

PHÂN TÍCH HỒ ĐÀO SÂU SỬ DỤNG CỌC KHOAN NHỒI KẾT HỢP THI CÔNG VÁCH DẠNG TRÒN PHẦN ĐOẠN THEO PHƯƠNG ĐỨNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN 2D & 3D

Nguyễn Hữu Phú¹, Nguyễn Thành Trung², Trần Ngọc Đức^{1*}, Võ Phán^{3*}, Hoàng Thế Thao^{3*}

¹ Công Ty Cổ Phần Đầu Tư Xây Dựng Newtecons, Việt Nam

² Khoa Kỹ Thuật Xây Dựng, Trường Đại Học Công Nghệ Tp.HCM - HUTECH, Việt Nam

³ Khoa Kỹ Thuật Xây Dựng, Trường Đại Học Bách Khoa – Đại Học Quốc Gia Tp.HCM, Việt Nam

*Corresponding author

Nhận ngày 01/9/2020, chỉnh sửa ngày 21/10/2020, chấp nhận đăng 16/12/2020

Tóm tắt

Việc thi công hố đào sâu dạng chu vi tròn với ưu điểm tự ổn định dưới tác dụng của áp lực đất, không cần hệ chống đã được tính toán và phân tích ở nhiều bài báo trước đây. Nội dung chính của nghiên cứu này là phân tích dạng hố đào sâu trong tầng địa chất cát mịn hạt trung, và sét pha khu vực Duyên Hải Miền Trung – Việt Nam sử dụng tường cọc khoan nhồi vây quanh, kết hợp thi công các phân đoạn tường chắn bên trong theo chu vi hình tròn, trình tự thi công Top – Down từng phân đoạn tường chắn từ trên xuống bằng phương pháp phần tử hữu hạn Plaxis 2D và 3D, kết hợp với số liệu quan trắc chuyển vị ngang thực tế của tường cọc khoan nhồi giúp phân tích rõ hơn ứng xử của hiệu ứng vòng của các phân đoạn tường chắn cũng như của dầm đỉnh tường cọc khoan nhồi.

Abstract

The construction of deep excavation pit in circular circumference with the advantage of self-stabilizing under the effect of soil pressure, does not need shoring system that has been analyzed in many previous paper. The main content of this study is to analyze the form of a deep excavation hole in the geological stratum of medium fine sand, and clayey in the Central Coast region of Vietnam using the surrounding bored pile wall, combined with the construction of the inner retaining wall section in circular circumference, Top - Down construction sequence of each retaining wall segment from top to bottom by Plaxis 2D and 3D finite element method, combined with actual horizontal displacement monitoring data of the bored pile wall to analyze more clearly the behavior of the ring effect of the retaining wall segments as well as the capping beam of the bored pile wall.

Keywords: *Newtecons; HCMUT; Hutech; Circular Deep excavation*

1. Đặt vấn đề

Dự án Khu liên hợp sản xuất Gang Thép Hòa Phát Dung Quất với quy mô 400ha, công suất 4 triệu tấn một năm, vốn đầu tư 52.000 tỷ đồng là một trong những án nhà máy công nghiệp nặng lớn nhất Việt Nam. Dự án áp dụng dây chuyền sản xuất tiên tiến từ Châu Âu nên việc tận dụng không gian ngầm xây dựng hệ thống bể chứa, hố thu có chiều sâu lớn để vận hành sản xuất, tiết kiệm không gian là việc rất cần thiết cho dự án.



Hình 1.1 – Tổng quan Nhà máy thép Hòa Phát Dung Quất

Tuy nhiên, việc xây dựng trong điều kiện nền địa chất phức tạp, mực nước ngầm cao đòi hỏi biện pháp thi công hố đào sâu phải

được tính toán, kiểm soát chặt chẽ đảm bảo an toàn thi công các hạng mục xung quanh cũng như chất lượng và tiến độ.

Để đưa ra được phương án thi công tối ưu nhất, đáp ứng được những yêu cầu kỹ thuật và tiến độ gắt gao của hạng mục **Bể lắng xoáy** thuộc Nhà máy cán thép QSP với đường kính hố đào là **24m** và chiều sâu đào **25m** so với mặt đất tự nhiên. Nhà thầu đã nghiên cứu, so sánh với nhiều phương án khác nhau và lựa chọn phương án tối ưu nhất: Sử dụng hệ cọc khoan nhồi vây xung quanh chu vi tròn của hố đào. Bên ngoài hàng cọc vây bố trí hệ cọc Jet Grouting với đường kính D2000 xung quanh chắn nước trong quá trình thi công đào đất. Hệ vách tròn với chiều dày 1m, thi công Top – Down theo từng giai đoạn đào đất, không sử dụng hệ văng chống giữ thành hố đào trong suốt quá trình thi công.

Bài báo này trình bày phương pháp mô phỏng bài toán hố đào hình tròn bằng phần mềm **Plaxis 2D (Plane Strain)** để phân tích ứng xử của hệ cọc vây và hệ vách tròn thi công theo từng giai đoạn đào đất, làm việc như một thanh chống (*phần tử anchors*) kết hợp phần mềm **Sap2000** phân tích ứng suất vòng trong vách tròn. So sánh kết quả phân tích của mô hình nêu trên với kết quả mô hình từ phần mềm **Plaxis 3D** và giá trị quan trắc thực tế. Từ đó rút ra nhận xét và kết luận cho phương pháp phân tích ứng xử hố đào hình tròn bằng mô hình **Plaxis 2D (Plane Strain)**.



Hình 1.2 – Bể lắng xoáy thuộc Nhà máy Cán thép QSP

2. Các công trình nghiên cứu trước đây

Hiện nay công nghệ thi công hố đào sâu áp dụng giải pháp tường vây hình tròn đã được ứng dụng ngày càng rộng rãi. Một số dự án tiêu biểu trong và ngoài nước đã áp dụng như sau:

Shanghai Tower (2008) là một trong những tòa tháp cao nhất tại Trung Quốc – 632m, đường kính trong hố đào 121m, chiều sâu 31.1m cho khu vực khối tháp. Dự án sử dụng hệ tường vây hình tròn chắn giữ thành hố đào.



Hình 2.1 – Hố đào hình tròn dự án Shanghai Tower

VNPT Tower (2005) một trong những công trình đầu tiên tại Việt Nam sử dụng giải pháp thi công tường vây hình tròn chắn giữ thành hố đào, với đường kính trong hố đào 54m, chiều sâu 13m.



Hình 2.2 – Hố đào hình tròn dự án VNPT Tower

3. Cơ sở lý thuyết tính toán

Độ cứng vòng

Sức kháng vòng của một giếng tròn phụ thuộc vào hai thành phần là chiều dày hữu hiệu tường và ứng suất nén của bê tông. Ứng suất vòng phụ thuộc trực tiếp vào độ cứng vòng thu được từ chiều dày hữu hiệu và đường kính của giếng. Hệ vách tròn đóng vai trò như hệ thanh chống, chịu áp lực ngang có giá trị tùy vào tỉ lệ độ cứng vòng của tường.

Xét 1 vách tròn với chiều cao 1.0m, chịu một áp lực phân bố đều xung quanh. Nội lực trong tường chính là lực vòng được tính từ công thức:

$$N = pR_{ext} \tag{1}$$

Ứng suất và biến dạng vòng trong vách:

$$\sigma = \frac{pR_{ext}}{t} \tag{2}$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{pR_{ext}}{Et} \tag{3}$$

Độ co ngắn chu vi tường:

$$\Delta l = 2\pi \frac{R_{ext} + R_{int}}{2} \varepsilon = 2\pi \frac{pR_{ave}R_{ext}}{Et} \tag{4}$$

Độ co ngắn bán kính của tường:

$$\Delta R_{ave} = \frac{\Delta l}{2\pi} = \frac{p}{Et} R_{ave} R_{ext} \tag{5}$$

Tỉ số giữa áp lực và độ co ngắn bán kính của tường:

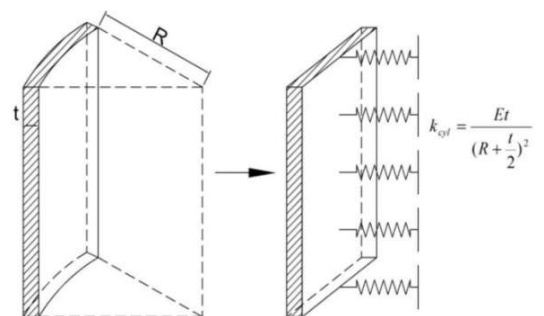
$$k = \frac{p}{\Delta R_{ave}} = \frac{Et}{R_{ave} R_{ext}} \tag{6}$$

Trong đó:

- R_{ext} (m): bán kính ngoài của vách tròn.
- R_{int} (m): bán kính trong của vách tròn.
- R_{ave} (m): bán kính trung bình của vách tròn.
- t (m): chiều dày của vách tròn.
- p (kN/m²): áp lực phân bố đều xung quanh thành vách.
- E (MPa): Modul đàn hồi của bê tông.

Trong trường hợp chiều dày là nhỏ so với bán kính của tường $t \ll R_{ext}$, $R_{ave} \sim R_{ext}$, độ cứng vòng của vách tròn được xác định theo công thức sau:

$$k_{cyl} = \frac{Et}{\left(R + \frac{t}{2}\right)^2} \tag{7}$$



Hình 3.1 – Mô phỏng ảnh hưởng của độ cứng vòng tròn

Nội lực vách tròn

Vách tròn chống đỡ áp lực đất bằng ứng suất vòng. Về lý thuyết, không có moment uốn/ lực cắt theo phương đứng nếu biến dạng của tường theo chiều sâu là như nhau. Trong thực tế, áp lực đất tăng theo chiều sâu và biến dạng cũng tăng theo tương ứng. Vì vậy, moment uốn và lực cắt trong vách được tính toán từ công thức cơ bản diễn tả mối quan hệ của biến dạng như sau:

$$EI \frac{dy^4}{dz^4} + ky = -p \quad (7)$$

Trong đó:

- E (MPa): Modul đàn hồi của bê tông.
- I (m⁴): Moment quán tính của tiết diện hình chữ nhật trên một đơn vị chiều dài.
- k (kN/m): độ cứng của đất nền.
- p (kN/m²): áp lực đất tác dụng vào vách tròn.
- z (m): độ sâu tính toán.

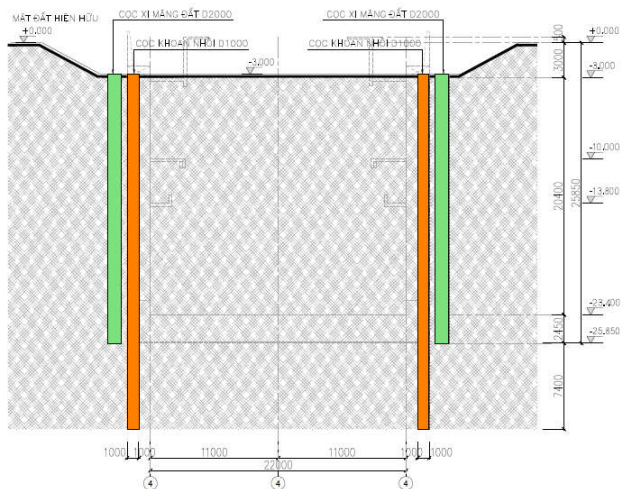
4. Phân tích ứng xử hố đào tròn

Địa chất dự án

Lớp	Mô tả	Chiều dày (m)	E ₅₀ ^{ref} (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	c' (kN/m ²)	φ' (°)
A	Lớp T- Đất san lấp.	3	7000	16	5	25
1	Lớp 1 – Cát mịn, nhỏ trung, xám vàng, xám xanh, vàng nâu kết cấu kém chặt	5.8	33630	18.3	4	25.82
2	Lớp 2 – Bùn sét, bùn sét pha, xám xanh trạng thái dẻo	3.8	4375	16.4	14	18.78
3	Lớp 3.1 – Sét, sét pha lẫn sạn, xám trắng, nâu vàng, xám xanh trạng thái dẻo cứng.	3	29530	19.6	35.5	19.08
	Lớp 3.2 – Sét, sét pha lẫn sạn, xám trắng, nâu vàng, xám xanh trạng thái dẻo cứng.	3	12030	19.6	34	20.28
	Lớp 3.3 – Sét, sét pha lẫn sạn, xám trắng, nâu vàng, xám xanh trạng thái dẻo cứng.	3.4	35000	19.6	30.9	20.08
4	Lớp F – Đá Granite phong hóa vừa đến nhẹ, xám xanh, xám trắng, cấu trúc khối, đá cứng.	38	1000000	26	---	---
5	Cọc Jet Grouting D2000	2	200000	18.5	500	1

Giải pháp thi công đào đất

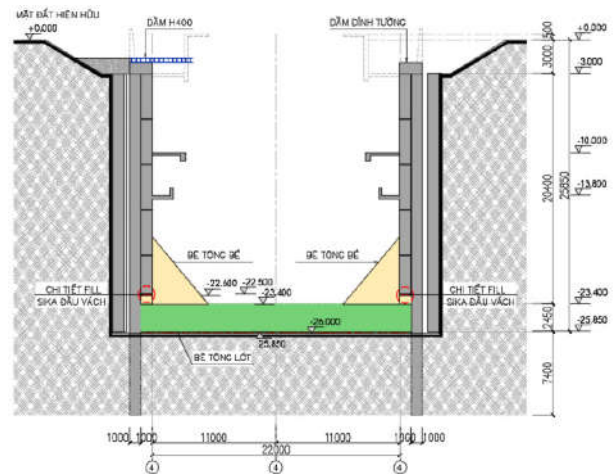
Hạ tải khu vực xung quanh, thi công cọc khoan nhồi D1000 với chiều dài L = 25m và ngàm vào đá tối thiểu 1m, kết hợp thi công cọc Jet Grouting D2000 bên ngoài hàng cọc khoan nhồi để chắn nước cho hố đào.



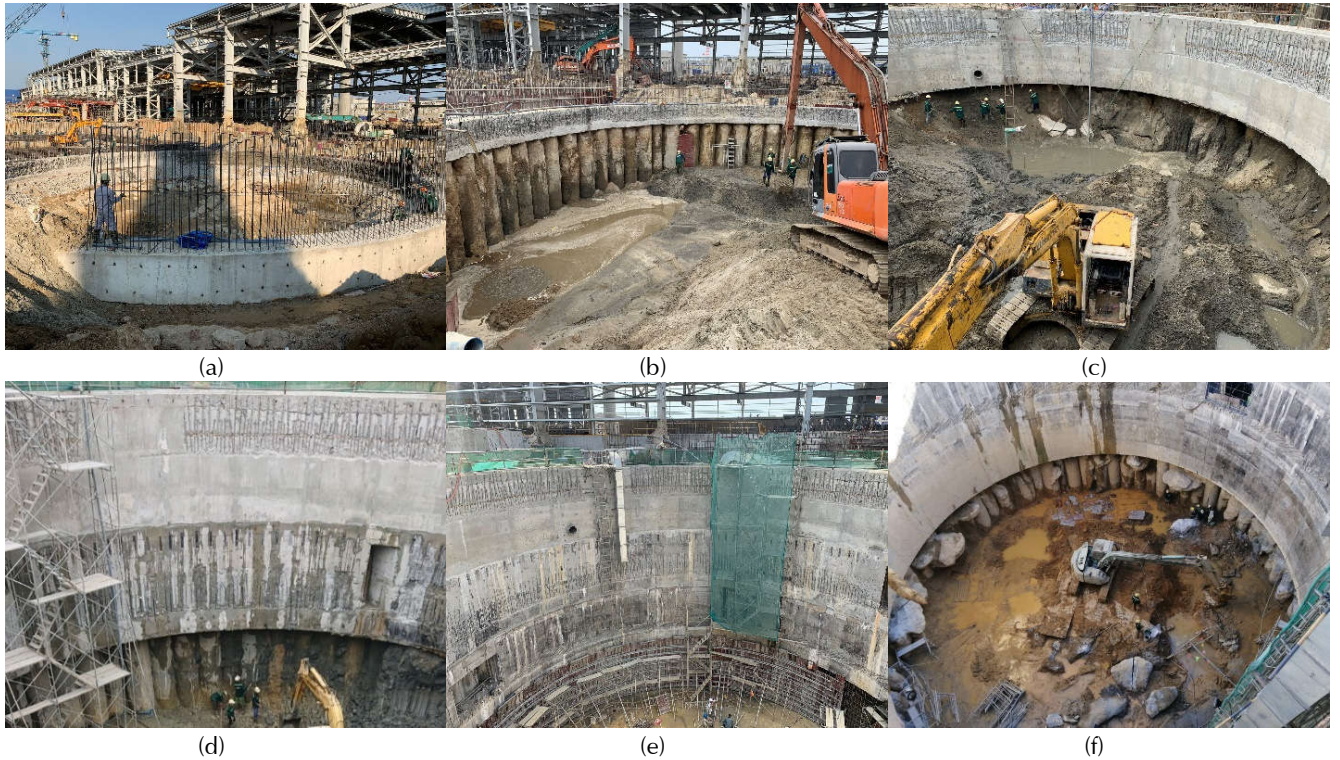
Hình 4.1 – Mặt cắt giải pháp thi công đào đất

Quy trình thi công

- Giai đoạn 1: Hạ tải khu vực xung quanh hố đào từ cao độ +0.0m đến cao độ -3m.
- Giai đoạn 2: Thi công cọc CDM D2000 L = 23m hoặc dùng ở cao độ gặp lớp đá, cọc nhồi D1000 L = 25m và ngàm vào đá tối thiểu 1m.



Hình 4.2 – Mặt cắt thi công đào đất ở giai đoạn -25



Hình 4.3.(a,b,c,d,e,f) – Thi công đào đất từng giai đoạn

- Giai đoạn 3: Thi công dầm dầm đỉnh cọc vây, đào đất từ cao độ -3m đến -7.1m. (a)
- Giai đoạn 4: Thi công vách bể từ cao độ -7.0m đến cao độ -3m, đào đất từ cao độ -7.1m đến cao độ -11.1m. (b)
- Giai đoạn 5: Thi công vách bể nước từ cao độ -11.0m đến cao độ -7.0m, đào đất từ cao độ -11.1m đến cao độ -15.1m (c).
- Giai đoạn 6: Thi công vách bể nước từ cao độ -15.0m đến cao độ -11.0m, đào đất từ cao độ -15.1m đến cao độ -19.1m. (d).
- Giai đoạn 7: Thi công vách bể nước từ cao độ -19.0m đến cao độ -15.0m, đào đất từ cao độ -19.1m đến cao độ -22.6m (e).
- Giai đoạn 8: Thi công vách bể nước từ cao độ -22.5m đến cao độ -19.0m, đào đất từ cao độ -22.6m đến cao độ -26.0m (f).
- Giai đoạn 9: Thi công sàn đáy bể.
- Giai đoạn 10: Thi công sàn nắp bể cao độ +0.5m, thi công tường chắn đất.
- Giai đoạn 11: Lắp đất đến cao độ thiết kế.

$$K_{cyl}^{wall} = 1043006 \text{ (kN / m)}$$

Hoạt tải thi công đào đất: 20 kN/m².

Cao độ Mực nước ngầm: -3.0m.

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		Cọc vây D1000
Comments		
Colour		RGB 0, 0, 255
Material type		Elastic
Properties		
Isotropic		<input checked="" type="checkbox"/>
EA ₁	kN/m	21.02E6
EA ₂	kN/m	21.02E6
EI	kN m ² /m	1.313E6

Hình 4.4 – Thông số cọc vây

Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn, phần mềm Plaxis 2D, Sap2000 và Plaxis 3D để mô phỏng và phân tích bài toán hố đào sâu hình tròn.

Bài toán Plaxis 2D (Plane Strain)

Bê tông:

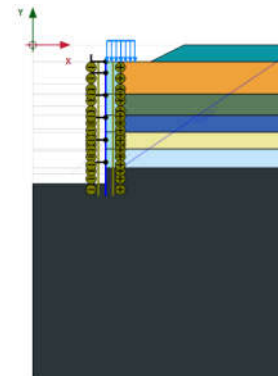
- Cọc: M450
- Vách: M500

Dầm đỉnh cọc vây và vách bể sau khi đổ bê tông được xét đến làm việc thanh chống có độ cứng vòng được tính toán theo công thức (7) như đã trình bày ở mục 3.

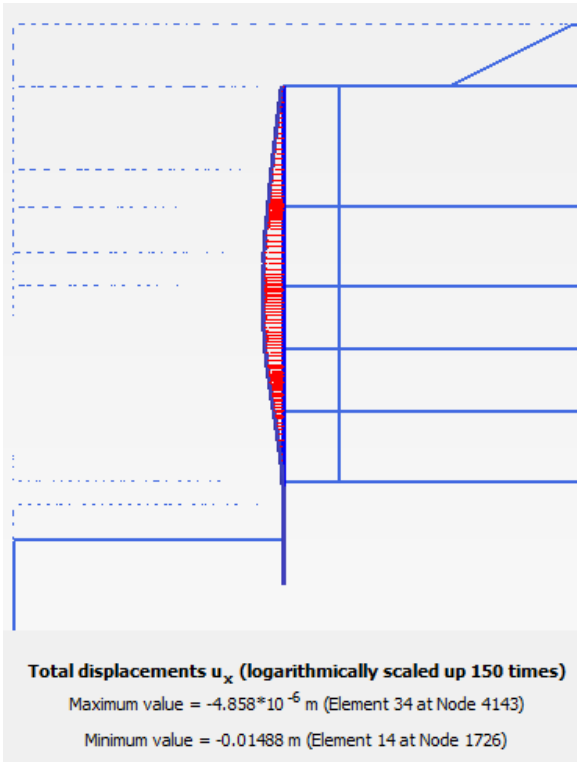
Độ cứng dầm đỉnh:

$$K_{cyl}^{capingbeam} = 500000 \text{ (kN / m)}$$

Độ cứng vách tròn trong một phân đoạn đào đất 4m:



Hình 4.5 – Mô hình Plaxis 2D hố đào tròn (Plane Strain)
Kết quả chuyển vị:



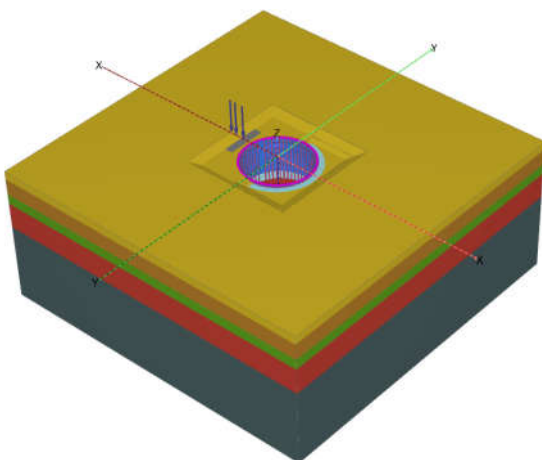
Hình 4.6 – Kết quả tính toán chuyển vị Plaxis 2D

Bài toán Plaxis 3D

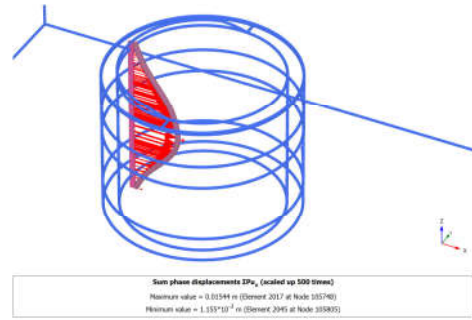
Property	Unit	Value
Material set		
Identification		D1000
Comments		
Colour		RGB 199, 82, 143
Material type		Elastic
Properties		
E	kN/m ²	32.50E6
ν	kN/m ³	25.00
Beam type		Predefined
Predefined beam type		Massive circular beam
Diameter	m	1.000
A	m ²	0.7854
I_2	m ⁴	0.04909
I_3	m ⁴	0.04909
Rayleigh α		0.000
Rayleigh β		0.000

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		1:1000x1000
Comments		
Colour		RGB 255, 0, 255
Material type		Elastic
Properties		
E	kN/m ²	36.00E6
ν	kN/m ³	25.00
Beam type		Predefined
Predefined beam type		Massive rectangular beam
Height	m	1.000
Width	m	1.000
A	m ²	1.000
I_2	m ⁴	0.08333
I_3	m ⁴	0.08333
Rayleigh α		0.000
Rayleigh β		0.000

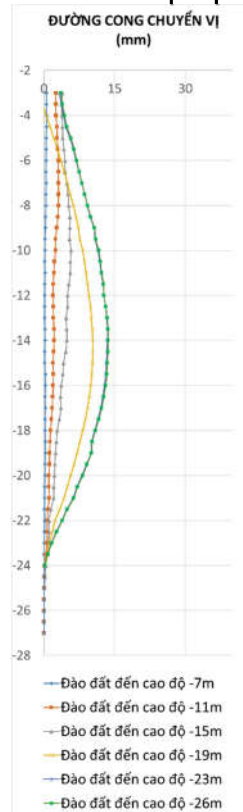
Hình 4.7 – Thông số cọc vây và dầm đỉnh (3D)



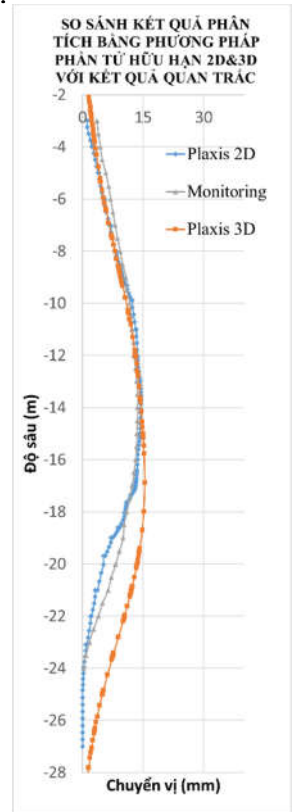
Hình 4.8 – Mô hình Plaxis 3D hố đào tròn



Hình 4.9 – Kết quả tính toán chuyển vị (Plaxis 2D) So sánh với kết quả quan trắc thực tế

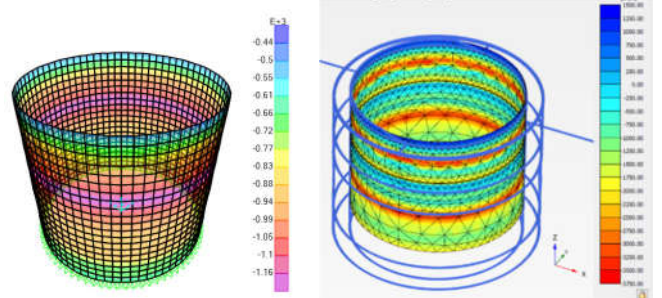


Hình 4.10 – Kết quả quan trắc thực tế



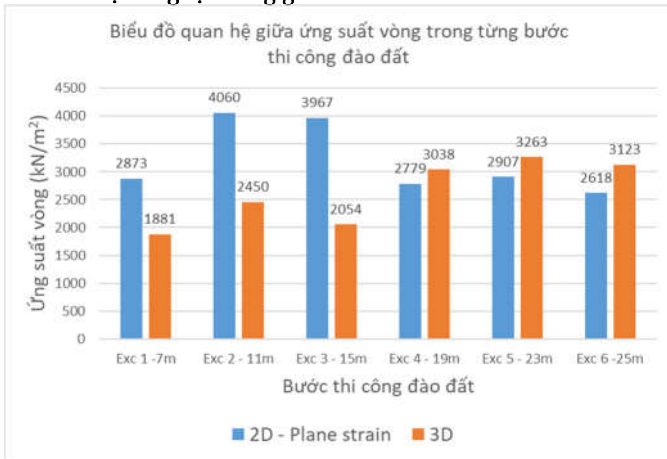
Hình 4.11 – So sánh giá trị chuyển vị giữa mô hình tính và kết quả quan trắc tại cao độ (-25m)

Phân tích ứng suất vòng bằng Phương pháp phần tử hữu hạn



Hình 4.12 – Kết quả ứng suất vòng trong Sap2000 và Plaxis 3D

So sánh hiệu ứng lực vòng giữa mô hình 2D và 3D



Hình 4.13 – So sánh giá trị ứng suất vòng mô hình Plaxis 2D (Plane Strain) và 3D

5. Nhận xét và kết luận.

Nhận xét

Đường cong chuyển vị của hai mô hình phân tích Plaxis 2D (Plane strain) & 3D so với kết quả quan trắc chuyển vị gần như nhau. Kết quả giá trị chuyển vị lớn nhất của hai mô hình lớn hơn ít so với kết quả quan trắc thực tế lần lượt là: **8.7%** và **12.5%**.

Mô hình **Plaxis 2D – Plane Strain** ứng suất vòng trong vách có giá trị lớn ở giai đoạn đào đất từ -7m đến -15m và giảm dần từ giai đoạn đào đất -19m đến -25m. Mô hình **Plaxis 3D** ứng suất vòng trong vách có giá trị nhỏ ở giai đoạn đào đất từ -7m đến -15m và tăng dần từ giai đoạn đào đất -19m đến -25m. Khi càng đào sâu từ cao độ -19m đến -25m giá trị ứng suất vòng của 2 mô hình càng tiệm cận nhau.

Nguyên nhân sai số:

Ống inclinometer đặt từng cọc riêng lẻ không mang tính đại diện cho toàn bộ cọc. Chất lượng thi công cọc còn sai sót về hình dạng, kích thước, khoảng hở cọc không đồng đều.

Ứng xử của dầm đỉnh cọc vây của hai mô hình khác nhau làm ảnh hưởng lớn đến sự phân phối ứng suất vòng ở các giai đoạn đào đất từ -7m đến -15m, giá trị chênh lệch ứng suất lớn (~65%).

Kết luận

Hiệu ứng lực vòng trong hệ vách tròn thay thế hệ chống văng, làm giảm chuyển vị hệ tường cọc chắn giữ hố đào trong thi công đào đất, đảm bảo an toàn và tăng diện tích không gian đào đất, đẩy nhanh tiến độ.

Với mô phỏng tính toán từ mô hình Plaxis 2D (Plane Strain) và 3D cho ra kết quả chuyển vị tương đối chính xác so với chuyển vị quan trắc thực tế. Chứng tỏ mô phỏng ứng xử theo bài toán Plaxis 2D (Plane Strain) kết hợp khai báo độ cứng vòng của thanh chống là phù hợp cho giải pháp thi công hệ cọc vây xung quanh hố đào và hệ vách tròn thi công Top – Down theo từng bước.

Tài liệu tham khảo

- [1] Yong Tan; M.ASCE; and Dalong Wang. "Structural Behaviors of Large Underground Earth-Retaining Systems in Shanghai. I: Unpropped Circular Diaphragm Wall"
- [2] Jian Jia; XiaoLin Xie; ChuanPing Liu; JieQun Zhai. "Design and Research of Circular Diaphragm Wall for Deep Excavation of Shanghai Tower"

- [3] Vasiliki N. Georgiannou, Andreas Serafis and Eleni-Maria Pavlopoulou. "Analysis of a vertical segmental shaft using 2D & 3D finite element codes"
- [4] Yasushi Arai; Osamu Kusakabe, Osamu Murata, Shinji Konishi. "A numerical study on ground displacement and stress during and after the installation of deep circular diaphragm walls and soil excavation".
- [5] Duong Thai Phan. "Nghiên cứu ổn định hố đào sâu sử dụng tường vây chu vi tròn".