

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT



**BÁO CÁO TỔNG KẾT
ĐỀ TÀI NCKH SINH VIÊN**

**ĐỀ TÀI: “NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG TÁC ĐỘNG TỪ
CÔNG TÁC THI CÔNG ĐƯỜNG HÀM ĐÔ THỊ ĐẾN
KẾT CẤU NGẦM CÔNG TRÌNH LÂN CẬN”**

HÀ NỘI, 5/2022

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT



**BÁO CÁO TỔNG KẾT
ĐỀ TÀI NCKH SINH VIÊN**

**ĐỀ TÀI: “NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG TÁC ĐỘNG TỪ
CÔNG TÁC THI CÔNG ĐƯỜNG HÀM ĐÔ THỊ ĐẾN
KẾT CẤU NGẦM CÔNG TRÌNH LÂN CẬN”**

Sinh viên thực hiện: Lê Hoàng Anh, Lớp XDCT Ngầm K63
Lưu Hoàng Tú, Lớp XDCT Ngầm K63
Phó Đình Nam, Lớp XDCT Ngầm K63

Giáo viên hướng dẫn: GV.TS. Đỗ Ngọc Thái

HÀ NỘI, 5/2022

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU.....	3
1. ĐẶT VẤN ĐỀ.....	3
2. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU.....	3
3. MỤC ĐÍCH NGHIÊN CỨU.....	3
4. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU.....	3
CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN VỀ CÔNG TÁC THI CÔNG ĐƯỜNG HÀM.....	4
TRONG ĐIỀU KIỆN ĐÔ THỊ.....	4
1.1. KHÁI QUÁT CHUNG.....	4
1.2. PHƯƠNG PHÁP THI CÔNG.....	5
1.3. ẢNH HƯỞNG CỦA ĐƯỜNG HÀM ĐẾN CÁC CÔNG TRÌNH XUNG QUANH, CÁC CÔNG TRÌNH TRÊN BỀ MẶT ĐẤT.....	7
1.3.1 Công tác thi công đường hầm tàu điện ngầm gây ra hiện tượng lún, dịch chuyển trên mặt đất.....	8
1.3.2 Công tác xây dựng đường hầm tàu điện ngầm gây ra hiện tượng phá hủy khối đất đá trước gương.....	8
1.3.3. Công tác thi công đường hầm tàu điện ngầm gây ra hiện tượng phá hủy công trình trên mặt đất.....	9
CHƯƠNG 2 ẢNH HƯỞNG CỦA ĐƯỜNG HÀM ĐẾN CÁC CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG LÂN CẬN.....	11
2.1. ẢNH HƯỞNG CỦA ĐƯỜNG HÀM ĐẾN KHỐI ĐẤT ĐÁ XUNG QUANH....	11
2.2. ẢNH HƯỞNG CỦA ĐƯỜNG HÀM ĐẾN CỌC CỦA KẾT CẤU MÓNG TÒA NHÀ CAO TẦNG.....	17
2.3. CẤU TẠO VÀ ỨNG DỤNG CỦA MÓNG BÈ-CỌC.....	27
2.3.1 Cấu tạo của móng bè cọc.....	27
2.3.2 Cơ chế làm việc của móng bè cọc.....	28
CHƯƠNG 3 NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA ĐƯỜNG HÀM ĐẾN NỘI LỰC, DỊCH CHUYỂN CỦA KẾT CẤU NGẦM CÔNG TRÌNH LÂN CẬN.....	31
3.1. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU.....	31
3.2. BÀI TOÁN NGHIÊN CỨU.....	31
3.3. KẾT QUẢ.....	33
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	44

TÀI LIỆU THAM KHẢO.....45

MỞ ĐẦU

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong điều kiện khu vực đô thị, công tác thi công đường hầm có thể gây ra các dịch chuyển mặt đất làm biến dạng thậm trí gây hư hỏng các tòa nhà và các công trình trên mặt đất. Các phương pháp tính toán thiết kế truyền thống có thể dự báo dịch chuyển khối đá đá xung quanh đường hầm hay trên mặt đất trong trường hợp chỉ có đường hầm, tuy nhiên khi thi công đường hầm trong đô thị cần tính đến ảnh hưởng của kết cấu ngầm công trình lân cận. Hơn nữa, các cơ chế kiểm soát vấn đề tương tác giữa đường hầm-khối đất-cấu trúc ngầm vẫn chưa được nghiên cứu đầy đủ.

Để có đánh giá tổng quát về ảnh hưởng của việc thi công đường hầm đến kết cấu ngầm công trình lân cận, nhóm nghiên cứu chọn đề tài: **“Nghiên cứu ảnh hưởng tác động từ công tác thi công đường hầm đô thị đến kết cấu ngầm công trình lân cận”** do thầy giáo TS. Đỗ Ngọc Thái hướng dẫn.

2. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU

Đường hầm thi công trong đô thị gần các kết cấu ngầm công trình lân cận là các cọc của móng bè cọc thuộc tòa nhà cao tầng lân cận. Trong khuôn khổ của đề tài này do tài liệu tham khảo cũng như những kiến thức về thực tế còn có hạn chế nên nhóm tác giả chỉ đi sâu vào nghiên cứu và đánh giá ảnh hưởng của khoảng cách từ đường hầm đến công trình lân cận và ảnh hưởng của chiều sâu xây dựng đường hầm đến nội lực trong vỏ hầm và trong cọc của móng bè cọc thuộc tòa nhà cao tầng lân cận.

3. MỤC ĐÍCH NGHIÊN CỨU

Đề tài nghiên cứu đánh giá hiệu đánh giá ảnh hưởng của khoảng cách từ đường hầm đến công trình lân cận và ảnh hưởng của chiều sâu xây dựng đường hầm đến nội lực trong vỏ hầm và trong cọc của móng bè cọc thuộc tòa nhà cao tầng lân cận.

4. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nhóm nghiên cứu sử dụng các phương pháp: phân tích, tổng hợp dựa trên cơ sở lý thuyết, sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn thông qua phần mềm Plaxis2D.

CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN VỀ CÔNG TÁC THI CÔNG ĐƯỜNG HÀM TRONG ĐIỀU KIỆN ĐÔ THỊ

1.1. KHÁI QUÁT CHUNG

Công tác xây dựng công trình ngầm trong thành phố đang rất phát triển để đáp ứng nhu cầu cấp thiết của vấn đề giao thông vận tải, đáp ứng nhu cầu phát triển xã hội, đã có rất nhiều công trình ngầm trong thành phố được bố trí nằm nông thi công trong đất yếu. Tác động của công tác thi công các công trình ngầm có thể dẫn tới những dịch chuyển khối đất đá xung quanh đường hầm, lún mặt đất và thậm chí gây sập đổ, phá hủy các tòa nhà phía trên mặt đất. Bài toán đặt ra đối với các nhà quy hoạch, các nhà thiết kế là quá trình xây dựng công trình ngầm thành phố, phát triển cơ sở hạ tầng và không gian ngầm một cách bền vững, các dự án xây dựng phải bảo đảm chất lượng công trình, an toàn lao động, hoàn thành theo tiến độ và dự toán đã được phê duyệt. Không giống như các công trình ngầm được thi công tại khu vực nông thôn hay vùng đồi núi, các dự án xây dựng công trình ngầm trong thành phố có những đặc điểm và yêu cầu sau:

- Vị trí bố trí công trình ngầm có liên hệ chặt chẽ với mục đích và chức năng sử dụng của công trình, tuy nhiên vị trí bố trí công trình ngầm trong thành phố vẫn bị hạn chế bởi nhiều yếu tố khác như sự tồn tại của các tòa nhà trên mặt đất, các công trình đường hầm kỹ thuật hay các kiến trúc ngầm khác;

- Các công trình ngầm trong thành phố thường được bố trí tại độ sâu không lớn, điều đó dẫn đến có những tác động kỹ thuật làm ảnh hưởng đến cấu trúc các lớp đất trực tiếp dưới mặt đất. Lớp đất trực tiếp dưới mặt đất, luôn được dành riêng cho hệ thống thoát nước, điện cáp, thông tin liên lạc gọi chung là các đường hầm kỹ thuật. Nếu hệ thống đường hầm kỹ thuật đã được xây dựng thì cần xác định sự hiện diện của chúng, khả năng sẽ gây ra những cản trở, tiềm tàng những rủi ro trong quá trình thi công đường hầm tàu điện ngầm, do đó hệ thống đường hầm kỹ thuật nên được di dời đến vị trí khác;

- Công trình ngầm trong thành phố được thiết kế và thi công một cách khoa học với công nghệ tiên tiến nhưng do vị trí bố trí đường hầm nằm nông, thi công trong đất yếu thường gây ra các hiện tượng lún mặt đất.

- Rất nhiều các thành phố có giá trị lớn về mặt lịch sử như có các khu di tích lịch sử, do đó các di tích khảo cổ có thể được tìm thấy tại các lớp gần mặt đất. Vấn đề đó cần được cảnh báo sớm và có các giải pháp tìm kiếm và bảo tồn;

- Cần có các giải pháp khảo sát và cập nhật đầy đủ điều kiện địa chất công trình, địa chất thủy văn;

- Các dự án xây dựng đường hầm đô thị, thông thường là các dự án cơ sở hạ tầng chiến lược có tầm quan trọng ảnh hưởng đến an ninh chính trị của quốc gia. Do đó được Nhà nước và các tổ chức tài trợ rất quan tâm và có những yêu cầu đòi hỏi cao về chất lượng xây dựng công trình, chi phí xây dựng và tiến độ thực hiện dự án.

1.2. PHƯƠNG PHÁP THI CÔNG

Các phương pháp chính để thi công đường hầm bao gồm phương pháp đào lộ thiên, phương pháp đào thông thường hay phương pháp đào hầm mới của Áo (NATM) và phương pháp sử dụng máy đào hầm. Ngày nay, phương pháp thi công bằng máy khoan hầm (TBM – Tunnel Boring Machine) đặc biệt là máy khiên đào (SM - Shield machine) được áp dụng rộng rãi khi thi công các đường hầm tàu điện ngầm trong điều kiện thành phố. Phương pháp thi công bằng máy khiên đào ngoài việc đảm bảo chất lượng, sự ổn định cao cho đường hầm còn giảm thiểu được những ảnh hưởng chấn động, dịch chuyển lún mặt đất hay bảo vệ các công trình xung quanh khu vực thi công.

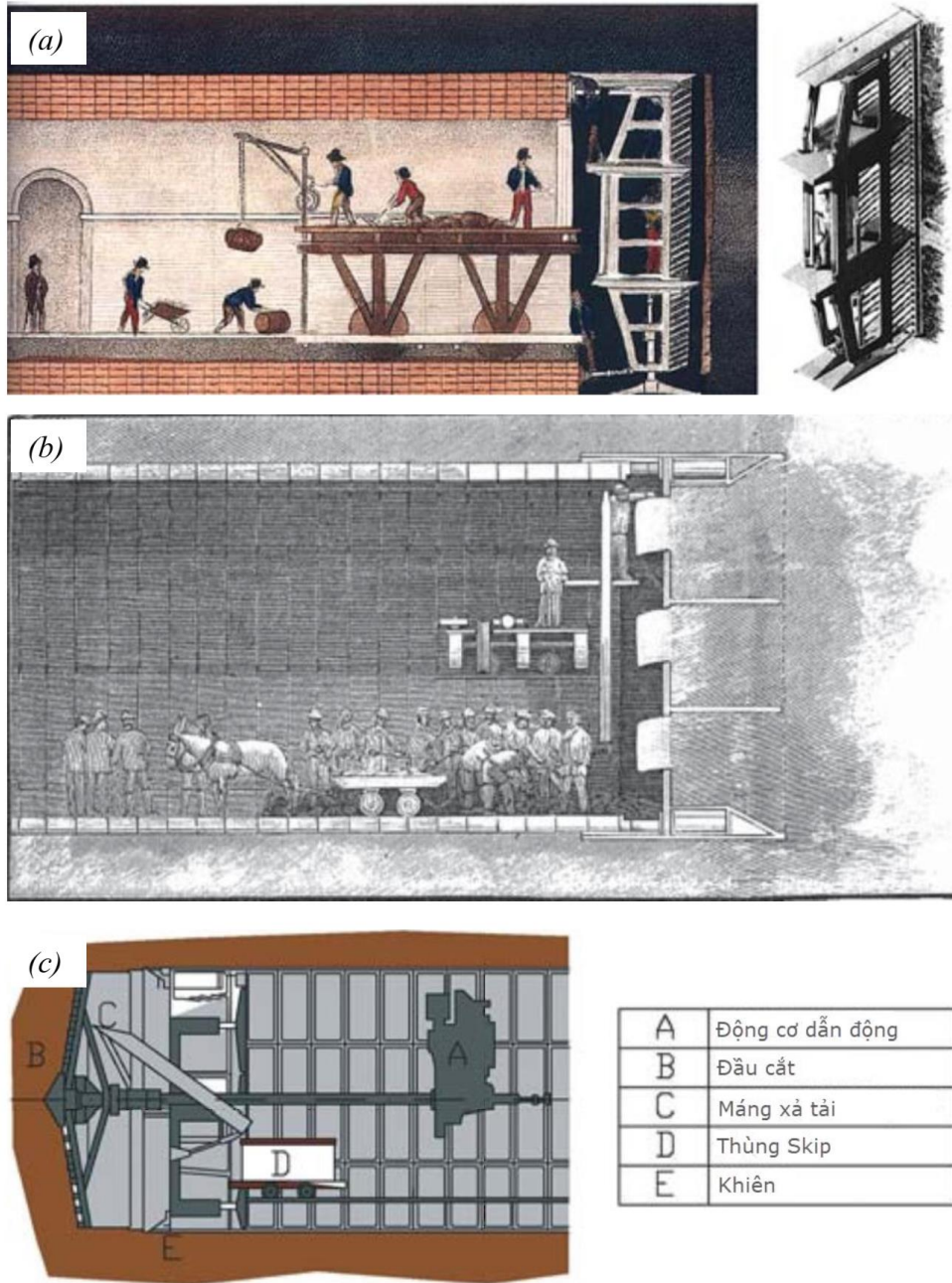
Máy khiên đào (SM) là máy đào hầm cơ giới mà đoạn đường hầm từ vị trí đầu cắt tới vị trí vỏ chống cố định đã được chống giữ, bảo vệ bằng vỏ thép (khiên) của máy khiên đào.

Đặc điểm chung

Máy khiên đào đã ra đời rất sớm và được Mark I. Brunel sử dụng lần đầu tiên khi xây dựng tuyến hầm qua sông Thames ở London, đường hầm hoàn thành vào năm 1843 (hình 1.1).

Máy khiên đào là máy đào hầm cơ giới có nhiều chức năng tập trung thống nhất như đào tách đất đá, chống giữ bảo vệ, lắp đặt vỏ hầm, vận chuyển đất đá. Phần đầu cắt được trang bị hệ thống đĩa cắt có nhiệm vụ phá vỡ khối đất đá, phần kế tiếp có bố trí các kích đẩy cho phép đầu cắt tiến về phía trước, phần đuôi khiên có nhiệm vụ lắp

đặt vỏ hầm, vận chuyển đất đá về phía sau và đưa ra ngoài, bơm phụt vữa lấp đầy khoảng trống phía sau vỏ hầm.

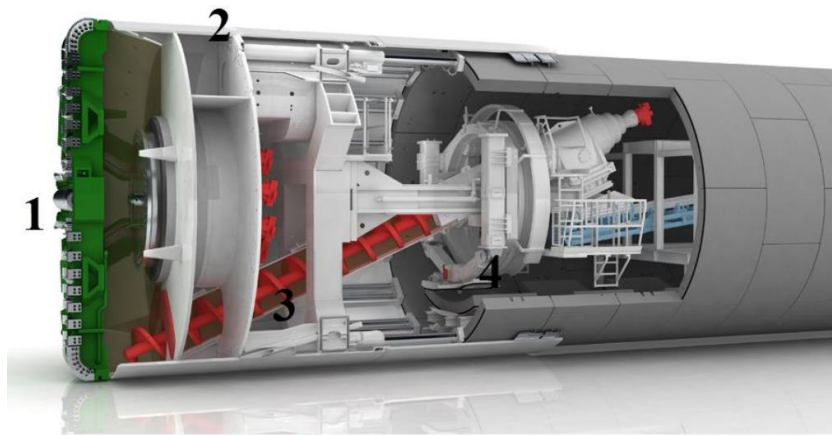


Hình 1.1. Các loại máy khiên đào ở thời kỳ đầu

Khoang công tác ở phía sau mâm cắt luôn được duy trì áp lực nhằm cân bằng áp lực đất đá và áp lực nước ngầm để giữ ổn định cho gương đào, giảm những dịch chuyển lún trên mặt đất. Theo nguyên lý chống giữ gương đào bằng các phương pháp cân bằng áp lực gương đào thì máy khiên đào được chia thành những loại chính như

sau: khiên cân bằng áp lực khí nén; khiên cân bằng áp lực vữa và khiên cân bằng áp lực đất (EPB).

Vì vậy, máy khiên đào thích hợp để thi công đường hầm qua các vùng đất đá yếu có nguy cơ mất ổn định cao, đất đá có khả năng sụt lở ngay vào không gian khai đào. Trải qua quá trình phát triển, cùng với tiến bộ của khoa học và công nghệ, máy khiên đào hiện nay cho phép thi công các đường hầm trong các điều kiện địa chất khó khăn phức tạp, địa chất yếu khác nhau. Tiết diện đường hầm thi công bằng máy khiên đào hiện nay cho phép tới trên 14m như tại dự án đường cao tốc vịnh Tokyo (14,14m); tại đường hầm qua sông Elbe - Hamburg - Đức (14,20m).



Hình 1.2. Máy khiên đào

1 - Đầu cắt; 2 - Khiên; 3 - Hệ thống vận chuyển đất đá thải; 4 - Hệ thống lắp dựng vỏ chống.

1.3. ẢNH HƯỞNG CỦA ĐƯỜNG HẦM ĐẾN CÁC CÔNG TRÌNH XUNG QUANH, CÁC CÔNG TRÌNH TRÊN BỀ MẶT ĐẤT

Công tác thi công đường hầm tàu điện ngầm sẽ gây ra những tác động đến khối đất đá xung quanh đường hầm và các công trình trên mặt đất. Đối với các đường hầm trong đô thị, công tác thi công dưới các tòa nhà cao tầng hay dưới hệ thống kỹ thuật ngầm đô thị luôn tiềm ẩn những rủi ro như gây lún, dịch chuyển mặt đất hay thậm chí gây sập đổ, phá hủy các công trình xung quanh khu vực thi công, các công trình trên mặt đất như nhà cửa, cầu, đường, các công trình hạ tầng kỹ thuật khác.

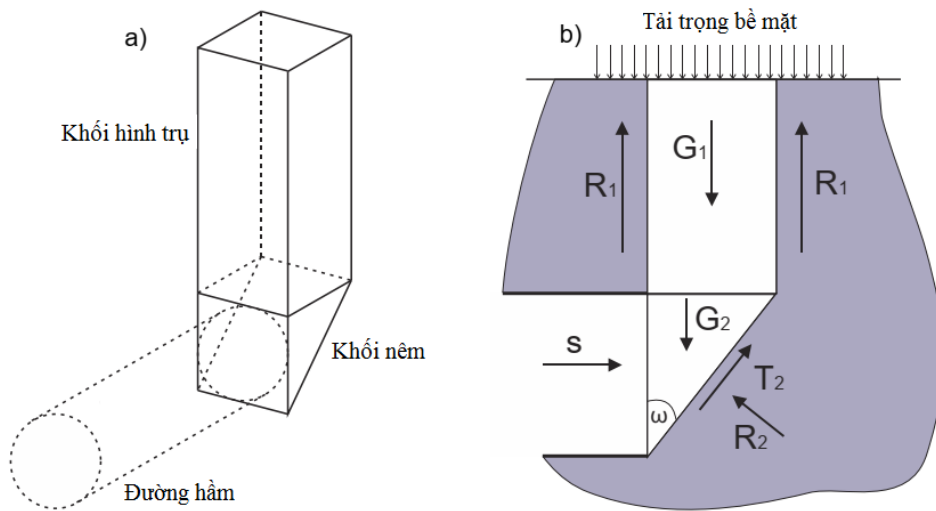
1.3.1 Công tác thi công đường hầm tàu điện ngầm gây ra hiện tượng lún, dịch chuyển trên mặt đất

Thi công đường hầm tàu điện ngầm trong thành phố có những tác động gây dịch chuyển, sụt lún bề mặt đất gây ảnh hưởng tới độ ổn định của các công trình trên mặt đất. Dự báo trạng thái ứng suất xung quanh đường hầm, giá trị dịch chuyển biến dạng khối đất đá xung quanh đường hầm, giá trị độ lún mặt đất vì vậy đóng vai trò rất quan trọng.

1.3.2 Công tác xây dựng đường hầm tàu điện ngầm gây ra hiện tượng phá hủy khối đất đá trước gương

Trong công tác thi công đường hầm bằng máy khiên đào, vấn đề giữ ổn định gương đào của đường hầm đóng một vai trò thiết yếu trong sự ổn định của toàn bộ đường hầm. Cho đến nay, đã có nhiều nghiên cứu xác định qua trình biến đổi trạng thái ứng suất tại gương đào trong quá trình thi công đường hầm. Các bài toán giải tích, mô phỏng số hay và thử nghiệm trong phòng thí nghiệm đã được thực hiện để dự báo quá trình biến đổi trạng thái địa cơ học tại gương đào.

Phương pháp đầu tiên được phát triển bởi Horn (1961). Đó là một mô hình ba chiều. Trên hình 1.3 trình bày cơ chế phá hủy khối đất đá trước gương được Horn đề xuất bao gồm một hình lăng trụ đứng và một hình nêm nghiêng. Kích thước của các khối lăng trụ đứng và khối nêm nghiêng phụ thuộc vào kích thước đường hầm và tải trọng đất đá.

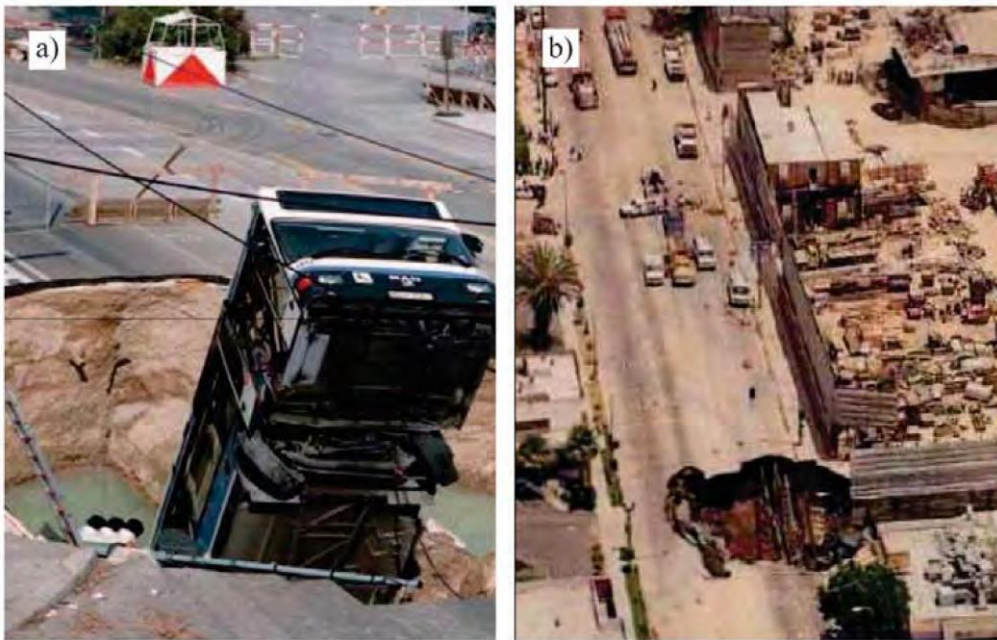


Hình 1.3. Sơ đồ tải trọng khối đất đá tác dụng lên gương đào (Horn, 1961)

Hình 1.3 (b) cho thấy các lực tác dụng lên khối lăng trụ đứng và khối nêm trượt nghiêng. Tải trọng trên mặt đất và trọng lượng của khối lăng trụ (G_1) tác dụng lên khối nêm nghiêng (G_2) làm cho khối nêm trượt vào trong gương đào, trong khi các lực cản gây ra bởi ma sát bề mặt và lực dính kết bề mặt của các khối là R_1 ; T_2 ; R_2 . Điều kiện an toàn khi các lực chống trượt dọc theo bề mặt khối lăng kính và nêm lớn hơn trọng lượng gây trượt. Mô hình Horn đặt ra vẫn còn nhiều hạn chế. Thứ nhất, mô hình chỉ có giá trị đối với khối đất đồng nhất, đẳng hướng. Thứ hai, các tính toán dựa trên phương pháp cân bằng giới hạn.

1.3.3. Công tác thi công đường hầm tàu điện ngầm gây ra hiện tượng phá hủy công trình trên mặt đất

Công tác thi công đường hầm tàu điện ngầm gặp điều kiện địa chất yếu, phức tạp cộng với các phương pháp thi công không đảm bảo kỹ thuật, kết cấu chống giữ có thời điểm lắp dựng và khả năng chịu lực không đảm bảo có thể dẫn tới các hiện tượng phá hủy sập đổ đường hầm và các công trình trên mặt đất.



Hình 1.4. Hiện tượng phá hủy công trình lên đến mặt đất, a - Phá hủy trong quá trình thi công tàu điện ngầm tại Munich, Đức năm 1994; b – Phá hủy đường hầm Los Angeles, Mỹ năm 1985;

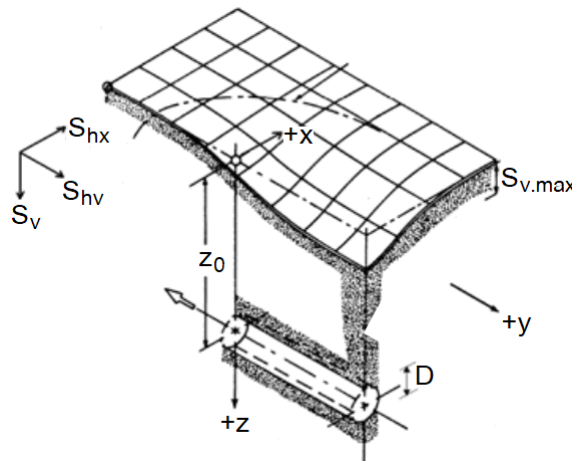
Trên hình 1.4 cho thấy, đường hầm tàu điện ngầm tại Munich, Đức (1994) có đường kính 7m thi công ở độ sâu 18m thi công bằng công nghệ NATM của Áo, đường hầm được chống giữ bằng bê tông phun và neo, hiện tượng phá hủy lên tới mặt đất do phía trước gương xuất hiện khối đất mềm yếu cộng với nước ngầm làm phá hủy từ gương đào. Đường hầm Los Angeles có đường kính 6, 7m đào bằng máy khiên đào ở độ sâu 25m, xảy ra hiện tượng phá hủy lên tới mặt đất vào ngày 22 tháng 6 năm 1995 trong khi đang thi công tiếp tục căn chỉnh đường hầm. Sự phá hủy đường hầm do áp lực đất đá và nước ngầm vượt qua khả năng chịu lực của vỏ chống đường hầm.

Bên cạnh đó trên thế giới đã xảy ra rất nhiều các hiện tượng phá hủy, đường hầm và các công trình xung quanh như vào ngày 12 tháng 2 năm 1998 Sập tàu điện ngầm Docklands, Anh; vào năm 1998 sập tàu điện ngầm Athens, Hy Lạp; ngày 21 tháng 10 năm 1994 sập đường hầm tại sân bay Heathrow, nước Anh.

CHƯƠNG 2 ẢNH HƯỞNG CỦA ĐƯỜNG HÀM ĐẾN CÁC CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG LÂN CẬN

2.1. ẢNH HƯỞNG CỦA ĐƯỜNG HÀM ĐẾN KHỐI ĐẤT ĐÁ XUNG QUANH

Phương pháp bán thực nghiệm được các nhà nghiên cứu R.B.Peck, (1969) và Schmidt, (1974) đề xuất bằng cách đo một số điểm tại hiện trường, kết quả thu được là dưới tác động của công tác thi công đường hầm thì trên mặt đất sẽ hình thành vùng lún (hình 2.1), đường cong lún mặt đất thể hiện trên hình 2.2.



Hình 2.1. Hình dạng vùng lún trên mặt đất sau khi thi công đường hầm

Khi thi công đường hầm trong môi trường đất đồng nhất, đẳng hướng thì gây ra độ lún trên bề mặt có giá trị (S_v) đường cong lún bề mặt đất được Peck, (1969) giả định có dạng hàm phân phối chuẩn Gauss, với điểm lún cực đại $S_{v,max}$ nằm ngay trên trục thẳng đứng của đường hầm:

$$S_v = S_{v,max} \cdot e^{-[x^2/(2 \cdot i^2)]} \quad (1)$$

Trong đó: $S_{v,max}$ - Giá trị độ lún lớn nhất theo phương thẳng đứng dọc trục đường hầm, m; x - khoảng cách từ trục đường hầm đến điểm khảo sát theo phương nằm ngang, m; i - Khoảng cách từ trục đường hầm đến điểm uốn theo phương nằm ngang, m.

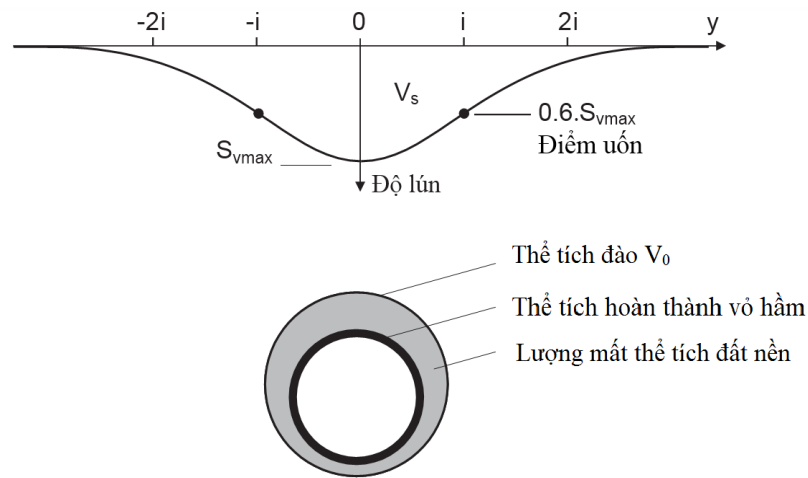
Theo O'Reilly, M.P. and New, B.M. (1982) giá trị khoảng cách từ tâm đường hầm đến điểm uốn theo phương nằm ngang (i) được xác định theo công thức:

$$i = (K \cdot z_0) \quad (2)$$

Trong đó: K - Tham số chiều rộng vùng lún, phụ thuộc vào điều kiện và loại đất mà đường hầm thi công qua, ví dụ đối với cát trong điều kiện nước ngầm ta có $K=0,2\div 0,3$ và đối với đất sét ta có $K=0,4\div 0,7$; z_0 - Chiều sâu bố trí đường hầm, m.

Thể tích vùng lún trên mỗi đơn vị chiều dài đường hầm được xác định theo công thức:

$$V_S = \int_{-\infty}^{\infty} S_{v,max} \cdot e^{-\left[x^2/(2i^2)\right]} = \sqrt{2\pi} \cdot i \cdot S_{v,max} \cdot \quad (3)$$



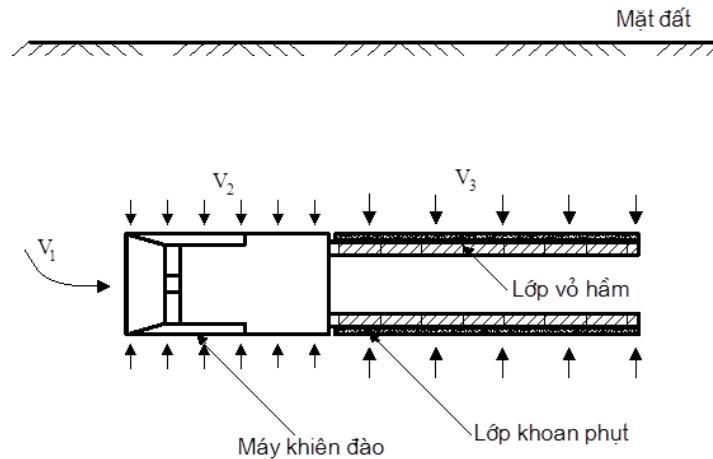
Hình 2.2. Đường cong lún mặt đất

Lượng mất thể tích đất (V_L) là tỷ số giữa thể tích của vùng lún và thể tích đào lý thuyết được tính cho một đơn vị chiều dài.

$$V_L = (V_S/V_0) \cdot 100 \% \quad (4)$$

Trong đó: V_S - thể tích của vùng lún, m^3 V_0 - thể tích đào lý thuyết, m^3 .

Lượng mất thể tích là do sự khác biệt về thể tích đào đường hầm và thể tích hoàn thành sau khi lắp đặt vỏ chông. Đất xung quanh đường hầm di chuyển để lấp đầy sự mất thể tích này, cường độ di chuyển lấp thể tích cũng gây ra lượng mất thể tích, giá trị mất thể tích còn phụ thuộc vào phương pháp đào, loại đất mà đường hầm đào qua và sự thận trọng của đơn vị thi công đường hầm. Một phần của lượng hao hụt thể tích đất xung quanh hầm sẽ phát triển lên đến mặt đất và tạo ra vùng lún. Hay nói cách khác, thể tích vùng lún trên mặt đất tương ứng với lượng mất thể tích đất xung quanh đường hầm (Dimmock & Mair, 2008).



Hình 2.3. Các nguồn gây mất thể tích đất trong quá trình đào hầm: V_1 - Lượng mất thể tích tại gương đào, m^3 ; V_2 - Lượng mất thể tích tại khiên, m^3 ; V_3 - Lượng mất thể tích tại đuôi khiên, m^3 .

Trong công tác thi công bằng máy khiên đào, các vị trí gây ra lượng mất thể tích bao gồm (hình 2.3):

- Sự dịch chuyển của đất vào trong gương đào gây lên lượng mất thể tích đất tại gương đào (V_1), do giải phóng ứng suất kéo tại gương;
- Quá trình dịch chuyển tiến lên phía trước của khiên theo dọc trục đường hầm gây lên lượng mất thể tích đất tại khiên (V_2) do sự sai lệch kích thước của máy khiên đào;
- Quá trình dịch chuyển của đất vào lớp khoan phụt vừa lấp đầy khoảng trống sau vỏ hầm gây lên lượng mất thể tích đất tại đuôi khiên (V_3), do quá trình khoan phụt vừa lấp đầy khoảng trống sau vỏ khiên cộng thêm phần biến dạng lớp vừa khoan phụt.

Lượng mất thể tích đối với đường hầm thi công qua lớp sét bằng phương pháp máy khiên đào là 1÷3% của thể tích đào (O'Reilly and New, 1982).

Từ các công thức (1), (2) và (3) độ lún tại điểm bất kỳ trên mặt đất được xác định theo công thức:

$$S_v = \frac{V_s}{\sqrt{2\pi \cdot K \cdot z_0}} \cdot e^{-\left[\frac{x^2}{2K^2 \cdot z_0^2}\right]} \quad (5)$$

Có rất nhiều các công trình nghiên cứu như phương pháp giải tích, thí nghiệm trong phòng cộng với quan trắc thực địa và phương pháp mô hình số để dự báo giá trị độ lún lớn nhất $S_{v,max}$ và i trong các điều kiện thi công khác nhau. Các kết quả nghiên

cứu cho thấy, giá trị độ lún lớn nhất $S_{v,max}$ và i phụ thuộc vào đặc tính kỹ thuật đường hầm, điều kiện địa chất khu vực thi công đường hầm và phương pháp thi công.

Dự báo độ lún bề mặt đối với điều kiện thi công trong đất sét và cát được nhiều các nhà nghiên cứu, giá trị thông số máng lún i được các nhà nghiên cứu đề xuất trong bảng 1.2.

Bảng 1.2. Phương pháp xác định giá trị (i) khoảng cách từ trục đường hầm đến điểm uốn theo phương nằm ngang.

Tác giả	Giá trị i	Ghi chú
Peck (1969)	$\frac{i}{R} = \frac{z_0^2}{4R^2}; n = 0,8 \div 1,0$	Dựa trên các kết quả quan trắc thực tế.
Atkinson và Potts (1979)	$i = 0,25(z_0 + R)$; đối với cát chảy. $i = 0,25(1,5z_0 + 0,5R)$; đối với cát và sét cô kết.	Dựa trên các kết quả quan trắc thực tế và kiểm tra bằng mô hình số.
O'Reilly và New (1982)	$i = 0,43z_0 + 1,1$; đối với đất dính. $i = 0,28z_0 - 0,1$; đối với đất rời.	Dựa trên quan trắc thực địa các đường hầm tại nước Anh.
Mair (1993)	$i = 0,5z_0$;	Dựa trên quan trắc thực địa
Attewell (1977)	$\frac{i}{R} = \alpha \cdot \left(\frac{z_0}{2R}\right)^n; \alpha = 1, n = 1.$	Dựa trên quan trắc thực địa các đường hầm tại nước Anh.
Clough và Schmidt (1981)	$\frac{i}{R} = \alpha \cdot \left(\frac{z_0}{2R}\right)^n; \alpha = 1, n = 0,8.$	Dựa trên quan trắc thực địa các đường hầm tại nước Anh.

Trong đó: R - Bán kính đường hầm, m.

Phương pháp dự báo lún mặt đất khi thi công đường hầm tàu điện ngầm thành phố có thể sử dụng phương pháp giải tích, thí nghiệm trong phòng cộng với quan trắc thực địa hoặc phương pháp mô hình số. Để dự báo giá trị lún mặt đất gây ra từ công tác thi công một đường hầm cụ thể có thể kết hợp nhiều phương pháp dự báo và được so sánh với kết quả đo đạc, quan trắc thực địa của các công trình có điều kiện xây

dụng tương tự. Trong bảng 1.3 thể hiện kết quả đo đạc, quan trắc thực tế giá trị lún mặt đất gây ra bởi công tác xây dựng đường hầm trên thế giới.

Bảng 1.3. Kết quả đo đạc, quan trắc thực địa giá trị lún mặt đất gây ra bởi công tác xây dựng đường hầm (Vittorio Guglielmetti et al., 2007).

Đường hầm	Đường kính, m	Chiều sâu bố trí đường hầm, m	Giá trị lún mặt đất, mm	Kiểu máy khiên đào; đường hầm thi công trong lớp đất.
Hầm đường sắt tại thành phố Barcelona, Tây Ban Nha.	11,2	30	5,0	Khiên áp lực đất; đất sét và cát.
Hầm thoát nước ở Sudden Valley, Mỹ.	14,3	9,12	43,0	Khiên cân bằng áp lực đất; cát bão hòa nước.
Hầm tàu điện ngầm đường số 1 ở Madrid, Tây Ban Nha.	9,38	15,50	18,0	Khiên áp lực đất; cát và đất sét.
Hầm tàu điện ngầm số 2 ở Madrid, Tây Ban Nha.	9,38	17,00	21,2	Khiên áp lực đất; đất sét và cát.
Đường hầm ô tô ở Val-de Marne, Pháp.	3,35	7,75	5,3	Khiên cân bằng áp lực vữa; sỏi cát.
Đường hầm tàu điện ngầm số 2 tại Thượng Hải, Trung quốc.	11,2	24,50	17,9	Khiên cân bằng áp lực vữa; đất mùn, cát pha.
Đường hầm tàu điện ngầm D tại Lyon, Pháp.	6,27	16,40	13,5	Khiên cân bằng áp lực vữa; cát sét mịn.

Theo kết quả đo đạc quan trắc thực tế, giá trị lún mặt đất gây ra bởi công tác xây dựng đường hầm trong bảng 1.3 ta thấy, đối với các đường hầm thi công trong điều kiện thành phố thì phương pháp thi công phổ biến là sử dụng máy khiên đào cân bằng áp lực đất và máy khiên đào cân bằng áp lực vữa. Giá trị độ lún mặt đất phụ

thuộc vào kích thước đường hầm, vị trí thi công đường hầm, điều kiện khối đất đá đường hầm thi công qua như lớp đất sét, đất mùn hay cát pha ...v.v. và phương pháp thi công sử dụng loại máy khiên đào cân bằng áp lực lên gương đào đường hầm. Đối với đường hầm có kích thước trung bình như đường hầm tàu điện ngầm D tại Lyon, Pháp có đường kính 6,27m và độ sâu thi công 16,4m; sử dụng khiên cân bằng áp lực vừa thi công trong điều kiện cát sét mịn thì kết quả đo đạc, quan trắc giá trị lún mặt đất là 13,5mm. Các đường hầm có kích thước lớn (đường kính lớn hơn 9m) ở độ sâu thi công 15 đến 17m thi công trong đất sét, cát sử dụng máy khiên đào cân bằng áp lực đất thì giá trị lún mặt đất có giá trị 18÷21mm.

• Sagaseta (1987) đã trình bày các giải pháp dạng kín để xác định trường biến dạng trong nền đất không nén được đẳng hướng và đồng nhất ban đầu do mất mát gần bề mặt do đào đường hầm. Verruijt và Booker (1996) đã trình bày một giải pháp phân tích cho các đường hầm trong một nửa không gian đàn hồi đồng nhất, sử dụng phương pháp gần đúng do Sagaseta (1987) đề xuất cho trường hợp mất mát mặt đất. Loganathan và Poulos (1990) đã sửa giải Veruijt and Booker bằng cách nhập vào các điều kiện giới hạn gây ra sụt giảm thực tế khi khai quật đường hầm

Dịch chuyển thẳng đứng tại mặt đất:

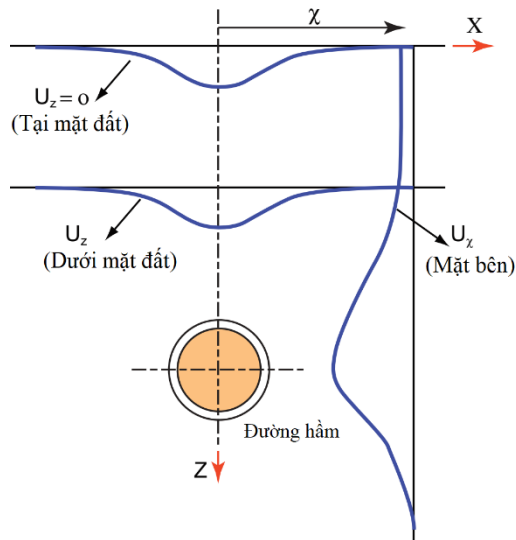
$$U_{z=0} = \varepsilon_0 R^2 \cdot \frac{4H(1-\nu)}{H^2+x^2} \cdot \exp\left\{-\frac{1,38x^2}{(H\cos\beta+R)^2}\right\} \quad (6)$$

Dịch chuyển thẳng đứng dưới mặt đất:

$$U_z = \varepsilon_0 R^2 \cdot \left(-\frac{z-H}{x^2+(z-H)^2} + (3-4\nu) \cdot \frac{z+H}{x^2+(z+H)^2} - \frac{2z[x^2-(z+H)^2]}{[x^2+(z+H)^2]^2}\right) \cdot \exp\left\{-\left[\frac{1,38x^2}{(H\cos\beta+R)^2} + \frac{0,69z^2}{H^2}\right]\right\} \quad (7)$$

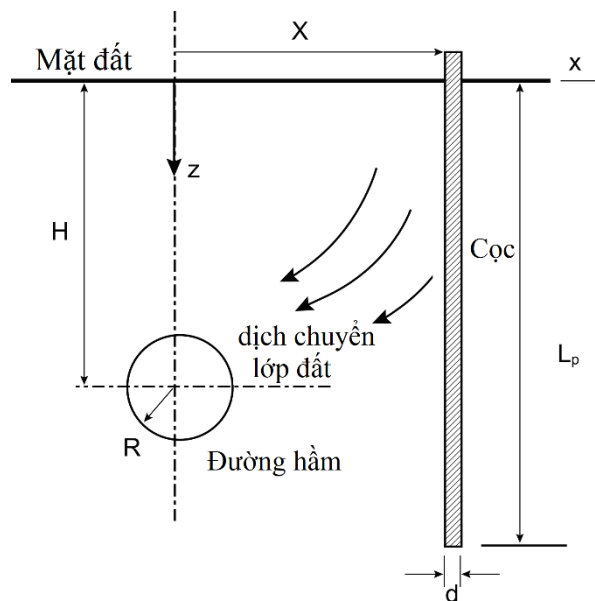
Dịch chuyển ngang

$$U_x = -\varepsilon_0 R^2 x \left[\frac{1}{x^2+(H-z)^2} + \frac{3-4\nu}{x^2+(H+z)^2} - \frac{4z(z+H)}{(x^2+(H+z)^2)^2}\right] \cdot \exp\left\{-\left[\frac{1,38x^2}{(H\cos\beta+R)^2} + \frac{0,69z^2}{H^2}\right]\right\} \quad (8)$$



Hình 2.4. Đường cong dịch chuyển lớp đất xung quanh đường hầm

2.2. ẢNH HƯỞNG CỦA ĐƯỜNG HẦM ĐẾN CỌC CỦA KẾT CẤU MÓNG TÒA NHÀ CAO TẦNG



Hình 2.5. Dịch chuyển lớp đất xung quanh đường hầm

Các trường hợp cọc ngắn và cọc dài được phân tích để đánh giá ảnh hưởng của chiều dài cọc với độ sâu của đường hầm. Mỗi trường hợp cho thấy sự khác nhau đáng kể do đường hầm gây ra ứng xử trên cọc, như được trình bày dưới đây.

(1) Cọc ngắn: ($L_p / H < 1$)

Trục hàm nằm dưới mũi cọc hiện hữu, kết quả cho thấy độ lún của cọc được tạo ra là đáng kể, cùng với mômen uốn và biến dạng bên của cọc. Độ lún đầu cọc vượt quá độ lún mặt đất đối với cọc nằm cách một nửa chiều sâu đường hầm theo chiều ngang.

(2) Cọc dài: ($L_p / H > 1$)

Trục hàm nằm phía trên mũi cọc hiện hữu. Các phân tích cho thấy mômen uốn gây ra là đáng kể trong trường hợp này. Độ lún đầu cọc nhỏ hơn độ lún mặt đất.

Các nghiên cứu tham số được thực hiện để khảo sát ảnh hưởng của các thông số khác nhau đến phản ứng của cọc. Trong các nghiên cứu này, các thông số sau nhau:

- Bán kính hầm: R , m
- Tỷ lệ mất thể tích: ε_F
- Độ bền cắt không thoát nước của đất: c_u
- Độ sâu trục đường hầm, H , m
- Đường kính cọc: d , m
- Chiều dài cọc: L_p , m

Kết quả nghiên cứu chỉ ra:

1. Tăng bán kính đường hầm R và tỷ lệ mất thể tích ε_F kết quả tăng các tham số sau:

- Giá trị lớn nhất của mô men uốn M_{max}
- Độ võng ngang (độ võng sườn) ρ_{max}
- Lực dọc trong cọc N_{max}
- Độ lún đầu cọc v_{max}

Do đó, việc chuẩn hóa tổn thất lượng đất với bán kính đường hầm là thích hợp bằng cách đưa vào hệ số “tỷ số tổn thất lượng đất, ε_F ” trong đó $\varepsilon_F = R^2 \cdot \varepsilon_0$ trong đó ε_0 là tỷ lệ tổn thất lượng đất trung bình.

2. Tăng độ bền của đất, c_u , kết quả cho thấy là tăng:

Mô men uốn, M_{max} ; Lực dọc trong cọc, N_{max} ;

Độ lún đầu cọc, v_{max}

3. Tăng đường kính của cọc, d kết quả cho thấy

- Tăng mô men uốn gây ra trong cọc, M_{max}
- Giảm độ võng ngang của cọc, ρ_{max}
- Tăng lực dọc trong cọc N_{max}

- Giảm độ lún đầu cọc, v_{max}

4. Ảnh hưởng của độ sâu trục đường hầm H và chiều dài cọc L_p phụ thuộc vào tỷ lệ L_p/H .

Dựa trên các nghiên cứu tham số ở trên, người ta thấy rằng trong phạm vi tham số được kiểm tra, các ứng xử cọc lớn nhất khác nhau có thể được tính gần đúng như sau:

Mô men uốn:

$$M_{max} = M_b \cdot k_{cu}^M \cdot k_d^M \cdot k_{Lp/H}^M \quad (9)$$

Độ uốn ngang:

$$\rho_{max} = \rho_b \cdot k_{cu}^P \cdot k_d^P \cdot k_{Lp/H}^P \quad (10)$$

Lực dọc:

$$+P_{max} = +P_b \cdot k_{cu}^{+P} \cdot k_d^{+P} \cdot k_{Lp/H}^{+P} \quad (11)$$

$$-P_{max} = -P_b \cdot k_{cu}^{-P} \cdot k_d^{-P} \cdot k_{Lp/H}^{-P}$$

Độ lún đầu cọc:

$$v_{max} = v_b \cdot k_{cu}^v \cdot k_d^v \cdot k_{Lp/H}^v \quad (12)$$

Trong đó:

M_{max} là giá trị lớn nhất của mô men cọc

M_b là giá trị lớn nhất của mô men cọc trong điều kiện ban đầu chưa có hầm

ρ_{max} là giá trị lớn nhất của độ uốn ngang cọc

ρ_b là giá trị lớn nhất của độ uốn ngang cọc trong điều kiện ban đầu chưa có hầm

$+P_{max}$ là giá trị lớn nhất của lực dọc trong cọc, lực nén

$-P_{max}$ là giá trị lớn nhất của lực dọc trong cọc, lực kéo

$+P_b$ là giá trị lớn nhất của lực dọc trong cọc (lực nén) trong điều kiện ban đầu chưa có cọc

$-P_b$ là giá trị lớn nhất của lực dọc trong cọc (lực kéo) trong điều kiện ban đầu chưa có cọc

$-v_{max}$ là giá trị lớn nhất của độ lún đầu cọc

$+v_b$ là giá trị lớn nhất của độ lún đầu cọc trong điều kiện ban đầu chưa có cọc

Dựa trên nghiên cứu tham số (bằng cách thay đổi các yếu tố khác nhau), các yếu tố hiệu chỉnh hoặc ảnh hưởng sau đây được rút ra cho các thông số khác nhau ảnh hưởng đến độ lớn của các tác động gây ra trong đường hầm đối với cọc:

Dựa trên nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến ứng xử của cọc, các hệ số ảnh hưởng của tác động đường hầm đến cọc được lấy như sau:

Hệ số độ bền cắt không thoát nước $k_{cu}^M \cdot k_{cu}^p \cdot k_{cu}^{+p}, k_{cu}^{-p}$ và k_{cu}^v

Hệ số đường kính cọc $k_d^M \cdot k_d^p \cdot k_d^{+p}, k_d^{-p}$ và k_d^v

Hệ số tỷ lệ chiều dài cọc và chiều sâu trục hầm $k_{Lp/H}^M \cdot k_{Lp/H}^p \cdot k_{Lp/H}^{+p}, k_{Lp/H}^{-p}$ và $k_{Lp/H}^v$

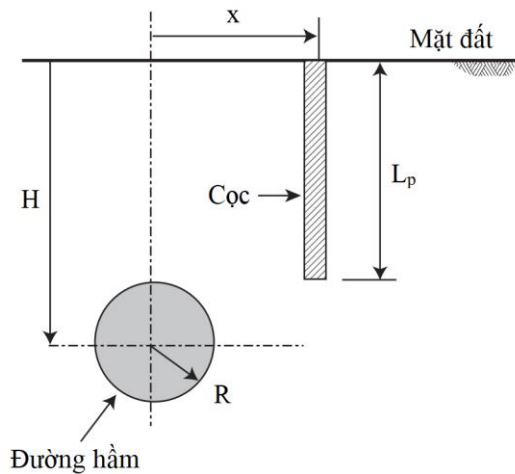
Trong trường hợp đường hầm thi công bên cọc đơn được thể hiện trên hình 2.6 các tham số bài toán như sau:

Đường hầm thi công qua lớp đất sét có độ bền cắt không thoát nước 60kPa.

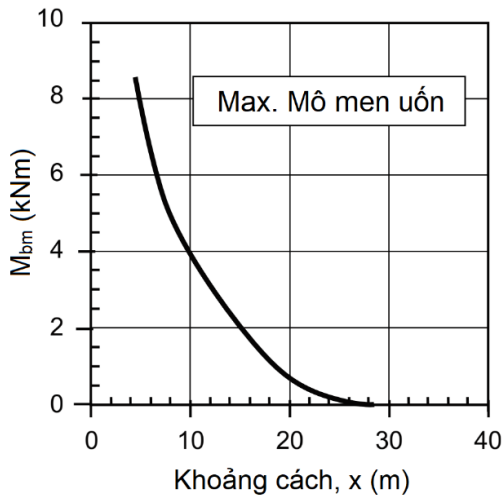
Đường kính ngoài đường hầm, $D = 6\text{m}$; Độ sâu đến trục hầm, $H = 20\text{m}$; Đường kính cọc, $d = 0,5\text{m}$; Chiều dài cọc, trường hợp cọc ngắn $L_p = 15\text{m}$; trường hợp cọc dài $L_p = 25\text{m}$.; Mô đun đàn hồi của cọc 30 Gpa

Lượng mất thể tích đất là 1%. Các phản ứng cọc cho trường hợp cọc ngắn được thiết lập. Dựa trên các quan sát được thực hiện từ nghiên cứu tham số, sử dụng hệ số lượng mất thể tích chuẩn hóa $\varepsilon_F = R^2 \varepsilon_0$ để tạo ra các biểu đồ thiết kế.

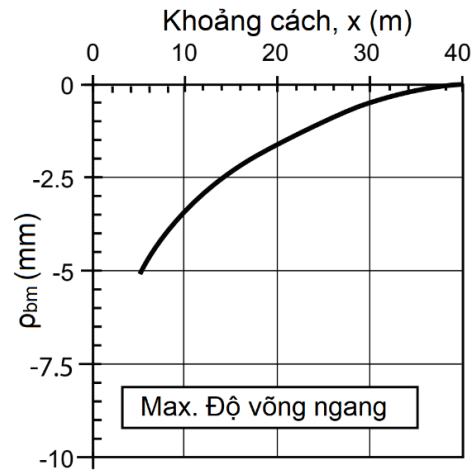
Trường hợp cọc ngắn:



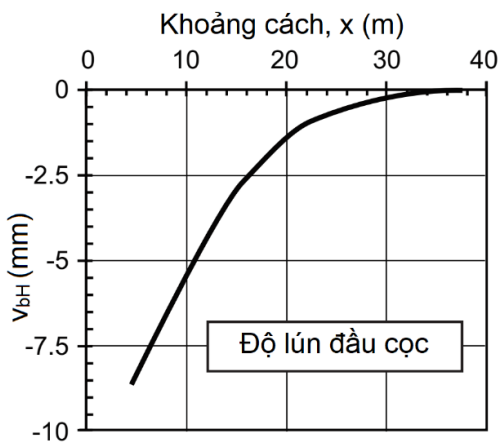
Hình 2.6. Sơ đồ đường hầm thi công ở gần cọc, xét cho trường hợp cọc ngắn (Loganathan N., 2011)



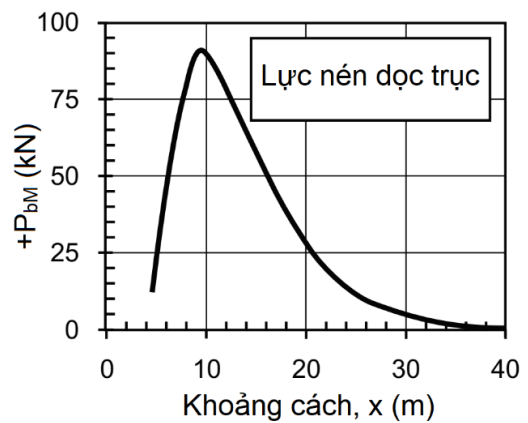
(a)



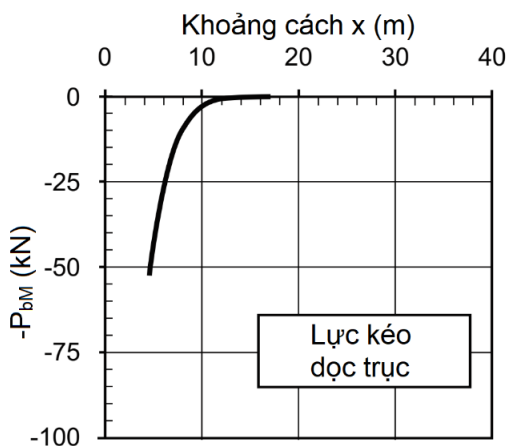
(b)



(c)



(d)

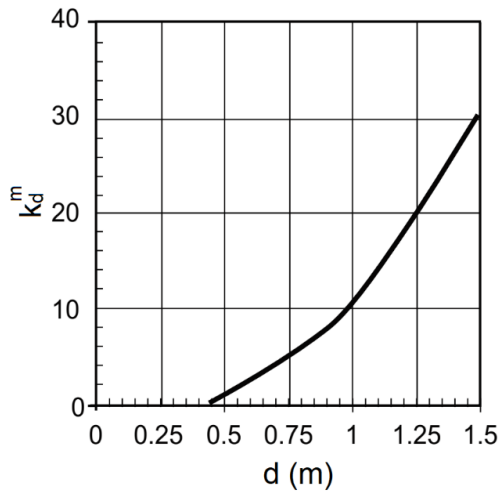


(e)

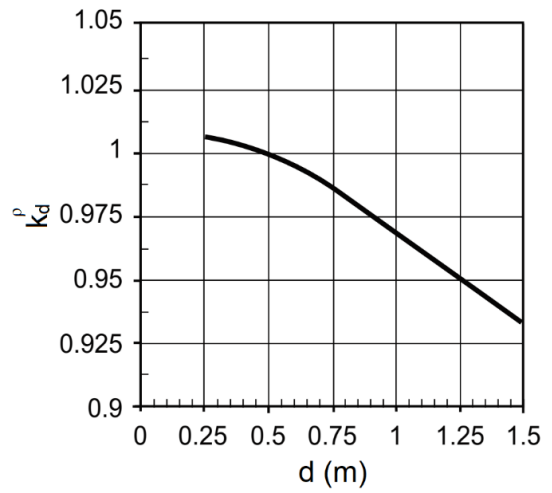
Hình 2.7 Mối tương quan giữa khoảng cách x (m) từ trục hàm đến tim cọc đến nội lực trong cọc, xét cho trường hợp là cọc ngắn: a – Mô men uốn trong cọc; b – Độ võng ngang của cọc; c – Độ lún đầu cọc; d – Lực dọc trục trong miền chịu nén của cọc; e – Lực dọc trục trong miền chịu kéo của cọc. (Loganathan N., 2011)

Hình 2.7 cho thấy các hệ số hiệu chỉnh đối với các đường kính cọc khác nhau. Có thể thấy mômen uốn và lực cản dọc trục tăng lên khi đường kính cọc tăng lên, nhưng độ

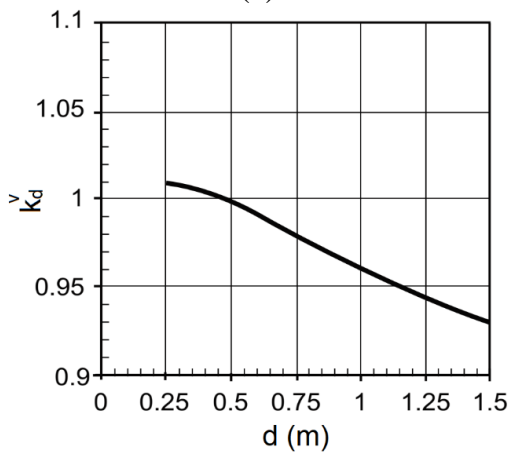
võng và độ lún bên của cọc giảm khi đường kính cọc tăng. Lực cản xuống cũng giảm khi khoảng cách từ đường hầm tăng lên.



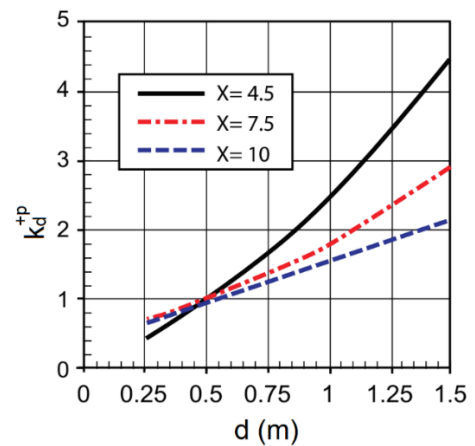
(a)



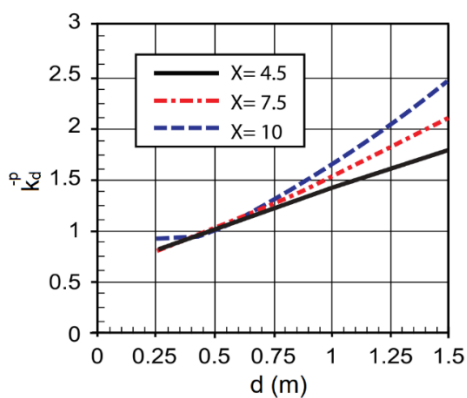
(b)



(c)



(d)

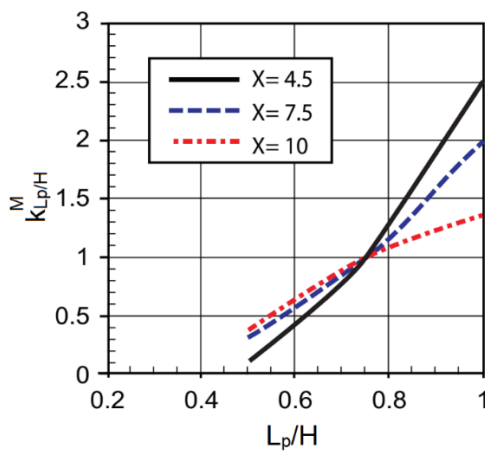


(e)

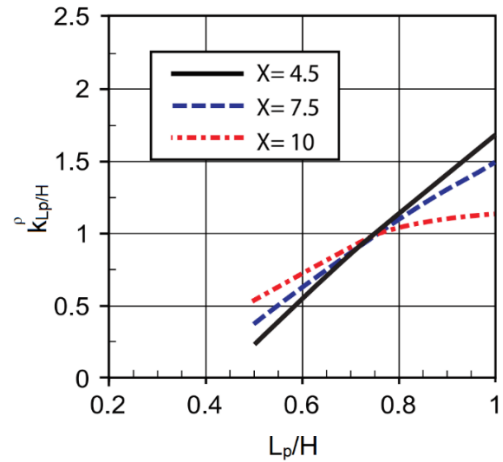
Hình 2.8 Mối quan hệ giữa đường kính cọc và hệ số ảnh hưởng đến ứng xử nội lực của cọc, xét cho trường hợp là cọc ngắn: (a) – hệ số ảnh hưởng mô men của cọc; (b) – hệ số ảnh hưởng của độ võng ngang của cọc; (c) – hệ số ảnh hưởng của độ lún đầu cọc; (d) - hệ số ảnh hưởng của lực dọc trục miền chịu nén của cọc; (e) – hệ số ảnh hưởng của lực dọc trục miền chịu kéo của cọc. (Loganathan N., 2011)

Hình 2.8 cho thấy các hệ số hiệu chỉnh đối với tỷ lệ chiều dài cọc chiều sâu đường hầm. Có thể thấy rằng mômen uốn gây ra, chuyển động ngang của cọc và lực cản

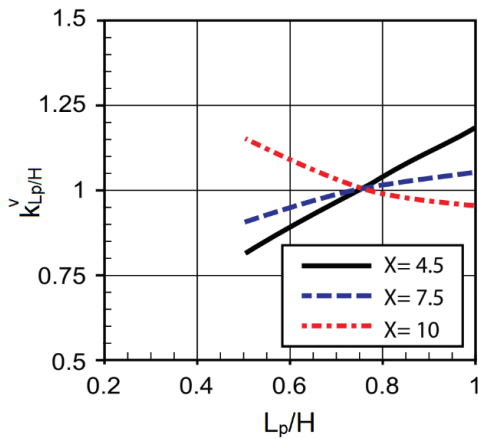
xuống tăng khi tỷ số chiều dài cọc / chiều sâu hầm tăng lên. Độ lún đầu cọc có thể thay đổi tùy thuộc vào khoảng cách của cọc so với đường hầm.



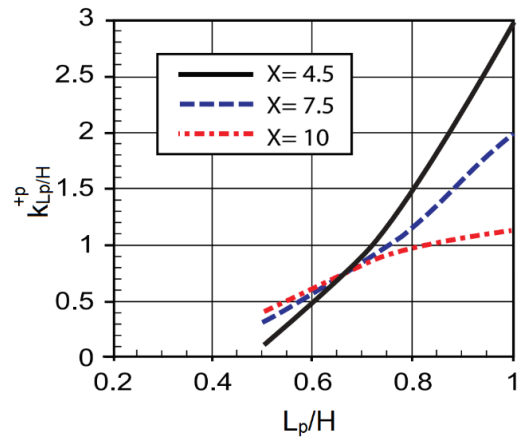
(a)



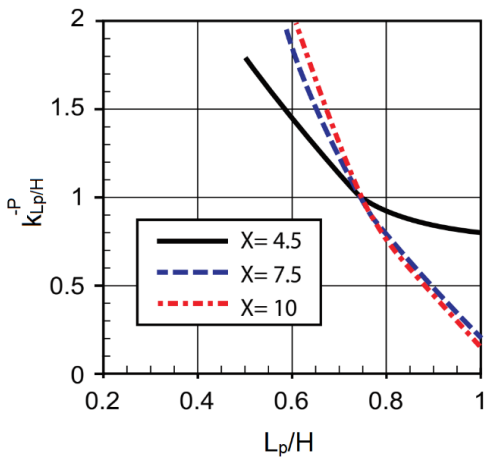
(b)



(c)



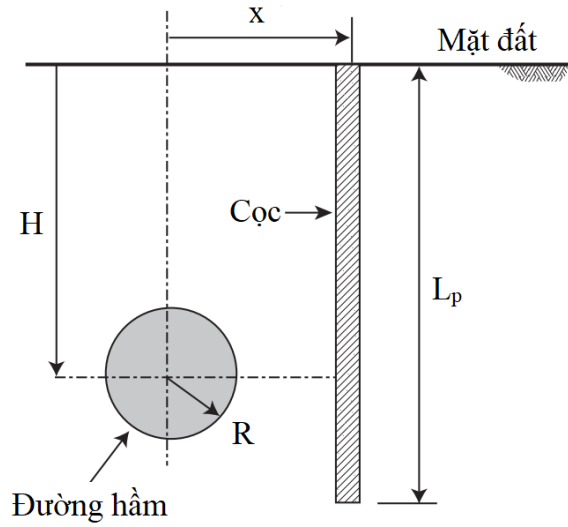
(d)



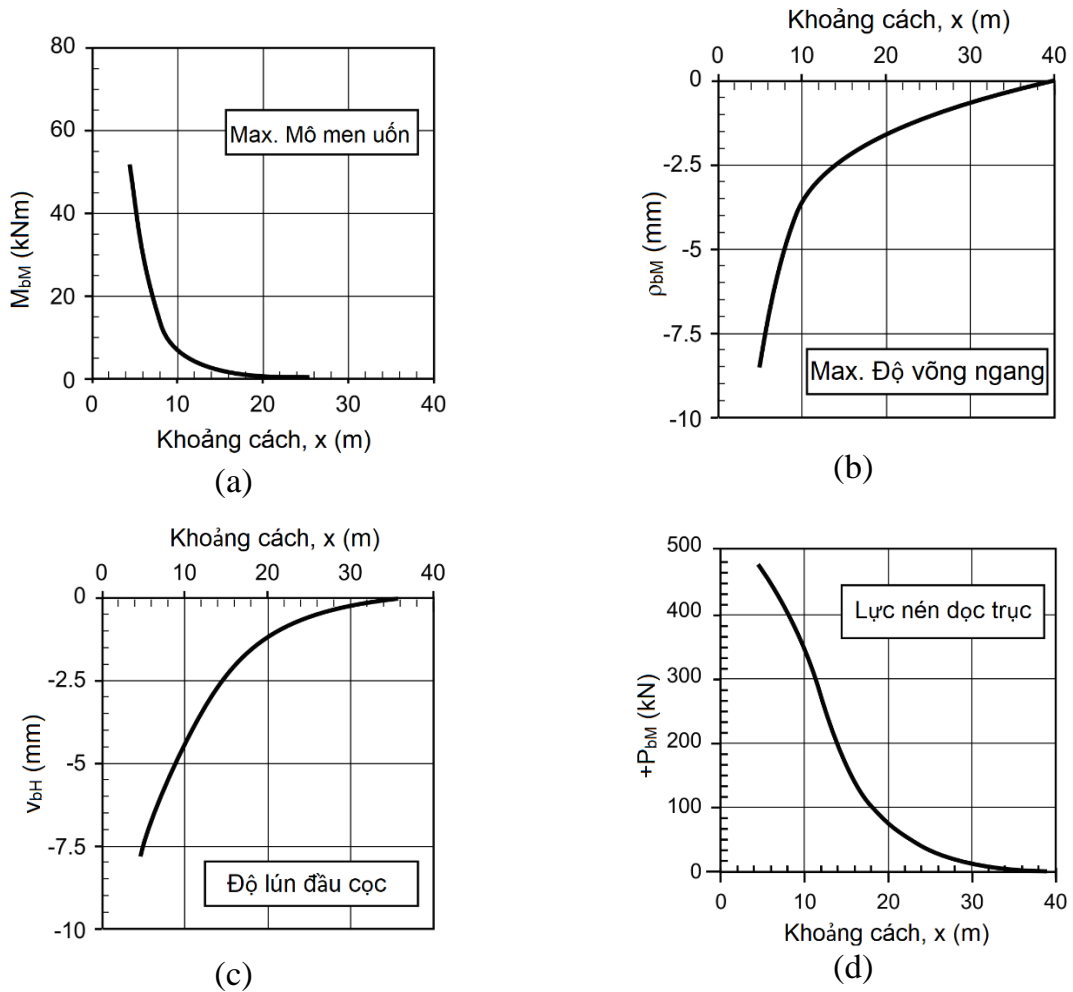
(e)

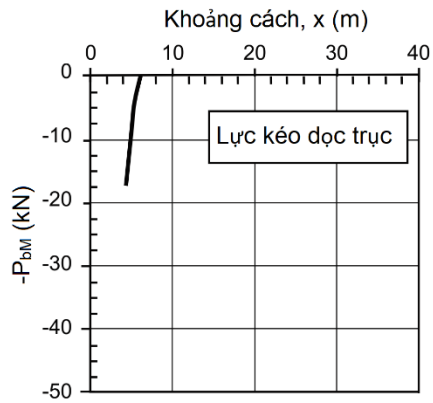
Hình 2.9 Mỗi quan hệ giữa tỷ lệ chiều dài cọc và chiều sâu trục hầm và hệ số ảnh hưởng đến ứng xử nội lực của cọc, xét cho trường hợp là cọc ngắn: (a) – hệ số ảnh hưởng mô men của cọc; (b) – hệ số ảnh hưởng của độ võng ngang của cọc; (c) – hệ số ảnh hưởng của độ lún đầu cọc; (d) - hệ số ảnh hưởng của lực dọc trục miền chịu nén của cọc; (e) – hệ số ảnh hưởng của lực dọc trục miền chịu kéo của cọc. (Loganathan N., 2011)

Trường hợp cọc dài:



Hình 2.10. Sơ đồ đường hầm thi công ở gần cọc, xét cho trường hợp cọc dài

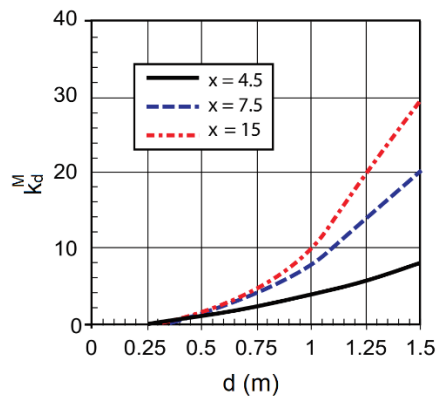




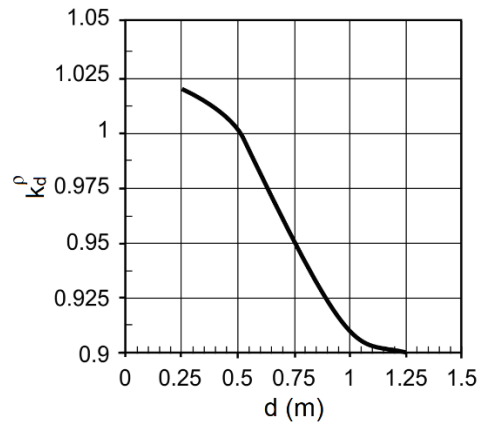
(e)

Hình 2.11 Mối tương quan giữa khoảng cách x (m) từ trục hàm đến tim cọc đến nội lực trong cọc, xét cho trường hợp là cọc dài: a – Mô men uốn trong cọc; b – Độ võng ngang của cọc; c – Độ lún đầu cọc; d – Lực dọc trục trong miền chịu nén của cọc; e – Lực dọc trục trong miền chịu kéo của cọc. (Loganathan N., 2011)

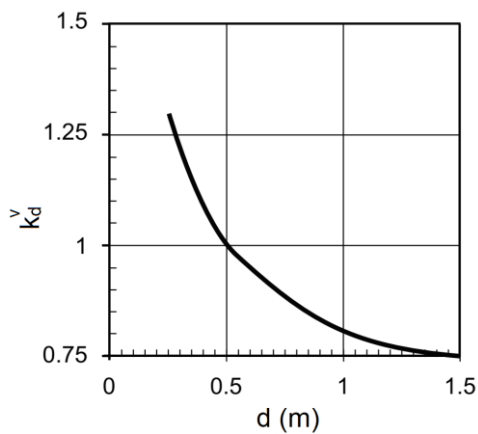
Hình 2.11 cho thấy các hệ số hiệu chỉnh đối với các đường kính cọc khác nhau. Có thể quan sát thấy mômen uốn sinh ra và lực cản dọc trục tăng lên khi đường kính cọc tăng lên, nhưng độ võng và độ lún bên của cọc giảm khi đường kính cọc tăng.



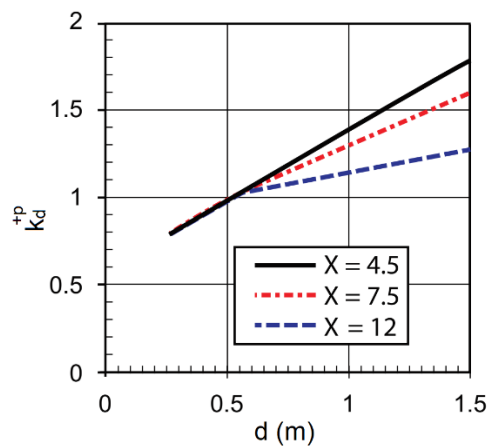
(a)



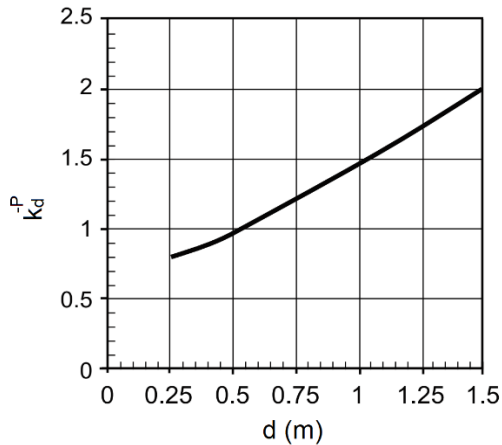
(b)



(c)



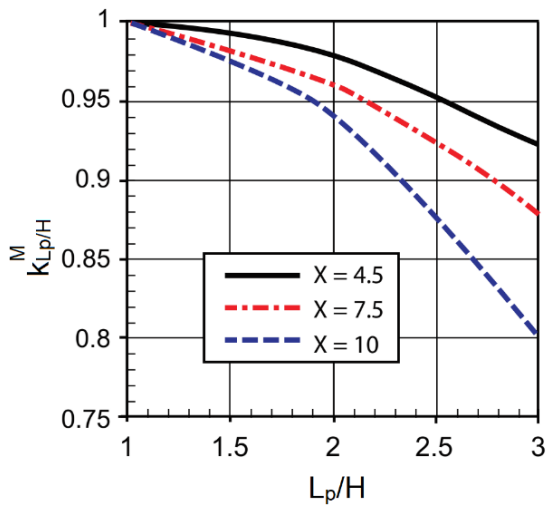
(d)



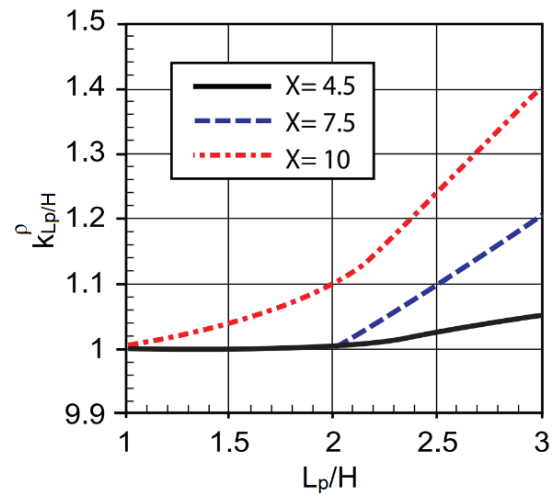
(e)

Hình 2.12 Mỗi quan hệ giữa đường kính cọc và hệ số ảnh hưởng đến ứng xử nội lực của cọc, xét cho trường hợp là cọc dài: (a) – hệ số ảnh hưởng mô men của cọc; (b) – hệ số ảnh hưởng của độ võng ngang của cọc; (c) – hệ số ảnh hưởng của độ lún đầu cọc; (d) - hệ số ảnh hưởng của lực dọc trục miền chịu nén của cọc; (e) – hệ số ảnh hưởng của lực dọc trục miền chịu kéo của cọc. (Loganathan N., 2011)

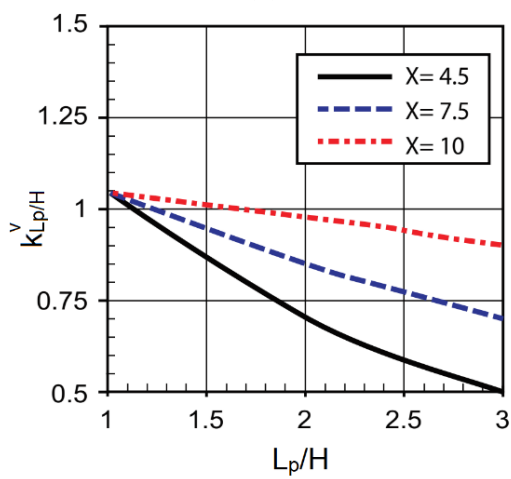
Hình 2.12 cho thấy các hệ số hiệu chỉnh đối với tỷ lệ chiều dài cọc / chiều sâu đường hầm. Có thể quan sát thấy mômen uốn và độ lún đầu cọc giảm khi tỷ số chiều dài cọc / chiều sâu đường hầm tăng lên nhưng biến dạng bên và lực cản dọc trục tăng lên.



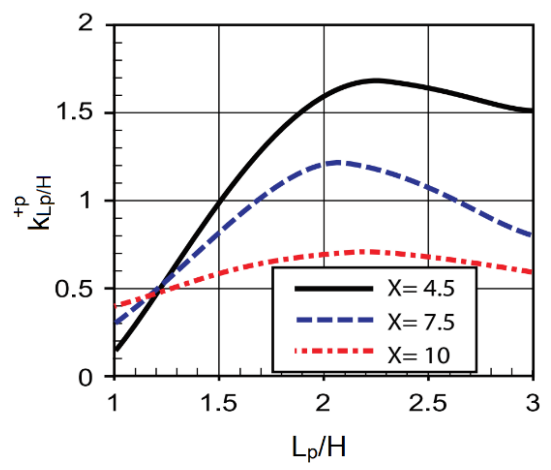
(a)



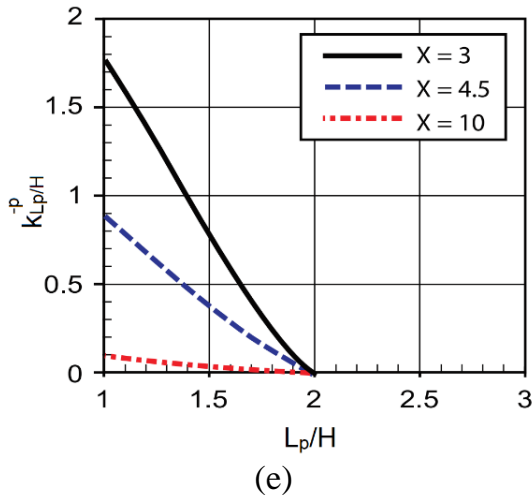
(b)



(c)



(d)



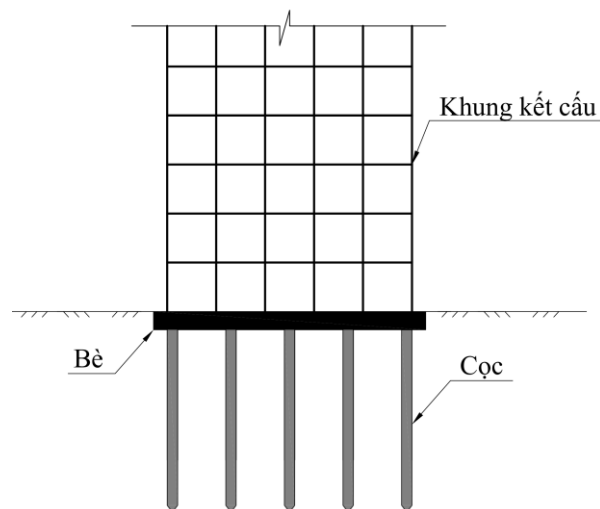
Hình 2.13 Mối quan hệ giữa tỷ lệ chiều dài cọc và chiều sâu trục hàm và hệ số ảnh hưởng đến ứng xử nội lực của cọc, xét cho trường hợp là cọc ngắn: (a) – hệ số ảnh hưởng mô men của cọc; (b) – hệ số ảnh hưởng của độ võng ngang của cọc; (c) – hệ số ảnh hưởng của độ lún đầu cọc; (d) – hệ số ảnh hưởng của lực dọc trục miền chịu nén của cọc; (e) – hệ số ảnh hưởng của lực dọc trục miền chịu kéo của cọc. (Loganathan N., 2011)

2.3. CẤU TẠO VÀ ỨNG DỤNG CỦA MÓNG BÈ-CỌC

2.3.1 Cấu tạo của móng bè cọc

Móng bè cọc thường được sử dụng nhiều trong các công trình xây dựng. Lý do phải làm móng bè cọc vì trường hợp công trình xây dựng có tải trọng lớn, công trình nhà cao tầng trên đất yếu rất dày, bố trí cọc theo đài đơn hay băng trên cọc không đủ khả năng mang tải. Cần phải bố trí cọc trên toàn bộ diện tích xây dựng mới mang đủ tải trọng của công trình. Hơn nữa móng bè cọc sẽ làm tăng độ cứng tổng thể của nền móng sẽ bù đắp lại tính mềm yếu của nền đất.

Các công trình nhà cao tầng chủ yếu là sử dụng móng bè trên cọc nhồi hoặc cọc barrette. Móng bè cọc và khung kết cấu của công trình nhà cao tầng được thể hiện trên hình 2.14.



Hình 2.14. Móng bè cọc và khung kết cấu tòa nhà

Móng bè – cọc là một loại móng cọc, cho phép phát huy được tối đa khả năng chịu lực của cọc và tận dụng được một phần sức chịu tải của nền đất dưới đáy bè.

Móng bè cọc cấu tạo gồm hai phần: bè và các cọc.

- Bè hay đài cọc có nhiệm vụ liên kết và phân phối tải trọng từ chân kết cấu cho các cọc, đồng thời truyền một phần tải trọng xuống đất nền tại vị trí tiếp xúc giữa đáy bè và đất nền.

- Các cọc làm nhiệm vụ truyền tải trọng xuống nền đất dưới chân cọc thông qua sức kháng mũi và vào nền đất xung quanh cọc thông qua sức kháng bên.

Cọc có thể sử dụng cọc chế sẵn hoặc cọc nhồi.

- Cọc chế sẵn thường gồm hai loại:

+ Cọc bê tông cốt thép (BTCT) đúc sẵn, có hoặc không có ứng suất trước. Cọc thường có dạng hình vuông. Dạng cọc này thường áp dụng cho các công trình có tải trọng vừa và nhỏ vì chiều dài cọc hạn chế, khoảng 30m.

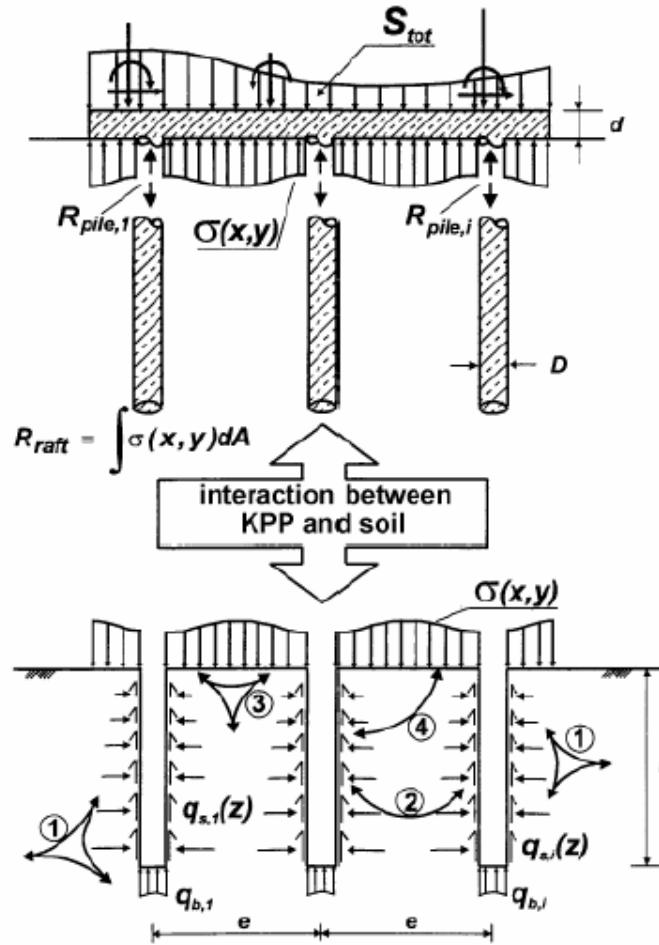
+ Cọc thép sử dụng thép hình chữ H, hoặc thép ống chữ O. Do bề dày tấm thép mỏng, để cọc có thể dễ dàng xuyên qua các lớp đất cứng, người ta thường gia cố thêm mũi cọc.

- Cọc nhồi: Cọc nhồi là một loại cọc bê tông được thi công bằng cách đổ bê tông tươi vào một hố khoan trước.

2.3.2 Cơ chế làm việc của móng bè cọc

Đặc điểm nổi bật của móng bè - cọc là sự ảnh hưởng tương hỗ giữa đất và kết cấu móng trong quá trình chịu tải theo bốn ảnh hưởng sau:

- ① - Sự tương tác giữa cọc và đất;
- ② - Sự tương tác giữa cọc và cọc;
- ③ - Sự tương tác giữa đất và móng bè;
- ④ - Sự tương tác giữa cọc và móng bè.



Hình 2.15. Sự làm việc của móng bè cọc, Katzenbach et al., (2000).

Nghiên cứu tác động qua lại khi kể tới ảnh hưởng của đài cọc, nền đất dưới đáy đài và cọc cho thấy cơ cấu truyền tải trọng như sau:

+ Sự làm việc của đài cọc: Tải trọng từ công trình truyền xuống móng. Đài cọc liên kết các đầu cọc thành một khối và phân phối tải trọng tập trung tại các vị trí chân cột, tường cho các cọc. Sự phân phối này phụ thuộc vào việc bố trí các cọc và độ cứng kháng uốn của đài. Ở một mức độ nhất định nó có khả năng điều chỉnh độ lún không đều.

+ Ảnh hưởng của nền đất dưới đáy đài: Khi đài cọc chịu tác động của tải trọng một phần được truyền xuống cho các cọc chịu và một phần được phân phối cho nền đất dưới đáy đài. Tỷ lệ phân phối này còn phụ thuộc vào các yếu tố: độ cứng của nền đất, chuyển vị của đài, chuyển vị của cọc và việc bố trí các cọc.

+ Ảnh hưởng của cọc: Cơ chế làm việc của cọc là nhờ được hạ vào các lớp đất tốt phía dưới nên khi chịu tác động của tải trọng đứng từ đài móng nó sẽ truyền tải này xuống lớp đất tốt thông qua lực ma sát giữa cọc với đất và lực kháng ở mũi cọc làm cọc chịu kéo hoặc nén. Trong quá trình làm việc cọc còn chịu thêm các tác động phức tạp khác như: hiệu ứng nhóm cọc, lực ma sát... Do có độ cứng lớn nên cọc tiếp nhận phần lớn tải trọng từ đài xuống, chỉ có một phần nhỏ do nền tiếp nhận.

+ Sự làm việc của nhóm cọc:

Sự làm việc của cọc đơn khác với sự làm việc của nhóm cọc. Khi khoảng cách các cọc khá lớn ví dụ lớn hơn $6d$ thì cọc làm việc như cọc đơn.

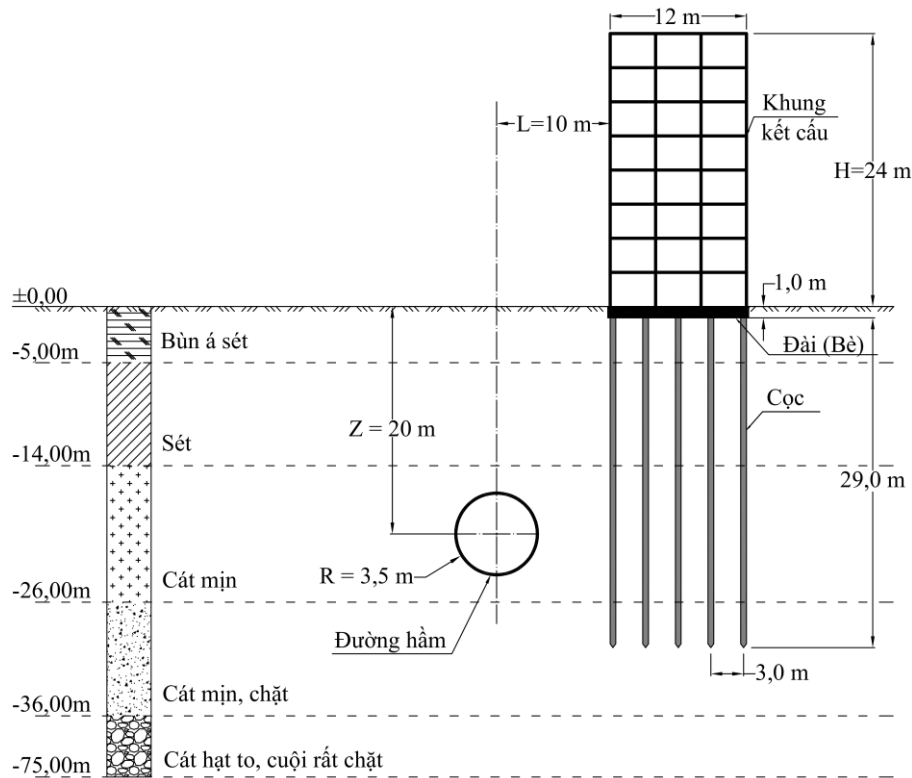
CHƯƠNG 3 NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA ĐƯỜNG HẦM ĐẾN NỘI LỰC, DỊCH CHUYỂN CỦA KẾT CẤU NGẦM CÔNG TRÌNH LÂN CẬN

3.1. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Giới thiệu phương pháp phần tử hữu hạn thông qua phần mềm Plaxis2D. Sự phát triển phần mềm Plaxis được bắt đầu từ 1987 tại Đại học công nghệ Delft – Hà Lan. Phiên bản Plaxis V.1 ban đầu được thành lập nhằm mục đích phân tích các bài toán ổn định đê biển và đê sông tại các vùng bờ biển thấp tại Hà Lan. Đến năm 1993 Công ty Plaxis BV được thành lập và từ năm 1998, các phần mềm Plaxis đều được xây dựng theo phần tử hữu hạn. Phần mềm Plaxis được trang bị các tính năng đặc biệt để giải quyết một số khía cạnh của các kết cấu địa kỹ thuật phức tạp. Chương trình này dùng để tính toán các bài toán về mái dốc, hố đào, hầm (tunnel), đường hầm giao thông, đường hào kỹ thuật (collector), đường tàu điện ngầm và các dạng công trình ngầm khác.

3.2. BÀI TOÁN NGHIÊN CỨU

Để nghiên cứu ảnh hưởng của đường hầm đến kết cấu cọc của tòa nhà lân cận, nhóm nghiên cứu xét cho bài toán: đường hầm có bán kính 3,5m được bố trí ở chiều sâu 20m, khoảng cách tâm đường hầm đến tòa nhà thay đổi từ $L = 6; 8; 10; 12; 14$ m. Giải pháp nền móng được sử dụng là giải pháp móng bè cọc kết hợp. Phần bè có kích thước chiều dài 12m, chiều dày 1m. Cọc có chiều dài 29m, đường kính 0,6m khoảng cách giữa các cọc là 0,3m. Tòa nhà có chiều cao thay đổi $H = 18; 21; 24; 27; 30$ m, như hình 3.1. Các thông số kỹ thuật vỏ hầm và tòa nhà sử dụng trong mô hình được thể hiện trong bảng 2.



Hình 3.1. Mặt cắt địa chất và vị trí đường hầm, tòa nhà lân cận

Bảng 1. Tham số cơ lý các lớp đất

Thông số cơ lý	Đơn vị	Bùn á sét	Sét	Cát mịn	Cát mịn chặt	Cát hạt to, cuội rất chặt
Chiều dày lớp, h	m	5	9	12	10	39
Khối lượng thể tích, ρ	Kg/m ³	1900	1850	1900	2000	2050
Mô đun đàn hồi, E_{ref}	MPa	10	15	25	45	75
Hệ số Poisson, ν		0.3	0.3	0.3	0.25	0.25
Góc ma sát trọng, φ	(⁰)	8 ⁰	25 ⁰	25	34	35
Góc giãn nở, ψ	(⁰)	0	0	0	0	0
Lực dính kết, c_{ref}	kPa	-	10	25	0	0
Hệ số áp lực ngang, K_0		-	0.58	0.58	0.44	0.43
Hệ số ma sát, R_{inter}		1(Rigid)	1(Rigid)	0.7	0.7	0.7

Bảng 2 Thông số kỹ thuật của vỏ hầm và tòa nhà sử dụng trong mô hình

Thông số	Đơn vị	Vỏ hầm	Bè	Cột khung kết cấu	Sàn khung kết cấu
Độ cứng chống nén, EI	kN/m	7,875. 10 ⁴	250. 10 ⁴	16. 10 ⁴	16. 10 ⁴
Độ cứng chống uốn, EA	kN.m ² /m	10,5. 10 ⁶	30. 10 ⁶	12. 10 ⁶	12. 10 ⁶
Chiều dày, d	m	0,3	1,0	0,4	0,4
Trọng lượng, w	kN/m/m	7,5	24	9,6	9,6

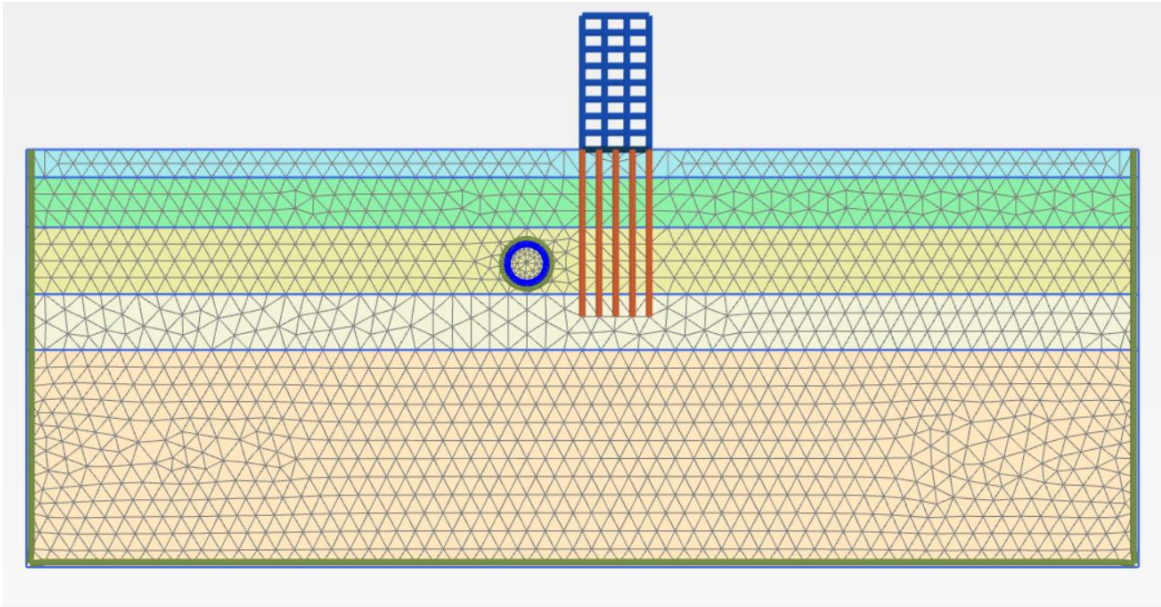
Hệ số Poisson, ν		0,15	0,15	0,15	0,15
Khối lượng thể tích, γ	kN/m ³	25	24	24	24
Mô đun đàn hồi, E	GPa	35	30	30	30

Bảng 3. Thông số kỹ thuật của cọc

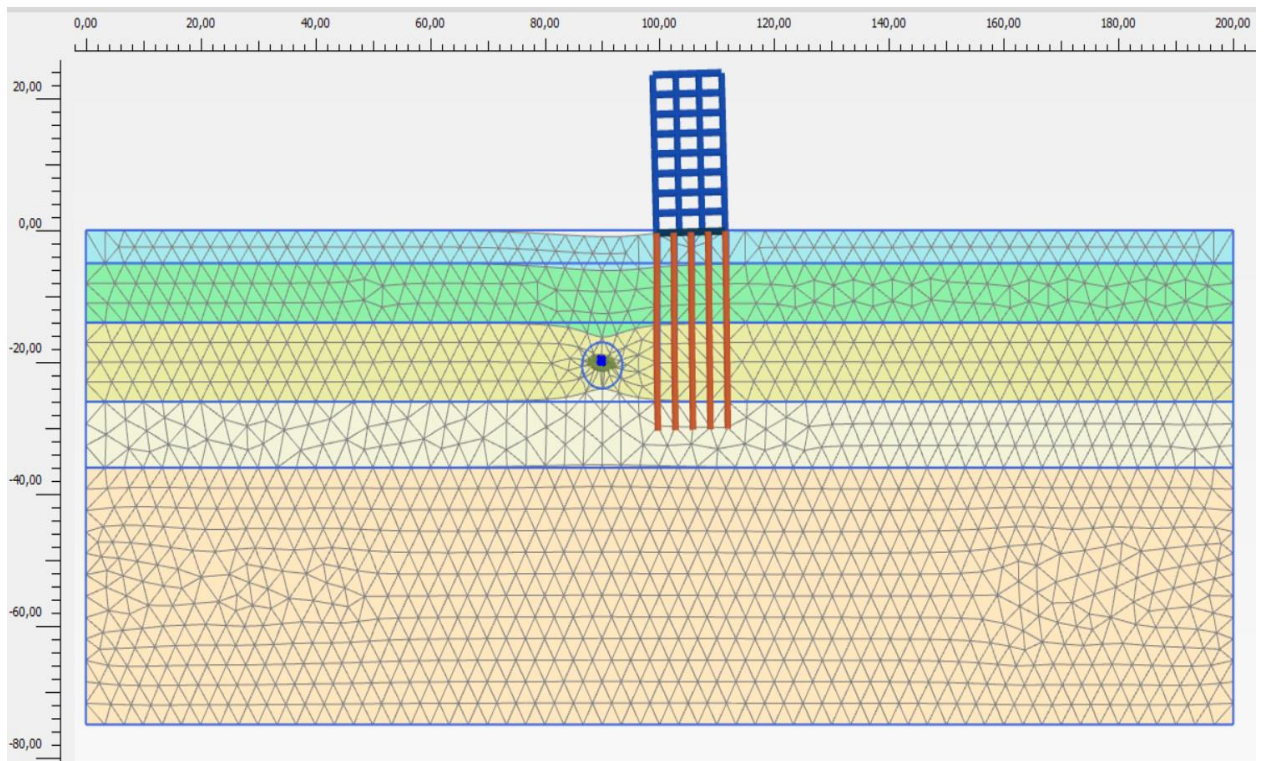
Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Mô đun đàn hồi	E	(Mpa)	35. 10 ⁶
Khối lượng thể tích	γ	kN/m ³	24
Đường kính	d	m	0.6
Khoảng cách giữa các cọc	L _{spacing}	m	3.0

3.3. KẾT QUẢ

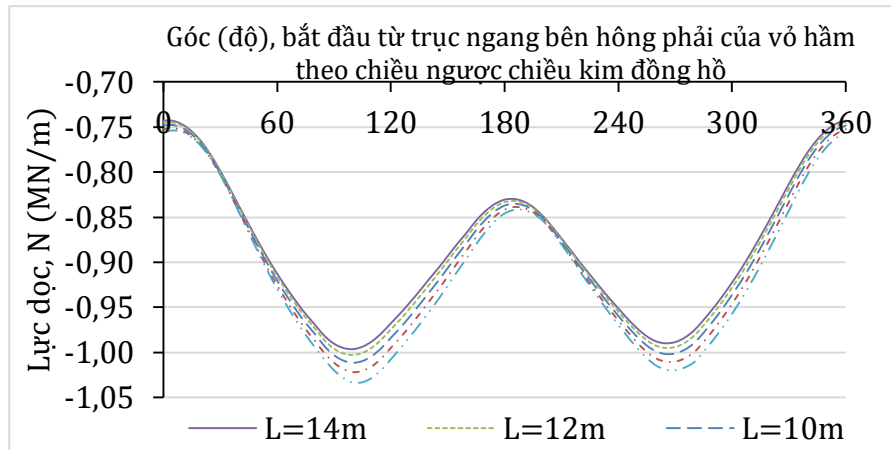
Sơ đồ mô phỏng bài toán tương tác ảnh hưởng của công tác thi công đường hầm đến kết cấu ngầm công trình lân cận được thể hiện trên hình 7. Để đánh giá ảnh hưởng của khoảng cách từ tâm đường hầm đến tòa nhà (L), nhóm tác giả thay đổi khoảng cách L = 6; 8; 10; 12; 14m, nhận được kết quả nội lực vỏ hầm và kết cấu ngầm tòa nhà như trên các hình . Để đánh giá ảnh hưởng của chiều cao tòa nhà (H), nhóm tác giả thay đổi chiều cao H = 18; 21; 24; 27; 30m tương ứng với chiều cao tòa nhà có 6; 7; 8; 9; 10 tầng, nhận được kết quả nội lực vỏ hầm và kết cấu ngầm tòa nhà như trên các hình:



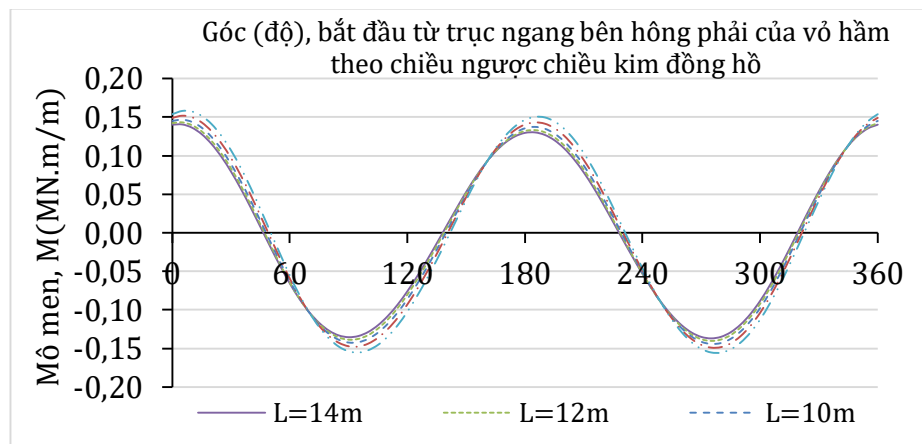
Hình 3.2. Sơ đồ mô phỏng bài toán



Hình 3.2. Dịch chuyển của phần tử mô hình

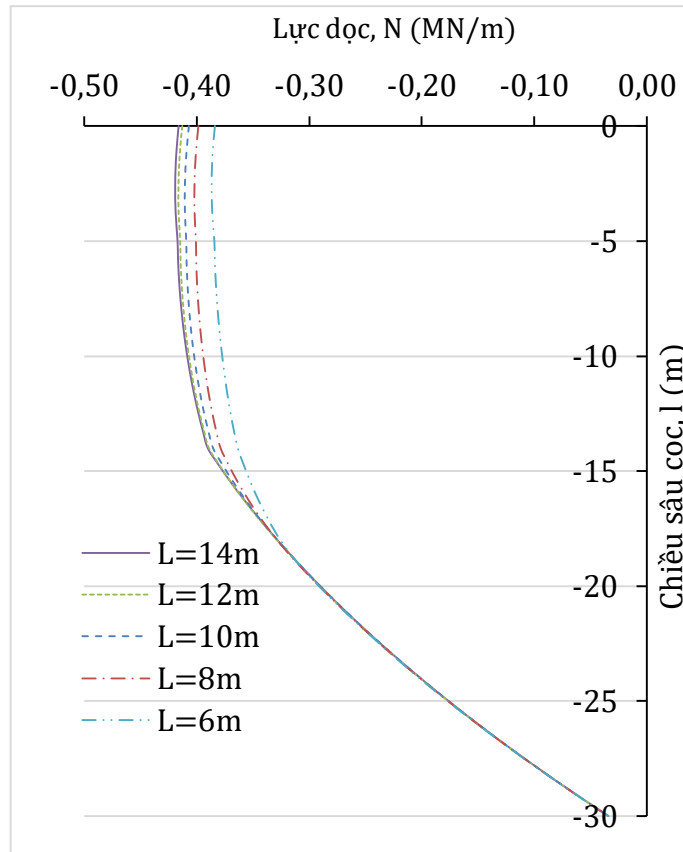


a) Lực dọc, N (MN/m) trong vỏ hầm

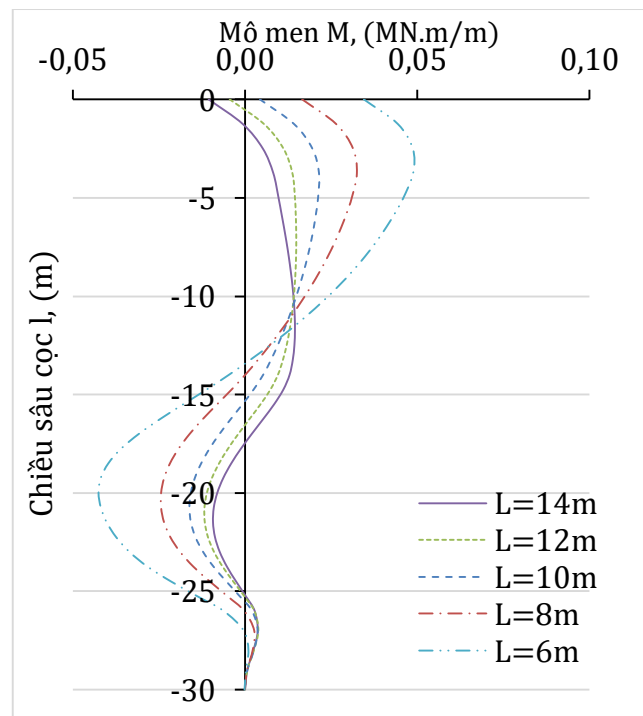


b) Mô men, M (MN.m/m) trong vỏ hầm

Hình 18: Nội lực phân bố trong vỏ hầm khi thay đổi khoảng cách từ tâm đường hầm đến tòa nhà, L (m)

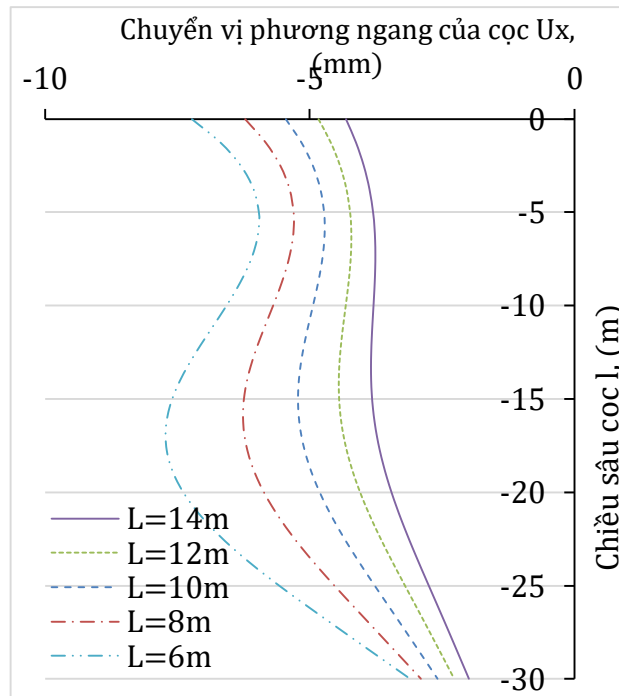


a) Lực dọc, N (MN/m) trong cọc

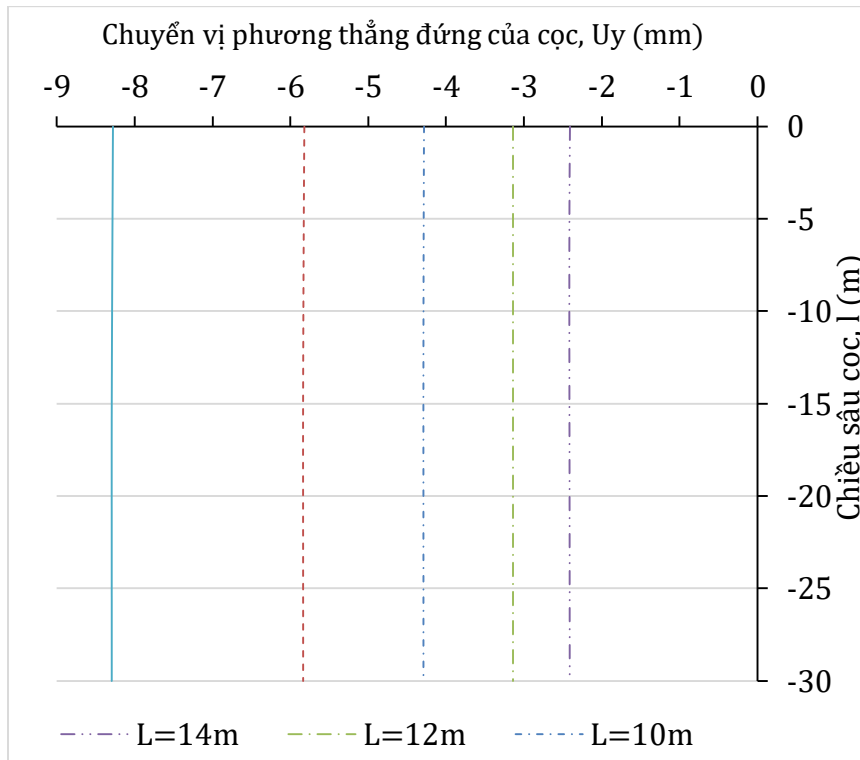


b) Mô men, M (MN.m/m) trong cọc

Hình 19: Nội lực phân bố trong cọc khi thay đổi khoảng cách từ tâm đường hầm đến tòa nhà, L (m)

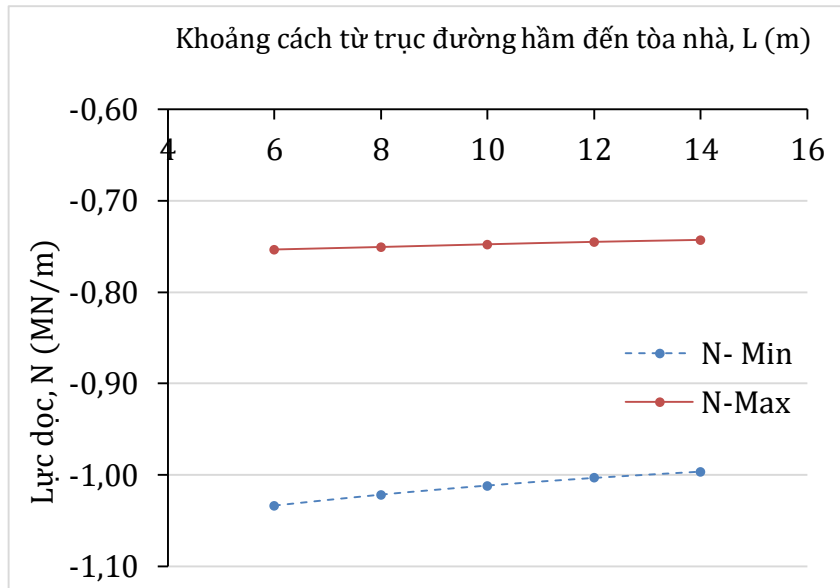


a) Kết quả chuyển vị phương ngang của cọc

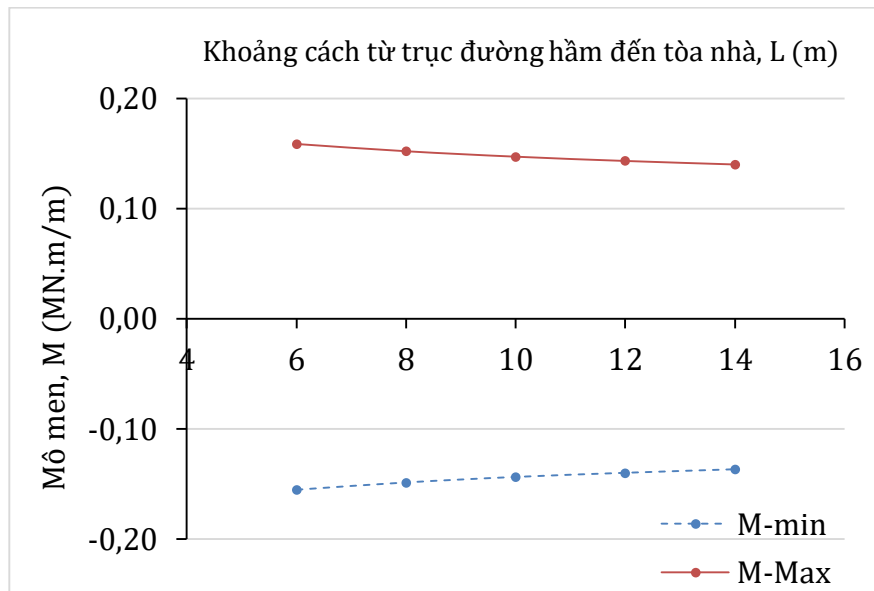


b) Kết quả chuyển vị phương đứng của cọc

Hình 20: Kết quả mối tương quan giữa chuyển vị của cọc với khoảng cách từ tâm đường hầm đến tòa nhà, L (m)



a) Lực dọc, N (MN/m) trong vỏ hầm

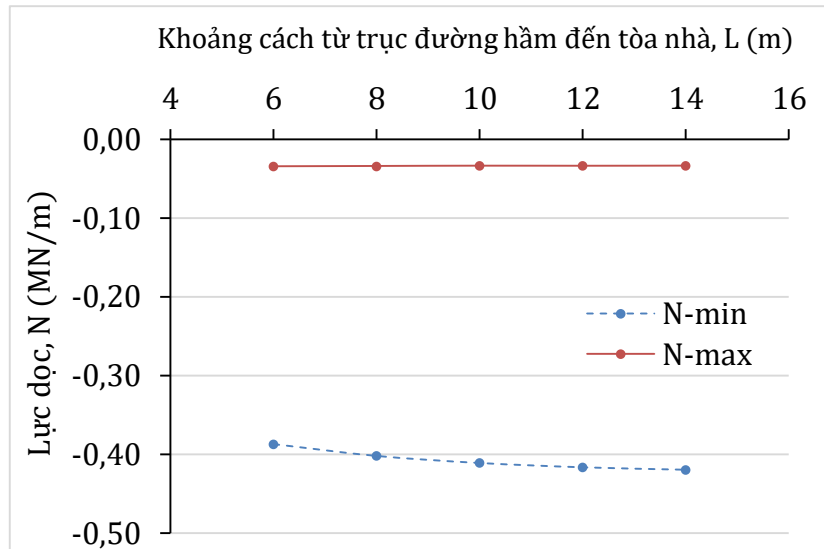


b) Mô men, M (MN.m/m) trong vỏ hầm

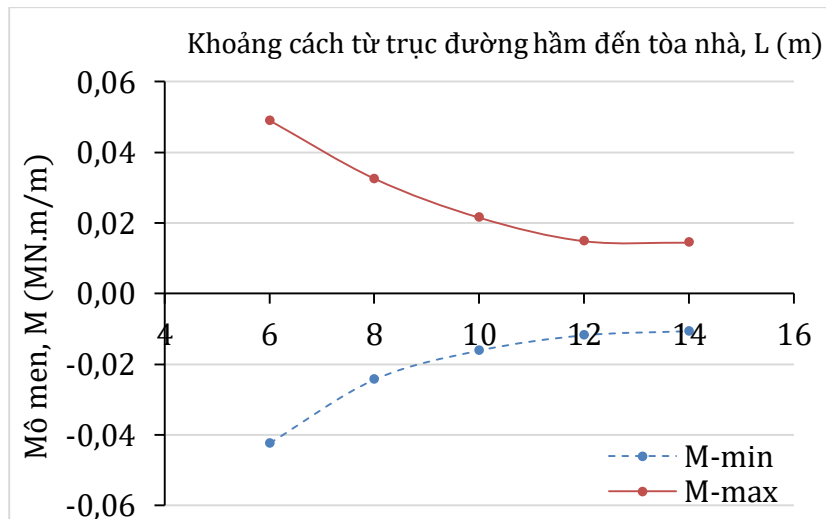
Hình 21: Ảnh hưởng của khoảng cách từ tâm đường hầm đến tòa nhà, L (m) đến nội lực trong vỏ hầm

1 - Khi L = 10m thì giá trị lớn nhất của độ lớn lực dọc hầm là 1011,63kN/m khi tăng L = 12m, 14m thì giá trị N giảm lần lượt là 0,84% và 1,52%. Khi giảm L = 8m; 6m thì giá trị N tăng lên lần lượt là 1% và 2,2%.

2 - Khi L = 10m thì giá trị lớn nhất của độ lớn mô men uốn vỏ hầm là 147,05kN.m/m khi tăng L = 12m, 14m thì giá trị N giảm lần lượt là 3% và 4,72%. Khi giảm L = 8m; 6m thì giá trị M tăng lên lần lượt là 3,3% và 7,7%.



a) Lực dọc, N (MN/m) trong cọc

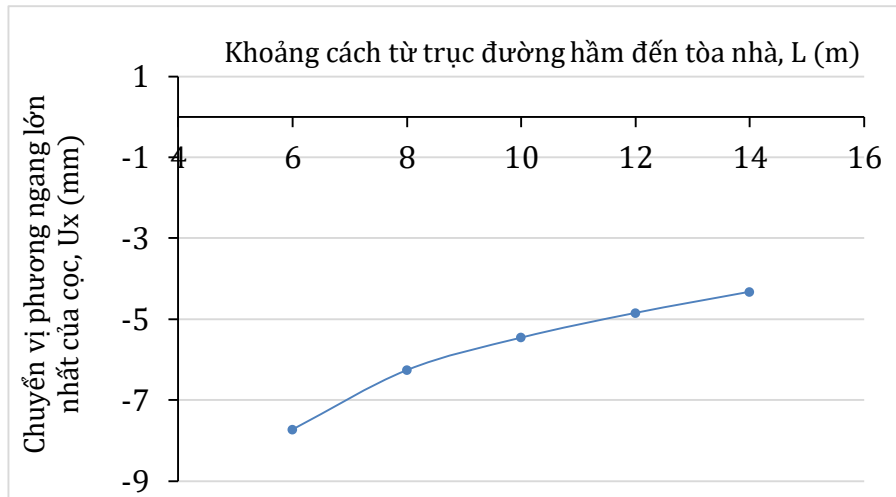


b) Mô men, M (MN.m/m) trong cọc

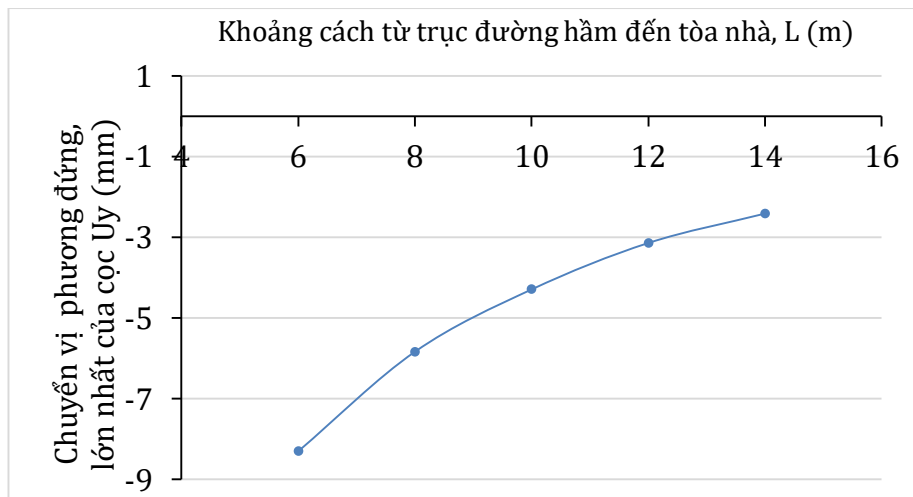
Hình 22: Ảnh hưởng của khoảng cách từ tâm đường hầm đến tòa nhà, L (m) đến nội lực trong cọc

1 - Khi L = 10m thì giá trị lớn nhất của độ lớn lực dọc cọc là 410,76kN/m khi tăng L = 12m, 14m thì giá trị N giảm lần lượt là 1,32% và 2,06%. Khi giảm L = 8m; 6m thì giá trị N tăng lên lần lượt là 2,17% và 5,78%.

2 - Khi L = 10m thì giá trị lớn nhất của độ lớn mô men uốn cọc là 21,54 kN.m/m khi tăng L = 12m, 14m thì giá trị M giảm lần lượt là 30,8% và 32,75%. Khi giảm L = 8m; 6m thì giá trị M tăng lên lần lượt là 51,1% và 127,31%.



a) Chuyển vị phương ngang lớn nhất của cọc

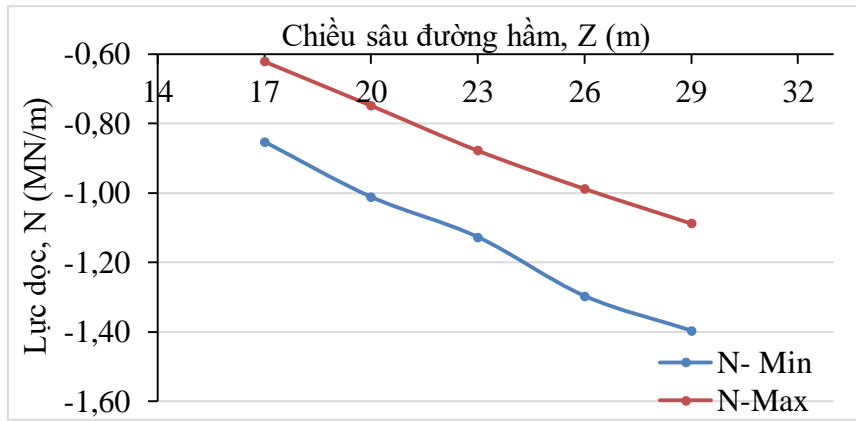


b) Chuyển vị phương đứng lớn nhất của cọc

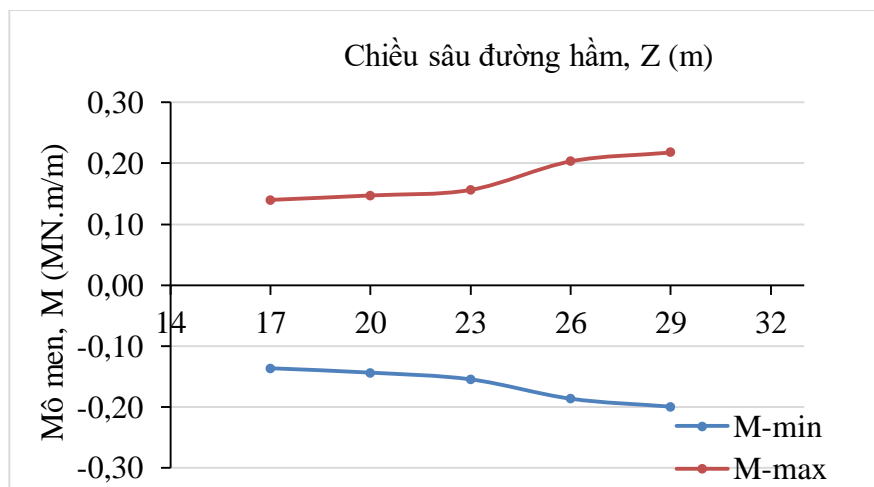
Hình 23: Ảnh hưởng của khoảng cách từ tâm đường hầm đến tòa nhà, L (m) đến chuyển vị lớn nhất của cọc

1 - Khi L = 10m thì giá trị lớn nhất của chuyển vị ngang Ux là 5,45mm khi tăng L = 12m, 14m thì giá trị Ux giảm lần lượt là 11,23% và 20,84%. Khi giảm L = 8m; 6m thì giá trị Ux tăng lên lần lượt là 14,75% và 41,69%.

2 - Khi L = 10m thì giá trị lớn nhất của chuyển vị đứng Uy là 4,29mm khi tăng L = 12m, 14m thì giá trị Uy giảm lần lượt là 26,8% và 43,77%. Khi giảm L = 8m; 6m thì giá trị Ux tăng lên lần lượt là 35,95% và 93,42%.



a) Lực dọc, N (MN/m) trong vỏ hầm

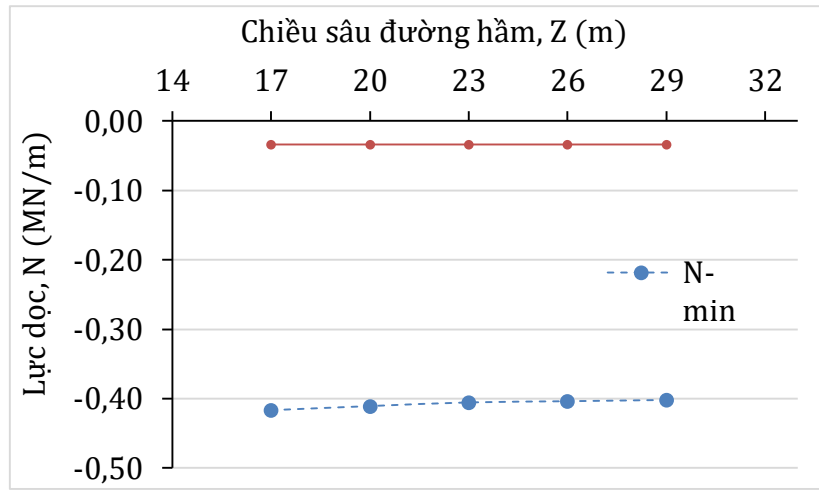


b) Mô men, M (MN.m/m) trong vỏ hầm

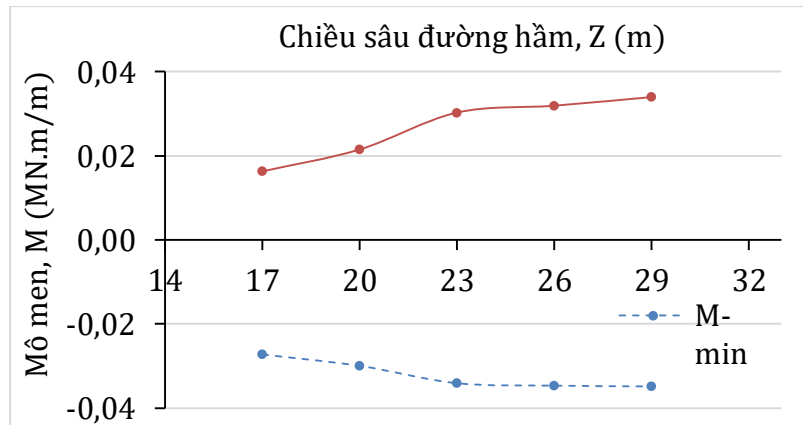
Hình 24: Ảnh hưởng của chiều sâu xây dựng đường hầm, Z (m) đến nội lực trong vỏ hầm

1 - Khi Z = 23m thì giá trị lớn nhất của độ lớn lực dọc hầm N là 1127,63kN/m khi tăng Z = 26m, 29m thì giá trị N tăng lần lượt là 15,03% và 23,89%. Khi giảm Z = 20m; 17m thì giá trị N giảm lần lượt là 10,26% và 24,36%.

2 - Khi Z = 23m thì giá trị lớn nhất của độ lớn mô men uốn vỏ hầm M là 156,28kN/m khi tăng Z = 26m, 29m thì giá trị M tăng lần lượt là 30,23% và 39,64%. Khi giảm Z = 20m; 17m thì giá trị M giảm lần lượt là 5,91% và 10,6%.



a) Lực dọc, N (MN/m) trong cọc

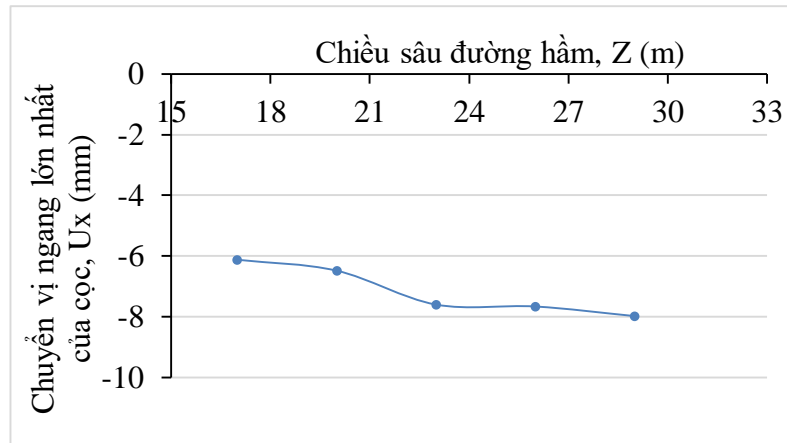


c) Mô men, M (MN.m/m) trong cọc

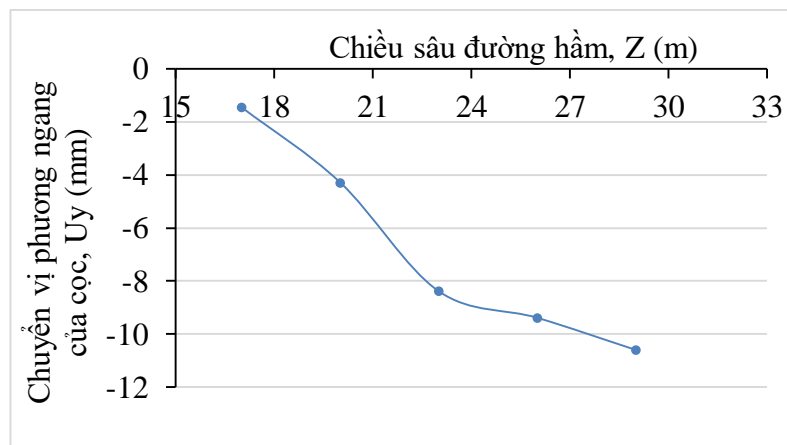
Hình 25: Ảnh hưởng của chiều sâu xây dựng đường hầm, Z (m) đến nội lực trong cọc

1 - Khi Z = 23m thì giá trị lớn nhất của độ lớn lực dọc cọc là 405,69kN/m khi tăng Z = 26m, 29m thì giá trị N giảm lần lượt là 0,4% và 0,84%. Khi giảm Z = 20m; 17m thì giá trị N tăng lên lần lượt là 2,65% và 1,25%.

2 - Khi Z = 23m thì giá trị lớn nhất của độ lớn mô men uốn cọc là 34,11 kN.m/m khi tăng Z = 26m, 29m thì giá trị M tăng lần lượt là 8,03% và 8,63%. Khi giảm Z = 20m; 17m thì giá trị M giảm lên lần lượt là 6,57% và 14,9%.



a) Chuyển vị ngang lớn nhất của cọc, Ux (mm)



b) Dịch chuyển của cọc theo phương đứng

Hình 26: Ảnh hưởng của chiều sâu đường hầm, Z (m) đến dịch chuyển của cọc

1 - Khi $Z = 23\text{m}$ thì giá trị lớn nhất của chuyển vị ngang là 7mm khi tăng $Z = 26\text{m}, 29\text{m}$ thì giá trị U_x tăng lần lượt là $6,3\%$ và $10,7\%$. Khi giảm $Z = 20\text{m}; 17\text{m}$ thì giá trị U_x giảm lần lượt là 10% và $14,9\%$.

2 - Khi $Z = 23\text{m}$ thì giá trị lớn nhất của chuyển vị đứng U_y là 8mm khi tăng $Z = 26\text{m}, 29\text{m}$ thì giá trị U_y tăng lần lượt là $25,1\%$ và $41,2\%$. Khi giảm $Z = 20\text{m}; 17\text{m}$ thì giá trị U_y giảm lần lượt là $42,7\%$ và $80,4\%$.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã khảo sát ảnh hưởng của tham số khoảng cách từ tâm đường hầm đến cọc và chiều sâu xây dựng đường hầm đến nội lực trong vỏ hầm và nội lực, độ võng ngang và dịch chuyển theo phương thẳng đứng của cọc trong móng bè cọc thuộc tòa nhà cao tầng lân cận. Dựa trên kết quả nghiên cứu có thể rút ra các kết luận sau:

- Lực dọc trục và mômen uốn lớn nhất trong vỏ hầm chịu ảnh hưởng không đáng kể bởi khoảng cách từ tâm đường hầm đến cọc, nhưng chiều sâu xây dựng của hầm có ảnh hưởng lớn đến lực dọc trục và mômen uốn lớn nhất trong vỏ hầm.

- Lực dọc trục và mômen uốn lớn nhất của cọc chịu ảnh hưởng lớn bởi khoảng cách từ tâm đường hầm đến cọc, nhưng chiều sâu xây dựng của đường hầm có ảnh hưởng không lớn đến lực dọc trục và mômen uốn lớn nhất trong cọc.

- Khi giảm khoảng cách từ tâm đường hầm đến cọc thì sẽ làm tăng độ võng ngang và dịch chuyển theo phương thẳng đứng của cọc.

- Độ võng ngang và dịch chuyển theo phương thẳng đứng của cọc tăng khi chiều sâu xây dựng đường hầm tăng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Võ Trọng Hùng, Phùng Mạnh Đắc, (2005). Cơ học đá ứng dụng trong xây dựng công trình ngầm và khai thác mỏ. Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật. Hà Nội.
- [2]. Nguyễn Quang Phích, (2006). Bài giảng - Cơ học đá, NXB Xây dựng, Hà Nội.
- [3]. Nguyễn Văn Mạnh, (2007). Bài giảng - Tin học ứng dụng trong xây dựng công trình ngầm và mỏ. Trường Đại học Mỏ Địa chất, Hà Nội.
- [4]. Trần Tuấn Minh, (2013). Bài giảng - Cơ học công trình ngầm và tính toán kết cấu chống giữ. Trường đại học Mỏ Địa chất, Hà Nội.
- [5]. Đỗ Ngọc Thái, (2010). Bài giảng - Cơ sở xây dựng công trình ngầm và mỏ. Trường Đại học Mỏ Địa chất, Hà Nội.
- [6]. Đỗ Ngọc Thái, (2018). Bài giảng - Thi công công trình ngầm. Trường Đại học Mỏ Địa chất, Hà Nội.
- [7] Attewell, P. B., & Woodman, J. P., (1982). Predicting the dynamics of ground settlement and its derivatives caused by tunnelling in soil. *Ground Engineering*, 15(7) (October 1983):13-22,36. doi:10.1016/0148-9062(83)90142-0.
- [8] Attewell, P. B., Yeates, J., & Selby, A. R., (1986). Soil movements induced by tunnelling and their effects on pipelines and structures. Blackie, Glasgow. 325p.
- [9] Loganathan, N., Poulos, H.G., (1998). Analytical predictions of tunnelling induced ground movements in clays. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Sept., 1998, Vol. 124, No. 9. pp. 846-856.
- [10] Loganathan N., (2011). An innovative method for assessing induced risk to adjacent structures. PB 2009 William Barclay Parsons Fellowship, Monograph 25, Parsons Brinckerhoff, January 2011. New York, 129p.
- [11] Moller, S. C., (2006). Tunnel induced settlements and structural forces in linings. Doctoral Thesis, University of Stuttgart, Stuttgart. 149p.
- [12] Morton, J. D. and King, K. H., (1979). Effect of tunneling on the bearing capacity of and settlement of piled foundations. *Proc. Tunneling '79*, pp. 57-58.
- [13] Peck, R., (1969). Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground, State of the Art Report. In: *Proceedings of the 7th International Conference ICSMFE*. vol. III, Mexico, pp. 225–281.
- [14] Poulos H. G., (1979). An approach for the analysis of offshore pile group, *Proc. Conf. on Numerical Methods in Offshore Piling*, Institution of Civil Engineers, London, pp.119-126.
- [15] Katzenbach, R., Arslan, U., and Moormann, C., (2000). Piled raft foundations projects in Germany. Design applications of raft foundations. Hemsley J. A., editor, Thomas Telford, London, 323–392.
- [16] Simpson B, Atkinson J H and Jovicis V., (1996). The influence of anisotropy on calculations of ground settlements above tunnels, *Proceedings of International*

Symposium on Geotechnical Aspects of the Underground Construction in Soft Ground, London preprint vol., pp. 511-514.

[17]. Plaxis.com.