

SỰ LÀM VIỆC CỦA KHUNG THÉP SIÊU TÍNH CÓ LIÊN KẾT NỬA CỨNG CHỊU TẢI TRỌNG NGANG THAY ĐỔI LẶP

PGS. TS. Nguyễn Tiến Chương
ThS. Nguyễn Quốc Hùng

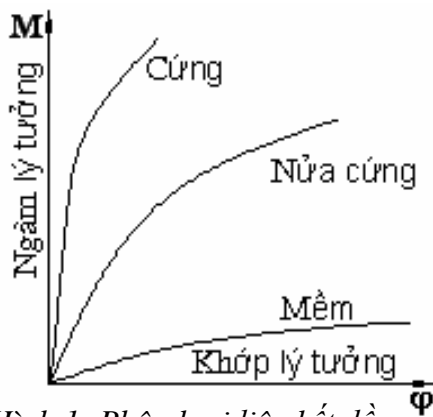
Tóm tắt: Kết cấu khung thép có liên kết nửa cứng khi chịu tải trọng thay đổi luôn tích lũy cả biến dạng dư và ứng suất dư. Cứ sau mỗi lần chịu tải, trong kết cấu lại tích lũy một lượng biến dạng dư và ứng suất dư. Độ dư biến dạng và ứng suất này đóng vai trò là điều kiện ban đầu của trạng thái biến dạng và ứng suất của kết cấu khi chịu tải lần tiếp theo. Khi tính toán kết cấu cần xem xét vấn đề này.

Bài báo giới thiệu một số kết quả nghiên cứu về tính kết cấu khung thép có liên kết nửa cứng chịu tải trọng ngang thay đổi có xét đến sự tích lũy biến dạng dư và ứng suất dư trên cơ sở mô hình đàn hồi - dẻo của các liên kết.

Keywords: nửa cứng, đàn-dẻo, lặp chu kỳ, biến dạng dư, ứng suất dư.

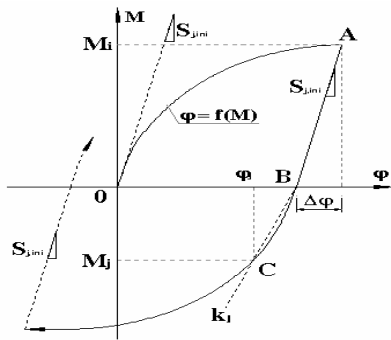
I. Mở đầu:

Các liên kết trong kết cấu khung thép thường được lý tưởng hóa dạng ngàm hoặc khớp. Điều này trong hầu hết các trường hợp không được thỏa mãn. Thông thường trong thực tế, các liên kết có dạng nửa cứng. Dựa vào mối quan hệ giữa mômen và góc xoay tại tiết diện liên kết người ta thường phân loại liên kết thành các mức: ngàm lý tưởng, cứng, nửa cứng, mềm và khớp lý tưởng (hình 1). Ngoài các trường hợp ngàm lý tưởng và khớp lý tưởng, các trường hợp còn lại ứng xử của liên kết đều có tính phi tuyến. Các liên kết kiểu này thường được gọi chung là liên kết nửa cứng. Đặc điểm ứng xử phi tuyến của liên kết phụ thuộc vào sự làm việc của những bộ phận cấu thành liên kết.



Hình 1: Phân loại liên kết dầm - cột trong khung thép

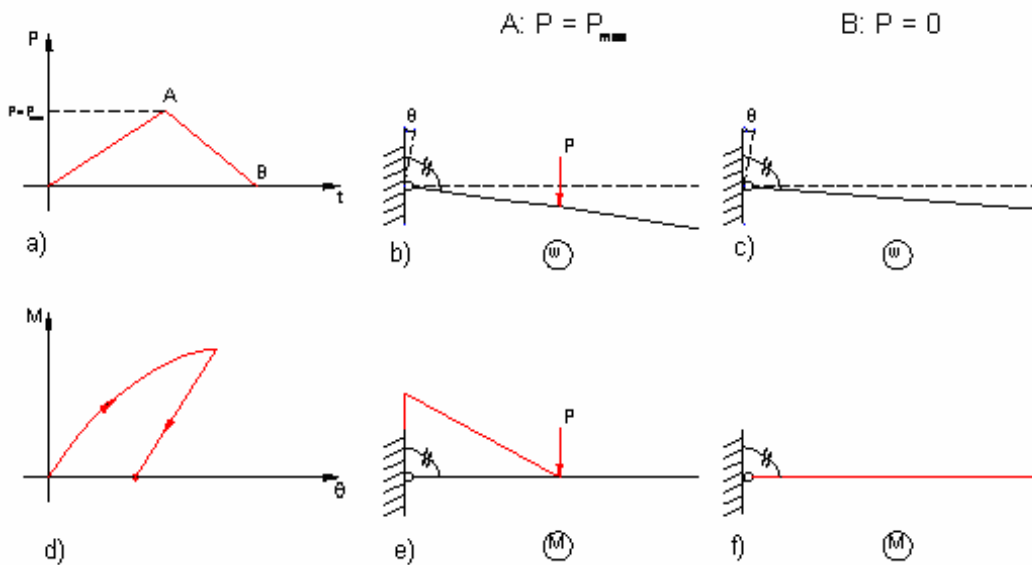
Mô hình hóa sự làm việc của liên kết thường được chấp nhận dưới dạng đường cong trễ có dạng như trên hình 2. Về các hệ số và phương trình toán học của dạng đường cong trễ hiện tồn tại một số mô hình như mô hình hai đoạn thẳng, mô hình 3 đoạn thẳng, mô hình Kishi - Chen, mô hình Frye - Morris ... Đặc điểm chung về sự làm việc của liên kết nửa cứng là liên kết làm việc trong trạng thái đàn - dẻo. Nếu mômen uốn tại liên kết tăng một cách đơn điệu thì góc xoay tăng dần theo quy luật phi tuyến, nhưng nếu mômen uốn tăng đến giá trị nào đó rồi giảm xuống thì quan hệ giữa mômen và góc xoay không đi theo đường cong ban đầu mà theo quy luật khác (hình 2). Sau khi mômen triệt tiêu thì tại liên kết vẫn tồn tại góc xoay - gọi là biến dạng dư. Như vậy, sau mỗi lần gia tải rồi dỡ tải, trong liên kết tồn tại biến dạng dư. Nghiên cứu sự làm việc của liên kết khi gia tải lần tiếp theo rõ ràng là phải xét đến biến dạng dư sau lần gia tải trước đó.



Hình 2: Mô hình liên kết

Căn cứ vào các mô hình đường cong trở ta có thể xác định được biến dạng dư tại liên kết. Vấn đề được đặt ra để xem xét trong bài báo này là sự làm việc của kết cấu khung có các liên kết nửa cứng chịu tải trọng ngang thay đổi; nghĩa là khung sẽ làm việc như thế nào khi có các liên kết nửa cứng; sự tích lũy biến dạng dư tại liên kết nửa cứng có khác với liên kết nửa cứng độc lập không?

II. Đặc điểm làm việc của dầm có liên kết nửa cứng chịu tải trọng thay đổi



Hình 3: Dầm côngxôn có liên kết nửa cứng chịu tải thay đổi

Xét dầm côngxôn có liên kết nửa cứng chịu tải trọng tập trung (hình 3a). Giả sử tiết diện liên kết làm việc trong trạng thái đàn - dẻo theo quy luật như trên hình 2, còn các tiết diện khác của dầm làm việc trong trạng thái đàn hồi.

Khi tải trọng tăng từ giá trị $P=0$ đến giá trị $P = P_{max}$, dầm bị biến dạng và đạt độ võng nhất định (hình 3b). Tại thời điểm $P = P_{max}$, mômen nội lực trong dầm có dạng như trên hình 3e.

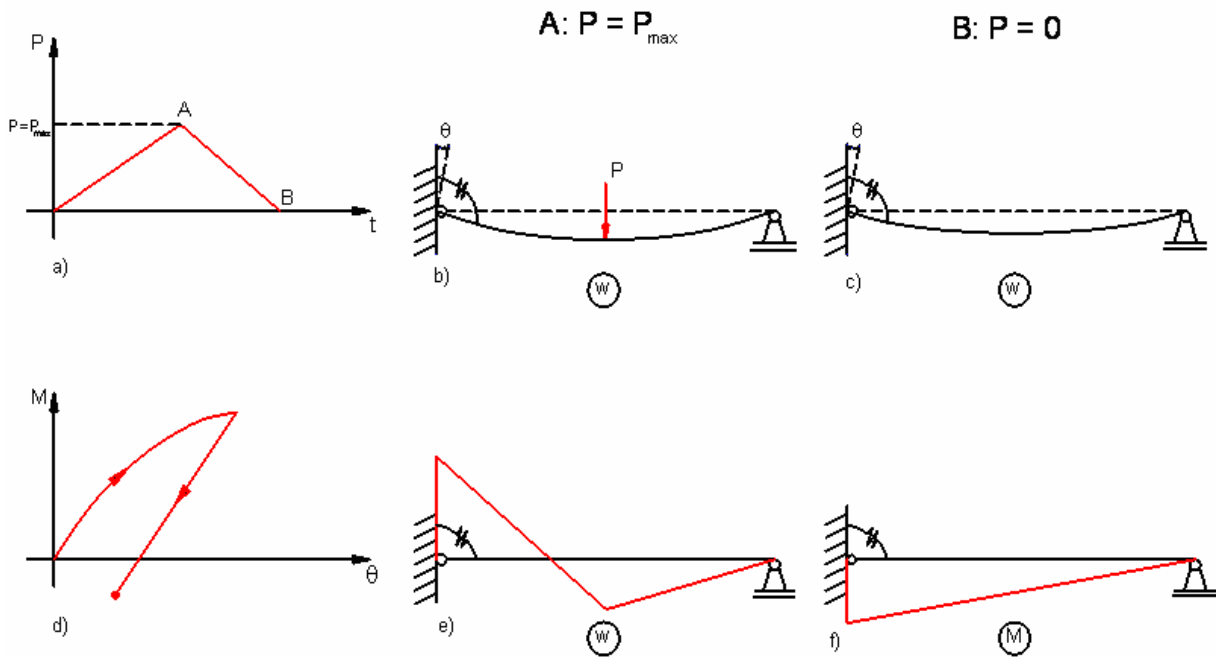
Khi tải trọng giảm từ $P = P_{max}$ đến $P = 0$, độ

Cũng cần nói thêm rằng tính toán khung thép có liên kết nửa cứng đã được nhiều tác giả trong và ngoài nước 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. Tổng quan các nghiên cứu trong và ngoài nước về kết cấu khung thép có liên kết nửa cứng đã được tác giả trình bày trong [7]. Các kết quả nghiên cứu chủ yếu 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 đàn hồi tuyến tính hoặc đàn hồi phi tuyến. Gần đây, tính toán khung thép có liên kết nửa cứng theo mô hình đàn - dẻo đã được xem xét [2-7].

võng của dầm thay đổi về vị trí như trên hình 3c, còn mômen nội lực bị triệt tiêu hoàn toàn (hình 3f).

Trong cả quá trình gia tải và dỡ tải mômen và biến dạng tại tiết diện liên kết thay đổi theo quy luật như được thể hiện trên hình 3e.

Như vậy, trong dầm tĩnh định, sau khi dỡ tải vẫn tồn tại biến dạng dư, nhưng không còn ứng suất dư.



Hình 4: Dầm siêu tĩnh có liên kết nửa cứng chịu tải thay đổi

Bây giờ, ta xét trường hợp dầm có thêm liên kết gối tựa tại đầu bên phải và trở thành hệ siêu tĩnh (hình 4).

Khi tải trọng tăng từ giá trị $P=0$ đến giá trị $P = P_{max}$, dầm bị biến dạng và đạt độ võng nhất định (hình 4b). Tại thời điểm $P = P_{max}$, mômen nội lực trong dầm có dạng như trên hình 4e.

Khi tải trọng giảm từ $P = P_{max}$ đến $P = 0$, độ võng của dầm thay đổi về vị trí như trên hình 4c, còn mômen nội lực không bị triệt tiêu mà có dạng như trên hình 4f.

Trong cả quá trình gia tải và dỡ tải, mômen và biến dạng tại tiết diện liên kết thay đổi theo quy luật như được thể hiện trên hình hình 4e. Sau khi dỡ tải vẫn tồn tại mômen tại tiết diện này.

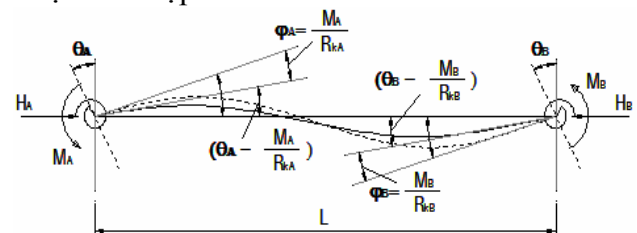
Như vậy, sự làm việc của dầm siêu tĩnh có những đặc điểm khác với dầm côngxôn (tĩnh định). Sau khi dỡ tải trong dầm vẫn tồn tại cả biến dạng dư và ứng suất dư.

Từ ví dụ trên đây chúng ta thấy rằng, khi hệ siêu tĩnh chịu tải trọng thay đổi làm việc ngoài giới hạn đàn hồi thì sau khi dỡ tải trong kết cấu vẫn tồn tại biến dạng dư và ứng suất dư, trong khi trong hệ tĩnh định chỉ tồn tại biến dạng dư.

III. Phân tích khung thép siêu tĩnh có liên kết nửa cứng chịu tải trọng ngang thay đổi lặp

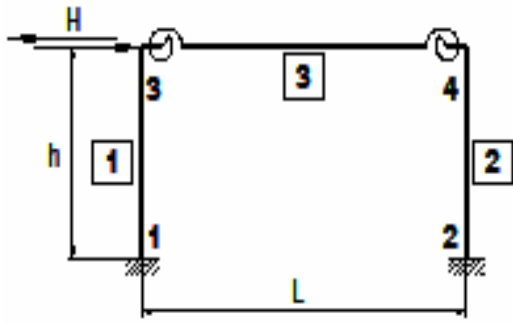
Phương pháp tính toán:

Áp dụng phương pháp phân tử hữu hạn để khảo sát khung thép phẳng có liên kết nửa cứng. Các phân tử cột nối với nhau thông qua các nút cứng, các phân tử dầm nối vào phân tử cột thông qua liên kết nửa cứng ở hai đầu dầm (hình 5). Ma trận độ cứng của phân tử cột trong trường hợp này không có gì đặc biệt. Riêng ma trận độ cứng của phân tử dầm, do có các bộ phận liên kết ở hai đầu nên phải được thiết lập theo cách như sau.



Hình 5: Phần tử dầm có liên kết nửa cứng

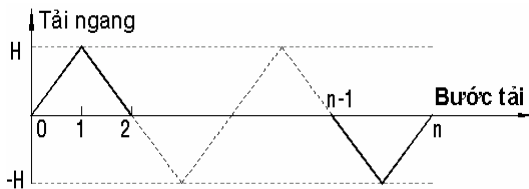
Tổng góc xoay tại các nút đầu dầm được ký hiệu là θ_A và θ_B là góc xoay tương đối giữa các phân tử được nối bởi liên kết, các thành phần góc xoay do biến dạng của liên kết nửa cứng được ký hiệu là ϕ_A và ϕ_B . Hai thành phần $\phi_A^b = (\theta_A - \phi_A)$ và $\phi_B^b = (\theta_B - \phi_B)$ là các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



Hình 7: Sơ đồ tính kết cấu

a) Trường hợp tải ngang thay đổi lặp chu kỳ đối xứng

Sơ đồ tính kết cấu khung thép có liên kết nửa cứng chịu tải ngang H (hình 5). Tải trọng ngang có qui luật như trên hình 6 với $H=200\text{kN}$ và $n=80$. Kết quả tính toán về quan



Hình 8: Tải ngang thay đổi lặp có chu kỳ



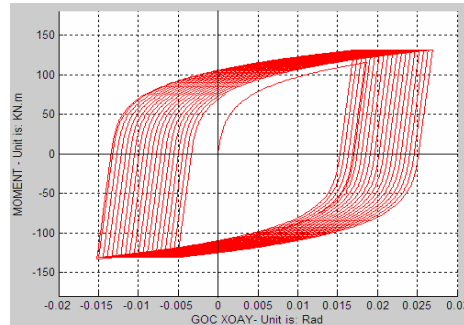
Hình 10 : Chuyển vị khung sau khi dỡ tải

b) Trường hợp tải ngang thay đổi lặp không đối xứng

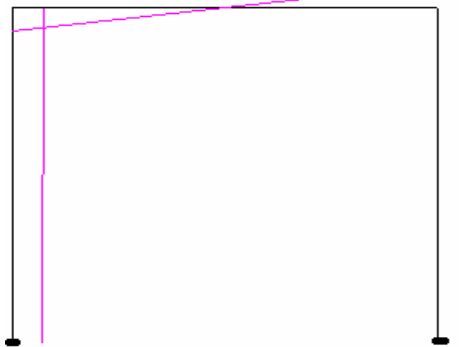
Trường hợp tải trọng ngang có qui luật như trên hình 12, kết quả tính toán về quan hệ mômen – góc xoay tại nút 3 được thể hiện trên hình 13; trên hình 14 là biểu đồ mômen trong khung sau khi dỡ tải. Hình 11 cho thấy đặc điểm nổi bật ở trường hợp này là hệ có một giai đoạn chuyển tiếp để biểu đồ quan hệ

Số liệu kết cấu: Cột, dầm có tiết diện chữ I - $400 \times 200 \times 13 \times 8$; Liên kết dầm – cột theo mô hình Frye – Morris với độ cứng ban đầu $K=74600\text{kNm/rad}$; Môđun đàn hồi của thép $E=2.1 \times 10^5\text{MPa}$; Kích thước khung $h=4\text{m}$, $L=6\text{m}$.

hệ mômen – góc xoay tại nút 3 được thể hiện trên hình 9. Trên hình 10 là chuyển vị của khung sau khi dỡ tải. Sau khi dỡ tải trong khung tồn tại nội lực (nội lực dư). Trên hình 11 là biểu đồ mômen trong khung sau khi dỡ tải.

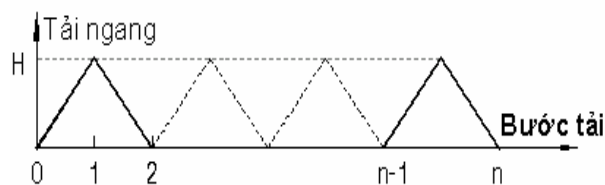


Hình 9 : Mômen-góc xoay nút 3

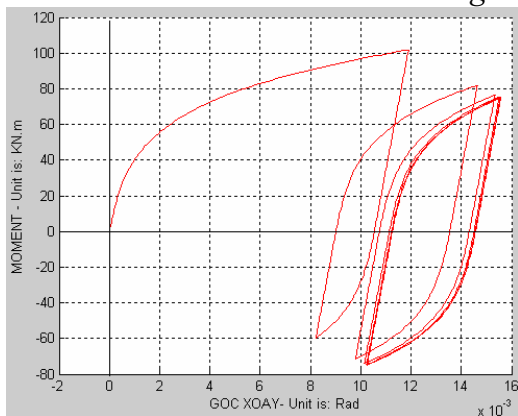


Hình 11 : Biểu đồ mômen sau khi dỡ tải

$M - \theta$ chuyển đến trạng thái đều đặn giống như trường hợp tải ngang thay đổi lặp chu kỳ đối xứng. Về hình dạng, biểu đồ mô men dư trong trường hợp này giống như trường hợp tải ngang thay đổi lặp chu kỳ đối xứng. Trên hình 14 biểu đồ mô men dư có dấu ngược với biểu đồ trên hình 11 là do tại thời điểm cất tải, tải trọng của hai trường hợp có hướng ngược nhau.



Hình 12: Tải ngang thay đổi có $H=150\text{kN}$ và $n=80$



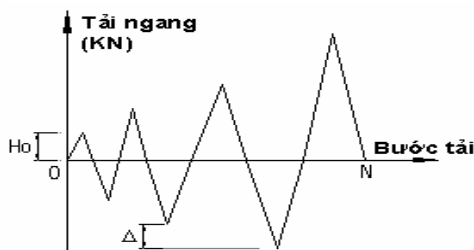
Hình 13 : Mômen-góc xoay nút 3



Hình 14 : Biểu đồ mômen sau khi dỡ tải

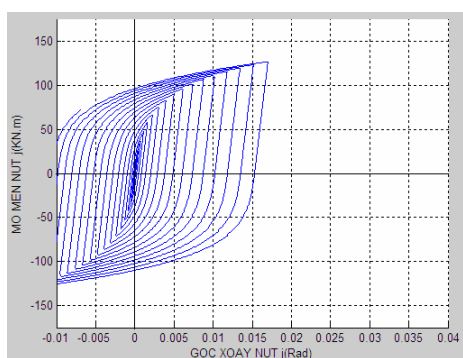
c) Trường hợp tải ngang thay đổi lặp có chu kỳ tăng dần

Trường hợp tải trọng ngang có qui luật như trên hình 15, kết quả tính toán về quan hệ mômen – góc xoay tại nút 3 được thể hiện trên hình 16; trên hình 17 là biểu đồ mômen trong khung sau khi dỡ tải.



Hình 15: Tải ngang thay đổi lặp có chu kỳ tăng dần

(Tải ngang có $H = 10\text{kN}$, $\Delta=2.5\text{kN}$, $N=140$; tải đứng $P=0\text{kN}$)



Hình 16: Mômen-góc xoay nút 3

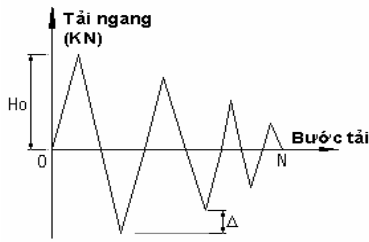


Hình 17: Biểu đồ mômen dư sau khi cất tải

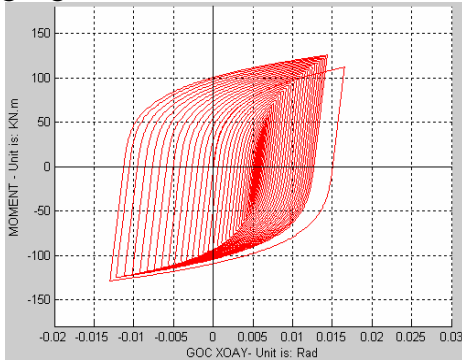
d) Trường hợp tải ngang thay đổi lặp có chu kỳ giảm dần

Trường hợp tải trọng ngang có qui luật như trên hình 18, kết quả tính toán về quan hệ

mômen – góc xoay tại nút 3 được thể hiện trên hình 19; trên hình 20 là biểu đồ mômen trong khung sau khi dỡ tải.



Hình 18: Tải ngang thay đổi lặp có chu kỳ giảm dần (tải ngang có $H = 185\text{kN}$, $\Delta = -2.5\text{kN}$, $N = 140$; tải đứng $P = 0\text{kN}$)



Hình 19: Mômen-góc xoay nút 3

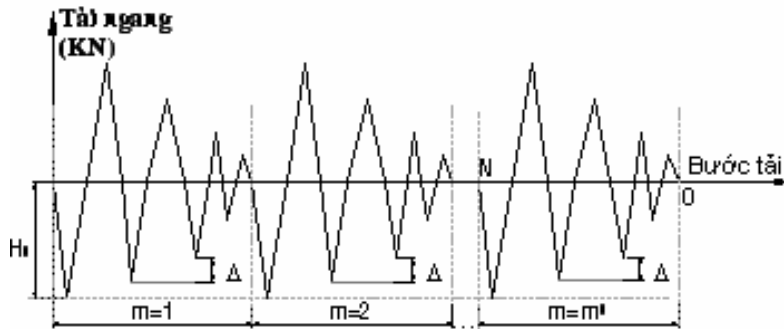


Hình 20: Biểu đồ mômen sau khi dỡ tải

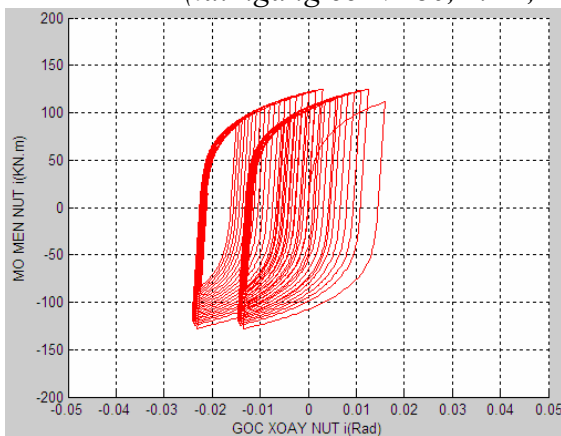
e) Trường hợp tải ngang thay đổi lặp có chu kỳ giảm dần lặp lại nhiều lần:

Trường hợp này tải trọng ngang có qui luật như trên hình 21. Kết quả tính toán quan hệ

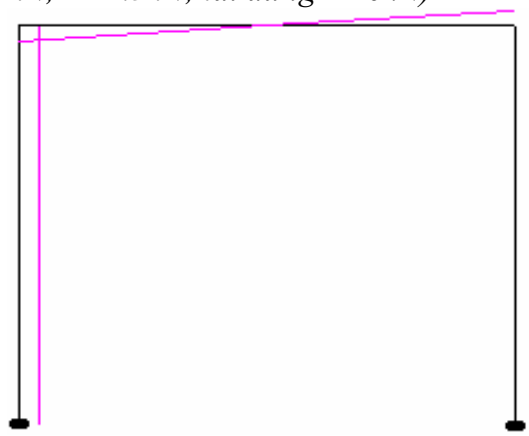
mômen – góc xoay tại nút 3 của kết cấu cho trường hợp chịu tải trọng tác dụng hai lần được thể hiện trên hình 22; trên hình 23 là biểu đồ mômen dư sau khi dỡ tải.



Hình 21: Tải ngang thay đổi lặp có chu kỳ giảm dần lặp lại nhiều lần (tải ngang có $N = 80$, $m = 2$, $H = -185\text{kN}$, $\Delta = 2.5\text{kN}$; tải đứng $P = 0\text{kN}$)



Hình 22 : Mômen - góc xoay nút 3



Hình 23: Biểu đồ mômen sau khi dỡ tải

IV. Kết luận

Đặc điểm nổi bật của kết cấu khung thép có liên kết nửa cứng là sự tích lũy biến dạng và ứng suất dư sau khi dỡ tải. Hay nói cách khác, trong kết cấu khung có các liên kết nửa cứng, sau khi dỡ tải tồn tại cả biến dạng dư và cả ứng suất dư. Trạng thái ứng suất – biến dạng của kết cấu sau mỗi lần chịu tải cần được

xét đến khi tính toán cho lần chịu tải tiếp theo.

Trên cơ sở thuật toán và phần mềm được lập, đã tiến hành khảo sát kết cấu khung thép phẳng có liên kết nửa cứng chịu tải ngang thay đổi. 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.

Tài liệu tham khảo

- [1] Nguyễn Quốc Hùng, Nguyễn Tiên Chương. "Tính toán khung thép có liên kết nửa cứng phi tuyến". Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng 3/2007
- [2] Nguyễn Quốc Hùng, Nguyễn Tiên Chương. "Tính toán khung thép có liên kết nửa theo mô hình đàn dẻo". Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng 1/2008
- [3] Nguyễn Quốc Hùng, Nguyễn Tiên Chương. "Tính toán khung thép có liên kết nửa phi tuyến chịu tải trọng đứng và tải ngang thay đổi". Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng 04/2008
- [4] Nguyễn Quốc Hùng, Nguyễn Tiên Chương. "Analyzing plane steel frame with Nonlinear semi-rigid connection withstanded by Cyclic load". International Conference Solid and Mechanical Computer, 12/2008
- [5] Nguyễn Tiên Chương, Nguyễn Quốc Hùng. "Tính toán khung thép chịu tải ngang lặp chu kỳ với chân cột liên kết nửa cứng theo mô hình đàn hồi-dẻo". Tuyển tập công trình khoa học, Đại học Kiến trúc Hà Nội - 2009.
- [6] Nguyễn Tiên Chương, Nguyễn Quốc Hùng. "Phân tích khung thép phẳng có liên kết nửa cứng theo mô hình đàn – dẻo chịu đồng thời tải trọng lặp theo phương ngang và tải trọng đứng không đổi". Tuyển tập công trình Hội nghị khoa học toàn quốc Cơ học VRBD lần thứ X, Thái Nguyên, 12 – 13/11/2010, NXB Đại học Thái Nguyên, 2011.
- [7] N. Kishi and W.F.Chen (1987). *Moment-rotation relations of semi-rigid connections*. CE-STR-87-29, School of Civil Engineering Purdue University West Lafayette, IN 47907.
- [8] Chan, S.L. and Chui, P.P.T.(2000). *Non-linear Static and Cyclic Analysis of Steel Frames with Semi-Rigid Connections*. 1st ed. Oxford, United Kingdom: Elsevier Science Ltd, 336p.
- [9] C. Faella, V. Piluso, G. Rizzano. *Structural Steel Semirigid Connections. Theory, Design and Software*. CRC Press 2000, Boca Raton - London - New York - Washington, D.C.

Abstract

BEHAVIOUR OF STEEL FRAME WITH NON-LINER SEMI-RIGID CONNECTION WITHSTANDED BY HORIZONTAL CYCLIC LOAD

Nguyễn Tiên Chương, Nguyễn Quốc Hùng

The working state of steel frame with non linear semi-rigid connection withstanded by varied loads is a complicated problem. Analysis results show that when connections overworked elastic limits, accumulation residual strain and stress in structure. Calculations of the residual strain and stress in structure must be taken into account.

In this paper is presented some results of analysis of steel frame with non linear semi-rigid connection withstanded by horizontal cyclic load.

Keywords: semi-rigid, elastic-plastic, cyclic load, residual strain, residual stress