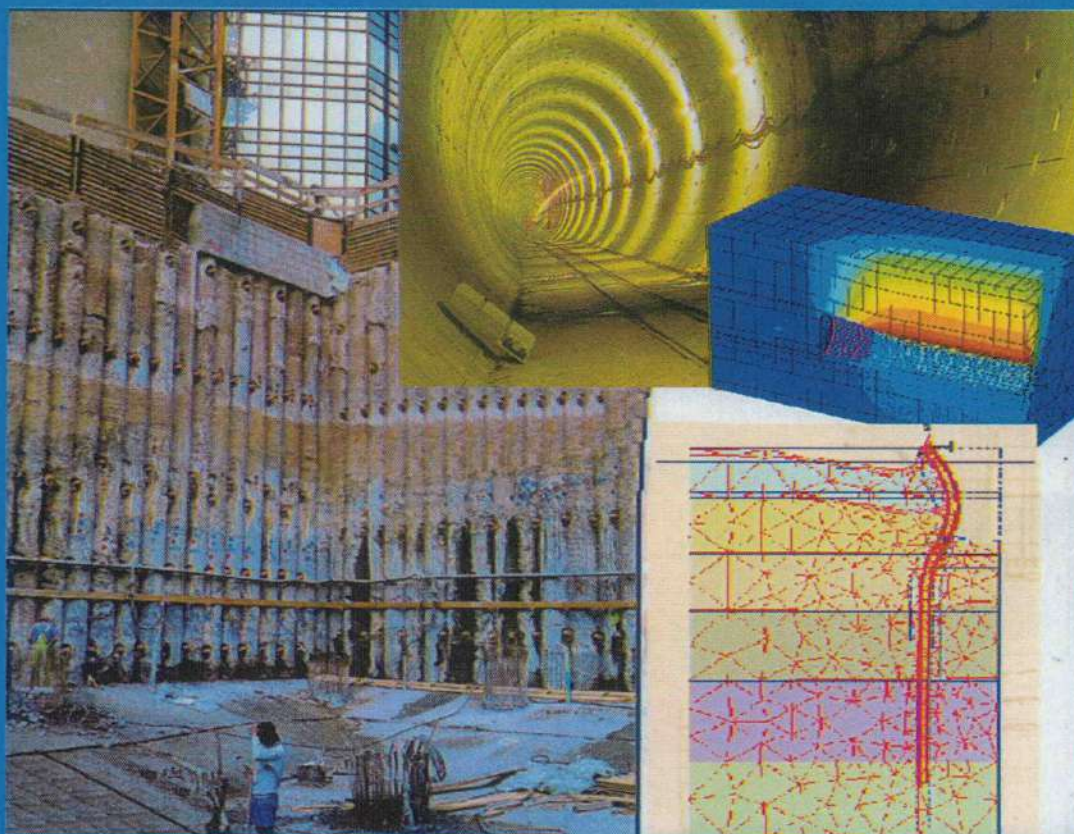


PHÂN TÍCH KẾT CẤU HẦM VÀ TƯỜNG CỬ BẰNG PHẦN MỀM PLAXIS



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

GS.TS. NGUYỄN VIỆT TRUNG
TH.S NGUYỄN THỊ BẠCH DƯƠNG



PHÂN TÍCH KẾT CẤU HẦM VÀ TƯỜNG CỪ BẰNG PHẦN MỀM PLAXIS

LỜI NÓI ĐẦU

Trong lĩnh vực xây dựng công trình tường cừ hay công trình hầm cũng như địa kỹ thuật, được xây dựng trên và trong khối đất, đá là những môi trường phức tạp. Khối đất, đá có thể được cấu thành từ một hay nhiều loại đất đá với các dấu hiệu cấu trúc khác nhau, đặc trưng bởi sự có mặt của các mặt phân cách đa dạng. Nghiên cứu các quá trình biến đổi cơ học trong khối đất, đá với các cấu kết nhân tạo, nhằm thiết kế và xây dựng được các công trình trên và trong các khối đất đá theo yêu cầu sử dụng, các yêu cầu về kỹ thuật và kinh tế, đảm bảo an toàn và ổn định công trình cũng như các công trình lân cận, an toàn cho sinh mệnh con người vẫn luôn luôn là vấn đề phức tạp. Do vậy cho đến nay đã có hàng loạt các phương pháp nghiên cứu khác nhau được phát triển và sử dụng. Các phương pháp lý thuyết được sử dụng để nghiên cứu phân tích mức độ ổn định trong khối đất đá và thiết kế công trình cũng như trong tính toán địa kỹ thuật, bao gồm các phương pháp giải tích và các phương pháp số. Một trong những phương pháp số được ứng dụng mạnh mẽ và cùng với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ tin học đó là phương pháp phần tử hữu hạn với nhiều ưu điểm nổi bật.

Với sự phát triển đa dạng của các chương trình phần mềm máy tính sử dụng trong việc mô hình hoá và phân tích mô hình ngày càng nhiều và có độ tin cậy cao, đáp ứng mọi bài toán phức tạp đưa ra trong công tác thiết kế xây dựng công trình. Một trong những phần mềm nổi tiếng trong lĩnh vực địa kỹ thuật là phần mềm Plaxis giải quyết gần như đầy đủ nhất các bài toán địa kỹ thuật thường gặp trong thực tế, thân thiện với người dùng và được nhiều nước trên thế giới ưa chuộng.

Các công trình ngầm và tường cừ được xây dựng trong đất, bị ảnh hưởng tải trọng bên ngoài, yếu tố mực nước ngầm, chìm trong nước, các trạng thái ứng suất ban đầu trong đất... được giải quyết khá triệt để trong phân tích tính toán bằng phần mềm Plaxis.

Giáo trình Phân tích kết cấu công trình hầm và tường cừ được biên soạn nhằm phục vụ cho việc giảng dạy và hướng dẫn cho sinh viên ngành xây dựng công trình giao thông, xây dựng công trình thuỷ lợi và ngành xây dựng nói chung cách sử dụng phần mềm Plaxis V8 và Plaxis 3D Tuynel để phân tích tính toán các công trình ngầm và tường cừ nói trên. Ngoài ra sách có thể dùng làm tài liệu tham khảo cho cán bộ kỹ thuật trong các ngành xây dựng.

Cuốn sách gồm có 3 chương:

Chương 1: Giới thiệu chung về phần mềm Plaxis

Chương 2: Các tính năng hỗ trợ của Plaxis trong tính toán công trình hầm và tường cừ

Chương 3: Các ví dụ tính toán kết cấu công trình hầm và tường cừ

Vì thời gian và trình độ có hạn và là lần đầu biên soạn nên khó tránh khỏi thiếu sót, chúng tôi rất mong nhận được sự góp ý, phê bình của các bạn đọc để chỉnh sửa cho lần xuất bản sau. Mọi ý kiến góp ý xin gửi về theo địa chỉ:

Bộ môn công trình GTTP – Khoa Công trình - Đại học Giao thông Vận tải – Láng Thượng - Đống Đa - Hà Nội hoặc địa chỉ email của tác giả viетtrungng@yahoo.com, nguyenthibachduong@gmail.com.

Các Tác giả

GIỚI THIỆU CHUNG VỀ PHẦN MỀM PLAXIS









1.1. GIỚI THIỆU VỀ BỘ PHẦN MỀM PLAXIS

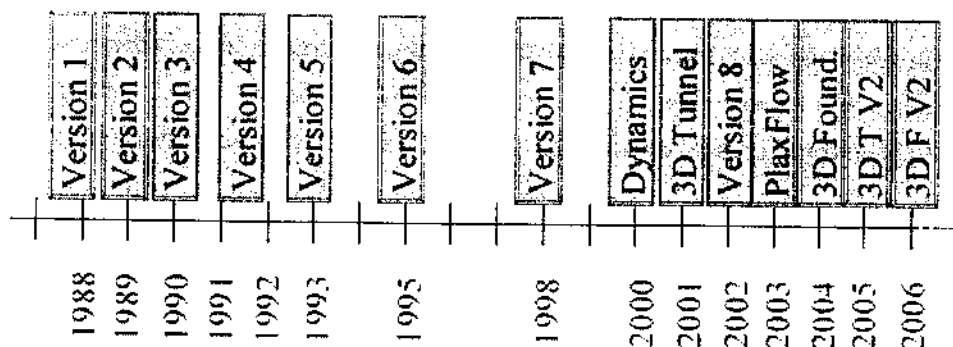
Sự phát triển phần mềm (PM) Plaxis bắt đầu từ năm 1987 tại Đại học công nghệ Delft – Hà Lan. Phiên bản V.1 ban đầu được lập nhằm mục đích phân tích các bài toán ổn định bờ biển và đê sông tại các vùng bờ biển thấp tại Hà Lan, làm cầu nối giữa các kỹ sư Địa kỹ thuật và các chuyên gia lý thuyết, do GS. R.B.J Brinkgreve và P.A Vermeer khởi xướng.

Đến năm 1993 công ty Plaxis BV được thành lập và từ năm 1998, các phần mềm PLAXIS đều được xây dựng theo phương pháp phần tử hữu hạn.

Hiện nay, bộ phần mềm này có thể xem như giải quyết được đầy đủ các bài toán địa kỹ thuật thường gặp trong thực tế, thân thiện với người dùng và được nhiều nước trên thế giới ưa chuộng.

Các phiên bản của Bộ phần mềm Plaxis được xây dựng từ năm 2000 đến năm 2007 gồm 5 modul

Tên	Plaxis V.1	Plaxis V.3	Plaxis Dynamics	Plaxis 3D Tunnel	Plaxis V.8	Plaxis PlaxFlow	Plaxis 3D Found
Năm	1987	1990	2000	2001	2002	2003	2007
							 



Hình 1.1. Lịch sử phát triển các phiên bản của bộ phần mềm Plaxis

Cho đến hiện nay, các phiên bản của Plaxis đã có: **Plaxis 2D Version 8.6**, **Plaxis 3D tunnel Version 2.4**, **Plaxis 3D Foundation 2.1**, **PlaxFlow Version 1.5**. Trong tương lai bộ phần mềm này vẫn liên tục được phát triển để đáp ứng được ~~nhu cầu~~ các bài toán về địa kỹ thuật với các tiêu chuẩn tiên tiến được cập nhật.

Có thể nói đây là một phần mềm nổi tiếng, sử dụng rất **hiệu quả** cho các bài toán liên quan tới địa kỹ thuật.

1.2. KHẢ NĂNG PHÂN TÍCH CỦA PHẦN MỀM PLAXIS

- **Plaxis V.8 - 2D**: Phạm vi giải quyết các bài toán địa kỹ thuật **trong model** rất rộng. Phân tích biến dạng và ổn định các bài toán địa kỹ thuật theo **phương pháp phần tử hữu hạn** (PTHH 2D) trong trường hợp đất bão hoà và không bão hoà: **biến dạng đàn dẻo**, các loại mô hình đất tiên tiến, phân tích ổn định, cổ kết, phân tích độ **an toàn**, **cập nhật** lưới và đường mực nước trong trạng thái ổn định.

- **Plaxis 2D Dynamics**: Modul này có khả năng phân tích các **dao động** trong đất (do các lực động nhân tạo và động đất gây ra) và ảnh hưởng của chúng **lối các công trình** lân cận. Áp lực nước lỗ rỗng dư được phân tích. Tuy nhiên, yếu tố hoá lỏng ~~chưa được~~ xem xét do sự phức tạp của quá trình vật lý liên quan và sự hạn chế của mô **hình Plaxis về** khía cạnh này. Các phiên bản trong tương lai sẽ nghiên cứu kỹ và chi tiết hơn **vấn đề** hoá lỏng này. Modul này phân tích theo PTHH 2D.

- **Plaxis PlaxFlow – V.1**: Modul này có khả năng phân tích thêm **trong môi trường** đất đá theo PTHH -2D với các bài toán thấm ổn định và không ổn định, **môi trường** đẳng hướng và bất đẳng hướng.

PlaxFlow có thể được tích hợp với Plaxis 2D để phân tích các bài toán về ứng suất và biến dạng (dòng thấm ổn định).

- **Plaxis 3D tunnel V.2**: Phân tích biến dạng và ổn định theo bài toán ba chiều trong thiết kế đường hầm theo PTHH. Modul này chủ yếu dùng cho phân tích các công trình ngầm, nhưng nó còn có khả năng phân tích các vấn đề địa kỹ thuật khác. Lưới PTHH 3D với độ chính xác yêu cầu được phát sinh khi tính toán. Chương trình 3D tunnel có khả năng kết hợp nhiều yêu cầu, bao gồm: phân tích biến dạng đàn dẻo tĩnh, các mô hình đất tiên tiến, phân tích ổn định, cổ kết, phân tích an toàn, cập nhật lưới và đường mực nước ổn định.

- **Plaxis 3D Foundation**: Phân tích biến dạng và ổn định các bài toán móng bè, móng cọc, công trình biển theo phương pháp PTHH. Chương trình 3D Foundation có khả năng kết hợp nhiều yêu cầu, bao gồm: phân tích biến dạng đàn dẻo tĩnh, các mô hình đất tiên tiến, phân tích ổn định, cổ kết, phân tích an toàn, update lưới và đường mực nước ổn định.

1.3. PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN SỬ DỤNG TRONG PHÂN TÍCH BÀI TOÁN ĐỊA KỸ THUẬT

1.3.1. Cơ sở lý thuyết của phần mềm Plaxis

1.3.1.1. Lý thuyết biến dạng

Trạng thái cân bằng tĩnh được biểu diễn bởi công thức:

$$L^T \sigma + p = 0 \quad (1.1)$$

Công thức này liên quan tới đạo hàm không gian của 6 thành phần ứng suất, thể hiện bởi véc tơ σ , với 3 thành phần lực của vật thể, thể hiện bởi véc tơ p . L^T được chuyển thành các toán tử vi phân, định nghĩa như sau:

$$L^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial z} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

Ở trạng thái cân bằng, mối liên hệ động học được xác định theo công thức:

$$\varepsilon = L u \quad (1.3)$$

Công thức này biểu diễn 6 thành phần ứng suất, thể hiện trong véc tơ ε , khi đạo hàm không gian của 3 thành phần chuyển vị biểu thị bởi véc tơ u , dùng như định nghĩa về toán tử vi phân L ở trên. Mối liên hệ giữa công thức (1.1) và (1.3) tạo bởi liên quan kết cấu đại diện là ứng xử vật liệu. Mối liên quan kết cấu giữa tỷ lệ ứng suất và biến dạng, được trình bày trong phần Sổ tay mô hình vật liệu (Material Modal Manual) có thể tham khảo trong menu *Help* của chương trình Plaxis.

Với ε là vectơ 6 thành phần biến dạng, u là vectơ chuyển vị theo 3 phương.

Mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng:

$$\sigma = M \varepsilon \quad (1.4)$$

Kết hợp công thức (1.1), (1.3) và (1.4) dẫn đến công thức vi phân riêng bộ thứ hai về chuyển vị u .

Tất nhiên để kết hợp trực tiếp, công thức cân bằng biểu diễn theo Galerkin (1967), phương trình liên tục ở trạng thái cân bằng tĩnh:

$$\int \delta u^T (L^T \sigma + p) dV = 0 \quad (1.5)$$

δu^T biểu thị sự biến thiên chuyển vị động học. Ứng dụng lý thuyết Green cho tích phân từng phần cho số hạng đầu tiên của (1.5):

$$\int \delta \varepsilon^T \sigma dV = \int \delta u^T p dV + \int \delta u^T t dS \quad (1.6)$$

Tích phân trong phạm vi mà lực kéo giới hạn xuất hiện. Bà thành phần lực kéo tới hạn được xem như véc tơ trong công thức (1.6) được xem như công thức gần thực tế.

Sự phát triển của trạng thái ứng suất σ được xem xét như một quá trình dư:

$$\begin{aligned}\sigma^i &= \sigma^{i-1} + \Delta\sigma \\ \Delta\sigma &= \int \dot{\sigma} dt\end{aligned}\quad (1.7)$$

Trong liên quan này σ^i là trạng thái ứng suất hiện thời mà chưa được biết và σ^{i-1} là trạng thái ứng suất trước đó đã được biết. Độ dư ứng suất $\Delta\sigma$ là tích phân tỷ lệ ứng suất trên số gia thời gian nhỏ.

Nếu công thức (1.6) xem xét trạng thái ứng suất hiện thời i , ứng suất chưa xác định σ loại trừ sử dụng (1.7):

$$\int \delta \epsilon T \Delta \sigma dV = \int \delta u T p_i dV + \int \delta u T t_i dS - \int \delta \epsilon T \sigma_i - 1 dV \quad (1.8)$$

Nên chú ý rằng các công thức 1.1 đến 1.8 xác định trong không gian 3 chiều.

1.3.1.2. Phương pháp phần tử hữu hạn

Theo phương pháp phần tử hữu hạn, một vật thể liên tục được chia ra thành một số lượng hữu hạn phần tử. Mỗi phần tử bao gồm một số nút. Mỗi nút sẽ có số bậc tự do tương ứng các giá trị riêng chưa xác định của vấn đề về nguyên tắc điều kiện biên phải được giải quyết. Trong trường hợp này lý thuyết biến dạng các bậc tự do tương ứng các cấu kiện chuyển vị. Với một phần tử, chuyển vị u thu được từ các giá trị nút rời rạc trong đó vector v dùng chức năng nội suy thu được bởi ma trận N :

$$u = N v \quad (1.9)$$

Mối liên hệ động học:

$$\epsilon = LN v = Bv \quad (1.10)$$

Trong mối liên quan này B là ma trận nội suy biến dạng, mà bao gồm tích phân từng phần của hàm nội suy, trong (1.9) và (1.10) có thể sử dụng biến, số gia, dạng loại như nhau.

Công thức 1.8 có thể được viết dưới dạng:

$$\int (B \delta v)^T T \Delta \sigma dV = \int (N \delta v)^T p_i dV + \int (N \delta v)^T t_i dS - \int (B \delta v)^T T \sigma_i - 1 dV \quad (1.11)$$

Chuyển vị riêng rẽ của các nút có thể đưa ra bên ngoài tích phân:

$$\delta v^T \int B^T T \Delta \sigma dV = \delta v^T \int N^T p_i dV + \delta v^T \int N^T t_i dS - \delta v^T \int B^T T \sigma_i - 1 dV \quad (1.12)$$

Để (1.12) mang yếu tố động học chấp nhận biến chuyển vị δv^T , công thức được viết như sau:

$$\int B^T \Delta \sigma dV = \int N^T p_i dV + \int N^T t_i dS - \int B^T T \sigma^{i-1} dV \quad (1.13)$$

Công thức trên là điều kiện cân bằng phát sinh khi hình dạng bị rời rạc. số hạng đầu bên phải cùng với số hạng thứ 2 xuất hiện véc tơ ngoại lực và số hạng cuối cùng có sự xuất hiện của véc tơ phản lực từ bước trước. Sự khác nhau giữa véc tơ ngoại lực và véc tơ nội lực

được cân bằng bởi số gia ứng suất $\Delta\sigma$.

Mối liên hệ giữa số gia ứng suất và biến dạng là phi tuyến. Kết quả là, số gia biến dạng thường không được tính toán trực tiếp, và phương pháp lặp toàn bộ thích hợp cho giải phương trình cân bằng (1.13) cho tất cả các điểm vật liệu. Phương pháp lặp toàn bộ được giới thiệu trong phần 1.3.1.4, nhưng chú ý tập trung vào điểm lấy tích phân ứng suất cục bộ.

1.3.1.3. Tích phân hàm ẩn của các mô hình đàn dẻo khác nhau

Số gia ứng suất $\Delta\sigma$ chứa tích phân của loại ứng suất theo (1.7). Với mô hình đàn dẻo khác thì số gia ứng suất có thể được tính toán theo công thức:

$$\Delta\sigma = D^e (\Delta\varepsilon - \Delta\varepsilon^p) \quad (1.14)$$

với D^e là ma trận đàn hồi của vật liệu số gia ứng suất hiện thời, $\Delta\varepsilon$ là biến dạng dư được xác định từ số gia chuyển vị Δv xác định từ ma trận nội suy B , như (1.10). Với vật liệu đàn hồi $\Delta\varepsilon^p=0$, với vật liệu có tính đàn dẻo số gia biến dạng dẻo được xác định theo công thức (công thức Vermeer 1979):

$$\Delta\varepsilon^p = \Delta\lambda \left[(1-\omega) \left(\frac{\partial g}{\partial \sigma} \right)^{i-1} + \omega \left(\frac{\partial g}{\partial \sigma} \right)^i \right] \quad (1.15)$$

Trong công thức trên, $\Delta\lambda$ là số gia của bội số đàn dẻo và ω là tham số biểu thị loại tích phân theo thời gian. Khi $\omega=0$ thì tích phân hàm hiện và $\omega=1$ là tích phân hàm ẩn.

Vermeer 1979 chỉ ra rằng việc dùng tích phân hàm ẩn ($\omega=1$) có một số ưu điểm chính, như nó giải quyết được việc cập nhật ứng suất từ mặt chảy dẻo trong trường hợp chuyển từ trạng thái ứng xử đàn hồi sang trạng thái ứng xử đàn dẻo. Hơn nữa, nó có thể chứng minh tích phân hàm ẩn, trong các điều kiện xác định, đưa đến ma trận vi phân xác định và đối

xúng $\partial\varepsilon / \partial\sigma$, mà được xác định có ảnh hưởng trong quá trình lặp. Do những ưu điểm này,

hạn chế được tạo ra ở đây là tích phân hàm ẩn và chú ý việc đưa ra các loại tích phân theo thời gian khác.

Với $\omega=1$, công thức (1.15) được rút gọn như sau:

$$\Delta\varepsilon^p = \Delta\lambda \left(\frac{\partial g}{\partial \sigma} \right)^i \quad (1.16)$$

Thay (1.16) vào (1.14) thì (1.7) sẽ tương đương với

$$\sigma^i = \sigma^r - \Delta\lambda D^e \left(\frac{\partial g}{\partial \sigma} \right)^i \quad (1.17)$$

$$\text{Với } \sigma^r = \sigma^{i-1} + D^e \Delta\varepsilon$$

σ^r là véc tơ ứng suất phụ, tham khảo ứng suất đàn hồi và ứng suất thí nghiệm, mà là

trạng thái ứng suất mới khi xem xét ứng xử vật liệu là đàn hồi **tuyến tính**.

Số gia bội số đàn dẻo $\Delta\lambda$ dùng trong công thức (1.17) có thể được tính từ điều kiện mà trạng thái ứng suất mới làm thoả mãn điều kiện đàn dẻo

$$f(\sigma^i) = 0 \quad (1.18)$$

Với mô hình cứng tuyến tính và đàn hồi tuyệt đối số gia bội số **đàn dẻo** có thể được viết dưới dạng

$$\Delta\lambda = \frac{f(\sigma^r)}{d+h} \quad (1.19)$$

Khi

$$d = \left(\frac{\partial f}{\partial \sigma} \right)^{\sigma^r} D^e \left(\frac{\partial g}{\partial \sigma} \right)^i \quad (1.20)$$

h là thông số biểu thị tham số độ cứng, $h=0$ cho mô hình **đàn hồi tuyệt đối** và bằng hằng số đối với mô hình cứng tuyến tính. Từ đó suy ra trạng thái ứng suất mới được viết như sau:

$$\sigma^i = \sigma^r - \frac{\langle f(\sigma^r) \rangle}{d+h} D^e \left(\frac{\partial g}{\partial \sigma} \right)^i \quad (1.21)$$

Ký hiệu $\langle \rangle$ giới thiệu bởi McCauley, nó được quy ước như dưới đây

$$\langle x \rangle = 0 \text{ khi } x \leq 0 \text{ và } \langle x \rangle = x \text{ khi } x > 0.$$

1.3.1.4. Phương pháp tính lặp toàn bộ

Thay mối quan hệ giữa số gia ứng suất và số gia biến dạng, $\Delta\sigma = M\Delta\epsilon$ vào (1.13) dẫn đến:

$$K^i \Delta v^i = f_{ex}^i - f_{in}^{i-1} \quad (1.22)$$

Trong công thức K là ma trận độ cứng, Δv là véc tơ chuyển vị gia tăng, f_{ex}^i là véc tơ ngoại lực và f_{in}^{i-1} là véc tơ nội lực. Chỉ số trên i thể hiện số bước lặp. Tuy nhiên, do quan hệ giữa số gia ứng suất và biến dạng thường không tuyến tính, ma trận độ cứng không thể tính chính xác trước được. Do đó, chương trình lặp yêu cầu phải thoả mãn cả điều kiện cân bằng và mối liên quan liên tục. Chương trình lặp được viết như sau

$$K^j \delta v^j = f_{ex}^i - f_{in}^{j-1} \quad (1.23)$$

Chỉ số j thể hiện số lần lặp. δv là véc tơ chuyển vị gia tăng sau, mà được tính từ số gia chuyển vị ở bước thứ i :

$$\Delta v^i = \sum \delta v^j \quad (1.24)$$

Khi n là số lần lặp của i . Ma trận độ cứng K dùng trong (2.23), thể hiện ứng xử của vật liệu theo cách xấp xỉ. Một cách chính xác ma trận độ cứng, tích phân phải đáp ứng cân bằng với một sai số nhất định.

Trong trường hợp đơn giản nhất K cho ứng xử đàn hồi tuyến tính, nó có dạng:
với:

$$K = \int B^T D e B dV \text{ (ma trận độ cứng đàn hồi)} \quad (1.25)$$

Trong đó D^* là ma trận vật liệu đàn hồi theo định luật Hook và B là ma trận nội suy biến dạng. Dùng ma trận độ cứng đàn hồi cho chương trình lập đơn giản (thô) hơn độ cứng vật liệu mà không bị tăng, thậm chí ngay cả khi dùng mô hình đàn dẻo không liên kết. Phương pháp kỹ thuật chuyên dùng như Riks, (1979), phép vượt quá làm chùng và phép ngoại suy (Vermeer & Van lange, 1989) có thể dùng để cải thiện quá trình lập. Hơn nữa chương trình lập đặt từng bước tự động, như Van Langen & Vermeer (1990), có thể dùng để cải thiện áp dụng thực tế. Mô hình vật liệu với ứng xử tuyến tính trong phạm vi đàn hồi, như mô hình Mohr-Coulomb, dùng ma trận độ cứng đàn hồi thường thích hợp, vì chỉ ma trận độ cứng được hình thành và phân tích trước bước tính toán đầu tiên. quá trình tính toán này được trình bày tóm tắt trong Phụ lục A.

1.3.2. Các bước cơ bản của phương pháp PTHH

- Chia lưới phần tử hữu hạn (xem chi tiết trong 1.4)
- Chuyển vị tại các nút là các ẩn số
- Chuyển vị bên trong phần tử được nội suy từ các giá trị của chuyển vị nút
- Thiết lập mô hình vật liệu (quan hệ giữa ứng suất và biến dạng)
- Điều kiện biên về chuyển vị, lực
- Giải hệ phương trình tổng thể cân bằng lực cho kết quả chuyển vị nút
- Tính các đại lượng khác (biến dạng, ứng suất)

Phương pháp Phần tử hữu hạn (PTHH) là một công cụ hữu ích trong việc mô phỏng các bài toán địa kỹ thuật. Trong đó mô hình vật liệu có ý nghĩa quan trọng khi mô phỏng ứng xử thật của đất, các điều kiện biên được lựa chọn phải thích hợp với các giai đoạn thi công khác nhau. Với phương pháp PTHH có thể xác định được cơ chế phá hoại.

1.4. KHÁI QUÁT VỀ MÔ HÌNH HOÁ TRONG PLAXIS

Các bước mô hình hoá trong Plaxis:

- Lập mô hình hình học
- Gán các điều kiện biên
- Gán các đặc trưng vật liệu
- Tạo lưới phần tử
- Xác định điều kiện ban đầu
- Xác định các giai đoạn tính toán
- Tính toán
- Hiển thị kết quả phân tích

Trong mỗi bài toán được phân tích bằng Plaxis điều **quan trọng đầu tiên** là phải lập được mô hình hình học. Mô hình hình học dạng 2D là tiêu biểu **cho vấn đề** về ba chiều và bao gồm các điểm (points), các đường (lines), và các miền (cluster). Một mô hình hình học phải gồm: phân tầng lớp đất cho các lớp đất riêng rẽ, đối tượng **kết cấu**, các giai đoạn thi công và tải trọng. Mô hình phải đủ rộng để điều kiện biên không **ảnh hưởng** tới kết quả của vấn đề nghiên cứu. Ba loại cấu kiện trong mô hình hình học được **miêu tả** chi tiết dưới đây:

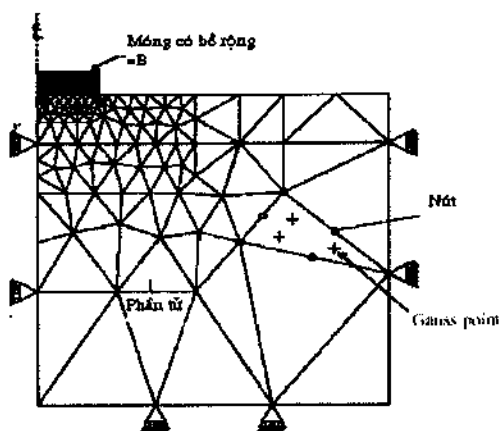
- Điểm (Points): Điểm dùng mô tả tại các vị trí bắt đầu và **kết thúc** của đường. Điểm còn sử dụng để định vị các điểm neo, khống chế điểm, các lực **tập trung**, làm mịn cục bộ lưới phần tử.

- Đường (Lines): Đường dùng để xác định ranh giới vật lý của **hình học**, biên của mô hình và các gián đoạn trong mô hình hình học như tường, vỏ, **phân chia** các lớp đất hoặc các giai đoạn thi công. Một đường có thể có nhiều chức năng.

- Miền hay còn gọi là vùng (Cluster): là một diện tích bao bọc bởi các đường (miền đóng). Plaxis nhận biết miền dựa vào việc nhập vào các đường hình học. Với một miền đặc trưng đất là đồng nhất. Do đó, có thể coi miền như lớp đất. Các tác động **liên quan** tới miền áp dụng cho toàn bộ các phần tử trong miền.

Sau khi tạo xong mô hình hình học, mô hình PTHH tự động **cập nhật lưới**, dựa trên bố cục của các miền và các đường trong mô hình hình học. Trong lưới PTHH ba loại cấu kiện được nhận biết như mô tả dưới đây:

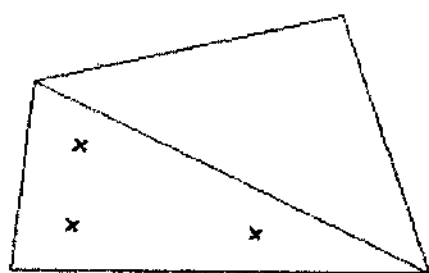
- Phần tử (Elements): Khi tạo lưới, các miền (cluster) được chia thành các phần tử tam giác. Có thể lựa chọn loại phần tử 15 hoặc loại 6 nút. Phần tử 15 nút hiệu quả với việc tính toán chính xác về ứng suất và tải trọng phá hoại. Còn phần tử 6 nút thì có **ưu điểm** tính toán nhanh và tiện lợi trong các trường hợp. Xem xét việc chia phần tử cũng **như vậy** (ví dụ cho phát sinh lưới thô theo mặc định) người dùng nhận thấy lưới gồm các phần tử 15 nút thực tế mịn và thích ứng (độ mềm dẻo) hơn nhiều so với lưới tạo bởi phần tử 6 điểm nút, nhưng việc tính toán tốn nhiều thời gian hơn. Hơn nữa phần tử tam giác thường dùng cho mô hình đất, các phần tử tám tương thích, phần tử vài địa kỹ thuật và phần tử tiếp xúc có thể được sinh ra từ ứng xử kết cấu của mô hình và ảnh hưởng kết cấu và đất.



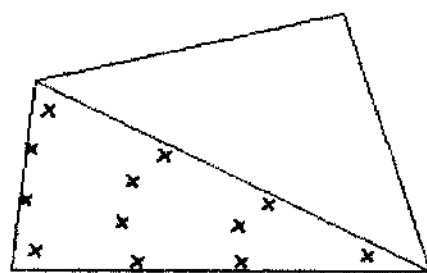
Hình 1.2. Lưới phần tử hữu hạn

- Nút (*Nodes*): Phần tử 15 nút bao gồm 15 nút và phần tử 6 nút bao gồm 6 nút. Phân chia các nút trên phần tử xem trên hình 1.3. Các phần tử liên kế được nối với nhau qua các nút chung, chuyển vị (u_x và u_y) được tính tại các nút. Nút được lựa chọn trước để phát sinh đồ thị của chuyển vị và tải trọng.

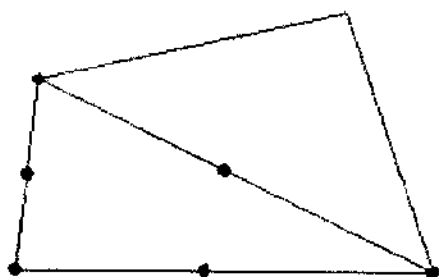
- Điểm ứng suất (*Stress points*): Tương phản với chuyển vị, ứng suất và biến dạng được tính toán tại các điểm tích phân Gaussian (điểm ứng suất) khác với tại nút. Một phần tử tam giác 15 nút chứa 12 điểm ứng suất và phần tử 6 điểm nút chứa 3 điểm ứng suất xem trên hình 1.3. Các điểm ứng suất được lựa chọn trước để tạo đường ứng suất hoặc biểu đồ ứng suất – chuyển vị.



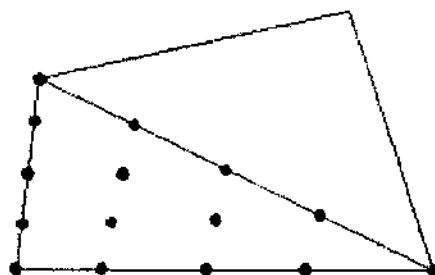
Điểm ứng suất của phần tử 6 điểm nút



Điểm ứng suất của phần tử 15 điểm nút



Phần tử tam giác 6 nút



Phần tử tam giác 15 nút

Hình 1.3. Vị trí nút và điểm ứng suất của phần tử dãi

CÁC TÍNH NĂNG HỖ TRỢ CỦA PLAXIS TRONG TÍNH TOÁN CÔNG TRÌNH HẦM VÀ TƯỜNG CỪ

2.1. GIỚI THIỆU KẾT CẤU CÔNG TRÌNH NGẦM, TƯỜNG CỪ

2.1.1. Giới thiệu kết cấu công trình tường cừ, đặc điểm làm việc và yêu cầu tính toán [Tham khảo [1], [2], [8], [9]]

Khái niệm:

Tường cừ là loại kết cấu của tường mỏng, được đóng sâu vào trong đất tạo nên thể ổn định.

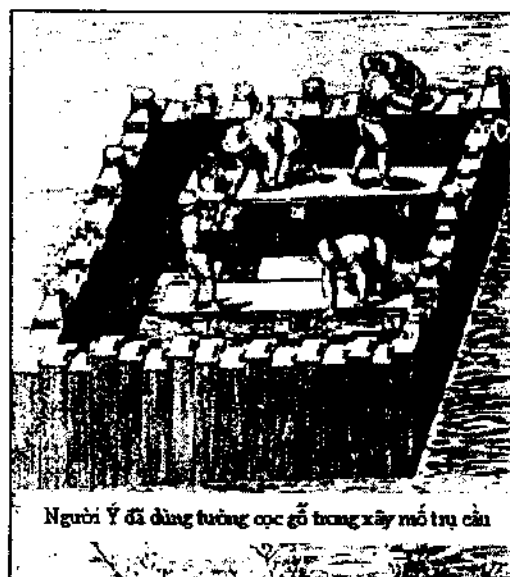
Kết cấu tường cừ được sử dụng để ngăn nước, giữ ổn định đất được sử dụng rất rộng rãi trong các kết cấu công trình xây dựng như: bến cảng, kết cấu công trình kè bảo vệ bờ, dè chắn sóng, công trình cải tạo dòng chảy, công trình cầu, đường hầm, các công trình dân dụng (bãi đậu xe ngầm, công trình xử lý rác thải ngoài khơi, tầng hầm nhà nhiều tầng, nhà công nghiệp), công trình tạm (cho xây dựng cầu, hầm, xây dựng dân dụng, thi công các hố móng v.v...), ... Và đặc biệt là thường sử dụng cho các công trình thi công trên nền đất yếu.

Bến tường cừ (thường kết hợp với hệ tường neo và thanh neo) đóng vai trò làm tường chắn, đất được lấp đầy bên trong và bên trên là kết cấu nền cảng bê tông cốt thép với móng cọc ống thép hoặc cọc bê tông cốt thép ứng suất trước bên dưới. Tường cọc thép này cũng được ngầm vào bê tông cao b giống như cọc ống. Hệ tường neo thông thường cũng sử dụng cọc ván thép nhưng có kích thước và chiều dài nhỏ hơn so với tường chính. Thanh neo (tie rod) là các thanh thép đường kính từ 40mm đến 120mm có thể điều chỉnh chiều dài theo yêu cầu.



Hình 2.1. Kết cấu tường cừ

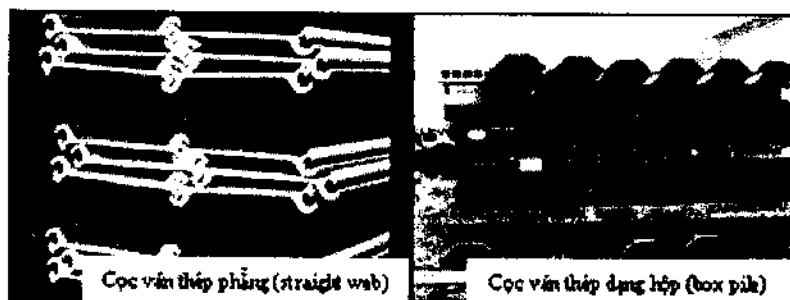
Kết cấu tường cừ có thể bằng gỗ, bê tông cốt thép, thép. Đặc trưng nổi bật của tường cừ là bằng vật liệu thép hay gọi là cọc ván thép. Cọc ván thép được sử dụng lần đầu tiên vào năm 1908 tại Mỹ trong dự án Black Rock Harbour, tuy nhiên trước đó người Ý đã sử dụng tường cọc bản bằng gỗ để làm tường vây khi thi công móng mố trụ cầu trong nước. Bên cạnh gỗ và thép, cọc bản cũng có thể được chế tạo từ nhôm, từ bê tông ứng lực trước. Tuy nhiên với những ưu điểm vượt trội, cọc ván thép vẫn chiếm tỉ lệ cao trong nhu cầu sử dụng.



Người Ý đã dùng tường cọc gỗ trong xây mố trụ cầu

Hình 2.2. Kết cấu tường cừ bằng gỗ

Cho đến nay cọc ván thép được sản xuất với nhiều hình dạng, kích thước khác nhau với các đặc tính về khả năng chịu lực ngày càng được cải thiện. Ngoài cọc ván thép có mặt cắt ngang dạng chữ U, Z thông thường còn có loại mặt cắt ngang Omega (W), dạng tấm phẳng (straight web) cho các kết cấu tường chắn tròn khép kín, dạng hộp (box pile) được cấu thành bởi 2 cọc U hoặc 4 cọc Z hàn với nhau.



Hình 2.3. Hình dạng cọc ván thép phẳng và hộp

Tùy theo mức độ tải trọng tác dụng mà tường chắn có thể chỉ dùng cọc ván thép hoặc kết hợp sử dụng cọc ván thép với cọc ống thép (steel pipe pile) hoặc cọc thép hình H (King pile) nhằm tăng khả năng chịu mômen uốn.

Ưu điểm nổi bật của cọc ván thép I: khả năng chịu ứng suất động khá cao (cả trong quá trình thi công lẫn trong quá trình sử dụng); Khả năng chịu lực lớn trong khi trọng lượng khá bé; Cọc ván thép có thể c nối dễ dàng bằng mối nối hàn hoặc bulông nhằm gia tăng chiều dài; Cọc ván thép có thể sử dụng nhiều lần, do đó có hiệu quả về mặt kinh tế.



Hình 2.4. Hình dạng cọc ván thép chữ H và hình ống

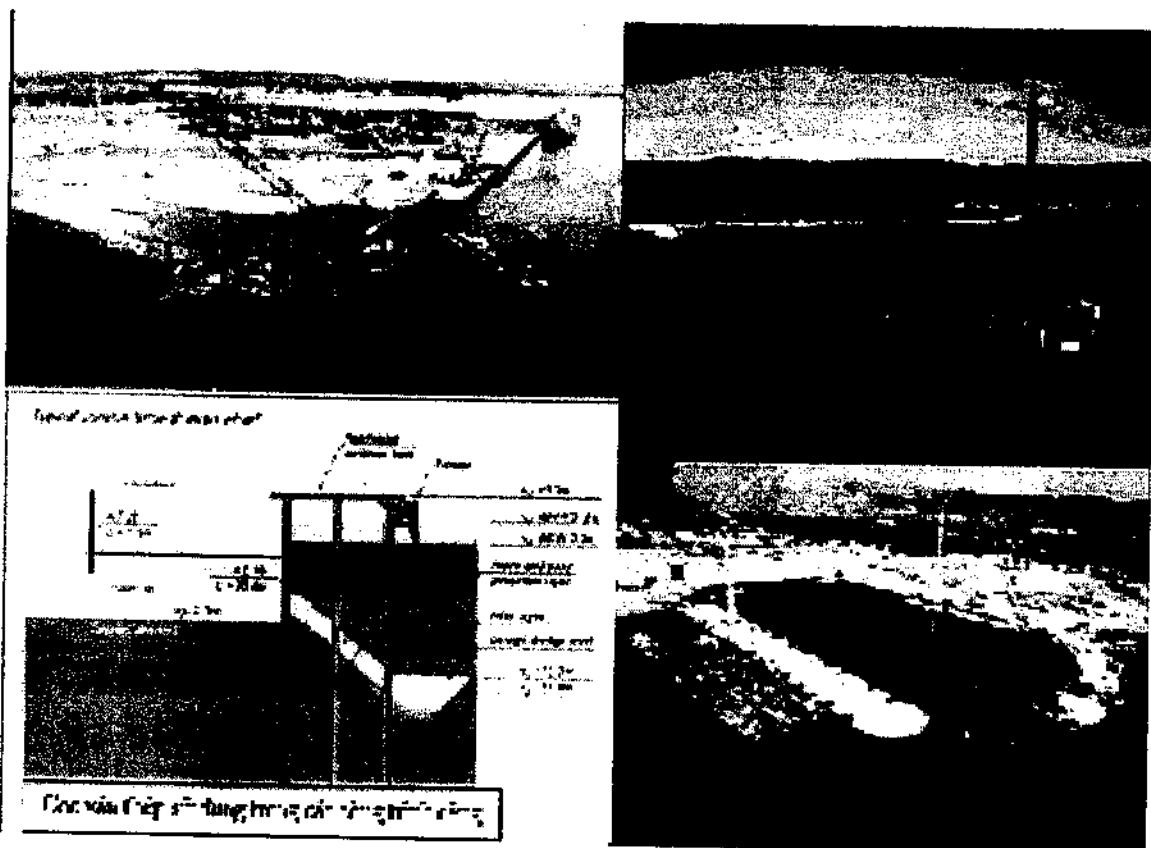
Nhược điểm của cọc ván thép là tính bị ăn mòn trong môi trường làm việc (khi sử dụng cọc ván thép trong các công trình vĩnh cửu). Tuy nhiên nhược điểm này hiện nay hoàn toàn có thể khắc phục bằng các phương pháp bảo vệ như sơn phủ chống ăn mòn, mạ kẽm, chống ăn mòn điện hóa hoặc có thể sử dụng loại cọc ván thép được chế tạo từ loại thép đặc biệt có tính chống ăn mòn cao. Ngoài ra, mức độ ăn mòn của cọc ván thép theo thời gian trong các môi trường khác nhau cũng đã được nghiên cứu và ghi nhận lại. Theo đó, tùy thuộc vào thời gian phục vụ của công trình được quy định trước, người thiết kế có thể chọn được loại cọc ván thép với độ dày phù hợp đã xét đến sự ăn mòn này.

Các công trình có kết cấu tường cừ được dùng rất nhiều trên thế giới như: Châu Âu, Nhật, Đức, Trung Quốc, Hàn Quốc, Liên Xô (cũ). Trong xây dựng Công trình bến cảng biển, bến tường cừ là một loại kết cấu bến đặc trưng và ứng rộng khá rộng rãi, được xây dựng vĩnh cửu, tuổi thọ công trình thường trên 50 năm.



Hình 2.5. Các công trình dè, kè, kênh, mương

Trong xây dựng công trình bờ kè, kênh mương, cải tạo dòng chảy cũng sử dụng cọc ván thép do tính tiện dụng, thời gian thi công nhanh, độ bền chịu lực tốt.



Hình 2.6. Vài ví dụ về các công trình thủy bằng kết cấu tường cử

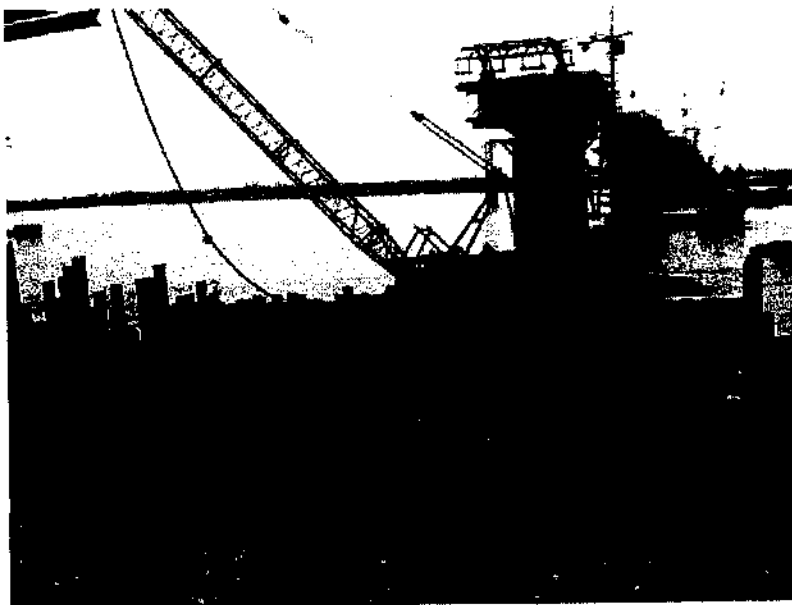
Trong xây dựng các công trình đường bộ, hầm giao thông đi qua một số địa hình đồi dốc phức tạp hay men theo bờ sông thì việc sử dụng cọc ván thép để ổn định mái dốc hay làm bờ bao cũng tỏ ra khá hiệu quả.



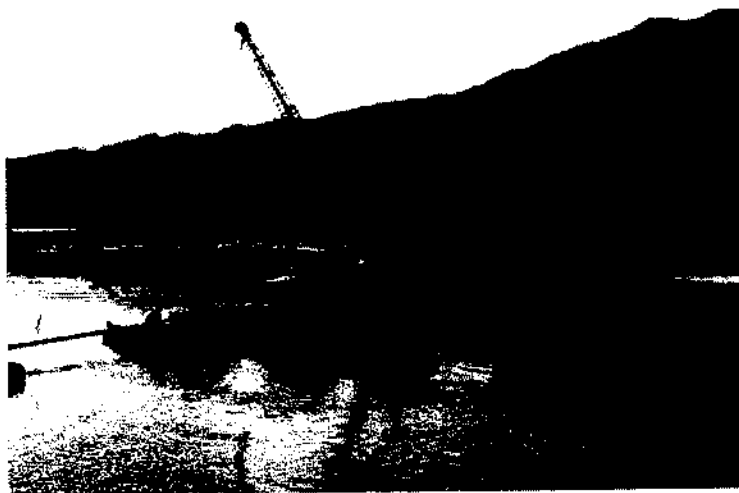
Hình 2.7. Các công trình đường bộ, hầm giao thông xây dựng bằng tường cử

Trong xây dựng các công trình dân dụng, cọc ván thép cũng có thể được sử dụng để làm tường tầng hầm trong nhà nhiều tầng hoặc trong các bãi đỗ xe ngầm thay cho tường bê tông cốt thép.

Cọc ván thép còn được ứng dụng xây dựng cho công trình tạm như tường vây chắn đất hoặc nước khi thi công các hố đào tạm thời. Ta có thể thấy cọc ván thép được sử dụng khắp mọi nơi: trong thi công tầng hầm nhà dân dụng, nhà công nghiệp, thi công móng mố trụ cầu, hệ thống cấp thoát nước ngầm, trạm bơm, bể chứa, kết cấu hạ tầng, thi công van điều áp kênh mương,...



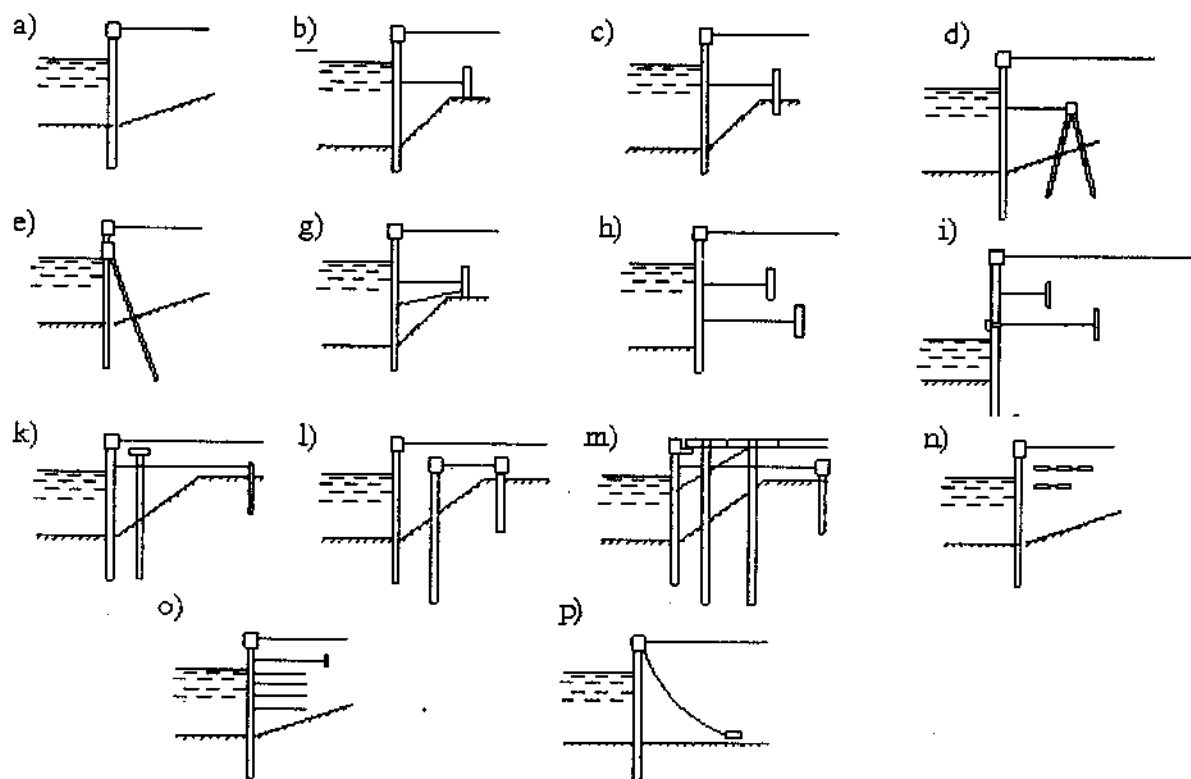
Hình 2.8. Vòng vây cọc ván thép dùng khi thi công trụ cầu Vĩnh Tuy



Hình 2.9. ứng dụng kết cấu tường cừ cho xây dựng công trình tạm

Phân loại bến tường cừ:

Để phân loại bến tường cừ thường dựa vào đặc trưng kết cấu là phù hợp với quan điểm hiện đại; mặc dù vật liệu làm cừ có thể bằng gỗ; thép; BTCT và hỗn hợp. Trên hình 2.11 là 14 loại kết cấu tường cừ không neo, một neo, hai neo với bộ phận nào giữ neo rất đa dạng cùng với các bộ phận làm giảm áp lực đất chủ động vào tường. Ngoài ra còn có cừ tự do được sử dụng cho một số công trình đặc biệt như: trụ giá đỡ độc lập, định hướng, cột tín hiệu... Về mặt tính toán, có thể phân loại kết cấu tường cừ theo chỉ số nền, hoặc theo đặc trưng liên kết của cừ vào đất; khớp, ngàm chặt, ngàm đàn hồi.



Hình 2.11. Các loại tường cừ

- a) Không neo; b) Có neo vào bản; c) Có neo vào tường; d) Có neo vào hai cọc chụm đôi;
 e) Có neo vào cọc chéo; g) Hai neo vào một bản; h) Hai neo vào bản riêng; ;
 i) Cừ phân đoạn với 2 neo riêng; k) Có một neo với hàng cọc án ngữ; l) Tường gôl đáy 1 neo;
 m) Tường một neo với 2 hàng cọc án ngữ; n) Tường với 2 neo là các bản nằm ngang;
 o) Tường một neo với đất có cốt; p) Tường cừ với neo bằng dây mềm.

Nguyên tắc chung tính toán cho bến tường cừ

Tính toán Bến tường cừ gồm ba phần chính: tính ổn định; tính sức chịu của nền; tính độ bền của các cấu kiện. Tùy theo cấu tạo từng loại bến mà tỷ lệ tính toán một trong ba phần trên có khác nhau. Nhìn lại lịch sử chung phát triển các phương pháp tính toán các công trình cảng thủy công, kết cấu bến tường cừ lần lượt từ trước đến nay tính toán theo các phương pháp sau:

- Trạng thái phá hoại;
- Ứng suất cho phép;
- Trạng thái giới hạn;
- Lý thuyết độ tin cậy.

Theo quy định các Tiêu chuẩn thiết kế: “Công trình bến cảng biển” và “Công trình bến cảng sông” kết cấu tường cừ được tính theo lý thuyết trạng thái giới hạn: nhóm I và nhóm II.

Giải bài toán tường cừ tức là tìm nội lực của cừ, tìm chiều sâu chôn cừ, tính lực neo và lực E_p đặt ở chân cừ. Bài toán thiết kế tường cừ thường là bài toán phẳng.

Các yêu cầu đánh giá và kiểm toán bằng phần mềm Plaxis V8.2

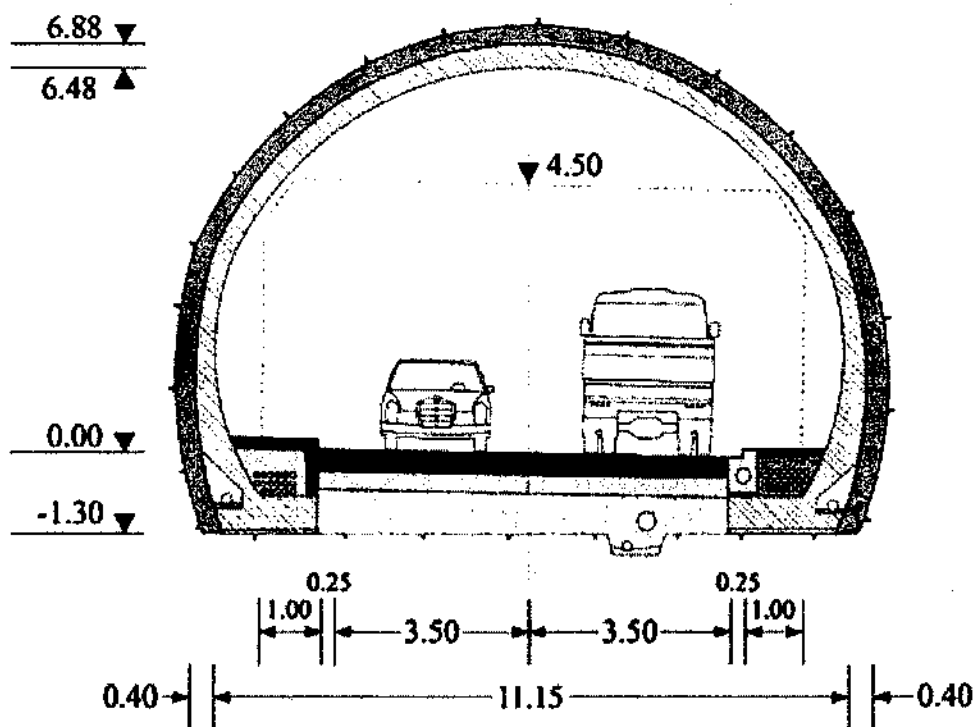
- Kiểm tra độ bền kết cấu tường cừ
- Tính ổn định
- Tính sức chịu tải của nền

2.1.2. Giới thiệu kết cấu công trình hầm, đặc điểm thi công và yêu cầu tính toán

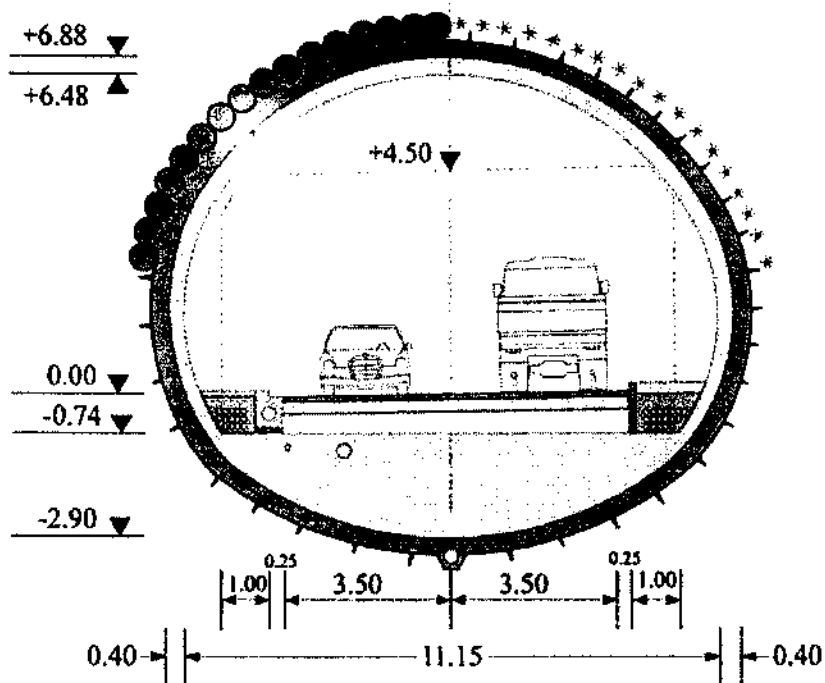
2.1.2. 1. Giới thiệu công trình ngầm (Tham khảo [7])

Khái niệm

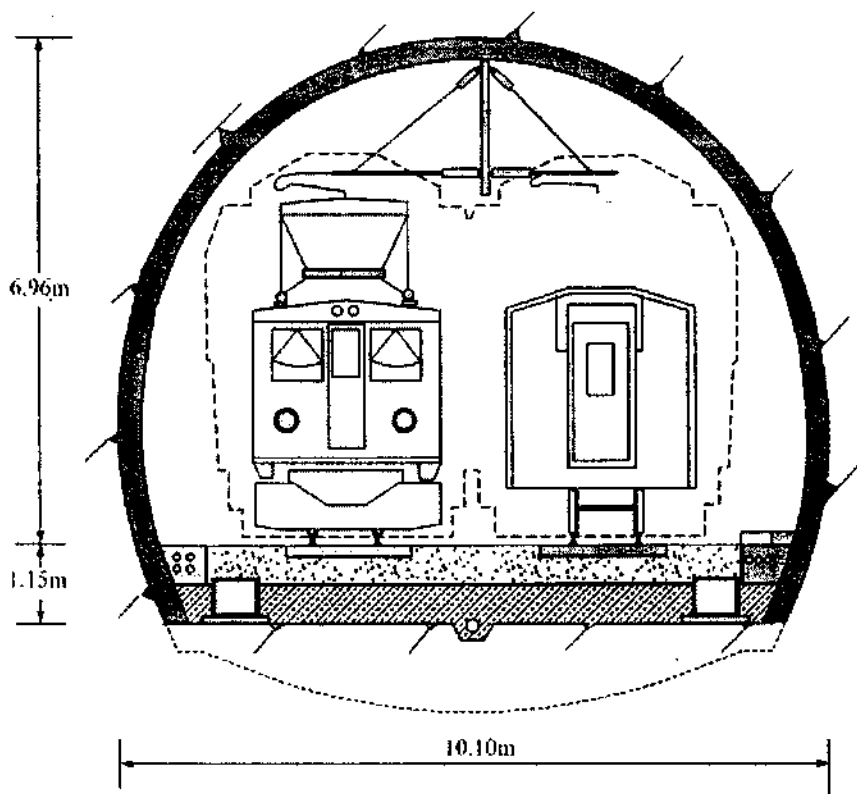
Hầm là công trình nhân tạo nằm trong lòng đất và có ít nhất một lối thông với mặt đất. Hầm có nhiều mục đích sử dụng khác nhau, có thể nằm ngang, nằm nghiêng hoặc thẳng đứng. Tham khảo một số hình dạng mặt cắt ngang hầm.



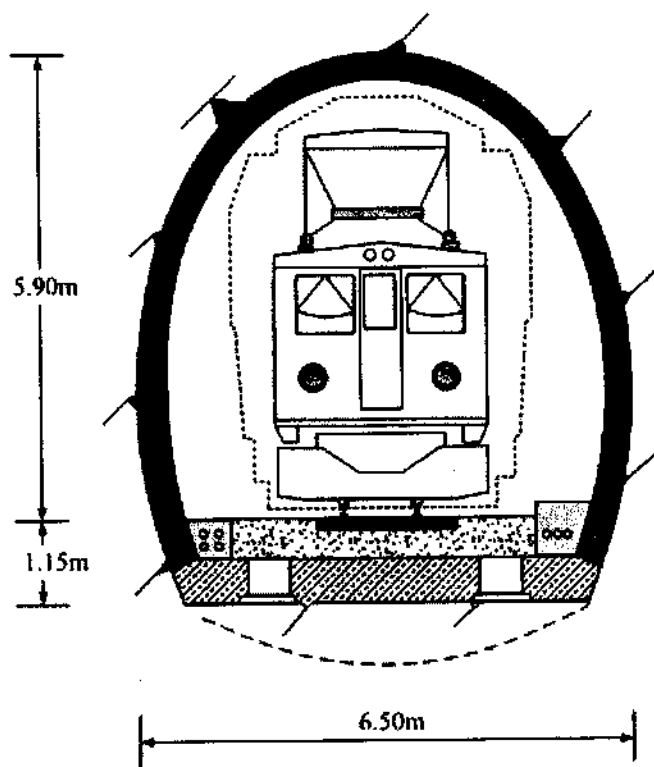
Hình 2.11. Hầm Hoahrheinsutobahn – Burgerwald, A98 Waldshut – Tiengen (1)



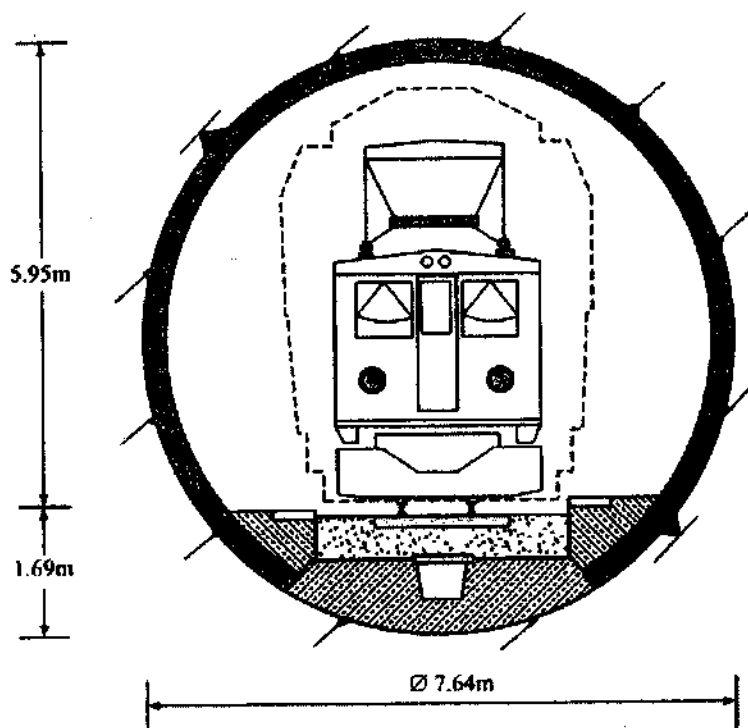
Hình 2.12. Hầm Hochrheinsutobahn – Burgerwald, A98 Waldshut – Tiengen (2)



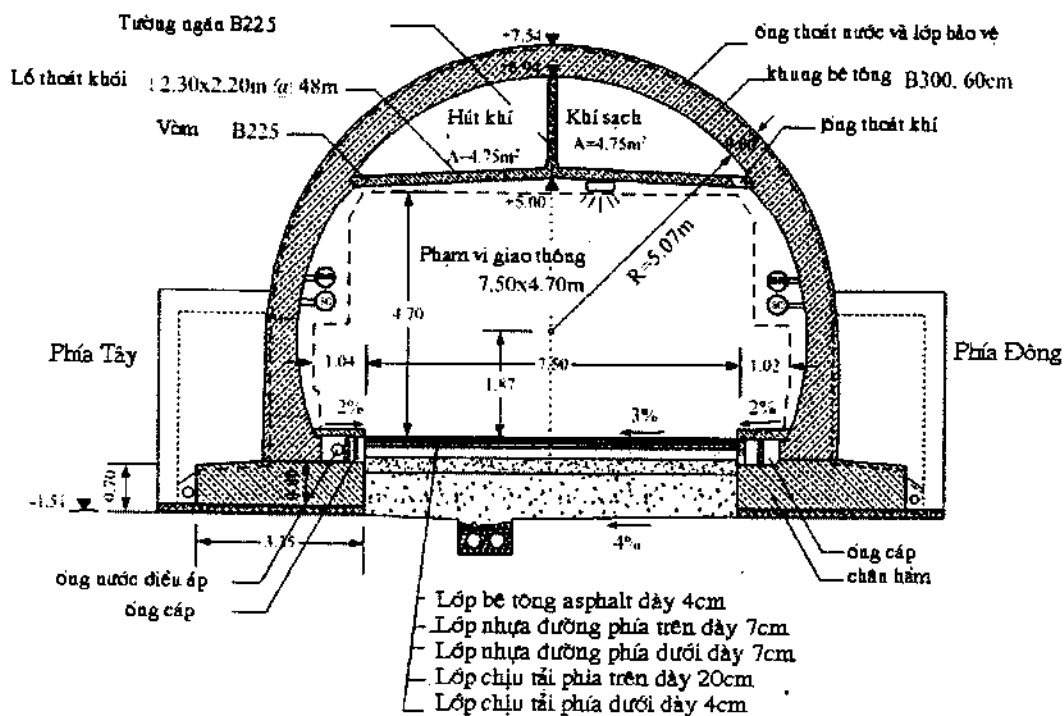
Hình 2.13. Hầm Vereina, 2 làn xe



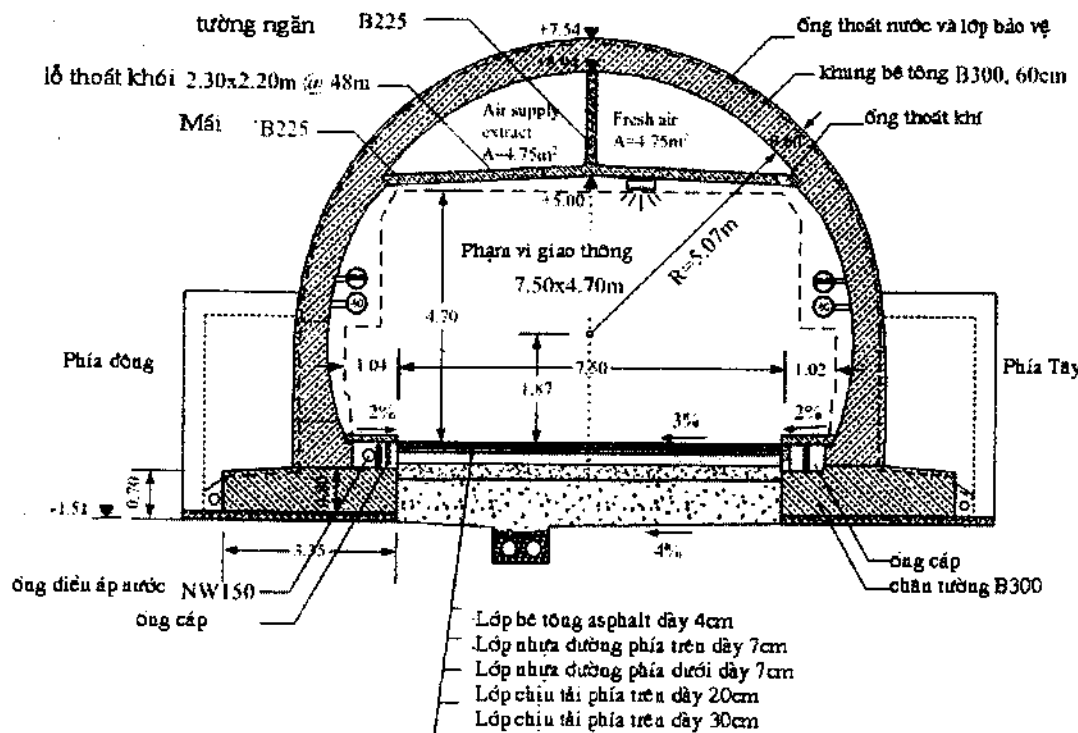
Hình 2.14. Hầm Vereina, 1 làn xe



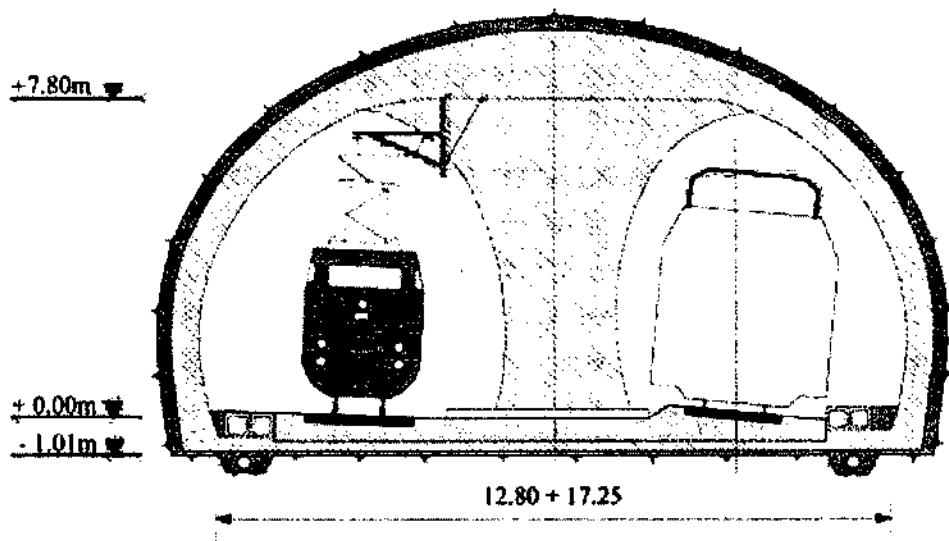
Hình 2.15. Hầm Zugwald 1 làn xe



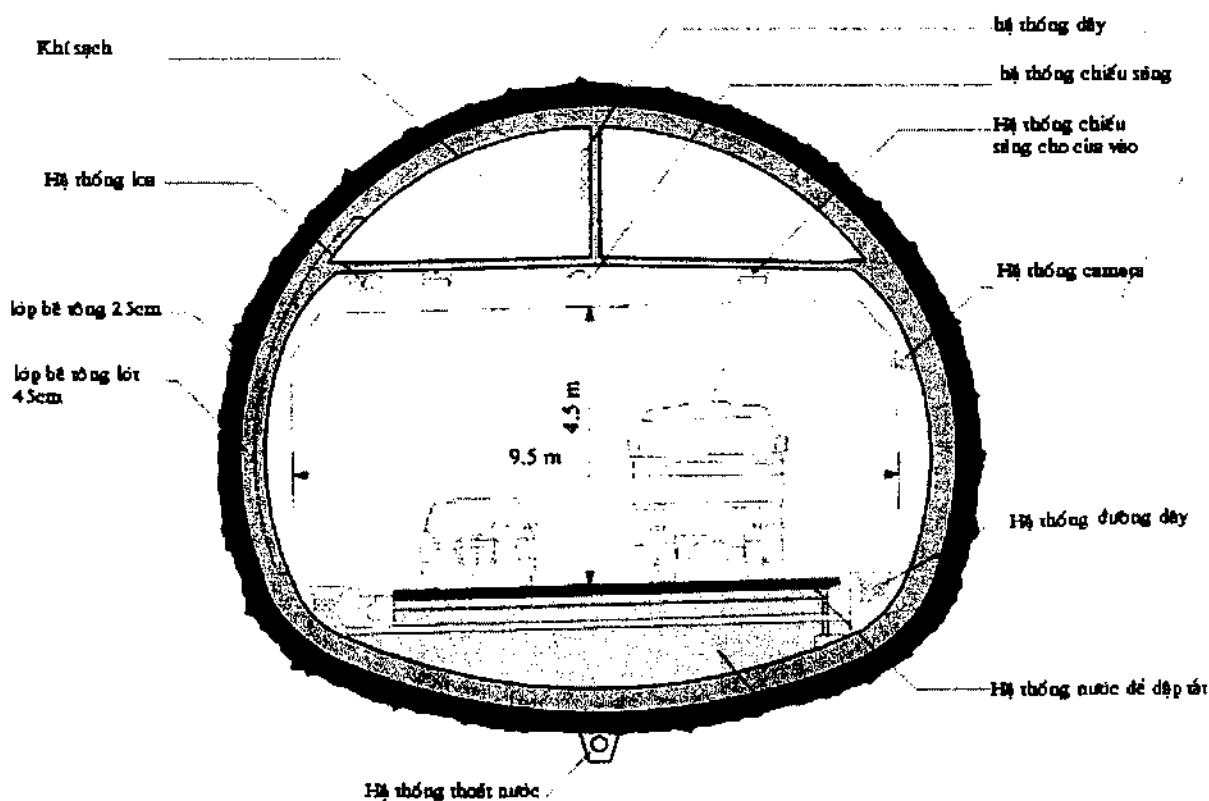
Hình 2.16. Hầm Southern bypass Landeck (1)



Hình 2.17. Hầm Southern bypass Landeck (2)



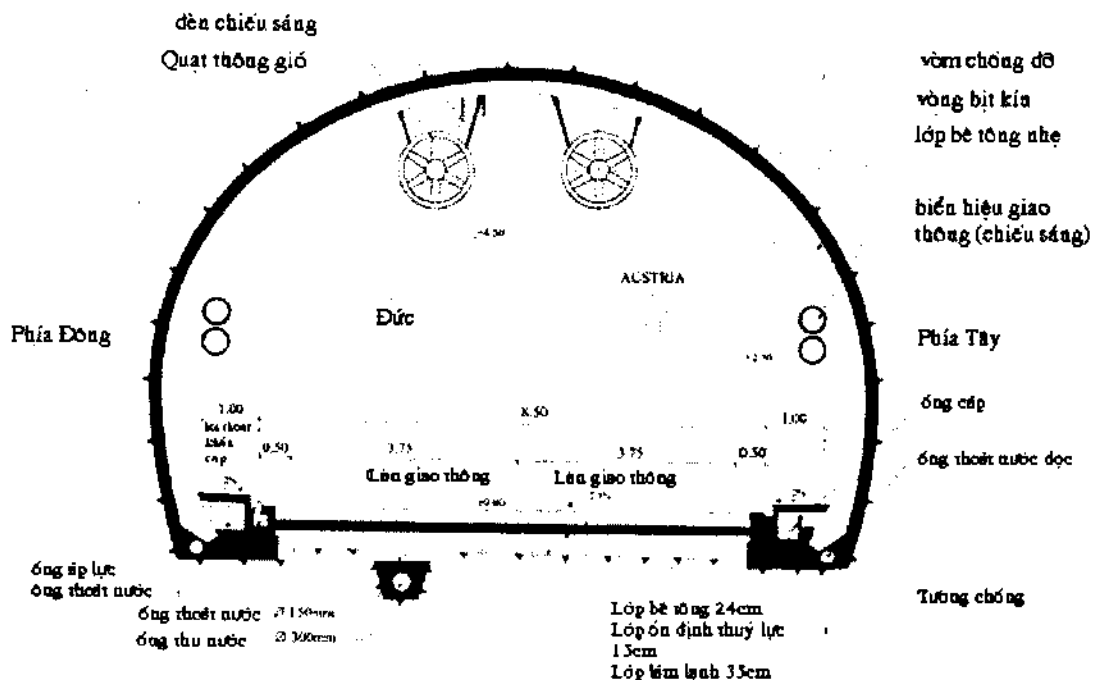
Hình 2.18. Hầm Markstein/Nebenweg



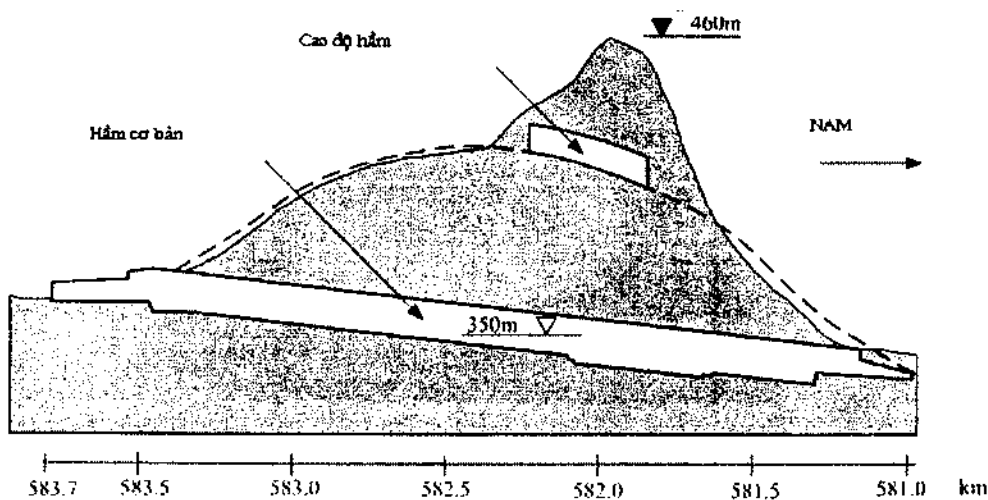
Hình 2.19. Hầm B14 Bypass Heselach

Theo Tiêu chuẩn cho hầm xuyên núi của Nhật Bản thì đường hầm là một công trình ngầm dưới đất có chiều dài lớn hơn mặt cắt khai đào hoặc mặt cắt trong và độ dốc dọc nhỏ hơn 15%.

Ngày nay, hầm được sử dụng khá phổ biến trong nhiều lĩnh vực khác nhau của nền kinh tế quốc dân. Khi cao độ tuyến đường thấp hơn nhiều so với cao độ mặt đất tự nhiên, có thể xây dựng hầm xuyên qua núi. Khi tuyến đường men theo sườn núi có mái dốc lớn, địa chất quá xấu như có đá lăn, đất trượt, người ta dịch tuyến đường vào núi và xây dựng đường hầm. Khi vượt qua các sông lớn, các eo biển sâu, việc xây dựng trụ cầu khó khăn hoặc cầu quá cao thì có thể xây dựng hầm qua sông hoặc qua eo biển. Trong các thành phố đông dân cư, để đảm bảo giao thông nhanh chóng, có thể xây dựng các hầm trong lòng đất cho người, xe cộ hoặc tàu điện đi qua.



Hình 2.20. Hầm Fusen



Hình 2.21. Hầm Engelberg

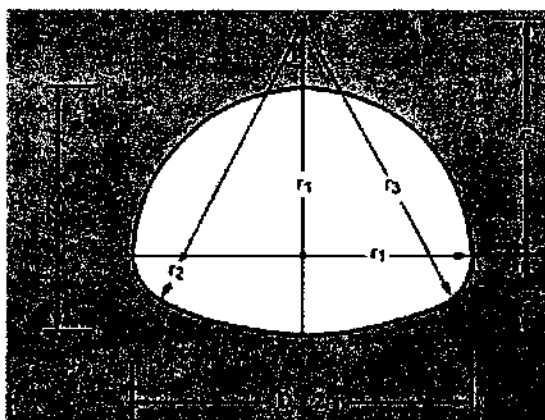
Ở nước ta, trước đây có một số các công trình hầm phục vụ giao thông do Pháp xây dựng nằm dọc trên các tuyến đường sắt, trong các ngành công nghiệp khai khoáng, quân sự. Ngày nay, việc xây dựng các công trình hầm đã tương đối phát triển ở nước ta với rất nhiều những thủy điện, các công trình hầm phục vụ mục đích quân sự, khai thác mỏ... Năm 2003, hầm đường bộ Hải Vân bắt đầu được thi công theo phương pháp đào hầm mới kiểu áo (New Austria Tunneling Method) đã chính thức thông xe vào năm 2005. Hầm Đèo Ngang cũng đã xây dựng xong với đội ngũ thiết kế, thi công trong nước. Dự án hầm Thủ Thiêm cùng dự án tàu điện ngầm tại trung tâm thành phố Hồ Chí Minh cũng đang được triển khai.

Phân loại

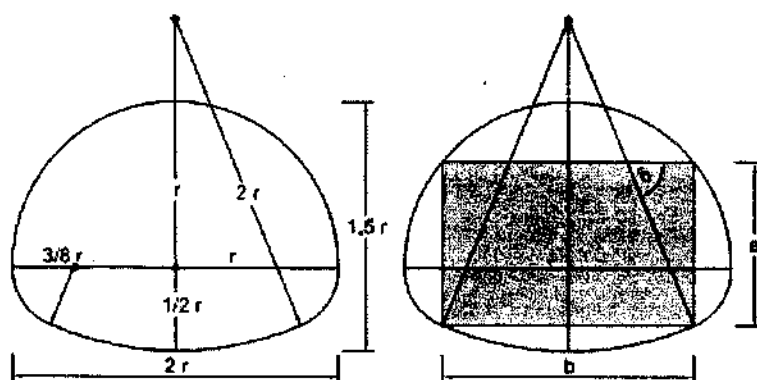
Hầm có rất nhiều công dụng, cấu tạo, đặc điểm kết cấu được phân loại theo các tiêu chí sau đây:

- Theo mục đích sử dụng: hầm giao thông, hầm thủy lợi, Hầm bố trí các hệ thống kỹ thuật, hầm mỏ, hầm có ý nghĩa đặc biệt phục vụ cho nền kinh tế quốc dân.
- Theo tính chất của công trình: hầm tự nhiên, hầm nhân tạo
- Theo vị trí so với mặt đất: hầm nằm ngang, hầm đứng, hầm nghiêng
- Theo khu vực xây dựng công trình: hầm miền núi, hầm đồng bằng, hầm dẫn nước, hầm trong thành phố...
- Theo kích thước tiết diện công trình: Hầm có tiết diện nhỏ: bề ngang sử dụng của công trình nhỏ hơn 4 m; Hầm có tiết diện trung bình: bề ngang sử dụng của công trình từ 4 đến 10 m; Hầm có tiết diện lớn: bề ngang sử dụng của công trình lớn hơn 10 m và có diện tích tiết diện lớn hơn 100 m².
- Ngoài ra có thể phân loại theo hình dạng vỏ hầm, phương pháp thi công như dưới đây

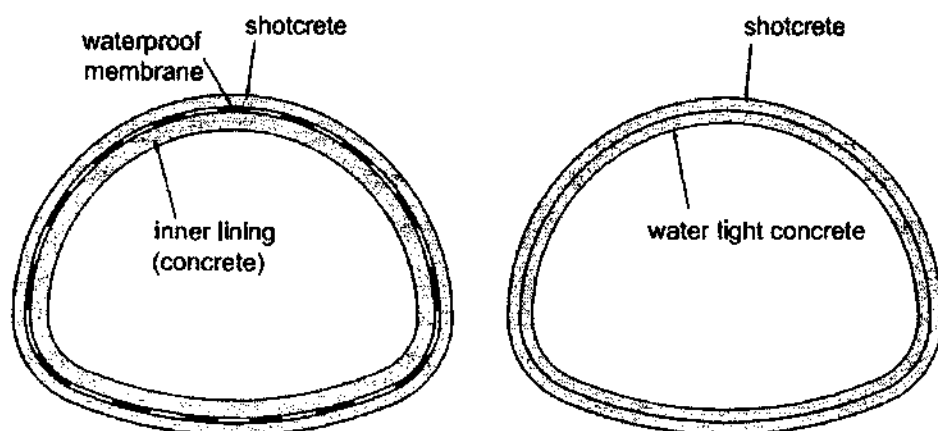
2.1.2.2. Các phương pháp thi công hầm



Hình 2.22. Mặt cắt đỉnh hầm (1)



Hình 2.23. Mặt cắt đỉnh hầm (2)



Hình 2.24. Bịt kín vỏ hầm

*** Phương pháp đào trần**

Phương pháp đào trần, hay còn gọi là phương pháp lộ thiên, thường áp dụng cho các hầm đặt nông, có mặt bằng đủ rộng cho phép triển khai các công tác trên mặt đất. Tùy vào đặc điểm của công trình, các điều kiện địa chất - thủy văn mà áp dụng các phương pháp cụ thể khác nhau nhưng nói chung quá trình xây dựng được tiến hành như với các công trình trên mặt đất, bao gồm các bước chính sau đây:

Đào và chống vách.

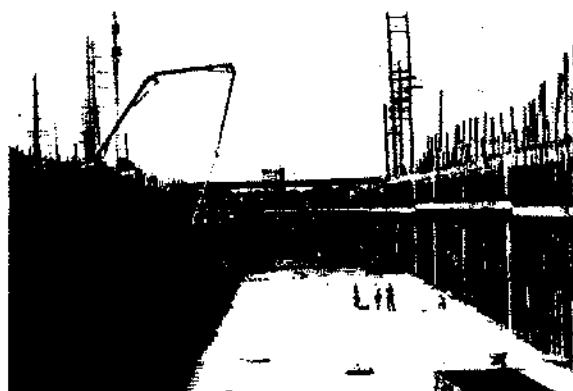
Lắp ghép các cấu kiện hoặc đổ bê tông vỏ hầm toàn khối.

Lắp đặt các lớp phòng nước (nếu có).

Lấp và lèn đất đá bên trên và xung quanh công trình.

Hoàn thiện.

Một trong những phương pháp thi công hầm vượt chương ngại nước lộ thiên là việc thi công theo công nghệ hầm chìm.



Hình 2.25. Thi công hầm theo phương pháp đào trần



Hình 2.26. Thi công hầm theo phương pháp đào trần phía dưới nền đường ô tô

*** Phương pháp đào kín**

Phương pháp này có thể gọi bằng nhiều tên khác nhau như phương pháp khoan nổ, phương pháp mỏ, đào moi, đào chui... Được áp dụng khi xây dựng những đường hầm có tiết diện ngang dạng bất kỳ, trong hầu hết các điều kiện địa chất - thủy văn

Quá trình xây dựng đường hầm và các biện pháp kỹ thuật gần giống như quá trình đào hầm lò khai thác mỏ và khoáng sản, thường đào hang dẫn, đào mở rộng, chống đỡ vách hang, đổ vỏ hầm, lắp đặt thiết bị và hoàn thiện. Đây là phương pháp thi công đường hầm chính không chỉ ở nước ta mà còn trên toàn thế giới.

Phương pháp mỏ bao gồm việc đào hang trên toàn bộ tiết diện hoặc từng bộ phận cùng với việc thay thế phần đất đá đào đi bằng các vòm chống tạm. Khi đào toàn bộ tiết diện thì thường xây vỏ hầm bằng bê tông toàn khối đổ tại chỗ hoặc lắp ghép các cấu kiện đúc sẵn. Khi đào hang từng bộ phận thì đầu tiên đào một hay nhiều đoạn có tiết diện nhỏ vượt trước (hang dẫn) rồi từ đó tiến hành mở rộng tới đường biên thiết kế của công trình. Trong trường hợp này, công tác đào hang tiến hành song song với việc xây dựng vỏ hầm. Để vỏ hầm tiếp xúc chặt chẽ với địa tầng, người ta tiến hành ép vữa xi măng vào bên ngoài vỏ hầm.

Người ta thường áp dụng một số phương pháp thi công như sau:

Phương pháp vòm tựa: đào đất đá và đổ bê tông vỏ tiến hành theo từng phần với trình tự từ trên vòm xuống.

Phương pháp đào mở rộng toàn bộ gương (đào một lần toàn bộ gương): đào và thu dọn đất đá thực hiện từ trên xuống còn đổ vỏ hầm thực hiện từ dưới lên.

Phương pháp nhân đỡ và đào đất đá theo chu vi.

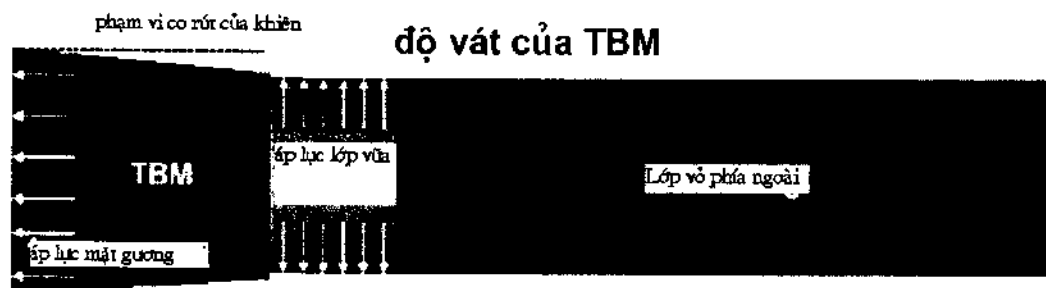
*** Phương pháp khiên đào**

Phương pháp này áp dụng trong những điều kiện địa chất - thủy văn phức tạp nhất, đất đá mềm yếu, không ổn định, chiều dài công trình lớn, tiết diện ngang không đổi. Phương pháp này thực chất có thể xem là phương pháp đào hầm có sử dụng vỏ chống cơ giới và đi

động - gọi là khiên đào. Đó là tổ hợp máy được trang bị các hệ thống cơ giới để đào, bốc dỡ đất đá, lắp ghép vỏ hầm. Đồng thời, nó cũng là khung chống tạm vững chắc, dưới sự bảo vệ của nó, tiến hành các công việc xây lắp chính.

Khiên đào có nhiều hình dạng tròn, chữ nhật, elíp, có thể là loại cơ giới và bán cơ giới. Dạng tròn được sử dụng rộng rãi trong xây dựng hầm. Loại hình chữ nhật và hình thang sử dụng đào đường thông và hang dẫn là những đường hầm có diện tích mặt cắt ngang nhỏ.

Ưu điểm của phương pháp này là không cần chia gương đào thành nhiều phần, không cần chống tạm, chuyển dịch của đất đá xung quanh là ít nhất, áp lực đất đá nhỏ.



Hình 2.27. Mô hình TBM

* Phương pháp thi công hầm theo công nghệ mới của Áo - NATM (New Austria Tunneling Method)

Quan điểm thiết kế thi công hầm theo các phương pháp truyền thống là coi đất đá xung quanh gây ra áp lực tác dụng lên vỏ hầm. Vỏ hầm khi đó là kết cấu chịu lực chính. Vì vậy mà sau khi khai đào xong, cần nhanh chóng xây dựng kết cấu chống đỡ và vỏ hầm để chịu sự tác động của đất đá xung quanh.

NATM là phương pháp thi công hầm bao gồm các biện pháp thực hiện sao cho đất đá xung quanh hầm được liên kết thành kết cấu vòm chống. Do đó, việc liên kết này tự bản thân nó sẽ trở thành một phần của kết cấu chống đỡ. Khi đào hầm, sự cân bằng hiện có nguyên thủy của các lực trong khối đá sẽ chuyển sang tình trạng cân bằng mới, thứ cấp và cũng ổn định. Điều này chỉ có thể đạt được thông qua sự kế tiếp của các giai đoạn trước mặt cùng với tiến trình phân bổ lại các ứng suất đa dạng. Mục đích của NATM là kiểm soát được các tiến trình chuyển đổi này trong khi vẫn cân nhắc về mặt kinh tế và an toàn.

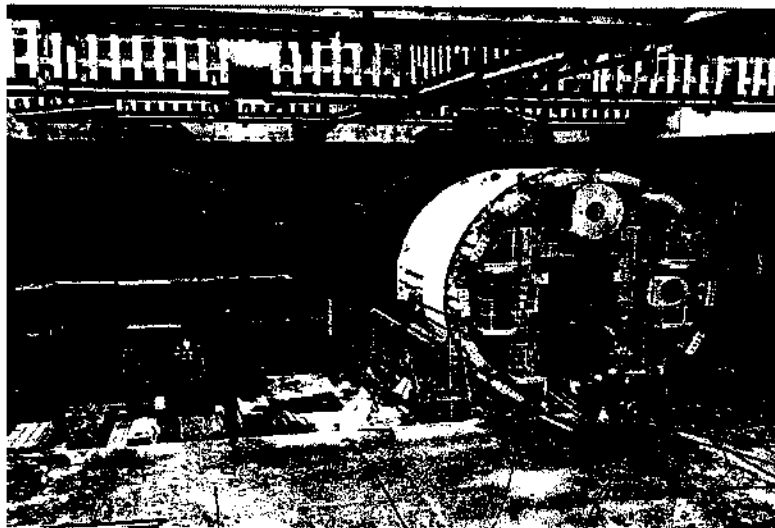
Đây là phương pháp thi công hầm mới, đã được áp dụng cho công trình hầm đường bộ Hải Vân và công trình hầm Đèo Ngang, có nhiều ưu điểm như sau:

Sử dụng triệt để chống đỡ tự nhiên của đất đá xung quanh.

Kích thước mặt cắt ngang lớn hơn so với khi sử dụng các phương pháp truyền thống.

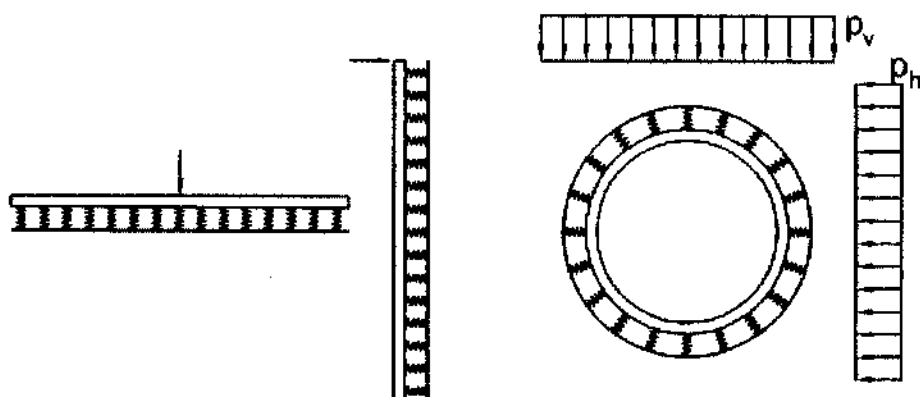
- Tỏ ra hiệu quả hơn trong đất đá cứng.

Phương pháp này thường áp dụng trong điều kiện đất đá tốt. Khi đất đá yếu, rời rạc vẫn có thể áp dụng NATM nhưng chi phí tốn kém hơn do phải dùng các phương pháp phụ trợ.



Hình 2.28. Máy đào hầm theo phương pháp NATM

2.1.2.3. Các yêu cầu tính toán



Hình 2.29. Một dạng sơ đồ tính cho hầm tròn

Bố trí cốt thép

Việc tính toán và bố trí cốt thép trong kết cấu công trình hầm cũng được thực hiện như đối với kết cấu bê tông cốt thép. Sau khi xác định được nội lực trong kết cấu do các loại tải trọng gây ra, tiến hành tổ hợp nội lực, chọn tiết diện nguy hiểm nhất và tiến hành tính toán bố trí cốt thép theo cấu kiện chịu nén lệch tâm. Tiết diện hợp lý, đảm bảo các chỉ tiêu kinh tế - kỹ thuật là có chiều dày bê tông thích hợp và hàm lượng cốt thép phù hợp. Điều này có thể thực hiện được bằng cách tính toán nhiều lần cả về nội lực lẫn hàm lượng cốt thép cho đến khi đạt tới phương án phù hợp nhất. Ngày nay, với sự trợ giúp của máy tính, công tác này đã trở nên dễ dàng hơn.

Có thể bố trí cốt thép đối xứng, tức là bố trí cốt thép ở trong và ngoài như nhau.

Đối với kết cấu hầm có khẩu độ nhỏ, cốt thép ở lớp trong có thể bố trí theo lượng cốt thép tính toán ở vị trí có mômen dương lớn nhất (vị trí đỉnh vòm hay đỉnh tường). Còn cốt thép ở lớp ngoài được bố trí theo lượng cốt thép tính toán ở vị trí có mômen âm lớn nhất (thường ở chân vòm hoặc các vị trí lân cận).

Đối với kết cấu hầm có khẩu độ hay chiều cao lớn, để tiết kiệm cốt thép, có thể căn cứ vào tính chất làm việc của kết cấu và phản lực của môi trường đất đá xung quanh để bố trí cốt thép cho phù hợp và tiết kiệm.

Tính duyệt kết cấu hầm

Ở vị trí đầu hầm, chiều dày của kết cấu thường lớn và đạt tới điều kiện $f/l \geq 1/3$, khi đó kết cấu làm việc ở trạng thái ứng suất khối và phải xét tới khả năng chống cắt của kết cấu.

Kết cấu được tính toán theo điều kiện chịu nén lệch tâm với độ lệch tâm được xác định theo công thức sau:

$$e_0 = \frac{M}{N}$$

Và kiểm tra độ lệch tâm này theo điều kiện:

$$e_0 = \frac{M}{N} \leq 0,167d_0$$

Nếu điều kiện này không được thỏa mãn thì cần phải thay đổi tiết diện vỏ hầm nhưng giữ nguyên giá trị d_0 đã chọn để tránh khoảng lệch càng tăng lên. Thông số cần quan tâm đầu tiên là f rồi đến các thông số khác.

Thực tế thiết kế công trình hầm cho thấy hình dáng vỏ hầm và tỷ lệ hợp lý giữa các bộ phận của nó đóng vai trò quyết định tới sự làm việc tin cậy của kết cấu công trình.

Các yêu cầu cần đánh giá và kiểm toán bằng Plaxis 3D tunnel:

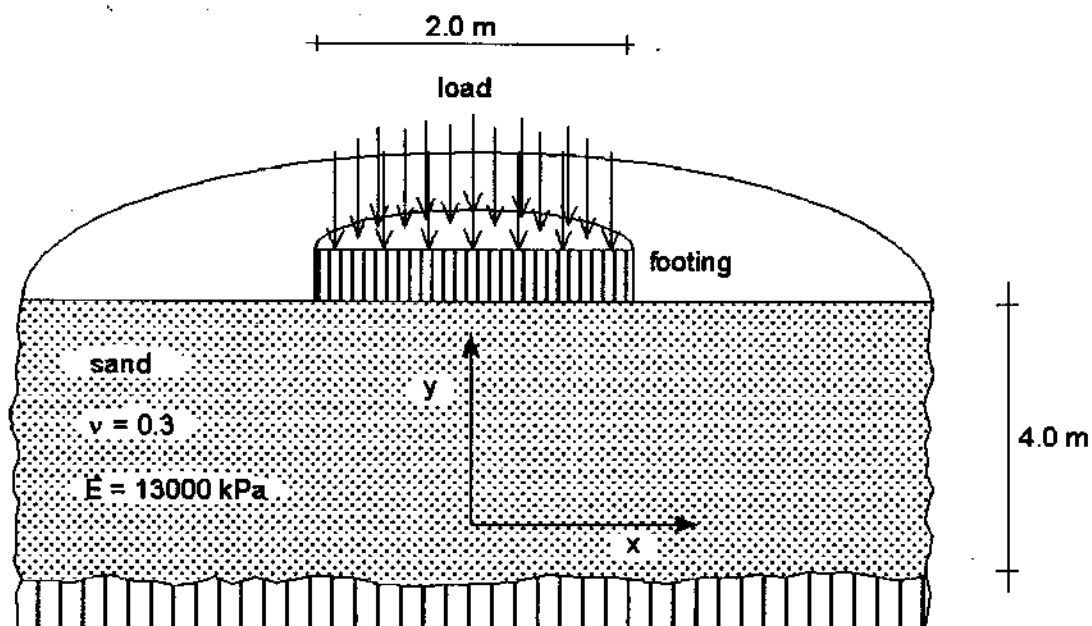
- Tính ổn định vòm, kiểm toán bùng nền
- Đánh giá điều kiện làm việc tại gương hầm.
- Phân tích biến dạng của đất và ảnh hưởng tới các công trình lân cận khi thi công hầm

2.2. PHẦN MỀM PLAXIS V.8 TRONG TÍNH TOÁN TƯỜNG CỪ

2.2.1. Một số dạng bài toán cơ bản ứng dụng giải bằng phần mềm Plaxis V.8.2

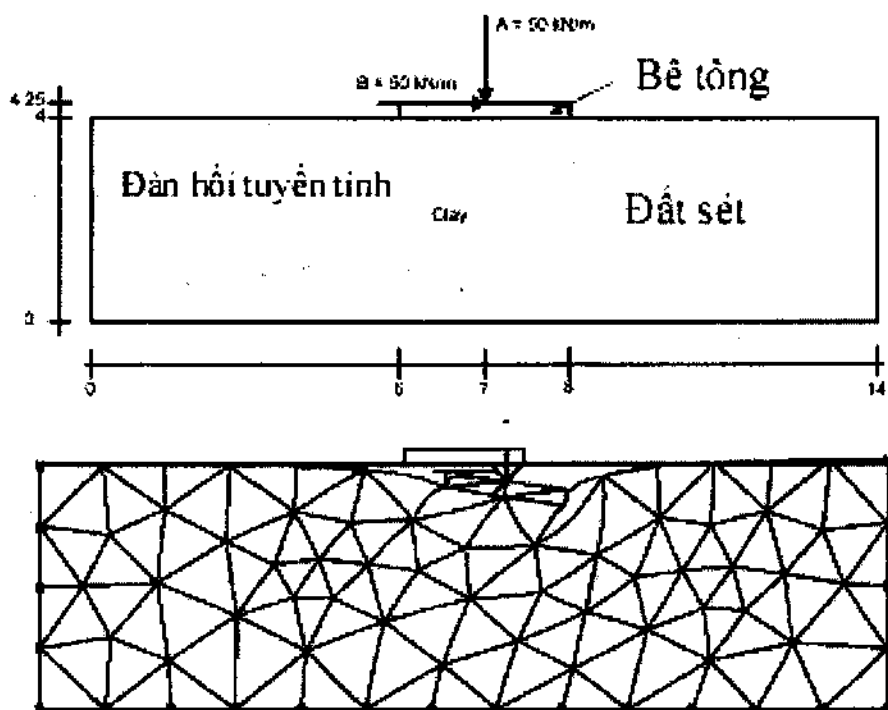
Một số dạng bài toán cơ bản được hướng dẫn phân tích sử dụng bằng phần mềm Plaxis 8.2.

- Bài toán phân tích lún của móng tròn trên cát.



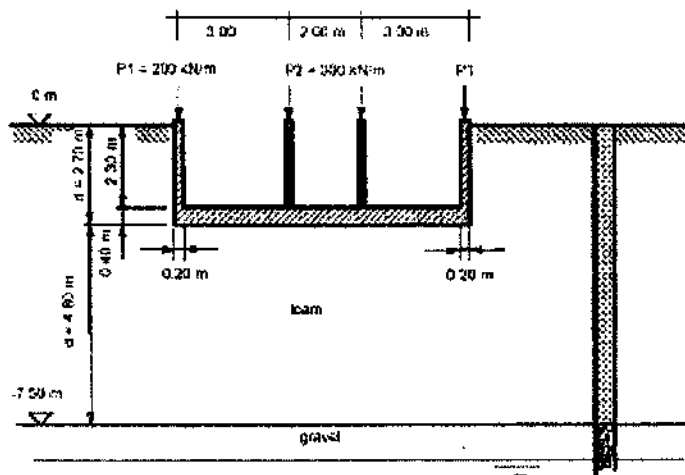
Hình 2.30. Mặt cắt ngang móng tròn

- Phân tích biến dạng móng băng



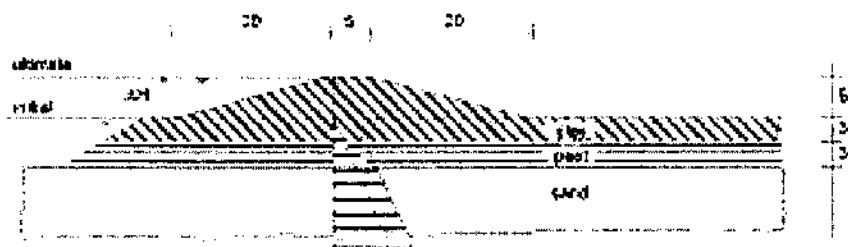
Hình 2.31. Mô hình hình học móng băng

- Phân tích biến dạng kết cấu - đất làm việc đồng thời.



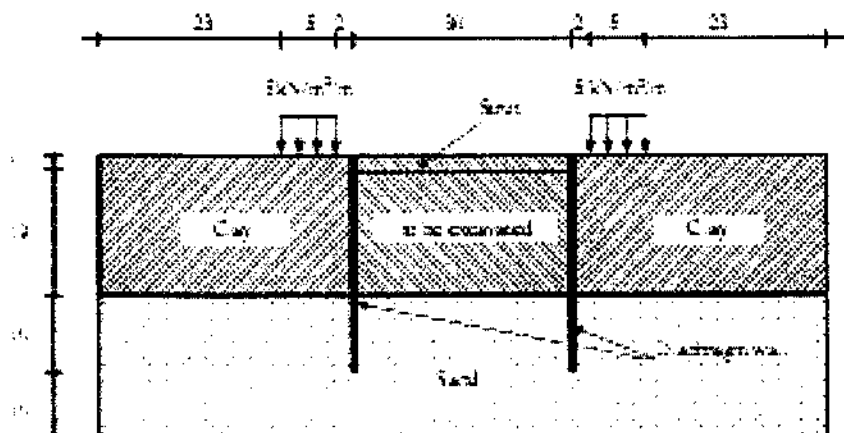
Hình 2.32. Mặt cắt ngang công trình nhà dân dụng trong phân tích biến dạng kết cấu - đất làm việc đồng thời

- Phân tích biến dạng của chuyển vị dề, đập

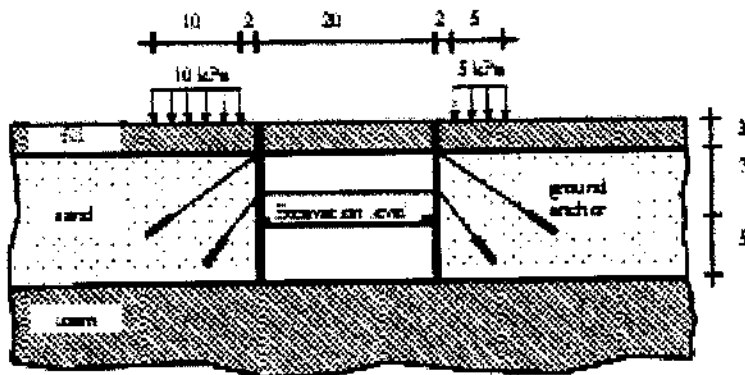


Hình 2.33. Mặt cắt ngang đập biển

- Phân tích biến dạng hố đào

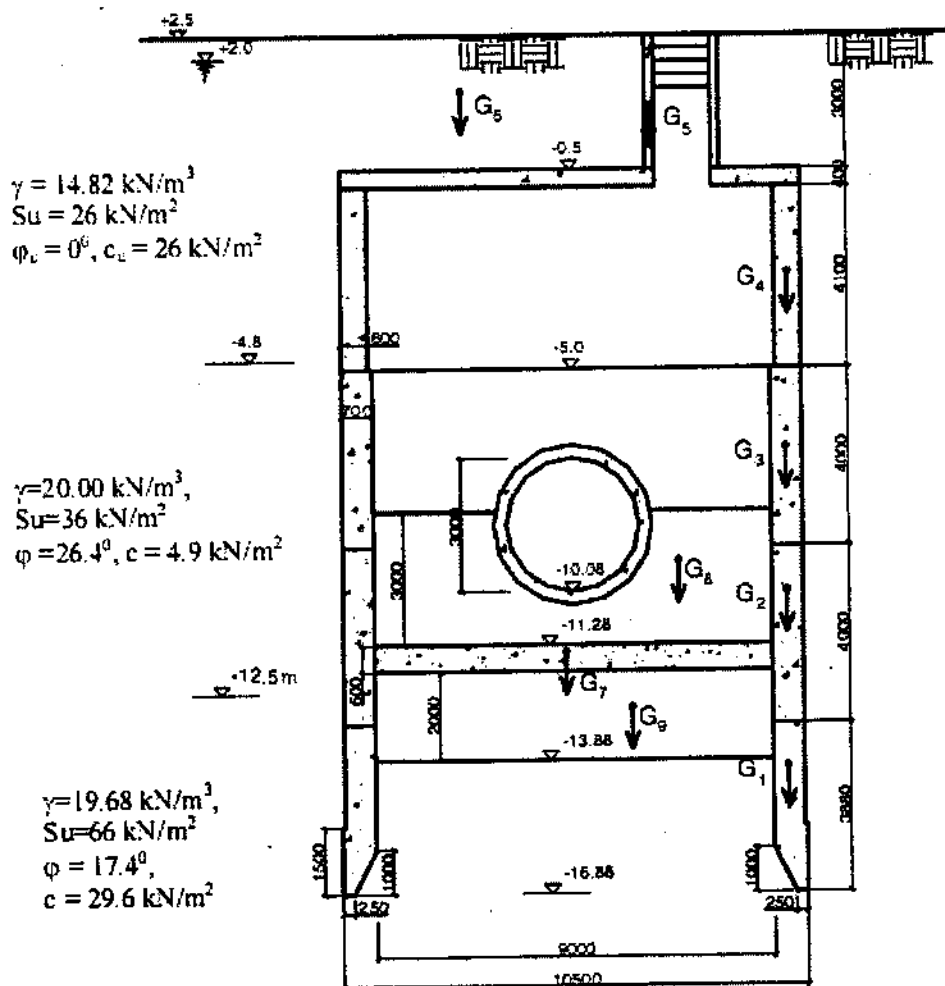


Hình 2.34. Mặt cắt ngang hố đào 1



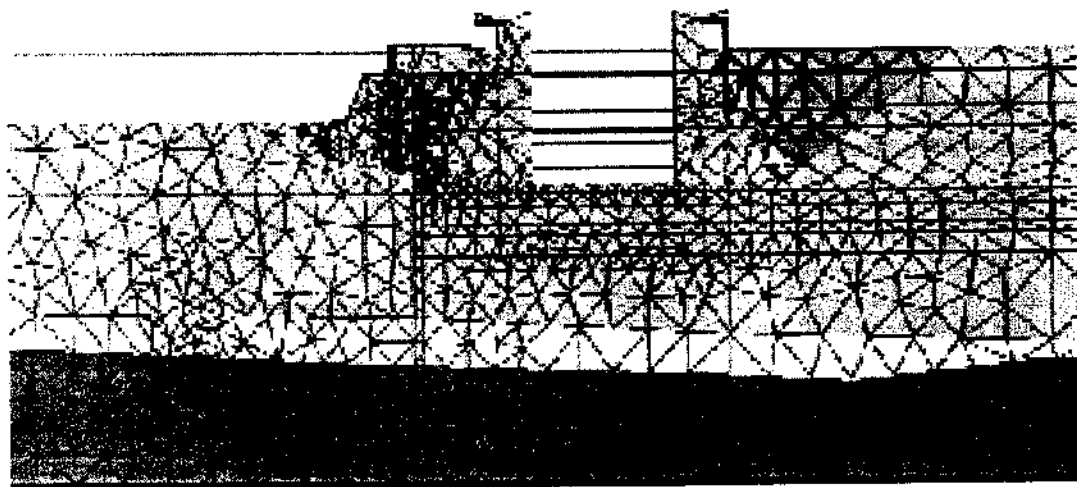
Hình 2.35. Mặt cắt ngang hố đào 2

- Phân tích ổn định giếng nước thải



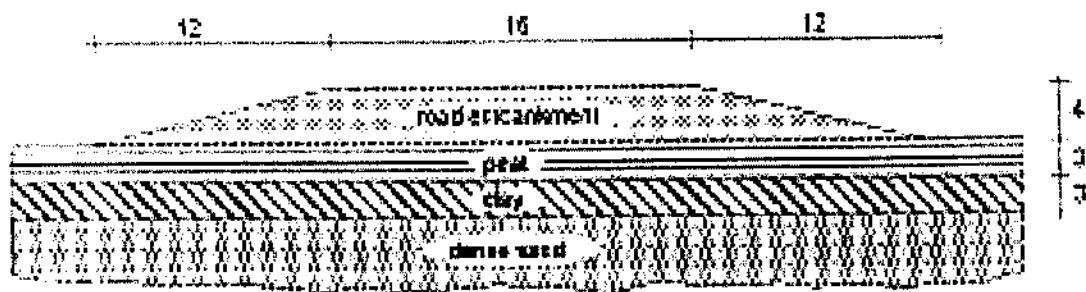
Hình 2.36. Mặt cắt ngang giếng nước thải tại kênh Nhiêu Lộc – Thị Nghè

- Phân tích ổn định công trình âu, ụ



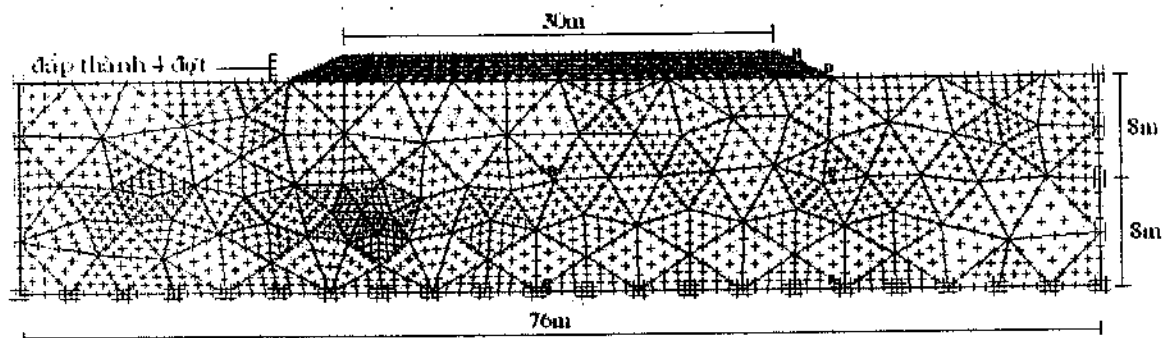
Hình 2.37. Lưới biến dạng công trình cầu

- Phân tích ổn định khối đắp



Hình 2.38. Mặt cắt ngang nền đường đắp

- Phân tích cốt kết



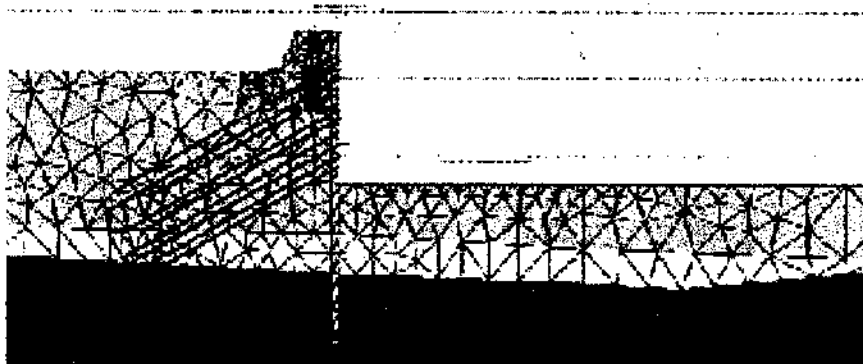
Hình 2.39. Lưới biến dạng nền đường trong phân tích cốt kết

- Phân tích ổn định bến tường cừ không neo.



Hình 2.40. Mặt cắt ngang tường cừ không neo

- Phân tích ổn định bên tường cừ có neo.

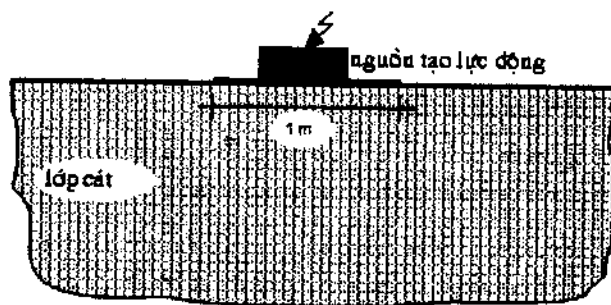


Hình 2.41. Mặt cắt ngang tường cừ có neo

- Phân tích ổn định bên tường cừ cừ kép.

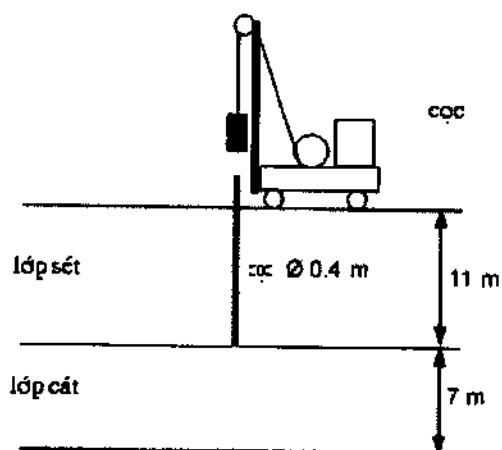


Hình 2.42. Thi công công trình cừ kép

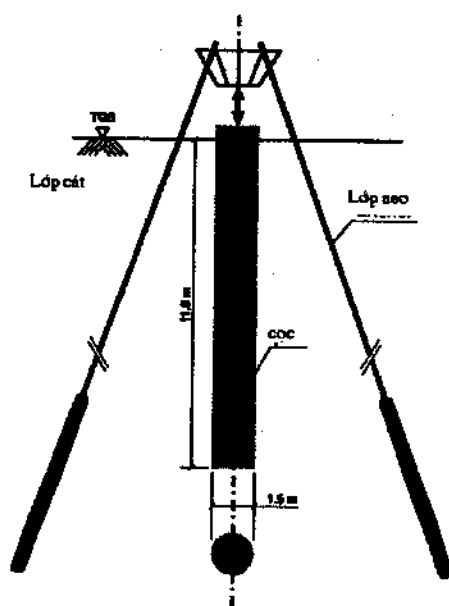


Hình 2.45. Mặt cắt ngang móng máy

- Phân tích động khi đóng cọc

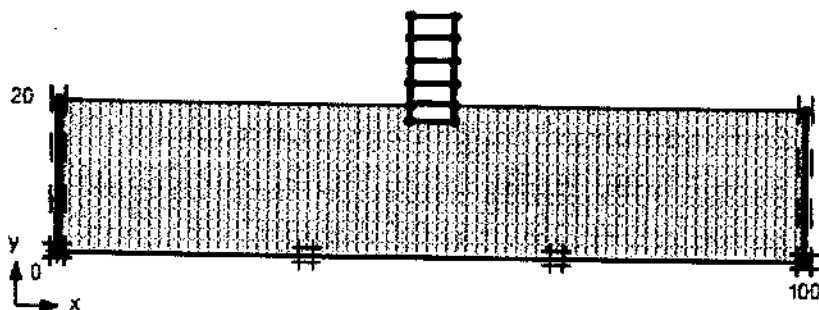


Hình 2.46. Thi công đóng cọc đơn 1



Hình 2.47. Mô hình hình học bài toán đóng cọc 2

- Phân tích động của công trình nhà chịu ảnh hưởng của động đất.



Hình 2.48. Mô hình nhà chịu ảnh hưởng động đất

2.2.2. Một số tính năng cơ bản

Chương trình PLAXIS V.8.2 được chia thành 4 modul là modul nhập dữ liệu vào (*input*), modul tính toán (*calculations*), modul biểu diễn kết quả tính toán (*output*) và modul biểu diễn quan hệ giữa ứng suất và biến dạng (*curves*)

2.2.2.1. Modul nhập dữ liệu vào (*Input*)



Ký hiệu modul nhập dữ liệu đầu vào

- Tạo mặt cắt ngang mô hình (*Graphical input of cross – section models*)

Chức năng này cho phép nhập các lớp đất đá, công trình, quá trình xây dựng, điều kiện tải trọng và điều kiện biên dựa trên các thủ tục tương tự như trong vẽ CAD, cho phép vẽ chi tiết và chính xác mặt cắt ngang hình học của mô hình.

- Tạo lưới tự động (*Automatic Mesh Generation*)

Chương trình Plaxis V8.2 cho phép tự động tạo ra số lượng hữu hạn phần tử lưới cho toàn bộ mô hình hoặc cho các phần cục bộ. Lưới 2D thông thường là lưới tam giác.

- Tạo mô hình đường hầm (*Tunnel*)

Chương trình PLAXIS 3D cho phép tạo ra các mô hình đường hầm có mặt cắt ngang hình dạng bất kỳ bằng các cung tròn, đường thẳng và các góc. Có thể tạo ra các mặt tiếp xúc giữa vỏ chống và đất đá xung quanh.

- Tải trọng tác dụng phân bố hoặc tập trung (*Distributed or point Loads*)

Cho phép tải trọng dạng phân bố hoặc tập trung tác dụng lên mặt cắt ngang của mô hình.

Phần tử dạng tấm (Plates)

Các phần tử dạng tấm đặc biệt được sử dụng để mô hình vỏ chống hầm, vỏ khiên đào, tường trong đất và các cấu trúc mỏng khác.

- Thiết lập các điều kiện ban đầu (*Initial Conditions*)

2.2.2.2. Modul tính toán (Calculation)



Ký hiệu modul tính toán

Sau khi nhập đầy đủ các điều kiện đầu vào của mô hình tính, modul tính toán sẽ tiến hành tính toán để đạt được kết quả theo điều kiện đầu vào đã nhập.

- Trong modul này có thể xác định các phase tính toán cho các giai đoạn thi công.

2.2.2.3. Modul biểu diễn kết quả tính toán (Output)



Ký hiệu modul biểu diễn kết quả tính toán

Cho phép biểu diễn các kết quả tính toán như chuyển vị, ứng suất, biến dạng,... của đất đá xung quanh công trình dạng không gian hai chiều.

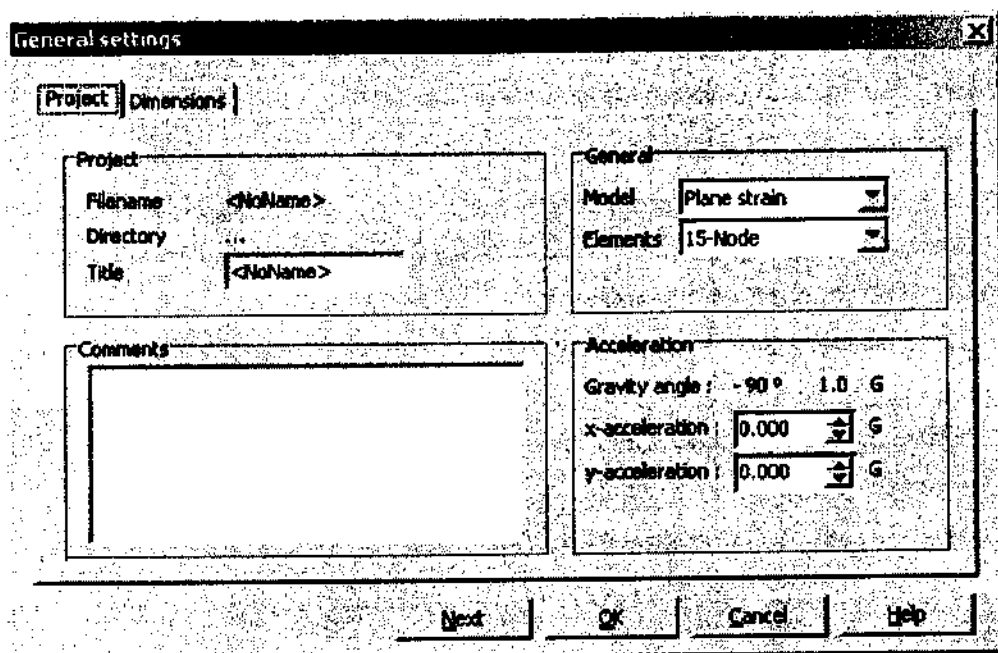
2.2.2.4. Modul biểu diễn các đường cong chuyển vị - lực và các đường ứng suất (Curves)



Ký hiệu modul biểu diễn các đường cong chuyển vị - lực và các đường ứng suất

Modul này cho phép biểu diễn các quan hệ ứng suất biến dạng, chuyển vị – lực, tại các thời điểm thi công khác nhau dưới dạng đồ thị và bảng biểu... tại các điểm bất kỳ của mô hình tính.

2.2.3. Thiết lập tổng hợp



Hình 2.49. Cửa sổ thiết lập tổng hợp trang Project

- Đặt tên cho bài toán, mô tả chi tiết bài toán

- Xác loại hình phân tích
- Xác định kiểu phần tử
- Xác định đơn vị đo
- Xác định phạm vi vùng làm việc.

General settings

Project **Dimensions**

Units

Length:

Force:

Time:

Stress: kN/m^2

Weights: kN/m^3

Geometry dimensions

Left: m

Right: m

Bottom: m

Top: m

Grid

Spacing: m

Number of intervals:

☐ Set as default

Next OK Cancel Help

Hình 2.50. Cửa sổ thiết lập tổng hợp trang Dimensions

2.2.4. Xây dựng mô hình hoá

* Các đơn vị thường dùng trong Plaxis V8.2.

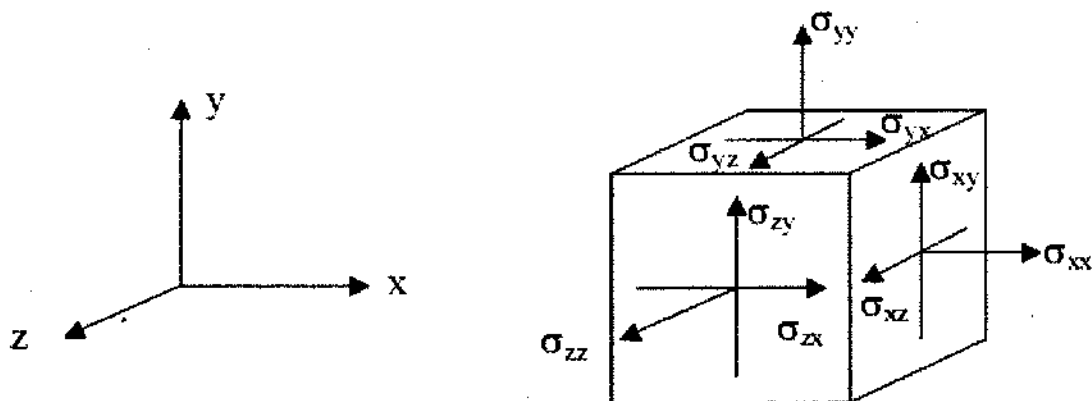
Bảng 2.1. BẢNG CHUYỂN ĐỔI CÁC ĐƠN VỊ THƯỜNG DÙNG TRONG PLAXIS

Chiều dài	Chuyển đổi	Lực	Chuyển đổi	Thời gian	Chuyển đổi
mm	0,001 m	N	0.001 kN	S (giây)	1/86400 day
[m]	1m	[kN]	1 kN	min	1/1440 day
In (inch)	0.0235	MN	1000 kN	hr	1/24 day
Ft (feet)	0.348m	lp (pound)	0.0044482 kN	[day]	1 day
		Kib (kilopound)	4.4482 kN		

Bảng 2.2. BẢNG CÁC ĐƠN VỊ THƯỜNG DÙNG TRONG PLAXIS

Loại đơn vị	Đại lượng	Hệ SI	Hệ Mỹ
Đơn vị cơ bản	Chiều dài	[m]	[in]
	Lực	[kN]	[lb]
	Thời gian	[ngày]	[sec]
Đơn vị hình học	Toạ độ	[m]	[in]
	Chuyển vị	[m]	[in]
Tính chất vật liệu	Môđun Young	[kN/m ²] = [kPa]	[psi]
	Lực dính đơn vị	[kPa]	[psi]
	Góc ma sát	[độ]	[độ]
	Góc chảy	[độ]	[độ]
	Trọng lượng đv	[kN/m ³]	[lb/cu in.]
	Hệ số thấm	[m/ngày]	[in/sec]
Lực và ứng suất	Lực tập trung	[kN]	[lb]
	Tải trọng tuyến	[kN/m]	[lb/in]
	Tải trọng phân bố	[kPa]	[psi]
	Ứng suất	[kPa]	[psi]
Thấm	Lưu lượng giếng	[m ³ /day]	[ft ³ /sec]
	Thấm biên	[m/day]	[ft/sec] ₄

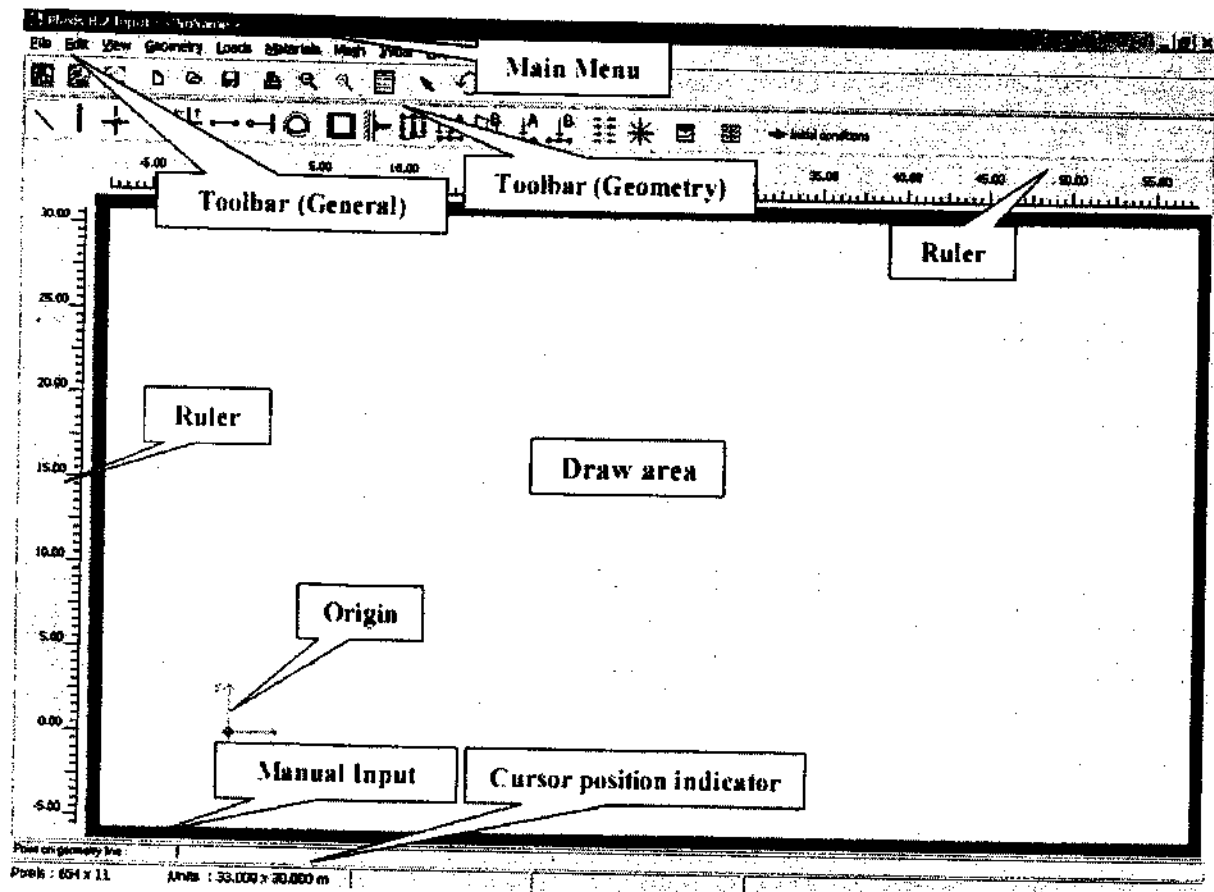
* Hệ trục toạ độ quy ước



Hình 2.51. Hệ trục toạ độ quy ước và ký hiệu vị trí các thành phần ứng suất

2.2.4.1. Tạo mô hình hình học

Khi bài toán đã được thiết lập tổng hợp, nhấn phím **OK** để kết thúc, menu **Input** xuất hiện. Cửa sổ làm việc chính xem trên hình... Những phần quan trọng chính được chú thích tóm tắt dưới đây:



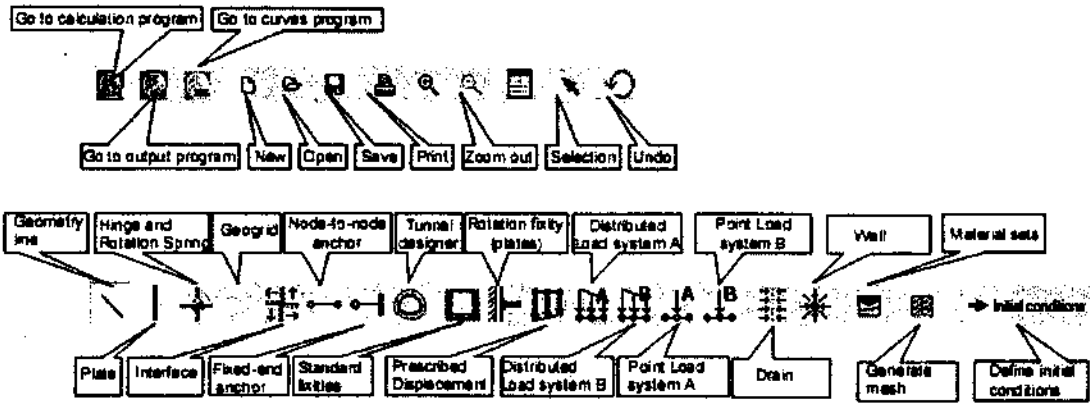
Hình 2.52. Cửa sổ làm việc của modul Input Program (cửa sổ tạo mô hình hình học)

- Thanh công cụ chung *Toolbar (General)*: Thanh công cụ này bao gồm các nút thông dụng như hoạt động của ổ đĩa, in ấn, phóng to thu nhỏ vùng làm việc hoặc lựa chọn các đối tượng. Nó bao gồm các nút để chạy các chương trình con khác (modul)
- Thanh công cụ hình học *Toolbar (Geometry)*: Thanh công cụ này bao gồm các nút có chức năng tạo mặt cắt ngang của mô hình.
- Thước (*Ruler*): ở phía trái và trên của vùng vẽ, các thước này giúp chỉ báo tọa độ theo hai phương x, y cho phép xem trực tiếp kích thước hình học. Khi không muốn hiện thị có thể tắt chúng trong menu View
- Vùng vẽ (*Draw area*): Vùng này để xây dựng mô hình hình học, có cấu tạo là các lưới điểm có thể theo mặc định hoặc do người dùng tự định nghĩa, các điểm trong lưới có tọa độ theo phương x và y.
- Gốc tọa độ (*Origin*): Gốc tọa độ thể hiện tại điểm có tọa độ (0,0)
- Nhập lệnh bằng bàn phím tại vị trí *Point on geometry line*: Khi việc vẽ sử dụng con chuột không cho độ chính xác như mong muốn, việc nhập bằng bàn phím được sử dụng. Khi nhập tọa độ theo phương x,y phân cách nhau bằng phím spacebar (ví dụ: 1 2 là điểm có

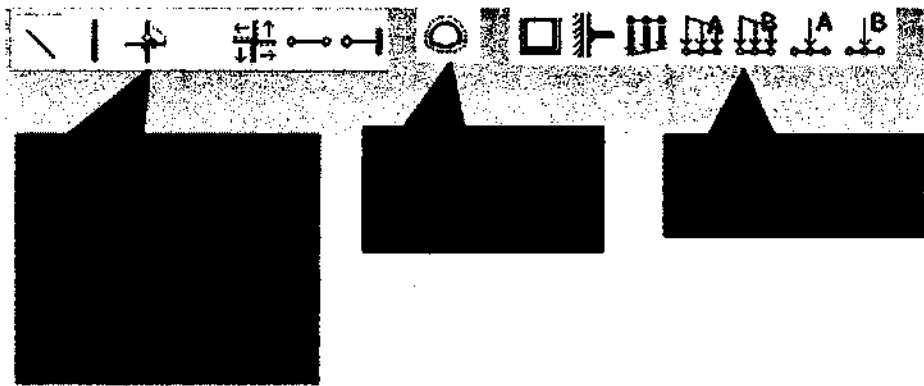
toạ độ theo phương $x=1$ và theo phương y là 2). Việc nhập bằng tay ngoại trừ khai báo liên kết dầm (Beam hinges) và đường hầm. Có thể nhập các tọa độ tương đối thông qua tọa độ điểm liên trước bởi ký tự @.

- Ngoài ra có thể xem vị trí con trỏ hiện thời tại “Cursor position indicator”.

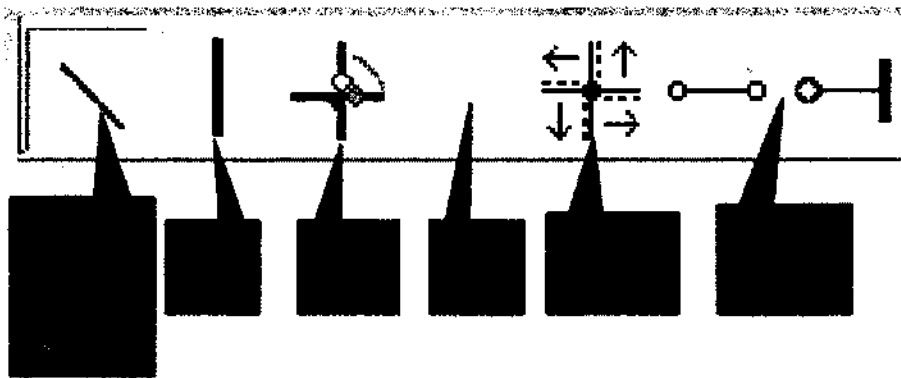
Các công cụ định dạng hình học trong Plaxis V8.2 như sau



Hình 2.53. Các công cụ định dạng hình học



Hình 2.54. Công cụ định dạng hình học dùng thiết lập mô hình hình học



Hình 2.55. Các dạng phân tử trong công cụ định dạng hình học

Đường hình học (Line)

- Dùng để xác định các đường biên vật lý của mô hình hình học
- Dùng để xác định các gián đoạn trong mô hình hình học như: tường cừ, tải trọng phân bố, đường phân cách các lớp vật liệu khác nhau hay các pha tính toán

Phát sinh lưới tự động (Mesh)

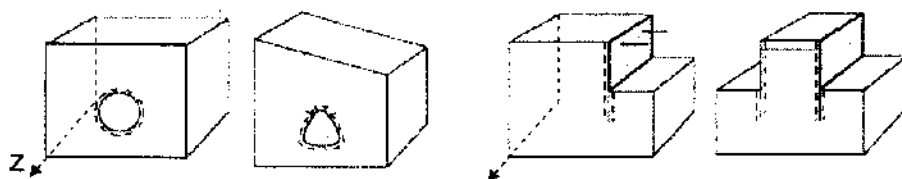
Tự động tạo lưới các phần tử hữu hạn cho mô hình kết cấu với các lựa chọn lưới làm mịn tổng thể hoặc cục bộ. Lưới có thể chứa hàng ngàn phần tử

Phần tử bậc cao

Phần tử tam giác 6 nút và 15 nút phù hợp cho phân tích biến dạng và ứng suất của mô hình đất.

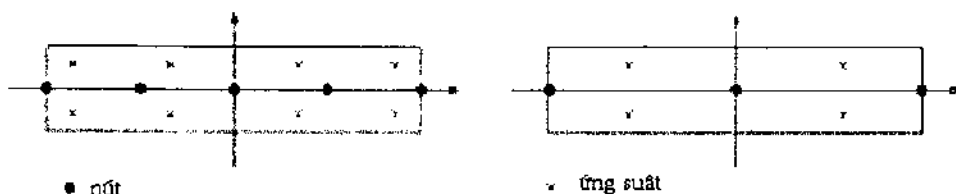
Phần tử tấm (Plates)

Phần tử tấm thường dùng mô phỏng những kết cấu mỏng có độ chịu uốn và pháp hướng dương tương đối lớn như: kết cấu tường chắn, vỏ hầm, đường hầm, các kết cấu mảnh khác. ứng xử của các phần tử tấm có độ cứng uốn, độ cứng dọc trục, mô men uốn tới hạn. Khớp dẻo có thể phát triển cho tấm đàn dẻo, ngay khi mô men uốn tới hạn xuất hiện (EI , EA , $d_{eq} = (12EI/EA)^{0.5}$).



Hình 2.56. Các kết cấu phần tử tấm

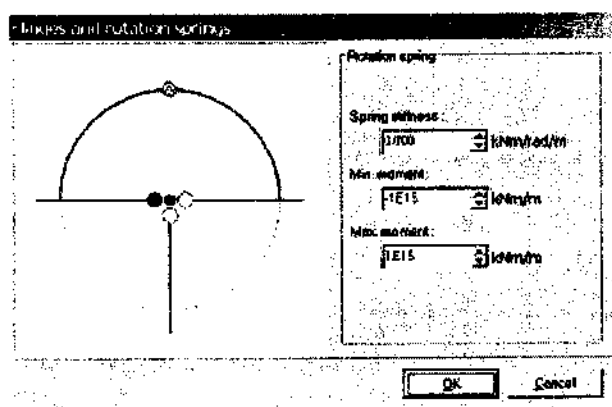
Các phần tử tấm có 3 nút hoặc 5 nút, có 2 chuyển vị tự do u_x và u_y , và 1 độ xoay tự do trên mặt x, y . Điểm ứng suất thường cách trên và dưới đường tâm của tấm một đoạn $1/2d_{eq}(3)^{0.5}$



Hình 2.57. Phần tử tấm 5 nút 8 điểm ứng suất và 3 nút 4 điểm ứng suất

Bản lề (Hinges) và lò xo xoay (Rotation springs)

Để mô hình nối tiếp, xoay tự do (liên tục và không liên tục) tại giao điểm các phần tử dầm.

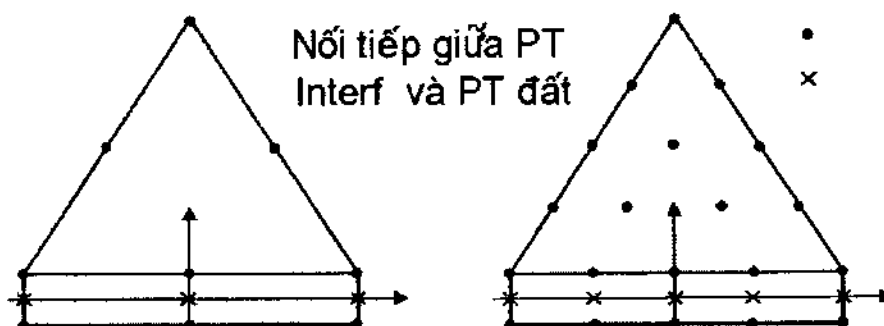


Hình 2.58. Cửa sổ khai báo liên kết bản lề và lò xo xoay

Mặt tiếp xúc (Interfaces)



Phần tử tiếp xúc xuất hiện trong mô hình khi có tương tác của kết cấu với đất, nó có độ dày ảo. phần tử này dùng mô hình hoá sự trượt giữa đất và kết cấu tấm, ngăn cản dòng thấm vuông góc với phần tử kết cấu trong phân tích thấm và cố kết thấm



Hình 2.59. Nối tiếp phần tử tiếp xúc với phần tử đất

Tính chất vật liệu của phần tử tiếp xúc đặc trưng bởi C_{inter} là hệ số triết giảm

$$C_{inter} = R_{inter} \cdot C_{soil}$$

$$\tan \varphi_{inter} = R_{inter} \cdot \tan \varphi_{đất}$$

Trong đó R_{inter} là hệ số tương tác:

+ Tương tác của đất cát/thép $R_{inter} \approx 2/3$

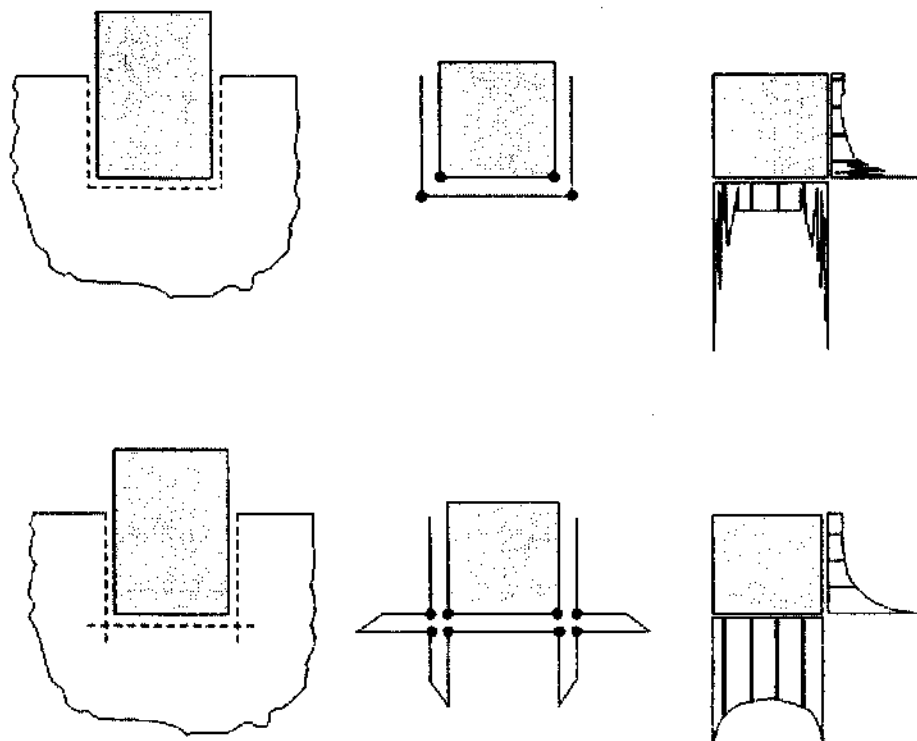
+ Tương tác của đất sét/thép $R_{inter} \approx 0.5$

+ Tương tác của cát/bê tông $R_{inter} \approx 1.0 \div 0.8$

+ Tương tác của sét/bê tông $R_{inter} \approx 1.0 \div 0.7$

+ Tương tác của sỏi/lưới địa kỹ thuật $R_{inter} \approx 1$

+ Tương tác của sỏi/vải địa kỹ thuật $R_{inter} \approx 0.9 + 0.5$



Hình 2.60. Vị trí khai báo các phần tử tiếp xúc

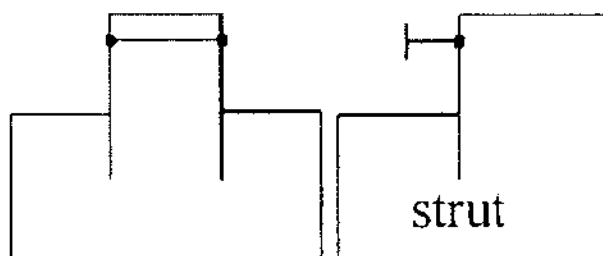
Phần tử neo (Anchors)



Node – To – Node Anchors: để mô hình hoá neo, cột và thanh chống. Loại phần tử này là loại đàn dẻo, được tạo bởi nối hai điểm hình học, có thể đặt ứng suất trước.



Fixed – End Anchors(strut): để mô hình hoá thanh neo, thanh chống, cột chống. Loại phần tử neo này là loại đàn hồi, một đầu đặt trực tiếp vào vật hình học, đầu kia đặt cố định, có thể đặt theo góc tùy ý và có thể tạo ứng suất trước

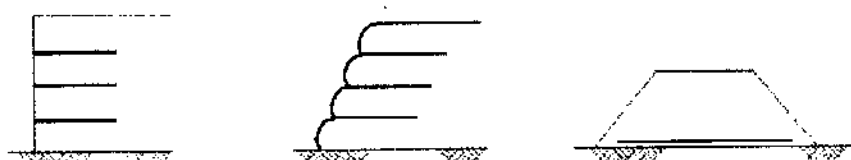


Hình 2.61. Vị trí neo đàn dẻo và đàn hồi

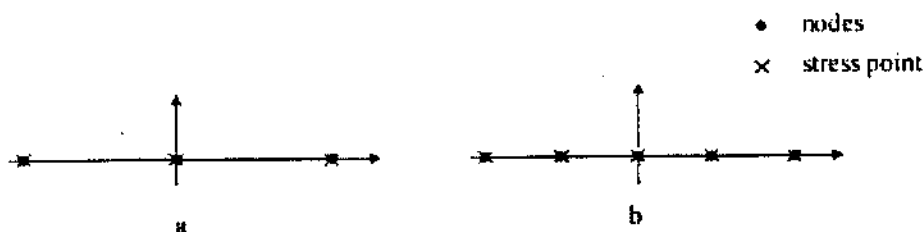
Vải địa kỹ thuật (Geogrids)



Phần tử 3 hoặc 5 nút, có 2 chuyển vị tự do u_x và u_y , vật liệu của vải địa kỹ thuật là vật liệu đàn hồi tuyến tính, không có độ cứng chịu uốn (EI), chỉ có độ cứng pháp hướng (EA) chỉ chịu kéo mà không chịu nén.



Hình 2.62. Phần tử vải địa kỹ thuật



Hình 2.63. Phần tử vải địa 3 nút 3 điểm ứng suất và 5 nút 5 điểm ứng suất

Hầm (Tunnels)



Tạo mặt cắt tunnel có tiết diện tròn hoặc không tròn bằng các cung tròn và đường thẳng, mặt cắt tunnel bao gồm vỏ chống và giao diện tạo bởi phần tử tiếp xúc và phần tử vỏ. Có 3 loại tunnel: Bore Tunnel, NTM tunnel và Tunnel do người dùng tự định nghĩa



2.2.4.2. Khai báo đặc trưng vật liệu



Chuyển vị cưỡng bức (Prescribed Displacements):

Cố định chuyển vị cưỡng bức là điều kiện đặc biệt mà có thể tác động đến các phần tử kết cấu nhằm điều chỉnh sự chuyển vị của các phần tử này. Chuyển vị cưỡng bức có thể được lựa chọn trong menu Loads hoặc kích vào nút tương ứng trên thanh công cụ. Theo mặc định, các giá trị nhập vào của chuyển vị cưỡng bức được quy định theo phương ngang là bằng 0 ($U_x=0$) và theo phương thẳng đứng là -1 ($U_y=-1$). Chú ý rằng những giá trị này chỉ được nhập vào. Độ lớn của chuyển vị cưỡng bức trong quá trình tính toán là kết quả của số liệu được nhập vào và hệ số tải trọng tương ứng. Chuyển vị cưỡng bức được điều chỉnh bằng các hệ số tải trọng M_{displ} và ΣM_{displ} . Trong quá trình tính toán, các lực tác dụng tương ứng với các chuyển vị cưỡng bức theo phương X, Y được tính toán và lưu trữ như thông số kết quả.

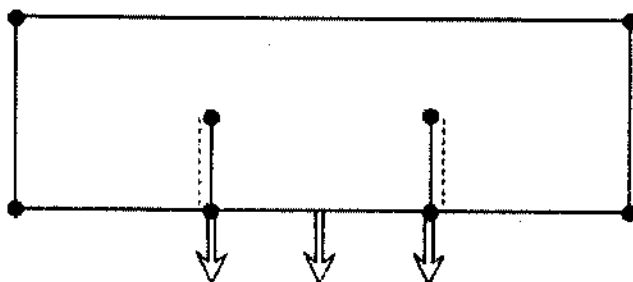
Các giá trị nhập vào của chuyển vị cưỡng bức có thể thay đổi bằng cách nhấn đúp vào kết cấu tương ứng và lựa chọn chuyển vị cưỡng bức.

Hình 2.64. Cửa sổ khai báo chuyển vị cưỡng bức



Cố định tiêu chuẩn hay ngàm tiêu chuẩn (*Standard Fixities*):

Tuỳ chọn thuận lợi tồn tại khi khai báo điều kiện biên tiêu chuẩn ứng dụng cho mọi trường hợp, mô hình chuyển vị bằng không.



Hình 2.65. Chuyển vị cưỡng bức và giao diện tương tác của mô hình cửa lật

Việc lựa chọn điều kiện này có thể từ menu Loads hoặc kích vào nút tương ứng trên thanh công cụ. Plaxis tự động thiết lập những điều kiện biên chung trong mô hình hình học thực tế. Những điều kiện biên này được thiết lập từ các nguyên tắc sau:

- Tại phương đứng có tọa độ phương x có giá trị thấp nhất hoặc cao nhất trong mô hình (ngàm theo phương ngang $U_x=0$).
- Tại phương ngang mà tọa độ phương y có giá trị thấp nhất hoặc cao nhất (ngàm theo phương ngang $U_y=0$).
- Các dầm dài tới biên mô hình hình học khi ngàm góc ít nhất có một chuyển vị bằng 0.



Định vị xoay (*Rotation Fixities*)

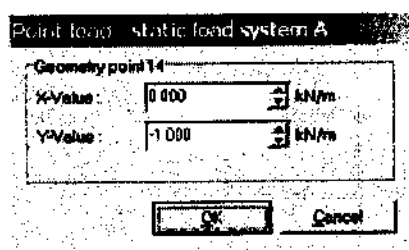
Dùng để gán độ tự do xoay của tấm quanh trục z

2.2.4.4. Khai báo các trường hợp tải trọng tĩnh tác dụng lên kết cấu (Loads)



Tải trọng tập trung (Point Load):

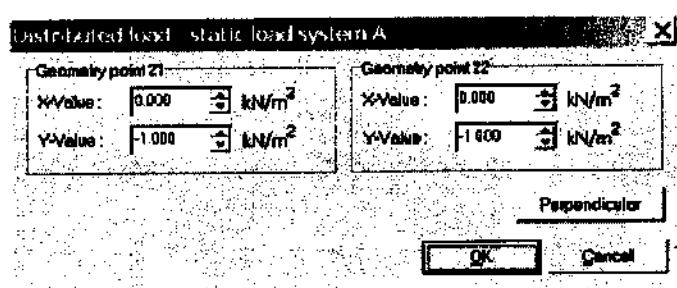
Tải trọng tập trung A hay còn gọi tải trọng nút. Theo mặc định các giá trị đưa vào lấy bằng -1.



Hình 2.66. Cửa sổ nhập giá trị lực tập trung



Tải trọng phân bố B (Distributed load):



Hình 2.67. Cửa sổ nhập giá trị lực phân bố



Cố định xoay dùng cố định góc xoay tự do của phần tử tấm quanh trục z



Tiêu thoát nước (Drains):

Mô phỏng các đường trong mô hình hình học tại đó áp lực nước lỗ rỗng dư lấy bằng 0

Lựa chọn này chỉ dùng khi phân tích cố kết thấm hoặc tính dòng thấm của nước dưới đất



Giếng (Well):

Mô phỏng các điểm quy định trong mô hình hình học tại đó lưu lượng bị rút đi từ nguồn hoặc bù vào khối đất.

2.2.4.5. Khai báo điều kiện ban đầu



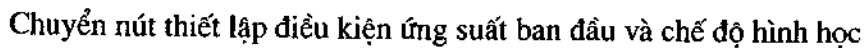
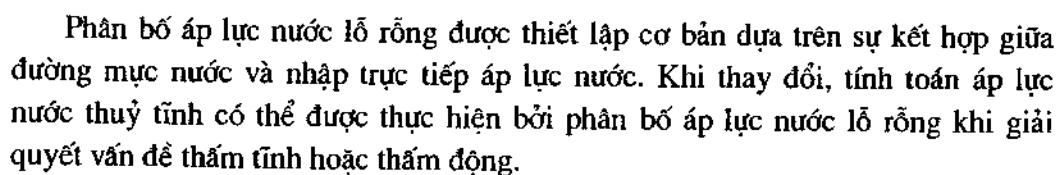
Thiết lập điều kiện ban đầu (Initial Conditions)

Thiết lập áp lực nước lỗ rỗng bằng đường bão hoà hoặc tính toán dòng thấm

Plaxis phân biệt giữa điều kiện thoát nước và không thoát nước cho mô hình đất cát cũng như đất sét. áp lực nước lỗ rỗng dư được tính toán trong tính toán đàn hồi khi lớp đất không thoát nước chịu ảnh hưởng tải trọng. Trường hợp gia tải không thoát nước thường quyết định độ ổn định của cấu trúc đất.



Phân bố áp lực lỗ rỗng phức tạp có thể được tạo bằng phân tích đường mực nước ngầm. Điều kiện thoát nước và giếng thu nước được mô hình bằng các phần tử riêng. Định mực nước ngầm khi nhập thuận tiện giống như nhập cao trình mực nước ngầm.



Sau khi mô hình được tạo và sau khi đã phát sinh lưới phần tử phải tiến hành thiết lập điều kiện ban đầu. Thiết lập từ kiểu điều kiện mực nước tới kiểu hình dạng hình học, nhấn vào bên phải của nút thiết lập trên Toolbar.

Kiểu hình dạng hình học dùng để thiết lập điều kiện hình dạng hình học ban đầu và cho phép người dùng không chọn các vùng hình học mà không hoạt động trong trường hợp ban đầu. Ngoài ra, ứng suất có hiệu ban đầu có thể được tạo ra bởi trạng thái ứng suất ban đầu *Ko-procedure*

- Tải trọng không được kích hoạt hoạt động và đối tượng hình học: Trong các bài toán đắp đê, đường giao thông khi kết cấu được cấu tạo bởi mô hình hình học chứa các loại phần tử (tải trọng, tấm, vải địa kỹ thuật, neo, phần tử tương tác hoặc các cluster nằm trên bề mặt đất ban đầu) thì chúng ở điều kiện ban đầu là không được kích hoạt hoạt động. Các miền cluster phía trên mặt đất phải được loại bỏ bởi người dùng. Plaxis sẽ tự động loại bỏ sự hoạt động của chúng và đối tượng kết cấu trong hình dạng hình học ban đầu, ngay từ thiết lập tổng hợp các đối tượng này được xuất hiện trong các giai đoạn thi công sau và không xuất hiện trong trường hợp ban đầu hiện tại. Chú ý rằng Ko-procedure được phát sinh ở trạng thái ban đầu không bao gồm tải trọng ngoài, trọng lượng của các phần tử kết cấu trong việc tính toán.

Các cấu kiện hình học được kích hoạt hoạt động hay không hoạt động có thể được thực hiện bằng việc nhấn chuột (click) vào cấu kiện trong mô hình hình học. Chú ý rằng, trái với phiên bản trước, phần tử tương tác cũng có thể được kích hoạt hoặc không kích hoạt hoạt động riêng biệt. Khi phần tử tương tác không được kích hoạt trong phân tích biến dạng nó sẽ có ứng xử đàn hồi hoàn toàn (không trượt hoặc không có kẽ hở). Trong tính toán nước ngầm hoặc phân tích cốt kết, phần tử tương tác không hoạt động cho phép thấm hoàn toàn. Thực tế với áp lực nước lỗ rỗng dư bậc tự do của cặp nút tương ứng được kết hợp hoàn toàn.

Các vùng cluster không được kích hoạt được vẽ bằng màu nền trắng và đối tượng kết cấu không được kích hoạt hoặc phần tử tương tác ko được kích hoạt được vẽ màu xám. Khi click lần nữa thì các đối tượng ko được kích hoạt lại được kích hoạt.

Phần tử neo chỉ có thể hoạt động nếu đất hoặc kết cấu đều được kích hoạt. Mặt khác chương trình tính toán không kích hoạt chúng một cách tự động. Nếu tải trọng hoặc chuyển vị cưỡng bức tác động lên phần hình học mà không được kích hoạt, thì những điều kiện này sẽ không được sử dụng trong suốt quá trình phân tích

Mặc dù ngoại tải có thể được kích hoạt trong hình dạng ban đầu, chúng cũng không xem xét khi tạo điều kiện ứng suất ban đầu (*Ko-procedure*). Nên chú ý là trọng lượng của phần tử kết cấu không được xét đến trong thiết lập ứng suất ban đầu. Ngoại tải hoặc đối tượng kết cấu trong hình dạng ban đầu không có hiệu lực

2.2.5. Xác định các giai đoạn tính – Chạy chương trình

Xác định các giai đoạn tính

Cửa sổ làm việc của Modul *Caculations*

Trong modul này phải xác định được phương pháp phân tích bài toán theo các dạng phân tích: Phân tích tuyến tính, phân tích đàn dẻo, phân tích cốt kết, phân tích giảm Phi/c, hay phân tích động.

- Phải cập nhật lưới trước khi tính toán
- Thiết lập cường độ chịu lực hoặc các giai đoạn thi công: *Multiplier* hoặc *Staged Construction*.

Plaxis 8.2 Calculations - Lesson 1.plx

File Edit View Calculate Help

General Parameters Multipliers Preview

Phase

Number / ID: 1

Start phase: 0 - Initial phase

Calculation type

Pestic

Advanced

Log info

Prescribed ultimate state fully reached

Comments

Parameters

Next Insert Delete

Identification	Phase no	Start time	Calculation	Loading input	Time	Water	Pore	Test
Initial phase	0	0	N/A	N/A	0.00 day	0	0	0
→ Indentation	1	0	Pestic	Staged construction	0.00 day	0	1	42

Hình 2.71. Cửa sổ chương trình tính toán calculation

Plaxis 8.2 Calculations - Lesson 1.plx

File Edit View Calculate Help

General Parameters Multipliers Preview

Control parameters

Additional Steps: 10

Reset displacements to zero

Ignore undrained behaviour

Delete intermediate steps

Iterative procedure

Standard setting

Manual setting

Loading input

Staged construction

Total multipliers

Incremental multipliers

Advanced

Time interval: 0.000 day

Estimated end time: 0.000 day

Details

Next Insert Delete

Hình 2.72. Cửa sổ chương trình tính toán calculation thể Parameters

- Có thể thay đổi các điều kiện áp lực nước.
- Các giai đoạn tính có thể xác định trước.

Chạy chương trình

Nhấn F5, hoặc nhấn vào nút *Calculation* tương ứng trên Toolbar



Khi lựa chọn vào tùy chọn này thì việc mô phỏng kết quả biến dạng và chuyển vị bằng trục giao sẽ thay đổi theo tỷ lệ chọn, giúp người dùng quan sát dễ dàng hơn



Tùy chọn này khi kích hoạt cho phép xuất kết quả dưới dạng bảng biểu



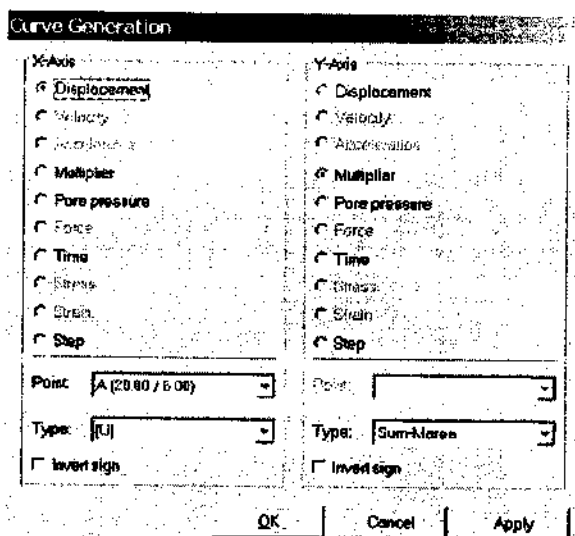
Tùy chọn này khi kích hoạt cho phép xem kết quả theo vị trí mặt cắt ngang, hoặc đứng khi chọn



Modul này chứa các chức năng tạo đồ thị biểu diễn quan hệ chuyển vị – lực, ứng suất và biến dạng



Hình 2.76. Thanh công cụ hình học của modul Curves Program



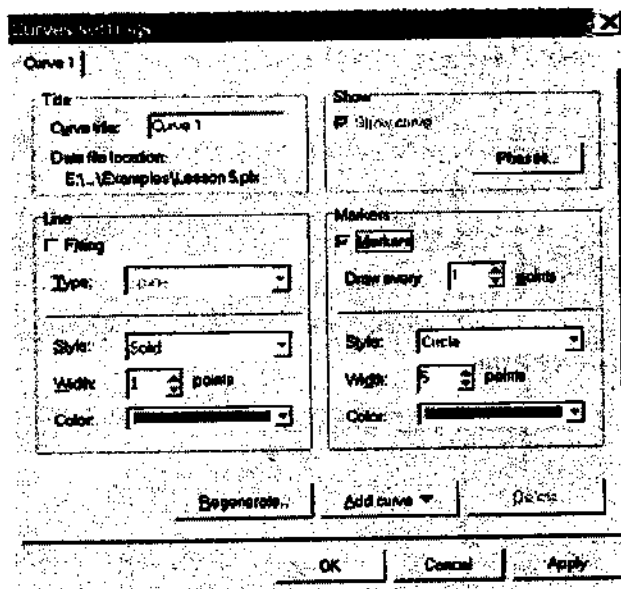
Hình 2.77. Cửa sổ tạo các đồ thị quan hệ Curves



Tùy chọn này cho phép xem các đường quan hệ ứng suất – biến dạng tại các điểm khác của bài toán với điểm đang xem trên cùng biểu đồ quan hệ, thậm chí xem cả ở file bài toán khác trên cùng biểu đồ quan hệ.



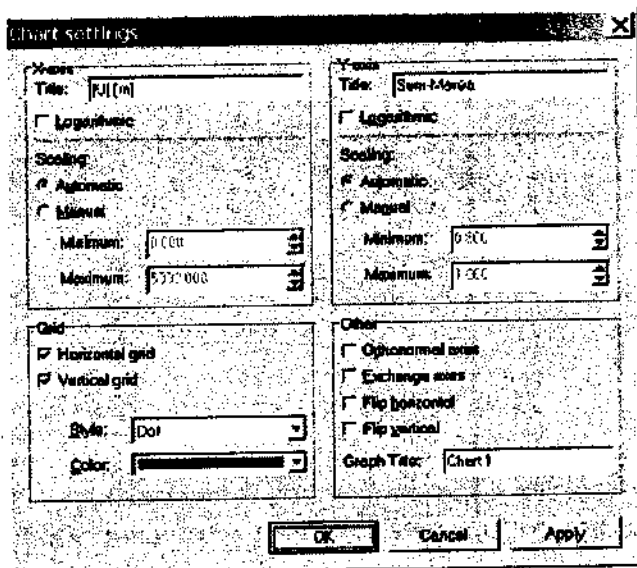
Tùy chọn này cho phép thay đổi hoặc cài đặt lại các tính năng biểu diễn đường cong Curve



Hình 2.78. Cửa sổ Curve setting

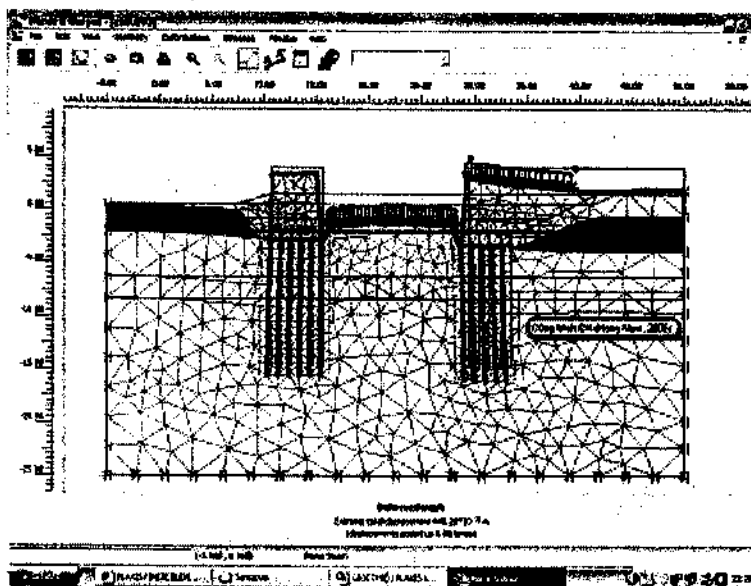


Tùy chọn này cho phép thay đổi hoặc cài đặt lại các tính năng biểu diễn 1 biểu đồ



Hình 2.79. Cửa sổ Chart setting

Một số kết quả phân tích bằng Plaxis V8.2.



Hình 2.80. Lưới biến dạng

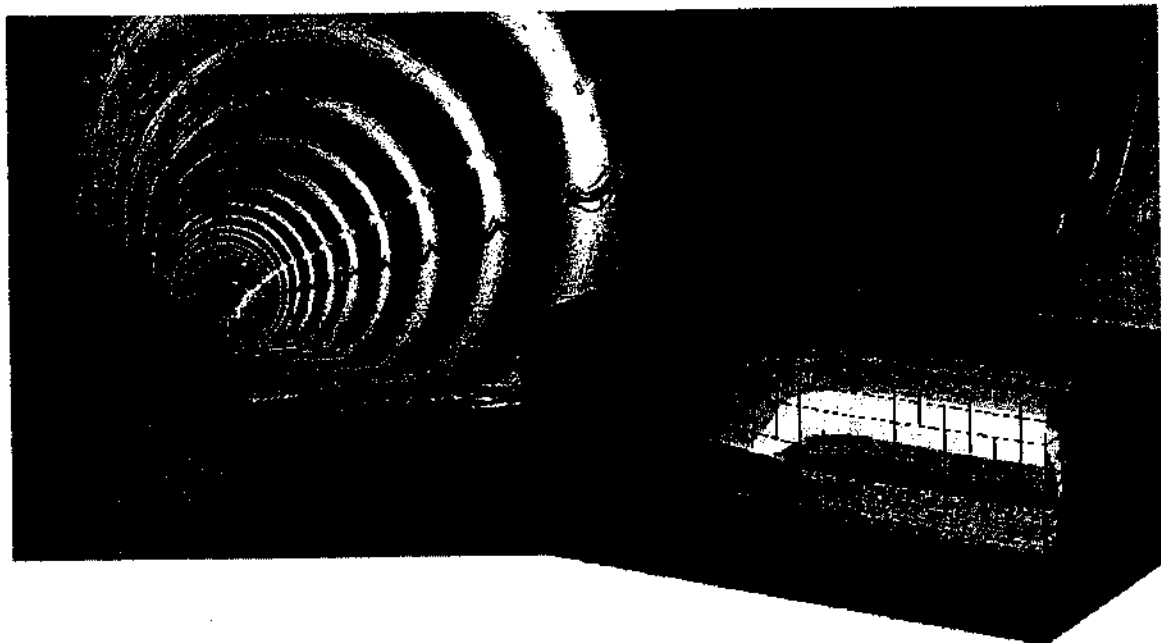


Hình 2.81. Phân bố ứng suất đất

2.3. PHẦN MỀM PLAXIS 3D TUNNEL TRONG TÍNH TOÁN CÔNG TRÌNH HẦM

2.3.1. Một số dạng bài toán cơ bản ứng dụng giải bằng phần mềm Plaxis 3D Tunnel

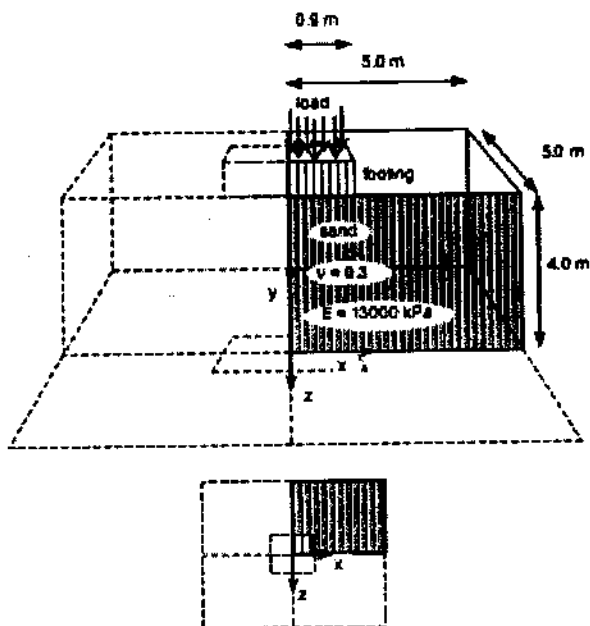
Ngoài các khả năng thông thường như các chương trình PTHH 2D, với Plaxis 3D tunnel có thể mô phỏng được cả các quá trình thi công phức tạp như phương pháp thi công chia gương, thường áp dụng cho đường hầm trong khối đá kém ổn định, khi thi công các công trình ngầm tiết diện lớn, ví dụ như nhà máy thủy điện, các công trình thi công trên mỏ lộ thiên... đường hầm thi công theo phương pháp NATM hoặc thi công bằng khiên đào.



Hình 2.82. Công trình hầm ứng dụng giải bằng Plaxis 3D Tunnel

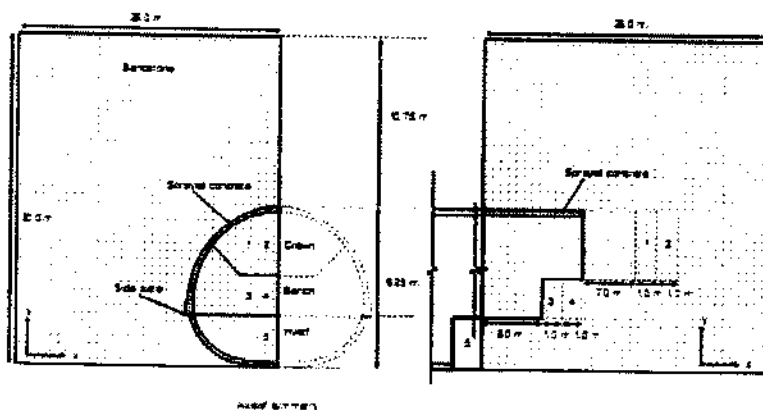
Một số dạng bài toán cơ bản ứng dụng giải bằng phần mềm Plaxis 3D Tunnel:

- Phân tích lún của móng vuông trên nền cát



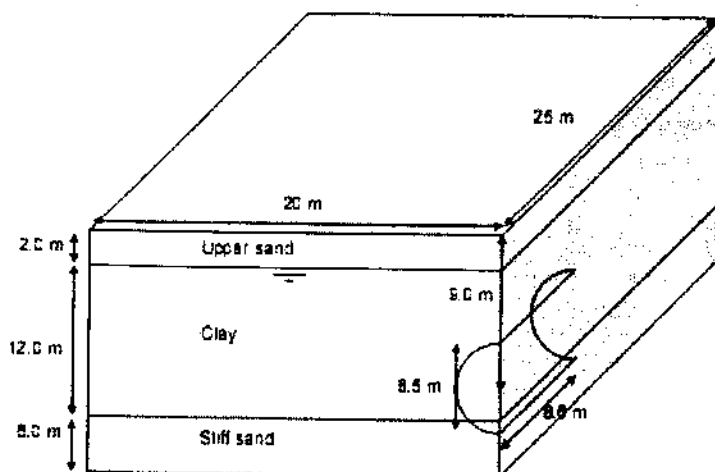
Hình 2.83. Hình dạng móng vuông trên nền cát

- Phân tích quá trình thi công đường hầm theo từng giai đoạn bằng phương pháp NATM.



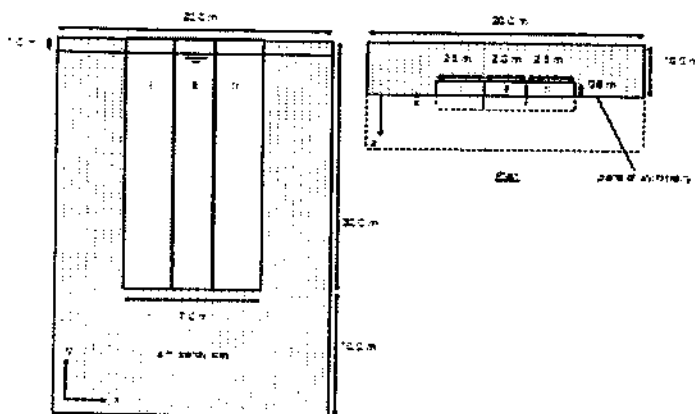
Hình 2.84. Hình dạng hầm đào theo NATM, mặt cắt ngang và đứng hầm

- Tính toán ổn định gương đào khi thi công hầm bằng phương pháp khiên đào.



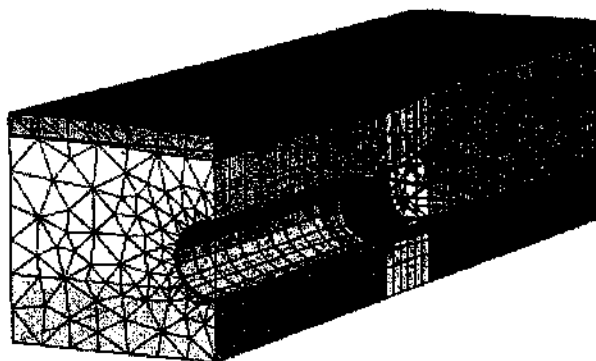
Hình 2.85. Mô hình hình học hầm đào theo phương pháp khiên đào

- Đánh giá ổn định hố đào chống đỡ bằng tường cừ



Hình 2.86. Mặt đứng và mặt bằng tường ừ trong đất

- Phân tích quá trình thi công hầm hầm theo phương pháp khiên đào



Hình 2.87. Lưới biến dạng hình học cuối pha 5 hầm đào theo phương pháp khiên đào

2.3.2. Một số tính năng cơ bản

Cũng tương tự như đối với Plaxis V.8.2, Chương trình Plaxis 3D Tunnel được chia thành 4 modul là modul nhập dữ liệu vào (*Input*), modul tính toán (*Calculation*), modul biểu diễn kết quả tính toán (*Output*) và modul biểu diễn quan hệ giữa ứng suất và biến dạng (*Curves*)

2.3.2.1. Modul nhập dữ liệu vào (*Input*)

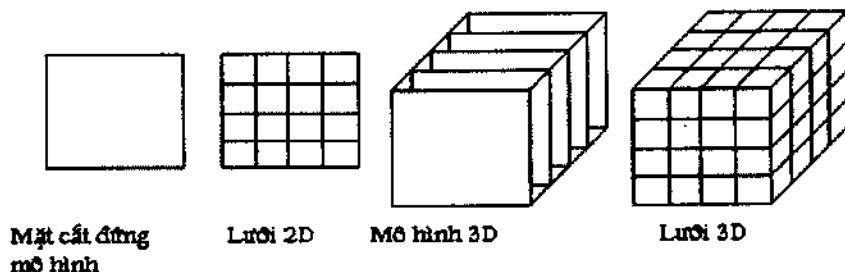


Ký hiệu modul nhập dữ liệu đầu vào

Ngoài các chức năng như:

- Tạo mặt cắt ngang mô hình (*Graphical input of cross – section models*)
- Tạo lưới tự động (*Automatic Mesh Generation*)
- Tạo mô hình đường hầm (*Tunnel*)
- Tải trọng tác dụng phân bố hoặc tập trung (*Distributed or point Loads*)
- Phân tử dạng tấm (*Plates*)
- Thiết lập các điều kiện ban đầu


Còn có thêm chức năng như:



Hình 2.88. Tạo mô hình 3D bằng lưới PTHH

- **Tạo mô hình 3D (Creation of the 3D model):** Mô hình 3D được tạo ra từ mô hình 2D bằng cách đơn giản là mở rộng mô hình 2D theo phương trục Z. Người sử dụng có thể tạo ra số lượng và chiều dày của các mặt cắt ngang theo phương trục Z (mặt phẳng Z) tùy ý. Lưới 2D đã được tạo ra trước đó sẽ được lắp lại tại mỗi mặt phẳng Z. Lưới 3D được tạo ra bằng cách liên kết các góc của các phần tử lưới tam giác 2D tương ứng ở các mặt Z liên tiếp.


2.3.2.2. Modul tính toán (Calculation)

 Ký hiệu modul tính toán, các chức năng của mô dul này cũng tương tự như Plaxis V8.2.

Sau khi nhập đầy đủ các điều kiện đầu vào của mô hình tính, modul tính toán sẽ tiến hành tính toán để đạt được kết quả theo điều kiện đầu vào đã nhập.


- trong modul này có thể xác định các phase tính toán cho các giai đoạn thi công.

2.3.2.3. Modul biểu diễn kết quả tính toán (Output)

 Ký hiệu modul biểu diễn kết quả tính toán, các chức năng của mô dul này cũng tương tự như Plaxis V8.2.

Cho phép biểu diễn các kết quả tính toán như chuyển vị, ứng suất, biến dạng,... của đất đá xung quanh công trình dạng không gian hai chiều (2D) hoặc ba chiều (3D); biểu diễn đường cong mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng.

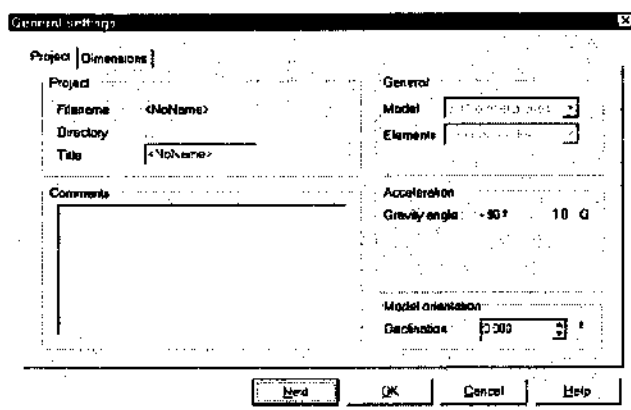
2.3.2.4. Modul biểu diễn các đường cong chuyển vị - lực và các đường ứng suất (Curves)

 Ký hiệu modul biểu diễn các đường cong chuyển vị - lực và các đường ứng suất

Mô dul này cho phép biểu diễn các quan hệ ứng suất biến dạng, chuyển vị – lực, tại các thời điểm thi công khác nhau dưới dạng đồ thị và bảng biểu... tại các điểm bất kỳ của mô hình tính.

2.3.3. Thiết lập tổng quan

Tương tự như Plaxis V.8.2



Hình 2.93. Cửa sổ General Setting của Plaxis 3D Tunnel

2.3.4. Xây dựng mô hình hoá

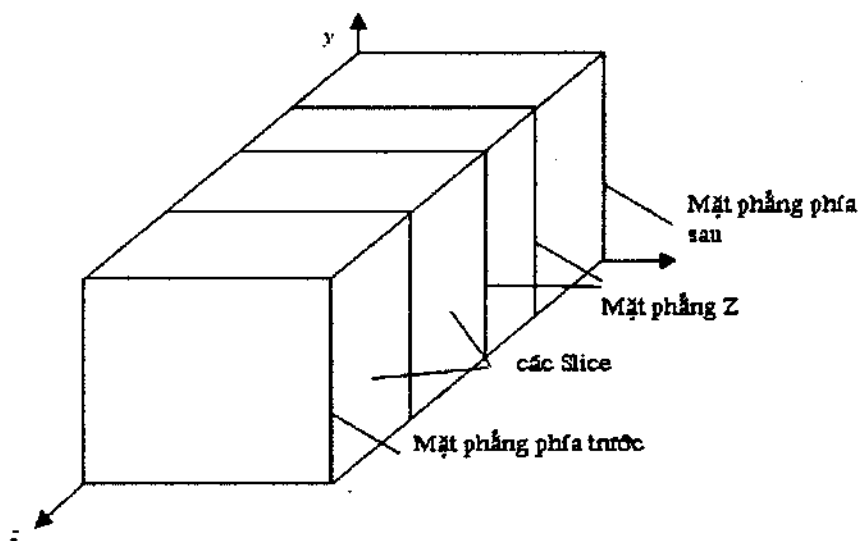
Khi phân tích các bài toán 3D, điều quan trọng nhất là phải tạo ra mô hình mặt cắt ngang 2D trước tiên. Mặt cắt ngang 2D của mô hình biểu diễn cho bài toán 3D cũng bao gồm các điểm, đường, miền (*Cluster*). Một cắt ngang mô hình cũng biểu diễn các lớp đất đá, kết cấu công trình, các giai đoạn xây dựng 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 ba thành phần cơ bản sau: Điểm (*Points*), Đường (*Lines*), Miền (*Cluster*) như đã trình bày trong chương 1.

Tuy nhiên để tạo ra mô hình 3D chúng ta có hai thành phần khác nữa đó là:

* Mặt phẳng Z:

Mặt phẳng Z là mặt cắt thẳng đứng với những toạ độ Z khác nhau được sử dụng để tạo ra mô hình 3D từ mô hình 2D. Các mặt phẳng Z là giống nhau nhưng khoảng cách giữa các mặt phẳng Z có thể thay đổi. Nếu khoảng cách giữa 2 mặt phẳng Z liên tục quá lớn, mặt phẳng Z sẽ tự động được thiết lập trong quá trình tạo lưới 3D. Có thể sử dụng mặt phẳng Z để biểu diễn tải trọng điểm tác dụng hoặc không tác dụng, tải trọng đường, tải trọng theo phương trục Z hoặc neo hoặc áp dụng cho vỏ chống hầm.

* Lát mỏng (*Slice*): lát mỏng là thể tích giữa 2 mặt phẳng liên tiếp. Lát mỏng có thể sử dụng để biểu diễn tác dụng hoặc không tác dụng của thể tích đất đá, tải trọng đường, phân bố tải trọng, biến dạng thể tích hoặc áp lực nước ngầm.



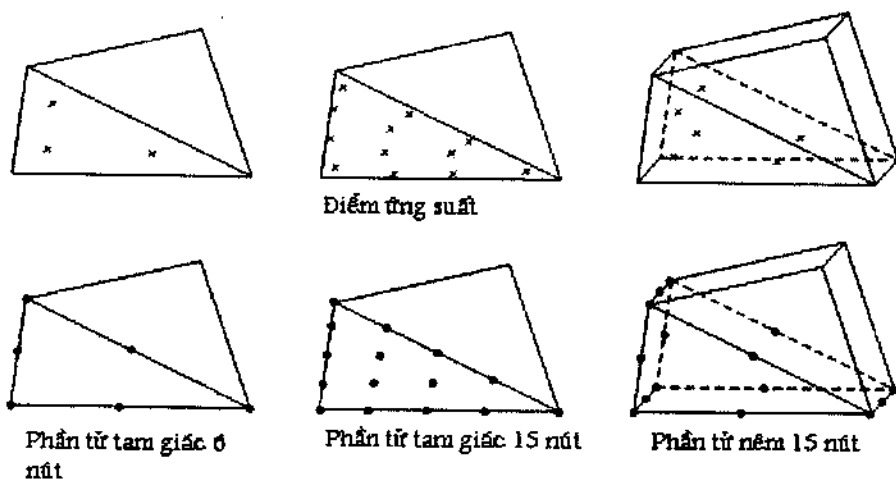
Hình 2.89. Mặt phẳng Z và các Slices

* Phần tử (*Element*):

Thông số phần tử được mặc định là phần tử nôm 15 nút (3D) và không thể thay đổi bởi người dùng. Loại phần tử thể tích ứng xử của đất sinh ra bởi phép nội suy lần thứ 2 cho chuyển vị và tích phân liên quan đến phần tử 6 điểm ứng suất.

Độ chính xác của phần tử nêm 15 nút trong phân tích 3D được so sánh với phần tử tam giác 6 nút trong phân tích 2D. Loại phần tử cao hơn, ví dụ như phần tử 15 nút trong phân tích 2D, không được xét trong phân tích 3D Tunnel bởi vì nó dẫn đến dung lượng bộ nhớ quá lớn và thời gian tính toán không chấp nhận được.

Phần tử nêm 15 nút bao gồm phần tử tam giác 6 nút trong hướng x-y và tứ giác 8 nút theo hướng Z. Bên cạnh phần tử đất, phần tử tấm 8 nút dùng mô phỏng cho ứng xử vật liệu tường, tấm và vỏ và phần tử vải địa 8 nút được dùng mô phỏng cho vải địa kỹ thuật. Phần tử tương tác 16 nút dùng mô phỏng cho tương tác đất và kết cấu. Phần tử tấm, phần tử vải địa kỹ thuật và phần tử tương tác tương thích với tứ giác 8 nút của phần tử nêm 15 nút. Mô hình hình học được tạo cho phép nhập neo cố định (fixed-end) và neo không cố định (node-to-nut)



Hình 2.90. Vị trí các điểm nút và ứng suất của phần tử đất

Khi hoàn thành việc nhập các thông tin chung và nhấn nút <OK>, cửa sổ chính sẽ xuất hiện như trên hình 2.3.. Vị trí các phần chính trên cửa sổ cũng tương tự như Plaxis V8.2.

Menu chính (Main Menu):

Thanh công cụ (chung) (Toolbar (General)):

Thanh công cụ (hình học) (Toolbar (Geometry)):

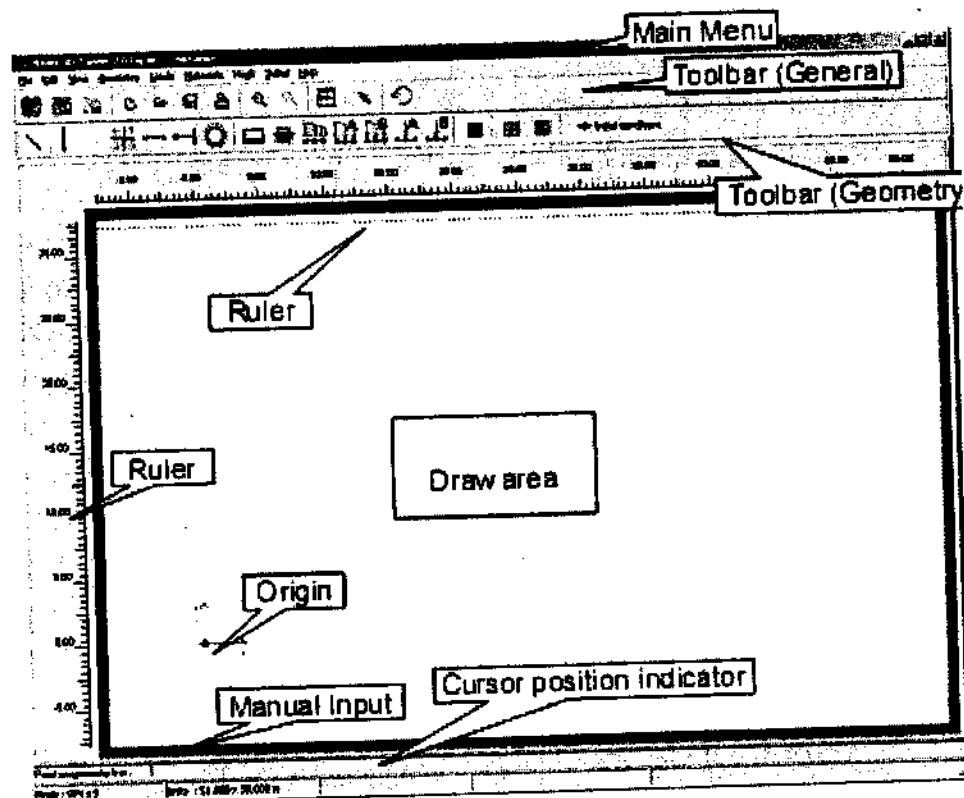
Thanh công cụ này bao gồm các nút có chức năng để tạo ra mặt cắt ngang của mô hình hoặc mô hình đầy đủ phần tử hữu hạn 3D. Các nút được sắp xếp theo thứ tự sao cho từ trái sang phải thì hoàn thành việc tạo mô hình.

Thước đo (Ruler):

Miền vẽ (Draw area)

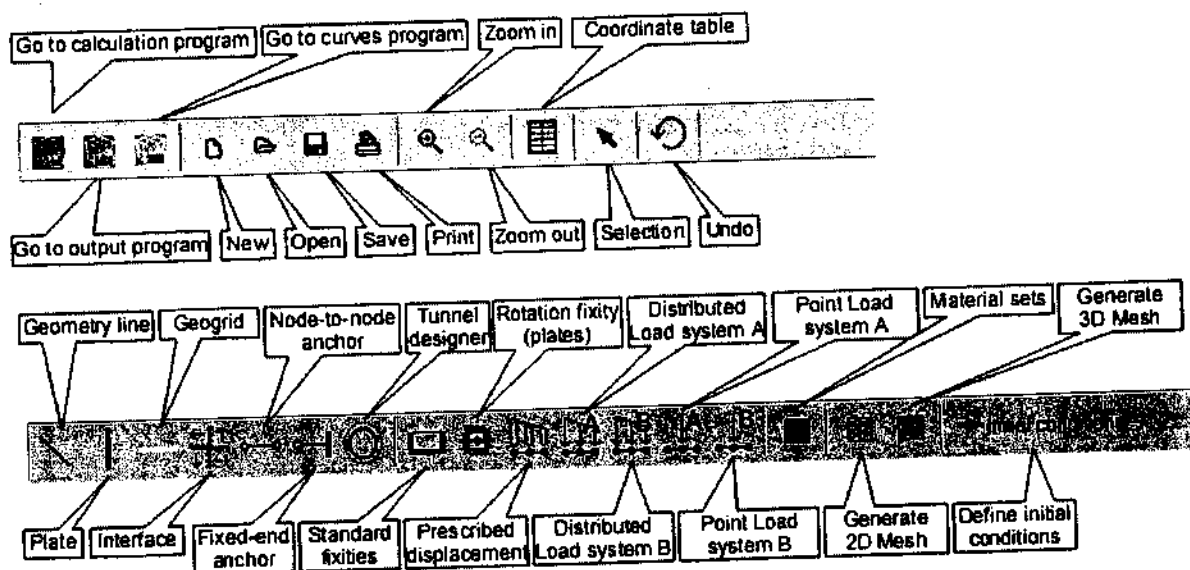
Nhập dữ liệu (Manual Input): Nếu sử dụng chuột trên bản vẽ không chính xác, có thể sử dụng cách nhập dữ liệu từ bàn phím. Các giá trị tọa độ X và tọa độ Y được nhập vào từ bàn phím và ngăn cách bởi dấu cách.

→ Vị trí con trỏ (Cursor position indicator):



Hình 2.91. Cửa sổ chính của chương trình nhập số liệu

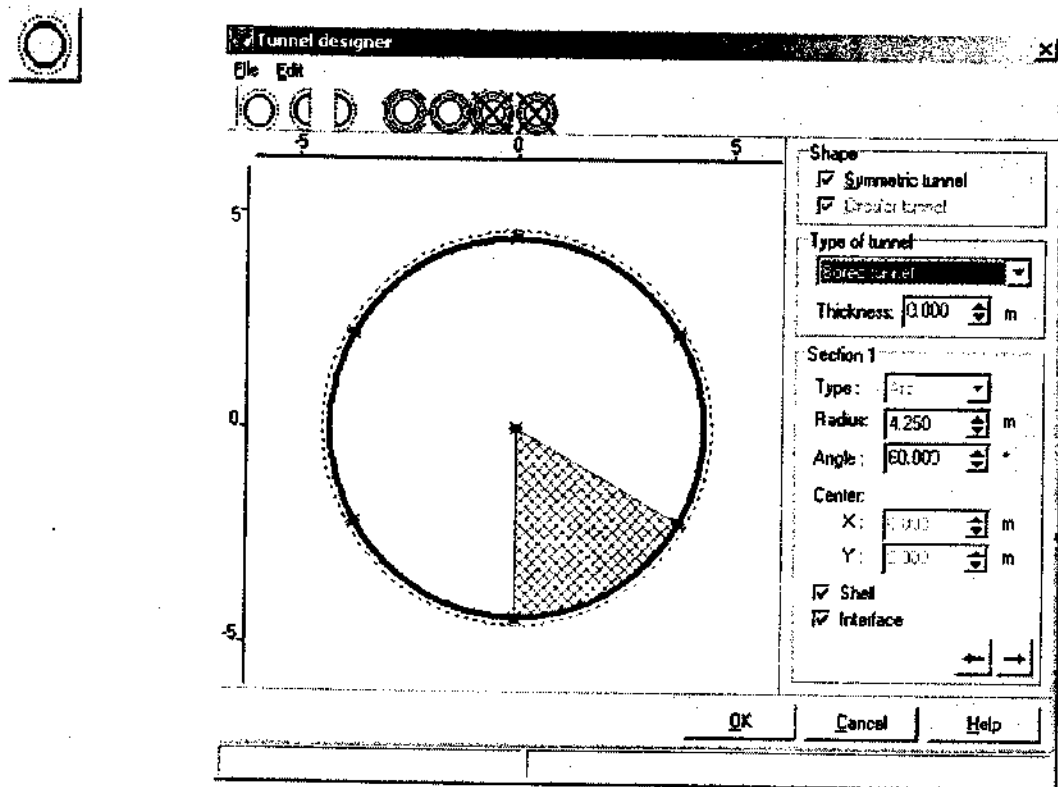
* Thanh công cụ hình học chính của Plaxis 3D Tunnel



Hình 2.92. Thanh công cụ hình học chính của Plaxis 3D Tunnel

2.3.4.1. Thiết lập mô hình hình học

Các công cụ hình học thành phần giống như Plaxis V8.2, ở đây giới thiệu chi tiết hơn công cụ *Tunnel Designer*:



Hình 2.94. Cửa sổ *Tunnel designer* với hình dạng hầm mẫu

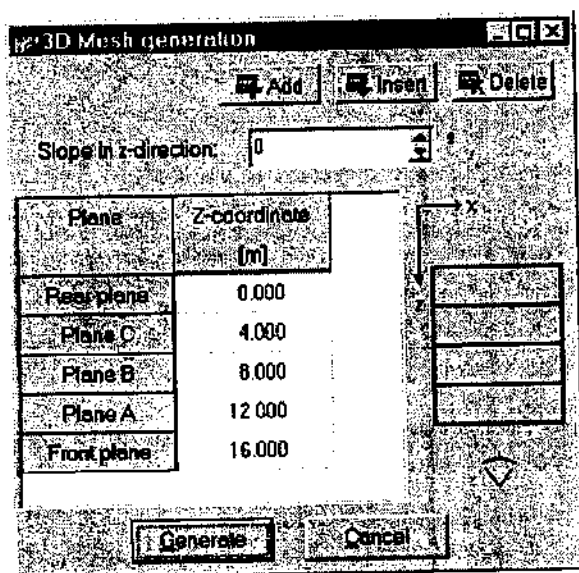
Lựa chọn này dùng để tạo mặt cắt ngang hầm tròn hoặc không tròn. Mặt cắt ngang của hầm bao gồm các cung tròn và các đường thẳng, lựa chọn này tạo được cả vỏ hầm và phần tử tương tác.

Tạo lưới 3D (3D Mesh)

Sau khi tạo lưới 2D, lưới phải được mở rộng để tạo lưới 3D. Việc này được tiến hành bằng cách click chuột vào lựa chọn này trên thanh công cụ hoặc lựa chọn tương ứng trong menu Mesh. Kết quả là, cửa sổ chỉ vị trí các mặt phẳng thông thường theo toạ độ Z (*Z-plane*) xuất hiện. Lưới 2D đã được tạo được lặp lại cho mỗi mặt phẳng Z. Lưới 3D được tạo bằng cách nối các góc của phần tử tam giác 2D tới các điểm tương ứng của phần tử tương ứng trên mặt phẳng Z tiếp theo. Theo cách này, lưới 3D được tạo bởi phần tử nêm 15 nút.

Mặt phẳng Z không chỉ dùng để tạo phần tử 3D, mà còn phân biệt giữa các phần hình dạng hình học theo toạ độ Z. Từ đó, các mặt phẳng này được chia thành đối tượng hình học trong các *Slice*. Các miền 2D trong mặt phẳng Z và các slice xác định miền ba chiều của phần tử, ví dụ thể tích mà được kích hoạt

hoặc không được kích hoạt. Tất cả các hoạt động thi công của các giai đoạn thi công được xác định bằng mặt phẳng Z và *Slice*. Từ đó, mặt phẳng Z cần thiết cho bất kỳ gián đoạn nào của mô hình hình học hoặc tải trọng xảy ra hoặc không xảy ra trong trạng thái ban đầu hoặc trong quá trình thi công. Tại ít nhất 2 mặt phẳng (tương ứng là 1 *Slice*) được yêu cầu cho lưới 3D. Nếu cần thiết, các *slices* được tự động chia ra thành các mặt phẳng, mà kích thước phần tử theo phương Z xấp xỉ kích thước phần tử trung bình được xác định trong lưới 2D đã được tạo.



Hình 2.95. Cửa sổ *Tunnel designer* với hình dạng hầm mẫu

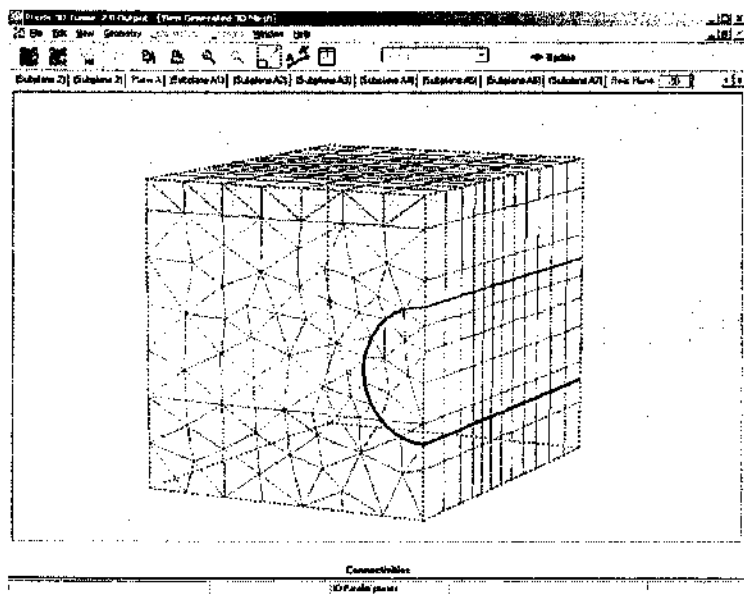
Mặt cắt ngang ban đầu mặc định $Z=0$. Các mặt phẳng mới được tạo bằng cách nhấn nút <Add> hoặc nút <Insert>. Khi dùng nút <Add>, mặt phẳng mới được tạo chủ động theo hướng Z, ví dụ theo hướng người dùng. Mặc định tọa độ Z của mặt phẳng mới được chọn mà bề dày tạo giữa mặt phẳng mới và mặt phẳng trước đó xấp xỉ bằng kích thước trung bình của phần tử, nhưng giá trị này có thể được thay đổi bởi người dùng. Thực tế, số lượng mặt phẳng bắt đầu với tọa độ Z lớn nhất và sẽ tăng với việc giảm tọa độ trục Z. Khi dùng <Insert>, mặt phẳng mới được tạo ở giữa mặt phẳng kích hoạt và mặt phẳng kế tiếp, tọa độ Z có thể thay đổi bởi người dùng.

Theo nguyên tắc, kích thước phần tử thể tích theo hướng Z được định nghĩa bởi khoảng cách giữa hai mặt phẳng liên tiếp. Tuy nhiên, nếu khoảng cách giữa hai mặt phẳng kế tiếp lớn hơn kích thước trung bình của phần tử mà đã được định nghĩa trong lưới 2D, thì lưới 3D được tạo sẽ tự động tạo thêm các *slice* nhỏ hơn tránh tạo dạng phần tử không phù hợp. Cách tạo phần tử có kích thước nhỏ hơn hoặc lớn hơn theo trục Z bằng cách quy định hệ số phần tử địa phương cho

mặt phẳng. Điều này có thể làm được bằng cách nhấn chuột vào phần tử mặt phẳng đang hoạt động (màu đỏ) phía đỉnh. Một cửa sổ hệ số kích thước phần tử xuất hiện xác định vị trí và số lượng các mặt phẳng con và như vậy kích thước của phần tử 3D theo trục Z trong lưới 3D được tạo. Lưới 2D không bị ảnh hưởng bởi hệ số kích thước phần tử cục bộ này.

Theo mặc định, tất cả các mặt phẳng chứa tọa độ x và y như nhau như định nghĩa trong mô hình hình học đã tạo. Từ đó, mặc định mở rộng 3D cho kết quả mô hình 3D ngang. Tuy nhiên, có thể tăng hoặc giảm vị trí theo phương đứng của mặt phẳng theo hướng Z. Điều này được tiến hành bằng cách nhập giá trị tham số trong *Slope in z-direction*. Chú ý là mặt phẳng Z luôn là mặt đứng. Vị trí đứng của mặt phẳng phía trước (mặt phẳng có tọa độ Z lớn nhất) theo mặt cắt ngang mô hình hình học, nhưng mặt cắt sau được thay đổi hướng y theo độ nghiêng. Độ nghiêng dương cho thay đổi hướng y dương của mặt phẳng kế tiếp (với tọa độ Z giảm). Giá trị độ nghiêng phải nằm trong phạm vi $(-89^\circ, 89^\circ)$. Tất nhiên, chú ý với độ nghiêng lớn mô hình có thể bị chệch hướng người dùng mong muốn. Ví dụ, khi hầm tròn được tạo và độ dốc lớn cho mở rộng lưới 3D, diện tích mặt cắt ngang vuông góc với hướng dọc của hầm sẽ trở nên méo.

Khi nhấn <Generate>, quá trình lưới 3D mở rộng sẽ được bắt đầu và lưới 3D được bật trong cửa sổ *Output*. Số lượng các phần tử nêm 3D tương đương với số lượng phần tử tam giác trong lưới 2D và tổng số slices. Lưới 3D và các mặt phẳng z khác nhau có thể được quan sát bằng dịch chuyển các trang *Tab sheets*. Ký tự mũi tên trên bàn phím cho phép người sử dụng quay mô hình để quan sát dưới các góc độ khác nhau. Xem hình 2.78.



Hình 2.96. Lưới 3D với phần tử nêm 15 nút

2.3.4.2. Khai báo đặc trưng vật liệu

Các thanh công cụ tương tự như đã giới thiệu ở Plaxis V8.2

2.3.4.3. Xác định điều kiện biên

Bên cạnh các công cụ hình học thành phần giống như Plaxis V8.2, còn có các nút công cụ khác như sau:



Cố định góc xoay (*Rotations Fixities*) dùng để cố định góc xoay bậc tự do của tấm quanh trục Z. Lựa chọn này có thể kích hoạt từ menu Loads, điểm hình học được lựa chọn nơi mà dùng cố định góc xoay. Lựa chọn này chỉ dùng cho tấm, không cần thiết cho điểm hình học. Nếu điểm nằm giữa phần tử tấm được chọn, điểm hình học mới xuất hiện.

Cố định góc xoay đã tồn tại có thể được khử bởi lựa chọn cố định góc xoay cho mặt cắt ngang mô hình rồi nhấn phím ở bàn phím.

Khi dùng lựa chọn này, tấm mà kéo dài tới đường biên đứng tự động được cố định góc xoay quanh trục Z. Tấm mà kéo dài tới mặt phẳng phía trước và phía sau tạo mô hình 3D được cố định xoay quanh trục X, trục Y.

2.3.4.4. Khai báo các trường hợp tải trọng tác dụng lên kết cấu

Các thanh công cụ tương tự như đã giới thiệu ở Plaxis V8.2

2.3.4.5. Thiết lập điều kiện ban đầu

Các thanh công cụ tương tự như đã giới thiệu ở Plaxis V8.2

2.3. 5. Xác định các giai đoạn tính – Chạy chương trình

Các thanh công cụ tương tự như đã giới thiệu ở Plaxis V8.2

2.3.6. Phân tích kết quả

Các thanh công cụ tương tự như đã giới thiệu ở Plaxis V8.2

Chương 3

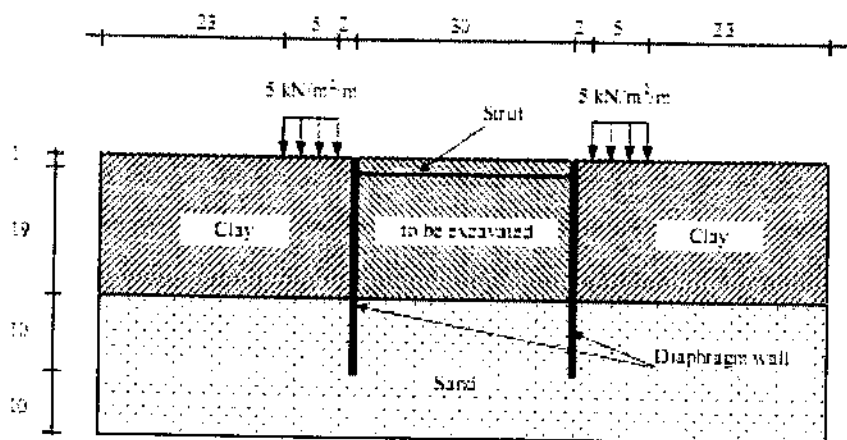
CÁC VÍ DỤ TÍNH TOÁN CÔNG TRÌNH HẦM VÀ TƯỜNG CỪ

3.1. TÍNH TOÁN KẾT CẤU CÔNG TRÌNH BẰNG PHẦN MỀM PLAXIS V8.2

3.1.1. Bài tập 1: Phân tích biến dạng hố đào chống đỡ bằng cừ có thanh chống neo

Hố đào rộng 30m, sâu 20m, phạm vi ảnh hưởng của hố đào có kích thước như trên hình 3.1. Hố đào tại vị trí gần sông, để thi công khô sử dụng tường cừ chống thấm dài 30m, với các thanh chống đặt cách nhau 5m. Tải trọng trên bề mặt hố đào cách vị trí tường chắn 2m, là tải trọng phân bố trong phạm vi 5m xung quanh hố đào, có giá trị như trên hình 3.1.

Hố đào dọc theo chiều sâu gồm có hai lớp đất: sét và cát cứng, lớp cát cứng có bề dày lớn



Hình 3.1. Mặt cắt ngang của hố đào

Phạm vi chiều sâu ảnh hưởng của hố móng khoảng 40m, phạm vi ảnh hưởng theo chiều ngang có thể xét như trên hình vẽ. Hố đào chia làm ba giai đoạn thi công. Tường chắn là cừ thép. Thanh chống được mô hình bởi phần tử đàn dẻo.

* Thiết lập tổng quan

- Nhấn chuột vào *Input Program* lựa chọn *New project* từ hộp thoại *Create/Open project*.

- Trong trang *Project* của cửa sổ *General settings*, đặt tên bài toán trong vùng trống *Title*, trong *Model* chọn *Plane strain* và chọn kiểu *Elements* là loại 15 nút.

- Trong trang *Dimensions*, chọn đơn vị (Length=m; Force = kN; Time = day); đặt phạm vi lưới nhỏ nhất kích thước phương đứng (*Left, Right*) là 0.0 và 45.0 và kích thước phương

đúng (*Bottom, Top*) là 0.0 và 40; giữ nguyên giá trị mặc định khoảng chia lưới (*Spacing =1, Number of intervals =1*).

- Nhấn *OK* để đóng cửa sổ thiết lập tổng quan.

* *Tạo mô hình hình học*



Nhấn chuột vào lựa chọn *Geometry line* (chỉ có thể được kích hoạt động khi đã lựa chọn *New Project*). Dịch chuyển con trỏ tới vị trí (0.0; 0.0) và nhấn chuột trái (click) → dịch con trỏ 45m về phía phải tới điểm có tọa độ (45.0; 0.0) và click chuột trái → tương tự click chuột ở vị trí (45.0; 40.0) → (0.0; 40.0). Cuối cùng, quay trở về điểm gốc tọa độ và click chuột trái, click chuột phải để kết thúc.

Để tạo đường chia giữa hai lớp đất, lựa chọn *Geometry line*, dịch chuyển con trỏ tới vị trí (0.0; 20.0) click chuột trái → dịch chuyển con trỏ tới vị trí (45.0; 20.0) click chuột trái, click chuột phải để kết thúc lệnh.



Lựa chọn phần tử *Plate* để mô hình hoá kết cấu tường chắn (cừ). Dịch chuyển con trỏ tới vị trí (30.0; 40.0) click chuột trái → dịch chuyển con trỏ tới vị trí (30.0; 10.0) click chuột trái, click chuột phải để kết thúc lệnh.



Lựa chọn *Geometry line* để phân chia thành các giai đoạn thi công đào hố móng. Dịch chuyển con trỏ tới vị trí (30.0; 38.0) tại vị trí tường, click chuột trái → dịch chuyển con trỏ tới vị trí (45.0; 38.0) click chuột trái, click chuột phải để kết thúc lệnh. Dịch chuyển con trỏ tới vị trí (30.0; 30.0) tại vị trí tường, click chuột trái → dịch chuyển con trỏ tới vị trí (45.0; 30.0) click chuột trái, click chuột phải để kết thúc lệnh.

Ghi chú: - Với mô hình hình học được thiết lập không cần thiết lựa chọn các nút công cụ trên Toobar theo trình tự từ trái sang phải. Trong trường hợp này, để thuận tiện hơn tạo tường chắn đầu tiên và sau đó phân chia các giai đoạn thi công hố đào bằng *Geometry line*.

- Khi tạo điểm khép kín với đường, điểm này thường bắt dính vào đường, vì việc tạo lưới không thể nhận biết điểm không trùng khớp và đường khi có khoảng cách nhỏ.

- Nếu bị báo lỗi cơ bản và thay bằng việc bắt dính điểm đã có hoặc đường điểm riêng biệt mới được tạo, điểm này có thể được kéo (và bắt dính) vào điểm đã tồn tại hoặc đường bằng lựa chọn *Selection*.

- Nói chung, chỉ có điểm có thể tồn tại trong hệ tọa độ hiện tại và chỉ có đường có thể tồn tại giữa hai điểm. Điểm trùng khớp hoặc đường sẽ được tự động hiểu là một điểm hoặc một đường. Thủ tục kéo điểm trên điểm tồn tại có thể được áp dụng cách khử điểm thừa (hoặc đường)



Lựa chọn *Interface* khai báo phần tử tương tác. Dịch chuyển con trỏ tới vị trí đỉnh tường (30.0; 40.0) click chuột trái → dịch chuyển con trỏ tới vị trí đáy tường

(30.0;10.0) click chuột trái. Theo hướng mũi tên đi xuống, phần tử tương tác được tạo phía trái của tường. Tương tự như vậy, theo chiều mũi tên đi lên, click chuột trái tại vị trí đáy tường rồi dịch chuyển con trỏ lên phía đỉnh tường, click chuột trái, click chuột phải để kết thúc lệnh.

Chú ý: - Lựa chọn phần tử tương tác được tiến hành bằng cách chọn đường hình học tương ứng và sau đó chọn phần tử tương tác tương ứng (chủ động hoặc bị động) từ hộp thoại *Select*.

- Phần tử tương tác được ký hiệu bằng đường gạch chấm (dotted lines). Một cách khác có thể nhận biết trên mô hình bằng ký hiệu chủ động (\oplus) hoặc bị động (\ominus).



Lựa chọn *Fixed-end anchor*. Dịch chuyển con trỏ tới vị trí (30.0; 39.0) click chuột trái. Cửa sổ đặc trưng khai báo vật liệu thanh chống xuất hiện, phải khai báo độ dài của neo (*Equivalent length*: 15m) nhấn OK.

Chú ý: - Neo cố định có thể đặt xiên. Đối tượng neo khai báo trên thực tế làm việc đàn hồi mà một đầu nối với lưới còn đầu kia đặt cố định. Góc xiên và chiều dài của neo được nhập thông qua cửa sổ khai báo đặc trưng *Properties*. Chiều dài thực là khoảng cách từ điểm nối tới vị trí theo hướng của thanh neo mà tại đó chuyển vị bằng 0.

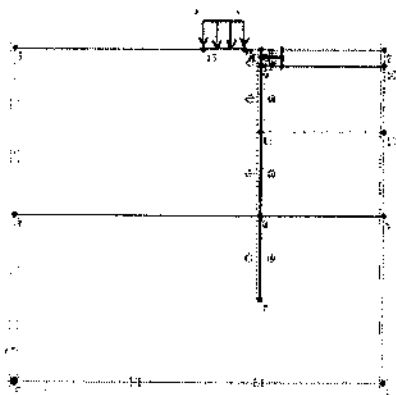


(28.0;40.0) click chuột trái. Click chuột phải để kết thúc lệnh vẽ. Lựa chọn công cụ *Selection* và nhấn đúp chuột vào tải trọng phân bố và chọn *Distributed Load (System A)* trong danh mục vào giá trị *Y-values* là -5kN/m^2 .

* Thiết lập điều kiện biên



Để thiết lập điều kiện biên, click chuột vào nút *Standard fixities* trên thanh công cụ. Kết quả là chương trình tạo cố định tại đáy và thanh cuộn đứng tại các phương đứng. Điều kiện biên này trong trường hợp này thích hợp cho mô hình các điều kiện đối xứng tại đường biên phía phải (đường tâm của hố đào). Mô hình hình học sau khi thiết lập như hình 3.2



Hình 3.2. Mô hình hình học đã được thiết lập

*** Khai báo đặc trưng vật liệu**

Sau khi khai báo điều kiện biên, đặc trưng vật liệu của các lớp đất và các đối tượng khác được khai báo bởi bộ số liệu. Đặc trưng của phần tử tương tác được gộp trong bộ dữ liệu lớp đất (bộ số liệu trong *Soil & Interfaces*). Dữ liệu hai lớp đất được thiết lập, một cho lớp sét và một cho lớp cát. Thêm vào đó, dữ liệu của loại phần tử tấm thiết lập cho tường chắn và số liệu cho loại neo được thiết lập cho thanh chống. Để tạo bộ số liệu vật liệu, tiến hành các bước sau:



Click chuột vào nút *Material sets*. Chọn *Soil interfaces* trong *Set type*. Nhấn nút *New* tạo bộ dữ liệu mới.

- Nhập 'clay' trong ô trống của *Identification* và chọn *Mohr Columnb* trong ô trống của *Material set*. Tác dụng lâu dài của việc hồ đào được xem xét, chúng ta không tính với ứng xử không thoát nước cho đất. Do đó chọn *Drained* trong *Material type*.

- Vào các đặc trưng của lớp đất sét, như trong bảng 3.1, trong hộp sửa tương ứng của thẻ *General* và *Parameters*.

Click chuột vào thẻ *Interface*. Trong hộp *Strength*, chọn nút *Manual*. Vào giá trị 0.5 cho tham số R_{inter} . Thông số này liên quan tới độ bền của đất gây ra độ bền của phần tử tương tác, theo công thức:

$$\varphi_{interface} = R_{inter} \tan \varphi_{soil} \text{ và } c_{inter} = R_{inter} c_{soil}$$

Trong đó: $c_{soil} = c_{ref}$ trong bảng dưới đây

Dùng giá trị R_{inter} đưa đến ma sát bề mặt tương tác và sự cố kết tương tác giảm so với góc ma sát và sự cố kết của đất liền kề.

- Với lớp cát, nhập 'cát' trong *Identification* và chọn *Mohr-Coulomb* trong *Material model*. Loại vật liệu đặt là *drained*.

- Với lớp sét, nhập các thông số như bảng 3.1. tương tự như lớp cát.

Bảng 3.1. ĐẶC TRƯNG VẬT LIỆU CỦA LỚP CÁT VÀ SÉT VÀ TƯƠNG TÁC

Thông số	Ký hiệu	Lớp sét	Lớp cát	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	-
Loại ứng xử vật liệu	Type	Drained	Drained	-
Trọng lượng riêng của đất trên mực nước ngầm	γ_{unsat}	16	17	kN/m ³
Trọng lượng riêng của đất dưới mực nước ngầm	γ_{sat}	18	20	kN/m ³
Hệ số thấm theo phương ngang	k_x	0.001	1.0	m/day

Hệ số thấm theo phương dọc	k_v	0.001	1.0	m/day
Modun đàn hồi (không đổi)	E_{ref}	10000	40000	m/day
Hệ số Poisson	ν	0.35	0.3	-
Lực dính (không đổi)	c_{ref}	5.0	1.0	kN/m ²
Góc ma sát trong	ϕ	25	32	độ
Góc trương nở	ψ	0.0	2.0	độ
Hệ số giảm cường độ	R_{inter}	0.5	0.67	-

- Click vào thẻ *Interfaces*. Trong hộp thoại *Strength*, chọn nút *Manual*, nhập giá trị 0.67 cho thông số R_{inter} . Để kết thúc nhấn *Close*.

- Kéo dữ liệu 'sand' cho lớp đất bên dưới thả vào mô hình hình học. Gán dữ liệu 'Clay' cho 4 miền đất (phía trên 20m). Mặc định phần tử tương tác tự động được gán dữ liệu cho lớp đất liền kề.

Chú ý: - Để nhận được bộ số liệu tương tác mặc định, bộ số liệu trực tiếp gán cho tương tác trong cửa sổ các đặc trưng của chúng. Cửa sổ này xuất hiện sau khi nhấn đúp chuột vào vị trí đường hình học tương ứng và chọn tương tác thích hợp từ hộp thoại *Select*. Nhấn chuột vào lựa chọn *Change* bên cạnh tham số *Material sets*, các dữ liệu đặc trưng có thể được chọn từ cây thư mục *Material sets*.

- Để thêm vào cửa sổ đặc trưng các thông số *Material set*, có thể nhập *Virtual thickness factor*. Đây hoàn toàn chỉ là các giá trị của mô hình số, mà có thể dùng tối ưu hoá đặc tính số của sự tương tác. Với người sử dụng ko có kinh nghiệm được khuyên là không thay đổi giá trị mặc định.

- Nhập thông số *Set type* trong cửa sổ *Material sets* cho tấm bằng cách nhấn vào *New*. Vào 'Diaphragm wall' trong *Identification* và vào các thông số như bảng 3.2. Sau đó nhấn *OK* để đóng hộp thoại

- Kéo dữ liệu *Diaphragm wall* cho tường trong mô hình hình học và thả ngay vào miền chỉ định cho vật liệu tường.

Bảng 3.2. ĐẶC TRƯNG VẬT LIỆU CỦA TƯỜNG CHẤN (TẤM)

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Material Type	Elastic	-
Độ cứng dọc trục	EA	$7.5 \cdot 10^6$	kN/m
Độ cứng chịu uốn	EI	$10 \cdot 10^6$	kNm ² /m
Chiều dày tương đương	d	1.265	m
Khối lượng riêng	w	10	kN/m/m
Hệ số Poisson	ν	0.0	-

Chú ý: -Nhấn nút *Rigit* trong hộp *Strength* lựa chọn trực tiếp cho tương tác với đặc trưng độ bền như đối với đất ($R_{inter}=1.0$)

- Nhập thông số *Set type* trong cửa sổ *Material sets* cho neo bằng cách nhấn vào *New*. Vào 'strut' trong *Identification* và vào các thông số như bảng 3.3. Sau đó nhấn *OK* để đóng hộp thoại

- Kéo dữ liệu *strut* cho neo trong mô hình hình học và thả ngay vào miền chỉ định cho vật liệu tường. Đóng cửa sổ *Material sets*.

Bảng 3.3. ĐẶC TRƯNG VẬT LIỆU CỦA NEO (ANCHOR)

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Material Type	Elastic	-
Độ cứng dọc trục	EA	2.10^6	kN
Khoảng cách đặt neo	L_s	5	m
Lực lớn nhất	$F_{max, comp}$	1.10^{15}	kN
	$F_{min, comp}$	1.10^{15}	kN

* Tạo lưới (Mesh)

Trong bài này thủ tục tạo lưới mịn được áp dụng. Ngoài làm mịn lưới tổng thể trực tiếp, có thể đơn giản để làm mịn cục bộ tại miền xung quanh đường hoặc điểm. Các tùy chọn này trên menu *Mesh*. Để tạo lưới như dự định, làm các bước sau:



Click nút *Generate mesh* trên toolbar. Một vài giây sau, một lưới thô xuất hiện trên cửa sổ *Output*. Click nút *Update* để trở lại mô hình hình học.

- Từ menu *Mesh* lựa chọn *Global coarseness*. Hộp *Element distribution* được đặt *Coast*, loại mà được đặt mặc định. Để tạo mịn cho lưới, chọn mục tiếp theo trong hộp thoại (*Medium*) và click *Generate*. Lựa chọn *Refine global* từ menu *Mesh*. Kết quả lưới mịn hơn xuất hiện trong cửa sổ *Output*. Click nút *Update* để quay lại mô hình.

- Điểm góc của phần tử kết cấu có thể có Gradien chuyển vị lớn. Do đó, Các khu vực như vậy mịn hơn các khu vực khác trong mô hình hình học. Click điểm giữa phần dưới của tường. Chọn đường hình học đánh dấu đỏ. Kết quả là làm mịn cục bộ tại đường được chỉ định xuất hiện trên lưới. Click vào nút *Update*.

Chú ý: -Lựa chọn *Reset all* trong menu *Mesh* để tạo lại lưới đã mặc định.

- Việc thiết lập lưới được lưu trữ cùng với việc dừng thủ tục *Input*. Khi nhập lại bài toán đã tồn tại và không thay đổi hình dạng hình học và đặt lưới, lưới giống như vậy sẽ được tạo lại bằng cách click nút *Generate mesh* trên toolbar. Tuy nhiên, bất kỳ sự xem nhẹ hình học sẽ cho kết quả lưới khác nhau.

* Thiết lập điều kiện ban đầu: *Initial conditions*


[Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS](http://www.vietcons.org)

<http://www.vietcons.org>

Điều kiện ban đầu được thiết lập yêu cầu thiết lập áp lực nước, không kích hoạt kết cấu và tải trọng và thiết lập ứng suất ban đầu. áp lực nước (áp lực lỗ rỗng và áp lực nước trên biên ngoài) có thể được tạo bằng hai cách: tạo trực tiếp dựa vào việc nhập mực nước thủy tĩnh và cao độ đỉnh nước ngầm hoặc gián tiếp dựa vào kết quả tính toán thẩm nước ngầm. Bài tập này chỉ giải quyết thủ tục tạo trực tiếp.

Trong phạm vi lựa chọn tạo trực tiếp có một số cách miêu tả điều kiện mực nước. Cách đơn giản nhất là xác định mực nước thủy tĩnh, dưới phân bố áp lực nước thủy tĩnh, dựa vào việc nhập trọng lượng nước đơn vị. Mực nước thủy tĩnh phát sinh tự động gán cho toàn bộ các miền hình học để tạo áp lực nước lỗ rỗng. Thay vì mực nước thủy tĩnh phát sinh, các miền đơn có thể có mực nước ngầm riêng hoặc phân bố áp lực nước lỗ rỗng nội suy. ở đây chỉ có mực nước ngầm xác định tại 2m dưới bề mặt đất.

Để tạo áp lực lỗ rỗng ban đầu, làm các bước sau:

 click vào *Initial conditions* trên toolbar.

Chú ý: -Khi tạo bài toán mới, trọng lượng nước trọng lượng nước được trực tiếp nhập vào *Groundwater mode*. Để nhập lại dữ liệu cho bài toán đã tồn tại nhập trọng lượng nước bằng tùy chọn *Water weight* từ menu *Geometry* trong *Groundwater mode*.



Click OK chấp nhận giá trị mặc định cho trọng lượng đơn vị nước là 10kN/m^3 . Loại *Groundwater conditions* bây giờ được kích hoạt, lựa chọn *Phreatic level*. Theo mặc định, thiết lập đường nước ngầm 2.0m dưới bề mặt đất.

- Dịch chuyển con trỏ tới vị trí (0.0; 38.0) click chuột trái → dịch chuyển con trỏ tới vị trí (45.0;38.0) click chuột trái. Click chuột phải để kết thúc lệnh vẽ.

Chú ý: -Đường nước ngầm tồn tại có thể được sử dụng bằng cách nhấn *Selection* từ Toolbar. Xóa đường nước ngầm (chọn và nhấn phím trên bàn phím), đường nước ngầm mặc định được tạo phía dưới đáy mô hình hình học. Giao diện đồ họa nhập và sửa đổi của đường nước ngầm không ảnh hưởng tới mô hình hình học đang tồn tại. Để tạo phân bố áp lực nước lỗ rỗng chính xác, đường hình học thêm vào có thể gồm tương ứng với mực nước đỉnh ngầm hoặc vị trí mực nước ngầm.



Click *Generate water pressure* trên toolbar. Bây giờ cửa sổ *Water pressure generation* xuất hiện.

- Từ cửa sổ *Water pressure generation*, chọn *Phreatic level* trong *Generate by* và click nút OK.

- Sau khi tạo áp lực nước, kết quả được thể hiện của sổ *Output*. Click nút *Update* để quay lại *Groundwater conditions*.

- Sau khi tạo áp lực nước và trước khi tạo ứng suất có hiệu ban đầu, phần hình học mà không được kích hoạt trong trạng thái ứng suất ban đầu nhất thiết phải loại bỏ kích hoạt.

Lựa chọn này dùng loại bỏ các phần kết cấu (miền, các đối tượng kết cấu) ban đầu mà được xây dựng trong giai đoạn muộn hơn. Plaxis sẽ tự động loại bỏ tải trọng và phần tử kết cấu trong hình dạng hình học ban đầu.

Trong bài toán này, tường chắn và neo ban đầu không có và được loại bỏ trong điều kiện hình học ban đầu. Điều kiện *K0-procedure* để thiết lập ứng suất ban đầu sẽ không được tính cho các miền bị loại bỏ.



Thủ tục *Geometry configuration* được lựa chọn bằng click chuột vào nút tương ứng trên Toolbar. Kiểm tra tường và thanh chống trong mô hình hình học là không được kích hoạt. Các phần tử không kích hoạt có màu xám. Chắc chắn là các miền đất còn lại đã được kích hoạt.

Chú ý: - Các miền không được kích hoạt màu trắng, giống như màu nền, khi kích hoạt các miền có màu tương ứng với màu đặc trưng vật liệu. Các đối tượng kết cấu không được kích hoạt màu xám, khi được kích hoạt có màu cơ bản như đã dùng trong suốt quá trình khởi tạo mô hình hình học.



Click *Generate initial stresses* trên Toolbar. Hộp *K0 procedure* xuất hiện.

- Giữ *total multiplier for soil weight* bằng 1. Chấp nhận giá trị mặc định cho *Ko* và nhấn *OK*.
- Sau đó tạo ứng suất ban đầu, kết quả là xuất hiện hộp thoại *Output*. Click nút *Update* để quay về *Initial configuration*.
- Click nút *Calculate*. Chọn *Yes* để lưu giữ các dữ liệu và nhập vào tên file tương ứng.

* Tính toán (*Calculations*)

Trong thực tế, thi công hố đào là quá trình mà bao gồm một số giai đoạn. Đầu tiên, tường đường lắp dựng theo chiều sâu yêu cầu. Sau đó vùi hố đào được tiến hành tạo khoảng trống lắp dựng thanh chống hoặc neo. Sau đó lớp đất lần lượt được bỏ đi tới chiều sâu cuối cùng của hố đào. Biện pháp đặc biệt thường để ngăn nước trong hố đào. Biện pháp chống đỡ ở đây là tường chắn.

Trong Plaxis, các quá trình này có thể được mô phỏng bằng tùy chọn tính toán *Stage construction*. *Stage construction* có thể được kích hoạt hoặc không kích hoạt trọng lượng, độ cứng và độ bền của kết cấu lựa chọn trong mô hình PTHH.

Chú ý: - Tùy chọn *Staged construction* không chỉ mô phỏng việc đào hoặc thi công, mà nó có thể sử dụng thay đổi phân bố áp lực nước lỗ rỗng, thay đổi đặc trưng vật liệu (mô phỏng mô hình đất tiên tiến) hoặc cải thiện độ chính xác của kết quả máy tính trước đó.

Hố đào được xem xét trong ví dụ này, được tiến hành qua 5 giai đoạn. Việc chia ra 3 giai đoạn đào (3 phase) để tính toán trong khi tạo mô hình hình học bằng các đường hình học tại vị trí tương ứng. Để xác lập 5 giai đoạn tính toán tiến hành các bước như sau:

Giai đoạn 1 (*Phase I*): *External load*

- Thêm vào giai đoạn ban đầu, giai đoạn tính toán ban đầu đã được tạo tự động. Trong thẻ *General*, chấp nhận tất cả mặc định

- Vào thẻ *Parameters*, giữ giá trị mặc định trong *Control parameter* và *Iterative procedure*. Chọn *Stage construction* từ hộp *Load input*.

- Click nút *Define*. Cửa sổ *Stage construction* xuất hiện, chỉ ra phân kích hoạt hiện tại của mô hình hình học, mà có đầy đủ cả tường, thanh chống và tải trọng.

- Click tường để kích hoạt nó (tường chuyển màu xanh). Tiếp theo, click tải trọng để kích hoạt nó. Tải trọng được xác định là -5kN/m^2 . Có thể kiểm tra bằng cách nhấn đúp chuột.

Chú ý: Bạn có thể nhập vào giá trị tải trọng vào thời điểm này bằng cách nhấn đúp chuột vào tải trọng và nhập giá trị. Nếu tải trọng được áp dụng cho đối tượng kết cấu như tấm, giá trị tải trọng có thể thay đổi bằng cách nhấn đúp chuột vào tải trọng hoặc đối tượng. Kết quả là cửa sổ xuất hiện nơi mà bạn nhập tải trọng. Sau khi click vào nút *Change* để sửa đổi giá trị tải trọng.

- Click vào nút *Update* để kết thúc định nghĩa giai đoạn thi công này. Kết quả, của sổ *Stage construction* đóng lại và cửa sổ *Calculations* lại xuất hiện. Giai đoạn thứ nhất đã kết thúc khai báo và được lưu giữ.

Giai đoạn 2 (Phase 2): *First excavation stage*

- Trong cửa sổ *Calculations*, click *Next*. Giai đoạn tính toán mới xuất hiện trong danh sách.

- Chú ý là chương trình sẽ tự động cho là giai đoạn hiện thời sẽ được bắt đầu từ giai đoạn liền kề trước đó.

- Trong thẻ *General*, chấp nhận các giá trị mặc định. Nhập vào thẻ *Parameters* và click nút *Define* để định nghĩa bước *Stage construction* tiếp theo. Cửa sổ *Stage construction* xuất hiện. Tải trọng và tường sẽ được kích hoạt và có dấu hiệu phần tử màu xanh.

- Click miền bên phải phía trên để loại bỏ nó và mô hình hoá bước đào thứ nhất.

- Click nút *Update* để kết thúc định nghĩa giai đoạn đào đầu tiên

Giai đoạn 3 (Phase 3): *Installation of strut*

- Trong cửa sổ *Calculations*, click *Next*. Việc khai báo giống như giai đoạn 2 ở trên. Click *Define* vào cửa sổ *Stage construction* xuất hiện. Kích hoạt thanh chống bằng cách click vào đường thẳng đứng. Thanh chống sẽ trở thành màu đen thể hiện nó được kích hoạt.

- Click nút *Update* để quay về chương trình tính toán và xác định các giai đoạn tính toán tiếp theo.

Giai đoạn 4 (Phase 4): *Giai đoạn đào thứ 2 (Second (submerged) excavation stage)*

- Chấp nhận mặc định và vào cửa sổ *Stage constructions*. Trong giai đoạn này mô phỏng quá trình đào phần thứ hai của hố đào. Loại bỏ hoạt động của miền thứ 2 tính từ trên xuống phía phải của lưới.

- Click nút *Update* để xác định các giai đoạn tính cuối cùng.

Chú ý: - áp lực nước lỗ rỗng không được tự động loại bỏ khi loại bỏ lớp đất. Do đó, trong trường hợp này mực nước giữ nguyên trong khu vực hố đào và hố đào bị ngập được mô hình hoá.

Giai đoạn 5 (*Phase 5*): Giai đoạn đào thứ 3

- Giai đoạn tính toán cuối cùng mô phỏng quá trình đào lớp đất cuối bên trong hố đào. Loại bỏ hoạt động của lớp thứ 3 phía phải của lưới. Nhấn *Update* để quay trở lại của sổ *Calculation*.

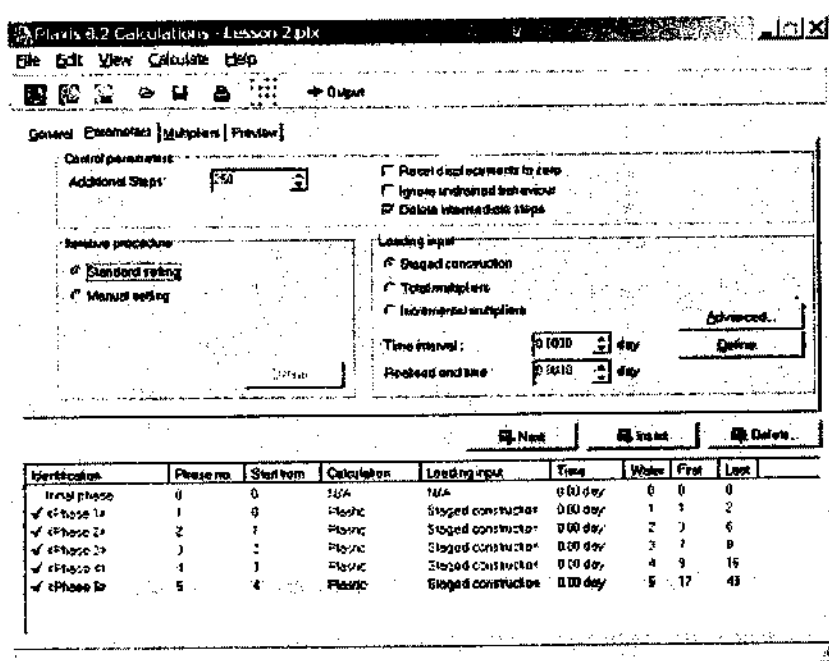
Việc xác định tính toán bây giờ đã kết thúc. Trước khi bắt đầu tính toán nên chọn các nút và điểm ứng suất để tạo đường cong tải trọng- chuyển vị hoặc ứng suất và biến dạng. tiến hành việc này làm các bước sau đây:

- Click nút *Select points for curve* trên thanh công cụ

- Chọn một vài nút trên tường nơi có biến dạng lớn theo dự tính (điểm 30.0; 30.0) và click *Update*.

Chú ý: Để chọn nút, thuận tiện hơn dùng tùy chọn *Zoom* trên *Toolbar* để phóng to vùng quan tâm.

- Trong cửa sổ *Calculations*, click vào nút *Calculations*.



Hình 3.3. Cửa sổ *Calculation* với thể *Parameter*

Chương trình tính toán bắt đầu. Chương trình tìm giai đoạn tính toán đầu tiên mà được chọn cho quá trình đào, nó là <Phase 1>.

Trong khi tính toán *Stage construction*, số nhân gọi là ΣM_{stage} được tăng từ 0.0 tới 1.0. Thông số này hiển thị cửa sổ thông báo tính toán. Khi ΣM_{stage} tiến dần đến giá trị 1.0 thì giai đoạn thi công hoàn thành và phase tính toán cũng kết thúc. Nếu một tính toán *Staged Construction* kết thúc khi ΣM_{stage} nhỏ hơn 1 thì chương trình sẽ có cảnh báo. Lý do hầu hết cho việc chưa kết thúc giai đoạn thi công là cơ cấu bị phá hoại xảy ra.

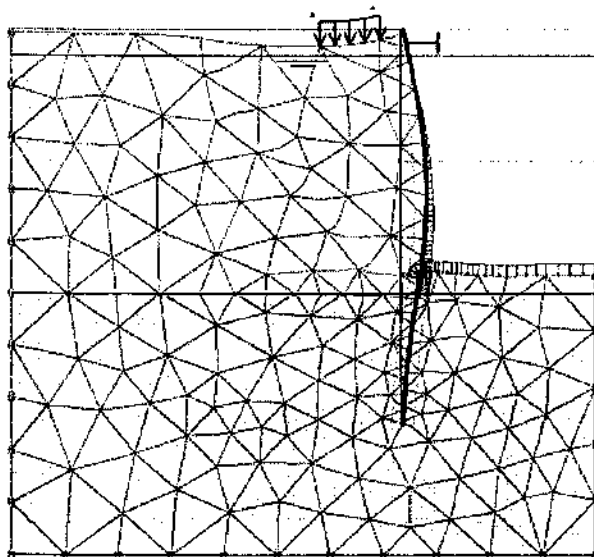
Lấy ví dụ, các giai đoạn tính toán đều kết thúc, mà bởi việc đánh dấu kiểm tra bằng màu xanh lá cây trên danh sách. Để kiểm tra giá trị $\Sigma M_{stage} multiplier$, click thẻ *Multiplier* và chọn nút *Reach values*. Thông số ΣM_{stage} biểu thị phía dưới hộp *Other* mở ra. Chứng minh là giá trị này bằng 1. Bạn có thể làm tương tự cho các giai đoạn tính khác.

Chú ý: Cửa sổ *Stage construction* cũng giống như cửa sổ *Initial conditions* của chương trình *Input*. Điểm khác nhau chính là *Initial conditions* dùng để tạo trạng thái ban đầu, trong khi *Stage construction* dùng như loại gia tải.

* Xem kết quả (*Output*)

Ngoài việc xem biến dạng và ứng suất của đất chương trình còn cho phép xem lực trong đối tượng kết cấu. Làm các bước như sau:

- Nhấn vào pha tính toán cuối cùng trong cửa sổ *Calculations*.
- Click chuột vào nút *Output* trên Toolbar. Kết quả là chương trình *Output* bắt đầu, cho thấy lưới biến dạng tại thời điểm cuối của phase tính toán lựa chọn, cho biết chuyển vị lớn nhất (xem hình 3.4.). Tải trọng cho thấy xuất hiện ở trong hố đào là áp lực nước còn lại.

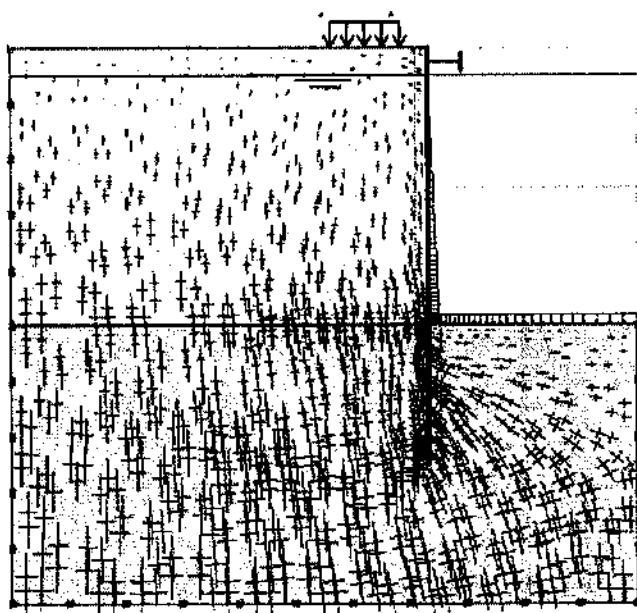


Hình 3.4. Lưới biến dạng sau khi hố đào ngập

- Chọn *Total increments* từ menu *Deformation*. Đồ thị chỉ cho thấy gia tăng chuyển vị của tất cả các nút như mũi tên. Chiều dài mũi tên chỉ độ lớn liên quan.

Trong hộp hiển thị tổng hợp trên Toolbar hiện tại là arrows. Chọn *Shading*, đồ thị bây giờ thể hiện bởi các mảng màu cho gia tăng chuyển vị.

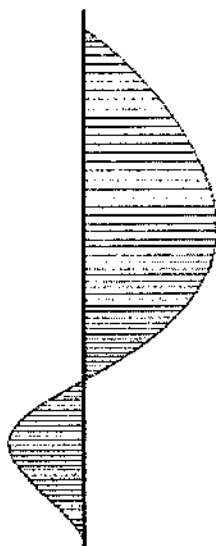
Chọn *Effective stresses* từ menu *Stresses*. Đồ thị chỉ các độ lớn và hướng ứng suất có hiệu chính. Xem hình vẽ 3.5



Hình 3.5. Ứng suất chính sau khi đào

Để vẽ biểu đồ lực cắt và mô men uốn cho tường tiến hành theo các bước dưới đây:

- Nhấn đúp chuột vào tường. Cửa sổ mới mở ra cho thấy mô men của tường xem hình vẽ 3.6.



Hình 3.6. Mô men uốn của tường

- Chọn *Shear force* từ menu *Force*.

- Chọn cửa sổ đầu tiên (cửa sổ thể hiện ứng suất có hiệu của mô hình hình học đầy đủ) trong menu *Window*, kích đúp chuột vào thanh chống. Cửa sổ mới xuất hiện thể hiện lực neo bằng kN/m. Giá trị này được nhân lên do khoảng cách trên mặt bằng của các thanh chống để tính toán lực chống độc lập (kN).

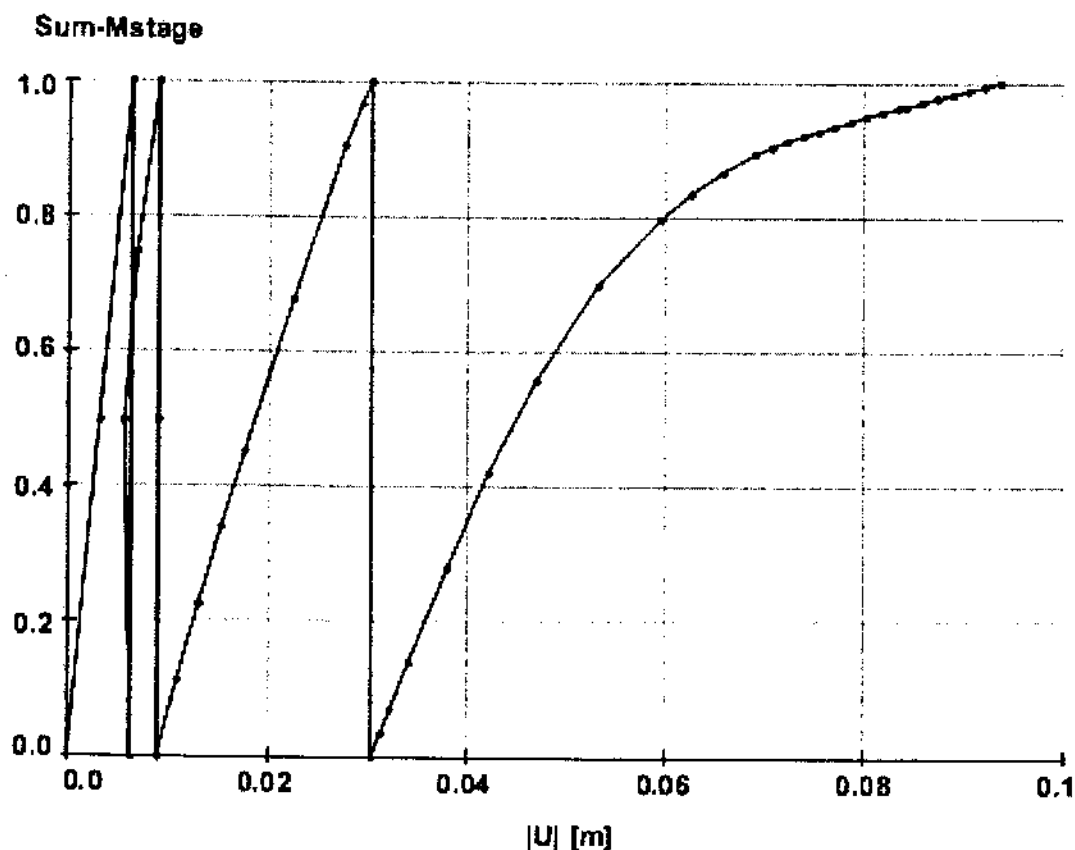
- Click *Go to curve program* trên toolbar. Kết quả là đường cong chuyển vị – lực xuất hiện.

- Chọn *New chart* từ hộp thoại *Create/Open project* và chọn tên file hồ đào mà đã đặt tên.

- Trong cửa sổ *Curve generation*, chọn cho trục X (*X-axis*) nút *Displacement* và điểm A (30.0; 30.0) và trong hộp *Type* chọn mục *|U|*. Chọn cho trục Y (*Y-axis*) nút *Multiplier* và từ hộp *Type* chọn $\Sigma Mstage$.

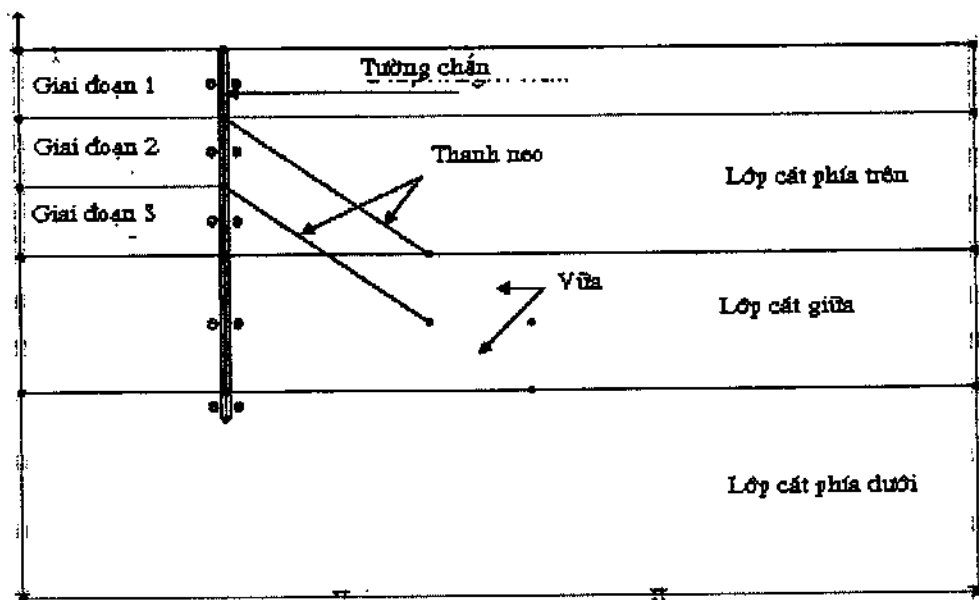
- Click nút *OK* chấp nhận dữ liệu đầu vào và tạo đường cong chuyển vị – lực. Kết quả cho như hình vẽ 3.7.

Đường cong chỉ các giai đoạn thi công. Với mỗi giai đoạn, thông số $\Sigma Mstage$ thay đổi từ 0.0 tới 1.0. Độ dốc giảm đường cong trong giai đoạn cuối thể hiện lượng biến dạng đàn hồi bị tăng. kết quả của tính toán rõ ràng, tuy nhiên hồ đào vẫn giữ ổn định cho đến khi kết thúc thi công.



Hình 3.7. Đường cong chuyển vị – lực của độ võng tường

3.1. 2. Bài tập 2: Phân tích biến dạng hố đào chống đỡ bằng cừ có neo



Hình 3.8. Mô hình hình học hố đào 2

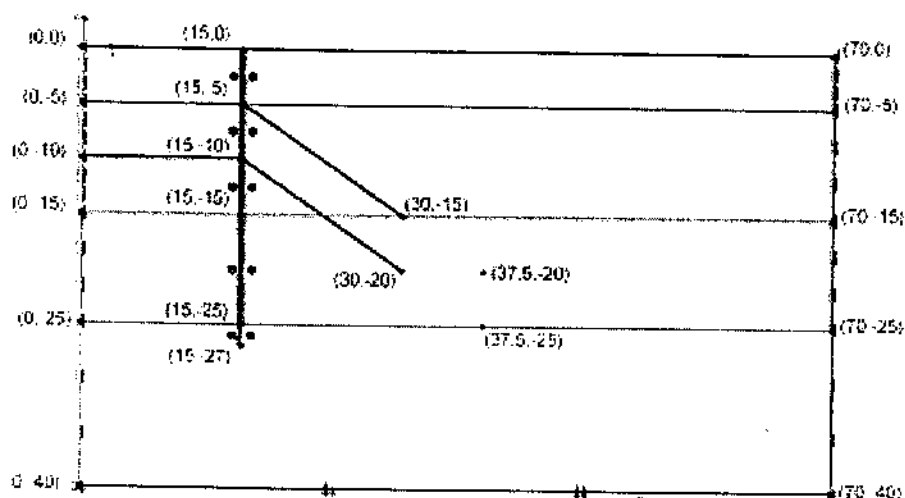
* Thiết lập mô hình hình học: (Input)

- Thiết lập tổng hợp

The screenshot shows the 'General settings' dialog box. It has a 'Project' dropdown menu set to 'Dimensions'. The 'Units' section includes 'Length' (m), 'Force' (kN), and 'Time' (day). The 'Geometry dimensions' section has input fields for 'Left' (0.000), 'Right' (70.000), 'Bottom' (-40.000), and 'Top' (0.000). The 'Grid' section has 'Spacing' (1.000 m) and 'Number of snap intervals' (2). There is a 'Set as default' checkbox at the bottom left. At the bottom right, there are 'Next', 'OK', and 'Cancel' buttons.

Hình 3.9. Cửa sổ General Setting

- Mô tả hình học



Hình 3.10. Mô hình hình học với các tọa độ hình học

- Khai báo các đặc trưng vật liệu

Bảng 3.4. ĐẶC TRƯNG VẬT LIỆU ĐẤT

Thông số	Ký hiệu	Lớp cát trên	Lớp cát giữa	Lớp cát dưới	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	-
Loại ứng xử vật liệu	Type	Drained	Drained	Drained	-
Trọng lượng riêng của đất trên mực nước ngầm	γ_{sat}	18	18	18	kN/m ³
Trọng lượng riêng của đất dưới mực nước ngầm	γ_{sat}	18	18	18	kN/m ³
Hệ số thấm theo phương ngang	k_x	0.0	0.0	0.0	m/day
Hệ số thấm theo phương dọc	k_y	0.0	0.0	0.0	m/day
Modun đàn hồi E_u	E_{50}	6×10^4	1×10^5	1.28×10^5	m/day
Hệ số Poisson	ν	0.2	0.2	0.2	-
Lực dính (không đổi)	c_{ref}	1.0	1.0	1.0	kN/m ²
Góc ma sát trong	ϕ	35	35	35	độ
Góc trương nở	ψ	5.0	5.0	5.0	độ
Hệ số giảm cường độ	R_{inter}	0.6	0.6	Rigit (1.0)	-

Lưu ý: Khi xét quá trình dỡ tải sử dụng $E_{\text{ur}} \approx 4E_{50}$

Bảng 3.5. ĐẶC TRUNG VẬT TƯỜNG CHẤN

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	Linear Elastic	-
Độ cứng dọc trục	EA	$2.0.10^7$	kN/m
Độ cứng chịu uốn	EI	$1.67.10^6$	kNm ² /m
Trọng lượng riêng	w	15	kN/m/m
Hệ số Poisson	ν	0.15	-

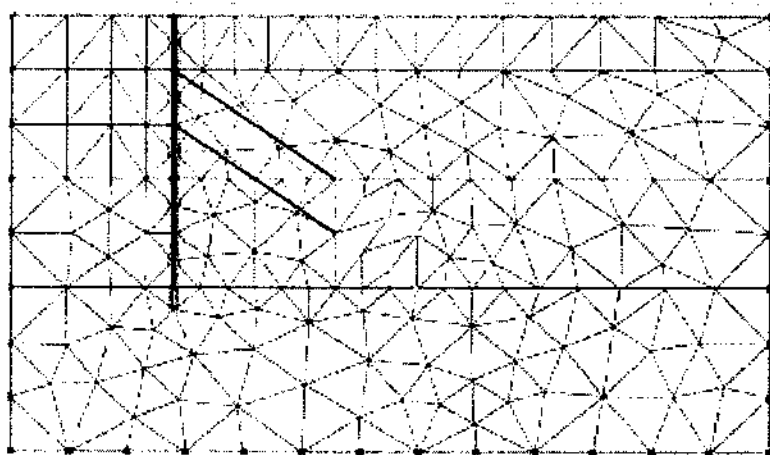
Bảng 3.6. ĐẶC TRUNG VẬT LIỆU CỦA NEO (ANCHOR)

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	Elastic	-
Độ cứng dọc trục	EA	2.10^5	kN
Khoảng cách đặt neo	L_s	1	m

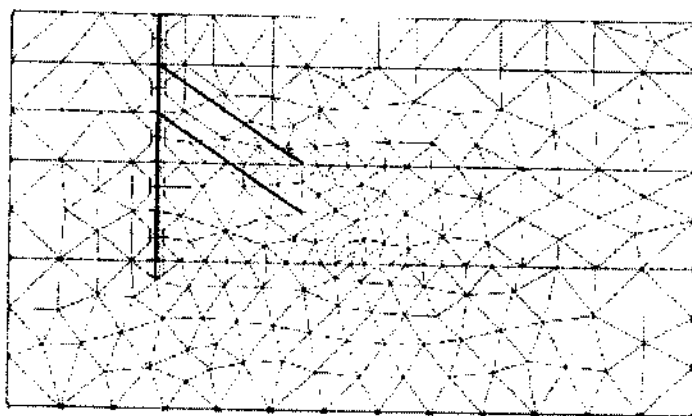
Bảng 3.7. ĐẶC TRUNG VẬT LIỆU VỮA PHỤT (GROUT BODY)

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Độ cứng dọc trục	EA	2.10^5	kN

- Tạo lưới

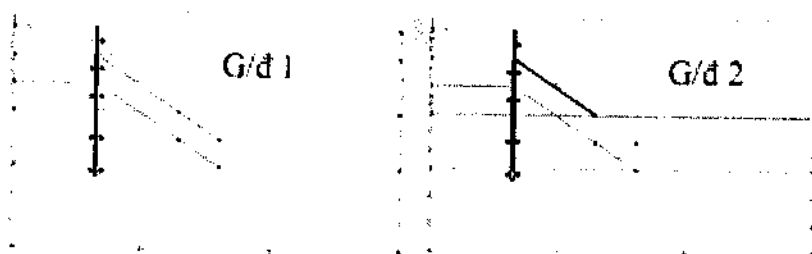
**Hình 3.11. Lưới 2D thô**

+ Làm mịn lưới tại neo

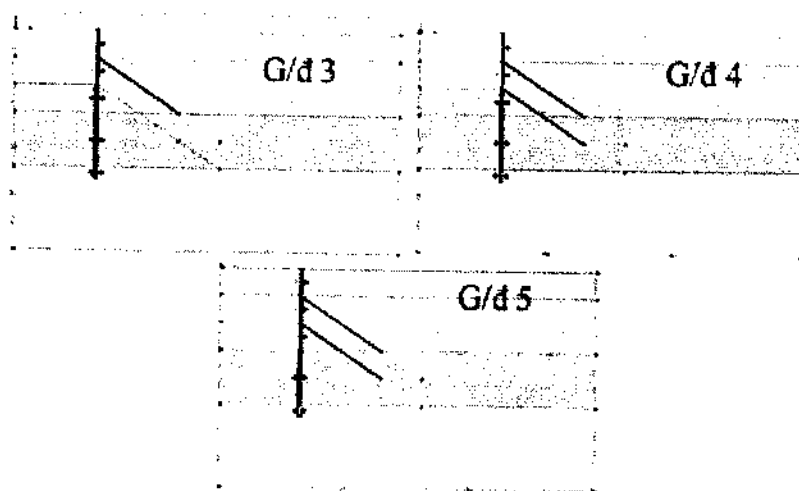


Hình 3.12. Lưới 2D mịn cục bộ tại neo

*** Tính toán (Calculations)**



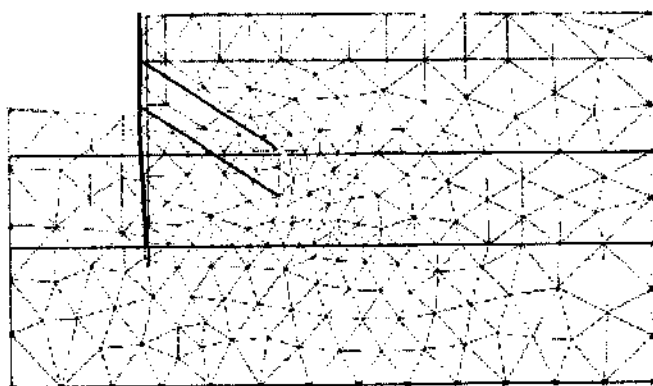
Hình 3.13. Mô hình tính toán giai đoạn 1 và 2



Hình 3.14. Mô hình tính toán giai đoạn 3, 4 và 5

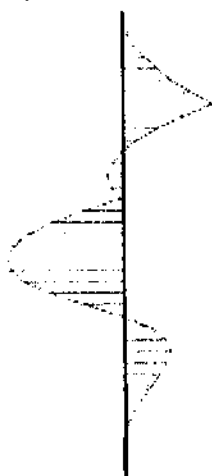
*** Kết quả tính toán**

- Lưới biến dạng tại giai đoạn 5

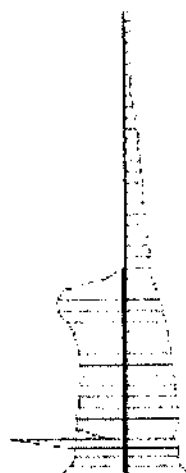


Hình 3.15. Lưới biến dạng giai đoạn 5

- Kết quả nội lực

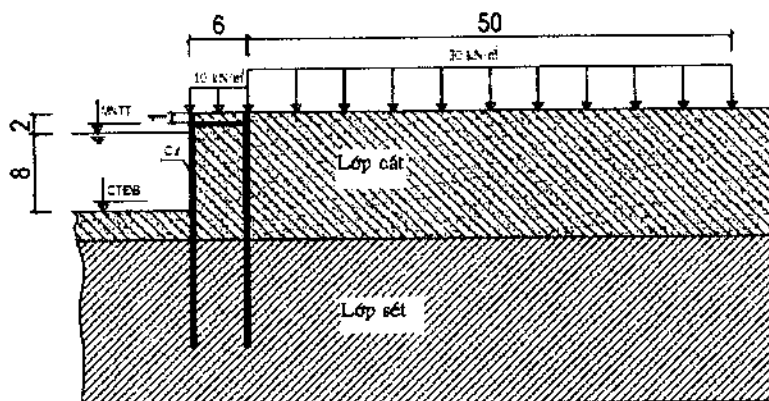


Hình 3.16. Mô men uốn trong tường



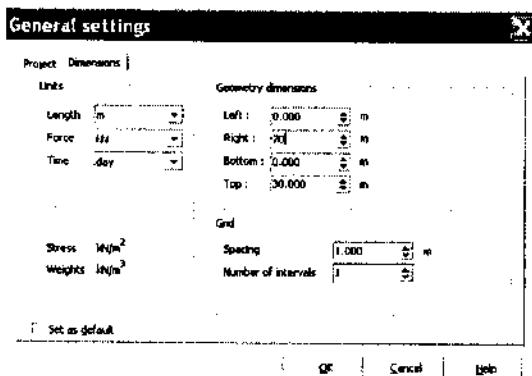
Hình 3.17. Ứng suất hiệu quả tại các phần tử tiếp xúc

3.1.3. Bài tập 3: Phân tích nội lực bên tường cừ kép



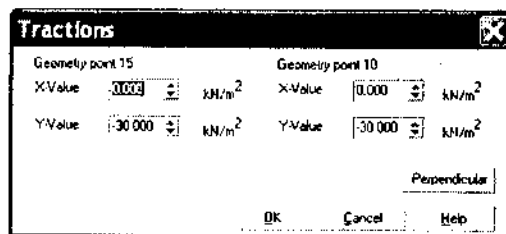
Hình 3.18. Mặt cắt ngang bến cừ kép

- * Thiết lập mô hình hình học
- Thiết lập tổng thể
- + Khởi động chương trình *Input* vào và lựa chọn *New project* từ hộp thoại *Createl open project*.
- + Lựa chọn phần tử 15-node.
- + Mặc định đơn vị chiều dài = m; lực = kN; thời gian = Day)



Hình 3.19. Cửa sổ *General settings*

- + Phạm vi ảnh hưởng của bài toán rộng 70, sâu 30.
- Thiết lập mô hình hình học
- + Chọn nút *<Geometry line>* từ thanh công cụ. Di chuyển con trỏ từ gốc (0.0; 0.0) và click trái chuột → dịch chuyển con trỏ tới vị trí (70.0; 0.0) click trái chuột → dịch chuyển con trỏ tới vị trí (70.0; 30.0) click trái chuột → dịch chuyển con trỏ tới vị trí (10.0; 30.0) click trái chuột → dịch chuyển con trỏ tới vị trí (10.0; 20.0) click trái chuột → dịch chuyển con trỏ tới vị trí (0.0; 20.0) click trái chuột → dịch chuyển con trỏ trở về vị trí (0, 0) click trái chuột, click phải chuột để kết thúc lệnh.
- + Sự ngăn cách giữa hai lớp đất: Di chuyển con trỏ tới vị trí (0.0; 17.0) click trái chuột. → dịch chuyển con trỏ tới vị trí (70.0; 17.0) click trái chuột, click phải chuột.
- + Chọn nút *Beam* từ thanh công cụ. Vẽ phần tử tám cho tường cừ
- + Xác định mặt tiếp xúc
- + Khai báo cho neo
- + Khai báo tải trọng



Hình 3.20: Hộp thoại *Traction* (System A)

- Khai báo điều kiện biên
- Khai báo c trng vật liệu

Bảng 3.8. ĐẶC TRUNG VẬT LIỆU ĐẤT

Thông số	Ký hiệu	Lớp cát	Lớp sét	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	-
Loại ứng xử vật liệu	Type	Drained	Drained	-
Trọng lượng riêng của đất trên mực nước ngầm	γ_{sat}	17	18	kN/m ³
Trọng lượng riêng của đất dưới mực nước ngầm	γ_{sat}	19	20	kN/m ³
Hệ số thấm theo phương ngang	k_x	0.01	0.001	m/day
Hệ số thấm theo phương dọc	k_y	0.01	0.001	m/day
Modun đàn hồi	E_{ref}	10000	6000	m/day
Hệ số Poisson	ν	0.32	0.35	-
Lực dính (không đối)	c_{ref}	2.0	5.0	kN/m ²
Góc ma sát trong	ϕ	28	25	độ
Góc trương nở	ψ	0.0	0.0	độ
Hệ số giảm cường độ	R_{inter}	0.7	1	-

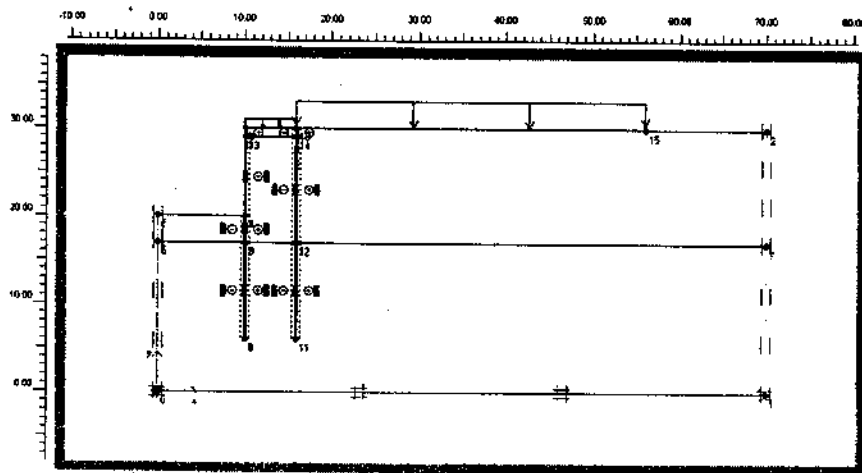
Lưu ý: khi xét quá trình dỡ tải sử dụng $E_{ur} \approx 4E_{st}$

Bảng 3.9. ĐẶC TRUNG VẬT TƯỜNG CHẤN

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	Linear Elastic	-
Độ cứng dọc trục	EA	$12 \cdot 10^6$	kN/m
Độ cứng chịu uốn	EI	$1.0 \cdot 10^6$	kNm ² /m
Chiều dày tương đương	d	1.265	m
Trọng lượng riêng	w	10	kN/m/m
Hệ số Poisson	ν	0.15	-

Bảng 3.10. ĐẶC TRUNG VẬT LIỆU CỦA NEO (ANCHOR)

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	Elastic	-
Độ cứng dọc trục	EA	$1 \cdot 10^6$	kN
Khoảng cách đặt neo	L_s	5	m
Lực lớn nhất	Fmax, comp	10^{15}	kN



Hình 3.21: Mô hình hình học bài toán bến tường cừ

- Tạo lưới
- Thiết lập điều kiện ban đầu

→ Initial conditions. Kích vào nút *Initial conditions* trên thanh công cụ.

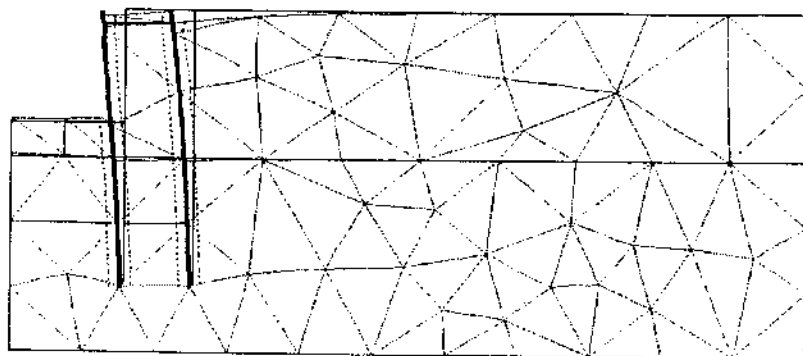
- + Chấp nhận giá trị mặc định của trọng lượng đơn vị thể tích nước là 10 kN/m³.
- + Lựa chọn đường mực nước Di chuyển con trỏ tới vị trí (0.0;28.0) click chuột trái → dịch chuyển tới vị trí (50.0;28.0) click chuột trái, click chuột phải để kết thúc lệnh
- + Lựa chọn *Generate water generate* từ cửa sổ *Water pressure generation*, chọn nút *Phreatic level*.

+ Tạo ứng suất ban đầu

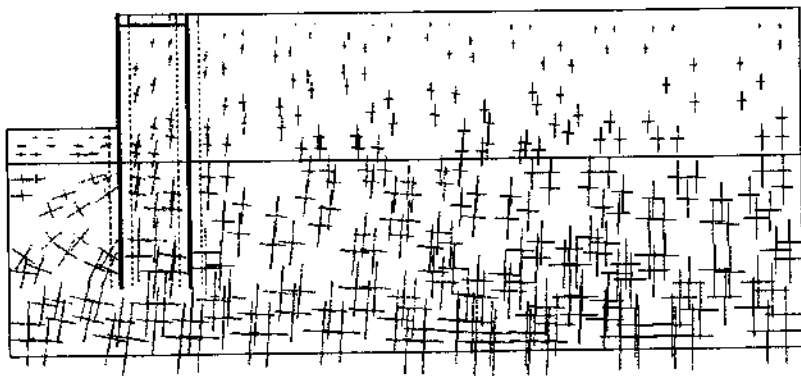
* Tính toán (*Calculations*)

Lựa chọn phương pháp tính "*Philc reduction*" để tính toán ổn định

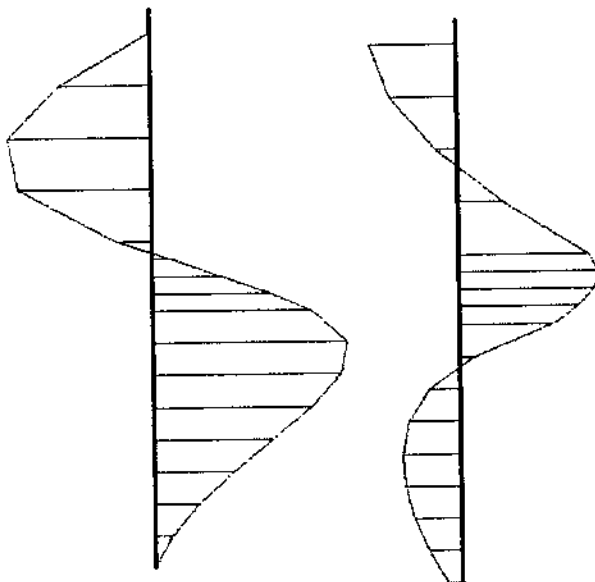
* Kết quả (*Output*)



Hình 3.22: Lưới biến dạng phía sau hồ đào ngấp



Hình 3.23: Ứng suất chính



Hình 3.24: Biểu đồ mô men uốn trong tường và biểu đồ lực cắt trong tường

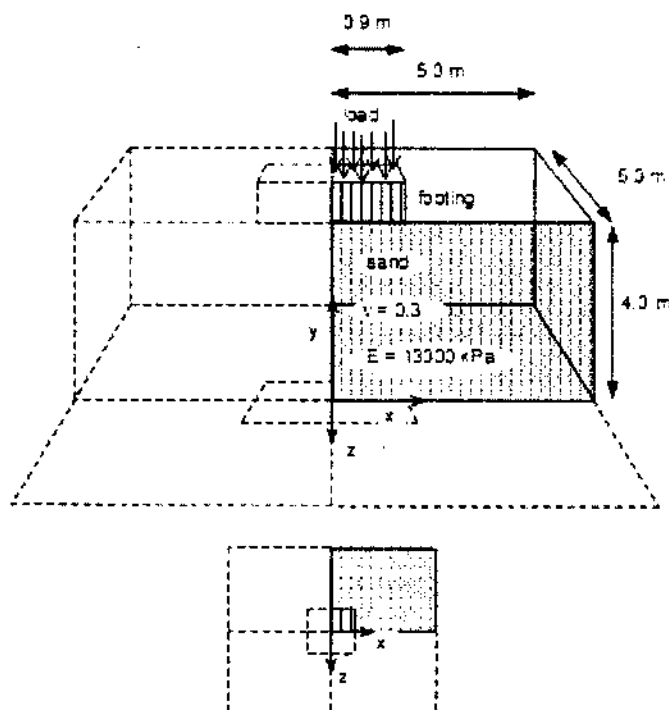
3.2. TÍNH TOÁN KẾT CẤU CÔNG TRÌNH HẦM BẰNG PLAXIS 3D TUNNEL

3.2.1. Bài tập 1: Biến dạng của móng vuông trên nền cát

Trong chương 2 đã trình bày một số tính năng cơ bản của chương trình Plaxis 3D Tunnel. Trong phần này sẽ trình bày cách áp dụng của các tính năng đó vào bài toán cụ thể là nghiên cứu sự lún của móng trên nền cát. Đây là bước đầu tiên để làm quen với cách sử dụng chương trình. Các bước cơ bản để tạo ra mặt cắt ngang mô hình 2D và 3D, thực hiện tính toán phần tử hữu hạn và đánh giá kết quả sẽ được mô tả chi tiết ở đây.

3.2.1.1. Hình dạng mô hình

Mô hình tính toán là một móng vuông có chiều rộng là 1,8m được đặt trên nền lớp cát dày 4m như trên hình 3.25. Bên dưới lớp cát là lớp đá cứng với chiều sâu lớn. Mục đích của bài tập này là tìm chuyển vị và ứng suất trong lớp cát gây ra bởi tải trọng móng.



Hình 3.25. Hình dạng của móng trên nền cát, chỉ mô hình 1/4 móng

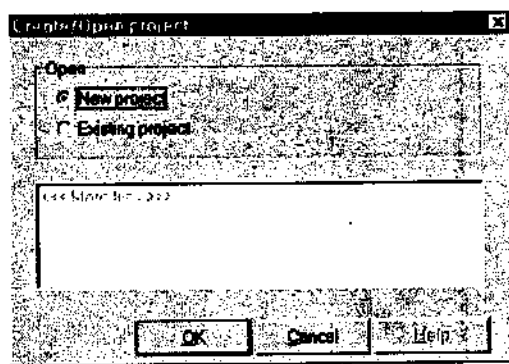
Quá trình tính toán được tiến hành cho cả móng cứng và móng mềm. Mô hình phần tử hữu hạn cho cả hai trường hợp là giống nhau. Lớp đá không được mô hình mà được thay thế bằng đương biên ở bên dưới lớp cát. Để giảm thời gian tính toán, sử dụng điều kiện đối xứng chỉ mô hình 1/4 móng. Để tất cả các khả năng cơ học có thể xảy ra trong lớp cát và ngăn ngừa tác dụng của biên ngoài, mô hình được mở rộng theo phương ngang với tổng chiều rộng là 5m.

3.2.1.2. Móng cứng

Trong phần tính toán thứ nhất, móng được mô hình rất cứng và nhám. Trong trường hợp này, sự lún của móng được giả định bằng sự lún đều trên của lớp cát. Đây là một mô hình đơn giản được sử dụng cho bài tập đầu tiên. Tuy nhiên, nó có những nhược điểm, ví dụ không đưa ra những thông tin về lực tác dụng lên móng. Phần thứ 2 của bài tập này là nghiên cứu trong trường hợp tải trọng tác dụng lên móng mềm với nhiều ưu điểm hơn trong mô hình.

3.2.1.2.1. Nhập dữ liệu

Bắt đầu chạy chương trình PLAXIS 3D Tunnel bằng cách nhấp đúp chuột lên biểu tượng của chương trình. Hộp thoại *Create/Open Project* sẽ xuất hiện và cho phép bạn chọn dự án đã có hoặc tạo một sự án mới. Chọn *New Project* và nhấn nút <OK>. Khi đó cửa sổ *General Setting* xuất hiện bao gồm 2 trang tính *Project* và *Dimensions* (hình 3.27).



Hình 3.26. Hộp thoại Create/Open Project

Những thông tin chung

Bước thứ nhất trong bất kỳ chương trình phân tích nào là đưa ra các thông số cơ bản của mô hình phần tử hữu hạn. Điều này được thực hiện trong cửa sổ *General Settings*. Những thiết lập này bao gồm mô tả bài toán, hướng của mô hình, đơn vị sử dụng và kích thước của bản vẽ.

Nhập các thông tin cho tính toán móng theo các bước sau:

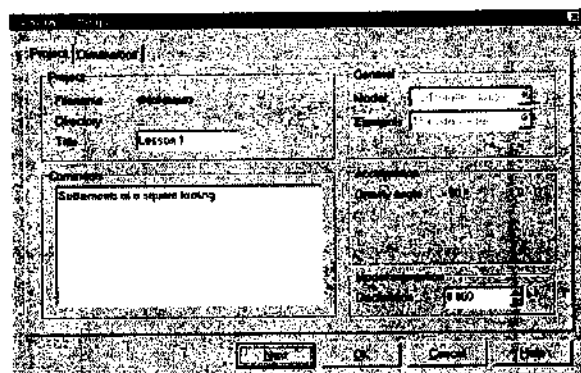
Trong trang *Project* nhập "Lesson 1" trong phần *Title* và "Settlements of a square footing" trong hộp *Comment*.

Trong hộp *General* chọn kiểu phân tích mô hình là "3D parallel planes" và kiểu phần tử cơ bản là "15 node wedge".

Trong hộp *Acceleration* cho biết hướng của trọng lực là -90° , có nghĩa là hướng từ trên xuống dưới.

Trong hộp *Model Orientation* cho góc nghiêng thực hiện là 0° có nghĩa là hướng Bắc trùng với hướng âm của trục Z. Tuy nhiên, chúng ta chỉ cần chú ý đến thông số độ nghiêng khi có khe nứt trong mô hình. Nhấn chuột vào nút <Next> bên dưới trang tính hoặc nhấn chuột vào *Dimensions* tab.

Trong trang *Dimensions*, giữ nguyên các đơn vị mặc định trong hộp *Units* (đơn vị của chiều dài Length=m, đơn vị của lực Force=kN, đơn vị của thời gian Time=day(ngày)).



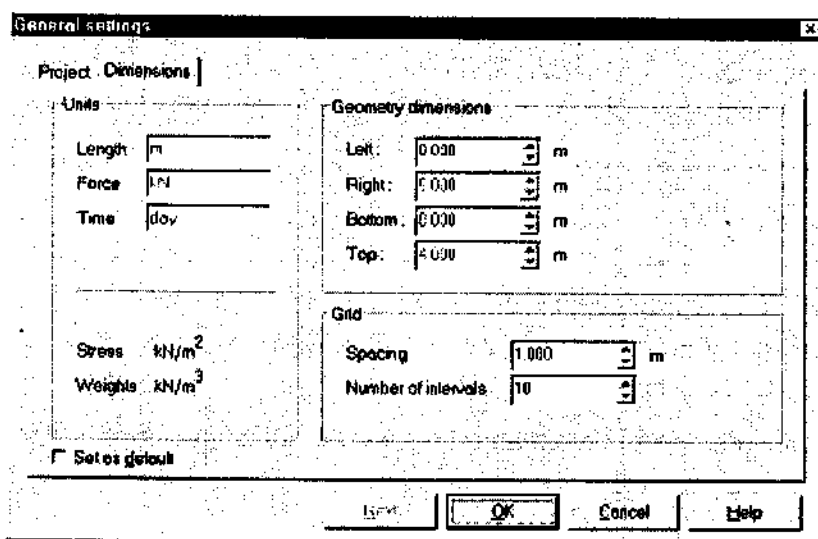
Hình 3.27. Trang Project của cửa sổ General Setting

Trong hộp *General dimentions* cần phải nhập vào giới hạn của bản vẽ. Khi nhập các giá trị toạ độ thấp nhất và cao nhất của mô hình được tạo ra, một lề nhỏ tự động được thêm vào, do đó mô hình sẽ vừa với bản vẽ. Nhập 0.0, 5.0, 0.0 và 4.0 vào các hộp *Left*, *Right*, *Bottom* và *Top*.

Hộp *Grid* bao gồm các giá trị khoảng cách của lưới. Lưới được tạo ra bằng các chấm nhỏ trên màn hình và có thể sử dụng như điểm tham khảo. Chúng cũng có thể được sử dụng để bắt điểm trong quá trình tạo mô hình. Khoảng cách giữa các chấm nhỏ được xác định bằng giá trị trong hộp khoảng cách (*Spacing*). Có thể chia khoảng cách giữa các chấm thành các khoảng nhỏ hơn hoặc bằng giá trị số khoảng (*Number of Intervals*). Nhập 1.0 cho hộp *Spacing* và 10 cho hộp *Number of Intervals*.

Nhấn nút <OK> để xác định các thông số đã được nhập. Khi đó bản vẽ xuất hiện và có thể vẽ mô hình mặt cắt ngang trên đó.

Chú ý: Trong trường hợp mắc lỗi vì một lý do nào đó mà cần phải thay đổi các thông số chung, bạn có thể mở cửa sổ *General Settings* bằng cách chọn *General Settings* trong thực đơn *File*.



Hình 3.28. Trang Dimentions của cửa sổ General Settings

Đường bao hình học

Khi hoàn thành việc thiết lập các thông số chung cho dự án, cửa sổ bản vẽ xuất hiện với hướng ban đầu của các trục toạ độ. Trục X hướng sang phải và trục Y hướng lên trên. Trục Z vuông góc với bản vẽ và có hướng về phía người sử dụng. Mô hình mặt cắt ngang 2D có thể được tạo ra tại bất kỳ vị trí nào trên bản vẽ. Hướng của trục Z sẽ được chú ý đến ở phần sau. Để tạo ra đối tượng, có thể sử dụng các nút chức năng trên thanh công cụ hoặc các lựa chọn từ thực đơn *Geometry*. Để xây dựng các đường bao của mô hình, thực hiện theo các bước sau:



Chọn *Geometry Line*: Vị trí của con trỏ (bây giờ xuất hiện dưới dạng cây bút) tại các trục ban đầu, kiểm tra đơn vị trên thanh trạng thái đọc (0.0, 0.0) và nhấn chuột trái. Điểm đầu tiên của mô hình đã được tạo ra.

Di chuyển theo trục X tới vị trí (5.0, 0.0). Nhấp chuột trái, điểm thứ 2 đã được tạo ra. Trong khi điểm thứ 2 được tạo ra thì một đường thẳng nối điểm thứ nhất với điểm thứ 2 cũng tự động được tạo ra.

Di chuyển lên trên tới vị trí (5.0, 4.0) và nhấp chuột trái tiếp.

Di chuyển sang bên trái tới vị trí (0.0, 4.0) và nhấp chuột trái tiếp.

Cuối cùng di chuyển về vị trí ban đầu (0.0, 0.0) và nhấp trái chuột. Khi điểm cuối cùng đã xác định, không có điểm mới được tạo ra nhưng đường thẳng được tạo ra từ điểm 3 tới điểm 0. Chương trình cũng sẽ nhận ra chòm điểm này (vùng diện tích được đóng kín bằng các đường thẳng) và sẽ làm các điểm đó sáng lên.

Nhấp chuột phải để dừng lệnh vẽ.

Chú ý:



Những điểm và đường bị lỗi vị trí có thể thay đổi hoặc xóa bằng cách chọn nút *Selection* trên thanh công cụ. Để di chuyển điểm hoặc đường, chọn điểm hoặc đường cần di chuyển và kéo chúng tới vị trí mong muốn. Để xóa điểm hoặc đường, chọn điểm hoặc đường cần xóa và nhấn nút *<Delete>* trên bàn phím.



Khi không muốn vẽ có thể rời bỏ bằng cách nhấn nút *<Undo>* trên thanh công cụ hoặc chọn lựa chọn *Undo* từ thực đơn *Edit* hoặc nhấn đồng thời các phím *<Ctrl><Z>* trên bàn phím.

Mật cắt ngang đầy đủ của mô hình được tạo ra trước khi tạo các phần tử lưới. Điều này có nghĩa là các điều kiện biên và các thông số của mô hình phải được nhập vào trước khi tiến hành tạo lưới.

Điều kiện biên

Điều kiện biên có thể tìm thấy ở khối thứ hai của thanh công cụ và trong thực đơn *Loads*. Về biến dạng có hai loại điều kiện biên tồn tại: quy định chuyển vị và quy định lực (tải trọng). Về nguyên tắc, tất cả các biên phải có một điều kiện biên theo mỗi hướng. Khi không có điều kiện biên rõ ràng cho đường biên hiện tại, điều kiện tự nhiên sẽ được áp dụng có nghĩa là lực tác dụng khi đó bằng 0 và chuyển vị tự do.

Để ngăn ngừa các tình huống mà chuyển vị của mô hình không xác định được, một số điểm của mô hình phải quy định chuyển vị. Một cách đơn giản nhất là quy định chuyển vị bằng không. Trong trường hợp này sự lún của móng cứng được giả định là chuyển vị khác không ở trên cùng của lớp cát.

Để tạo ra các điều kiện biên của bài toán này, thực hiện theo các bước sau:



Nhấn vào nút *Standard Fixities*; trên thanh công cụ hoặc chọn lựa chọn *Standard Fixities* từ thực đơn *Loads* để đặt các điều kiện biên chuẩn.

Chương trình PLAXIS sẽ tiến hành cố định trên cơ sở điều kiện hình học và điều kiện biên tại các lát cắt thẳng đứng ($u_x=0$, $u_y=free$). Trong mô hình 3D, cố định theo trục Z bằng cố định theo trục X, mặt trước và mặt cuối cùng luôn luôn cố định theo trục Z. Cố định theo trục X hoặc trục Y xuất hiện trên màn hình là hai đường thẳng song song vuông góc với hướng cố định.

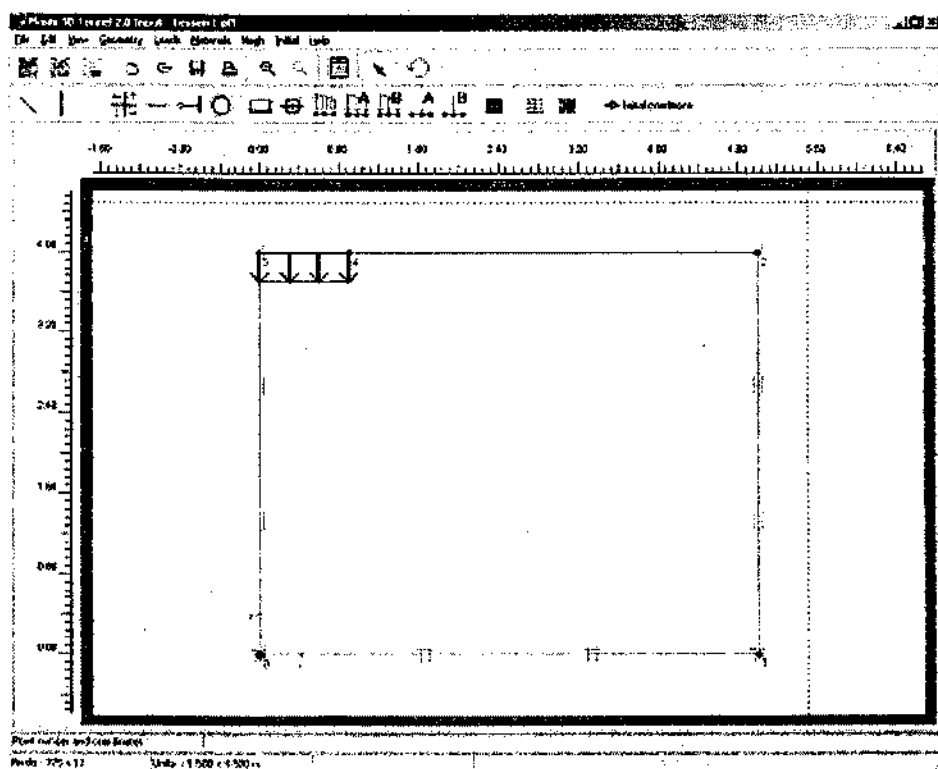
Chú ý: Lựa chọn *Standard Fixities* phù hợp với phần lớn các áp dụng trong địa kỹ thuật. Đó là cách nhanh và tiện lợi để nhập các điều kiện biên chuẩn.



Chọn nút *Prescribed Displacements*: từ thanh công cụ hoặc trong thực đơn *Loads*.

Di chuyển con trỏ đến điểm (0.0, 4.0) và nhấn chuột trái.

Di chuyển con trỏ đến điểm (0.9, 4.0) và nhấn tiếp chuột trái.



Hình 3.29. Mô hình hình học trong cửa sổ nhập dữ liệu

Nhấn chuột phải để dừng lệnh vẽ.

Thiết lập tính chất của vật liệu:

Để mô phỏng các biểu hiện của đất đá, các thông số vật liệu phải được gán cho mô hình. Trong tất cả các chương trình con của PLAXIS, các đặc tính của đất được thu thập ở dạng các thông số của vật liệu và rất nhiều các thông số được lưu trữ trong cơ sở dữ liệu. Các thông số có thể được gán từ cơ sở dữ liệu cho một vùng hoặc nhiều vùng. Đối với các loại kết cấu (như tường, bản tấm, neo...) thì tương tự như nhau, nhưng với loại kết cấu khác nhau thì có các thông số khác nhau, do đó có những loại dữ liệu khác nhau. Đó là nét đặc biệt riêng của mỗi loại thông số vật liệu của đất và bề mặt, tấm bản, neo....

Các tiêu chuẩn của vật liệu thông thường được mô tả sau khi đã nhập các điều kiện biên. Trước khi tiến hành tạo lưới, tất cả các dữ liệu về vật liệu phải được định nghĩa và tất cả các nhóm kết cấu phải được gán giá trị.

Các thông số về vật liệu được chọn bằng nút *Material Sets* trên thanh công cụ hoặc từ các lựa chọn có sẵn trong thực đơn *Materials*.

Để tạo ra các thông số vật liệu cho lớp cát, tiến hành theo các bước sau:



Chọn nút *Material Sets*: trên thanh công cụ.

Nhấn chuột vào nút <New> ở phía bên dưới của cửa sổ *Material Sets*. Một hộp thoại mới sẽ xuất hiện với 3 trang tính (Tab sheets): *General*, *Parameters* và *Interfaces* (hình 3.30).

Bảng 3.11. CÁC ĐẶC TÍNH VẬT LIỆU CỦA LỚP CÁT

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Mô hình	Mohr-Coulomb	-
Dạng vật liệu	Dạng	Khô	-
Trọng lượng riêng của lớp đất bên trên mực nước ngầm	γ_{unsat}	17	kN/m ³
Trọng lượng riêng của lớp đất bên dưới mực nước ngầm	γ_{sat}	20	kN/m ³
Hệ số thấm	k_x, k_y, k_z	1	m/ngày
Môđun đàn hồi (hằng số)	E_{ref}	$1,3 \cdot 10^4$	kN/m ²
Hệ số Poisson	ν	0,3	-
Lực dính kết (hằng số)	C_{ref}	1	kN/m ²
Góc ma sát trong	φ	31	độ
Góc trương nở	ψ	0	độ

Trong hộp *Material Set* của trang tính *General*, viết “Sand” vào hộp *Identification*.

Chọn *Mohr-Coulomb* từ hộp kết hợp *Material Model* và *Drained* từ hộp *Material Type* (các thông số mặc định).

Nhập các giá trị đơn vị trong hộp *General Properties* theo các dữ liệu trong bảng 3.11. Đồng thời nhập hệ số thấm như trên hình 3.30.

Nhấn nút <Next> hoặc nhấn chuột vào trang tính *Parameters* để tiến hành nhập các thông số mô hình. Các thông số sẽ xuất hiện trên trang tính *Parameters* phụ thuộc vào mô hình vật liệu được chọn (trong trường hợp này là mô hình *Mohr-Coulomb*). Mô hình *Mohr-Coulomb* bao gồm 5 thông số cơ bản (E , ν , C , ϕ , ψ).

Mohr-Coulomb - Lesson 1 3D - Sand

General | Parameters | Interfaces

Material Set

Identifier: Lesson 1 3D - Sand

Material model: Mohr-Coulomb

Material type: Drained

General properties

γ_{unsat} : 17.000 kN/m³

γ_{sat} : 20.000 kN/m³

Permeability

k_x : 1.000 m/day

k_y : 1.000 m/day

k_z : 1.000 m/day

Advanced...

Next OK Cancel Help

Hình 3.30. Trang tính General của lớp đất và cửa sổ nhập dữ liệu

Nhập các thông số của mô hình (bảng 3.11) vào trong trang tính *Parameters*.

Nhấn nút <OK> để xác định các thông số được nhập cho loại vật liệu hiện tại. Khi đó các dữ liệu sẽ xuất hiện dạng “cây” trong cửa sổ *Material Set*.

Kéo dữ liệu “Sand” từ cửa sổ *Material Set* (chọn và giữ chuột trái khi di chuyển) đến miền trong bản vẽ và thả nó ở đây (nhả chuột trái). Chú ý, con trỏ sẽ thay đổi hình dạng để cho biết thao tác thực hiện đã hoàn thành.

- Nhấn <OK> trong cửa sổ *Material Set* để đóng cơ sở dữ liệu lại.

Mohr-Coulomb - Lesson 1 3D - Sand

General | Parameters | Interfaces

Stiffness

E_{ref} : 1.300E-04 kN/m²

ν (nu): 0.300

Strength

c_{ref} : 1.000 kN/m²

ϕ (phi): 31.000

ψ (psi): 0.000

Alternatives

G_{ref} : 5000.000 kN/m²

E_{oed} : 1.750E-04 kN/m²

Advanced...

Next OK Cancel Help

Hình 3.31. Cửa sổ nhập các thông số của lớp đất trong mô hình

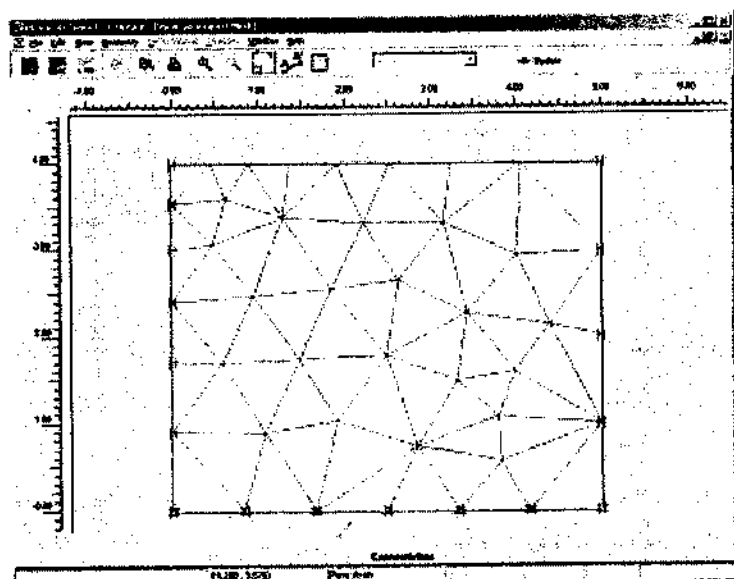
Tạo lưới 2D

Khi hoàn thành xong việc tạo mặt cắt ngang mô hình, tiến hành tạo phần tử hữu hạn lưới 2D trước khi chú ý đến hướng trục Z. Chương trình cho phép tự động hoàn toàn quá trình tạo lưới, mô hình sẽ được chia thành các phần tử thể tích và các phần tử cấu trúc tương thích. Quá trình tạo phần tử lưới 2D dựa trên phần tử lưới tam giác.

Để tiến hành tạo lưới thực hiện theo các bước sau:



Nhấn nút *Generate Mesh*: trên thanh công cụ hoặc chọn lựa chọn *Generate* từ thực đơn *Mesh*. Sau khi tiến hành tạo lưới, một cửa sổ mới được tạo ra trong đó lưới đã được tạo ra cho mô hình (hình 3.18).



Hình 3.32. Phần tử lưới 2D xung quanh mô hình móng

Gradient chuyển vị xuất hiện bên dưới móng. Nhấn vào đường thẳng trên cùng biểu diễn chuyển vị trên móng (nhấn đơn). Đường chuyển vị được chọn bây giờ chuyển sang màu đỏ. Từ thực đơn *Mesh*, chọn *Refine line*. Nhấn nút *<Update>* để quay trở lại.

Tạo lưới 3D

Sau khi tiến hành tạo lưới 2D, mô hình cần được tạo lưới 3D. Có thể thực hiện điều này bằng cách nhấn chuột vào nút *3D Mesh* hoặc chọn lựa chọn tương ứng trong thực đơn *Mesh*. Khi đó một cửa sổ mới xuất hiện, trong đó các thông số của mặt phẳng theo trục Z (hình 3.33). Trong phần trước chúng ta tiến hành tạo lưới 2D cho mỗi một mặt phẳng Z. Hai mặt phẳng Z liền kề tạo ra một lát mỏng. Lưới 3D được tạo ra bằng liên kết các góc của các phần tử tam giác 2D bằng các điểm tương ứng của các phần tử tương ứng của mặt phẳng Z tiếp theo. Theo cách này, một phần tử lưới 3D được tạo ra từ các phần tử nôm gồm 15 nút.

Mặt phẳng Z là cần thiết khi các khe nứt trong mô hình hoặc tải trọng xuất hiện tại thời điểm ban đầu hoặc trong quá trình xây dựng. Nếu cần thiết, các lát mỏng sẽ tự động chia

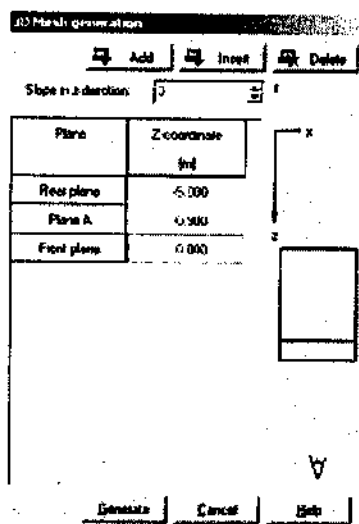
thành các lát nhỏ hơn, do đó, kích thước của phần tử theo phương trục Z bằng kích thước trung bình của phần tử được định nghĩa trong quá trình tạo lưới 2D.

Trong phần này chúng ta mô hình 1/4 móng (0,9x0,9m) bằng hình vẽ 5,0x5,0m. Móng được mở rộng theo phương trục Z là 0,9m, do vậy tồn tại khe nứt trong mô hình và mặt phẳng Z là cần thiết phải có. Mặt trước đặt tại vị trí 0,0m và mặt sau tại vị trí -5,0m.



Nhấn nút *Generate 3D Mesh*: trên thanh công cụ hoặc chọn lựa chọn *Generate 3D Mesh* từ thực đơn *Mesh*. Một cửa sổ mới xuất hiện, trong đó chỉ rõ vị trí của tất cả các mặt phẳng Z (hình 3.33).

Khi mô hình mở rộng theo phương ngang, độ dốc theo trục Z là bằng 0. Mặt cắt ngang ban đầu của mô hình có vị trí tại $Z=0,0$ coi như là “mặt sau”. Tuy nhiên, chúng ta sẽ mở rộng mô hình tiếp tục về phía sau (theo hướng âm của trục Z) để được mô hình đầy đủ như trên hình 3.33. Khi mặt sau (0,0) được làm nổi bật, nhấn nút *<Insert>*. Kết quả là một mặt phẳng mới xuất hiện tại vị trí $Z=-1,0$, khi đó mặt phẳng ban đầu trở thành mặt trước.



Hình 3.33. Tọa độ của mặt phẳng Z trong thực tế.

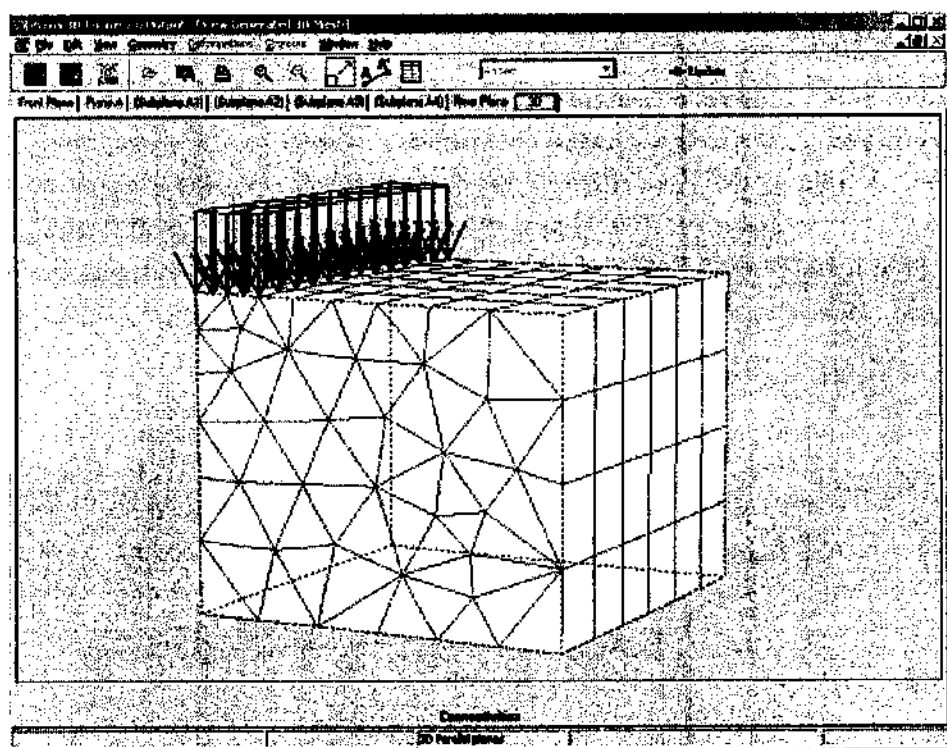
Thay đổi tọa độ Z của mặt sau cho đến $Z=-5,0$ và nhấn *<Enter>*. Mặt trước sẽ được làm nổi bật. Tiếp tục nhấn nút *<Insert>*. Một mặt phẳng mới (A) được đưa vào giữa mặt phẳng trước và mặt phẳng sau. Thay đổi tọa độ Z của mặt phẳng A đến -0,9.

Nhấn nút *<Generate>*. Quá trình tiến hành tạo lưới 3D sẽ được bắt đầu và lưới 3D sẽ hiện ra trên cửa sổ. Một mặt phẳng được tạo ra giữa mặt phẳng A và mặt phẳng sau để giảm kích thước của phần tử theo phương trục Z. Tổng số phần tử nôm 3D bằng tích số phần tử tam giác 2D với tổng số lát mỏng. Có thể sử dụng các phím mũi tên trên bàn phím để quay mô hình theo các hướng khác nhau (hình 3.34).

Nhấn nút *<Update>* để quay trở lại phần nhập mô hình.

Lưu ý: Nếu khoảng cách giữa 2 mặt phẳng liên tiếp lớn hơn kích thước trung bình của

phần tử 2D, quá trình tạo lưới 3D sẽ tự động chia nhỏ bằng các mặt phẳng thay thế (hình 3.34). Đây là cách tự động tạo ra các phần tử với kích thước lớn hoặc bé theo phương trục Z bằng cách gán các hệ số kích thước phần tử cục bộ cho mặt phẳng. Có thể thực hiện điều này bằng cách nhấn chuột lên mặt phẳng được chọn (đường thẳng) trên cửa sổ tạo lưới 3D. Khi đó một cửa sổ mới sẽ xuất hiện, trong đó hệ số kích thước phần tử cục bộ có thể nhập vào được. Hệ số kích thước phần tử cục bộ này xác định vị trí của lát mỏng thay thế và do đó kích thước của phần tử 3D theo trục Z được tiến hành để tạo lưới 3D.



Hình 3.34. Kết quả tạo lưới 3D

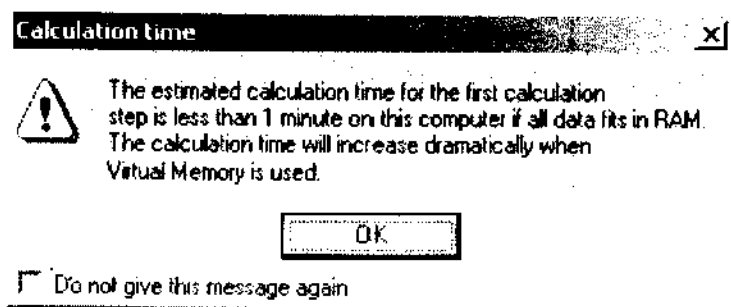
Điều kiện ban đầu

Khi quá trình tạo lưới cho mô hình kết thúc, trước khi bắt đầu tính toán cần phải đưa các điều kiện ban đầu vào cho mô hình. Thông thường các điều kiện ban đầu bao gồm các điều kiện ban đầu về nước ngầm, các điều kiện ban đầu về hình dạng công trình và trạng thái ứng suất ban đầu. Lớp cát của móng trong dự án này là khô, do đó không cần nhập điều kiện nước ngầm ban đầu.

Các điều kiện ban đầu có thể được nhập vào bằng các cách trong trường nhập dữ liệu. Để nhập các điều kiện ban đầu có thể tiến hành theo các bước sau:

- **Initial Conditions** Nhấn chuột vào nút *Initial conditions*: trên thanh công cụ hoặc chọn lựa chọn *Initial conditions* từ thực đơn *Initial*.

Trước tiên một cửa sổ nhỏ xuất hiện chỉ ra cách xác định thời gian tính toán của một vòng tính sử dụng tạo lưới. Cách xây dựng này được thực hiện dựa trên giả thiết tất cả các dữ liệu để tính toán phù hợp với bộ nhớ của máy tính. Nhấn nút <OK> để tiếp tục.



Hình 3.35. Xác định thời gian tính toán

Tiếp theo một cửa sổ nhỏ xuất hiện cho biết các giá trị mặc định như trọng lượng đơn vị của nước $10 \text{ (kN/m}^3\text{)}$. Nhấn <OK> để chấp nhận các giá trị mặc định này, khi đó điều kiện chế độ nước ngầm sẽ xuất hiện. Lưu ý, thanh công cụ và nền của mô hình sẽ thay đổi so với khi nhập dữ liệu.



Điều kiện ban đầu gồm 2 dạng khác nhau: áp lực nước và hình dạng của mô hình.

Khi bài toán hiện tại không xét đến áp lực nước, đặt kiểu hình dạng hình học bằng cách nhấn vào nút lựa chọn bên phải (*Initial stresses and geometry configuration*). Chú ý chuyển vị cưỡng bức không được kích hoạt (màu xám)

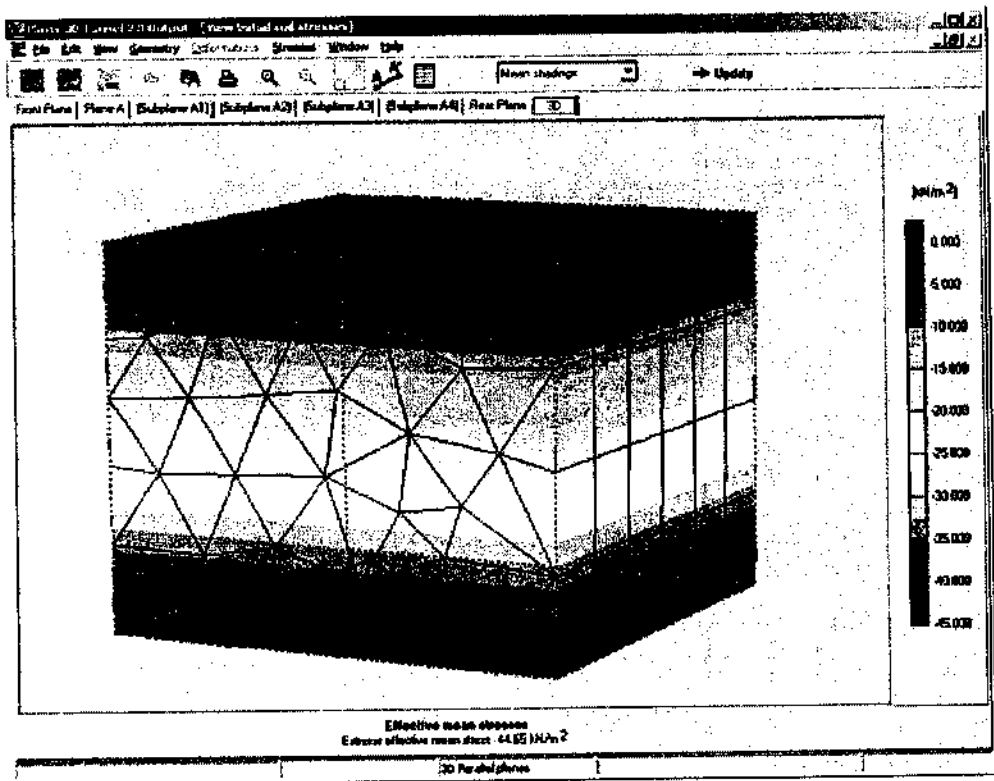


Nhấn nút *Generate initial stresses* trên thanh công cụ hoặc chọn lựa chọn Initial stresses từ thực đơn *General*. Cửa sổ *K₀-procedure* sẽ xuất hiện.

Giữ nguyên trọng lượng riêng của tổng các lớp đất, $\Sigma \text{Mweight}=1,0$. Điều này có nghĩa là tổng trọng lượng của đất được áp dụng để tính toán ứng suất ban đầu. Chấp nhận giá trị mặc định của K_0 và nhấn nút <OK>.

Lưu ý: K_0 chỉ sử dụng cho các lớp mô hình ngang với mặt đất nằm ngang, nếu có thể cho cả giếng nước ngầm. Giá trị mặc định của K_0 dựa trên công thức Jaky: $K_0=1-\sin\phi$. Nếu dữ liệu đầu vào thay đổi, giá trị mặc định có thể nhận lại bằng cách nhập giá trị âm cho K_0 .

Sau khi nhập giá trị ứng suất ban đầu cho mô hình, cửa sổ kết quả ứng suất phân bố trong mô hình sẽ mở ra (hình 3.36). Nhấn nút <Update> để quay trở lại chương trình nhập dữ liệu cho mô hình.



Hình 3.36. Ứng suất ban đầu trong mô hình

→ Calculate

Sau khi nhập ứng suất ban đầu, có thể định nghĩa cách tính toán bằng cách nhấn nút <Calculate>. Khi đó dữ liệu sẽ được ghi lại trong ổ cứng. Nhấn nút <Yes>, cửa sổ nhập tên file xuất hiện, nhập tên file và nhấn nút <Save>.

3.2.1.2.2. Tiến hành tính toán

Sau khi nhấn nút <Calculate> và ghi lại dữ liệu, chương trình nhập dữ liệu đóng lại và chương trình tính toán được bắt đầu. Chương trình tính toán có thể được sử dụng để định nghĩa và thực hiện tính toán. Nó có thể sử dụng để chọn giai đoạn cần tính toán và xem kết quả.

Cửa sổ tính toán bao gồm thực đơn, thanh công cụ, các trang tính và danh sách các giai đoạn tính toán như trên hình 3.37.

Lưu ý: Nếu danh sách các giai đoạn tính toán quá ngắn hoặc không hiện ra, có thể mở rộng cửa sổ này bằng cách kéo xuống bên dưới cửa sổ.

Các trang tính (*General*, *Parameters* và *Multiplier*) được sử dụng để định nghĩa các giai đoạn tính toán. Tất cả các định nghĩa tính toán xuất hiện trong danh sách ở phần dưới cùng của cửa sổ.

Chương trình tính toán được bắt đầu ngay sau khi nhập dữ liệu của một dự án mới, bước tính toán đầu tiên được tự động chèn vào. Để mô phỏng sự lún 0,1m của móng chỉ cần một vòng tính đơn. Như tất cả các chương trình PLAXIS, chương trình 3D Tunnel có các thủ

tục tiện ích để tự động nạp bước tính (tổng và trị số gia tăng), kích hoạt hoặc không kích hoạt tải trọng và các giai đoạn xây dựng. Các giai đoạn xây dựng rất tiện ích cho việc nhập tải trọng. Trong thuộc tính đặc biệt này của PLAXIS có thể cho phép thay đổi hình dạng và tải trọng bằng cách kích hoạt hoặc không kích hoạt tải trọng, thể tích trong các miền công trình được tạo ra trong phần nhập mô hình. Có thể thực hiện điều này cho từng lát riêng lẻ. Các giai đoạn xây dựng quy định chính xác và mô phỏng tải trọng thực tế và các giai đoạn thi công. Ngoài ra nó cũng có thể sử dụng để gán lại các đặc tính vật liệu hoặc thay đổi sự phân bố áp lực nước trong mô hình.

Để định nghĩa các giai đoạn tính toán, thực hiện theo các bước sau:

Trong trang tính *General*, chọn *3D Plastic* từ hộp kết hợp của hộp *Calculation type*.

Trong hộp *Phase*, viết tên cho bước tính toán hiện tại (ví dụ “Loading”) và chọn giai đoạn hiện tại để bắt đầu (trong trường hợp này quá trình tính toán chỉ có thể bắt đầu từ giai đoạn 0- giai đoạn ban đầu bao gồm trạng thái ứng suất ban đầu).

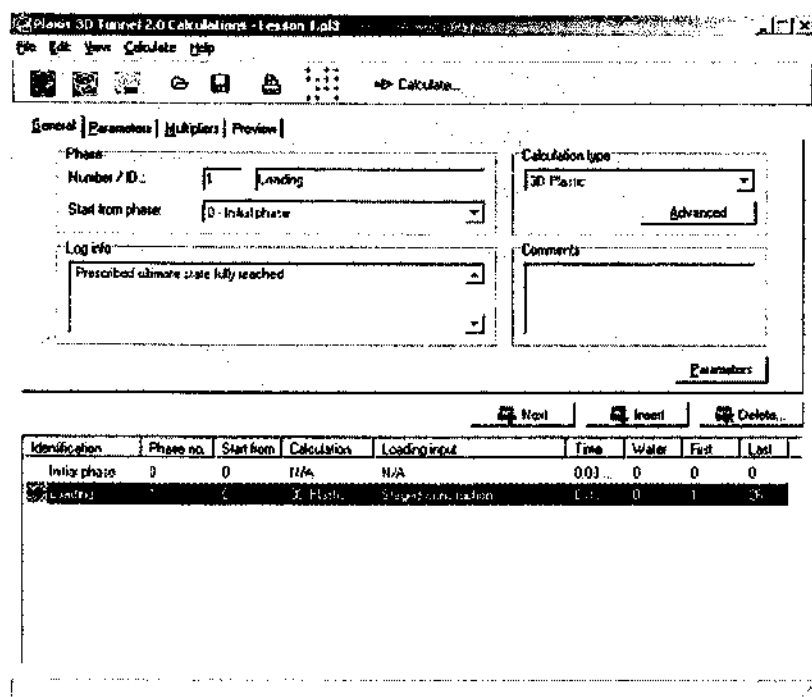
Trang tính *Parameters* bao gồm các thông số điều khiển tính toán như trên hình 3.24. Giữ nguyên các giá trị mặc định trong hộp điều khiển thông số (Additional steps=250) và chọn *Standard setting* từ hộp *Iterative procedure*.

Chọn *Staged construction* từ hộp *Loading*.

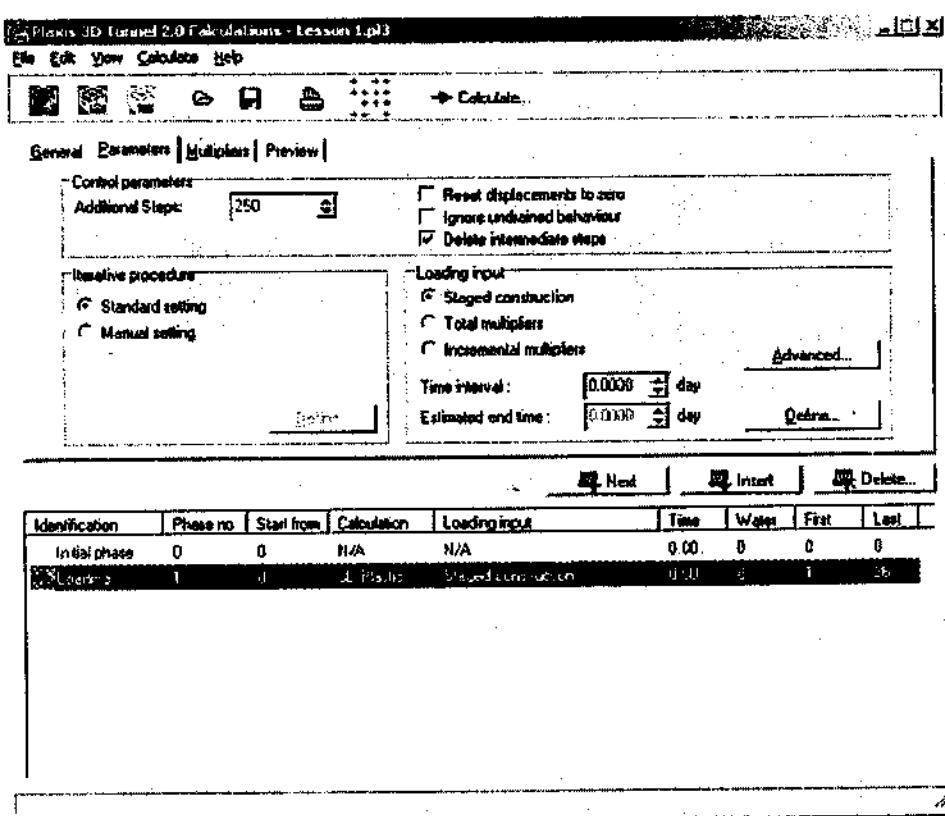
Nhấn nút <Define> để nhập *Staged construction*.

Chú ý:

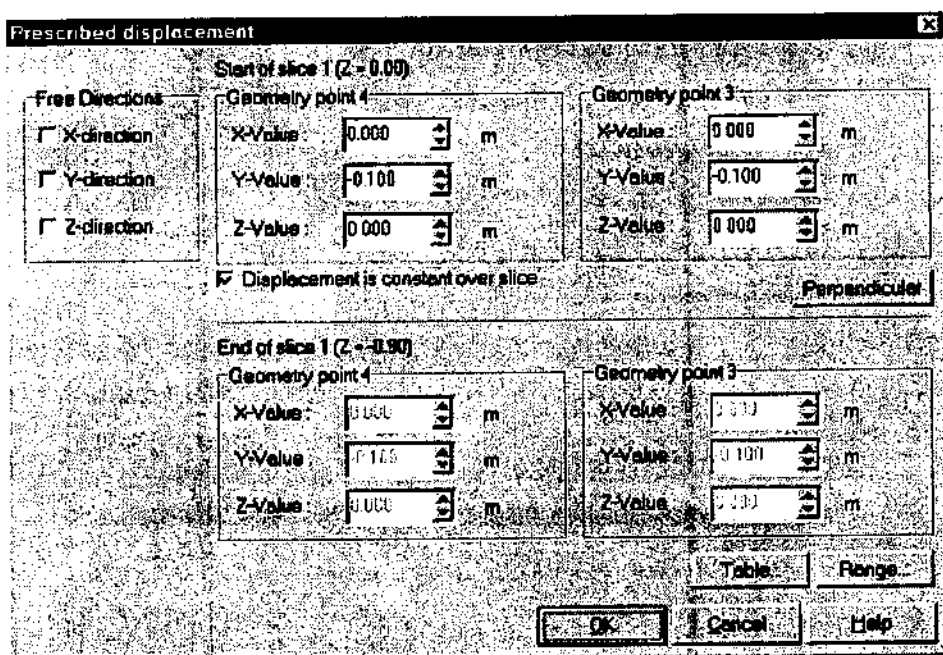
Trong cửa sổ *Staged construction* chọn tab của lát 1.



Hình 3.37. Cửa sổ tính toán Calculation



Hình 3.38. Cửa sổ tính toán và trang tính Parameters



Hình 3.39. Cửa sổ khai báo chuyển vị cưỡng bức

Để lập lại chuyển vị cho lát 1, nhấn chuột đơn lên đường mô hình tương ứng. Tuy nhiên, trong quá trình tạo mô hình, chuyển vị quy định được đặt tự động là -1,0 theo phương Y (giá trị mặc định). Trong tính toán này, chúng ta muốn đứng ở chuyển vị bằng -1,0m. Do đó, chuyển vị phải được nhấp đúp, khi đó cửa sổ nhập chuyển vị xuất hiện như trên hình 3.39.

Nhập giá trị -0,1 theo trục Y cho tất cả các điểm mô hình (có thể sử dụng lựa chọn chuyển vị là hàng số cho một lát). Cần chắc chắn rằng không có hướng nào là tự do trong nhóm hướng tự do.

Khi định nghĩa tất cả các giai đoạn xây dựng, có thể xem ở trạng thái 3D bằng cách nhấn nút <Preview>. Việc này cho phép kiểm tra trực tiếp bằng mắt trước khi tiến hành tính toán.

Sau khi xem xong, nhấn nút <Update> để quay trở lại mô hình các trạng thái xây dựng. Nếu đã thỏa mãn, nhấn nút <Update> để quay trở lại chương trình tính toán.

Các định nghĩa tính toán đã hoàn thành. Trước khi đã bắt đầu tính toán nên chọn các nút hoặc các điểm ứng suất để sau này tiến hành vẽ đường cong mối quan hệ tải trọng – biến dạng hoặc ứng suất biến dạng. Để thực hiện điều này tiến hành theo các bước sau:



Nhấn chuột vào nút *Set point for curves* trên thanh công cụ. Một cửa sổ sẽ được mở ra, biểu diễn tất cả các nút của các phần tử hữu hạn trong mô hình.

Chọn nút trong *Front Plane* ở góc trên cùng bên trái. Nút được chọn sẽ có chỉ dẫn là “A”. Nhấn chuột vào nút <Update> để quay trở lại cửa sổ tính toán.

Trong cửa sổ tính toán, nhấn nút <Calculate>, chương trình tính toán sẽ bắt đầu chạy. Tất cả các pha tính toán được chọn để thể hiện được chỉ dẫn bằng mũi tên màu xanh (→) (trong trường hợp này chỉ có một pha) và được điều khiển bằng các thông số trong *Start from phase*.

Trong quá trình tính toán, một cửa sổ tính toán sẽ xuất hiện để hiển thị các thông tin về quá trình tính toán như trên hình 3.40. Các thông tin liên tục được cập nhật bao gồm đường cong tải trọng-biến dạng, mức tải trọng và các thông số vòng lặp (số vòng lặp, sai số, điểm dẻo...). Trong khi tính toán các giai đoạn xây dựng, bội số tải trọng ΣM_{stage} được tăng dần từ 0,0 đến 1,0. Xem phần tham khảo để biết thêm thông tin chi tiết về cửa sổ thông tin tính toán và ý nghĩa của bội số tải trọng.

Total multipliers at the end of previous loading step				Calculation progress	
Σ -Mstage:	0.359	PMax	0.000		
Σ -MloadA:	1.000	Σ -Marea:	1.000		
Σ -MloadB:	1.000	Force-X:	0.000		
Σ -Mweight:	1.000	Force-Y:	-169.200		
Σ -Msf:	1.000	Force-Z:	0.000		
		Stiffness:	0.126		
		Time:	0.000		
Iteration process of current step					
Current step:	11	Max. steps:	250	Element	384
Iteration:	3	Max. iterations:	60	Decomposition:	100 %
Global error:	0.015	Tolerance:	0.010	Calc. time:	56 s
Plastic points in current step					
Plastic stress points:	466	Inaccurate	89	Tolerated:	50
Plastic interface points:	0	Inaccurate	0	Tolerated:	3
Tension points:	72	Cap/Hard points:	0	Apex points:	0
Reaction forces ...					Cancel

Hình 3.40. Cửa sổ thông tin tính toán

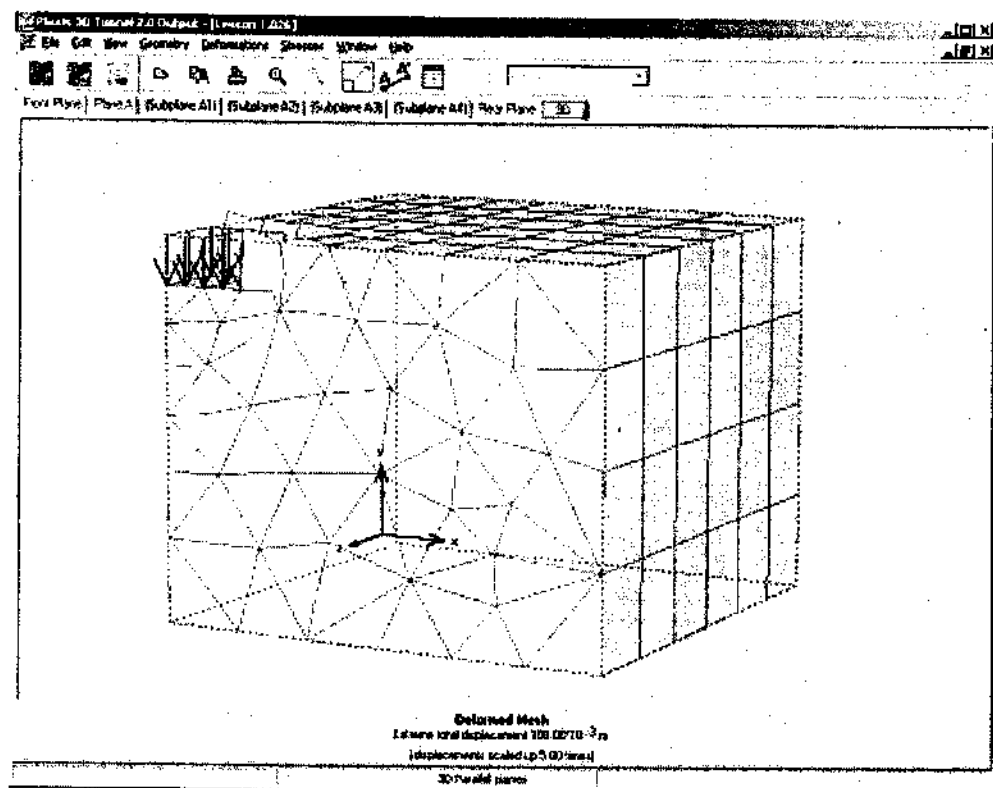
Khi quá trình tính toán kết thúc, danh sách các pha tính toán được cập nhật và thư thoại xuất hiện tương ứng trong hộp nhớ *Log infor*. Hộp nhớ *Log infor* cho biết quá trình tính toán có thành công hay không.

Để kiểm tra tác dụng của lực sau khi tính toán, nhấn phím tab *Multiplier* và chọn nút *Reached values*. Với bài toán hiện tại, giá trị lực theo phương Y là thích hợp. Giá trị này ứng với tổng lực tác dụng lên 1/4 móng. Để đạt được tổng lực áp dụng, giá trị của lực theo phương Y phải được nhân với 4 (được giá trị khoảng 1200 kN). Cũng có thể thấy thông số Σ Mstage đạt được bằng 1,0 có nghĩa là các giai đoạn xây dựng đã hoàn thành.

3.2.1.2.3. Xem kết quả

Sau khi quá trình tính toán kết thúc, có thể xem các kết quả tính toán trong chương trình Output. Trong cửa sổ hiển thị kết quả có thể xem chuyển vị và ứng suất trong mô hình dây dủ 3D. Để xem kết quả phân tích móng, thực hiện theo các bước sau đây:

Nhấn chuột vào nút <Output> trên thanh công cụ, chương trình Output bắt đầu chạy và biểu diễn biến dạng của lưới phần tử 3D ở pha tính toán cuối cùng, và chuyển vị lớn nhất như trên hình 3.41. Có thể tăng tỉ lệ của biến dạng để chúng có thể hiện lên rõ ràng.



Hình 3.41. Lưới biến dạng

Chọn *Total displacements* từ thực đơn *Deformations*. Trên hình vẽ biểu diễn tổng chuyển vị của tất cả các nút bằng các mũi tên.

Trong hộp kết hợp trên thanh công cụ hiện tại là *Arrows*. Chọn *Shadings* từ hộp kết hợp. Kết quả biểu diễn tổng chuyển vị được tô bóng màu.

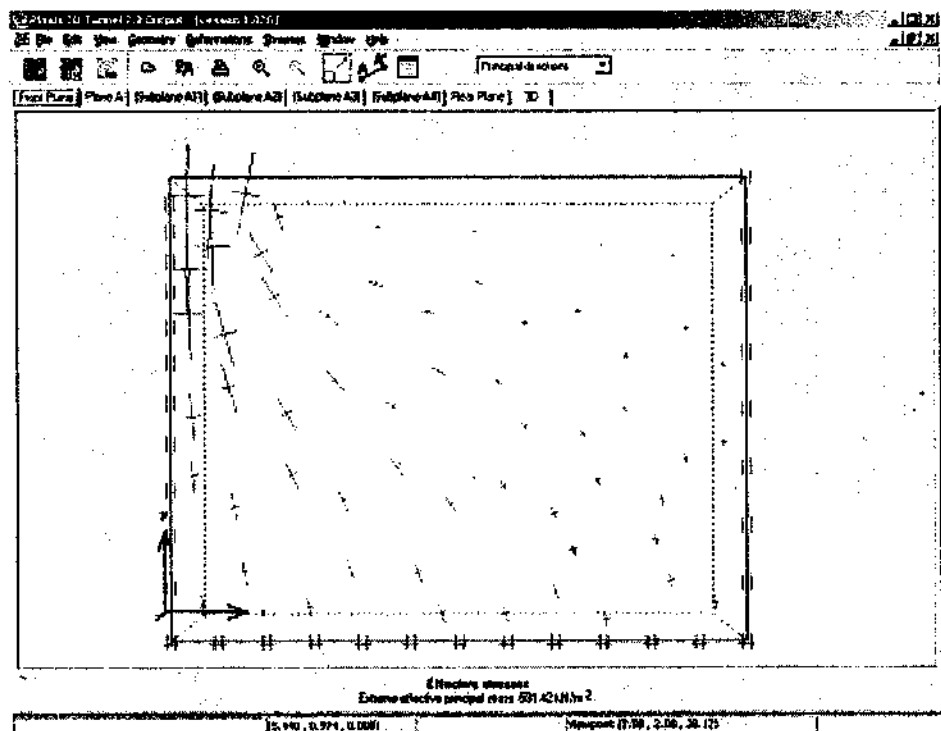
Chọn *Contour lines* từ hộp kết hợp trên thanh công cụ. Trên giao diện sẽ hiện ra các đường đồng chuyển vị.

Chọn mặt trước (tab thứ nhất) để biểu diễn các đường cùng chuyển vị với ký hiệu tương ứng với các chỉ số. Tất cả các đường và ký hiệu đều sẵn có trong tất cả các mặt. Có thể thay đổi vị trí của các đường này bằng cách sử dụng lựa chọn *Scan line* trong thực đơn *Edit*.

Khi mặt đầu tiên đang hoạt động, chọn *Effective stresses* từ thực đơn *Stresses*. Trên hình vẽ sẽ biểu diễn kết quả hướng và độ lớn của các thành phần ứng suất chính của mặt trước (hình 3.42).



Nhấn nút *Table* trên thanh công cụ. Một cửa sổ mới được mở ra biểu diễn các giá trị ứng suất Cartesian tại mỗi điểm ứng suất của tất cả các phần tử.



Hình 3.42. Biểu diễn kết quả thành phần ứng suất chính

3.2.1.3. Móng mềm

Móng được mô hình như một bản mềm, do đó phải thay đổi tính toán. Điều này cho phép tính toán lực tác dụng lên móng. Hình dạng mô hình được sử dụng trong bài toán này giống như trong bài toán trước. Quá trình tính toán dựa trên cơ sở áp dụng tải trọng hơn là chuyển vị. Do đó không cần phải tạo mô hình mới, bạn có thể bắt đầu từ mô hình trong ví dụ trước, thay đổi và lưu lại với một tên khác.

3.2.1.3.1. Nhập dữ liệu

Để thực hiện phân tích tiến hành theo các bước dưới đây:

Thay đổi hình dạng mô hình:



Nhấn nút **Go to Input** ở bên trái của thanh công cụ.

Chọn **File** ở ví dụ trước từ cửa sổ **Create/Open project**.

Chọn **Save as** từ thực đơn **File**. Nhập tên cho dự án.

Chọn các đường biểu diễn chuyển vị và nhấn phím **** trên bàn phím để xóa các đường này.



Nhấn nút **Plate** trên thanh công cụ.

Di chuyển đến vị trí có tọa độ (0,0; 4,0) rồi nhấn chuột trái.

Di chuyển đến vị trí (0,9; 4,0) và nhấn chuột trái sau đó nhấn chuột phải để kết thúc lệnh vẽ. Một tấm móng từ điểm 3 đến điểm 4 được tạo ra với giả định là móng mềm.

Thay đổi điều kiện tải trọng:



Nhấn nút *Standard fixities*, trong lựa chọn *Standard fixities*.



Nhấn nút *Distributed loads – load system* trên thanh công cụ.

Nhấn chuột vào điểm (0,0; 4,0) và (0,9; 4,0).

Nhấn nút chuột phải để kết thúc lệnh. Sử dụng các giá trị mặc định của tải trọng kéo ($1,0 \text{ kN/m}^2$ vuông góc với đường biên).

Nhập các đặc tính vật liệu cho móng:



Nhấn nút *Material Set*.

Chọn *Plates* từ hộp kết hợp *Set type* trong cửa sổ *Material Set*.

Nhấn nút *<New>* một cửa sổ mới xuất hiện cho phép nhập các đặc tính của móng.

Viết “*Footing*” vào trong hộp *Identification* và chọn kiểu vật liệu là *Elastic*.

Nhập các thông số đặc tính vật liệu như trong bảng 3.12.

Nhấn nút *<OK>*. Một dữ liệu mới được thiết lập xuất hiện trong cửa sổ *Material Set*.

Kéo “*Footing*” đến vùng bản vẽ và nhả lên móng. Chú ý con trỏ sẽ thay đổi hình dạng để chỉ dẫn khi nào nó phù hợp với vật liệu được thiết lập. Tấm móng sẽ nhấp nháy màu đỏ và thay đổi màu sắc từ xanh nhạt đến xanh đậm, cho biết vật liệu đã được gán các đặc tính.

Đóng cửa sổ dữ liệu lại bằng cách nhấn nút *<OK>*.

Bảng 3.12. CÁC ĐẶC TÍNH VẬT LIỆU CỦA MÓNG

Các thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Độ cứng	EA	$5,0.10^6$	kN/m
Khả năng chống uốn	EI	$8,5.10^3$	kNm^2/m
Chiều dày tương đương	d	0,143	m
Trọng lượng	w	0,0	kN/m/m
Hệ số Poisson	v	0,0	

Tạo lưới 2D



Nhấn chuột vào nút *Mesh generation* để tạo phần tử hữu hạn lưới 2D. Một lời cảnh báo xuất hiện cho biết bằng cách tạo lưới, các giai đoạn thi công được xác định. Nhấn nút *<OK>*.

Sau khi xem lưới, nhấn nút <Update>.

Tạo lưới 3D



Nhấn nút Generate 3D mesh trên thanh công cụ hoặc chọn lựa chọn *Generate 3D mesh* từ thực đơn *Mesh*. Chấp nhận vị trí mặt cắt ngang hiện tại (-5,00; -9,00; 0,00) và nhấn nút <Generate>.

Sau khi xem lưới 3D, nhấn nút <Update> để quay trở lại cửa sổ mô hình.

Điều kiện ban đầu:



Nhấn nút *Initial conditions*.



Trong dự án hiện tại không có áp lực để xác định hình dạng chúng ta nhấn vào biểu tượng “Switch” (công tắc) trên thanh công cụ.

Trong mô hình bạn có thể thay tải trọng mở rộng tác dụng lên móng không hoạt động.



Nhấn nút *Generate initial stresses*, khi đó hộp thoại *K₀-procedure* xuất hiện.

Giữ nguyên $\Sigma\text{Mueight}=1,0$ và chấp nhận giá trị mặc định của K_0 .

Nhấn nút <OK> để tạo ra tải trọng ban đầu.

Sau khi xem tải trọng ban đầu xong, nhấn nút <Update>.

Nhấn nút <Calculate> và xác nhận việc lưu trữ file hiện tại.

3.2.1.3.2. Tiến hành tính toán

Xác định lại pha tính toán đầu tiên bằng các thông số trong trang tính và nhấn nút <Define> trong hộp nhập tải trọng (Loading input = staged construction).

Trong cửa sổ *Staged Construction* kích hoạt *Plate* và *Distributed Load System A* trong *Slice 1* bằng cách nhấn các đường thẳng tương ứng. Thực đơn lựa chọn các tham số xuất hiện. Khi *Distributed Load System A* hiển thị sáng lên, nhấn nút <Change> để thay đổi tải trọng từ các giá trị mặc định (-1) đến -370kN/m². (Chú ý, áp lực này tương ứng với tải trọng là 1200kN được sử dụng để tính toán trong mô hình ở phần trước).

Nhấn nút xem trước để đặt các giai đoạn thi công. Nhấn nút <Update> để quay trở lại các giai đoạn thi công và một <Update> khác để quay trở lại phần tính toán.



Kiểm tra các nút ứng suất của đường cong tải trọng – chuyển vị để quan sát nếu các điểm cần thiết vẫn được chọn (lưới đã được tạo ra nên các nút có thể thay đổi).

Nhấn nút <Calculate> để bắt đầu tính toán.

3.2.1.3.3. Xem kết quả

Sau khi tính toán xong, có thể xem kết quả tính toán cuối cùng bằng cách nhấn nút <Output> khi pha tính toán cuối cùng được lựa chọn. Có thể so sánh chuyển vị và ứng suất với kết quả tính toán được ở phần trước.

Chọn tab ở trước mặt phẳng và nhấn đúp chuột vào móng. Một cửa sổ mới mở ra biểu diễn chuyển vị hoặc momen tác dụng lên móng.

Chú ý, thực đơn thay đổi. Chọn các lựa chọn khác nhau trong thực đơn Forces để xem các lực tác dụng lên móng.

Vẽ đường cong tải trọng- biến dạng:

Thông thường kết quả tính toán cuối cùng thường được sử dụng để vẽ đường cong tải trọng – biến dạng. Để thực hiện điều này sử dụng chương trình con thứ 4 của 3D Tunnel. Để tạo ra đường cong tải trọng – biến dạng như trên hình 3.30, tiến hành theo các bước sau đây:



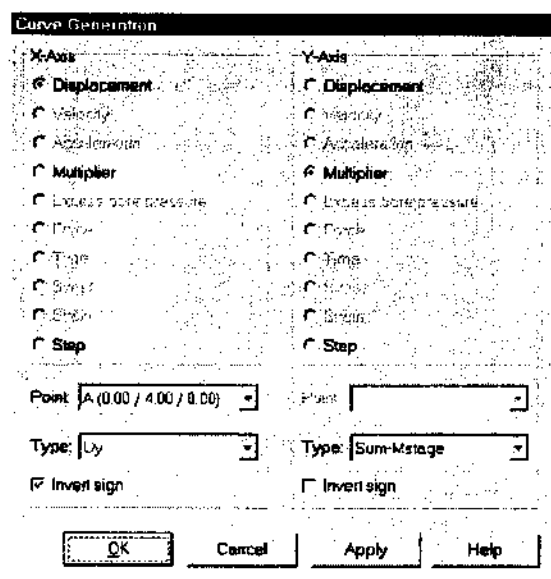
Nhấn nút *Go to curves program* trên thanh công cụ.

Chọn *New curve* từ hộp thoại *Create/Open curve*.

Chắc chắn rằng kiểu file trong hộp kết hợp đã được đặt là Plaxis 3D Tunnel project file. Chọn tên file cuối cùng của dự án móng và nhấn nút <Open>.

Cửa sổ tạo đường cong xuất hiện (hình 3.43) bao gồm 2 cột (trục - X và trục - Y), với rất nhiều nút bấm và 2 hộp kết hợp cho mỗi cột. Kết hợp các lựa chọn của mỗi trục xác định số lượng các điểm được thể hiện trên mỗi trục.

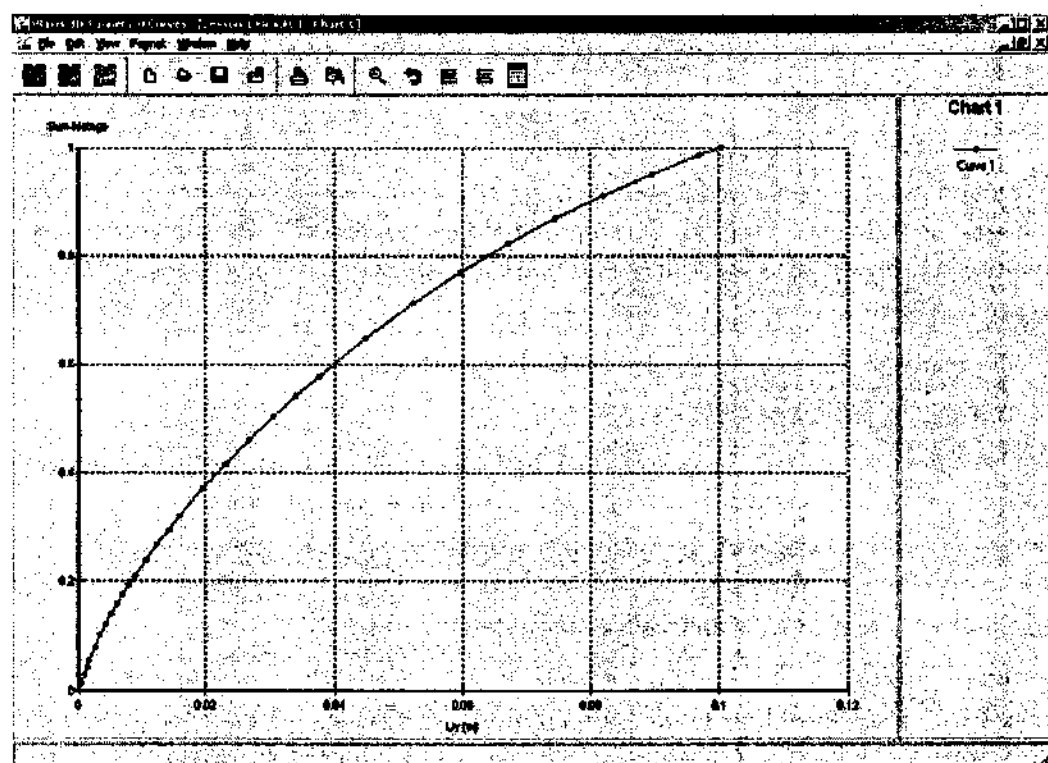
Trong cột trục - X chọn nút bấm *Displacement*, trong hộp kết hợp *Point* chọn A(0.00/4.00/0.00), trong hộp kết hợp *Type* chọn U_y . Đánh dấu vào hộp lựa chọn *Invert sign*. Khi đó, số lượng các điểm được thể hiện trên trục - X là chuyển vị thẳng đứng của điểm A (điểm giữa của móng).



Hình 3.43. Cửa sổ tạo đường cong

Trong trục – Y, chọn nút bấm *Multiplier* và từ hộp kết hợp *Type* chọn ΣM_{Staged} . Khi đó các giá trị được thể hiện trên trục – Y là tổng hợp các tải trọng tác dụng. $\Sigma M_{\text{Staged}} = 1$ tương ứng với tải trọng phân bố là 370 kN/m^2 .

Nhấn nút **<OK>** để chấp nhận các giá trị nhập vào và tiến hành vẽ đường cong tải trọng – biến dạng. Cửa sổ biểu diễn đường cong này như trên hình 3.44

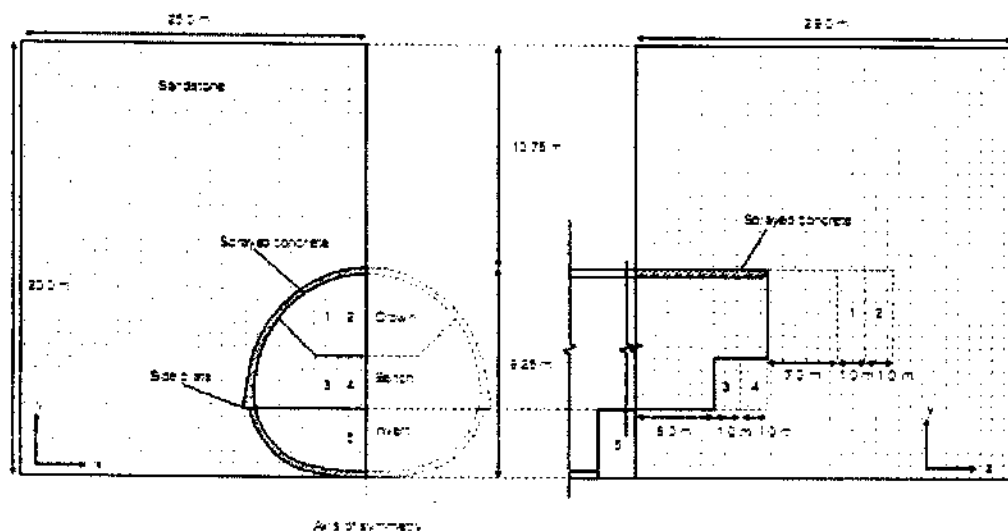


Hình 3.44. Đường cong tải trọng – biến dạng của móng

3.2.2. Bài tập 2: Thi công đường hầm theo phương pháp NATM

Trong phần này sẽ nghiên cứu các giai đoạn xây dựng đường hầm theo phương pháp NATM. NATM có đặc trưng là đường hầm được thi công bởi các phần khác nhau (ví dụ, phần đỉnh vòm, phần thân và phần đáy), trong đó phần sau được thi công sau phần trước một khoảng cách nhất định. Sau mỗi phần thi công đường hầm được gia cố tạm thời bằng bê tông phun. Vỏ chống cố định có thể được lắp đặt sau đó nếu điều kiện đất đá yêu cầu. NATM có thể áp dụng trong đá, đá mềm, đất cứng hoặc sét cứng.

Trong ví dụ này chúng ta nghiên cứu đường hầm được đào trong khối đá cát kết theo phương pháp NATM như trên hình 3.45. Đường hầm được chia thành 3 phần thi công: phần đỉnh vòm, phần thân và phần đáy.



Hình 3.45. Mặt cắt ngang (bên trái) và mặt cắt dọc (bên phải) đường hầm thi công theo phương pháp NATM

Đây là của phân tích mô hình 3D cho đường hầm được thi công theo phương pháp NATM và để xác định các pha tính toán. Mô hình được xây dựng trên cơ sở tiết kiệm thời gian tính toán và bộ nhớ. Thời gian tính toán cho mô hình này mất khoảng 0,5 giờ.

3.2.2.1. Mô hình

Đá cát kết được xem như vật liệu đồng nhất. Đỉnh hầm cách mặt đất 10,75m. Chiều cao đường hầm là 9,25m và chiều rộng là 10m. Tuy nhiên chỉ có phần đỉnh vòm và phần thân được thể hiện trên mô hình. Tiến độ đào của các phần này là 1,0m. Sau mỗi chu kỳ đào, đường hầm được gia cố bằng bê tông phun. Thứ tự các giai đoạn thi công sau phần vòm một khoảng cách nhất định. Trên mô hình thể hiện phần thân hầm được thi công có chiều dài 8m, phần đáy hầm được thi công sau đó nhưng không thể hiện trên mô hình. Do mô hình có tính chất đối xứng trục và để tiết kiệm thời gian tính toán, chúng ta chỉ mô hình một nửa đường hầm. Chiều dài mặt cắt dọc mô hình là 29m tính từ mặt phẳng trung tâm, 10m tính từ gương hầm dẫn trước. Tại giao điểm giữa phần thân và phần đáy, vỏ chống có chiều dày đủ lớn để gia cố phần đỉnh vòm. Chiều dày này được mô hình như trên hình 3.45.

Để tạo ra mặt cắt ngang mô hình và phần tử hữu hạn lưới thực hiện theo các bước sau đây:

Đặt các giá trị chung

Chạy chương trình và chọn *New project* từ hộp thoại *Create/Open project*.

Trong tab *Project* của cửa sổ *General settings*, nhập tiêu đề và kiểm tra chắc chắn rằng *Declination* = 0° trong hộp *Model orientation*.

Trong trang tab *Dimensions* giữ nguyên các đơn vị mặc định (*Length* = m; *Force*=kN; *Time*=day) và nhập kích thước theo phương ngang (*Left*, *Right*) 0,0 đến 25,0 và kích thước theo phương thẳng đứng (*Bottom*, *Top*) 0,0 đến 20,0. Trong hộp *Grid* nhập *Spacing*=1m và *Number of interval*=2.

Nhấn nút<OK>, sau đó sẽ có cửa sổ vẽ mô hình xuất hiện.

Mô hình, lớp và cấu trúc



Chọn nút *Geometry line* trên thanh công cụ, di chuyển con trỏ đến vị trí (0,0) và nhấn nút chuột trái. Di chuyển 25m về phía bên phải tại vị trí (25,0) và nhấn tiếp nút chuột trái. Di chuyển 20m lên trên tại vị trí (25,20) và nhấn nút chuột trái. Di chuyển 25m sang vị trí (0,20) và nhấn nút chuột trái. Cuối cùng di chuyển về vị trí ban đầu (0,0) rồi nhấn nút chuột trái. Nhấn nút chuột phải để dừng lệnh vẽ.



Nhấn nút *Tunnel* và *Tunnel designer* sẽ xuất hiện. Chọn nút *Left haft tunnel* để tạo ra một đường hầm. Chọn kiểu đường hầm NATM tunnel. Chiều dày = 0. Chiều dày lựa chọn chỉ được sử dụng để tạo ra đường biên đôi, ví dụ để tạo ra khối vỏ chống của đường hầm. Trong trường hợp này vỏ chống của đường hầm có dạng vỏ.



Chắc chắn rằng đường hầm có dạng vỏ (biểu diễn bằng đường xanh đậm), nhưng không có mặt phân cách (biểu diễn bằng đường nét đứt). Có thể di chuyển đường phân cách khỏi đường hầm bằng cách nhấn nút *Remove all interface*. Các đường phân cách không cần thiết bởi vì giao tuyến giữa vỏ chống và khối đá xung quanh đường hầm là khá tốt.

Mặt cắt ngang đường hầm được tạo ra từ các đoạn khác nhau. Các đoạn này có thể là cung tròn (Arc), đường thẳng (Line) hoặc góc (Corner). Góc được sử dụng để biểu diễn hình dạng chuyển tiếp giữa các đoạn khác nhau. Trong ví dụ này, phần đáy hầm không được mô hình và “đáy hầm” được tạo thành bằng đường thẳng ngay sau góc nối tiếp giữa phần thân và đỉnh vòm như trên hình 3.46.

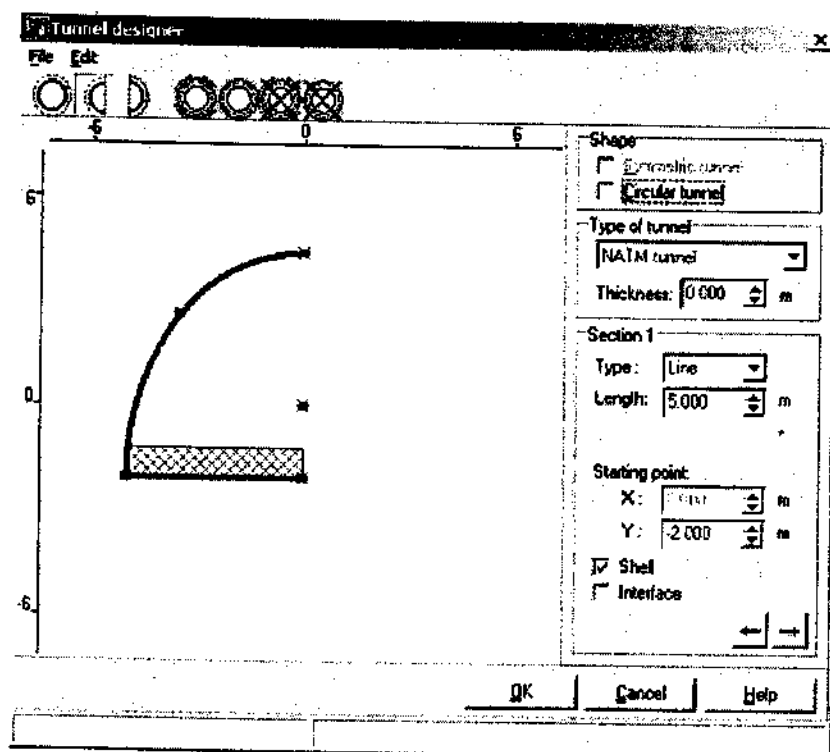
Phần 1: Chọn kiểu đường thẳng (Line). Nhập chiều dài bằng 5m. Nhập giá trị tọa độ theo phương trục Y của tâm đường hầm là -2m. Nhấn nút < ➡ > để tiếp tục.

Phần 2: Chọn kiểu góc (Corner). Nhập giá trị góc bằng 90°.

Phần 3: Chọn kiểu cung tròn (Arc). Giữ nguyên những giá trị mặc định của bán kính (4,37m) và góc (53°). Những giá trị này được tự động xác định để hoàn thiện một nửa đường hầm. Tất cả các thông số của mặt cắt đường hầm như trình bày trên bảng 3.3.

Đóng cửa sổ thiết kế hầm bằng cách nhấn nút <OK>.

Di chuyển con trỏ đến vị trí (25,5) và nhấn chuột. Đường hầm đã được tạo xong về hình dạng.



Hình 3.46. Mô hình nửa trái đường hầm thi công theo NATM

Bảng 3.13. CÁC THÔNG SỐ HÌNH HỌC CHO TỪNG PHẦN CỦA NỬA TRÁI ĐƯỜNG HẦM

Phần	Dạng hình học	Chiều dài/bán kính (m)	Góc (độ)
1	Đường thẳng- Line	5,00	-
2	Góc – Corner	-	90
3	Cung tròn – Arc	7,50	37
4	Cung tròn – Arc	4,37	53

Đường hầm được chia thành phần đỉnh và phần bậc bằng một đường thẳng.

Chọn lại nút *Geometry line*. Di chuyển con trỏ đến vị trí (21,5; 7,5). Nhấn chuột lên điểm này.

Di chuyển đến vị trí (23,0; 6,0) và nhấn chuột.

Di chuyển đến vị trí (25,0; 6,0) và nhấn chuột.

Chọn nút *Plate*, di chuyển chuột đến vị trí (20,0; 3,0) - điểm góc của đường hầm, và nhấn chuột lên điểm này. Di chuyển 0,5m về bên trái (19,5; 3,0) và nhấn tiếp chuột.

Điểm cuối cùng của mặt phẳng vỏ chống nằm trên vỏ trống đường hầm và cần phải chính xác. Do đó, cần nhập các giá trị tọa độ của điểm cuối cùng này từ bàn phím (20,27; 5,0).

Điều kiện biên



Để tạo điều kiện biên, nhấn nút *Standard fixities* trên thanh công cụ. Chương trình sẽ tiến hành cố định toàn bộ phần bên dưới, thanh cuốn dọc ở mặt phẳng dọc và cố định điểm cuối cùng của vỏ chống trong mặt phẳng đối xứng. Cố định quay sẽ ngăn cản sự quay của vỏ chống. Điều kiện biên này thích hợp với mô hình đối xứng biên bên phải (đường thẳng trung tâm của đường hầm thực tế). Hình dạng của đường hầm được biểu diễn như trên hình 3.47.

Đặc tính vật liệu

Đá cát kết đã được gán các thông số vật liệu. Lớp bê tông phun được tạo ra và gán các thông số cho loại vật liệu này. Các đặc tính của vật liệu được cho trên bảng 3.14 và bảng 3.15. Để xác định các đặc tính này, tiến hành theo các bước sau đây:

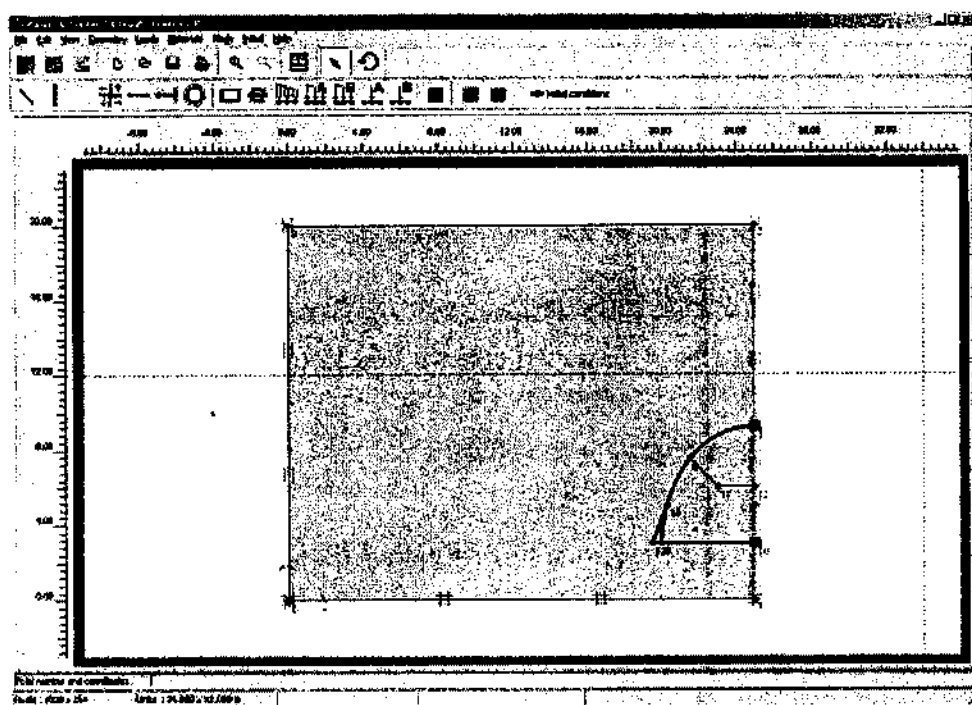


Nhấn nút *Material Set* trên thanh công cụ. Chọn loại *Soil & interface*. Nhấn nút *<New>* để tạo một dữ liệu mới.

Đối với lớp đá kết, nhập “Sandstone” vào mục *Identification* và chọn *Moist-Tensile Strength* là 5 kN/m^2 , nhấn nút *<Advanced>* trong trang tính *Parameter*. Chắc chắn rằng lựa chọn *Tension cut off* đã được đánh dấu.

Đặc tính bề mặt giao diện không có liên quan trong ví dụ này. Nhấn nút *<OK>* để đóng cửa sổ dữ liệu.

Kéo và thả dữ liệu lớp đá cát kết vào mô hình.



Hình 3.47. Hình dạng mô hình đường hầm thi công theo NATM

Bảng 3.14. ĐẶC TÍNH VẬT LIỆU CỦA LỚP ĐÁ CÁT KẾT

Thông số	Tên	Đá cát kết	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	Mohr-Coulomb	-
Loại vật liệu	Type	Drained	-
Trọng lượng riêng lớp đất đá bên trên nước ngầm	γ_{unsat}	20	kN/m ³
Trọng lượng riêng lớp đất đá bên dưới nước ngầm	γ_{sat}	20	kN/m ³
Môđun đàn hồi (Young)	E_{ref}	$2 \cdot 10^5$	kN/m ²
Hệ số Poisson	ν	0,25	-
Lực dính kết	C_{ref}	25	kN/m ²
Góc ma sát	φ	35	độ
Góc trương nở	ψ	5	độ
Độ bền kéo	TS	5	kN/m ²

Đặt thông số *Set type* trong cửa sổ *Material sets* là *Plates* và nhấn nút <New>. Nhập “*Sprayed concrete lining*” trong phần *Identification* của cửa sổ dữ liệu và nhập các thông số vật liệu như trên bảng 3.15. Nhấn nút <OK> để đóng cửa sổ nhập dữ liệu.

Kéo và thả lớp bê tông phun vào phần mô hình vỏ chống của đường hầm. Vỏ chống sẽ thay đổi từ màu xanh nhạt sang màu xanh đậm khi dữ liệu đã được gán chính xác cho mô hình.

Bảng 3.15. ĐẶC TÍNH VẬT LIỆU CỦA LỚP BÊ TÔNG PHUN

Thông số	Tên	Giá trị	Đơn vị
Loại vật liệu	Material type	Elastic	-
Độ cứng	EA	$3 \cdot 10^6$	kN/m
Khả năng chống uốn	EI	$2,25 \cdot 10^4$	kNm ² /m
Chiều dày quy đổi	D	0,3	m
Trọng lượng	W	8,4	kN/m/m
Hệ số Poisson	ν	0,15	-

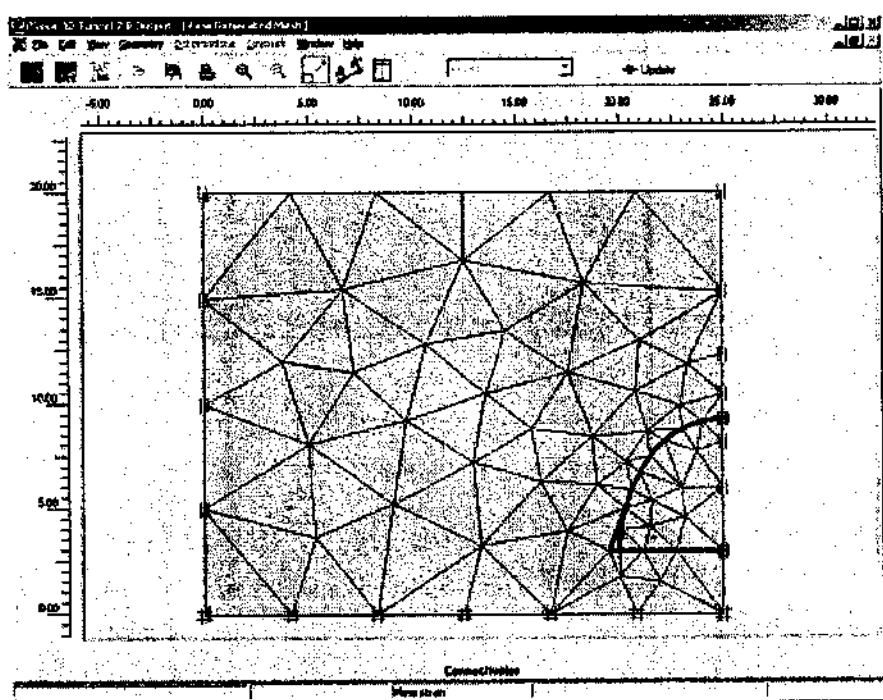
Tạo lưới 2D

Để tiến hành tạo phần tử hữu hạn lưới, thực hiện theo các bước sau đây:



Nhấn nút *Generate mesh* trên thanh công cụ. Một vài giây sau lưới thô được biểu diễn trong cửa sổ xuất hiện. Khi đường hầm có mô hình ở dạng mặt cắt ngang, chương trình 3D Tunnel sẽ tự động cải tiến lưới sao cho có thể xem được trong cửa sổ xuất kết quả. Tuy nhiên lưới vẫn còn thô trong ví dụ này. Nhấn nút <Update> để quay trở lại cửa sổ nhập hình dạng đường hầm.

Quay trở lại chương trình nhập dữ liệu, chọn đồng thời hai cụm liên cung bên trong đường hầm(giữ phím <Shift> trên bàn phím trong khi chọn). Trên thực đơn *Mesh*, chọn lựa chọn *Refine cluster*. Trên cửa sổ xuất kết quả sẽ thể hiện lưới đã được cải tiến (hình 3.48).



Hình 3.48. Phân tử hữu hạn lưới 2D của đường hầm NATM

Tạo lưới 3D

Để tiến hành tạo lưới 3D, một điều quan trọng cần phải chú ý là các giai đoạn thi công của đường hầm như trên hình 3.31. Các lát tiếp theo ở phía trước của mô hình có chiều dày tương ứng là 8,0m; 1,0m; 7,0m và 10,0m. Tổng chiều dài mô hình là 29m. Chú ý đến mặt phẳng phía trước mô hình tại vị trí 0,0m, 6 mặt phẳng Z mới được chèn vào có tọa độ như trên hình 3.49.

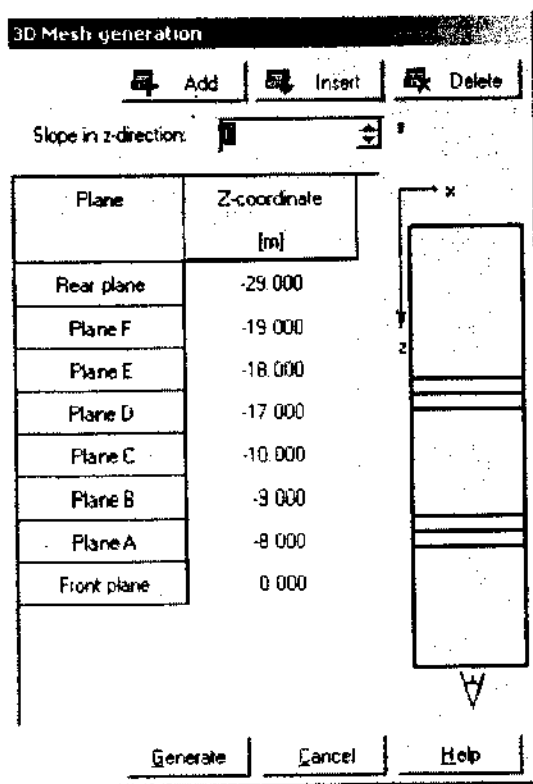
Để tạo lưới 3D, thực hiện theo các bước sau đây:

Nhấn nút *Generate 3D mesh* trên thanh công cụ hoặc chọn *Generate 3D mesh* từ thực đơn *Mesh*.

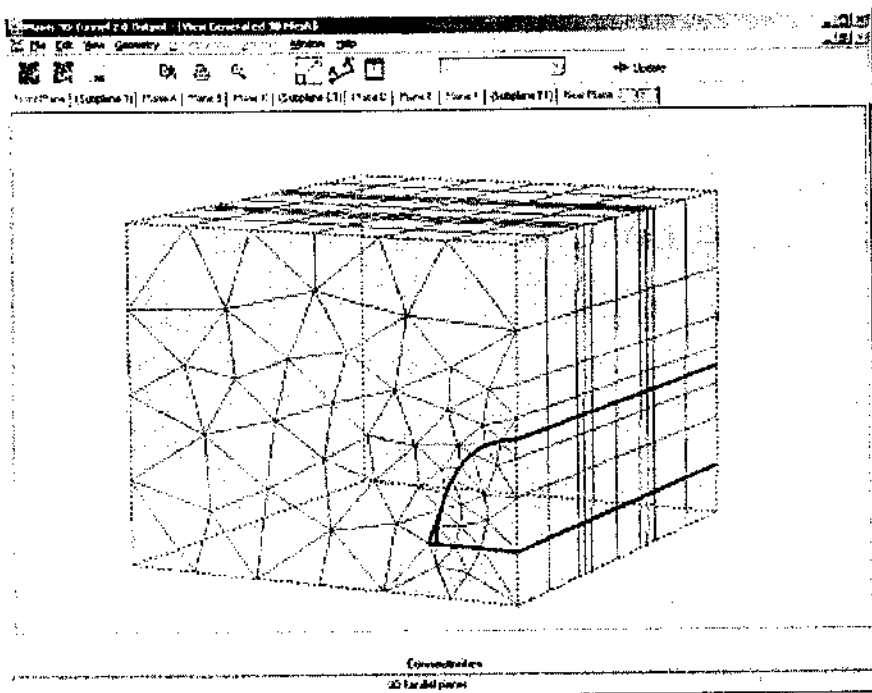
Nhấn 7 lần vào nút <Insert> và thay đổi tọa độ của mặt phẳng Z theo các thông số trên hình 3.49.

Nhấn nút <Generate>. Quá trình tạo lưới 3D bắt đầu và kết quả sẽ hiện ra trên cửa sổ xuất kết quả (hình 3.50).

Nhấn nút <Update> để quay trở lại mô hình nhập dữ liệu.



Hình 3.49. Tạo lưới 3D. Tọa độ mặt phẳng Z



Hình 3.50. Phần tử hữu hạn lưới 3D của đường hầm NATM

Điều kiện ban đầu

Các điều kiện ban đầu của dự án hiện tại không yêu cầu tạo ra áp lực nước mà chỉ yêu cầu tạo ra trạng thái ứng suất ban đầu.

Để tạo ra điều kiện ban đầu thích hợp, tiến hành theo các bước sau:



Nhấn nút *Initial condition* trên thanh công cụ.

Nhấn nút <OK> để chấp nhận các giá trị mặc định của đơn vị trọng lượng nước là 10kN/m^3 . Điều kiện về nước đã có tác dụng.



Do không có các điều kiện về nước ngầm nên thủ tục *Geometry configuration* được thực hiện bằng cách nhấn nút "switch" trên thanh công cụ.



Nhấn nút *Generate initial stresses* trên thanh công cụ. Hộp thoại K_0 – procedure xuất hiện.

Giữ nguyên tổng trọng lượng của đất bằng 1. Nhập giá trị $K_0=0,5$ cho tất cả các nhóm và nhấn nút <OK>.

Sau khi tiến hành tạo trường ứng suất ban đầu, kết quả sẽ hiện ra trên cửa sổ xuất kết quả. Nhấn nút <Update> để quay trở lại mục *Geometry configuration*.

Nhấn nút <Calculate>. Chọn <Yes> trong câu hỏi tương ứng có ghi lại dữ liệu không và nhập tên file.

3.2.2.2. Tính toán

Trong quá trình tính toán có chú ý đến 4 giai đoạn thi công khác nhau của đường hầm như trên hình 3.31. Trong thực tế, các giai đoạn thi công hầm được thực hiện liên tục. Do đó, trước tiên cần tạo ra trạng thái làm việc. Mỗi giai đoạn thi công lại được chia thành 2 giai đoạn là giai đoạn thi công trước khi vò chống tạm được lắp đặt và giai đoạn thi công vò chống tạm bê tông phun.

Trong chương trình PLAXIS, các quá trình có thể được mô phỏng bằng các lựa chọn tính toán trạng thái xây dựng. Staged construction có thể làm cho các thành phần như trọng lượng, tải trọng, độ cứng và độ bền của các phần tử hữu hạn trong mô hình có tác dụng hoặc không có tác dụng. Sử dụng tiện ích này cho chương trình tính toán cho ví dụ hiện tại để mô phỏng đường hầm thi công theo phương pháp NATM.

Staged construction chỉ có trong tính toán 3D Plastic. Để xác định tất cả các giai đoạn tính toán, thực hiện theo các bước sau đây:

Giai đoạn 1

- Trong giai đoạn đầu tiên, chương trình đã tự động tạo ra giai đoạn tính toán thứ nhất. Chấp nhận tất cả các thông số mặc định trong trang tính *General* (Calculation=3D Plastic. Start from phase=0-initial phase).

- Giữ nguyên các giá trị mặc định trong trang tính *Parameters* cho *Control parameters* và *Iterative procedure*. *Staged construction* đã được chọn trước trong hộp *Loading input*.

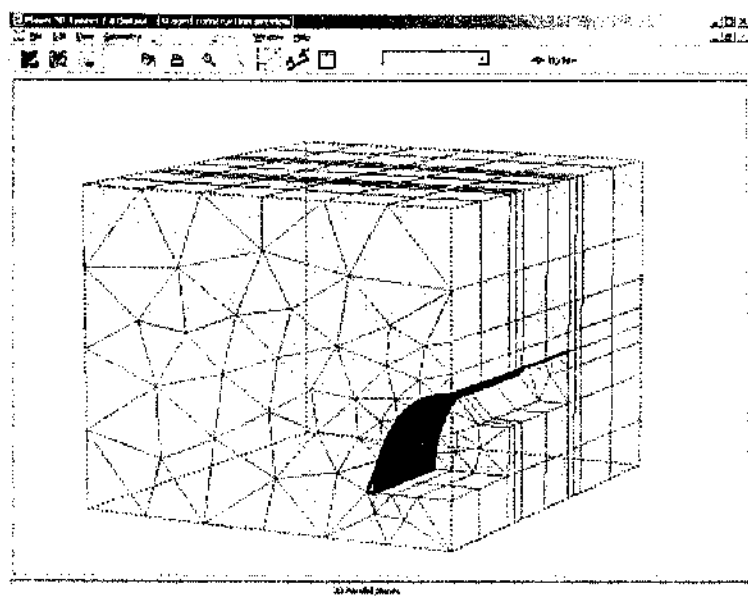
- Nhấn nút <Define>. Cửa sổ *Staged constructions* xuất hiện, biểu diễn <Front plane>

và phần hoạt động hiện tại của mô hình. Tắt Slice 1 bằng cách nhấn chuột lên Tab có tên *Slice 1*.

- Nhấn vào 2 liên cung bên trong đường hầm để chúng không hoạt động.
- Nhấn chuột lên vỏ chống được chấp nhận ở dưới để vỏ chống làm việc trong Slice 1.
- Chọn Tab *Slice 2*. Nhấn chuột lên đỉnh liên cung để nó không hoạt động trong phần này. Nhấn chuột lên phần trên cùng của vỏ chống để nó hoạt động trên phần này.
- Chọn Tab *Slice 3*. Nhấn chuột lên đỉnh liên cung để nó không hoạt động trong phần này. Nhấn chuột lên phần trên cùng của vỏ chống để nó hoạt động trên phần này.
- Chọn Tab *Slice 4*. Nhấn chuột lên đỉnh liên cung để nó không hoạt động trong phần này. Nhấn chuột lên phần trên cùng của vỏ chống để nó hoạt động trên phần này.
- Nhấn nút *Preview* để kiểm tra các trạng thái đã được xác định (xem hình 3.51). Sau khi kiểm tra, nhấn nút *<Update>* để quay trở lại hình dạng đường hầm và nút *<Update>* khác để quay trở lại cửa sổ tính toán.

Giai đoạn 2

- Trong cửa sổ tính toán nhấn nút *<Next>*.
- Chấp nhận tất cả các thông số mặc định trong trang tính *General* (Calculation type=3D Plastic. Start from phase=1- phase 1).
- Giữ nguyên các giá trị mặc định trong trang tính *Parameters* cho *Control parameters* và *Interactive procedure*. *Staged construction* đã được chọn từ hộp *Loading input*. Nhấn nút *<Define>*.
- Trong cửa sổ *Staged construction*, chọn *Slice 5* và không cho phần đỉnh hầm hoạt động. Tương ứng với phần vỏ chống không hoạt động.
- Nhấn nút *<Update>* để quay trở lại cửa sổ tính toán.



Hình 3.51. Các giai đoạn thi công đường hầm theo NATM

Giai đoạn 3

- Tạo một giai đoạn tính toán khác. Chấp nhận tất cả các giá trị mặc định trong trang tính *General* và *Parameters*. Trong hộp *Loading input (Staged contructions)*, nhấn nút *<Define>*.

- Trong cửa sổ *Staged contruction*, chọn *Slice 5* và không cho phần vỏ chống trên đỉnh hầm hoạt động. Nhấn nút *<Update>*.

Giai đoạn 4

- Tạo một giai đoạn tính toán khác. Chấp nhận tất cả các giá trị mặc định trong trang tính *General* và *Parameters*. Trong trang tính *Parameters* nhấn nút *<Define>* để bắt đầu của sổ *Staged contruction*.

- Trong cửa sổ *Staged contruction*, chọn *Slice 6* và không cho phần vỏ chống trên đỉnh hầm hoạt động. Nhấn nút *<Update>*.

Giai đoạn 5

- Tạo một giai đoạn tính toán khác. Chấp nhận tất cả các giá trị mặc định trong trang tính *General* và *Parameters*. Trong trang tính *Parameters* nhấn nút *<Define>* để bắt đầu của sổ *Staged contruction*.

- Trong cửa sổ *Staged contruction*, chọn *Slice 6* và không cho phần vỏ chống trên đỉnh hầm hoạt động. Nhấn nút *<Update>*.

Giai đoạn 6

- Tạo một giai đoạn tính toán khác. Chấp nhận tất cả các giá trị mặc định trong trang tính *General* và *Parameters*. Trong trang tính *Parameters* nhấn nút *<Defice>* để bắt đầu của sổ *Staged contruction*.

- Trong cửa sổ *Staged contruction*, chọn *Slice 2* và không cho phần vỏ chống trên đỉnh hầm hoạt động. Nhấn nút *<Update>*.

Giai đoạn 7

- Tạo một giai đoạn tính toán khác. Chấp nhận tất cả các giá trị mặc định trong trang tính *General* và *Parameters*. Trong trang tính *Parameters* nhấn nút *<Defice>* để bắt đầu của sổ *Staged contruction*.

- Trong cửa sổ *Staged contruction*, chọn *Slice 2* và không cho phần vỏ chống trên đỉnh hầm hoạt động. Nhấn nút *<Update>*.

Giai đoạn 8

- Tạo một giai đoạn tính toán khác. Chấp nhận tất cả các giá trị mặc định trong trang tính *General* và *Parameters*. Trong trang tính *Parameters* nhấn nút *<Defice>* để bắt đầu của sổ *Staged contruction*.

- Trong cửa sổ *Staged contruction*, chọn *Slice 3* và không cho phần vỏ chống trên đỉnh hầm hoạt động. Nhấn nút *<Update>*.

Giai đoạn 9

- Tạo một giai đoạn tính toán khác. Chấp nhận tất cả các giá trị mặc định trong trang tính General và Parameters. Trong trang tính Parameters nhấn nút <Defice> để bắt đầu của sổ Staged construction.

- Trong cửa sổ Staged construction, chọn Slice 3 và không cho phần vỏ chống trên đỉnh hầm hoạt động. Nhấn nút <Update>.

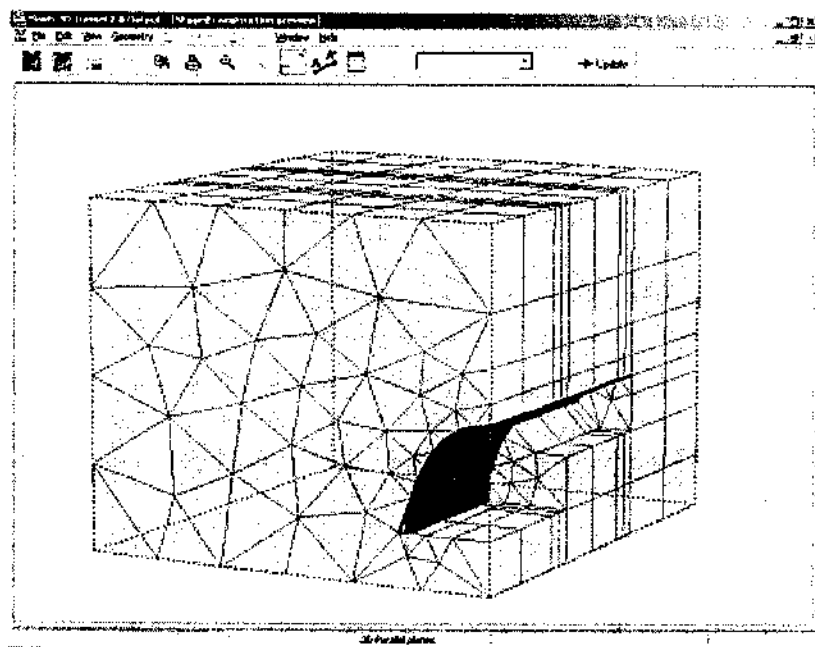
- Kiểm tra lần cuối bằng cách nhấn nút <Preview> (hình 3.52) sau đó nhấn tiếp nút <Update>.

- Quay trở lại cửa sổ Staged construction, nhấn nút <Update> để quay lại cửa sổ tính toán.

- Chọn nút trên cùng bên phải của *Front plane*.

- Nhấn nút <Stress points> để biểu diễn ứng suất điểm tại các nút khác nhau.

- Nhấn nút *Plane A Tab*. Chọn điểm ứng suất ở bên trên đường hầm và ở bên trái phần bậc. Chọn các điểm ứng suất màu sáng.



Hình 3.52. Giai đoạn tính toán cuối cùng của đường hầm thi công NATM

- Nhấn nút <Update> để quay trở lại cửa sổ tính toán.

- Bắt đầu chạy chương trình tính toán bằng cách nhấn nút <Calculation>.

3.2.2.3. Xem kết quả tính toán

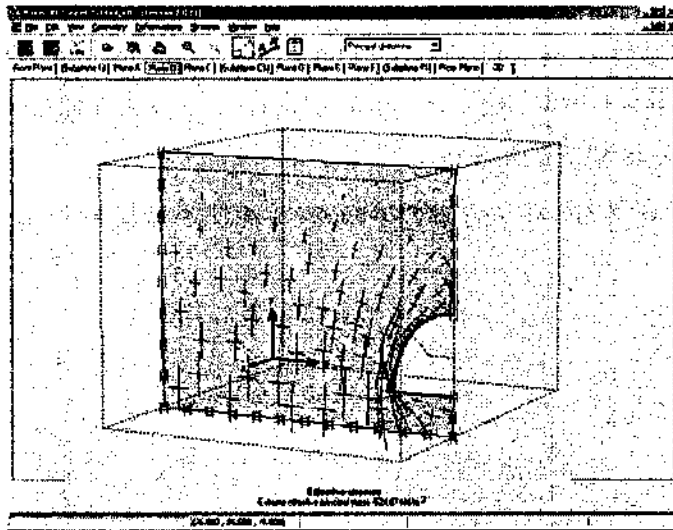
- Sau khi chương trình tính toán chạy xong, có thể xem kết quả của từng giai đoạn tính toán bằng cách chọn giai đoạn thích hợp trong cửa sổ tính toán và nhấn nút <Output>. Khi nhiều giai đoạn đồng thời được chọn (giữ phím <Ctrl> hoặc <Shift> trong khi chọn các giai đoạn).

đoạn) và nhấn nút <Output>, tất cả các giai đoạn đều được hiện ra trên cùng một cửa sổ. Trong trường hợp này chúng ta có thể dễ dàng so sánh kết quả của các giai đoạn khác nhau.

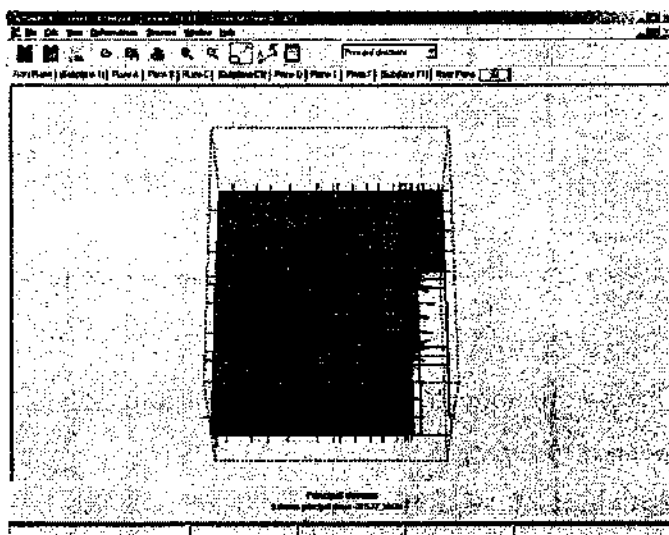
- Chọn giai đoạn tính toán cuối cùng và nhấn nút <Output>. Cửa sổ xuất kết quả sẽ hiện ra lưới biên dạng ở giai đoạn cuối cùng. Xem xét kết quả lún của bề mặt, dịch chuyển vào bên trong của phần đỉnh hầm, sự bùng nền ở phần bậc....

- Từ thực đơn *Stressese*, chọn *Effective*. Nhấn *Tab Plane B* và chọn *Principal direction* từ hộp kết hợp. Kết quả thể hiện rất rõ xung quanh phần vòm của đường hầm (hình 3.53).

- Nhấn nút *Cross section* trên thanh công cụ và vẽ một mặt cắt ngang tại mức có $Y=7,0m$. Sau đó chọn *Principal stressese* từ thực đơn *Stressese*. Kết quả thể hiện rất rõ trên phần vòm ngang của đường hầm (hình 3.54).



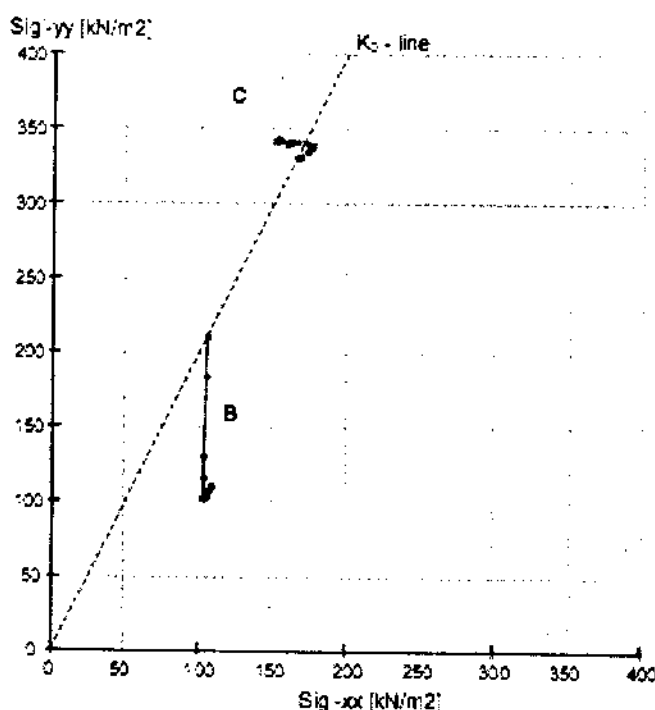
Hình 3.53. Thành phần ứng suất chính trên mặt Plane B (giai đoạn cuối)



Hình 3.54. Thành phần ứng suất chính trên mặt cắt tại $Y=7m$ (giai đoạn cuối)

Chúng ta có thể quan sát sự phát triển của ứng suất tại các điểm khác nhau xung quanh đường hầm bằng chương trình *Curves* như sau:

- Bắt đầu chạy chương trình *Curves* và tạo ra một biểu đồ mới.
- Chọn dự án đường hầm NATM và nhấn nút *<Open>*.
- Trong cửa sổ *Curves*, chọn trục ứng suất là trục X, sau đó chọn điểm ứng suất trên đường hầm, đặt kiểu sig'-xx và chọn Invert sign. Đối với trục Y, chọn lựa chọn stress, sau đó chọn cùng điểm với điểm trục X, đặt kiểu sig'-yy và lựa chọn Invert sign. Nhấn nút *<OK>* để đóng cửa sổ lại.
- Nhấn nút *<Add curves>* và chọn From current proect. Trong cửa sổ *Curve*, chọn như trên nhưng chọn điểm ứng suất khác.



Hình 3.55. Thành phần ứng suất sig'-xx và sig'-yy của điểm B và điểm C

- Trên hình 3.55 có thể thấy tại điểm B (bên trên đường hầm), ứng suất thẳng đứng khi đào đường hầm, trong khi ứng suất ngang lớn hơn hoặc gần như giữ nguyên. ứng suất phát triển từ trạng thái ứng suất K_0 tới trạng thái ứng suất bị động. Tại điểm C (bên dưới đường hầm), ứng suất thẳng đứng giảm khi đào hầm, trong khi ứng suất ngang lớn hơn hoặc gần như giữ nguyên. ứng suất phát triển từ trạng thái ứng suất K_0 đến trạng thái ứng suất chủ động.

3.2.3. Bài tập 3: Tính toán ổn định gương hầm

Trong phần này trình bày cách sử dụng chương trình PLAXIS 3D Tunnel để tính toán ổn định gương hầm. Rất nhiều các thuộc tính của chương trình được sử dụng ở mục 1 và

mục 2 được tận dụng ở đây và có một số thuộc tính mới sẽ được sử dụng như bề mặt, tải trọng Z, áp lực nước và tính toán hệ số an toàn.

Trong ví dụ này chúng ta tính toán ổn định cho gương hầm. Khi đào hầm trong đất đá yếu, gương hầm cần phải được gia cố bằng chất lỏng, khí, áp lực đất hoặc áp lực cơ học. áp lực này phải được giới hạn trong một khoảng nhất định, phụ thuộc vào các đặc tính của đất, chiều sâu đường hầm và áp lực nước ngầm tại mặt gương. áp lực nhỏ nhất được xác định bằng áp lực bù cho áp lực nước ngầm. áp lực quá thấp có thể dẫn đến sụt đổ của gương hầm (phá hủy chủ động). áp lực quá cao sẽ làm cho gương hầm căng ra (phá hủy bị động), tại cùng thời điểm đó có thể có thể xuất hiện biến dạng lớn trên bề mặt.

Trong phần này chúng ta sẽ tìm giá trị áp lực nhỏ nhất cần thiết để giữ ổn định gương hầm bằng cách áp dụng giá trị thấp nhất cho tới khi có sụt đổ xuất hiện. Đồng thời chúng ta sẽ xác định hệ số an toàn với áp lực dung ban đầu.

3.2.3. 1. Mô hình

Đường hầm trong trường hợp này được thi công bằng TBM với chiều dài 8,6m và đường kính là 8,5m. Trục của đường hầm nằm trên mực nước biển trung bình (MSL-Mean Sea Level) là 7m, tương ứng với 9m bên dưới mặt đất. Mực nước ngầm hiện tại tương ứng với MSL. Trong mô hình, chỉ một nửa trục đối xứng được mô hình. Mô hình có chiều rộng 20m, kéo dài 25m theo trục Z và sâu 20m. 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.

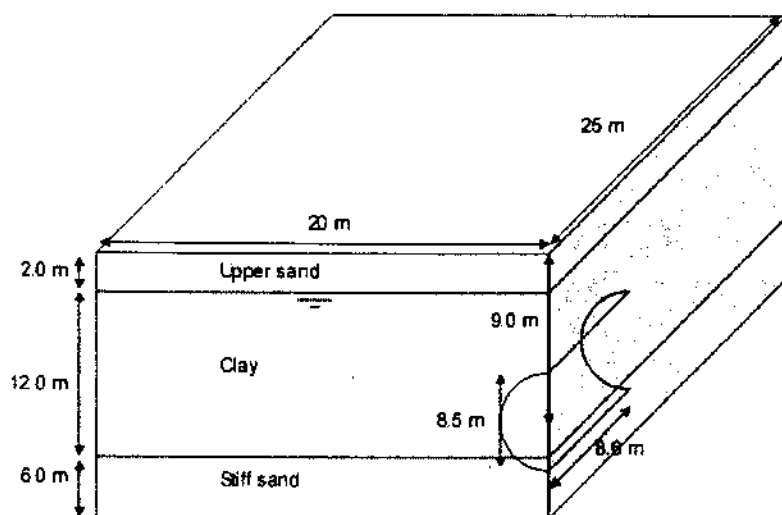
Đường hầm đào qua 3 lớp đất. Lớp cát yếu trên cùng có chiều dày 2m và kéo dài từ mặt đất tới MSL. Bên dưới lớp đất cát yếu là lớp đất sét có chiều dày 12m và lớp này nằm dưới lớp cát cứng. Chỉ có 6m chiều dày lớp cát cứng được mô hình. Do đó, đáy của mô hình là 18m bên dưới MSL.

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.

Nhập các thông tin chung

Bắt đầu chạy chương trình nhập dữ liệu và chọn *New project* từ hộp thoại *Create/Open project*.

Trong trang tính *Project* của cửa sổ *General settings*, nhập tiêu đề tương ứng và chắc chắn rằng *Declination=0°* trong *Model orientation*.



Hình 3.56. Mô hình hình học thi công gương hầm

Trong trang tính *Dimension*, giữ nguyên tất cả các đơn vị mặc định (Length=m; Time=day; Force=kN) và nhập kích thước ngang (Left, Right) là 0,0 và 20,0, kích thước dọc (Bottom, Top) là -18,0 và 2,0. Giữ nguyên giá trị mặc định của khoảng cách ô vuông (Spacing=1m; Number of interval=1).

Nhấn nút <OK> sau khi miền vẽ xuất hiện.

Đường bao mô hình, lớp và cấu trúc



Chọn nút *Geometry line* trên thanh công cụ. Di chuyển con trỏ tới vị trí (0,0; -18,0) và nhấn chuột trái. Di chuyển 20m sang phải (20,0; -18,0) và nhấn chuột trái tiếp. Di chuyển 20m lên trên (20,0; 2,0) và nhấn nút chuột trái. Di chuyển 20m sang trái (0,0; 2,0) và nhấn chuột trái. Cuối cùng, quay về điểm đầu tiên (0,0; -18,0) và nhấn chuột trái. Nhấn chuột phải để ngừng lệnh vẽ.

Tạo 3 lớp đất: Chọn nút *Geometry line*. Di chuyển con trỏ tới vị trí (0,0; 0,0). Nhấn vào đường thẳng đứng đã có. Di chuyển 20m sang phải (20,0; 0,0) và nhấn vào đường thẳng đứng khác đã có. Di chuyển 20m lên trên (20,0; -12,0) và nhấn nút chuột trái. Di chuyển 20m sang trái (0,0; -12,0) và nhấn tiếp chuột trái. Mô hình ban đầu bây giờ được chia thành 3 phần tương ứng với 3 lớp đất.



Nhấn nút *Tunnel designer* và cửa sổ *Tunnel designer* sẽ xuất hiện. Chọn nút *Left half tunnel* để tạo một nửa đường hầm.

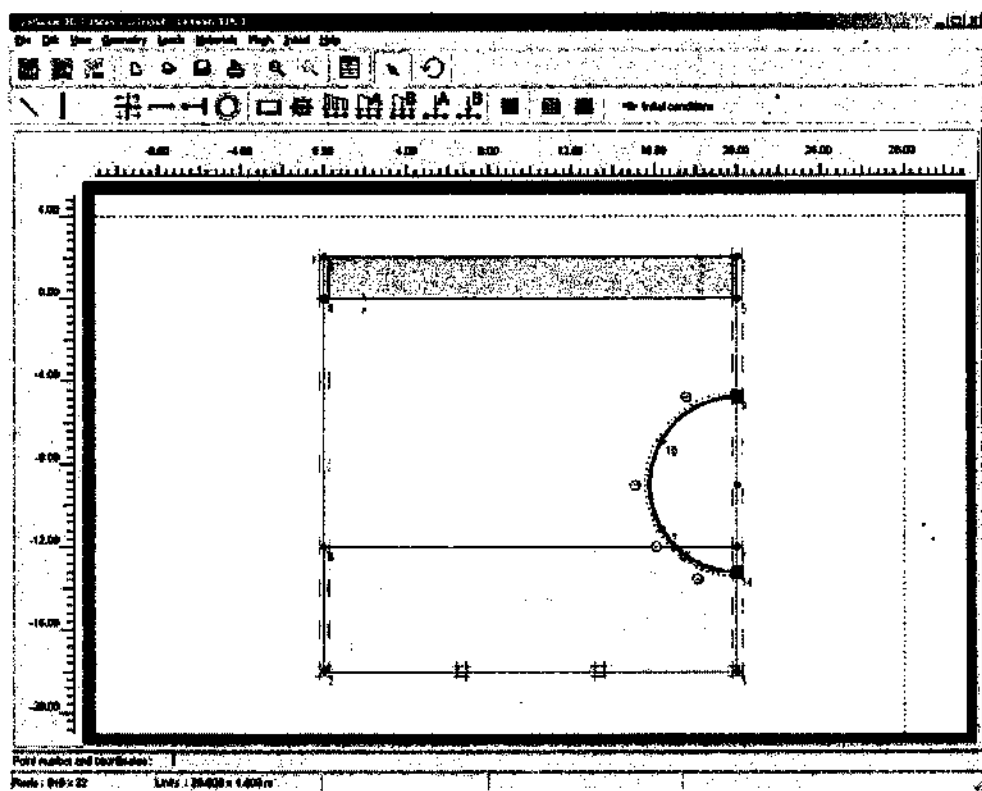
Chấp nhận thông số mặc định cho kiểu đường hầm: Bored tunnel. Giữ nguyên Thickness=0.

Đường hầm có mặt cắt ngang hình tròn, trong đó chỉ cần nhập bán kính của hầm.

Trong section 1 nhập thông số Radius=4,25m. Giữ nguyên thông số Angle=60°. Trong Section 2, bán kính hầm tự động cập nhật là 4,25m và Angle=60°. Làm tương tự cho Section 3.

Biểu diễn vỏ-shell (mô tả TBM) và mặt tiếp xúc (interface) trên mô hình đường hầm
 Đóng *Tunnel designer* bằng cách nhấn nút <OK>.

Di chuyển con trỏ tới vị trí (20,0; -9,0) và nhấn chuột.



Hình 3.57. Mô hình đường hầm trong cửa sổ nhập dữ liệu

Điều kiện biên



Để tạo điều kiện biên, nhấn vào nút *Standar fixities* trên thanh công cụ. Chương trình sẽ tiến hành cố định toàn bộ phần bên dưới, thanh cuốn dọc ở mặt phẳng dọc và cố định quay vỏ chống trong mặt phẳng đối xứng. Hình dạng của mô hình được biểu diễn như trên hình 3.57.

Đặc tính vật liệu

Sau khi nhập các điều kiện biên, các đặc tính vật liệu của đất và các đối tượng hình học khác được thiết lập. Cần thiết lập 3 dữ liệu: một cho lớp cát yếu trên cùng, một cho lớp đất sét và một cho lớp cát cứng. Để thiết lập dữ liệu vật liệu, thực hiện theo các bước sau:



Nhấn nút *Material Set* trên thanh công cụ. Chọn *Soil & interface*. Nhấn nút *<New>* để tạo dữ liệu mới.

- Đối với lớp cát yếu trên cùng, nhập “Upper sand” trong mục *Identification* và chọn *Mohr-Coulomb* trong mục *Material model*. Loại vật liệu là *Drained*.

- Nhập các đặc tính của lớp cát yếu trên cùng như trong bảng 3.16.

- Không cần thiết lập các đặc tính của mặt tiếp xúc bởi vì mặt tiếp xúc không biểu diễn ở lớp này. Nhấn *<OK>* để đóng cửa sổ nhập dữ liệu.

- Nhấn nút *<New>* để tạo dữ liệu mới.

- Đối với lớp đất sét, nhập “Clay” trong mục *Identification* và chọn *Mohr-Coulomb* trong mục *Material model*. Loại vật liệu là *Drained*.

- Nhập các đặc tính của lớp đất sét như trong bảng 3.16. Hiện tại vẫn bỏ qua tab *Interface*. Nhấn nút *<OK>* để đóng cửa sổ thiết lập dữ liệu.

- Nhấn nút *<New>* để tạo dữ liệu mới cho lớp cát cứng. Nhập “Stiff sand” trong mục *Identification* và chọn *Mohr-Coulomb* trong mục *Material model*. Loại vật liệu là *Drained*. Nhập các đặc tính của lớp đất sét như trong bảng 3.6. Hiện tại vẫn bỏ qua tab *Interface*. Nhấn *<OK>* để đóng cửa sổ thiết lập dữ liệu.

- Kéo dữ liệu “Upper sand” vào miền trên cùng của mô hình và thả xuống đó. Gán dữ liệu “Clay” cho miền giữa (bao gồm cả phần lớp đất sét bên trong hầm) và gán dữ liệu “Stiff sand” cho 2 miền thấp nhất. Mặt tiếp xúc sẽ được tự động gán dữ liệu tương ứng với miền.

- Mô hình tương tác giữa đất và vỏ chống, mặt tiếp xúc (biểu diễn bằng đường chấm) được tạo ra xung quanh vỏ chống hầm. Mặt tiếp xúc được mô hình trong lưới bằng các phần tử mặt tiếp xúc.

- Các đặc tính của mặt tiếp xúc được định nghĩa bằng thông số R_{inter} có thể thiết lập trong trang tính *Interfaces* của vật liệu đất, khi trang tính *Interfaces* bị bỏ qua, thông số R_{inter} sẽ mặc định giá trị bằng 1 (cứng). Thông số R_{inter} liên quan giữa độ bền của mặt tiếp xúc và độ bền của đất theo các công thức sau:

$$\tan \varphi_{inter} = R_{inter} \cdot \tan \varphi_{soil}$$

$$C_{inter} = R_{inter} \cdot C_{soil}$$

với giá trị mặc định $R_{inter}=1$ (cứng) ta có:

$$\varphi_{inter} = \varphi_{soil}; C_{inter} = C_{soil}$$

Bảng 3.16. ĐẶC TÍNH VẬT LIỆU CỦA CÁC LỚP CÁT, SÉT VÀ MẶT TIẾP XÚC

Thông số	Tên	Cát yếu	Sét	Cát cứng	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	M-C	M-C	M-C	-
Loại vật liệu	Type	Drained	Drained	Drained	-
Trọng lượng lớp đất trên nước ngầm	γ_{sat}	17	16	17	kN/m ³
Trọng lượng lớp đất dưới nước ngầm	γ_{sat}	20	18	20	kN/m ³
Modun đàn hồi (Young)	E_{ref}	$1,3 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^4$	$7,5 \cdot 10^4$	kN/m ²
Hệ số Poisson	ν	0,3	0,35	0,3	-
Lực dính kết	C_{ref}	1	5	1	kN/m ²
Góc ma sát trong	φ	31	25	31	độ
Góc trương nở	ψ	0	0	0	độ
Hệ số giảm độ bền mặt tiếp xúc	R_{inter}	1(cứng)	1(cứng)	1(cứng)	-
Hệ số áp lực ngang	K_0	0.485	0,5	0,485	-

Thông thường đặc tính độ bền trong vùng tương tác giữa đất và công trình là thấp hơn đất liền kề. Do vậy, khi sử dụng $R_{inter} < 0$ sẽ làm giảm ma sát và lực dính kết của mặt tiếp xúc so với đất liền kề.

Mặt cát ngang 2D sẽ được mở rộng theo trục Z để tạo ra mô hình 3D. Mặt tiếp xúc được biểu diễn trong mặt cát 2D, cũng sẽ được biểu diễn trong mô hình 3D. Tuy nhiên, sự giảm ma sát và lực dính kết chỉ cần trong các lát tại vị trí đường hầm được biểu diễn, những miền trong các lát ở phía trước hầm có thông số $R_{inter}=1$ (cứng) như có sẵn trong các dữ liệu đã thiết lập.

Copy các dữ liệu của lớp đất sét và cát cứng sẽ được thực hiện bằng cách biến đổi giá trị R_{inter} . Dữ liệu thay đổi này được gán cho các phần sẽ được đào trong đường hầm. Mặt tiếp xúc phía trước hầm sẽ được giữ nguyên dữ liệu ($R_{inter}=1$). Các dữ liệu gán cho vật liệu sẽ có tác dụng trong tính toán khi sử dụng lựa chọn *Staged construction*. Tuy nhiên, để làm điều đó, trước tiên cần phải tạo dữ liệu.

Biến đổi các dữ liệu của lớp đất sét và cát cứng sẽ được thực hiện theo các bước sau:

Chọn lớp vật liệu “Clay” và nhấn nút <Copy> để tạo ra dữ liệu copy. Nhập “Clay (R=1)” vào mục *Identification*. Không được thay đổi các giá trị đã tồn tại trong trang tính *General* và *Parameters*.

Nhấn *Interfaces* tab. Trong hộp *Strength* chọn nút *Manual*. Nhập giá trị $R_{inter}=0,8$. Đóng cửa sổ dữ liệu lại.

Chọn lớp vật liệu “stiff sand” và nhấn nút <Copy> để tạo ra dữ liệu copy. Nhập “Stiff sand (R=1)” vào mục *Identification*.

Nhấn *Interfaces* tab. Trong hộp *Strength* chọn nút *Manual*. Nhập giá trị $R_{inter}=0,9$. Đóng cửa sổ dữ liệu lại.

Không được gán dữ liệu mới cho các miền. Điều này sẽ được thực hiện trong phần tính toán.

Thiết lập dữ liệu cho TBM:

Trong cửa sổ *Material Set* chọn *Plates* trong *Set type* và nhấn nút *<New>*. Nhập "TBM" trong *Identification* và nhập các giá trị đặc tính như trên bảng 3.17. Nhấn nút *<OK>* để đóng cửa sổ nhập dữ liệu.

Kéo dữ liệu "TBM" đến phần vỏ hầm và thả xuống khi con trỏ chỉ dẫn là có thể thả. Vỏ hầm được coi là liên tục và đồng nhất trong mặt cắt mô hình.

Đóng cửa sổ thiết lập vật liệu bằng cách nhấn nút *<OK>*.

Bảng 3.17. ĐẶC TÍNH VẬT LIỆU CỦA TBM

Thông số	Tên	Giá trị	Đơn vị
Loại vật liệu	Material type	Elastic	-
Độ cứng	EA	$8,2 \cdot 10^6$	kN/m
Khả năng chống uốn	EI	$8,38 \cdot 10^4$	kNm ² /m
Chiều dày quy đổi	D	0,35	m
Trọng lượng	W	38,15	kN/m ² /m
Hệ số Poisson	ν	0	-

Tạo lưới 2D



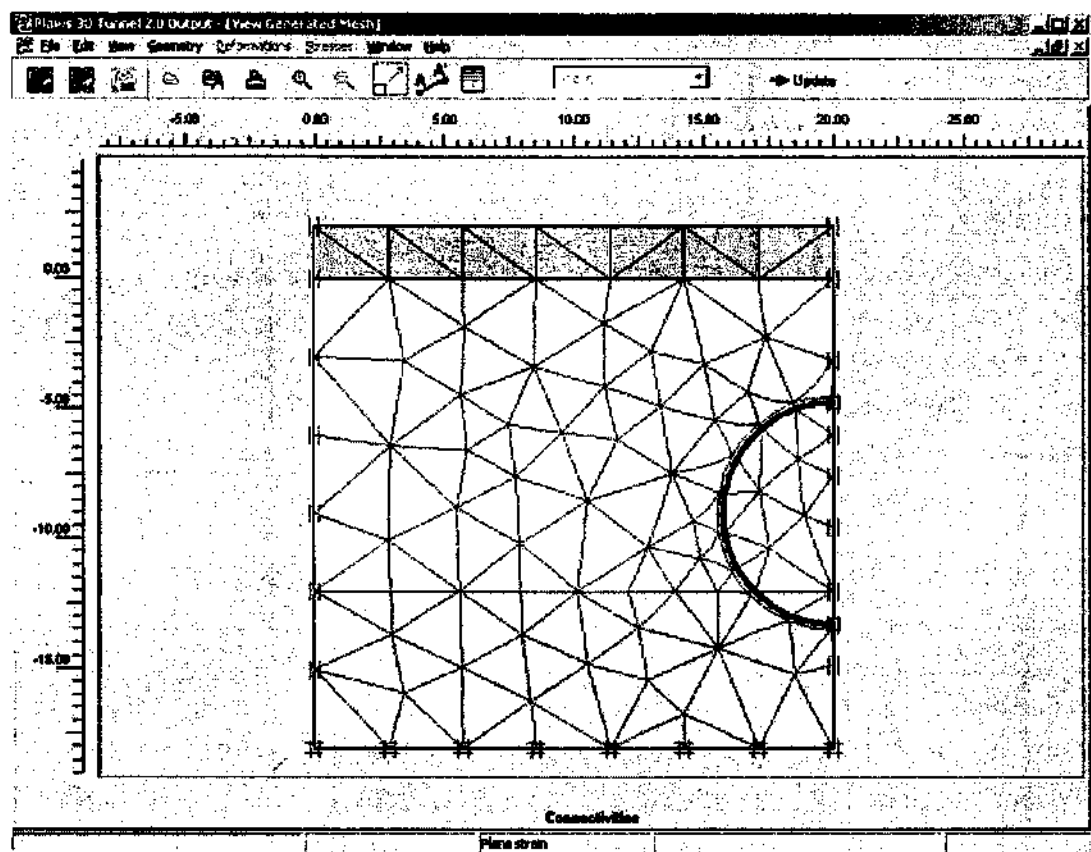
Nhấn nút *Generate mesh* trên thanh công cụ. Một vài giây sau lưới thô được biểu diễn trong cửa sổ xuất hiện. Chương trình 3D Tunnel sẽ tự động cải tiến lưới tại các điểm đường hầm. Mặc dù mặt tiếp xúc có chiều dày bằng 0, nhưng nó vẫn cho giá trị chiều dày bất kỳ trong mô hình để có thể nhận biết mối liên hệ giữa các phần tử. Nhấn nút *<Update>* để quay trở lại cửa sổ nhập hình dạng đường hầm.

Chọn *Refine global* từ thực đơn *Mesh* để cải tiến toàn bộ lưới. Nhấn *<Update>* để quay trở lại mô hình.

Tạo lưới 3D

Chỉ có TBM (chiều dài 8,6m) và 16,4m đất phía trước của TBM được mô hình hóa. Vì vậy, mô hình 3D dài 25m theo trục Z. Ba mặt phẳng cần phải mô hình trong trường hợp này: một mặt phẳng tại vị trí 0m, mặt phẳng thứ 2 tại vị trí -8,6m biểu diễn đầu TBM và mặt phẳng cuối cùng tại -25m.

Theo trục Z, gradient chuyển vị lớn nhất sẽ xuất hiện ở đầu TBM, do đó, lưới cải tiến được áp dụng cho mặt phẳng ở giữa biểu diễn đầu TBM.



Hình 3.58. Phần tử hữu hạn lưới 2D của đường hầm TBM

Để tạo lưới 3D, thực hiện theo các bước sau:



Nhấn nút *General 3D mesh* trên thanh công cụ hoặc chọn *General 3D mesh* từ thực đơn *Mesh*.

Tạo mặt phẳng Z với các tọa độ tương ứng 0m; -8,6m và -25m.

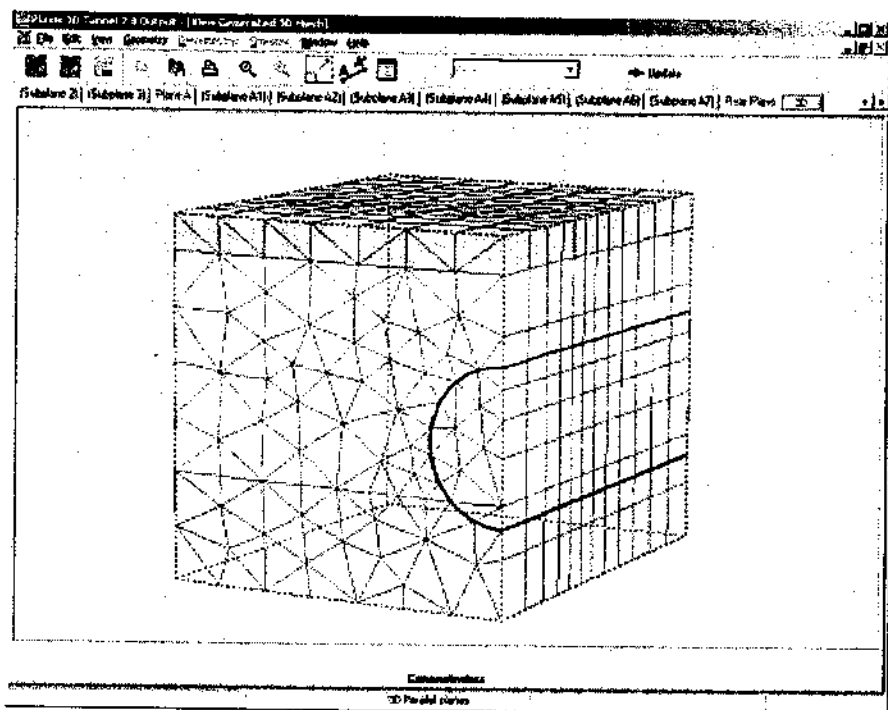
Để cải tiến lưới theo phương Z tại mặt phẳng A (phía trước TBM), chọn mặt phẳng A và nhấn chuột lên đường thẳng màu đỏ tương ứng trên đỉnh mô hình. Cửa sổ sẽ xuất hiện và nhập *Local element size factor=0,5*. Nhấn <OK> để chấp nhận giá trị này.

Nhấn nút <General> để bắt đầu thủ tục tạo lưới 3D. Lưới 3D sẽ được hiện ra trên cửa sổ xuất kết quả. Cải tiến cục bộ hiện ra rất rõ.

Nhấn nút <Update> để quay trở lại mô hình.

Điều kiện ban đầu

Các điều kiện ban đầu của dự án là áp lực nước và trạng thái ứng suất ban đầu. Nguyên nhân sinh ra áp lực nước là do áp lực thủy tĩnh hoặc mực nước trong giếng nước ngầm. Mực nước ngầm là cách đơn giản để xác định áp lực nước và được sử dụng trong ví dụ này.



Hình 3.59. Phân tử hữu hạn lưới 3D của đường hầm TBM

Mức nước ngầm có thể được xác định trong mặt phẳng phía trước của mô hình, có hiệu quả với tất cả các lát mô hình. Dưới mức nước ngầm, áp lực nước phân bố ở dạng thủy tĩnh trên cơ sở trọng lượng đơn vị của nước. Mức nước ngầm sử dụng để xác định áp lực nước được tự động gán cho tất cả các miền.

Trong ví dụ này chỉ có mức nước ngầm được định nghĩa bằng mức nước biển trung bình (MSL). Để tạo ra các điều kiện ban đầu cho mô hình, thực hiện theo các bước sau:



Nhấn nút *Initial conditions* trên thanh công cụ.



Nhấn **<OK>** để chấp nhận các giá trị đơn vị mặc định của nước là 10kN/m^3 . Khi đó điều kiện nước sẽ có tác dụng lên công trình. Theo mặc định, General phreatic level được tạo ra ở đáy của mô hình.



Chọn *Phreatic level* từ thanh công cụ và di chuyển con trỏ tới vị trí (0,0; 0,0) và nhấn nút chuột trái. Nhấn chuột phải để kết thúc lệnh vẽ. Trên hình vẽ bây giờ sẽ biểu diễn mức nước ngầm mới tại MSL, 2m dưới mặt đất.



Nhấn nút *Generate water pressures* trên thanh công cụ. áp lực nước sẽ được tạo ra và hiển thị trên cửa sổ xuất kết quả. Nhấn nút **<Update>** để quay trở lại cửa sổ *Ground water conditions*.



Nhấn nút tắt của sổ *Geometry configuration* trên thanh công cụ.

Tạo ứng suất ban đầu bằng giá trị trung bình của K_0 , sử dụng giá trị của K_0 trên bảng 3.16. Đối với lớp cát, chấp nhận giá trị mặc định. Đối với các miền thuộc lớp đất sét nhập giá trị $K_0=0,5$.

Sau khi tạo ra ứng suất ban đầu, nhấn nút *<Calculation>* và ghi lại dự án.

3.2.3. 2. Tính toán

Trong thực tế, quá trình xây dựng đường hầm bao gồm nhiều giai đoạn. Trong trường hợp này, chúng ta tập trung vào vấn đề ổn định gương hầm và chú ý đến tiến độ của TBM bằng chiều dài của nó (8,6m) trong khối đất được mô hình. Do vậy, giai đoạn thứ nhất sẽ là thi công lớp đất để lắp đặt TBM, áp dụng TBM, mực nước thấp nhất trong TBM, áp dụng áp lực thấp nhất ở gương hầm và áp dụng sự co lại để giả định thực tế TBM có dạng hình nón về phía đuôi. Gán vật liệu (giảm ma sát và lực dính kết ở mặt tiếp xúc) cho lát đầu tiên sẽ được đào. Để xác định giai đoạn tính toán đầu tiên này, tiến hành như sau:

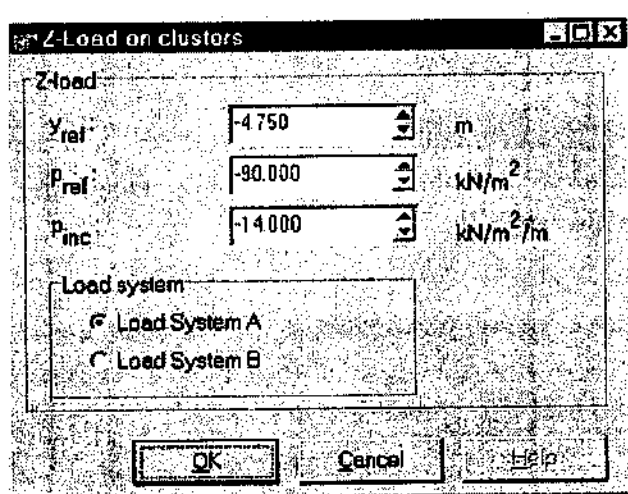
Chấp nhận tất cả các thông số mặc định trong trang tính *General* và *Parameters*, nhấn *<Define>* trong hộp *Loading*.

Trong cửa sổ *Staged contruction*, chọn *Slice 1* và nhấn lên vỏ hầm và chọn cửa sổ xuất hiện, trong đó chọn lựa chọn *Plate*. Bây giờ TBM đã hoạt động trong *Slice 1*.

Để thi công đường hầm, nhấn lên 2 miền bên trong TBM để chúng không hoạt động.

Để gán đặc tính vật liệu đã được biến đổi (giảm ma sát và lực dính kết ở mặt tiếp xúc) cho miền đất tương ứng của *Slice 1*, nhấn nút *Material sets*, chọn "*Clay (R<1)*" và kéo chúng đến lớp ở giữa. Chọn "*Stiff sand (R<1)*" và kéo chúng đến lớp cuối cùng.

Áp dụng áp lực ở trong gương hầm cho mặt TBM, do đó chọn *Plane A tab* và nhấn đúp chuột vào miền bên trong đường hầm. Cửa sổ *Z-Load on cluster* sẽ xuất hiện (hình 3.60).



Hình 3.60. Cửa sổ *Z-Load on cluster* để định nghĩa áp lực gương

Áp lực gương hầm được duy trì bằng chất lỏng (bentônít) với trọng lượng đơn vị là 14kN/m^3 . áp lực gương hầm là 90kN/m^2 theo hướng âm (-) trục Z tại đỉnh của đường hầm (-4,75m) và 209kN/m^2 tại đáy hầm (-13,25m). Gradient áp lực là $14\text{kN/m}^2/\text{m}$.

Nhập giá trị $\gamma_{\text{nt}}=-4,75\text{m}$ (tương ứng với đỉnh hầm), $p_{\text{nt}}=-90\text{kN/m}^2$ và $p_{\text{inc}}=-14\text{kN/m}^2/\text{m}$. Lưu ý áp lực gương thuộc Load System A.

Làm tương tự cho các miền khác trong hầm.

Nhấn tab *Front plate*. Nhấn đúp chuột lên điểm xem xét của đường hầm-điểm trung tâm hầm. Cửa sổ *Tunnel contraction* sẽ hiện ra.

Đối với mỗi mặt, giá trị này có thể nhập vào bảng thông số *Contraction*, nó bao gồm sự thu ngắn lại của vỏ hầm và do đó làm giảm bán kính hầm trong quá trình tính toán. Lựa chọn chỉ có trong vỏ Bored tunnels và có thể sử dụng để giả định thể tích đất bị mất đi xung quanh đường hầm trong quá trình đào, tạo nón của TBM hoặc các trường hợp khác. Giá trị thu nhỏ xác định cho mặt cắt ngang giảm theo (%) của toàn bộ diện tích mặt cắt ngang hầm. Trong trường hợp này *Front plane* (đuôi của TBM) có giá trị thu nhỏ là 0,5% để mô phỏng dạng nón của TBM.

Trong khi mặt trước (*Font plane*) được làm sáng, nhập giá trị 0,5 vào thông số *contraction* và nhấn <OK> để đóng cửa sổ *Contraction tunnel*.

Tiếp tục điều kiện nước bằng cách nhấn nút tắt trên thanh công cụ. Trong trạng thái áp lực nước có thể áp dụng *Global pore pressure distribution* (có hiệu quả cho toàn bộ mô hình) hoặc *Local pore pressure distribution* (chỉ có hiệu quả cho một lát).

Để có đường hầm khô ráo, nhấn đúp chuột vào 2 miền bên trong hầm (trong *Slice 1*). Cửa sổ *Cluster pore pressure distribution* sẽ xuất hiện (hình 3.61). Chọn *User defined pore pressure distribution* trong hộp phân bố ứng suất và sau đó chọn *Cluster is dry in this Slice*. Đóng cửa sổ lại. Bây giờ chỉ có trong *Slice 1* (không phải tất cả các *Slice*) một miền đơn là khô ráo.

Lập lại quá trình thực hiện này cho các miền khác trong *Slice 1*.



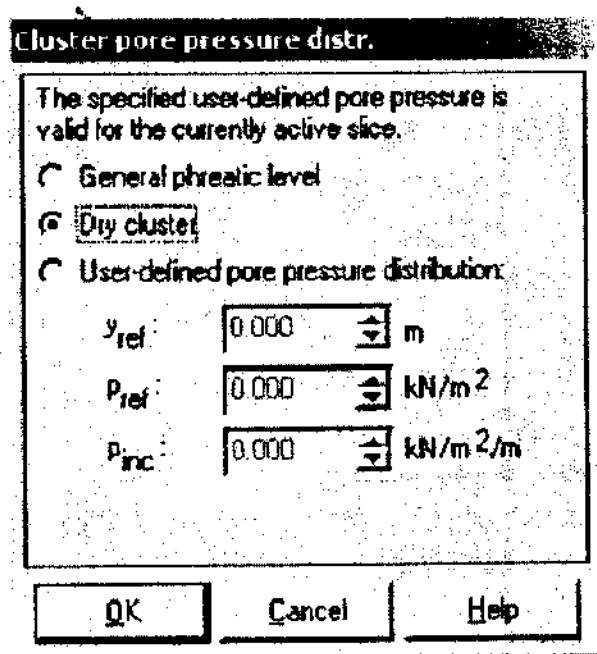
Nhấn nút *Generate water pressure* trên thanh công cụ. áp lực nước sẽ hoạt động theo điều kiện mới thiết lập.

Trong cửa sổ xuất hiện kết quả, những miền bên trong hầm được thể hiện là đã bị đào và khô ráo. Nhấn nút <Update> để quay lại cửa sổ điều khiển nước.



Nhấn nút <Update> để kết thúc định nghĩa các giai đoạn xây dựng. Cửa sổ *Staged construction* sẽ đóng lại và cửa sổ *Calculation* sẽ xuất hiện trở lại.

Có thể tìm áp lực nhỏ nhất ở gương hầm bằng cách giảm áp lực gương hầm tới khi gương hầm bị sụp đổ. Giai đoạn tính toán này được xác định đơn giản như sau:



Hình 3.61. Cửa sổ nhập thông số phân bố ứng suất

Nhấn nút <Next> để tạo giai đoạn thứ 2.

Trong trang tính *Generate*, chấp nhận tất cả các giá trị mặc định (Calculation type = 3D Plastic, Start from phase = 1 - <phase 1>).

Trong trang tính *Parameters*, giữ nguyên các giá trị mặc định Additional steps=250 và chọn lựa chọn Reset displacements to zero. Trong hộp *Loading* chọn Total multipliers.

Nhấn nút <Define> hoặc *Multipliers* tab. Trong *Multipliers* tab nhập $\Sigma M_{loadA}=0$. Tất cả các tải trọng xác định như tải trọng A (trong trường hợp này chỉ có tải trọng Z mô tả áp lực gương hầm) đều bằng 0.

Các định nghĩa tính toán bây giờ đã hoàn thành. Trước khi bắt đầu tính toán nên chọn tải trọng nút hoặc tải trọng điểm để biểu diễn đường cong quan hệ ứng suất – biến dạng. Để thực hiện điều đó thực hiện theo các bước sau:

Nhấn nút *Set points for curves* trên thanh công cụ.

Nhấn chuột vào mặt phẳng A và chọn các nút sau: đáy đường hầm, trung tâm hầm, đỉnh hầm và mặt đất trên đường hầm. Nhấn nút <Update>.

Trong cửa sổ *Calculation*, nhấn nút <Calculate>.

Toàn bộ quá trình tính toán mất khoảng 15 phút. Tính toán giai đoạn 1 sẽ thành công khi có các dấu phân thời (tick mark) màu xanh trong danh sách. Tính toán giai đoạn 2 sẽ không kết thúc cho thấy có xuất hiện đất sụt đổ. Có thể đọc các thông tin sau trong *Log infor* trong trang tính *General*:

Prescribed ultimate state not reached!

Soil body collapses.

Inspect output and load-displacement curve.

Nhấn Multipliers tab và chọn nút Reached values. Thông số $\Sigma MloadA$ trong hộp Total multipliers đạt đến giá trị 0,62 do đó, áp lực gương hầm nhỏ nhất để ngăn ngừa phá hủy là $0,62 \times 90 = 55,8 \text{ kN/m}^2$ ở đỉnh hầm và $0,62 \times 209 = 129,6 \text{ kN/m}^2$ ở đáy hầm. Điều này cho biết giá trị áp lực nhỏ nhất cần áp dụng để chống lại phá hủy gương hầm.

3.2.3. 3. Phân tích ổn định trong quá trình thi công

Trong thiết kế hầm, chúng ta không chỉ quan tâm đến ổn định cuối cùng mà còn phải quan tâm đến ổn định trong quá trình xây dựng. Sự ổn định để chống lại phá hủy có thể định nghĩa bằng giá trị trung bình của hệ số an toàn. Hệ số an toàn thường được định nghĩa là tỷ số của tải trọng phá hủy và tải trọng làm việc. Đối với đất, định nghĩa này không phải lúc nào cũng tiện lợi. Do đó, chúng ta sử dụng định nghĩa trong cơ học đất:

$$\text{Hệ số an toàn} = \frac{S_{\text{đất đá}}}{S_{\text{cần thiết để cân bằng}}}$$

Trong đó: S biểu diễn độ bền cắt. Tỷ số của độ bền của đất đá và độ bền tính toán nhỏ nhất cần thiết để cân bằng gọi là hệ số an toàn. Theo điều kiện Coulomb, hệ số an toàn là:

$$\text{Hệ số an toàn} = \frac{C + \sigma_n \cdot \tan \varphi}{C_r + \sigma_n \cdot \tan \varphi_r}$$

Trong đó C và φ là các thông số độ bền của mô hình Mohr-Coulomb và σ_n là thành phần ứng suất pháp. Các thông số C_r và φ_r là các thông số độ bền giảm đủ để đạt được cân bằng. Những mô tả chính ở trên là cơ sở của phương pháp *Phi-C reduction* mà có thể sử dụng trong tính toán hệ số an toàn trong chương trình PLAXIS. Trong trường hợp này lực dính kết và tang của góc ma sát sẽ giảm theo cùng tỷ lệ.

$$\frac{C}{C_r} = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_r} = \Sigma M_{sf}$$

Các thông số giảm độ bền được điều khiển bằng tổng ΣM_{sf} . Thông số này tăng từng bước trong quá trình tính toán (bằng cách giảm C_r và φ_r) tới khi xuất hiện phá hủy. Hệ số an toàn sau đó được xác định bằng giá trị của ΣM_{sf} tại điểm phá hủy. Tính toán *Phi-C reduction* có trong *Calculation type* trong trang tính *General*.

Để tính toán hệ số an toàn cho ổn định gương hầm với áp lực gương ban đầu, thực hiện như sau:

Trong cửa sổ *Calculation* chọn giai đoạn tính toán cuối cùng và nhấn nút <Next>.

Trong trang tính *General*, chọn *3D Phi- C reduction* trong hộp *Calculation type*.

Giai đoạn tính toán hiện tại không tiếp tục được từ giai đoạn trước, nhưng nó có thể bắt đầu từ giai đoạn của kết quả đầu tiên, sau khi áp dụng áp lực ở gương. Do đó, thay đổi thông số Start from phase sang phase 1 trong hộp Phase.

Trong trang tính *Parameters*, đặt *Additional steps* = 30 (thấp hơn giá trị mặc định là 100 để tính toán *3D Phi- C reduction*) và chọn lựa chọn *Reset displacements to zero*. Nhấn nút *<Define>*.

Trong trang tính *Multipliers*, số gia đầu tiên của hệ số giảm độ bền (*Msf*) được đặt sơ bộ là 0,1. Chấp nhận giá trị này và nhấn nút *<Calculate>*.

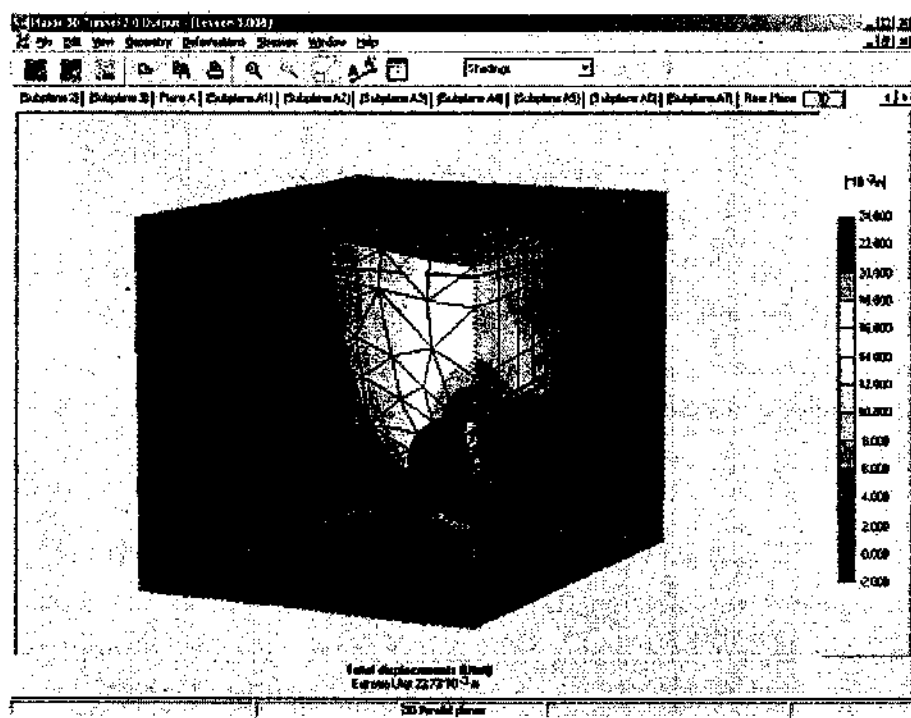
3.2.3. 4. Xem kết quả

Sau khi tính toán, có thể xem kết quả bằng cách chọn các giai đoạn quan tâm và nhấn nút *Output*. Hình 3.62 biểu diễn tổng chuyển vị ở cuối giai đoạn 1. Từ hình vẽ này có thể nhận thấy áp lực gương ban đầu là đủ lớn để giữ ổn định gương hầm. Chuyển vị tại mặt gương hầm rất nhỏ. Biến dạng lớn nhất xuất hiện ở bên trên đuôi của TBM. Đó là do áp dụng sự thu nhỏ TBM.

Để xem giá trị thu nhỏ xuất hiện trong quá trình tính toán, tiến hành như sau:

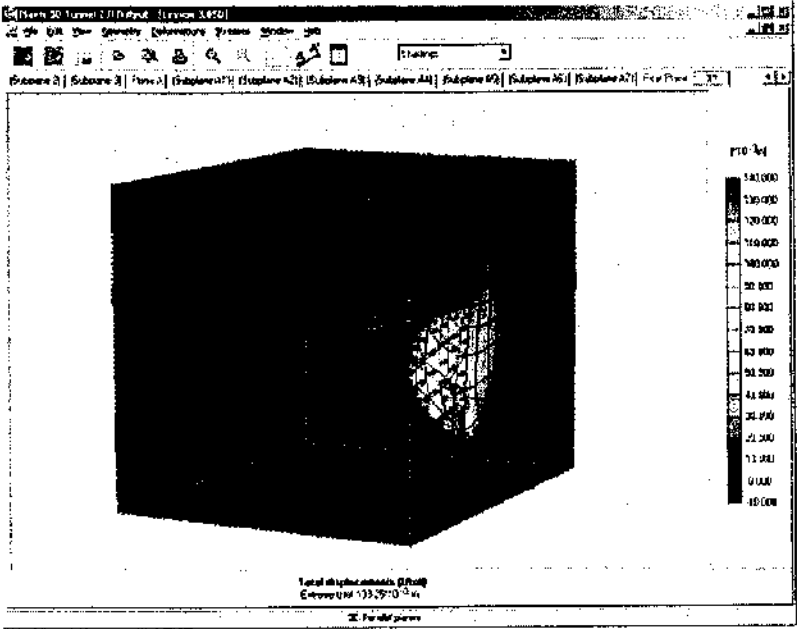
Chọn *Front plane* và nhấn đúp chuột lên TBM. Từ hộp thoại, chọn *Plate*. Mô hình 3D biểu diễn toàn bộ đường hầm xuất hiện với chỉ dẫn các phần hoạt động và không hoạt động. Biến dạng được biểu diễn bằng biến dạng mặt. Có thể chọn bằng các kiểu thể hiện khác nhau trong hộp kết hợp.

Chọn lại *Front plane*. Trên hình biểu diễn kết quả biểu diễn tổng và các giá trị gia tăng để thực hiện thu nhỏ TBM. *Total realised contraction* có giá trị tương ứng với giá trị nhập vào là 0,5%.

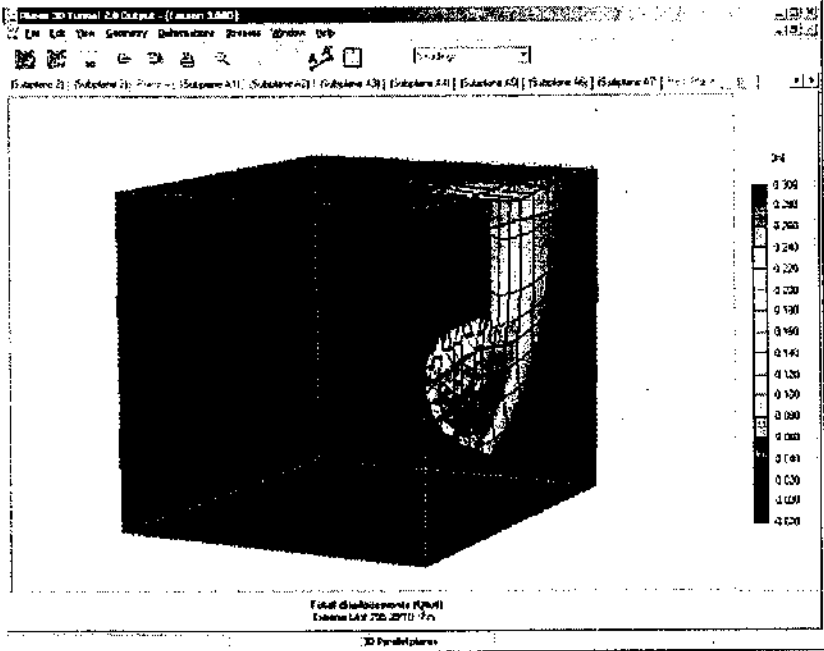


Hình 3.62. Lưới biến dạng ở cuối giai đoạn 1

Có thể so sánh biến dạng của giai đoạn 1 với các giai đoạn 2 và 3. Cả giai đoạn 2 và giai đoạn 3 đều biểu diễn trạng thái sụt đổ. Giai đoạn 2 (giảm áp lực gương) biểu diễn sự dịch chuyển của lớp cát (hình 3.63). Giai đoạn 3 (giảm Phi-C) biểu diễn phá hủy cơ học (hình 3.64).

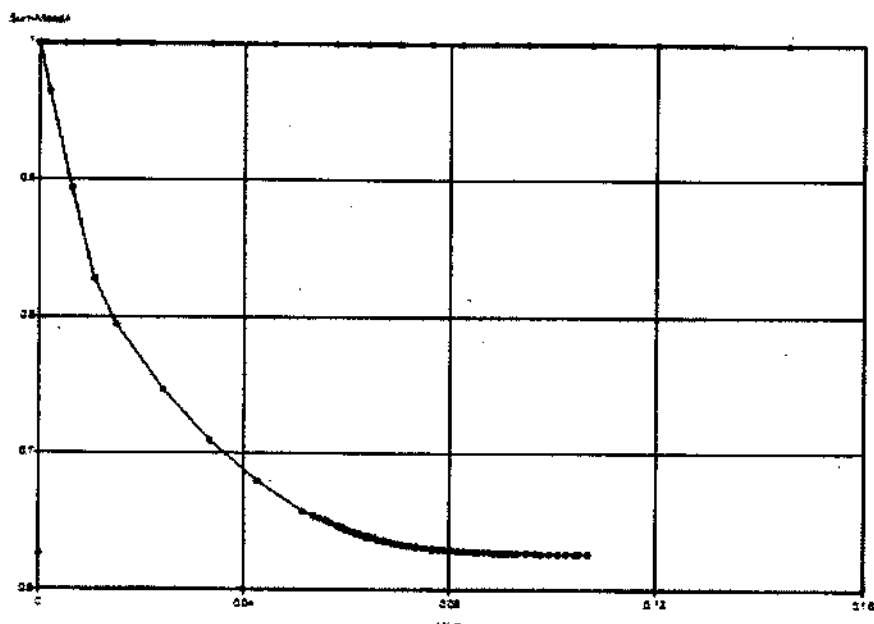


Hình 3.63. Chuyển vị ở cuối giai đoạn 2 (giảm áp lực gương)

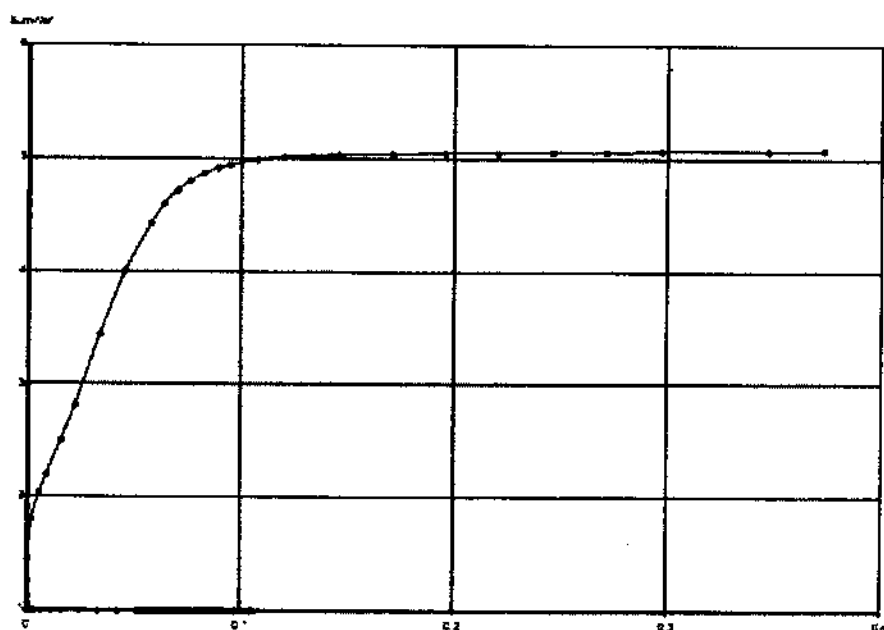


Hình 3.64. Chuyển vị ở cuối giai đoạn 3 (giảm Phi-C)

Chương trình Curves có thể vẽ đường cong phát triển biên dạng. Có thể xem sự phát triển của $\Sigma MloadA$ trên hình 3.63 và sự phát triển của $\Sigma Mload$ trên hình 3.65.



Hình 3.65. Sự phát triển của $\Sigma MloadA$ là hàm số của chuyển vị gương hám



Hình 3.66. Sự phát triển của ΣMsf là hàm số của chuyển vị gương hám

Để tạo ra đường cong, tiến hành như sau:

Bắt đầu chương trình Curves, tạo ra một biểu đồ mới và chọn bài 3.2.3 từ file yêu cầu.

3.2.4.1. Nhập dữ liệu

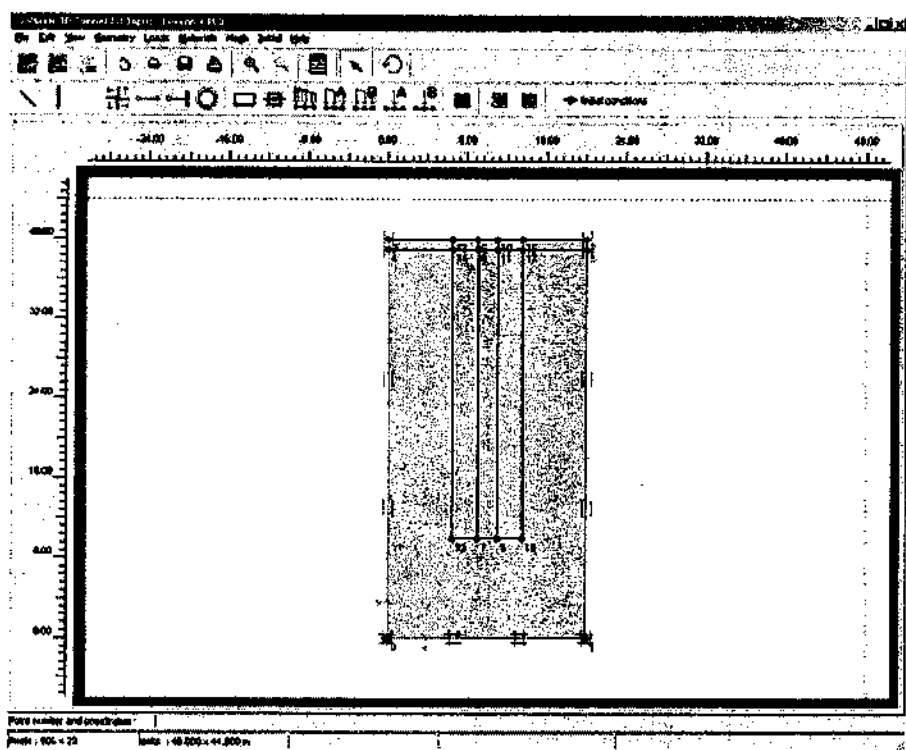
Công trình trong ví dụ này có chiều sâu 30m và chiều dày 1,2m. Đoạn 1 có chiều rộng 7m và bao gồm 3 phần thi công; phần I và II có chiều rộng 2,5m và phần III có chiều rộng 2m. Tường đối xứng trục qua mặt phẳng trung tâm, do đó, chỉ cần mô hình một nửa chiều dày của tường.

Hình dạng mô hình

- Mô hình có chiều rộng 20m và chiều cao là 40m như trên hình 3.67. Tường được chia thành 3 phần thi công và được mô hình bằng các đường thẳng. Sự tương tác giữa tường và đất bằng độ nhám do đó không cần có mặt tiếp xúc.

- Nếu mực nước ngầm không trùng với các đường hình dạng, sai số có thể xuất hiện. Do vậy, đường hình dạng được vẽ bên dưới mặt đất 1m.

- Mô hình được tạo ra như trên hình 3.67. Có thể sử dụng *Standard fixities* để tạo các điều kiện biên.



Hình 3.68. Hình dạng mô hình của tường trong đất

Đặc tính vật liệu

Đất được giả thiết là đồng nhất và được mô hình là một lớp sét cứng. Tường trong đất được làm bằng bê tông.

Tạo ra 2 dữ liệu: một cho lớp đất và một cho bê tông với các thông số cho trên bảng 3.18.

[Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS](http://www.vietcons.org)

<http://www.vietcons.org>

Gán dữ liệu sét cứng cho tất cả các miền trên mô hình. Bê tông được sử dụng sau (trong phần tính toán).

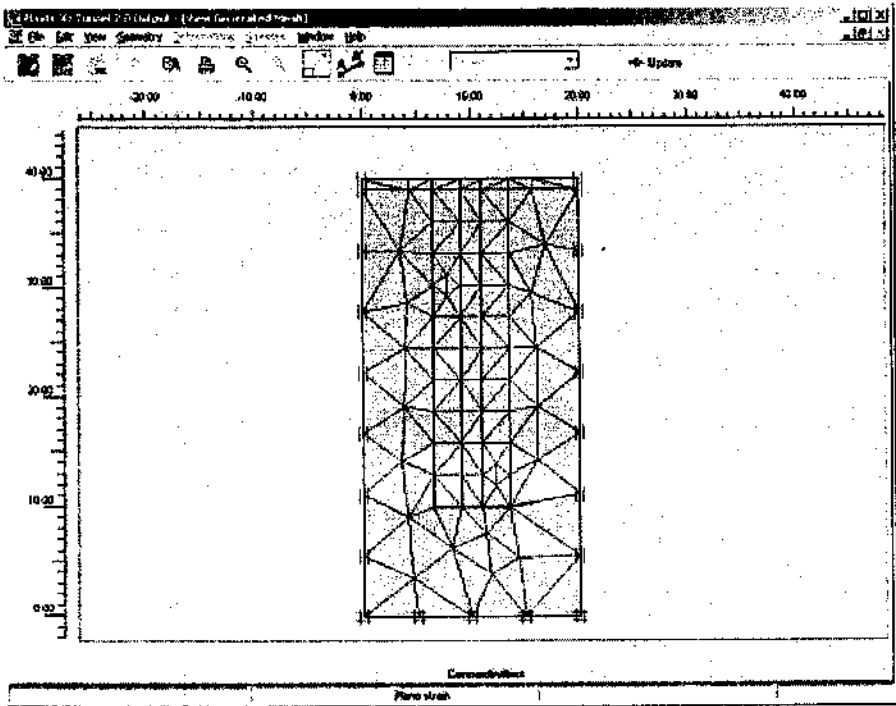
Bảng 3.18. ĐẶC TÍNH CỦA BÊ TÔNG VÀ ĐẤT

Thông số	Tên	Sét cứng	Bê tông	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	M-C	Đàn hồi	-
Loại vật liệu	Type	Drained	Không xốp	-
Trọng lượng lớp đất trên nước ngầm	γ_{sat}	15	24	kN/m ³
Trọng lượng lớp đất dưới nước ngầm	γ_{sat}	18	-	kN/m ³
Môđun đàn hồi (Young)	E_{ref}	$5 \cdot 10^4$	$2,6 \cdot 10^7$	kN/m ²
Hệ số Poisson	ν	0,3	0,2	-
Lực dính kết	C_{ref}	15	-	kN/m ²
Góc ma sát trong	φ	30	-	độ
Góc trương nở	ψ	0	-	độ

Tạo lưới 2D

Để tạo lưới 2D, tiến hành như sau:

Chọn tất cả các đoạn thi công trên mô hình bằng cách giữ phím <Shift> khi chọn. Chọn *Refine cluster* từ thực đơn *Mesh*. Trên cửa sổ xuất hiện dữ liệu biểu diễn lưới đã được cải tiến (hình 3.69). Nhấn nút <Update> để quay trở lại mô hình.



Hình 3.69. Phân tử hữu hạn lưới 2D của mô hình tường trong đất

Tạo lưới 3D

Tường có chiều dày là 1,2m. Do mô hình có tính chất đối xứng trục nên chỉ cần mô hình hóa một nửa mô hình (chiều dày 0,6m). Mô hình kéo dài 10m theo trục Z để cho phép tất cả những trạng thái cơ học có thể xuất hiện và ngăn ngừa ảnh hưởng của biên. Có 3 mặt phẳng được nhập vào, mặt phía trước tại $z=0\text{m}$, mặt A tại $z=-0,6\text{m}$ và mặt đuôi tại $z=-10\text{m}$. Gradient lớn nhất của chuyển vị theo phương Z sẽ xuất hiện xung quanh mặt A.

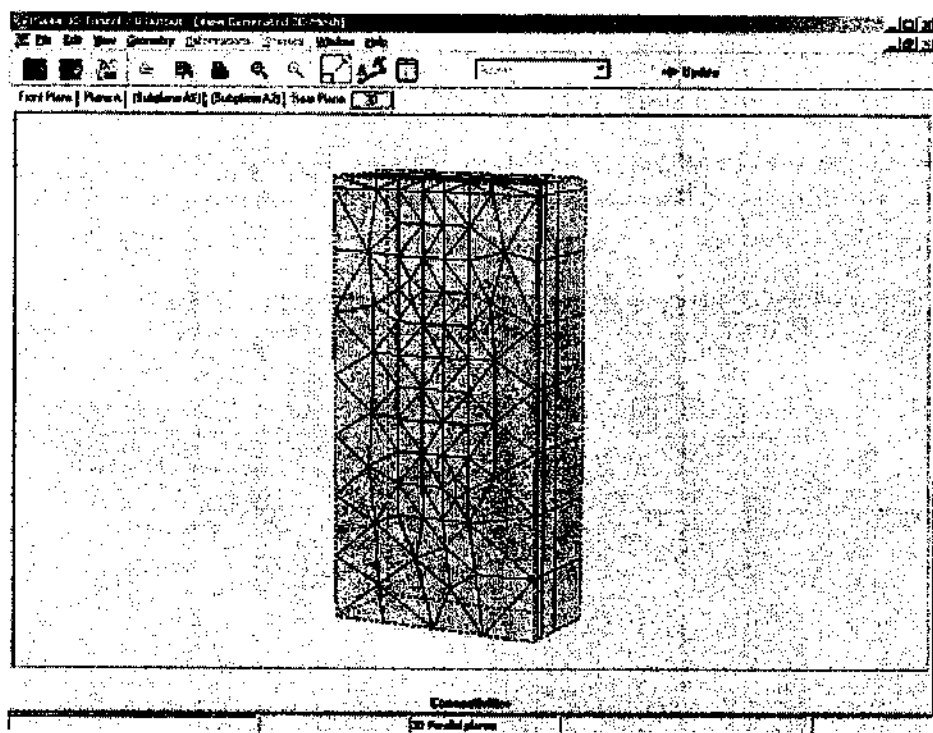
Để tạo lưới 3D, tiến hành theo các bước sau:

Trong cửa sổ *3D mesh generate*, tạo các mặt phẳng Z tại vị trí 0m; -0,6m và -10m.

Để lọc lưới theo phương Z tại mặt A trên bảng và nhấn chuột lên đường thẳng màu đỏ tương ứng trên mô hình. Một cửa sổ sẽ hiện ra cho phép lọc lưới cục bộ là 0,2. Nhấn nút <OK>.

Sau khi nhấn nút <Generate>, quá trình tạo lưới 3D bắt đầu.

Kiểm tra lưới và nhấn <Update> để quay trở lại mô hình.



Hình 3.70. Phân tử hữu hạn lưới 3D

Điều kiện ban đầu

Nhập điều kiện ban đầu trọng lượng đơn vị của nước là 10kN/m^3 . áp lực nước ban đầu được tạo ra do mực nước ngầm theo phương ngang tại $Y=39\text{m}$ (qua điểm (0; 39) và (30;39)). Trường ứng suất ban đầu được tạo ra bằng giá trị trung bình của K_0 -procedure, sử dụng giá trị $K_0=0,5$ cho tất cả các miền. Sau đó tiến hành tính toán.

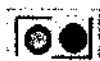
3.2.4.2. Tính toán

Quá trình tính toán gồm 5 giai đoạn. ở giai đoạn thứ nhất, phần I sẽ được đào đi và giả định sau khi đào nó được lấp bằng dung dịch bentônít. Dung dịch bentônít có trọng lượng đơn vị là 11kN/m^3 đóng vai trò là áp lực “nước” nhân tạo và tăng chiều sâu. áp lực này thay thế cho áp lực nước ban đầu bên trong khối đào. ở giai đoạn thứ 2 và 3, phần II và III sẽ được đào đi và cũng được lấp bằng dung dịch bentônít. Giai đoạn 4, toàn bộ rãnh đào được lấp bằng bê tông ướt. Bê tông ướt có trọng lượng đơn vị là 24kN/m^3 và có vai trò thay thế áp lực nước nhân tạo. Giai đoạn 5, bê tông đông cứng có tác dụng thu tiêu áp lực nhân tạo, phục hồi lại các miền và gán vật liệu bê tông cho các miền.

Tất cả các giai đoạn tính toán được định nghĩa bằng tính toán 3D Plastic của loại *Staged construction* và tiêu chuẩn thiết lập cho tất cả các thông số như sau:

Phase 1

Trong *Slice 1*, không cho 2 miền của phần I hoạt động.

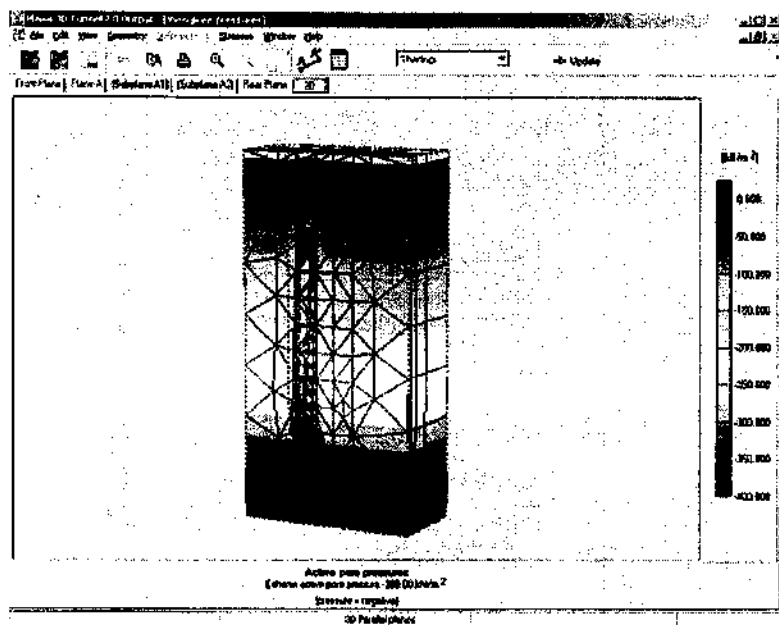


Bật tùy chọn thiết lập điều kiện mực nước

Trong *Slice 1*, nhấn đúp chuột lên một trong 2 miền của phần I để tiến hành phân bố ứng suất cục bộ. Chọn *Use defined pore pressure distribution* và nhập $Y_{rel}=40$; $p_{rel}=0\text{kN/m}^2$ và $p_{inc}=-11\text{kN/m}^2/\text{m}$.

Làm tương tự cho các miền khác của phần I trong *Slice 1*.

Nhấn nút *Generate water pressures*. áp lực của bentônít đã được xác định trong phần I của công trình, bắt đầu 0kN/m^2 tại mức tham khảo là 40m và có số gia là $11\text{kN/m}^2/\text{m}$ chiều sâu, kết quả là 330kN/m^2 tại đáy công trình.



Hình 3.71. Thi công phần I

Phase 2

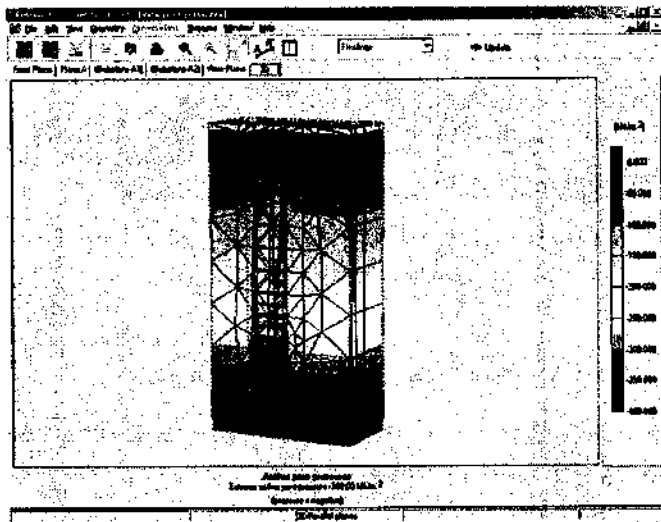
Trong Slice 1, thi công phần II.

Bật tùy chọn thiết lập điều kiện mực nước.

Trong Slice 1, nhấn đúp chuột lên một trong hai miền của phần II để tiến hành phân bố ứng suất cục bộ. Chọn *Use defined pore pressure distribution* và nhập $Y_{ref}=40m$; $p_{ref}=0kN/m^2$ và $p_{inc}=-11kN/m^2/m$.

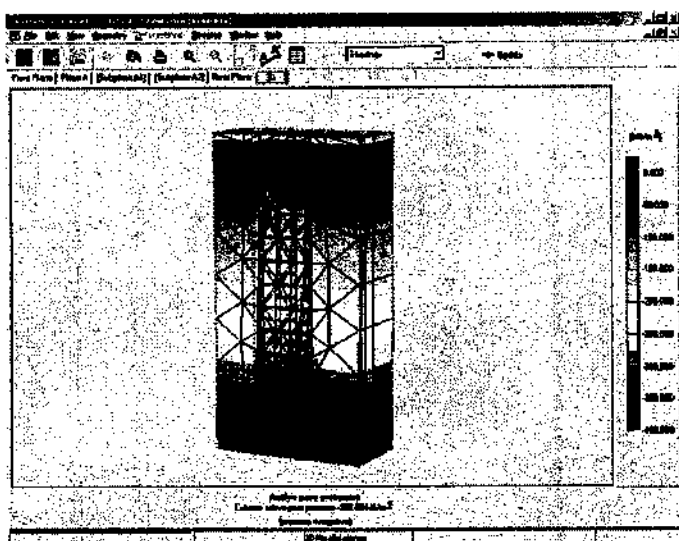
Làm tương tự cho các miền khác của phần II trong *Slice 1*.

Tạo áp lực nước nhân tạo. áp lực của bentônít bây giờ được biểu diễn trong phần I và phần II của tường trong đất.



Hình 3.72. Thi công phần II

Phase 3



Hình 3.73. Thi công phần III

Trong Slice 1, thi công phần III.

Bật tùy chọn thiết lập điều kiện mực nước.

Trong Slice 1, nhấn đúp chuột lên một miền của phần III để tiến hành phân bố ứng suất cục bộ. Chọn *Use defined pore pressure distribution* và nhập $Y_{ref}=40m$; $p_{ref}=0kN/m^2$ và $p_{inc}=-11kN/m^2/m$.

Làm tương tự cho các miền khác của phần III trong Slice 1.

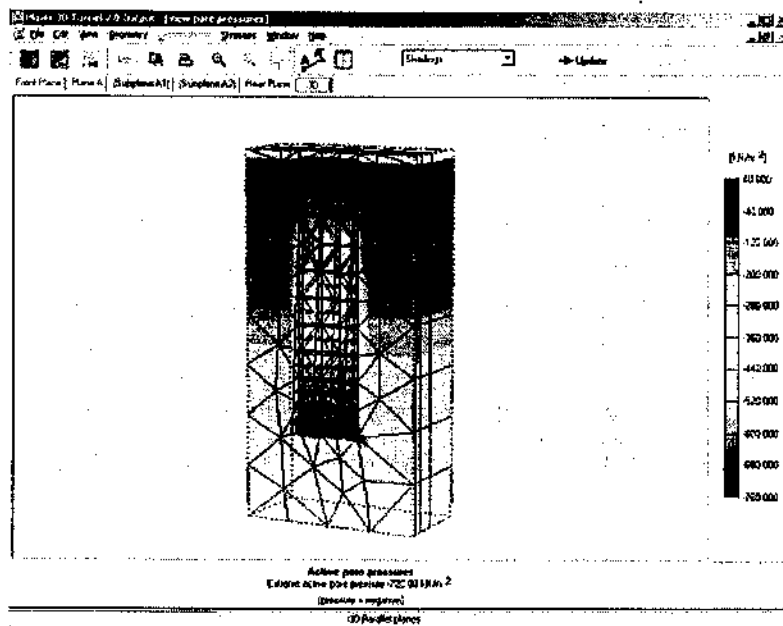
Tạo áp lực nước nhân tạo. áp lực nước của bentônít bây giờ được biểu diễn trong toàn bộ các phần của tường trong đất.

Phase 4

Bentônít trong hố đào bây giờ được thay thế bằng bê tông ướt có trọng lượng đơn vị là $24kN/m^3$. Do đó, bật tùy chọn thiết lập điều kiện mực nước.

Trong Slice 1, nhấn đúp chuột lên một trong các miền của tường trong đất để thay đổi *Use defined pore pressure distribution*. Thay đổi giá trị của $p_{inc}=-24kN/m^2/m$. Các thông số khác giữ nguyên giá trị ban đầu ($Y_{ref}=40m$; $p_{ref}=0kN/m^2$).

Làm tương tự cho 5 miền còn lại và tạo áp lực cho bê tông ướt. áp lực ở đáy công trình là $720kN/m^2$.



Hình 3.74. Thay thế bentônít bằng bê tông ướt

Phase 5

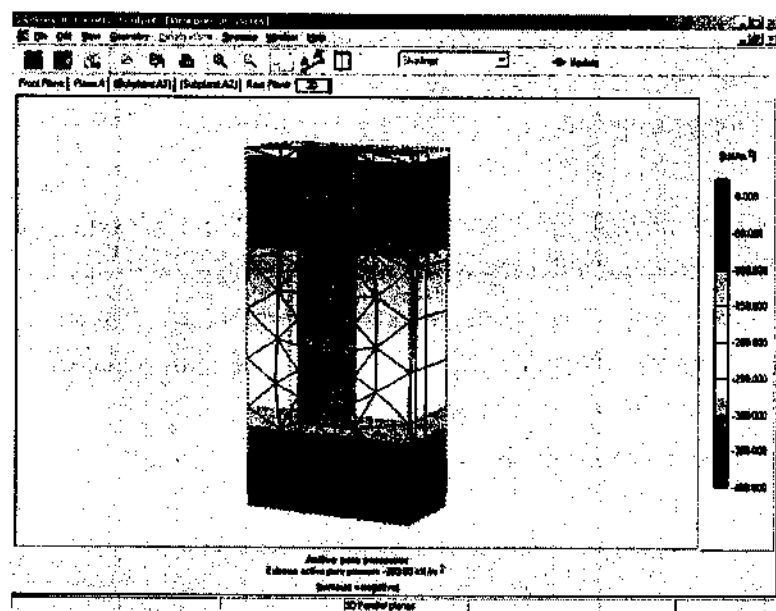
Trong *Slice 1*, phục hồi hoạt động của 6 miền được đào.

Mở cơ sở dữ liệu vật liệu, tiến hành kéo và nhả loại vật liệu bê tông lên 6 miền trong công trình.

Bật nút công tắc điều kiện nước.

Trong *Slice 1*, nhấn đúp chuột lên một trong các miền của công trình để thay đổi *Use defined pore pressure distribution*. Chọn lựa chọn *dry cluster* để áp lực nước =0.

Làm tương tự cho 5 miền còn lại và mô hình áp lực nước nhân tạo bằng bê tông.



Hình 3.75. Bê tông đông cứng

áp lực gia cố của bentônít ở giai đoạn 3 rất thấp, gọi là tới hạn. Có thể kiểm tra trạng thái tới hạn của Phase 3 bằng cách tính toán hệ số an toàn cho 3 giai đoạn đầu tiên bằng giá trị trung bình của *Phi-C reduction*. Do đó, cần thực hiện tiếp các bước sau đây:

Phase 6

Tạo một giai đoạn mới và chọn *Caculation type: 3D Phi-C reduction*.

Khi tính toán hệ số an toàn cho giai đoạn 1, chọn 1 -<Phase 1> cho thông số *Start from phase* trong hộp *Phase* của trang tính *Generate*.

Trong trang tính *Parameter*, đặt số bước phụ là 40, chọn *Reset displacements to zero* và nhấn <Define>.

Trong trang tính *Multipliers*, giữ nguyên giá trị $Msf=0,1$.

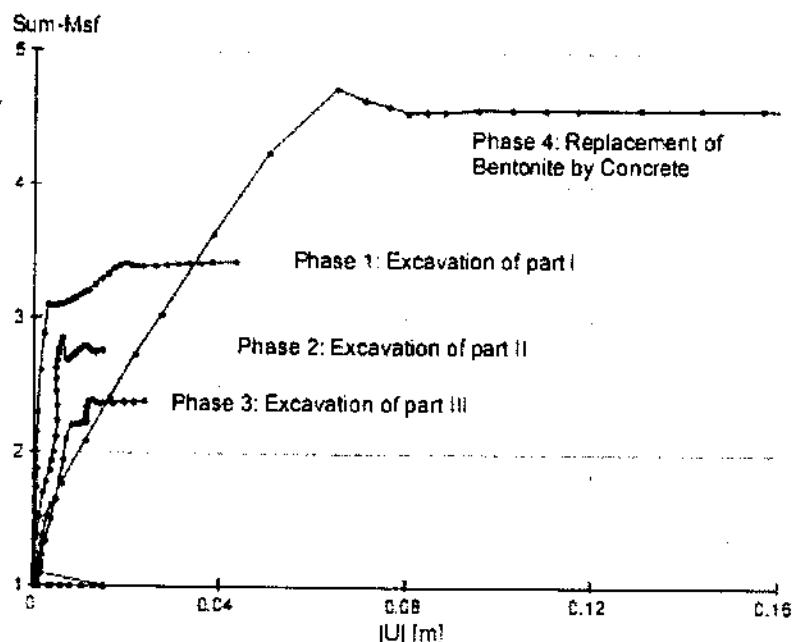
Phase 7, 8 và 9

Làm tương tự như các giai đoạn trước, nhưng chọn riêng từng phase 2,3 và 4 cho thông số *Start from phase*.

Các giai đoạn tính toán đã được định nghĩa xong. Bây giờ tiến hành chọn một số điểm cho đường cong tải trọng – biến dạng (ví dụ một số điểm trên mặt A bên cạnh công trình). Bắt đầu tính toán bằng cách nhấn nút <Calculate>.

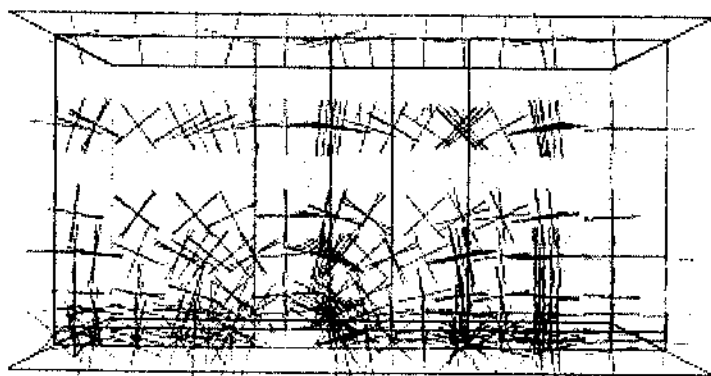
3.2.4.3. Xem kết quả

Độ ổn định của công trình có thể đánh giá qua kết quả tính toán hệ số an toàn sau mỗi giai đoạn thi công. Sử dụng chương trình Curves để biểu diễn Sum-Msf (hệ số an toàn) là hàm số của chuyển vị U (hình 3.76). Trong giai đoạn 3, độ ổn định đạt được ở điểm thấp nhất. Tuy nhiên, Sum-Msf còn lại lớn hơn 1 và không xảy ra sự sụp đổ.

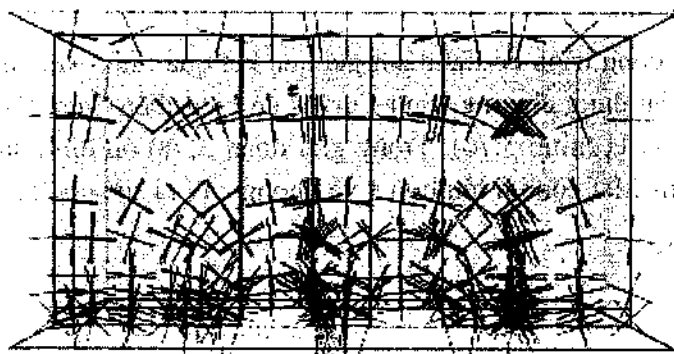


Hình 3.76. Sum-Msf (hệ số an toàn) là hàm số của tổng chuyển vị

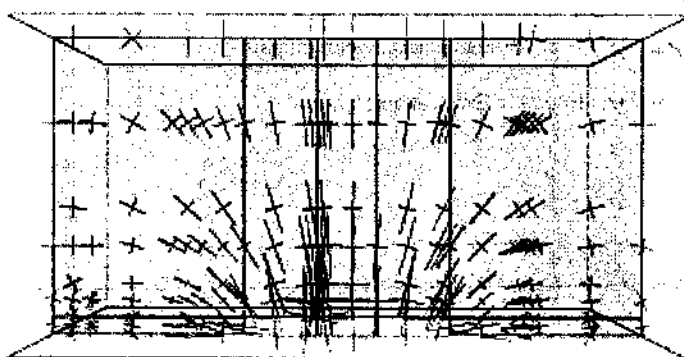
Một hiện tượng quan trọng giữ cho công trình ổn định là vòm cân bằng. Hiện tượng này được thể hiện trên hình 3.77, hình 3.78 và hình 3.79. Để tạo ra những hình biểu diễn này, cắt mặt cắt ngang ở giữa công trình và chọn Principal stresses từ thực đơn Stresses. Quay sơ đồ để có thể xem mô hình từ trên đỉnh.



Hình 3.77. ứng suất chính gần mặt đất trong phase 1 biểu diễn ảnh hưởng của vòm cân bằng



Hình 3.78. ứng suất chính gần mặt đất trong phase 2 biểu diễn ảnh hưởng của vòm cân bằng



Hình 3.79. ứng suất chính gần mặt đất trong phase 4 biểu diễn ảnh hưởng của vòm cân bằng

3.2.5. Bài tập 5: Phân tích quá trình đào hầm thi công bằng máy khiên đào

Trong phần này chúng ta sẽ xem xét lại đường hầm được thi công bằng khiên đào trong phần 3. Trong phần trước mới chỉ nghiên cứu ổn định của gương hầm, ở phần này sẽ mô hình chi tiết hơn các quá trình thi công đường hầm đó. Trọng tâm là phân tích biến dạng của đất trên bề mặt trong quá trình xây dựng hầm.

Vỏ chống của đường hầm thi công bằng khiên đào thường sử dụng là các tấm bê tông đúc sẵn. Trong quá trình lắp đặt vỏ chống, TBM không chuyển động. Khi một vòng vỏ chống được lắp đặt xong, công tác đào lại được thực hiện tiếp cho tới khi đủ chiều dài của một vòng vỏ chống hầm khoảng 1,5m. Trong mỗi giai đoạn đó, các bước giống nhau được lặp đi lặp lại.

Có thể sử dụng các đoạn 1,5m để mô hình cho đường hầm trong ví dụ này. Quá trình tính toán sẽ bao gồm các giai đoạn xây dựng (Staged construction), mỗi đoạn mô hình sẽ có các công việc được tiến hành giống nhau: áp lực gia cố gương hầm để chống phá hủy gương, khiên TBM có dạng hình nón, công tác đào đất bằng TBM, công tác lắp đặt vỏ chống và bơm vữa chèn lấp khoảng hở giữa vỏ chống và đất.

3.2.5.1. Mô hình

Mặt cắt ngang hình học của đường hầm tương tự như trong bài tập 3.2.3. TBM có đường kính 8,5m và được lắp đặt ở độ sâu 9m bên dưới mặt đất. Mô hình có chiều rộng 20m và sâu 20m. TBM dài 9m và chúng ta sẽ nghiên cứu một khu vực dài 80m theo phương trục Z. Phần giữa của khu vực này sẽ được chia thành các đoạn có chiều dày 1,5m tương ứng với chiều dài của vòng vỏ chống dúc sẵn.

Trong bài tập 3.2.3, chỉ có TBM được mô hình còn vỏ chống không được mô hình. Trong ví dụ này chúng ta sẽ tiến hành mô hình cả phần vỏ chống. Để thực hiện điều đó, tiến hành như sau:

Mô hình

Bắt đầu chương trình nhập dữ liệu và mở file dự án trong bài tập 3.2.3.

Chọn *Save As* từ thực đơn *File* để ghi lại dự án ở một tên khác.

TBM sẽ được mô hình như một tấm vỏ tương tự như trong bài tập 3.2.3. Phần tử vỏ chống sẽ được mô hình bằng phần tử thể tích. Để tạo các phần tử thể tích lắp vào phần tử đường hầm ở trên, thực hiện như sau:

Nhấn đúp chuột vào điểm giữa của đường hầm (20; -9). Khi đó mô hình đường hầm sẽ mở ra.

Giữ nguyên *Type of tunnel* cho đường hầm TBM, nhưng thay đổi chiều dày *Thickness=0,25m*.

Chiều dày của vỏ chống đã được thêm vào bán kính của hầm. Để giữ nguyên bán kính ngoài của hầm giống như trong ví dụ 3, giảm bán kính của *Section 1* xuống còn 4m.

Giữ nguyên các thiết lập khác và nhấn <OK> để quay lại cửa sổ chính.

Điều kiện biên

Do thay đổi hình dạng đường hầm thay đổi nên các điều kiện biên cũ có thể không chính xác. Do đó cần phải thay đổi các điều kiện biên cho phù hợp:

Chọn nút *Standard fixities* trên thanh công cụ. Kết quả mô hình có dạng như trên hình 3.66.

Đặc tính vật liệu

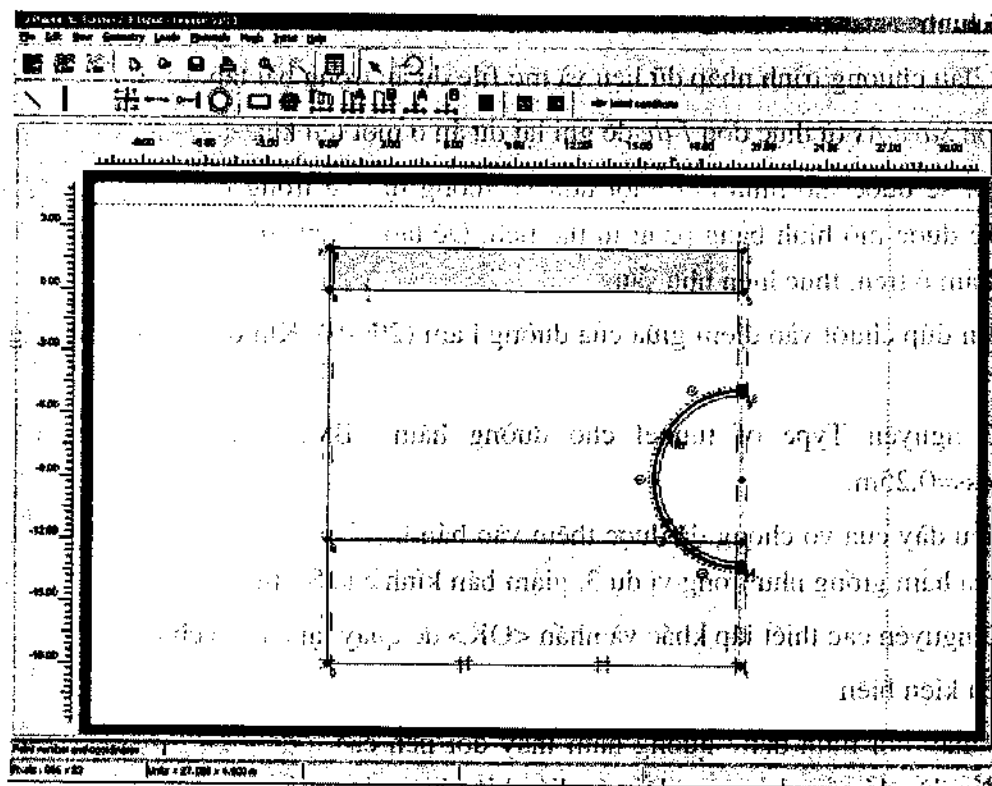
Trong ví dụ 3 chúng ta đã có đặc tính vật liệu của đất. Đối với vỏ chống bê tông, cần phải thiết lập một giữ liệu mới như sau:

Nhấn nút *Material Set* và nhập các đặc tính của bê tông như cho trên bảng 3.19.

Không được gán dữ liệu này cho các miền đất. Nó sẽ được thực hiện trong các giai đoạn xây dựng hầm.

Bảng 3.19. ĐẶC TÍNH VẬT LIỆU CỦA VỎ CHỐNG HÂM

Thông số	Tên	Giá trị	Đơn vị
Nhận biết	-	Bê tông	-
Mô hình vật liệu	Model	Đàn hồi	-
Loại vật liệu	Type	Không xốp	-
Trọng lượng thể tích	Yunsel	24	kN/m ³
Môđun đàn hồi	E _{ref}	3,1.10 ⁷	kN/m ²
Hệ số Poisson	v	0,1	-



Hình 3.80. Mô hình công trình

Tạo lưới 2D

Mô hình đã được tạo xong, bây giờ chúng ta tiến hành tạo lưới cho mô hình. Do đặc tính đường hầm đã bị thay đổi nên lưới cần phải tạo lại.

Nhấn nút *Generate mesh* để tạo lưới.

Nhấn nút *<Update>* để quay trở lại cửa sổ chính.

Chọn phần tử tam của đường hầm. Bạn có thể sử dụng phím *Shift-Click* để chọn đồng thời nhiều phần tử. Sau đó chọn *Refine line* từ thực đơn *Mesh* để cải tiến các phần tử. Nhấn *<Update>* để chấp nhận lưới và quay trở lại cửa sổ chính.

[Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS](http://www.vietcons.org)

<http://www.vietcons.org>

Tạo lưới 3D

Đường hầm sẽ được mô hình 20 đoạn, mỗi đoạn có chiều rộng là 1,5m.

Nhấn nút *Generate 3D mesh*. Chọn mặt giữa ($Z=-8,6\text{m}$) và nhấn chuột phải lên đỉnh của số để thay đổi lọc cục bộ bằng 10.

Thêm 20 mặt phẳng mới. Chúng sẽ có tên từ B đến U. Thay đổi tọa độ Z của các mặt có giá trị như trên bảng 3.20.

Tạo lưới 3D

Điều kiện ban đầu

Điều kiện ban đầu của dự án này tương tự giống như trong ví dụ 3. áp lực dựa trên cơ sở mực nước ngầm tại $Y=0\text{m}$ và ứng suất ban đầu dựa trên giá trị K_0 .

Kiểm tra mực nước ngầm vẫn còn ở mức $Y=0\text{m}$ và tạo áp lực ban đầu.

Tiếp theo chọn *Geometry configuration* và tiến hành tạo ứng suất ban đầu trên cơ sở giá trị mặc định của K_0 .

Ghi dự án và tiến hành chạy chương trình tính toán.

Bảng 3.20. TỌA ĐỘ Z CỦA CÁC MẶT

Mặt	Tọa độ Z	Mặt	Tọa độ Z	Mặt	Tọa độ Z
Trước	0	H	-35,5	P	-47,5
A	-25	I	-37	Q	-49
B	-26,5	J	-38,5	R	-50,5
C	-28	K	-40	S	-52
D	-29,5	L	-41,5	T	-53,5
E	-31	M	-43	U	-55
F	-32,5	N	-44,5	Cuối	-80
G	-34	O	-46		

3.2.5.2. Tính toán

Trong ví dụ này chúng ta mô hình công tác đào đất và xây dựng vỏ chống ở nhiều giai đoạn khác nhau, nhưng mỗi giai đoạn có các công việc được tiến hành giống nhau. Đất ở phía trước TBM sẽ được đào, áp lực gia cố được áp dụng ở gương. Khiến TBM sẽ hoạt động và có mô hình dạng nón, ở phía sau của TBM áp lực để phun ép vừa lấp đầy sẽ được mô hình bằng lực của các kích thủy lực định hướng TBM dùng để lắp đặt vỏ chống, và vỏ chống mới được lắp đặt. Giai đoạn sẽ khác các giai đoạn tiếp theo, bởi vì ở giai đoạn này đường hầm bắt đầu được đào. Giai đoạn này sẽ mô hình đường hầm đã tiến vào trong khối đất được 25m. Các giai đoạn tiếp theo sẽ mô hình tiến độ bằng 1,5m. Để định nghĩa tính toán giai đoạn đầu tiên, tiến hành như sau:

Phase 1

Trước hết xóa 3 giai đoạn tính toán đang tồn tại được định nghĩa trong bài tập 3.2.3. Chọn *phase 3* và nhấn <Delete>. Lắp lại cho *phase 1* và *phase 2*.

- Bây giờ thêm *phase 1* mới. Nhấn <New> để thêm một giai đoạn mới bắt đầu từ *phase 0*. Chấp nhận tất cả các thiết lập mặc định và định nghĩa *Staged construction*.

- Trong *Slice 1*, không cho 6 phần tử thể tích đất bên trong chuỗi tám biểu diễn vỏ TBM hoạt động.

- Bật tùy chọn thiết lập chuỗi tám biểu diễn vỏ TBM lên.

- Trong *Slice 2*, tắt công tắc 6 phần tử thể tích vỏ TBM. Không tắt phần tử tám. Trong *Slice* này, ảnh hưởng của vữa chèn lấp sẽ được mô hình sử dụng áp lực cho người sử dụng định nghĩa sau.

- Trong *Slice 3*, tắt tất cả 6 phần tử thể tích trong phần tử tám TBM.

- Trong *Slice 3* bật chuỗi tám biểu diễn vỏ TBM và mặt tiếp xúc xung quanh nó.

- Thay đổi thiết lập dữ liệu vật liệu cho miền đất bên ngoài TBM trong *slice 3* với ma sát của mặt tiếp xúc bị giảm. Chọn "Clay (R<1)" và kéo kiểu dữ liệu này gán cho lớp ở giữa. Chọn "Stiff Sand (R<1)" và gán cho lớp ở dưới cùng.

- TBM được mô hình 9m chiều dài vỏ tròn, ở trên tất kết hợp các phần tử đất và đặt các phần tử tám được lắp lại trong *Slice 4* đến *Slice 8*.



Nhấn nút <Copy> trên thanh công cụ. Khi đó hộp thoại *Copy slice* hoặc *Plane* sẽ mở.

- Trong hộp *Source segments*, chuyển nút *First* sang *Slice* và chọn *Slice 3* từ hộp kết hợp.

- Tương tự chọn *Slice 3* là *Last* trong hộp *Source segments*.

- Chọn *Slice 4* trong hộp kết hợp *Destination segments*.

- Đánh dấu vào *All slice data* để copy tất cả dữ liệu và nhấn <Apply> để copy dữ liệu từ *Slice 3* sang *Slice 4*. Xem cụ thể trên hình 3.81.

- Bây giờ thay đổi *Destination segments* sang *Slice 5* và nhấn <Apply>.

- Làm tương tự cho *Slice 6* đến *Slice 8* và nhấn <OK> để đóng hộp thoại *Copy* lại.

- Kiểm tra sự chính xác của các dữ liệu vừa copy bằng cách thay đổi của số từ *Slice 4* đến *slice 8*.

- Áp lực gia cố ở gương và lực của các kích thủy lực để đẩy TBM tiến về phía trước sẽ được mô hình bằng tải trọng Z. Kết quả tổng các tải trọng từ tải trọng Z có độ lớn bằng nhau nhưng ngược chiều.

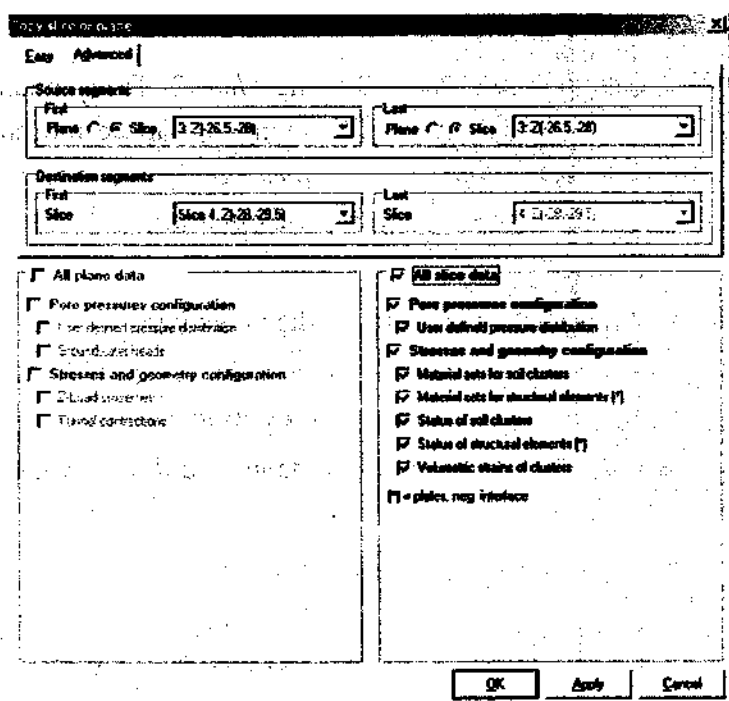
- Trong *Plane H*, gương hầm, áp lực gia cố sẽ được mô hình sử dụng tải trọng Z. Chọn

Plane H và nhấn chuột vào một trong các miền bên trong hầm và nhập tải trọng Z với $Y_{ref}=-4,75m$, $pref=-90kN/m^2$ và $pine=-14kN/m^2/m$.

- Lặp lại cho tới khi tải trọng Z được gán cho tất cả 6 miền ở gương hầm.

- Cuối cùng, các lực từ các kích thủy lực TBM sẽ được mô hình tương tự như mô hình cho áp lực gia cố. Bật Place A và nhập tải trọng Z với $pref=635,4kN/m^2$ cho từng miền trong số 4 miền biểu diễn vỏ chống hầm. Do chiều sâu không tăng nên có thể sử dụng giá trị mặc định của Y_{ref} .

- Dạng hình nón của TBM và phần đào thừa tiết diện ở gương cũng sẽ được mô hình sử dụng sự thu nhỏ lại. Trong giai đoạn đầu tiên, sự thu nhỏ cũng được áp dụng cho đường hầm đã được lấp đất phù hợp với điều kiện ban đầu.



Hình 3.81. Copy của số Slice hoặc Plane

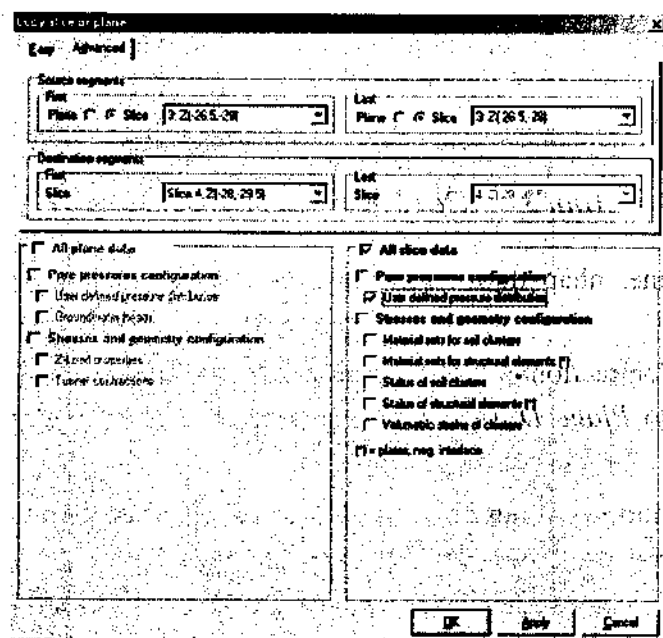
- Trong mỗi Plane, nhấp đúp chuột lên điểm trung tâm của hầm để mở cửa sổ Contraction.

- Nhập giá trị Contraction=0,5% cho trước mặt và Plane A, B và C. Nhập giá trị Contraction=0,4% cho Plane D, 0,3% cho Plane E và 0,2% cho Plane F và 0,1% cho Plane G. Nhấn <OK> để đóng cửa sổ Contraction.

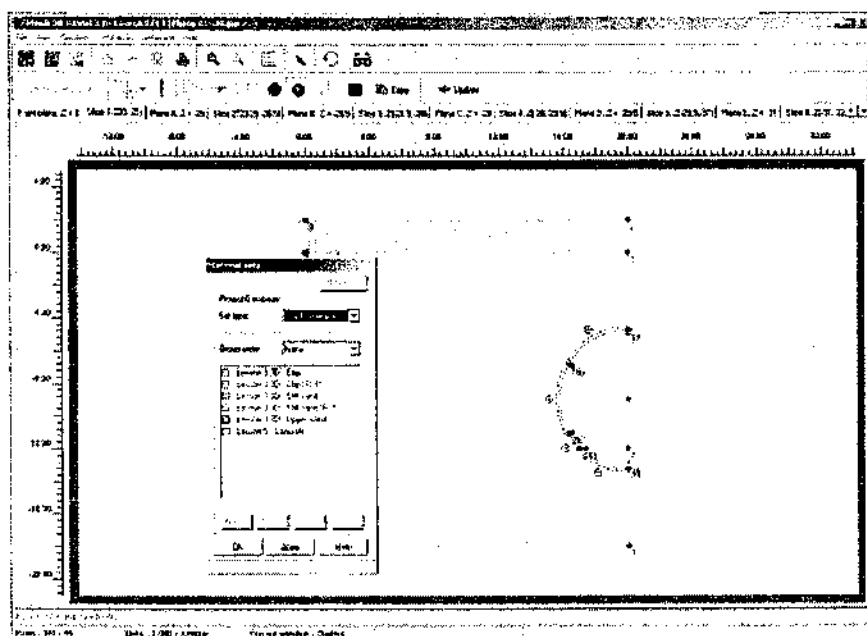
- Đường hầm đã được đào nhưng bên trong hầm vẫn đặt điều kiện là khô ráo. áp lực đất cũng được mô hình bằng một Slice giữa TBM và vỏ chống cố định.

- Bật Water condition và đặt 2 miền trong hầm Slice 1 là khô. Nhấn đúp chuột vào miền và chọn Use defined pore pressure và Cluster is dry trong slice này. Lặp lại cho các miền khác.

- Trong *Slice 2*, bật 2 miền trung tâm bên trong hầm và gán điều kiện khô tương tự như trên.
- Tắt 4 miền biểu diễn vỏ chống cố định trong *Slice 2*. Trong những miền đó *Use defined pore pressure distribution* sẽ được nhập thông số vào để mô phỏng áp lực đất. Chọn một trong số các miền đó và nhập *Use defined pore pressure distribution* với các thông số $Y_{ref}=-4,75m$, $p_{ref}=-100kN/m^2$ và $p_{inc}=-20kN/m^2/m$.
 - Lập lại cho các miền khác trong *Slice 2*.
 - Chọn tất cả 6 miền trong phần tử tám TBM ở điều kiện khô.
 - Copy *Use defined pore pressure distribution* cho *slice 4* đến *slice 8*, mở cửa sổ *Copy Slice* hoặc *Plane*. Chọn *slice 3* và *First* và *Last source segment*.
 - Chọn *Slice 4* và *Destination segment* và đánh dấu *Use defined pore pressure distribution*. Nhấn nút <Apply> để copy.
- Tắt 4 miền biểu diễn vỏ chống cố định trong *Slice 2*. Trong những miền đó *Use defined pore pressure distribution* sẽ được nhập thông số vào để mô phỏng áp lực đất. Chọn một trong số các miền đó và nhập *Use defined pore pressure distribution* với các thông số $y_{ref}=-4,75m$, $p_{ref}=-100kN/m^2$ và $p_{inc}=-20kN/m^2/m$.
 - Lập lại cho các miền khác trong *Slice 2*.
 - Chọn tất cả 6 miền trong phần tử tám TBM ở điều kiện khô.
 - Copy *Use defined pore pressure distribution* cho *Slice 4* đến *Slice 8*, mở cửa sổ *Copy Slice* hoặc *Plane*. Chọn *Slice 3* và *First* và *Last source segment*.
 - Chọn *Slice 4* và *Destination segment* và đánh dấu *Use defined pore pressure distribution*. Nhấn nút <Apply> để copy.



Hình 3.82. Copy áp lực do người sử dụng định nghĩa sang một Slice khác



Hình 3.83. Copy áp lực do người sử dụng định nghĩa sang một Slice khác

- Nhấn nút *Copy* trên thanh công cụ
- Chọn *Front Plane* là *First source segment* và *Plane U* là *Last source segment*.
- Chọn *Plane A* là *First destination segment*.
- Chọn *All plane data* và *All slice data* để copy tất cả các thiết lập cho mô hình. Nhấn <OK> để xác định lệnh *Copy* và đóng cửa sổ *Copy* lại.
- Nhấn chuột lên điểm giữa của hầm để thêm điều kiện thu nhỏ cho giai đoạn này. Nhập giá trị tru nhỏ là 0,1% cho các mặt D, E, F, G và H.
- Tạo lại áp lực cho giai đoạn này và quay trở lại chương trình tính toán để ghi lại các điều kiện biên mới.

Phase 3-5

Đã hoàn thành nhập dữ liệu cho giai đoạn thứ 2. Để mô hình giai đoạn xây dựng của đường hầm, có thể copy cho 20 slice sẽ được đào. Để xác định các giai đoạn này, thực hiện như sau:

- Nhấn <Next> để tính toán cho giai đoạn thứ 3.
- Nhấn nút <Copy> để mở hộp thoại *Copy* và chọn *Front Plane* là *First source segment* và *Plane U* là *Last source segment*. Chọn *Plane A* là *First destination segment*.
- Chọn *All plane data* và *All slice data* để copy tất cả các thiết lập cho mô hình. Nhấn <OK> để xác định lệnh *Copy* và đóng cửa sổ lệnh *Copy* lại.
- Nhập giá trị độ thu nhỏ lại là 0,1% cho các mặt E, F, G, H và I và tạo áp lực trước khi quay lại chương trình tính toán.

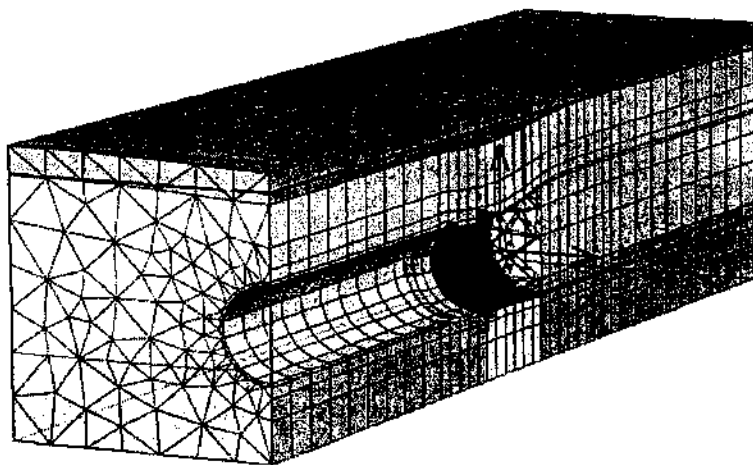
- Lập lại cho giai đoạn 4 và 5.
- Cuối cùng chọn một số điểm quan tâm đối với ví dụ trên và ở phía trước của TBM và bắt đầu tính toán.
- Quá trình tính toán cần khoảng 300MB khoảng trống bộ nhớ và sẽ mất khoảng vài giờ đồng hồ trên PC. Nếu không đủ bộ nhớ trong RAM, bộ nhớ ảo sẽ được sử dụng, nhưng tốc độ tính toán sẽ chậm hơn.

3.2.5.3. Xem kết quả

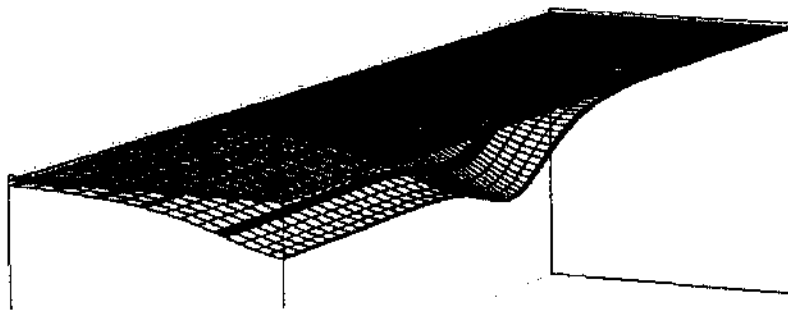
Sau khi chương trình tính toán kết thúc, có thể xem kết quả biến dạng lưới ở giai đoạn tính toán cuối cùng ở trên hình 3.84.

Trong hình vẽ này có thể thấy biến dạng của mặt đất. Có thể nhận ra sự lún của mặt đất bằng cách như sau:

- Chọn công cụ mặt cắt ngang trên thanh công cụ. Vẽ một đường thẳng ngang ở bên dưới mặt đất trong cửa sổ lưới biến dạng.
- Chọn *Deformed mesh* từ thực đơn và chọn *Deformation plane* từ danh sách hiện ra ở thanh công cụ.



Hình 3.84. Lưới biến dạng ở cuối giai đoạn 5

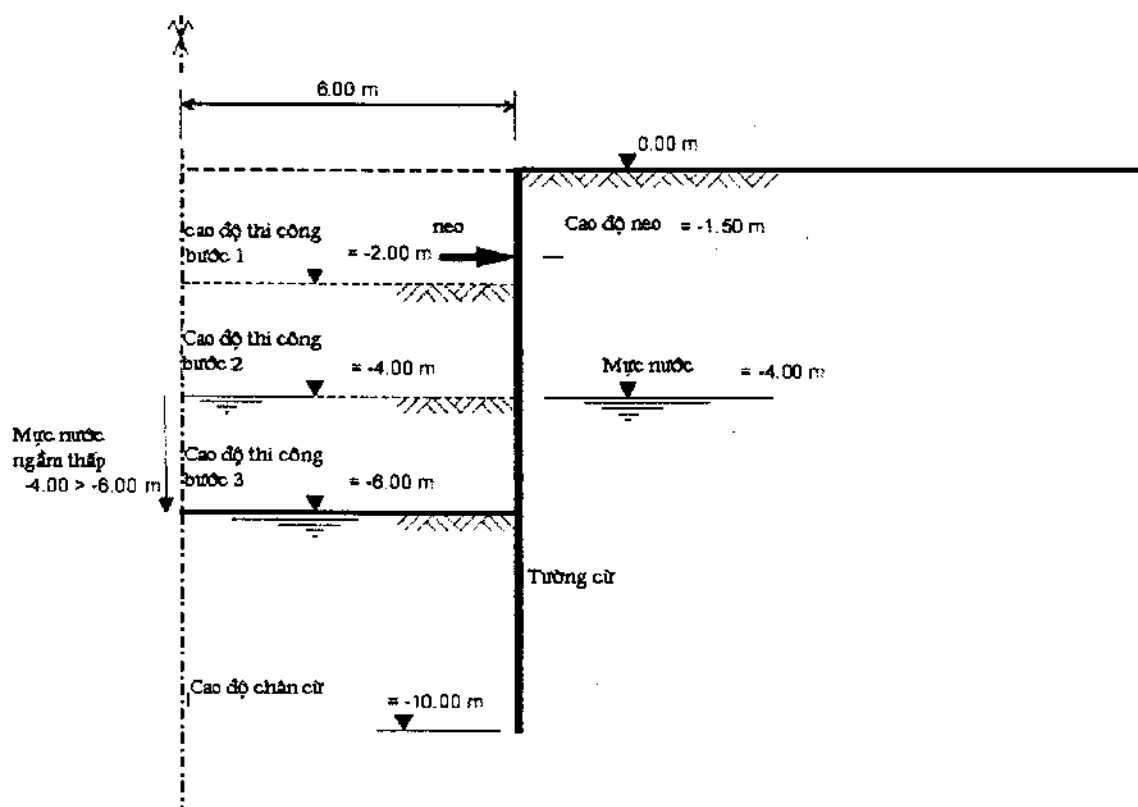


Hình 3.85. Lún mặt đất dạng hình máng ở cuối giai đoạn 5

3.3. BÀI TẬP THỰC HÀNH

Bài tập 1:

- Mặt cắt ngang mô hình cho trên hình vẽ 3.84.
- Yêu cầu: + Tính nội lực cho cừ và neo
- + Tính ổn định công trình



Hình 3.86. Mặt cắt ngang qua hố đào bài toán 1

Bảng 3.20. CÁC ĐẶC TRƯNG CƠ LÝ CỦA LỚP ĐẤT ĐÀO THEO MÔ HÌNH HS

γ_{dry}	γ_{wet}	E_{50}^{ref}	E_{ur}^{ref}	E_{oed}^{ref}	ϕ	ψ	c	v_{ur}	p^{ref}	m	K_0^{nc}	R_f	R_{inter}	T-Strength
kN/m ³	kN/m ³	kPa	kPa	kPa	°	°	kPa	-	kPa	-	-	-	-	kPa
19.0	20.0	45 000	180 000	45 000	35	5	1.0	0.2	100	0.55	0.426	0.9	0.7	0.0

Bảng 3.21. CÁC ĐẶC TRƯNG VẬT LIỆU CỪ VÀ NEO

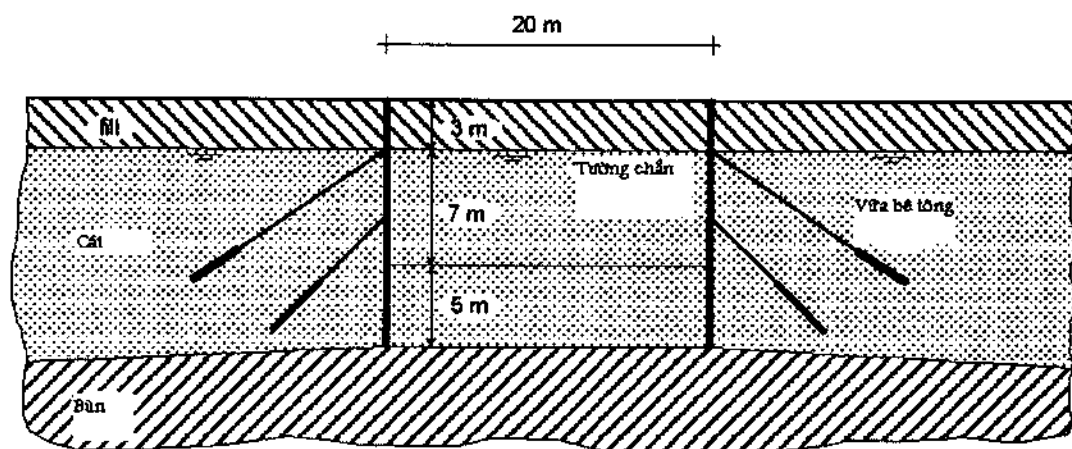
	EA	EI	w	v
	kN/m	kNm ² /m	kN/m/m	-
Tường chắn (cừ)	2.52E6	8064	0.655	0.0
Neo	1.5E6			

Bài tập 2:

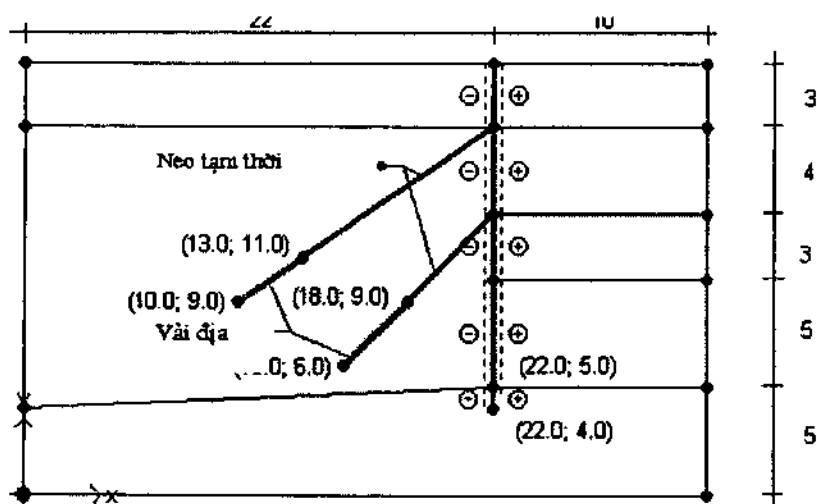
- Mặt cắt ngang mô hình cho trên hình vẽ 3.85.

- Yêu cầu: + Tính nội lực cho cừ và neo

+ Tính ổn định công trình



Hình 3.87. Mặt cắt ngang qua hố đào bài toán 2



Hình 3.88. Mô hình hình học bài toán 2

Bảng 3.4. ĐẶC TRƯNG VẬT LIỆU ĐẤT

Thông số	Ký hiệu	Đất đắp	Cát	Bùn	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	-
Loại ứng xử vật liệu	Type	Drained	Drained	Drained	-
Trọng lượng riêng của đất trên mực nước ngầm	γ_{sat}	16	17	17	kN/m ³
Trọng lượng riêng của đất dưới mực nước ngầm	γ_{sat}	20	20	19	kN/m ³
Hệ số thấm theo phương ngang	k_x	1.0	0.5	0.1	m/day
Hệ số thấm theo phương dọc	k_y	1.0	0.5	0.1	m/day
Modun đàn hồi E_u	E_{50}	8000	30000	20000	m/day
Hệ số Poisson	ν	0.3	0.3	0.33	-
Lực dính (không đổi)	c_{ref}	1.0	1.0	8.0	kN/m ²
Góc ma sát trong	ϕ	30	34	29	độ
Góc trương nở	ψ	0	4.0	0	độ
Hệ số giảm cường độ	R_{inter}	0.65	0.7	Rigit (1.0)	-

Lưu ý: Khi xét quá trình dỡ tải sử dụng $E_{ur} \approx 4E_{50}$

Bảng 3.23. ĐẶC TRƯNG VẬT TƯỜNG CHẮN

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	Linear Elastic	-
Độ cứng dọc trục	EA	$1.2 \cdot 10^7$	kN/m
Độ cứng chịu uốn	EI	$0.12 \cdot 10^8$	kNm ² /m
Bề dày tường đương	d	0.346	m
Trọng lượng riêng	w	8.3	kN/m/m
Hệ số Poisson	ν	0.15	-

Bảng 3.24. ĐẶC TRƯNG VẬT LIỆU CỦA NEO (ANCHOR)

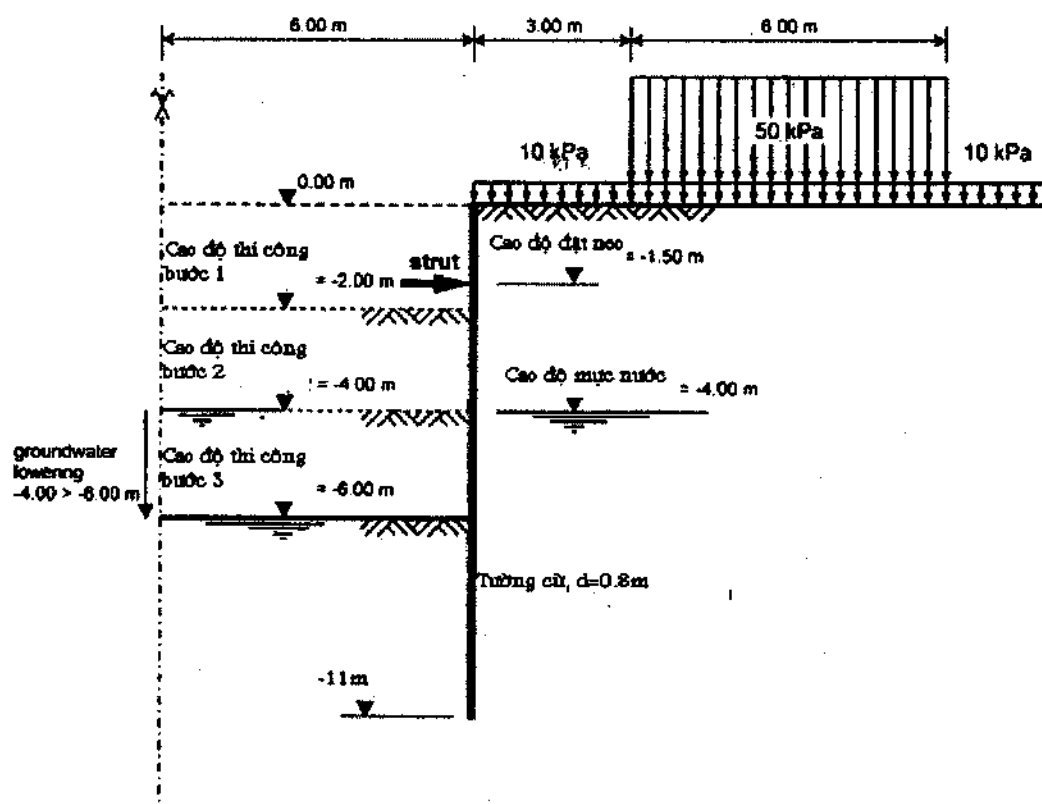
Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	Elastic	-
Độ cứng dọc trục	EA	$2 \cdot 10^5$	kN
Khoảng cách đặt neo	L_s	2.5	m
Lực kéo lớn nhất	F_{max}	$1 \cdot 10^5$	kN

Bảng 3.25. ĐẶC TRƯNG VẬT LIỆU VỮA PHỤT (GROUT BODY)

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Độ cứng dọc trục	EA	1.10^5	kN

Bài 3:

- Mặt cắt ngang mô hình cho trên hình vẽ 3.86.
- Yêu cầu:
 - + Tính nội lực cho cừ và neo (Tính chiều sâu cừ, lực neo lớn nhất)
 - + Tính ổn định công trình



Hình 3.89. Mô hình hình học bài toán hố đào 3

Bảng 3.26. ĐẶC TRƯNG VẬT LIỆU ĐẤT

Thông số	Ký hiệu	Đất	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	Mohr-Coulomb	-
Loại ứng xử vật liệu	Type	Drained	-
Trọng lượng riêng của đất trên mực nước ngầm	γ_{unsat}	19	kN/m ³
Trọng lượng riêng của đất dưới mực nước ngầm	γ_{sat}	20	kN/m ³

Thông số	Ký hiệu	Đất	Đơn vị
Hệ số thấm theo phương ngang	k_x	1.0	m/day
Hệ số thấm theo phương dọc	k_y	1.0	m/day
Modun đàn hồi E_{ref}	E_{ref}	30000	m/day
Hệ số Poisson	ν	0.3	-
Lực dính (không đổi)	c_{ref}	10	kN/m ²
Góc ma sát trong	φ	27.5	độ
Góc trương nở	ψ	0	độ

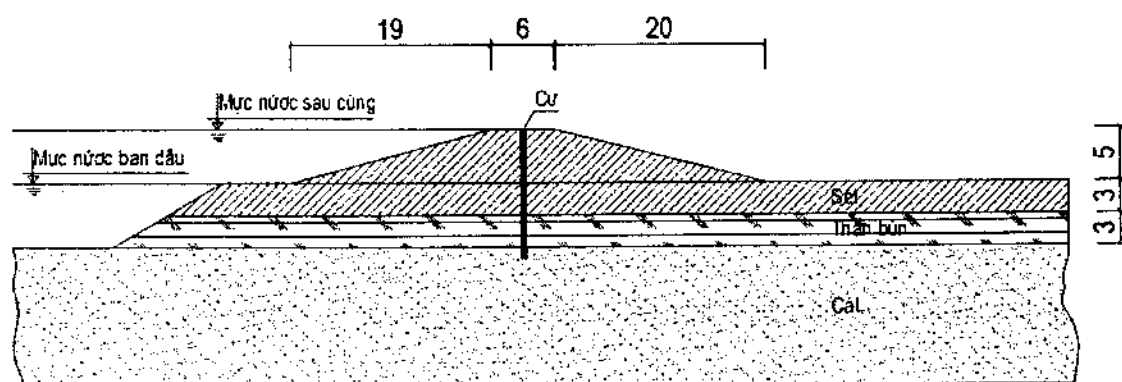
Bảng 3.27. ĐẶC TRƯNG VẬT TUỒNG CHẤN AZ 12, F=240 GPA

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	Linear Elastic	-
Độ cứng dọc trục	EA	$3.02 \cdot 10^6$	kN/m
Độ cứng chịu uốn	EI	$4.35 \cdot 10^4$	kNm ² /m
Bề dày tương đương	d	0.346	m
Khối lượng riêng	w	8.3	kN/m/m
Hệ số Poisson	ν	0.15	-

Bảng 3.28. ĐẶC TRƯNG VẬT LIỆU CỦA NEO (ANCHOR)

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	Elastic	-
Độ cứng dọc trục	EA	$2 \cdot 10^6$	kN
Khoảng cách đặt neo	L_s	5	m

Bài tập 4: - Phân tích ổn định và biến dạng đê biển



Hình 3.90. Mặt cắt ngang bài toán ổn định đê biển

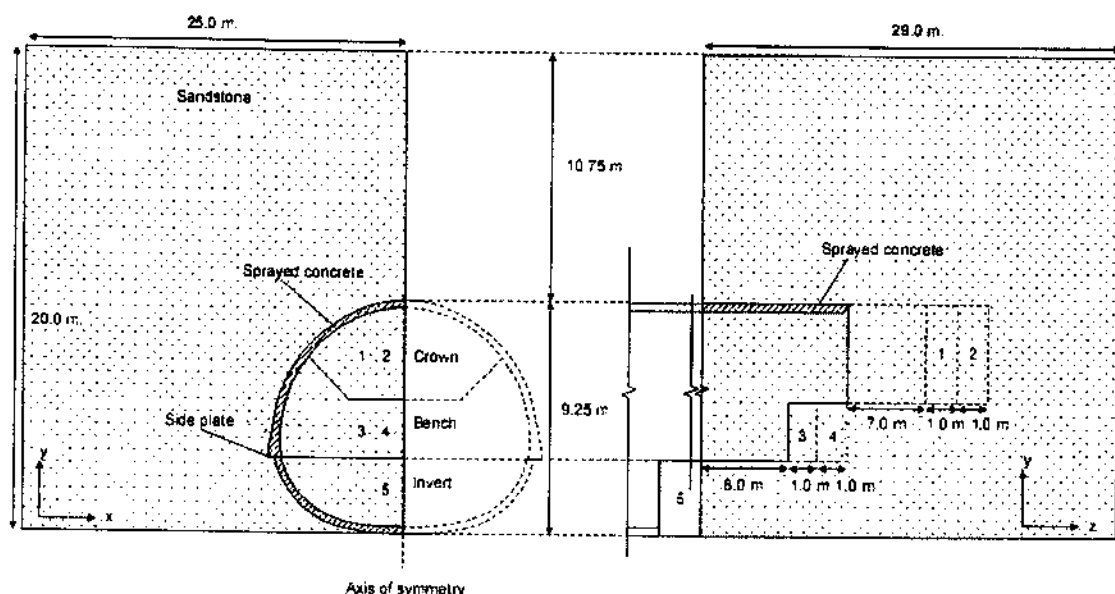
Bảng 3.30. ĐẶC TRƯNG VẬT LIỆU ĐẤT

Thông số	Ký hiệu	Sét	Bùn	Cát	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	-
Loại ứng xử vật liệu	Type	Drained	Drained	Drained	-
Trọng lượng riêng của đất trên mực nước ngầm	γ_{unsat}	16	8	17	kN/m ³
Trọng lượng riêng của đất dưới mực nước ngầm	γ_{sat}	18	11.5	20	kN/m ³
Hệ số thấm theo phương ngang	k_x	0.001	0.01	1	m/day
Hệ số thấm theo phương dọc	k_y	0.001	0.001	1	m/day
Modun đàn hồi E_{ref}	E_{ref}	2000	500	20000	m/day
Hệ số Poisson	ν	0.35	0.35	0.3	-
Lực dính (không đổi)	c_{ref}	2.0	5.0	1.0	kN/m ²
Góc ma sát trong	ϕ	24	2	30	độ
Góc trương nở	ψ	0	4.0	0	độ

Bảng 3.31. ĐẶC TRƯNG VẬT TƯỜNG CHẤN

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	Linear Elastic	-
Độ cứng dọc trục	EA	$7.5 \cdot 10^6$	kN/m
Độ cứng chịu uốn	EI	$1.0 \cdot 10^6$	kNm ² /m
Bề dày tương đương	d	1.265	m
Trọng lượng riêng	w	10	kN/m/m
Hệ số Poisson	ν	0.15	-

Bài 5: Nghiên cứu xây dựng đường hầm theo phương pháp NATM qua các giai đoạn thi công.



Hình 3.91. Mặt cắt ngang và dọc bài tập 5

Bảng 3.32. CÁC THÔNG SỐ HÌNH HỌC CHO TỪNG PHẦN CỦA NỬA TRÁI ĐƯỜNG HẦM

Phần	Dạng hình học	Chiều dài/bán kính (m)	Góc (độ)
1	Đường thẳng- Line	5,00	-
2	Góc – Corner	-	90
3	Cung tròn – Arc	7,50	37
4	Cung tròn – Arc	4,37	53

- Đặc trưng vật liệu

Bảng 3.33. ĐẶC TÍNH VẬT LIỆU CỦA LỚP ĐÁ CÁT CỨNG

Thông số	Tên	Cát cứng	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	Mohr-Coulomb	-
Loại vật liệu	Type	Drained	-
Trọng lượng riêng lớp đất đá bên trên nước ngầm	γ_{unsat}	21	kN/m ³
Trọng lượng riêng lớp đất đá bên dưới nước ngầm	γ_{sat}	21	kN/m ³
Mô đun đàn hồi (Young)	E_{ref}	$2.5 \cdot 10^5$	kN/m ²
Hệ số Poisson	ν	0,25	-
Lực dính kết	C_{ref}	25	kN/m ²
Góc ma sát	φ	35	độ
Góc trương nở	ψ	5	độ
Độ bền kéo	TS	5	kN/m ²

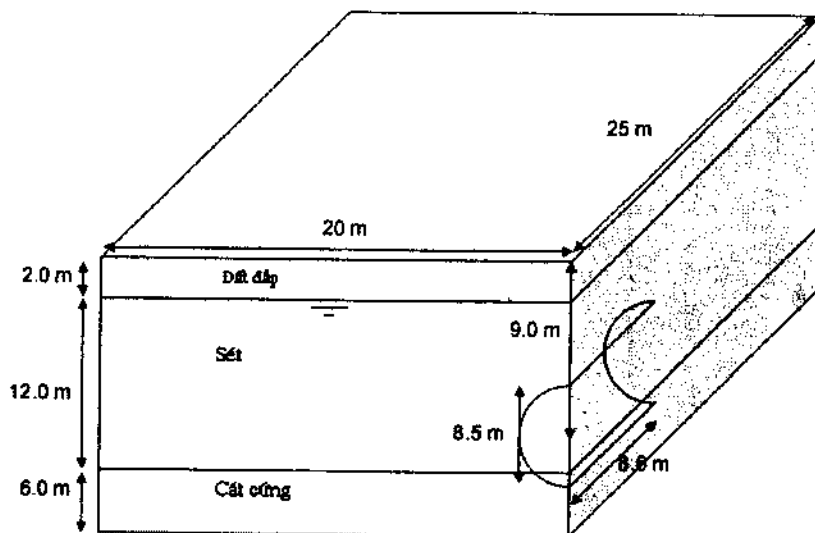
- Bê tông phun

Bảng 3.34. ĐẶC TÍNH VẬT LIỆU CỦA LỚP BÊ TÔNG PHUN

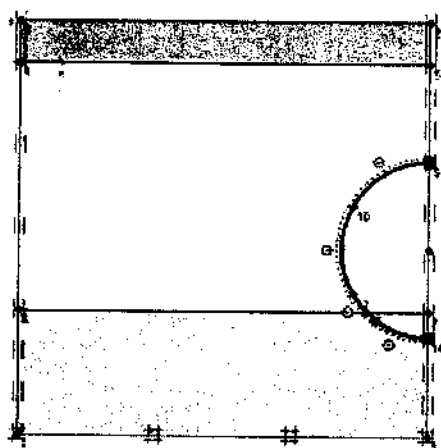
Thông số	Tên	Giá trị	Đơn vị
Loại vật liệu	Material type	Elastic	-
Độ cứng	EA	$3 \cdot 10^6$	kN/m
Khả năng chống uốn	EI	$2,25 \cdot 10^4$	kNm ² /m
Chiều dày quy đổi	D	0,3	m
Trọng lượng	W	8,4	kN/m/m
Hệ số Poisson	ν	0,15	-

- Tham khảo bài tập 3.2.3.

Bài tập 6: Ví dụ tính toán ổn định gương hầm



Hình 3.92. Mặt cắt ngang và dọc bài tập 6



Hình 3.93. Mô hình hình học bài tập 6

- Đặc trưng vật liệu

Bảng 3.35. ĐẶC TÍNH VẬT LIỆU CỦA LỚP ĐÁ CÁT CỨNG

Thông số	Ký hiệu	Đất đắp	Sét	Cát cứng	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	-
Loại ứng xử vật liệu	Type	Drained	Drained	Drained	-
Trọng lượng riêng của đất trên mực nước ngầm	γ_{unsat}	16	16	17	kN/m ³
Trọng lượng riêng của đất dưới mực nước ngầm	γ_{sat}	20	18	20	kN/m ³
Modun đàn hồi E_u	E_{50}	8000	2000	$7.5 \cdot 10^4$	m/day
Hệ số Poisson	ν	0.3	0.35	0.3	độ
Lực dính (không đổi)	C_{ref}	1.0	2.0	1.0	kN/m ²
Góc ma sát trong	φ	30	24	30	độ
Góc trương nở	ψ	0	0	0	độ
Hệ số giảm cường độ	R_{inter}	0.65	0.5	0.485	-

- Vật liệu TBM

Bảng 3.36. ĐẶC TÍNH VẬT LIỆU CỦA TBM

Thông số	Tên	Giá trị	Đơn vị
Loại vật liệu	Material type	Elastic	-
Độ cứng	EA	$8,2 \cdot 10^6$	kN/m
Khả năng chống uốn	EI	$8,38 \cdot 10^4$	kNm ² /m
Chiều dày quy đổi	D	0,35	m
Trọng lượng	W	38,15	kN/m ² /m
Hệ số Pisson	ν	0	-

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. PGS.TS Phạm Văn Giáp, TS Bùi Việt Đông, *Bến cảng trên nền đất yếu*, NXB Xây Dựng, Hà Nội 2006.
2. PGS.TS Phạm Văn Giáp, PGS.TS Nguyễn Hữu Đầu, TS Nguyễn Ngọc Huệ, *Công trình bến cảng biển*, NXB Xây Dựng, Hà Nội 1998.
3. Vũ Mạnh Hùng, *Cơ học và kết cấu công trình*. NXB Xây Dựng, 1999.
4. K.J Bathe, E.L Wilson, *Nummerical Methods on Finite Element Analysis*. Prentice – Hall, 1996.
5. Chu Quốc Thắng, *Phương pháp phần tử hữu hạn*. NXB Khoa học – Kỹ thuật, 1977.
6. Nguyễn Quang Phích, Nguyễn Văn Mạnh, Đỗ Ngọc Anh, *Phương pháp số chương trình PLAXIS 3D & UDEC*, Nhà xuất bản Xây Dựng, 2007.
7. GS.TS. Nguyễn Việt Trung, *Thiết kế hầm thành phố, Đại học Giao thông vận tải*, 2007.
8. Bộ Giao thông vận tải, *Tiêu chuẩn thiết kế Công trình bến Cảng biển*. 22 TCN 207 - 92.
9. Bộ Giao thông vận tải, *Tiêu chuẩn thiết kế Công trình bến Cảng sông*. 22 TCN 219 - 94.
10. *Plaxis Version 8 Referent manual*, 2002.
11. *Plaxis 3D Tunnel Version 2 Referent manual*, 2006.

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU.....	3
Chương 1. GIỚI THIỆU CHUNG VỀ PHẦN MỀM PLAXIS.....	5
1.1. Giới thiệu về bộ phần mềm Plaxis	5
1.2. Khả năng phân tích của phần mềm Plaxis	6
1.3. Phương pháp Phần tử hữu hạn sử dụng trong phân tích bài toán địa kỹ thuật	7
1.3.1. Cơ sở lý thuyết của phần mềm Plaxis	7
1.3.2. Các bước cơ bản của phương pháp PTHH.....	11
1.4. Khái quát về mô hình hoá trong Plaxis.....	11
Chương 2. CÁC TÍNH NĂNG HỖ TRỢ CỦA PLAXIS TRONG TÍNH TOÁN CÔNG TRÌNH HẦM VÀ TƯỜNG CỪ.....	14
2.1. Giới thiệu kết cấu công trình ngầm, tường cừ.....	14
2.1.1. Giới thiệu kết cấu công trình tường cừ, đặc điểm làm việc và yêu cầu tính toán [Tham khảo [1], [2], [8], [9]).....	14
2.1.2. Giới thiệu kết cấu công trình hầm, đặc điểm thi công và yêu cầu tính toán.....	20
2.2. Phần mềm Plaxis V.8 trong tính toán tường cừ	31
2.2.1. Một số dạng bài toán cơ bản ứng dụng giải bằng phần mềm Plaxis V.8.2.....	31
2.2.2. Một số tính năng cơ bản.....	39
2.2.3. Thiết lập tổng hợp	40
2.2.4. Xây dựng mô hình hoá.....	41
2.2.5. Xác định các giai đoạn tính – Chạy chương trình.....	52
2.2.6. Phân tích kết quả.....	54
2.3. Phần mềm Plaxis 3D Tunnel trong tính toán công trình hầm.....	57
2.3.1. Một số dạng bài toán cơ bản ứng dụng giải bằng phần mềm Plaxis 3D Tunnel.....	57
2.3.2. Một số tính năng cơ bản.....	60
2.3.3. Thiết lập tổng quan	61
2.3.4. Xây dựng mô hình hoá.....	62

2.3. 5.	Xác định các giai đoạn tính – Chạy chương trình	68
2.3.6.	Phân tích kết quả	68
Chương 3.	CÁC VÍ DỤ TÍNH TOÁN CÔNG TRÌNH HẦM VÀ TƯỜNG CỪ	69
3.1.	Tính toán kết cấu công trình bằng phần mềm Plaxis V8.2	69
3.1.1.	Bài tập 1: Phân tích biến dạng hố đào chống đỡ bằng cừ có thanh chống neo	69
3.1. 2.	Bài tập 2: Phân tích biến dạng hố đào chống đỡ bằng cừ có neo	82
3.1.3.	Bài tập 3: Phân tích nội lực bên tường cừ kép	86
3.2.	Tính toán kết cấu công trình hầm bằng Plaxis 3D Tunnel	90
3.2.1.	Bài tập 1: Biến dạng của móng vuông trên nền cát	90
3.2.2.	Bài tập 2: Thi công đường hầm theo phương pháp NATM	112
3.2.3.	Bài tập 3: Tính toán ổn định gương hầm	125
3.2. 4.	Bài tập 4: Tính toán ổn định tường trong đất	141
3.2.5.	Bài tập 5: Phân tích quá trình đào hầm thi công bằng máy khiên đào	150
3.3.	Bài tập thực hành	159
TÀI LIỆU THAM KHẢO		168
MỤC LỤC		169

PHÂN TÍCH KẾT CẤU HẦM VÀ TƯỜNG CỬ BẰNG PHẦN MỀM PLAXIS

GS.TS. NGUYỄN VIỆT TRUNG - TH.S NGUYỄN THỊ BẠCH DƯƠNG

**Chịu trách nhiệm xuất bản
LÊ TỬ GIANG**

**Biên tập
HOÀNG KIM SỸ ĐỒNG**

**Trình bày và Thiết kế bìa
NHỊ LƯƠNG**

**NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI
80B Trần Hưng Đạo - Hoàn Kiếm - Hà Nội
ĐT: 04. 39423345 - 39423346 * Fax: 04. 38224784**

In 500 cuốn khổ 19 x 27cm tại Công ty in Giao thông - Nhà xuất bản Giao thông vận tải

Đăng ký KHXB số: 148-2010/CXB/64-05/GTVT

Quyết định xuất bản số: 38/QĐ-GTVT ngày 25/2/2010.

In xong và nộp lưu chiểu Quý I/2010.

Trung tâm đào tạo xây dựng VIETCONS

<http://www.vietcons.org>