

## **ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỦA CỘT LIÊN HỢP THÉP - BÊ TÔNG TIẾT DIỆN TRÒN NHỒI BÊ TÔNG CÓ THÉP I Ở TRONG**

**Nguyễn Thị Quỳnh, Phan Xuân Thục**

*Khoa Xây dựng, Trường Đại học Vinh*

Ngày nhận bài 4/7/2019, ngày nhận đăng 8/9/2019

**Tóm tắt:** Cột liên hợp thép - bê tông tiết diện tròn có tăng cường thép hình chữ I ở chính giữa là kết cấu chịu lực chính trong kết cấu khung một số công trình xây dựng. Việc đánh giá khả năng chịu lực của cột có vai trò quyết định trong việc thiết kế. Tuy nhiên, cho đến nay chưa có một nghiên cứu đầy đủ về loại cột liên hợp tiết diện tròn rỗng, nhồi bê tông có tăng cường thép hình I ở trong. Bài báo này trình bày một quy trình tính toán cột liên hợp tiết diện tròn rỗng có tăng cường thép hình chữ I. Để minh họa cho quy trình tính toán, bài báo trình bày một khảo sát số đánh giá khả năng chịu lực của tiết diện cột liên hợp. Đồng thời, bài báo khảo sát sự thay đổi một số thông số của vật liệu để so sánh khả năng chịu lực của cột liên hợp, từ đó làm căn cứ cho việc thiết kế, lựa chọn và bố trí vật liệu một cách phù hợp đối với tiết diện cột liên hợp.

**Từ khóa:** Kết cấu liên hợp; cột liên hợp; cấu trúc bê tông và cốt thép.

### **1. Mở đầu**

Cột liên hợp thép - bê tông là một chủ đề quan trọng đặc biệt là đối với kết cấu nhà cao tầng. Cho đến nay, ở Việt Nam, khi tính toán cột liên hợp thép - bê tông người ta thường sử dụng hai phương pháp sau đây để tính toán. Phương pháp thứ nhất là phương pháp tổng quát. Khi tính toán kết cấu theo phương pháp này, người ta kể đến ảnh hưởng của sự làm việc phi tuyến và sự chế tạo không chính xác. Phương pháp này có thể áp dụng cho tiết diện không đối xứng và cột có tiết diện thay đổi. Phương pháp thứ hai là cơ sở để thành lập tiêu chuẩn thiết kế của một số nước châu Âu - Eurocode. Phương pháp này sử dụng các đường cong uốn dọc của cột thép có kể đến sự chế tạo không chính xác được thống nhất giữa nhiều nước nên được gọi là đường cong uốn dọc châu Âu. Chúng được giới hạn cho cột liên hợp có tiết diện không đổi và có hai trục đối xứng.

Tính toán kết cấu liên hợp thép - bê tông nói chung và cột liên hợp thép - bê tông nói riêng là vấn đề được nhiều nhà khoa học trên thế giới quan tâm nghiên cứu và tìm các phương pháp tính toán. Ở Việt Nam, năm 2007, tác giả Phạm Văn Hội đã trình bày quy trình tính toán các dạng cấu kiện liên hợp thép - bê tông tiết diện chữ nhật bọc bê tông cốt thép hoàn toàn [4]. Tác giả Trần Thị Thu Hiền đã nghiên cứu, so sánh khả năng chịu lực của cột liên hợp thép - bê tông tiết diện chữ nhật bọc bê tông hoàn toàn lõi thép I, tiết diện chữ nhật nhồi bê tông, tiết diện tròn nhồi bê tông [5]. Các tác giả Nguyễn Xuân Huy, Nguyễn Hoàng Quân đã nghiên cứu và trình bày chi tiết về sức kháng của cột liên hợp chịu nén đúng tâm và cột liên hợp chịu nén uốn đồng thời, vị trí trục trung hòa của một số dạng tiết diện cột liên hợp [6].

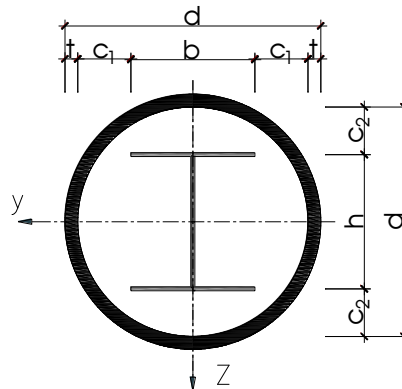
Trên thế giới, tác giả Wakabayashi và cộng sự đã đề xuất biểu thức tính toán cột liên hợp, trong đó độ bền của bê tông và cốt thép được xác định một cách độc lập và xen

kẽ lẫn nhau [1]. Năm 1990, tác giả Gilbert công bố nghiên cứu tính toán cột liên hợp thép - bê tông với tiết diện đối xứng thường áp dụng trong thực tế, một biểu đồ tương tác giữa lực tác dụng và mômen đã được đề xuất [2]. Tác giả Magnar Berge đã đề xuất phương pháp tính cột thép liên hợp bằng biểu đồ tương tác cho tiết diện chữ nhật [3].

Ở Việt Nam, việc tính toán cột thép liên hợp thép - bê tông vẫn đang sử dụng tiêu chuẩn Eurocode 1994-1-4 để thiết kế. Tuy đã có nhiều nghiên cứu của các nhà khoa học trong và ngoài nước về kết cấu liên hợp thép - bê tông nhưng chưa có quy trình tính toán cụ thể cho cột tròn nhồi bê tông có tăng cường cốt thép I ở trong và chưa có một nghiên cứu nào nhằm mục đích so sánh khả năng chịu lực của hai dạng tiết diện mà báo cáo đề cập ở trên. Vì vậy, trong bài báo này, nhóm tác giả trình bày phương pháp tính toán đối với cột liên hợp tròn nhồi bê tông có thép I ở trong trong theo quan điểm đường cong uốn dọc của cột thép có kể đến sự chế tạo không chính xác, đồng thời khảo sát khả năng chịu lực của cột liên hợp tròn rỗng nhồi bê tông có thép I ở trong khi thay đổi các thông số tính toán.

**2. Quy trình tính toán cột liên hợp tiết diện tròn nhồi bê tông có tăng cường thép I ở trong**

Cấu tạo và các ký hiệu thông số tính toán của tiết diện cột liên hợp mà bài báo nghiên cứu được trình bày ở Hình 1.



**Hình 1:** Cột liên hợp tròn nhồi bê tông có tăng cường cốt thép chữ I ở giữa

Để kiểm tra điều kiện an toàn của cột liên hợp, cần kiểm tra ổn định tổng thể theo hai phương uốn và kiểm tra ổn định cục bộ của thép hình I tăng cường ở giữa tiết diện. Các điều kiện kiểm tra này đã được trình bày cụ thể trong [1].

**2.1. Xác định khả năng chịu lực của cột**

Khả năng chịu lực của cột liên hợp được xác định dựa trên những giả thiết sau đây:

- Tương tác qua lại giữa thép kết cấu và bê tông được coi là hoàn toàn và chúng cùng làm việc như một hệ thống nhất cho đến khi cột liên hợp bị phá hoại. Có nghĩa là coi ma sát và các chi tiết chốt neo đặt tại mặt tiếp xúc giữa thép kết cấu và bê tông đủ để ngăn cản lực trượt tương đối giữa chúng.

- Mặt cắt ngang của cột liên hợp khi bị biến dạng được coi là phẳng, điều này cũng tương tự như tính toán đối với các cấu kiện thép kết cấu và bê tông cốt thép.

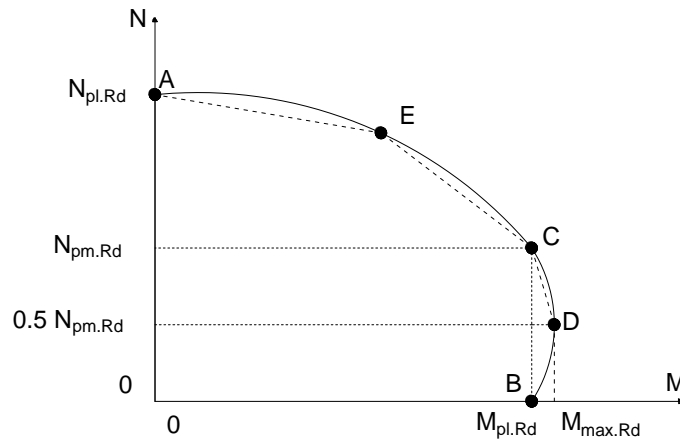
- Các điều kiện về ổn định cục bộ của các bản thép đối với thép kết cấu được coi là thỏa mãn khi tuân thủ các yêu cầu về cấu tạo.

Để đơn giản trong thiết kế, khả năng chịu nén uốn một phương của cột liên hợp được xác định dựa theo đường cong khả năng chịu lực, được xây dựng trên cơ sở tổng hợp khả năng chịu lực của 3 phần liên hợp: thép kết cấu, bê tông và cốt thép. Đối với từng phần và tùy theo từng trường hợp thì hệ số an toàn sử dụng là khác nhau. Trong [2] đã mô tả cách thiết lập đường cong xác định khả năng chịu lực của cột liên hợp chịu nén và mô men uốn theo một phương.

Trong [2] đã mô tả cách thiết lập đường cong tương tác và công thức tính toán cụ thể cho tiết diện cột bọc bê tông hoàn toàn. Tuy nhiên, đối với các dạng tiết diện khác nhau thì việc tính toán cũng sẽ có sự khác nhau. Bài báo sẽ trình bày việc thiết lập đường cong tương tác với tiết diện tròn nhồi bê tông có tăng cường thép I một cách cụ thể nhất làm cơ sở tính toán cho các thiết kế liên quan đến dạng tiết diện cột này.

## 2.2. Đường cong tương tác

Cơ sở để lập biểu đồ tương tác dựa trên 5 điểm tìm được A, B, C và D và được thể hiện như Hình 2. Các ký hiệu trong công thức tính toán tuân theo bảng ký hiệu trong [1].

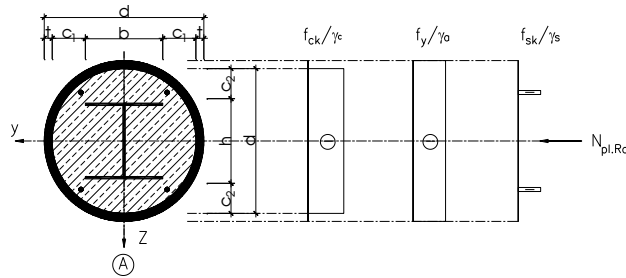


**Hình 2:** Đường cong tương tác lực nén và mômen uốn

Điểm A và B được xác định tương ứng với 2 trường hợp riêng biệt khi tiết diện cột chỉ chịu lực nén dọc trục hoặc chịu mô men uốn thuần túy. Điểm A có khả năng chịu nén  $N_{pl.Rd}$  và điểm B có khả năng chịu uốn  $M_{pl.Rd}$ . Điểm C được xác định có cùng khả năng chịu mômen uốn với điểm B nhưng có khả năng chịu nén của riêng phần bê tông bao bọc  $N_{pm.Rd}$ . Điểm D có khả năng chịu mômen uốn lớn nhất, được xác định từ tổng hợp của 3 phần riêng rẽ (thép kết cấu, bê tông và cốt thép) và khả năng chịu nén bằng  $0.5N_{pm.Rd}$ . Điểm E nằm trung gian giữa điểm A và C, khi tính nên chọn vị trí điểm E nằm gần giữa điểm A và điểm C. Để dễ tính toán, ta chọn trường hợp trục trung hòa nằm sát biên trong của thép ống.

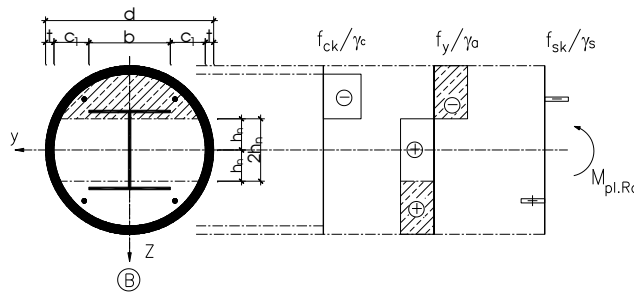
- **Điểm A: Khả năng chịu nén:**  $N_A = N_{pl.Rd}$ ;  $M_A = 0$  (1)

Với: 
$$N_{pl.Rd} = A_a \times \frac{f_y}{\gamma_{Ma}} + A_c \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} + A_s \frac{f_{sk}}{\gamma_s}$$
 (2)



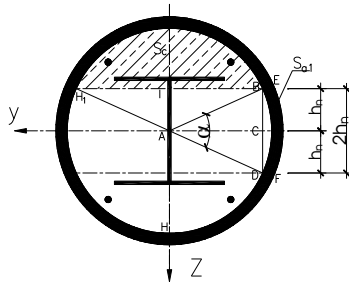
**Hình 3:** Biểu đồ phân bố ứng suất ứng với điểm A

- **Điểm B:** Khả năng chịu uốn:  $N_B = 0$ ;  $M_B = M_{pl.Rd}$  (3)



**Hình 4:** Biểu đồ phân bố ứng suất ứng với điểm B

Cần phải tính toán  $h_n$  (khoảng cách từ trọng tâm thép cán đến trục trung hòa dẹt của tiết diện). Các giả thiết vị trí trục trung hòa tham khảo trong [3].



**Hình 5:** Tính toán chiều cao  $h_n$

\* Giả thiết  $h_n \leq \frac{h}{2} - t_f$  Trục trung hòa đi qua bản bụng của thép hình.

$$h_n = \frac{N_{pm.Rd} - A_{sm} \cdot (2 \cdot f_{sd} - a_c \cdot f_{cd})}{2 \cdot d \cdot a_c \cdot f_{cd} + 2 \cdot (t_w + 2 \cdot t) \cdot (2 \cdot f_{yd} - a_c \cdot f_{cd})} \quad (4)$$

\* Giả thiết  $\frac{h}{2} - t_f \leq h_n \leq \frac{h}{2}$ : Trục trung hòa đi qua bản cánh của thép hình

$$h_n = \frac{N_{pm.Rd} - A_{sm} \cdot (2 \cdot f_{sd} - a_c \cdot f_{cd}) + (b - t_w) \cdot (h - 2 \cdot t_f) \cdot (2 \cdot f_{yd} - a_c \cdot f_{cd})}{2 \cdot d \cdot a_c \cdot f_{cd} + 2 \cdot (b + 2 \cdot t) \cdot (2 \cdot f_{yd} - a_c \cdot f_{cd})} \quad (5)$$

\* Giả thiết  $\frac{h}{2} \leq h_n \leq \frac{d}{2}$ : Trục trung hòa không đi qua thép hình.

$$h_n = \frac{N_{pm.Rd} - A_{sn} \cdot (2 \cdot f_{sd} - a_c \cdot f_{cd}) + A_{a1} \cdot (2 \cdot f_{yd} - a_c \cdot f_{cd})}{2 \cdot d \cdot a_c \cdot f_{cd} + 4 \cdot t \cdot (2 \cdot f_{yd} - a_c \cdot f_{cd})} \quad (6)$$

$$M_{n.Rd} = W_{pan} \times \frac{f_y}{\gamma_y} + W_{psn} \times \frac{f_s}{\gamma_s} + W_{pcn} \times \frac{f_{ck}}{2\gamma_c} \quad (7)$$

Trong đó  $W_{pan}$ ,  $W_{psn}$ ,  $W_{pcn}$  lần lượt là mô men kháng uốn của thép kết cấu, cốt thép tròn và bê tông trong phần tiết diện  $2h_n$  đối với trục chính.

Xác định  $W_{psn}$  và  $W_{pcn}$ :

\* Xác định  $W_{pan}$  (tính gần đúng):

Mômen quán tính của phần thép ống và thép kết cấu trong khoảng giới hạn  $2h_n$  là:

$$J_{ypan} = 2 \frac{t \times (2h_n)^3}{12} + \frac{t_w \times (2h_n)^3}{12} \quad (8)$$

$$\Rightarrow W_{pan} = \frac{J_{ypan}}{h_n} = \frac{2 \frac{t \times (2h_n)^3}{12} + \frac{t_w \times (2h_n)^3}{12}}{h_n} = \frac{2}{3} (2t + t_w) \times h_n^2 \quad (9)$$

\* Xác định  $W_{pcn}$ :  $W_{pcn} = \frac{I_{ypcn}}{z_{max}} \quad (10)$

Trong đó:  $I_{ypcn}$  là mômen quán tính của bê tông trong phần giới hạn  $2h_n$ .

Ta có:  $J_{ypcn} = 2 \int_0^{h_n} z^2 \cdot dF$ ; trong đó:  $z = r \cdot \sin \varphi$ ;  $d_F = b_y \cdot d_y$ ;  $b_y = 2r \cdot \cos \varphi$ ;

$$d_y = r \cdot d_\varphi \cdot \cos \varphi$$

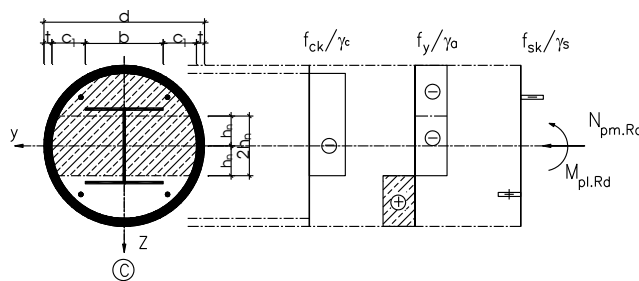
$$J_{ypcn} = 2 \int_0^{h_n} 2r^4 \sin^2 \varphi \times \cos^2 \varphi \times d\varphi = r^4 \int_0^{\frac{\alpha}{2}} \frac{1 - \cos 4\varphi}{2} \times d\varphi = r^4 \left( \frac{\alpha}{4} - \frac{\sin 4\alpha}{8} \right) \quad (11)$$

Lấy gần đúng:  $J_{ypcn} = \frac{r^4 \times \alpha}{4} = \frac{h_n^4 \times \alpha}{\sin^4 \alpha}$  (với  $r = \frac{h_n}{\sin \alpha}$ )  $\Rightarrow W_{pcn} = \frac{I_{ypcn}}{y_{max}} = \frac{h_n^3 \times \alpha}{\sin \alpha}$

\*  $W_{psn} = 0$  vì không có cốt thép trong phần tiết diện  $2h_n$

$$\Rightarrow M_{n.Rd} = W_{pan} \times \frac{f_{yd}}{\gamma_a} + \frac{1}{2} W_{pcn} \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (12)$$

- **Điểm C: Có cùng khả năng chịu uốn như B nhưng có lực nén**



Hình 6: Biểu đồ phân bố ứng suất ứng với điểm C

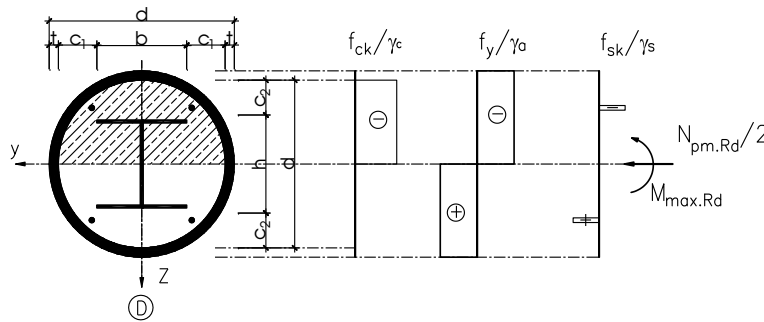
$$N_c = N_{pm.Rd} = A_c \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c}; M_c = M_{pm.Rd} \quad (13)$$

**- Điểm D: Mômen uốn giới hạn lớn nhất**

$$N_D = \frac{1}{2} \times N_{pm.Rd} = \frac{1}{2} \times A_c \times f_{cd} = \frac{1}{2} \times A_c \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (14)$$

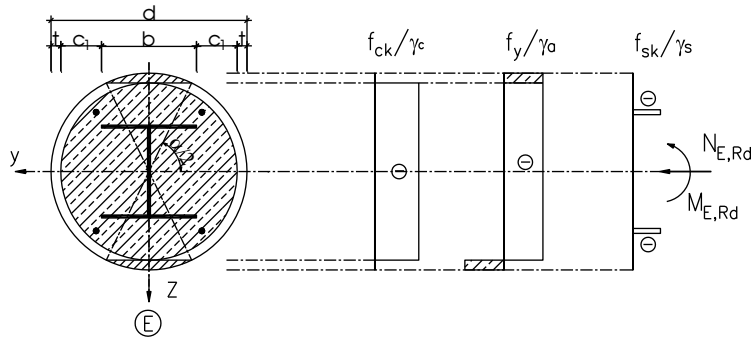
$$M_D = W_{pa} \times \frac{f_y}{\gamma_a} + W_{ps} \times \frac{f_s}{\gamma_s} + \frac{1}{2} \times W_{pc} \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (15)$$

Trong đó:  $W_{pa}$ ,  $W_{ps}$ ,  $W_{pc}$  lần lượt là các môđun chống uốn dẻo lõi thép, cột thép thanh và bê tông tương ứng với điểm đang xét.



**Hình 7: Biểu đồ phân bố ứng suất ứng với điểm D**

**- Điểm E: Có khả năng chịu uốn và chịu nén.** Vị trí trục trung hòa trong trường hợp này đi qua mép biên trong của thép ống, tham khảo trong [3].



**Hình 8: Biểu đồ phân bố ứng suất ứng với điểm E**

$$N_E = A_c f_{cd} + \left[ A_a - 2 \left( \frac{\pi - \alpha}{2} R^2 - r \sqrt{R^2 - r^2} \right) \right] f_{yd} + A_s f_{sd} \quad (16)$$

Với:  $\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{r}{R}$

b. Kiểm tra khả năng chịu lực:  $M_{Rd} = 0.9 \times \mu \times M_{pl.Rd}$  (17)

$$\mu = \mu_d - \frac{\mu_k \times (\chi_d - \chi_n)}{\chi - \chi_n}; \chi_n = \chi (1 - r)/4; \chi_d = \frac{N_{Sd}}{N_{pl.Rd}}; \chi_E \text{ và } \chi_c \quad (18)$$

### 3. Khảo sát khả năng chịu lực của cột liên hợp tròn nhồi bê tông có thép I ở trong khi thay đổi các thông số tính toán

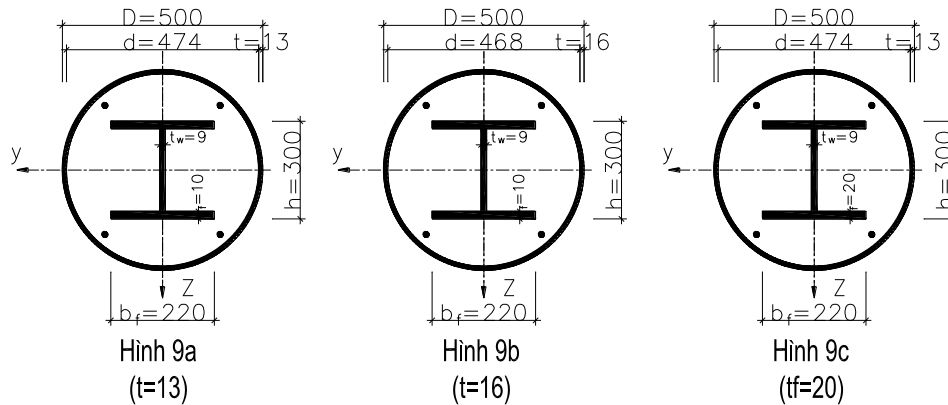
#### 3.1. Số liệu khảo sát

- Lực tác dụng cho như sau:  $N_{sd} = 3150kN$ ,  $M_{sd} = 126kNm$  (Tương đương với tải trọng của nhà 10 tầng, chiều cao tầng 4m, lưới cột 6x5m, tĩnh tải 6.5kN/m<sup>2</sup>, hoạt tải 4.5kN/m<sup>2</sup>)

- Vật liệu sử dụng: Thép hình sử dụng là S235 có:  $f_y = 235.103(kN/m^2)$ ;  $E_a = 210.106(kN/m^2)$ ; Bê tông mác C20/25 có  $f_{ck} = 20.10^3(kN/m^2)$ ;  $E_{cm} = 29.10^6(kN/m^2)$ ; cốt thép tròn nhóm AII có  $f_{sk} = 295.10^3(kN/m^2)$ .

#### 3.2. Lựa chọn tiết diện

Để đánh giá khả năng chịu lực của cột liên hợp tiết diện tròn rỗng nhồi bê tông có thép I ở trong, tác giả thực hiện tính toán và vẽ biểu đồ tương tác các tiết diện được trình bày trên Hình 9a, đồng thời thay đổi các thông số về kích thước thép để khảo sát mức độ hiệu quả của việc điều chỉnh lượng thép ống hoặc thép hình I (Hình 9b, 9c). Thông số các tiết diện cột đã chọn được thể hiện trong Bảng 1.



Hình 9: Các tiết diện cột tính toán

Bảng 1: Thông số các tiết diện cột đã chọn

Thông số	Cột tròn (H.9a)	Cột tròn tăng t (H.9b)	Cột tròn tăng $t_f$ (H.9c)
$A_{cot} (m^2)$	0.1963	0.1963	0.1963
$A_a (m^2)$	0.02681	0.03125	0.03085
$A_s (m^2)$	0.001963	0.001963	0.001963
$A_c (m^2)$	0.1675	0.1631	0.1635
$E_s (kN/m^2)$	$210.10^6$	$210.10^6$	$210.10^6$
$E_c (kN/m^2)$	$29.10^6$	$29.10^6$	$29.10^6$
$E_c/E_s =$	1.38E-04	1.38E-04	1.38E-04
Diện tích Bê tông quy đổi $A_c^{eq} (m^2)$	2.31E-05	2.25E-05	2.26E-05
Diện tích cột tương đương ( $m^2$ ) $A_{qd}$	2.88E-02	3.32E-02	3.28E-02

**3.3. Sự làm việc của cột liên hợp**

Để đánh giá sự làm việc của cột liên hợp, cần kiểm tra tiết diện cột với các điều kiện ổn định tổng thể, kiểm tra độ mảnh quy đổi, điều kiện bền, điều kiện ổn định theo cả phương chính và phương yếu. Các kết quả tính toán thể hiện trong Bảng 2, 3, 4, 5.

**Bảng 2: Kiểm tra tổng thể theo hai phương uốn**

Thông số		Điều kiện	Cột tròn	Cột tròn (thay t)	Cột tròn (thay tf)
Khả năng chịu nén của cột	$N_{pl.Rd}$		8037.26	9363	9363
Tỷ số phân phối cốt thép	$\delta$	$\delta = 0,2 \div 0,9$	0.695	0.714	0.714
Diện tích thép dọc	$A_s$	$A_s \geq 0,3\% A_c$ $A_s < 4\% A_c$	0.00196	0.00196	0.00196

⇒ Tiết diện cột đảm bảo điều kiện ổn định tổng thể.

**Bảng 3: Kiểm tra độ mảnh quy đổi**

Thông số		Điều kiện	Cột tròn	Cột tròn (thay t)	Cột tròn (thay tf)
Độ mảnh quy đổi theo phương chính	$\bar{\lambda}$	$< 0,8$	0.212	0.214	0.220
Độ mảnh quy đổi theo phương yếu	$\bar{\lambda}$	$< 0,8$	0.4215	0.223	0.238

⇒ Tiết diện cột đảm bảo điều kiện độ mảnh quy đổi theo cả phương chính và phương yếu.

**Bảng 4: Kiểm tra điều kiện bền**

Thông số	Cột tròn	Cột tròn (thay t)	Cột tròn (thay tf)
$N_{pl.Rd}$	8037.26	9363	9363
$N_{sd}$	3150	3150	3150

Lực dọc lớn nhất:  $N_{sd} = 3150 \text{ kN} < N_{pl.Rd} \Rightarrow$  Tiết diện cột đảm bảo điều kiện bền

**Bảng 5: Kiểm tra điều kiện ổn định**

Phương	Thông số	Điều kiện	Cột tròn	Cột tròn (thay t)	Cột tròn (thay tf)
Theo phương chính	$\bar{\lambda}$	$< 0,8$	0.212	0.214	0.220
	$\Phi$		0.525	0.524	0.526
	$\chi$	$\chi \leq 1$	0.996	0.997	0.996
	$\chi \cdot N_{pl.Rd}$	$N_{sd} \leq \chi \cdot N_{pl.Rd}$	8003	9335	9326



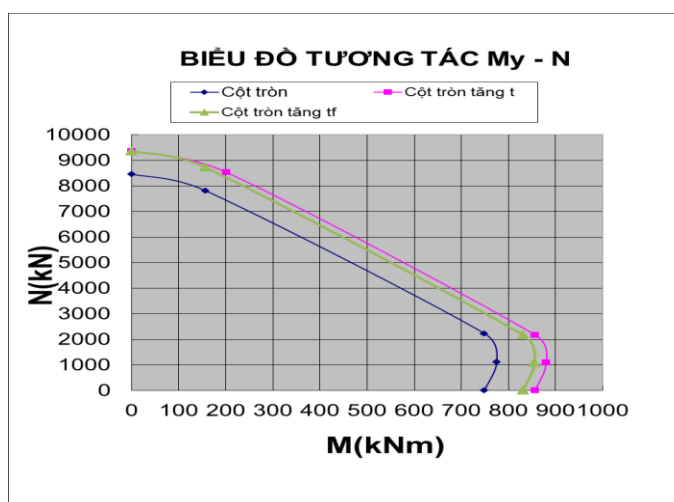
Phương	Thông số	Điều kiện	Cột tròn	Cột tròn (thay t)	Cột tròn (thay t <sub>f</sub> )
Theo phương yếu	$\bar{\lambda}$	<0,8	0.4215	0.223	0.238
	$\Phi$		0.649	0.527	0.532
	$\chi$	$\chi \leq 1$	0.881	0.995	0.992
	$\chi \cdot N_{pl.Rd}$	$N_{sd} \leq \chi \cdot N_{pl.Rd}$	7084	9316	9288

⇒ Cột đảm bảo điều kiện ổn định.

Để thiết lập đường cong tương tác cần kiểm tra khả năng chịu lực của cột đối với từng trục đối xứng. Kết quả tính toán thể hiện ở Bảng 6, 7 và thể hiện ở biểu đồ đường cong tương tác Hình 10, Hình 11.

**Bảng 6:** Khả năng chịu lực theo phương trục chính của cột

Điểm	Cột tròn		Cột tròn tăng t		Cột tròn tăng t <sub>f</sub>	
	M <sub>y</sub> (kNm)	N <sub>y</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	N <sub>y</sub> (kN)	M <sub>y</sub> (kNm)	N <sub>y</sub> (kN)
<b>A</b>	0	8462	0	9363	0	9363
<b>E</b>	156.56	7819	202	8527	157	8721
<b>C</b>	749.10	2234	857	2174	831	2174
<b>D</b>	774.80	1117	880	1087	855	1087
<b>B</b>	749.10	0	857	0	831	0

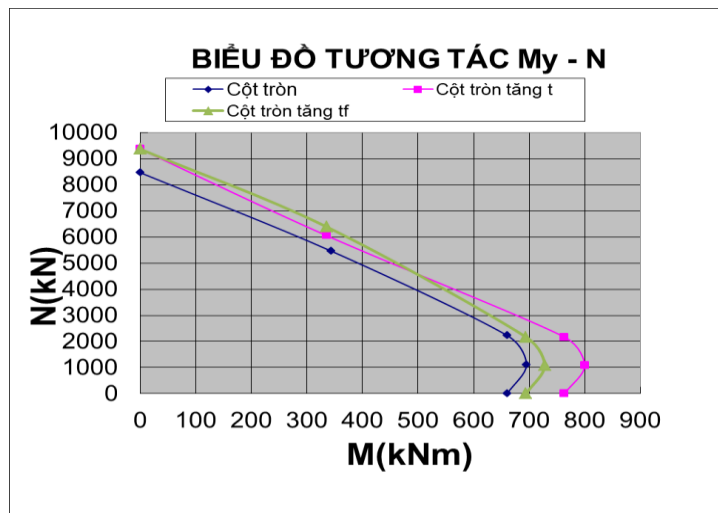


**Hình 10:** Biểu đồ tương tác của các tiết diện cột theo phương chịu lực chính

Khả năng chịu lực theo phương trục chính của cột được thể hiện ở Bảng 6 và biểu đồ tương tác ở Hình 10. Nhìn vào bảng số liệu và biểu đồ tương tác ta thấy các điểm E, C, D, B của đường cong tương tác của cột tròn tăng t nằm ngoài đường cong tương tác của cột tròn tăng t<sub>f</sub>. Điều này cho thấy khả năng chịu của cột tròn tăng t lớn hơn khả năng chịu của cột tròn tăng t<sub>f</sub> và chênh lệch khá lớn so với cột tròn ban đầu.

**Bảng 7:** Khả năng chịu lực của cột theo phương trục yếu (trục z)

Điểm	Cột tròn		Cột tròn tăng t		Cột tròn tăng t <sub>f</sub>	
	M <sub>z</sub> (kNm)	N <sub>z</sub> (kN)	M <sub>z</sub> (kNm)	N <sub>z</sub> (kN)	M <sub>z</sub> (kNm)	N <sub>z</sub> (kN)
A	0	8462	0	9363	0	9363
E	344	5456.59	335	6056	335	6392
C	660	2234.00	763	2174	694	2174
D	695	1117	800	1087	728	1087
B	660	0	763	0	694	0



**Hình 11:** Biểu đồ tương tác của các tiết diện cột theo phương trục yếu

- Khả năng chịu lực theo phương trục yếu của các tiết diện được thể hiện ở Bảng 7 và biểu đồ tương tác ở Hình 11. Trên biểu đồ tương tác, có thể thấy sự giao cắt giữa đường cong tương tác của cột tròn tăng t và cột tròn tăng t<sub>f</sub>. Tuy nhiên, các điểm C, D, B trong trường hợp cột tròn tăng t vẫn nằm ngoài đường cong tương tác của cột tròn tăng t<sub>f</sub>. Điều này cho thấy khả năng chịu lực của tiết diện cột tròn tăng t lớn hơn cột tròn tăng t<sub>f</sub>.

#### 4. Kết luận

Kết quả tính toán khả năng chịu lực của cột liên hợp khi thay đổi thông số thép vẽ được biểu đồ tương tác cho các tiết diện cột theo hai phương. Qua đó đánh giá được khả năng chịu lực, hiệu quả của bài toán thay đổi thông số thép đối với tiết diện cột liên hợp tròn rỗng, nhồi bê tông có thép hình I ở trong.

Việc lựa chọn các thông số cho tiết diện cột liên hợp một cách hợp lý là mục tiêu quan trọng đối với các kỹ sư thiết kế xây dựng. Đối với tiết diện cột liên hợp tròn rỗng nhồi bê tông có thép I ở trong, việc lựa chọn các thông số liên quan đến thép ống và thép hình rất quan trọng. Bằng việc thay đổi chiều dày thép ống và chiều dày bản cánh thép hình để có được các đánh giá cụ thể hơn về khả năng chịu lực của tiết diện, các kỹ sư có căn cứ lựa chọn dạng tiết diện phù hợp với yêu cầu của từng công trình, mục tiêu và khả năng đáp ứng vật liệu, công nghệ một cách phù hợp.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Wakabayashi, M., *A proposal for design formulas for composite columns and beam-columns*, Tokyo: Second International Colloquium on Stability, 1976.
- [2] Bradford, M. A. and Gilbert, R. I., “Time - dependent analysis and design of composite columns”, *Journal of Structural Engineering ASCE*, No. 2, 1990.
- [3] Magnar Berge, *Composite columns*, Master of Science in Civil Engineering, New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ, 1998.
- [4] Phạm Văn Hội, *Kết cấu liên hợp thép bê tông dùng trong nhà cao tầng*, Hà Nội: NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2007.
- [5] Trần Thị Thu Hiền, *So sánh sự làm việc của cột liên hợp bọc bê tông hoàn toàn lõi chữ I và cột nhồi bê tông tiết diện dạng vuông, tròn*, Hà Nội: Đại Học Xây dựng, Luận văn cao học khóa 2010 - 2012.
- [6] Nguyễn Xuân Huy và Nguyễn Hoàng Quân, *Tính toán kết cấu liên hợp Thép - Bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn Eurocode 4*, NXB Xây dựng, 2017.
- [7] European Committee for standardization, *Eurocode 4: EN 1994 - Design of composite steel and concrete structures: Part 1 - 1: General rules and rules for buildings*, 2004.

## SUMMARY

### ASSESSMENT OF THE STRENGTH CAPACITY OF COMPOSITE STEEL-CONCRETE CIRCULAR COLUMN WITH INNER I-SHAPED STEEL

A composite steel-concrete circular column with inner I-shaped steel is the main bearing structure in the frame structure of construction works. Assessment of the strength capacity of the column keeps a very important role in the design. However, there has not been a full investigation on the composite steel-concrete circular column with inner I-shaped steel so far. In this paper, a calculation process of this type of column has been performed. To illustrate the calculation process, a computational example has been carried out for assessing the bearing capacity of the composite column. Simultaneously, the effect of the variation of several material parameters on the strength capacity of the column is investigated. This result will help engineers choose the appropriate design in the composite steel-concrete column.

**Keyword:** Composite structures; composite column; composite steel and concrete structures.