■Ngày nhận bài: 10/7/2023 ■Ngày sửa bài: 17/8/2023 ■Ngày chấp nhận đăng: 22/9/2023

Nghiên cứu biến dạng mặt đường trong giải pháp khoan kích ngầm hệ thống xử lý nước

Study on surface road deformation under underground drilling solutions for water treatment systems

> NGUYỄN NGỌC THẮNG[1], PHẠM TRUNG DƯƠNG[2]
[1]Khoa Kỹ thuật Công nghệ, Trường Đại học Tiền Giang; Email: nguyenngocthang@tgu.edu.vn
[2]Khoa Công nghệ, Trường Đại học Kinh tế công nghiệp Long An

TÓM TẮT

Một vấn đề chung được đặt ra khi xây dựng các công trình ngầm là sự ảnh hưởng của nó đối với môi trường đất xung quanh trong và sau quá trình thi công. Việc xác định lún bề mặt là vấn đề rất quan trọng cần được quan tâm khi thi công, đặc biệt là các công trình ngầm được xây dựng trong đô thị do có rất nhiều các công trình kiến trúc, nhà cửa, kết cấu hạ tầng kỹ thuật v.v... nằm lân cận trong khu vực xây dựng. Lún bề mặt, tùy thuộc vào mức độ, phạm vi ảnh hưởng, hướng và tốc độ phát triển, có thể gây tác động xáo trộn trạng thái của các công trình này, làm thay đổi chức năng sử dụng và nguy hiểm hơn, có thể phá hủy kết cấu gây mất ổn định công trình.

Từ khóa: Khoan kích ngầm; biến dạng; lún; Plaxis 3D Tunnel; PTHH.

ABSTRACT

A common issue encountered during the construction of underground projects is its impact on the surrounding soil environment both during and after the construction process. Determining surface deformation is a crucial parameter that must be taken into account, particularly for underground projects constructed in urban areas. This is because there are numerous architectural constructions, residences, and infrastructure projects located nearby within the construction zone. Surface deformation, depending on its level, extent of influence, direction, and rate of development, can disrupt the integrity of these structures, alter their intended function, and, more critically, lead to structural damage and instability.

Keywords: Underground drilling; deformation; settlement; Plaxis 3D Tunnel; FEM.

1. GIỚI THIỆU CÔNG NGHỆ KHOAN KÍCH NGẦM

1.1. Giới thiệu công nghệ khoan kích đẩy

Theo định nghĩa của Hiệp hội kỹ sư xây dựng Hoa Kỳ có thể hiểu công nghệ kích đẩy ống như sau: Công nghệ kích đẩy là một hệ thống gồm nhiều đốt ống được lắp đặt trực tiếp ở phía sau một khiên đào, được đẩy đi bằng hệ kích thủy lực, từ một giếng kích đẩy đến một giếng nhận để tạo thành một công trình ngầm liên tục trong lòng đất. Những đặc điểm chung nhất của công nghệ kích đẩy ống là: (1) Được điều khiển từ xa; (2) Có hệ thống dẫn hướng; (3) Được kích đẩy theo hướng tuyến đã định và (4) Đất nền được chống đỡ liên tục.

1.2. Lún bề mặt và phương pháp xác định lún bề mặt

Do lực kích đẩy ống tác dụng trong quá trình kích đẩy có phương nằm ngang nên việc xác định lún theo phương thẳng đứng của công trình ngầm được thi công theo công nghệ kích đẩy chủ yếu phụ thuộc vào loại thiết bị được sử dụng trong quá trình đào hầm.

1.2.1. Các nguyên nhân gây lún bề mặt

Thiết bị chủ yếu được sử dụng để đào hầm trong quá trình thi công kích đẩy là khiên đào hoặc máy đào tổ hợp TBM (**T**unnel **B**oring **M**achine). Do đó, lún bề mặt có thể phân ra làm 4 nhóm sau:

1) Lún ở phía trước và phía trên gương đào: Gây ra bởi sự dịch chuyển của đất ở phía trước và trên khu vực khiên đào về phía khoảng trống vừa tạo ra;

2) Lún dọc theo trục khiên đào: Do 2 nguyên nhân chủ yếu là do khoảng hở giữa khối đất và thành máy khiên đào và ma sát giữa khiên đào với khối đất;

3) Lún tại đuôi khiên đào: Do một khoảng hở phát triển giữa đuôi khiên đào với khối đất bao quanh;

4) Lún liên quan đến biến dạng của lớp vỏ hầm: Các phân đốt bê tông đúc sẵn được lắp đặt phía trong lớp vỏ khiên ở phía đuôi có thể bị biến dạng khi chịu lực đẩy của kích và áp lực đất, gây lún bề mặt.

1.2.2. Các phương pháp tính lún

Có hai phương pháp tính lún bề mặt đất đang được sử dụng phổ biến là phương pháp kinh nghiệm và bán kinh nghiệm /giải tích dựa trên các công thức kinh nghiệm được rút ra từ kết quả quan trắc tại các công trình cũ và đã được chứng minh là tương đối phù hợp qua các ứng dụng thực tế và phương pháp số là phương pháp khá phổ biến hiện nay, hoặc kết hợp cả hai phương pháp trên.

Phương pháp giải tích: Có nhiều nghiên cứu đã được tiến hành để xây dựng phương trình xác định lún bề mặt như các nghiên cứu của Peck và Schmidt, Cording và Hansmire, Atkinson và Potts, Attewell và Woodman, O'Reilly và New, v.v…

Phương pháp số: Với sự phát triển mạnh mẽ của công cụ máy tính, phương pháp số ngày càng chiếm ưu thế trong những năm gần đây. Rõ ràng việc ứng dụng phương pháp số trong việc giải quyết vấn đề lún mặt đất gây ra bởi quá trình đào hầm là thích hợp nhất. Phương pháp số không chỉ được sử dụng để dự đoán lún bề mặt mà còn mô tả toàn bộ quá trình thiết kế hầm, bao gồm việc mô phỏng các giai đoạn đào hầm và đặt các đốt hầm, sự tương tác giữa các đốt hầm đã đặt với đất đá xung quanh, ảnh hưởng của các công trình đặt gần đó, ảnh hưởng của hiện tượng thấm và hiện tượng cố kết, v.v…

2. CÔNG TRÌNH NGHIÊN CỨU

2.1. Giới thiệu công trình

Tên công trình: Dự án cải thiện môi trường nước TP.HCM.

Địa điểm xây dựng: Khu vực phía Tây, bờ trái kênh Tàu Hũ; Khu vực cù lao quận 8; Khu vực phía Nam quận 8; Khu vực Quận 4,TP.HCM.

2.2. Phương pháp thi công

2.2.1. Các bước trong quá trình thi công

Bắt đầu cắt lỗ thăm dò tại giếng kích, sau khi đã xác định không có hiện tượng sụt lở đất hoặc không nằm trong phạm vi mạch nước ngầm, bước tiếp theo sẽ tiến hành cắt mở cửa hầm. Trước khi cắt mở cửa hầm phải bơm chất phụ gia gia cố nền đất. Sau khi hoàn thành cắt cửa hầm, công tác gắn vòng gioăng cao su chống thấm nước được diễn ra. Sau khi vận hành kiểm tra, máy khoan bắt đầu được kích vào, bùn đặc sẽ được chuyển tới đầu máy khoan và tiến hành khoan kích.

Từ đầu máy khoan, bùn thải được hút lên bể chứa bùn thải và được xe hút bùn đưa ra khỏi công trường. Độ lệch của máy khoan sẽ được người điều khiển xác định bằng cách dùng máy đo kinh vĩ hoặc máy đo nước để điều chỉnh máy khoan theo thiết kế ban đầu.

Khi kích đẩy máy khoan vào cửa hầm, do máy khoan có tải trọng lớn nên dễ bị chúc xuống dưới. Do vậy thao tác điều khiển máy bao giờ cũng phải cẩn trọng. Bùn sẽ được chuyển đến đầu máy khoan, tại đây, lưỡi cắt sẽ trộn bùn đất và dung dịch bùn, tạo thành dung dịch hỗn hợp và giữ sự ổn định của mặt cắt.

2.2.2. Công tác quản lý thi công

Ví trí máy khoan được xác định, tính toán bằng khoảng cách và góc độ từ tọa độ mực nước biển. Điểm tiêu chuẩn sẽ được thiết lập tại giếng kích, tuy nhiên trong quá trình khoan kích, tường chịu lực sẽ chịu lực kích, tạo ra một số chấn động nhỏ. Do đó, công tác kiểm tra tọa độ của mặt đất sẽ được thực hiện thường xuyên.

Máy toàn đạc, máy đo kinh vĩ sẽ được lắp đặt tại giếng kích để có thể nhìn được điểm mục tiêu tại đầu máy khoan.

Với đoạn kích cong, khi không thể nhìn thấy điểm mục tiêu từ giếng kích, máy đo sẽ được lắp đặt trong ống kích để đảm bảo quá trình đo đạc.

2.2.3. Quản lý mặt cắt

Áp lực mặt cắt, sẽ được quản lý bằng đồng hồ đo áp lực và phụ thuộc vào thao tác trích /chiết bùn thải, giá trị trung bình của áp lực giới hạn và áp lực tối thiểu.

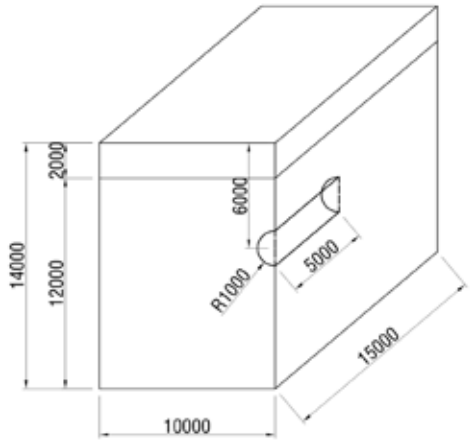
Việc quyết định áp lực giới hạn và áp lực tối thiểu phụ thuộc vào áp lực nước ngầm.

3. TÍNH TOÁN MÔ PHỎNG

3.1. Mô hình phân tích

Đường hầm trong trường hợp này được thi công bằng TBM với chiều dài 5,0m và đường kính là 2,0m. Mực nước ngầm -2,0m. Trong mô hình, chỉ một nửa trục đối xứng được mô hình. Mô hình có chiều rộng 10m, kéo dài 15m theo trục z và sâu 14m. Với những kích thước này, mô hình đủ lớn để có thể cho phép xảy ra sụt đổ cơ học và ngăn ngừa các ảnh hưởng từ biên của mô hình.

Đường hầm đào qua 2 lớp đất, lớp cát yếu trên cùng có chiều dày 2m, bên dưới lớp cát yếu là lớp đất sét có chiều dày 12m. Do đó, đáy của mô hình là 14m.



Hình 1. Mô hình đường hầm

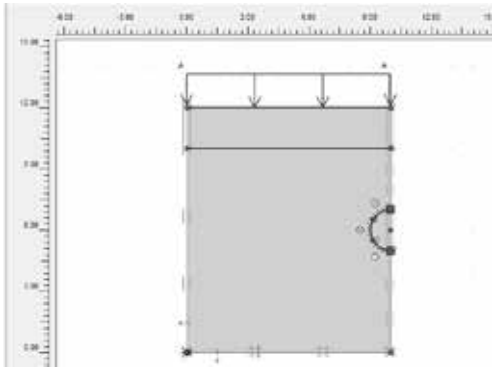
Giới thiệu hệ thống TBM: Hệ thống TBM là thiết bị chuyên dụng dùng để đào trong hầu hết các loại nền đất dưới các điều kiện địa chất, thủy văn khác nhau. Có nhiều loại TBM khác nhau, từ TBM thi công trong đá cứng tới khiên thi công trong đất yếu, từ khiên đầu hở đến khiên đầu quay kín.

Các hệ thống TBM được phân loại theo điều kiện địa chất, môi trường làm việc trong nước, đường kính hầm đào và phương pháp chống đỡ mặt đào, cụ thể ở đây là cấu tạo địa chất của nền đất sẽ đào qua và đặc tính dòng thấm có thể xuất hiện tại mặt đào và trong lòng đường hầm. Hai loại khiên thường dùng trong đất đá từ bùn sét đến cuội sỏi là khiên vữa nén và khiên cân bằng áp lực đất EPB (Earth Pressure Balanced).

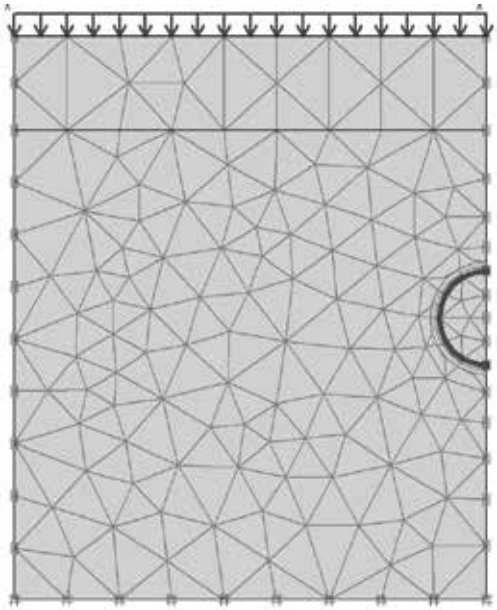
Khiên vữa nén là khiên dùng vữa thường bentonite kết hợp với khí nén để cân bằng áp lực nước và đất tại mặt đào. Khiên EPB là khiên có buồng kín ở đầu dùng ngăn nước và đất để cân bằng áp lực nước ngầm hoặc áp lực phá hoại đất tại mặt đào. Xuất phát từ yêu cầu chống đỡ kết cấu vòm trần và mặt hầm đào phụ thuộc vào khả năng chống đỡ tự nhiên hay cần có kết cấu chống đỡ kết hợp mà đường kính đường hầm ảnh hưởng đến quyết định lựa chọn loại khiên TBM.

Các bộ phận của hệ thống TBM: Hệ thống TBM là hệ thống thi công liên hoàn. Hệ thống TBM được trang bị đầy đủ có thể đào được đường hầm dài hàng nghìn mét và được chế tạo với các chức năng cắt, đẩy, lái, làm mát, khoan dẫn hướng, chống đỡ và kiểm soát nền, lắp ghép vỏ hầm, di dời đất đào, thông gió và cấp điện... Tất cả những hạng mục này đều được bố trí nằm ở phần đầu, còn các hạng mục khác như hệ thống toa xe, nguồn điện và đặt ống dẫn thông gió được bố trí phía sau máy.

Khi phân tích các bài toán 3D, điều quan trọng nhất là phải tạo ra mô hình mặt cắt ngang 2D trước tiên. Mặt cắt ngang mô hình là 2D biểu diễn cho bài toán 3D sẽ bao gồm các điểm, đường và miền. Mặt cắt ngang mô hình cũng biểu diễn các lớp đất đá, công trình, các giai đoạn xây dựng và tải trọng tác dụng. Mô hình phải đủ lớn để đường biên không ảnh hưởng tới kết quả nghiên cứu. Mô hình mặt cắt ngang được tạo ra từ 3 thành phần cơ bản sau: Điểm (Points), Đường thẳng (Lines) và Miền (Clusters).

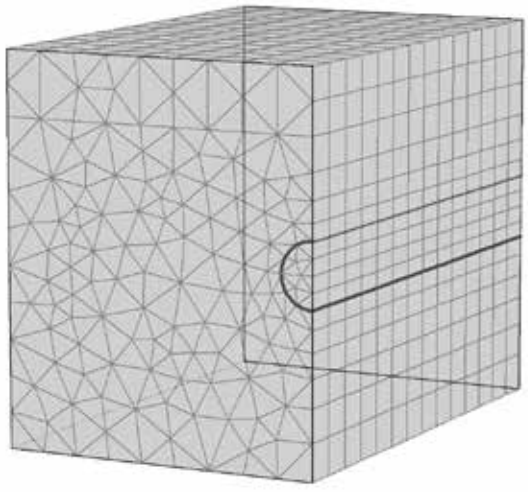


Hình 2. Mô hình PTHH đường cống ngầm



Hình 3. Lưới phần tử hữu hạn 2D

Sau khi tạo ra dạng hình học của mô hình, phần tử hữu hạn lưới 2D gồm có 6 nút tam giác có thể tự động được tạo ra, trên cơ sở sự sắp xếp của miền và đường thẳng trong mô hình hình học. Nếu lưới 2D là thỏa mãn, có thể tạo ra lưới 3D bằng cách chỉ rõ các toạ độ theo trục z cho tất cả các mặt phẳng thẳng đứng để tạo ra mô hình 3D.



Hình 4. Lưới phần tử hữu hạn 3D

Bảng 3. Thông số các lớp đất trong mô hình Plaxis 3D Tunnel

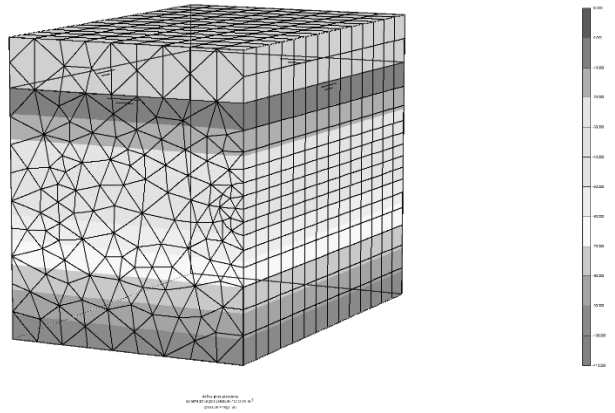
STT	Tham số	Ký hiệu	Lớp 1	Lớp 2
1	Mô hình	Model	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb
2	*Ứng xử vật liệu*	*Type*	*Drained*	*drained*
3	Dung trọng tự nhiên (kN/m^3)	γ_{unsat}	17,0	16,0
4	Dung trọng bão hòa (kN/m^3)	γ_{sat}	20,0	18,0
5	Mô đun tổng biến dạng, E (kN/m^2)	E	1,3x10^4	1,0x10^4
6	Hệ số Poisson (-)	ν	0,3	0,35
7	Cường độ kháng cắt (kN/m^2)	c	1,0	5,0
8	Góc ma sát trong (^{0})	φ	31^o	25^o
9	Góc dãn nở (^{0})	ψ	1^o	0^o

Bảng 4. Thông số vật liệu của TBM

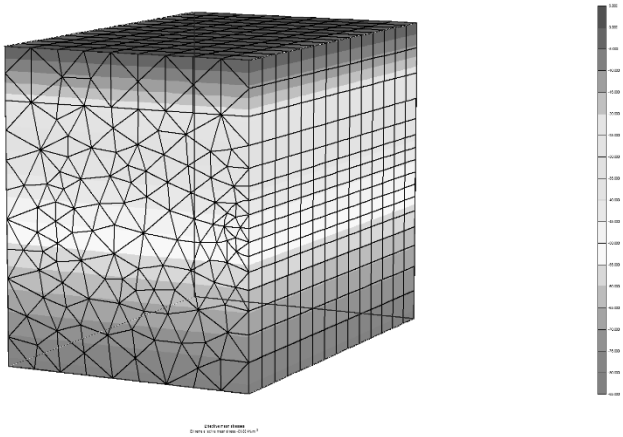
STT	Tham số	Ký hiệu	Giá trị
1	Mô hình	Model	Mohr - Coulomb
2	*Ứng xử vật liệu*	*Type*	*Elastic*
3	Độ cứng (kN/m)	EA	8,20x10^6
4	Khả năng chống uốn (kNm^2/m)	EI	8,38x10^4
5	Độ dày quy đổi (m)	d	0,35
6	Trọng lượng kN/m^2/m	w	38,15
7	Hệ số Poisson (-)	ν	0,200

Đường hầm giả định là được thi công trong một giai đoạn (đào toàn tiết diện). Tương tác giữa TBM và đất được mô hình bằng mặt tiếp xúc. Mặt tiếp xúc cho phép giảm ma sát so với độ bền của đất. Áp lực gương hầm được mô hình bằng tải trọng z áp dụng trong giai đoạn thi công.

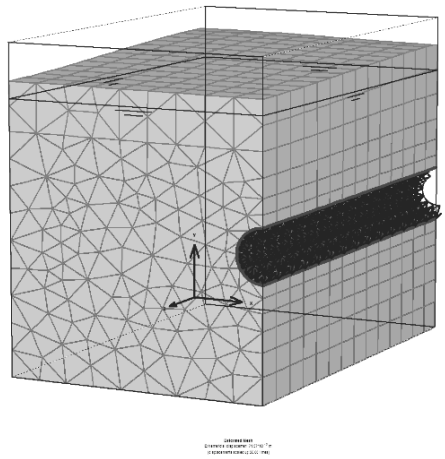
3.2. Kết quả mô phỏng



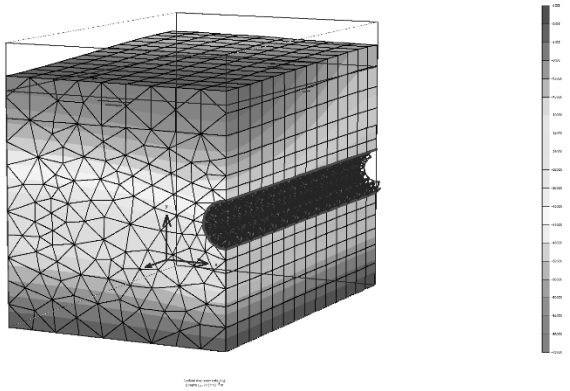
Hình 5. Áp lực nước lỗ rỗng ban đầu



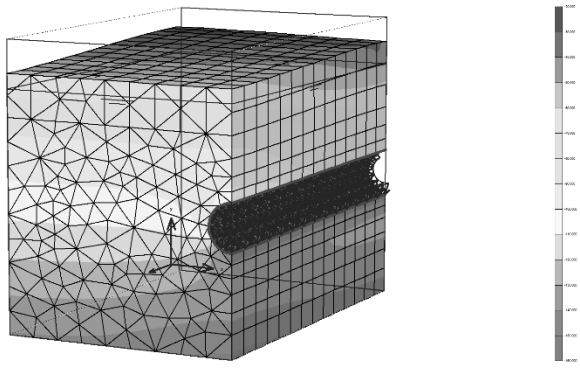
Hình 6. Áp lực đất ban đầu



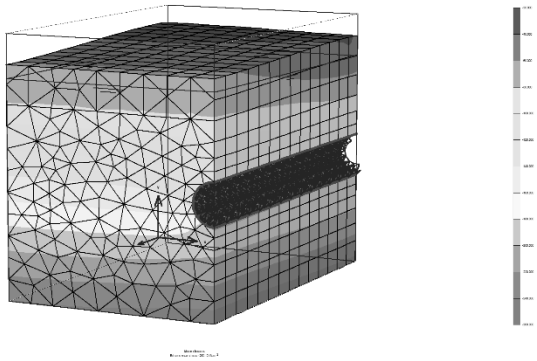
Hình 7. Chuyển vị của nền đất



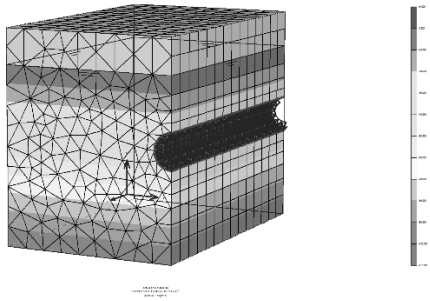
Hình 8. Tổng chuyển của nền đất



Hình 9. Chuyển vị theo phương đứng của nền đất



Hình 10. Sự phân bố ứng suất trong nền đất



Hình 11. Áp lực nước lỗ rỗng

Phương pháp phần tử hữu hạn là phương pháp số phổ thông nhất trong việc ước tính lún bề mặt do thi công hầm. Khi mô hình hóa và dự báo phát triển lún bề mặt bằng một phần mềm địa kỹ thuật chuyên dụng, cần có các số liệu đầu vào như: kích thước hình học; tính chất vật liệu của hệ thống chống đỡ, phương pháp thi công, điều kiện địa chất… Các kết quả đầu ra, ngoài biến dạng lún mặt đất, còn bao gồm cả nội lực trong vỏ hầm (lực dọc và mô men uốn dùng để thiết kế cốt thép trong vỏ hầm), và các sơ đồ phân bố ứng suất.

4. KẾT LUẬN

Qua phân tích mặt đường giao thông trên các hệ thống xử lý nước bằng hình thức khoan kích ngầm với phương pháp phần tử hữu hạn cho thấy mặt đường bị chuyển vị theo phương đứng là 71,57mm.

Việc thi công xây dựng các đường hầm trong các thành phố lớn ở Việt Nam đang trở thành xu thế tất yếu để giảm tải sự quá tải của hệ thống giao thông trên mặt đất và tận dụng khả năng sử dụng không gian ngầm. Tuy nhiên, việc xây dựng ngày nay mang tính đi theo khi đã có các thiết kế và các công trình khác xây dựng trên mặt đất trước đó. Việc đánh giá, phân tích ổn định bằng các lời giải lý thuyết cho các bài toán có các công trình bên trên, đặc biệt là mặt đường phía trên đường hầm trở nên rất khó khăn.

Plaxis 3D Tunnel là công cụ rất hữu ích để phân tích, tính toán ổn định một cách có hiệu quả đối với các dạng công trình xây dựng ngầm. Kết quả cũng như độ chính xác của chương trình đã được kiểm nghiệm, đây cũng là một trong những phần mềm số sử dụng lời giải của phương pháp phần tử hữu hạn là phương pháp gần đúng, nên khi tính toán cần kiểm tra chính xác các số liệu đầu vào, với tiện ích của mình trong thời gian tới các bài toán ổn định của các đường hầm nằm nông gần bề mặt đất có thể được đơn giản hóa lời giải.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] A.P. Moser and Steven Folkman, *Buried Pipe Design*, third edition, 2008.

[2] American Association of State Highway and Transportation Officials, *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*, 2007

[3] Department of the Army, U.S Army Corps of Engineers, *Engineer Manual 11102-2902*, 1998

[4] IU.S. Frôlốp, D. M. Gôlitsưnski và A. P. Lêđiaép, *Công trình ga và đường tàu điện ngầm*, NXB Xây dựng, 2005.

[5] Junsuk Kang, *Soil Structure Interaction and Imperfect Trench Installations as Applied to Deeply Buried Conduits*, Degree of Doctor of Philosophy at Auburn University in Partial Fulfillment, 2007.

[6] L. V. Makốpski, *Công trình ngầm giao thông đô thị*, NXB Xây dựng, 2004.

[7] Nguyễn Văn Quảng và Nguyễn Đức Nguôn, *Tổ chức khai thác không gian ngầm*, NXB Xây dựng, 2006.

[8] TCN 211-06: *Tiêu chuẩn thiết kế áo đường.*

[9] TCVN 4054:2005: *Tiêu chuẩn thiết kế đường ô tô.*

[10] Trần Thanh Giám và Tạ Tiến Đạt, *Tính toán thiết kế công trình ngầm*, NXB Xây dựng, 2022.

[11] Trịnh Bốn và Lê Hòa Xướng, *Thiết kế cống*, NXB Nông nghiệp, 1988.