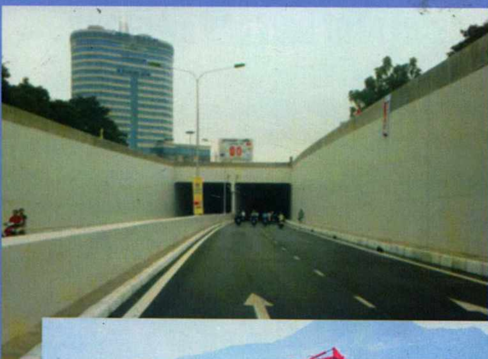
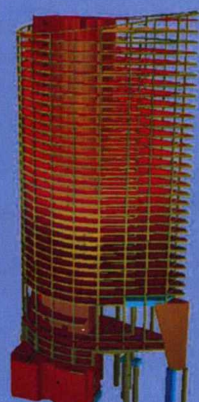
TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG
VIỆN CẢNG - KỸ THUẬT HÀNG HẢI

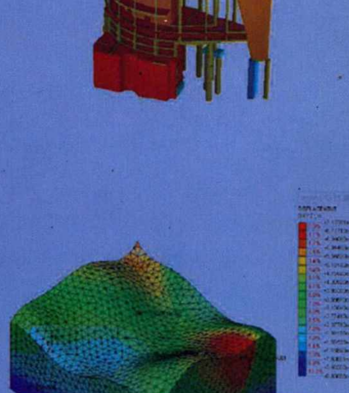
PGS. TS. ĐỖ VĂN ĐỆ *(Chủ biên)*
KS. Nguyễn Quốc Tới - KS. Nguyễn Khắc Nam - KS. Hoàng Văn Thắng - KS. Hoàng Thế Hòa

PHẦN MỀM PLAXIS 3D FOUNDATION

ỨNG DỤNG VÀO TÍNH TOÁN MÓNG VÀ CÔNG TRÌNH NGẦM







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 Quốc Tới - KS. Nguyễn Khắc Nam - KS. Hoàng Văn Thắng - KS. Hoàng Thế Hòa

PHẦN MỀM
PLAXIS 3D
F O U N D A T I O N
ỨNG DỤNG VÀO TÍNH TOÁN MÓNG - CÔNG TRÌNH NGẦM

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
HÀ NỘI - 2013

LỜI NÓI ĐẦU

Phần mềm PLAXIS 3D FOUNDATION là một trong những phần mềm mạnh, được nhiều nước trên thế giới sử dụng để giải quyết các bài toán về móng, công trình giao thông, công trình cảng - đường thủy, phần ngầm các công trình xây dựng và các công trình ngầm tương tác với nền đất ...

Phần mềm PLAXIS 3D FOUNDATION tỏ rõ thế mạnh trong tính toán ứng suất - biến dạng, chuyển vị - lún, nội lực trong kết cấu và ổn định trượt sâu tương tác giữa công trình với nền đất gia cường (bấc thấm, vải địa kỹ thuật, cọc, neo ...) hoặc nền đất không gia cường (đất tự nhiên).

Cuốn sách này tập trung trình bầy những nét chính về cơ sở lý thuyết, hướng dẫn sử dụng và đặc biệt là trong cuốn sách này, chúng tôi đi sâu trình bày các bước giải một số bài toán điển hình trong công trình xây dựng bằng phần mềm Plaxis 3D Foundation. Cụ thể là các bài toán sau:

1. *Bài toán xác định khả năng chịu tải của cọc khoan nhồi*
2. *Bài toán tính lún móng công trình*
3. *Bài toán gia cố nền bằng cọc cát*
4. *Bài toán tính móng đơn trên nền cọc (móng cọc đài thấp)*
5. *Bài toán tính móng băng giao thoa trên nền đất*
6. *Bài toán tính móng bè*
7. *Bài toán kết cấu hố đào*
8. *Bài toán kết cấu ống thép đường kính lớn*
9. *Bài toán bến cảng sử dụng kết cấu tường cừ kép*

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 ...

Để cho sản phẩm phần mềm này được ứng dụng có hiệu quả ở thị trường Việt Nam. Chúng tôi mong mỏi những ý kiến đóng góp của độc giả. Mọi thông tin xin gửi tới: PGS. TS Đỗ Văn Đệ - Viện trưởng Viện Cảng - Kỹ thuật Hàng hải theo số ĐT: (043)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 3D FOUNDATION

1.1. GIỚI THIỆU

Trong phần này, một số nền tảng khoa học được đưa ra dưới dạng lý thuyết và phương pháp số mà trên đó chương trình Plaxis 3D Foundation dựa vào.

Ngoài những thông tin cụ thể được đưa ra trong chương này, nhiều thông tin trên nền tảng lý thuyết và phương pháp số có thể được tìm thấy trong các tài liệu khác. Để biết 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 3D Foundation, người đọc có thể tra cứu trong tài liệu *Sổ tay các mẫu vật liệu.*

1.2. 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.

1.2.1. 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 vectơ $\underline{\varepsilon}$, là cơ sở của 3 thành phần chuyển vị, gắn với vectơ $\underline{u}$, 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:

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

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:

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

trong đó:

σ^i - trạng thái ứng suất thực chưa biết;

σ^{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).

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

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

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.

1.2.2. 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 1.2.4.

1.2.3. 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:

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

trong đó:

$\Delta\lambda$ - 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:

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

Thay biểu thức (1-16) vào phương trình (1-14) được phương trình (1-17):

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

trong đó:

$\underline{\sigma}^{tr}$ - 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.

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

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

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

Với:

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

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:

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

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

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

1.2.4. Phương pháp tính lặp

Mối quan hệ giữa sự gia tăng ứng suất và sự gia tăng biến dạng trong phương trình (1-13), $\Delta\underline{\sigma} = \underline{\underline{M}}\Delta\underline{\varepsilon}$ được biến đổi lại như sau:

$$\underline{\underline{K}}^{i}\Delta\underline{v}^{i} = \underline{f}_{ex}^{i} - \underline{f}_{in}^{j-1} \tag{1-22}$$

trong đó:

K- ma trận độ cứng ;
$\Delta\underline{v}$ - số gia véctơ chuyển vị ;
$\underline{f}_{ex}^{i}$ - véctơ ngoại lực;
$\underline{f}_{in}^{i-1}$ - véctơ phản lực;
i- thứ tự bước lặp.

Tuy nhiên quan hệ giữa ứng suất và biến dạng là quan hệ phi tuyến, ma trận độ cứng không thể tìm ra một cách chính xác. Do đó, chu trình lặp tổng quát phải thoả mãn cả điều kiện cân bằng và quan hệ về cấu tạo. Chu trình lặp tổng quát được viết như sau:

$$\underline{\underline{K}}^{j}\Delta\underline{v}^{j} = \underline{f}_{ex}^{i} - \underline{f}_{in}^{j-1} \tag{1-23}$$

Với: j - số vòng lặp

Chuyển vị của bước thứ i:

$$\Delta\underline{v}^{i} = \sum_{j=1}^{n} \delta\underline{v}^{i} \tag{1-24}$$

Với: $\delta\underline{v}$ - số gia của chuyển vị

Ma trận độ cứng K được sử dụng trong phương trình (1-23) thể hiện một cách gần đúng tính chất của vật liệu. Để chính xác hơn ma trận độ cứng, một vài bước lặp đòi hỏi đạt được trạng thái cân bằng trong phạm vi dung sai cho phép.

Dạng đơn giản nhất của K trong trường hợp đáp ứng điều kiện của vật liệu đàn hồi tuyến tính. Trong trường hợp đó, ma trận độ cứng có thể được tính như sau:

$$\underline{\underline{K}} = \int \underline{\underline{B}}^{T}\,\underline{\underline{D}}^{e}\,\underline{\underline{\mathbf{B}}}\ dV \tag{1-25}$$

trong đó:

$\underline{\underline{D}}^{e}$ - ma trận của vật liệu đàn hồi tuân theo Định luật Hooke;
B- ma trận nội suy của biến dạng.

Sử dụng ma trận độ cứng của vật liệu đàn hồi nhằm vòng lặp đủ dài trong khi độ cứng của vật liệu không tăng, thậm chí khi sử dụng cả các mô hình không liên kết dẻo. Đối với các vật liệu đàn hồi tuyến tính, như mô hình Mohr-Coulomb, việc sử dụng ma trận độ cứng đặc biệt thuận tiện, tuy nhiên cần phải được phân tích trước bước tính toán đầu tiên.

1.3. LẬP CÔNG THỨC CHO CÁC PHẦN TỬ

Trong phần này mô tả các hàm nội suy của phần tử hữu hạn sử dụng trong Plaxis 3D Foundation. Mỗi phần tử bao gồm một số các nút. Mỗi nút có một bậc tự do xác định tương ứng với các giá trị biên chưa biết của bài toán. Trong lý thuyết chuyển vị, số bậc tự do tương ứng với các thành phần chuyển vị, trong trường hợp dòng chảy ngầm, số bậc tự do chính là cột nước ngầm. Trong bài toán cố kết, bậc tự do là cả các thành phần chuyển vị và áp lực nước lỗ rỗng (dư). Sau đây sẽ trình bày một số hàm nội suy sử dụng trong Plaxis.

1.3.1. Hàm nội suy của phần tử tuyến tính

Trong phạm vi của một phần tử, trường chuyển vị $\underline{u} = (u_x, u_y, u_z)^T$ thu được từ việc rời rạc hoá nút trong véctơ $\underline{v} = (v_1\ v_2 \ldots v_n)^T$ được sử dụng trong hàm nội suy tương ứng với ma trận N:

$$\underline{u} = \underline{\underline{N}}\underline{v} \tag{1-26}$$

Do đó, hàm nội suy $\underline{\underline{N}}$ được sử dụng cho các giá trị nội suy bên trong phần tử cơ bản đã biết ở các nút. Hàm nội suy cũng thể hiện hàm hình dạng.

Vấn đề đầu tiên mà chúng ta cần lưu tâm đến là về phần tử tuyến tính. Chúng là nền tảng phân bố tải trọng ở mặt phẳng đứng trong mô hình 3D. Lý thuyết này sẽ được mở rộng thêm trong các phần tiếp theo.

Tại hệ toạ độ địa phương ξ của 1 điểm (thường là ứng suất điểm hoặc tích phân điểm) đã biết, có thể viết ra được các thành phần chuyển vị u:

$$u(\xi) = \sum_{i=1}^{n} N_i(\xi) v_i \tag{1-27}$$

trong đó:

v_i- trị số tại nút;
$N_i(\xi)$- giá trị hàm hình dáng của nút i tại vị trí ξ;
$u(\xi)$- giá trị kết quả tại vị trí ξ;
n- số nút của mỗi phần tử.

a) Phần tử tuyến tính 3 nút

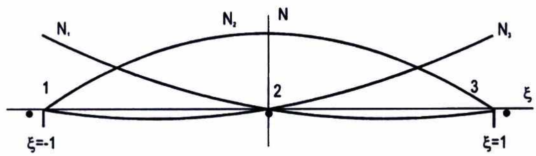
Trong hình sau đưa ra ví dụ của một phần tử tuyến tính với 3 nút, tương ứng với phần tử tam giác 6 nút, phần tử tứ giác 4 nút, phần tử khối 15 trong chương trình Plaxis

3D Foundation, từ các phần tử đó cũng có 3 nút trên 1 mặt. Hàm hình dáng N_i có đặc tính là bằng 1 tại nút i và bằng 0 tại các nút khác. Đối với các phần tử tuyến tính 3 nút, nút 1, 2 và 3 lần lượt có các toạ độ địa phương tương ứng là $\xi = -1$, 0 và 1, hàm hình dáng được đưa ra là:

$$N_1 = -\frac{1}{2}(1-\xi)\xi$$

$$N_2 = (1-\xi)(1+\xi) \qquad (1\text{-}28)$$

$$N_3 = \frac{1}{2}(1+\xi)\xi$$



Hình 1.1: *Hàm hình dáng của phần tử tuyến tính 3 nút*

Phần tử tuyến tính 3 nút trên quy định một sự sắp xếp thứ hai của chuyển vị.

b) Tích phân số của phần tử tuyến tính

Để có được sự tách rời trên một đường nhất định, việc tách rời là ước tính như:

$$\int_{\xi=-1}^{1} F(\xi)d\xi \approx \sum_{i=1}^{k} F(\xi_i)w_i \qquad (1\text{-}29)$$

trong đó:

$F(\xi)$- giá trị của hàm F tại vị trí ξ_i;

w_i- hệ số khối lượng tại điểm i;

k- tổng mẫu điểm được sử dụng.

Một phương pháp được sử dụng cho tích phân Gaussion. Ở vị trí tọa độ ξ_i và hệ số khối lượng w_i được chọn một cách đặc biệt để có độ chính xác cao. Đối với một tích phân Gaussion, hàm số đa thức bậc 2k-1 có thể được lấy tích phân một cách chính xác bằng cách sử dụng điểm k. Tọa độ và hệ số khối lượng của hai loại tích phân trên được đưa ra trong bảng 1.1. Chú ý rằng tổng tất cả các hệ số khối lượng bằng 2, tương đương với chiều dài của dải trên vùng tọa độ. Các dạng tích phân sử dụng cho phần tử tuyến tính 3 nút là thứ yếu.