

PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG NEO GIA CỐ ĐẾN ỨNG SUẤT, BIẾN DẠNG KẾT CẤU CÔNG TRÌNH NGẦM BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

Đào Văn Hưng

Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Neo gia cố là một trong những giải pháp quan trọng được sử dụng gần đây trong xây dựng công trình ngầm, vì nó ảnh hưởng trực tiếp đến ứng suất, biến dạng và độ ổn định của kết cấu cũng như giá thành xây dựng của công trình. Theo nguyên lý làm việc, neo gia cố có tác dụng liên kết vỏ hầm với khối đá xung quanh tạo thành một chỉnh thể làm việc đồng thời, độ cứng khối đá và ổn định của vỏ hầm được tăng lên. Nghiên cứu này sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để phân tích ổn định của hầm của một nhà máy thủy điện với các trường hợp phân bố neo gia cố khác nhau. Kết quả tính toán cho thấy việc nghiên cứu ảnh hưởng của neo gia cố đến ứng suất, biến dạng của kết cấu công trình ngầm là cần thiết để đảm bảo điều kiện kỹ thuật và kinh tế.

Từ khóa: công trình ngầm, neo gia cố, kết cấu, ứng suất, biến dạng

Summary: Anchoring reinforcement (rock bolts) is currently among important reinforcing solution available in the underground engineering, as it directly affects to the stresses, deformations and stability of structures, as well as construction costs. The working principle is that rock bolts anchor the lining to the surrounding rock mass forming a simultaneously-working structure, adding strength to the rock mass, and increasing the stability of the tunnel lining. This study employs the finite element method (FEM) to analyze the stability of an underground hydro power plant in different anchor schemes. The calculation results confirmed that it is necessary to investigate the influences of rock bolts to the stresses and deformations of underground structures in order to satisfy technical and economic conditions.

Keywords: Underground structures, rock bolts, stress, deformation, FEM

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Neo gia cố đã trở thành một giải pháp quan trọng để tăng ổn định của vỏ hầm và đá xung quanh. Neo xuyên vào trong khối đá nhằm tăng cường sự liên kết, tạo thành một khối chỉnh thể, đồng thời tăng khả năng chống uốn, chống cắt và tính ổn định của khối đá xung quanh^{[1], [2], [4]}. Trước đây khi thiết kế, thi công neo gia cố chủ yếu theo kinh nghiệm thực tế hoặc so sánh các loại công trình hoặc dựa vào địa chất công trình đưa ra tham số thiết kế của

neo. Do kết cấu địa chất rất phức tạp, trường ứng lực ban đầu và không gian kết cấu đá xung quanh thông thường đều là hiệu ứng ba chiều, nên khó chuyển hóa chính xác loại hiệu ứng này, dẫn đến kết quả tính không thể phản ánh đúng sự làm việc giữa neo gia cố và khối đá xung quanh. Đến nay, cùng với sự phát triển của công trình ngầm và ứng dụng khoa học kỹ thuật mới, đã có nhiều phương pháp, phần mềm tính toán neo gia cố đáp ứng yêu cầu thiết kế và thi công.

Bài báo này dựa theo nguyên lý tác dụng của neo gia cố, chuyển hóa phần tử neo hình trụ dạng ảnh mô phỏng hiệu ứng neo gia cố, thông qua phân tích tính đàn hồi dẻo ba chiều bằng

Ngày nhận bài: 06/01/2017

Ngày thông qua phản biện: 20/2/2017

Ngày duyệt đăng: 28/2/2017

phương pháp phần tử hữu hạn đối với ứng suất, biến dạng công trình ngầm.

2. CƠ SỞ TÍNH TOÁN

2.1. Mô hình cơ học của neo gia cố

Dựa vào nhiều tài liệu thí nghiệm và quan trắc thực tế, cơ chế hoạt động chủ yếu của neo gia cố công trình ngầm là “tổ hợp cố kết” và “hệ thống treo hình cung”. Neo xuyên vào đá xung quanh hầm có tác dụng liên kết thành một khối thống nhất, tăng thêm lực ma sát giữa khối đá, đồng thời tăng khả năng chống uốn và chống cắt của đá xung quanh. Khi thi công công trình ngầm, đá xung quanh hầm bị tác động làm thay đổi trạng thái cân bằng tự nhiên ban đầu, trở nên rời rạc, mất khả năng ổn định công trình ngầm^{[1], [4], [5]}. Do đó, để đảm bảo khả năng làm việc và sự ổn định của công trình cần phải gia cố bằng các neo xuyên vào khối đá xung quanh. Mật độ, số lượng neo đạt đến một mức độ nhất định để hệ thống neo gia cố hình thành một cung tròn chịu lực, đá xung quanh thành một chỉnh thể và tăng khả năng chịu lực bên trong cũng như hạn chế chuyển vị vỏ hầm, làm khối đá tự cân bằng và ổn định.

Theo cơ chế chịu lực của neo gia cố và đặc điểm tính toán phần tử hữu hạn ba chiều, bài báo chọn mô hình giới hạn neo gia cố và khối đá xung quanh là hình trụ tròn. Khi đó, mô hình mô phỏng sự làm việc của neo xuyên vào khối đá, cố kết với đá xung quanh hình thành một chỉnh thể. (Hình 1). Mô hình phần tử tính toán có lõi ở tâm trụ là neo, bên ngoài là khối đá xung quanh, phạm vi ảnh hưởng chiều rộng và chiều sâu được xác định từ mô hình thí nghiệm. Trong tính toán hình trụ giữa neo và đá xung quanh có xét đến tính dị hướng của các lớp địa tầng theo thông số cơ lý. Từ định luật Hooke tổng quát về mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng bài của toán không gian hình trụ là^{[3], [5]}:

$$\begin{cases} \sigma_r = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \sigma_{rr}) - \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} (r \sigma_{r\theta}) - \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial z^2} (r \sigma_{rz}) \\ \sigma_\theta = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \sigma_{r\theta}) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} (r \sigma_{rr}) - \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial z^2} (r \sigma_{rz}) \\ \sigma_z = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \sigma_{rz}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (r \sigma_{\theta z}) - \frac{1}{r} \frac{\partial^2}{\partial z^2} (r \sigma_{rz}) \\ \sigma_{rz} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \sigma_{rz}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (r \sigma_{\theta z}) - \frac{1}{r} \frac{\partial^2}{\partial z^2} (r \sigma_{rz}) \end{cases} \quad (1)$$

Do phần tử tính toán hình trụ tròn có trục đối xứng hướng tâm, nên biến dạng $\sigma_{\theta z} = 0$, suy ra quan hệ ứng suất và biến dạng có thể đơn giản hóa:

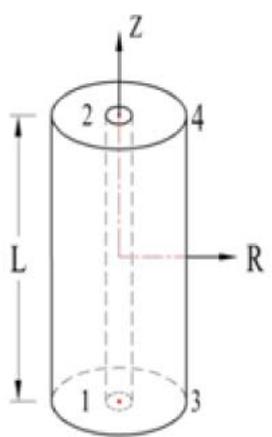
$$\begin{cases} \sigma_r = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \sigma_{rr}) - \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial z^2} (r \sigma_{rz}) \\ \sigma_\theta = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \sigma_{r\theta}) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} (r \sigma_{rr}) - \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial z^2} (r \sigma_{rz}) \\ \sigma_z = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \sigma_{rz}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (r \sigma_{\theta z}) - \frac{1}{r} \frac{\partial^2}{\partial z^2} (r \sigma_{rz}) \\ \sigma_{rz} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \sigma_{rz}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (r \sigma_{\theta z}) - \frac{1}{r} \frac{\partial^2}{\partial z^2} (r \sigma_{rz}) \end{cases} \quad (2)$$

trong đó: m, n là tham số của ma trận đàn hồi

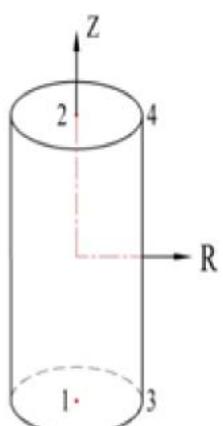
$$m = \frac{1}{2} (1 + \mu_r) \quad n = \frac{1}{2} (1 - \mu_r) \quad \text{và} \quad \mu_z = \frac{1}{2} \mu_z$$

(với E_r, μ_r và E_z, μ_z là modun đàn hồi, hệ số Poisson theo hướng kính và theo trục z)

Theo mô hình cơ học của phần tử neo, có thể xây dựng phần tử hình trụ đẳng tham số 2 chiều dọc trục z và hướng bán kính r của neo (Hình 2), tương đương phần tử tính toán hình 1, hiện thị 4 điểm nút, trong đó phân biệt tọa độ cục bộ của các nút (z, r) của 4 điểm nút tính toán là: 1(-1, 0); 2(1, 0); 3(-1, 1); 4(1, 1).



Hình 1. Mô hình phần tử neo gia cố và khối đá xung quanh



Hình 2. Mô hình phần tử hình trụ đẳng tham số

Để đảm bảo liên tục theo điều kiện biên, hàm dạng N_i của phần tử tính toán phải thỏa mãn $N_i = 1$ tại nút i và bằng 0 tại các nút khác^{[3], [6]}, do đó:

$$N_i(x, y, z) = \begin{cases} 1 & \text{tại nút } i \text{ (hố } i) \\ 0 & \text{tại nút } j \text{ (hố } j) \end{cases} \quad (3)$$

Tại nút 1 ($N_1 = 1$, bằng 0 tại các nút còn lại 2, 3, 4) có $r = 0$, $z = -1$, thì $N_1(z, r)$ phải có dạng:

$$N_1(z, r) = C(1 - r)(1 - z) \quad (4)$$

Với C là hằng số được xác định theo ý nghĩa

vật lý hàm dạng thay vào (3) ta có: $C=1/2$. Tương tự, có thể xác định biểu thức của hàm dạng còn lại của phần tử:

$$\begin{cases} N_1(z, r) = \frac{(1-r)(1-z)}{2} \\ N_2(z, r) = \frac{(1+r)(1-z)}{2} \\ N_3(z, r) = \frac{(1-r)z}{2} \\ N_4(z, r) = \frac{(1+r)z}{2} \end{cases} \quad (5)$$

Ta có ma trận độ cứng của phần tử trụ neo:

$$[K_e] = \int_V [B]^T [D_c] [B] dV = \int_0^1 \int_{-1}^1 [B]^T [D_c] [B] 2\pi R dz dr = \int_0^1 \int_{-1}^1 [B]^T [D_c] [B] 2\pi R |J| dz dr \quad (6)$$

trong đó: $|J|$ là định thức ma trận Jacobian; $[B]$ là ma trận hình dạng của phần tử trụ, với ma trận

phần tử của $[B]$ là:

$$[B] = \begin{bmatrix} N_{1,r} & 0 \\ 0 & N_{1,z} \\ N_{1,z} & N_{1,r} \end{bmatrix}$$

Dựa vào tích phân hàm Gauss, với $t = 2r-1$ thay vào (6) ta có:

$$[K_e] = \int_0^1 \int_{-1}^1 [B]^T [D_c] [B] \frac{\pi R}{2(1-t^2)} dt dz \quad (7)$$

2.2. Chuyển đổi neo dạng ẩn

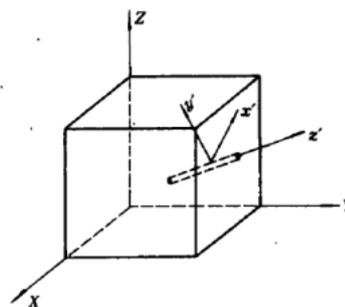
Neo gia cố công trình ngầm thường phụ thuộc vào địa chất nên phân bố không đều, do đó trong tính toán phần tử hữu hạn 3 chiều không thể biểu diễn mỗi một neo thành phần tử kết cấu chính thể. Để tiện lợi cho việc nghiên cứu phương thức phân bố neo khác nhau, mà lại không ảnh hưởng đến chia lưới phần tử hữu hạn, bài báo này ứng dụng phần tử neo dạng ẩn để tiến hành phân tích neo gia cố. Gọi là phần tử dạng ẩn tức là ẩn dấu phần tử neo gia cố trong phần tử khối đá, khi chia phần tử khối đá không có tác dụng trực tiếp của neo thì phải tăng độ cứng khối đá đến độ cứng chính thể 3 chiều của phần tử hữu hạn.

Từ (7) tính ra độ cứng phần tử trụ neo, đối với hệ tọa độ hình trụ là ma trận độ cứng 2 chiều, có thể biểu thị ma trận phần tử:

$$[K_e] = \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} \\ K_{xy} & K_{yy} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Trong hệ tọa độ góc vuông nó là ma trận độ cứng 3 chiều, khi chọn hệ trục tọa độ 3 chiều của trục neo làm tọa độ cục bộ (hình 3), độ cứng phần tử của neo có biểu thị là:

$$[K_e] = \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} & K_{xz} \\ K_{xy} & K_{yy} & K_{yz} \\ K_{xz} & K_{yz} & K_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{xx} & 0 & K_{xz} \\ 0 & K_{yy} & 0 \\ K_{xz} & 0 & K_{zz} \end{bmatrix} \quad (9)$$



Hình 3. Phần tử neo gia cố dạng ẩn

Để độ cứng của phần tử neo dạng ẩn tăng đến độ cứng tổng thể, trước hết phải xác định độ cứng của tọa độ cục bộ theo công

thức (9) rồi chuyển đổi thành độ cứng của hệ tọa độ chính thể.

Ma trận chuyển hóa tọa độ cục bộ và tọa độ chính thể 3 chiều của phần tử neo là:

$$[T] = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & l_{13} \\ l_{21} & l_{22} & l_{23} \\ l_{31} & l_{32} & l_{33} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Trong công thức l_{ij} biểu thị cosin chỉ phương của tọa độ cục bộ i và tọa độ chính thể 3 chiều j của neo (i, j đại diện 3 phương x, y, z). Theo nguyên lý chuyển đổi ma trận độ cứng phần tử hữu hạn, trong tọa độ chính thể, ma trận độ cứng của phần tử neo là:

$$[K_e] = [T]^T [K] [T] \quad (11)$$

Từ công thức (11) xác định ma trận độ cứng của phần tử neo dạng ẩn, có thể dựa theo lý thuyết phép nội suy phần tử hữu hạn^[5], tăng độ cứng dạng ẩn lên đến độ cứng của phần tử khối đá.

Từ hình 3 cho thấy, có thể giả thiết giá trị chuyển vị điểm nút của phần tử neo dạng ẩn $\{\delta\}$ và chuyển vị điểm nút của phần tử khối đá $\{\delta\}$ trên tọa độ chính thể tương ứng là:

$$\begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1, v_1, w_1, \dots, u_2, v_2, w_2 \\ u_3, v_3, w_3, \dots, u_n, v_n, w_n \end{bmatrix} \quad (12)$$

Theo lý thuyết phép nội suy của phần tử hữu hạn, suy ra mối liên hệ giữa chuyển vị điểm nút của phần tử neo và chuyển vị điểm nút của phần tử khối đá:

$$\{\delta\} = [N] \{\delta\} \quad (12)$$

trong đó $[N]$ là ma trận tham số hình học:

$$[N] = \begin{bmatrix} \frac{x_2 - x_1}{x_2 - x_1} & \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} & \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1} & \dots & \frac{x_1 - x_1}{x_2 - x_1} & \frac{y_1 - y_1}{x_2 - x_1} & \frac{z_1 - z_1}{x_2 - x_1} \\ \frac{x_2 - x_2}{x_2 - x_1} & \frac{y_2 - y_2}{x_2 - x_1} & \frac{z_2 - z_2}{x_2 - x_1} & \dots & \frac{x_1 - x_2}{x_2 - x_1} & \frac{y_1 - y_2}{x_2 - x_1} & \frac{z_1 - z_2}{x_2 - x_1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{x_2 - x_n}{x_2 - x_1} & \frac{y_2 - y_n}{x_2 - x_1} & \frac{z_2 - z_n}{x_2 - x_1} & \dots & \frac{x_1 - x_n}{x_2 - x_1} & \frac{y_1 - y_n}{x_2 - x_1} & \frac{z_1 - z_n}{x_2 - x_1} \end{bmatrix} \quad (13)$$

với $\frac{x_j - x_i}{x_2 - x_1}$ là giá trị hàm số hình học tại điểm nút thứ i của phần tử khối đá nằm với nút thứ j của phần tử neo gia cố.

Giả thiết tải trọng điểm nút của phần tử neo dạng ẩn là:

$$\{F\} = [K_e] \{\delta\} = [K_e] [T] \{\delta\} \quad (14)$$

Theo nguyên lý tương đương lực tĩnh của phần tử hữu hạn, có thể phân bổ tải trọng tương đương điểm nút của phần tử neo đến điểm nút i của phần tử khối đá

$$\{F_i\} = [K_e] [T] \{\delta\} = [K_e] [T] \{\delta\} \quad (15)$$

Theo phương trình cân bằng phần tử của phương pháp phần tử hữu hạn, có thể phân biệt phần tử khối đá neo dạng ẩn và phần tử khối đá:

$$[K_e] \{\delta\} = \{F\} \quad (16)$$

$$[K_e] \{\delta\} = \{F\} \quad (17)$$

Thay (12) và (15) vào (16) ta có

$$[K_e] [T] \{\delta\} = [N]^T [K_e] [T] \{\delta\} = \{F\} \quad (18)$$

Từ (17) và (18), sau khi phân bổ tương đương ma trận độ cứng của phần tử neo dạng ẩn đến phần tử khối đá, thì ma trận độ cứng là:

$$[K_e] = [N]^T [K_e] [N] \quad (19)$$

trong đó $[K_e]$ và $[N]$ phân biệt từ công thức (11) và (13).

2.3 Phương pháp phân tích tính đàn hồi dẻo của neo gia cố

Khi thi công công trình ngầm làm thay đổi kết cấu tự nhiên ban đầu của khối đá, ứng suất khối đá trở thành tải trọng giải phóng tác dụng lên vỏ hầm, do đó làm vỏ hầm xuất hiện biến dạng và chuyển vị. Do khối đá có tính đàn hồi dẻo, nên sau khi thi công biến dạng của đá xung quanh cần một khoảng thời gian nhất định mới có thể cân bằng trở lại. Do đó, sau khi thi công công trình ngầm cần phải gia cố neo kịp thời, để có hiệu quả cao nhất trong việc ngăn cản biến dạng đá xung quanh hầm. Theo đó, bài báo này ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn đàn hồi 3 chiều, gia tăng độ cứng đạt tính dẻo, từ đó phân tích tác dụng neo gia cố công trình ngầm. Phương pháp này nghĩa là phân tải trọng thi công lên kết cấu

công trình ngầm thành 2 phần: tải trọng có tính đàn hồi {Re} và tải trọng có tính dẻo {Rp}. Với tải trọng đàn hồi tác dụng lên kết cấu, tiến hành tính toán độ cứng của kết cấu hầm, sau đó gia tăng độ cứng neo gia cố để tạo hiệu ứng đến độ cứng chính thể của kết cấu hầm; đối với tải trọng tính đàn dẻo tính toán tương tự. Trong phép lặp phân tải, mỗi lần lặp lại phải tiến hành tính toán ứng suất của phần tử khối đá xung quanh và phần tử neo gia cố.

Đối với phép lặp ứng suất tăng thêm của phần tử khối đá có thể tính theo biến dạng tăng thêm như sau:

$$\{\Delta \sigma_{ij}\} = \mu \{\sigma_{ij}\} / (1-\mu) + \sum_k \{\sigma_{ij}\} / (1-\mu) \quad (20)$$

trong đó $\{\sigma_{ij}\}$ là ma trận ứng suất đàn hồi và đàn dẻo của phần tử đá; S là hệ số ứng suất đàn hồi của phần tử.

Với phép lặp ứng suất tăng thêm của phần tử neo, chuyển vị nút của neo có thể dựa theo chuyển vị điểm nút của phần tử khối đá, dùng lý thuyết phép nội suy để tìm ra chuyển vị điểm cuối neo^[4]. Do đó, tính được biến dạng của phần tử neo có thể tính theo công thức ứng suất tăng thêm của neo:

$$\{\sigma_{ij}\} = \frac{E}{(1+\mu)} \left[\begin{matrix} 1-\mu & \mu & 0 \\ \mu & 1-\mu & 0 \\ 0 & 0 & 1-2\mu \end{matrix} \right] \left\{ \begin{matrix} u \\ v \\ w \end{matrix} \right\} \quad (21)$$

trong đó E, μ là modul đàn hồi và hệ số poisson của vật liệu neo gia cố.

Trong quá trình lặp, khi nhập trạng thái dẻo đối với phần tử khối đá và phần tử neo, phải dựa theo phương pháp độ cứng đàn dẻo tăng thêm để biến đổi độ cứng, sau đó thực hiện một vòng lặp, tiếp tục lặp khi phép tính hoàn tất.

3. NỘI DUNG TÍNH TOÁN

3.1 Ví dụ tính toán

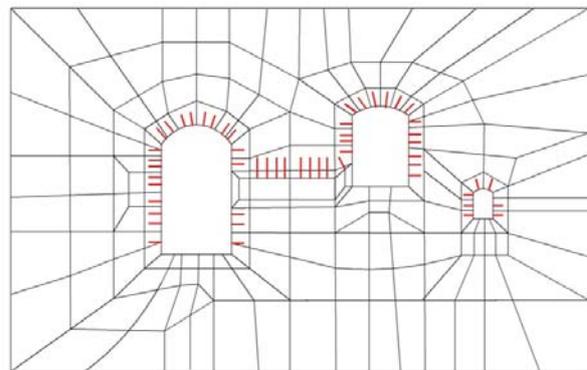
Ví dụ tính toán cho một công trình thủy điện có hầm nhà máy nằm trong lòng đất, ứng dụng phần tử hữu hạn đàn dẻo ba chiều tiến hành

tính toán phân tích đối với hiệu quả làm việc neo gia cố. Công trình nhà máy thủy điện dưới lòng đất có hầm nhà máy chính, hầm biến áp chính, cửa lấy nước, đường hầm chính, đường giao thông, hầm thoát nước,... hợp thành không gian ngầm dưới lòng đất. Đá của khu nhà máy chủ yếu đá hoa cương vân đen, modul đàn hồi là E=35GPa, hệ số poisson $\mu=0.22$, lực kết dính $c=1,3\text{MPa}$, góc ma sát trong $\varphi=50^\circ$. Hầm nhà máy nằm ở độ sâu 220÷330 m trong lòng núi, kích thước hầm nhà máy chính là 120mx22mx46m (dài x rộng x cao).

Chia lưới phần tử của mặt cắt ngang nhà máy và phân bố neo như hình 4. Để nghiên cứu ảnh hưởng neo gia cố đến ứng suất, biến dạng của đá xung quanh, tiến hành tính toán với 4 trường hợp (TH) sau:

- Trường hợp 1: khi không có neo gia cố;
- Trường hợp 2: neo đường kính $\phi 2.5\text{cm}$, khoảng cách phân bố neo là $3 \times 3\text{m}^2$; chiều dài neo là 3m.
- Trường hợp 3: trên cơ sở của trường hợp 1, gia cố thêm 1 neo $\phi 2,5\text{cm}$ ở trung tâm của $3 \times 3\text{m}^2$, chiều dài là 5,5m.
- Trường hợp 4: trên cơ sở của trường hợp 1, tăng thêm mật độ phân bố neo $1,5 \times 1,5\text{m}^2$, đường kính vẫn là $\phi 2,5\text{cm}$, chiều dài 3m.

Dùng phần tử neo dạng ảnh, sử dụng phần tử hữu hạn đàn dẻo ba chiều tiến hành tính toán.



Hình 4. Bố trí neo và chia lưới phần tử

3.2 Phân tích kết quả tính toán:

Từ những kết quả tính toán với các trường hợp khác nhau, có những nhận xét cho thấy tác dụng của neo gia cố khi xây dựng công trình ngầm rất rõ rệt, cụ thể như:

- Hạn chế biến dạng của đá xung quanh:

Từ bảng 1 có thể thấy, khi sử dụng hệ thống neo gia cố TH2, 3 so với TH1 không gia cố thì chuyển vị lớn nhất của đỉnh hầm nhà máy chính giảm $0,6 \div 1,2\text{mm}$, chiếm $15\% \div 23\%$; chuyển vị lớn nhất của bên tường giảm $2,8 \div 3,6\text{mm}$, chiếm $33\% \div 43\%$. So sánh với TH3,

khi mật độ neo tăng thêm ở TH4, thì biến dạng của đá xung quanh tiếp tục giảm, nhưng không đáng kể. Điều đó cho thấy, sau khi thi công xong, neo xuyên vào khối đá, tác dụng liên hợp giữa neo và đá xung quanh tạo thành khối thống nhất, đồng thời làm độ cứng chính thể được nâng lên và ngăn cản biến dạng của đá xung quanh. Khi mật độ của neo tăng đến một mức độ nhất định, nếu tiếp tục tăng mật độ của neo thì hiệu quả thấp. Do đó, cần phải nghiên cứu trường hợp gia cố với mật độ hợp lý để công trình đạt được mục đích vừa an toàn ổn định vừa đảm bảo điều kiện kinh tế.

Bảng 1. Kết quả tính chuyển vị xung quanh hầm với các trường hợp tính toán: (Đ/v: mm)

| Hạng mục | Vị trí | TH1 không gia cố | | Có gia cố TH2 | | Có gia cố TH3 | | Có gia cố TH4 | |
|---------------|------------------|------------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|
| | | Phương ngang | Phương đứng | Phương ngang | Phương đứng | Phương ngang | Phương đứng | Phương ngang | Phương đứng |
| Nhà máy chính | Đỉnh hầm | 2.48 | 4.58 | 1.83 | -3.85 | 1.65 | -3.44 | 1.59 | -3.41 |
| | Tường thượng lưu | 8.55 | -0.34 | 5.73 | -0.25 | 4.88 | -0.28 | 4.69 | -3.01 |
| | Tường hạ lưu | -9.48 | 1.83 | -6.66 | 1.62 | -6.15 | 1.50 | -5.91 | 1.39 |
| Phòng biến áp | Đỉnh hầm | 0.21 | -4.55 | 0.35 | -3.74 | 0.25 | -3.36 | 0.29 | -3.31 |
| | Tường thượng lưu | 3.26 | -2.57 | 0.273 | -1.72 | 2.09 | -1.60 | 1.99 | -1.61 |
| | Tường hạ lưu | -5.74 | 0.15 | -4.39 | 0.14 | -3.83 | 0.15 | -3.71 | 0.19 |

- Giảm trạng thái ứng suất xung quanh hầm

Từ bảng 2 có thể thấy, khi sử dụng neo gia cố xung quanh hầm, không chỉ giảm ứng suất chung mà cường độ ứng suất tập trung cũng giảm theo. Trạng thái ứng suất ba chiều khi có neo so với khi không gia cố có xu hướng đồng đều hóa. Nó cho thấy rằng, sau khi neo và đá xung quanh hình thành một tổ hợp chính thể, tải trọng tác dụng lên đá xung quanh một phần sẽ truyền lên neo. Do đó, ứng suất của đá xung quanh được cải thiện đồng thời làm tăng khả năng chịu tải đá quanh hầm.

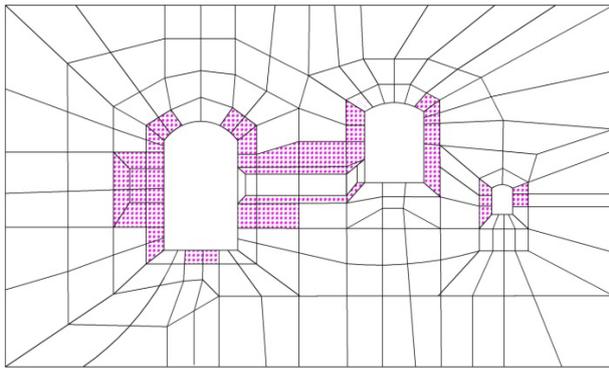
- Hạn chế phát triển vùng đàn dẻo đá xung quanh

So sánh kết quả biểu đồ phổ màu khu vực đàn dẻo của hình 5 và hình 6, cho thấy sau khi gia cố, neo và đá xung quanh làm việc đồng thời, lực ma sát của đá xung quanh được tăng lên và tăng khả năng chống cắt. Khu vực đàn dẻo đá xung quanh hầm nhà máy và nhà biến áp giảm đáng kể, vùng ảnh hưởng bị thu hẹp. So sánh phân bố khu vực đàn dẻo của trường hợp hỗ trợ 2, 3 và 4 có giảm nhưng không đáng kể. Điều này cho thấy, khi đã bố trí neo gia cố một cách hợp lý vừa có thể đảm bảo tính ổn định của đá xung quanh, vừa có thể đáp ứng yêu cầu thời gian và chi phí xây dựng.

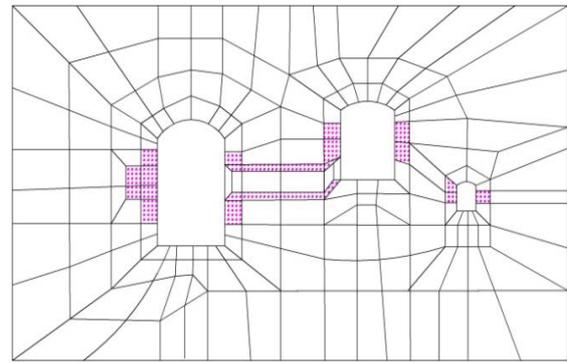
Bảng 2. Sự biến đổi ứng suất chu vi hầm với các trường hợp tính toán (Đơn vị: MPa)

| Trường hợp | Đỉnh hầm | | | Tường thượng lưu | | | Tường hạ lưu | | | Đường hầm chính | | |
|---------------------|------------|------------|------------|------------------|------------|------------|--------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| | σ_x | σ_y | σ_z | σ_x | σ_y | σ_z | σ_x | σ_y | σ_z | σ_x | σ_y | σ_z |
| Ứng suất ban đầu | -8,2 | -6,7 | -11,7 | -8,6 | -7,1 | -12,3 | -8,4 | -6,9 | -11,9 | -8,6 | -7,1 | 12,5 |
| TH1 Không gia cố | -12,4 | -6,2 | -5,1 | -2,8 | -5,9 | -13,2 | -3,6 | -7,1 | -14,7 | -5,5 | -8,9 | -21,3 |
| Gia cố TH2 | -11,3 | -6,1 | -5,9 | -3,8 | -6,3 | -13,4 | -4,8 | -6,6 | -14,4 | -5,7 | -8,2 | -20,4 |
| Gia cố TH3 | -11,0 | -6,2 | -6,3 | -4,1 | -6,3 | -13,2 | -5,2 | -6,7 | -14,2 | -6,2 | -8,2 | -19,9 |
| Gia cố TH4 | -11,0 | -6,2 | -6,5 | -4,0 | -6,3 | -13,2 | -5,2 | -6,6 | -14,1 | -6,2 | -8,2 | -19,7 |

Ghi chú: trục x hướng thượng lưu về hạ lưu; trục y dọc theo trục nhà máy, z hướng thẳng đứng.



Hình 5. Phân bố khu vực đàn dẻo trường hợp không có neo gia cố



Hình 6. Phân bố khu vực đàn dẻo của trường hợp có neo gia cố TH1

4. KẾT LUẬN

1. Dùng phương pháp phần tử hữu hạn và mô hình hóa phần tử neo dạng ẩn mô phỏng neo gia cố để tính ứng suất, biến dạng đá xung quanh công trình ngầm cho ta kết quả sát thực tế, phản ánh sự làm việc đồng thời giữa neo và đá xung quanh. Khi chuyển hóa phần tử neo dạng ẩn giúp giải bài toán nhanh chóng, tiện lợi kể cả trong trường hợp phân bố neo không đều, địa chất phức tạp, kết quả cho thấy hiệu quả của neo gia cố đối với ổn định của đá xung quanh công trình ngầm.

2. Nguyên lý làm việc của neo gia cố thông qua tác dụng liên hợp của neo và đá xung

quanh, có hiệu quả ngăn cản đá xung quanh biến dạng, cải thiện trạng thái ứng suất. Khi neo xuyên vào khối đá, thì khối đá và neo sẽ làm việc đồng thời nên nó hạn chế sự phát triển của khu đàn hồi dẻo của đá xung quanh hầm, từ đó tăng khả năng chịu lực bên trong và nâng cao tính ổn định vỏ hầm.

3. Phân bố neo gia cố khác nhau thì tính ổn định của đá xung quanh cũng khác nhau. Khi gia tăng mật độ neo thì độ cứng và tính chính thể khối đá được nâng lên. Nhưng sau khi mật độ của neo gia tăng đến một mức độ nhất định, nếu tiếp tục gia tăng mật độ neo thì tác dụng làm giảm ứng suất, biến dạng, ổn định kết cấu

công trình rất ít. Do đó, việc nghiên cứu biện pháp, mật độ neo gia cố là việc làm cần thiết để công trình ngầm đạt được yêu cầu kỹ thuật và kinh tế./.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trần Thanh Giám, Tạ Tiến Đạt. *Tính toán thiết kế công trình ngầm*; NXB Xây dựng; 2002.
- [2] Võ Trọng Hùng, Phùng Mạnh Đắc, (2005), *Cơ học đá ứng dụng trong xây dựng công trình ngầm và khai thác mỏ*. NXB Khoa học và Kỹ thuật.
- [3] Trần Ích Thịnh, Ngô Như Khoa, (2007), *Phương pháp phần tử hữu hạn*, NXB Khoa học và Kỹ thuật.
- [4] Guo Lingyun, Xiao Ming, Ren Yi, (2007), Numerical Simulation and Mechanical Analysis of End-Anchored Bolts, *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, Vol.26, No.2, p4221-4226. (Trung văn)
- [5] Ru Zhongliang, nnt, (2005), Parallel Finite Element Method Anlysis of Bolted Rock Mass in Underground Engineering, *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, Vol.24, No.1, p13-17. (Trung văn)
- [6] A. A. Elsayed, (2011), Study of Rock-Lining Interaction for Circular Tunnels Using Finite Element Analysis, *Jordan Journal of Civil Engineering*, Volume 5, No. 1, p50-63. (Anh văn)