



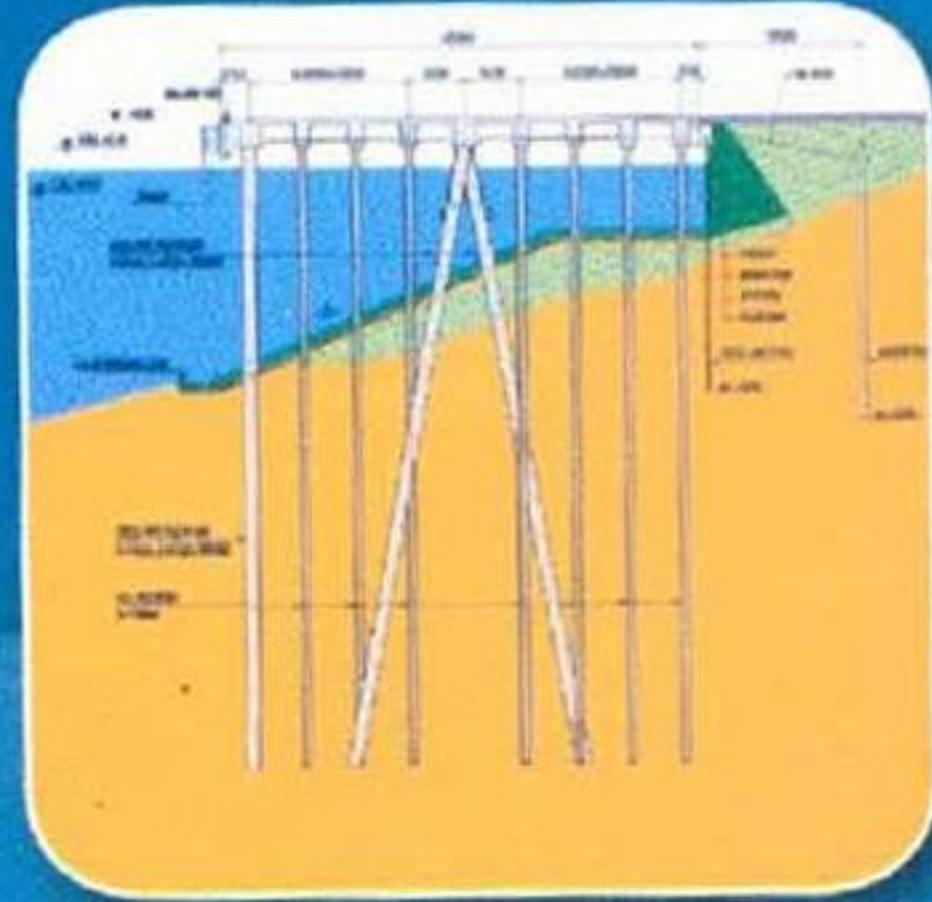
CK.0000068340

BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI

TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ GIAO THÔNG VẬN TẢI  
TS. ĐỖ NGỌC VIỆN (Chủ biên) - KS. NGUYỄN QUỐC TỚI

# PHẦN MỀM **PLAXIS 2D**

## PHÂN TÍCH ĐỘNG TRONG TÍNH TOÁN THIẾT KẾ CÁC CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG

NGUYỄN  
QUỐC LIỆU

85



NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG

BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ GIAO THÔNG VẬN TẢI  
T.S. ĐỖ NGỌC VIỆN (Chủ biên) – KS. NGUYỄN QUỐC TÓI

**PHẦN MỀM  
PLAXIS 2D**

**PHÂN TÍCH ĐỘNG TRONG TÍNH TOÁN  
THIẾT KẾ CÁC CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG**

(Tái bản)

**NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG**  
HÀ NỘI - 2014

## LỜI NÓI ĐẦU

Bộ chương trình phần mềm PLAXIS của Hà Lan là một bộ chương trình phần mềm mạnh, được nhiều nước ở trên thế giới sử dụng để giải quyết các bài toán về địa kỹ thuật. Phần mềm PLAXIS 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 (bắc thám, vải địa kỹ thuật, cọc, neo, ...) hoặc không gia cường (đất tự nhiên).

Hiện nay, bộ chương trình phần mềm PLAXIS bao gồm các Module sau:

- Plaxis 2D
- Plaxis PlaxFlow
- Plaxis 3D Tunnel
- Plaxis 3D Foundation

Nội dung chính của cuốn sách "Phần mềm Plaxis 2D - Phân tích động trong tính toán thiết kế các công trình xây dựng" bao gồm những kiến thức cơ bản về cơ sở lý thuyết, hướng dẫn sử dụng và đặc biệt tác giả đi sâu vào trình bày các bước giải một số bài toán điển hình trong công trình xây dựng bằng Module Dynamics trong phần mềm PLAXIS 2D Version 8.5.

Cuốn sách này là tài liệu tham khảo tốt cho sinh viên, kỹ sư, học viên cao học, nghiên cứu sinh, cán bộ quản lý các ngành công trình: Giao thông; Xây dựng; Thủy lợi; Cảng - Đường thủy, ... liên quan đến vấn đề địa kỹ thuật.

Với mong muốn sớm có cuốn sách hướng dẫn sử dụng Module Dynamics trong phần mềm PLAXIS 2D, nên cuốn sách này được hoàn thành trong thời gian ngắn, do đó không tránh khỏi những thiếu sót. Rất mong quý thầy cô, đồng nghiệp và bạn đọc góp ý để cuốn sách này được hoàn thiện hơn trong những lần tái bản sau.

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn các quý thầy cô - Khoa Công trình; Phòng Khoa học công nghệ - Hợp tác quốc tế, Trường Đại học Công nghệ GTVT đã góp ý về chuyên môn và tạo mọi điều kiện tốt nhất để cuốn sách được hoàn thành.

Mọi thông tin góp ý xin gửi về: Nguyễn Quốc Tới, Trường Đại học Công nghệ GTVT - 54 Triều Khúc - Thanh Xuân - Hà Nội; ĐT: 093 6680 348.

Email: [tointq@utt.edu.vn](mailto:tointq@utt.edu.vn) hoặc [quocdoi@hxd@gmail.com](mailto:quocdoi@hxd@gmail.com).

**Các tác giả**



## GIỚI THIỆU

Nền đất và các công trình thường phải chịu không chỉ có tải trọng tĩnh do công trình xây dựng trong và trên mặt đất mà còn chịu tác động của tải trọng động. Nếu tải trọng động đủ lớn, như trong động đất, chúng có thể gây thiệt hại nghiêm trọng. Với *Module Dynamics* trong phần mềm *PLAXIS*, chúng ta có thể phân tích những ảnh hưởng của rung động trong đất.

Rung động có thể xảy ra hoặc nhân tạo hoặc tự nhiên. Trong khu vực đô thị, rung động có thể tạo ra do đóng cọc, xe di chuyển, máy móc hạng nặng, ... Một nguồn tự nhiên của rung động trong lòng đất là động đất.

Những ảnh hưởng của rung động phải được tính toán với một phân tích động khi tần số của tải trọng động là bằng hoặc cao hơn tần số dao động riêng của công trình. Rung động tần số thấp có thể được tính toán với một phân tích giả tĩnh.

Trong mô hình hóa các phản ứng động của một cấu trúc đất, quán tính của bản thân đất và thời gian ảnh hưởng phụ thuộc vào tải trọng được xem xét. Ngoài ra, giảm chấn do vật liệu hoặc hình học được đưa vào. Ban đầu, mô hình đàn hồi tuyến tính có thể được sử dụng cho các mô phỏng các hiệu ứng động, nhưng về nguyên tắc bất kỳ các mô hình đất có sẵn trong *PLAXIS* đều có thể được sử dụng.

Áp lực lỗ rỗng thặng dư có thể được đưa vào phân tích nếu giả định ứng xử đất là không thoát nước. Trong *PLAXIS Professional Version 8*, mô hình động được giới hạn trong bài toán phẳng (*Plane Strain*) và đối xứng trục (*Axisymmetric*).

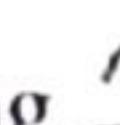
### Tính năng phân tích động trong *Module Dynamics*

Việc tạo ra các tải trọng động được tóm tắt như sau:

- Trong chương trình đầu vào (*Input*)

- Tạo ra tải trọng load system A hoặc B và chuyển vị theo quy định.
- Thiết lập tải trọng phù hợp cho tải trọng động bằng cách sử dụng *Menu Loads*.

- Trong chương trình tính toán (*Calculation*)

- Kích hoạt tải trọng động sử dụng hệ số tải động trong cửa sổ nhập *Multipliers tab sheet*. Một nút hoạt động  sẽ xuất hiện cho mỗi tải.

- Giống như tải tĩnh được định nghĩa trong *Staged construction*, tải trọng động được xác định bằng hệ số động *Multipliers*. Các hệ số *Multipliers* hoạt động như các yếu tố

nhân rộng dựa trên các giá trị đầu vào của tải trọng động (như nhập trong chương trình đầu vào) để tạo ra độ lớn tải trọng thực tế. Nếu một hệ thống tải đặc biệt được thiết lập như một tải trọng động, tải trọng ban đầu tiếp tục hoạt động, nhưng hệ số tải tương ứng được thiết lập đến 0 trong chương trình đầu vào. Trong chương trình tính toán, nó được quy định phụ thuộc vào thay đổi hệ số tải với thời gian chứ không phải giá trị đầu vào của tải. Biến thời gian và hệ số tải sẽ được áp dụng trên tất cả các tải tương ứng trong hệ thống tải.

# Chương 1

## CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA PHẦN MỀM PLAXIS DYNAMICS

Ngoài các công thức lý thuyết và các khía cạnh được trình bày trong phần cơ sở khoa học của hướng dẫn *PLAXIS* chung của tài liệu “Phần mềm Plaxis áp dụng vào tính toán các công trình thủy công”, chương này chúng tôi sẽ nêu bật một số lý thuyết nguồn gốc của mô hình động được sử dụng và thực hiện trong *Plaxis Dynamics*.

### 1.1. PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN TRONG PHÂN TÍCH ĐỘNG

Phương trình cơ bản cho chuyển động phụ thuộc thời gian của một khối lượng dưới ảnh hưởng của một tải (động) là:

$$\underline{\underline{M}} \times \ddot{u} + \underline{\underline{C}} \times \dot{u} + \underline{\underline{K}} \times u = F \quad (1-1)$$

Trong đó:

M - ma trận khối lượng;

u - véc tơ chuyển vị;

C - ma trận giảm chấn;

K - ma trận độ cứng;

F - véc tơ tải.

Chuyển vị u, vận tốc  $\dot{u}$  và gia tốc  $\ddot{u}$  có thể thay đổi theo thời gian. Hai thuật ngữ cuối cùng ( $K \times u = F$ ) trong phương trình (1-1) tương ứng với các biến dạng tĩnh.

Lý thuyết này được mô tả trên cơ sở đàn hồi tuyến tính. Tuy nhiên, về nguyên tắc, tất cả mô hình trong *PLAXIS* có thể được sử dụng để phân tích động. Ứng xử đất có thể là thoát nước hoặc không thoát nước. Trong trường hợp không thoát nước, số lượng lớn độ cứng của nước ngầm được bổ sung đến ma trận độ cứng K, như trường hợp cho tính toán tĩnh.

Trong ma trận M, khối lượng của vật liệu (đất + nước + bất kỳ công trình xây dựng) được đưa vào tính. Trong *PLAXIS* ma trận khối lượng được thực hiện như một ma trận gộp.

Ma trận C đại diện cho giảm chấn của vật liệu. Trong thực tế, giảm chấn vật liệu là do ma sát hoặc biến dạng không phục hồi (dẻo hoặc độ nhớt). Với độ nhớt hơn hoặc dẻo hơn, năng lượng rung động có thể được tiêu tan hơn. Nếu độ đàn hồi được giả định,

giảm chấn vẫn có thể được đưa vào tính bằng cách sử dụng ma trận C. Để xác định các ma trận giảm chấn, các thông số bổ sung được yêu cầu, trong đó rất khó để xác định các thí nghiệm. Trong công thức phần tử hữu hạn, C thường được hình thành như một hàm của khối lượng và ma trận độ cứng (*Rayleigh damping*), như:

$$\underline{\underline{C}} = \alpha_R \times \underline{\underline{M}} + \beta_R \times \underline{\underline{K}} \quad (1-2)$$

Điều này giới hạn việc xác định các ma trận giảm chấn đến hệ số *Rayleigh*  $\alpha_R$  và  $\beta_R$ . Ở đây, khi sự tham gia của M là chiếm ưu thế (ví dụ,  $\alpha_R = 10^{-2}$  và  $\beta_R = 10^{-3}$ ) hơn so với các tần số dao động thấp đang tắt dần, và khi sự tham gia của K là chiếm ưu thế (ví dụ,  $\alpha_R = 10^{-3}$  và  $\beta_R = 10^{-2}$ ) hơn so với các tần số dao động cao đang tắt dần. Trong các thiết lập tiêu chuẩn của *PLAXIS*,  $\alpha_R = \beta_R = 0$ .

## 1.2. TÍCH PHÂN THỜI GIAN

Trong việc thực hiện số hóa của bài toán động lực, việc xây dựng phép tích phân thời gian là yếu tố quan trọng cho sự ổn định và độ chính xác của quá trình tính toán. Tích phân xác định và bất định là hai phương án thường được tích phân thời gian sử dụng. Các lợi thế của tích phân xác định là nó tương đối đơn giản để xây dựng. Tuy nhiên, bất lợi là quá trình tính toán chỉ là thô và nó đặt ra hạn chế quan trọng trên bước thời gian. Phương pháp bất định phức tạp hơn, nhưng nó tạo ra một quá trình tính toán đáng tin cậy hơn ( ổn định hơn) và thường là một giải pháp chính xác hơn.

Phương án tích phân thời gian bất định của *Newmark* là một phương pháp thường được sử dụng. Với phương pháp này, chuyển vị và vận tốc tại thời điểm  $t + \Delta t$  được thể hiện tương ứng như:

$$u^{t+\Delta t} = u^t + \dot{u}^t \times \Delta t + \left( \left( \frac{1}{2} - \alpha \right) \times \ddot{u}^t + \alpha \times \ddot{u}^{t+\Delta t} \right) \times \Delta t^2 \quad (1-3a)$$

$$\dot{u}^{t+\Delta t} = \dot{u}^t + \left( (1 - \beta) \times \ddot{u}^t + \alpha \times \ddot{u}^{t+\Delta t} \right) \times \Delta t^2 \quad (1-3b)$$

Trong đó:

$\Delta t$  - bước thời gian;

$\alpha, \beta$  - các hệ số xác định độ chính xác của tích phân thời gian số, chúng không phải bằng  $\alpha$  và  $\beta$  cho *Rayleigh damping*.

Để có một giải pháp ổn định, các điều kiện sau đây phải được áp dụng:

$$\beta \geq 0,5; \alpha \geq 1/4 \times (1/2 + \beta)^2 \quad (1-4)$$

Người sử dụng được khuyên nên sử dụng các thiết lập tiêu chuẩn của *PLAXIS*, trong đó *Newmark scheme* tắt dần với  $\alpha = 0,3025$  và  $\beta = 0,60$  được sử dụng. Như một sự thay thế, thường được sử dụng phương pháp gia tốc trung bình với  $\alpha = 0,25$  và  $\beta = 0,50$  có thể được sử dụng.

## Thực hiện phương pháp tích phân trong PLAXIS

Phương trình (1-3) cũng có thể được viết như sau:

$$\begin{aligned}\ddot{u}^{t+\Delta t} &= c_0 \times \Delta u - c_2 \times \dot{u}^t - c_2 \times \ddot{u}^t \\ \dot{u}^{t+\Delta t} &= \dot{u}^t + c_6 \times \ddot{u}^t + c_7 \times \ddot{u}^{t+\Delta t}\end{aligned}\quad (1-5a)$$

$$u^{t+\Delta t} = u^t + \Delta u$$

hoặc:

$$\begin{aligned}\ddot{u}^{t+\Delta t} &= c_0 \times \Delta u - c_2 \times \dot{u}^t - c_3 \times \ddot{u}^t \\ \dot{u}^{t+\Delta t} &= c_1 \times \Delta u - c_4 \times \dot{u}^t - c_5 \times \ddot{u}^t \\ u^{t+\Delta t} &= u^t + \Delta u\end{aligned}\quad (1-5b)$$

Trong đó, các hệ số  $c_0, \dots, c_7$  có thể được thể hiện trong các bước thời gian và trong thông số  $\alpha$  và  $\beta$ . Bằng cách này, chuyển vị, vận tốc và gia tốc tại các bước thời gian kết thúc được thể hiện bởi các bước thời gian bắt đầu và gia tăng chuyển vị. Với tích phân thời gian bất định, phương trình (1.5) phải được ở cuối một bước thời gian ( $t + \Delta t$ ):

$$\underline{\underline{M}} \times \ddot{u}^{t+\Delta t} + \underline{\underline{C}} \times \dot{u}^{t+\Delta t} + \underline{\underline{K}} \times u^{t+\Delta t} = \underline{F}^{t+\Delta t} \quad (1-6)$$

Phương trình này, kết hợp với các biểu thức (1-5) cho chuyển vị, vận tốc và gia tốc vào cuối của bước thời gian, ta được:

$$\begin{aligned}(c_0 \times \underline{\underline{M}} + c_1 \times \underline{\underline{C}} + \underline{\underline{K}}) \times \Delta u &= F_{ext}^{t+\Delta t} + \underline{\underline{M}} \times (c_2 \times \dot{u}^t + c_3 \times \ddot{u}^t) + \\ &+ \underline{\underline{C}} \times (c_4 \times \dot{u}^t + c_5 \times \ddot{u}^t) - F_{int}^t\end{aligned}\quad (1-7)$$

Trong hình thức này, hệ thống các phương trình để phân tích động biến đổi một cách hợp lý phù hợp với một phân tích tĩnh. Sự khác biệt là các ma trận độ cứng có thêm điều kiện khối lượng và giảm chấn, bên cạnh đó thì về phái của phương trình (1-7) bổ sung các điều kiện quy định cụ thể về vận tốc và gia tốc khi bắt đầu các bước thời gian (thời gian  $\Delta t$ ).

### 1.2.1. Vận tốc sóng

Vận tốc sóng dọc ( $V_p$ ), trong giới hạn không gian đất một chiều là một hàm của độ cứng ( $E_{oed}$ ), và khối lượng ( $\rho$ ), như:

$$V_p = \sqrt{\frac{E_{oed}}{\rho}} \quad \text{trong đó } E_{oed} = \frac{(1-\nu) \times E}{(1+\nu) \times (1-2\nu)} \quad \text{và } \rho = \frac{\gamma}{g} \quad (1-8)$$

Trong đó:

$E$  - mô đun Young;

$\nu$  - hệ số Poisson's;

$\gamma$  - trọng lượng riêng;

$g$  - gia tốc trọng trường ( $g = 9.8 \text{m/s}^2$ ).

Một biểu thức tương tự có thể được tìm thấy cho vận tốc sóng ngang,  $V_s$ :

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \text{ trong đó } G = \frac{E}{2 \times (1 + v)} \quad (1-9)$$

### 1.2.2. Bước thời gian tối hạn

Mặc dù có những lợi thế của tích phân xác định, tuy nhiên các bước thời gian sử dụng trong tính toán là bị một số hạn chế. Nếu bước thời gian là quá lớn, các lời giải sẽ hiển thị độ lệch đáng kể và kết quả tính sẽ không đáng tin cậy. Bước thời gian tối hạn phụ thuộc vào tần số tối đa và độ thô (độ mịn) của lưới phần tử hữu hạn. Nhìn chung, các biểu thức sau đây có thể được sử dụng cho một phần tử duy nhất:

$$\Delta t_{critical} = \frac{B}{\alpha \times \sqrt{\frac{E \times (1 - v)}{\rho \times (1 + v) \times (1 - 2v)}} \times \sqrt{1 + \frac{B^2}{4S^2} - \frac{B^2}{2S} \times \left[ 1 + \frac{1 - 2v}{4} \times \frac{2S}{B^2} \right]}} \quad (1-10)$$

Số hạng nghiệm đầu tiên đại diện cho vận tốc (dọc) của sóng, phương trình (1-8). Hệ số  $\alpha$  phụ thuộc vào loại phần tử: cho một phần tử 6 nút,  $\alpha = 1 / 6\sqrt{c_6}$ , với  $c_6 \approx 5.1282$ ; và cho một phần tử 15 nút,  $\alpha = 1 / 19\sqrt{c_{15}}$ , với  $c_{15} \approx 4.9479$ . Yếu tố quyết định là hệ số Poisson ( $v$ ), chiều dài trung bình của một phần tử  $B$  và bề mặt của phần tử  $S$ . Trong một mô hình phần tử hữu hạn, bước thời gian tối hạn tương đương với giá trị tối thiểu của  $\Delta t$  theo (1-10) trên tất cả các phần tử. Bước thời gian này được chọn để đảm bảo rằng trong một bước sóng duy nhất không di chuyển một khoảng cách lớn hơn so với kích thước tối thiểu của một phần tử.

## 1.3. BIÊN MÔ HÌNH

Trong trường hợp của một phân tích biên dạng tĩnh, quy định biên chuyển vị là tại ranh giới của một mô hình phần tử hữu hạn. Ranh giới có thể hoàn toàn tự do hoặc cố định được áp dụng trong một hoặc hai hướng. Đặc biệt là ranh giới theo chiều dọc của lưới thường là biên ảo được chọn sao cho chúng không ảnh hưởng đến biên dạng của kết cấu được mô hình hóa. Cho tính toán động, về nguyên tắc ranh giới nên được chọn xa hơn so với tính toán tĩnh, bởi vì, nếu không, sóng ứng suất sẽ bị phản xạ dẫn đến không chính xác trong kết quả tính toán. Tuy nhiên, vị trí ranh giới xa đòi hỏi nhiều phần tử và do đó chiếm rất nhiều bộ nhớ và thời gian tính toán lâu.

Để chống lại sự phản xạ, các biện pháp đặc biệt là cần thiết tại ranh giới, trong bối cảnh này, chúng ta nói về biên thẩm. Có nhiều phương pháp khác nhau được sử dụng để tạo ra những biên, trong đó bao gồm:

- Sử dụng các phần tử nửa vô hạn (biên phần tử).
- Điều chỉnh các thông số vật liệu của phần tử tại biên (độ cứng thấp, độ nhót cao).