

Phân tích ảnh hưởng của tải phân bố đều lân cận đến chuyển vị ngang của tường vây hố đào sâu

Đào Nguyễn Huy Tông^{1*}

¹ Khoa Công trình, Phân Hiệu tại Thành phố Hồ Chí Minh, Trường Đại học Giao thông vận tải

TỪ KHOÁ

Hố đào sâu
Tải phân bố đều
Chuyển vị ngang tường vây
Phương pháp phần tử hữu hạn
Thi công theo giai đoạn

TÓM TẮT

Trong khu vực đô thị, hố đào sâu cho các công trình hạ tầng hay nhà ở dân dụng thường chịu ảnh hưởng bất lợi từ công trình hiện hữu lân cận, làm gia tăng chuyển vị ngang tường vây. Nghiên cứu này phân tích ảnh hưởng của tải phân bố đều đặt sau tường vây đến ứng xử hố đào thông qua mô hình phần tử hữu hạn (PTHH) có xét đến trình tự thi công hố đào. Mô hình được kiểm chứng bằng số liệu quan trắc từ công trình thực tế tại Thành phố Hồ Chí Minh. Các tham số được khảo sát bao gồm chiều sâu hố đào (H), khoảng cách đặt tải (X), giá trị tải trọng (S) và phạm vi phân bố tải (R), chuyển vị của tường vây được trình bày dưới dạng chuẩn hóa (u^*). Kết quả cho thấy (X) và (H) là hai thông số chi phối đến chuyển vị ngang tường vây trong phạm vi khảo sát. Trên cơ sở đó, nghiên cứu làm rõ vai trò tương đối của các tham số lên chuyển vị ngang của tường vây, qua đó góp phần hoàn thiện cơ sở phân tích và kiểm chứng mô hình cho bài toán tường vây hố đào sâu trong môi trường đô thị.

KEYWORDS

Deep excavations
Uniform surcharge
Diaphragm wall lateral displacement
Finite element (FE) method
Staged construction

ABSTRACT

In dense urban environments, deep excavations for basements and underground facilities are often affected by adjacent existing structures, which may amplify lateral wall movements in diaphragm walls. This study investigates the influence of a uniform surcharge applied behind a diaphragm wall on excavation performance using a 2D finite element model with staged construction. The model is validated against field monitoring data from a real project in Ho Chi Minh City. A parametric study is conducted by varying the excavation depth (H), surcharge distance from the wall (X), surcharge intensity (S), and surcharge width (R), while wall movements are reported in normalized form (u^*). The results indicate that (X) and (H) are the dominant parameters governing diaphragm-wall lateral displacement within the investigated range. Based on these findings, the study elucidates the relative importance of the governing parameters in controlling diaphragm-wall lateral displacement, thereby strengthening the analytical framework and supporting model validation for diaphragm-wall-supported deep excavations in urban settings.

1. Giới thiệu

Trong đô thị có mật độ xây dựng cao, hố đào sâu phục vụ thi công tầng hầm hoặc công trình ngầm thường được triển khai tiếp giáp các công trình hiện hữu, đặc biệt là các công trình sử dụng móng nông. Tải trọng phân bố từ công trình hiện hữu đặt phía sau tường có thể làm tăng chuyển vị ngang, ảnh hưởng trực tiếp đến an toàn của công trình xung quanh và bản thân hố đào. Mức độ tác động phụ thuộc đáng kể vào chiều sâu đào theo giai đoạn thi công cũng như vị trí, giá trị và phạm vi đặt tải. Vì vậy, nghiên cứu này phân tích ảnh hưởng của tải trọng phân bố lân cận lên chuyển vị ngang của tường vây hố đào sâu trong nền đất sét đồng nhất, nhằm nhận diện các tham số chi phối và làm cơ sở phục vụ công tác thiết kế và thi công.

Các nghiên cứu về ảnh hưởng do tải trọng phân bố đều lân cận lên hố đào sâu đã được triển khai theo hai hướng chính: (i) mô hình hoặc số liệu thực nghiệm nhằm nhận diện cơ chế tương tác đất-tường

vây-công trình lân cận và (ii) mô phỏng số để mở rộng khảo sát tham số và xây dựng các quan hệ dự báo. Trong nhóm thực nghiệm, đã có nhiều tác giả thực hiện những nghiên cứu về chuyển vị ngang của tường vây như Steenfelt và cộng sự (1984) [1], Chang-Yu Ou và cộng sự (1993) [2], Georgiadis và cộng sự (1998) [3], Long (2001) [4], Wang và cộng sự (2005) [5] hay El Sawwaf và Nazir (2012) [6]. Cụ thể, Georgiadis và cộng sự [3] đã khảo sát tường vây dạng công-xôn (không có tầng chống) trong nền đất cát dưới tác dụng tải trọng dạng băng với các mức cường độ và khoảng cách khác nhau, cho thấy tải trọng lân cận có thể làm gia tăng đáng kể biến dạng và mô men uốn của tường. Năm 2005, Wang và cộng sự [5] khảo sát 06 hố đào metro có nhiều tầng chống trong nền đất yếu Thượng Hải và cho thấy chuyển vị ngang cực đại của tường ở dạng chuẩn hóa δ_{nm}/H đều nhỏ (dưới khoảng 0,007), thấp hơn đáng kể so với ngưỡng tham khảo 0,01 của Peck năm 1969 [7], nhờ hệ chống dự ứng lực và việc kiểm soát, điều chỉnh lực chống trong suốt quá trình đào. Năm 2012, El Sawwaf và Nazir [6] mở

*Liên hệ tác giả: tongdnh_ph@utc.edu.vn

Nhận ngày 12/03/2026, sửa xong ngày 02/04/2026, chấp nhận đăng ngày 03/04/2026

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2026.1276>

rộng bài toán theo hướng “tác động của hố đào lên công trình lân cận”, kết quả chỉ ra rằng gia cường nền bằng vật liệu địa kỹ thuật có thể giảm rõ rệt lún và nghiêng của móng, song hiệu quả phụ thuộc mạnh vào vị trí tương đối và điều kiện nền. Các thí nghiệm sau đó tiếp tục khẳng định khoảng cách công trình (hay tải trọng) đến mép hố đào là tham số chi phối quan trọng đối với ứng xử của tường vây đất. Ở hướng mô phỏng số cũng đã có những nghiên cứu điển hình như Mowafy và cộng sự (2011) [8], Samadhiya (2020) [9]. Singh và Chatterjee (2020) [10, 11], Ahmad và cộng sự (2021) [12], Debnath và Pal (2021) [13] và (2023) [14, 15]. Cụ thể, vào năm 2020, Singh và Chatterjee [10] sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn để định lượng tác động của tải phân bố đều theo khoảng cách đặt tải lên chuyển vị và mô men uốn của tường vây dạng công-xôn trong nền đất cát, kết quả cho thấy mô men cực đại gia tăng khi giá trị tải lớn hơn và đặt gần tường hơn, đồng thời chịu chi phối bởi điều kiện biên và đặc trưng đất nền. Năm 2021, Ahmad và cộng sự [12] kết hợp thí nghiệm trong phòng và mô phỏng số để đánh giá ảnh hưởng của hố đào lân cận lên quan hệ tải trọng và ứng xử của móng nông (móng vuông) trong nền cát có và không gia cường. Nghiên cứu chỉ ra rằng ảnh hưởng của hố đào giảm mạnh khi móng đủ xa (khoảng $\geq 4B$). Gần đây, vào năm 2023, Debnath và Pal [14] áp dụng phương pháp PTHH phi tuyến 2D có xét đến trình tự đào đất, kết quả nhấn mạnh độ nhạy của chuyển vị tường và mô men uốn đối với giá trị, vị trí và phạm vi vùng tải trọng, đồng thời cho thấy việc xét đến ảnh hưởng của quá trình thi công hố đào là cần thiết để phản ánh đúng xu thế ứng xử của tường vây. Ngoài ra, đã có nhiều nghiên cứu trong nước về các ứng xử của hố đào sâu trong các điều kiện địa chất khác nhau. Điển hình như nghiên cứu của Huân và cộng sự năm 2019 [16] phân tích ảnh hưởng của quá trình thi công hố đào lên biến dạng và ổn định của nền đất xung quanh trong điều kiện địa chất có cả đất loại sét và cát tại TP.Hồ Chí Minh. Năm 2021, Quý và cộng sự [17] phân tích và đánh giá các mô hình vật liệu phù hợp cho nền đất sét bão hòa nước tại TP.Hồ Chí Minh để dự đoán chính xác chuyển vị ngang của tường vây.

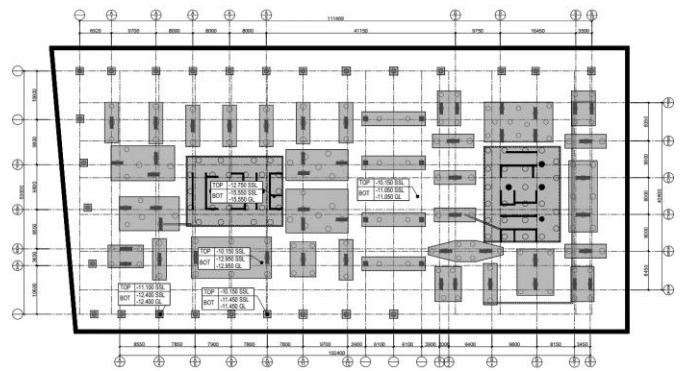
Mặc dù nhiều nghiên cứu ngoài nước đã làm rõ tác động của tải trọng lân cận đến ứng xử tường vây hố đào, phần lớn các kết quả hiện có chủ yếu tập trung vào tường dạng công-xôn trong nền cát. Ngoài ra, một số nghiên cứu tại Việt Nam đã xem xét ứng xử hố đào sâu, đặc biệt trong nền đất sét yếu. Tuy nhiên, các nghiên cứu còn phân tán theo công trình, và chịu ảnh hưởng mạnh bởi tính biến thiên cục bộ của địa chất đô thị TP.HCM, do đó việc tham chiếu và khái quát hoá theo các tham số thiết kế hay thi công còn hạn chế. Vì vậy, vẫn cần một đánh giá có hệ thống về ảnh hưởng của tải phân bố đều lân cận lên chuyển vị tường vây trong nền đất sét, đặc biệt khi xét đến trình tự thi công theo giai đoạn và được kiểm chứng bằng số liệu quan trắc. Nghiên cứu này tập trung đánh giá ảnh hưởng của bốn tham số chính: chiều sâu hố đào (H); giá trị tải trọng (S); khoảng cách đặt tải (X) và phạm vi phân bố tải (R) lên chuyển vị ngang của tường vây. Các kết quả được thể hiện dưới dạng không thứ nguyên thông qua chuyển vị chuẩn hoá (u^*), nhằm cho phép so sánh giữa

các giai đoạn đào và các kịch bản chất tải khác nhau. Mô hình được kiểm chứng bằng số liệu quan trắc của công trình Khu phức hợp căn hộ-thương mại-văn phòng The Park Avenue, và từ đó làm rõ vai trò tương đối của các tham số lên chuyển vị ngang của tường vây, qua đó góp phần hoàn thiện cơ sở phân tích và kiểm chứng mô hình cho bài toán tường vây hố đào sâu trong môi trường đô thị.

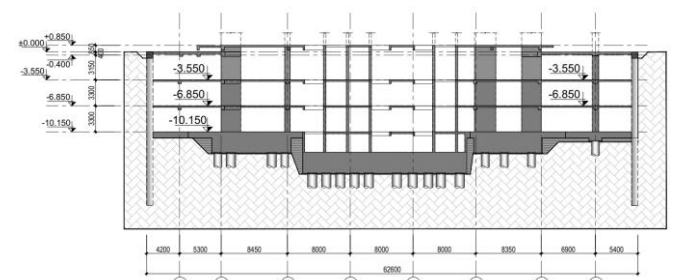
2. Tổng quan về công trình

2.1. Thông tin công trình

Dự án The Park Avenue (Quận 11, TP.HCM) có 03 tầng hầm với diện tích xây dựng khoảng 7.450 m². Cao độ đáy móng nằm trong khoảng -10,15 đến -12,95 m, trong khi khu vực lõi thang máy sâu hơn, khoảng -12,75 đến -15,55 m; kích thước và mặt cắt hố đào được trình bày ở Hình 1 và 2. Hố đào được chống giữ bằng tường vây liên tục bê tông cốt thép dày 0,8 m, chôn sâu 28 m.



Hình 1. Mặt bằng móng và kích thước tầng hầm [18].



Hình 2. Mặt cắt ngang kết cấu tầng hầm [18].

2.2. Phương án và trình tự thi công hố đào

Các thông tin về trình tự thi công, số liệu quan trắc và thông số địa chất được tham khảo từ hồ sơ thiết kế biện pháp thi công từ Hoa Binh Construction Group [18]. Hố đào có chiều sâu trung bình 12 m tính từ mặt đất tự nhiên. Kết cấu tường vây là tường liên tục bê tông cốt thép dày 800 mm, biện pháp thi công đào đất là semi top-down. Trình tự thi công hố đào được trình bày trong bảng sau.

Bảng 1. Trình tự thi công hố đào.

Bước 1	Triển khai tường vây, thi công cọc nhồi và lấp đặt kingpost;
Bước 2	Đào đất đến cao độ -3,87 m;
Bước 3	Thi công sàn hầm 1 tại cao độ -3,55 m; đồng thời thi công sàn tầng 1 tại cao độ -0,40 m.
Bước 4	Hạ mực nước ngầm (MNN) đến -8,150 m và đào đất đến -7,150 m.
Bước 5	Thi công sàn hầm 2 tại cao độ -6,85 m;
Bước 6	Hạ MNN xuống -13,85 m và đào xuống cao độ -12,85 m
Bước 7	Thi công móng và sàn hầm 3 tại cao độ -10,150 m;

3. Mô phỏng và phân tích bài toán

Bài toán được phân tích thông qua phần mềm PTHH Plaxis, mô hình tầng bền (HS, Hardening soil) được dùng để mô phỏng nền đất. Tường vây được mô hình hoá bằng phần tử Plate, còn các sàn tầng

hầm/hệ chống được biểu diễn bằng phần tử Anchor. Các thông số đất nền và tường vây được trình bày trong Bảng 2 và 3, bao gồm các thông số về độ cứng như E_{ref}^{50} , E_{ref}^{oed} , E_{ref}^{ur} và các thông số về cường độ như c , ϕ . Kết quả phân tích được kiểm chứng với số liệu quan trắc để kiểm chứng độ tin cậy của mô hình.

3.1. Thông số vật liệu và mô hình bài toán trong phần mềm Plaxis

Bảng 2. Thông số mô phỏng nền đất đề xuất.

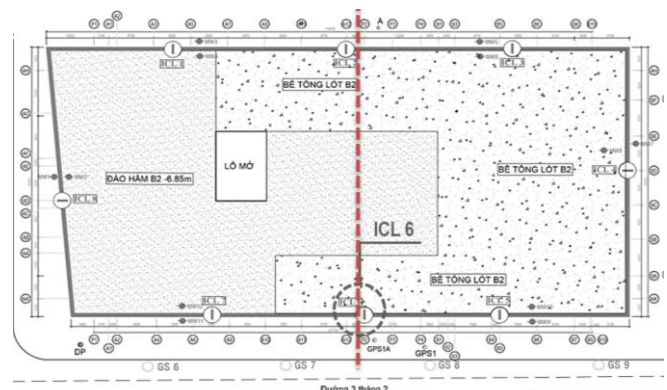
Lớp đất	γ_{unsat} (kN/m ³)	E_{ref}^{50} (kN/m ²)	E_{ref}^{oed} (kN/m ²)	E_{ref}^{ur} (kN/m ²)	c (kN/m ²)	ϕ (°)	Cao độ đỉnh lớp đất (m)
1. Đất san lấp	18,0	18.000	18.000	54.000	0,0	30,0	0,0
2a. Sét pha cát, nâu đỏ-xám trắng, dẻo mềm	18,5	8.750	8.750	26.250	10	26	-1,1
2b. Sét pha cát, nâu đỏ-xám trắng, dẻo mềm-dẻo cứng	18,9	16.706	16.706	50.119	26,02	26,6	-3,3
3. Cát pha bụi sét, xám vàng-xám trắng, chặt vừa	19,0	25.692	25.692	77.077	6,4	25,3	-12,5
4. Sét, xám xanh-nâu đỏ, nửa cứng-cứng	19,9	41.429	41.429	124.286	32,5	28,6	-38,0
5. Cát pha bụi sét, xám xanh-xám vàng, chặt	20,0	63.143	63.143	189.429	6,1	30,6	-51,9

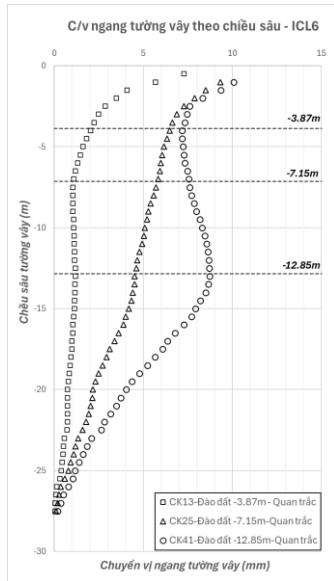
Bảng 3. Thông số mô phỏng tường vây.

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Chiều dày tường	b	800	mm
Mô men quán tính	J	0,042667	m ⁴ /m
Mô men kháng uốn	W	0,106667	m ³ /m
Diện tích tiết diện	A	0,8	m ² /m
Độ cứng kháng uốn	EJ	1,47E + 06	kNm ² /m
Độ cứng kháng nén	EA	2,76E + 07	kN/m

3.2. Vị trí và số liệu quan trắc

Vị trí quan trắc và kết quả quan trắc chuyển vị tường vây được thể hiện trong Hình 4. Có thể thấy rằng, chuyển vị ngang lớn nhất xuất hiện tại bước đào đất cuối cùng và ở vị trí gần đáy hố đào.

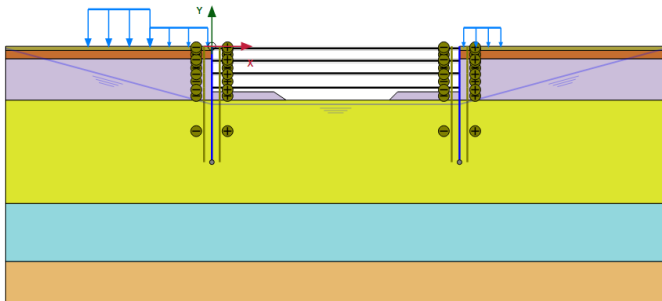




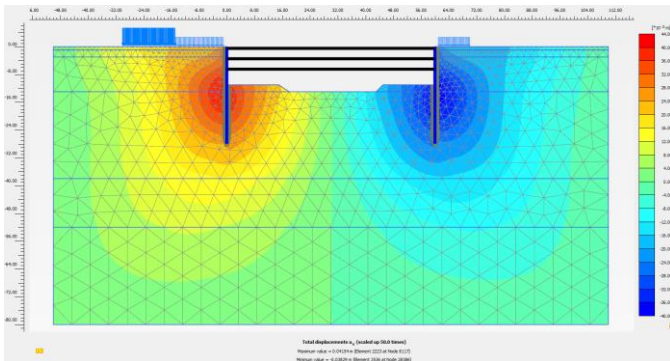
Hình 4. Vị trí và kết quả quan trắc [18].

3.3. Mô phỏng hố đào trong Plaxis 2D

Mô hình bài toán trong phần mềm Plaxis 2D. Trình tự đào đất và thi công sàn được thiết lập theo giai đoạn (construction stages). Sơ đồ mô hình trình bày ở Hình 5, và kết quả chuyển vị ngang tường vây được tổng hợp ở Hình 6.

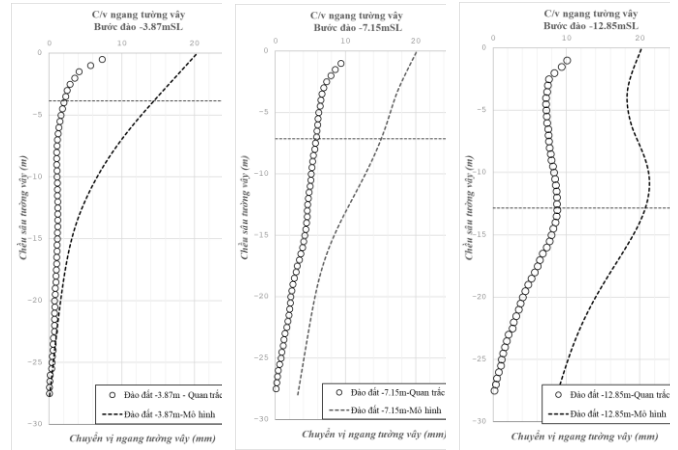


Hình 5. Mô hình hố đào trong Plaxis 2D.



Hình 6. Chuyển vị ngang hố đào ở bước 7.

Kết quả chuyển vị ngang tường vây từ mô hình được so sánh với số liệu quan trắc ở Hình 7 và cho thấy mức độ phù hợp tốt về xu hướng chuyển vị theo các giai đoạn thi công. Chênh lệch về giá trị có thể đến từ các điều kiện hiện trường như độ cứng sàn hầm bị giảm bởi các lỗ mở thi công và ảnh hưởng của hệ cọc bên trong hố đào. Vì vậy, các tham số mô hình ở Mục 3.1 được xem là đủ tin cậy cho các phân tích tiếp theo.



Hình 7. So sánh kết quả phân tích chuyển vị ngang tường vây và quan trắc tương ứng với từng giai đoạn thi công.

4. Mô hình bài toán và kết quả phân tích

4.1. Mô hình bài toán

Trong nghiên cứu này, bài toán tải phân bố đều lân cận tác động lên ứng xử tường vây được minh họa ở Hình 8. Bốn tham số được thay đổi để khảo sát gồm chiều sâu hố đào (H), giá trị tải trọng (S), phạm vi phân bố tải (R) và khoảng cách đặt tải (X); các kịch bản tương ứng được tổng hợp trong Bảng 4. Để thuận tiện so sánh giữa các giai đoạn đào và kịch bản gia tải, kết quả phân tích được biểu diễn dưới dạng chuyển vị ngang chuẩn hóa (u^*). Các thông số nền đất và tường vây được giữ cố định theo số liệu công trình The Park Avenue, nước ngầm và ảnh hưởng thi công hệ tường vây và hệ cọc trong hố đào không được xét đến nhằm đơn giản hóa và tách riêng ảnh hưởng tải phân bố. Chuyển vị chuẩn hóa được lấy theo công thức sau:

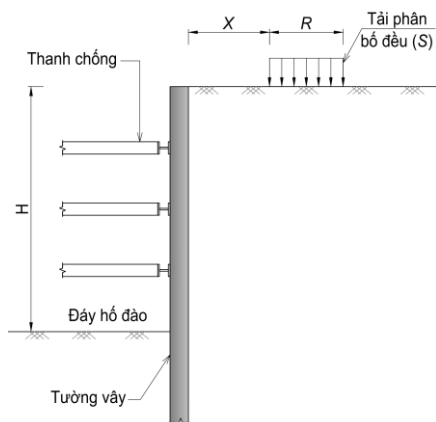
$$u^* = \frac{u_{\max}}{H} \quad (1)$$

Trong đó:

u_{\max} : là chuyển vị ngang lớn nhất trong tường vây (m),

H : là chiều sâu hố đào tương ứng từng giai đoạn (m).

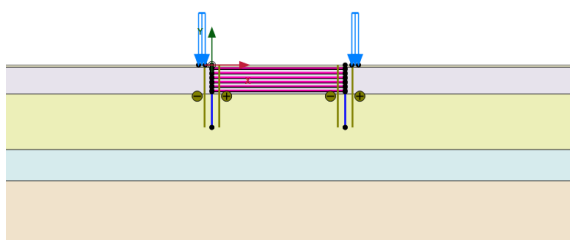
Mô hình Plaxis 2D được thể hiện trong Hình 9, vị trí tải phân bố thay đổi từ mép bên phải và trái của hố đào. Phạm vi mô hình được thay đổi theo khoảng cách đặt tải. Kết quả phân tích điển hình cho các trường hợp khảo sát được mô tả trong Hình 10 và Hình 11.



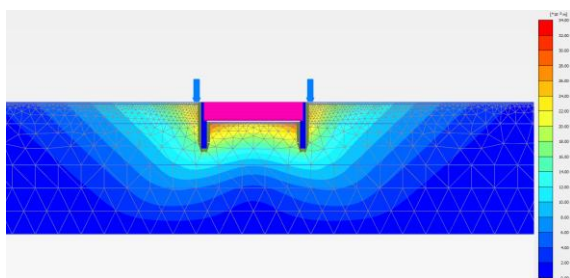
Hình 8. Mô hình bài toán.

Bảng 4. Các thông số khảo sát.

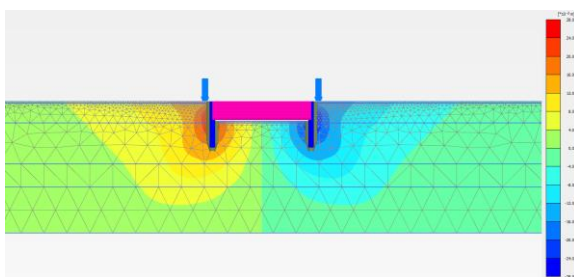
Thông số	Giá trị khảo sát
Chiều sâu hố đào (H)	2; 4; 8; 10; 12 m
Khoảng cách đặt tải (X)	1,5; 3; 6; 9 m
Giá trị tải trọng (S)	10; 20; 40 kPa
Phạm vi phân bố tải (R)	3; 6; 9 m



Hình 9. Mô hình khảo sát.



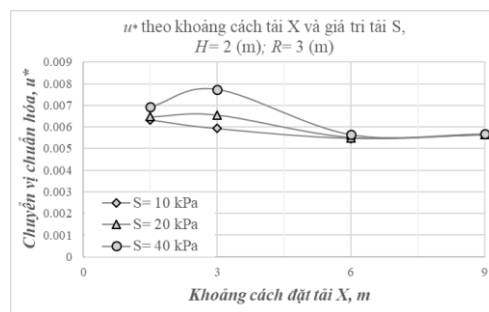
Hình 10. Chuyển vị tổng thể điển hình cho các trường hợp khảo sát.



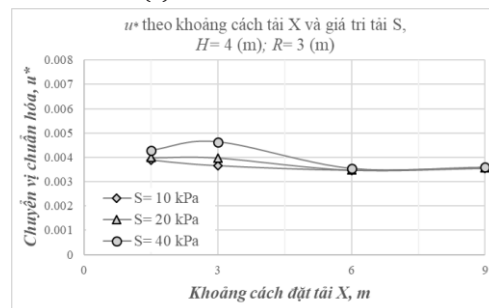
Hình 11. Chuyển vị ngang điển hình cho các trường hợp khảo sát.

4.2. Ảnh hưởng của khoảng cách đặt tải (X)

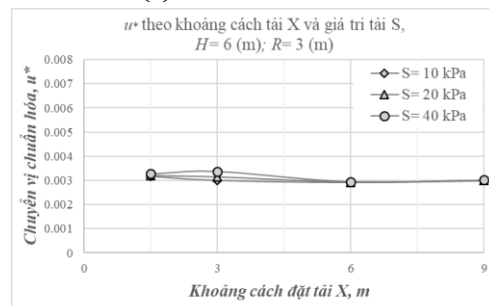
Chuyển vị ngang chuẩn hóa u^* trong tường vây cho một số trường hợp điển hình, có phạm vi phân bố tải $R = 3; 6$ và 9 m và khoảng cách tải $X = 1,5; 3; 6; 9$ m theo chiều sâu đào H , được lần lượt thể hiện trong Hình 12 và 13. Có thể thấy rằng u^* phụ thuộc đồng thời vào khoảng cách đặt tải X và chiều sâu hố đào H , trong đó mức độ nhạy của u^* giảm dần khi chiều sâu đào $H \geq 6$ m và khi $X \geq 6$ m.



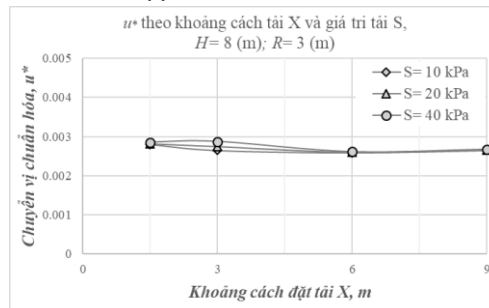
(a) $H = 2$ m và $R = 3$ m



(b) $H = 4$ m và $R = 3$ m



(c) $H = 6$ m và $R = 3$ m

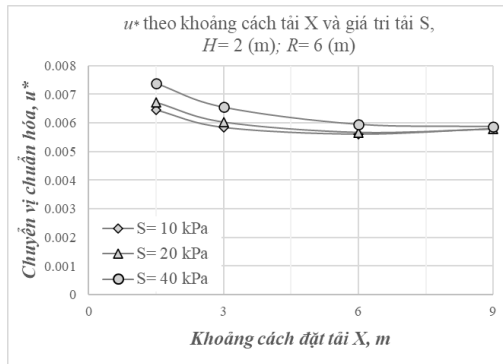


(d) $H = 8$ m và $R = 3$ m

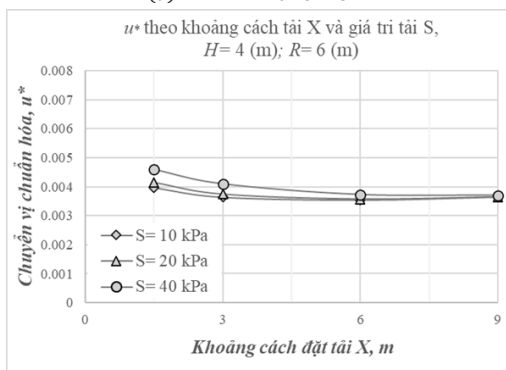
Hình 12. Chuyển vị ngang chuẩn hóa u^* trong tường vây theo khoảng cách tải X và giá trị tải S (trường hợp $H = 2; 4; 6; 8$ m và $R = 3$ m).

Ở trường hợp $R = 3$ m như Hình 12(a) đến (d), có thể thấy u^* đạt cực trị tại $X = 3$ m, đặc biệt với $S = 40$ kPa cho thấy rằng xu hướng của u^* không chỉ phụ thuộc vào khoảng cách đặt tải X , mà còn chịu chi phối bởi phạm vi phân bố tải R thông qua vùng tác dụng $[X; X + R]$. Khi dải tải hẹp được đặt quá gần tường ($X = 1,5$ m), tác động của tải trọng tập trung ở vùng nông sát mép hồ và có thể giảm ảnh hưởng do điều kiện biên và ràng buộc của hệ chống gần đáy hồ. Ngược lại, khi tải được di chuyển xa hơn với dải tải $[X; X + R = 3; 6$ m] chồng lấn mạnh hơn với vùng đất chỉ phối đến chuyển vị tường vây nên giá trị u^* đạt cực trị. Kết quả cho thấy đối với phạm vi tải hẹp, tồn tại một khoảng cách bất lợi theo X , trong khi với tải rộng hơn, u^* giảm gần như tuyến tính theo khoảng cách đặt tải X .

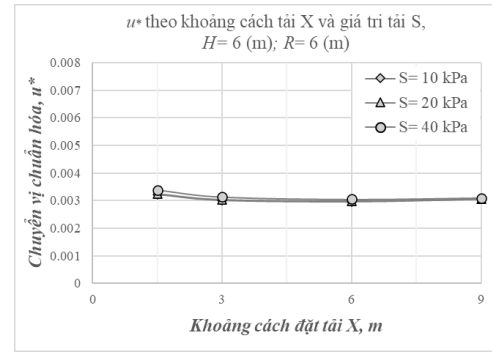
Đối với các trường hợp $R = 6$ và 9 m như Hình 13(a) đến (d) và 13(e) đến (h), u^* đạt giá trị lớn nhất tại $X = 1,5$ m và giảm dần khi X gia tăng. Cụ thể, giá trị u^* giảm đáng kể từ 15 đến 25 % khi X tăng từ 1,5 đến 6 m, khi $X \geq 6$ m thì u^* gần như không có sự chênh lệch, điều này cho thấy ảnh hưởng của X và R suy giảm nhanh chóng đến chuyển vị tường vây khi tải được đặt xa hơn. Ở các trường hợp hồ đào sâu hơn $H \geq 6$ m như kết quả trong Hình 13c-d; g-h, các đường giá trị u^* theo X gần như không thay đổi, cho thấy ảnh hưởng của vị trí X và giá trị tải S đã hạn chế hơn khi chiều sâu hồ đào gia tăng ($H \geq 6$ m).



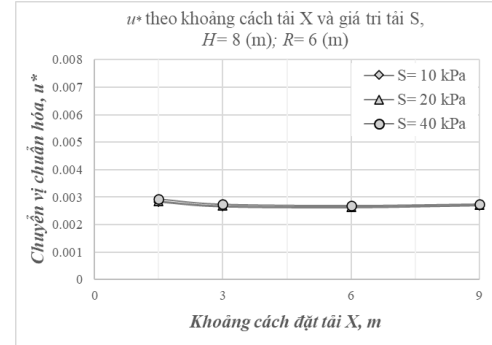
(a) $H = 2$ m và $R = 6$ m



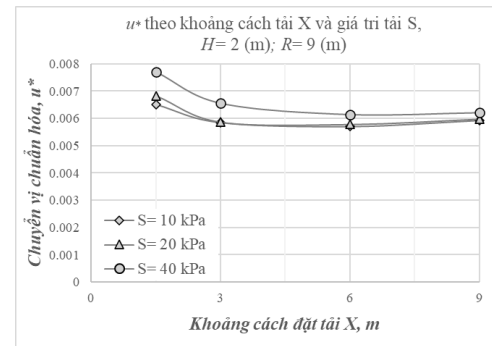
(b) $H = 4$ m và $R = 6$ m



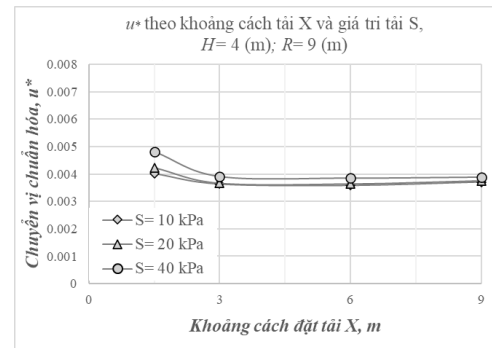
(c) $H = 6$ m và $R = 6$ m



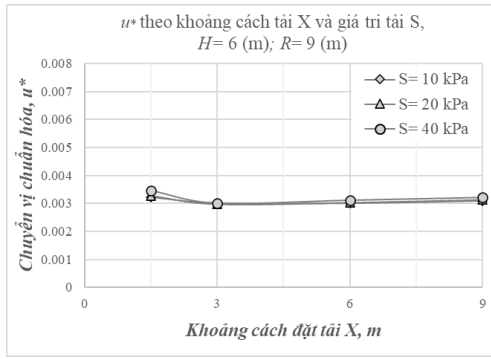
(d) $H = 8$ m và $R = 6$ m



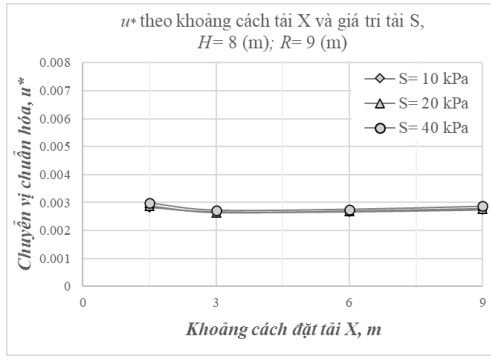
(e) $H = 2$ m và $R = 9$ m



(f) $H = 4$ m và $R = 9$ m



(g) $H=6$ m và $R=9$ m



(h) $H=8$ m và $R=9$ m

Hình 13. Chuyển vị ngang chuẩn hóa u^* trong tường vây theo khoảng cách tải X và giá trị tải S (trường hợp $H=2; 4; 6; 8$ m và $R=6; 9$ m).

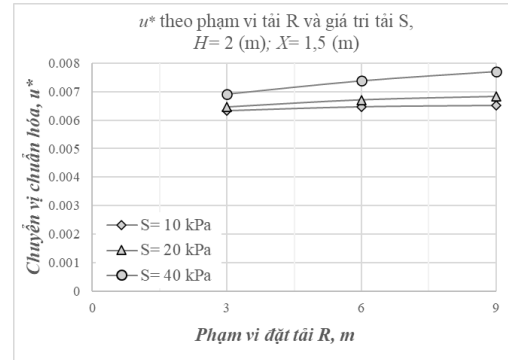
4.3. Ảnh hưởng của phạm vi phân bố tải (R)

Hình 14 (các trường hợp điển hình) cho thấy ảnh hưởng của phạm vi phân bố tải R lên chuyển vị chuẩn hoá u^* phụ thuộc mạnh vào khoảng cách đặt tải X và giai đoạn đào H . Ở Hình 14(a) và (b), khi tải đặt gần tường vây với $X=1,5$ m thì u^* có xu hướng tăng nhẹ khoảng 15% khi R tăng từ 3 đến 9 m, điều này phản ánh việc mở rộng phạm vi đặt tải làm tăng ảnh hưởng và phạm vi biến dạng phía sau tường. Ngoài ra, khi chiều sâu hố đào tăng $H \geq 6$ m thì các đường giá trị u^* theo S gần như không có chênh lệch, phản ánh mức độ ảnh hưởng của S bị hạn chế lớn khi H gia tăng. Xu hướng tương tự cũng xuất hiện cho trường hợp $X=6; 9$ m như Hình 14(e) và (f), u^* tăng nhẹ theo R và mức độ ảnh hưởng của S cũng giảm dần theo chiều sâu hố đào H .

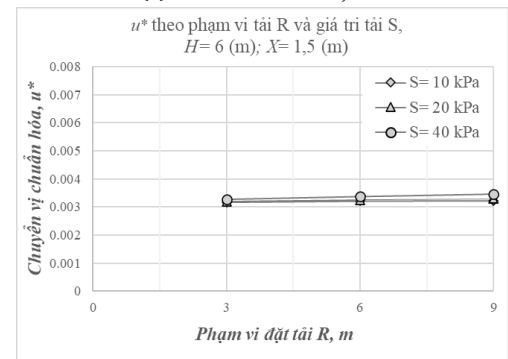
Ngược lại, trường hợp $X=3$ m như Hình 14(c) và (d) cho giá trị u^* giảm khoảng 20 % khi R thay đổi từ 3 đến 6 m, đặc biệt với $S=40$ kPa, điều này một lần nữa cho thấy với dải tải hẹp sẽ tồn tại một khoảng cách bất lợi theo X . Điều này phù hợp với kết quả phân tích ảnh hưởng theo khoảng cách đặt tải X trước đó, khi u^* có thể đạt cực trị cục bộ quanh $X=3$ m đối với $R=3$ m. Khi X tăng lên 6–9 m, các đường quan hệ u^* theo R trở nên gần như hội tụ, cho thấy ảnh hưởng của phạm vi tải R suy giảm rõ rệt khi tải đặt đủ xa ($X \geq 6$ m).

Tổng thể, phạm vi tải R có ảnh hưởng không lớn đến chuyển vị của tường vây như H và X . Tuy nhiên, khi hố đào đủ sâu ($H \geq 6$ m) và khoảng cách đặt tải đủ xa ($X \geq 6$ m) thì u^* dần ít bị chi phối hơn bởi

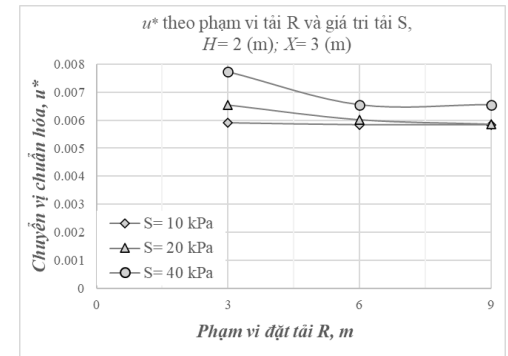
các thông số khảo sát. Ngoài ra, ảnh hưởng của giá trị tải S trong các trường hợp này cũng suy giảm.



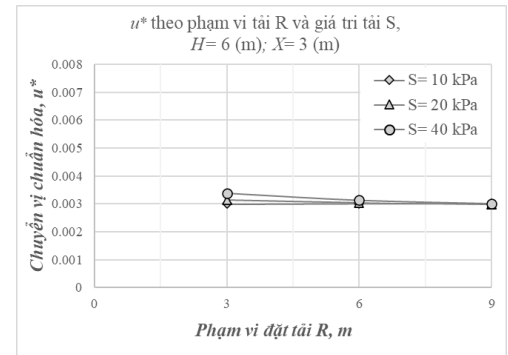
(a) $H=2$ m và $X=1,5$ m



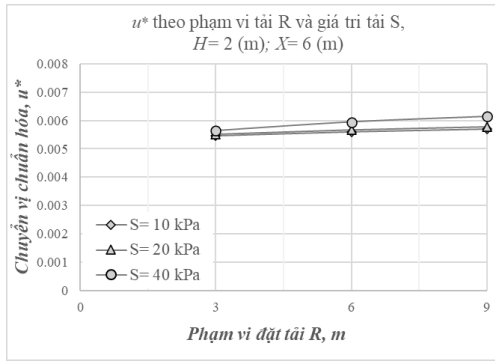
(b) $H=6$ m và $X=1,5$ m



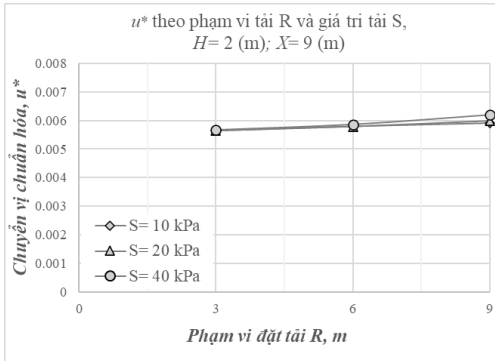
(c) $H=2$ m và $X=3$ m



(d) $H=6$ m và $X=3$ m



(e) $H = 2$ m và $X = 6$ m

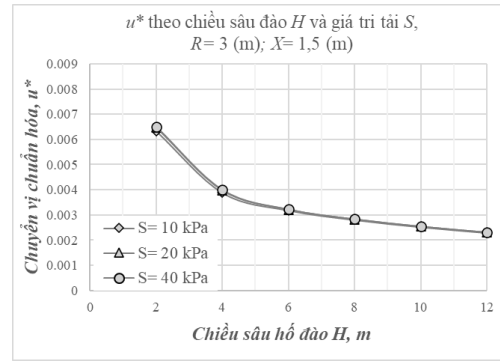


(f) $H = 2$ m và $X = 9$ m

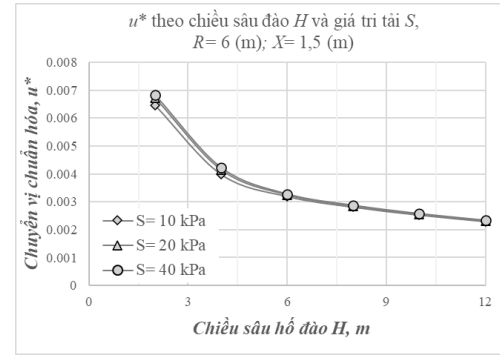
Hình 14. Chuyển vị ngang chuẩn hóa u^* trong tường vây theo phạm vi phân bố tải R và giá trị tải S (trường hợp $H = 2$; 6 m và $X = 1,5$; 3 ; 6 ; 9 m).

4.4. Ảnh hưởng của chiều sâu hố đào (H)

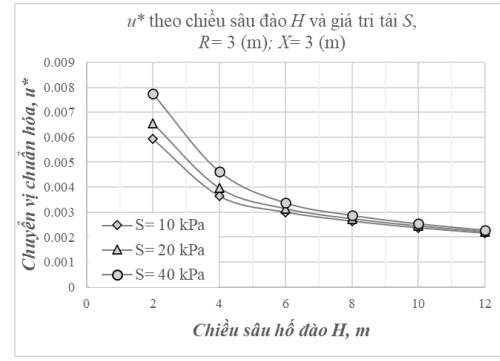
Hình 15(a) đến (f) (các trường hợp điển hình) cho thấy giá trị u^* giảm mạnh theo chiều sâu đào H và chậm dần và gần như hội tụ khi $H \geq 6$ m. Xu hướng này nhất quán cho mọi trường hợp R và X , trong đó u^* giảm mạnh khoảng 45 % ở giai đoạn $H = 2$ đến 4 m và giảm khoảng 15% khi $H \geq 6$ m. Về cơ chế, mặc dù kết quả phân tích cho thấy chuyển vị tuyệt đối u_{max} có thể tăng do biến dạng được tích lũy theo chiều sâu hố đào H nhưng không gia tăng tuyến tính. Do hố đào được thi công theo giai đoạn cứ mỗi bước đào xuống, tường vây được khống chế bởi thêm các tầng chống, làm giảm biến dạng tăng thêm trên mỗi mét đào, nên thông số chuẩn hóa $u^* = u_{max}/H$ giảm dần. Khi H đủ lớn, hệ chống đã được lắp đặt tương đối đầy đủ và trường ứng suất-biến dạng tiến gần trạng thái ổn định, nên u^* gần như không thay đổi. Ngoài ra, các biểu đồ đều cho thấy khoảng cách giữa các đường quan hệ u^* theo S gần tiệm cận nhau khi H sâu hơn, đặc biệt khi $H \geq 6$ m. Điều này cho thấy ở giai đoạn hố đào sâu hơn, giá trị u^* chủ yếu do tương tác tường vây và hệ chống chi phối, còn ảnh hưởng do tải phân bố S không đáng kể.



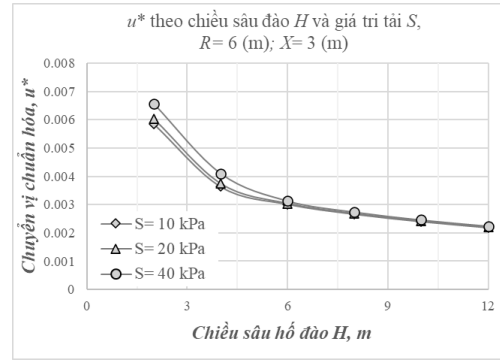
(a) $R = 3$ m và $X = 1,5$ m



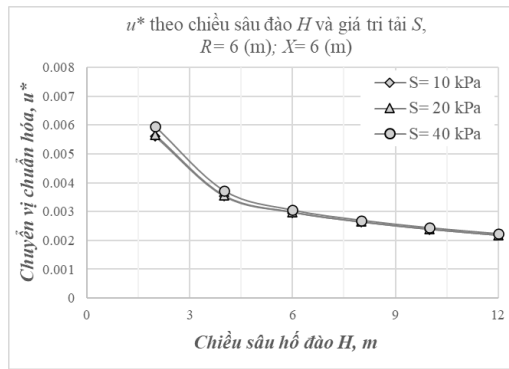
(b) $R = 6$ m và $X = 1,5$ m



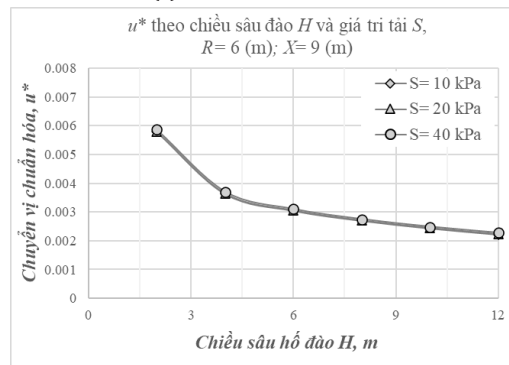
(c) $R = 3$ m và $X = 3$ m



(d) $R = 6$ m và $X = 3$ m



(e) R = 6 m và X = 6 m



(f) R = 6 m và X = 9 m

Hình 15. Chuyển vị ngang chuẩn hóa u^* trong tường vây theo chiều sâu đào H và giá trị tải S (trường hợp $H = 2; 4; 6$ m và $X = 1,5; 3; 6; 9$ m).

5. Kết luận và kiến nghị

Nghiên cứu đã phân tích ảnh hưởng của tải phân bố đều lân cận đến chuyển vị ngang tường vây thông qua các tham số: chiều sâu hố đào (H), giá trị tải trọng (S), phạm vi phân bố tải (R) và khoảng cách đặt tải (X), với kết quả được biểu diễn dưới dạng không thứ nguyên $u^* = u_{max}/H$. Kết quả cho thấy X và H là hai thông số chi phối đối với chuyển vị trong phạm vi khảo sát; trong khi ảnh hưởng của S và R giảm dần và có thể khó phân biệt ở một số giai đoạn đào sâu.

- Ảnh hưởng của X: u^* giảm dần khi X gia tăng từ 1,5 m đến 6 m, khi $X \geq 6$ m thì u^* gần như hội tụ. Tuy nhiên, trường hợp dải tải hẹp ($R = 3$ m), giá trị u^* lại gia tăng khi X tăng từ 1,5 đến 3 m, sau đó giảm dần, cho thấy có một khoảng cách bất lợi theo X (đặc biệt khi $X = 3$ m);

- Ảnh hưởng của H: u^* giảm rõ rệt khi H tăng và có xu hướng bão hoà ở giai đoạn hố đào sâu hơn ($H \geq 6$ m); các trường hợp điển hình cho thấy u^* giảm khoảng 45 % ở giai đoạn $H = 2$ đến 4 m và giảm khoảng 15 % khi $H \geq 6$ m;

- Ảnh hưởng của R phụ thuộc vào X: khi tải đặt gần tường, tăng giá trị R có thể dẫn đến u^* tăng nhẹ do phạm vi phân bố tải được mở rộng. Nhìn chung, phạm vi phân bố tải R có ảnh hưởng không đáng kể đến chuyển vị của tường vây như H và X.

Chuyển vị chuẩn hóa u^* được khuyến nghị sử dụng trong so sánh giữa các giai đoạn đào vì chỉ số này phản ánh trực tiếp hiệu quả chống

chế biến dạng của hệ chống theo giai đoạn thi công và thuận lợi cho việc xây dựng các mối quan hệ dự báo tổng quát.

Nghiên cứu hiện tại vẫn còn một số hạn chế như chưa xét đến ảnh hưởng của mực nước ngầm và quá trình hạ mực nước theo từng giai đoạn đào; chưa mô hình hoá chi tiết ảnh hưởng của quá trình thi công tường vây và tương tác giữa tường vây và hệ móng công trình trong phạm vi hố đào. Trên cơ sở đó, các nghiên cứu tiếp theo nên xét đến điều kiện hạ mực nước ngầm; ảnh hưởng của quá trình thi công và tương tác tường vây và móng công trình; đồng thời mở rộng cho địa tầng có nhiều phân lớp hoặc xét đến tính không đồng nhất, không đẳng hướng của nền đất để nâng cao độ tin cậy và khả năng áp dụng trong thực tế.

Tài liệu tham khảo

- [1]. J. S. Steenfelt and B. Hansen, "Sheet pile design earth pressure for strip load," Journal of Geotechnical Engineering, vol. 110, no. 7, pp. 976-986, 1984.
- [2]. C.-Y. Ou, P.-G. Hsieh and D.-C. Chiou, "Characteristics of ground surface settlement during excavation," Canadian geotechnical journal, vol. 30, no. 5, pp. 758-767., 1993.
- [3]. M. Georgiadis and C. Anagnostopoulos, "Lateral Pressure on Sheet Pile Walls due to Strip Load," Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol. 124, no. 1, pp. 95-98, 1998.
- [4]. M. Long, "Database for retaining wall and ground movements due to deep excavations," Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol. 127, no. 3, pp. 203-224, 2001.
- [5]. Z. W. Wang, C. W. Ng and G. B. Liu., "Characteristics of wall deflections and ground surface settlements in Shanghai," Canadian Geotechnical Journal, vol. 42, no. 5, pp. 1243-1254, 2005.
- [6]. M. El Sawwaf and A. K. Nazir, "The effect of deep excavation-induced lateral soil movements on the behavior of strip footing supported on reinforced sand," Journal of Advanced Research, vol. 3, no. 4, pp. 337-344, 2012.
- [7]. R. Peck, "Deep excavation and tunneling in soft ground," in Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, 1969.
- [8]. M. Y. Mowafy, M. A. El-Tuhani, A. S. Gad and A. A. Mohamed, "Effect of Sheet Pile Wall Supported Excavation on Adjacent Strip Foundation," Journal of Engineering Sciences, vol. 6, no. 20, pp. 17-28, 2011.
- [9]. N. K. Samadhiya, "Evaluation of model sheet pile wall adjacent to a strip footing—an experimental investigation," International Journal of Geotechnical Engineering, vol. 14, no. 7, pp. 828-835, 2020.
- [10]. A. P. Singh and K. Chatterjee, "Lateral earth pressure and bending moment on sheet pile walls due to uniform surcharge," Geomechanics and Engineering, vol. 23, no. 1, pp. 71-83, 2020.
- [11]. A. P. Singh and K. Chatterjee, "Influence of soil type on static response of cantilever sheet pile walls under surcharge loading: a numerical study," Arabian Journal of Geosciences, vol. 13, no. 3, p. 138, 2020.
- [12]. H. Ahmad, M. H. Hoseini, A. Mahboubi, A. Noorzad and M. Zamanian, "Effect of sheet pile wall on the load-settlement behaviour of square footing

- nearby excavation," *Geomechanics and Geoengineering*, vol. 18, no. 2, pp. 149-167, 2021.
- [13]. A. Debnath and S. K. Pal, "Behavior of cantilever concrete diaphragm wall under sequential excavation of front-fill soil: a numerical study," in *Indian Geotechnical Conference*, Singapore, 2021.
- [14]. A. Debnath and S. K. Pal, "Influence of surcharge strip loads on the behavior of cantilever sheet pile walls: A numerical study," *Geomechanics and Geoengineering*, vol. 11, no. 1, p. 100029, 2023.
- [15]. A. Debnath and S. K. Pal, "A numerical analysis on anchored sheet pile wall subjected to surcharge strip loading," *Journal of Engineering Research*, vol. 11, no. 3, pp. 62-74, 2023.
- [16]. V. N. P. Huân, N. M. Tâm and T. T. Ngọc, "Phân tích biến dạng và ổn định đất nền xung quanh khi thi công hố đào sâu ở quận 5, thành phố Hồ Chí Minh," *Tạp chí Xây Dựng*, vol. 5, pp. 191-195, 2019.
- [17]. L. V. Quý, H. Q. Thiện, T. H. Thời and T. D. Tân, "Phân tích ứng xử hố đào sâu trong nền sét bão hòa nước bằng phương pháp FEM," *Tạp chí Địa Kỹ Thuật Xây Dựng*, vol. 2, 2021.
- [18]. H. B. C. Group, "Tổ hợp cao ốc thương mại, dịch vụ, văn phòng, officetel và căn hộ," 2016.