TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG
VIỆN CẢNG - KỸ THUẬT HÀNG HẢI

PGS. TS. Đỗ Văn Đệ *(chủ biên)*
KS. Nguyễn Ngọc Hưng, KS. Đỗ Tiến Dũng, KS. Vũ Minh Tuấn
KS. Nguyễn Sỹ Han, KS. Nguyễn Thành Thắng, KS. Nguyễn Hải Nam

Phần mềm PLAXIS

ỨNG DỤNG VÀO TÍNH TOÁN CÁC CÔNG TRÌNH THỦY CÔNG

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG
VIỆN CẢNG - KỸ THUẬT HÀNG HẢI

PGS. TS. Đỗ Văn Đệ *(chủ biên)*
KS. Nguyễn Ngọc Hưng, KS. Đỗ Tiến Dũng, KS. Vũ Minh Tuấn
KS. Nguyễn Sỹ Han, KS. Nguyễn Thành Thắng, KS. Nguyễn Hải Nam

Phần mềm PLAXIS

ỨNG DỤNG VÀO TÍNH TOÁN CÁC CÔNG TRÌNH THỦY CÔNG

(Tái bản)

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
HÀ NỘI - 2013

LỜI NÓI ĐẦU

Phần mềm PLAXIS là một trong những phần mềm mạnh, được nhiều nước ở trên thế giới sử dụng để giải quyết các bài toán sau:

- Phân tích quá trình thi công hố đào;

- Phân tích quá trình đào khi có neo;

- Phân tích biến dạng, chuyển vị của kết cấu đê;

- Phân tích ổn định khối đất đắp có dao động mực nước;

- Phân tích lún của móng tròn trên nền cát;

- Phân tích ảnh hưởng của lún đến công trình xây dựng trên mặt đất khi đào đường hầm bên dưới hoặc cạnh công trình.

Ngoài ra phần mềm PLAXIS còn tỏ rõ thế mạnh trong tính toán biến dạng, chuyển vị, nội lực, ứng suất, ổn định trượt sâu tương tác giữa công trình với nền đất gia cường (bấc thấm, vải địa kỹ thuật, cọc, neo...) hoặc không gia cường (đất tự nhiên).

Viện Cảng - Kỹ thuật Hàng hải có bản quyền phần mềm PLAXIS và được tập thể các cán bộ khoa học của Viện dịch thuật, khai thác, chạy thử nghiệm cho các công trình thực tế với nhiều loại bài toán phục vụ cho nhiều lĩnh vực: công trình xây dựng, công trình giao thông, công trình thủy, công trình biển, công trình thềm lục địa...

Gần đây tập thể các cán bộ khoa học của Viện đã đầu tư đi sâu nghiên cứu, khai thác các công năng mạnh của phần mềm PLAXIS để tính toán cho các công trình thuỷ công, như: công trình bến cảng (cầu tầu, tường cừ, tường chắn, thùng chìm, khối xếp...), Công trình xưởng đóng tầu (triền, đà, ụ tầu...), công trình đê, kè... Chúng tôi đã tập trung đi sâu khai thác phần mềm PLAXIS để tính toán cho các công trình đê vây phục vụ cho xây dựng các công trình thuỷ công (ụ, triền, đà tầu, đê chắn sóng, trụ cầu, hố móng, hồ chứa nước...), đặc biệt là loại kết cấu tường cừ đơn, cừ kép (có neo hoặc không neo), vật liệu thép hoặc bê tông cốt thép.

Cuốn sách này chỉ tập trung trình bầy những nét chính về cơ sở lý thuyết, hướng dẫn sử dụng và đặc biệt là chúng tôi đã xây dựng các ví dụ mẫu điển hình trên nền của phần mềm PLAXIS để áp dụng tính toán biến dạng, chuyển vị, nội lực, ứng suất cho một số dạng công trình thuỷ công thông dụng.

Cuốn sách này là tài liệu tham khảo tốt cho sinh viên, kỹ sư, học viên cao học, nghiên cứu sinh các ngành công trình: Cảng-Đường thủy, công trình thủy, công trình thềm lục địa, công trình xây dựng, công trình giao thông...

Nhằm hưởng ứng cho ngày thành lập Viện Cảng - Kỹ thuật Hàng hải, cuốn sách này hoàn thành và ra mắt bạn đọc trong thời gian quá ngắn, vì vậy không tránh khỏi những thiếu sót. Chúng tôi xin chân thành cảm ơn độc giả đóng góp ý kiến. Mọi thông tin xin gửi tới PGS., TS Đỗ Văn Đệ - Viện trưởng Viện Cảng - Kỹ thuật Hàng Hải theo số ĐT: (04)8.691.459; DĐ: 0913.365.777.

E-mail: dovandedhxd@yahoo.com.vn; Website: http://www.inpomat.com

PGS. TS. Đỗ Văn Đệ

Chương 1
CƠ SỞ LÝ THUYẾT TRONG PHẦN MỀM PLAXIS

Trên cơ sở các tài liệu của phần mềm, chúng tôi đã tiến hành dịch thuật và biên soạn lại những vấn đề chính. Trong chương này, chúng tôi muốn giới thiệu tóm tắt cơ sở lý thuyết của cơ học đất và một số phương pháp sẽ được ứng dụng trong phần mềm Plaxis. Nội dung chương này bao gồm một số các vấn đề sau: Lý thuyết biến dạng, lý thuyết dòng chảy ngầm và lý thuyết cố kết, bên cạnh đó là lý thuyết phần tử hữu hạn và các quy tắc lấy tích phân cho các loại phần tử khác nhau. Trong phần phụ lục sẽ đưa ra sơ đồ tính toán chung cho bài toán biến dạng.

Bên cạnh các phương pháp chung mà ta có thể tìm thấy trong các tài liệu khác, phần này sẽ giới thiệu thêm một số các phương pháp khác trong phân tích đất nền. Để tìm hiểu các thông tin chi tiết về ứng suất, biến dạng, sơ đồ kết cấu và các mô hình về nền đất được sử dụng trong chương trình Plaxis, người đọc có thể tra cứu trong tài liệu ***Sổ tay các mẫu vật liệu***.

1.1. LÝ THUYẾT BIẾN DẠNG

Trong phần này sẽ giới thiệu các phương trình cân bằng biến dạng của đất nền trên cơ sở lý thuyết cơ học liên tục. Với giả thiết các biến dạng được xét tới là nhỏ. Lý thuyết cơ học liên tục được trình bày dưới dạng phương pháp phần tử hữu hạn.

1.1.1. Các phương trình biến dạng cơ bản của môi trường liên tục

Phương trình cơ bản của phân tích biến dạng liên tục ở trạng thái tĩnh:

$$\underline{\underline{L}}^T \underline{\sigma} + \underline{p} = 0 \qquad (1\text{-}1)$$

Các phương trình quan hệ của 6 thành phần ứng suất trong không gian gắn với vectơ σ; 3 thành phần lực khối, gắn với vectơ p. L^T là ma trận chuyển vị của toán tử vi phân, được định nghĩa như sau:

$$\underline{\underline{L}}^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial z} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \qquad (1\text{-}2)$$

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

$$\underline{\varepsilon} = \underline{\underline{L}}\,\underline{u} \tag{1-3}$$

Với 6 thành phần biến dạng, gắn với vecto $\underline{\varepsilon}$, là cơ sở của 3 thành phần chuyển vị, gắn với vecto $\underline{u}$, được sử dụng để định nghĩa toán tử vi phân L. Mối quan hệ giữa đẳng thức (1-1) và (1-3) được tạo thành từ mối quan hệ cân bằng, thể hiện sự làm việc của vật liệu. Có thể biểu thị một cách tổng quát thông qua hệ thức sau:

$$\underline{\dot{\sigma}} = \underline{\underline{M}}\,\dot{\varepsilon} \tag{1-4}$$

Kết hợp 3 phương trình (1-1), (1-3) và (1-4) ta sẽ đưa ra một phương trình sau:

$$\int \delta \underline{u}^T \left(\underline{\underline{L}}^T \underline{\sigma} + \underline{p} \right) dV = 0 \tag{1-5}$$

Áp dụng định lý Green cho tích phân riêng phần trong phương trình (1-5) đưa ra được phương trình liên tục ở trạng thái cân bằng động:

$$\int \delta \underline{\varepsilon}^T \underline{\sigma} dV = \int \delta \underline{u}^T \underline{p} dV + \int \delta \underline{u}^T \underline{t} dS \tag{1-6}$$

Với. t là vectơ phản lực tại các biên.

Sự phát triển của trạng thái ứng suất σ được xác định:

$$\begin{aligned} \underline{\sigma}^i &= \underline{\sigma}^{i-1} + \Delta\underline{\sigma} \\ \Delta\underline{\sigma} &= \int \underline{\dot{\sigma}} dt \end{aligned} \tag{1-7}$$

Với. $\underline{\sigma}^i$ - trạng thái ứng suất thực chưa biết.

$\underline{\sigma}^{i-1}$ - trạng thái ứng suất ban đầu đã biết.

$\Delta\underline{\sigma}$ - số gia ứng suất (biến thiên ứng suất trong một đơn vị thời gian).

Phương trình (1-7) xác định σ^i ở bước tính toán thứ i, thì σ^{i-1} được xác định theo phương trình:

$$\int \delta \underline{\varepsilon}^T \Delta\underline{\sigma} dV = \int \delta \underline{u}^T \underline{p}^i dV + \int \delta u^T \underline{t}^i dS - \int \delta \underline{\varepsilon}^T \underline{\sigma}^{i-1} dV \tag{1-8}$$

Nên chú ý đến số lượng của tất cả các đại lượng xuất hiện trong phương trình từ (1-1) đến (1-8) được đặc trưng bởi các vị trí trong không gian 3 chiều.

1.1.2. Rời rạc hoá theo lưới phần tử hữu hạn

Theo phương pháp phần tử hữu hạn, một vật thể liên tục có thể được rời rạc thành các phần tử nhỏ hơn. Mỗi phần tử bao gồm một số nút, mỗi nút có số bậc tự do xác định, thông qua số bậc tự do của nút, xác định được điều kiện biên và có thể giải bài toán. Theo lý thuyết về biến dạng, số bậc tự do tương ứng với các thành phần chuyển vị.

Trường chuyển vị của một phần tử $\underline{u}$ nhận được từ các giá trị riêng biệt trong vectơ $\underline{v}$ sử dụng hàm nội suy thể hiện trong ma trận N, khi đó:

$$\underline{u} = \underline{\underline{N}}\underline{v} \tag{1-9}$$

Hàm nội suy trong ma trận N giống như một hàm hình dạng. Sự thay thế của phương trình (1-9) trong mối quan hệ động học đưa ra:

$$\underline{\varepsilon} = \underline{\underline{L}}\,\underline{\underline{N}}\,\underline{v} = \underline{\underline{B}}\underline{v} \tag{1-10}$$

Với B là ma trận nội suy của biến dạng, bao gồm các thành phần không gian của hàm nội suy. Phương trình (1-9) và (1-10) có vai trò giống nhau. Phương trình (1-8) được biến đổi thành phương trình sau:

$$\int\left(\underline{\underline{B}}\delta\underline{v}\right)^{T}\Delta\underline{\sigma}dV = \int\left(\underline{\underline{N}}\delta\underline{v}\right)^{T}\underline{p}^{i}dV + \int\left(\underline{\underline{N}}\delta\underline{v}\right)^{T}\underline{t}^{i}dS - \int\left(\underline{\underline{B}}\delta\underline{v}\right)^{T}\underline{\sigma}^{i-1}dV \tag{1-11}$$

Chuyển vị riêng rẽ của các nút khi xét đến đầy đủ các yếu tố:

$$\delta\underline{v}^{T}\int\underline{\underline{B}}^{T}\Delta\underline{\sigma}dV = \delta\underline{v}^{T}\int\underline{\underline{N}}^{T}\underline{p}^{i}dV + \delta\underline{v}^{T}\int\underline{\underline{N}}^{T}\underline{t}^{i}dS - \delta\underline{v}^{T}\int\underline{\underline{B}}^{T}\underline{\sigma}^{i-1}dV \tag{1-12}$$

Rút gọn cả hai vế cho $\delta\underline{v}^{T}$ được phương trình (1-13):

$$\int\underline{\underline{B}}^{T}\Delta\underline{\sigma}dV = \int\underline{\underline{N}}^{T}\underline{p}^{i}dV + \int\underline{\underline{N}}^{T}\underline{t}^{i}dS - \int\underline{\underline{B}}^{T}\underline{\sigma}^{i-1}dV \tag{1-13}$$

Phương trình trên chi tiết hoá điều kiện cân bằng trong các mẫu rời rạc. Sự chênh lệch giữa vectơ ngoại lực và vectơ phản lực được cân bằng bởi số gia $\Delta\underline{\sigma}$.

Mối quan hệ giữa ứng suất - biến dạng thường là mối quan hệ phi tuyến. Biến dạng thường không tính toán trực tiếp được, tuy nhiên phương pháp lặp có thể giải quyết được bài toán trên dựa vào phương trình cân bằng (1-13) cho mọi chất điểm. Phương pháp lặp được trình bày chi tiết trong phần 1.1.4.

1.1.3. Vật liệu đàn hồi

Số gia ứng suất $\Delta\underline{\sigma}$ thu được từ phương trình (1-7) được viết lại như sau:

$$\Delta\underline{\sigma} = \underline{\underline{D}}^{e}\left(\Delta\underline{\varepsilon} - \Delta\underline{\varepsilon}^{p}\right) \tag{1-14}$$

Với $\underline{\underline{D}}^{e}$ là ma trận đàn hồi của vật liệu. Số gia biến dạng $\Delta\underline{\varepsilon}$ thu được từ số gia chuyển vị $\Delta\underline{v}$ sử dụng ma trận nội suy biến dạng B, giống như phương trình (1-10).

Đối với vật liệu đàn hồi, số gia biến dạng dẻo $\Delta\underline{\varepsilon}^{p}$ bằng 0. Đối với vật liệu dẻo $\Delta\underline{\varepsilon}^{p}$ được tính như sau:

$$\Delta\underline{\varepsilon}^{p} = \Delta\lambda\left[(1-\omega)\left(\frac{\partial g}{\partial \underline{\sigma}}\right)^{i-1} + \omega\left(\frac{\partial g}{\partial \underline{\sigma}}\right)^{i}\right] \quad (1\text{-}15)$$

Với: $\Delta\lambda$ - số gia của hệ số dẻo;

ω - tham số chỉ ra loại tích phân thời gian ($\omega = 0$ - tích phân hàm hiện; $\omega = 1$ tích phân hàm ẩn).

Với: $\omega = 1$, phương trình (1-15) có thể rút gọn thành:

$$\Delta\underline{\varepsilon}^{p} = \Delta\lambda\left(\frac{\partial g}{\partial \underline{\sigma}}\right)^{i} \quad (1\text{-}16)$$

Thay biểu thức (1-16) vào phương trình (1-14) được:

$$\underline{\sigma}^{i} = \underline{\sigma}^{tr} - \Delta\lambda \underline{\underline{D}}^{e}\left(\frac{\partial g}{\partial \underline{\sigma}}\right)^{i} \text{ với } \underline{\sigma}^{tr} = \underline{\sigma}^{i-1} + \underline{\underline{D}}^{e}\Delta\underline{\varepsilon} \quad (1\text{-}17)$$

Với: σ^{tr} - véctơ ứng suất phụ, giống như ứng suất đàn hồi hoặc ứng suất thử, là trạng thái ứng suất mới khi coi vật liệu hoàn toàn là vật liệu đàn hồi tuyến tính.

$\Delta\lambda$ - số gia của hệ số dẻo, có thể giải được từ điều kiện mà trạng thái ứng suất mới thoả mãn điều kiện chảy dẻo:

$$f(\underline{\sigma}^{i}) = 0 \quad (1\text{-}18)$$

Đối với các mẫu có tính dẻo lý tưởng và tuyến tính, số gia của hệ số dẻo có thể viết lại như sau:

$$\Delta\lambda = \frac{f\left(\underline{\sigma}^{tr}\right)}{d+h} \quad (1\text{-}19)$$

Với:

$$d = \left(\frac{\partial f}{\partial \underline{\sigma}}\right)^{\underline{\sigma}^{tr}} \underline{\underline{D}}^{e}\left(\frac{\partial g}{\partial \underline{\sigma}}\right)^{i} \quad (1\text{-}20)$$

Với: h - hệ số cứng, bằng 0 đối với các mẫu dẻo lý tưởng, không đổi khi mẫu dẻo có tính độ cứng tuyến tính. Trong các trường hợp sau trạng thái ứng suất mới có thể được tính như sau:

$$\underline{\sigma}^{i} = \underline{\sigma}^{tr} - \frac{\left\langle f(\underline{\sigma}^{tr})\right\rangle}{d+h}\underline{\underline{D}}^{e}\left(\frac{\partial g}{\partial \underline{\sigma}}\right)^{i} \quad (1\text{-}21)$$

Dấu < > được gọi là dấu vuông Mc Caulay, được quy ước như sau:

$$\langle x \rangle = 0 \text{ với } x \le 0 \text{ và } \langle x \rangle = x \text{ với } x > 0$$