

Hệ số chiều dài tính toán cột khung nhiều tầng trong một số tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép

The effective length factor of the column in multi-stories in some steel design codes

Nguyễn Thanh Tùng, Mai Trọng Nghĩa

Tóm tắt

Hệ số chiều dài tính toán có ảnh hưởng lớn đến tải trọng giới hạn của cột khung nhà nhiều tầng. Bài viết trình bày cơ sở lý thuyết và công thức để tính toán hệ số chiều dài tính toán trong một số tiêu chuẩn từ đó áp dụng vào ví dụ tính toán để đưa ra các nhận xét.

Từ khóa: chiều dài tính toán, ổn định cột khung

Abstract

The effective length factor has a large impact on the ultimate load of columns in multi-stories frames. In this paper, we present the theoretical foundation and formulae for the calculation of the effective length factor of columns in some design codes. We also present the calculation exams to induct some commentaries.

Key words: effective length factor, column stability in frame

1. Giới thiệu

Khi tính toán thiết kế cột khung nhà nhiều tầng, yếu tố hệ số chiều dài tính toán (K hoặc μ) ảnh hưởng rất lớn đến lực tới hạn mất ổn định (theo công thức ổn định của Euler là tỉ lệ nghịch với bình phương). Bài toán ổn định kinh điển của Euler chỉ xét những liên kết lý tưởng, không có thực trong công trình như bảng 1.

Trong thực tế, cột trong khung nhà nhiều tầng có thể không có liên kết lý tưởng mà ở hai đầu nút cột được liên kết với các cấu kiện khác (dầm hoặc cột khác). Vì vậy sơ đồ lý tưởng không còn đúng nữa và vì vậy cần phải thiết lập lại bài toán để tính toán chiều dài tính toán qui đổi về sơ đồ liên kết chuẩn (hai đầu khớp). Từ đó qui đổi được chiều dài tính toán của cột liên kết thực trong khung nhằm tăng độ chính xác của bài toán ổn định.

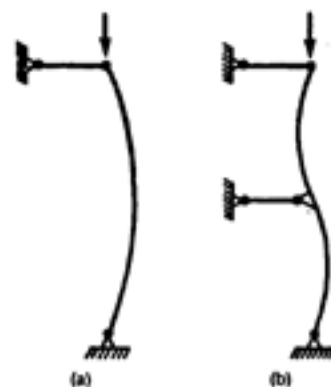
Trong các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép, các khung có thể được phân chia thành các khung giằng hoặc các khung không giằng. Một cột có thể được xem là giằng theo một hướng nhất định khi tính ổn định của kết cấu nói chung được cho bởi các vách, thanh giằng hoặc các thanh chống được thiết kế để chịu tất cả các lực ngang theo hướng đó. Một cột không được giằng hoàn toàn theo một mặt phẳng nhất định khi sức chịu các tải trọng ngang xuất phát từ sự uốn các cột. Trong thực tế không có khung giằng hoàn toàn và không có ranh giới rõ ràng tồn tại giữa các khung giằng và không giằng. Bảng 2 mô tả khái niệm cột trong khung giằng và không giằng.

2. Hệ số chiều dài tính toán dựa trên lời giải lý thuyết ổn định

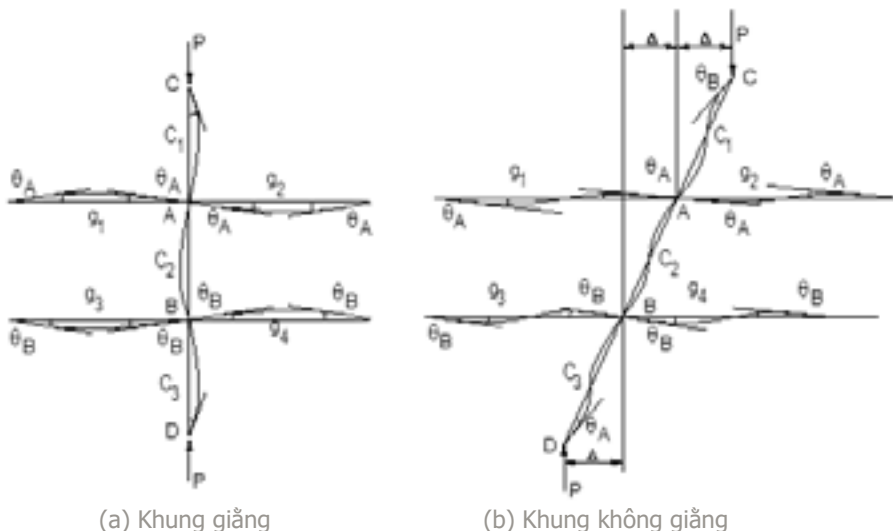
Trong các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép, sự tác động qua lại giữa cấu kiện chịu nén với cấu kiện lân cận hoặc một bộ phận của kết cấu được mô hình như hình dưới

Phương pháp gần đúng này dựa vào những giả thiết sau:

1. Tất cả dầm và cột là hoàn toàn đàn hồi.



Hình 1. Chiều dài tính toán của cột trong khung (khác với sơ đồ lý tưởng).



Hình 2. Các mô hình cho hệ số K của cột khung.

ThS. Nguyễn Thanh Tùng
ThS. Mai Trọng Nghĩa
Bộ môn kết cấu Thép – Gỗ
Khoa Xây dựng
ĐT: 0912634901
Email: nguyenthantungb@gmail.com

Ngày nhận bài: 25/5/2019
Ngày sửa bài: 23/5/2019
Ngày duyệt đăng: 9/3/2022

Bảng 1. Hệ số chiều dài tính toán của cột có liên kết lý tưởng

Cách liên kết và dạng tải trọng								
Hệ số K theo lý thuyết	1,0	0,7	0,5	2,0	1,0	2,0	0,725	1,12

Bảng 2. Giới hạn của chiều dài tính toán cột trong khung giằng và không giằng

	Ngàm tại chân	Khớp tại chân
Khung giằng	 0.5 ≤ K ≤ 0.7	 0.7 ≤ K ≤ 1.0
Khung không giằng	 1.0 ≤ K ≤ 2.0	 2.0 ≤ K ≤ ∞

2. Tất cả các cấu kiện có mặt cắt ngang không đổi.

3. Với khung giằng, góc xoay các điểm đối diện của liên kết dầm là bằng nhau về độ lớn, gây ra sự uốn cong 2 chiều. Kiểu biến dạng này chỉ xảy ra cho những khung chữ nhật tuần hoàn vô hạn với những cột, dầm và liên kết như nhau.

4. Với khung không giằng, góc xoay các điểm đối diện của liên kết dầm là bằng nhau về độ lớn, gây ra sự uốn cong 2 chiều.

5. Tham số độ cứng $L / \sqrt{P / EI}$ là như nhau cho tất cả các cột.

6. Mômen-góc xoay của tất cả các liên kết dầm-cột là như nhau.

7. Tất cả các cột đồng thời uốn dọc.

8. Lực dọc trong dầm là không đáng kể.

Độ cứng đàn hồi của các nút A và B được cho bởi

$$G_A = \frac{\sum (E_c I_c / L_c)_A}{\sum (E_g I_g / L_g)_A} \quad (1)$$

$$G_B = \frac{\sum (E_c I_c / L_c)_B}{\sum (E_g I_g / L_g)_B} \quad (2)$$

Trong đó, dấu tổng có nghĩa là độ cứng của tất cả các phần tử nối với điểm nằm trên mặt phẳng mất ổn định của cột đang được xét. I_c là mômen quán tính, L_c là chiều dài giữa gối tựa của cột. I_g là mômen quán tính, L_g là chiều dài giữa các gối tựa dầm hoặc các cấu kiện tựa khác. I_c và I_g được lấy quanh trục vuông góc với mặt phẳng bị mất ổn định đang xét.

Galambos, 1988 đã giải bài toán này và đưa ra phương trình dưới đây để xác định chiều dài tính toán của cột trong khung.

Khung không giằng:

$$\frac{G_A G_B (\pi / K)^2 - 36}{6(G_A + G_B)} = \frac{\pi}{K} \cot\left(\frac{\pi}{K}\right) \quad (3)$$

Khung giằng:

$$\frac{G_A G_B}{4} \left(\frac{\pi}{K}\right)^2 + \left(\frac{G_A + G_B}{2}\right) \left[1 - \frac{\pi}{K} \cot\left(\frac{\pi}{K}\right)\right] + 2 \frac{\tan(\pi / 2K)}{\pi / K} - 1 = 0 \quad (4)$$

3. Hệ số chiều dài tính toán theo các tiêu chuẩn

Vì phương trình (3) và (4) là phương trình siêu việt, do đó tìm nghiệm của nó trong thực hành là khó khăn nên các tiêu chuẩn đưa ra hoặc là phương pháp đồ thị hoặc công thức xấp xỉ nghiệm gần đúng như được trình bày ở dưới đây.

3.1 Tiêu chuẩn AISC

Tiêu chuẩn AISC dựa vào (3) và (4) để đưa ra đồ thị giúp cho việc tra cứu thuận tiện trong thực hành. Tuy nhiên điều này dẫn tới khó khăn cho lập bảng tính tự động.

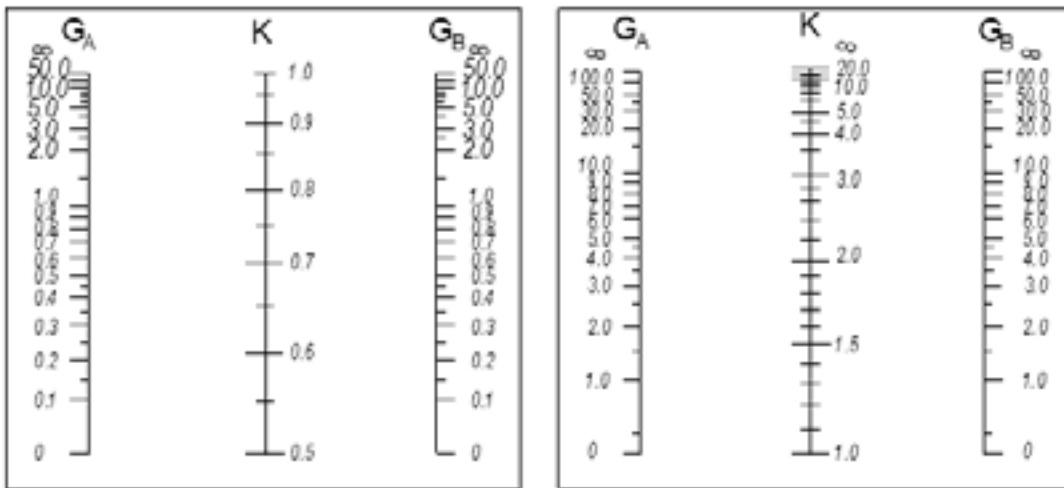
Trong đó G_A, G_B là tỉ số độ cứng tương đối giữa cột và dầm ở đầu A và B như hình 2 và được lấy theo (1) và (2).

3.2 Tiêu chuẩn EC 3

a) Khung không giằng

Khung không giằng được định nghĩa là khung có chuyển vị ngang đáng kể; hệ số chiều dài tính toán K, sẽ lớn hơn 1 và tiến tới vô cùng nếu như các dầm ngang rất mềm. Hệ số chiều dài tính toán của cột trong khung không giằng lấy theo

$$K = \sqrt{\frac{1 - 0.2(\eta_b + \eta_t) - 0.12\eta_b\eta_t}{1 - 0.8(\eta_b + \eta_t) + 0.6\eta_b\eta_t}} \quad (5)$$



(a) Khung giằng

(b) Khung không giằng

Hình 3. Biểu đồ xác định chiều dài tính toán của cột trong khung

b) Khung giằng

Khung giằng được định nghĩa là khung có chuyển vị ngang nhỏ. Hệ số chiều dài tính toán tính theo công thức sau

$$K = \frac{1 + 0.145(\eta_b + \eta_t) - 0.265\eta_b\eta_t}{2 - 0.364(\eta_b + \eta_t) - 0.247\eta_b\eta_t} \quad (6)$$

Trong đó

Hai hệ số đặc trưng cho liên kết hai đầu cột là η_t và η_b được tính bởi công thức

$$\eta_t = K_C / (K_C + \Sigma K_{b,t}) \quad (7)$$

$$\eta_b = K_C / (K_C + \Sigma K_{b,b}) \quad (8)$$

K_C là độ cứng của cột = I_C/L

ΣK_b là tổng độ cứng hữu hiệu của dầm tại nút khung phía dưới (b) và phía trên (t)

3.3 Tiêu chuẩn TCVN 5575:2012

a) Khung không giằng

Loại khung này trong tiêu chuẩn định nghĩa là loại khung có chuyển vị ngang khi chịu tải (tại các nút khung không có liên kết chống chuyển vị ngang).

Khi $n \leq 0,2$

$$\frac{(p+0,68)\sqrt{n+0,22}}{\sqrt{0,68p(p+0,9)(n+0,08)+0,1n}} \quad (9)$$

Khi $n > 0,2$

$$\frac{(p+0,63)\sqrt{n+0,28}}{\sqrt{pn(p+0,9)+0,1n}} \quad (10)$$

Bảng 3. Các tham số của khung

Tầng trên cùng	
Một nhịp	Nhiều nhịp
$n = \frac{I_b l_c}{2I_c}$	$n = \frac{k(n_1 + n_2)}{k + 1}$
$p = \frac{I_t l_c}{2I_c}$	$p = \frac{k(p_1 + p_2)}{k + 1}$

Các tầng giữa	
Một nhịp	Nhiều nhịp
$n = \frac{I_b l_c}{2I_c}$	$n = \frac{k(n_1 + n_2)}{k + 1}$
$p = \frac{I_t l_c}{2I_c}$	$p = \frac{k(p_1 + p_2)}{k + 1}$
Tầng dưới cùng	
Một nhịp	Nhiều nhịp
$n = \frac{I_b l_c}{2I_c}$	$n = \frac{k(n_1 + n_2)}{k + 1}$
$p = \frac{I_t l_c}{I_c}$	$p = \frac{2k(p_1 + p_2)}{k + 1}$

b) Khung giằng

Với khung không có chuyển vị ngang khi chịu tải (các nút khung có liên kết chống chuyển vị ngang) và tải trọng tại các nút như nhau:

$$\mu = \sqrt{\frac{1+0,46(p+n)+0,18pn}{1+0,93(p+n)+0,71pn}} \quad (11)$$

Trong công thức p và n lấy như sau:

– Với khung 1 tầng: $p = I_t l_c / I_c$; $n = I_b l_c / I_c$;

– Với khung nhiều tầng: + Đối với tầng trên cùng:

$$p = 0,5(p_1 + p_2); n = n_1 + n_2; \quad (12)$$

+ Đối với các tầng giữa:

$$p = 0,5(p_1 + p_2); n = 0,5(n_1 + n_2); \quad (13)$$

+ Đối với tầng dưới cùng:

$$p = p_1 + p_2; n = 0,5(n_1 + n_2). \quad (14)$$

trong đó p_1, p_2, n_1, n_2 lấy như sau:

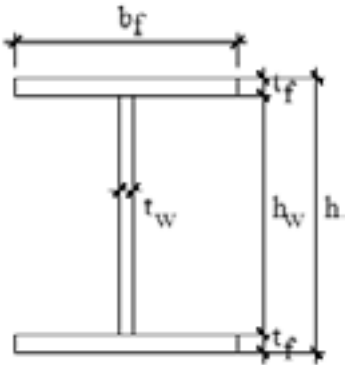
$$n_1 = I_{b1} l_c / I_1 l_c; n_2 = I_{b2} l_c / I_2 l_c; p_1 = I_{t1} l_c / I_1 l_c; p_2 = I_{t2} l_c / I_2 l_c;$$

k – số nhịp; l, l_1, l_2 – các nhịp khung;

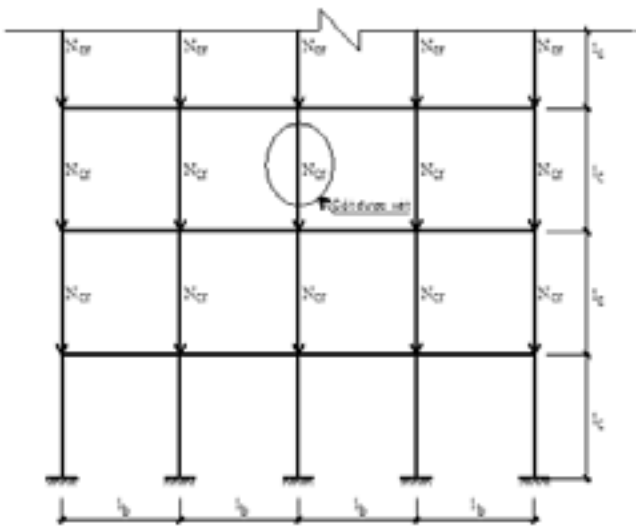
4. So sánh

Để có thể so sánh các công thức, xét bài toán tính toán

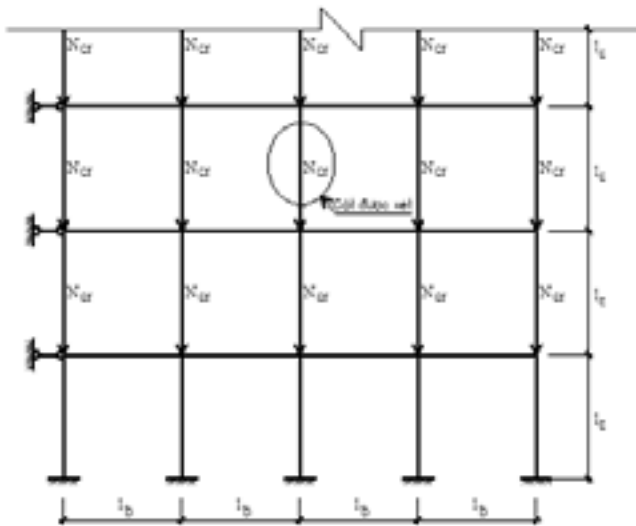
hệ số chiều dài tính toán của khung thép với các tham số như ở



Hình 4. Các kích thước tiết diện khung



Hình 5. Sơ đồ tính toán khung không giằng



Hình 6. Sơ đồ tính toán khung giằng

Bảng 4. Các tham số kích thước tiết diện khung

Loại	L(m)	bf	tf	h	tw	Ix-x
Dầm trên trái	7	20	1	60	0.8	47820.8
Dầm trên phải	7	20	1	60	0.8	47820.8
Dầm dưới trái	7	20	1	60	0.8	47820.8
Dầm dưới phải	7	20	1	60	0.8	47820.8
Cột trên	3.6	20	1	40	0.8	18871.5
Cột trung gian	3.6	20	1	40	0.8	18871.5
Cột dưới	3.6	20	1	40	0.8	18871.5

Kết quả tính toán hệ số chiều dài tính toán của khung cho ở bảng sau

Bảng 5. Chiều dài tính toán khung không giằng theo các tiêu chuẩn

Tiêu chuẩn	AISC (lý thuyết)	EC 3	TCVN
Hệ số chiều dài tính toán	1.247	1.270	1.150

Kết quả tính toán hệ số chiều dài tính toán của khung cho ở bảng sau

Bảng 6. Chiều dài tính toán khung giằng theo các tiêu chuẩn

Tiêu chuẩn	AISC (lý thuyết)	EC 3	TCVN
Hệ số chiều dài tính toán	0.740	0.657	0.736

5. Kết luận

Các tiêu chuẩn đều phân ra làm hai loại: khung giằng, khung không giằng để tính toán chiều dài tính toán mặc dù tên gọi có thể là khác nhau. Hệ số chiều dài tính toán trong các tiêu chuẩn có xét tới độ cứng của các liên kết dầm và cột xung quanh.

Chiều dài tính toán theo các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép là tương đối sát nhau và có cùng một cơ sở lý thuyết thống nhất, tuy nhiên hình thức có khác nhau do dựa vào các phương trình xấp xỉ nghiệm chính xác khác nhau nghiệm của phương trình ổn định. Tiêu chuẩn Việt Nam đưa ra nhiều công thức nhưng các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép khác chỉ đưa ra một công thức dùng được cho mọi trường hợp.

Tiêu chuẩn AISC cho dưới dạng đồ thị đưa ra kết quả sát với lý thuyết về ổn định nhất nhưng không thuận tiện cho việc lập công thức tự động tính toán cho bảng tính. Tiêu chuẩn TCVN 5575:2012 và EC 3 đưa ra công thức thuận tiện cho tính toán trong bảng tính./.

Tài liệu tham khảo

1. Kết cấu thép – Tiêu chuẩn thiết kế. TCVN 5575:2012. Nhà xuất bản Xây dựng, 2012.
2. Ổn định đàn hồi. S.P. Timoshenko, J.M. Gere. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 1976.
3. AISC ASD Manual 9th Edition. American Institute of Steel Construction, 2003.
4. Steel Structure: Behaviour and LRFD. Vinnakota. The McGraw-Hill Company, 2005.
5. Manual for the design of steelwork building structures to EC3. The Institution of Structural Engineers The Institution of Civil Engineers. Published by SETO, 11 Upper Belgrave Street, London SW1X 8BH. 2000.