

TÍNH TOÁN VÀ XÁC ĐỊNH CHÍNH XÁC VÙNG CHỊU LỰC KHÁNG ĐÀN HỒI TRONG VIỆC TÍNH TOÁN NỘI LỰC CÔNG TRÌNH NGẦM BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

Nguyễn Quốc Tuyển

Lê Văn Nam

ABSTRACT

Defining the region which effected by the elastic reaction force of underground construction had the important meaning for the calculation of underground structure's section force. The effective of elastic reaction force plays an important role to make stability and slight the working of underground structure, control their deformation, increase the value of axial force and decrease the bending moment of structure. By the previous experiment calculation, the angle which defines the region had not effected by the elastic reaction force of ground foundation is $\varphi_0 = \pi/4$. In this paper, to define exactly the φ_0 angle, the region of elastic reaction force of underground structure, we used the Finite Element Method which is combined with the iterative algorithm calculation to compute section force value of the underground structure.

TÓM TẮT

Việc xác định vùng phát sinh chịu lực kháng đàn hồi của công trình ngầm đặt trong các vùng đất nền có ý nghĩa quan trọng trong việc tính toán nội lực kết cấu công trình ngầm. Lực kháng đàn hồi của đất nền có vai trò làm ổn định và giảm nhẹ sự làm việc thực của kết cấu ngầm, đồng thời làm tăng trị số lực dọc và làm giảm giá trị momen uốn của kết cấu. Trước nay, theo các công thức tính toán thực nghiệm, góc xác định vùng không chịu ảnh hưởng lực kháng đàn hồi của đất nền được lấy là: $\varphi_0 = \pi/4$. Trong bài báo nghiên cứu của mình, chúng tôi trình bày phân tích toán kết cấu công trình ngầm bằng phương pháp phần tử hữu hạn, kết hợp với giải thuật tính toán lặp để tìm được giá trị chính xác của góc φ_0 , nhằm mục đích xác định chính xác vùng phát sinh chịu lực kháng đàn hồi của kết cấu ngầm, đồng thời từ đó tính toán các giá trị nội lực trong kết cấu công trình ngầm.

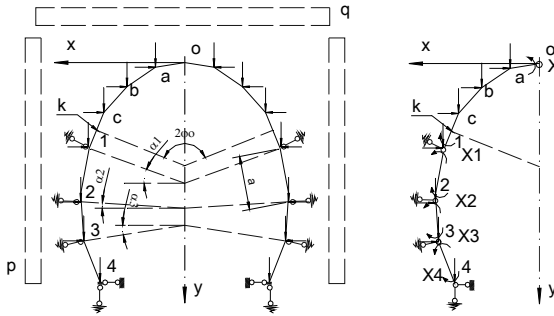
I. TỔNG QUAN VỀ TÍNH TOÁN CÔNG TRÌNH NGẦM BẰNG PHƯƠNG PHÁP THAY THẾ HỆ THANH

Vỏ hầm làm việc trong môi trường đàn hồi, được xem như hệ siêu tĩnh bậc cao và phức tạp. Việc tính toán hệ này trong trường hợp tổng thể như sau: vỏ hầm có nhiều hình dạng khác nhau, độ dày vỏ hầm thay đổi theo điều kiện làm việc thực của kết cấu, ta không thể biểu diễn tất cả các yếu tố này trong việc tính toán. Chính vì vậy, trong việc tính toán nội lực, chúng ta chỉ có thể xác định một cách gần đúng, được gọi là phương pháp thay thế bằng hệ thanh.

Cách thức tiến hành:

- Thay thế đường cong liên tục của kết cấu vỏ hầm bằng những đoạn thẳng.
- Độ cứng của mỗi đoạn này được xem như không đổi.
- Thay thế tải trọng phân bố của áp lực địa tầng q và p bằng lực tập trung đặt tại các nút của đa diện. Tải trọng bản thân của vỏ hầm cũng được thay thế bằng lực tập trung đặt tại hai đầu của mỗi thanh.
- Môi trường làm việc đàn hồi được thay bằng các gối tựa đặt tại các đỉnh của

đa giác hướng về bán kính của đường cong.



Hình 1: Mô hình nền đàn hồi

II. MA TRẬN ĐỘ CỨNG PHẦN TỬ

Mấu chốt trong việc giải bài toán bằng phương pháp phần tử hữu hạn là xây dựng ma trận độ cứng cho phần tử. Từ đó, lắp ghép các phương trình phần tử dựa vào các điều kiện liên tục, điều kiện biên để tạo phương trình cho hệ và giải các hệ phương trình này.

Phần tử dầm trên nền đàn hồi:

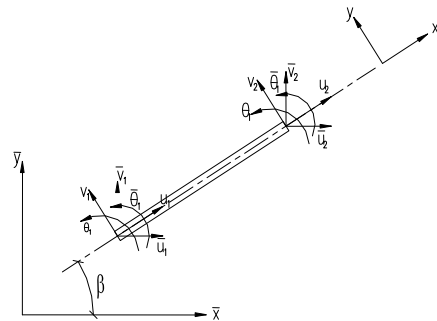
Bao gồm modun đàn hồi E, mặt cắt tiết diện A, momen quán tính I, độ cứng của lò xo theo phương dọc trục là k_a , và độ cứng của lò xo theo phương ngang là k_t . Ma trận độ cứng K_s^e được xác định như sau:

$$K_s^e = \frac{L}{420} \begin{bmatrix} 140k_a & 0 & 0 & 70k_a & 0 & 0 \\ 0 & 156k_t & 22k_t L & 0 & 54k_t & -13k_t L \\ 0 & 22k_t L & 4k_t L^2 & 0 & 13k_t L & -3k_t L^2 \\ 70k_a & 0 & 0 & 140k_a & 0 & 0 \\ 0 & 54k_t & 13k_t L & 0 & 156k_t & -22k_t L \\ 0 & -13k_t L & -3k_t L^2 & 0 & -22k_t L & 4k_t L^2 \end{bmatrix}$$

III. MA TRẬN ĐỘ CỨNG CỦA DẦM TRÊN NỀN ĐÀN HỒI TRONG HỆ TỌA ĐỘ TỔNG THỂ

Trong phần trên đã trình bày ma trận độ cứng đối với hệ trục tọa độ địa phương của phần tử. Khi tính toán ta phải chuyển các ma trận trên sang hệ trục tọa độ tổng thể.

Trên hình bên, trình bày một phần tử thanh nghiêng một góc bất kỳ β với trục hoành \bar{x} . Chuyển vị được biểu diễn theo hai hệ tọa độ: một gắn với hệ trục địa phương của phần tử gồm 3 chuyển vị u, v, θ ; hai là hệ trục tổng thể $\bar{u}, \bar{v}, \bar{\theta}$.



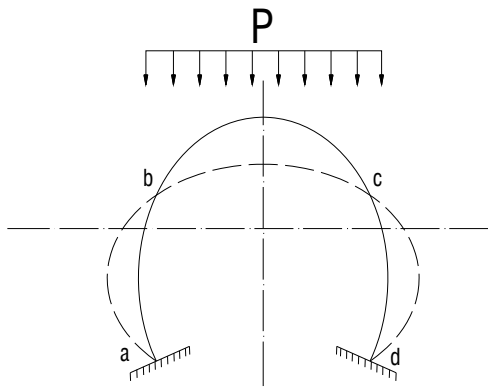
Hình 2: Mô hình dầm trong hệ tọa độ tổng thể

Để biểu diễn ma trận độ cứng phần tử từ hệ tọa độ địa phương sang hệ tọa độ tổng thể ta dùng vectơ quay. Mối quan hệ như sau:

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta & -\sin \beta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{u}_1 \\ \bar{v}_1 \\ \bar{\theta}_1 \\ \bar{u}_2 \\ \bar{v}_2 \\ \bar{\theta}_2 \end{Bmatrix}$$

1. Ảnh hưởng của lực kháng đàn hồi trong nền đất

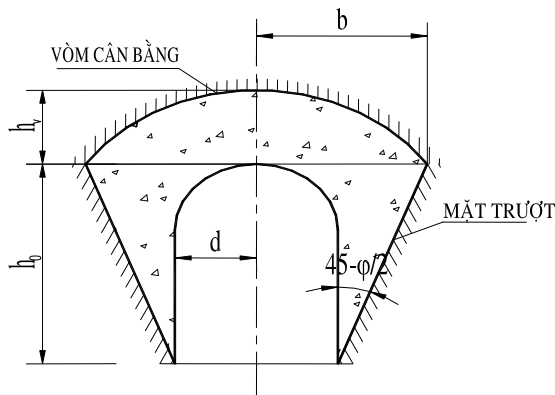
Lực kháng đàn hồi phát sinh tại bề mặt của kết cấu vỏ hầm dạng cung hoặc cong tròn, ngoại trừ “vùng không”, là vùng không có chuyển vị của lớp vỏ địa tầng. Vùng a - b, vùng c - d: thành vỏ hầm chịu tác động gia tăng điều kiện ổn định bởi sự tác động của lực kháng đàn hồi. Vùng b-c không có sự tác động này.



Hình 3: Đường chuyển vị

2. Xác định tải trọng

Theo giả thuyết của M.M.Protodiakonov, áp lực đất thẳng đứng tác dụng lên vỏ hầm tạo nên do trọng lượng của khối địa tầng bị phá hoại giới hạn bởi vòm áp lực và chu vi công trình ngầm.



Hình 4: Biểu đồ phá hoại của đất xung quanh kết cấu công trình ngầm

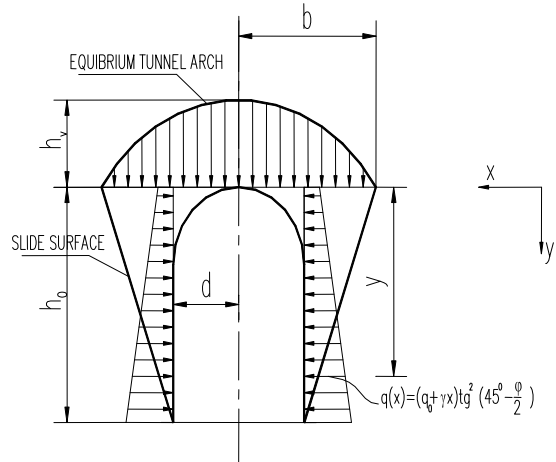
Phương trình vòm cân bằng là một parabol bậc 2 với nhịp $2b$ và chiều cao h_v :

$$y = \frac{x^2}{b \cdot f_{kc}}$$

Trong đó:

b : $\frac{1}{2}$ bề rộng vòm cân bằng

f_{kc} : Hệ số kiên cố



Hình 5: Biểu đồ áp lực tính toán

Khi đó áp lực ứng với hoành độ x được tính như sau:

$$q(y) = \gamma(h_v - y) = \gamma \left(\frac{b}{f_{kc}} - \frac{x^2}{b \cdot f_{kc}} \right)$$

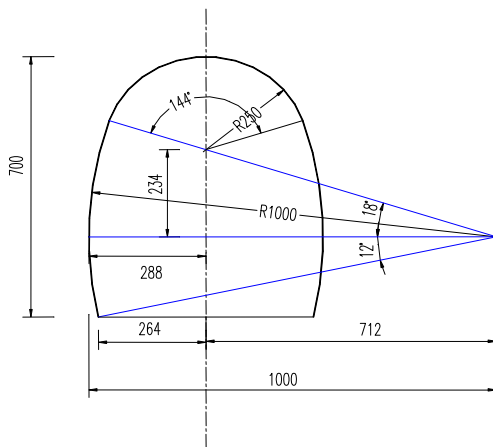
Phần nằm trên lăng thể trượt hai bên sẽ truyền vào lăng thể trượt để tác dụng vào 2 tường bên tạo áp lực ngang.

$$\Rightarrow q(x) = \gamma \left(\frac{b^3 - d^3}{(b-d)3b \cdot f_{kc}} + y \right) \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

IV. GIẢI QUYẾT BÀI TOÁN

1. Bài toán điển hình

Công trình hầm có kích thước như hình (các đơn vị là centimet). Chiều dày thiết kế tính trung bình 70cm được làm bằng bê tông M200 nằm trong lớp đất đá có trọng lượng riêng là 1.8 tấn/m³, hệ số kiên cố tra theo phụ lục của M.M. Protodiakonov thì $f_{kc}=1.3$, góc nội ma sát $\varphi=40^\circ$ với hai hệ số nền $k_a=10 \text{ T/m}^3$, $k_t=1 \text{ T/m}$. Bài toán đặt ra là tính nội lực sinh ra trong công trình ngầm và xác định vùng phát sinh lực kháng đàn hồi

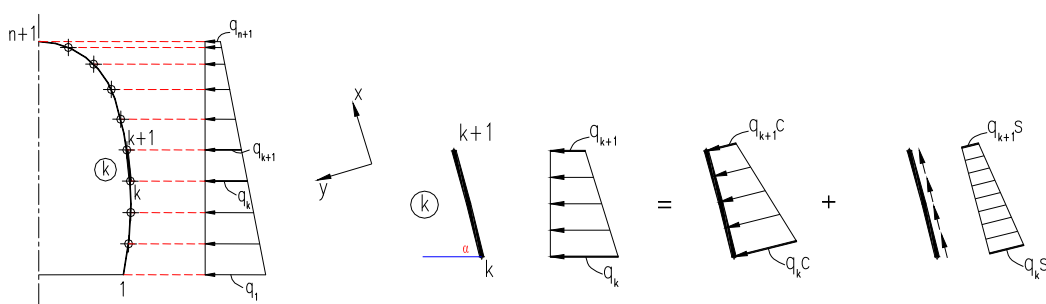


Hình 6: Mặt cắt ngang tiết diện (in cm)

Tải trọng tác dụng lên phần tử:

Tải ngang (áp lực bên)

Xét một phần tử bất kỳ k:



$$c = \cos \alpha; s = \sin \alpha$$

Hình 7: Phân chia phần tử

Tải tác dụng lên phần tử k được tách thành hai thành phần theo hai phương của trục tọa độ địa phương của phần tử. Phương trình biểu diễn của tải này là:

$$q(x) = x * q_{Lx} / L - (x-L) * q_{0x} / L$$

$$q(y) = x * q_{Ly} / L - (x-L) * q_{0y} / L$$

Trong đó:

$$q_{Lx} = q_{k+1} \sin \alpha;$$

$$q_{Ly} = q_{k+1} \cos \alpha; q_{0y} = q_k \cos \alpha$$

L: chiều dài phần tử

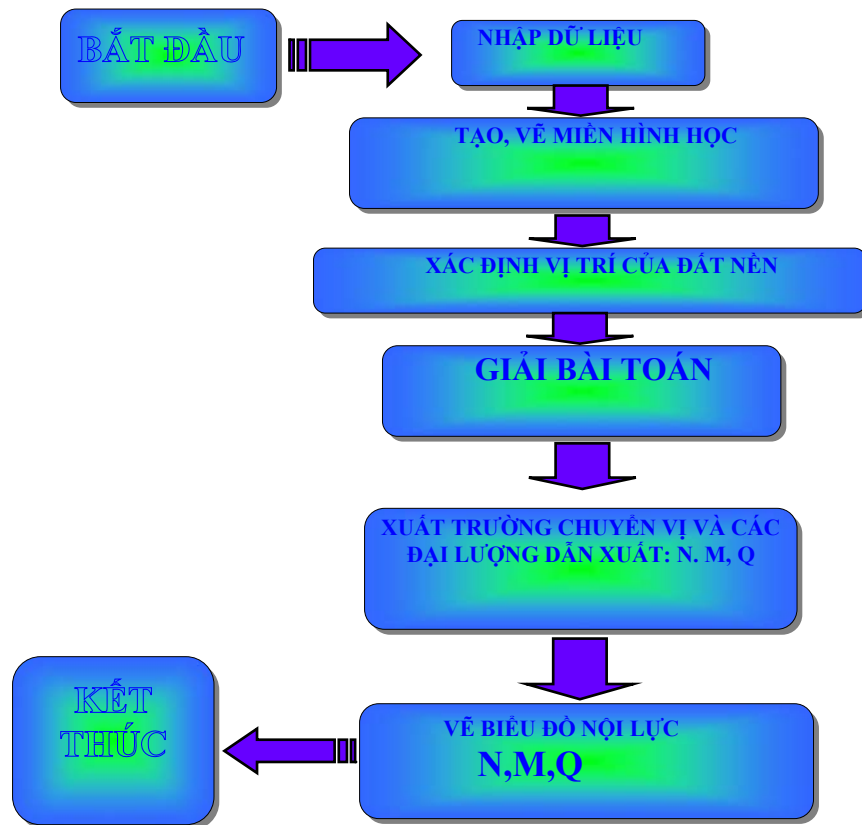
α : góc hợp bởi trục phần tử và phương ngang

Như vậy một phần tử chịu đồng thời hai tải: tải vuông góc với trục phần tử và tải dọc trục.

2. Nội dung chương trình tính toán

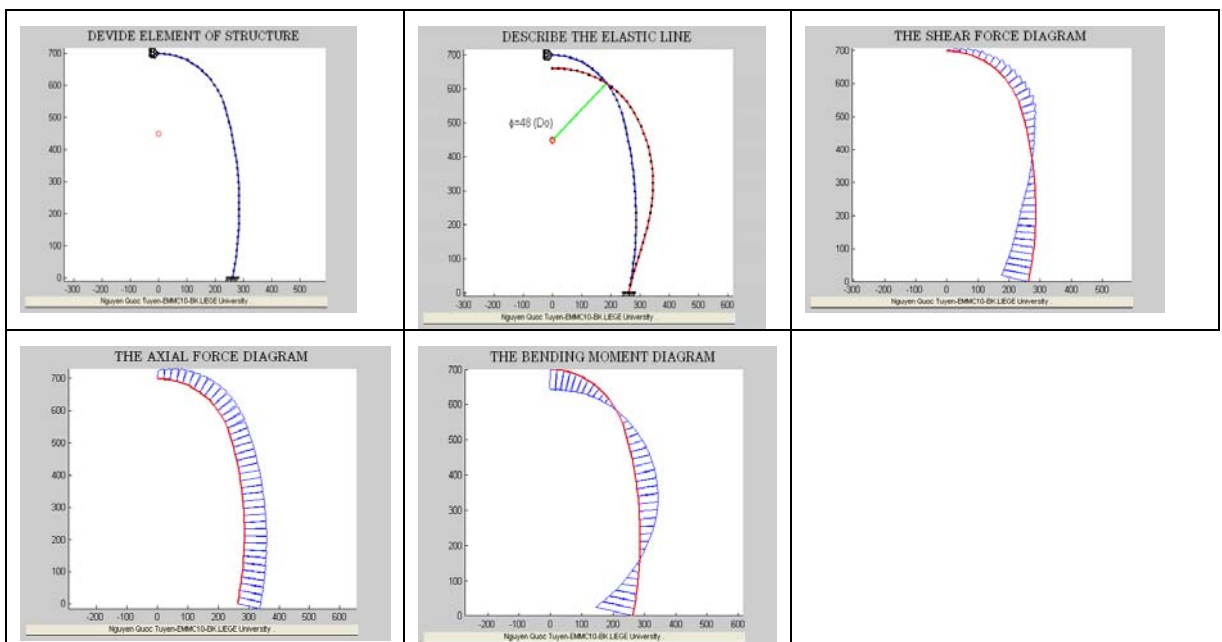
2.1. Lưu đồ

Nội dung chương trình tính toán được thể hiện theo lưu đồ sau:

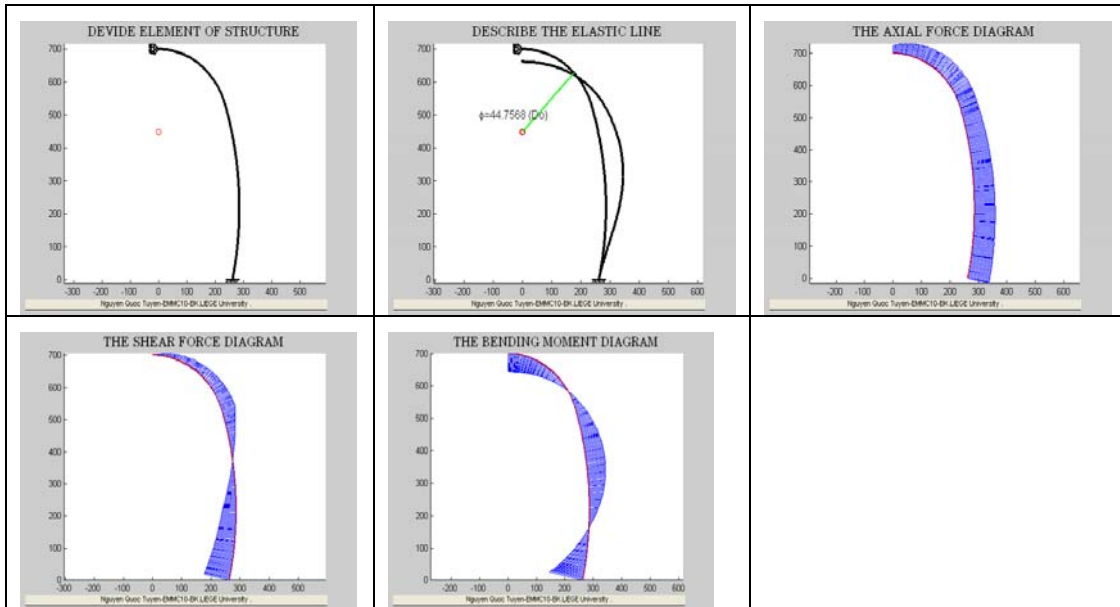


2.2. Kết quả tính toán nội lực và xác định vùng chịu lực kháng đàn hồi trong tính toán kết cấu công trình ngầm

- Kết quả nhận được khi mesh lưới 40 phần tử: 30 phần tử dầm trên nền đàn hồi và 10 phần tử dầm thường.

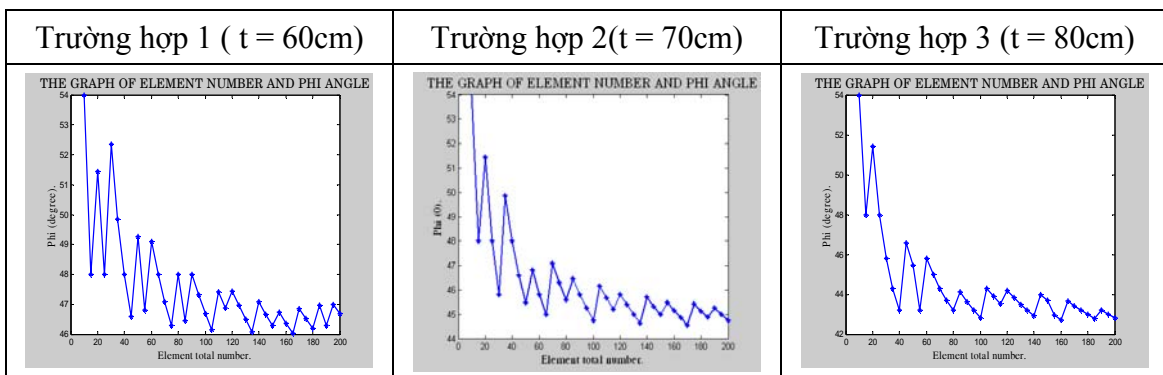


□ Kết quả nhận được khi mesh lưới 200 phần tử: 154 phần tử dầm trên nền đàn hồi và 46 phần tử dầm thường.



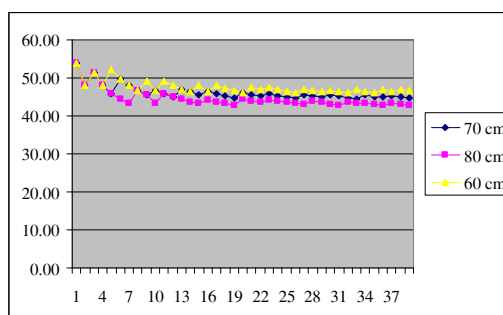
2.3. Đánh giá sự hội tụ của bài toán trong việc xác định vùng chịu lực kháng đàn hồi

a) Khảo sát và xem xét sự thay đổi của bề dày vỏ hàm và Mac betông làm vỏ hàm để kiểm chứng sự thay đổi của góc w_0 .



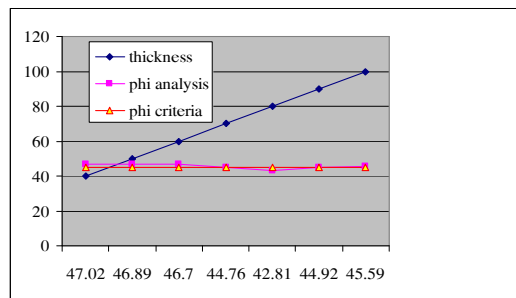
Hình 8: Sự hội tụ của góc w_0 tính toán để so sánh với hệ số thực nghiệm $w = 45^0$.

Khi số phần tử tăng lên, góc w dần đạt được giá trị hội tụ ($w_0 = 44.76^0$ tương ứng với số phần tử là 200).



- Mối quan hệ giữa chiều dày vỏ hầm với vùng phát sinh chịu lực kháng đàn hồi thể hiện bởi góc u^0 :

Chiều dày (cm)	u_0 Tính toán	u_0 Thực nghiệm	Sai số (%)
40	47.02	45	4.49
50	46.89	45	4.20
60	46.7	45	3.78
70	44.76	45	-0.53
80	42.81	45	-4.87
90	44.92	45	-0.18
100	45.59	45	1.31

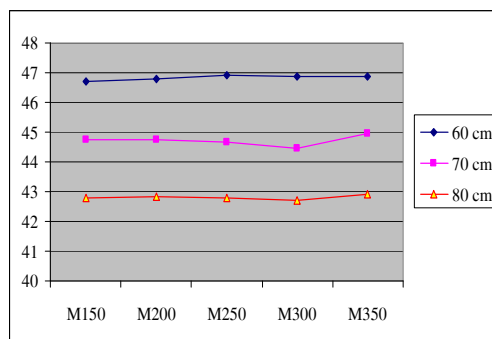


Hình 9: Mối quan hệ giữa độ dày vỏ hầm và góc u_0

- Xét sự thay đổi của nhiều giá trị khác nhau của độ dày vỏ hầm, ta thu được góc u_0 đạt đến giá trị hội tụ, gần đúng đến vùng tính toán tiêu chuẩn so sánh là $\varphi_0 = \pi/4$. Vì vậy, với công thức tính toán thực nghiệm, ta có giá trị hệ số thực nghiệm là $\varphi_0 = \pi/4$ để xác định vùng chịu lực kháng đàn hồi là để tính toán công trình ngầm, giá trị thực nghiệm này xem như được kiểm chứng qua kết quả tính toán này.

b) Đánh giá mối quan hệ giữa Mac bê tông làm vỏ hầm và vùng chịu lực kháng đàn hồi với góc u_0 có xét đến sự thay đổi của chiều dày bê tông cấu tạo vỏ hầm.

Mac Bê tông		T = 60cm	T = 70cm	T = 80cm
M	E (Kg/cm ²)	U_0	U_0	U_0
M150	2.10E+05	46.702	44.756	42.8108
M200	2.40E+05	46.772	44.7567	42.8280
M250	2.65E+05	46.911	44.6567	42.7759
M300	2.90E+05	46.875	44.4567	42.7128
M350	3.10E+05	46.885	44.9567	42.9125



Hình 10: Mối liên hệ giữa chiều dày vỏ hầm, Mac bê tông cấu tạo vỏ hầm và góc w_0

V. KẾT LUẬN

▪ Phần nghiên cứu này của chúng tôi là chương trình tính toán tổng quát, có thể dùng để giải quyết một số bài toán cơ bản về công trình ngầm. Với code Matlab này, ta có thể phát triển, nâng cấp lên thành một chương trình phần mềm thiết kế, có thể giải quyết được những bài toán về tính toán công trình ngầm.

▪ Với kết quả nghiên cứu này, ta nhận thấy rằng vùng phát sinh chịu lực kháng đàn hồi của kết cấu công trình ngầm không bị thay đổi khi ta thay đổi Mac bê tông cấu tạo vỏ hầm, nhưng lại chịu sự phụ thuộc vào sự thay đổi của độ dày lớp vỏ kết cấu công trình ngầm.

▪ Ta có thể xác định một cách chính xác góc w_0 thông qua kết quả nghiên cứu này, đồng thời cũng cho ta nhận thấy sự đúng đắn và phù hợp của công thức thực nghiệm, khi sử dụng hệ số góc thực nghiệm $\varphi_0 = \pi/4$, để xác định vùng chịu lực kháng đàn hồi trong tính toán công trình ngầm. Vì vậy, với code Matlab tính toán này, ta có thể thiết lập được những bảng tra hệ số góc w_0 , với những trị số chính xác phụ thuộc cụ thể vào từng thông số nền. Đây sẽ là những dữ liệu rất hữu ích để phục vụ cho công tác giảng dạy và thiết kế tính toán công trình ngầm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. C.S.Krishnamoorthy, “Finite Element Analysis Theory and Programming”. Second Edition, Tata McGraw-Hill Publish Company Limited, New Delhi, 1996.

[2]. Tran Thanh Giam, Ta Tien Dat, “Compute and Design underground construction”, Construction Publishing Company, 2002.

[3]. Heinz Duddeck, “Guidelines for the Design of Tunnel”, Volume 3, 1988, ITA Working Group on General Approaches in Design of Tunnels.

[4]. Huynh Thi Minh Tam, University of Technology at Ho Chi Minh City, Master Thesis with topic: “Studying of underground structure”, 2001-2003.

[5]. Nguyen The Phung, Nguyen Quoc Hung, “Design the traffic tunnel construction”, Traffic and Transportation Publishing Company, 1998.

[6]. David M.Potts and Lidija Zdravkovic, Application: “Finite element analysis geological engineering”, Thomas Telford Publishing, Thomas Telford Ltd, I.Heron Quay, London, 2001.