

# JTST - JOURNAL OF TRANSPORTATION SCIENCE & TECHNOLOGY

MANUSCRIPT ID: JIST-2022-0033

## NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CHIỀU SÂU ĐẶT HÀM ĐẾN TRẠNG THÁI ỨNG SUẤT BIẾN DẠNG CỦA NỀN ĐẤT YẾU XUNG QUANH HÀM CÓ MÓNG CỌC PHÍA TRÊN

<b>Manuscript ID</b>	JIST-2022-0033
<b>Full title</b>	Nghiên Cứu Ảnh Hưởng Của Chiều Sâu Đặt Hàm Đến Trạng Thái Ứng Suất Biến Dạng Của Nền Đất Yếu Xung Quanh Hàm Có Móng Cọc Phía Trên
<b>Summary</b>	<p>Xây dựng hầm metro trong điều kiện đất yếu tồn tại những rủi ro không lường trước được trong quá trình thi công và khai thác, gây mất ổn định cho công trình và ảnh hưởng đến các công trình lân cận. Vì vậy việc phân tích sự tương tác của hầm và đất nền xung quanh nhằm đề xuất những giải pháp phù hợp đảm bảo an toàn cho kết cấu hầm và công trình lân cận là hết sức cần thiết. Bài báo tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của chiều sâu đặt hầm đến trạng thái ứng suất biến dạng của nền đất yếu xung quanh đường hầm có ảnh hưởng của yếu tố móng cọc phía trên. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi có yếu tố móng cọc phía trên, giá trị chuyển vị đứng và chuyển vị ngang của hầm nhỏ hơn rất nhiều so với khi không có móng cọc bên trên. Khi chiều sâu đặt hầm tăng lên thì chuyển vị đất nền xung quanh hầm có xu hướng giảm.</p>
<b>Research Area</b>	Công trình giao thông
<b>Research Topic</b>	Công trình giao thông
<b>Keywords</b>	Hầm; móng cọc; đất yếu; ứng suất; ổn định
<b>Authors</b>	Nguyễn Anh Tuấn, Email: tuanna@ut.edu.vn, Insitution: Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, Department: . Nguyễn Thành Đạt, Email: , Insitution: Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, Department: .
<b>Corresponding author</b>	Nguyễn Anh Tuấn, Email: tuanna@ut.edu.vn, Insitution: Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, Department: .
<b>Funding</b>	N/A

# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CHIỀU SÂU ĐẶT HÀM ĐẾN TRẠNG THÁI ỨNG SUẤT BIẾN DẠNG CỦA NỀN ĐẤT YẾU XUNG QUANH HÀM CÓ MÓNG CỌC PHÍA TRÊN

STUDY ON THE EFFECT OF TUNNEL DEPTH TO THE DEFORMATION STRESS STATE OF THE SOFT SOIL AROUND THE TUNNELS WITH THE UPPER PILE FOUNDATION

<sup>1</sup>Nguyễn Anh Tuấn, <sup>2</sup>Nguyễn Thành Đạt

Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh  
<sup>1</sup>tuanna@ut.edu.vn, <sup>2</sup>nguyenthanhhoaitu@yahoo.com

**Tóm tắt:** Xây dựng hầm metro trong điều kiện đất yếu tồn tại những rủi ro không lường trước được trong quá trình thi công và khai thác, gây mất ổn định cho công trình và ảnh hưởng đến các công trình lân cận. Vì vậy việc phân tích sự tương tác của hầm và đất nền xung quanh nhằm đề xuất những giải pháp phù hợp đảm bảo an toàn cho kết cấu hầm và công trình lân cận là hết sức cần thiết. Bài báo tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của chiều sâu đặt hầm đến trạng thái ứng suất biến dạng của nền đất yếu xung quanh đường hầm có ảnh hưởng của yếu tố móng cọc phía trên. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi có yếu tố móng cọc phía trên, giá trị chuyển vị đứng và chuyển vị ngang của hầm nhỏ hơn rất nhiều so với khi không có móng cọc bên trên. Khi chiều sâu đặt hầm tăng lên thì chuyển vị đất nền xung quanh hầm có xu hướng giảm.

**Từ khóa:** Hầm, móng cọc, đất yếu, ứng suất, ổn định.

**Mã phân loại:** 11.2

**Abstract:** Construction of metro tunnels in soft soil may encounter such unforeseen risks during the construction and operation stage as not ensuring the stability of the works themselves and affecting adjacent works. Therefore, analyzing the interaction of the tunnels and surrounding ground to propose appropriate solutions to ensure the safety of tunnel structures and adjacent constructions is extremely necessary. This article focuses on studying the effect of tunnel depth on the deformation stress state of the soft soil around the tunnel with the influence of the upper pile foundation. Research results show that in the case of having an upper pile foundation, the value of vertical displacement and horizontal displacement of the tunnel is much smaller than when there is no upper pile foundation. When the tunnel depth increases, the displacement of the ground around the tunnel tends to decrease.

**Keywords:** Tunnel, pile foundation, soft soil, stress, deformation.

**Classification code:** 11.2

## 1. Giới thiệu

Đất yếu là đất có khả năng chịu tải nhỏ, vào khoảng 50 kN/m<sup>2</sup> đến 100 kN/m<sup>2</sup>, có tính nén lún lớn, hầu như bão hòa nước, có hệ số rỗng lớn, module biến dạng thấp thường  $E_0 = 5000$  kN/m<sup>2</sup>, lực chống cắt nhỏ... Nếu không có biện pháp xử lý đúng đắn thì việc xây dựng công trình trên đất yếu sẽ rất khó khăn hoặc không thể thực hiện được [1, [4], [7], [8], [10].

Trạng thái đất nền xung quanh hầm được gọi là ổn định nếu trong suốt thời gian thi công không bị sụt, trượt và chuyển dịch của chu vi hầm không vượt quá giới hạn cho phép [2]. Trong thực tế cũng có không ít trường hợp khi khối địa tầng trong đó có đặt hầm bị sụt, trượt gây nên biến dạng thậm chí có khi phá hoại công trình. Những yếu tố: địa hình sườn dốc;

độ lớn và đặc trưng đất trên nóc hầm; các điều kiện phân lớp của địa tầng; lực dính của đất; chế độ nước ngầm và hiện tượng trượt bề mặt là những yếu tố vô cùng quan trọng. Có không ít những khối địa tầng hoàn toàn ổn định trước khi đào hầm, nhưng lại phát hiện có dịch chuyển sau khi xây dựng hầm do hậu quả thay đổi chế độ nước ngầm bởi đào hầm gây ra. Trong trường hợp nhận thấy những hiện tượng tương tự, cần dời tuyến vào sâu trong khối đá hoặc bố trí công trình ra ngoài vùng có thể biến dạng [3], [5]. Xây dựng hầm sẽ tác động lên khối đất bao quanh hang đào và gây ra sự biến dạng của khối đất và mặt đất (hình 1, hình 2). Nghiên cứu biến dạng khối đất xung quanh hầm có thể đưa ra đặc điểm và cơ chế biến dạng [6].



**Hình 1.** Sập hầm tuyến tàu điện ngầm số 1 ở thành phố Hàng Châu, Trung Quốc [11].



**Hình 2.** Đường hầm đào để xây ga tàu điện ngầm bị sập ở Sao Paulo, Brazil [11].

Quá trình chuyển dịch của đất dưới tác động của việc đào hầm bắt đầu xung quanh hầm và diễn ra liên tục, khi tồn tại lớp đất yếu tương đối ở phía trên hang đào chuyển dịch này đạt đến bề mặt đất. Quá trình này tiếp tục cho đến khi thiết lập sự cân bằng của trạng thái ứng suất - biến dạng trong khối đất bao xung quanh hầm hoặc khi lắp đặt hệ thống vì chống cứng vĩnh cửu cùng với việc bơm vữa lấp khe hở thi công [9], [11]. Có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng đến quá trình biến dạng của khối đất, trong đó các yếu tố liên quan đến công nghệ xây dựng, điều kiện địa chất thủy văn và đặc điểm kết cấu của hầm giữ vị trí quan trọng [9].

Peck (1969) và Schmidt (1974) đã nghiên cứu về biến dạng mặt đất khi thi công hầm và chỉ ra được rằng đường cong lún bề mặt có thể được thể hiện bằng phương trình của một đường cong. Họ đã đưa ra mô hình gần đúng với hình dạng lõm bề mặt đất do đào hầm trong đất yếu trên cơ sở các số liệu thống kê lún hiện trường và đưa ra phương trình đường cong lún (đường cong Gaussian) [12].

O'Reilly và New (1982), Cording & Hansmire (1975,1989) đã kế thừa nghiên cứu của Peck và cô đọng được vấn đề mất mát thể tích trong quá trình đào hầm là nguyên nhân gây ra biến dạng bề mặt đất [13-15]. Atkinson và Potts (1975, 1977) bằng các mô hình thí nghiệm các tác giả đã đưa ra mối quan hệ giữa tham số bề rộng vùng lõm bề mặt đất, bề dày lớp đất phủ trên hầm và đường kính hầm. Đặc biệt là đã đưa ra mối quan hệ giữa lún lớn nhất bề mặt đất và lún trên đỉnh hầm cả trong đất dính và đất rời [16], [17]. Bài báo tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của độ sâu đặt hầm đến trạng thái ứng suất biến dạng của nền đất yếu xung quanh đường hầm có ảnh hưởng của yếu tố móng cọc phía trên.

## 2. Mô phỏng phần tử hữu hạn

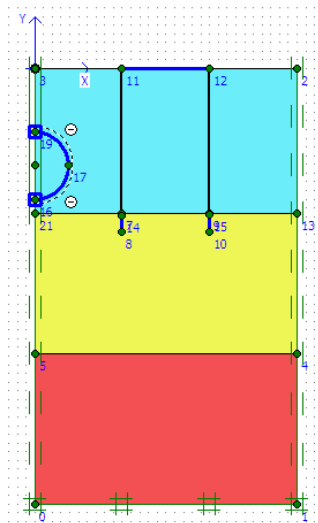
Chọn mô hình vật liệu cho bài toán:

- Mô hình vật liệu cho các lớp đất: sử dụng mô hình Mohr - Coulomb (MC);
- Mô hình vật liệu cho vỏ đường hầm: sử dụng mô hình đàn hồi.

Các thông số đất nền lấy từ kết quả khảo sát địa chất phần ngầm tuyến metro số 1, Bến Thành - Suối Tiên, Thành phố Hồ Chí Minh được tổng hợp trong bảng 1. Thông số vỏ hầm được tổng hợp trong bảng 2. Mô hình bài toán được lập như hình 3.

## 3. Kết quả tính toán và phân tích

Kết quả tính toán ứng suất - biến dạng của khối đất xung quanh hầm ứng với các độ sâu khác nhau được thể hiện trên các hình 4 (a,b), hình 5 (a,b), hình 6 (a,b), hình 7 (a,b).



**Hình 3.** Mô hình bài toán trong Plaxis.

**Bảng 1.** Thông số đất nền.

Thông số đất nền	Lớp 1	Lớp 2	Lớp 3	Đơn vị
Mô hình vật liệu	MC	MC	MC	
Dung trọng tự nhiên $\gamma_{unsat}$	15,8	20,2	20,9	kN/m <sup>3</sup>
Dung trọng bão hòa $\gamma_{sat}$	16,1	20,4	21,02	kN/m <sup>3</sup>
Mô đun đàn hồi $E_{50}$	1040	15330	12105	kN/m <sup>2</sup>
Hệ số Poisson $\nu$	0,35	0,27	0,32	
Lực dính $c'$	7,3	14,1	80,4	kN/m <sup>2</sup>
Góc ma sát trong $\varphi'$	5,72	27,58	21,3	Độ
Góc trương nở $\psi$	0	0	0	Độ
Hệ số thấm $k$	$1,83 \times 10^{-5}$	$0,5 \times 10^{-5}$	$1,36 \times 10^{-5}$	m/s
Chiều dày lớp đất	16,7	16	15	m

**Bảng 2.** Thông số vỏ hầm.

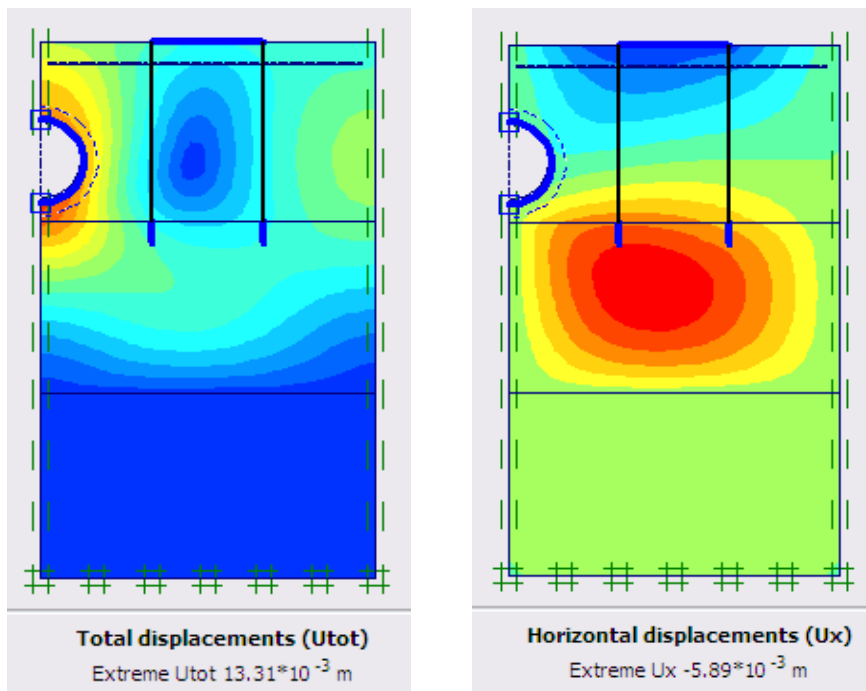
Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
$EA$	$2.4 \times 10^7$	kNm <sup>2</sup> /m
$EI$	$7.2 \times 10^5$	kNm/m
Chiều dày $d$	0.6	m
Trọng lượng $w$	14.40	-
Hệ số Poisson $\nu$	0.15	-

**Bảng 3.** Bảng tổng hợp kết quả tính toán khi không có móng cọc phía trên.

Độ sâu đặt hầm (m)	Chuyển vị đứng tổng (cm)	Chuyển vị ngang (cm)	Ứng suất (kN/m <sup>2</sup> )	Biến dạng (%)
10	8,67	2,02	145	8,79
15	5,62	1,26	167	5,26
17	2,53	0,6	186	0,44
20	2,41	0,47	198	0,28
25	2,32	0,44	213	0,22
30	2,13	0,35	283	0,2
40	1,70	0,28	406	0,2

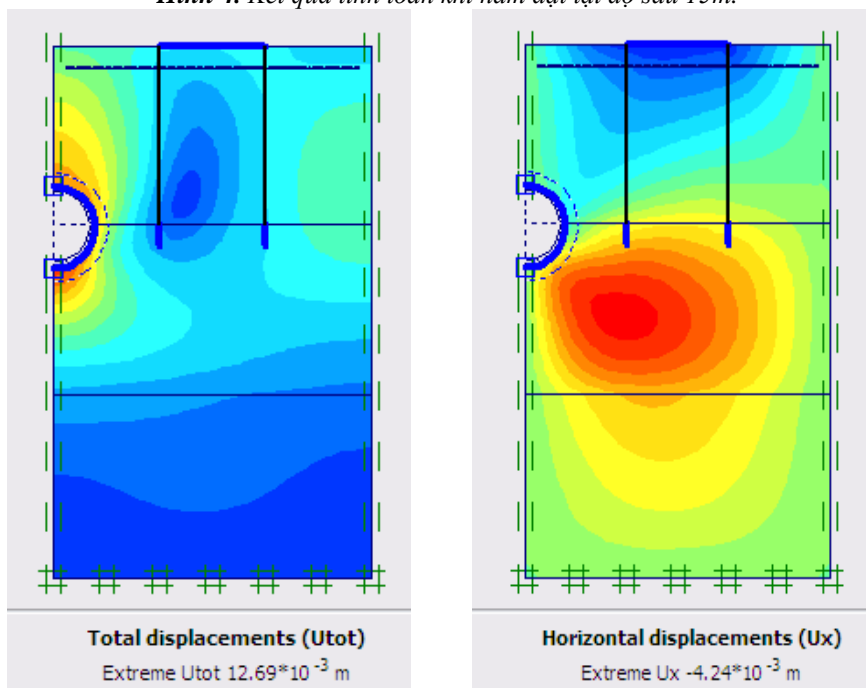
**Bảng 4.** Bảng tổng hợp kết quả tính toán khi có móng cọc phía trên.

Độ sâu đặt hầm (m)	Chuyển vị đứng tổng (cm)	Chuyển vị ngang (cm)	Ứng suất (kN/m <sup>2</sup> )	Biến dạng (%)
10	1,33	0,59	961,28	0,11
15	1,27	0,42	960,16	0,17
17	0,88	0,28	959,44	0,095
20	0,87	0,27	959,54	0,096
25	0,84	0,27	959,88	0,093
30	0,83	0,27	959,91	0,091
40	0,82	0,27	959,92	0,087



(a) Chuyển vị đứng tổng

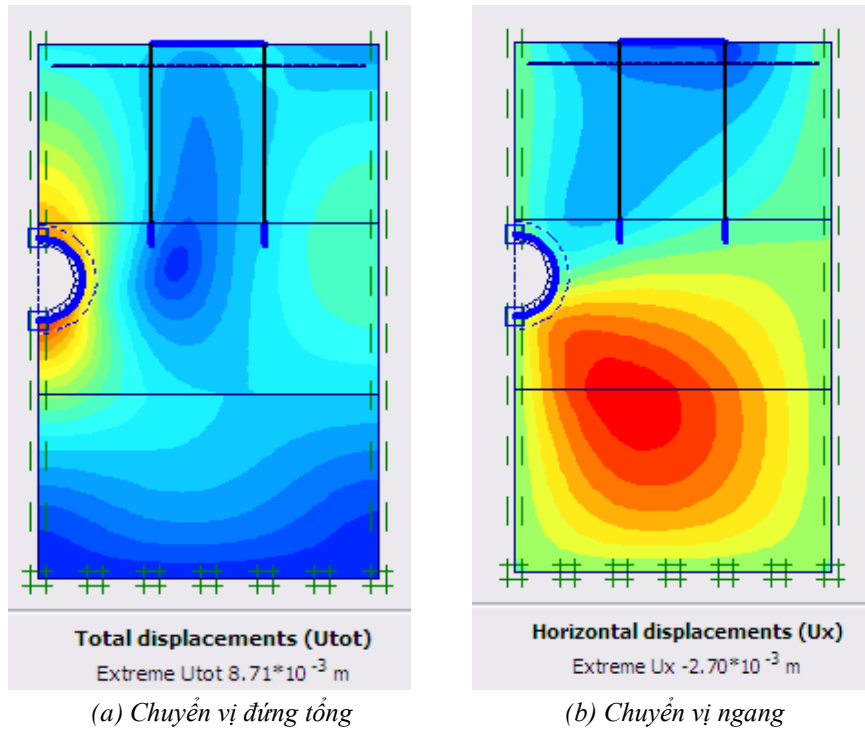
(b) Chuyển vị ngang

**Hình 4.** Kết quả tính toán khi hầm đặt tại độ sâu 15m.

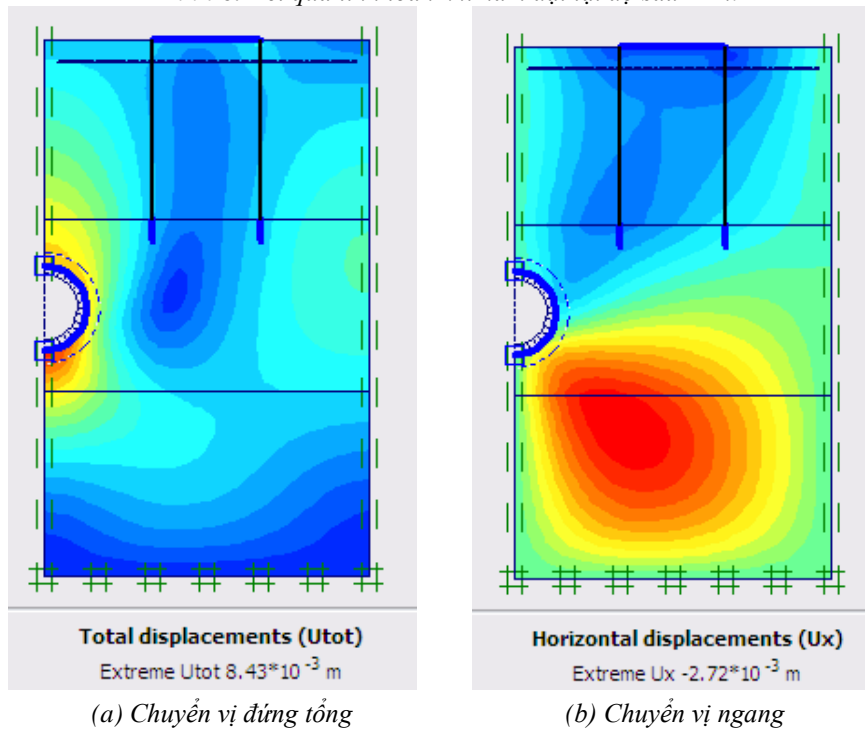
(a) Chuyển vị đứng tổng

(b) Chuyển vị ngang

**Hình 5.** Kết quả tính toán khi hầm đặt tại độ sâu 17m.



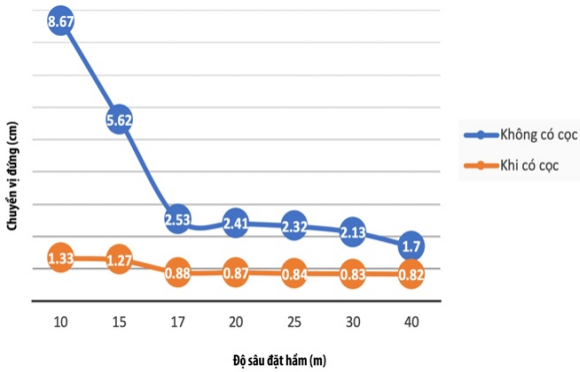
**Hình 6.** Kết quả tính toán khi hầm đặt tại độ sâu 22m.



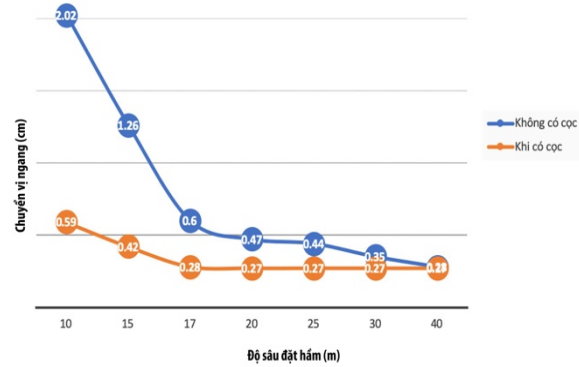
**Hình 7.** Kết quả tính toán khi hầm đặt tại độ sâu 25m.

Từ kết quả tính toán, có thể thấy khi có yếu tố móng cọc phía trên, chuyển vị của công trình hầm thay đổi không đáng kể khi thay đổi chiều sâu đặt hầm. Từ biểu đồ hình 8 và 9, khi có yếu tố móng cọc phía trên giá trị chuyển vị đứng và chuyển vị ngang của hầm nhỏ hơn rất nhiều so với khi không có móng cọc bên trên.

Chiều sâu đặt hầm ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình dịch chuyển và biến dạng. Đối với hầm đặt nông, độ lún mặt đất xuất hiện nhanh và giá trị của chúng giảm khi tăng chiều sâu đặt hầm. Đối với hầm đặt sâu quan sát được bức tranh ngược lại: độ lún mặt đất tăng lên khi tăng chiều sâu đặt hầm và tốc độ lún giảm gần như là tuyến tính với độ sâu.



**Hình 8.** Biểu đồ giá trị chuyển vị thẳng đứng theo độ sâu đặt hầm ứng với trường hợp không có móng cọc và có móng cọc phía trên.



**Hình 9.** Biểu đồ giá trị chuyển vị ngang theo độ sâu đặt hầm ứng với trường hợp không có móng cọc và có móng cọc phía trên.

#### 4. Kết luận

Việc xây dựng công trình ngầm có ảnh hưởng đến các công trình xây dựng hiện hữu trên mặt đất là điều khó tránh khỏi và mức độ ảnh hưởng lớn nhất là khi thi công đường hầm nằm ngay dưới chân công trình hiện hữu trên bề mặt đất. Với đường hầm chôn sâu đến 17m ở khu vực địa chất Thành phố Hồ Chí Minh, khuyến nghị các công trình phía trên công trình hầm cần có đánh giá và biện pháp xử lý thích hợp trước khi xây dựng hầm.

Xây dựng hầm đi kèm với sự thay đổi trạng thái ứng suất - biến dạng tự nhiên của khối đất và có thể gây ra sự phá hủy không thể hồi phục lại của đất nền;

Sự thay đổi trạng thái ứng suất - biến dạng tương tự như vậy dẫn đến sự xuất hiện trường biến dạng trong khối đất xung quanh hầm;

Sự phân bố biến dạng trong khối đất từ nguồn biến dạng diễn ra theo tất cả các hướng từ hầm và mang đặc tính tắt dần;

Hướng của trường biến dạng tập trung vào tâm của đường hầm;

Biến dạng lún mặt đất do quá trình thi công hầm gây ra ảnh hưởng không những đến chuyển vị công trình mà còn gây mất ổn định thậm chí phá hoại các công trình lân cận tùy theo kết cấu, độ cứng của từng công trình.

Từ mô hình tính toán đường hầm bằng chương trình Plaxis ta có thể tính toán được các nội lực trong các giai đoạn thi công và giai đoạn hoàn thành công trình. Vì vậy nó hoàn

toàn có thể được áp dụng để tính toán cho công trình đường hầm tại Thành phố.

#### 5. Khuyến nghị

Hiện nay, Việt Nam, chưa có tiêu chuẩn, quy trình, quy phạm cụ thể áp dụng cho thiết kế và thi công hệ thống metro, do đó cần phải xây dựng các tiêu chuẩn phù hợp với điều kiện nước ta.

Công nghệ khiên đào được áp dụng trên thế giới khá phổ biến, tuy nhiên ở nước ta do hệ thống đường ngầm chưa được xây dựng nhiều. Đồng thời đây là phương pháp thi công hầm có chi phí cao, do đó cần nghiên cứu cải tiến phương pháp khiên đào - TBM áp dụng trong điều kiện của nước ta để giảm giá thành xây dựng và tăng hiệu quả đầu tư □

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Châu Ngọc Ân (2004), *Cơ học đất*, NXB Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh;
- [2] L. V. Makópski (2004), *Công trình ngầm giao thông đô thị*, NXB Xây dựng, Hà Nội;
- [3] Lê Văn Thường (Chủ biên) và các cộng sự (1981), *Cơ sở thiết kế công trình ngầm*, NXB Khoa học và Kỹ thuật;
- [4] Nguyễn Quang Chiêu (2004), *Thiết kế và thi công nền đắp trên đất yếu*, NXB Xây dựng, Hà Nội;
- [5] Nguyễn Thế Phùng (Chủ biên) và Nguyễn Quốc Hùng (2007), *Thiết kế công trình hầm giao thông*, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội;
- [6] Nguyễn Xuân Trọng (2004), *Thi công hầm và công trình ngầm*, NXB Xây dựng, Hà Nội;
- [7] Pierre Laéral và nnk (2001), *Nền đường đắp trên đất yếu trong điều kiện Việt Nam*, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội;
- [8] Trần Quang Hộ (2004), *Công trình trên nền đất yếu*, NXB Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh;

- [9] Trần Thanh Giám và Tạ Tiến Đạt (2002), *Tính toán thiết kế công trình ngầm*, NXB Xây dựng, Hà Nội;
- [10] Terzaghi, K. (1943), *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, New York, 1943, pp 71-76.
- [11] Nguyễn Thành Đạt, Nguyễn Văn Giang, Nguyễn Anh Tuấn (2010), *Nghiên cứu tính toán ảnh hưởng của các yếu tố đến trạng thái ứng suất biến dạng của nền đất yếu xung quanh đường hầm metro thành phố Hồ Chí Minh đối với ảnh hưởng của yếu tố móng cọc phía trên*, đề tài NCKH cấp Trường, Đại học Công nghệ Tp. Hồ Chí Minh (HUTECH);
- [12] Peck, R.B. (1969), *Deep Excavation and Tunneling in Soft Ground*, State-of-the-Art Report, Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico, 1969, 225-290;
- [13] O'Reilly, P. and New M. (1982), *Settlement above tunnels in the United Kingdom - their magnitude and prediction*, Proceedings of Tunneling Symposium 1982:173-181;
- [14] Cording, E and Hansmire, W. (1975), *Displacements around ground tunnels*, Proceedings of Fifth Pan-American conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. General Report: Session IV, 1975: 571-633;
- [15] Cording, E and Hansmire, W. (1989), *Controlling ground movement during tunneling*, the Art and Science of Geotechnical Engineering, Chapter 25;
- [16] Atkinson, J. and Potts, M. (1975), *Collapse of shallow unlined tunnels in dense sand*, Tunnel and Tunneling;
- [17] Atkinson, J. and Potts, M. (1977), *Ground movements near shallow model tunnels in sand*, Proceedings of large ground movement and settlement, July 1977.

**Ngày nhận bài: 02/02/2021**

**Ngày chuyển phản biện: 06/02/2021**

**Ngày hoàn thành sửa bài: 27/02/2021**

**Ngày chấp nhận đăng: 04/03/2021**

*Ngoài hình ảnh, bảng biểu đã chú thích nguồn từ tài liệu tham khảo, những hình ảnh, bảng biểu còn lại đều thuộc bản quyền của tác giả/nhóm tác giả.*