SỰ LÀM VIỆC CỦA CỘT LIÊN HỢP THÉP – BÊ TÔNG CỐT CHỮ THẬP
THE FUNCTION OF STEEL - CONCRETE COMPOSITE COLUMN WITH CRUCIFORM-SHAPED OF STEEL SECTION

Doãn Minh Tiến

Viện Khoa học công nghệ xây dựng
Email: ks.doanminhtien@gmail.com, 0975295007

DOI: https://doi.org/10.59382/hnkh17-ibst.2025.ses2-30

TÓM TẮT: Kết cấu liên hợp thép - bê tông đã được sử dụng phổ biến ở các nước phát triển trên thế giới, còn tại Việt Nam kết cấu này cũng đang dần được đưa vào sử dụng trong các công trình nhà cao tầng. Cùng với sự phát triển nhanh chóng nhà cao tầng và các ưu điểm của kết cấu liên hợp so với kết cấu bê tông cốt thép thông thường thì trong thời gian sắp tới kết cấu liên hợp thép - bê tông sẽ được sử dụng rộng rãi. Trong hệ kết cấu liên hợp thép - bê tông, cột giữ vai trò hết sức quan trọng, nó chịu nén là chủ yếu, một số trường hợp có thể chịu uốn ở một hoặc hai phương. Cột liên hợp thép - bê tông có cốt chữ thập có thể giúp cột liên hợp chịu uốn cả hai phương để đảm bảo khả năng chịu lực, tăng không gian sử dụng và đáp ứng nhu cầu về kiến trúc cũng như lợi ích kinh tế.

TỪ KHÓA: Cột liên hợp thép - bê tông, tiết diện chữ thập, chịu uốn hai phương.

ABSTRACT: The steel-concrete composite structure has been widely used in developed countries around the world, and in Vietnam, this structure is gradually being implemented in high-rise buildings. Along with the rapid development of high-rise buildings and the advantages of the composite structure compared to conventional reinforced concrete structures, the steel-concrete composite structure will be extensively utilized in the near future. In the steel-concrete composite system, columns play a crucial role as they primarily withstand compression, while in some cases, they may also experience bending in one or two directions. The steel-concrete composite column with a cruciform core can enable the column to withstand bending in both directions, ensuring load-bearing capacity, increasing usable space, and fulfilling architectural requirements as well as economic benefits.

KEYWORDS: Steel-concrete composite column, cross-shaped section, cruciform core, bending, load-bearing capacity.

1. GIỚI THIỆU

Kết cấu liên hợp thép - bê tông đã được sử dụng phổ biến ở các nước phát triển trên thế giới, còn tại Việt Nam kết cấu này cũng đang dần được đưa vào sử dụng trong các công trình nhà cao tầng. Cùng với sự phát triển nhanh chóng nhà cao tầng của ta hiện nay và các quan điểm của kết cấu liên hợp so với kết cấu bê tông cốt thép thông thường (đang được sử dụng phổ biến) thì trong thời gian sắp tới đây loại kết cấu này sẽ được sử dụng rộng rãi [1].

Trong hệ kết cấu liên hợp thép - bê tông, cột giữ một vai trò hết sức quan trọng, nó chịu nén là chủ yếu, một số trường hợp có thể chịu uốn ở một hoặc hai phương. Việc chọn tiết diện thép phù hợp có thể giúp cột liên hợp đảm bảo khả năng chịu lực, tăng không gian sử dụng và lợi ích kinh tế.

Mục tiêu của bài báo nhằm trình bày nghiên cứu lý thuyết tính toán và mô phỏng ứng xử của cột liên hợp thép - bê tông bọc hoàn toàn lõi tiết diện chữ thập.

Bố cục của bài báo bao gồm các phần sau. Phần 2 lý thuyết tính toán. Ví dụ tính toán ở phần 4. Cuối cùng là kết luận.

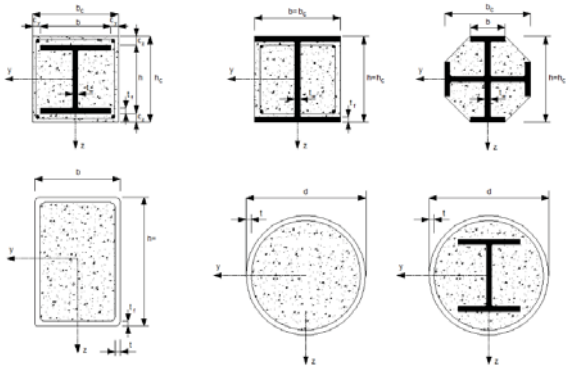
2. LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN CỘT LIÊN HỢP THÉP - BÊ TÔNG

2.1. Lý thuyết chung

Có hai phương pháp tính toán:

Phương pháp thứ nhất là phương pháp tổng quát, yêu cầu tính đến ảnh hưởng của sự làm việc phi tuyến và các yếu tố 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. Cách tính dùng phương pháp số và chỉ có thể áp dụng khi dùng chương trình tính toán được lập thành riêng. Trong tiêu chuẩn thiết kế không chỉ dẫn cụ thể phương pháp này.



Hình 1: Các dạng cột liên hợp thép - bê tông

Phương pháp thứ hai, là cơ sở để thành lập tiêu chuẩn thiết kế của một số nước Châu Âu trước khi thành lập tiêu chuẩn chung và sau đó cũng chính là 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 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.

Cả hai phương pháp này đều dựa trên các giả thuyết sau:

- Các thành phần của tiết diện làm việc như một thể thống nhất trước khi đạt tới trạng thái giới hạn;

- Khi cấu kiện chịu lực đạt tới trạng thái giới hạn vẫn xem rằng tiết diện phẳng, cho phép áp dụng các giả thiết cơ bản của sức bền vật liệu;

- Khi cấu kiện chịu lực đạt tới trạng thái giới hạn thì toàn bộ tiết diện, cả phần thép và bê tông đều cùng đạt giới hạn cường độ tính toán của chúng;

- Trong cấu kiện liên hợp, lực dính kết giữa bê tông và thép chưa bị mất đi, hay nói cách khác kết cấu sẽ bị phá hoại trước khi thép và bê tông trượt lên nhau.

2.2 Điều kiện để đảm bảo ổn định cục bộ của lõi thép

Sự có mặt của lớp bê tông sẽ ngăn cản hiện tượng mất ổn định cục bộ của bản thép. Điều này được thỏa mãn khi đảm bảo điều kiện:

Đối với các tiết diện được bọc bê tông hoàn toàn yêu cầu chiều dày lớp bê tông không được nhỏ hơn giá trị lớn hơn hai giá trị 40 mm và 1/6 bề rộng b của cánh lõi thép.

3. SỰ LÀM VIỆC CỦA CỘT LIÊN HỢP THÉP - BÊ TÔNG CHỮ NHẬT CHỊU NÉN UỐN

3.1. Sự làm việc của cột liên hợp thép - bê tông chịu nén uốn theo phương trục khỏe

Cần tiến hành kiểm tra khả năng chịu lực của cột đối với từng trục đối xứng. Khả năng chịu lực của cột dưới tác dụng của momen và lực dọc (theo hai trục nói chung) được xác định theo đường cong tương tác M- N. Trên đường cong thể hiện các giới hạn:

Điểm A: Khả năng chịu nén

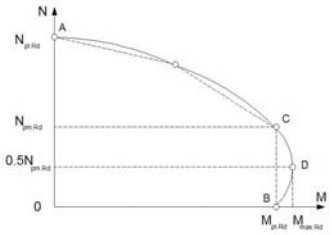
$N_A = N_{pl,Rd}$; $M_A = 0$

Điểm B: Khả năng chịu uốn

$N_B = 0$; $M_B = M_{pl,Rd}$

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

$$N_C = N_{pm.Rd} = A_C \alpha \frac{f_{ck}}{\gamma}; \; M_C = M_{pl.Rd}$$



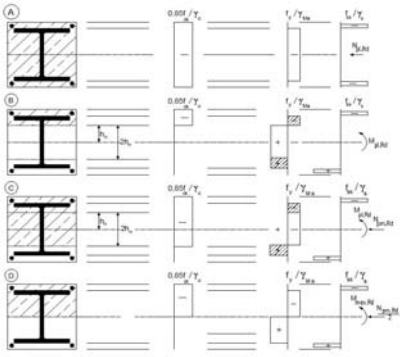
Hình 2: Đường cong tương tác lực nén và momen uốn

Điểm D: Momen uốn giới hạn lớn nhất

$$N_D = \frac{1}{2} N_{pm.Rd} = \frac{1}{2} A_c \alpha \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$M_D = W_{pa} \frac{f_y}{\gamma_a} + W_{ps} \frac{f_s}{\gamma_s} + \frac{1}{2} W_{pc} \frac{f_{sk}}{\gamma_c}$$

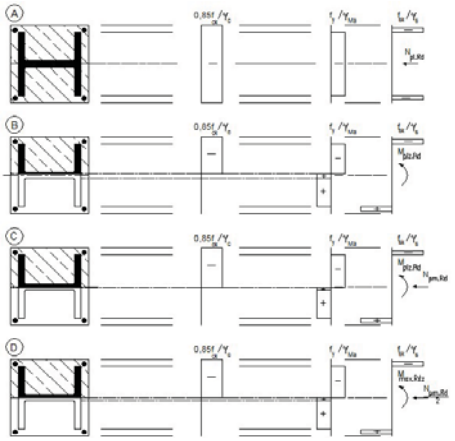
Trong các công thức trên $\alpha = 0.85$ với cột bọc bê tông và $\alpha = 1.0$ đối với cột rỗng nhồi bê tông



Hình 3: Phân bố ứng suất tương ứng với đường cong tương tác cột theo phương trục khỏe

3.2 Sự làm việc của cột liên hợp thép – bê tông chịu nén uốn theo phương trục yếu

Với cột chịu nén uốn theo phương trục yếu, khả năng chịu lực của cột cũng được thể hiện các giới hạn:



Hình 4. Phân bố ứng suất tương ứng với đường cong tương tác cột theo phương trục yếu

Điểm A: Khả năng chịu nén

$N_A = N_{pl,Rd}$; $M_A = 0$

Điểm B: Khả năng chịu uốn

$N_B = 0$; $M_B = M_{plz,Rd}$

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

$$N_C = N_{pm.Rd} = A_C \alpha \frac{f_{ck}}{\gamma_c};\ M_C = M_{plz.Rd}$$

Điểm D: Momen uốn giới hạn lớn nhất

$$N_D = \frac{1}{2} N_{pm.Rd} = \frac{1}{2} A_c \alpha \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$M_D = W_{pa} \frac{f_y}{\gamma_a} + W_{ps} \frac{f_s}{\gamma_s} + \frac{1}{2} \alpha W_{pc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

3.3 Sự làm việc của cột liên hợp thép - bê tông bọc hoàn toàn lõi thép tiết diện chữ thập

Kiểm tra tổng thể hai phương uốn

a) Cột có tiết diện không đổi và có hai trục đối xứng;

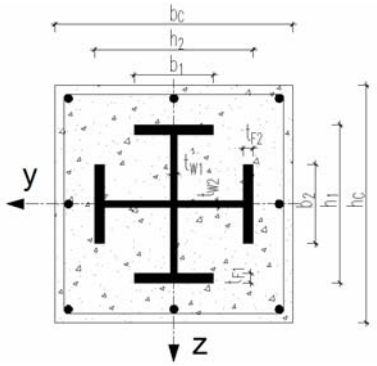
b) Tỷ lệ lượng thép $\delta = 0{,}2 \div 0.9$;

c) Độ mảnh quy đổi $\bar{\lambda} \le 2{,}0$;

d) Đối với tiết diện bọc bê tông hoàn toàn, chiều dày lớp bê tông bọc không được nhỏ hơn giá trị sau:

Trong hướng y: 40 mm ≤ C_y ≤ 0,4b

Trong hướng z: 40 mm ≤ C_z ≤ 0,4h



Hình 5. Cột liên hợp bọc bê tông hoàn toàn tiết diện lõi thép hình chữ thập

Khi đó khả năng chịu nén tối đa khi bê tông, lõi thép và cốt thép thường đều đạt tới cường độ.

$$N_{pl.Rd} = A_\alpha \frac{f_y}{\gamma_{Ma}} + A_c 0{,}85 \frac{f_{ck}}{\gamma_c} + A_s \frac{f_{sk}}{\gamma_s}$$

Kiểm tra khả năng ổn định cục bộ của thép hình

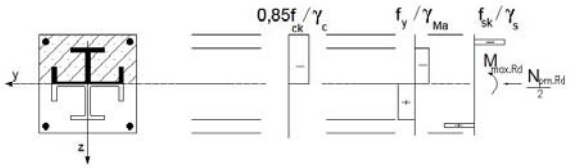
Sự có mặt của lớp bê tông sẽ ngăn cản hiện tượng mất ổn định cục bộ của các bản thép. Điều này được đảm bảo khi thỏa mãn điều kiện: Các tiết điện được bọc bê tông hoàn toàn yêu cầu chiều dày lớp bê tông không được nhỏ hơn trong hai giá trị 40mm và 1/6 bề rộng b của cánh lõi thép.

Khả năng chịu lực theo hai phương:

Điểm A: Khả năng chịu nén.

$N_A = N_{pl,Rd}$; $M_A = 0$ với

$$N_{pl.Rd} = A_\alpha \frac{f_y}{\gamma_{Ma}} + A_c 0{,}85 \frac{f_{ck}}{\gamma_c} + A_s \frac{f_{sk}}{\gamma_s}$$



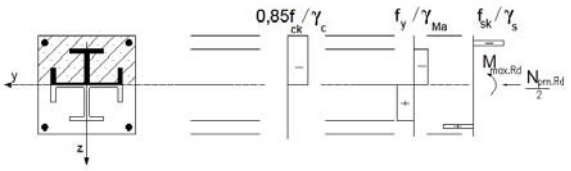
Hình 6: Biểu đồ phân bố ứng suất với điểm A

Điểm D: Momen uốn giới hạn lớn nhất

$$N_D = \frac{1}{2} N_{pm.Rd} = \frac{1}{2} A_c f_{cd} = \frac{1}{2} A_c \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$M_D = M_{max.Rd} = W_{pa} \frac{f_y}{\gamma_a} + \frac{1}{2} \alpha W_{pc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c} + W_{ps} \frac{f_s}{\gamma_s}$$

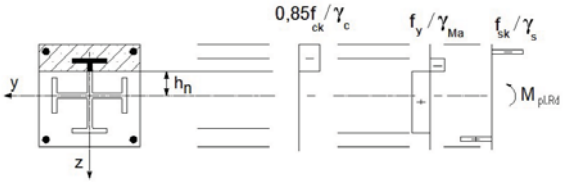
$$W_{pa} = \frac{t_{w1}(h_1 - 2t_{f1})^2}{4} + b_1 . t_{f1} . (h_1 - t_{f1}) + \frac{(h_2 - 2t_{f2}) . t_{w2}^2}{4} + \frac{2 t_{f2} . b_2^2}{4}$$



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

Điểm B: Khả năng chịu uốn.

$N_B = 0$; $M_B = M_{pl,Rd}$



Hình 8. Biểu đồ phân bố ứng suất với điểm B

Cần phải tính toán h_{ny} (khoảng cách từ trọng tâm thép cán trục trung hòa dẻo của tiết diện)

Trường hợp: $b_2/2 \le h_{ny} \le h_1/2 - t_{fl}$

$$h_n = \frac{N_{pm.RD} - A_{sn}.(2f_{sd} - \alpha_c f_{cd}) - \\ -A_{a2}(2f_{yd} - \alpha_c f_{cd})}{2b_c\alpha_c f_{cd} + 2t_{w1}(2f_{yd} - \alpha_c f_{cd})}$$

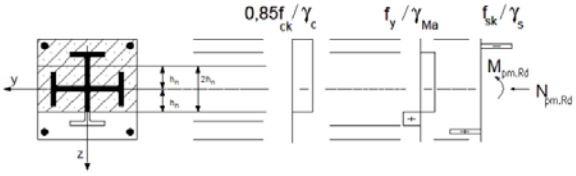
$$W_{pan} = (2t_{f2} + t_{w1})h_n^2 + (h_2 - 2t_{f2})t_{w2}^2$$

$$W_{pcn} = W_{Zpa2} + t_{w1}h_n^2$$

$$W_{Zpa} = \frac{t_{w1}^2(h_1 - 2t_{f1})}{4} + \frac{2t_{f1}b_1^2}{4}$$

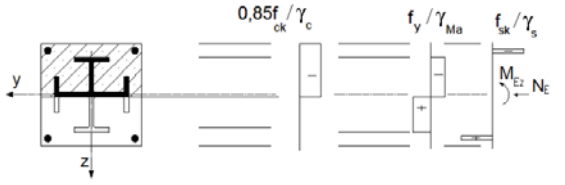
Điểm C: Khả năng chịu nén uốn.

$N_C = N_{pm,Rd} = A_c\alpha f_{ck}/\gamma_c$; $M_C = M_{pl,Rd}$



Hình 9: Biểu đồ phân bố ứng suất với điểm C

Điểm E: Giả sử trục trung hòa đi qua mép tiết diện thép hình t_{w2}



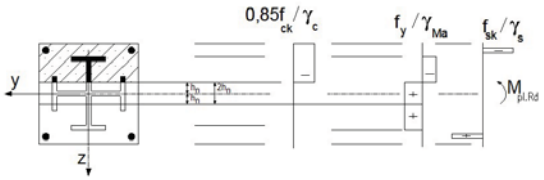
Hình 10: Biểu đồ phân bố ứng suất với điểm E

$$N_E = \left[\frac{A_C}{2} + \left(\frac{t_{w2}}{2}.c_y\right)\right]f_{cd} + \left(\frac{A_a}{2} + \frac{t_{w2}}{2}h_2\right)f_{yd} + \frac{1}{2}A_s f_{sd}$$

$$M_E = M_D - h_2\left(\frac{t_{w2}}{2}\right)^2 f_{yd}$$

Điểm F: Giả sử trục trung hòa đi qua mép tiết diện thép hình b_2; Khả năng chịu nén uốn

$N_F = 0$; $M_F = M_{pl,Rd}$



Hình 11: Biểu đồ phân bố ứng suất với điểm F

Cần phải tính toán h_{ny} (khoảng cách từ trọng tâm thép cán trục trung hòa dẻo của tiết diện)

Trường hợp: $t_{w2}/2 \le h_n \le b_2/2$

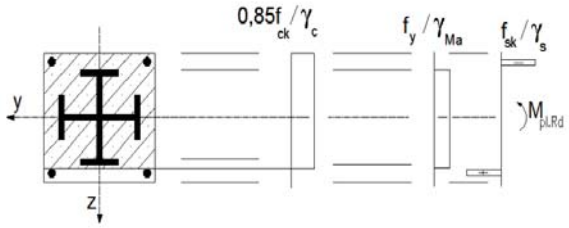
$$h_{ny} = \frac{N_{pm.RD} - A_{sn}.(2f_{sd} - \alpha_c f_{cd}) - \\ -t_{w2}(h_2 - 2t_{f2})(2f_{yd} - \alpha_c f_{cd})}{2b_c\alpha_c f_{cd} + 2(2t_{f2} + t_{w1})(2f_{yd} - \alpha_c f_{cd})}$$

$$W_{pan} = (2t_{f2} + t_{w1})h_{ny}^2 + (h_2 - 2t_{f2})t_{w2}^2$$

$$W_{pcn} = b_c h_n^2 - W_{pan} - W_{psn}$$

Điểm G: Giả sử trục trung hòa đi qua mép tiết diện thép hình t_{fl} ; Khả năng chịu nén uốn.

$N_G = 0$; $M_G = M_{pl,Rd}$



Hình 12. Biểu đồ phân bố ứng suất với điểm G

Cần phải tính toán h_{ny} (khoảng cách từ trọng tâm thép cán trục trung hòa dẻo của tiết diện)

Trường hợp: $h_1/2 \le h_n$

$$h_{ny} = \frac{N_{pm.Rd} - A_{sn}(2f_{sd} - \alpha_c f_{cd}) - \\ -A_a(2f_{yd} - \alpha_c f_{cd})}{2b_c\alpha_c f_{cd}}$$

$$W_{pan} = W_{pan1} + W_{pan2}$$

$$W_{pcn} = b_c h_n^2 - W_{pan} - W_{psn}$$

Kiểm tra khả năng chịu lực:

$$\mu = \mu_d - \frac{\mu_k (\chi_d - \chi_n)}{\chi - \chi_n}$$

$$\chi_n = \chi(1-r)/4$$

$$\chi_d = \frac{N_{Sd}}{N_{pl.Rd}}$$

$$M_{Rd} = 0,9\mu M_{pl.Rd}$$

Giá trị của momen tính toán $M_{sd} \le M_{Rd}$

4. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

Trong bài báo này, chúng tôi chọn trước tiết diện, chiều cao của cột liên hợp vuông bọc bê tông hoàn toàn lõi chữ I đảm bảo độ mảnh cho phép của cột. Lập đường cong tương tác M-N.

Thiết lập các đường cong tương tác M-N của cột liên hợp vuông bọc bê tông hoàn toàn lõi chữ thập cùng kích thước tiết diện và chiều cao cột liên hợp ứng với trường hợp chuyển 30%, 50% diện tích thép I của cột ban đầu thành tiết diện thép I_2 (theo phương z) của cột liên hợp vuông bọc bê tông hoàn toàn.

Thiết lập đường cong tương tác của cột liên hợp chữ nhật bọc bê tông hoàn toàn có tiết diện cột và lõi thép hình tương đương với cột liên hợp vuông.

4.1. Cột liên hợp bọc bê tông hoàn toàn lõi tiết diện chữ I

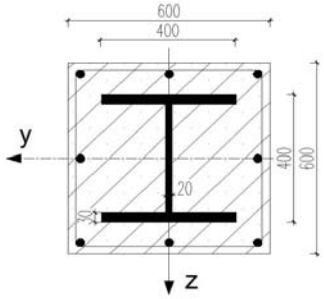
Tiết diện cột liên hợp: $b_c.h_c$ = 600 x 600 mm;

Cột thép hình b.h = 400 x 400 mm, t_f = 30 mm, t_w = 20 mm.

Cốt thép thường: 8D22

Chiều cao cột: 4,5 m

Thép hình sử dụng S235, bê tông C20/25, thép thường sử dụng CB400V



Hình 13: Cột liên hợp bọc bê tông hoàn toàn tiết diện chữ I

4.2 Cột liên hợp bọc bê tông hoàn toàn lõi tiết diện chữ thập (I_2 = 30% I)

Tiết diện cột liên hợp: $b_c.h_c$ = 600 × 600mm;

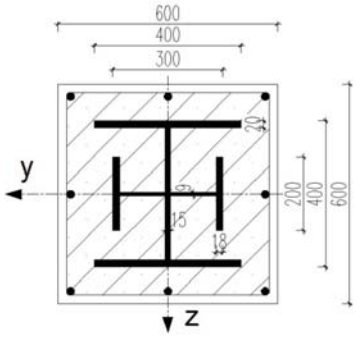
Cột thép hình $b_1.h_1$ = 400 × 400 mm, t_f = 20 mm, t_w = 15 mm

Cột thép hình $b_2.h_2$ = 200 × 300 mm, t_f = 18 mm, t_w = 9 mm.

Cốt thép thường: 8D22

Chiều cao cột: 4,5 m

Thép hình sử dụng S235, bê tông C20/25, thép thường sử dụng CB400V



Hình 14: Cột liên hợp bọc bê tông hoàn toàn tiết diện chữ thập I_2 = 30% I

4.3 Cột liên hợp bọc bê tông hoàn toàn lõi tiết diện chữ thập (I_2 = 50% I)

Tiết diện cột liên hợp: $b_c.h_c$ = 600 × 600 mm;

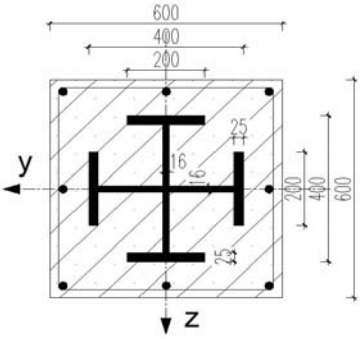
Cột thép hình $b_1.h_1$ = 400 × 150 mm, t_f = 25 mm, t_w = 16 mm

Cột thép hình $b_2.h_2$ = 400 × 150 mm, t_f = 25 mm, t_w = 16 mm

Cốt thép thường: 8D22

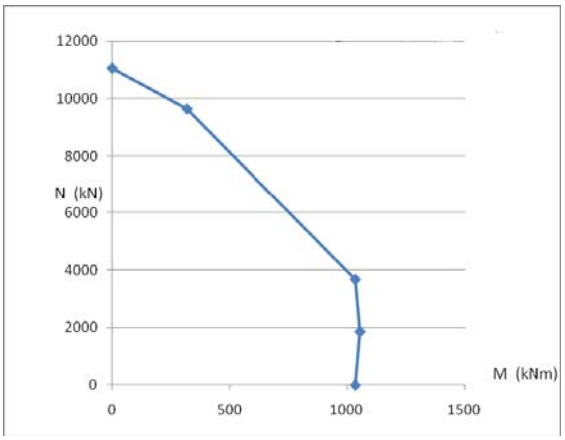
Chiều cao cột: 4,5 m

Thép hình sử dụng S235, bê tông C20/25, thép thường sử dụng CB400V

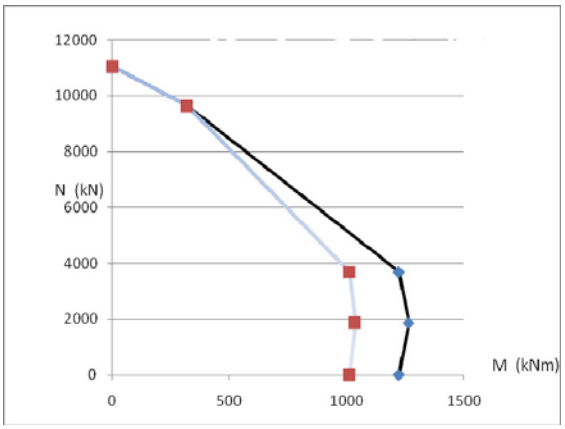


Hình 15: Cột liên hợp bọc bê tông hoàn toàn tiết diện chữ thập I_2 = 50% I

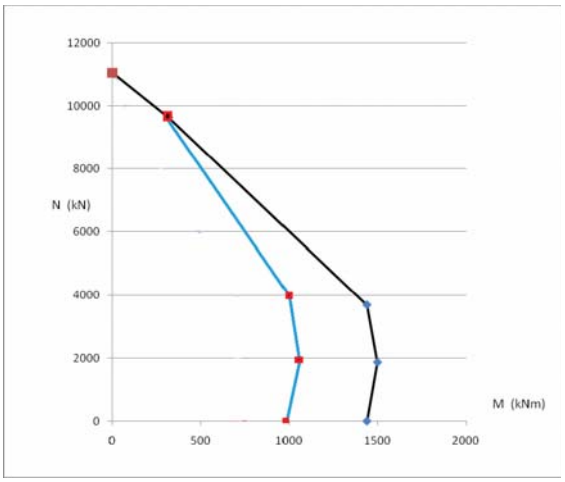
4.4 Thiết lập đường cong tương tác M- N tương ứng với các trường hợp đang xét



Hình 16: Biểu đồ tương tác M-N của tiết diện cột liên hợp bọc bê tông hoàn toàn lõi tiết diện chữ I



Hình 17: Biểu đồ tương tác M-N của tiết diện cột liên hợp bọc bê tông hoàn toàn lõi tiết diện chữ thập I_2 = 30% I



Hình 18: Biểu đồ tương tác M-N của tiết diện cột liên hợp bọc bê tông hoàn toàn lõi tiết diện chữ thập I_2 = 50% I

Thông qua kết quả tính toán khả năng chịu lực của hai loại tiết diện cột liên hợp bọc bê tông hoàn toàn lõi tiết diện chữ I và lõi tiết diện chữ thập ta có thể thấy ở cùng điều kiện chịu lực, cùng loại vật liệu và diện tích thép hình, bê tông và thép thường thì khả năng chịu lực dọc là như nhau. Khả năng chịu momen thì thay đổi khi ta chuyển dần tiết diện thép từ chữ I sang chữ thập I_2 = 30% và chữ thập I_2 = 50%. Dựa vào kết quả tính toán ta có thể sơ bộ chọn kích thước tiết diện phù hợp.

5. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi trình bày nghiên cứu tính toán loại kết cấu dựa trên lý thuyết kết cấu liên hợp thép - bê tông (được tính toán theo Eurocode 4 [2]) do đó cần nghiên cứu thêm bằng mô hình mô phỏng và thí nghiệm thực tiễn để có thể đưa ra được công thức với độ chính xác cao hơn. Việc lựa chọn tiết diện thép hình là chữ I hay chữ thập phụ thuộc vào momen M, từ đó ta chọn ra tiết diện phù hợp nhất, sử dụng cho các công trình có kết cấu đối xứng hai phương sẽ hợp lý, giúp giảm kích thước tiết diện và tăng không gian sử dụng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Phạm Văn Hội (2006), *Kết cấu liên hợp thép – bê tông dùng trong nhà cao tầng,* Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, Hà Nội.

[2] European Committee for standardization (2004), *Eurocode 4: EN 1994 – Design of composite steel and concrete structures – Part 1 – 1: General rules and rules for building.*