

# Ảnh hưởng của cách bố trí tầng và chiều dài cốt gia cường đến biến dạng tường chắn đất có cốt hai tầng

## Effects of the tier arrangement and reinforcement length on the deformation behavior of a two-tiered geosynthetic-reinforced soil wall

Hoàng Khắc Tuấn<sup>1</sup>, Phạm Ngọc Thạch<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Công ty Trách nhiệm hữu hạn Boydens Vietnam Part Of Sweco

<sup>2</sup>Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

\*Tác giả liên hệ: thach.pham@ut.edu.vn

Ngày nhận bài: 4/3/2024; Ngày chấp nhận đăng: 15/3/2024

### Tóm tắt:

Tường chắn đất có cốt được tạo thành từ khối vật liệu đất đắp, tấm mặt tường, các lớp cốt gia cường bằng lưới địa kỹ thuật, vải địa kỹ thuật hoặc lưới thép. Nếu chiều cao tường không lớn, giải pháp tường một tầng thường được sử dụng. Khi chiều cao tường lớn, tường có thể được làm nhiều tầng để tăng tính ổn định công trình. Ứng xử của hệ tường chắn có cốt khá phức tạp và thường được nghiên cứu bằng cách tiếp cận mô phỏng số. Phần lớn các nghiên cứu trong nước hiện nay tập trung vào phân tích ứng xử tường một tầng, có khá ít nghiên cứu đề cập đến ứng xử của tường nhiều tầng. Bài báo này trình bày nghiên cứu ứng xử biến dạng của hệ tường chắn đất có cốt hai tầng. Đầu tiên, nhóm nghiên cứu (NNC) trình bày cấu tạo hệ tường chắn được khảo sát, mô hình phần tử hữu hạn và kiểm chứng. Sau đó, NNC tập trung vào khảo sát các vấn đề sau: Ảnh hưởng của khoảng lùi giữa hai tầng đến chuyển vị ngang mặt tường, ảnh hưởng của khoảng lùi giữa hai tầng đến biến dạng của các lớp cốt gia cường, ảnh hưởng của tỷ lệ chiều cao giữa hai tầng đến chuyển vị ngang mặt tường, ảnh hưởng của chiều dài lớp cốt gia cường đến chuyển vị ngang mặt tường.

**Từ khóa:** Tường chắn đất; Lưới địa kỹ thuật; Phần tử hữu hạn.

### Abstract:

Mechanically stabilized earth (MSE) walls are composed of compacted soil material, facing panels, and reinforcement layers made of geogrids, geotextiles, or steel strips. A single-tier wall is commonly used when the wall height is small. However, when the wall height is large, a multitiered wall can be adopted to enhance the stability of the wall system. The deformation behavior of reinforced soil walls is complex and is often studied through numerical simulations. However, most domestic studies have focused on single-tier walls, and limited attention has been paid to multi-tiered walls. Therefore, this paper presents a numerical study of the deformation behavior of a two-tiered MSE wall. The objective is to investigate the influence of the following parameters on the wall deformation: the setback distance of the lower tier relative to the upper tier, the height ratio between the upper and lower tier, and the length of the reinforcement layers within the compacted soil.

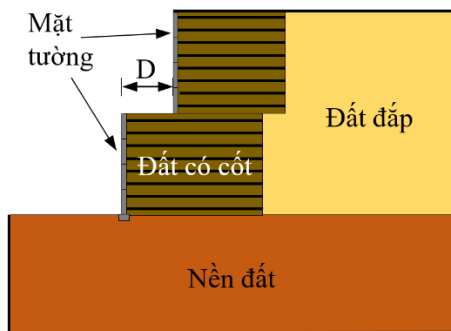
**Keywords:** Soil retaining wall; Geotextile; Finite element method.

### 1. Giới thiệu

Tường chắn đất có cốt ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong các công trình giao thông, như:

Đường đắp cao, đường dẫn đầu cầu, mố cầu, tường chắn, kè chống xói lở, kè bờ sông, bờ biển, tường tạm thời [1], [2]. Nếu chiều cao tường chắn đất không lớn, giải pháp tường một tầng thường

được sử dụng. Tuy nhiên, khi chiều cao tường chắn đất lớn, tường có thể được làm nhiều tầng như minh họa trên Hình 1. Khoảng lùi  $D$  giữa các tầng điều chỉnh phạm vi vùng hoạt động của khối đất sau tường, dẫn đến làm giảm áp lực đất tác dụng lên mặt tường [3]. Ứng xử biến dạng của hệ tường chắn có cốt khá phức tạp và thường được nghiên cứu bằng cách tiếp cận mô phỏng số. Phần lớn các nghiên cứu trong nước chủ yếu tập trung vào phân tích ứng xử của tường một tầng [4], [5], [6], khá ít nghiên cứu đề cập đến ứng xử của tường nhiều tầng.



**Hình 1.** Minh họa tường chắn có cốt hai tầng.

Bài báo này trình bày nghiên cứu ứng xử biến dạng của tường chắn đất có cốt hai tầng. Đầu tiên, nhóm nghiên cứu (NNC) trình bày cấu tạo hệ tường chắn được khảo sát, mô hình phần tử hữu hạn và kiểm chứng. Sau đó, NNC tập trung vào khảo sát các vấn đề sau: Ảnh hưởng của khoảng lùi giữa hai tầng đến chuyển vị ngang mặt tường, ảnh hưởng của khoảng lùi giữa hai tầng đến biến dạng của các lớp cốt gia cường, ảnh hưởng của tỷ lệ chiều cao giữa hai tầng đến chuyển vị ngang mặt tường, ảnh hưởng của chiều dài lớp cốt gia cường đến chuyển vị ngang mặt tường.

## 2. Hệ tường chắn có cốt hai tầng và phương pháp mô phỏng phần tử hữu hạn

Dựa vào số liệu của một hệ tường chắn đất có cốt cao 8.4 m trong [6], NNC giả định mặt cắt ngang hệ tường chắn đất có cốt hai tầng, được thể hiện tại Hình 2. Trong đó,  $H1$  là chiều cao tầng 1,  $H2$  là chiều cao tầng 2 và  $D$  là khoảng lùi giữa hai tầng. Tường được tạo nên từ các khối panel bê tông. Đất đắp sau tường được gia cường bằng các

lớp lưới địa kỹ thuật đặt cách nhau 0.6 m. Mô hình vật liệu cùng với các tham số vật liệu của khối bê tông, lưới địa kỹ thuật, đất đắp và đất nền được tóm tắt trong Bảng 1. Trong đó,  $\rho$  là khối lượng riêng,  $E$  là module đàn hồi,  $\nu$  là hệ số Poisson,  $c$  là lực dính,  $\varphi$  là góc ma sát trong và  $\psi$  là góc giãn nở. Các lớp cốt là lưới địa kỹ thuật Tensar RE570. Ứng xử chịu kéo của cốt được đặc trưng bằng mô hình đàn hồi dẻo lý tưởng với module đàn hồi  $2.15 \times 10^6$  kPa, hệ số Poisson 0.3, cường độ chịu kéo 118.4 kN/m và biến dạng chảy dẻo 0.10.

Hình 3 trình bày mô hình phần tử hữu hạn (PTHH) biến dạng phẳng của hệ. Mô hình được xây dựng trên phần mềm ABAQUS [7]. Phần tử biến dạng phẳng tứ giác CPE4R được dùng cho đất đắp, nền đất và các khối bê tông mặt tường [7], [8]. Phần tử thanh giàn hai nút T2D2 được dùng cho các lớp cốt gia cường [7], [8]. Hệ có tổng cộng 8170 phần tử CPE4R và 672 phần tử T2D2. Điều kiện biên chống chuyển vị theo phương ngang được áp dụng cho biên trái và biên phải của mô hình. Biên dưới mô hình được gán điều kiện biên chống chuyển vị theo hai phương ngang và đứng.

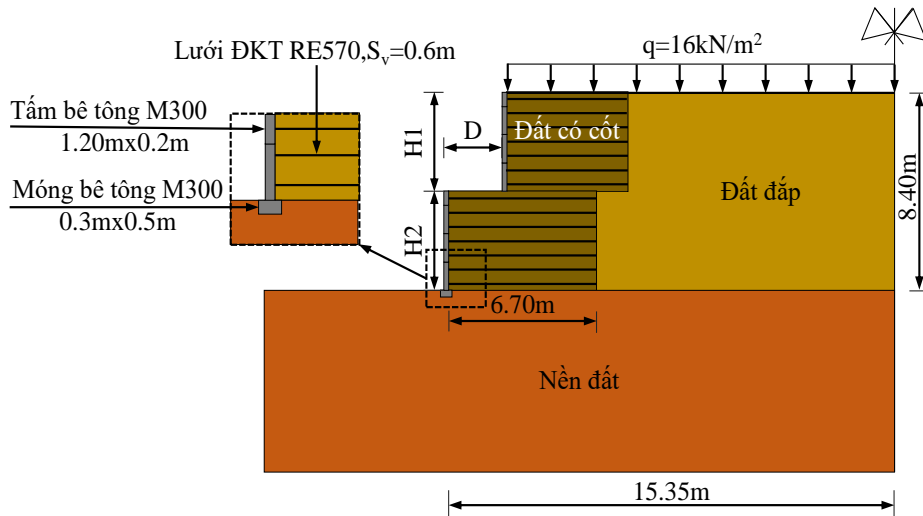
Mô hình ma sát trượt Coulomb được dùng để mô tả ứng xử tiếp xúc giữa các khối bê tông và giữa đất đắp với các khối bê tông [7], [9]. Trong đó, ứng xử ma sát được đặc trưng bằng hệ số ma sát trượt  $\mu$ . Giữa các khối bê tông,  $\mu = 0.7$  [10]. Giữa khối bê tông với đất đắp,  $\mu = \tan \delta$ , với  $\delta$  là góc ma sát giữa hai vật liệu, góc  $\delta$  có giá trị xấp xỉ bằng hai phần ba góc ma sát trong của đất [6], [11]. Nút của phần tử cốt T2D2 được giả định liên kết chặt với nút phần tử đất CPE4R. Đầu của các lớp cốt buộc chặt vào các khối bê tông và được mô tả trong mô hình bằng cách liên kết chặt nút của phần tử cốt T2D2 vào nút của phần tử khối bê tông CPE4R (khóa cứng kiểu “tie”).

Nghiên cứu này xét tải trọng trong quá trình xây dựng và tải trọng trong quá trình khai thác. Tải trọng trong quá trình xây dựng bao gồm trọng lượng bản thân của đất đắp, nền, cốt gia cường và các khối bê tông mặt tường. Tải trọng trong quá trình khai thác là tải trọng xe 16 kN/m phân bố trên

bề mặt đất đắp. Tải trọng này được quy đổi tương đương từ xe có trọng lượng 30 tấn theo [12].

Ứng xử của hệ được mô phỏng qua nhiều giai đoạn [9]. Mỗi giai đoạn tương ứng với xây dựng

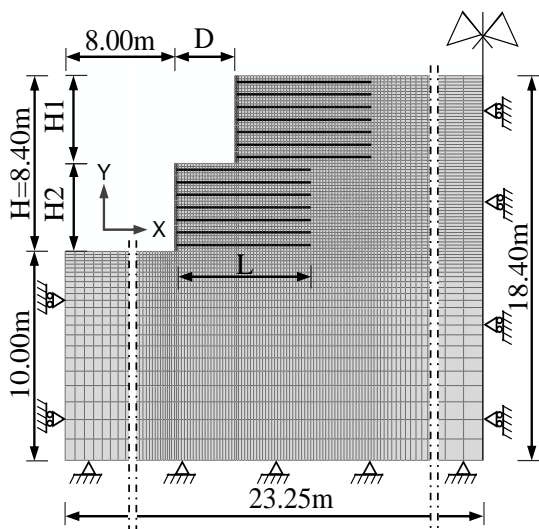
một lớp vật liệu, bao gồm: Khối bê tông mặt tường, đất đắp và cốt gia cường. Giai đoạn cuối cùng tương ứng với tải trọng xe quy đổi trên bề mặt của khối đất đắp.



**Hình 2.** Hệ tường chắn đất có cốt hai tầng được dùng trong nghiên cứu.

**Bảng 1.** Thông số vật liệu.

Vật liệu	Mô hình	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$E$ (MPa)	$\nu$	$c$ (kPa)	$\varphi$ (°)	$\psi$ (°)
Bê tông	Đàn hồi tuyến tính	2300	28750	0.20	-	-	-
Đất đắp	Mohr-Coulomb	1800	50	0.35	0	30	0
Nền đất	Mohr-Coulomb	1650	40	0.35	0	30	0



**Hình 3.** Mô hình phân tử hữu hạn.

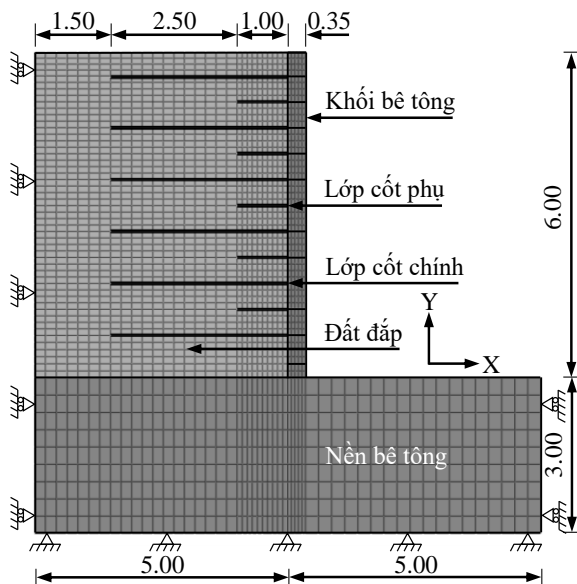
Để kiểm chứng phương pháp mô phỏng, NNC sử dụng kết quả đo đạc thực nghiệm trong [13]. Hệ tường chắn đất có chiều cao 6.0 m, chiều rộng đất đắp 5.0 m và được xây dựng trên nền bê tông. Đất đắp được gia cường 11 lớp lưới địa

kỹ thuật Tensar SR55 có cường độ chịu kéo 54.6 kN/m. Các lớp lưới dài 3.5 m (cốt chính) được bố trí xen kẽ với các lớp lưới dài 1.0 m (cốt phụ). Mặt tường chắn được làm từ các khối bê tông có kích thước 0.45 m x 0.55 m tại thân tường và 0.5 m x 0.35 m tại chân tường. Các tham số vật liệu được thể hiện trong Bảng 2. Các thiết bị đo đạc được bố trí trên mặt tường và các lớp lưới địa kỹ thuật để đo chuyển vị ngang của tường và biến dạng dọc trục của các lớp cốt. Việc chọn loại phần tử, gán mô hình vật liệu và ứng xử tiếp xúc giữa tường, đất đắp và cốt được thực hiện tương tự như mô hình ở Hình 3. Mô hình PTHH của hệ được trình bày tại Hình 4. Hệ được mô phỏng qua 12 giai đoạn theo trình tự xây dựng. Hình 5 trình bày kết quả phân bố chuyển vị ngang mặt tường chắn. Hình 6 cho thấy kết quả biến dạng dọc trục của các lớp cốt chính. So sánh kết quả mô phỏng PTHH

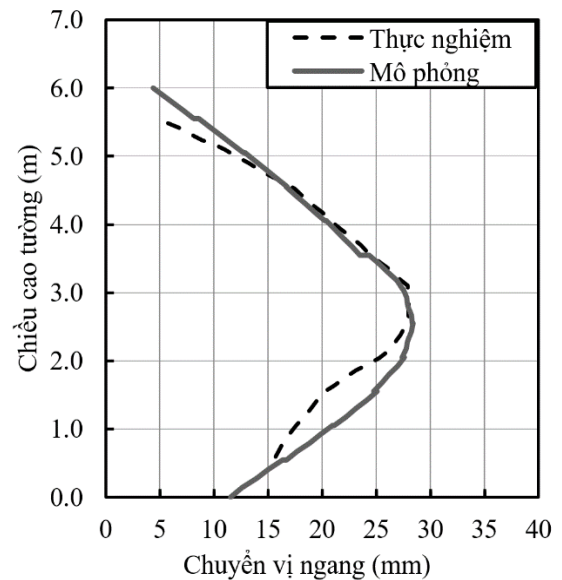
và đo đạc thực nghiệm trên Hình 5 và 6 chỉ ra rằng, kết quả mô phỏng chuyển vị tường và biến dạng cốt tương đối phù hợp với kết quả đo đạc thực nghiệm.

**Bảng 2.** Tham số vật liệu [13].

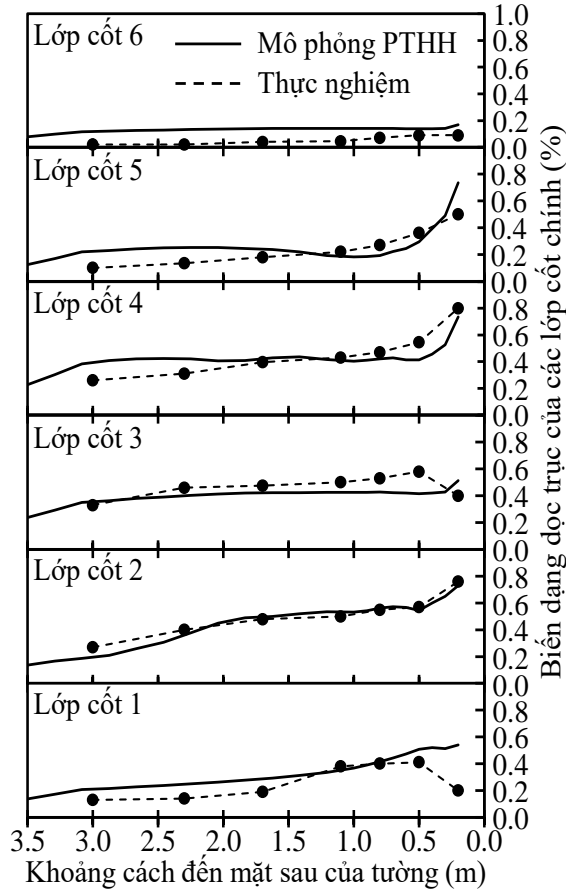
Thông số bê tông	
Module đàn hồi (kPa)	$2 \times 10^6$
Hệ số Poisson	0.17
Khối lượng riêng (kN/m <sup>3</sup> )	23
Thông số lưới địa kỹ thuật	
Module đàn hồi (kPa)	$1.57 \times 10^6$
Hệ số Poisson	0.30
Cường độ chịu kéo (kN/m)	54.60
Biên dạng chảy dẻo	12%
Thông số đất đắp sau tường	
Module đàn hồi (kPa)	$1 \times 10^4$
Hệ số Poisson	0.42
Khối lượng riêng (kN/m <sup>3</sup> )	16
Góc ma sát trong (°)	45
Góc giãn nở (°)	15
Lực dính (kPa)	0



**Hình 4.** Mô hình PTHH của bài toán kiểm chứng.



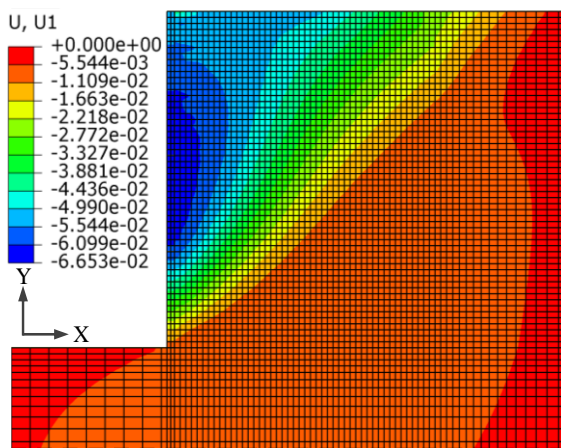
**Hình 5.** So sánh chuyển vị ngang của mặt tường giữa mô phỏng PTHH và thực nghiệm [13].



**Hình 6.** So sánh biến dạng các lớp cốt chính giữa mô phỏng PTHH và thực nghiệm [13].

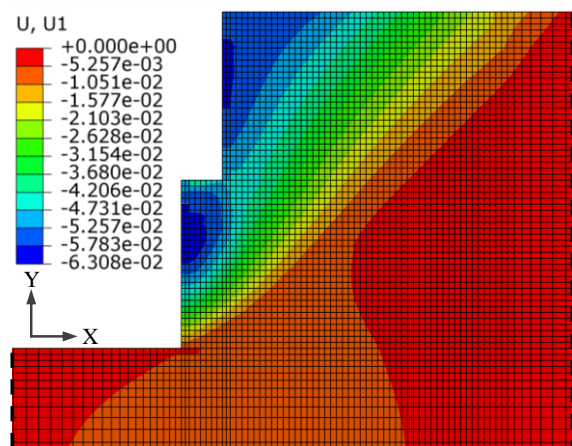
### 3. Ảnh hưởng của khoảng lùi giữa hai tầng đến chuyển vị ngang của tường

Sáu trường hợp mô phỏng được thực hiện với khoảng lùi giữa hai tầng ( $D$ ) thay đổi từ 0 m đến

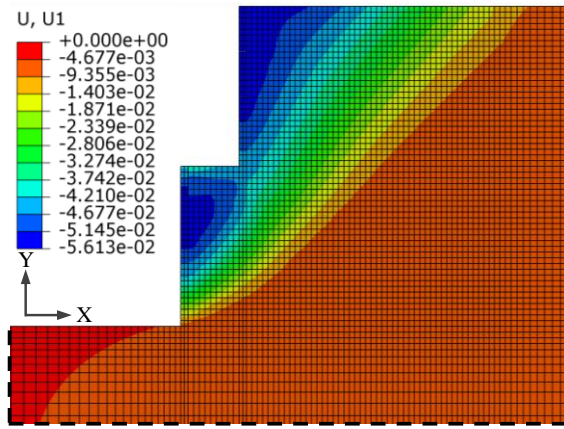


**Hình 7.** Trường chuyển vị ngang của hệ, trường hợp  $D = 0$  m.

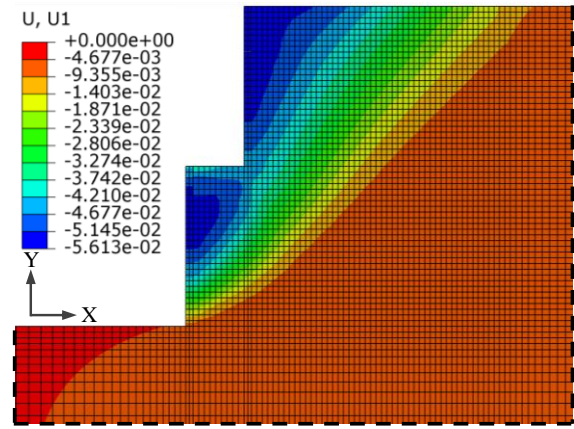
4.2 m. Ghi chú, trường hợp  $D = 0$  m (không có khoảng lùi) là đại diện cho trường hợp tường chắn một tầng cao 8.4 m. Hình 7 đến Hình 12 trình bày kết quả trường chuyển vị ngang toàn hệ của sáu trường hợp đang khảo sát. Chuyển vị ngang mặt tường chắn trong mỗi trường hợp được tổng hợp trên Hình 13. Quan sát tại hình cho thấy, giá trị chuyển vị ngang lớn nhất của bề mặt tường giảm dần khi tăng giá trị  $D$ . Cụ thể, chuyển vị lớn nhất của mặt tường là 66 mm, 64 mm, 56 mm, 46 mm, 36 mm, 23 mm tương ứng với tham số  $D$  lần lượt là 0 m, 1.05 m, 1.4 m, 2.1 m, 2.8 m, 4.2 m. Đặc biệt, trường hợp tường hai tầng với  $D = 4.2$  m có chuyển vị lớn nhất giảm đáng kể khoảng 65% so với trường hợp tường một tầng (với  $D = 0$  m). Xu hướng chuyển vị bề mặt tường của hệ tầng dưới có nhiều sự thay đổi rõ rệt cả về hình dạng và độ lớn. Đối với tầng trên, khi chỉ xem xét cục bộ thì chuyển vị tương đối của bề mặt kết cấu so với chân tường hầu như không thay đổi. Điều đó cho thấy rằng, hệ tầng trên chỉ chịu ảnh hưởng bởi trọng lượng bản thân và tải trọng xe bề mặt. Tuy nhiên, khi xét về mặt tổng thể, chuyển vị toàn bộ hệ tường tầng trên bị ảnh hưởng lớn bởi ứng xử của tầng dưới. Do đó, khi nghiên cứu ứng xử hệ tường chắn có cốt nhiều tầng cần xem xét một cách tổng thể và có kể đến sự tương tác làm việc đồng thời giữa các tầng với nhau nhằm tăng độ chính xác mô hình, phản ánh đúng ứng xử thực tế.



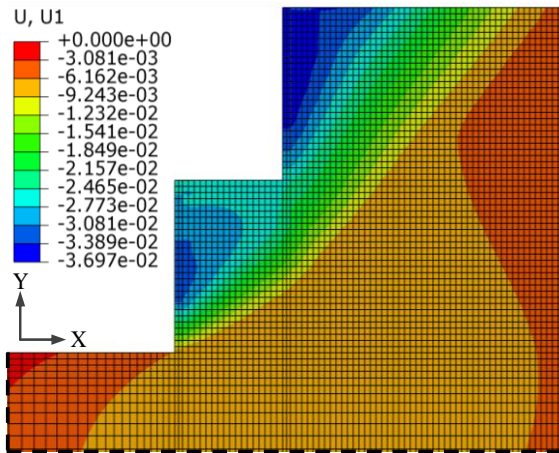
**Hình 8.** Trường chuyển vị ngang của hệ, trường hợp  $D = 1.05$  m.



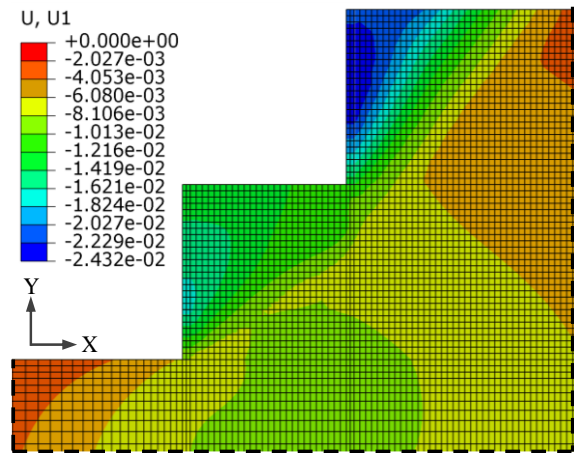
**Hình 9.** Trường chuyển vị ngang của hệ, trường hợp  $D = 1.4$  m.



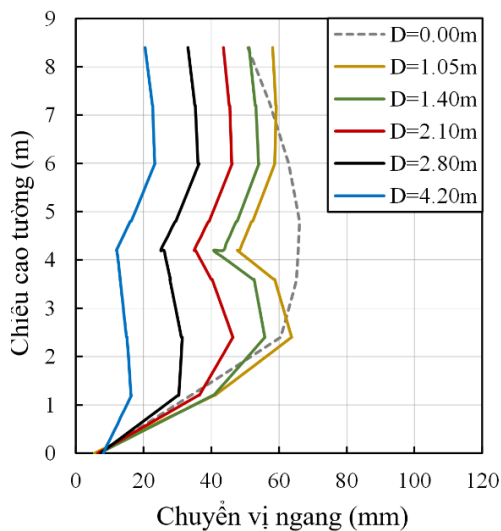
**Hình 10.** Trường chuyển vị ngang của hệ, trường hợp  $D = 2.1$  m.



**Hình 11.** Trường chuyển vị ngang của hệ, trường hợp  $D = 2.8$  m.



**Hình 12.** Trường chuyển vị ngang của hệ, trường hợp  $D = 4.2$  m.



**Hình 13.** Ảnh hưởng của khoảng lùì  $D$  đến chuyển vị ngang của tường.

#### 4. Ảnh hưởng của khoảng lùì giữa hai tầng đến biến dạng của các lớp cốt gia cường

Hình 14 đến Hình 17 trình bày kết quả biến dạng dọc theo chiều dài của các lớp cốt gia cường cho

những trường hợp với khoảng lùì  $D = 0$  m,  $D = 1.05$  m,  $D = 2.1$  m và  $D = 4.2$  m.

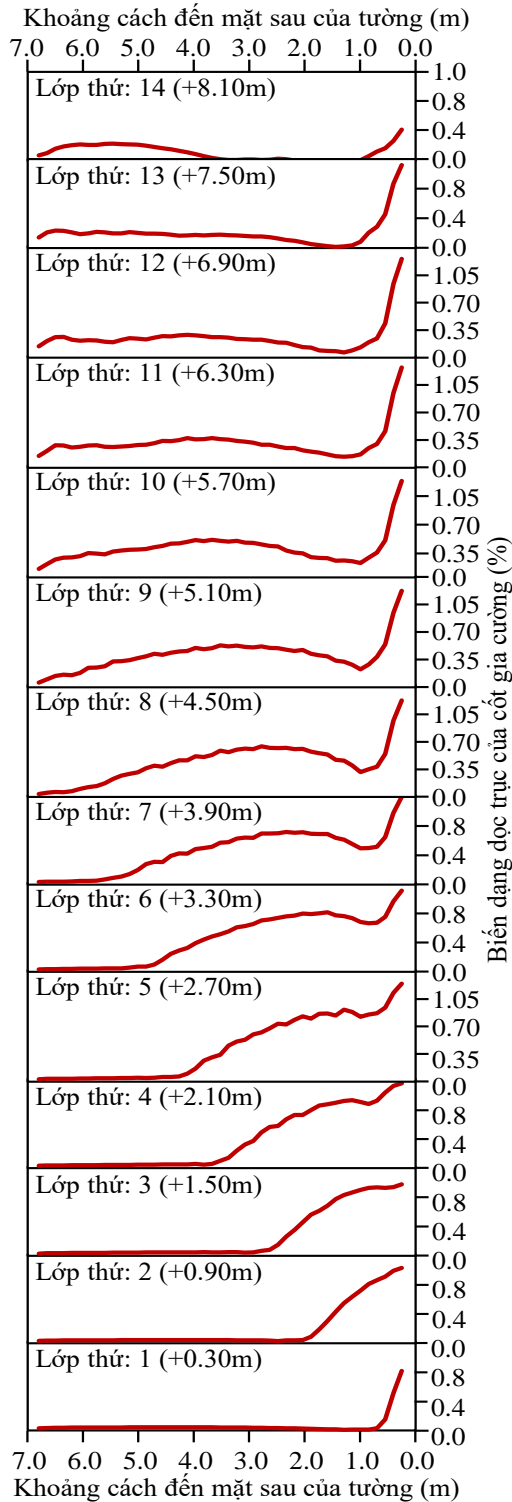
Biến dạng lớn nhất đạt 1.22% xuất hiện ở cốt gia cường của hệ tường một tầng ( $D = 0$  m). Biến dạng lớn nhất xuất hiện trong các trường hợp hệ tường hai tầng luôn ở mức độ nhỏ, chỉ dưới 1.14% với  $D = 1.05$  m, 0.84% với  $D = 2.1$  m và 0.33% với  $D = 4.2$  m. Biến dạng trong trường hợp  $D = 0$  m lớn gấp 1.5 lần so với trường hợp  $D = 1.05$  m, gấp 1.8 lần với trường hợp  $D = 2.1$  m và gấp 4.5 lần so với trường hợp  $D = 4.2$  m. Biến dạng lớn nhất của các lớp cốt giảm khi giá trị  $D$  tăng.

Với các trường hợp tường hai tầng, biến dạng lớn nhất của cốt gia cường luôn xuất hiện ở tầng dưới. Đồng thời, cốt thuộc tầng trên có biến dạng tương đối nhỏ, với giá trị 0.58% trong trường hợp  $D = 1.05$  m, 0.43% khi  $D = 2.1$  m và 0.31% khi  $D$

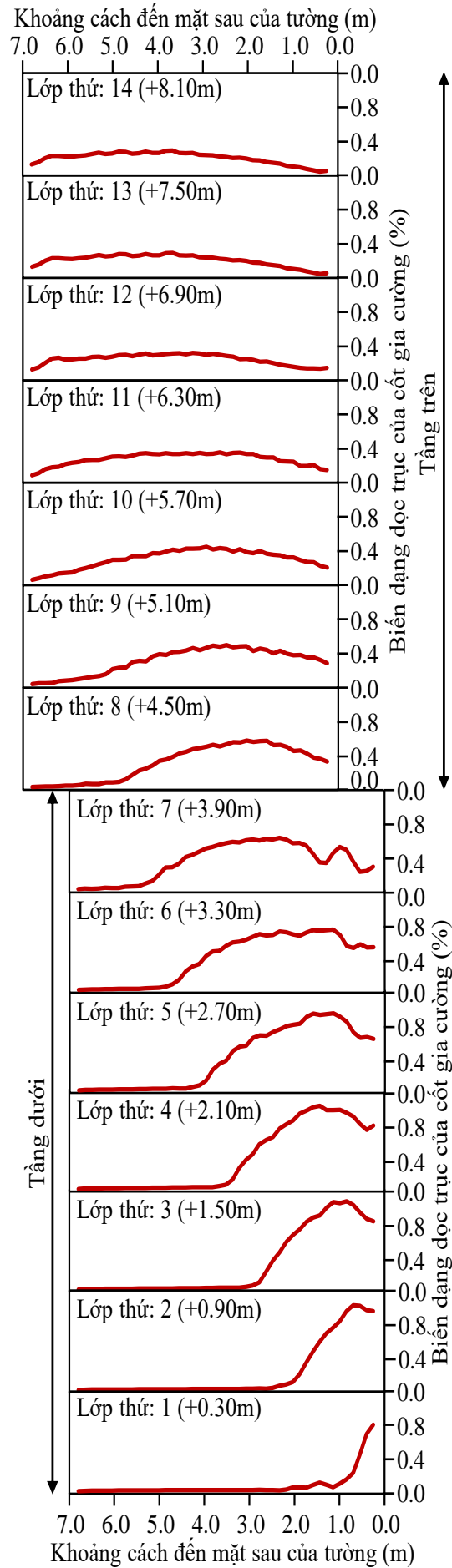
= 4.2 m. Với hệ tường một tầng ( $D = 0$  m), tất cả các lớp cốt hầu như đều có biến dạng lớn.

Mặc dù các lớp cốt trong nghiên cứu này có biến dạng khoảng 10% khi thí nghiệm kéo đứt, nhưng trong thiết kế phải đảm bảo tiêu chí về tỷ lệ biến dạng dọc trục của cốt không được vượt quá 2% [14] hoặc giới hạn biến dạng sau xây dựng của

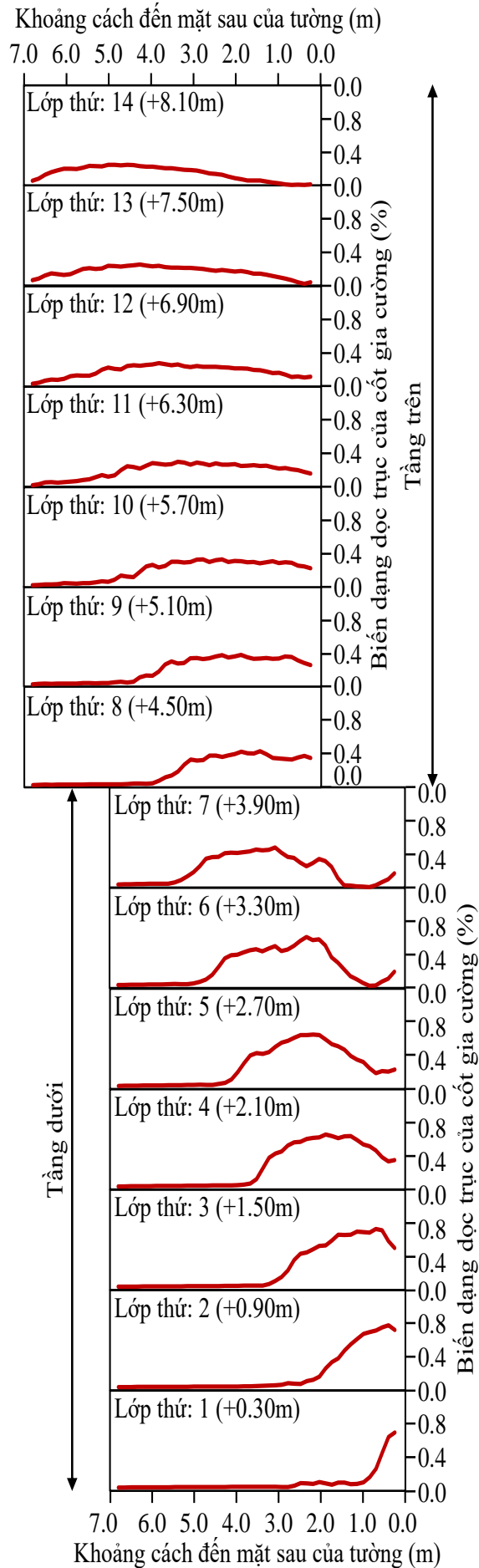
cốt ở trạng thái sử dụng đối với hệ tường chắn làm nền móng cho mố, trụ hoặc kết cấu vĩnh cửu là 0.5% và với tải trọng tạm thời là 1% [15]. Vì vậy, việc lựa chọn xây dựng tường chắn có cốt hai tầng giúp giảm biến dạng tường và biến dạng cốt gia cường sẽ trở thành một giải pháp có thể áp dụng để đáp ứng được những tiêu chí về biến dạng đã nêu trên.



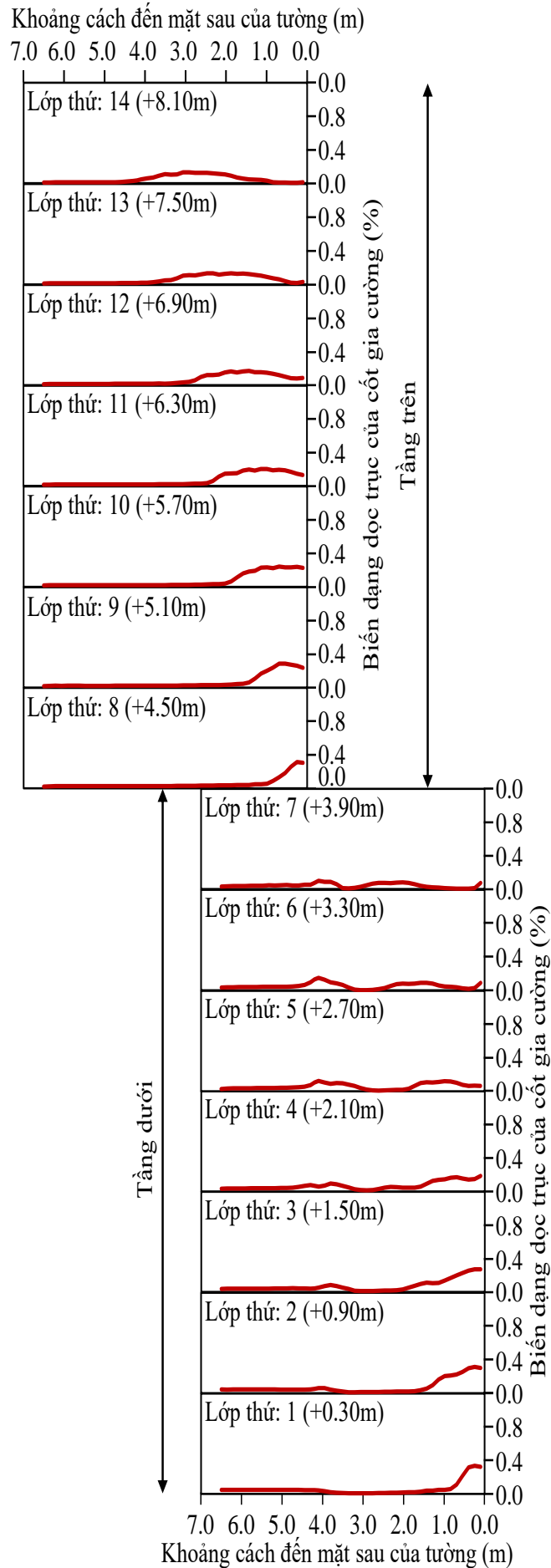
**Hình 14.** Biến dạng dọc trục của các lớp cốt gia cường, trường hợp  $D = 0$  m.



**Hình 15.** Biên dạng dọc trục của các lớp cốt gia cường, trường hợp  $D = 1.05$  m.



**Hình 16.** Biến dạng dọc trục của các lớp cốt gia cường, trường hợp  $D = 2.1$  m.



**Hình 17.** Biến dạng dọc trục của các lớp cốt gia cường, trường hợp  $D = 4.2$  m.

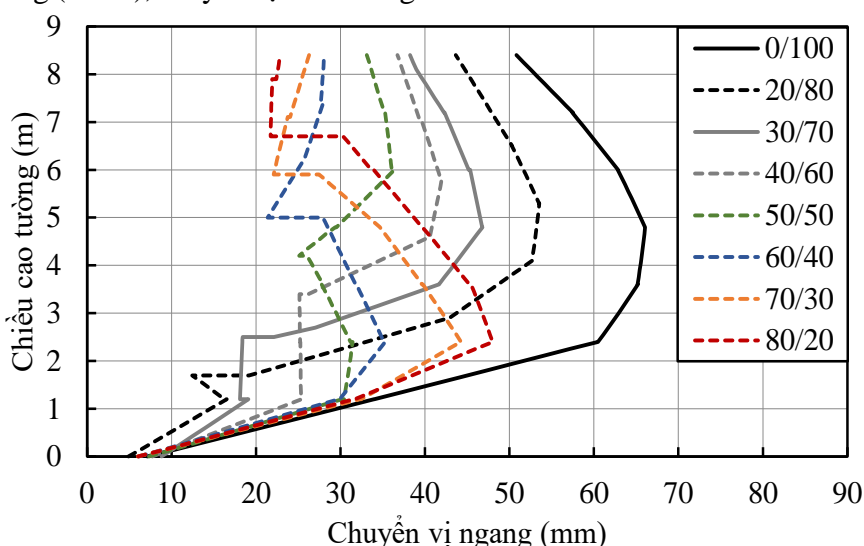
### 5. Ảnh hưởng của tỷ lệ chiều cao giữa hai tầng đến chuyển vị ngang của tường

Bảy trường hợp mô phỏng được thực hiện với tỷ lệ chiều cao giữa tầng dưới và tầng trên là 20/80, 30/70, 40/60, 50/50, 60/40, 70/30 và 80/20. Trong mỗi trường hợp, số đầu đại diện cho phần trăm chiều cao tầng dưới so với tổng chiều cao tường và số sau đại diện cho phần trăm chiều cao tầng trên so với tổng chiều cao tường. Ngoài ra, bảy trường hợp này đều được thực hiện với giá trị khoảng lùi giữa hai tầng là  $D = 2.8$  m.

Hình 18 tổng hợp kết quả chuyển vị ngang dọc theo mặt tường chắn của tám trường hợp đang khảo sát. Ngoài ra, chuyển vị ngang của trường hợp tường một tầng (với  $D = 0$  m) cũng được trình bày tại Hình 18 để so sánh và ký hiệu là 0/100. Kết quả trên hình cho thấy, tỷ lệ chiều cao giữa hai tầng có ảnh hưởng đáng kể đến phân bố chuyển vị bề mặt tường. Chiều cao tường tầng trên càng nhỏ (hay chiều cao tường tầng dưới càng lớn) thì chuyển vị phần trên của hệ tường càng giảm. Quan sát trường hợp tường hai tầng 80/20 ở Hình 18, đỉnh tường có chuyển vị là 23 mm. Đối với trường hợp tường một tầng (0/100), chuyển vị đỉnh tường

là 51 mm. Như vậy, tường hai tầng có giá trị chuyển vị ngang mặt tường nhỏ hơn đáng kể so với tường một tầng (giảm khoảng 55%).

Trong thực tế, hệ tường chắn đất thường được xây dựng kết hợp với các kết cấu thượng tầng khác như làm nền cho mô cầu hoặc nền đường đắp cao,... Các công trình này luôn yêu cầu tính ổn định của lớp nền bên dưới vì sự biến dạng của nền dẫn đến chuyển vị, biến dạng của kết cấu thượng tầng. Với trường hợp xây dựng hệ tường chắn có cốt kết hợp với mặt đường trên nền đường đắp cao, sự biến dạng của hệ tường chắn cũng là tác nhân tiềm năng dẫn đến hư hỏng kết cấu áo đường khi khuôn đường và nền đường không còn cố định vị trí. Các lớp vật liệu móng đường có thể dịch chuyển theo phương chuyển vị của mặt tường, gây hư hỏng mặt đường. Do đó, kết quả khảo sát ở trên ngụ ý rằng khi kết hợp xây dựng tường chắn có cốt với một kết cấu thượng tầng khác, cần xem xét điều chỉnh tỷ lệ chiều cao tường hợp lý nhằm tăng tính ổn định kết cấu của toàn hệ. Điều này giúp tận dụng tối đa ưu điểm hệ tường chắn có cốt và góp phần tăng tuổi thọ của công trình.



**Hình 18.** Ảnh hưởng của tỷ lệ chiều cao giữa hai tầng đến chuyển vị ngang của tường.

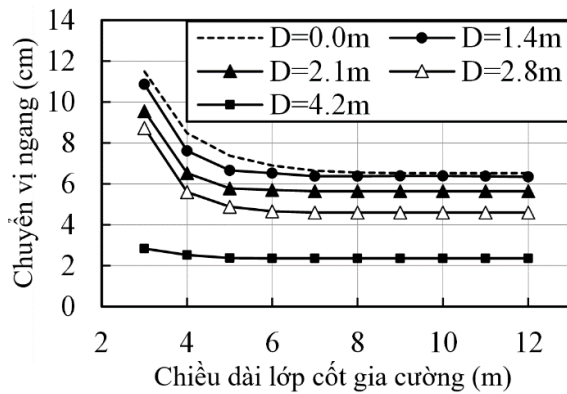
### 6. Ảnh hưởng của chiều dài lớp cốt gia cường đến chuyển vị ngang của tường

Để khảo sát ảnh hưởng của chiều dài lớp cốt đến chuyển vị ngang của tường, NNC thực hiện tính toán 50 trường hợp khác nhau với chiều dài lớp cốt ( $L$ ) được thay đổi trong phạm vi từ 3 m đến 12

m và khoảng lùi giữa hai tầng ( $D$ ) thay đổi trong phạm vi từ 0 m đến 4.2 m. Hình 19 tổng hợp kết quả quan hệ giữa chuyển vị ngang lớn nhất của mặt tường và chiều dài lớp cốt gia cường cho các trường hợp khác nhau của khoảng lùi giữa hai tầng. Ghi chú, trường hợp  $D = 0$  m (không có

khoảng lùi) là đại diện cho trường hợp tường chắn một tầng cao 8.4 m.

Quan sát các kết quả của những trường hợp tường hai tầng với  $D = 1.4$  m, 2.1 m, 2.8 m và 4.2 m trên Hình 19 cho thấy, khi chọn chiều dài lớp cốt gia cường nhỏ hơn 5.0 m ( $\approx 0.6H$ , với  $H$  là tổng chiều cao tường) thì chiều dài cốt có ảnh hưởng đáng kể đến chuyển vị ngang lớn nhất của tường. Cụ thể là, chuyển vị tường tăng lên khi chiều dài lớp cốt giảm xuống. Nếu chọn chiều dài lớp cốt gia cường bằng hoặc lớn hơn 5 m thì chiều dài cốt không ảnh hưởng đáng kể tới chuyển vị ngang lớn nhất của tường. Qua đó cho thấy, đối với các trường hợp tường chắn hai tầng,  $L = 0.6H$  (với  $H$  là tổng chiều cao tường) là giá trị hợp lý của chiều dài lớp cốt gia cường.



**Hình 19.** Quan hệ giữa chuyển vị ngang lớn nhất của tường và chiều dài lớp cốt gia cường.

## 7. Kết luận

Chuyển vị ngang lớn nhất ( $\Delta_{max}$ ) của tường giảm khi khoảng lùi ( $D$ ) giữa hai tầng tăng. Cụ thể, khi  $D$  có giá trị 1.05 m, 2.1 m và 4.2 m thì  $\Delta_{max}$  có giá trị tương ứng là 64 mm, 46 mm và 23 mm. Nếu so sánh các giá trị này với giá trị 66 mm của trường hợp tường một tầng ( $D = 0$  m), có thể thấy rằng tường hai tầng giúp giảm chuyển vị ngang  $\Delta_{max}$  so với tường một tầng và mức độ giảm càng nhiều khi khoảng lùi  $D$  càng lớn. Đặc biệt, trường hợp tường hai tầng với  $D = 4.2$  m, chuyển vị ngang  $\Delta_{max}$  giảm đến 65% so với trường hợp tường một tầng. Biến dạng dọc trục lớn nhất của cốt gia cường giảm khi khoảng lùi ( $D$ ) giữa hai tầng tăng. Cụ thể, khi  $D$  có giá trị 1.05 m, 2.1 m và 4.2 m thì biến dạng lớn nhất của cốt có giá trị lần lượt là

0.0114, 0.0084 và 0.0033. Các giá trị này nhỏ hơn đáng kể so với giá trị biến dạng 0.0122 của trường hợp tường một tầng ( $D = 0$  m). Điều này cho thấy, tường hai tầng giúp giảm biến dạng cốt gia cường so với tường một tầng và mức độ giảm càng nhiều khi khoảng lùi  $D$  càng lớn.

Tường hai tầng giúp giảm chuyển vị ngang đỉnh tường so với tường một tầng. Cụ thể, khi xem xét tường hai tầng với tỷ lệ tầng 80/20 và  $D = 2.8$  m, chuyển vị ngang đỉnh tường nhỏ hơn 55% so với trường hợp tường một tầng ( $D = 0$  m). Ngoài ra, tỷ lệ chiều cao giữa hai tầng có ảnh hưởng đáng kể đến phân bố chuyển vị bề mặt tường. Chiều cao tường tầng trên càng nhỏ (hay chiều cao tường tầng dưới càng lớn) thì chuyển vị phần trên của hệ tường càng giảm.

Đối với hệ tường chắn đất hai tầng được xem xét trong nghiên cứu này, giá trị  $L = 0.6H$  (với  $L$  là chiều dài lớp cốt và  $H$  là tổng chiều cao tường) là giá trị hợp lý của chiều dài lớp cốt gia cường. Nếu  $L$  được chọn nhỏ hơn  $0.6H$  thì chuyển vị ngang của mặt tường tăng. Ngược lại, nếu  $L$  được chọn lớn hơn  $0.6H$  thì không giúp giảm chuyển vị ngang của mặt tường.

## Tài liệu tham khảo

- [1] D. N. Hải, *Thiết kế và thi công tường chắn và đất có cốt*. Hà Nội, Việt Nam: NXB Xây dựng, 2017.
- [2] J. Evans, D. Ruffing, D. Elton, *Fundamentals of ground improvement engineering*. FL, USA: CRC Press, 2022.
- [3] R. R. Berg, B. R. Christopher, and N. C. Samtani, "Design of mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes," National Highway Institute, Washington, D.C., USA, Rep. FHWA-NHI-10-024 FHWA GEC 011-Vol I, Nov. 2009, vol. 1.
- [4] N. T. Sơn, T. N. Thiện, N. T. Quyền, "Mô hình số phân tích ứng xử của tường chắn đất có cốt sử dụng các loại vật liệu đất đắp tại chỗ khác nhau," *TC KHCN XD*, số 17, tr. 123-138, 11. 2023, doi: 10.31814/stce.huce2023-17(4V)-11.
- [5] N. M. Hà, P. T. Thanh, "Nghiên cứu sự làm việc của tường chắn đất có cốt sau mô phỏng chức

- năng riêng biệt trong điều kiện Việt Nam,” *TC CD VN*, số 9, tr. 10-15, 2021.
- [6] P. N. Thạch, H. K. Tuấn, “Phân tích chuyển vị tường chắn đất có cốt với mặt tường được lắp ghép từ các cấu kiện bê tông đúc sẵn,” *TC KHCN GTVT*, tập 13, số 2, pp. 13-21, 3. 2024, doi: 10.55228/JTST.13(2).13-21.
- [7] Dassault Systems Simulia Corp., *ABAQUS 6.14 theory manuals*. (2014). Accessed: 14/02/2024. [Online]. Available: <http://62.108.178.35:2080/v6.14/books/stm/default.htm>
- [8] T. Belytschko, W. K. Liu, B. Moran, K. Elkhodary, “Element technology,” in *Nonlinear finite elements for continua and structures*,” 2nd ed. NJ, USA: John Wiley & Sons, 2014, ch. 8, pp. 477-534.
- [9] P. N. Thạch, H. K. Tuấn, “Mô hình phần tử hữu hạn phân tích biến dạng tường chắn đất được gia cường lưới địa kỹ thuật,” *TC KH GTVT*, số 75, tr. 1427-1438, 04. 2024, doi: 10.47869/tcsj.75.3.9.
- [10] M. E. Mohamad, I. S. Ibrahim, R. Abdullah, A. B. Abd. Rahman, A. Kueh, J. Usman, “Friction and cohesion coefficients of composite concrete-to-concrete bond,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 56, pp.1-14, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2014.10.003.
- [11] American Association of State Highway and Transportation Officials, “AASHTO LRFD Bridge Design Specifications,” 7th Ed. Washington, D.C., USA: AASHTO, 2014.
- [12] *Tiêu chuẩn khảo sát, thiết kế nền đường ô tô trên nền đất yếu*, TCCS 41:2022/TCĐBVN, Tổng cục Đường bộ Việt Nam, Hà Nội, Việt Nam, 2022.
- [13] H. I. Ling, C. P. Cardany, L. -X. Sun and H. Hashimoto, “Finite Element Study of a Geosynthetic-Reinforced Soil Retaining Wall With Concrete-Block Facing,” *Geosynth. Int.*, vol. 7, no. 3, pp. 163-188, Jan. 2000, doi: 10.1680/gein.7.0171.
- [14] N. Q. Chiêu, “ Tính toán kết cấu đất có cốt,” trong *Thiết kế tường chắn đất*. HN, VN: NXB Giao thông vận tải, 2004, tr. 37-41.
- [15] *Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills*, BS 8006-1:2010+A1:2016, British Standards Institution, UK, 2010.