

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

TRẦN QUÝ ĐỨC

**NGHIÊN CỨU DỰ BÁO LÚN MẶT ĐẤT DO ĐÀO ĐƯỜNG HÀM
BẰNG KHIÊN ĐÀO TRONG ĐẤT YẾU**

Chuyên ngành: Kỹ thuật xây dựng công trình đặc biệt

Mã số: 9 58 02 06

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI – NĂM 2018

**CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ - BỘ QUỐC PHÒNG**

Người hướng dẫn khoa học

1. TS Lê Đình Tân

2. PGS.TS Nguyễn Tương Lai

Phản biện 1: GS.TS Trịnh Minh Thụ

Phản biện 2: PGS.TS Nguyễn Đức Nguôn

Phản biện 3: TS Đỗ Ngọc Anh

Luận án được bảo vệ tại Hội đồng đánh giá luận án cấp Học viện theo quyết định số 2233/QĐ-HV ngày 03 tháng 7 năm 2018 của Giám đốc Học viện Kỹ thuật Quân sự, họp tại Học viện Kỹ thuật Quân sự vào hồi ... giờ ... phút, ngày tháng... năm 2018

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Học viện Kỹ thuật Quân sự
- Thư viện Quốc gia

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Xây dựng công trình ngầm trong điều kiện địa chất gồm các lớp đất yếu nói chung và đất yếu bão hòa nước nói riêng là một lĩnh vực phức tạp và khó khăn do phải giải quyết nhiều vấn đề đồng thời bao gồm cả mô hình và phương pháp tính toán, công nghệ và biện pháp thi công, ảnh hưởng lâu dài trong quá trình khai thác sử dụng, ... Các công trình nghiên cứu về dự báo lún mặt đất khi đào đường hầm bằng khiên đào trong đất yếu ở Việt Nam là vấn đề mới và không được công bố. Do đó, việc nghiên cứu dự báo quy luật lún mặt đất khi thi công tuyến đường tàu điện ngầm bằng phương pháp khiên đào nhằm cảnh báo và giảm thiểu các tác động tiêu cực đến các công trình phía trên đường hầm là một nhiệm vụ quan trọng. Vì vậy, đề tài ***“Nghiên cứu dự báo lún mặt đất khi đào đường hầm bằng khiên đào trong đất yếu”*** có ý nghĩa khoa học, thực tiễn và có tính cấp thiết.

2. Đối tượng nghiên cứu của luận án

Nghiên cứu dự báo lún mặt đất trong giai đoạn thi công do đào đường hầm bằng phương pháp khiên đào trong điều kiện địa chất TP. HCM.

3. Phạm vi nghiên cứu của luận án

- Môi trường đất yếu tự nhiên; không xét đến hiện tượng xói ngầm trong nền đất quanh đường hầm do thoát nước ngầm khi đào; điều kiện địa chất chọn để nghiên cứu là khu vực thành phố Hồ Chí Minh.

- Ứng xử của nền đất là ứng suất - biến dạng tức thời trong giai đoạn thi công đào đường hầm, không xét đến tính từ biến theo thời gian của nền đất.

4. Phương pháp nghiên cứu

Luận án sử dụng phương pháp nghiên cứu lý thuyết kết hợp với phương pháp số.

5. Cấu trúc của luận án

Luận án bao gồm 115 trang thuyết minh, trong đó có 27 bảng, 72 hình vẽ và đồ thị, 115 tài liệu tham khảo, được cấu trúc gồm: mở đầu, 4 chương, kết luận và kiến nghị, tài liệu tham khảo và phụ lục.

Mở đầu: Trình bày tính cấp thiết của đề tài luận án và bố cục luận án.

Chương 1: Tổng quan về dự báo lún mặt đất do đào đường hầm bằng khiên đào trong đất yếu.

Chương 2: Cơ sở khoa học tính toán lún mặt đất do đào đường hầm bằng khiên đào trong đất yếu.

Chương 3: Xây dựng mô hình dự báo lún mặt đất do đào đường hầm bằng khiên đào trong đất yếu ở thành phố Hồ Chí Minh.

Chương 4: Phân tích và dự báo lún mặt đất do đào đường hầm bằng khiên đào trong đất yếu ở thành phố Hồ Chí Minh.

Kết luận và kiến nghị: Trình bày các kết quả chính, những đóng góp mới của luận án, các hướng phát triển và nghiên cứu tiếp theo.

CHƯƠNG 1: : TỔNG QUAN VỀ DỰ BÁO LÚN MẶT ĐẤT DO ĐÀO ĐƯỜNG HÀM BẰNG KHIÊN ĐÀO TRONG ĐẤT YẾU

Trình bày tổng quan về dự báo lún mặt đất trong quá trình thi công đường hầm trong đất yếu. Chương này mô tả về thi công đường hầm bằng khiên đào trong đất yếu; các yếu tố ảnh hưởng đến lún mặt đất do đào đường hầm bằng khiên đào trong đất yếu.

1.1. Tổng quan về nền đất yếu

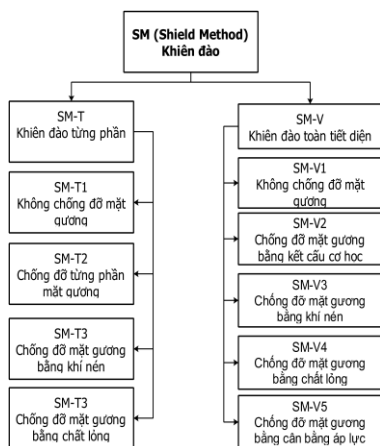
1.1.1. Khái niệm đất yếu

Đất yếu là những đất có khả năng chịu tải nhỏ (vào khoảng $500 \div 1000$ kPa) có tính nén lún lớn, hầu như bão hòa nước, có hệ số rỗng lớn ($e > 1$), môđun biến dạng thấp (thường thì $E_0 = 5000$ kPa), lực chống cắt nhỏ, ... Ở trạng thái tự nhiên, độ ẩm của chúng thường bằng hoặc lớn hơn giới hạn chảy, hệ số rỗng lớn (đất sét mềm $e \geq 1,5$; đất á sét bụi $e \geq 1$), lực dính không thoát nước $C_u \leq 15$ kPa, góc nội ma sát 0° , độ sệt $I_L > 0,5$ (trạng thái dẻo mềm). 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.

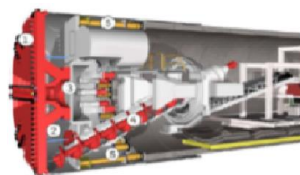
1.1.2. Ảnh hưởng của nền đất yếu đến lún mặt đất do đào đường hầm

1.2. Phương pháp thi công đường hầm bằng khiên đào trong đất yếu

Theo Hiệp hội Xây dựng Công trình ngầm của CHLB Đức – DAUB, khiên đào được phân loại theo sơ đồ hình 1.1. Phương pháp khiên đào được áp dụng để thi công những đường hầm trong môi trường nền đất yếu đối với điều kiện địa chất thành phố Hồ Chí Minh là loại khiên đào chống đỡ mặt gương bằng cần bằng áp lực đất: SM-V5. Trong luận án chỉ nghiên cứu khiên đào SM-V5 (EPB) (Hình 1.2 và Hình 1.3).

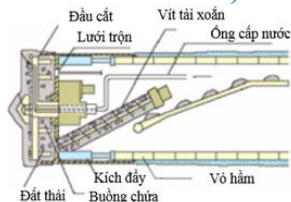


Hình 1.1: Sơ đồ phân chia các loại khiên đào theo Hiệp hội Xây dựng Công trình ngầm CHLB Đức – DAUB.



- ① Đầu cắt đất ③ Vách ngăn ④ Vít tải xoắn
② Buồng chứa vật liệu đào ⑤ Kích đẩy thủy lực

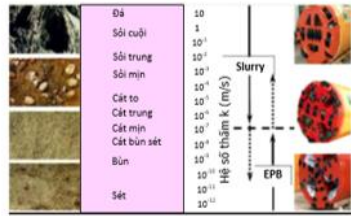
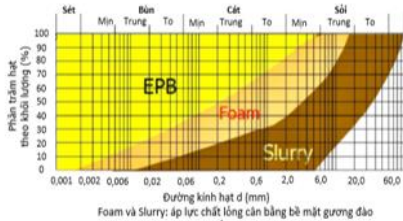
Hình 1.2: Khiên đào đường hầm EPB (Earth Pressure Balance).



Hình 1.3: Cấu tạo khiên đào cân bằng áp lực vừa.

1.2.1. Phạm vi áp dụng của các loại khiên đào

Khiên đào SM (Shield Tunneling Method) có những loại chính là SM khoan đá, SM EPB (hỗ trợ cân bằng áp lực đất) và SM Slurry (chống đỡ mặt gương bằng chất lỏng) (Hình 1.4).



a) Khả năng thích hợp của SM dựa trên kích thước hạt.

b) Khả năng thích hợp của SM dựa trên hệ số thấm của đất.

Hình 1.4: Phạm vi áp dụng của các loại thiết bị đào đường hầm cho các loại đất khác nhau.

1.2.2. Các tiêu chí lựa chọn khiên đào

Những tiêu chí cần thiết theo khuyến cáo của Hiệp hội Công trình ngầm và Không gian ngầm thế giới (The International Tunneling and Underground Space Association, ITA – AITES) năm 2000.

1.2.3. Đánh giá lựa chọn khiên đào

Các loại khiên đào EPB đặc biệt phù hợp với các loại đất có kết tại TP HCM. Sẽ là sự lựa chọn tốt hơn khi hệ số thấm của đất nhỏ hơn 10^{-7} m/s trong trường hợp đất yếu tại TP HCM.

1.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến lún mặt đất khi đào đường hầm bằng khiên đào trong đất yếu

Các yếu tố ảnh hưởng đến lún mặt đất khi đào đường hầm bằng khiên đào trong đất yếu gồm: đặc tính hình học của đường hầm; đặc tính môi trường đất nền; môi trường đất yếu; nước ngầm; đặc tính của khiên đào và đặc tính của tải trọng tác động.

1.4. Các phương pháp dự báo độ lún mặt đất do đào đường hầm bằng khiên đào trên thế giới và ở Việt Nam

1.4.1. Trên thế giới

1.4.2. Ở Việt nam

1.5. Những vấn đề còn tồn tại trong nghiên cứu dự báo lún mặt đất do đào đường hầm bằng khiên đào trong đất yếu

Ở Việt Nam, chưa có một công trình khoa học hoàn chỉnh về phương pháp phân tích, đánh giá và rút ra quy luật lún mặt đất do đào hầm trong môi trường đất yếu bằng phương pháp khiên đào trong giai đoạn thi công. Chưa có một nghiên cứu nào hệ thống hóa được một bộ cơ sở dữ liệu về các yếu tố ảnh hưởng đến lún mặt đất do đào đường hầm ở TP. HCM. Việc phân tích độ nhạy của các yếu tố ảnh hưởng đến độ lún mặt đất do đào đường hầm bằng khiên đào trong đất yếu cũng chưa được nghiên cứu cụ thể. Vấn đề dự báo lún mặt đất ở nước ta mới chỉ dừng ở việc tính toán độ lún cụ thể cho từng công trình ngầm cụ

thể, chưa khái quát hóa được quy luật lún mặt đất. Khi thi công đường hầm bằng khiên đào cần phải lựa chọn rất nhiều thông số về đặc tính hình học của đường hầm. Việc xác định được các thông số này một cách hợp lý trong điều kiện TP. HCM chưa được nghiên cứu.

1.6. Kết luận chương 1

Chương 1 đã trình bày tổng quan về: nền đất yếu, ảnh hưởng của nền đất yếu đến độ lún mặt đất do đào đường hầm; các yếu tố ảnh hưởng đến lún mặt đất khi đào đường hầm bằng khiên đào trong đất yếu. Trong chương này cũng đã tiến hành phân tích vấn đề dự báo độ lún mặt đất do đào đường hầm bằng khiên đào trên thế giới và ở Việt Nam và những vấn đề còn tồn tại trong nghiên cứu dự báo lún mặt đất do đào đường hầm bằng khiên đào trong đất yếu ở nước ta.

Luận án sẽ nghiên cứu mô hình và phương pháp tính toán lún mặt đất trong môi trường đất yếu xung quanh đường hầm trong quá trình thi công và dự báo lún mặt đất phía trên đường hầm; phân tích sự lún mặt đất xảy ra trên hai chiều kích thước khi xây dựng đường hầm trong môi trường đất yếu từ đó dự đoán lún mặt đất gây ra bởi xây dựng một đường hầm tuyến đôi trên đất yếu.

Luận án tập trung nghiên cứu:

- Môi trường đất được sử dụng trong phân tích là đất yếu tại TP. HCM. Môi trường nghiên cứu xung quanh đường hầm;
- Đường hầm được đào bằng phương pháp khiên đào (SM);
- Áp dụng phương pháp giải tích và phương pháp số để tính toán, dự báo lún mặt đất xung quanh đường hầm trong quá trình thi công.

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ KHOA HỌC TÍNH TOÁN LÚN MẶT ĐẤT DO ĐÀO ĐƯỜNG HẦM BẰNG KHIÊN ĐÀO TRONG ĐẤT YẾU

2.1. Xây dựng bộ cơ sở dữ liệu về các yếu tố ảnh hưởng đến lún mặt đất

2.1.1. Dữ liệu về khiên đào

Khiên đào dự kiến sử dụng cho việc thi công tuyến tàu điện ngầm số 6 TP. HCM là khiên EPB có các thông số như trong bảng 2.1.

Bảng 2.1: Một vài đặc tính kỹ thuật của khiên đào (Ban QLDS đô thị).

Các thành phần	Đơn vị	Giá trị
Đường kính	m	6,79
Chiều dài máy	m	7,8
Đường kính ngoài của khiên	m	6,34
Tốc độ di chuyển của khiên	m/h	2,0
Áp lực phụt vữa tại đuôi khiên	MPa	0,3
Khối lượng vữa phụt đơn vị tại đuôi khiên	(m ³ /m)	2,0

2.1.2. Dữ liệu về đường hầm tàu điện ngầm

Đánh giá và lựa chọn các chỉ tiêu cơ lý đất nền hợp lý:

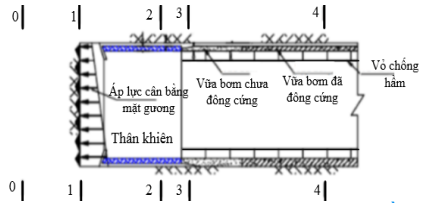
Bảng 2.2: Giá trị trung bình các chỉ tiêu cơ lý các lớp đất (Ban Quản lý Đường sắt đô thị, 2010).

Thông số	Lớp đất				
	F	2b	2	3 và 3a	4
					
Độ sâu đáy lớp (m)	3,07	7,29	17,27	45,96	50
Bề dày (m)	3,07	4,22	9,98	28,69	4,04
Dung trọng tự nhiên (kN/m ³)	19,421	19,0733	19,0733	19,9885	20,075
Hệ số thấm theo phương ngang (cm/s)	2,722	0,04	0,03551	0,33	0,0225
Hệ số thấm theo phương đứng (cm/s)	2,722	0,04	0,03551	0,33	0,0225
Hệ số rỗng ban đầu	0,6557	0,7230	0,7230	0,5664	0,5610
Hệ số Poát-xông	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Lực dính (MPa)	0,09	0,25	0,11	0,39	0,15
Góc ma sát trong (độ)	5	7	15	10	12
Môđun biến dạng (MPa)	6	4	4	5	7

2.2. Quá trình đào đường hầm bằng khiên đào

Phân tích quá trình làm việc của khiên đào EPB có thể chia ra theo 5 giai đoạn như sau (Hình 2.1).

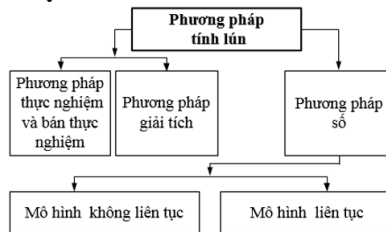
- Giai đoạn 1: Khu vực xa phía trước gương đào;
- Giai đoạn 2: Tại khu vực ngay phía sau mặt gương đào;
- Giai đoạn 3: Tại khu vực thân khiên đào;
- Giai đoạn 4: Khiên đào tiếp tục tiến lên từng bước đào;
- Giai đoạn 5: Khi vừa phụt bên ngoài vỏ chống hầm đã đông cứng.



Hình 2.1: Mô phỏng thi công đường hầm bằng SM.

2.3. Các phương pháp tính độ lún mặt đất

Các phương pháp tính lún mặt đất do đào hầm được sử dụng bao gồm: phương pháp thực nghiệm và bán thực nghiệm; phương pháp giải tích và phương pháp số (Hình 2.2).



Hình 2.2: Các phương pháp tính lún khác nhau.

2.4. Phân tích lựa chọn các phương pháp tính độ lún mặt đất

Bảng 2.3: So sánh các phương pháp tính lún mặt đất.

Phương pháp	Ưu điểm	Hạn chế
Thực nghiệm/bán thực nghiệm	- Tính toán rất đơn giản - Cung cấp ý tưởng và ước tính ban đầu về tính lún. - Hữu ích cho việc so sánh kết quả với các phương pháp khác.	- Xem xét ít tham số. - Không thể giải quyết các vấn đề phức tạp khác của đất. - Không xét đến kỹ thuật thi công.
Phương pháp	- Có thể tính với các thông số biến thiên.	- Số lượng các giải pháp có

Phương pháp	Ưu điểm	Hạn chế
giải tích	- Tính được cả chuyển vị ngang và chuyển vị đứng. - Mối tương tác giữa các các tham số dễ hiểu	- hạn. - Áp dụng đối với loại đất cụ thể.
Phương pháp số	- Áp dụng cho bất kỳ loại đất phức tạp. - Tính được cả chuyển vị ngang và chuyển vị đứng. - Có thể giải quyết nhiều thông số. - Có thể thực hiện nghiên cứu tham số. - Công cụ tính toán thân thiện với người sử dụng. - Hiện thị hình ảnh tốt hơn. - Có thể dễ dàng vẽ được biểu đồ và đồ thị. Tự động tạo lưới.	- Xây dựng mô hình và phân tích tốn nhiều thời gian. - Có thể dẫn đến kết quả gây hiểu nhầm nếu người dùng không có sự hiểu biết sâu sắc về quá trình và phần mềm lập mô hình. - Không dễ xác minh và xác nhận kết quả.

2.5. Phân tích hao hụt thể tích nền đất

"Hao hụt thể tích nền đất" hay "mất mát đất" (V_L) xung quanh đường hầm là do thể tích đất đào lớn hơn so với thể tích chiếm chỗ của đường hầm. Hao hụt thể tích nền đất là tỷ lệ giữa thể tích thiếu hụt trên đơn vị chiều dài theo hướng trục đường hầm và thể tích đường hầm theo lý thuyết:

$$V_L = (V_s / V_h) = (V_s / 0,25\pi.D^2) \quad (2.1)$$

2.5.1. Xác định lượng hao hụt thể tích nền đất

Dựa trên lý thuyết của Rowe và Jack (1983), mất mát thể tích (V_L) cũng có thể được tính bằng cách sử dụng phương trình sau:

$$V_L = (4g_i R_s + g_i^2) / 4R_s^2 \quad (2.2)$$

2.5.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến hao hụt thể tích nền đất

2.5.2.1. Loại đất

Bảng 2.4: Hao hụt thể tích nền đất cho đất có kết.

Điều kiện về nền đất	Phương pháp đào đường hầm	V_L (%)	Ghi chú
Đất sét cứng nứt nẻ	Có chống đỡ hoặc không (Shield or none)	0,5 ÷ 3,0	Mất mát đất thông thường 1% ÷ 2%
Trầm tích băng hà	Có chống đỡ trong áp lực khí tự nhiên (Shield in free air)	2,0 ÷ 2,5	
	Có chống đỡ trong áp lực khí nén (Shield in compressed air)	1,0 ÷ 1,5	Kiểm soát dịch chuyển mặt đất bằng khí nén
Trầm tích Cát sét gần đây ($C_u=10\div40$ kPa)	Có chống đỡ trong khí tự nhiên (Shield in free air)	30,0÷45,0	
	Có chống đỡ trong khí nén (Shield in compressed air)	5,0 ÷ 20,0	

Bảng 2.5: Hao hụt thể tích nền đất cho đất rời

Điều kiện về nền đất	V_L (%)	Ghi chú
Cát mịn	0,5÷1,0	Trong trường hợp đất trương nở, 1% của V_T
Cát trung	1,0÷2,5	1÷2% cho kết cấu hầm tốt và đất ít có kết.
Cát thô	3,0 ÷ 5,0	

2.5.2.1. Phương pháp thi công đường hầm

Bảng 2.6: Phần trăm hao hụt thể tích nền đất.

Công nghệ đào	V_L (%)
Khiên đào	$0,5 \div 1$
Phương pháp khai đào tuần tự	$0,8 \div 1,5$

Bảng 2.7: Khuyến cáo lượng hao hụt thể tích nền đất.

Điều kiện về nền đất	Đất đá trầm tích bị phong hoá hoàn toàn	Bồi tích cổ
Khiên đào đường hầm	Slurry	EPB
V_L (%)	1	0,9

2.5.2.2. Kích thước đường hầm

Với đường kính của đường hầm là D , thể tích đào đường hầm trên đơn vị chiều dài theo hướng trục đường hầm, được tính bằng một biểu thức toán học đơn giản: $V_h = 0,25.\pi.D^2$.

2.5.3. Lựa chọn hao hụt thể tích nền đất hợp lý

Với mô tả điều kiện địa chất địa chất công trình tuyến tàu điện ngầm số 6, khi mô hình hóa quá trình đào hầm bằng khiên đào trong đất yếu, phần trăm hao hụt thể tích nền đất dao động từ lớn nhất là 1% đến nhỏ nhất là 0,2%.

2.6. Các mô hình nền và các tham số của nó

Luận án sẽ sử dụng mô hình đàn dẻo lý tưởng Mohr- Coulomb để tính toán và dự báo lún mặt đất cho đường hầm đặt sâu trong đất yếu.

2.6.1. Một số mô hình nền cho phương pháp số

Các mô hình nền đã được liên tục phát triển trong những năm gần đây. Có một số lượng lớn mô hình nền đã được phát triển trong các nghiên cứu địa kỹ thuật. Schweiger (2009) đã phân chia thành năm nhóm mô hình nền như sau:

- Các mô hình đàn hồi tuyến tính và phi tuyến;
- Mô hình đàn dẻo lý tưởng (Mohr-Coulomb);
- Mô hình đơn diện dẻo tăng bền đẳng hướng (Isotropic hardening single surface plasticity models);
- Mô hình lưỡng diện dẻo tăng bền đẳng hướng (Isotropic hardening double surface plasticity models);
- Mô hình đa diện dẻo tăng bền động học (Kinematic hardening multi-surface plasticity models).

2.6.2. Lựa chọn mô hình nền hợp lý

Luận án sẽ sử dụng mô hình đàn dẻo lý tưởng Mohr-Coulomb (MC) để tính toán và dự báo lún mặt đất cho đường hầm đặt sâu trong đất yếu.

2.7. Các phương pháp dự báo quy luật lún mặt đất

Do sự không đồng nhất và phi tuyến của môi trường nền đất, mối quan hệ phi tuyến tính và đa chiều vốn có giữa lún mặt đất (do đào đường hầm bằng EPB gây ra) với các yếu tố ảnh hưởng, nên phương pháp hồi quy hoặc các phương pháp dựa trên trí tuệ nhân tạo có khả năng được sử dụng để dự báo lún mặt đất. Luận án sử dụng phương pháp hồi quy để dự báo lún mặt đất do thi công tuyến tàu điện ngầm số 6 tại TP. HCM.

2.8. Kết luận chương 2

Chương 2 đã thu thập, phân tích, đánh giá các dữ liệu cơ bản phục vụ tính toán, dự báo lún mặt đất do đào đường hầm trong đất yếu bằng khiên đào EPB. Chương 2 cũng đã tổng hợp, phân tích, đánh giá các mô hình và phương pháp dự báo độ lún mặt đất do đào đường hầm. Kết quả phân tích cho thấy tồn tại một mối liên hệ giữa đại lượng hao hụt thể tích nền đất và đặc trưng địa chất, đặc trưng hình học của đường hầm với độ lún mặt đất do đào đường hầm trong đất yếu bằng khiên đào EPB. Tuy nhiên, đến nay vẫn chưa có một phương pháp chính xác và tường minh để mô tả liên hệ giữa độ lún mặt đất với các đặc trưng của nền và công trình. Việc tính toán chính xác độ lún mặt đất do đào đường hầm trong đất yếu bằng khiên đào EPB vẫn phải kết hợp giữa nghiên cứu lý thuyết, thí nghiệm và quan trắc.

Để dự báo lún mặt đất do đào đường hầm trong đất yếu bằng khiên đào EPB có thể áp dụng phương pháp hồi quy trên cơ sở kết hợp các công thức thực nghiệm, bán thực nghiệm, kết quả phân tích mô hình số và số liệu quan trắc. Ở Việt Nam mới bắt đầu xây dựng đường hầm trong đất yếu nên rất thiếu số liệu quan trắc, trong chương sau luận án sẽ nghiên cứu xây dựng mô hình dự báo lún mặt đất bằng phương pháp hồi quy trên cơ sở kết hợp các công thức thực nghiệm, bán thực nghiệm đã công bố và kết quả khảo sát mô hình số bằng phần mềm Plaxis 3DT.

CHƯƠNG 3: XÂY DỰNG MÔ HÌNH DỰ BÁO LÚN MẶT ĐẤT DO ĐÀO ĐƯỜNG HẦM BẰNG KHIÊN ĐÀO TRONG ĐẤT YẾU Ở THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

3.1. Xây dựng mô hình phần tử hữu hạn

3.1.1. Xây dựng các kịch bản tính toán

Luận án sẽ xây dựng mô hình 3D để khảo sát, phân tích lún mặt đất do đào đường hầm bằng khiên đào trong đất yếu.

3.1.2. Thiết lập bài toán tính lún mặt đất do đào đường hầm bằng khiên đào trong đất yếu

Khảo sát hệ kết cấu – môi trường làm việc với các giả thiết sau:

Nền đất được mô phỏng bởi mô hình đàn - dẻo, các tính chất cơ học của nền thay đổi theo từng lớp nhưng trong một lớp xem là không đổi: sử dụng mô hình Mohr - Coulomb. Vật liệu của đường hầm làm việc trong giai đoạn đàn hồi.

3.1.3. Kiểm chứng thông số mô hình nền

Bảng 3.1: Kết quả lún mặt đất lớn nhất từ mô hình MC và kết quả tính từ FLAC 2D cho tuyến đường hầm Tehran.

Thông số	Giá trị			
Độ sâu đặt đường hầm, z (m)	12,5	14,5	15	20
Thể tích phần lún trên đơn vị chiều dài theo hướng trục đường hầm, V_s (m ³)	0,37	0,37	0,37	0,37
Chiều sâu của đường tim đường hầm so với mặt đất, z_0 (m)	8,6	10,6	11,1	16,1

Độ lệch tiêu chuẩn của đường cong tính lún, i			2,308	2,868	3,18	4,41
Khoảng cách từ trục tìm thẳng đứng của mặt cắt đường hầm, x (m)			0	0	0	0
Độ lún mặt đất, S _{max} (mm)	PLAXIS 3DT	MC	85	65	50	36,5
		HS	74	56	41	31
	FLAC 2D cho tuyến đường hầm Tehran		37	31	31	30
Chênh lệch (mm)		MC	48	34	19	6.5
		HS	37	25	10	1

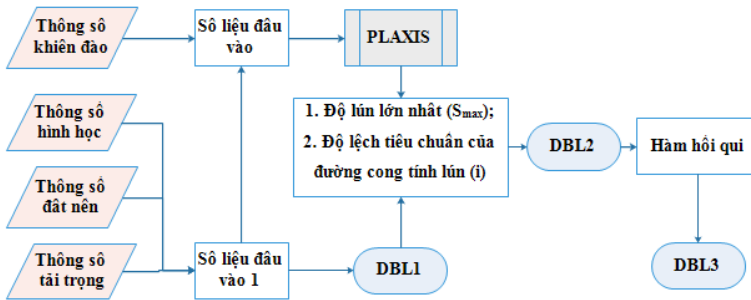
3.2. Xây dựng chương trình tính dự báo lún mặt đất

3.2.1. Ngôn ngữ viết chương trình tính

Luận án tiến hành lập chương trình tính dự báo lún mặt đất do đào đường hầm bằng khiên đào (chương trình tính DBL) trong đất yếu bằng MATLAB dựa trên các công thức kinh nghiệm, bán kinh nghiệm và giải tích kết hợp với kết quả tính từ PLAXIS 3DT để tìm ra hàm hồi quy dự báo lún mặt đất.

3.2.2. Cấu trúc của chương trình tính DBL

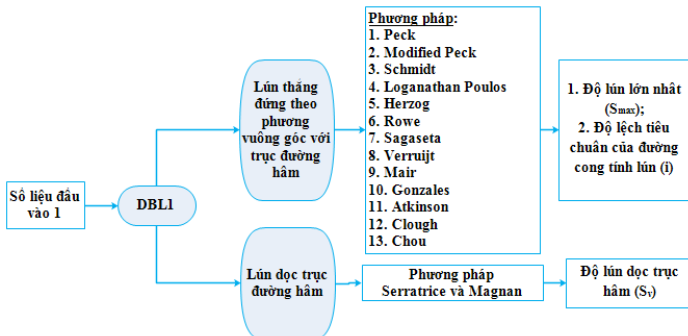
Chương trình tính dự báo lún mặt đất (DBL) gồm 3 chương trình con lần lượt là chương trình DBL1, DBL2 và DBL3 (Hình 3.1).



Hình 3.1: Sơ đồ cấu trúc của chương trình tính DBL.

3.2.3. Tính năng và cơ sở lý thuyết của chương trình tính DBL1.

Chương trình DBL1 được xây dựng nhằm tính độ lún mặt đất theo phương pháp thực nghiệm, bán thực nghiệm và giải tích cho đường hầm tuyến đơn (chương trình DBL1a) và tuyến đôi (chương trình DBL1b) (Hình 3.2).



Hình 3.2: Lưu đồ thuật giải chương trình tính DBL1.

3.2.3.1. Chương trình tính DBL1a cho đường hầm đơn

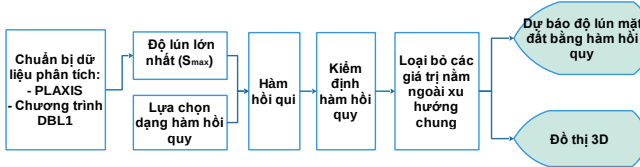
Chương trình tính DBL1a được tích hợp bởi nhiều hàm tính độ lún thẳng đứng khi đào đường hầm đơn trong các đoạn mã chương trình.

3.2.3.2. Chương trình tính DBL1b cho đường hầm tuyến đôi

Chương trình tính DBL1b tính độ lún thẳng đứng khi đào đường hầm tuyến đôi và được mô tả trong đoạn mã chương trình displacementT2.m

3.2.4. Tính năng và cơ sở lý thuyết của chương trình tính DBL2

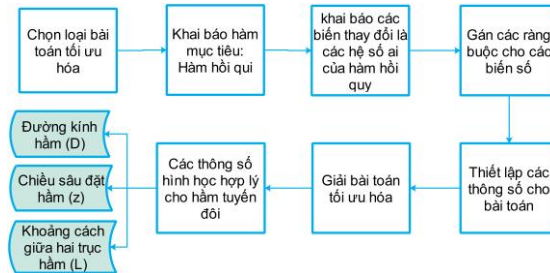
Chương trình tính DBL2 được xây dựng nhằm dự báo độ lún mặt đất bằng hàm hồi quy (Hình 3.3).



Hình 3.3: Lưu đồ thuật giải chương trình tính DBL2.

3.2.5. Tính năng và cơ sở lý thuyết của chương trình tính DBL3

Chương trình tính DBL3 được xây dựng nhằm xác định đường kính hầm, khoảng cách giữa 2 trục hầm và chiều sâu đặt hầm hợp lý của đường hầm (Hình 3.4).



Hình 3.4: Lưu đồ thuật giải chương trình tính DBL3

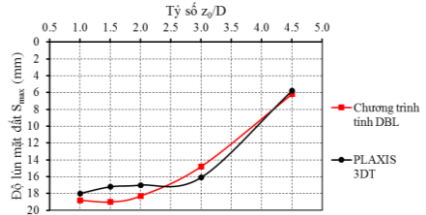
3.3. Kiểm chứng các kết quả theo chương trình tính DBL

Sử dụng chương trình tính DBL để tính độ lún của các điểm khảo sát với các thông số trong bảng 3.2. Luận án cũng đã xây dựng mô hình 3D để tính toán lún mặt đất trong quá trình thi công đường hầm đơn trong đất yếu ở 5 độ sâu đặt đường hầm khác nhau lần lượt là 1,0D; 1,5D; 2,0D; 3,0D; 4,5D với đường kính hầm D bằng 8,0m (Bảng 3.2).

Bảng 3.2: Tổng hợp kết quả tính toán theo chương trình tính.

Thông số		Giá trị				
Tỷ số độ sâu đặt hầm và đường kính hầm, z_0/D (m)		1,0	1,5	2,0	3,0	4,5
Độ lệch tiêu chuẩn của đường cong tính lún, i		4,1	4,5	4,8	7,5	12,4
Độ lún mặt đất, S (mm)	Chương trình tính DBL	18,8	19,0	18,3	14,8	6,2
	PLAXIS 3DT	18,0	17,2	17,0	16,1	5,8
Sai số (%)		4,35	10,41	7,86	8,26	6,9

Kết quả lún thẳng đứng lớn nhất theo PTHH của PLAXIS 3DT gần sát với kết quả tính toán theo chương trình tính DBL đã lập. Có thể thấy giá trị lún thẳng đứng lớn nhất của cả hai phương pháp gần với nhau hơn khi chiều sâu đặt đường hầm tăng lên (Hình 3.5).



Hình 3.5: So sánh kết quả tính toán theo chương trình tính DBL bằng MATLAB và theo PTHH của phần mềm PLAXIS 3DT.

3.4. Kết luận chương 3

Chương 3 đã tiến hành thử nghiệm số để tính lún mặt đất với một khối lượng lớn mô hình phần tử hữu hạn PLAXIS mô phỏng quá trình thi công đào đường hầm bằng phương pháp khiên đào trong đất yếu của TP. HCM ứng với các giá trị thông số hình học của đường hầm, thông số khiên đào và mực nước ngầm. Từ mô hình tính toán đường hầm bằng chương trình PLAXIS ta có thể tính toán được các giá trị độ lún mặt đất trong các giai đoạn thi công. Vì vậy, nó hoàn toàn có thể được áp dụng để tính toán độ lún mặt đất khi đào đường hầm bằng khiên đào tại TP. HCM. Trên cơ sở kết hợp kết quả phân tích theo phương pháp số bằng PTHH và các phương pháp thực nghiệm, bán thực nghiệm, giải tích, luận án đã thiết lập được chương trình tính DBL có giao diện thân thiện, dễ tính toán. Chương trình tính dự báo lún mặt đất (DBL) gồm 3 chương trình con lần lượt là chương trình tính DBL1, DBL2 và DBL3. Chương trình tính này giúp tự động hóa quá trình tính toán, góp phần hoàn thiện phương pháp dự báo lún mặt đất. Qua việc so sánh giữa kết quả tính toán theo chương trình tính DBL với kết quả mô phỏng PLAXIS 3DT, kết quả tính lún mặt đất là khá phù hợp. Điều đó chứng tỏ có thể sử dụng chương trình tính này để dự báo lún mặt đất khi đào đường hầm với độ chính xác đạt yêu cầu, nhằm giảm thời gian, công sức.

CHƯƠNG 4: PHÂN TÍCH VÀ DỰ BÁO LÚN MẶT ĐẤT DO ĐÀO ĐƯỜNG HẦM BẰNG KHIÊN ĐÀO TRONG ĐẤT YẾU Ở THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

Chương này sẽ đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến lún mặt đất do đào đường hầm của tuyến tàu điện ngầm số 6 trong điều kiện đất yếu ở TP. HCM.

4.1. Đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố đến lún mặt đất do đào đường hầm bằng khiên đào trong đất yếu

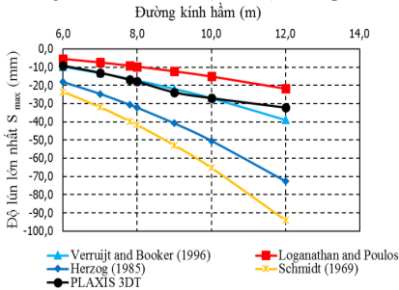
4.1.1. Ảnh hưởng của các đặc tính hình học của đường hầm

4.1.1.1. Ảnh hưởng của đường kính đường hầm

- Trường hợp hầm tuyến đơn:

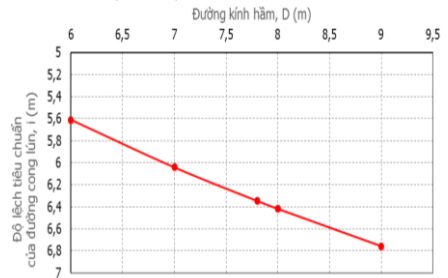
Có thể thấy rằng độ lún mặt đất lớn nhất chịu ảnh hưởng đáng kể bởi đường kính đường hầm (Hình 4.1). Sự gia tăng đường kính đường hầm làm tăng độ lún mặt đất lớn nhất. Đường kính đường hầm luôn là một trong những yếu tố quan

trọng để ước tính độ lún mặt đất lớn nhất trong tất cả các phương pháp thực nghiệm. Kết quả của phân tích PLAXIS 3DT phù hợp với các phương pháp của Verruijt và Booker (1996); Loganathan và Poulos (1998).

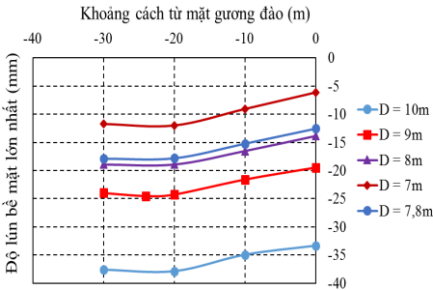


a) Quan hệ giữa độ lún lớn nhất và đường kính hầm.

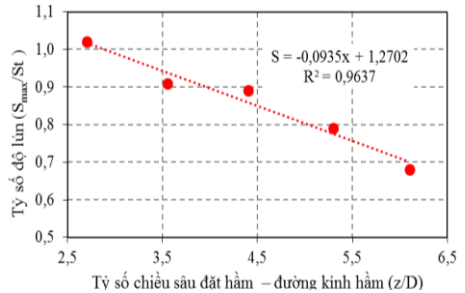
Hình 4.1: Ảnh hưởng của đường kính hầm đến lún bề mặt.



b) Quan hệ giữa độ lệch tiêu chuẩn của đường cong tính lún và đường kính hầm.



Hình 4.2: Ảnh hưởng của đường kính đường hầm đến độ lún lớn nhất.



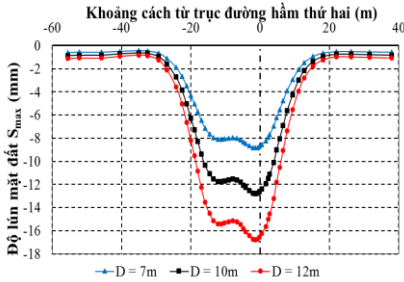
Hình 4.3: Biểu đồ quan hệ giữa tỷ số độ lún và tỷ số chiều sâu đặt đường hầm – đường kính đường hầm

Theo kết quả thu được từ phương pháp số, giảm đường kính đường hầm từ 12,0m xuống 6,0m dẫn đến giá trị lún mặt đất lớn nhất giảm gần 50%, do đó đường kính đường hầm là một trong các yếu tố quan trọng nhất khi tính lún mặt đất (Hình 4.2). Với giá trị tổn hao đất là 0,5%, đường kính hầm là 7,8m, luận án đã xây dựng được biểu đồ quan hệ giữa: tỷ số độ lún và tỷ số chiều sâu đặt đường hầm – đường kính đường hầm như trên hình 4.3. Phương trình đại diện quan hệ trên có dạng tuyến tính với $R^2 = 0,9637$:

$$(S_{\max} / S_t) = 0,0935. (z / D) + 1,2702. \quad (3.1)$$

- Trường hợp hầm tuyến đôi

Luận án đã tính cho 3 giá trị đường kính đường hầm khác nhau lần lượt là 7,0; 10,0 và 12,0m với khoảng cách giữa hai trục đường hầm bằng 20m (Hình 4.4). Độ lún mặt đất tăng từ 10mm đến 20mm do tăng đường kính đường hầm từ 7m đến 12m như hiển thị trong hình 4.5.



Hình 4.4: Ảnh hưởng của sự thay đổi đường kính đường hầm đến độ lún mặt đất lớn nhất tại đỉnh hầm.

L luận án đã tính cho 5 giá trị tỷ số (L/D) lần lượt là 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 và 3,5. Độ lún mặt đất có quan hệ tuyến tính với tỷ số (L/D) . Khi đường kính đường hầm thay đổi các đường quan hệ này gần như là tịnh tiến song song với nhau. Đường quan hệ này có thể mô tả bởi hàm hồi quy tuyến tính như sau: $S = a_1 \cdot (L/R) + a_0$; với giá trị a_1 từ 1,2346 đến 2,1605 và a_0 từ -5,8025 đến -13,179. Độ lún mặt đất tăng từ 10mm đến 20mm do tăng đường kính đường hầm từ 7 đến 12m như hiển thị trong hình 4.5.

4.1.1.2. Ảnh hưởng của chiều sâu đặt đường hầm

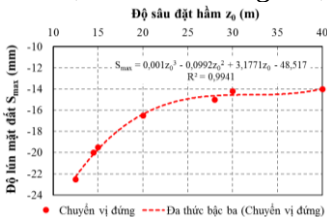
- Trường hợp hầm đơn

Tiến hành phân tích lún mặt đất do đào đường hầm đơn bằng khiên đào trong đất yếu khi thay đổi chiều sâu đặt đường hầm. Tổng hợp kết quả tính toán trong bảng 4.1.

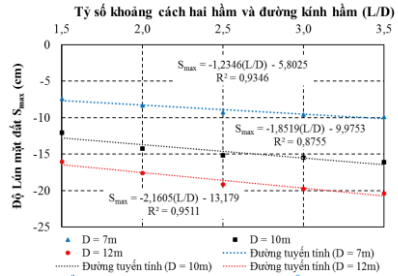
Bảng 4.1: Tổng hợp kết quả tính toán theo mô hình 3D

Độ sâu đặt đường hầm	12,5	14,5	15	20	28	30	40
Chuyển vị đứng (cm)	8,5	7,0	6,9	3,65	2,20	1,77	1,39
Chuyển vị ngang (cm)	1,27	1,09	0,95	0,63	0,35	0,07	0,07

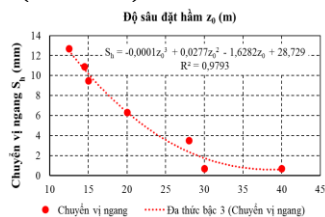
Với đường kính đường hầm 7,8m, với chiều sâu đặt đường hầm tăng dần thấy rằng khi càng xuống sâu thì giá trị lún mặt đất càng giảm và ở một độ sâu nhất định thì giá trị lún này là không đáng kể (trong trường hợp này là 25m, Hình 4.6). Giá trị chuyển vị ngang giảm rất nhanh theo chiều sâu đặt đường hầm và ở độ sâu $z_0 = 30m$ giá trị S_h là khá nhỏ (Hình 4.7).



Hình 4.6: Biểu đồ quan hệ giữa độ lún mặt đất $S(m)$ và độ sâu đặt đường hầm $z_0(m)$ bằng mô hình 3D.



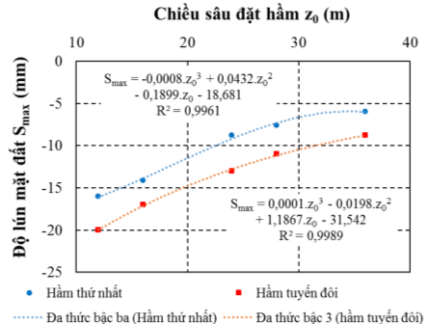
Hình 4.5: Ảnh hưởng của sự thay đổi đường kính đường hầm và khoảng cách giữa hai hầm đến độ lún mặt đất lớn nhất tại đỉnh hầm.



Hình 4.7: Biểu đồ quan hệ giữa chuyển vị ngang $S_h(m)$ và độ sâu đặt đường hầm $z_0(m)$ bằng mô hình 3D.

- Trường hợp hầm tuyến đôi:

Luận án nghiên cứu sự thay đổi chiều sâu đặt đường hầm tuyến đôi là 12; 16; 24; 28 và 36m (Hình 4.8). Tổng hợp kết quả tính toán trong bảng 4.2. Độ lún mặt đất lớn nhất có quan hệ nghịch biến với độ sâu đặt đường hầm. Đường hầm tuyến đôi có tổng độ lún mặt đất đường hầm tuyến đôi lớn hơn so với đường hầm đơn từ 16,76% đến 24,28% (Bảng 4.2).



Hình 4.8: Biểu đồ quan hệ giữa lún mặt đất và độ sâu đặt đường hầm tuyến đôi.

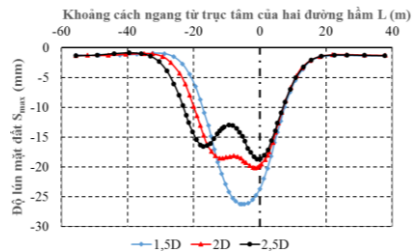
Bảng 4.2: Tổng hợp kết quả tính toán đường hầm tuyến đôi khi thay đổi chiều sâu đặt hầm

Độ sâu đặt đường hầm (m)	12	16	24	28	36
Độ lún mặt đất lớn nhất hầm thứ nhất (mm)	-16	-14,1	-8,8	-7,6	-6
Độ lún mặt đất lớn nhất của hai hầm (mm)	-20	-17	-13	-11	-8,8
Chênh lệch (%)	23,12	16,76	24,28	19,65	16,18

4.1.1.3. Ảnh hưởng của sự thay đổi khoảng cách giữa hai đường hầm tuyến đôi

Ảnh hưởng của sự thay đổi trong khoảng cách nằm ngang L đến chuyển vị của nền đất đã được nghiên cứu trong trường hợp độ sâu đặt đường hầm là 1,5D. Khoảng cách giữa hai đường hầm tuyến đôi lần lượt bằng 1,5D, 2D, 2,5D. Khi đó, đường cong lún mặt đất thể hiện trong hình 4.9. Từ biểu đồ trên hình 4.9, ta thấy rằng:

- Khi đường hầm thứ hai ở bên cạnh một đường hầm thứ nhất vừa xây xong, thì độ lún mặt đất của đường hầm thứ hai sẽ lớn hơn so với độ lún mặt đất của đường hầm thứ nhất và sau khi thi công xong cả hai đường hầm thì đường trung tâm của rãnh lún trên mặt đất gây ra giữa hai đường hầm sẽ không đối xứng.



Hình 4.9: Độ lún mặt đất của hai đường hầm đặt song song khi thay đổi khoảng cách giữa hai đường hầm.

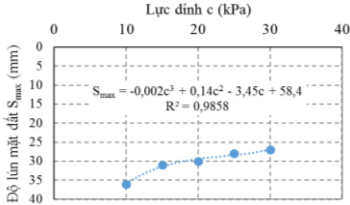
- Khi xây dựng hai đường hầm đặt song song cùng độ sâu, nếu cự ly quá gần thì áp lực rất lớn, khối đất giữa hai đường hầm sẽ không chịu được và có thể bị phá hoại. Kết quả tính toán cho thấy, để hai đường hầm chịu lực độc lập thì khoảng cách giữa hai đường hầm lớn hơn 20m, tức là khoảng 2,5 lần đường kính hầm.

4.1.2. Ảnh hưởng của các đặc tính nền đất

4.1.2.1. Ảnh hưởng của lực dính

- Trường hợp hàm đơn

Các giá trị độ lún mặt đất ứng với các giá trị khác nhau của lực dính của đất nền được thể hiện trong hình 4.10.



Hình 4.10: Ảnh hưởng của lực dính của đất nền lên độ lún mặt đất do đào đường hầm đơn bằng khiên đào.

- Trường hợp hàm tuyến đôi

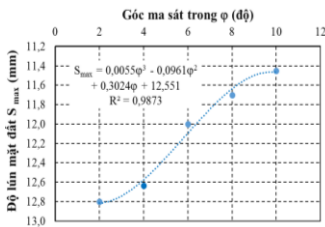
Đường cong lún mặt đất khi đào đường hầm tuyến đôi trong các trường hợp này được thể hiện trong hình 4.11. Đồ thị này cho thấy lún mặt đất giảm khoảng 40mm khi lực dính của đất nền tăng 10kPa.

4.1.2.2. Ảnh hưởng của góc ma sát trong của đất nền

- Trường hợp hàm đơn

L luận án đã thực hiện thay đổi các giá trị góc ma sát trong của đất nền khác nhau với các giá trị 2° , 4° , 6° , 8° và 10° được áp dụng để khảo sát ảnh hưởng đến độ lún mặt đất. Từ số liệu tính toán bằng mô hình, thiết lập quan hệ giữa độ lún mặt đất lớn nhất (S_{max}) và góc ma sát trong (φ) như trên hình 4.12. Phương trình đại diện quan hệ trên có dạng hàm đa thức bậc 3 với $R^2 = 0,9873$;

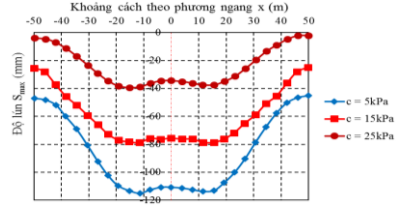
$$S_{max} = 0,0055.\varphi^3 - 0,0961.\varphi^2 + 0,3024.\varphi + 12,551$$



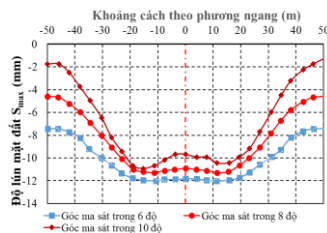
Hình 4.12: Lún mặt đất do đào đường hầm đơn bằng khiên đào khi thay đổi góc ma sát trong của đất nền.

- Trường hợp hàm tuyến đôi

Đường cong lún mặt đất khi đào đường hầm tuyến đôi trong các trường hợp này được thể hiện trong hình 4.13. Đồ thị này cho thấy lún mặt đất giảm khoảng 1mm khi góc ma sát trong của đất nền tăng 2° .



Hình 4.11: Ảnh hưởng của sự thay đổi lực dính của đất nền đến đường cong lún mặt đất do đào đường hầm tuyến đôi bằng khiên đào.



Hình 4.13: Ảnh hưởng của sự thay đổi góc ma sát trong của đất nền đến đường cong lún mặt đất do đào đường hầm tuyến đôi bằng khiên đào.

4.1.3. Ảnh hưởng của các đặc tính khiên đào

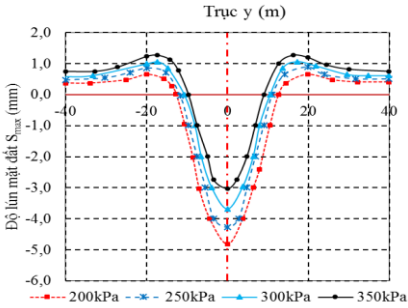
4.1.3.1. Ảnh hưởng của áp lực cân bằng bề mặt gương

- Trường hợp hầm đơn

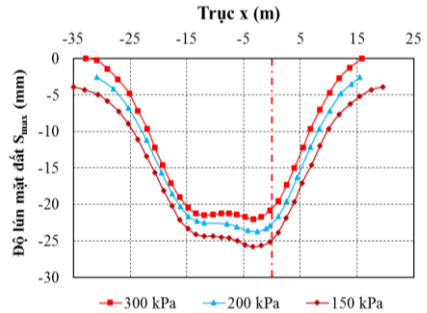
So sánh giữa các kết quả cho thấy độ lún lớn nhất sẽ giảm khoảng 0,8mm nếu áp lực bề mặt tăng lên khoảng 50 kPa. Khi áp lực cân bằng bề mặt tăng lên 75% thì lún lớn nhất sẽ giảm 2mm (Hình 4.14).

- Trường hợp hầm tuyến đôi

Khi áp lực cân bằng bề mặt gương tăng, lượng lún mặt đất giảm xuống. Nó cho thấy rằng áp lực cân bằng bề mặt gương là một tham số quan trọng để kiểm soát độ lún mặt đất và tác động môi trường của đào đường hầm (Hình 4.15).



Hình 4.14: Ảnh hưởng của áp lực cân bằng bề mặt lên lún mặt đất theo phương ngang do đào đường hầm đơn bằng khiên đào.



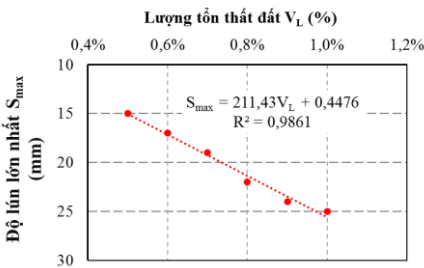
Hình 4.15: Các dạng đường cong lún do đào đường hầm tuyến đôi bằng khiên đào theo sự biến thiên của áp lực cân bằng bề mặt gương.

4.1.3.2. Ảnh hưởng của lượng tổn thất đất

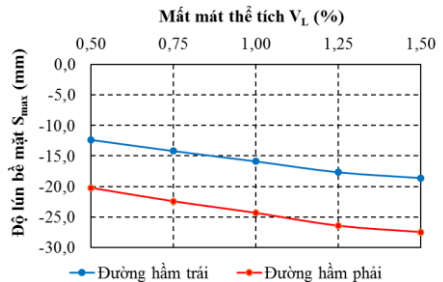
- Trường hợp hầm đơn (Hình 4.16)

Bảng 4.3: Các giá trị lún ứng với phần trăm mất mát thể tích khác nhau.

V_L (%)	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
S_{max} (cm)	1,5	1,7	1,9	2,2	2,4	2,5



Hình 4.16: Biểu đồ quan hệ giữa độ lún mặt đất và lượng tổn thất đất do đào đường hầm đơn bằng khiên đào.



Hình 4.17: Độ lún mặt đất lớn nhất do đào đường hầm tuyến đôi bằng khiên đào tại TP. HCM.

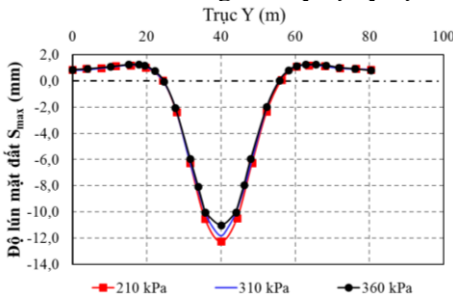
- Trường hợp hầm tuyến đôi (Hình 4.17)

Ảnh hưởng của các giá trị lượng tổn thất đất khác nhau đối với độ lún mặt đất được minh họa trong hình 4.17. Khi lượng tổn thất đất tăng, lượng lún mặt đất tăng lên.

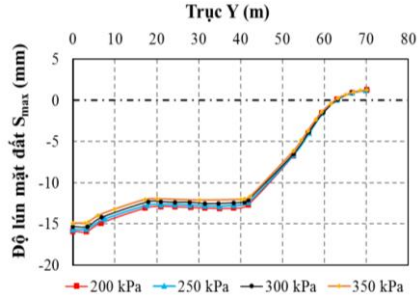
Bảng 4.4: Độ lún mặt đất lớn nhất do đào đường hầm tuyến đôi bằng khiên đào ứng với các giá trị mất mát thể tích khác nhau.

Mất mát thể tích (%)	Độ lún mặt đất lớn nhất (mm)	
	Đường hầm trái	Đường hầm phải
0,5	12,35	20,22
0,75	14,19	22,43
1,0	15,89	24,34
1,25	17,68	26,45
1,5	18,62	27,49

4.1.3.3. Ảnh hưởng của áp lực phụ vữa chèn



Hình 4.18: Độ lún mặt đất do đào đường hầm đơn ứng với các giá trị khác nhau của áp lực phụ vữa ở đuôi của khiên đào.



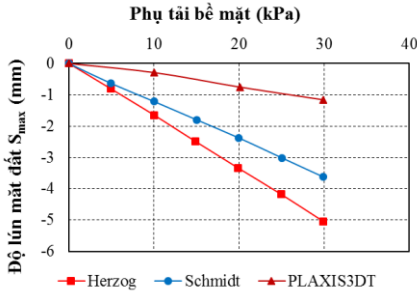
Hình 4.19: Lún dọc trục do đào đường hầm đơn bằng khiên đào với các giá trị khác nhau của áp lực phụ vữa.

Khi áp lực phụ vữa chèn thay đổi 133% thì độ lún mặt đất lớn nhất giảm đi dưới 2mm (Hình 4.18 và Hình 4.19).

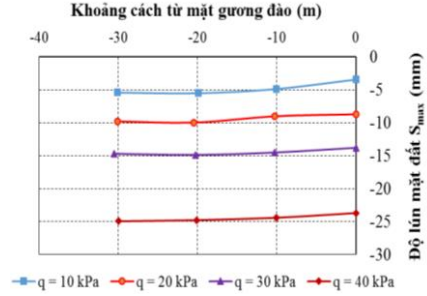
4.1.4. Ảnh hưởng của các đặc tính tải trọng

Các kết quả phân tích cho phụ tải bề mặt được thể hiện trong hình 4.20 và hình 4.21 cho thấy sự biến thiên của lún mặt đất lớn nhất theo phụ tải bề mặt theo phương pháp số và thực nghiệm (Herzog (1985) và Schmidt (1981) cho một đường hầm đặt ở độ sâu 20,8m. Kết quả PLAXIS 3DT cho thấy sự gia tăng phụ tải bề mặt từ 0 đến 30 kPa dẫn tới gia tăng độ lún mặt đất khoảng 1mm.

Hình 4.21 cho thấy các đường cong lún dọc trục đường hầm ứng với bốn giá trị của phụ tải bề mặt. Kết quả cho thấy lún mặt đất dọc trục đường hầm tăng khi phụ tải bề mặt tăng lên.



Hình 4.20: Ảnh hưởng của phụ tải bề mặt đất đến độ lún lớn nhất do đào đường hầm đơn bằng khiên đào.



Hình 4.21: Ảnh hưởng của tải trọng phía trên đến độ lún lớn nhất do đào đường hầm đơn bằng khiên đào.

4.2. Xây dựng hàm hồi quy để dự báo quy luật lún mặt đất

Chương trình tính DBL2 giả thiết hàm hồi quy cho độ lún mặt đất lớn nhất và độ lệch tiêu chuẩn của đường cong tính lún có dạng như sau:

$$i = a_0 + a_{11}(z_0/D) + a_{21}(L/D) + a_{31}c + a_{41}\varphi + a_{51}P + a_{61}Q + a_{12}(z_0/D)^2 + a_{22}(L/D)^2 + a_{32}c^2 + a_{42}\varphi^2 + a_{52}P^2 + a_{62}Q^2 + a_{13}(z_0/D)^3 + a_{23}(L/D)^3 + a_{33}c^3 + a_{43}\varphi^3 + a_{53}P^3 + a_{63}Q^3 \quad (4.1)$$

$$S_{max} = a_0 + a_{11}(z_0/D) + a_{21}(L/D) + a_{31}c + a_{41}\varphi + a_{51}P + a_{61}Q + a_{12}(z_0/D)^2 + a_{22}(L/D)^2 + a_{32}c^2 + a_{42}\varphi^2 + a_{52}P^2 + a_{62}Q^2 + a_{13}(z_0/D)^3 + a_{23}(L/D)^3 + a_{33}c^3 + a_{43}\varphi^3 + a_{53}P^3 + a_{63}Q^3 \quad (4.2)$$

Bảng 4.5: Các tham số của hàm hồi quy dự báo độ lún lún mặt đất do đào hầm bằng khiên đào trong đất yếu.

Hệ số	Hàm hồi quy		Hệ số	Hàm hồi quy		Hệ số	Hàm hồi quy	
	<i>i</i>	<i>S_{max}</i>		<i>i</i>	<i>S_{max}</i>		<i>i</i>	<i>S_{max}</i>
a ₀	95,1716	338,4116						
a ₁₁	-2,6902	6,6494	a ₁₂	1,0416	-2,8708	a ₁₃	-0,0614	0,2180
a ₂₁	-5,5485	0,5807	a ₂₂	3,7772	-0,3382	a ₂₃	-0,4935	-0,0078
a ₃₁	1,0406	-0,8748	a ₃₂	-0,1188	0,0828	a ₃₃	0,0044	-0,0028
a ₄₁	-1,7012	0,8209	a ₄₂	0,2939	-0,1826	a ₄₃	-0,0146	0,0094
a ₅₁	1,0618	-1,4771	a ₅₂	-0,0050	0,0068	a ₅₃	7,64E-06	-1,05E-05
a ₆₁	-1,6712	-2,1815	a ₆₂	0,0058	0,0075	a ₆₃	-6,62E-06	-8,63E-06

Giải bài toán với chương trình tính DBL, luận án đã tìm được một phương án mà tại đó trị số hàm mục tiêu đạt giá trị nhỏ nhất PS = 80,8.

Như vậy, hàm xấp xỉ đa thức bậc ba tốt nhất dự báo quy luật lún mặt đất do đào hầm đơn bằng khiên đào trong đất yếu nhận được như sau:

$$i = 95,1716 - 2,6902(z_0/D) - 5,5485(L/D) + 1,0406c - 1,7012\varphi + 1,0618P - 1,6712Q + 1,0416(z_0/D)^2 + 3,7772(L/D)^2 - 0,1188c^2 + 0,2939\varphi^2 - 0,0050P^2 + 0,0058Q^2 - 0,0614(z_0/D)^3 - 0,4935(L/D)^3 + 0,0044c^3 - 0,0146\varphi^3 + 7,64E^{-06}.P^3 - 6,62E^{-06}.Q^3 \quad (4.3)$$

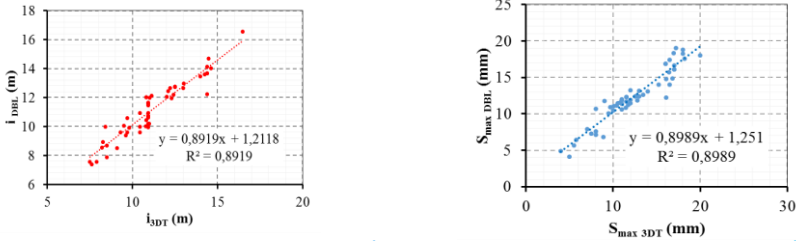
$$\begin{aligned}
S_{\max} = & 338,4116 + 6,6494(z_0 / D) + 0,5807(L / D) - 0,8748c + 0,8209\varphi - 1,4771P - 2,1815Q \\
& - 2,8708(z_0 / D)^2 - 0,3382(L / D)^2 + 0,0828c^2 - 0,1826\varphi^2 + 0,0068P^2 + 0,0075Q^2 \\
& + 0,2180(z_0 / D)^3 - 0,0078(L / D)^3 - 0,0028c^3 + 0,0094\varphi^3 - 1,05E^{-05}P^3 - 8,6E^{-06}Q^3
\end{aligned} \quad (4.4)$$

Việc so sánh độ lệch tiêu chuẩn của đường cong tính lún (i) và độ lún lớn nhất do đào hầm đơn bằng khiên đào trong đất yếu tính từ PLAXIS 3DT và từ hàm hồi quy thể hiện trong hình 4.22. Phương trình hồi quy giữa hai đại lượng này được biểu thị như sau:

$$i_h = 0,8919.i_p + 1,2118 \quad (4.5)$$

$$S_h = 0,8989.S_p + 1,251 \quad (4.6)$$

Mức độ tương quan giữa hai đại lượng này là khá tốt với các hệ số đánh giá như sau: $R^2 = 0,9$.



Hình 4.22: So sánh giá trị độ lệch tiêu chuẩn của đường cong tính lún và độ lún mật đất tính bởi PLAXIS 3D và chương trình tính DBL cho đường hầm đào bằng khiên đào.

4.3. Dự báo quy luật lún mặt đất

Với người am hiểu về ngôn ngữ lập trình MATLAB, để dự báo độ lún mặt đất bằng hàm hồi quy phi tuyến đã được xác định từ chương trình DBL. Ngoài ra, với hàm hồi quy đã được xây dựng như trên, chương trình tính DBL sẽ tạo ra một giao diện để đánh giá mức độ ảnh hưởng của mỗi biến số đầu vào (z_0/D , L/D , c , φ , P và Q) đến giá trị độ lún mặt đất lớn nhất và độ lệch tiêu chuẩn của đường cong tính lún do đào đường hầm bằng khiên đào. Ví dụ, với tỷ lệ (z_0/D) = 3,56, (L/D) = 3,30, lực dính $c = 10$ (kPa), góc ma sát trong $\varphi = 5^\circ$, $P = 244,4$ kPa và $Q = 252,8$ kPa sử dụng giao diện như hình 4.23 ta được kết quả dự báo lún mặt đất lớn nhất 9,9626mm. Giao diện chương trình DBL trên hình 4.23 rất hữu ích cho công tác thiết kế trong phòng.

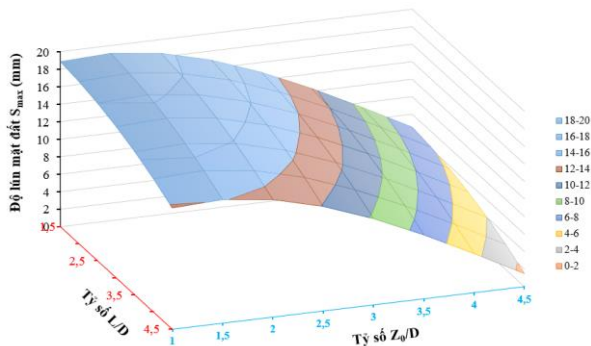
Để tiện lợi cho việc dự báo độ lún mặt đất lớn nhất ở ngoài hiện trường, chương trình tính DBL đã biểu diễn kết quả tính độ lún mặt đất lớn nhất dưới dạng bảng tra khi thay đổi các thông số hình học của đường hầm trong điều kiện lực dính và góc ma sát trong không đổi. Các giá trị độ lún lớn nhất, trung bình và nhỏ nhất lần lượt tương ứng với gam màu đỏ, vàng và xanh như thể hiện trong bảng 4.6, Ví dụ, khi $c = 10$ kPa, góc ma sát trong $\varphi = 5^\circ$, khi tỷ số $z_0/D = 3,5$, $L/D = 3,5$, $P = 240$ kPa, $Q = 260$ kPa thì độ lún mặt đất lớn nhất $S_{\max}$ sẽ là 9,8mm (Bảng 4.6).



Hình 4.23: Giao diện biểu diễn kết quả dự đoán độ lún mặt đất lớn nhất trường hợp đào đường hầm tuyến đôi bằng khiên đào.

Bảng 4.6: Độ lún mặt đất lớn nhất khi thay đổi các thông số hình học của đường hầm với lực dính $c = 10\text{kPa}$, góc ma sát trong $\varphi = 50^\circ$, $P = 240\text{kPa}$, $Q = 260\text{kPa}$.

L/D \ Z_0/D	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
1,5	18,9	19,1	18,4	17,0	14,9	12,3	9,5	6,5
2	18,5	18,8	18,1	16,6	14,5	12,0	9,1	6,2
2,5	18,0	18,2	17,6	16,1	14,0	11,4	8,6	5,7
3	17,3	17,5	16,8	15,4	13,3	10,7	7,9	4,9
3,5	16,3	16,6	15,9	14,4	12,3	9,8	7,0	4,0
4	15,2	15,4	14,8	13,3	11,2	8,6	5,8	2,8
4,5	13,8	14,1	13,4	11,9	9,8	7,3	4,5	1,5

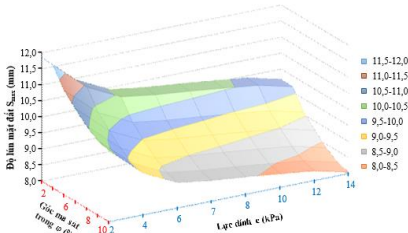


Hình 4.24: Sự biến thiên của độ lún mặt đất lớn nhất ứng với các tỷ số (z_0/D) và (L/D) thay đổi, $c = 10\text{kPa}$, $\varphi = 50^\circ$, $P = 240\text{kPa}$, $Q = 260\text{kPa}$.

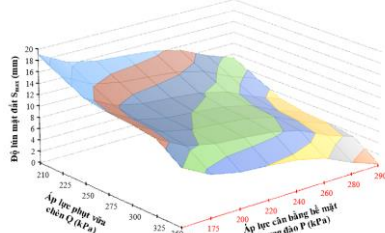
Chương trình tính DBL cũng biểu diễn được đồ thị quan hệ giữa độ lún lớn nhất $S_{\max}$ và các tỷ số (z_0/D) và (L/D) trong trường hợp lực dính $c = 10\text{kPa}$, góc ma sát trong $\varphi = 50^\circ$ (Hình 4.24).

Bảng 4,7: Độ lún mặt đất lớn nhất khi thay đổi góc ma sát trong φ và lực dính c , tỷ số $(z_0/D) = 3,5$; $(L/D) = 3,5$, $P = 240\text{kPa}$, $Q = 260\text{kPa}$.

φ (°) \ C(kPa)	2	4	6	7	8	10	12	14
2	11,9	10,9	10,4	10,3	10,2	10,1	9,9	9,7
4	11,8	10,9	10,4	10,3	10,2	10,0	9,9	9,7
6	11,3	10,3	9,8	9,7	9,6	9,5	9,3	9,1
7	10,9	10,0	9,5	9,3	9,2	9,1	9,0	8,7
8	10,6	9,7	9,1	9,0	8,9	8,8	8,6	8,4
9	10,3	9,4	8,9	8,7	8,6	8,5	8,4	8,1
10	10,2	9,3	8,8	8,6	8,5	8,4	8,3	8,0



Hình 4.25: Sự biến thiên của độ lún mặt đất lớn nhất ứng với c , φ thay đổi, $(z_0/D) = 3,5$, $(L/D) = 3,5$, $P = 240\text{kPa}$, $Q = 260\text{kPa}$.



Hình 4.26: Sự biến thiên của độ lún mặt đất lớn nhất ứng với P , Q thay đổi, tỷ số $(z_0/D) = 3,56$; $(L/D) = 3,30$, lực dính $c = 10\text{kPa}$, góc ma sát trong $\varphi = 5^\circ$.

Bảng 4,8: Độ lún mặt đất lớn nhất khi P , Q thay đổi, tỷ số $(z_0/D) = 3,56$; $(L/D) = 3,30$, lực dính $c = 10\text{kPa}$, góc ma sát trong $\varphi = 5^\circ$.

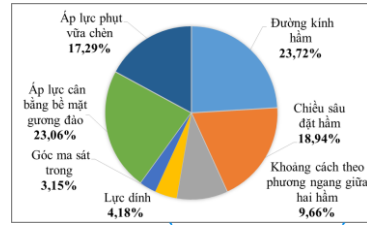
Q (kPa) \ P (kPa)	150	175	200	220	240	260	280	290
210	19,1	16,4	15,4	15,0	14,4	13,3	11,0	9,3
225	16,9	14,3	13,2	12,8	12,3	11,1	8,8	7,1
250	14,9	12,2	11,1	10,7	10,2	9,1	6,8	5,1
275	14,1	11,4	10,3	9,9	9,4	8,3	6,0	4,3
300	13,8	11,1	10,0	9,6	9,1	8,0	5,7	4,0
325	13,1	10,5	9,4	9,0	8,5	7,3	5,0	3,3
360	10,1	7,4	6,4	6,0	5,4	4,3	2,0	0,3

4.4. Phân tích độ nhạy của các yếu tố ảnh hưởng đến độ lún mặt đất do đào đường hầm bằng khiên trong đất yếu

Luận án đã tính toán độ lún mặt đất khi thay đổi luân phiên giá trị của các tham số từ nhỏ nhất đến lớn nhất. Khi đó độ lún mặt đất sẽ thay đổi từ giá trị nhỏ nhất đến lớn nhất. Chênh lệch giá trị độ lún mặt đất được tính bằng hiệu số giữa hai giá trị này của độ lún mặt đất. Độ nhạy của mỗi yếu tố sẽ bằng chênh lệch giá trị độ lún mặt đất ứng với yếu tố đó chia cho tổng chênh lệch giá trị độ lún mặt đất.

Tầm quan trọng của các yếu tố ảnh hưởng đến độ lún mặt đất được thể hiện bởi giá trị của độ nhạy. Độ nhạy càng lớn thì tầm quan trọng của yếu tố đối với độ lún mặt đất càng lớn (Hình 4.27).

Các yếu tố quan trọng nhất bao gồm: đường kính đường hầm (23,72%), áp lực cân bằng bề mặt gương đào (23,06%), chiều sâu đặt đường hầm (18,94%), áp lực phụt vữa chèn (17,29%), khoảng cách theo phương ngang giữa hai hầm (9,66%), lực dính của đất (4,18%), góc ma sát trong của đất (3,15%).



Hình 4.27: Tỷ lệ phần trăm của các yếu tố ảnh hưởng đến lún mặt đất.

4.5. Xác định các thông số hợp lý khi đào đường hầm tuyến đôi bằng khiên đào

Bài toán đặt ra là tìm các thông số hợp lý khi đào đường hầm tuyến đôi bằng khiên đào để độ lún mặt đất là nhỏ nhất.

4.5.1. Xây dựng bài toán

Luận án sử dụng phương pháp quy hoạch phi tuyến để mô hình hóa bài toán xác định các thông số hợp lý khi đào đường hầm tuyến đôi. Đó là bài toán tối ưu hoá hàm mục tiêu, tức là hàm hồi quy giữa độ lún mặt đất và các biến (yếu tố ảnh hưởng): $S_{\max}(X_j)$ đạt giá trị nhỏ nhất. Với X_j là các biến số (ẩn số) của bài toán ($j = 1 \div 6$), lần lượt là: X_1 – tỷ lệ (z_0/D); X_2 – tỷ lệ (L/D); X_3 – lực dính c ; và X_4 – góc ma sát trong φ ; X_5 – áp lực cân bằng bề mặt gương đào P ; X_6 – áp lực phụt vữa chèn Q .

Đất yếu tại khu vực tàu điện ngầm tuyến số 6 của TP.HCM có lực dính bằng 10kPa và góc ma sát trong bằng 5° . Dự kiến tuyến số 6 này sẽ được đào ngầm bên dưới hệ thống móng cọc của các tòa nhà nên chiều sâu đặt đường hầm tối thiểu phải 20m và độ sâu tối đa là 40m (vì tính kinh tế). Để bảo đảm an toàn trong quá trình thi công và hiệu quả kinh tế trong khai thác sử dụng, lựa chọn khoảng cách giữa trục hai đường hầm tối thiểu là 1,5D. Do vậy, các biến số cho bài toán tối ưu hóa này phải thỏa mãn các điều kiện ràng buộc mô tả dưới dạng hệ bất phương trình tuyến tính:

$$\begin{cases} 20m \leq z_0 \leq 40m; \\ 6,5m \leq D \leq 14m \\ 9,75m \leq L \leq 32,5m \\ 150kPa \leq P \leq 350kPa \\ 200kPa \leq Q \leq 490kPa \end{cases}$$

4.5.2. Giải bài toán

Sử dụng hàm xác định phương án tối ưu trong chương trình tính DBL3, luận án đã tìm được một phương án mà tại đó trị số hàm mục tiêu ($S_{\max}$) đạt giá trị nhỏ hơn 10mm khi đường kính hầm D không vượt quá 7,90m; độ sâu đặt hầm z_0 không nhỏ hơn 28,20m; khoảng cách phương ngang giữa hai trục hầm L không nhỏ hơn 26,10m; áp lực cân bằng bề mặt gương đào P và áp lực phụt vữa

chèn Q lần lượt không nhỏ hơn 244,6kPa và 252,8kPa. Từ đó, luận án đã xác định được các tỷ số z_0/D và L/D tối thiểu lần lượt là 3,55 và 3,30 để độ lún mặt đất không vượt quá 10mm.

4.5.3. Phân tích kết quả

Từ kết quả bên trên, đường hầm tuyến đôi đào bằng khiên đào có đường kính hợp lý $D = 7,9\text{m}$. Đường hầm tuyến đôi nên được đặt tại độ sâu 28,20m tính đến trục đường hầm. Chiều sâu đặt đường hầm này phù hợp với điều kiện thi công tuyến tàu điện ngầm số 6 – TP.HCM. Khoảng cách giữa hai trục đường hầm là 26,10m tương đương với $3,30D$. Khoảng cách này thường được lựa chọn trong các dự án thi công tuyến tàu điện ngầm và đảm bảo khoảng cách an toàn khi thi công và vận hành tuyến tàu điện ngầm số 6 TP. HCM.

4.6. Kết luận chương 4

Chương này nghiên cứu ảnh hưởng các yếu tố đến độ lún mặt đất do đào đường hầm tuyến đôi bằng khiên đào trong đất yếu trên mô hình đã lập cho thấy độ lún mặt đất tỷ lệ thuận với đường kính đường hầm, lượng tổn thất đất, sự hạ thấp mực nước ngầm và phụ tải bề mặt. Độ lún mặt đất lớn nhất có quan hệ nghịch biến với độ sâu đặt đường hầm, lực dính của đất nền, góc ma sát trong của đất nền, áp lực cân bằng bề mặt gương đào, áp lực phụt vữa chèn và chiều dài khiên đào.

Chương 4 đã ứng dụng chương trình tính DBL đã xây dựng ở chương 3 để tìm hàm hồi quy dự báo quy luật lún mặt đất do đào đường hầm bằng khiên đào trong đất yếu. Hàm hồi quy giữa độ lún mặt đất và các biến được tìm thấy dưới dạng hàm đa thức bậc 3 với mối tương quan là khá chặt chẽ, hệ số tương quan lớn hơn 0,8. Hàm hồi quy này được biểu diễn thông qua một giao diện trích xuất từ chương trình tính DBL. Sử dụng giao diện này sẽ dễ dàng dự đoán độ lún mặt đất lớn nhất tùy theo các giá trị nhập vào của các biến đầu vào.

Thông qua việc phân tích độ nhạy của các yếu tố ảnh hưởng đến độ lún mặt đất do đào đường hầm đơn bằng khiên trong đất yếu, luận án đã xác định được các yếu tố quan trọng nhất bao gồm: đường kính đường hầm áp lực cân bằng bề mặt gương đào chiều sâu đặt đường hầm, áp lực phụt vữa chèn, khoảng cách theo phương ngang giữa hai hầm, lực dính của đất góc ma sát trong của đất.

Chương này đã dự đoán được một phương án mà tại đó độ lún mặt đất là nhỏ nhất khoảng 10mm với đường kính hợp lý bằng 7,9m. Kết quả này chưa xét tới yếu tố đường kính kinh tế của đường hầm khi thi công tại TP. HCM. Đường hầm tuyến đôi nên được đặt tại độ sâu 28,2m tính đến trục đường hầm. Chiều sâu đặt đường hầm này hoàn toàn phù hợp với điều kiện thi công tuyến tàu điện ngầm số 6 – TP.HCM. Khoảng cách giữa hai trục đường hầm là 26,1m tương đương với 3,3 lần đường kính hầm thường được lựa chọn trong các dự án thi công tuyến tàu điện ngầm.

KẾT LUẬN, KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Luận án có ý nghĩa thực tiễn và khoa học:

- Đề xuất phương pháp phân tích, đánh giá và rút ra quy luật lún mặt đất do đào hầm trong môi trường đất yếu bằng phương pháp khiên đào trong giai đoạn thi công. Luận án nghiên cứu dự báo quy luật lún bề mặt đất khi đào hầm bằng khiên đào trong đất yếu.

- Kết quả nghiên cứu giúp đánh giá phân tích các ảnh hưởng của các thông số kỹ thuật và công nghệ của đường hầm và các chỉ tiêu, đặc tính của nền đất đến giá trị lún mặt đất do đào hầm bằng khiên đào trong đất yếu ở TP. HCM.

Luận án có các điểm mới khoa học như sau:

- Xây dựng được chương trình tính DBL bằng cách sử dụng hàm hồi quy để tính lún mặt đất và xác định được các thông số hợp lý khi đào đường trong đất yếu ở Thành Phố Hồ Chí Minh bằng khiên đào.

- Phân tích độ nhạy của các yếu tố ảnh hưởng đến lún mặt đất do đào đường hầm bằng khiên đào trong đất yếu.

Luận án đã thực hiện khối lượng lớn các mô hình, ứng với các thông số đầu vào khác nhau để xây dựng được mối quan hệ và định lượng ảnh hưởng của các thông số hình học, thông số công nghệ trong xây dựng hầm đến giá trị lún bề mặt đất khi thi công đường hầm.

2. Kiến nghị

- Chương trình tính DBL và mô hình số đã lập có thể được áp dụng để tính toán cho công trình đường hầm trong đất yếu tại TP. HCM và trong môi trường đất yếu có đặc tính tương tự.

- Chương trình tính DBL được viết trong phần mềm MATLAB nên người sử dụng chương trình này cần phải am hiểu về MATLAB. Vì vậy nghiên cứu sau này có thể phát triển thành phần mềm DBL để thân thiện hơn với người sử dụng.

- Phải có sự kết hợp giữa các phương pháp nghiên cứu: thực nghiệm, giải tích và phương pháp số, kết hợp với số liệu đo đạc tại hiện trường để có những đánh giá chính xác về lún bề mặt do đào hầm trong nền đất yếu.

- Cần đo đạc và kiểm soát lượng hao hụt thể tích nền đất khi đào hầm.

- Với đường hầm đặt sâu khoảng 28,2m ở khu vực tuyến tàu điện ngầm số 6 – TP. HCM, cần phải xác định chính xác phạm vi ảnh hưởng và đề xuất biện pháp xử lý thích hợp của các công trình bị ảnh hưởng.

- Cần phải có một nghiên cứu hoàn chỉnh hơn về tối ưu hóa đa mục tiêu: độ lún nhỏ nhất, đường kính hầm kinh tế nhất, chiều dài tuyến ngắn nhất,

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ

1. Trần Quý Đức, Vũ Trọng Hiếu, Lê Bảo Quốc (2015), “*Ảnh hưởng của quá trình thi công công trình ngầm đối với kết cấu công trình nổi lân cận*”, Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật - Học viện KTQS, số 168 tháng 6/2015.
2. Trần Quý Đức, Lê Đình Tân, Thân Văn Văn (2017), “*Dự đoán lún mặt đất của môi trường đất yếu xung quanh khi thi công metro số 6 TP HCM*”, Tạp Chí Xây Dựng Việt Nam, số tháng 2/2017.
3. Trần Quý Đức, Lê Đình Tân, Thân Văn Văn, Lê Bảo Quốc (2017), “*Trường biến dạng xung quanh đường hầm đơn trong nền đất yếu ở Thành phố Hồ Chí Minh*”, Tạp Chí Xây Dựng Việt Nam, số tháng 3/2017.
4. Trần Quý Đức, Nguyễn Tương Lai, Lê Bảo Quốc (2017), “*Phân tích ảnh hưởng của hao hụt thể tích nền đất đến lún mặt đất do đào hầm trong đất yếu*”, Tạp Chí Xây Dựng Việt Nam, số tháng 4/2017.
5. Trần Quý Đức, Nguyễn Tương Lai, Lê Bảo Quốc, Thân Văn Văn (2017), “*Ảnh hưởng của các yếu tố quan trọng đến lún mặt đất do đào đường hầm bằng khiên đào trong đất yếu ở TP Hồ Chí Minh*”, Tạp Chí Xây Dựng Việt Nam, số tháng 12/2017.