

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC LOẠI SÀN BÊ TÔNG CỐT THÉP ĐẾN SỰ LÀM VIỆC CỦA DẦM THÉP LIÊN HỢP



RESEARCH ON THE EFFECTS OF REINFORCED CONCRETE FLOORS ON THE PERFORMANCE OF COMPOSITE STEEL BEAMS

Ths. Nguyễn Thanh Tùng, Ths. Vũ Thị Khánh Chi¹

Tóm tắt: Kết cấu khung thép được sử dụng phổ biến trong các công trình với nhiều ưu điểm nổi bật. Giải pháp kết cấu sàn cho nhà khung thép có thể dùng là: Sàn bê tông cốt thép đổ tại chỗ; sàn liên hợp thép - bê tông đổ tại chỗ hoặc sàn bê tông lắp ghép bằng các tấm panel, bê tông nhẹ... Đối với mỗi loại sàn việc cấu tạo, bố trí liên kết giữa sàn và dầm thép có ảnh hưởng đến sự làm việc liên hợp giữa 2 cấu kiện này; từ đó quyết định đến việc lựa chọn nhịp của bản sàn (khoảng cách bố trí dầm thép) cũng như tiết diện của dầm thép. Bài báo trình bày ảnh hưởng của các loại sàn kể trên đến sự làm việc của dầm thép khi chịu tải trọng như nhau, bố trí lưới cột như nhau trong các công trình nhà phố.

Từ khóa: Dầm thép, dầm liên hợp, kết cấu sàn, sàn bê tông cốt thép, bề rộng sàn.

Abstract: The prevalent utilization of steel frame structures in various residential projects offers numerous outstanding advantages. Methods for floor structures in steel frame buildings encompass several options: cast-in-place reinforced concrete floors, cast-in-place composite steel-concrete floors, prefabricated concrete panel floors,

lightweight concrete floors and others... For each type of floor, the configuration and connection arrangement between the floor and steel beams significantly influence the structural interaction between these elements, consequently affecting the selection of floor spans (the spacing between steel beams) and the cross-sectional area of the steel beams. This article elucidates the impact of the aforementioned floor types on the behavior of steel beams under equivalent loading conditions, assuming uniform column grid layouts across residential projects.

Keywords: Steel beams, composite steel beams, slab structures, reinforced concrete floors.

Nhận bài ngày 15/2/2024, chỉnh sửa ngày 28/2/2024, chấp nhận đăng ngày 15/4/2024.

1. Tổng quan

Hiện nay, kết cấu khung thép được sử dụng phổ biến trong các công trình dân dụng với những ưu điểm nổi bật về khả năng chịu lực lớn, độ tin cậy cao; tiến độ thi công nhanh (do lắp ghép); giảm nhân công lao động thủ công...

¹ Khoa Công trình, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
Email: nguyenthanhtung@vamaru.edu.vn



Hình 1. Khung thép nhà dân dụng thấp tầng

Đối với các công trình sử dụng khung thép thì kết cấu sàn có thể sử dụng các loại sau:

+ Sàn bê tông cốt thép đổ tại chỗ với chiều dày sàn 10-15cm tùy theo tải trọng. Loại sàn này có độ cứng lớn, chống rung động tốt, thường sử dụng cho các công trình cần sàn đủ dày để lắp đặt các thiết bị xuống sàn (gara sửa xe, nhà để xe...).



Hình 2. Giải pháp kết cấu sàn bê tông cốt thép đổ tại chỗ

+ Sàn liên hợp thép - bê tông đổ tại chỗ: Bằng cách sử dụng tôn sóng ở mặt dưới vừa chịu lực, vừa thay thế ván khuôn sàn; phía trên đổ bê tông cốt thép với chiều dày 10-15cm tùy theo tải trọng. Loại sàn này sử dụng phổ biến trong các công trình dịch vụ như quán cà phê, cửa hàng kinh doanh... với mục đích cần sớm đưa công trình vào sử dụng.



Hình 3. Giải pháp kết cấu sàn liên hợp thép - bê tông

+ Sàn bê tông lắp ghép bằng các tấm panel, bê tông nhẹ. Loại sàn này thường dùng trong công trình nhà phố xây chen với ưu điểm thi công nhanh, không cần nhiều máy móc thi công chuyên dụng.



Hình 4. Giải pháp kết cấu sàn bê tông nhẹ

Đối với mỗi loại sàn việc cấu tạo, bố trí liên kết giữa sàn và dầm thép có ảnh hưởng đến sự làm việc chung (làm việc liên hợp) giữa 2 cấu kiện này; từ đó quyết định đến việc lựa chọn nhịp của bản sàn (khoảng cách bố trí dầm thép) cũng như tiết diện của dầm thép.

Việc so sánh ảnh hưởng của các loại kết cấu sàn bê tông đến sự làm việc liên hợp với dầm thép khi chịu tải trọng như nhau, bố trí lưới cột như nhau là cần thiết, từ kết quả so sánh có cơ sở lựa chọn giải pháp kết cấu sàn hợp lý cho hệ khung thép.

2. Cơ sở tính toán

Nếu bản sàn bê tông cốt thép được liên kết chặt với hệ dầm thép bên dưới có thể xét đến sự làm việc liên hợp. Khi chịu uốn dưới tác dụng của tải trọng thẳng đứng, một phần sàn bê tông sẽ làm việc với dầm thép tạo thành dầm chữ T. Bề rộng tham gia làm việc của bản được xác định phụ thuộc vào bước dầm, nhịp dầm, chiều dày bản, tải trọng bên trên và liên kết của bản với dầm.

2.1. Đối với kết cấu sàn bê tông cốt thép toàn khối

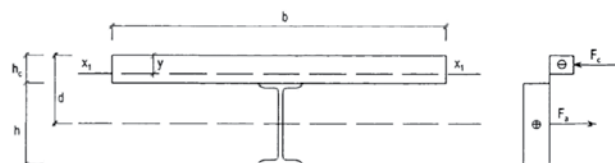
2.1.1. Tính dầm theo điều kiện bền

* Khi trục trung hòa đi qua phần bản bê tông trực x1-x1 (Hình 5)

Khi chịu momen dầm thép chịu kéo, một phần bản bê tông chịu nén (y):

$$F_c = b y f_{ck} / \gamma_c ;$$

$$F_a = F_A$$



Hình 5. Trục trung hòa đi qua bản sàn bê tông

Khả năng chịu uốn của tiết diện:

$$M_{max} \leq F_a (d - y/2).$$

Vị trí trục trung hòa:

$$y = \frac{f A}{b f_{ck} / \gamma_c} \leq h_c$$

f_{ck} – Cường độ chịu nén của bê tông;

γ_c – Hệ số an toàn của vật liệu bê tông: $\gamma_c = 1,5$;

A – Diện tích dầm thép;

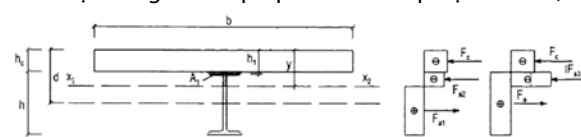
d – Khoảng cách từ trọng tâm dầm thép đến mặt trên của sàn;

F_c – Lực nén tác dụng vào bản bê tông;

F_a – Lực kéo tác dụng vào dầm thép;

Khi $y > h_c$, Trục trung hòa sẽ không ở phần bê tông mà ở phần dầm thép.

* Khi trục trung hòa đi qua phần dầm thép trực x2-x2 (Hình 6)



Hình 6. Trục trung hòa đi qua dầm thép

Khi chịu mômen một phần tiết diện dầm thép chịu nén, biểu đồ ứng suất trong tiết diện liên hợp được thể hiện ở hình 5. Để thuận tiện cho tính toán, có thể quy đổi phần tiết diện thép chịu kéo lên hết tiết diện dầm, còn phần tiết diện thép chịu nén sẽ tăng lên 2 lần, ta có:

$$F_c = \frac{bh_c f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$F_a = Af;$$

$$F_{a3} = 2A_1f.$$

Khả năng chịu uốn của tiết diện:

$$M_{max} \leq Af \left(\frac{d-h_c}{u} \right) - 3A_1f \left(\frac{h_1-h_c}{2} \right)$$

Diện tích A1 của phần dầm thép chịu nén được xác định từ phương trình cân bằng, ta có:

$$A_1 = \frac{Af - bh_c f_{ck} / \gamma_c}{2f}$$

h_1 – khoảng cách từ trọng tâm của phần tiết diện thép chịu nén A1 đến mép trên của bản bê tông.

2.1.2. Tính cấu kiện liên hợp theo điều kiện biến dạng

Độ võng của dầm được kiểm tra theo điều kiện:

$$\frac{\Delta}{l} = \frac{5}{384} \frac{q_k l^3}{EI} \leq \left[\frac{\Delta}{l} \right]$$

+ Mô men quán tính của tiết diện liên hợp khi trục trung hòa đi qua sàn ($y < h_c$)

$$I = \frac{bh_c^3}{3m} + I_a + A(d-y)^2$$

+ Mô men quán tính của tiết diện liên hợp khi trục trung hòa đi qua dầm thép ($y > h_c$)

$$I = \frac{bh_c^3}{12m} + \frac{bh}{m} \left(\frac{y-h_c}{2} \right)^2 + I_a + A(d-y)^2$$

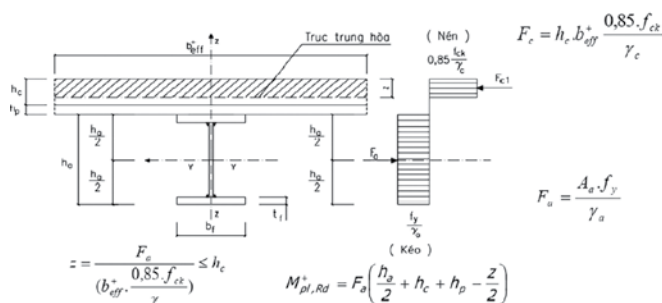
$$\text{Với } m = \frac{E_a}{E_{bt}}$$

2.2. Đối với kết cấu sàn liên hợp thép – bê tông

2.2.1. Tính dầm theo điều kiện bền

Với dầm đơn giản chỉ chịu mô men dương xét vị trí trục trung hòa cho các trường hợp sau:

* Trường hợp 1 - Trục trung hòa nằm trong bản bê tông



Hình 7. Trục trung hòa đi qua bản sàn deck

Ký hiệu lần lượt F_a và F_c là sức bền dẻo của thép hình khi chịu kéo và của bản bê tông khi chịu nén:

$$F_a = A_a f_y / \gamma_a;$$

$$F_c = h_c b_{eff} (0.85 f_{ck} / \gamma_c),$$

Trong đó: A_a – Diện tích tiết diện thép hình.

Trường hợp khảo sát trên sẽ xảy ra khi: $F_c > F_a$.

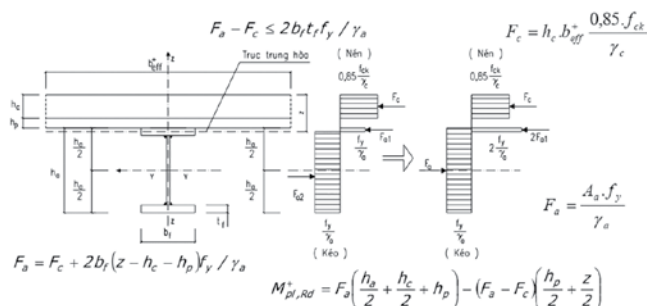
Vị trí của trục trung hòa dầm so với mặt trên của bản sàn z được tính theo công thức:

$$z = F_a / (b_{eff} \times 0.85 f_{ck} / \gamma_c) \leq h_c$$

Tính toán mô men bền theo hợp lực của vùng bê tông chịu nén:

$$M_{pl,Rd}^+ = F_a (h_a/2 + h_c + h_p - z/2).$$

* Trường hợp 2 – Trục trung hòa đi qua cánh của dầm thép



Hình 8. Trục trung hòa đi qua dầm thép

Trường hợp này xảy ra khi $F_c < F_a$, rõ ràng khi đó khoảng cách của trục trung hòa dầm z sẽ lớn hơn chiều dày toàn bộ của tấm đan ($h_c + h_p$); nhưng để trục trung hòa nằm trong bản cánh dầm thép (chiều dày t_f và chiều rộng b_f) cần thỏa mãn điều kiện phụ sau:

$$F_a - F_c \leq 2b_f t_f f_y / \gamma_a.$$

Khoảng cách z được tính toán dễ dàng khi coi như ứng suất trong cánh chịu nén của dầm thép bằng $2f_y / \gamma_a$, còn F_a coi như tổng của các ứng suất kéo trong dầm thép hình đặt tại trọng tâm của dầm. Ta rút ra khoảng cách z từ phương trình cân bằng:

$$F_a = F_c + 2b_f (z - h_c - h_p) f_y / \gamma_a.$$

Để tính mô men bền dẻo của tiết diện ta lập phương trình mô men với trọng tâm vùng bê tông chịu nén:

$$M_{pl,Rd}^+ = F_a (h_a/2 + h_c/2 + h_p) - (F_a - F_c) (h_p + z/2)$$

* Trường hợp 3 – trục trung hòa đi qua bản bụng của dầm thép

Khi: $F_c < F_a$ và $F_a - F_c > 2b_f t_f f_y / \gamma_a$.

Để đơn giản khi trình bày, giả thiết rằng trục trung hòa nằm dưới chỗ uốn cong ở mép bản bụng nếu dầm là định hình cán. Ta dễ dàng tìm được phần chiều cao chịu kéo của bản bụng nằm trên trọng tâm của thép hình z_w , khi coi ứng suất bằng $2f_y / \gamma_a$ trên toàn bộ chiều cao h_a , ta có:

$$z_w = F_c / (2b_f t_f f_y / \gamma_a)$$

Mô men bền được tính toán so với trọng tâm của thép hình:

$$M_{pl,Rd}^+ = M_{pl,Rd}^+ + F_c (h_a/2 + h_c/2 + h_p) - F_c z_w/2$$

$$\text{Hoặc } M_{pl,Rd}^+ = M_{pl,Rd}^+ + F_c (h_a/2 + h_c/2 + h_p) - F_c^2 / (4t_f f_y / \gamma_a)$$

2.2.2. Tính cấu kiện liên hợp theo điều kiện biến dạng

Độ võng của dầm được kiểm tra theo điều kiện:

$$\frac{\Delta}{l} = \frac{5}{384} \frac{q_k l^3}{EI} \leq \left[\frac{\Delta}{l} \right]$$

Mô men quán tính của tiết diện liên hợp:

$$I = I_a + \frac{I_b}{n} + A_{eq} y^2 \left[\frac{h_a + h_c}{2} - y \right]$$

2.3. Đối với kết cấu sàn bê tông nhẹ

Đối với kết cấu sàn nhẹ, sự làm việc liên hợp của sàn và dầm là không đáng kể nên dầm được kiểm tra như dầm thép thông thường.

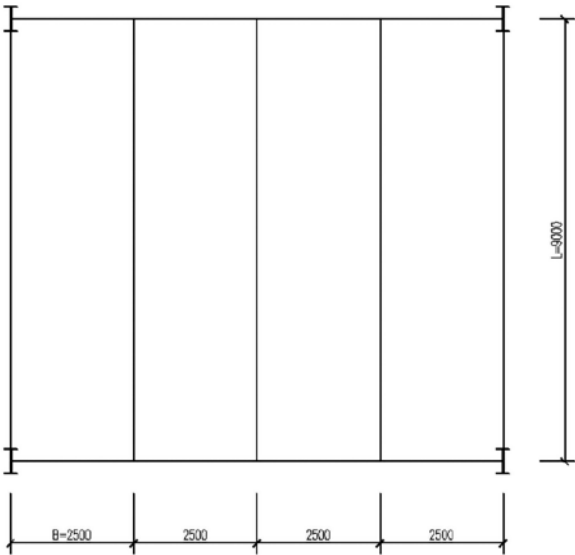
3. Kết quả tính toán cụ thể

Để có cơ sở so sánh, nhóm tác giả tiến hành tính toán một công trình cụ thể, từ kết quả tính toán đưa ra những kết luận cần thiết.

3.1. Số liệu xuất phát

Xét hệ dầm sàn thép liên hợp với các số liệu cụ thể như sau:

- + Nhịp nhà: L= 12,5m; bước cột: B=9m; nhịp bản sàn: a=2,5m;
- + Hoạt tải khai thác trên sàn: 500kg/m²;
- + Thép mác Q235: $f_y=2350\text{ kg/cm}^2$; + Bê tông mác 350 (B25);



3.2. Kết quả tính toán minh họa

Quá trình tính toán được thực hiện bằng các bảng tính excel, mathcad, với kết quả tổng hợp như bảng sau:

Phương án	Chiều dày sàn (cm)	Tiết diện dầm yêu cầu	Mô men nguy hiểm (Tm)	Mô men giới hạn (Tm)	Độ võng (cm)	Độ võng cho phép (cm)
Sàn BTCT	12 cm	I300x200x12x8	24,8	34,7	1,48	3,6
Sàn deck	12cm (50/70)	I400x200x12x8	24,8	45,2	2,1	3,6
Sàn nhẹ	Sàn nhẹ (Bố trí thêm, hệ xương thép hộp đỡ với khoảng cách a=85cm)	I450x200x12x8	24,8	25	3,01	3,6

4. Kết luận

Qua nghiên cứu cơ sở tính toán của kết cấu liên hợp và kết quả tính toán minh họa, có thể thấy rằng:

- Sự làm việc chung giữa sàn bê tông và dầm thép có ảnh hưởng lớn đến việc chọn tiết diện dầm hợp lý để đảm bảo các điều kiện về cường độ cũng như điều kiện biến dạng (độ võng). Tuy nhiên, qua các kết quả tính toán, thường tiết diện dầm sẽ được chọn từ điều kiện thỏa mãn về biến dạng.
- Bề rộng làm việc của sàn cùng với dầm thép phụ thuộc vào bước của dầm (nhịp sàn), nhịp dầm, liên kết giữa dầm và sàn; giá trị này trong quy phạm của mỗi nước là khác nhau.
- Đối với kết cấu khung thép, cả ba giải pháp nêu trên đều đáp ứng được yêu cầu:
- + Phương án sàn bê tông cốt thép đổ tại chỗ sẽ hiệu quả hơn về việc sử dụng vật liệu, sàn bê tông dày sẽ chống rung, chống ồn tốt hơn; tuy nhiên, phương án này mất nhiều thời gian thi công hơn do sàn vẫn phải ghép ván khuôn đổ tại chỗ.
- + Phương án sàn deck được sử dụng phổ biến nhất với tôn sóng đóng vai trò ván khuôn và chịu mô men dương ở mặt dưới sàn, kết hợp với bê tông ở trên (có bố trí lớp thép chịu mô men âm trong bê tông). Phương án này sẽ đẩy nhanh tiến độ thi công; tuy nhiên, sự làm việc liên hợp sẽ không lớn như tấm đan bê tông đổ tại chỗ và sẽ có hạn chế khi liên kết thiết bị xuống sàn.
- + Phương án sàn nhẹ không xét đến sự làm việc liên hợp giữa sàn và dầm thép do độ cứng của sàn không lớn dẫn đến tiết diện dầm thép chọn ra là lớn nhất; tuy nhiên, phương án này vẫn được sử dụng trong các công trình nhà phố (đặc biệt công trình cải tạo) vì dễ thi công và thi công nhanh

Từ những phân tích, tổng hợp đã được trình bày ở trên thì tùy vào quy mô công trình, mục đích sử dụng, hoạt tải khai thác trên sàn để lựa chọn giải pháp kết cấu sàn cho phù hợp, đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật – kinh tế - thi công.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số: DT23-24.79

Tài liệu tham khảo

[1] PGT.TS Phạm Văn Hội: Kết cấu thép liên hợp thép bê tông dùng trong nhà cao tầng - Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật. Hà Nội, 2010.

[2] Nguyễn Xuân Huy (chủ biên), Nguyễn Hoàng Quân: Tính toán kết cấu thép liên hợp thép - bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn Eurocode 4. Nhà xuất bản Xây dựng. Hà Nội, 2017.

[3] Eurocode 4- Design of composite steel and concrete structures, 2010

[4] TCVN5575-2012: Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế.

[5] TCVN2737-1995: Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế