

Ứng dụng phần mềm Plaxis 3D foundation để đánh giá khả năng chịu lực của cọc sau khi xảy ra sự cố thi công tầng hầm trong nền đất yếu

The application of Plaxis 3D foundation in the evaluation of the pile bearing capacity after construction incidents in soft ground

Hoàng Ngọc Phong

Tóm tắt

Bài báo trình bày ứng dụng phần mềm Plaxis 3D Foundation trong phân tích khả năng chịu lực của cọc sau khi xảy ra chuyển vị của tường tầng hầm quá mức cho phép trong sự cố thi công tầng hầm khu vực đất yếu.

Từ khóa: Plaxis 3D, sự cố cọc, tầng hầm

Abstract

This paper presents the application of Plaxis 3D Foundation in analyzing the pile bearing capacity after the displacement of basement walls exceeded the allowable values when constructing basements in soft ground.

Key words: Plaxis 3D, incidents piles, basements

1. Đặt vấn đề

Việc tính toán biện pháp thi công tầng hầm để dự báo chính xác các tình huống có thể xảy ra trong quá trình thi công nhằm đảm bảo cho công trình xung quanh và khả năng chịu lực hệ thống cọc, tường vây của công trình. Tuy nhiên, có một số tình huống bất khả kháng trong quá trình thi công làm cho tường vây, cử chuyển vị ngang quá mức sẽ đẩy các cọc biên chuyển vị lớn. Nên việc đánh giá khả năng chịu lực còn lại của các cọc là một yêu cầu cấp thiết. Phần mềm Plaxis 3D Foundation có thể phân tích đánh giá khả năng chịu lực còn lại của cọc sau khi xảy ra sự cố vì nó mô tả được các giai đoạn thi công giống như thực tế và mô tả được tải trọng tác dụng lên đầu cọc.

2. Mô hình vật liệu trong phần mềm Plaxis 3D Foundation

Plaxis 3D Foundation là bộ phần mềm 3D sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn, phân tích ổn định và biến dạng của kết cấu đất, đá trong lĩnh vực địa kỹ thuật công trình.

Plaxis hỗ trợ nhiều loại mô hình trong quan hệ của đất như Mô hình đàn hồi tuyến tính. Mô hình Mohr-Coulomb, Mô hình Hardning Soil (HS). Trong đó Mô hình đàn hồi tuyến tính có thông số của mô hình gồm mô đun đàn hồi E, hệ số Poisson μ , mô hình thường chỉ được sử dụng chủ yếu mô phỏng các khối kết cấu cứng trong đất. Vì vậy, để áp dụng trong nền đất yếu Mô hình Mohr-Coulomb và Hardning Soil (HS) sẽ được mô tả chi tiết như sau:

2.1. Mô hình Mohr-Coulomb và các thông số

Mô hình Mohr-Coulomb là mô hình nổi tiếng thường dùng để tính toán gần đúng các ứng xử ở giai đoạn đầu của đất.

Bảng 1. Các thông số đầu vào của mô hình Mohr –Coulomb

E^{ref}	Mô đun đàn hồi của vật liệu trong thí nghiệm nén 3 trục (kN/m^2)
E_{oed}	Mô đun đàn hồi của vật liệu trong thí nghiệm 1 trục (kN/m^2)
μ	Hệ số Poisson
φ	Góc ma sát trong (độ)
C	Lực dính của đất (kN/m^2)
ψ	Góc giãn nở của vật liệu (độ)

Cách chọn các tham số của mô hình Mohr – Coulomb

A - Hệ số Poisson(μ): $K_0 = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} = \frac{\mu}{1-\mu} = 1 - \sin \varphi$

• Gia tải ban đầu: $\mu \approx 0.3 \div 0.4$

• Nén/nở: $\mu \approx 0.15 \div 0.25$

• Bảo hòa, không thoát nước $\mu \approx 0.49 \div 0.5$

• Chú ý: $\mu = 0.5$ xuất hiện điểm kì dị trong ma trận độ cứng.

B - Một số vấn đề phân tích với đất không dính:

• PLAXIS không ổn định khi $c = 0$, nên chọn $c = 0.1$

C - Độ cứng và độ dính tăng theo độ sâu:

ThS. Hoàng Ngọc Phong

Bộ môn Địa kỹ thuật,

Khoa Xây dựng

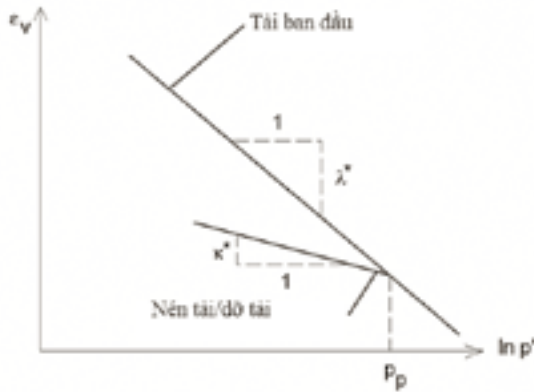
ĐT: 0385807456

Email: Ngocphongdkt@gmail.com

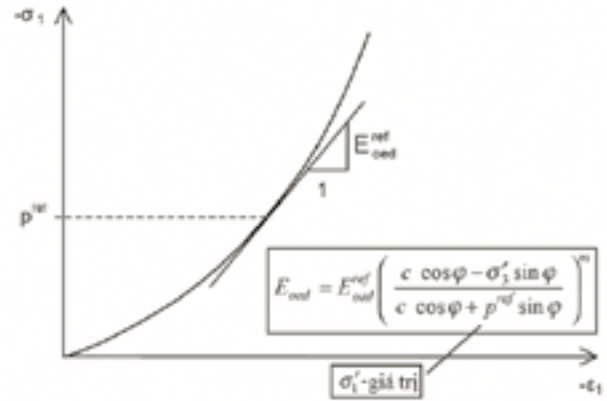
Ngày nhận bài: 13/5/2020

Ngày sửa bài: 27/5/2020

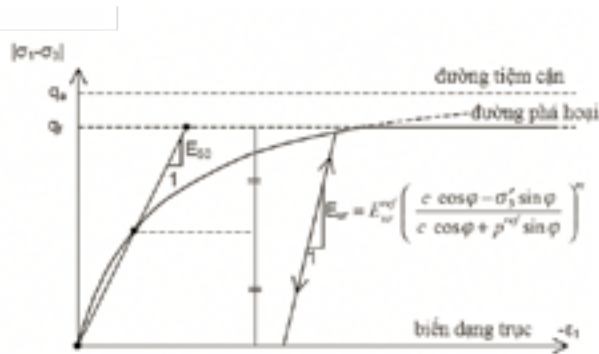
Ngày duyệt đăng: 18/11/2021



Hình 1. Biểu đồ quan hệ ϵ_v và $\ln p'$ [11]



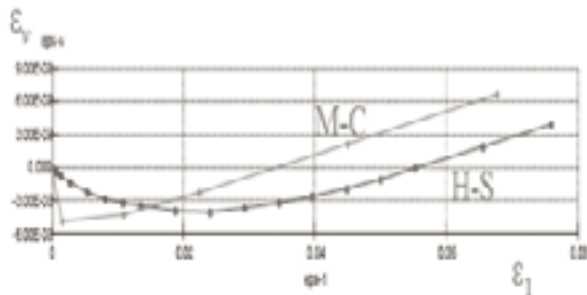
Hình 2. Biểu đồ quan hệ σ_1 và ϵ_1 [11]



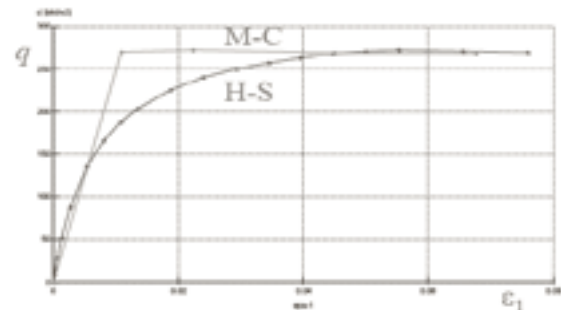
Hình 3. Đường cong ứng suất – biến dạng [11]



Hình 4. Biểu đồ quan hệ ϵ_v và ϵ_1 [11]



Hình 5. Đồ thị quan hệ giữa ϵ_1 và ϵ_v



Hình 6. Đồ thị quan hệ giữa ϵ_1 và q [11]

- $y_{\text{increment}}$ Số gia mô đun đàn hồi theo chiều sâu (kN/m³)
- y_{ref} độ sâu bắt đầu xuất hiện lớp vật liệu (m)
- $C_{\text{increment}}$ số gia cường độ kháng cắt theo độ sâu (kN/m²)

D - Góc masat trong φ và góc giãn nở ψ : Khi không có số liệu về ψ thì:

$$\psi = \varphi - 30^\circ$$

$$\psi = 0 \leftrightarrow \varphi < 30^\circ$$

2.2. Mô hình Hardning Soil (HS)

Mô hình được tính toán theo:

- Ứng suất phụ thuộc vào độ cứng (quy tắc lũy thừa)
- Biến dạng dẻo khi cắt (E_{50}^{ref}): Độ cứng thứ cấp của đất trong thí nghiệm 3 trục có thoát nước

- Biến dạng dẻo khi nén ($E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$): Độ cứng của đất trong thí nghiệm nén 1 trục

- Đàn hồi nén/nở ($E_{\text{ur}}^{\text{ref}}/\mu_{\text{ur}}$)

- Mặt phá hoại cắt theo mô hình Mohr – Coulomb

Cách chọn các tham số của mô hình:

A - Ứng suất phụ thuộc vào độ cứng

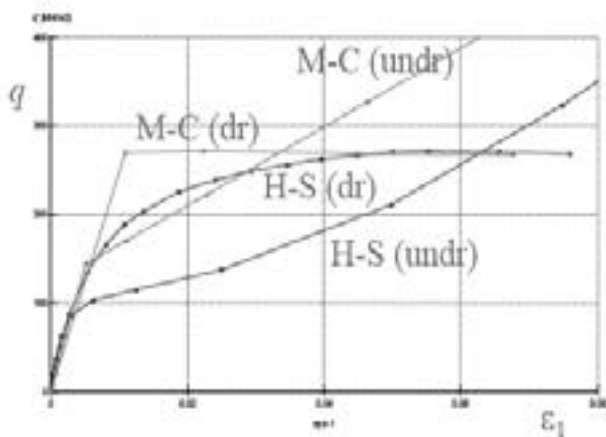
- Độ cứng nén 1 trục $E_{\text{oed}} = E_{\text{oed}}^{\text{ref}} (\sigma/p^{\text{ref}})^m$

Đất cứng: $m=1$. Đất mềm: $m=0.5$.

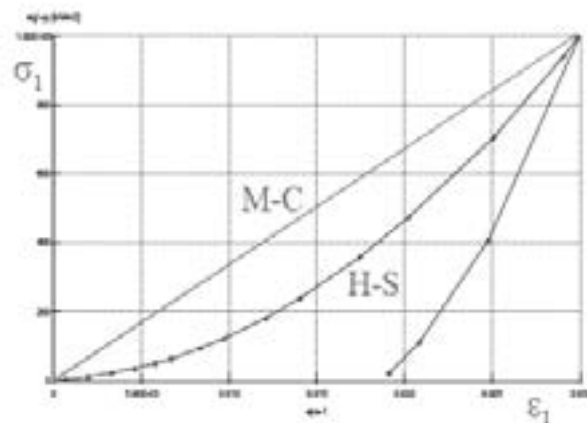
Tương tự cho cặp nén/nở (ur)

Kí hiệu R_{ef} chỉ “Giá trị tiêu chuẩn”

Soft soil: $m=1$.



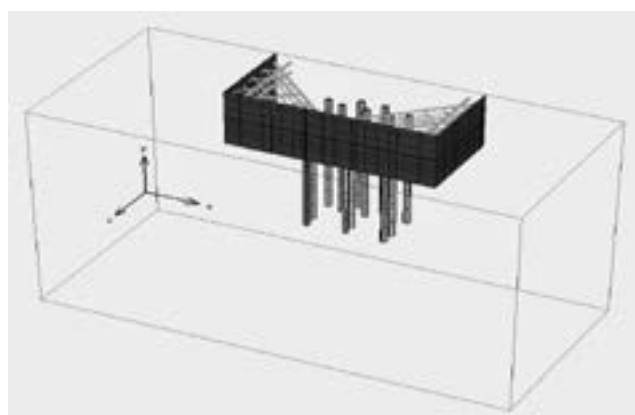
Hình 7. Đồ thị quan hệ giữa ϵ_1 và q trong thí nghiệm CU [11]



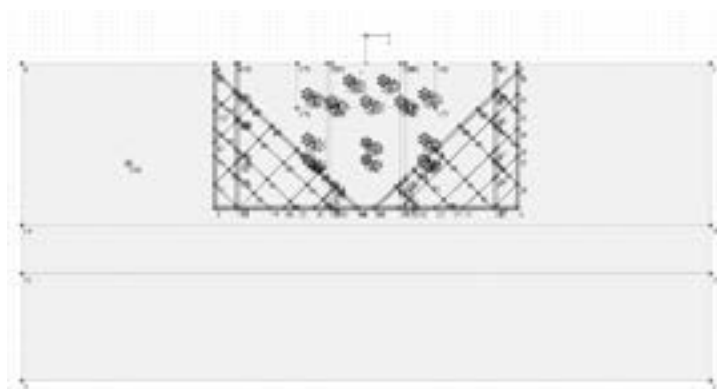
Hình 8. Đồ thị quan hệ giữa ϵ_1 và σ_1 trong thí nghiệm nén một trục [11]



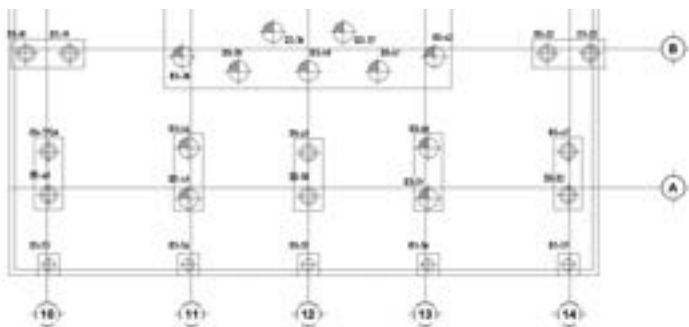
Hình 9. Địa tầng



Hình 10. Mô hình không gian phần kết cấu



Hình 11. Mặt bằng hệ vắng chống H300 và H400 lớp 1 và lớp 2



Hình 12. Mặt bằng bố trí cọc

$$E_{oed}^{ref} = \frac{p^{ref}}{\lambda^*}, \lambda^* = \frac{\lambda}{(1 + e_0)}$$

$$E_{ur}^{ref} = \frac{3p^{ref}(1 - 2\mu_{ur})}{k^*}, k^* = \frac{k}{(1 + e_0)}$$

λ^* chỉ số nén cải tiến.

k^* chỉ số nở cải tiến

• Độ cứng theo thí nghiệm nén 1 trục:

$$E_{oed} = E_{oed}^{ref} \left(\frac{c \cdot \cos \varphi - \sigma'_3 \cdot \sin \varphi}{c \cdot \cos \varphi + p^{ref} \sin \varphi} \right)^m$$

B - Đường cong ứng suất và biến dạng

• Kết quả của thí nghiệm 3 trục tiêu chuẩn thoát nước:

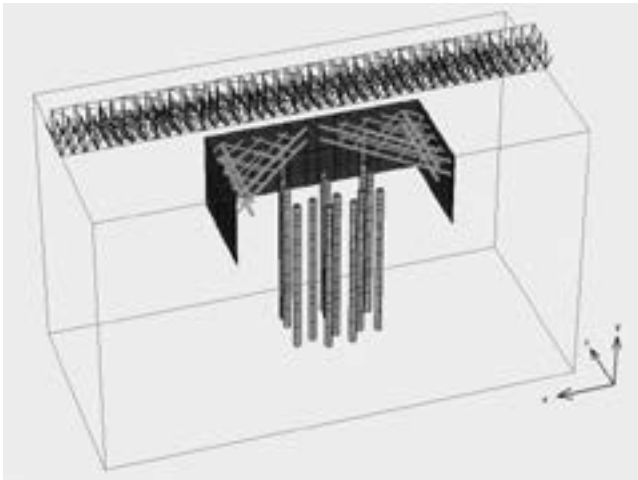
$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left(\frac{c \cdot \cos \varphi - \sigma'_3 \cdot \sin \varphi}{c \cdot \cos \varphi + p^{ref} \sin \varphi} \right)^m \quad p^{ref} = 100$$

$$E_{ur} = E_{ur}^{ref} \left(\frac{c \cdot \cos \varphi - \sigma'_3 \cdot \sin \varphi}{c \cdot \cos \varphi + p^{ref} \sin \varphi} \right)^m$$

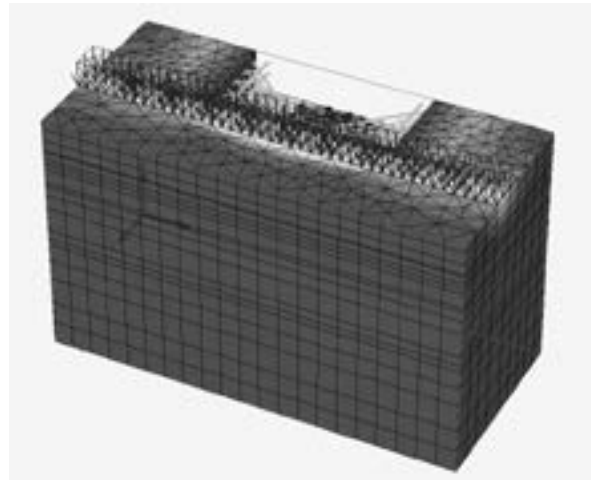
$$E_{ur}^{ref} = 3E_{50}^{ref}$$

P, q là ứng suất trung bình và ứng suất lệch.

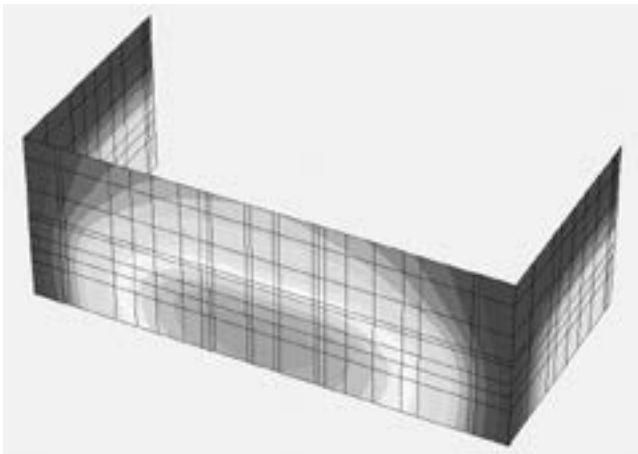
$$q = \sigma_1 - \sigma_3$$



Hình 13. Mô hình tải trọng xe cộ trên đường $p=20\text{kN/m/m}$



Hình 14. Chuyển vị tổng thể



Hình 15. Chuyển vị cù

• Làm việc ứng suất – biến dạng theo đường hyperbolic
-> dẻo hoàn toàn.

• Tính toán mặt dẻo (ở trạng thái ứng suất 3 trục)

C - Biến dạng thể tích dẻo

Biến dạng thể tích dẻo: $\varepsilon_v^p = \sin \psi_m \gamma^p$

Tính theo góc nở và góc ma sát trong

$$\sin \psi_m = \frac{\sin \varphi_m - \sin \varphi_{cv}}{1 - \sin \varphi_m \sin \varphi_{cv}} \quad \sin \varphi_m = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{\sigma'_1 + \sigma'_3 - 2c \cot \varphi}$$

• Kết quả của sự làm việc:

ứng suất nhỏ ($\varphi_m < \varphi_{cv}$) -> nén

ứng suất lớn ($\varphi_m > \varphi_{cv}$) -> nở

• Trạng thái giới hạn ($\varphi_m = \varphi_{cv}$)

$$\sin \psi = \frac{\sin \varphi - \sin \varphi_{cv}}{1 - \sin \varphi \sin \varphi_{cv}} \quad \sin \varphi_m = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{\sigma'_1 + \sigma'_3 - 2c \cot \varphi}$$

Bảng 2. Bảng thông số mô hình Hardning Soil

c	Lực dính, kN/m^2
φ	Góc ma sát trong, ($^\circ$)
ψ	Góc giãn nở, ($^\circ$)
E_{50}^{ref}	Độ cứng thứ cấp trong thí nghiệm 3 trục, kN/m^2
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	Độ cứng trong thí nghiệm 1 trục, kN/m^2
m	Đất cứng $m=1$, đất mềm $m=0,5$ hoặc xác định dựa vào thí nghiệm nén 3 trục.
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	Độ cứng nén/nở ($E_{\text{ur}}^{\text{ref}} = 3E_{50}^{\text{ref}}$), kN/m^2
μ_{ur}	Hệ số poisson, mặc định 0.2
p^{ref}	Ứng suất tham chiếu, $100(\text{kN/m}^2)$
R_f	Hệ số phá hoại = 0.9
σ_{tension}	Cường độ chịu kéo, mặc định = 0
$C_{\text{increment}}$	Số gia cường kháng cắt của vật liệu theo chiều sâu, mặc định = 0

• Tắt nở tại hệ số rỗng max:

$$\text{Với } e < e_{\text{max}}: \quad \sin \psi_{\text{mob}} = \frac{\sin \psi_{\text{mob}} - \sin \varphi_{cv}}{1 - \sin \psi_{\text{mob}} \sin \varphi_{cv}}$$

Với $e > e_{\text{max}}$: $\psi_{\text{mob}} = 0$

$$\sin \varphi_{cv} = \frac{\sin \varphi - \sin \psi}{1 - \sin \varphi \sin \psi}; \quad -(\varepsilon_v - \varepsilon_v^{\text{init}}) = \ln \left(\frac{1+e}{1+e_{\text{init}}} \right)$$

* Sự so sánh của mô hình HS và MC

+ Thí nghiệm thoát nước ba trục (Hình 5, 6)

+ Thí nghiệm ba trục không thoát nước và thí nghiệm nén một trục (oedometer) (hình 7, 8)

Thuận lợi và hạn chế của mô hình HS

Bảng 3. Thông số địa chất

Soil and Interfaces Information																	
Linear Elastic - Hardening Soil																	
ID	Name	Type	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	k_h [m/day]	k_v [m/day]	k_z [m/day]	E_{50}^{ref} [kN/m ²]	E_{sec}^{ref} [kN/m ²]	E_{ur}^{ref} [kN/m ²]	σ_{ref} [kN/m ²]	θ [°]	ψ [°]	ν [°]	P_{ref} [kN/m ²]	power (m)	
1	Lop 3	Undrained	17.7	17.8	1.0000	1.0000	1.0000	2756.0	3096.1	8280.0	15.3	19.4	0.0	9.20	100	0.850	
2	TK	Undrained	18.4	19.8	1.0000	1.0000	1.0000	4100.0	4100.0	12300.0	10.0	21.7	0.0	9.20	100	0.800	
3	LDP 4	Undrained	19.7	19.7	1.0000	1.0000	1.0000	8200.0	8200.0	24600.0	10.4	29.9	0.0	9.20	100	0.600	
4	LDP 5	Undrained	17.7	17.9	1.0000	1.0000	1.0000	2756.0	3107.8	8250.0	14.5	9.3	0.0	9.20	100	0.800	
5	LDP 6	Undrained	18.9	19.4	1.0000	1.0000	1.0000	11200.0	11200.0	33600.0	24.5	19.0	0.0	9.20	100	0.550	
6	LDP 6A	Undrained	18.0	18.2	1.0000	1.0000	1.0000	3950.0	3950.0	11850.0	11.8	19.4	0.0	9.20	100	0.700	
7	LDP 6B	Undrained	18.2	19.9	1.0000	1.0000	1.0000	16438.0	16438.0	49314.0	10.2	21.8	0.0	9.20	100	0.650	
8	LDP 7	Drained	19.0	19.5	1.0000	1.0000	1.0000	30000.0	30000.0	90000.0	1.0	25.0	0.0	9.20	100	0.500	

Bảng 4. Thông số bê tông của cọc khoan nhồi

Tên	Loại	γ_{unsat} kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	ν	E_{ref} kN/m ²	R_{inter}
Bê tông	Non-porous	25	25	0.2	3.25E7	1

Bảng 5. Thông số hệ văng chống

Material Data Sets - Beams								
Linear elastic								
ID	Name	A [m ²]	γ [kN/m ²]	E [kN/m ²]	ν [-]	I_1 [m ⁴]	I_3 [m ⁴]	I_{23} [m ⁴]
1	H400	0.02	78.50	2.10E+8	3.00E-1	2.24E-4	6.53E-4	2.64E-6
2	H300	0.01	78.50	2.10E+8	0.00E+0	8.55E-5	2.43E-4	1.46E-6

Bảng 6. Thông số cừ được quy đổi như tường bê tông có độ cứng EI tương đương

Tên	D m	γ kN/m ³	E_1 kN/m ²	E_2 kN/m ²	E_3 kN/m ²	G_{12} kN/m ²	G_{13} kN/m ²	G_{23} kN/m ²	ν_{12}	ν_{13}	ν_{23}
Lasen IV	0.32	78.5	3E7	3E7	3E7	1.15E7	1.15E7	1.15E7	0.3	0.3	0.3

Bảng 7. Đánh giá khả năng chịu tải của cọc

Tên cọc	Tiết diện	Chuyển vị max(cm)	M_{2max} (kNm)	M_3 (kNm)	N (kN)	Q_{12} (kN)	Q_{13} (kN)	Đánh giá
D3-50	1200	25	-3247.81	40.67	1412.58	-19.06	-228.03	Không đạt
D3-45	1200	15.78	-1668.28	5.78	1908.45	-4.31	81.38	Đạt
D3-44	1400	12.84	-1890.13	384.91	2604.87	-103.47	-46.92	Đạt
D3-46	1400	12.72	-1886.77	-306.05	2627.31	115.07	116.95	Đạt
D3-49	1400	20	-4219.01	-44.22	1760.69	53.89	219.04	Không đạt
D3-51	1400	19.9	-4345.03	138.29	1670.11	-50.71	166.61	Không đạt
D3-36,37	1400	3.2	-353.21	197.87	2150.16	-127.81	-14.26	Đạt
D3-38,42	1400	8.2	-620.29	391.58	3002.81	-242.25	33.16	Không đạt
D3-39,41	1400	5.9	-689.43	798.02	2015.91	-12.14	30.16	Đạt
D3-40	1400	4.9	-858.83	-7.69	2147.15	1.11	2.16	Đạt



Hình 16. Lực cắt Q13 của cọc



Hình 17. Mô men M2 của cọc



Hình 18. Mô men M3 của cọc



Hình 19. Chuyển vị của cọc



Hình 20. Lực dọc N của cọc



Hình 21. Lực cắt Q12 của cọc

- Các thuận lợi được so sánh với Mohr-Coulomb:
 - Mô phỏng ứng xử làm việc phi tuyến của đất tốt hơn
 - Sự khác biệt của tải trọng ban đầu từ dỡ tải/chất tải
 - Lưu lại được ứng suất tiền cố kết
 - Độ cứng khác nhau cho các đường ứng suất khác nhau dựa trên tiêu chuẩn thí nghiệm
- Các hạn chế:
 - Cần phải lựa chọn các thông số vật liệu khác nhau cho các trạng thái khác nhau ban đầu (ví dụ: cát chặt và cát rời)
 - Có xu hướng dự tính độ cứng cắt thấp hơn khi biến dạng nhỏ

- Không có ứng xử cắt sau khi đạt ứng suất đỉnh
- Không có tính bất đẳng hướng
- Không có nén thứ cấp (trượt)

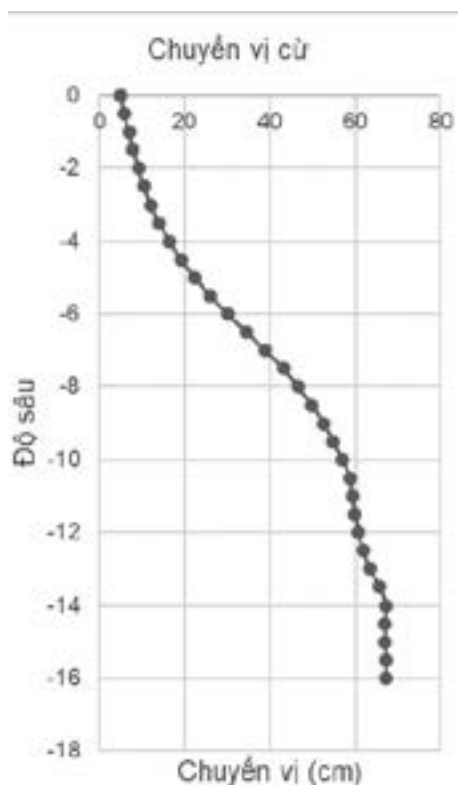
3. Ứng dụng phần mềm plaxis 3D foundation trong phân tích ảnh hưởng từ sự cố thi công tầng hầm khu vực đất yếu tới sự làm việc của cọc

3.1. Giới thiệu công trình

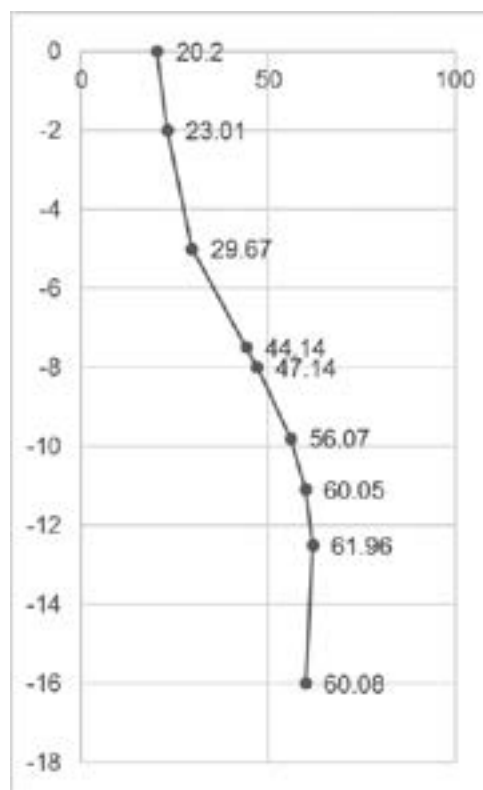
Công trình có 2 tầng hầm, được xây dựng tại phường Hoàng Liệt, Quận Hoàng Mai, Thành phố Hà Nội.

3.2. Địa chất công trình

(Hình 9, Bảng 4, 5, 6, 7)



Hình 22. Chuyển vị cừ thực tế khu vực giữa hố đào (cm)



Hình 23. Chuyển vị cừ trong plaxis khu vực giữa hố đào (cm)

3.3. Giải pháp kết cấu hệ chống đỡ

Do công trình có tính chất đối xứng nên trong mô hình bằng phần mềm Plaxis 3D Foundation, tôi chỉ mô hình một nửa công trình. (Hình 10, 11, 12, 13)

3.4. Trình tự các bước thi công

Bước 1: Thi công cừ Lasen IV

Bước 2: Đào đất tới độ sâu -2.700 so với cos ± 0.000

Bước 3: Thi công hệ văng chống lớp 1

Bước 4: Đào đất tới độ sâu -5.800 so với cos ± 0.000

Bước 5: Thi công hệ văng chống lớp 2

Bước 6: Đào đất tới độ sâu đáy móng biên

Bước 7: Đặt tải trọng vào đầu cọc tương đương sức chịu tải dự kiến của cọc

3.5. Kết quả phân tích

(Hình 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23) (Bảng 6, 7)

4. Kết luận

Các số liệu đầu vào có thể được xác định từ các thí nghiệm như thí nghiệm nén ba trục, thí nghiệm SPT theo

các phương pháp khác nhau. Mỗi phương pháp phù hợp với từng loại đất nền nhất định. Với đất rời thì sử dụng thí nghiệm SPT, với đất dính thì sử dụng thí nghiệm nén ba trục.

Mô hình bằng phần mềm Plaxis 3d Foundation có độ chính xác cao hơn rất nhiều so với mô hình trong Plaxis 2D vì có thể mô tả được tương tác giữa các cọc với nhau, giữa hệ cọc với tường cừ; mô tả được đầy đủ sự ảnh hưởng của sự cố tới từng cọc ở các khu vực khác nhau.

Kết quả của phương pháp này cho ta biết được những cọc không còn khả năng chịu tải, từ đó đưa ra phương án thay thế cọc cho phù hợp.

Các tồn tại: Tuy phần mềm tính toán đúng đắn đến đâu thì mức độ chính xác của lời giải cũng không thể tránh khỏi chịu ảnh hưởng của yếu tố con người. Việc xác định số liệu đầu vào, lựa chọn mô hình tính, phân tích kết quả vẫn phụ thuộc vào kinh nghiệm của người thiết kế. Vì vậy cần có thêm các thí nghiệm hiện trường để đánh giá được chính xác hơn./.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Bá Kế, Nguyễn Tiến Chương, Nguyễn Hiền, Trịnh Thành Huy (2004), *Móng nhà cao tầng - Kinh nghiệm nước ngoài*, NXB Xây dựng, Hà Nội, tr. 39-312.
2. Vũ Công Ngũ, Ths. Nguyễn Thái (2004), *Móng cọc - phân tích và thiết kế*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, tr. 53-54.
3. Nguyễn Văn Quảng (2003), *Nền móng nhà cao tầng*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, tr. 13-45.
4. R. Whitlow (1989), *Cơ học đất*, Tập hai, NXB Giáo dục, Hà Nội, 1998, tr.285-286
5. Shamsheer Prakash, Hari D.Sharma (1999), *Móng cọc trong thực tế xây dựng*, NXB Xây dựng, Hà Nội, tr. 1-28
6. Chu Quốc Thắng (1997), *Phương pháp phần tử hữu hạn*, NXB Khoa học và kỹ thuật
7. A.B.FADEEV (1995), *Phương pháp phần tử hữu hạn trong địa cơ học*, NXB giáo dục
8. Đỗ Văn Đệ, *Phần mềm Plaxis 3D Foundation*, NXB Xây dựng.
9. Nghiêm Mạnh Hiến, *Phương pháp phần tử Hữu Hạn*
10. Kulhawy, *Estimating Soil Properties for Foundation Design*
11. *Plaxis 3D Foundation Validation Manual*