

ÁP LỰC ĐẤT LÊN TƯỜNG CHẮN VỚI BỀ RỘNG ĐẤT SAU TƯỜNG BỊ GIỚI HẠN

ACTIVE EARTH PRESSURE ON RETAINING WALLS OF NARROW BACKFILL WIDTH

PHẠM VIỆT ANH^a, NGUYỄN ĐỨC MẠNH^{b*}, LÊ THIẾT TRUNG^a

^aBộ môn Cơ học đất-Nền móng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

^bBộ môn Cảng đường thủy, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

*Tác giả liên hệ: e-mail: anhpv@huce.edu.vn

Ngày nhận bài: 1/12/2022, Sửa xong: 26/12/2022, Chấp nhận đăng: 29/12/2022

Tóm tắt: Lý thuyết áp lực đất tác dụng lên tường chắn thường được xây dựng theo hai phương pháp truyền thống, dựa trên lý thuyết cân bằng giới hạn của Rankine và lý thuyết cân bằng khối trượt rắn của Coulomb. Cả hai lý thuyết đều giả định rằng các đất lấp sau tường có thể mở rộng đến một khoảng cách đủ để mặt phẳng phá hoại có thể phát triển đầy đủ. Hạn chế của các cách tiếp cận này không kể đến ảnh hưởng của chiều rộng đất lấp sau tường. Trong thực tế nhiều trường hợp chiều rộng đất sau tường hẹp, do đó cần được xem xét kể đến khi tính toán áp lực đất lên tường. Ví dụ khi cần mở rộng đường giao thông tường chắn được xây dựng phía trước các tường hoặc vách đá đã ổn định, hoặc các công trình hố đào sâu mới được xây dựng gần các công trình ngầm hiện có trong các khu vực đô thị. Trong những trường hợp này, phần đất lấp sau tường hẹp có ảnh hưởng rõ ràng đến sự phát triển đầy đủ của một nêm phá hoại, khi đó lý thuyết áp lực đất ban đầu của Rankine và của Coulomb sẽ không còn phù hợp. Trong nghiên cứu này, dựa trên lý thuyết áp lực đất của Coulomb, áp lực đất chủ động tác dụng lên tường trong trường hợp đất lấp sau tường hạn chế sẽ được xác định. Kết quả của bài báo cho thấy áp lực đất tác dụng lên tường giảm đáng kể khi bề rộng đất sau tường nhỏ. Kết quả nghiên cứu có thể được áp dụng trong các trường hợp thiết kế thực tế.

Từ khóa: áp lực đất, Rankine, Coulomb, tường chắn, đất sau tường giới hạn

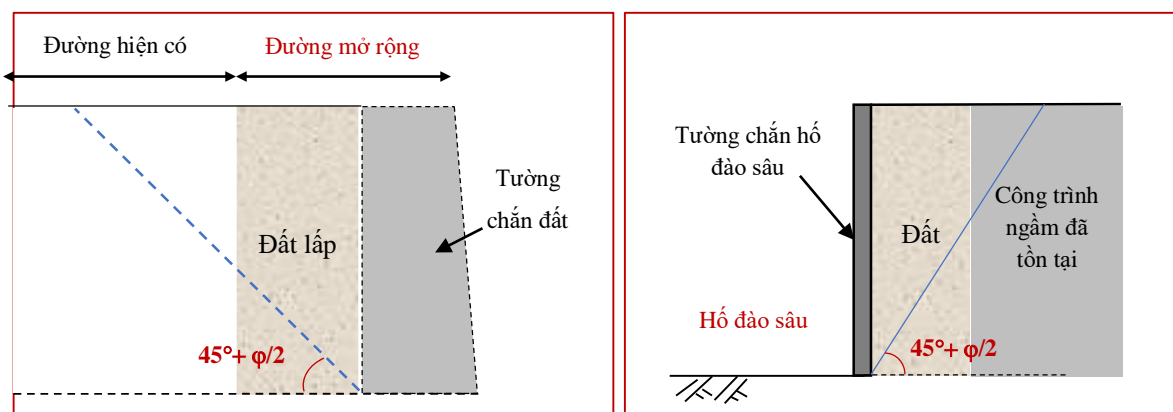
Abstract: The earth pressure acting on the retaining wall is usually based on Rankine's limit equilibrium theory and Coulomb's solid sliding mass equilibrium theory. Both methods assume that the backfills can extend to a sufficient distance for the failure plane to fully develop. Therefore, these

approaches cannot account for the influence of the backfill width behind the wall. In practice there are many cases of narrow backfill behind the wall. For example, reinforced walls are built in front of stabilized walls or rock, or structures with deep excavations are built near existing underground structures in urban areas. In these cases, the narrow backfill has a significant effect on the full development of a failure wedge according to Rankine's or Coulomb's theory. In this paper, the active earth pressure acting on the wall with a narrow backfill is determined based on Coulomb's theory. The results of the paper show that the earth pressure acting on the wall is significantly reduced when the soil width behind the wall is narrow. This result can be applied in real design cases.

Keywords: earth pressure, Rankine, Coulomb, retaining walls, narrow backfill

1. Đặt vấn đề

Lý thuyết áp lực đất tác dụng lên tường chắn theo phương pháp truyền thống dựa trên lý thuyết cân bằng giới hạn của Rankine và lý thuyết cân bằng khối trượt rắn của Coulomb đều giả định rằng đất lấp sau tường có thể mở rộng đến một khoảng cách đủ để mặt phẳng phá hoại có thể phát triển đầy đủ. Trong thực tế, có nhiều trường hợp có bề rộng đất sau tường bị giới hạn, không đủ để phát triển đầy đủ của một nêm phá hoại. Ví dụ khi mở rộng đường giao thông, tường chắn được xây dựng phía trước các tường hoặc gần vách đá đã ổn định trước đó, hoặc các công trình hố đào sâu được xây dựng gần các công trình ngầm hiện có trong các khu vực đô thị (Hình 1). Áp lực đất tác dụng lên tường trong các trường hợp này chưa được xem xét đầy đủ.



Hình 1. Minh họa một số trường hợp trong thực tế bề rộng đất sau tường hẹp: Hình trái, mở rộng đường giao thông hiện có; Hình phải hố đào sâu cạnh các công trình ngầm hiện có

Một cách tổng quát, lý thuyết áp lực đất tác dụng lên tường chắn được xây dựng theo ba nhóm phương pháp: (i) nhóm 1 - dựa trên lý luận cân bằng giới hạn khối đất của Rankine; (ii) nhóm 2 - dựa trên cơ sở lý thuyết cân bằng khối trượt rắn của Coulomb, (iii) nhóm 3 - được phát triển trong các năm gần đây, là nhóm các phương pháp số như phương pháp phần tử hữu hạn (FEM), phương pháp phần tử rời rạc (DEM), để xác định mặt trượt và áp lực lên tường chắn [1]–[5].

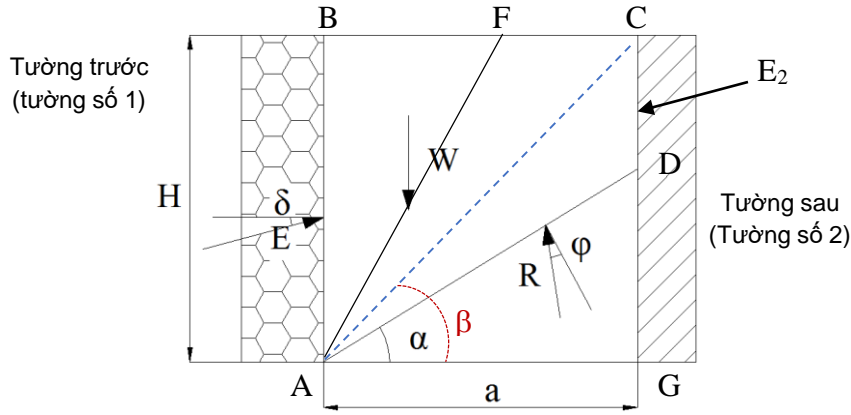
Lý thuyết áp lực đất của Rankine hiện nay được coi là một lý luận chặt chẽ về mặt toán học, song còn bị hạn chế ở chỗ chưa đưa ra được các lời giải và bảng tính sẵn cho mọi trường hợp cần thiết trong tính toán thực tế [3], [4], [6]–[8]. Các phương pháp số như phương pháp phần tử hữu hạn (FEM), phương pháp phần tử rời rạc (DEM) đã được sử dụng để nghiên cứu ứng xử cơ học của tường chắn đất trong các trường hợp phức tạp với các điều kiện hình học và địa kỹ thuật trong thực tế. Tuy nhiên, phương pháp số còn ít được sử dụng vì tính phức tạp của nó [2]. Phương pháp tính áp lực đất của Coulomb chỉ được coi là phương pháp gần đúng do những hạn chế của các giả thiết cơ bản [9], [10]. Mặc dù vậy, hiện nay phương pháp này vẫn được dùng rộng rãi trong thực tế, vì tính toán tương đối đơn giản và đặc biệt là có thể giải quyết được nhiều trường hợp phức tạp thường gặp [10]. Trong bài báo này phương pháp

của Coulomb được sử dụng để xác định áp lực đất tác dụng lên tường trong điều kiện khi bề rộng đất sau tường hẹp, không đủ không gian để phát triển hoàn chỉnh nêm trượt.

1. Phương pháp Coulomb dự báo áp lực đất lên tường chắn với đất sau tường hẹp

Xét một tường chắn có chiều cao H , đất đắp sau tường có khoảng rộng giới hạn là a . Đất sau tường gồm một lớp đất rời, có các đặc trưng cơ lý là trọng lượng riêng γ và góc ma sát trong φ .

Để xác định áp lực đất chủ động lên tường chắn trong trường hợp bề rộng đất sau tường giới hạn, áp dụng phương pháp của Coulomb cho trường hợp tổng quát. Xét cân bằng khối trượt dạng tứ giác ABCD/ hoặc dạng tam giác ABF với các giả thiết khối trượt là một khối cứng, và đạt trạng thái cân bằng giới hạn (Hình 2). Mặt trượt nguy hiểm hình thành trong đất là mặt phẳng ADC/ hoặc AF ứng với áp lực đất lớn nhất, giả thiết bỏ qua ma sát giữa đất và tường ($\delta = 0$). Cân bằng khối trượt rắn ABCD/ hoặc ABF xác định được áp lực đất tương ứng tác dụng lên tường E_α , E_α là một hàm phụ thuộc theo biến α (với α là góc tạo bởi mặt trượt và phương nằm ngang). Áp lực đất chủ động E_c tương ứng E_α đạt giá trị lớn nhất ($E_c = E_{\alpha_{max}}$), tương ứng ứng với mặt phẳng α là mặt phẳng nguy hiểm nhất (Hình 2).



Hình 2. Ắp lực đất tác dụng lên tường chắn

Trên Hình 2, xét mặt trượt phẳng hợp với phương ngang 1 góc α , có hai trường hợp xảy ra:

* Nếu $\alpha < \beta$, (β là góc được xác định bởi bề rộng hẹp sau tường, $\tan \beta = H/a$), lăng thể trượt có dạng tứ giác ABCD, với các cạnh AB, BC không đổi; khi α thay đổi, điểm D của lăng thể thay đổi theo phương đứng trên cạnh CG.

Lăng thể trượt có dạng tứ giác ABCD ở trạng thái cân bằng giới hạn. Hợp lực tác dụng lên khối trượt rấn ABCD bằng 0, ta có:

$$\sum \vec{W} + \vec{R} + \vec{E} = \vec{0} \quad (1)$$

trong đó, W là trọng lượng của khối trượt ABCD; R là phản lực của nền dưới mặt trượt lên khối ABCD; E là phản lực của tường lên khối ABCD. Trong trường hợp này, do khối ABCD có xu hướng dịch chuyển xa khỏi không gian tường sau (kí hiệu tường số 2), ắp lực tác dụng lên tường số 2 giả thiết $E_2 = 0$.

Ắp lực đất tác dụng lên tường cân bằng với phản lực E của tường lên khối đất ABCD, ắp lực này phụ thuộc vào mặt trượt α , $E(\alpha)$, kí hiệu ắp lực này là E_α . Thu gọn phương trình được biểu thức ắp lực đất lên tường chắn ứng với mặt trượt AD, E_α được xác định theo công thức sau:

$$a_4 = \frac{a_1}{\sqrt{a_2^2 + a_3^2}}; \cos a_5 = \frac{a_2}{\sqrt{a_2^2 + a_3^2}}; \sin a_5 = \frac{a_3}{\sqrt{a_2^2 + a_3^2}} \quad (9)$$

* Nếu $\alpha \geq \beta$, lăng thể trượt có dạng tam giác ABF, với cạnh AB không đổi, khi α thay đổi điểm F di chuyển theo phương ngang trên cạnh BC.

Với khối trượt dạng tam giác ABC, trọng lượng khối trượt ABC được tính toán giống trường hợp bài toán của Coulomb, sử dụng kết quả của Coulomb sẽ có nghiệm cực trị α là:

$$E_\alpha = W \times \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\sin(90 - \alpha + \varphi)} \quad (2)$$

Với W là trọng lượng của khối trượt rấn ABCD, được xác định như sau:

$$W = \gamma \times (2H - a \cdot \tan \alpha) \times \frac{a}{2} \quad (3)$$

Từ đó suy ra:

$$\Rightarrow E_\alpha = \gamma \times \frac{a}{2} \times (2H - a \times \tan \alpha) \times \tan(\alpha - \varphi) \quad (4)$$

Để tìm cực trị của $E(\alpha)$, giải đạo hàm của $E(\alpha)$:

$$E_\alpha' = [\gamma \times \frac{a}{2} \times (2H - a \times \tan \alpha) \times \tan(\alpha - \varphi)]' \quad (5)$$

Điều kiện cực trị khi $E'(\alpha) = 0$, tương ứng với:

$$I = [(2H - a \times \tan \alpha) \times \tan(\alpha - \varphi)]' = 0 \quad (6)$$

Giải phương trình $I = 0$, có nghiệm cực trị α là:

$$\Rightarrow \begin{cases} \alpha = \frac{\arcsin a_4 + a_5}{2} + k\pi \\ \alpha = \frac{\pi - \arcsin a_4 + a_5}{2} + k\pi \end{cases} \quad (7)$$

Với:

$$a_1 = \frac{H}{a \times \cos \varphi}; a_2 = \cos \varphi; a_3 = \sin \varphi + a_1 \quad (8)$$

$$\alpha = 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \quad (10)$$

* Tổng hợp nghiệm cực trị của $E(\alpha)$.

Kết hợp 2 trường hợp có nghiệm của phương trình $E'(\alpha) = 0$ là góc α chủ động kí hiệu α_c , được xác định như sau:

$$\alpha_c = \begin{cases} 45^\circ + \frac{\varphi}{2} & (\alpha > \beta) \\ \frac{\arcsin a_4 + a_5}{2} + k\pi & (\alpha \leq \beta) \\ \frac{\pi - \arcsin a_4 + a_5}{2} + k\pi & (\alpha \leq \beta) \end{cases} \quad (11)$$

Thay giá trị α_c vào phương trình áp lực đất $E(\alpha)$, có áp lực đất chủ động E_c là :

$$\Rightarrow E = \begin{cases} \gamma \times \frac{1}{2} \times H^2 \times \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) & \alpha > \beta \\ \gamma \times \frac{a}{2} \times (2H - a \times \tan \alpha) \times \tan(\alpha - \varphi) & \alpha \leq \beta \end{cases} \quad (12)$$

Với $\alpha = \alpha_c$ được xác định từ phương trình (11).

2. Khảo sát ảnh hưởng của bề rộng đất sau tường hẹp

Để nghiên cứu ảnh hưởng của bề rộng đất sau tường hẹp đến mô hình phá hoại và áp lực đất chủ động, tiến hành khảo sát áp lực đất chủ động và góc phá hoại của đất đắp sau tường với các trường hợp như sau:

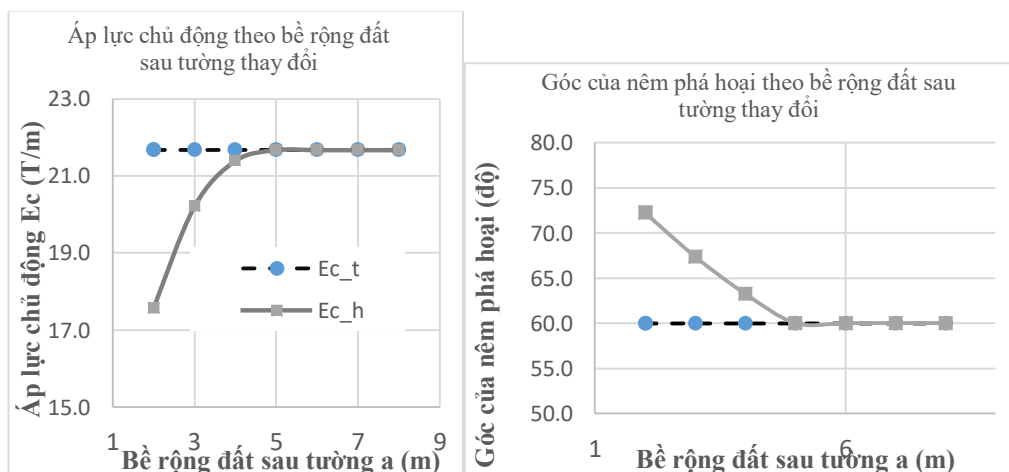
- Trường hợp 1: thay đổi bề rộng đất sau tường, cố định chiều cao tường và các đặc trưng của đất (γ, φ);
- Trường hợp 2: thay đổi đặc trưng kháng cắt của đất (φ), cố định chiều cao tường và bề rộng đất sau tường;
- Trường hợp 3: thay đổi chiều cao tường, cố định bề rộng đất sau tường và các đặc trưng của đất (γ, φ).

2.1 Trường hợp 1, thay đổi bề rộng đất sau tường

Xét trường hợp chiều cao tường $H = 8.5m$, và các đặc trưng của nền $\varphi = 30^\circ; \gamma = 1,8T/m^3$, khảo sát bề rộng đất sau tường (a) khác nhau. Theo lý thuyết của Coulomb, chiều rộng tối thiểu của lớp đất lấp để

nằm phá hoại chủ động có thể phát triển đầy đủ được tính toán là $4,9m$. Do đó, chiều rộng của đất lấp sau tường được khảo sát trong phạm vi từ $2.0m$ đến $8,0m$. Kí hiệu $E_{c,h}$ là áp lực đất chủ động trong trường hợp đất sau tường hẹp có bề rộng là a , $E_{c,t}$ là áp lực đất chủ động trong trường hợp thông thường với bề rộng đất sau tường đủ lớn.

Kết quả tính toán cho thấy rằng (Hình 3), khi bề rộng sau tường nhỏ, tỷ lệ bề rộng đất sau tường/chiều cao tường nhỏ hơn $5/8.5$ thì áp lực đất khi bề rộng đất sau tường hẹp nhỏ hơn áp lực đất trong trường hợp thông thường bề rộng giả thiết vô hạn ($E_{c,h} < E_{c,t}$), bề rộng càng hẹp áp lực chủ động lên tường giảm càng nhiều (hình trái), tương ứng với nó là góc của mặt trượt (mặt phẳng phá hoại) cũng lớn hơn so với góc mặt trượt trong trường hợp thông thường ($\alpha = 45 + \varphi/2 = 60$) (hình phải). Khi bề rộng đủ lớn (trong trường hợp khảo sát là $\geq 5m$), thì áp lực trong trường hợp bề rộng sau tường hẹp bằng với áp lực tính với trường hợp thông thường. Như vậy trong trường hợp này có thể quy về nền bề rộng đất sau tường vô hạn để tính toán.

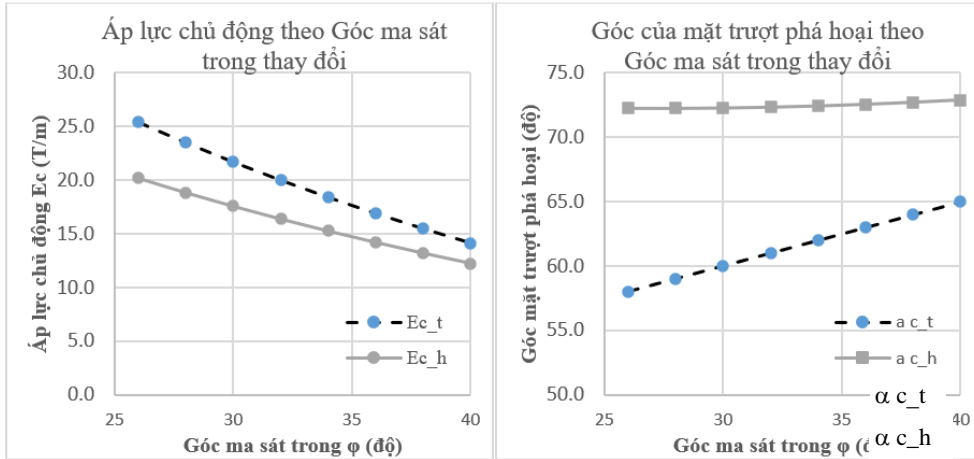


Hình 3. Trường hợp khảo sát 1, bề rộng đất sau tường thay đổi, hình trái: $E_{c,h}$ là áp lực đất chủ động với bề rộng đất sau tường hẹp, $E_{c,t}$ là áp lực đất chủ động trong trường hợp thông thường; hình phải: $\alpha_{c,h}$ là góc của mặt trượt chủ động với bề rộng đất sau tường hẹp, $\alpha_{c,t}$ là góc của mặt trượt chủ động trong trường hợp thông thường

2.2 Trường hợp 2, thay đổi đặc trưng kháng cắt ϕ

Trong trường hợp này, cố định chiều cao tường $H = 8,5m$, trọng lượng riêng của đất $\gamma = 1,8T/m^3$ và bề rộng đất sau tường $a = 2m$, giá trị bề rộng lựa chọn dựa trên kết quả của trường hợp 1, cho thấy ảnh hưởng rõ rệt của bề rộng đất sau tường hẹp;

thay đổi góc ma sát trong của đất, ϕ thay đổi từ 26° đến 40° . Tương tự kí hiệu E_{c_h} là áp lực đất chủ động trong trường hợp đất sau tường hẹp có bề rộng là a , E_{c_t} là áp lực đất chủ động trong trường hợp thông thường không gian sau tường đủ lớn. Kết quả tính toán được thể hiện trong Hình 4.

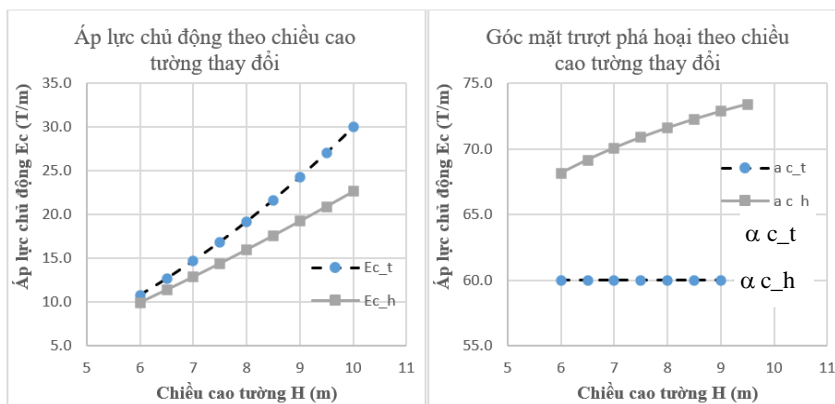


Hình 4. Trường hợp khảo sát 2, bề rộng đất sau tường thay đổi, **hình trái:** E_{c_h} là áp lực đất chủ động với bề rộng đất sau tường hẹp, E_{c_t} là áp lực đất chủ động trong trường hợp thông thường; **hình phải:** α_{c_h} là góc của mặt trượt chủ động với bề rộng đất sau tường hẹp, α_{c_t} là góc của mặt trượt chủ động trong trường hợp thông thường

Hình 4 cho thấy, khi góc ma sát bằng 26° , tỉ số E_{c_h}/E_{c_t} có giá trị bằng 79.6%, và khi góc ma sát tăng đến 40° thì tỉ số E_{c_h}/E_{c_t} có giá trị bằng 86.7%. Điều này có nghĩa là sự chênh lệch giữa áp lực đất chủ động trong trường hợp bề rộng sau tường hẹp và áp lực đất chủ động trong trường hợp thông thường giảm dần (hình trái) khi góc ma sát trong của đất tăng tương ứng. Ngược lại thì sự chênh lệch giữa góc của mặt trượt chủ động trong trường hợp bề rộng đất sau tường hẹp và trường hợp thông thường giảm dần khi góc ma sát của đất sau tường tăng lên.

2.3 Trường hợp 3, thay đổi chiều cao tường

Trong trường hợp này, cố định đặc trưng của đất (trọng lượng riêng của đất, góc ma sát trong) $\phi = 30^\circ$, $\gamma = 1,8T/m^3$, bề rộng đất sau tường chọn $a = 2m$; thay đổi chiều cao tường từ 6m đến 10m. Tương tự kí hiệu E_{c_h} là áp lực đất chủ động trong trường hợp đất sau tường hẹp có bề rộng là a , E_{c_t} là áp lực đất chủ động trong trường hợp thông thường không gian sau tường đủ lớn. Kết quả tính toán được thể hiện trong Hình 5.



Hình 5. Trường hợp khảo sát 3, bề rộng đất sau tường thay đổi, **hình trái:** E_{c_h} là áp lực đất chủ động với bề rộng đất sau tường hẹp, E_{c_t} là áp lực đất chủ động trong trường hợp thông thường; **hình phải:** α_{c_h} là góc của mặt trượt chủ động với bề rộng đất sau tường hẹp, α_{c_t} là góc của mặt trượt chủ động trong trường hợp thông thường

Hình 5 cho thấy khi chiều cao tường tăng dần, áp lực đất chủ động trong trường hợp bề rộng sau tường

hẹp giảm nhiều so với áp lực đất chủ động trong trường hợp thông thường (hình trái), tương ứng

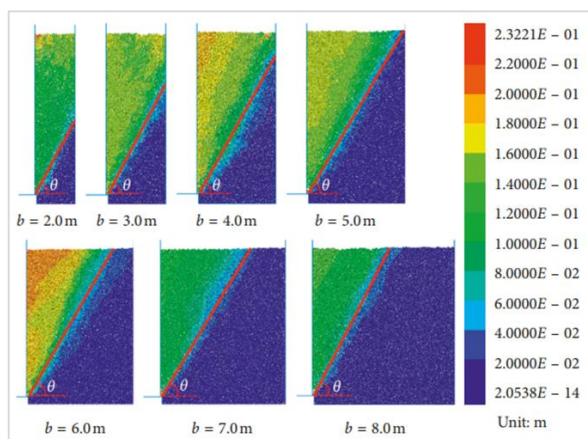
chênh lệch giữa góc của mặt trượt chủ động trong trường hợp bề rộng đất sau tường hẹp và trường hợp thông thường tăng dần.

3. Kiểm nghiệm lại mô hình đề xuất

Để kiểm nghiệm lại mô hình xác định áp lực đất lên tường chắn cứng trong trường hợp bề rộng đất sau tường hẹp đã đề xuất, nghiên cứu đã thực hiện so sánh kết quả từ mô hình đề xuất với kết quả mô hình số. Mô hình số được thực hiện bởi Minghui Yang and Bo Deng [2], đã lựa chọn phương pháp phần tử rời rạc (DEM), sử dụng phần mềm Particle Flow Code (PFC-2D) để mô phỏng ứng xử của đất rời có chiều rộng hẹp phía sau tường chắn cứng khi tường dịch chuyển ra xa đất. Mô phỏng số tập trung

vào mô hình phá hoại của đất khi chuyển động của tường đạt giá trị xảy ra áp lực đất chủ động và hình dạng của mặt trượt khi đó được ghi nhận.

Mô hình số đã khảo sát sự thay đổi bề rộng đất sau tường từ 2m đến 8m, với chiều cao tường và đặc trưng của đất nền được giữ không đổi $H = 8,5\text{m}$ và $\varphi = 30^\circ$; $\gamma = 1,8\text{T/m}^3$. Kết quả chuyển vị của đất sau tường của mô hình số được thể hiện trong Hình 6 cho thấy, trường dịch chuyển của đất trong vùng màu xanh đen gần như gần bằng 0, và vùng này có thể được xác định là vùng đứng yên khi tường dịch chuyển [2], [11], [12]. Do đó, bề mặt trượt của đất được hiểu là ranh giới giữa đất tĩnh và đất chuyển động (dịch chuyển) có thể thu được một cách gần đúng.

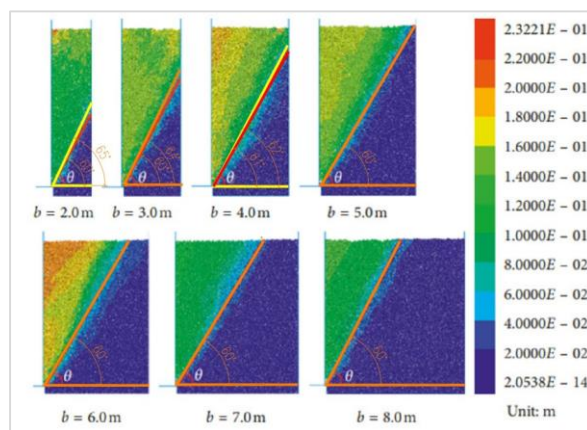


Hình 6. Mô hình số sự phá hoại của tường trong trường hợp bề rộng đất sau tường thay đổi từ 2m đến 8m, góc ma sát trong $\varphi = 30^\circ$; kết quả chuyển vị của đất sau tường. [2]

Theo kết quả mô hình số, tất cả các mặt trượt đều đi qua góc dưới của tường chắn đến bề mặt trên cùng của đất khi bề rộng đất sau tường đủ lớn ($a \geq 5\text{m}$), lăng thể trượt có dạng tam giác. Trường hợp bề rộng đất sau tường hẹp ($a < 5\text{m}$), mặt phẳng trượt vẫn đi qua góc dưới của tường chắn tuy nhiên mặt phẳng trượt không đi lên trên bề mặt của khối đất, lăng thể trượt lúc này có dạng tứ giác. Điều này tương đối phù hợp với giả thiết về mặt trượt và lăng thể trượt của phương pháp đề xuất trong mục 2.

Để xác định chính xác hơn mặt phẳng phá hoại, các đường thẳng ranh giới được sử dụng để mô phỏng mặt trượt, trong đó các đường màu đỏ thể hiện mặt trượt theo quan điểm của [2], các đường màu vàng thể hiện ranh giới khi chuyển vị của tường, thể hiện mặt trượt theo quan điểm của nhóm tác giả. Góc dịch chuyển của các quan điểm mặt trượt tương ứng được thể hiện trong Hình 7, cho thấy mặt phẳng

trượt khi tường dịch chuyển đủ lớn (đường màu vàng) tương đối phù hợp với phương pháp đề xuất. Điều này có sự khác biệt với quan điểm của Minghui khi cho rằng các mặt trượt (các đường màu đỏ) có hệ số góc không đổi θ được giữ nguyên không đổi ($\theta = 60^\circ$) bất kể chiều rộng của phần chèn lấp. Sự sai khác về góc của mặt phẳng phá hoại có thể giải thích một phần do cách xác định gần đúng mặt trượt dựa trên dịch chuyển của đất sau tường. Theo định nghĩa áp lực chủ động đạt được khi tường dịch chuyển khoảng 0,1% chiều cao tường (0,1%H), tuy nhiên chưa có định nghĩa rõ ràng về chuyển dịch của các điểm trên mặt trượt tương ứng là bao nhiêu để khẳng định chính xác mặt trượt này. Ngoài ra, phương pháp tính đề xuất dựa trên giả thiết bỏ qua ma sát giữa đất và tường phía trước và sau, điều này dẫn đến sự khác nhau giữa kết quả mô hình và kết quả tính toán trong bài báo này.



Hình 7. Minh họa mặt trượt từ kết quả mô hình số

4. Kết Luận

Nghiên cứu đã xây dựng được áp lực đất chủ động cho đất rời tác dụng lên tường chắn trong trường hợp bề rộng đất sau tường hẹp, sử dụng phương pháp của Coulomb. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi bề rộng đất sau tường hẹp không đủ hình thành nêm phá hoại, áp lực đất tác dụng lên tường chắn giảm, góc phá hoại của mặt trượt thay đổi, lăng thể trượt có dạng tứ giác. Kết quả của nghiên cứu cũng cho thấy có thể sử dụng phương pháp của Coulomb để mở rộng ra các trường hợp tính toán đặc biệt khác, cũng như có thể dùng công thức đã xây dựng để tính toán trong thực hành thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Y.-S. Fang and I. Ishibashi (1986), "Static earth pressures with various wall movements," *J. Geotech. Eng.*, vol. 112, no. 3, pp. 317–333.
- [2] M. Yang and B. Deng (2019), "Simplified method for calculating the active earth pressure on retaining walls of narrow backfill width based on DEM analysis," *Adv. Civ. Eng.*, vol. 11, pp. 1–10.
- [3] S. Han, J. Gong, and Y. Zhang (2016), "Earth pressure of layered soil on retaining structures," *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, vol. 83, pp. 33–52.
- [4] Y.-S. Fang, Y.-C. Ho, and T.-J. Chen (2002), "Passive earth pressure with critical state concept," *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.*, vol. 128, no. 8, pp. 651–659.
- [5] S. Okabe (1926), "General theory of earth pressure," *Journal of the Japanese Society of civil Engineers, Toky Jpn.*, vol. 12, no. 1.
- [6] J. M. Duncan and R. L. Mokwa (2001), "Passive earth pressures: theories and tests," *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.*, vol. 127, no. 3, pp. 248–257.
- [7] K. Terzaghi (1943), "Theoretical soil mechanics," *John Wiley & Sons, N. Y.*, pp. 11–15.
- [8] W. J. M. Rankine (1857), "II. On the stability of loose earth," *Philos. Trans. R. Soc. Lond.*, vol. 147, pp. 9–27.
- [9] R. Whitlow (1997), *Cơ học đất*.
- [10] Phan Hồng Quân (2006), *Cơ học đất*.
- [11] S. S. Nadukuru and R. L. Michalowski (2012), "Arching in Distribution of Active Load on Retaining Walls," *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.*, vol. 138, no. 5, pp. 575–584, May, doi: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000617.
- [12] M. Jiang, J. He, J. Wang, F. Liu, and W. Zhang (2014), "Distinct simulation of earth pressure against a rigid retaining wall considering inter-particle rolling resistance in sandy backfill," *Granul. Matter*, vol. 16, no. 5, pp. 797–814, Oct., doi: 10.1007/s10035-014-0515-3.