

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO      BỘ QUỐC PHÒNG**  
**HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ**  
=====o O o=====

**Nguyễn Văn Tú**

**TÍNH TOÁN KHUNG PHẪNG ĐÀN – DẪO  
CHỊU TÁC DỤNG CỦA TẢI TRỌNG ĐỘNG NGẮN HẠN**

**Chuyên ngành: Xây dựng Công trình đặc biệt**

**Mã số:                    62 58 50 05**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**Hà Nội – 2010**

Công trình được hoàn thành tại: Học viện Kỹ thuật Quân sự

Người hướng dẫn khoa học: **GS.TSKH Nguyễn Văn Hợi**

Phản biện 1: **GS. TS Lê Xuân Huỳnh**

Phản biện 2: **GS. TS Nguyễn Văn Lê**

Phản biện 3: **GS. TS Nguyễn Mạnh Yên**

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp

Học viện họp tại: Học viện Kỹ thuật Quân sự

Vào hồi: 08h30 ngày 10 tháng 11 năm 2010

Có thể tìm hiểu luận án tại: - Thư viện Học viện Kỹ thuật Quân sự

- Thư viện Quốc gia Việt Nam

## **DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ**

1. Nguyễn Văn Tú (2009), “*Tính toán kết cấu khung phẳng theo mô hình đàn – dẻo song tuyến tính chịu tác dụng của tải trọng động*” / Tuyển tập công trình hội nghị khoa học các nhà nghiên cứu trẻ, Học viện KTQS, số IV, trang 5 – 15.
2. Nguyễn Văn Tú, Nguyễn Văn Hợi (2009), “*Tính toán kết cấu khung phẳng đàn-dẻo chịu tác dụng của tải trọng động có kể đến hiệu ứng P- $\Delta$  và tính phi tuyến hình học của kết cấu*” / Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây Dựng, số 501 (11-2009), trang 81 – 85.
3. Nguyễn Văn Hợi, Nguyễn Văn Tú (2010), “*Tính toán tải trọng giới hạn của khung phẳng đàn-dẻo chịu tác dụng của tải trọng động ngắn hạn*” / Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây Dựng, số 503 (01-2010), trang 93 – 97.
4. Nguyễn Văn Tú, Nguyễn Văn Hợi (2010), “*Tính toán động lực học khung phẳng đàn – dẻo có kể đến ảnh hưởng của lực dọc đến trạng thái giới hạn dẻo của tiết diện*” / Tạp chí KHCN Xây dựng, số 150 (01-2010), trang 27 – 32.
5. Nguyễn Văn Tú (2010), “*Tính toán tải trọng động giới hạn của khung phẳng đàn-dẻo có kể đến tính phi tuyến hình học của kết cấu*” / Tạp chí KH&KT, Học viện KTQS, số 132 (02-2010), trang 39 – 48.
6. Nguyễn Văn Hợi, Nguyễn Văn Tú (2010), “*Phản ứng động của kết cấu khung phẳng biến dạng theo mô hình đàn - dẻo song tuyến tính chịu tác dụng của tải trọng ngắn hạn*” / Tạp chí KH&KT, Học viện KTQS, số 132 (02-2010), trang 63 – 72.
7. Nguyễn Văn Tú (2010), “*Tính toán tải trọng động giới hạn của khung phẳng đàn-dẻo có kể đến ảnh hưởng của lực dọc*” / Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây Dựng, số 505 (03-2010), trang 57 – 61.
8. Nguyễn Văn Tú (2010), “*Tính toán tải trọng động giới hạn của khung phẳng đàn-dẻo có kể đến ảnh hưởng đồng thời của lực dọc và tính phi tuyến hình học của kết cấu*” / Tạp chí KH&KT, Học viện KTQS, số 133 (04-2010), trang 45 – 55.
9. Nguyễn Văn Tú, Nguyễn Văn Hợi (2010), “*Tính toán động lực học khung phẳng đàn – dẻo có kể đến các điều kiện ban đầu do các tác dụng tĩnh gây ra*” / Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây Dựng, số 508 (06-2010), trang 72 – 75.
10. Nguyễn Văn Tú (2010), “*Tính toán động lực học khung phẳng đàn – dẻo có kể đến ảnh hưởng đồng thời của lực dọc và tính phi tuyến hình học của kết cấu*” / Chuyên san Tuyển tập Công trình Hội nghị Khoa học các nhà Nghiên cứu trẻ, Tạp chí KH&KT, Học viện KTQS, số 135 (07-2010), trang 46 – 57.

ngắn hạn và nghiên cứu ảnh hưởng của các tham số tính toán đến trạng thái nội lực – chuyển vị của hệ. Từ các kết quả nhận được đã rút ra các nhận xét:

- Dưới tác dụng của tải trọng động, chuyển vị động lớn nhất của kết cấu tính theo mô hình ĐDSTT ( $0 < p < 1$ ) lớn hơn khi tính theo mô hình ĐHTT ( $p=1$ ) và nhỏ hơn khi tính theo mô hình ĐDLT ( $p=0$ ), còn đối với mômen uốn động lớn nhất thì ngược lại [6].

- Đối với tải trọng động ngắn hạn có cường độ lớn, sau khi ngừng tác dụng của tải trọng (hệ dao động tự do) trong hệ vẫn có thể xuất hiện các biến dạng dẻo và các vòng trễ theo chu kỳ.

- Đối với khung phẳng ĐDSTT thì trong giai đoạn dẻo tỷ số cản ảnh hưởng rõ rệt đến trạng thái nội lực – chuyển vị của hệ. Khi tỷ số cản tăng thì giá trị của nội lực và chuyển vị lại giảm.

- Trong hệ khung phẳng ĐDSTT, giá trị lớn nhất của mômen uốn động và chuyển vị động phụ thuộc vào các dạng tải trọng động ngắn hạn và thời gian duy trì tác dụng của chúng, trong đó sự phụ thuộc theo dạng tải trọng hình chữ nhật mạnh hơn theo hình tam giác.

- Ảnh hưởng của  $EAL$ ,  $GNS$  và  $SL$  đến trạng thái nội lực – chuyển vị của kết cấu là lớn so với trường hợp không kể đến các nhân tố trên.

3. Từ các kết quả nghiên cứu bằng số có thể thấy rằng ảnh hưởng của tính đàn – dẻo, tính phi tuyến hình học, nội lực ban đầu trong kết cấu và các đặc trưng của tải trọng động ngắn hạn đến nội lực – chuyển vị của kết cấu khung phẳng làm bằng vật liệu đàn – dẻo (như thép, BTCT) là lớn. Vì vậy, các ảnh hưởng trên cần phải kể đến khi tính toán và thiết kế các kết cấu nói trên.

## II. Các vấn đề cần nghiên cứu tiếp theo sau luận án:

1. Tiếp tục giải quyết các bài toán trên đối với kết cấu khung không gian.

2. Phân tích kết cấu khung chịu tải trọng động có kể đến sự phát triển của vùng dẻo theo chiều dài của các phần tử.

## MỞ ĐẦU

### *Tính cấp thiết của đề tài*

Các vật liệu thông dụng của kết cấu trong lĩnh vực xây dựng nói chung và trong ngành xây dựng công trình quốc phòng nói riêng là thép và bê tông cốt thép (BTCT). Đây là các vật liệu có tính đàn – dẻo rõ rệt và có nhiều mô hình gần đúng biểu diễn biến dạng đàn – dẻo của chúng. Do đơn giản trong tính toán nhưng vẫn phản ánh sát với sự làm việc thực của vật liệu kết cấu, nên các mô hình đàn – dẻo lý tưởng (ĐDLT) và đàn – dẻo song tuyến tính (ĐDSTT), cho đến nay, vẫn được sử dụng rộng rãi khi tính toán các công trình xây dựng chịu tác dụng của cả tải trọng tĩnh và tải trọng động.

Trong quá trình khai thác sử dụng, ngoài các tải trọng thông thường như tải trọng do bản thân kết cấu, do hoạt động của các trang thiết bị kỹ thuật...gây ra, các công trình nói trên còn chịu tác dụng của các loại tải trọng động đặc biệt như tải trọng gây ra do động đất, do nổ của bom đạn, do va chạm của vật thể vào công trình...Đây là các loại tải trọng động ngắn hạn. Ảnh hưởng của tải trọng động ngắn hạn (thời gian duy trì cũng như dạng tải trọng) đối với trạng thái chịu lực của kết cấu cũng như đối với tải trọng giới hạn khi kết cấu là đàn – dẻo chưa được làm sáng tỏ trong các công trình đã công bố.

Khi tính toán kết cấu đàn – dẻo dưới dạng hệ thanh liên quan đến độ bền có hai bài toán điển hình: *bài toán phân tích kết cấu* và *bài toán tải trọng giới hạn*. Đối với hai bài toán này, việc nghiên cứu ảnh hưởng của lực dọc đối với trạng thái giới hạn của tiết diện và tính phi tuyến hình học của kết cấu còn ít được nghiên cứu.

Từ những điều trình bày ở trên có thể thấy đề tài “*Tính toán khung phẳng đàn – dẻo chịu tác dụng của tải trọng động ngắn hạn*” đối với cả bài toán phân tích kết cấu và bài toán tải trọng giới hạn, trong đó có kể đến ảnh hưởng của lực dọc đối với trạng thái giới hạn của tiết diện, tính phi tuyến hình học của kết cấu cũng như tính chất

ngắn hạn của tải trọng là vấn đề có ý nghĩa khoa học và thực tiễn trong ngành xây dựng và cần được tiếp tục nghiên cứu.

### **Mục đích và nội dung nghiên cứu của luận án**

Xây dựng mô hình, thuật toán và chương trình phân tích kết cấu và tính tải trọng giới hạn đối với khung phẳng đàn – dẻo chịu tác dụng của tải trọng động có kể đến ảnh hưởng của lực dọc đối với mômen dẻo của tiết diện, tính phi tuyến hình học của kết cấu và đặc tính của tải trọng động ngắn hạn, đồng thời làm sáng tỏ ảnh hưởng của các yếu tố trên đối với trạng thái nội lực – chuyển vị của kết cấu cũng như đối với tải trọng giới hạn.

### **Phạm vi nghiên cứu của luận án**

- Kết cấu khung phẳng.
- Mô hình đàn – dẻo của vật liệu: mô hình ĐDLT và ĐDSTT khi phân tích kết cấu, mô hình ĐDLT khi tính tải trọng giới hạn.
- Bỏ qua ảnh hưởng của tốc độ biến dạng đối với quan hệ ứng suất – biến dạng của vật liệu khi kết cấu chịu tải trọng động.
- Mô hình tính toán kết cấu đàn – dẻo: mô hình biến dạng dẻo tập trung.
- Khi xây dựng thuật toán và chương trình tính, tải trọng động được khảo sát là tải trọng động có quy luật bất kỳ theo thời gian và tuân theo quy luật chất tải đơn giản nhưng khi tính toán và nghiên cứu bằng số chủ yếu khảo sát đối với tải trọng động ngắn hạn.

### **Phương pháp nghiên cứu**

- Nghiên cứu lý thuyết kết hợp với thử nghiệm số trên máy tính.
- Sử dụng và phát triển các phương pháp tính toán hiện đại để giải các bài toán đặt ra trong luận án:
  - Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH), phương pháp tích phân trực tiếp theo thời gian Newmark và phương pháp lặp Newton – Raphson.
  - Phát triển phương pháp “*khớp dẻo liên tiếp*” để tính tải trọng giới hạn của khung phẳng đàn – dẻo chịu tải trọng động.

chịu tác dụng của nhiệt độ với nhiệt độ bên ngoài vòm  $+45^{\circ}\text{C}$  và nhiệt độ bên trong vòm  $+28^{\circ}\text{C}$ . Hệ số  $\alpha_t = 12\text{e-}6 \text{ C}^{-1}$ .

Từ các kết quả tính bằng số có thể đưa ra nhận xét sau:

Việc kể đến  $SL$  làm tăng giá trị chuyển vị lớn nhất (10,83% tại nút 3 và 22,76% tại nút 4) và tăng giá trị mômen uốn lớn nhất (0,81% tại tiết diện 1 và 5,02% tại tiết diện 2). Như vậy, tại các tiết diện bị chảy dẻo thì  $SL$  ảnh hưởng không đáng kể đến giá trị lớn nhất của mômen uốn nhưng trạng thái dẻo sẽ đạt sớm hơn và kết thúc muộn hơn.

## **KẾT LUẬN CHUNG**

### **I. Các kết quả mới của luận án:**

1. Tác giả đã phát triển phương pháp “*khớp dẻo liên tiếp*” để xây dựng các phương trình, thuật toán và chương trình CAPROLDYL tính tải trọng giới hạn đối với khung phẳng ĐDLT chịu tải trọng động có kể đến ảnh hưởng của lực dọc đến mômen dẻo của tiết diện và tính phi tuyến hình học của kết cấu [3], [5], [7], [8].

Sử dụng chương trình CAPROLDYL đã lập tiến hành các tính toán bằng số để xác định tải trọng giới hạn và nội lực – chuyển vị tương ứng với trạng thái trên của khung phẳng ĐDLT chịu tải trọng động ngắn hạn và nghiên cứu ảnh hưởng của lực dọc đối với mômen dẻo của tiết diện, tính phi tuyến hình học của kết cấu và các đặc trưng của tải trọng động ngắn hạn đối với giá trị của tải trọng động giới hạn

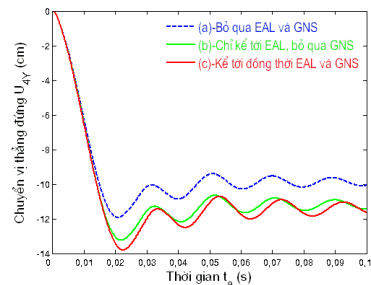
2. Vận dụng mô hình tính Clough, tác giả đã thiết lập các ma trận của các phần tử thanh với vật liệu biến dạng theo mô hình ĐDSTT, đồng thời xây dựng các phương trình, thuật toán và chương trình EPDAPFS tính toán động lực học khung phẳng ĐDSTT có kể đến sự ảnh hưởng của lực dọc, tính phi tuyến hình học của kết cấu và nội lực ban đầu trong kết cấu đến trạng thái nội lực – chuyển vị của hệ [1], [2], [4], [6], [9], [10].

Sử dụng chương trình EPDAPFS đã lập, tiến hành tính toán phản ứng của khung phẳng ĐDSTT đối với tác dụng của tải trọng động

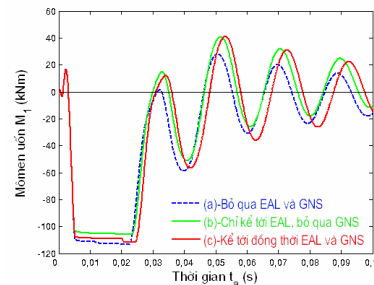
tiết diện 1 và 3,16 % tại tiết diện 2) trong khung phẳng đàn – dẻo so với trường hợp không kể đến ảnh hưởng trên.

- Nếu kể đến ảnh hưởng đồng thời của *EAL* và *GNS* sẽ làm tăng giá trị chuyển vị lớn nhất (15,85% tại nút 4 và 6,10% tại nút 3) và sẽ làm giảm giá trị mômen uốn lớn nhất (14,17% tại tiết diện 2 và 1,30% tại tiết diện 1) trong khung phẳng ĐDSTT so với trường hợp không kể đến ảnh hưởng trên. Khi tiết diện đạt trạng thái chảy dẻo thì sự chênh lệch về giá trị mômen uốn là không đáng kể, còn đối với tiết diện chưa đạt trạng thái chảy dẻo (hoặc có đạt nhưng diễn ra trong thời gian ngắn) thì sự ảnh hưởng trên đối với mômen uốn là đáng kể.

- Ảnh hưởng đồng thời của *EAL* và *GNS* trong nhiều trường hợp là đáng kể. Do vậy, trong tính toán khung phẳng ĐDSTT chịu tác dụng của tải trọng động nên kể đến sự ảnh hưởng đồng thời này.



**Hình 4.13** Đồ thị chuyển vị động thẳng đứng tại nút 4.



**Hình 4.14** Đồ thị mômen uốn động tại tiết diện 1.

**Bài toán 4.5:** Tính toán phản ứng động của khung dạng vòm ĐDSTT trong bài toán 4.4 có kể đến *SL* (trong đó có kể đến ảnh hưởng đồng thời của *EAL* và *GNS*) đến trạng thái nội lực – chuyển vị của hệ. Các tác dụng tĩnh gây ra bao gồm: trọng lượng bản thân cấu kiện (chương trình tự xác định); tải trọng tĩnh tập trung theo phương thẳng đứng (hướng xuống) tại các nút: 10 kN; chuyển vị xoay cưỡng bức tại nút 1:  $\varphi = 1/200$  (ngược chiều kim đồng hồ); tất cả các thanh

### Cấu trúc của luận án

Toàn bộ nội dung luận án được trình bày trong 4 chương, phần kết luận chung, danh mục các tài liệu tham khảo và phụ lục. Nội dung luận án bao gồm 108 trang, 10 bảng biểu, 67 hình vẽ và đồ thị, 144 tài liệu tham khảo, 10 bài báo khoa học phản ánh nội dung của luận án. Phần phụ lục trình bày mã nguồn của các chương trình đã lập trong luận án.

## CHƯƠNG I TỔNG QUAN

Đã tiến hành tổng quan về các vấn đề chính liên quan đến nội dung của luận án. Từ tổng quan rút ra các kết luận:

- Các vật liệu xây dựng thông dụng trong ngành xây dựng nói chung như thép, BTCT... là các vật liệu có tính chất đàn – dẻo rõ rệt. Có nhiều mô hình gần đúng biểu diễn quan hệ ứng suất – biến dạng đàn – dẻo của chúng, trong số đó có mô hình ĐDLT và ĐDSTT, do tính chất đơn giản nhưng vẫn phản ánh sát thực sự làm việc của kết cấu, đã và đang được sử dụng nhiều trong nghiên cứu, thiết kế các công trình và nó phù hợp nhất với vật liệu là thép.

- Trong quá trình khai thác, sử dụng các công trình thường gặp các tải trọng động ngắn hạn gây ra bởi động đất, nổ và va chạm. Các tải trọng trên có cường độ rất lớn, thời gian duy trì tác dụng ngắn, gây ra trạng thái nội lực – chuyển vị của công trình khác với các trạng thái do tải trọng động tác dụng dài hạn gây ra. Vấn đề nghiên cứu các tính toán kết cấu công trình, đặc biệt là các kết cấu làm bằng vật liệu đàn – dẻo chịu tải trọng động ngắn hạn là đề tài cấp thiết nhưng còn ít được nghiên cứu.

- Khi tính toán kết cấu đàn – dẻo thường sử dụng hai mô hình tính: mô hình biến dạng dẻo tập trung và mô hình vùng dẻo. Trong 2 mô hình trên, mô hình biến dạng dẻo tập trung, do tính chất đơn giản nhưng vẫn phản ánh được các đặc trưng cơ học của hệ, được sử dụng rộng rãi khi phân tích các kết cấu khung đàn – dẻo.

• Đối với kết cấu hệ thanh dàn – dèo liên quan đến độ bền kết cấu có hai bài toán điển hình: *bài toán phân tích kết cấu* và *bài toán tải trọng giới hạn*. Các bài toán trên đối với tải trọng tĩnh đã có nhiều công trình nghiên cứu, còn đối với tải trọng động còn ít các công trình nghiên cứu, đặc biệt là bài toán thứ hai và với tải trọng động ngắn hạn.

• Có nhiều phương pháp xác định tải trọng giới hạn của khung phẳng dàn – dèo, trong đó có phương pháp “*khớp dẻo liên tiếp*” rất có hiệu quả khi giải các bài toán trên máy tính. Tuy nhiên phương pháp trên mới được sử dụng đối với tải trọng tĩnh. Việc phát triển phương pháp trên đối với bài toán động là xu hướng tiên tiến cần được nghiên cứu.

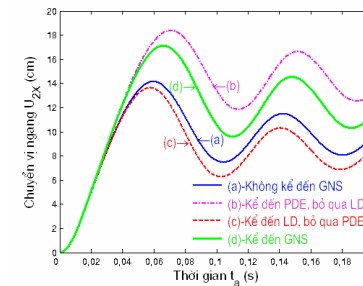
• Ảnh hưởng của lực dọc và tính phi tuyến hình học đến trạng thái nội lực – chuyển vị của kết cấu dàn – dèo là tương đối lớn. Các phương pháp tính toán truyền thống thường bỏ qua các ảnh hưởng trên, còn trong các phương pháp tính toán tiên tiến đã kể đến yếu tố này, nhưng chủ yếu mới dành cho bài toán tĩnh, đối với các bài toán động, các ảnh hưởng trên còn ít được đề cập đến.

Từ các kết luận trên, tác giả đã lựa chọn đề tài, xác định mục đích, nội dung, phương pháp và phạm vi nghiên cứu của luận án như đã trình bày trong phần mở đầu.

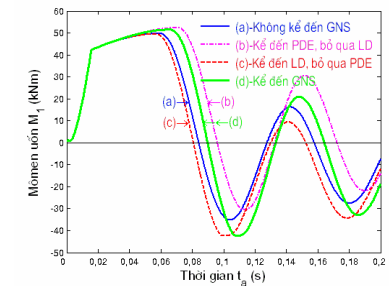
## CHƯƠNG II

### TÍNH TOÁN TẢI TRỌNG GIỚI HẠN ĐỐI VỚI KHUNG PHẪNG ĐDLT CHỊU TẢI TRỌNG ĐỘNG NGẮN HẠN

Trong chương này tác giả đã xây dựng các phương trình, thuật toán và chương trình tính bằng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) để tính toán tải trọng động giới hạn của khung phẳng ĐDLT trên cơ sở phát triển phương pháp “*khớp dẻo liên tiếp*” (do Chen *et al.* đề xuất và áp dụng cho bài toán tĩnh). Cuối chương dẫn ra các kết quả tính toán bằng số để kiểm tra độ tin cậy của chương trình đã lập và nghiên cứu ảnh hưởng của các đặc trưng của tải trọng động ngắn hạn đến giá trị của tải trọng động giới hạn.



**Hình 4.11** Đồ thị chuyển vị ngang động tại nút 2.



**Hình 4.12** Đồ thị mômen uốn động tại nút 2.

Từ các kết quả tính bằng số trên có thể đưa ra nhận xét sau:

Việc kể đến *GNS* (bao gồm *PDE* và *LD*) làm tăng hoặc giảm nội lực và chuyển vị của kết cấu. Khi chỉ kể tới *PDE* thì ảnh hưởng trên sẽ là lớn nhất và theo chiều hướng làm tăng giá trị của các đại lượng khảo sát, còn khi chỉ kể tới *LD* thì ảnh hưởng trên sẽ nhỏ nhất và theo chiều hướng giảm (khi kể đến *PDE*, thì chuyển vị tăng 29,95%, mômen uốn tăng 7,25% còn khi kể đến *GNS*, thì chuyển vị tăng 21,03%, mômen uốn tăng 4,92%). Tuy nhiên, không phải trường hợp nào khi kể đến *PDE* hoặc *GNS* cũng sẽ làm tăng giá trị chuyển vị và nội lực của hệ, hoặc khi kể đến *LD* thì làm giảm giá trị của chúng. Kết quả tăng hay giảm còn phụ thuộc vào tính chất của cơ hệ, phụ thuộc vào trạng thái nội lực – chuyển vị của hệ.

**Bài toán 4.4:** Tính toán phản ứng động của khung dạng vòm ĐDSTT cho trên hình 3.1 (a) có kể đến cả *EAL* và *GNS*.

Tiết diện ngang của các phần tử khung bằng thép  $I(300 \times 150 \times 6,5 \times 9 \text{ mm})$ ;  $p = 0,01$ ;  $P_1(t) = 10f(t) \text{ kN}$ ,  $P_2(t) = 280f(t) \text{ kN}$ ;  $\tau = 0,05 \text{ (s)}$ ,  $t_a = 0,1 \text{ (s)}$ . Một trong số các kết quả số thể hiện trên hình 4.13 ÷ 4.14.

Từ các kết quả tính bằng số trên có thể đưa ra các nhận xét sau:

- Nếu chỉ kể đến ảnh hưởng của lực dọc đối với mômen dẻo của tiết diện (*EAL*) sẽ làm tăng giá trị chuyển vị lớn nhất (11,04% tại nút 4 và 16,10% tại nút 3) và làm giảm giá trị mômen uốn lớn nhất (6,36 % tại

Từ các kết quả tính bằng số trên có thể đưa ra các nhận xét sau:

- Dưới tác dụng của tải trọng động, chuyển vị động lớn nhất của kết cấu tính theo mô hình ĐDSTT ( $0 < p < 1$ ) lớn hơn 19,2 % so với mô hình ĐHTT ( $p=1$ ) và nhỏ hơn 11,5 % so với mô hình ĐDLT ( $p=0$ ), còn đối với mômen uốn động lớn nhất thì ngược lại.

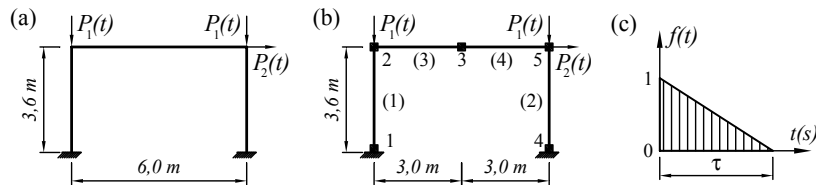
- Đối với tải trọng động ngắn hạn có cường độ lớn, trong giai đoạn hệ tiếp tục dao động tự do vẫn có thể xuất hiện các biến dạng dẻo và vòng trễ có tính chu kỳ.

- Đối với khung phẳng ĐDSTT thì tỷ số cản ảnh hưởng rõ rệt đến trạng thái nội lực – chuyển vị của hệ. Khi tỷ số cản tăng thì giá trị của nội lực và chuyển vị lại giảm, trong đó chuyển vị giảm rõ rệt còn mômen uốn tại các tiết diện chày dẻo thì giảm không lớn. Do vậy, khi phân tích khung phẳng ĐDSTT việc chọn tỷ số cản phù hợp với tính chất làm việc của hệ và vật liệu kết cấu.

- Với mô hình ĐDSTT giá trị lớn nhất của mômen uốn động và chuyển vị động phụ thuộc vào các dạng tải trọng động ngắn hạn và thời gian duy trì tác dụng của chúng.

**Bài toán 4.3:** Tính toán phản ứng động của khung thép ĐDSTT cho trên hình 4.10 (a) chịu tác dụng của tải trọng động ngắn hạn có kể đến GNS và nghiên cứu ảnh hưởng này đến trạng thái nội lực – chuyển vị của hệ. Bỏ qua trọng lượng bản thân các cấu kiện.

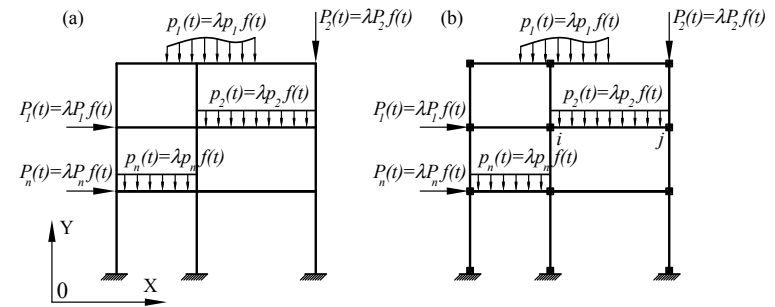
Tiết diện ngang của các phần tử khung  $I(200 \times 100 \times 5,5 \times 8 \text{ mm})$ ;  $P_1(t) = 150f(t) \text{ kN}$ ;  $P_2(t) = 60f(t) \text{ kN}$ ,  $\tau = 0,1(s)$ ;  $t_a = 0,2 (s)$ ;  $p = 0,05$ . Một trong số các kết quả số thể hiện trên hình 4.11; 4.12.



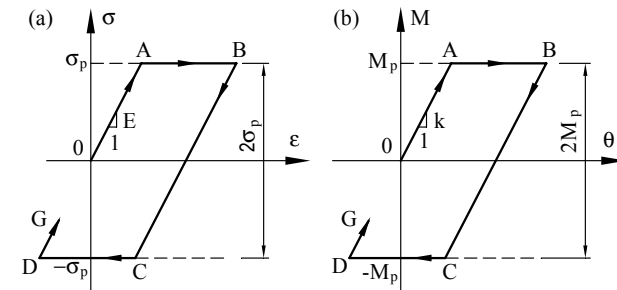
**Hình 4.10** Sơ đồ kết cấu và dạng tải trọng động ngắn hạn khảo sát.

Khảo sát kết cấu khung phẳng đàn – dẻo chịu tác dụng của tải trọng động (hình 2.1). Ở đây thừa nhận các giả thiết:

- Vật liệu kết cấu biến dạng theo mô hình ĐDLT đồng thời bỏ qua tốc độ biến dạng khi kết cấu chịu tải trọng động, theo đó quan hệ ứng suất – biến dạng ( $\sigma - \epsilon$ ) có dạng như trên hình 2.2 (a), còn quan hệ mômen uốn – góc xoay ( $M - \theta$ ) đối với phần tử thanh có dạng như trên hình 2.2 (b). Các quan hệ trên là quan hệ cho trước.



**Hình 2.1** Mô hình xuất phát của bài toán và mô hình tính của kết cấu bằng phương pháp PTHH.



**Hình 2.2** Mô hình vật liệu đàn – dẻo lý tưởng.

- Tất cả các phần tử thanh của hệ khi chưa chịu tải đều thẳng và có diện tích tiết diện ngang không đổi (đối với từng phần tử). Khi phần tử thanh biến dạng, tiết diện ngang vẫn phẳng và trục giao với trục x (hệ tọa độ cục bộ của phần tử).

- Biến dạng dẻo xuất hiện và phát triển trong các phần tử của kết cấu là các biến dạng dẻo tập trung, theo đó biến dạng dẻo chỉ tồn tại

ở các tiết diện có mômen uốn lớn nhất, các phần tử nằm giữa các tiết diện trên của kết cấu được coi là làm việc đàn hồi tuyến tính (ĐHTT) trong suốt quá trình chịu tải.

- Bỏ qua ảnh hưởng của lực dọc  $N$  và lực cắt  $Q$  đến giá trị mômen dẻo tại các tiết diện,  $M_p$ , theo đó, tiết diện đạt đến trạng thái giới hạn khi:

$$M = M_p = \sigma_p W_p, \quad (2.1)$$

trong đó:  $M_p$  – mômen dẻo của tiết diện,  $\sigma_p$  – ứng suất chảy dẻo của vật liệu kết cấu,  $W_p$  – mômen chống uốn dẻo của tiết diện.

- Véc tơ tải trọng tác dụng lên hệ là véc tơ tải trọng động  $\{F(t)\}$  tuân theo quy luật chất tải đơn giản. Về mặt toán học  $\{F(t)\}$  có thể biểu diễn dưới dạng:

$$\{F(t)\} = \{p_1(t), \dots, p_n(t), P_1(t), \dots, P_n(t)\}^T = \lambda \{P\} f(t), \quad (2.2)$$

với  $\{P\} = \{p_1, \dots, p_n, P_1, \dots, P_n\}^T$  – véc tơ lực không gian có giá trị đã biết;  $f(t)$  – hàm thời gian của tải trọng động có quy luật cho trước;  $\lambda$  – hệ số tải trọng có giá trị chưa biết (hệ số tải trọng).

- Các tham số hình học của kết cấu là các đại lượng cho trước.
- Biến dạng và chuyển vị của kết cấu là nhỏ.

Nhiệm vụ của bài toán: xác định *tải trọng động giới hạn*, trực tiếp là xác định *hệ số tải trọng*  $\lambda$  trong véc tơ tải trọng  $\{F(t)\}$  và nội lực – chuyển vị tương ứng của kết cấu khi hệ đạt tới trạng thái giới hạn.

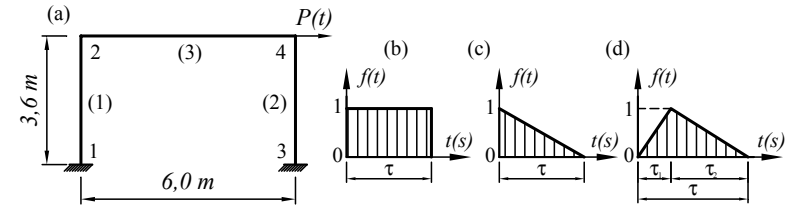
Để giải bài toán đặt ra đã phát triển phương pháp “*khớp dẻo liên tiếp*” do Chen *et al.* đề xuất đối với bài toán tĩnh để giải bài toán tải trọng giới hạn khi kết cấu chịu tải trọng động.

Phương trình chuyển động của kết cấu ĐHTT với véc tơ “*tải trọng tham chiếu*” ( $\{F(t)\} = \lambda \{P\} f(t)$  với  $\lambda=1$ ) có dạng:

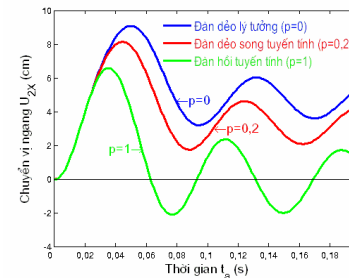
$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{R\}. \quad (2.3)$$

trong đó:  $[M], [C], [K], \{R\}$  tương ứng là ma trận khối lượng, ma trận cản, ma trận độ cứng và véc tơ tải trọng quy nút của hệ trong hệ tọa độ tổng thể được hình thành từ các ma trận của phần tử thanh ĐHTT theo phương pháp “*cộng trực tiếp*”.

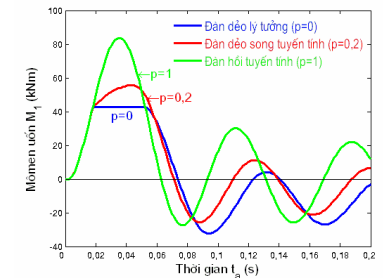
**Bài toán 4.2:** Nghiên cứu phản ứng động của kết cấu cho trên hình 4.5 (a), bỏ qua *EAL, GNS* và trọng lượng bản thân của các cấu kiện. Tiết diện ngang của các phần tử khung bằng thép  $I(200x100x5.5x8 \text{ mm})$ ;  $P(t)=50f(t) \text{ kN}$ . Với tải trọng tam giác cho trên hình 4.5 (d) (TG2) giả thiết thời gian  $\tau_1 = \tau/3$ ;  $\tau_2 = 2\tau/3$ . Một trong số các kết quả số thể hiện trên hình 4.6 ÷ 4.9.



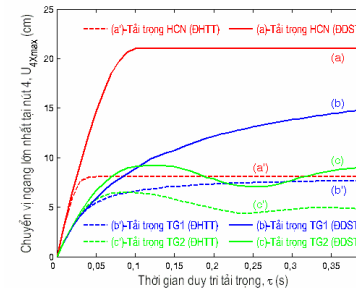
**Hình 4.5** Sơ đồ kết cấu và các dạng tải trọng động ngắn hạn.



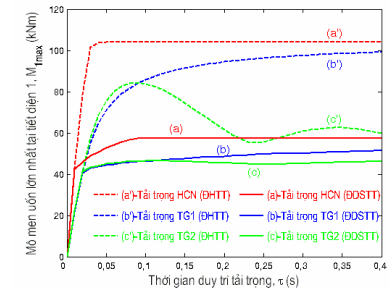
**Hình 4.6** Đồ thị  $U_{2X}$  do tải trọng động ngắn hạn cho trên hình 4.5(c) gây ra ( $\tau = 0,1(s)$ ).



**Hình 4.7** Đồ thị  $M_1$  do tải trọng động ngắn hạn cho trên hình 4.5(c) gây ra ( $\tau = 0,1(s)$ ).



**Hình 4.8** Quan hệ giữa  $U_{4Xmax} - \tau$



**Hình 4.9** Quan hệ giữa  $M_{1max} - \tau$ .



tải trọng bản thân và véc tơ tải trọng phân bố theo chiều dài phần tử thanh trong hệ tọa độ cục bộ khi: cả hai đầu ĐHTT, đầu  $i$  ĐDLT và đầu  $j$  ĐHTT, đầu  $i$  ĐHTT và đầu  $j$  ĐDLT, cả hai đầu ĐDLT.

Trong chương 2 và chương 3 của luận án đã thiết lập tất cả các ma trận thành phần nói trên của các phần tử.

Khi kể đến hiệu ứng  $P - \Delta$ , ma trận độ cứng toàn phần của phần tử thanh ĐDSTT có dạng:

$$[K_{pg}^{Bi}]_m = [K_p^{Bi}]_m - [K_g^{Bi}]_m, \quad (4.7)$$

trong đó:  $[K_p^{Bi}]_m$  - ma trận độ cứng động học của phần tử ĐDSTT

(khi không kể đến hiệu ứng  $P - \Delta$ );  $[K_g^{Bi}]_m$  - ma trận độ cứng hình học của phần tử ĐDSTT lấy theo 1 trong 4 dạng (4.3) ÷ (4.6).

Khi tính toán hệ khung phẳng ĐDSTT có kể đến chuyển vị thẳng tại các nút thì phải cập nhật lại các ma trận của phần tử và của kết cấu sau mỗi bước chất tải như đã trình bày trong chương 3.

Các tác dụng tĩnh gây ra nội lực – chuyển vị ban đầu trong kết cấu sẽ tiếp tục gây ảnh hưởng đến trạng thái nội lực – chuyển vị của hệ trong suốt quá trình chịu tải trọng động. Các ảnh hưởng này tác động vào hệ thông qua tải trọng quy nút do chúng gây ra. Trong luận án bên cạnh các véc tơ tải trọng quy nút do tải trọng động, đã thiết lập các véc tơ tải trọng quy nút này để đưa vào tính toán.

Từ các thuật toán nhận được, tác giả đã lập chương trình EPDAPFS tính khung phẳng ĐDSTT chịu tác dụng của tải trọng động bằng ngôn ngữ lập trình MATLAB.

Sử dụng chương trình EPDAPFS tính toán bằng số để kiểm tra độ tin cậy của chương trình và nghiên cứu ảnh hưởng của các tham số tính toán đến trạng thái nội lực – chuyển vị của khung phẳng ĐDSTT.

**Bài toán 4.1:** Sử dụng chương trình EPDAPFS tính toán bằng số đối với khung phẳng ĐHTT chịu tác dụng của tải trọng động và so sánh các kết quả nhận được với các kết quả tính theo SAP2000. Từ sự so sánh trên cho thấy chương trình EPDAPFS đảm bảo độ tin cậy.

Giải phương trình (2.3) bằng phương pháp tích phân trực tiếp Newmark, nhận được kết quả nội lực tại bước thời gian thứ  $i$  ( $i=1 \div k$ ), theo đó xác định hệ số tải trọng động giới hạn tại bước này,  $\lambda^i$ , như sau:

Đầu tiên xác định  $\lambda_1^i$ , bằng tỷ số nhỏ nhất giữa  $M_p$  và giá trị tuyệt đối của mômen uốn tại các tiết diện đầu cuối của các phần tử trong hệ. Nhân nội lực – chuyển vị trong hệ vừa tính được ở trên với giá trị  $\lambda_1^i$ . Tiếp đó, thay liên kết tại các tiết diện tương ứng có giá trị  $\lambda_1^i$  bằng các khớp dẻo ta được một sơ đồ mới của kết cấu. Tiến hành cập nhật lại các ma trận của kết cấu theo sơ đồ mới này.

Tiếp theo, tiến hành tính toán động lực học đối với kết cấu theo sơ đồ mới cũng với “tải trọng tham chiếu” đã cho. Giá trị  $\lambda_2^i$  được xác định bằng tỷ số nhỏ nhất giữa giá trị mômen dẻo còn lại của các tiết diện (bằng hiệu giữa  $M_p$  và giá trị mômen uốn nhận được từ bước tính trước sau khi đã nhân với  $\lambda_1^i$ ) với giá trị tuyệt đối của mômen uốn tại tiết diện tương ứng trong hệ nhận được từ bước tính thứ 2. Lại nhân nội lực – chuyển vị trong hệ vừa tính được ở trên với giá trị  $\lambda_2^i$  và thay liên kết tại các tiết diện tương ứng có giá trị  $\lambda_2^i$  bằng các khớp dẻo ta được một sơ đồ mới của kết cấu, đồng thời cập nhật lại các ma trận của kết cấu theo sơ đồ mới này, tương tự như bước 1.

Quá trình tính lặp tại mỗi bước thời gian trên sẽ kết thúc tại bước tính lặp thứ  $n$  khi ma trận độ cứng của hệ không còn xác định dương:

$$\det([K]) \leq Toler, \quad (2.4)$$

trong đó:  $[K]$  – ma trận độ cứng của kết cấu,  $Toler$  – sai số cho phép.

Hệ số tải trọng giới hạn tại mỗi bước thời gian  $\lambda^i = \lambda_1^i + \dots + \lambda_n^i$ . Trong quá trình tính toán, sẽ nhận được đồng thời giá trị  $\lambda^i$  của tải trọng và giá trị nội lực – chuyển vị của kết cấu sau mỗi bước tính lặp.

Véc tơ tải trọng động giới hạn đối với toàn bộ thời gian khảo sát  $\{F(t)\} = \lambda\{P\}f(t)$  là véc tơ với hệ số  $\lambda$  có giá trị:  $\lambda = \min(\lambda^1, \dots, \lambda^k)$ .

Khi tính toán tải trọng giới hạn của khung phẳng ĐDLT theo phương pháp “khớp dẻo liên tiếp”, các ma trận của phần tử

$[K]_m, [M]_m, [C]_m, \{R\}_m$  sẽ thay đổi liên tục do sự xuất hiện các khớp dẻo trong hệ qua các lần tính lặp. Do đó, đối với mỗi lần tính lặp, liên kết 2 đầu cuối của phần tử có thể rơi vào một trong các trường hợp sau: cả hai đầu  $i, j$  là ngàm; đầu  $i$  là khớp và đầu  $j$  là ngàm; đầu  $i$  là ngàm và đầu  $j$  là khớp; cả hai đầu  $i, j$  là khớp. Trên cơ sở các công thức tính ma trận của phần tử thanh ĐHTT theo phương pháp PTHH trong hệ tọa độ cục bộ cùng các hàm dạng của chúng, tác giả đã thiết lập các ma trận của phần tử thanh tương ứng với các liên kết nói trên.

Từ các thuật toán nhận được, tác giả đã lập chương trình CAPROLDYL-1 tính tải trọng giới hạn của khung phẳng ĐDLT chịu tác dụng của tải trọng động bằng ngôn ngữ lập trình MATLAB.

Sử dụng chương trình CAPROLDYL-1 đã lập, tính toán bằng số để kiểm tra độ tin cậy của chương trình và nghiên cứu ảnh hưởng của các đặc trưng của tải trọng động ngắn hạn đến hệ số tải trọng giới hạn

**Bài toán 2.1:** Tính toán hệ số tải trọng giới hạn  $\lambda$  đối với khung phẳng ĐDLT chịu tải trọng tĩnh theo chương trình CAPROLDYL-1 và so sánh kết quả nhận được với kết quả của Chen *et al.* (1995) đã nghiên cứu. Từ sự so sánh trên cho thấy chương trình CAPROLDYL-1 đảm bảo độ tin cậy.

**Bài toán 2.2:** Tính toán hệ số tải trọng giới hạn  $\lambda$  đối với khung phẳng ĐDLT chịu tải trọng động ngắn hạn cho trên hình 2.3 (a), đồng thời khảo sát ảnh hưởng của các đặc trưng của tải trọng (dạng tải trọng và thời gian duy trì tác dụng của chúng -  $\tau$ ) đến hệ số  $\lambda$ .

Kết cấu khung bằng thép và tiết diện ngang của các phần tử khung  $I(250 \times 125 \times 6 \times 8 \text{ mm})$ . Modul đàn hồi  $E = 2,1e+5 \text{ MPa}$ , ứng suất chảy dẻo  $\sigma_p = 210 \text{ Mpa}$ . Tỷ số cản  $\xi_1 = \xi_2 = 0,05$ ;  $P_1(t) = 4\lambda f(t) \text{ kN}$ ,  $P_2(t) = 6\lambda f(t) \text{ kN}$ ,  $P_3(t) = 10\lambda f(t) \text{ kN}$ ,  $q_1(t) = 3\lambda f(t) \text{ kN/m}$ , thời gian tính toán  $t_a = 0,4 \text{ (s)}$ . Bỏ qua trọng lượng bản thân của các cấu kiện. Tải trọng tĩnh khảo sát có giá trị bằng biên độ của tải trọng động ( $f(t) = I$ ). Một trong số các kết quả số được thể hiện trên hình 2.4; 2.5.

Trên cơ sở quan hệ giữa số gia lực nút và chuyển vị nút của các phần tử ảo cho trên hình 4.4 (b) và 4.4 (c), bằng phương pháp PTHH, đã thiết lập các ma trận của phần tử thanh ĐDSTT tương ứng với các trạng thái biến dạng tại tiết diện đầu cuối của phần tử và biểu diễn qua ma trận của phần tử thanh ĐHTT và ĐDLT như sau:

a) Phần tử cả hai đầu ĐHTT:

$$\begin{aligned} [K_p]_m &= [K_e]_m, [K_g]_m = [K_{ge}]_m, [M_p]_m = [M_e]_m, \\ [R_b]_m &= [R_{be}]_m; [R_s]_m = [R_{se}]_m, \end{aligned} \quad (4.3)$$

b) Phần tử có đầu  $i$  ĐDSTT, đầu  $j$  ĐHTT:

$$\begin{aligned} [K_p]_m &= p[K_e]_m + q[K_p^i]_m, [K_g]_m = p[K_{ge}]_m + q[K_{gp}^i]_m \\ [M_p]_m &= p[M_e]_m + q[M_p^i]_m, \\ [R_b]_m &= p[R_{be}]_m + q[R_{bp}^i]_m; [R_s]_m = p[R_{se}]_m + q[R_{sp}^i]_m, \end{aligned} \quad (4.4)$$

c) Phần tử có đầu  $i$  ĐHTT, đầu  $j$  ĐDSTT:

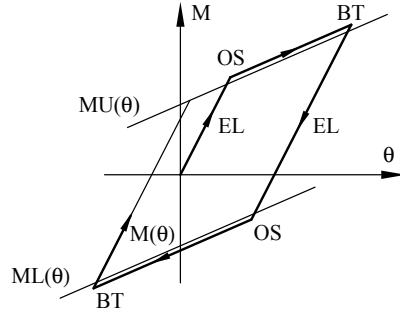
$$\begin{aligned} [K_p]_m &= p[K_e]_m + q[K_p^j]_m, [K_g]_m = p[K_{ge}]_m + q[K_{gp}^j]_m \\ [M_p]_m &= p[M_e]_m + q[M_p^j]_m, \\ [R_b]_m &= p[R_{be}]_m + q[R_{bp}^j]_m; [R_s]_m = p[R_{se}]_m + q[R_{sp}^j]_m, \end{aligned} \quad (4.5)$$

d) Phần tử cả hai đầu ĐDSTT:

$$\begin{aligned} [K_p]_m &= p[K_e]_m + q[K_p^{ij}]_m, [K_g]_m = p[K_{ge}]_m + q[K_{gp}^{ij}]_m \\ [M_p]_m &= p[M_e]_m + q[M_p^{ij}]_m, \\ [R_b]_m &= p[R_{be}]_m + q[R_{bp}^{ij}]_m; [R_s]_m = p[R_{se}]_m + q[R_{sp}^{ij}]_m. \end{aligned} \quad (4.6)$$

trong đó:  $[K_e]_m, [K_{ge}]_m, [M_e]_m, [R_{be}]_m, [R_{se}]_m; [K_p^i]_m, [K_{gp}^i]_m, [M_p^i]_m, [R_{bp}^i]_m, [R_{sp}^i]_m; [K_p^j]_m, [K_{gp}^j]_m, [M_p^j]_m, [R_{bp}^j]_m, [R_{sp}^j]_m; [K_p^{ij}]_m, [K_{gp}^{ij}]_m, [M_p^{ij}]_m, [R_{bp}^{ij}]_m, [R_{sp}^{ij}]_m$  - tương ứng là ma trận độ cứng động học; ma trận độ cứng hình học; ma trận khối lượng; véc tơ

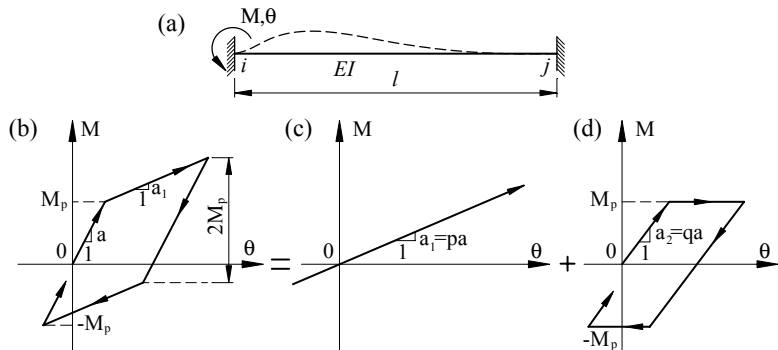
Khi thiết lập các ma trận độ cứng của phần tử thanh ĐDSTT, sẽ sử dụng mô hình tính Clough, theo đó mô hình trẽ  $M - \theta$  của thanh ĐDSTT (hình 4.3 (b)) được thay thế bằng mô hình thanh ĐHTT (hình 4.3 (c)) và mô hình thanh ĐDLT (hình 4.3 (d)), trong đó:



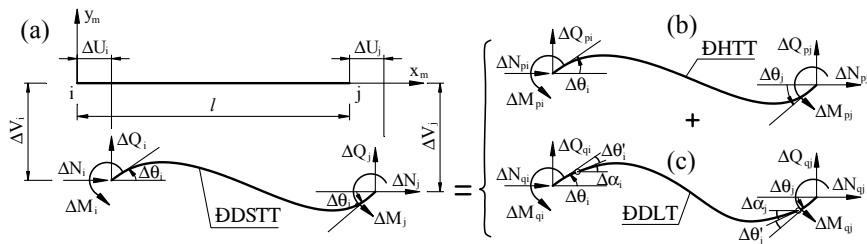
**Hình 4.2** Sơ đồ kiểm tra trạng thái biến dạng của tiết diện.

$$a = a_1 + a_2, a_1 = pa, a_2 = qa \text{ và } p+q=1, \quad (4.2)$$

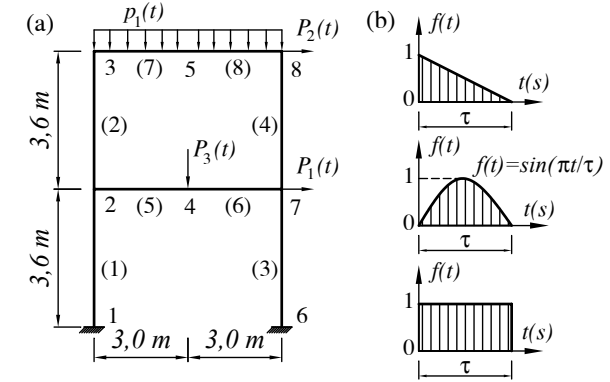
với:  $a$  là độ cứng chống uốn của phần tử,  $p$  là tham số tương ứng với mô hình ĐHTT và  $q$  là tương ứng với mô hình ĐDLT.



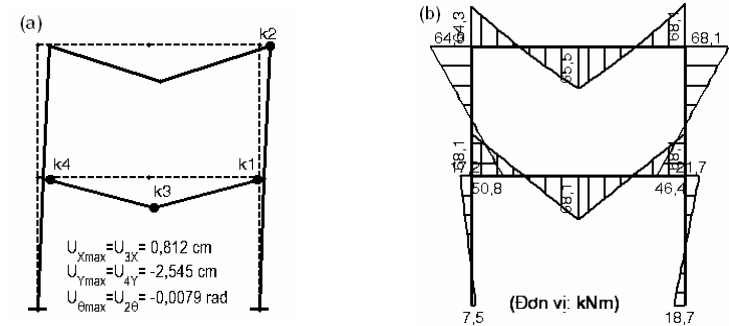
**Hình 4.3** Mô hình tính Clough: (a) – phần tử kết cấu; (b) – mô hình ĐDSTT; (c) và (d) – các mô hình thành phần ĐHTT và ĐDLT.



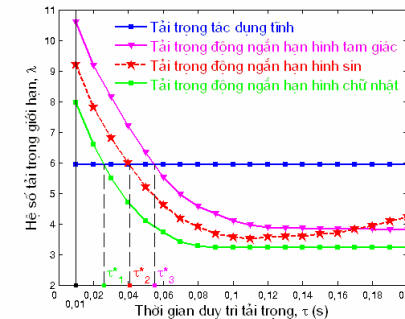
**Hình 4.4** Chuyển vị và nội lực nút trong mô hình tính Clough.



**Hình 2.3** Sơ đồ kết cấu và các dạng tải trọng động ngắn hạn khảo sát.



**Hình 2.4** Biểu đồ chuyển vị và mômen uốn của hệ trong trạng thái giới hạn đối với toàn bộ thời gian khảo sát (với  $t_i=0,01$  (s),  $\lambda=3,898$ ): (a) – biểu đồ chuyển vị và vị trí xuất hiện khớp dèo; (b) – biểu đồ mômen uốn.



**Hình 2.5** Quan hệ  $\lambda - \tau$  với các dạng tải trọng khảo sát.

Từ các kết quả tính bằng số trên có thể đưa ra các nhận xét sau:

- Hệ số tải trọng động ngắn hạn phụ thuộc rõ rệt vào dạng của tải trọng động ngắn hạn:  $\lambda_{\text{hình tam giác}} > \lambda_{\text{hình sin}} > \lambda_{\text{hình chữ nhật}}$ .

- Đối với từng dạng tải trọng động ngắn hạn tồn tại giá trị  $\tau^*$ , với nó  $\lambda_{\text{động ngắn hạn}} = \lambda_{\text{tĩnh}}$  ( $\lambda_{\text{đnh}} = \lambda_{\text{tinh}}$ ). Khi  $\tau < \tau^*$  thì  $\lambda_{\text{đnh}} > \lambda_{\text{tinh}}$ , còn khi  $\tau > \tau^*$  thì  $\lambda_{\text{đnh}} < \lambda_{\text{tinh}}$ . Khi  $\tau$  tăng thì  $\lambda$  lại giảm và khi  $\tau$  đạt đến một giá trị nào đó thì  $\lambda$  hầu như không thay đổi đối với các dạng tải trọng động ngắn hạn. Khi  $\tau$  giảm thì sự chênh lệch giữa hệ số tải trọng động ngắn hạn ( $\lambda_{\text{đnh}}$ ) và hệ số tải trọng tĩnh cũng như hệ số tải trọng động dài hạn ( $\lambda_{\text{đdh}}$ ) càng lớn.

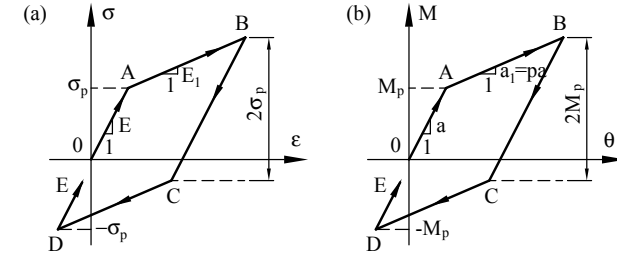
**CHƯƠNG III**

**TÍNH TOÁN TẢI TRỌNG GIỚI HẠN ĐỐI VỚI KHUNG PHẪNG ĐDLT CHỊU TẢI TRỌNG ĐỘNG NGẮN HẠN CÓ KỂ ĐẾN ẢNH HƯỞNG CỦA LỰC DỌC VÀ TÍNH PHI TUYẾN HÌNH HỌC CỦA KẾT CẤU**

Phát triển bài toán của chương 2, trong chương này sẽ xây dựng các phương trình, thuật toán và chương trình tính tải trọng động giới hạn của khung phẳng ĐDLT có kể đến các ảnh hưởng lực dọc đến mômen dèo của tiết diện (EAL), tính phi tuyến hình học của kết cấu (GNS) và tiến hành các nghiên cứu bằng số để làm sáng tỏ về mặt định lượng của các ảnh hưởng đó.

Khi kể đến ảnh hưởng của lực dọc sẽ làm cho tiết diện đạt trạng thái chảy dẻo sớm hơn. Theo đó, giá trị mômen dèo của tiết diện khi kể đến ảnh hưởng của lực dọc sẽ bị giảm. Từ điều kiện cân bằng nội lực trên tiết diện tương ứng với trạng thái giới hạn đã nhận được các công thức xác định mômen dèo của tiết diện khi kể đến ảnh hưởng của lực dọc.

Đối với kết cấu có độ võng lớn, lực dọc trong các phần tử thanh sẽ gây thêm mômen uốn phụ (mô men bậc hai) – gọi là hiệu ứng P – Δ (PDE). Còn khi kể đến ảnh hưởng của chuyển vị thẳng tại các nút (LD) sẽ dẫn đến tọa độ nút của các phần tử sẽ thay đổi sau mỗi bước chất tải,



**Hình 4.1** Mô hình đàn – dẻo song tuyến tính.

Phương trình chuyển động của khung phẳng đàn – dẻo thiết lập bằng phương pháp PTHH trong hệ tọa độ chung sau khi đưa vào các điều kiện biên có dạng:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + f_s(\{U\}) = \{R\}, \tag{4.1}$$

Để giải phương trình chuyển động của hệ đàn – dẻo (4.1), đã sử dụng phương pháp tích phân trực tiếp Newmark kết hợp với phương pháp lặp Newton - Raphson biến điệu. Các thuật toán này đã được dẫn ra trong luận án.

Sau mỗi bước tính toán theo thời gian cần kiểm tra trạng thái biến dạng tại các tiết diện đầu cuối của phần tử để cập nhật lại các ma trận của các phần tử phục vụ cho việc tính toán tại bước thời gian tiếp theo. Việc kiểm tra được tiến hành theo các quan hệ sau (hình 4.2):

- a) Nếu  $ML(\theta) < M(\theta) < MU(\theta)$ , ( $\theta = \theta(t)$ ): trạng thái là ĐHTT.
- b) Nếu  $M(\theta) \geq MU(\theta)$  và  $\Delta M(\theta) > 0$  hoặc  $M(\theta) \leq ML(\theta)$  và  $\Delta M(\theta) < 0$ : trạng thái là ĐDSTT.
- c) Nếu  $M(\theta) \geq MU(\theta)$  và  $\Delta M(\theta) < 0$  hoặc  $M(\theta) \leq ML(\theta)$  và  $\Delta M(\theta) > 0$ : trạng thái đổi chiều trở lại ĐHTT.

Trong các quan hệ trên:  $M(\theta)$  – mômen uốn tính toán tại thời điểm khảo sát;  $MU(\theta)$ ,  $ML(\theta)$  – tương ứng là giới hạn trên và giới hạn dưới của mômen uốn tại thời điểm khảo sát, là hàm cho trước,  $\Delta M(\theta)$  – số gia mômen uốn tính toán tại thời điểm khảo sát.

Các ma trận  $[M]$ ,  $[K]$ ,  $[C]$  của hệ được hình thành từ các ma trận phần tử thanh ĐDSTT theo phương pháp “cộng trực tiếp”.

- Việc kể đến *GNS* làm giảm giá trị hệ số tải trọng (giảm 7,83% ÷ 12,72%) so với không kể đến yếu tố trên.

**Bài toán 3.3:** Xác định tải trọng động giới hạn của khung phẳng ĐDLT khi kể đến ảnh hưởng đồng thời của *EAL* và *GNS*.

Từ kết quả bằng số nhận được, rút ra nhận xét:

Khi chỉ kể đến *EAL* (bỏ qua *GNS*) giá trị hệ số tải trọng giảm 4,35% ÷ 8,54%, khi chỉ kể đến *GNS* (bỏ qua *EAL*) giá trị hệ số tải trọng giảm 11,66% ÷ 15,08% và khi kể đến đồng thời *EAL* và *GNS* giá trị hệ số tải trọng giảm 15,89% ÷ 17,94% so với không kể đến đồng thời các yếu tố trên. Như vậy với cùng một hệ cho trước, khi kể tới ảnh hưởng đồng thời của *EAL* và *GNS* thì kết cấu sẽ bị phá hoại với giá trị tải trọng nhỏ hơn so với trường hợp không kể đến ảnh hưởng đồng thời cả hai yếu tố hoặc từng yếu tố trên.

#### CHƯƠNG IV

### TÍNH TOÁN KHUNG PHẪNG ĐDSTT CHỊU TẢI TRỌNG ĐỘNG NGẮN HẠN

Trong chương này sử dụng mô hình tính Clough và các phương pháp tính toán kết cấu tiên tiến thiết lập các phương trình, thuật toán và chương trình tính khung phẳng ĐDSTT chịu tác dụng của tải trọng động. Khi tính toán kết cấu, ngoài việc kể tới *EAL* và *GNS* còn kể đến ảnh hưởng của nội lực ban đầu trong kết cấu do các tác dụng tĩnh gây ra (*SL*). Cuối chương trình bày các kết quả nghiên cứu bằng số về ảnh hưởng của các tham số tính toán đối với trạng thái nội lực – chuyển vị của kết cấu chịu tác dụng của tải trọng động ngắn hạn.

Khảo sát khung phẳng ĐDSTT chịu tác dụng của tải trọng động. Ở đây thừa nhận các giả thiết:

- Vật liệu kết cấu biến dạng theo mô hình ĐDSTT, theo đó quan hệ  $\sigma - \varepsilon$  có dạng như trên hình 4.1 (a), còn quan hệ  $M - \theta$  có dạng như trên hình 4.1 (b). Các quan hệ trên là quan hệ cho trước.

- Kể tới *EAL*, *GNS* và *SL* đối với trạng thái nội lực–chuyển vị của hệ.

theo đó các ma trận của phần tử cũng thay đổi theo. Cả hai hiện tượng trên làm cho bài toán trở nên phi tuyến được gọi là *phi tuyến hình học*.

Khi kể đến hiệu ứng  $P - \Delta$ , ma trận độ cứng toàn phần của phần tử thanh ĐHTT có dạng:

$$\left[ K_{pg}^{Li} \right]_m = \left[ K_p^{Li} \right]_m - \left[ K_g^{Li} \right]_m, \quad (3.1)$$

trong đó:  $\left[ K_p^{Li} \right]_m$  - ma trận độ cứng động học (kinematic stiffness matrix) của phần tử thanh ĐHTT (khi không kể đến hiệu ứng  $P - \Delta$ );  $\left[ K_g^{Li} \right]_m$  - ma trận độ cứng hình học của phần tử ĐHTT.

Tiếp theo, đã thiết lập các công thức tính  $\left[ K_g^{Li} \right]_m$  (các công thức tính  $\left[ K_p^{Li} \right]_m$  đã thiết lập ở chương 2).

Khi kể đến chuyển vị thẳng tại các nút, các tọa độ nút của kết cấu sau mỗi bước chất tải được cập nhật lại theo công thức:

$$\{X\}_{k+1} = \{X\}_k + \{\Delta U_X\}_k; \{Y\}_{k+1} = \{Y\}_k + \{\Delta U_Y\}_k, \quad (3.2)$$

Theo tọa độ nút này, tính toán và cập nhật lại ma trận biến đổi tọa độ, ma trận độ cứng toàn phần, ma trận khối lượng, ma trận cản và véc-tơ tải trọng của phần tử và của kết cấu sau mỗi bước chất tải.

Phương pháp xác định tải trọng giới hạn của khung phẳng ĐDLT ở đây hoàn toàn tương tự như trong chương 2, ngoại trừ mô men dẻo của tiết diện và các ma trận phần tử của kết cấu được tính toán và cập nhật lại sau mỗi bước lặp như đã trình bày ở trên.

Hệ đạt trạng thái giới hạn khi ma trận độ cứng toàn phần của hệ ngừng xác định dương, theo đó cần kiểm tra để xác định hệ đạt đến trạng thái giới hạn về độ bền (hệ biến hình do xuất hiện các khớp dẻo) hay trạng thái giới hạn về ổn định (tiêu chuẩn mất ổn định là mất ổn định bậc 2 (loại 2) ngoài giai đoạn đàn hồi).

Điều kiện để hệ đạt trạng thái giới hạn về độ bền có dạng:

$$\det\left(\left[ K_{pg}^{Li} \right]\right) \leq Toler \text{ và } \det\left(\left[ K_p^{Li} \right]\right) \leq Toler. \quad (3.3)$$

Điều kiện để hệ đạt trạng thái giới hạn về ổn định có dạng:

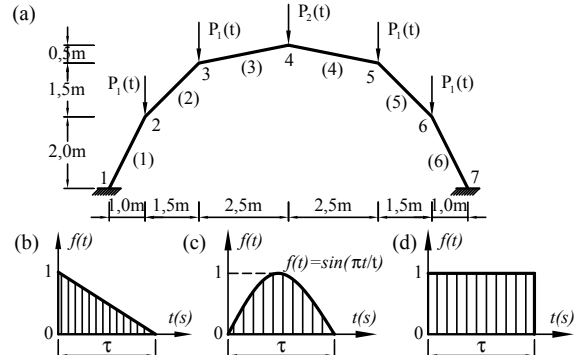
$$\det\left([K_{pg}^{Li}]\right) \leq Toler \text{ và } \det\left([K_p^{Li}]\right) > Toler, \quad (3.4)$$

trong đó:  $[K_{pg}^{Li}]$  và  $[K_p^{Li}]$  - tương ứng là ma trận độ cứng toàn phần và ma trận độ cứng động học của khung phẳng ĐHTT.

Từ các thuật toán nhận được, tác giả đã lập chương trình CAPROLDYL-2 tính toán tải trọng động giới hạn có kể đến ảnh hưởng của lực dọc và tính phi tuyến hình học của kết cấu.

Sử dụng chương trình CAPROLDYL-2 đã lập, tiến hành tính toán bằng số để làm sáng tỏ về mặt định lượng của các ảnh hưởng nêu trên.

**Bài toán 3.1:** Xác định tải trọng động giới hạn của khung phẳng ĐDLT cho trên hình 3.1 (a) khi chỉ kể đến EAL. Kết cấu khung bằng thép có tiết diện  $I(300x150x6,5x9 \text{ mm})$ ;  $P_1(t) = 20\lambda f(t) \text{ kN}$ ,  $P_2(t) = 50\lambda f(t) \text{ kN}$ ,  $t_a = 0,2 \text{ (s)}$ . Bỏ qua trọng lượng bản thân và GNS. Một trong số các kết quả số được thể hiện trên hình 3.3.

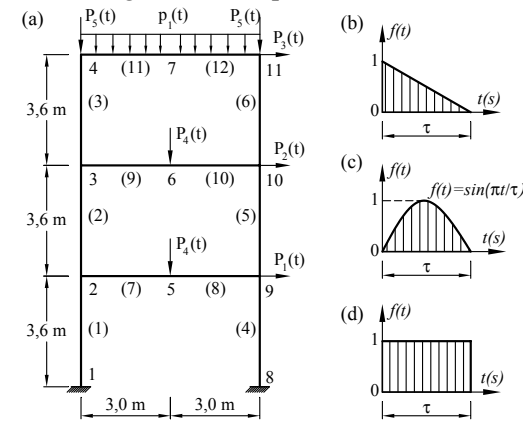


**Hình 3.1** Sơ đồ kết cấu và các dạng tải trọng động ngắn hạn khảo sát.

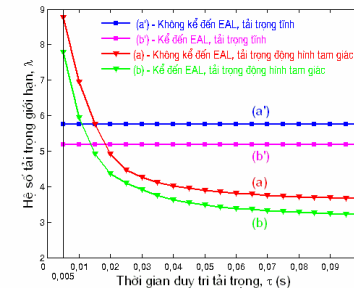
Từ các kết quả tính bằng số trên có thể đưa ra các nhận xét sau:

- Quy luật  $\lambda - \tau$  khi kể đến EAL có dạng tương tự như khi không kể đến ảnh hưởng này (hình 3.3).
- Việc kể đến EAL làm giảm giá trị hệ số tải trọng: 9,95 % đối với tải trọng tĩnh và  $10,63\% \div 27,42\%$  đối với tải trọng động ngắn hạn so với không kể đến yếu tố trên.

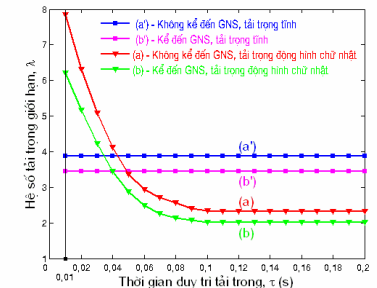
**Bài toán 3.2:** Xác định tải trọng động giới hạn của khung phẳng ĐDLT cho trên hình 3.2 (a) khi chỉ kể đến GNS. Kết cấu khung bằng thép, tiết diện ngang của các phần tử cột  $I(250x150x6,5x9 \text{ mm})$ , các phần tử dầm  $I(300x150x6,5x9 \text{ mm})$ . Tải trọng:  $P_1(t) = 4\lambda f(t) \text{ kN}$ ,  $P_2(t) = 6\lambda f(t) \text{ kN}$ ,  $P_3(t) = 8\lambda f(t) \text{ kN}$ ,  $P_4(t) = 20\lambda f(t) \text{ kN}$ ,  $P_5(t) = 30\lambda f(t) \text{ kN}$ ,  $p_1(t) = 10\lambda f(t) \text{ kN/m}$ ,  $t_a = 0,4 \text{ (s)}$ . Bỏ qua trọng lượng bản thân các cấu kiện và EAL. Một trong số các kết quả số được thể hiện trên hình 3.4.



**Hình 3.2** Sơ đồ kết cấu và các dạng tải trọng động ngắn hạn khảo sát.



**Hình 3.3** Quan hệ  $\lambda - \tau$  khi kể đến và không kể đến EAL.



**Hình 3.4** Quan hệ giữa  $\lambda - \tau$  khi kể đến và không kể đến GNS.

Từ các kết quả tính bằng số trên có thể đưa ra các nhận xét sau:

- Quy luật  $\lambda - \tau$  khi kể đến GNS có dạng tương tự như khi không kể đến ảnh hưởng này (hình 3.4).