

ẢNH HƯỞNG CỦA CẤU TẠO NÚT KHUNG ĐẾN SỰ PHÂN PHỐI NỘI LỰC VÀ TẦN SỐ DAO ĐỘNG RIÊNG CỦA KHUNG THÉP NHÀ CAO TẦNG

PGS.TS Nguyễn Quang Viên

Trường Đại học Xây dựng

ThS. Hoàng Tuấn Việt

Công ty Cổ phần đầu tư BĐS Hapulico

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả so sánh giá trị mômen của một số tiết diện đặc trưng trong dầm và cột của khung có xét đến độ mềm của nút. Ngoài ra, bài báo cũng đánh giá ảnh hưởng của sườn cột đến độ cứng của nút, tần số dao động riêng của khung và sự phân phối mômen trong các cấu kiện. Kết quả đạt được có thể phục vụ cho tính toán thiết kế cũng như nghiên cứu kết cấu khung thép có nút nửa cứng.

Summary: This paper presents results of comparing moment values at some specific sections of beams and columns in the frames with and without semi-rigid connectors. In addition, the paper also presents the influence of column stiffener to the rigidity of joint, natural oscillation frequencies and moment distribution in the structure. Results obtained can serve for design as well as research on steel structures with semi-rigid joints.

1. Mở đầu

Trong kết cấu khung thép, liên kết dầm cột rất đa dạng và phụ thuộc vào nhiều yếu tố như cấu tạo, vật liệu, kích thước hình học của cả cấu kiện và vật liệu liên kết. Các liên kết này phải truyền liên tục được nội lực từ cấu kiện này sang cấu kiện khác. Nhằm phản ánh đúng đắn sự chịu lực thực tế của kết cấu, khi phân tích nội lực và xác định tần số dao động riêng của khung thép cần xét tới độ mềm của nút (nghĩa là không giả thiết liên kết dầm – cột là hoàn toàn cứng hoặc khớp).

Hiện nay, đã có nhiều đề tài quan tâm nghiên cứu giải bài toán kết cấu có xét đến độ đàn hồi của nút: Trong [1], tác giả tập trung nghiên cứu để giải bài toán bằng phương pháp lực và áp dụng kết quả đạt được để đánh giá phân tích một số kết cấu cụ thể; Trong [2], tác giả đi sâu vào nghiên cứu hệ chịu tải trọng tác dụng động và đánh giá ảnh hưởng tính đàn hồi của nút đến sự làm việc thực tế của kết cấu.

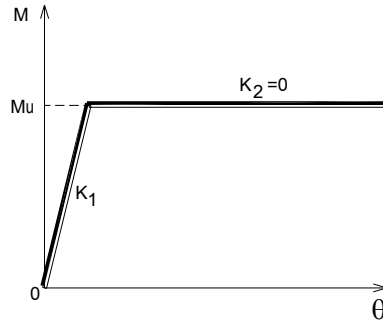
Bài báo này trình bày một số kết quả khảo sát nội lực và tần số dao động riêng của khung thép phẳng có xét đến độ mềm của nút, bao gồm:

(1) Tính toán, so sánh, nhận xét về nội lực, tần số dao động riêng của khung thép theo 3 quan niệm, coi nút khung là cứng (*rigid*), khớp (*pin*) và nửa cứng (*semi-rigid connector*).

(2) Phân tích ảnh hưởng của cấu tạo nút khung đến nội lực và tần số dao động riêng của khung thép.

2. Đường đặc tính của liên kết nửa cứng

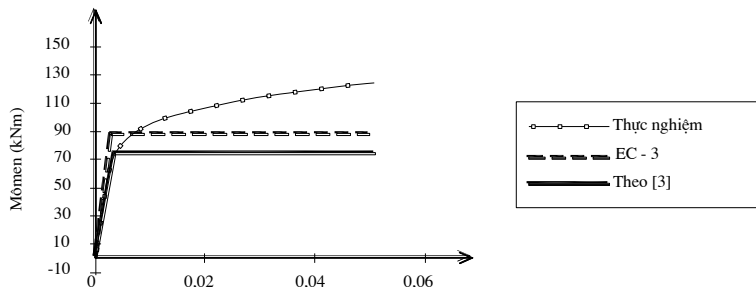
Để phân tích chính xác khung thép, cần thiết phải có đường đặc tính của nút liên kết. Đường đặc tính của liên kết nửa cứng là đường quan hệ giữa mômen và góc xoay ($M - \theta$). Trong bài báo này, tác giả chọn đường đặc tính được đơn giản hóa gồm 2 đoạn thẳng (Hình 1). Quan hệ ($M - \theta$) được mô tả bằng ba thông số: K_1 là độ cứng xoay đàn hồi, M_u là mômen cực hạn và K_2 là độ cứng xoay dẻo. Các công thức xác định giá trị độ cứng xoay đàn hồi và mômen cực hạn của liên kết, đã được đề cập trong [3].



Hình 1. Đường đặc tính của liên kết nửa cứng được đơn giản hóa gồm 2 đoạn thẳng

Các tác giả Kozłowski, Kowalczyk và Gizejowski đã áp dụng tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép của Châu Âu [4] để tính toán độ cứng xoay ban đầu ($S_{j,ini}$) và mômen cực hạn (M_{Rd}) của nút khung bằng thép tiết diện dạng chữ I, có liên kết nút là hàn hoặc liên kết bu lông, khi cột có và không có sườn gia cường.

Độ tin cậy của cách làm trên đã được kiểm chứng bằng việc so sánh ($S_{j,ini}$) và (M_{Rd}) theo lý thuyết với cách phân tích độ cứng, độ bền của chi tiết liên kết (EC-3) và kết quả thực nghiệm (Hình 2).



Hình 2. Đường đặc tính liên kết xác định theo thực nghiệm, [3, 4]

3. Phân tích nội lực và tần số dao động riêng của khung có xét đến độ mềm của nút liên kết

3.1. Các thông số của bài toán

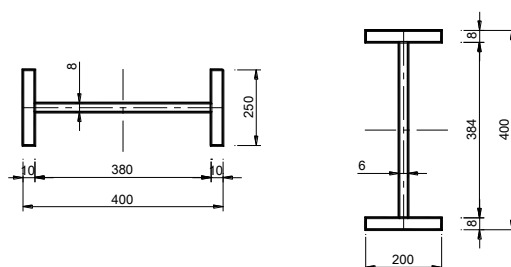
Khảo sát khung thép phẳng 12 tầng, 2 nhịp bằng nhau bằng 6,5m; tầng 1 cao 4,2m, tầng 2 đến mái cao 3,6m. Dầm, cột chữ I tổ hợp hàn có tiết diện không đổi (Hình 3), chịu các tải trọng:

+ **Tĩnh tải:** Phân bố đều trên dầm tầng 1 đến tầng 11 là 12,3 kN/m, trên dầm tầng mái là 6,2 kN/m; tải trọng tập trung tại nút giữa tầng 1 đến tầng 11 là 35,6 kN, tại nút biên tầng 1 đến tầng 11 là 25,3 kN; tải trọng tập trung tại nút giữa tầng mái là 15,8 kN, tại nút biên tầng mái là 10,5 kN.

+ *Hoạt tải*: Phân bố đều trên dầm tầng 1 đến tầng 11 là 9,7 kN/m, trên dầm tầng mái là 5,1 kN/m; tải trọng tập trung tại nút giữa tầng 1 đến tầng 11 là 24,4 kN, tại nút biên tầng 1 đến tầng 11 là 20,3 kN; tải trọng tập trung tại nút giữa tầng mái là 16,3 kN, tại nút biên tầng mái là 13,2 kN.

Vật liệu thép có dung trọng riêng $\gamma_0 = 78,5$ kN/m³, Mô đun đàn hồi $E = 2,1.10^8$ kN/m², hệ số Poát xông $\mu = 0,3$.

Ta sẽ phân tích, so sánh giá trị mômen của một số tiết diện đặc trưng trong dầm, cột và tần số dao động riêng của khung. Đồng thời đánh giá ảnh hưởng của sườn cột đến độ cứng của nút, tần số dao động riêng của khung và sự phân phối mômen trong các cấu kiện khi cấu tạo liên kết dầm – cột trong các trường hợp:



a) Cột

b) Dầm

Hình 3. Tiết diện dầm và cột

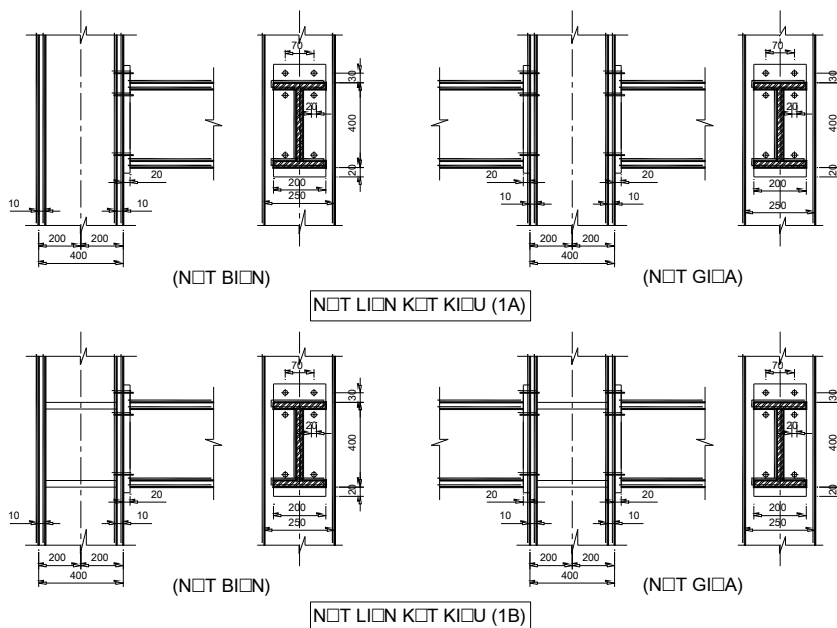
(1A) - Liên kết bulông, mặt bích; bụng cột không có sườn gia cường tại nút.

(1B) - Liên kết bulông, mặt bích; bụng cột có sườn gia cường tại nút.

(2A) - Liên kết hàn; bụng cột không có sườn gia cường tại nút.

(2B) - Liên kết hàn; bụng cột có sườn gia cường tại nút.

3.2. Phân tích khung khi liên kết dầm – cột sử dụng loại liên kết (1A) và (1B)



Hình 4. Nút liên kết (1A) và (1B)

Đường đặc tính của liên kết nửa cứng được xác định như sau [3]:

- Với trường hợp liên kết (1A) có:

+ Nút biên

$$M^{(1A)}_{Rd,1} = 7,4 \cdot 10^{-5} h_c^{0,62} h_b^{1,2} t_p^{0,4} d^{0,85} \quad (1)$$

$$S^{(1A)}_{j,ini,1} = 1,5 h_c^{0,44} h_b^{1,2} t_p^{0,35} d^{0,005} - 19211 \quad (2)$$

+ Nút giữa

$$M^{(1A)}_{Rd,2} = 4,8 \cdot 10^{-4} h_c^{0,24} h_b^{1,31} t_p^{0,32} d^{0,9} - 21 \quad (3)$$

$$S^{(1A)}_{j,ini,2} = 0,44 h_c^{-0,22} h_b^{2,1} t_p^{0,5} d^{-0,1} - 4896 \quad (4)$$

- Trường hợp liên kết (1B) có:

+ Nút biên, nút giữa

$$M^{(1B)}_{Rd,1} = 5 \cdot 10^{-5} h_c^{0,16} h_b^{1,6} t_p^{0,36} d^{1,1} \quad (5)$$

$$S^{(1B)}_{j,ini,1} = 0,0563 h_c^{-0,54} h_b^{2,49} t_p^{0,99} d^{0,09} + 12714 \quad (6)$$

trong đó: M_{Rd} : Momen cực hạn của liên kết (kNm); $S_{j,ini}$: Độ cứng ban đầu của liên

kết (kNm/rad) và S_j : Độ cứng xoay đàn hồi của liên kết (kNm/rad), $S_j = \frac{S_{j,ini}}{\eta} \quad (7)$

η : Hệ số điều chỉnh độ cứng phụ thuộc vào cấu kiện liên kết, được lấy theo EC-3 [4], với liên kết dầm - cột sử dụng loại liên kết hàn và loại liên kết bulông có mặt bích thì $\eta = 2$.

Sử dụng công thức (1), (2), (3), (4), (5), (6) và phần mềm Excel, ta lập được bảng tính độ cứng ban đầu ($S_{j,ini}$), độ cứng xoay đàn hồi (S_j), mômen cực hạn (M_{Rd}) của liên kết (1A) và (1B) như trong bảng 1.

Bảng 1. Độ cứng ban đầu, độ cứng xoay đàn hồi và mômen cực hạn của loại liên kết (1A) và (1B)

Loại liên kết	h_c mm	h_b mm	t_p mm	d mm	$M^{(1A)}_{Rd,1}$ kNm	$M^{(1A)}_{Rd,2}$ kNm	$M^{(1B)}_{Rd}$ kNm	$S^{(1A)}_{j,ini,1}$ kNm/rad	$S^{(1A)}_{j,ini,2}$ kNm/rad	$S^{(1B)}_{j,ini}$ kNm/rad	η	$S^{(1A)}_{j,1}$ kNm/rad	$S^{(1A)}_{j,2}$ kNm/rad	$S^{(1B)}_j$ kNm/rad
(1A)	400	400	20	20	170,321	179,31		61203,67	108797,97		2,00	30601,83	54398,98	
(1B)	400	400	20	20			150,69			182396,78	2,00			91198,39

Bảng 2. Mômen và tần số dao động riêng của khung với liên kết (1A) và (1B)

Đại lượng so sánh	Loại liên kết (1A)	Loại liên kết (1B)	Khác nhau(%)
- Mômen :			
+ Mômen đầu dầm tầng 1(kNm)	-55,68	-68,31	22,68
+ Mômen giữa dầm tầng 1(kNm)	56,67	49,13	-13,30
+ Mômen chân cột tầng 1(kNm)	-10,78	-13,21	22,54
- Tần số dao động riêng (1/s)	0,228	0,251	10,08

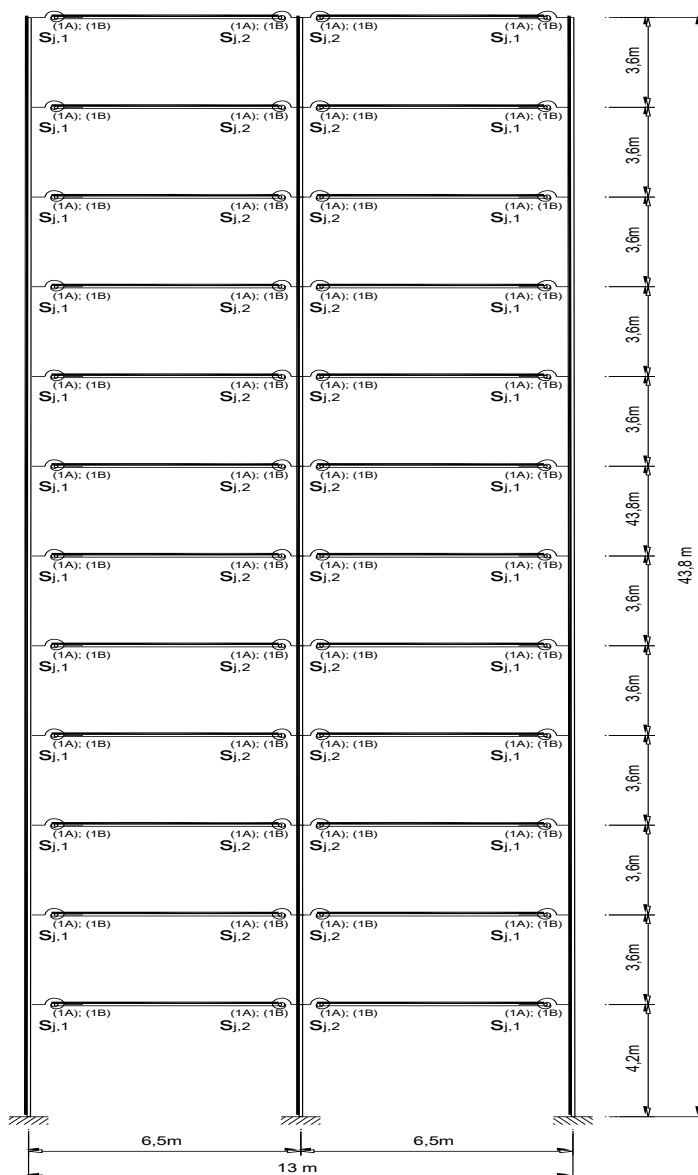
Sử dụng mô hình 1 lò xo mô phỏng độ mềm chuyển vị xoay của nút liên kết. Ứng dụng phần mềm ETABS Nonlinear v9.0.7 [5] để mô hình hóa kết cấu, khai báo độ cứng của liên kết dầm - cột bằng tính năng *Frame releases/Partial Fixity* (Hình 5).

Giá trị và kết quả so sánh mômen tại chân cột, đầu dầm, giữa dầm tầng 1 và tần số dao động riêng cho 2 trường hợp (1A) và (1B) được ghi trong bảng 2.

Kết quả phân tích khung thép với trường hợp của 2 bài toán (1A) và (1B) cho thấy chênh lệch về mômen chân cột tầng 1 và đầu dầm tầng 1 là lớn nhất (22,54% và 22,68%).

Độ cứng của loại liên kết (1B) tăng lên gấp gần 3 lần so với độ cứng của loại liên kết (1A). Như vậy sườn cột đã làm tăng độ cứng của liên kết, từ đó làm tăng mômen đầu dầm lên 22,68%, nhưng chỉ làm giảm mômen giữa dầm xuống 13,30% và làm tăng mômen chân cột lên 22,54%.

Tần số dao động riêng thứ nhất tăng 10,08%, cũng có nghĩa là khi cột có sườn gia cường thì độ cứng của khung tăng khoảng 10%.



Hình 5. Sơ đồ tính của khung với liên kết loại (1A), (1B)

3.3. Phân tích khung khi liên kết dầm – cột sử dụng loại liên kết (2A) và (2B)

Đường đặc tính liên kết của 2 loại liên kết (2A) và (2B) cũng được chọn gồm 2 đoạn thẳng và được xác định qua 2 thông số: Giá trị độ cứng xoay đàn hồi (S_j) và mômen cực hạn (M_{Rd}) của liên kết theo [3].

- Liên kết (2A):

+ Nút biên

$$M^{(2A)}_{Rd,1} = 6,5 \cdot 10^{-7} h_c^{1,2} h_b^{2,04} + 18 \quad (8)$$

$$S^{(2A)}_{j,ini,1} = 0,0251 h_c^{0,82} h_b^{1,7} + 2765 \quad (9)$$

Độ cứng của loại liên kết (2B) được coi là vô cùng. Như vậy với liên kết hàn, sườn cột ảnh hưởng lớn đến độ cứng của liên kết, từ đó làm giảm mômen giữa dầm xuống 20,21%, nhưng lại làm tăng mômen đầu dầm lên 21,27% và tăng tần số dao động riêng thứ nhất của khung lên 15,06%.

Bảng 4. Mômen và tần số dao động riêng của khung với liên kết (2A) và (2B)

Đại lượng so sánh	Loại liên kết (2A)	Loại liên kết (2B)	Kl
- Momen:			
+ Mômen đầu dầm tầng 1(kN.m)	-60.39	-74.23	
+ Mômen giữa dầm tầng 1(kN.m)	52.40	42.15	
+ Mômen chân cột tầng 1(kN.m)	-11.70	-14.32	
- Tần số dao động riêng (1/s)	0.239	0.275	

4. Kết luận

Qua phân tích độ cứng của bốn loại liên kết, cho thấy: Kiểu liên kết (2B) có độ cứng lớn nhất, mômen cực hạn của loại liên kết này cũng lớn nhất (229,367kNm). Liên kết (1A) có độ cứng bé nhất và mômen cực hạn của loại liên kết (1B) là nhỏ nhất.

Khi độ cứng của nút tăng, tần số dao động riêng thứ nhất của khung cũng tăng theo. Điều đó làm thay đổi thành phần động của các tác dụng động (như gió, động đất).

Sườn cột tại nút khung có ảnh hưởng lớn đến độ cứng của nút và của khung, từ đó ảnh hưởng đến tải trọng động, phân phối nội lực và chuyển vị ngang của khung.

Các nút khung thực tế đều thuộc một trong bốn loại nút (1A), (1B), (2A), (2B) như đã khảo sát trên đây. Khi phân tích, quan niệm coi nút là cứng vô cùng chỉ nên áp dụng cho khung thấp tầng; khi áp dụng cho khung cao tầng sẽ dẫn đến các kết quả sai lệch thiên về bất lợi. Sự nguy hiểm càng tăng nếu sử dụng giải pháp (1A) hoặc (2A). Trong điều kiện có thể, nên thiên về xu hướng thiết kế khung thép có nút hàn, bản bụng cột tại nút nên có sườn.

Tài liệu tham khảo

1. Ngô Thanh Dũng (2004), *Tính khung phẳng có kể đến độ đàn hồi của nút khung*, Luận văn thạc sỹ Kỹ thuật, Trường Đại học Xây dựng, Hà Nội.
2. Nguyễn Hồng Sơn (2007), *Phân tích kết cấu khung thép phẳng có liên kết nửa cứng phi tuyến*, Luận án tiến sỹ kỹ thuật, Trường Đại học Xây dựng, Hà Nội.
3. Aleksander Kozłowski, Ryszard Kowalczyk and Marian Gizejowski (2008), *Estimation of the initial stiffness and moment resistance of steel and composite joints*, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland.
4. CEN Eurocode 3 (2002), *Design of steel structures - Part 1.8. Design of joint*, CEN ENV 1993 - 1 - 8: 2002.
5. ETABS Nonlinear v9.0.7 (1999), *Analysis Reference*, CSI, USA.