

## PHẦN MỞ ĐẦU

### Tính cấp thiết của đề tài luận án

Ngày nay, kết cấu nhà khung thép được sử dụng phổ biến trong lĩnh vực xây dựng công trình dân dụng và công nghiệp. Kết cấu thép được gia công thành các cấu kiện rời trong nhà máy hoặc ngoài công trường rồi mang đi lắp dựng. Tại công trình xây dựng, các cấu kiện được lắp ráp lại với nhau bằng phương pháp liên kết như liên kết hàn, liên kết đinh tán, liên kết bu lông. Cấu tạo nút liên kết này có nhiều loại khác nhau và phụ thuộc vào yêu cầu chịu lực của chính cấu kiện được liên kết về mặt cường độ, ổn định hoặc công năng sử dụng. Liên kết có ảnh hưởng nhiều đến sự làm việc của hệ kết cấu. Quan niệm thiết kế thường cho rằng nút liên kết là cứng hoặc khớp là chưa đầy đủ. Thực tế, khung thép có liên kết nửa cứng được sử dụng phổ biến trong lĩnh vực xây dựng hiện nay. Đặc điểm ứng xử phi tuyến của liên kết nửa cứng phụ thuộc vào trạng thái làm việc phức tạp của những bộ phận cấu thành liên kết.

Bài toán đặt tải đơn giản đã được nghiên cứu nhiều, ngoại lực được gia tăng từng bước không đổi chiều để phân tích trạng thái làm việc của kết cấu. Tuy nhiên thực tế, ngoại lực tác dụng lên kết cấu thường có qui luật thay đổi, chẳng hạn như tải gió hoặc động đất, có thể tác dụng theo chiều này hoặc ngược lại với biên độ thay đổi.

Vấn đề tính toán khung thép có liên kết nửa cứng đã được thế giới quan tâm nghiên cứu từ lâu và hiện nay đã được đưa vào áp dụng thực tế cũng như trong tiêu chuẩn thiết kế của một số nước.

Các kết quả nghiên cứu của thế giới tập trung vào nghiên cứu đặc điểm làm việc của các liên kết và đưa ra các mô hình về ứng xử của liên kết.

Việc nghiên cứu tính toán kết cấu có liên kết nửa cứng cho đến nay chủ yếu tập trung vào các mô hình tuyến tính hoặc phi tuyến đàn hồi.

Các nghiên cứu chứng tỏ rằng, ứng xử của các liên kết có đặc tính phi tuyến đàn dẻo.

→ Nhiệm vụ đặt ra cho luận án là nghiên cứu tính toán khung thép phẳng có liên kết nửa cứng theo mô hình phi tuyến đàn dẻo; nhằm làm sáng tỏ hơn sự làm việc của kết cấu mà các mô hình tính toán tuyến tính hoặc phi tuyến đàn hồi chưa phản ánh được.

**Mục đích của luận án:** Các công trình đã nghiên cứu về liên kết nửa cứng chủ yếu theo hai hướng chính là: nghiên cứu đặc trưng làm việc của liên kết và tính toán kết cấu kể đến ảnh hưởng do liên kết nửa cứng.

Một số tính toán về kết cấu có liên kết nửa cứng xem xét đặc điểm ứng xử đàn hồi thông qua đường đặc tính quan hệ mô men-góc xoay có dạng tuyến tính, các nghiên cứu dạng này đã xem xét đến độ mềm liên kết và tính toán cho bài toán tĩnh lực và động lực.

Các tính toán nghiên cứu gần đây về kết cấu có liên kết nửa cứng đã xét đến đặc điểm ứng xử đàn dẻo thông qua đường đặc tính quan hệ mô men-góc xoay có dạng đường cong trơn (như mô hình Frye-Moris..) hoặc gồm nhiều đường thẳng (như hai đường thẳng, ba đường thẳng) để mô tả đặc điểm ứng xử

phi tuyến của liên kết nửa cứng. Tuy nhiên, các ví dụ chỉ tính toán cho trường hợp tải tác dụng một chiều. Hạn chế của các nghiên cứu trên đây là chưa xét đến sự làm việc trong giai đoạn đàn hồi dẻo của kết cấu cũng như của liên kết. Mặc dù các nghiên cứu theo hướng thứ nhất đã chỉ ra rằng sự làm việc của các liên kết nửa cứng có đặc tính phi tuyến đàn dẻo.

*Mục đích của luận án:* là nghiên cứu tính toán kết cấu khung thép phẳng có liên kết nửa cứng theo mô hình đàn dẻo.

### **Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu của luận án**

**Đối tượng của luận án:** là khung thép phẳng có liên kết nửa cứng, tiết diện chữ I đặc có dạng định hình hoặc thép tổ hợp, liên kết dầm-cột có cấu tạo kiểu liên kết bu lông. Vật liệu thanh ở các phần tử dầm và cột làm việc trong miền đàn hồi, liên kết dầm-cột có thể là liên kết cứng hoặc liên kết nửa cứng phi tuyến, chân cột có cấu tạo kiểu nút ngầm hoặc kiểu gối tựa. Quan hệ mô men-góc xoay theo mô hình đàn dẻo dạng hai đường thẳng, ba đường thẳng (Eurocode 3) hoặc đường cong trơn theo mô hình đa thức bậc lẻ của Frye-Morris; tải trọng đứng không thay đổi, tải ngang thay đổi theo một trong số các dạng như: tải tác dụng một chiều, gia tải-giảm tải không đổi dấu, gia tải-giảm tải đổi dấu, tải thay đổi lặp chu kỳ.

*Phạm vi nghiên cứu:* sử dụng các mô hình ứng xử của liên kết nửa cứng đã được nghiên cứu để tính toán khung thép có liên kết nửa cứng theo mô hình đàn dẻo chịu các trường hợp tải trọng: tĩnh tải, tải ngang thay đổi lặp chu kỳ, tải trọng đứng cố định kết hợp với tải ngang thay đổi lặp chu kỳ.

*Phương pháp nghiên cứu:* Nghiên cứu lý thuyết kết hợp thử nghiệm số trên máy tính, dựa vào thuật toán phân tích kết hợp phương pháp phần tử hữu hạn nhằm mục đích theo dõi để biết trạng thái ứng xử của hệ kết cấu khung tương ứng với một số dạng đặt tải phức tạp.

### **Cấu trúc luận án:**

**Phần mở đầu,** trình bày tính cấp thiết của đề tài; mục đích, đối tượng, phạm vi nghiên cứu và cấu trúc của luận án.

**Chương 1,** Tổng quan về kết cấu khung thép có liên kết nửa cứng.

**Chương 2,** Tính toán khung thép phẳng có liên kết nửa cứng phi tuyến.

**Chương 3,** Tính toán khung thép có liên kết nửa cứng phi tuyến chịu tác dụng của tải ngang thay đổi.

**Chương 4,** Tính toán khung thép có liên kết nửa cứng chịu tác dụng của tải ngang lặp chu kỳ và tải trọng đứng không đổi.

**Kết luận, kiến nghị:** trình bày những đóng góp mới của luận án và kiến nghị.

Danh mục các bài báo của tác giả, Tài liệu tham khảo và Phụ lục. Phần phụ lục giới thiệu văn bản chương trình tính toán được viết bằng ngôn ngữ MATLAB.

Luận án có 04 bảng, 66 hình vẽ và biểu đồ, 97 trang phụ lục chương trình tính toán viết bằng ngôn ngữ Matlab.

Phân tài liệu tham khảo: gồm 84 tài liệu, trong đó có: 24 tài liệu tiếng Việt, 60 tài liệu tiếng Anh.

# **Chương 1: TỔNG QUAN VỀ KẾT CẤU KHUNG THÉP CÓ LIÊN KẾT NỬA CỨNG**

Bài toán tính toán khung thép phẳng có độ mềm liên kết bắt đầu được xem xét từ những năm 30 của thế kỷ 20:

- Batho và Rowan(1934): đề xuất phương pháp đường thẳng dầm để phân loại liên kết. Rathun(1936): xem xét độ cứng của liên kết theo phương pháp phân phối mô men. Monforton và Wu(1963): đề xuất phương pháp ma trận độ cứng. Frye và Morris (1975): đề xuất mô hình liên kết phi tuyến. Goto và Chen (1987): Đề xuất phương pháp số để ứng dụng vào máy tính xem xét đặc điểm ứng xử liên kết theo đường đặc tính cho trước có dạng một đường thẳng hoặc hai đường thẳng. Albermani và Kitipornchai(1992): đề xuất phương pháp kể đến ảnh hưởng độ mềm liên kết trong phân tích phi tuyến khung không gian.

Ho và Chen(1993): vận dụng phương pháp bước nhảy độ cứng cát tuyến trong kỹ thuật PTHH dựa trên chuyển vị khi phân tích khung nửa cứng. Lo và Stierner(1996): trình bày phương pháp phân tích khung phẳng có liên kết nửa cứng sử dụng phương pháp ma trận hiệu chỉnh và mô hình Frye-Morris.

Rodrigues(1998): sử dụng phần tử có chiều dài bằng không để mô phỏng liên kết nửa cứng. Faella(2000): đề xuất một số mô hình giải tích để mô tả ứng xử lặp của liên kết. Sekulovic và Salatic (2001): phân tích tĩnh khung thép có liên kết nửa cứng. Chan, S.L và Chui,PPT(2000): đề cập đến phân tích ứng xử lặp của liên kết nửa cứng trong phân tích khung, chỉ mang hướng định tính và chưa có thuật toán cụ thể. Hadianfard và Razani(2003): phân tích ứng xử thực của liên kết trong khung và các ảnh hưởng đến chuyển vị của khung.

- Tiêu chuẩn châu âu (Eurocode 3-2004): đề xuất mô hình tính toán và phương pháp tính các đặc trưng cơ học.

- Vũ Quốc Anh, Nguyễn Trâm (2000): tính toán khung có độ mềm liên kết theo mô hình tuyến tính.

- Nguyễn Hồng Sơn, Nguyễn Trâm (2006): tính toán khung có liên kết nửa cứng đàn hồi phi tuyến theo mô hình 3 đường thẳng.

## Các vấn đề đã được nghiên cứu:

\*Nghiên cứu về đặc tính làm việc của liên kết nửa cứng:

- Thực nghiệm; Lý thuyết; Các mô hình, tiêu chuẩn

\*Nghiên cứu tính toán kết cấu có liên kết nửa cứng:

- Tính toán khung chịu tải trọng tĩnh lực (mô hình tuyến tính, mô hình phi tuyến);

- Tính toán khung chịu tải trọng thay đổi (mô hình tuyến tính, mô hình phi tuyến đàn hồi);

- Tính toán khung chịu tải trọng động lực (mô hình tuyến tính, mô hình phi tuyến đàn hồi).

## Các vấn đề sẽ được nghiên cứu trong luận án:

1. Xây dựng bài toán tổng quát về khung thép có liên kết nửa cứng phi tuyến.

2. Xây dựng thuật toán để tính toán khung thép có liên kết nửa cứng phi tuyến chịu tải trọng tĩnh theo một số mô hình ứng xử khác nhau.

3. Nghiên cứu tính toán khung thép có liên kết nửa cứng chịu tải lập phương ngang theo mô hình ứng xử liên kết nửa cứng đàn dẻo.
4. Nghiên cứu tính toán kết cấu khung thép có liên kết nửa cứng với sự tham gia của tải trọng đứng không đổi và tải ngang thay đổi lập chu kỳ.
5. Xây dựng thuật toán và lập trình tính các bài toán trên.
6. áp dụng các chương trình được lập để nghiên cứu các đặc tính làm việc của khung thép có liên kết nửa cứng phi tuyến.

## Chương 2: TÍNH TOÁN KHUNG THÉP PHẪNG CÓ LIÊN KẾT NỬA CỨNG PHI TUYẾN

### 2.1 Giới thiệu bài toán

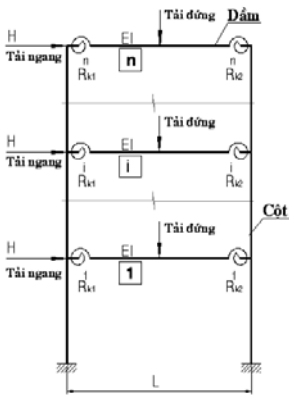
Phân tích khung thép phẳng có liên kết nửa cứng phi tuyến để nghiên cứu ảnh hưởng của liên kết nửa cứng đến đặc điểm làm việc của kết cấu. Độ cứng góc xoay liên kết nửa cứng thay đổi phi tuyến theo quan hệ đa tuyến theo mô hình Eurocode 3 hoặc đường cong theo mô hình Frye-Morris.

### 2.2 Thành lập ma trận độ cứng phần tử, ma trận độ cứng kết cấu

Tính mềm của liên kết nửa cứng được mô hình toán học như là một lò xo liên kết có chiều dài bằng không, với độ cứng góc xoay thay đổi phi tuyến

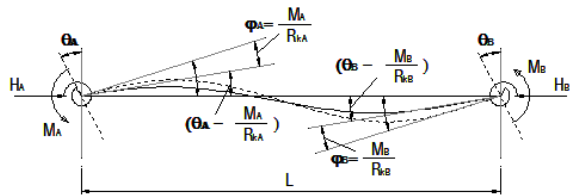
*Một số giả thuyết khi phân tích kết cấu khung:*

- Vận dụng giả thuyết Bernoulli cho phần tử dầm.
- Đặc tính phi tuyến là do độ mềm liên kết. Vật liệu thanh được xem là đàn hồi ở các cấp tải xem xét.
- Tất cả các liên kết được giả định hội đủ tính dẻo cũng như duy trì được độ cứng và các đặc trưng cơ học.
- Đồ thị ứng xử lập của mỗi liên kết dựa trên đường cong quan hệ mô men-góc xoay ứng xử tĩnh lập chu kỳ theo hàm toán học cho trước.



Hình 2.1: Sơ đồ kết cấu khung thép phẳng

← Khảo sát khung thép phẳng gồm phần tử cột và phần tử dầm. Các phần tử cột liên kết với nhau thông qua các nút cứng. Phần tử dầm liên kết vào phần tử cột thông qua liên kết nửa cứng ở hai đầu dầm, tạo thành nút liên kết nửa cứng.



Hình 2.2: Mô hình phần tử dầm có liên kết nửa cứng ở hai đầu

2.2.1 Phần tử cột có liên kết nút cứng: Ma trận độ cứng có dạng quen thuộc.

2.2.2 Phần tử dầm có liên kết nửa cứng ở hai đầu

Xem xét phần tử dầm có liên kết nửa cứng hai đầu, được mô hình bởi lò xo có độ cứng ban đầu  $R_{ki}$ . (xem hình 2.2)

Tổng góc xoay tại các nút đầu dầm được ký hiệu là  $\theta_A$  và  $\theta_B$  là góc xoay tương đối giữa các phần tử được nối bởi liên kết, các thành phần góc xoay do biến dạng của liên kết nửa cứng được ký hiệu là  $\varphi_A$  và  $\varphi_B$ . Hai thành phần  $\phi_A^b = (\theta_A - \varphi_A)$  và  $\phi_B^b = (\theta_B - \varphi_B)$  là trị số góc xoay đầu dầm do biến dạng của phần tử thanh.

$$\theta_A = \phi_A^b + \varphi_A \Rightarrow \phi_A^b = \theta_A - \varphi_A; \theta_B = \phi_B^b + \varphi_B \Rightarrow \phi_B^b = \theta_B - \varphi_B \quad (2.1)$$

Các giá trị  $M_A$  và  $M_B$  là trị số mô men tại đầu dầm có thể được viết dưới dạng:

$$\varphi_A = \frac{M_A}{R_{kA}}; \quad \varphi_B = \frac{M_B}{R_{kB}} \quad (2.2)$$

Hàm chuyển vị của phần tử dầm có liên kết nửa cứng ở hai đầu dầm có dạng :

$$w(y) = \psi(y)\{u - Z\} = [\psi_1(y)\psi_2(y)\psi_3(y)\psi_4(y)] \left[ \begin{array}{c} q_1 \\ \theta_A \\ q_2 \\ \theta_B \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} 0 \\ \varphi_A \\ 0 \\ \varphi_B \end{array} \right] \quad (2.3)$$

$$\text{Đặt: } R_1 = LR_{kA}/EI = l/W_1 \text{ và } R_2 = LR_{kB}/EI = l/W_2 \quad (2.4)$$

Chuyển vị  $w(y)$  của phần tử dầm với nút liên kết nửa cứng ở hai đầu có thể được biểu diễn theo công thức:

$$w(y) = \Psi(y) \left\{ I + \frac{1}{\Delta} B \right\} u \Rightarrow w''(y) = \Psi''(y) \left\{ I + \frac{1}{\Delta} B \right\} u \quad (2.5)$$

Với chuyển vị khả dĩ của dầm ta có :

$$\delta W_T = \delta W_v + \delta W_c = [\delta u]^T \{K_0 + K_1 + K_2\} u \quad (2.6)$$

Áp dụng nguyên lý chuyển vị khả dĩ đã nhận được ma trận độ cứng của phần tử kết cấu có kể đến liên kết nửa cứng như sau :

$$\bar{K} = K_0 + K_1 + K_2 \quad (2.7)$$

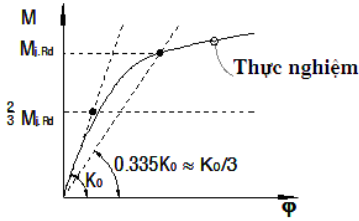
$$\bar{K} = \left[ \begin{array}{cccccc} \frac{EA}{L} & & & & & \\ 0 & \frac{4EI(B_{11} + B_{12} + B_{22})}{L^3} & & & & \\ 0 & \frac{2EI(2B_{11} + B_{12})}{L^2} & \frac{4EIB_{11}}{L} & & & \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & & \\ 0 & \frac{-4EI(B_{11} + B_{12} + B_{22})}{L^3} & \frac{-2EI(2B_{11} + B_{12})}{L^2} & 0 & \frac{4EI(B_{11} + B_{12} + B_{22})}{L^3} & \\ 0 & \frac{2EI(B_{12} + 2B_{22})}{L^2} & \frac{2EIB_{12}}{L} & 0 & \frac{-2EI(B_{12} + 2B_{22})}{L^2} & \frac{4EIB_{22}}{L} \end{array} \right] \quad \text{doixung}$$

Phương trình cân bằng phần tử có thể được viết như sau:

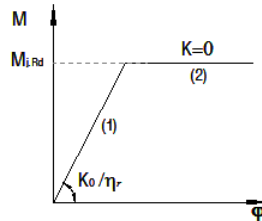
$$[K_e] \{u_e\} + \{F_f\} = \{F\}$$

## 2.4 Mô hình ứng xử liên kết nửa cứng dạng đa tuyến theo Eurocode3

### 2.4.1 Mô hình xấp xỉ hai đường thẳng:



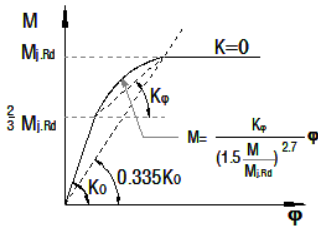
Hình 2.3: Mô hình thực nghiệm



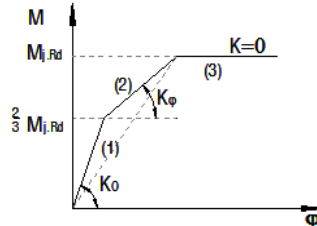
Hình 2.4: Mô hình hai đường thẳng

Trong đó:  $K_0$  là độ cứng góc xoay liên kết ban đầu,  $\eta_r$  là hệ số phụ thuộc loại liên kết  $M_{j,Rd}$  là mô men kháng uốn của liên kết.

### 2.4.2 Mô hình xấp xỉ ba đường thẳng:



Hình 2.5: Mô hình Eurocode 3



Hình 2.6: Mô hình ba đường thẳng

### 2.4.3 Đặc điểm ứng xử của liên kết nửa cứng theo mô hình ba đường thẳng của Eurocode3



Hình 2.7a - Trị số mô men dẻo đạt được tại nút A



Hình 2.7b - Trị số mô men dẻo đạt được tại nút B



Hình 2.7c - Trị số mô men dẻo đạt được tại nút A và B

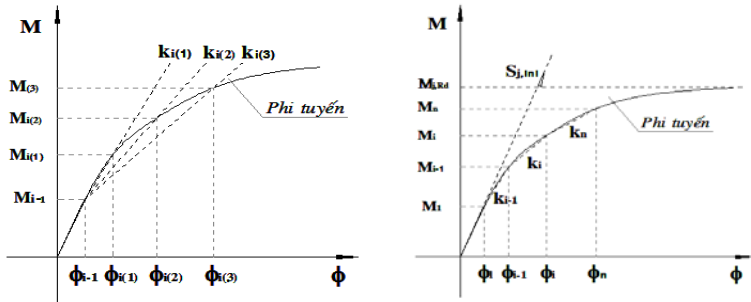
Trong trường hợp liên kết kiểu nút cứng, khi đó độ cứng liên kết  $k_i = \infty$ , trị số góc xoay do biến dạng góc xoay sẽ bằng không. Trường hợp nút liên kết nửa cứng, khi mô men tại liên kết đạt đến trị số mô men dẻo, độ cứng của liên kết đó sẽ bằng không ( $k_i = 0$ ), liên kết sẽ bị mềm hóa.

### 2.5 Mô hình ứng xử liên kết nửa cứng dạng đường cong

**2.5.1 Mô hình dạng đường cong theo Frye & Morris:**

Theo mô hình này, quan hệ mô men (M) và góc xoay (φ) được ràng buộc theo công thức sau:  $\varphi = f(M) = C_1(K.M)^1 + C_2(K.M)^3 + C_3(K.M)^5$

**2.5.2 Đặc điểm ứng xử của liên kết nửa cứng ứng xử theo mô hình đường cong Frye-Morris:**



(a) Sơ đồ tính lập cho bước tải thứ i

(b) Trị số độ cứng góc xoay thay đổi tại mỗi bước tải

Hình 2.8: Thuật toán phân tích theo phương pháp độ cứng cát tuyến

**2.5.3 Các bước phân tích kết cấu theo phương pháp độ cứng cát tuyến**

Bài toán được giải theo phương pháp gia tải từng bước, thuật toán tính lập theo phương pháp độ cứng cát tuyến để kiểm tra sai số biến dạng góc xoay với độ chính xác  $\{\varphi - \varphi_m\} \leq \epsilon$ ; (chọn  $\epsilon = 10^{-6}$ ); bài toán kết thúc khi tất cả các phép tính thỏa mãn sai số cho trước.

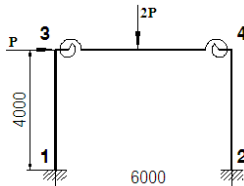
**2.6 Phương trình cân bằng hệ thanh có liên kết nửa cứng phi tuyến**

$$K(U)U = R \quad (*)$$

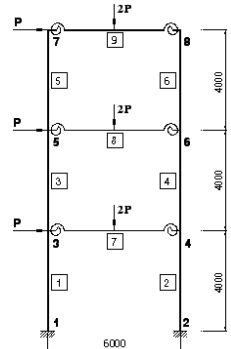
Phương trình (\*) được giải theo phương pháp gia tải từng bước với trị số gia không đổi ở mỗi bước tải để giải bài toán kết cấu hệ thanh có liên kết nửa cứng phi tuyến. Điều kiện dừng gia tải khi hoàn tất số bước gia tải ( $k = N$ )

**2.7. Một số ví dụ tính toán**

Số liệu chung về vật liệu và liên kết : Tất cả các cấu kiện dầm và cột có kích thước tiết diện là I400x200x13x8. Độ cứng góc xoay liên kết là  $k=74.600\text{kNm/rad}$ , vật liệu thép có mô đun đàn hồi  $E=2,1.10^5\text{Mpa}$



Hình 2.9 : Sơ đồ kết cấu khung 1 nhịp và 1 tầng

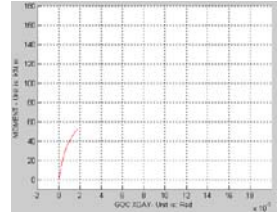
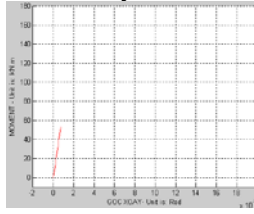
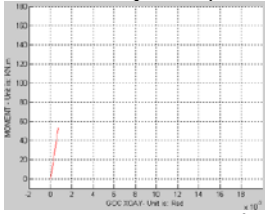


Hình 2.10 : Sơ đồ kết cấu khung 1 nhịp và 3 tầng

**Ví dụ 2.7.1:** Phân tích khung 1 tầng và 1 nhịp (hình 2.9).

2.7.1.1 Liên kết chân cột là ngàm,  $P=150\text{kN}$ .

a) Biểu đồ quan hệ Mô men- Góc xoay nút 3

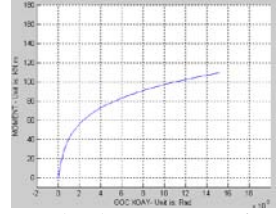
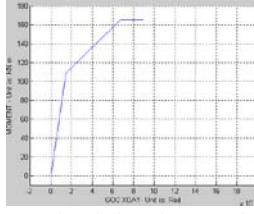
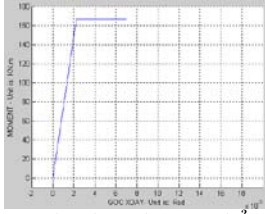


Mô hình 2 đường thẳng

Mô hình ba đường thẳng

Mô hình Frye-Morris

b) Biểu đồ quan hệ Mô men- Góc xoay nút 4



Mô hình 2 đường thẳng

Mô hình ba đường thẳng

Mô hình Frye-Morris

**Ví dụ 2.7.2 :** Phân tích khung 1 nhịp và 3 tầng (hình 2.10), chịu tải  $P=25kN$ .

**Bảng 2.3:** Kết quả phân tích nội lực khung thép nửa cứng có chân cột liên kết cứng

Tiết diện	Sap 2000	Sử dụng chương trình viết bằng Matlab-FMEUROMONO4 Giá trị M(kNm) tại các tiết diện tương ứng với các mô hình:				
	Liên kết cứng	Liên kết cứng	Tuyến tính	Hai đường thẳng	Ba đường thẳng	Frye-Morris
1-i	92.8	91.8	93.3	105.2	105.2	129.1
2-i	-106.4	-105.7	-104.3	-116.6	-116.7	-133.9
3-i	-26.0	-25.6	-29.1	-28.5	-28.5	-38.6
4-i	62.5	62.5	58.9	58.9	58.9	51.4
5-i	4.17	4.2	0.4	4.54	4.54	3.62
6-i	35.44	35.6	31.7	28.5	28.5	13.8
7-i	62.14	62.6	68.9	55.8	55.7	51.82
8-i	36.6	36.6	43.4	39.56	39.5	47.1
9-i	5.6	5.3	10.9	13.62	13.61	29.1
1-j	-36.2	-36.7	-39.7	-27.2	-27.2	-13.2
2-j	64.58	65.4	62.6	50.8	50.8	23.6
3-j	-40.76	-41.0	-43.8	-44.0	-44.0	-50.7
4-j	70.65	71.0	68.0	68.4	68.4	59.3
5-j	-5.6	-5.3	-10.9	-13.62	-13.61	-29.1
6-j	63.13	63.3	57.7	62.4	62.47	60.6
7-j	-127.17	-128.0	-121	-109.8	-109.8	-75.1
8-j	-106.09	-106.0	-99.8	-96.8	-96.8	-73.2
9-j	-63.13	-63.3	-57.7	-62.4	-62.47	-60.6

**Nhận xét:**

Thực hiện tính toán nội lực khung thép 1 nhịp 3 tầng với các mô hình ứng xử khác nhau của liên kết với cùng một trường hợp ngoại lực tác dụng, kết quả cho thấy: sự phân bố nội lực ở các tiết diện khung là khác nhau tùy thuộc vào loại mô hình ứng xử của liên kết. Mô men tại các nút khung thỏa mãn điều kiện cân bằng nút.

**Bảng 2.4:** kết quả phân tích nội lực khung thép nửa cứng có chân cột liên kết khớp.

Tiết diện	Sap 2000	Sử dụng chương trình viết bằng Matlab-FMEUROMONO4 Giá trị M(kNm) tại các tiết diện tương ứng với các mô hình:				
	Liên kết cứng	Liên kết cứng		Liên kết cứng	Liên kết cứng	
1-i	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2-i	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3-i	-7.28	-7.2	-11.04	1.32	11.1	38.5
4-i	46.67	47.0	43.2	13.6	6.12	-34.3
5-i	6.82	6.81	3.0	14.91	17.1	39.6
6-i	32.25	32.50	28.74	21.3	12.5	-32.7
7-i	145.03	145.1	151.3	146.3	134.1	110.2
8-i	50.87	50.65	57.4	68.9	78.3	95.4
9-i	8.56	8.28	13.8	22.1	28.1	79.7
1-j	-137.74	-137.8	-140.2	-147.6	-145.2	-148.7
2-j	162.26	162.17	159.8	152.3	154.7	151.2
3-j	-57.69	-57.45	-60.4	-83.8	-95.2	-135.2
4-j	88.35	88.25	85.3	103.7	109.8	137.3
5-j	-8.56	-8.28	-13.8	-22.1	-28.1	-79.7
6-j	66.02	66.0	60.5	71.3	76.5	92.7
7-j	-208.93	-209.2	-203.0	-165.2	-160.8	-116.9
8-j	-120.6	-120.7	-114.5	-125.4	-122.3	-104.9
9-j	-66.02	-66.0	-60.5	-71.3	-76.5	-92.7

**Nhận xét:**

Khi kết cấu khung thép có chân cột là kiểu liên kết khớp lý tưởng, mô men tại chân cột sẽ bằng không, mô men phân phối vào các phần tử dầm cũng như chuyển vị ngang công trình lớn hơn so với trường hợp chân cột ngàm lý tưởng. Biểu đồ phân bố nội lực khung thay đổi tùy thuộc vào mô hình ứng xử mô men-góc xoay liên kết. Mô men tại các nút khung thỏa mãn điều kiện cân bằng nút.

**2.8 Kết luận chương 2**

Nghiên cứu phân tích khung thép phẳng bao gồm phần tử cột liên tục và phần tử dầm có liên kết nửa cứng ở hai đầu dầm. Lựa chọn mô hình phần tử dầm có liên kết nửa cứng được mô phỏng bởi một lò xo phi tuyến. Xây dựng ma trận độ cứng phần tử dầm có lò xo phi tuyến hai đầu dầm theo nguyên lý chuyển vị khả dĩ. Thành lập véc tơ tải nút phần tử dầm có kể đến ảnh hưởng do

sự thay đổi độ cứng liên kết ở hai đầu. Lựa chọn sử dụng mô hình xấp xỉ nhiều đường thẳng theo Tiêu chuẩn Eurocode 3 và mô hình đường cong trơn Frye-Morris để mô tả đặc điểm quan hệ ứng xử phi tuyến mô men-góc xoay liên kết. Xây dựng thuật toán giải bài toán kết cấu khung theo phương pháp gia tải từng bước kết hợp thuật toán giải lập độ cứng cát tuyến. Xây dựng chương trình phân tích kết cấu khung thép phẳng bằng ngôn ngữ Matlab, thử nghiệm số với bài toán tĩnh lực phân tích khung thép phẳng chịu tải đơn điệu có nút liên kết cứng, đàn hồi, đàn dẻo hoặc phi tuyến. Chân cột có liên kết ngàm hoặc liên kết khớp thuần túy. Trường hợp liên kết đầu dầm là nút cứng, kết quả phân tích từ chương trình đã lập có kết quả trùng khớp với kết quả giải bằng phần mềm Sap 2000, thể hiện độ tin cậy của chương trình.

Trường hợp liên kết đầu dầm là đàn hồi hoặc đàn dẻo phi tuyến, kết quả phân tích thể hiện rõ qui luật phân phối mô men tương quan với độ cứng khung ngang; khi liên kết đầu dầm có xu hướng mềm đi sẽ gia tăng mô men phân phối vào phần tử cột khung. Sự thay đổi độ cứng góc xoay liên kết ở đầu dầm ảnh hưởng đến đặc điểm làm việc của kết cấu khung. Kết cấu khung thép phẳng với liên kết nửa cứng có đặc điểm ứng xử đàn dẻo, qui luật phân bố nội lực khung thay đổi phi tuyến, nguyên lý cộng tác dụng không phù hợp để tổ hợp hệ quả do tải trọng đứng và tải ngang gây ra.

## **Chương 3: TÍNH TOÁN KHUNG THÉP CÓ LIÊN KẾT NỬA CỨNG PHI TUYẾN CHỊU TÁC DỤNG CỦA TẢI NGANG THAY ĐỔI**

### **3.1 Giới thiệu bài toán.**

Chương ba tính toán cho trường hợp kết cấu khung thép có liên kết nửa cứng phi tuyến chịu tác dụng bởi tải ngang thay đổi lập chu kỳ, không xét tải trọng đứng. Đây là bài toán phân tích kết cấu phi tuyến tĩnh, không xem xét tính phi tuyến của vật liệu thanh cũng như ảnh hưởng do phi tuyến hình học. Tính phi tuyến của kết cấu do đặc điểm ứng xử phi tuyến của liên kết nửa cứng gây ra.

### **3.2 Một số mô hình ứng xử lập của liên kết nửa cứng[62].**

Có bốn mô hình phổ biến để mô tả ứng xử lập chu kỳ của liên kết dầm-cột gồm: 1) Mô hình toán học 2) Mô hình cơ cấu, 3) Mô hình phân tử hữu hạn (PTHH) và 4) Mô hình mạng lưới (NN-Neural network).

#### 3.2.1 Mô hình toán học:

##### 3.2.1.1 Mô hình toán học giản đơn.

##### 3.2.1.2 Mô hình Ramberg-Osgood

##### 3.2.1.3 Mô hình đa thức Frye-Morris

#### 3.2.2 Mô hình cơ cấu

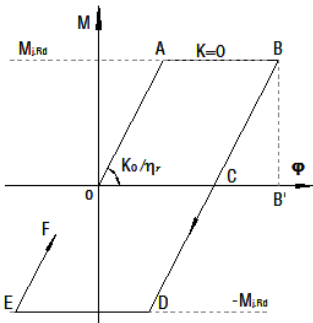
#### 3.2.3 Mô hình PTHH

#### 3.2.4 Mô hình mạng lưới ( NN -Neural Network)

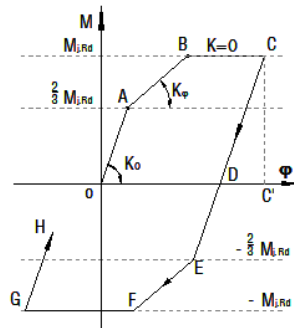
#### 3.2.5 Mô hình Kishi-Chen

### **3.3 Mô tả quan hệ mô men-góc xoay dựa theo mô hình Eurocode 3:**

#### **3.3.1 Mô hình xấp xỉ hai đường thẳng**



Hình 3.1a: Qui luật ứng xử lặp theo mô hình hai đường thẳng



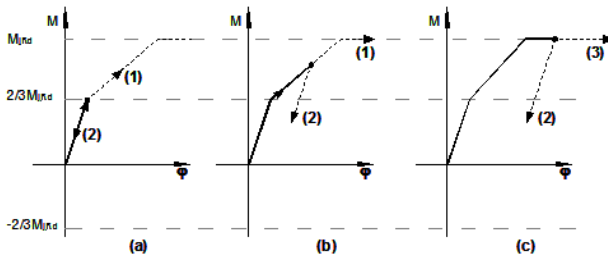
Hình 3.1b: Qui luật ứng xử lặp theo mô hình ba đường thẳng

### 3.3.2 Mô hình xấp xỉ ba đường thẳng

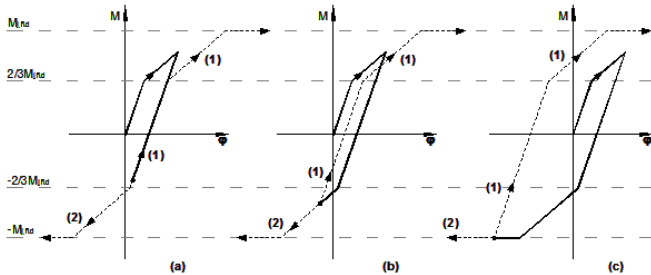
Điều kiện phân nhánh như sau:

#### 3.3.3 Đặc điểm ứng xử lặp theo mô hình ba đường thẳng

Đặc điểm ứng xử lặp của quan hệ mô men-góc xoay nút liên kết dầm-cột được mô tả như hình dưới đây:

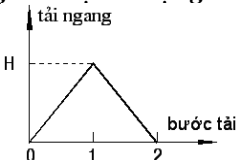


Hình 3.2: Qui luật biến đổi độ cứng liên kết khi tăng tải và giảm tải

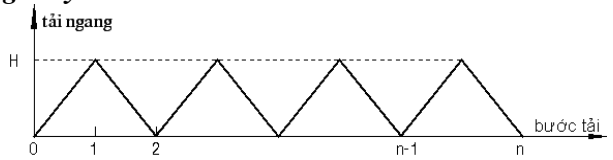


Hình 3.3: Quan hệ ứng xử lặp mômen - góc xoay liên kết

#### 3.3.4 Đặc điểm ứng xử của liên kết nửa cứng theo mô hình Eurocode3 tương ứng với một số dạng tải ngang thay đổi khác nhau.

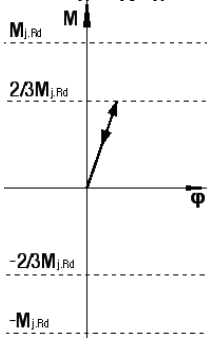


Hình 3.3a: Gia tải-Giảm tải

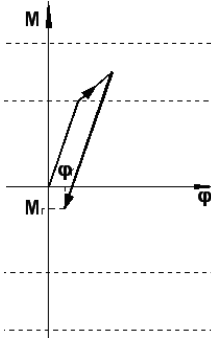


Hình 3.3b: Gia tải-Giảm tải nhiều lần

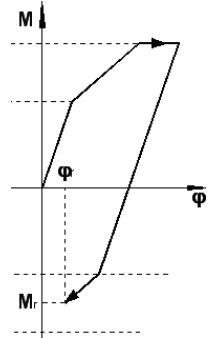
**a) Trường hợp gia tải và giảm tải**



a.1) ứng xử tuyến tính

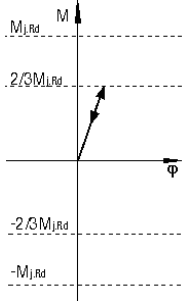


a.2) ứng xử đàn dẻo

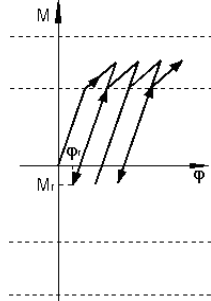


a.3) ứng xử đàn dẻo

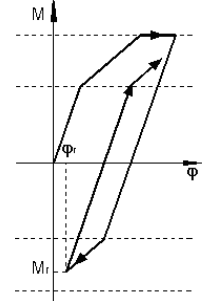
**b) Trường hợp gia tải và giảm tải nhiều lần**



b.1) ứng xử tuyến tính

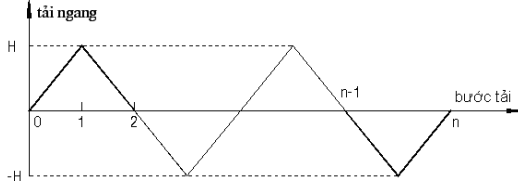


b.2) ứng xử đàn dẻo

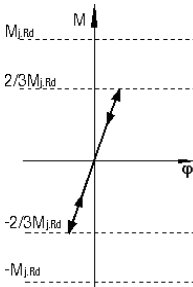


b.3) ứng xử đàn dẻo

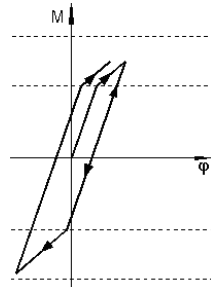
**c) Trường hợp gia tải và giảm tải lặp có chu kỳ**



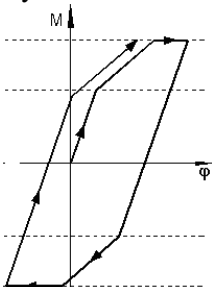
Hình 3.3c: Gia tải- Giảm tải lặp có chu kỳ



c.1) ứng xử tuyến tính

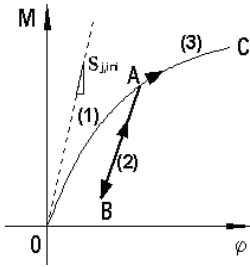


c.2) ứng xử đàn dẻo

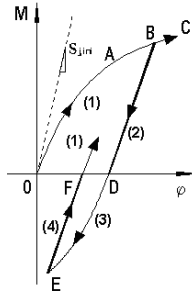


c.3) ứng xử đàn dẻo

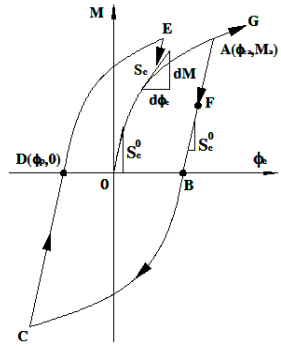
**3.4 Mô tả quan hệ mô men-góc xoay dựa theo mô hình Frve-Morris:**



(a.1): ứng xử mô men-góc xoay khi cường độ tải nhỏ



(a.2): ứng xử mô men-góc xoay khi cường độ tải lớn



b) Trường hợp tải ngang thay đổi lặp chu kỳ

a) Trường hợp tải ngang thay đổi gia tải-giảm tải (Hình 3.4)

**3.5 Phương pháp giải bài toán phi tuyến**

Giá trị độ cứng góc xoay liên kết ban đầu của mỗi liên kết là biết trước và phù hợp với đặc điểm cấu tạo liên kết được sử dụng. Trị độ cứng góc xoay liên kết sẽ thay đổi trong quá trình phân tích. Sử dụng phương pháp gia tải từng bước để phân tích kết hợp thuật toán giải lặp theo phương pháp độ cứng cát tuyến.

**3.5.1 Trường hợp đường đặc tính quan hệ mô men-góc xoay liên kết nửa cứng có dạng nhiều đường thẳng**

Phương pháp gia tải từng bước tìm được tọa độ các điểm gãy với sai số trong giới hạn và xấp xỉ với tọa độ hình học theo mô hình cho trước. Khi phân tích cho bài toán khung có nhiều nút liên kết dầm-cột (khung nhà nhiều tầng), đặc điểm ứng xử của mỗi liên kết tại các vị trí khác nhau là phức tạp và xảy ra không đồng thời, vì điều này phụ thuộc vào giá trị nội lực cũng như độ cứng tại các nút liên kết đó, mặc dù giả định rằng các nút liên kết là có cùng cấu tạo như nhau.

**3.5.2 Trường hợp đường đặc tính quan hệ mô men-góc xoay liên kết nửa cứng có dạng đường cong trơn**

Đối với mô hình ứng xử dạng đường cong trơn. Dạng đồ thị này không có điểm gãy, chỉ có điểm phân nhánh giữa các trạng thái gia tải và giảm tải, trị số độ cứng góc xoay thay đổi tại mỗi bước tải phân tích.

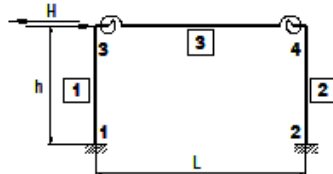
**3.6 Một số ví dụ tính toán**

Số liệu chung về vật liệu và liên kết: cấu kiện dầm và cột có kích thước tiết diện là H400x200x13x8, thép có mô đun đàn hồi  $E = 2.10e+8$  (KN/m<sup>2</sup>).

Liên kết dầm-cột tại các nút có cùng một kiểu liên kết nửa cứng với các thông số như sau:

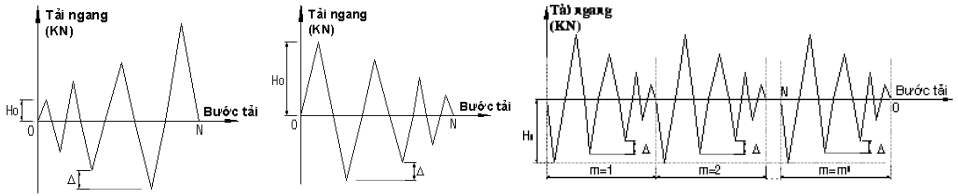
\_Độ cứng liên kết ban đầu:  
74.600KNm/rad.

\_Mô men dẻo của liên kết:  
172.3KNm



Hình 3.5a : Sơ đồ khung 1 tầng và 1 nhịp

Khung chỉ chịu tác dụng của tải ngang (H) thay đổi có qui luật như sau:



Hình 3.5b: Tải thay đổi lặp tăng dần      Hình 3.5c: Tải thay đổi lặp giảm dần      Hình 3.5d: Tải ngang thay đổi lặp giảm dần tuần hoàn

**Ví dụ 3.6.1:** Khung thép 1 tầng và 1 nhịp, chịu tác dụng tải ngang H thay đổi:

a) Khi tải ngang thay đổi gia tải-giảm tải không đổi dấu với biên độ không đổi:

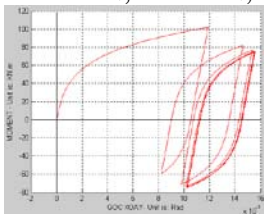
$$H = +150-150+150-150+150-150\dots; N=80 \text{ (xem hình a)}$$

b) Khi tải ngang thay đổi gia tải-giảm tải có đổi dấu với biên độ không đổi:

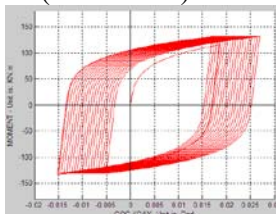
$$H = +200-200-200+200+200-200\dots; N=80 \text{ (xem hình b)}$$

c) Khi tải ngang thay đổi gia tải-giảm tải có đổi dấu với qui luật:

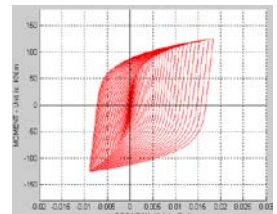
$$H = 10\text{kN}, \Delta=2.5\text{kN}; N=140 \text{ (xem hình c)}$$



Hình a: Mô men-góc xoay nút 3



Hình b: Mô men-góc xoay nút 3



Hình c: Mô men-góc xoay nút 3

d) Tải ngang thay đổi gia tải-giảm tải có đổi dấu với qui luật:

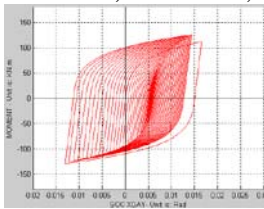
$$H = 185\text{kN}, \Delta=-2.5\text{kN}; N=140 \text{ (xem hình d)}$$

e) Tải ngang thay đổi gia tải-giảm tải không đổi dấu với biên độ không đổi:

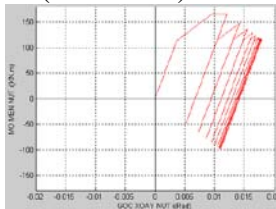
$$H = +185-185+185-185+185-185\dots; N=80 \text{ (xem hình e)}$$

f) Tải ngang thay đổi gia tải-giảm tải có đổi dấu với qui luật:

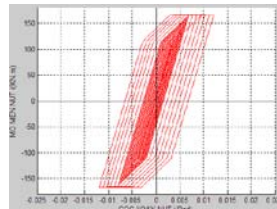
$$H = 185\text{kN}, \Delta=-2.5\text{kN}; N=140 \text{ (xem hình f)}$$



Hình d: Mô men-góc xoay nút 3

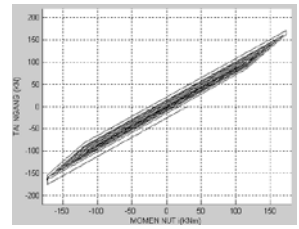
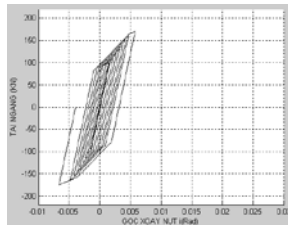
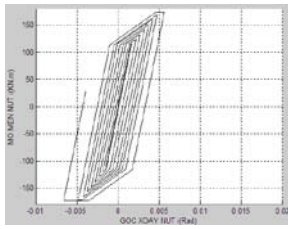


Hình e: Mô men-góc xoay nút 3



Hình f: Mô men-góc xoay nút 3

g) Tải ngang thay đổi lặp chu kỳ với qui luật:  $H_0=0; N=72, \Delta=5\text{kN}$ , đường đặc tính quan hệ mô men-góc xoay ứng xử đàn dẻo theo dạng ba đường thẳng.



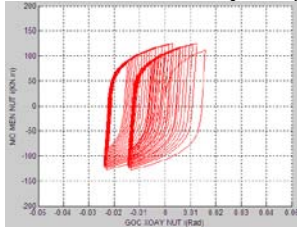
Mô men- Góc xoay nút 3

Tải ngang- Góc xoay nút 3

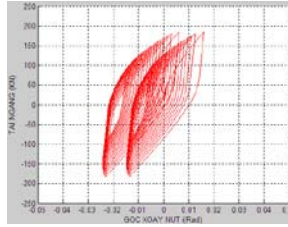
Tải ngang- Mô men nút 3

**Nhận xét:** Khi các liên kết làm việc vượt quá giới hạn đàn hồi thì sự làm việc của kết cấu chịu tải trọng thay đổi có những đặc điểm riêng biệt, đặc biệt sự làm việc của các liên kết, sự tích lũy biến dạng dư và ứng suất dư trong kết cấu sau các chu trình gia tải và dỡ tải cũng như khi kết cấu chịu tải trọng lặp.

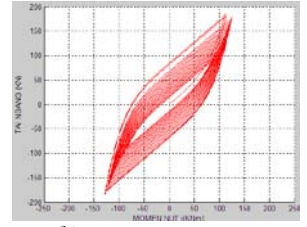
h) Phân tích khung một tầng và một nhịp chịu tải ngang lặp có chu kỳ và giảm dần tuần hoàn với qui luật.  $N=80, m=2, H=-185kN, \Delta=2.5kN, P=0kN$  (hình 3.5d)



Mô men- Góc xoay



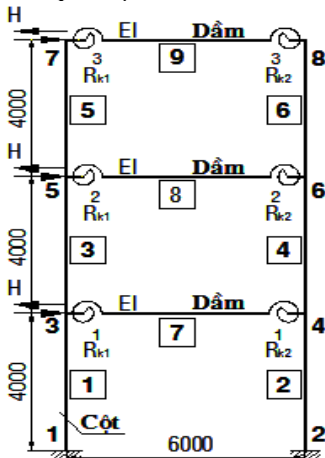
Tải ngang- Góc xoay



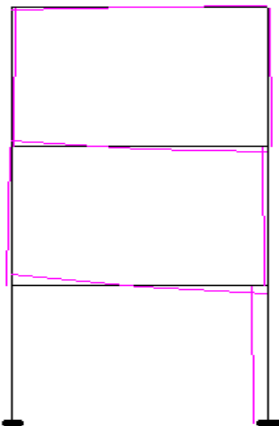
Tải ngang- Mô men

Khi kết cấu khung chịu tác dụng của tải ngang lặp chu kỳ giảm dần tuần hoàn, đồ thị quan hệ không giữ được tính đối xứng qua gốc tọa độ mà bị lệch dần và có sự phân chia rõ rệt giữa hai lần gia tải lặp chu kỳ trước và sau.

**Ví dụ 3.6.3:** Khung thép liên kết nửa cứng 1 nhịp và 3 tầng chịu tải ngang thay đổi với qui luật:  $N=40, H_0=-5kN, \Delta=-5kN$  và không xét tải trọng đứng.

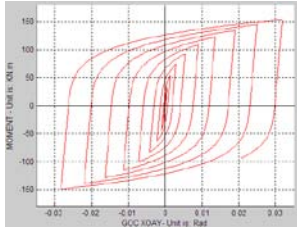


Hình 3.6a: Sơ đồ khung nửa cứng 1 nhịp và 3 tầng

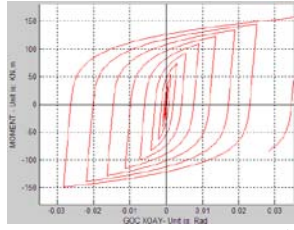


Hình 3.6b: Mô men dư trong khung sau khi dỡ tải

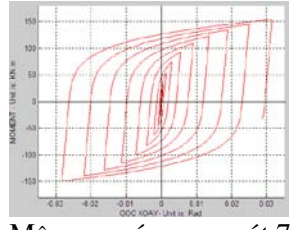
b) Trường hợp liên kết đầu dầm là nút nửa cứng theo mô hình Frye-Morris:



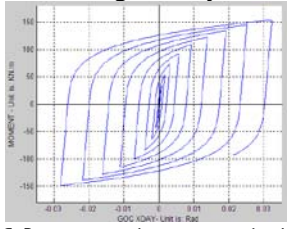
Mô men-góc xoay nút 3



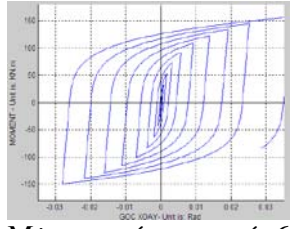
Mô men-góc xoay nút 5



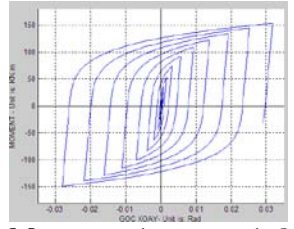
Mô men-góc xoay nút 7



Mô men-góc xoay nút 4



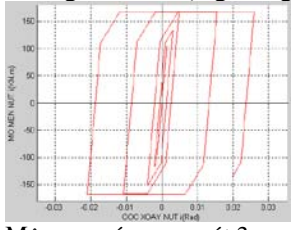
Mô men-góc xoay nút 6



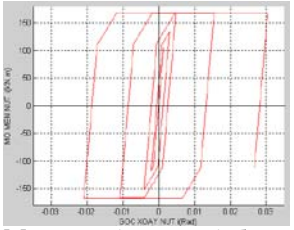
Mô men-góc xoay nút 8

d) Trường hợp liên kết đầu dầm là nút nửa cứng theo mô hình 3 đường thẳng:

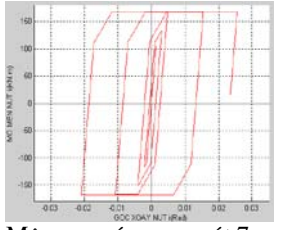
Khung 1 nhịp và 3 tầng chịu tải tác dụng gồm:  $N=40$ ,  $H_0=-5kN$ ,  $\Delta=-5kN$ , không xét tải trọng đứng.



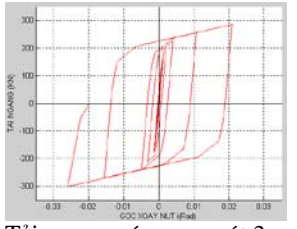
Mô men-góc xoay nút 3



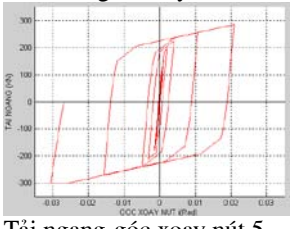
Mô men-góc xoay nút 5



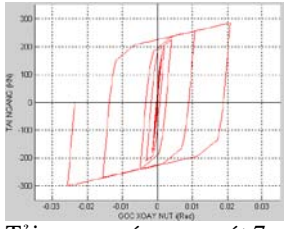
Mô men-góc xoay nút 7



Tải ngang-góc xoay nút 3

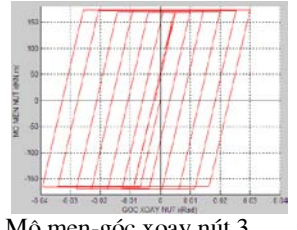


Tải ngang-góc xoay nút 5

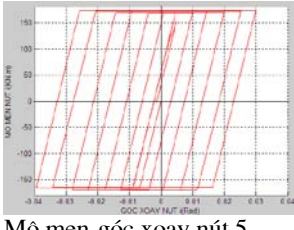


Tải ngang-góc xoay nút 7

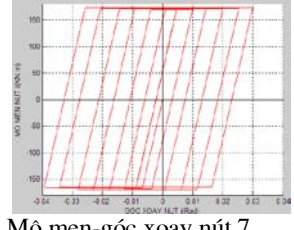
e) Trường hợp liên kết đầu dầm là nút nửa cứng theo mô hình 2 đường thẳng



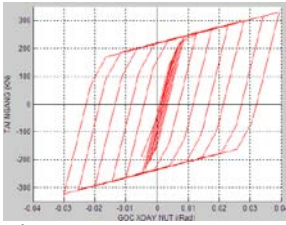
Mô men-góc xoay nút 3



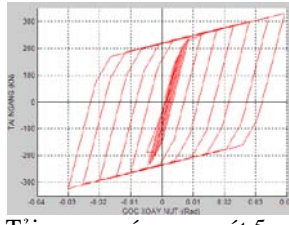
Mô men-góc xoay nút 5



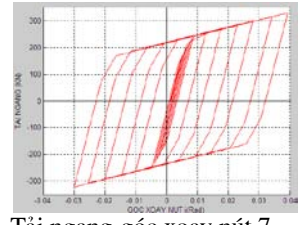
Mô men-góc xoay nút 7



Tải ngang-góc xoay nút 3



Tải ngang-góc xoay nút 5



Tải ngang-góc xoay nút 7

### **3.7 Kết luận chương 3**

Đã phân tích tĩnh kết cấu khung thép phẳng có liên kết nửa cứng chịu tác dụng của tải ngang thay đổi. Quan hệ mô men-góc xoay liên kết có qui luật ứng xử lặp, thay đổi theo qui luật tải tác dụng. Mô hình tái bền độc lập của Kishi-Chen được đề xuất áp dụng với trường hợp đường đặc tính quan hệ mô men-góc xoay liên kết có dạng đa tuyến hoặc có dạng đường cong trơn để xây dựng mô hình ứng xử lặp quan hệ mô men-góc xoay liên kết. Độ cứng góc xoay liên kết cũng thay đổi theo trạng thái ứng xử của liên kết và được cập nhật vào ma trận độ cứng kết cấu tổng thể. Đã tính toán cho một số trường hợp khung chịu tải ngang với quy luật gia tải và dỡ tải thường gặp. Xây dựng thuật toán phân tích và chương trình phân tích kết cấu bằng phần mềm Matlab. Khi liên kết nửa cứng làm việc vượt quá giới hạn đàn hồi thì sự làm việc của kết cấu chịu tải ngang thay đổi có những đặc điểm riêng biệt, đặc biệt là sự làm việc của các liên kết, sự tích lũy biến dạng dư và ứng suất dư trong kết cấu sau các chu trình gia tải và dỡ tải cũng như khi kết cấu chịu tải trọng lặp.

## **Chương 4 :TÍNH TOÁN KHUNG THÉP CÓ LIÊN KẾT NỬA CỨNG CHỊU TÁC DỤNG CỦA TẢI NGANG LẶP CHU KỲ VÀ TẢI TRỌNG ĐỨNG KHÔNG ĐỔI**

### **4.1 Giới thiệu bài toán**

Nội dung chương bốn sẽ mở rộng vấn đề đã được nghiên cứu ở chương ba, tính toán kết cấu khung thép phẳng có liên kết nửa cứng chịu tải ngang thay đổi lặp và tải trọng đứng có độ lớn không đổi.

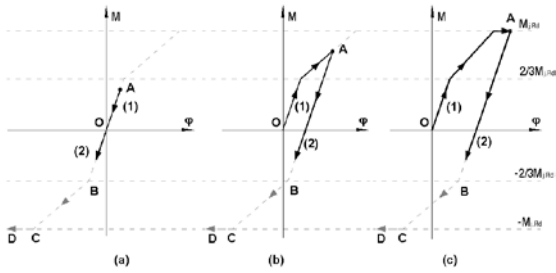
### **4.2 Khảo sát khung thép đơn giản chịu tác dụng của tải trọng đứng và tải ngang do gió đổi chiều**

Khảo sát khung thép một tầng chịu tác dụng của tải trọng đứng và tải ngang do tải gió thay đổi chiều tác dụng từ phải sang trái và ngược lại. Quá trình gia tải và giảm tải ngang đổi chiều gây ra biến dạng dư trong kết cấu khung siêu âm và tồn tại mô men dư.

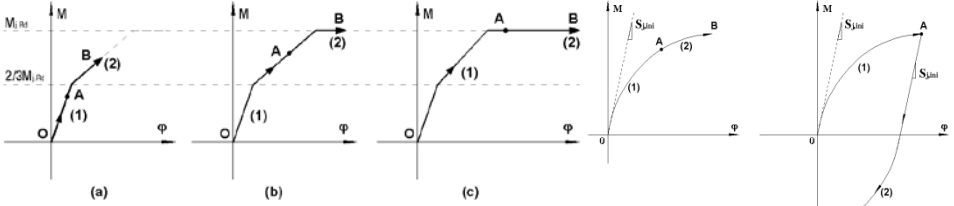
### **4.3 Kết cấu khung chịu tải trọng đứng không đổi và tải ngang thay đổi đơn điệu tăng dần (Pushover)**

Phân tích đẩy dần (Push over) kết cấu khung thép phẳng thông qua chuỗi các bước tính phân tích kết cấu đàn hồi tuyến tính. Khi kết cấu được đẩy dần về một hướng sẽ bộc lộ dần đặc điểm làm việc tại từng liên kết cũng như mỗi phần tử kết cấu.

#### **4.3.1 Đặc điểm ứng xử mô men-góc xoay liên kết nửa cứng theo mô hình ba đường thẳng (xem hình 4.1 và hình 4.2)**



Hình 4.1: Khi ảnh hưởng tải ngang và tải trọng đứng không cùng qui luật



Hình 4.2: Khi ảnh hưởng tải ngang và tải trọng đứng có cùng qui luật

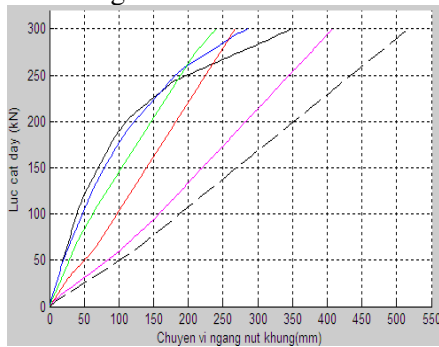
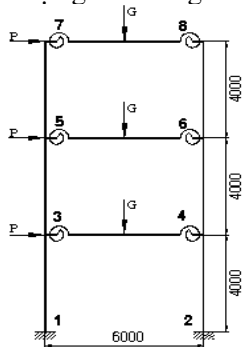
Hình 4.3 Quan hệ ứng xử mô men-góc xoay liên kết dạng đường cong

### 4.3.2 Đặc điểm ứng xử mô men-góc xoay liên kết nửa cứng theo mô hình Frye-Morris

(xem hình 4.3)

### 4.3.3 Ví dụ tính toán

Phân tích khung 3 tầng và 1 nhịp chịu tải trọng đứng không thay đổi, tải ngang được gia tải tầng dần với gia số không đổi.



**Ghi chú:**

$G=0\text{kN}$

$G=100\text{kN}$

$G=200\text{kN}$

$G=300\text{kN}$

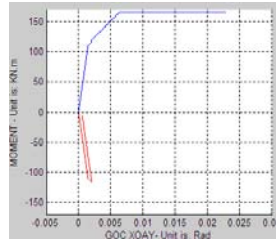
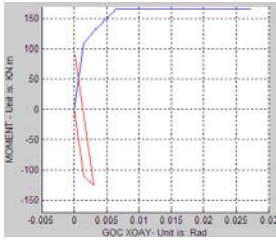
$G=400\text{kN}$

$G=450\text{kN}$

Hình 4.4a: Sơ đồ khung      Hình 4.4b: Chuyển vị và lực ngang các tầng.

Đồ thị quan hệ mô men-góc xoay khi  $H=100\text{kN}$ , tải đứng  $G=250\text{kN}$ :

Trường hợp 1: Quan hệ mô men-góc xoay liên kết theo mô hình 3 đường thẳng



Ghi chú:

Nút  
3,5,7

Nút  
4,6,8

Mô men - góc xoay nút 5,6

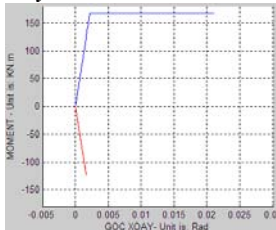
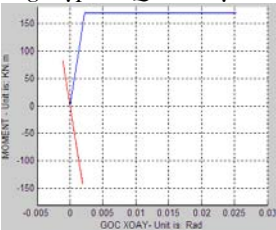
Mô men - góc xoay nút 7,8

Trường hợp 2: Quan hệ mô men-góc xoay liên kết theo mô hình 2 đường thẳng

Ghi chú:

Nút  
3,5,7

Nút  
4,6,8



Mô men - góc xoay nút 5,6

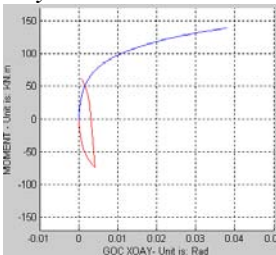
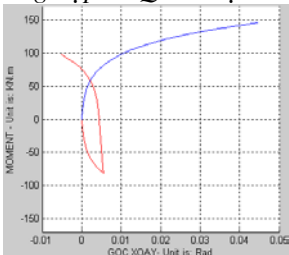
Mô men - góc xoay nút 7,8

Trường hợp 3: Quan hệ mô men-góc xoay liên kết theo mô hình Frye-Morris

Ghi chú:

Nút  
3,5,7

Nút  
4,6,8

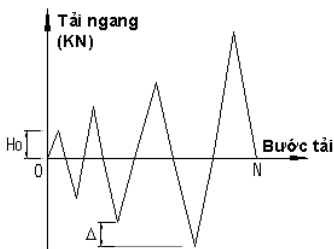


Mô men - góc xoay nút 5,6

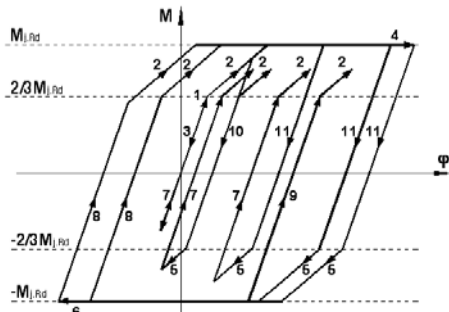
Mô men - góc xoay nút 7,8

**Nhận xét:** Biểu đồ mô men là đối xứng khi chỉ xét tải trọng đứng, khi có sự tham gia của tải ngang bức tranh làm việc không còn đối xứng do hiện tượng gia tải và giảm tải dần đều gây ra trong kết cấu.

#### 4.4 Kết cấu khung chịu tải trọng đứng không đổi và tải ngang thay đổi lặp chu kỳ tăng dần.

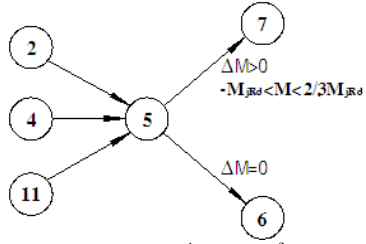
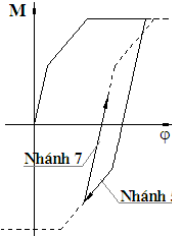


Hình 4.5: Tải ngang thay đổi lặp có chu kỳ và tăng dần



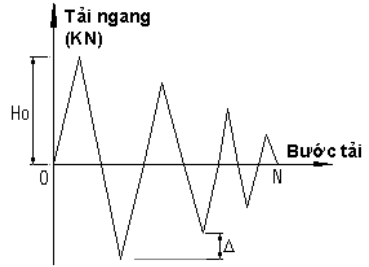
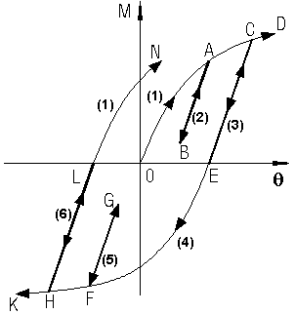
Hình 4.6: Sơ đồ thay đổi tuyến nhánh ứng xử quan hệ mô men-góc xoay liên kết

### 4.4.1 Quan hệ mô men-góc xoay liên kết theo mô hình ba đường thẳng



Hình 4.7a: Giảm tải từ nhánh 5      Hình 4.7b: Nguyên tắc chuyển nhánh

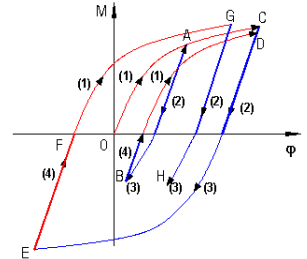
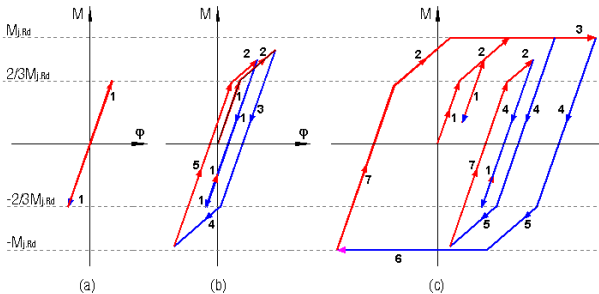
### 4.4.2 Quan hệ mô men-góc xoay liên kết theo mô hình Frye-Morris



Hình 4.8: Sơ đồ thay đổi tuyến nhánh ứng xử quan hệ mô men-góc xoay theo mô hình Frye Morris

Hình 4.9: Tải ngang thay đổi lặp có chu kỳ và giảm dần

### 4.5 Kết cấu khung chịu tải trong đúng không đối và tải ngang thay đổi lặp chu kỳ giảm dần



Hình 4.10a: quan hệ mô men-góc xoay liên kết theo mô hình ba đường thẳng

Hình 4.10b: quan hệ mô men-góc xoay liên kết theo mô hình Frye-Morris

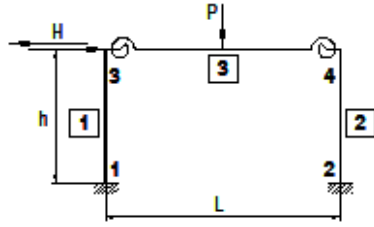
### 4.6 Một số ví dụ tính toán

Số liệu chung về vật liệu và liên kết

Tất cả các cấu kiện dầm và cột có kích thước tiết diện là H400x200x13x8, modun đàn hồi  $E= 2.10e+8$  (KN/m<sup>2</sup>).

\_Độ cứng liên kết ban đầu: 74.600KNm/rad.

\_Mô men dẻo của liên kết: 172.3KNm



Hình 4.11: Sơ đồ khung 1 nhịp và 3 tầng

**Ví dụ 4.6.1:** Khung thép 1 tầng và 1 nhịp, chân cột liên kết cứng, chịu tác dụng của tải trọng đứng P và tải ngang H.

a) Tải ngang thay đổi gia tải-giảm tải có đổi dấu với qui luật:

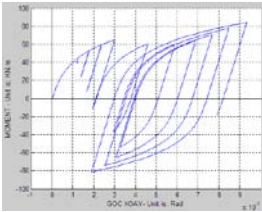
$H = 5\text{kN}$ ,  $\Delta=5\text{kN}$ ;  $N=32$ ,  $P=- 100\text{kN}$  (xem hình a1,2)

b) Tải ngang thay đổi gia tải-giảm tải có đổi dấu với qui luật:

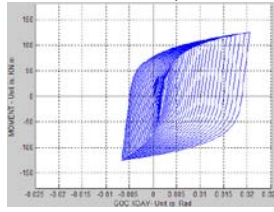
$H = 10\text{kN}$ ,  $\Delta=2.5\text{kN}$ ;  $N=140$ ,  $P=- 50\text{kN}$  (xem hình b1,2)

c) Tải ngang thay đổi gia tải-giảm tải có đổi dấu với qui luật:

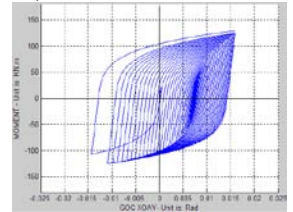
$H = -185\text{kN}$ ,  $\Delta=2.5\text{kN}$ ;  $N=140$ ,  $P=- 50\text{kN}$  (xem hình c1,2)



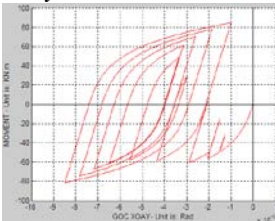
Hình a1: Mô men-góc xoay nút 4



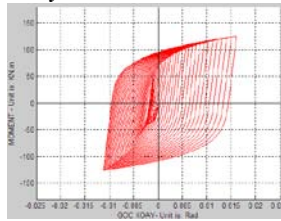
Hình b1: Mô men-góc xoay nút 4



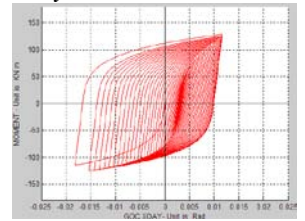
Hình c1: Mô men-góc xoay nút 4



Hình a2: Mô men-góc xoay nút 3

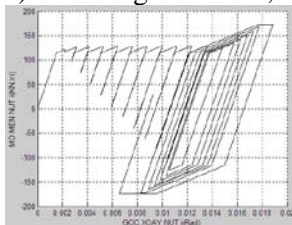


Hình b2: Mô men-góc xoay nút 3

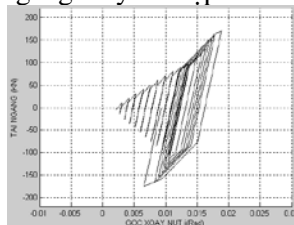


Hình c2: Mô men-góc xoay nút 3

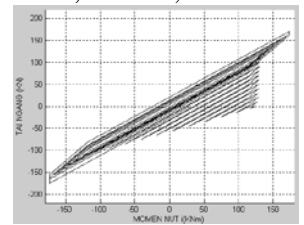
e) Tải đứng  $P=300\text{kN}$ , tải ngang thay đổi lặp với:  $H_0 = 0\text{kN}$ ,  $\Delta=5\text{kN}$ ;  $N=72$ .



Mô men-góc xoay nút 3



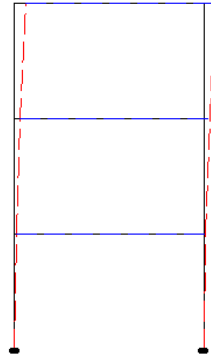
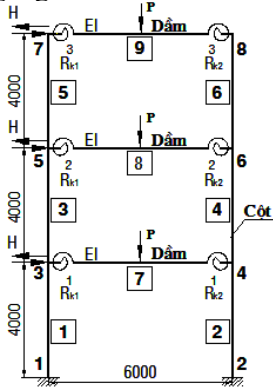
Tải ngang-Góc xoay nút 3



Tải ngang-Mô men nút 3

**Nhận xét:** Đồ thị quan hệ cho thấy bức tranh làm việc của khung chịu tải trọng ngang thay đổi lập trong trường hợp có tải trọng đứng khác với trường hợp khi không có tải đứng đã được nghiên cứu ở chương 3. Khi trên khung có tải trọng đứng thì tính đối xứng của bức tranh về sự làm việc của kết cấu bị phá vỡ. Trong kết cấu có tích lũy biến dạng dư và ứng suất dư, do sự tồn tại và tích lũy biến dạng dư và ứng suất dư nên bức tranh làm việc của kết cấu bị dịch sang một bên.

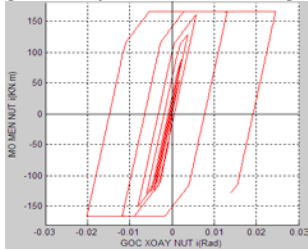
**Ví dụ 4.6.2:** Khung thép 3 tầng và 1 nhịp, chịu tác dụng của tải trọng đứng P và tải ngang H.



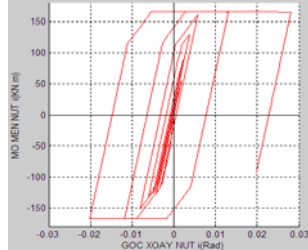
Hình 4.12a: Sơ đồ khung 1 nhịp và 3 tầng      Hình 4.12b: Chuyển vị ngang khác không sau khi dỡ tải ngang

**4.6.2.1. Quan hệ mô men-góc xoay liên kết theo mô hình 3 đường thẳng:**

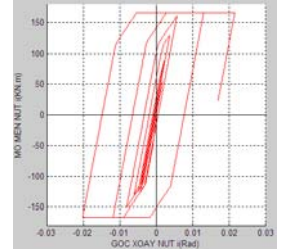
Khung thép nửa cứng có chân cột liên kết cứng, chịu tải ngang thay đổi với qui luật:  $N=24$ ,  $H_0=50kN$ ,  $\Delta=4.0kN$ , tải đứng  $P=-100kN$ ; Đồ thị quan hệ mô men-góc xoay tại nút các tầng như sau:



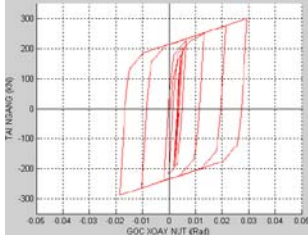
Mô men-góc xoay nút 3



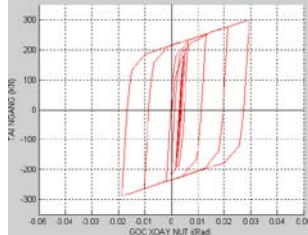
Mô men-góc xoay nút 5



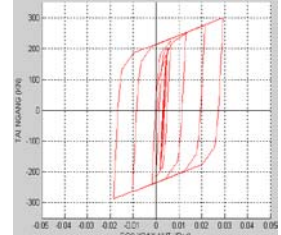
Mô men-góc xoay nút 7



Tải ngang-góc xoay nút 3



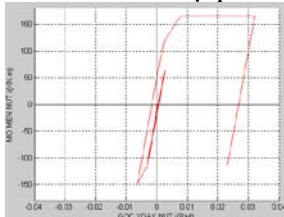
Tải ngang-góc xoay nút 5



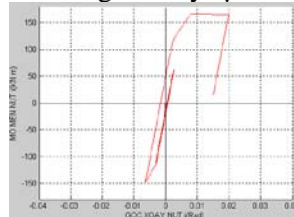
Tải ngang-góc xoay nút 7

#### **4.6.2.2. Quan hệ mô men-góc xoay liên kết theo mô hình 3 đường thẳng:**

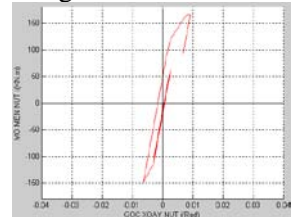
Khung thép liên kết nửa cứng có chân cột liên kết khớp lý tưởng, chịu tải ngang thay đổi với qui luật :  $N=12$ ,  $H_0=-25\text{kN}$ ,  $\Delta=-3.5\text{kN}$ , tải trọng đứng  $P=-75\text{kN}$ . Đồ thị quan hệ mô men-góc xoay tại nút các tầng:



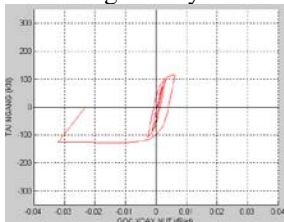
Mô men-góc xoay nút 3



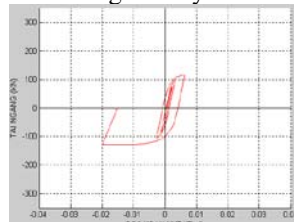
Mô men-góc xoay nút 5



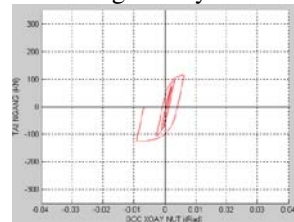
Mô men-góc xoay nút 7



Tải ngang-góc xoay nút 3



Tải ngang-góc xoay nút 5



Tải ngang-góc xoay nút 7

#### **4.7 Kết luận chương 4**

Đã phân tích tính đặc điểm làm việc của khung thép phẳng có liên kết nửa cứng chịu tác dụng của tải trọng đứng và tải ngang thay đổi. Dựa vào mô hình tải bền độc lập của Kishi-Chen đề xuất xây dựng mô hình ứng xử lặp chu kỳ theo đường đặc tính dạng đa tuyến (Eurocode 3) hoặc có dạng đường cong trơn (Frye-Morris). Xây dựng thuật toán phân tích ứng xử lặp chu kỳ về quan hệ trễ giữa mô men-góc xoay liên kết.

Khi kết cấu xem xét có tính đối xứng hình học và chỉ chịu tác dụng của tải ngang thay đổi, bức tranh làm việc của hệ kết cấu (quan hệ tải ngang - góc xoay, tải ngang - mômen, mômen-góc xoay) có tính đối xứng qua gốc toạ độ. Trường hợp kết cấu khung chịu tác dụng của tải ngang thay đổi và tải trọng đứng không đổi, đặc điểm ứng xử của liên kết và hệ kết cấu có sự khác biệt. Ảnh hưởng tương tác giữa tải trọng đứng và tải ngang gây ra hiện tượng gia tải và giảm tải trong các liên kết của hệ khung, đặc điểm phân bố nội lực và biến dạng trong hệ khung phụ thuộc vào độ lớn của tải trọng đứng và dạng tải ngang thay đổi.

Khi một số liên kết nửa cứng trong hệ khung có đặc điểm ứng xử đàn dẻo phi tuyến tương ứng với cấp tải xem xét, hệ kết cấu khung sẽ ứng xử phi tuyến và tồn tại ứng suất dư và biến dạng dư sau khi cất tải, bức tranh làm việc hệ khung là không đối xứng, dạng hình học của kết cấu có xu hướng lệch so với vị trí ban đầu do tích lũy biến dạng dư trong kết cấu.

## KẾT LUẬN

Từ các kết quả nghiên cứu, đối chiếu với mục tiêu và nhiệm vụ nghiên cứu đã đề ra, có thể rút ra các kết luận chính như sau:

1. Xây dựng được mô hình và thành lập ma trận độ cứng phần tử dầm có liên kết nửa cứng phi tuyến theo nguyên lý chuyển vị khả dĩ.
2. Xây dựng được thuật toán phân tích bài toán khung thép phẳng có liên kết nửa cứng phi tuyến theo mô hình đàn – dẻo (mô hình ứng xử mô men-góc xoay dựa theo mô hình Eurocode 3 và mô hình Frye-Morris) chịu tác dụng của tải đơn điệu, tải ngang thay đổi lặp hoặc chịu tải trọng đứng và tải ngang thay đổi lặp.
3. Lập được chương trình phân tích kết cấu khung thép phẳng có liên kết nửa cứng phi tuyến theo mô hình đàn – dẻo (mô hình ứng xử mô men-góc xoay dựa theo mô hình Eurocode 3 và mô hình Frye-Morris) chịu các trường hợp gia tải khác nhau bằng ngôn ngữ Matlab để áp dụng vào nghiên cứu và thiết kế. Chương trình đảm bảo độ tin cậy trên cơ sở kiểm tra so sánh với chương trình Sap 2000 và một số kết quả nghiên cứu hoặc luận án đã được công bố.
4. Sử dụng chương trình được lập để tính toán khảo sát kết cấu khung thép phẳng có liên kết nửa cứng phi tuyến theo mô hình đàn – dẻo chịu tải ngang thay đổi, với mô hình ứng xử liên kết nửa cứng đàn dẻo. Kết quả nghiên cứu cho thấy bức tranh làm việc của kết cấu khi chịu tải ngang thay đổi phức tạp hơn nhiều so với trường hợp gia tải đơn giản. Nổi bật nhất là sự tích lũy một cách liên tục biến dạng dư và ứng suất dư trong kết cấu sau các chu trình gia tải. Trong kết cấu tồn tại trạng thái ứng suất – biến dạng dư sau khi dỡ tải.
5. Đã sử dụng chương trình được lập để tính toán khảo sát kết cấu khung thép phẳng có liên kết nửa cứng phi tuyến theo mô hình đàn – dẻo chịu tải trọng đứng không đổi và tải ngang thay đổi. Kết quả nghiên cứu cho thấy tải trọng đứng đã ảnh hưởng đến sự làm việc của kết cấu, làm cho bức tranh về sự làm việc của kết cấu phức tạp hơn nhiều so với trường hợp khi kết cấu chỉ chịu tải trọng ngang thay đổi.

## KIẾN NGHỊ

- 1) Sử dụng mô hình đàn – dẻo để tính toán kết cấu khung thép có liên kết nửa cứng chịu các tải trọng thay đổi.
- 2) Mở rộng nghiên cứu với bài toán có xét đến yếu tố phi tuyến hình học ( $P-\Delta$ ), hiện tượng mỏi, hiện tượng Shakedown; bài toán động lực học; bài toán ổn định; bài toán kết cấu thép không gian có liên kết nửa cứng.