

TỔNG BIÊN TẬP
GS. TS. NGUYỄN TRƯỜNG TIẾN

PHÓ TỔNG BIÊN TẬP
PGS.TS. NGHIÊM HỮU HẠNH
PGS.TS. ĐOÀN THẾ TƯỜNG

HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP

PGS.TS. ĐÀO VĂN CANH
PGS.TS. ĐẶNG HỮU DIỆP
PGS.TS. PHÙNG MẠNH ĐẮC
GS.TSKH. BÙI ANH ĐỊNH
PGS.TS. LÊ PHƯỚC HẢO
PGS.TS. PHẠM QUANG HÙNG
PGS.TS. NGUYỄN BÁ KẾ
TS. PHÙNG ĐỨC LONG
GS. NGUYỄN CÔNG MẮN
PGS.TS. NGUYỄN HỒNG NAM
PGS.TS. NGUYỄN SỸ NGỌC
GS.TS. VŨ CÔNG NGŨ
GS.TS. MAI TRỌNG NHUẬN
PGS.TS. VÕ PHẤN
PGS.TS. NGUYỄN HUY PHƯƠNG
PGS.TS. NGUYỄN VĂN QUANG
GS.TSKH. NGUYỄN VĂN QUẢNG
PGS.TS. ĐOÀN MINH TÂM
GS.TS. TRẦN THỊ THANH
PGS.TS. VƯƠNG VĂN THÀNH
GS.TS. LÊ ĐỨC THẮNG
PGS.TS. TRẦN XUÂN THỌ
TS. ĐINH NGỌC THÔNG
GS.TSKH. NGUYỄN VĂN THƠ
PGS.TS. TRỊNH MINH THỤ
TS. NGUYỄN ĐÌNH TIẾN
GS.TS. ĐỖ NHƯ TRÁNG
TS. TRẦN VĂN TƯ
TS. TRẦN TÂN VĂN
GS.TSKH. PHẠM XUÂN

Giấy phép xuất bản số 1358/GPXB -
Ngày 8-6-1996, Bộ Văn hóa - Thông tin
Cơ quan xuất bản: Viện Địa kỹ thuật
(Liên hiệp các Hội KH&KT Việt Nam)
38 phố Bích Câu - Đống Đa - Hà Nội
Tel: 04. 22141917, 22108643; Fax: 04.37325213
Email: tapchidkt@yahoo.com.vn; viendkt@vusta.vn
Website: www.vgi-vn.com
Xuất bản 3 tháng 1 kỳ
Nộp l-u chiếu: tháng M- ời Hai 2012
In tại Công ty in Thủy lợi

Giá: 20.000 đ

Tạp chí ĐỊA KỸ THUẬT

ISSN - 0868 - 279X
NĂM THỨ 16
SỐ 4 NĂM 2012

MỤC LỤC

TRẦN XUÂN THỌ, TRƯƠNG TRỌNG QUÝ: Dự báo độ gia tăng sức kháng cắt không thoát n-ớc của đất nền trong quá trình gia tải	3
LÊ HOÀNG VIỆT, BÙI TRƯỜNG SƠN: Đánh giá chuyển vị ngắn hạn và lâu dài của nền đất yếu d-ới công trình đắp trên cơ sở lý thuyết đàn hồi	14
LÊ THỌ THANH, TRẦN NGUYỄN HOÀNG HÙNG: Phân tích công nghệ thiết bị khoan phụt vữa cao áp (Jet Grouting) trên thế giới	20
PHAN HUY ĐÔNG, KIMITOSHI HAYANO: Giải pháp mới xử lý đất bùn nạo vét thành vật liệu dạng hạt dùng trong xây dựng	29
TRẦN TUẤN MINH, NGUYỄN DUYÊN PHONG: Nghiên cứu quy luật phân bố ứng suất - biến dạng và đ-ờng cong lún sụt bề mặt đất xung quanh các đ-ờng hầm tiết diện nhỏ khi thay đổi đ-ờng kính và độ sâu đặt đ-ờng hầm	39
KIỀU KIM TRÚC: Xây dựng cơ sở dữ liệu địa cơ mỏ (Áp dụng cho mỏ than Đèo Nai)	48
TRẦN QUỐC THỊNH, NGHIÊM HỮU HẠNH: Ph-ong pháp đồ giải tính toán ổn định mái dốc đá đối với kiểu tr-ợt nêm Olympic cơ học đất	53
	58

EDITOR-IN-CHIEF

Prof.,Dr. NGUYEN TRUONG TIEN

DEPUTY EDITORS-IN-CHIEF

Assoc. Prof., Dr. NGHIEM HUU HANH

Assoc. Prof.,Dr. DOAN THE TUONG

EDITORIAL BOARD

Assoc.Prof. Dr. DAO VAN CANH
 Assoc. Prof.,Dr. DANG HUU DIEP
 Assoc.Prof. Dr. PHUNG MANH DAC
 Prof.,D.Sc. BUI ANH DINH
 Assoc. Prof.,Dr. LE PHUOC HAO
 Assoc. Prof., Dr. PHAM QUANG HUNG
 Assoc. Prof.,Dr. NGUYEN BA KE
 Dr. PHUNG DUC LONG
 Prof. NGUYEN CONG MAN
 Assoc. Prof. Dr. NGUYEN HONG NAM
 Assoc. Prof.,Dr. NGUYEN SY NGOC
 Prof.,Dr. VU CONG NGU
 Prof.,Dr. MAI TRONG NHUAN
 Assoc. Prof.,Dr. VO PHAN
 Assoc. Prof.,Dr. NGUYEN HUY PHUONG
 Assoc. Prof.,Dr. NGUYEN VAN QUANG
 Prof.,D.Sc. NGUYEN VAN QUANG
 Assoc., Prof. Dr. DOAN MINH TAM
 Prof., Dr. TRAN THI THANH
 Assoc. Prof.,Dr.VUONG VAN THANH
 Prof.,Dr. LE DUC THANG
 Assoc. Prof., Dr. TRAN XUAN THO
 Dr. DINH NGOC THONG
 Prof.,D.Sc. NGUYEN VAN THO
 Assoc. Prof. Dr. TRINH MINH THU
 Dr. NGUYEN DINH TIEN
 Prof., D. DO NHU TRANG
 Dr. TRAN VAN TU
 Dr. TRAN TAN VAN
 Prof.,D.Sc. PHAM XUAN

Printing licence No 1358/GPXB
 dated 8 June 1996 by the Minister of Culture and Information
 Published by the Vietnam Geotechnical Institute (Vietnam
 Union of Science and Technology Associations)
 Add: 38 Bich Cau, Dong Da, Hanoi
 Tel: 04.22141917, 22108643, Fax: 04. 37325213
 Email: tapchidkt@yahoo.com.vn; viendkt@vusta.vn
 Website: www.vgi-vn.com
 Copyright deposit: December 2012

VIETNAM GEOTECHNIAL JOURNAL

ISSN - 0868 - 279X

VOLUME 16

NUMBER 4 - 2012

CONTENTS

TRAN XUAN THO; TRUONG TRONG QUI: Estimation of the increase of undrained shear strength of ground soils during pre-loading work	3
LE HOANG VIET; BUI TRUONG SON: Assessment of short –term and long-term displacement on the basis of elastic theory	14
LE THO THANH;TRAN NGUYEN HOANG HUNG: Jet grouting technology, overview and analysis	20
PHAN HUY DONG; KIMITASHI: New solution on treatment of dredged muddy clay for producing construction materials (granular soils).	29
TRAN TUAN MINH;NGUYEN DUYEN PHONG: Study on distribution rule of stress deformation and subsidence curve of ground surface surrounding small sized tunnels with changing diameter and the depth where tunnel to be built.	39
KIEU KIM TRUC: Setting up Geotechnical database (Case study of the Deonai coal pit mine)	48
TRAN QUOC THINH; NGHIEM HUU HANH: Method of geometry analysis for calculating rock slope stability to deal with wedge sliding	53
Olympic on Soil Mechanics	58

NGHIÊN CỨU QUY LUẬT PHÂN BỐ ỨNG SUẤT BIẾN DẠNG VÀ ĐƯỜNG CONG LÚN SỤT BỀ MẶT ĐẤT XUNG QUANH CÁC ĐƯỜNG HẦM TIẾT DIỆN NHỎ KHI THAY ĐỔI ĐƯỜNG KÍNH VÀ ĐỘ SÂU ĐẶT ĐƯỜNG HẦM

TRẦN TUẤN MINH, NGUYỄN DUYÊN PHONG*

Study on distribution rule of stress deformation and subsidence curve of ground surface surrounding small sized tunnels with changing diameter and the depth where tunnel to be built.

Abstract: This paper presents the distribution rule of stress failure (deformation) and the process of setting up of subsidence curve of ground surface surrounding the walls of the small sized tunnels when the diameter and the depth where tunnels have been built were changed

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, việc thi công xây dựng các đường hầm có tiết diện nhỏ (đường kính thường nhỏ hơn 2,5m) trong các khu vực dân cư và thành phố ở Việt Nam ngày càng được ưu tiên quan tâm nhiều trong thời gian gần đây. Các đường hầm tiết diện nhỏ này có thể được sử dụng làm các đường hầm dẫn cáp điện, kỹ thuật, cấp, thoát nước hoặc làm một số công dụng khác. Để thi công xây dựng các đường hầm này có thể sử dụng các phương pháp khai đào lộ thiên, nhóm phương pháp kích đẩy hoặc các khiên đào tiết diện nhỏ chuyên dụng. Tuy nhiên, ngày nay việc hiểu biết đến sự thay đổi trạng thái ứng suất - biến dạng xung quanh các đường hầm tiết diện nhỏ còn ít được quan tâm chú ý, đặc biệt là khi đường hầm bắt buộc khai đào bằng phương pháp ngầm trong điều kiện thành phố, khu vực nhà cửa đông dân cư mà nhóm phương pháp khai đào lộ thiên không thể áp dụng được. Bài báo này giới thiệu việc nghiên cứu quy luật ứng suất - biến dạng xung quanh đường hầm tiết diện nhỏ khi thay đổi đường kính và độ sâu đặt công trình. Ngoài ra cũng giới thiệu việc xây

dựng quy luật và xác định độ lún bề mặt trong khi xây dựng các đường hầm tiết diện nhỏ.

2. ẢNH HƯỞNG CỦA SỰ THAY ĐỔI ĐƯỜNG KÍNH VÀ ĐỘ SÂU ĐẶT ĐƯỜNG HẦM

Thông thường đường hầm tiết diện nhỏ đặt ở gần bề mặt đất thường nằm trong vùng đất đá yếu nên có thể nói nó được khai đào trong môi trường không phải là đàn hồi mà có thể là đàn hồi dẻo hoặc môi trường dẻo. Các phương pháp lý thuyết trong môi trường dẻo thường sử dụng cho đường hầm dạng tròn, theo Bray (Goodman, 1989) thì giá trị ứng suất trong vùng đàn hồi với đường hầm tiết diện tròn có áp lực $p_1 = p_2 = p$ có thể được xác định theo công thức sau:

$$\sigma_r = p - \frac{b}{r^2} \quad (1)$$

$$\sigma_\theta = p + \frac{b}{r^2}$$

Trong đó giá trị b được xác định theo công thức sau:

$$b = \left[\frac{\left\{ \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) - 1 \right\} \cdot p + \sigma_n}{\operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) + 1} \right] R^2 \quad (2)$$

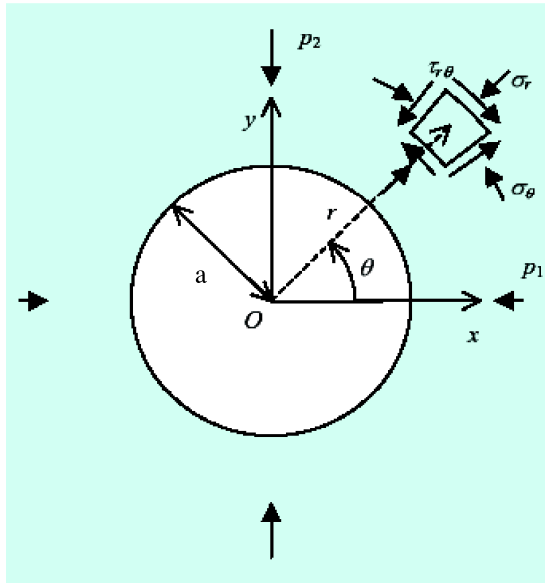
Ở đây φ là góc ma sát trong của đất đá

Khi đường hầm có áp lực bên trong p_i thì trong vùng dẻo các giá trị ứng suất được xác định theo công thức sau:

* Trường đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội
Đông Ngạc, Từ Liêm, Hà Nội
Email: tuanminhhung@yahoo.com

$$\sigma_r = (p_i + C_i \cot g\varphi_i) \left(\frac{r}{a}\right)^Q - C_i \cot g\varphi_i \quad (3)$$

$$\sigma_\theta = (p_i + C_i \cot g\varphi_i) \frac{tg\psi}{tg(\psi - \varphi_i)} \left(\frac{r}{a}\right)^Q - C_i \cot g\varphi_i$$



Hình 1. Sơ đồ bài toán của Bray (Goodma, 1980)

Trong đó: C_i - cường độ lực dính kết dư, MPa; $\psi = 45 + \varphi/2$; $Q = \frac{tg\psi}{tg(\psi - \varphi)} - 1$

Và bán kính vùng biến dạng dẻo được xác định bằng công thức sau:

$$R_d = a \left[\frac{2p - \sigma_n + \left\{1 + tg^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)\right\} C_i \cot g\varphi}{\left\{1 + tg^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)\right\} (p_i + C_i \cot g\varphi)} \right]^{\frac{1}{Q}} \quad (4)$$

Ở đây:

R_d - bán kính vùng đàn hồi dẻo

a - bán kính đường hầm

r - khoảng cách từ tâm hầm đến độ âm đang xét

p - áp lực bên ngoài đường hầm

p_i - áp lực bên trong đường hầm

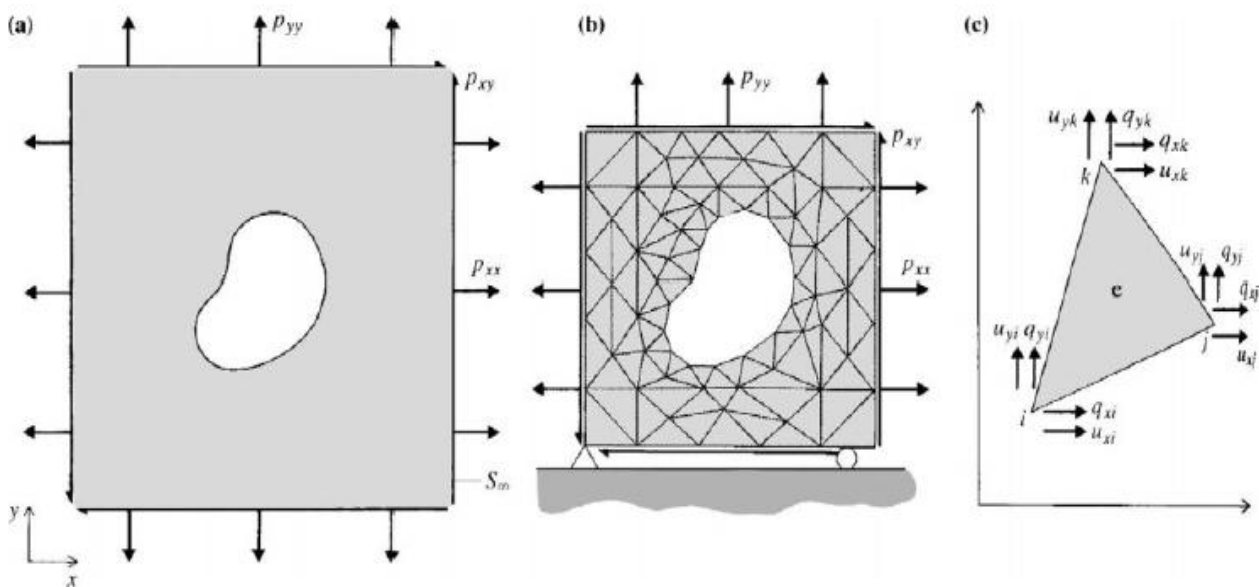
σ_n - độ bền nén đơn trục của đất đá (UCS)

φ - góc ma sát trong của đất đá

ψ - góc ma sát trong dư

3. MÔ HÌNH PHÂN TÍCH SỐ

Trong phần này sẽ trình bày việc sử dụng phương pháp số phần tử hữu hạn trên cơ sở phần mềm số Phase 2 thiết lập các quy luật biến đổi cơ học xung quanh các đường hầm tiết diện nhỏ khi thay đổi đường kính và độ sâu đặt đường hầm, cũng như xác định quy luật đường cong lún bề mặt cho bài toán. Phương pháp phần tử hữu hạn xung quanh đường hầm tiết diện bất kỳ trong phương pháp phần tử hữu hạn được thể hiện như trong hình 2.



Hình 2. Sơ đồ phân tích bằng phương pháp phần tử hữu hạn trên máy tính

Ở đây p_{xx} , p_{yy} , p_{xy} - là các thành phần ứng suất nguyên sinh

Trên hình 2c, các nút i, j, k có hàm chứa các thành phần chuyển vị u_{xi} , u_{yi} , v.v. và ma trận chuyển vị $[u]$ trong các nút khác nhau. Gọi $[N]$ là hàm chức năng và có thể được xác định theo công thức sau:

$$[u] = \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix} = \sum [N_i][u_i] = \begin{bmatrix} \overline{N}_i & \overline{N}_j & \overline{N}_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_i \\ u_j \\ u_k \end{bmatrix} = [N][u^e] \quad (5)$$

Trong đó

$$[u_i] = \begin{bmatrix} u_{xi} \\ u_{yi} \end{bmatrix}; [N_i] = \overline{N}_i = \begin{bmatrix} N_i & 0 \\ 0 & N_i \end{bmatrix} \quad (6)$$

Các thành phần trong ma trận $[N]$, và N_i là các hàm chức năng có liên quan đến tọa độ

$[u^e]$ - véc tơ cột có bao hàm các giá trị chuyển vị u_{xi} , u_{yi} , u_{xj} ,...

Hàm chức năng $[N]$ được chọn đối với các chuyển vị trên các nút. Vì vậy có thể thu được công thức sau: (7) và (8).

$$u_x = \frac{1}{2\Delta} \left[(a_i + b_i x + c_i y)u_{xi} + (a_j + b_j x + c_j y)u_{xj} + (a_k + b_k x + c_k y)u_{xk} \right] \quad (11)$$

Trong đó

$$\begin{aligned} a_i &= x_j y_k - x_k y_j \\ b_i &= y_j - y_k \\ c_i &= x_k - x_j \end{aligned} \quad (12)$$

Trong các nút i, j, k có bao hàm a_j, \dots và $2\Delta =$

$$2x \text{ diện tích phần tử tam giác} = 2 \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{vmatrix}$$

Các kết quả $\alpha_4, \alpha_5, \alpha_6$ trong hàm chức năng chuyển vị u_x trong công thức (11) thu được bởi sự thay đổi u_{yi} và u_{xi} . Do đó, sự thay đổi chuyển vị trong các phần tử được quan sát trong công thức sau:

$$[u] = \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix} = [N][u^e] = [N_i I, N_j I, N_k I][u^e] \quad (13)$$

Ở đây $N_i = (a_i + b_i x + c_i y) / 2\Delta$

$$[N_i]_{xi, yi} = [I] \quad (7)$$

$$[N_i]_{xi, yi} = [0], \text{ v.v.} \quad (8)$$

Ở đây $[I]$ và $[0]$ - là các ma trận chuyển vị, từ các thành phần chuyển vị trên các nút trong các hàm chức năng, thu được:

$$[N_i] = N_i [I]$$

Ở đây N_i - là hàm vô hướng trong phần tử các nút

Các thành phần chuyển vị trong hàm số tọa độ được viết như sau:

$$\begin{aligned} u_x &= \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y \\ u_y &= \alpha_4 + \alpha_5 x + \alpha_6 y \end{aligned} \quad (9)$$

Khi sáu thành phần trong các hàm trên được xác định thì có thể xác định được các chuyển vị u_x, u_y trong các nút. Do đó $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ được xác định bằng cách giải các phương trình sau:

$$\begin{aligned} u_{xi} &= \alpha_1 + \alpha_2 x_i + \alpha_3 y_i \\ u_{xj} &= \alpha_1 + \alpha_2 x_j + \alpha_3 y_j \end{aligned} \quad (10)$$

$$u_{xk} = \alpha_1 + \alpha_2 x_k + \alpha_3 y_k$$

Sau khi giải các phương trình trên, thu được:

Công thức đơn giản N_j, N_k và I là các ma trận 2×2

Chuyển vị trong các phần tử có thể được xác định theo công thức sau:

$$[\varepsilon] = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u_x}{\partial x} \\ \frac{\partial u_y}{\partial y} \\ \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix} \quad (14)$$

Hay là

$$[\varepsilon] = [L][u] \quad (15)$$

Từ công thức (14) và (15), viết được như sau:

$$[\varepsilon] = [L][N][u^e] = [B][u^e]$$

Trong đó:

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 & \frac{\partial N_j}{\partial x} & 0 & \frac{\partial N_k}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} & 0 & \frac{\partial N_j}{\partial y} & 0 & \frac{\partial N_k}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} & \frac{\partial N_j}{\partial y} & \frac{\partial N_j}{\partial x} & \frac{\partial N_k}{\partial y} & \frac{\partial N_k}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{bmatrix} = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \nu/(1-\nu) & 0 \\ \nu/(1-\nu) & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-2\nu)/2(1-\nu) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma_{xx}^0 \\ \sigma_{yy}^0 \\ \sigma_{xy}^0 \end{bmatrix}$$

$$\text{Hay } [\sigma] = [D][\varepsilon] + [\sigma^0] = [D][B][u^e] + [\sigma^0] \quad (17)$$

Trong đó $[\sigma]$ - véc tơ tổng ứng suất, $[D]$ - ma trận đàn hồi, và $[\sigma^0]$ - véc tơ tổng ứng suất nguyên sinh ban đầu.

Sự cân bằng lực ở các nút

Trong phương pháp phần tử hữu hạn để đặt các lực q_{xi}, q_{yi}, \dots lên các nút phải cân bằng giữa các lực bên trong của các nút với trọng lượng của các nút:

$$\Delta W^i = [\delta \varepsilon]^T [\sigma] - [\delta u]^T [b] = ([B][\delta u^e])^T [\sigma] - ([N][\delta u^e])^T [b] = [\delta u^e]^T ([B]^T [\sigma] - [N]^T [b])$$

Tích phân trên toàn bộ thể tích của phần tử thu được:

$$[q^e] = \int_{V_e} [B]^T [\sigma] dV - \int_{V_e} [N]^T [b] dV \quad (19)$$

từ (17) thu được

$$[q^e] = \int_{V_e} [B]^T [D][B][u^e] dV + \int_{V_e} [B]^T [\sigma^0] dV - \int_{V_e} [N]^T [b] dV \quad (20)$$

thành phần $\int_{V_e} [B]^T [D][B][u^e] dV$ - là ma trận 6x6

$\int_{V_e} [B]^T [\sigma^0] dV$ - là ma trận 6x1; $\int_{V_e} [N]^T [b] dV$ -

là ma trận 6x1

Khi thể tích các phần tử tam giác là V^e , các thành phần $[B]$ và $[N]$ - là hằng số trên toàn bộ thể tích của các phần tử. Do đó thu được công thức:

$$[q^e] = V_e [B]^T [D][B][u^e] + V_e [B]^T [\sigma^0] - V_e [N]^T [b]$$

Trong hầu hết các trường hợp

$$[q^e] = [K^e][u^e] + [f^e] \quad (21)$$

$[q^e]$ - có liên quan đến chuyển vị tại các nút $[u^e]$

$[K^e]$ - ma trận độ cứng

$[f^e]$ - véc tơ lực tác động bên ngoài

$[K^e]$ và $[f^e]$ được xác định từ hình học các

Khi chuyển vị là các thành phần biến dạng đàn hồi thì các hằng số trong ma trận $[B]$ là hằng số, các thành phần ứng suất trong các phần tử sẽ được xác định theo công thức sau:

$$[b] = \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \end{bmatrix}; [\delta u] = [N][\delta u^e]; [\delta \varepsilon] = [B][\delta u^e] \quad (18)$$

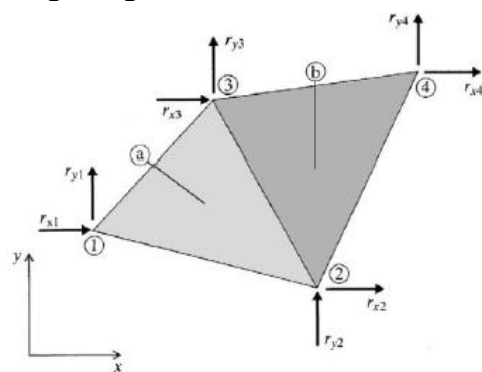
$[\delta u^e]$ - chuyển vị bên trong các nút

nếu lực bên ngoài tác động lên nút là $[q^e]$ thì

$$\Delta W^e = [\delta u^e]^T [q^e]$$

Charlton (1959) đã xác định Δw^e theo công thức sau:

phần tử và ứng suất nguyên sinh ban đầu cũng như dung trọng đất đá.



Xác định chuyển vị tại các nút:

Tác động bên ngoài tác động lên các nút được xác định theo công thức sau:

$$[r^e] = [r_{x1} r_{y1} r_{x2} r_{y2} r_{x3} r_{y3} r_{x4} r_{y4}] \quad (22)$$

với hai phần tử a và b

$$[q^a]^T = [q_{x1}^a q_{y1}^a q_{x2}^a q_{y2}^a q_{x3}^a q_{y3}^a] \quad (23)$$

$$[q^b]^T = [q_{x2}^b q_{y2}^b q_{x4}^b q_{y4}^b q_{x3}^b q_{y3}^b]$$

Đối với nút 1 $r_{x1} = q_{x1}^a$; $r_{y1} = q_{y1}^a$

Đối với nút 2 $r_{x2} = q_{x2}^a + q_{x2}^b$; $r_{y2} = q_{y2}^a + q_{y2}^b$

Và cuối cùng thu được các công thức giữa các lực và các chuyển vị như sau:

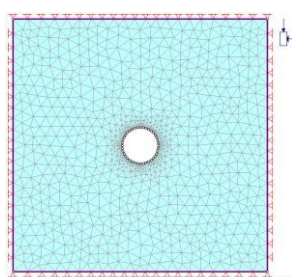
$$\begin{bmatrix} r_{x1} \\ r_{y1} \\ r_{x2} \\ r_{y2} \\ r_{x3} \\ r_{y3} \\ r_{x4} \\ r_{y4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K^a & & & & & & & & \\ & K^b & & & & & & & \\ & & K^a + K^b & & & & & & \\ & & & K^b & & & & & \\ & & & & & & & & \\ & & & & & & & & \\ & 0 & 0 & & & & & & \\ & 0 & 0 & & & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{x1} \\ u_{y1} \\ u_{x2} \\ u_{y2} \\ u_{x3} \\ u_{y3} \\ u_{x4} \\ u_{y4} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ f_{x3} \\ f_{y3} \\ f_{x4} \\ f_{y4} \end{bmatrix} \quad (24)$$

Sử dụng phần mềm số Phase 2 để phân tích và tìm hiểu quy luật của ứng suất và biến dạng, cũng như xây dựng đường cong lún bề mặt trong bài toán phẳng, cơ sở dữ liệu đầu vào

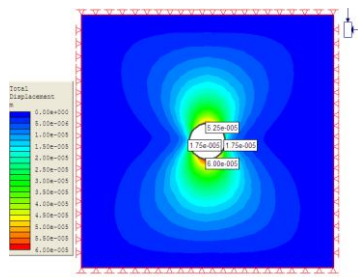
được thể hiện như trong Bảng 1. Trường hợp thứ nhất là xem xét sự thay đổi đường kính đường hầm đến ứng suất, biến dạng xung quanh đường hầm sau khi khai đào.

Bảng 1. Các tham số đầu vào cho phân tích

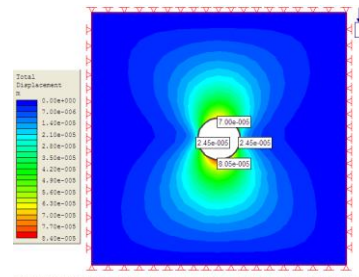
TT	Tên tham số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Dung trọng đất đá	γ	0,016	MN/m^3
2	Độ bền kéo đất đá	σ_k	0,0	MPa
3	Cường độ lực dính kết	c	0.05	MPa
4	Góc ma sát trong	φ	25	Độ
5	Mô đun đàn hồi	E	500	MPa
6	Hệ số Poisson	μ	0,35	-
7	Góc dẫn nở	ψ	0	Độ
8	Góc ma sát trong dư	φ_{re}	26	Độ
9	Cường độ lực dính kết dư	c_{re}	0,5	MPa
10	Đường kính đường hầm	D	0,5; 0,7; 1,0; 1,2; 1,5	m
11	Loại vật liệu	Đéo	-	-
12	Tiêu chuẩn sử dụng	Mohr - Coulomb	-	-
13	Hệ số ứng suất nguyên sinh ban đầu (ngang/thẳng đứng)	σ_3/σ_1	0,5	-
14	Độ sâu đặt đường hầm	H	5	m



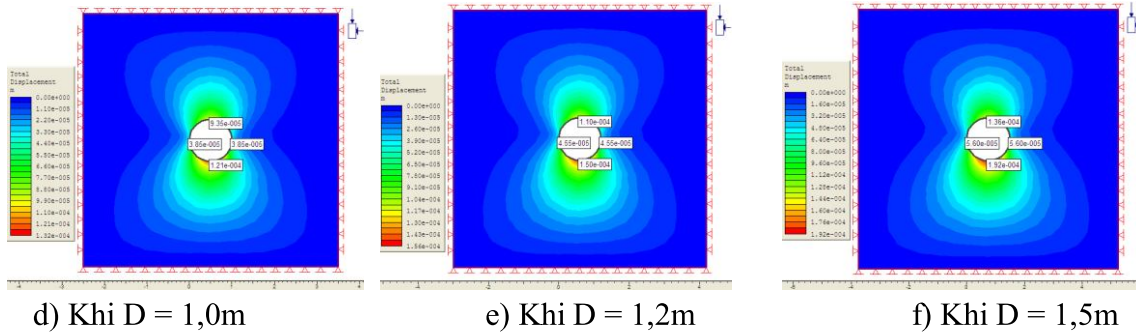
a) Mô hình phân tích



b) khi D = 0,5m



c) Khi D = 0,75m



Hình 3. Kết quả mô hình và phân bố tổng biến dạng khi thay đổi đường kính hầm D

Bảng 2: Thống kê kết quả sau phân tích

Tham số	Đường kính hầm (D)	0,5m	0,7m	1,0m	1,2m	1,5m
σ_1 , MPa	Nóc	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	Sườn	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
	Nền	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04
σ_3 , MPa	Nóc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Sườn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Nền	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ϵ_{xy} , m	Nóc	$5,25 \cdot 10^{-5}$	$7,00 \cdot 10^{-5}$	$9,30 \cdot 10^{-5}$	$1,11 \cdot 10^{-4}$	$1,36 \cdot 10^{-4}$
	Sườn	$1,75 \cdot 10^{-5}$	$2,45 \cdot 10^{-5}$	$3,85 \cdot 10^{-5}$	$4,55 \cdot 10^{-5}$	$5,60 \cdot 10^{-5}$
	Nền	$6,00 \cdot 10^{-5}$	$8,05 \cdot 10^{-5}$	$1,21 \cdot 10^{-4}$	$1,50 \cdot 10^{-4}$	$1,92 \cdot 10^{-4}$

Sau khi phân tích bằng Phase 2 có thể thu được kết quả các giá trị ứng suất và biến dạng ở nóc, sườn, và nền đường hầm như trong bảng 2.

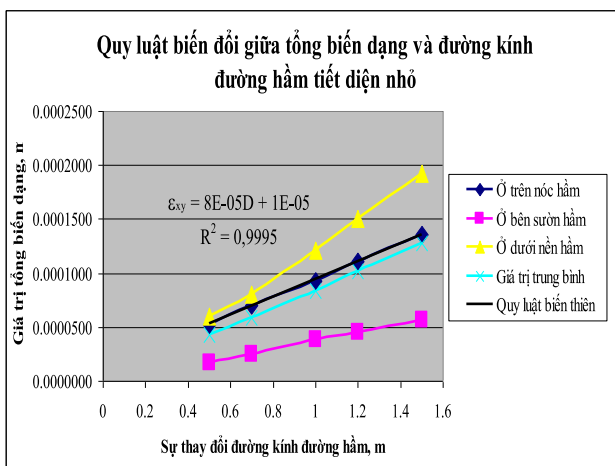
Bằng phương pháp thống kê các kết quả trong bảng 2, sau khi phân tích, thiết lập được công thức tổng biến dạng với sự thay đổi đường kính của đường hầm như sau:

$$\epsilon_{xy} = 8 \cdot 10^{-5} \cdot D + 10^{-5}, R^2 = 0,9995 \quad (25)$$

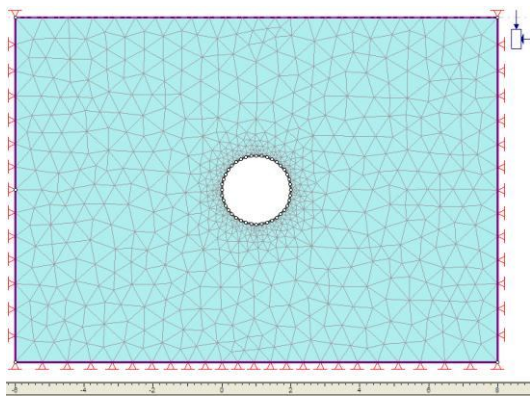
Trong đó: D - đường kính đường hầm tiết diện nhỏ đem sử dụng, m

Trường hợp khi thay đổi độ sâu đặt đường hầm

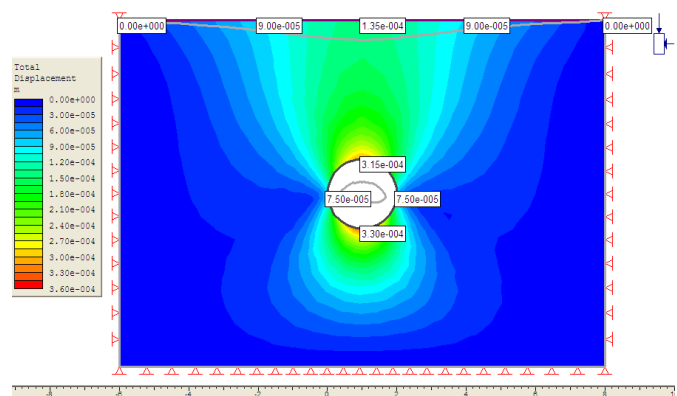
Trong trường hợp thay đổi độ sâu đặt đường hầm, chúng ta vẫn sử dụng các tham số đầu vào đất đá và đường kính đường hầm như ở trong bảng 1, ở phần này chỉ thay đổi độ sâu H đặt đường hầm lần lượt tương ứng là H = 5, 6, 8, 10, 12m. Kết quả mô phỏng bằng mô hình và kết quả sau phân tích được thể hiện như trong các hình 5 và 6.



Hình 4. Đồ thị biểu thị quan hệ giữa tổng biến dạng và sự thay đổi đường kính đường hầm D

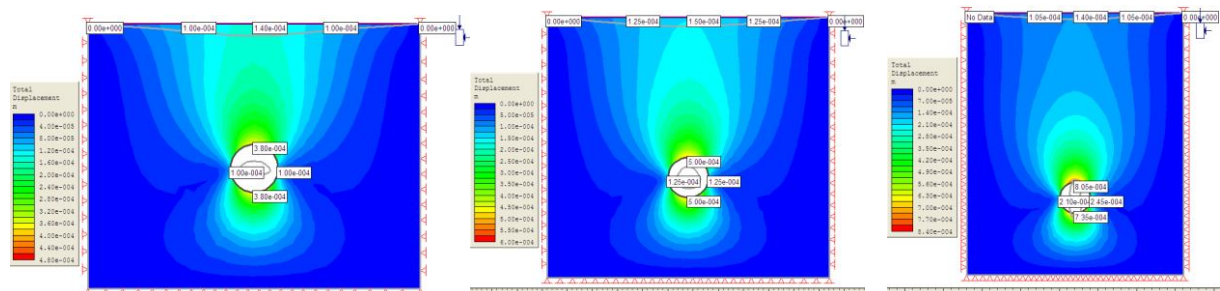


a) Mô hình đường hầm ở độ sâu 5m



b) Phân bố tổng biến dạng ở độ sâu 5m

Hình 5. Mô hình đường hầm bằng Phase 2 (a) và phân bố tổng biến dạng khi $H = 5m$ (b)



a) Ở độ sâu 6m

b) Ở độ sâu 8m

c) Ở độ sâu 12m

Hình 6. Kết quả phân bố biến dạng, ứng suất khi thay đổi độ sâu đặt đường hầm

Từ các kết quả phân tích được trong bảng 3 và 4, bảng thống kê chúng ta cũng thu được biểu đồ quy luật và biểu thức toán học phụ thuộc như

trong hình 7, 8 tương ứng cho ứng suất, biến dạng và đường cong lún sụt bề mặt khi thay đổi độ sâu đặt đường hầm.

Bảng 3. Thống kê kết quả khi thay đổi độ sâu đặt đường hầm tiết diện nhỏ

Chỉ số	Độ sâu	5m	6m	8m	10m	12m
σ_1 , MPa	Giá trị ở nóc	0,04	0,06	0,09	0,1	0,14
	Giá trị ở nền	0,06	0,07	0,11	0,12	0,16
	Giá trị bên sườn	0,21	0,26	0,33	0,38	0,38
σ_3 , MPa	Giá trị ở nóc	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
	Giá trị ở nền	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
	Giá trị bên sườn	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03
ϵ_{xy} , m	Giá trị ở nóc	$3,15 \cdot 10^{-4}$	$3,80 \cdot 10^{-4}$	$5,10 \cdot 10^{-4}$	$6,30 \cdot 10^{-4}$	$8,05 \cdot 10^{-4}$
	Giá trị ở nền	$3,30 \cdot 10^{-4}$	$3,80 \cdot 10^{-4}$	$5,10 \cdot 10^{-4}$	$6,00 \cdot 10^{-4}$	$7,35 \cdot 10^{-4}$
	Giá trị bên sườn	$7,50 \cdot 10^{-5}$	$1,10 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-4}$	$1,80 \cdot 10^{-4}$	$2,45 \cdot 10^{-4}$

Bảng 4. Độ lún bề mặt khi thay đổi điểm độ sâu đặt đường hầm tiết diện nhỏ H

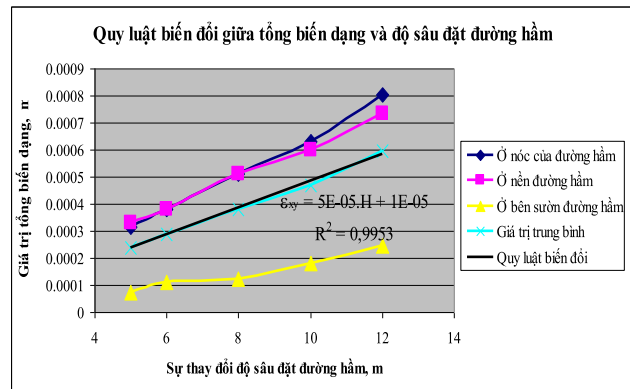
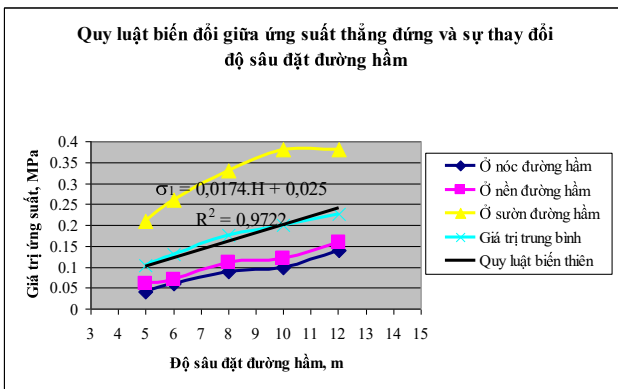
Vị trí từ tâm đường hầm ra 2 bên	-6m	-2m	1m	4m	8m
Độ sâu đặt 5m	0,00	$9,00.10^{-5}$	$1,35.10^{-4}$	$9,00.10^{-5}$	0,00
Độ sâu đặt 6m	0,00	$1,00.10^{-4}$	$1,40.10^{-4}$	$1,00.10^{-4}$	0,00
Độ sâu đặt 8m	0,00	$1,25.10^{-4}$	$1,50.10^{-4}$	$1,25.10^{-4}$	0,00
Độ sâu đặt 10m	0,00	$1,20.10^{-4}$	$1,50.10^{-4}$	$1,20.10^{-4}$	0,00
Độ sâu đặt 12m	0,00	$1,05.10^{-4}$	$1,40.10^{-4}$	$1,05.10^{-4}$	0,00

Công thức liên quan giữa ứng suất thẳng đứng và độ sâu đặt đường hầm thiết lập được như sau: $\sigma_1 = 0,0174.H + 0,025$, $R^2 = 0,9722$ (26)

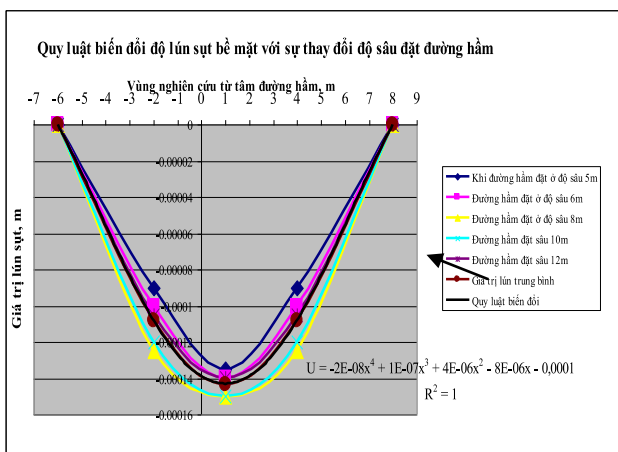
Ở đây H - độ sâu đặt đường hầm, m

Sử dụng thống kê chúng ta cũng thu được biểu đồ quan hệ giữa tổng biến dạng và sự thay đổi độ sâu đặt đường hầm như trên Hình 7 và công thức biến đổi quy luật như sau:

$$\varepsilon_{xy} = 5.10^{-5}.H + 10^{-5}, R^2 = 0,9953 \quad (27)$$



Hình 7. Kết quả quy luật biến đổi của ứng suất theo sự thay đổi độ sâu đặt đường hầm và sự thay đổi biến dạng theo độ sâu đặt đường hầm H



Hình 8. Quy luật biến đổi của đường cong lún khi thay đổi độ sâu đặt đường hầm

Chúng ta cũng có thể thiết lập được đường cong phổ lún sụt bề mặt đất từ tâm đường hầm ra 2 phía xung quanh trong bài toán phẳng theo công thức như sau:

$$U = -2.10^{-8}x^4 + 1.10^{-7}x^3 + 4.10^{-6}x^2 - 8.10^{-6}x - 0,0001, R^2 = 1 \quad (28)$$

Ở đây x - tọa độ theo trục nằm ngang bên trên bề mặt đất như trên hình 8.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Qua phân tích ở trên có thể đưa ra các kết luận như sau:

- Sự thay đổi đường kính có ảnh hưởng lớn đến trạng thái ứng suất và biến dạng xung quanh

các đường hầm tiết diện nhỏ. Giá trị ứng suất và biến dạng tỷ lệ thuận (công thức 25) với sự tăng lên của đường kính đường hầm, điều này là hoàn toàn hợp lý với phân tích lý thuyết trước đây. Trong cùng một điều kiện địa chất thì khoảng trống đường hầm tăng thì vùng ảnh hưởng đến đất đá xung quanh tăng, ứng suất và biến dạng đều tăng.

- Trong trường hợp thay đổi độ sâu thì quan hệ ứng suất, biến dạng cũng tỷ lệ thuận (công thức 26, 27) với sự tăng lên của độ sâu đặt đường hầm, do bài toán xét đến trọng lượng bản thân đất đá nên điều này là hoàn toàn phù hợp với lý thuyết đại số trước đây.

- Qua phân tích chúng ta cũng có thể thiết lập được đường cong lún sụt bề mặt đất trong mặt cắt ngang từ tâm đường hầm ra 2 bên cánh (công thức 28). Quan sát công thức này với các công thức giải tích trước đây cũng thấy sự tương hợp đều là hàm số bậc 4 và đạt cực trị tại đỉnh nóc hầm, càng ra xa thì cánh cung của phễu lún giảm dần và ở vị trí khoảng 7m từ tâm đường hầm (trong trường hợp cụ thể phân tích) thì bề mặt đất không bị lún sụt nữa. Như vậy nếu trên bề mặt đất trong khu vực phễu lún sụt này các công trình đã có hoặc sẽ xây dựng sau này đều cần phải được quan tâm, chú ý trong quá trình thiết kế và xây dựng.

Bằng phương pháp số chúng ta cũng thấy rằng lời giải sẽ trở lên nhanh gọn và có tính đơn giản hơn đi rất nhiều. Đây cũng là ưu thế vượt trội của phương pháp số và mô hình số trong quá trình giải các bài toán địa kỹ thuật hiện nay.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. B.H.G. Bray, E.T. Brown, Rock mechanics for underground mining, 2004.
2. Eric chey, JACJOBS, LDERWOOD water and wastewater district, an introduction to trenchless methods and evaluation for the installation of new pipelines, 2009.
3. Jacking and boring best practices, Achieving quality products, NASST 2005
4. John P. Harrison and John A. Hudson Freng, Imperial college of science, Technology and medicine University of London, UK, Engineering rock mechanics, 1997.
5. Le Projet National de recherches, microtunnels, par Michel MERMET et Alain GUILLOUX, Rencontres techniques IREX Paris - 21 mars 2002.
6. Microtunneling and pipe jacking, Sbastien viroux FFK, internal BAM Market, Nieuwegein, june 10, 2008.