

KHẢO SÁT KHUNG THÉP PHẪNG NỬA CỨNG VỚI LIÊN KẾT CHÂN CỘT NỬA CỨNG

Đỗ Tiến Đông⁽¹⁾, Chu Quốc Thắng⁽²⁾

(1) Sở Xây dựng tỉnh Gia Lai

(2) Trường Đại học Quốc tế - Đại học Quốc gia TP.HCM

(Bài nhận ngày 15 tháng 12 năm 2005, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 23 tháng 02 năm 2006)

TÓM TẮT: Bài báo này trình bày một phương pháp phân tích khung thép phẳng với các liên kết dầm-cột và chân cột nửa cứng. Quá trình phân tích đưa vào tính toán ứng xử phi tuyến của liên kết dầm-cột và phi tuyến hình học của phần tử (hiệu ứng P-delta). Sử dụng mô hình đa thức của Frye và Morris (1975) để mô hình hóa liên kết dầm-cột nửa cứng, liên kết chân cột nửa cứng được khảo sát theo các nghiên cứu gần đây của một số tác giả ở Châu Âu. Ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn để phân tích khung thép phẳng bằng các thủ tục lập trình thông qua chương trình phân tích được viết bằng ngôn ngữ lập trình MatLab. Kết quả phân tích sẽ xác định được sự làm việc của khung gần với thực tế hơn so với kết quả phân tích theo quan niệm khung cứng trước đây.

1. GIỚI THIỆU

Một trong những bộ phận được quan tâm nghiên cứu của kết cấu thép là liên kết. Trong khi liên kết chỉ cấu thành một phần nhỏ khối lượng của kết cấu nhưng nó chiếm một tỷ trọng đáng kể trong giá thành của kết cấu. Thêm vào đó, sự biến dạng của liên kết thường gây nên một phần khá lớn sự biến dạng của toàn kết cấu và nó thường chịu một phần đáng kể sự phân phối nội lực. Thông thường, khi phân tích và thiết kế khung thép, các nhà thiết kế thường quan niệm liên kết hoặc là phần tử khớp lý tưởng, hoặc là phần tử ngàm tuyệt đối. Giả thiết này làm cho quá trình phân tích, thiết kế đơn giản hơn nhưng nó dẫn đến những dự đoán thiếu chính xác về ứng xử của liên kết nói riêng và của toàn kết cấu nói chung. Thực tế, các liên kết làm việc với một độ cứng hữu hạn nằm giữa hai trạng thái lý tưởng nêu trên. Do vậy, khái niệm liên kết nửa cứng cùng với các nghiên cứu về nó đã được các nhà khoa học trên thế giới tiến hành thực hiện.

Từ tập hợp các dữ liệu thực nghiệm trên các kiểu liên kết khác nhau, các nhà khoa học đã tiến hành mô hình hóa ứng xử của liên kết bằng các biểu thức toán học cụ thể. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu chỉ tập trung xem xét ứng xử của liên kết dầm-cột, các nghiên cứu về liên kết giữa chân cột và nền rất hạn chế và chỉ tập trung ở một số chương trình nghiên cứu tại Châu Âu. Tại Việt Nam, trong vài năm trở lại đây, các nghiên cứu về liên kết nửa cứng đã được thực hiện nhưng cũng chỉ tập trung vào liên kết dầm-cột, hầu như chưa có nghiên cứu nào về liên kết chân cột được báo cáo.

Bài báo này trình bày một phương pháp phân tích sự làm việc của khung thép phẳng xét đến ứng xử nửa cứng của cả liên kết dầm với cột và chân cột với nền, đồng thời có xét đến yếu tố phi tuyến hình học của các phần tử.

2. LIÊN KẾT

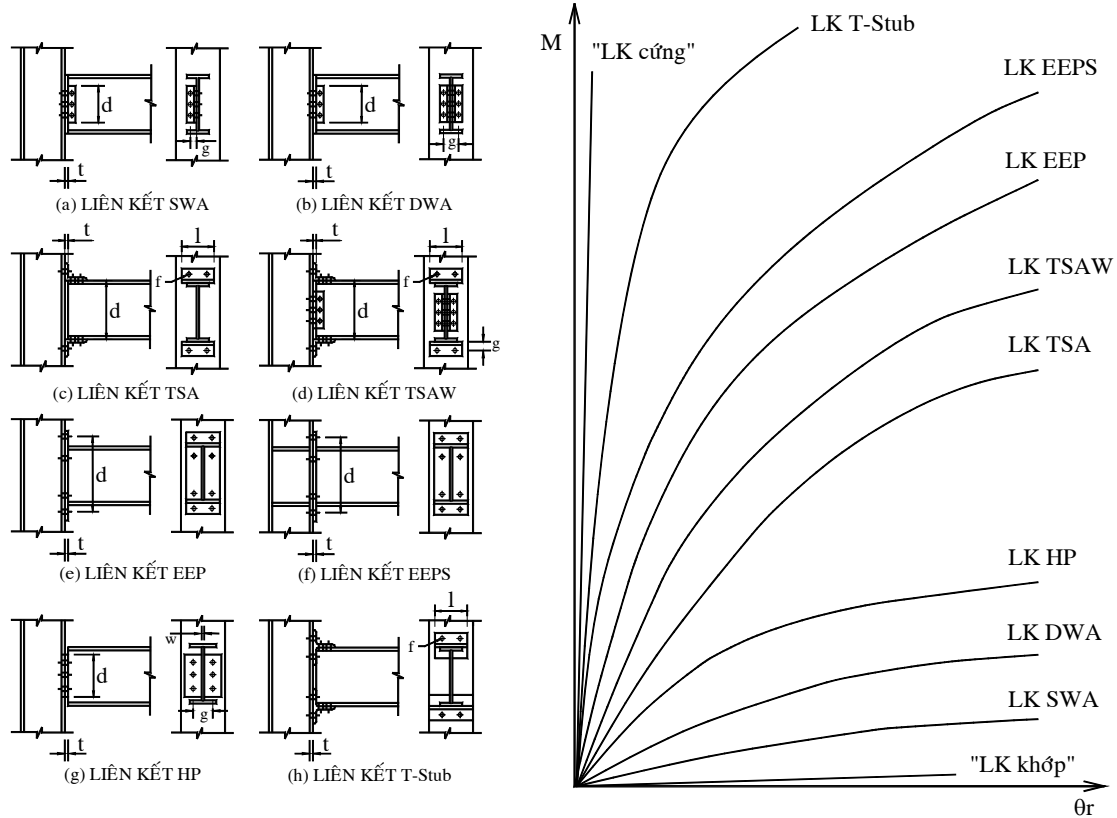
2.1. Mô hình liên kết dầm-cột

Ứng xử của liên kết dầm-cột nửa cứng được đặc trưng bởi đường cong quan hệ mô men - góc xoay ($M-\theta_r$) của liên kết. Từ các dữ liệu thực nghiệm, các nghiên cứu từ trước đến nay đã giới thiệu rất nhiều mô hình liên kết khác nhau [2]. Trong phạm vi bài báo này, mô hình đa thức của Frye và Morris [4] được lựa chọn sử dụng. Mô hình này được phát triển dựa trên công thức của Sommer (1969) bằng cách xây dựng một đa thức bậc lẻ dưới dạng:

$$\theta_r = C_1(KM)^1 + C_2(KM)^3 + C_3(KM)^5 \quad (1)$$

trong đó: K là thông số tiêu chuẩn phụ thuộc vào kiểu liên kết,
 $C_1 - C_2 - C_3$ là các hằng số xấp xỉ đường cong.

Các kiểu liên kết được xem xét và đường cong quan hệ $(M-\theta_r)$ của liên kết như trên hình 1, các thông số của mô hình cho trên bảng 1.



Hình 1. Các kiểu liên kết được xem xét và đường cong quan hệ $(M-\theta_r)$

Bảng 1. Các hàm tiêu chuẩn hóa quan hệ $(M-\theta_r)$ của liên kết theo mô hình của Frye-Moris

Kiểu LK	Hàm tiêu chuẩn hóa quan hệ $(M-\theta_r)$	Hệ số tiêu chuẩn hóa
SWA	$\phi = 3,66(KM)10^{-4} + 1,15(KM)^3 10^{-6} + 4,57(KM)^5 10^{-8}$	$K = d^{-2,4} t^{-1,81} g^{0,15}$
DWA	$\phi = 4,28(KM)10^{-3} + 1,45(KM)^3 10^{-9} + 1,51(KM)^5 10^{-16}$	$K = d^{-2,4} t^{-1,81} g^{0,15}$
HP	$\phi = 5,1(KM)10^{-5} + 6,2(KM)^3 10^{-10} + 2,4(KM)^5 10^{-13}$	$K = t^{-1,6} g^{1,6} d^{-2,3} w^{0,5}$
TSA	$\phi = 8,46(KM)10^{-4} + 1,01(KM)^3 10^{-4} + 1,24(KM)^5 10^{-8}$	$K = t^{-0,5} d^{-1,5} f^{1,1} l^{-0,7}$
TSAW	$\phi = 2,23(KM)10^{-3} + 1,85(KM)^3 10^{-8} + 3,19(KM)^5 10^{-12}$	$K = t^{-1,128} d^{-1,287} t_c^{-0,415} l^{-0,694} g^{1,35}$
EEP	$\phi = 1,83(KM)10^{-3} - 1,04(KM)^3 10^{-4} + 6,38(KM)^5 10^{-6}$	$K = d^{-2,4} t^{-0,4} f^{1,1}$
EEPS	$\phi = 1,79(KM)10^{-3} + 1,76(KM)^3 10^{-4} + 2,04(KM)^5 10^{-4}$	$K = d^{-2,4} t^{-0,6}$
T-Stub	$\phi = 2,1(KM)10^{-4} + 6,2(KM)^3 10^{-6} - 7,6(KM)^5 10^{-9}$	$K = d^{-1,5} t^{-0,5} f^{1,1} l^{-0,7}$

2.2. Độ cứng liên kết chân cột

Dựa vào hình thức liên kết giữa chân cột thép và móng bê tông, về cơ bản có thể chia chân cột thành hai loại như sau:

1. Chân cột sử dụng bản đế: Thường sử dụng khi cột chịu lực nén lớn.
 2. Chân cột chôn trong bê tông móng: Thường sử dụng khi mô men uốn trong cột lớn.
- Bài báo này giới hạn phân tích và ứng dụng đối với loại chân cột sử dụng bản đế.

Trong phân tích truyền thống, bản đế được xem là cứng, có chiều dày khá lớn và được liên kết với khối bê tông móng bằng nhiều bộ phận neo được chế tạo từ các vật liệu có cường độ cao. Gần đây, trong một nghiên cứu của mình, Wald F., Steenhuis C. M. và Jaspart J. P. [6] đã sử dụng phương pháp thành phần để khảo sát liên kết chân cột. Theo phương pháp này, đầu tiên là định dạng các thành phần, sau đó sẽ xác định ứng xử của các thành phần và cuối cùng là quá trình ghép nối các thành phần để xác định độ bền và độ cứng của liên kết. Trên cơ sở đó, nhóm tác giả Wald F., Bauduffe N. và Muzeau J. P. [5] đã trình bày một phương pháp dự đoán sơ bộ về độ cứng liên kết chân cột và một hình thức đơn giản của công thức được đề

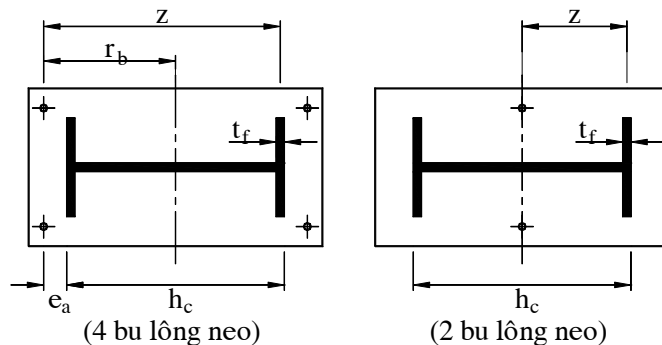
nghị như sau:
$$S_j = \frac{Ez^2t}{\xi} \quad (2)$$

Trong đó: E là mô đun đàn hồi của vật liệu

z là cánh tay đòn của nội lực, được xác định:
$$z = r_b + \frac{h_c}{2} - \frac{t_f}{2}$$

t là chiều dày bản đế chân cột

ξ là hệ số phụ thuộc vào kiểu cấu tạo chân cột, qua kiểm nghiệm thực tế đối với loại chân cột có bản đế neo bằng 2 hoặc 4 bu lông (hình 2) xác định được $\xi = 20$



Hình 2. Bản đế với 2 và 4 bu lông neo

3. KHẢO SÁT KHUNG THÉP PHẪNG VỚI LIÊN KẾT NỬA CỨNG

3.1. Phương pháp phân tích

Trên cơ sở ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn, theo kết quả tập hợp các nghiên cứu của Chajes A. và Churcill J.E. [1], Degertekin S. O. và Hayalioglu M. S. [3] đã trình bày một phương pháp phân tích phi tuyến cho khung thép có liên kết nửa cứng. Theo đó, tải trọng tác dụng được chia thành một tập hợp các gia số tải trọng nhỏ và ứng với mỗi số gia tải trọng $\{\Delta F\}$, quá trình phân tích lặp được thực hiện với sự thay đổi của ma trận độ cứng kết cấu $[S]$. Sự thay đổi ma trận này dựa vào việc cập nhật kết quả của độ cứng liên kết và nội lực của vòng lặp trước, phương pháp độ cứng cát tuyến được sử dụng để tính toán độ cứng liên kết.

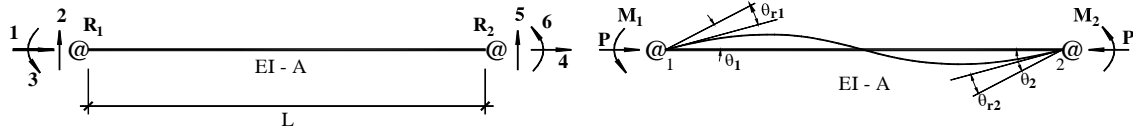
Quá trình phân tích để xác định chuyển vị và nội lực thực hiện thông qua việc giải phương trình cân bằng kết cấu dưới dạng gia số $[S]\{\Delta D\} = \{\Delta F\}$. Sự hội tụ đạt được khi chuyển vị nút giữa hai vòng lặp liên tiếp nhỏ hơn một dung sai danh nghĩa cho trước. Kết quả hội tụ của một gia số tải trọng hình thành các giá trị ban đầu cho vòng lặp kế tiếp và thủ tục lặp được tiến hành cho đến khi tất cả các gia số tải trọng được đưa vào tính toán.

3.2. Ma trận độ cứng

Trong quá trình phân tích sự làm việc của khung, ta xét đến ba kiểu phần tử sau:

1. *Phần tử dầm - cột*: Phần tử khung phẳng được xác định bao gồm cả yếu tố phi tuyến hình học.
2. *Phần tử dầm với liên kết nửa cứng*: Phần tử khung phẳng được xác định bao gồm cả độ mềm của liên kết đầu phần tử và yếu tố phi tuyến hình học.

3. *Phần tử cột với liên kết chân cột nửa cứng*: Phần tử khung phẳng được xác định bao gồm cả độ mềm của liên kết chân cột và yếu tố phi tuyến hình học. Theo [2], bằng việc mô hình hóa mỗi liên kết như một lò xo xoay, phần tử dầm có liên kết nửa cứng được xét gồm một phần tử dầm-cột có chiều dài hữu hạn với hai lò xo xoay có chiều dài bằng 0 ở hai đầu liên kết như trên hình 3.



Hình 3. Phần tử nửa cứng với các góc xoay đàn hồi

Ảnh hưởng của độ mềm liên kết có thể được tính toán bằng cách hiệu chỉnh các phương trình đường biến dạng của phần tử để tính toán góc xoay đàn hồi. Thực hiện một số biến đổi, ta thu được ma trận độ cứng của phần tử có liên kết nửa cứng như sau:

$$[\bar{K}_e] = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & (s_{ii} + 2s_{ij} + s_{jj})\frac{EI}{L^3} & 0 & 0 & (s_{ii} + 2s_{ij} + s_{jj})\frac{EI}{L^3} & 0 \\ 0 & (s_{ii} + s_{ij})\frac{EI}{L^2} & s_{ii}\frac{EI}{L} & 0 & (s_{ii} + s_{ij})\frac{EI}{L^2} & s_{ii}\frac{EI}{L} \\ -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -(s_{ii} + 2s_{ij} + s_{jj})\frac{EI}{L^3} & -(s_{ii} + s_{ij})\frac{EI}{L^2} & 0 & (s_{ii} + 2s_{ij} + s_{jj})\frac{EI}{L^3} & -(s_{ii} + s_{ij})\frac{EI}{L^2} \\ 0 & (s_{ij} + s_{jj})\frac{EI}{L^2} & s_{ij}\frac{EI}{L} & 0 & -(s_{ij} + s_{jj})\frac{EI}{L^2} & s_{ij}\frac{EI}{L} \end{bmatrix} \quad \tilde{NX} \quad (3)$$

Trong đó: $s_{ii} = \frac{1}{R} \left(4 + \frac{12EI}{LR_2} \right)$ $s_{jj} = \frac{1}{R} \left(4 + \frac{12EI}{LR_1} \right)$ $s_{ij} = \frac{2}{R}$

với: $R = \left(1 + \frac{4EI}{LR_1} \right) \left(1 + \frac{4EI}{LR_2} \right) - \left(\frac{EI}{L} \right)^2 \left(\frac{4}{R_1 R_2} \right)$

Đối với phần tử dầm - cột: $R_1 = R_2 = \infty$

Đối với phần tử dầm có liên kết nửa cứng ở đầu: $R_1 = \frac{M_1}{\theta_{r1}}$ và $R_2 = \frac{M_2}{\theta_{r2}}$

Đối với phần tử cột có liên kết chân cột nửa cứng: $R_1 = S_j$ và $R_2 = \infty$

Ma trận độ cứng hình học của phần tử được xét như sau:

$$[\bar{K}_g] = \frac{P}{L} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{6}{5} & \frac{L}{10} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{L}{10} & \frac{2L^2}{15} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{6}{5} & -\frac{L}{10} & 0 & \frac{6}{5} & 0 \\ 0 & \frac{L}{10} & -\frac{L^2}{30} & 0 & -\frac{L}{10} & \frac{2L^2}{15} \end{bmatrix} \quad \text{ĐX} \quad (4)$$

Đối với phần tử thứ i, ma trận độ cứng phi tuyến xác định: $[\bar{K}]_i = [\bar{K}_e]_i + [\bar{K}_g]_i$ (5)

Thực hiện quá trình chuyển đổi sang hệ tọa độ tổng thể và ghép nối ma trận để xác định ma trận độ cứng tổng thể kết cấu.

3.3 .Thủ tục phân tích

Quá trình thực hiện phân tích có thể tóm tắt thông qua các bước như sau:

1. Chia tải trọng tác dụng lên kết cấu thành các số gia tải trọng nhỏ
2. Tiến hành phân tích tuyến tính dưới số gia tải trọng đầu tiên để xác định phản ứng của kết cấu và các phản ứng này là các giá trị ban đầu để đưa vào phân tích phi tuyến ở vòng lặp tiếp theo
3. Thiết lập các ma trận độ cứng phần tử, chuyển sang hệ tọa độ tổng thể và ghép nối để xây dựng ma trận độ cứng kết cấu $[S]$
4. Giải phương trình cân bằng dưới dạng gia số để xác định gia số chuyển vị $\{\Delta D\}$ và gia số lực đầu mút phần tử
5. Xác định độ cứng cát tuyến của liên kết
6. Cập nhật các thông số để xây dựng lại ma trận độ cứng phần tử bằng cách sử dụng độ cứng cát tuyến và lực đầu mút phần tử xác định được từ vòng lặp gần nhất
7. Lặp lại các bước từ 3 đến 6 đến khi đạt được sự hội tụ
8. Tính toán chuyển vị và lực đầu mút phần tử lúc hội tụ
9. Tiếp tục phân tích với các số gia tải trọng mới cho đến khi tất cả các số gia tải trọng được đưa vào phân tích

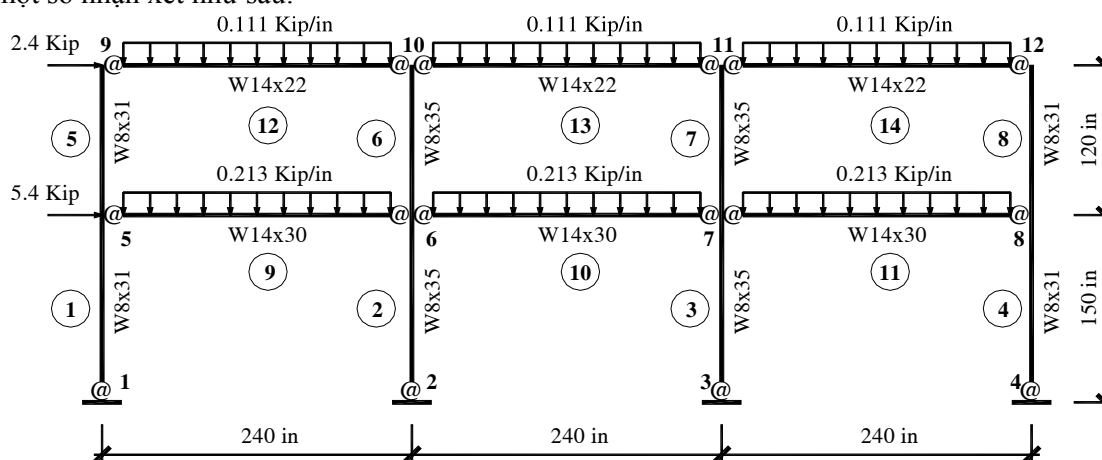
4.VÍ DỤ MINH HỌA

Trên cơ sở phương pháp đã trình bày, tác giả xây dựng một chương trình tính toán bằng ngôn ngữ lập trình MatLab. Phần này sẽ giới thiệu một ví dụ (khung 2 tầng 3 nhịp) được phân tích từ chương trình. Sơ đồ kết cấu, tải trọng, nút, phần tử, tiết diện phần tử như trên hình 4. Từ kết quả phân tích, tác giả thực hiện so sánh giữa các trường hợp về chuyển vị ngang lớn nhất đỉnh khung và nội lực của một số phần tử tiêu biểu.

Ghi chú về các ký hiệu viết tắt trong các bảng so sánh:

- (A) - Khung có các liên kết hoàn toàn cứng
- (B) - Khung có các liên kết dầm-cột nửa cứng
- (C) - Khung có các liên kết dầm-cột và chân cột nửa cứng

Qua so sánh kết quả phân tích trên các trường hợp khung khác nhau, tác giả đưa ra một số nhận xét như sau:



Hình 4. Sơ đồ kết cấu và tải trọng khung 2 tầng 3 nhịp

Bảng 2. Chuyển vị ngang lớn nhất đỉnh khung (nút 9)

Kiểu liên kết	Chuyển vị ngang (in)			Sai lệch (%)		
	(A)	(B)	(C)	B-A	C-A	C-B
SWA	0.29674	0.40908	0.49784	+38.11	+67.77	+21.70
DWA		0.40643	0.49532	+36.97	+66.92	+21.87
HP		0.37964	0.46632	+27.94	+57.15	+22.83
TSA		0.34203	0.42353	+15.26	+42.73	+23.83
TSAW		0.33317	0.41369	+11.28	+39.42	+24.17
EEP		0.30707	0.38519	+3.48	+29.81	+25.44
EEPS		0.30606	0.38381	+3.14	+29.34	+25.40
T-Stub		0.30361	0.38174	+2.32	+28.65	+25.73

Chuyển vị ngang: Khi xét đến độ cứng liên kết trong quá trình phân tích làm tăng chuyển vị ngang của khung, đặc biệt là khi xét cả đến độ cứng liên kết chân cột. Độ cứng liên kết dầm-cột càng tăng thì mức độ tăng chuyển vị càng giảm và hội tụ dần về kết quả khi ta khảo sát đối với khung hoàn toàn cứng. Xem số liệu so sánh trên bảng 2.

Bảng 3. Mô men chân cột (phần tử 1)

Kiểu liên kết	Mô men (Kip-in)			Sai lệch (%)		
	(A)	(B)	(C)	B-A	C-A	C-B
SWA	-21.325	-61.350	-79.805	+187.69	+274.23	+30.08
DWA		-37.634	-65.284	+76.48	+206.14	+73.47
HP		-33.419	-61.636	+56.71	+189.03	+84.43
TSA		-27.906	-56.159	+30.86	+163.35	+101.24
TSAW		-24.977	-53.961	+17.12	+153.04	+116.04
EEP		-23.822	-52.102	+11.71	+144.32	+118.71
EEPS		-22.558	-51.240	+5.78	+140.28	+127.15
T-Stub		-22.071	-50.891	+3.50	+138.65	+130.58

Mô men chân cột: Khi xét đến độ cứng liên kết dầm-cột (B), mô men chân cột tăng lên so với trường hợp khung cứng (A) và càng tăng hơn khi xét cả đến độ cứng liên kết chân cột (C). Độ cứng liên kết dầm-cột càng tăng thì mức độ tăng mô men chân cột càng giảm. Độ cứng liên kết dầm-cột càng tăng thì ảnh hưởng của độ cứng liên kết chân cột đến sự thay đổi mô men chân cột càng lớn. Xem số liệu so sánh trên bảng 3.

Bảng 4. Mô men đầu dầm (phần tử 10)

Kiểu liên kết	Mô men (Kip-in)			Sai lệch (%)		
	(A)	(B)	(C)	B-A	C-A	C-B
SWA	-956.034	-586.878	-596.728	-38.61	-37.58	1.68
DWA		-799.743	-799.380	-16.35	-16.39	-0.05
HP		-823.094	-821.451	-13.91	-14.08	-0.20
TSA		-858.602	-856.384	-10.19	-10.42	-0.26
TSAW		-891.900	-887.270	-6.71	-7.19	-0.52
EEP		-924.026	-918.207	-3.35	-3.96	-0.63
EEPS		-928.964	-923.076	-2.83	-3.45	-0.63
T-Stub		-935.507	-927.462	-2.15	-2.99	-0.86

Bảng 5. Mô men nhịp dầm (phần tử 10)

Kiểu liên kết	Mô men (Kip-in)			Sai lệch (%)		
	(A)	(B)	(C)	B-A	C-A	C-B
SWA	483.308	856.358	835.714	+77.19	+72.92	-2.41
DWA		654.052	644.591	+35.33	+33.37	-1.45
HP		628.378	620.133	+30.02	+28.31	-1.31
TSA		585.389	577.756	+21.12	+19.54	-1.30
TSAW		551.293	546.165	+14.07	+13.01	-0.93
EEP		515.319	511.613	+6.62	+5.86	-0.72
EEPS		510.753	507.205	+5.68	+4.94	-0.69
T-Stub		504.094	502.802	+4.30	+4.03	-0.26

Mô men dầm: So với trường hợp A, khi phân tích trên trường hợp B có kết quả giảm mô men âm đầu dầm và tăng mô men dương ở nhịp dầm. Khi xét với trường hợp C, vẫn thu được kết quả giảm mô men âm đầu dầm và tăng mô men dương ở nhịp dầm nhưng mức độ tăng giảm ít hơn so với trường hợp B nhưng sự sai lệch giữa hai trường hợp này (B và C) là không đáng kể. Xem số liệu so sánh trên bảng 4 và 5.

5. KẾT LUẬN

Qua so sánh cho thấy yếu tố độ cứng liên kết chân cột có ảnh hưởng khá lớn đến kết quả phân tích khung, đặc biệt là đối với chuyển vị ngang của khung và nội lực chân cột. Tuy nhiên, nó có ảnh hưởng không đáng kể đến các cấu kiện khác cũng như sự phân phối nội lực của các cấu kiện. Việc xét đến độ cứng của các liên kết trong quá trình phân tích giúp chúng ta khảo sát được sự làm việc của kết cấu gần với thực tế hơn so với quan niệm khung cứng. Điều này giúp cho quá trình thiết kế các cấu kiện và liên kết được tối ưu hơn, tránh tình trạng thiết kế thiếu tại một số vị trí cấu kiện cũng như hạn chế được sự lãng phí trong quá trình thiết kế.

A STUDY OF SEMI-RIGID PLANE STEEL FRAMESWITH SEMI-RIGID COLUMN BASES

Do Tien Dong⁽¹⁾, Chu Quoc Thang⁽²⁾

(1) Department of Conctruction of Gia Lai

(2) International University – VNU-HCM

ABSTRACT: This article presents an analysis method for plane steel frames with semi-rigid connections and semi-rigid column bases. The analysis takes into account both the non-linear behaviour of beam-to-column connections and the second-order ($P-\Delta$) effects of beam-column members. The Frye and Morris polynomial model is used for modelling of semi-rigid connections. The semi-rigid column bases have been studied from the research of some researchers in Europe in recent time. The Finite Element Method is used for analysing the plane steel frames by iterative procedures. Calculating program is made with MatLab. The results of the analysis will determine the behaviour of the frames which are accurate to the reality compared those towards with the previous rigid-frames.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Chajes A. and Churcill J.E., *Nonlinear Frame Analysis by Finite Element Methods*, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 113, No. 6, June 1987, pp 1221-1235.
- [2]. Chen W.F., Goto Y., Liew J.Y.R., *Stability Design of Semirigid Frames*, CRC Press, John Wiley & Sons Inc, 1996.
- [3]. Degertekin S.O., and Hayalioglu M.S., *Design of Non-linear Semi-Rigid Steel Frames with Semi-Rigid Column Bases*, Electronic Journal of Structural Engineering, 4(2004).
- [4]. Frye M.J., and Morris G.A., *Analysis of Flexibly Connected Steel Frames*, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 2, 1975, pp 280-291.
- [5]. Wald F., Bauduffe N., Muzeau J.P., *Preliminary Prediction of the Column-Base Stiffness*, European Convention for Contructional Steelwork, 2001.
- [6]. Wald F., Steenhuis C.M., Jaspert J.P., *Component Method for Base Plate*, In: Proceedings of the Conference Connections in Steel Structures IV: Steel Connections in the New Millennium, Roanoke, 2000.
- [7].