gamma' - \gamma_s'}, \quad (2)$$

Trong đó:

$\gamma'$ : dung trọng đẩy nổi của đất;

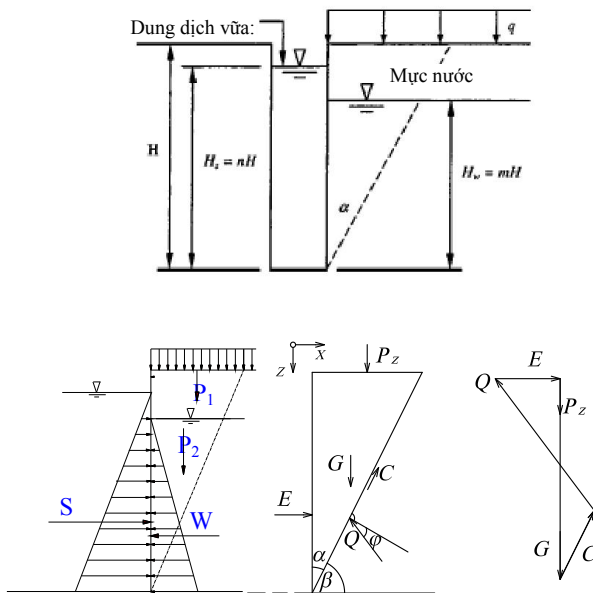
$\gamma'_s$  dung trọng của dung dịch bentonite.

Fizl và các cộng sự (2004) dựa trên các phương pháp của Nash và Jones (1963); Morgenstern và Amir-Tahmasseb (1965) và Duguid cùng cộng sự (1971) thiết lập một công thức tính ổn định mới có xét đến khả năng có áp lực gia tải và hệ số an toàn được đánh giá trên cường độ của đất, đó là  $tg\phi$ , thay cho đánh giá theo trọng lượng riêng của vữa.

Công thức tính ổn định tổng thể vách hào do Fliz và các cộng sự (2004) xây dựng đơn giản, có độ chính xác cao tuy nhiên nó chỉ áp dụng được cho đất rời hoàn toàn ( $C=0$ ). Trong thực tế hào được thi công ở nhiều khu vực có lực dính  $C \neq 0$ . Sự hiện diện của lực dính  $C$  dù nhỏ có ảnh hưởng rất lớn đến ổn định của vách hào đặc biệt là khu vực gần mặt đất.

### 2.3. Hào được đào trong đất ít dính

Công thức tính ổn định dựa trên nguyên lý cân bằng giới hạn có xét đến ảnh hưởng của lực dính theo sơ đồ Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ tải trọng và mặt trượt

- Mặt trượt tạo với phương thẳng đứng một góc  $\alpha$  với  $\alpha = \left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) + \Delta\alpha$ , (3)

Với  $\Delta\alpha$  thường nằm trong phạm vi  $-5^\circ$  đến  $5^\circ$ .

Các thành phần lực được xác định như sau :

-  $S$  - Áp lực thủy tĩnh do dung dịch vữa tác động lên vách hào ;

-  $W$  - Áp lực thủy tĩnh do nước ngầm tác động lên vách hào ;

- Trọng lượng phần đất trong khối trượt nằm trên đường bão hòa được tính với dung trọng tự nhiên :

$$G_1 = 0,5(H^2tg\alpha - m^2H^2tg\alpha).\gamma_{tn}$$

- Trọng lượng khối đất trượt nằm dưới đường bão hòa tính theo dung trọng đẩy nổi:

$$G_2 = 0,5m^2H^2tg\alpha.\gamma_{dn}$$

- Áp lực phân bố trên đỉnh hào :

$$P_z = q.H.tg\alpha$$

- Tổng các lực theo phương thẳng đứng tác dụng lên mặt trượt :  $V = P_z + G_1 + G_2$

- Lực dính  $C$  trên bề mặt có tác dụng chống trượt, trong tính toán bỏ qua sự thay đổi của lực ở trên và dưới đường bão hòa:

$$C = c \cdot \frac{H}{\cos\alpha} \text{ với } c - \text{lực dính đơn vị}$$

- Hệ số an toàn ổn định được xác định theo công thức :

$$F = \frac{S - W}{\left( V - C \left( \sin\beta + \frac{\cos\beta}{tg(\beta - \phi)} \right) \right) \cdot tg(\beta - \phi)} \quad (4)$$

Trong đó,  $m, n, \alpha, \beta, \phi$  kí hiệu trên hình 2.

### 3. THIẾT LẬP BẢNG TRA TÍNH ỔN ĐỊNH VÁCH HÀO

Sử dụng phương pháp tính toán ổn định vách hào theo công thức (4) các tác giả đã tính toán nhiều tổ hợp khác nhau để xây dựng các biểu đồ phục vụ công tác tra cứu. Các tổ hợp tính toán được đề cập như sau:

#### 3.1. Các tổ hợp tính toán

- Chiều sâu hào lớn nhất 40m. - Đất đắp có dung trọng bão hòa  $\gamma_{sw}=20 \text{ kN/m}^3$ , dung trọng tự nhiên  $\gamma_m=19 \text{ kN/m}^3$ .

**Bảng 1. Các tổ hợp tính toán**

|                                 |                          |
|---------------------------------|--------------------------|
| $H_s$ (m)                       | 39, 39.5, 40             |
| $H_w$ (m)                       | 32, 34, 36, 38           |
| C (KN/m <sup>2</sup> )          | 0, 2, 4                  |
| $\varphi$ (độ)                  | 15, 20, 25, 30           |
| $\gamma_s$ (KN/m <sup>3</sup> ) | 10.5, 11, 11.5, 12, 12.5 |

### 3.2. Kết quả tính toán

Kết quả tính toán được thể hiện theo các đồ thị biểu diễn hệ số ổn định vách hào ứng với các chiều sâu đào hào khác nhau, trong các trường hợp thay đổi cao trình bentonite trong hào, mực nước ngầm, lực dính C, góc ma sát trong  $\varphi$ , dung trọng bentonite.

Các đồ thị ĐT 4.1 đến ĐT 4.9 thể hiện đường quan hệ giữa hệ số an toàn ổn định (trục x) và chiều sâu đào hào (trục y) khi bentonite dưới đỉnh hào 1m, nước ngầm dưới đỉnh hào 4m.

Đồ thị ĐT 4.10 biểu diễn sự thay đổi hệ số an toàn theo chiều sâu đào hào khi cao trình dung dịch bentonite trong hào thay đổi.

Đồ thị ĐT 4.11 biểu diễn sự thay đổi hệ số an toàn theo chiều sâu đào hào khi cao trình mực nước ngầm thay đổi.

Với hào có kích thước đã biết, chiều sâu bentonite và mực nước ngầm xác định, sẽ tra được hệ số an toàn ổn định K của vách hào tương ứng.

### 3.3. Kiểm tra bằng phần mềm Geo-Slope

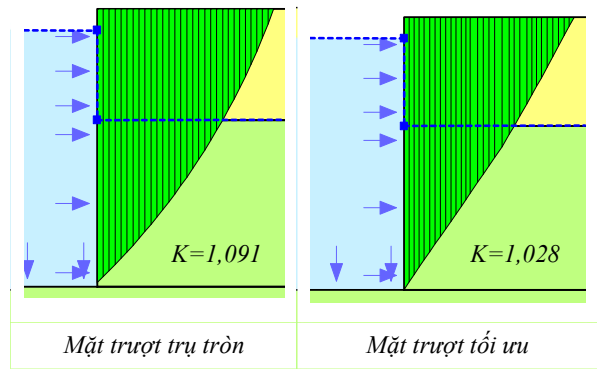
Tính toán với hào đào trong dung dịch bentonite có dung trọng  $\gamma=10,5 \text{ KN/m}^3$ , ở các chiều sâu khác nhau, đất đào hào có chỉ tiêu  $C=2 \text{ KN/m}^2$ ,  $\varphi=30^\circ$ .

Tính toán cho các chiều sâu hào khác nhau  $H=5\text{m}$ ,  $H=10\text{m}$ ,  $H=20\text{m}$ .

Kết quả tính toán so sánh từ biểu đồ đã lập và kết quả từ phần mềm Geo-Slope:

Kết quả tính toán với phương pháp Mogenstern –Price với mặt trượt tối ưu trong phần mềm Geo Slope và tra biểu đồ Hình

4.6 được thể hiện trong bảng 2.



**Hình 3.** Hệ số an toàn ổn định của các dạng mặt trượt

Kết quả trong bảng 2 cho thấy: tất cả các trường hợp đều cho kết quả với sai số nhỏ.

**Bảng 2.** So sánh hệ số an toàn ổn định

| Chiều sâu hào | Hệ số an toàn F |       | Sai số |
|---------------|-----------------|-------|--------|
|               | Biểu đồ         | Geo   |        |
| H=5m          | 1,2             | 1,195 | 0,4%   |
| H=10m         | 1,03            | 1,028 | 0,1%   |
| H=20m         | 0,75            | 0,746 | 0,5%   |

Về hình dạng mặt trượt, mặt trượt tính theo phương pháp Mogenstern –Price có dạng cong hệ số an toàn ổn định  $K=1,091$ , khi tính toán tối ưu hóa mặt trượt, mặt trượt có dạng thẳng hệ số an toàn ổn định  $K=1,028$ . Góc nghiêng của mặt trượt so với phương đứng:  $\alpha=33^\circ$  (hình 3).

So sánh với kết quả tính toán từ biểu đồ, với hào sâu 10m có các chỉ tiêu cơ lý đất đào hào như đang xét, biểu đồ hình 4.6 cho hệ số an toàn ổn định  $F=1,02$ . Mặt trượt trong đất ít dính được xác định theo công thức (4) với  $\varphi=30^\circ$  có góc nghiêng so với phương đứng  $\alpha=31^\circ$

Như vậy kết quả tính toán từ biểu đồ lập sẵn

và kiểm chứng từ phần mềm Geo-Slope với mặt cắt đang xét là phù hợp.

#### 4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở nghiên cứu tính toán có thể rút ra một số kết luận sau:

- Cao độ của bề mặt vữa và mực nước ngầm có ảnh hưởng lớn đến sự ổn định. Hình ĐT 4.11 biểu diễn các giá trị ổn định của tường hào ứng với các mực nước ngầm khác nhau. Có thể thấy trên đồ thị 4.11 rằng, trong trường hợp mặt vữa ngang với đỉnh hào, mực nước ngầm càng cao thì hệ số an toàn càng giảm. Tại chiều sâu hào 15m khi mực nước ngầm chỉ tăng 2m (từ 36m lên 38m) vách hào từ ổn định sẽ bị mất ổn định.

- Đồ thị 4.10 thể hiện ảnh hưởng mực dung dịch bentonite đến ổn định vách hào. Tại chiều sâu hào 20m khi mực dung dịch hạ xuống 1 m vách hào sẽ bị mất ổn định.

- Trong việc đánh giá rủi ro mất ổn định của đỉnh hào, điều đáng lưu ý là lượng nhỏ của lực dính, áp suất mao dẫn, hoặc rễ cây thực vật có thể làm tăng sự ổn định của nê-m phá hoại nông và như thế hậu quả của phá hoại nông có thể không nghiêm trọng bằng hậu quả của sự sụp đổ của toàn bộ hào. Tuy nhiên, đồ thị 4.10 cho thấy cần phải lưu ý tới khả năng của cả hai dạng mặt phá hoại nông và sâu.

- Áp lực gia tải cũng có thể gây ảnh hưởng có hại lớn tương tự như ảnh hưởng của sự sụt giảm mực vữa: Sự ổn định tại đỉnh hào bị giảm đáng kể và sự ổn định của toàn bộ hào cũng bị giảm đi.

- Khi đào hào trong nền đất hạt rời (cát thô, cuội sỏi) cần đặc biệt lưu ý khả năng mất vữa. Khi mực vữa bị hạ thấp sẽ xảy ra khả năng mất ổn định như thể hiện trong đồ thị 4.10.

Để nâng cao ổn định vách hào có các giải pháp sau:

- Giữ mực vữa cao nhất có thể trong hào. Trong các trường hợp mặt đất dốc hoặc mực nước ngầm cao, có thể yêu cầu xây dựng các bờ đất dọc theo mép hào.

- Tăng trọng lượng riêng của vữa. Điều này

có thể thực hiện bằng cách tăng nồng độ bentonite để có nhiều hạt cát mịn và cát bụi từ quá trình đào xâm nhập vào vào trong dung dịch vữa; bằng cách trộn các hạt cát mịn và cát bụi hoặc các phụ gia khác vào trong vữa trước khi đưa chúng vào trong hào; hoặc bằng cách kết hợp các phương pháp trên.

- Giảm cao độ mực nước ngầm.

- Tránh đặt các tải trọng trên mặt đất cạnh vách hào.

#### Tài liệu tham khảo

1. Duguid, D. R., Forbes, D. J., Gordon, J. L., and Simmons, O. K. (1971). "The slurry trench cutoff for Duncan Dam." *Can. Geotech. J.*, 8(1), 94–108.
2. Elson WK. (1968). An Experimental Investigation of the Stability of Slurry trenches. *Geotechnique* 18(1):37±49.
3. Gill, S. A. (1980). "Application of slurry walls in civil engineering." *J.Constr. Div., Am. Soc. Civ. Eng.*, 106(2), 155–167.
4. Huder, J. (1972). "Stability of bentonite trenches with some experience in swiss practice." *Proc., 5th European Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Madrid, Spain*, 1, 517–522.
5. George M. Filz; Tiffany Adams and Richard R. Davidson (2004) Stability of long trenches in sand supported by bentonite water slurry. *ASCE*.
6. Morgenstern, N. and Amir-Tahmassebi, I. (1965). "The stability of a slurry trench in cohesionless soils." *Geotechnique*, Vol. XV, No. 4, Dec., 387-395.
7. Muller-Kirchenbauer, H. (1972) "Stability of slurry trenches." *Proc., 5th European Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cimentaciones, Madrid, Spain*, 1, 543–553.
8. Nash, J. K. T. L., and Jones, G. K. (1963). "The support of trenches using fluid mud." *Proc., Symp. on Grouts and Drilling Muds in Engineering Practice, Butterworths, London*, 177–180.
9. Oblozinsky, P., et al. (2001). "A design method for slurry trench wall stability in sandy ground based on the elasto-plastic FEM." *Comput. Geotech.*, 28, 145–159.
10. Piaszkowski A, Kowalewski Z. Application of

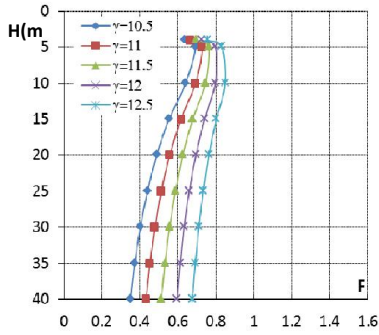
thixotropic clay suspension for stability of vertical sides of deep trenches without strutting. In: *Proc. of 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, vol. 2, Montreal, 1965. p. 526±9.

11. Tsai J-S, Chang J-C.(1996). Three-dimensional stability analysis for slurry-filled trench wall in cohesionless soil. *Can Geotech J*

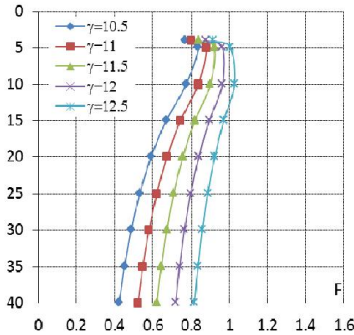
33:798±806

12. Washbourne J. (1984). The three dimensional stability analysis of diaphragm wall excavation. *Ground Engineering*;17(4):24±9

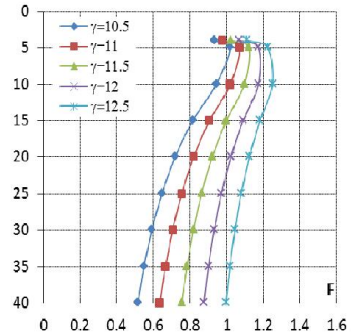
13. Wong, G. C. Y. (1984), "Stability analysis of slurry trenches." *J. Geotech. Engrg*, Vol. 110, No. 11, ASCE, 1577-1590.



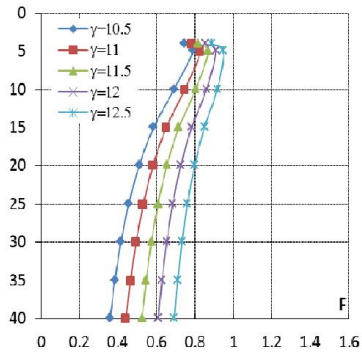
H4.1.Hs =H-1, Hw =H-4, c =0, φ=20



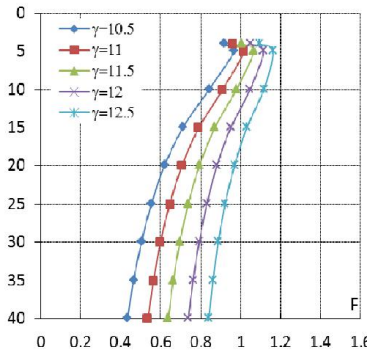
H4.2.Hs =H-1, Hw =H-4, c =0, φ=25



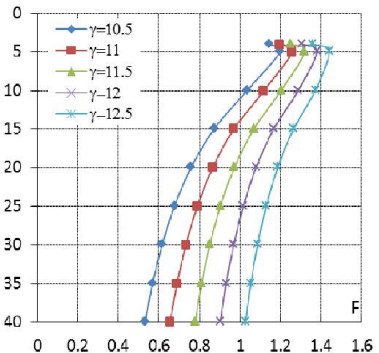
H 4.3.Hs =H-1, Hw =H-4, c =0, φ=30



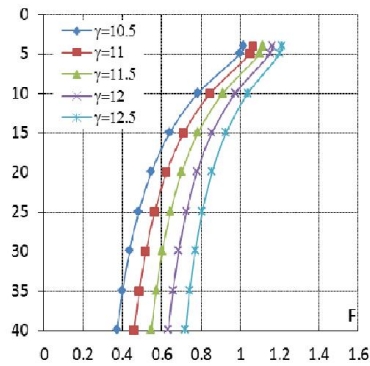
H4.4.Hs =H-1, Hw =H-4, c =2, φ=20



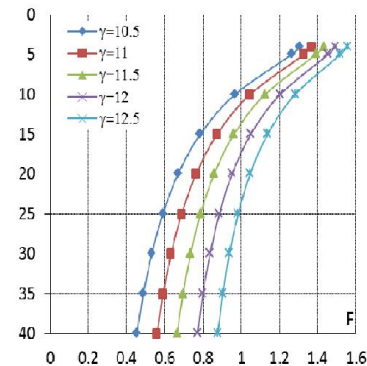
H4.5.Hs =H-1, Hw =H-4, c =2, φ=25



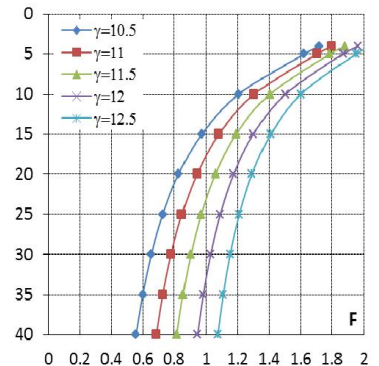
H 4.6.Hs =H-1, Hw =H-4, c =2, φ=30



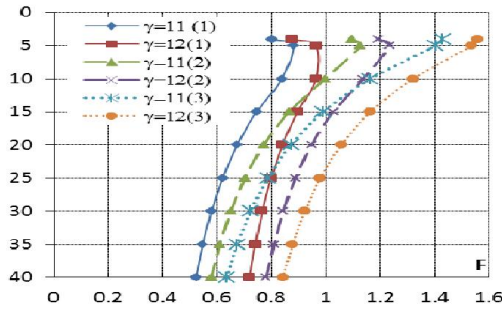
H4.7.Hs =H-1, Hw =H-4, c =5, φ=20



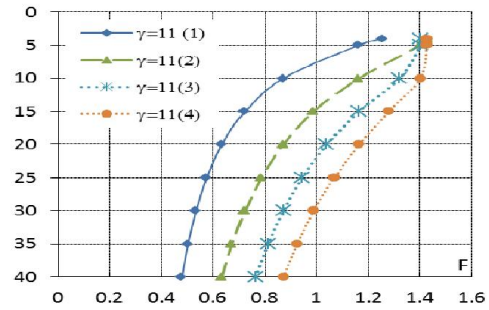
H4.8.Hs =H-1, Hw =H-4, c =5, φ=25



H 4.9.Hs =H-1, Hw =H-4, c =5, φ=30



**ĐT 4.10.** Mực nước ngầm 34m, đất đào hào có  $\varphi=25$ ,  $C=0KN/m^2$   
 (1) H Bentonite = 39 – (2) H Bentonite = 39,5  
 (3) H Bentonite = 40



**ĐT 4.11.** Mực vừa ngang đỉnh hào, đất đào hào có  $\varphi=25$ ,  $C=0KN/m^2$   
 (1) H nước ngầm = 38 ; (2) H nước ngầm = 36  
 (3) H nước ngầm = 34 ; (4) H nước ngầm = 32

**Hình 4.** Các đồ thị xác định hệ số an toàn ổn định của vách hào

### Abstract

### STABILITY OF SLURRY SUPPORTED TRENCHES IN LOW COHESION SOILS

Soil-bentonite slurry trench is often used as an antiseepage structure for embankment dams and foundations. The stability of slurry trench during construction should be paid attention. The paper discussed the factors affecting the stability of slurry trench and stability analysis methods being used today. The stability charts under different conditions are drawn. Based on the research results, the paper gives some recommendations to ensure the stability safety of bentonite slurry trench during construction period.

**Key words:** stability, trench, bentonite slurry, antiseepage