

Cách thiết lập công thức xác định khả năng chịu mô men dương của sàn liên hợp khi trục trung hòa nằm trong phần tôn thép

Formation of positive bending resistance of composite slab as neutral axis within sheeting

Vũ Huy Hoàng

Tóm tắt

Bài báo trình bày cách thiết lập công thức xác định khả năng chịu mô men dương của sàn liên hợp khi trục trung hòa nằm trong phần tôn thép.

Từ khóa: khả năng chịu uốn, sàn liên hợp

Abstract

The paper presents how to determine the positive bending resistance of composite slab as neutral axis within sheeting.

Key words: bending resistance, composite slab

1. Đặt vấn đề

Sàn liên hợp là sự kết hợp làm việc giữa bê tông và thép hình (tôn sóng), nhờ đó tận dụng được khả năng chịu lực của vật liệu tôn trong giai đoạn chịu lực. Quy trình tính toán sàn liên hợp khá phức tạp, phân chia nhiều trường hợp, thông qua nhiều bước, trong đó có một số công thức đã được đơn giản hóa để dễ áp dụng. Tuy nhiên, việc thiếu các tài liệu gốc giải thích các công thức đã được đơn giản hóa làm người sử dụng không nắm bắt được bản chất của công thức, dẫn đến các sai lầm có thể xảy ra trong quá trình áp dụng thực tế như hiểu sai ý nghĩa của các ký hiệu trong công thức. Các lỗi của khâu soạn thảo, in ấn cũng sẽ gây ra những sai lệch trong kết quả tính toán. Công thức xác định khả năng chịu mô men dương của sàn liên hợp khi trục trung hòa nằm trong phần tôn thép cũng là một công thức đã được đơn giản hóa nhưng không giải thích quá trình thiết lập. Để giúp các kỹ sư hiểu rõ hơn về công thức này, bài báo sẽ trình bày cụ thể quá trình thiết lập công thức.

2. Kiểm tra khả năng chịu mô men dương của sàn liên hợp khi trục trung hòa nằm trong phần tôn thép

a) Khả năng chịu mô men dương của sàn liên hợp khi trục trung hòa nằm trong phần tôn thép

$$[M_{nh}] = N_{cfz} + M_{pr} \quad (1)$$

trong đó:

N_{cf} - hợp lực của vùng bê tông chịu nén (đơn vị: N)

$$N_{cf} = b h_c \frac{0,85 f_{ck}}{\gamma_c} \quad (2)$$

b - bề rộng tính toán của sàn liên hợp (mm) [1];

h_c - chiều cao tiết diện bê tông phía trên tôn (mm);

f_{ck} - cường độ chịu nén đặc trưng của mẫu trụ bê tông ở tuổi 28 ngày (MPa) [1];

γ_c - hệ số điều kiện làm việc của vật liệu bê tông [1];

z - cánh tay đòn của hợp lực N_{cf} đến trọng tâm vùng kéo tương ứng với N_{cf} (mm)

$$z = h - \frac{h_c}{2} - e_p + (e_p - e) \frac{N_{cf}}{A_p f_{yp} \gamma_{ap}} \quad (3)$$

h - chiều cao tiết diện sàn (mm);

e_p - khoảng cách từ trục trung hòa dẹt của tôn đến mặt dưới sàn (mm);

e - khoảng cách từ trục trọng tâm của tôn đến mặt dưới sàn (mm);

$\frac{A_p f_{yp}}{\gamma_{ap}}$ - hợp lực kéo của toàn bộ tiết diện tôn;

A_p - diện tích tiết diện tôn (mm²);

f_{yp} - giới hạn chảy của tôn (MPa) [1];

γ_{ap} - hệ số điều kiện làm việc của vật liệu tôn [1];

M_{pr} - mô men phụ thêm (N.mm)

$$M_{pr} = 1,25 M_{pa} \left(1 - \frac{N_{cf}}{A_p \frac{f_{yp}}{\gamma_{ap}}} \right) \leq M_{pa} \quad (4)$$

ThS. Vũ Huy Hoàng

Bộ môn Kết cấu thép - gỗ,

Khoa Xây dựng

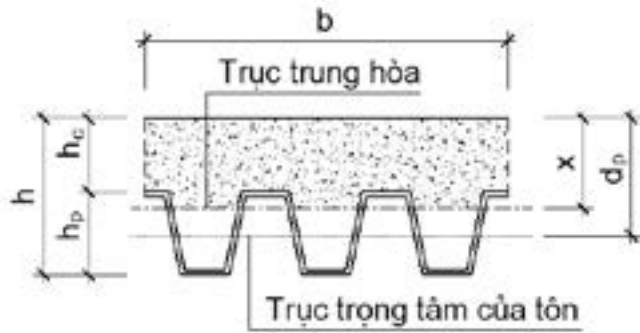
ĐT: 0912348810

Email: hoangvptv@yahoo.com

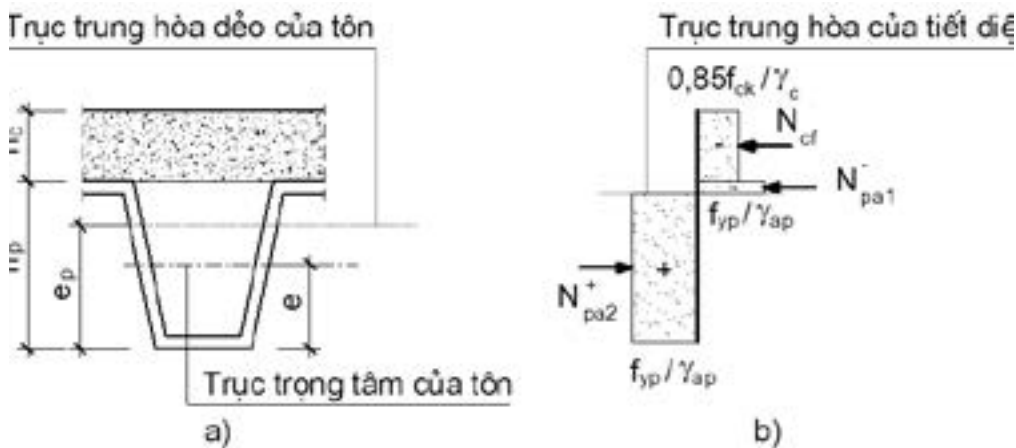
Ngày nhận bài: 12/4/2020

Ngày sửa bài: 28/5/2020

Ngày duyệt đăng: 15/7/2021



Hình 1. Tiết diện tính toán của sàn liên hợp



Hình 2. Sơ đồ tính của tiết diện liên hợp

M_{pa} - mô men kháng uốn dẻo của tiết diện hiệu quả của tôn (N.mm);

b) Điều kiện áp dụng

- Liên kết giữa tôn thép và bê tông sàn là liên kết hoàn toàn. Không có sự trượt tương đối giữa bê tông và tôn.
- Khả năng chịu kéo của tiết diện tôn lớn hơn khả năng chịu nén của phần bê tông sàn nằm phía trên tôn

$$\frac{A_p f_{yp}}{\gamma_{ap}} > \frac{0,85 f_{ck} b h_c}{\gamma_c} \quad (5)$$

c) Công thức kiểm tra

Để sàn liên hợp làm không bị phá hoại, yêu cầu mô men dương lớn nhất do ngoại lực gây ra M_{max}^+ không được vượt quá khả năng chịu mô men dương của sàn liên hợp $[M_{nh}]$:

$$M_{max}^+ \leq [M_{nh}] \quad (6)$$

3. Trình tự thiết lập công thức xác định khả năng chịu mô men dương của sàn liên hợp khi trục trung hòa nằm trong phần tôn thép

Đây là trường hợp tiết diện nằm trong vùng mô men dương, trục trung hòa nằm trong sườn tôn, khi đó tiết diện sẽ phá hoại theo khả năng chịu lực của bê tông.

a) Giả thiết tính toán

Để thành lập được công thức xác định khả năng chịu uốn của sàn liên hợp cần áp dụng các giả thiết dưới đây:

- Sau khi uốn tiết diện vẫn phẳng. Biến dạng do uốn trên mặt cắt ngang tỷ lệ với khoảng cách đến trục trung hòa

- Ở trạng thái giới hạn, toàn bộ diện tích tiết diện của phần thép đều đạt đến giới hạn chảy. Ứng suất trong phần bê tông ở vùng nén đạt đến cường độ tính toán

- Bỏ qua khả năng chịu lực của phần bê tông chịu kéo và phần bê tông nằm trong sóng tôn.

- Bỏ qua khả năng chịu lực của cốt thép lớp dưới (nếu có)

b) Khả năng chịu uốn của tiết diện

Hình 2 trình bày tiết diện liên hợp và sơ đồ tính tương ứng.

Ứng suất trong tiết diện gồm 3 phần (hình 2b):

- Ứng suất nén trong bê tông phía trên đường trung hòa, gây ra nội lực thành phần N_{cf} , chỉ xét phần bê tông phía trên tôn, bỏ qua phần bê tông giữa trục trung hòa và mép trên tôn

$$N_{cf} = b h_c \frac{0,85 f_{ck}}{\gamma_c} \quad (7)$$

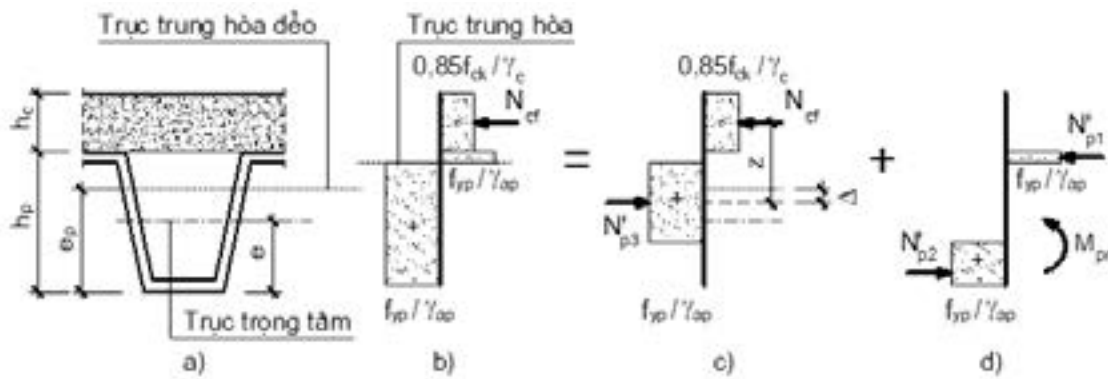
- Do trục trung hòa nằm trong phần tôn thép, do đó có một phần tôn thép tham gia chịu nén cùng với bê tông, gây ra nội lực thành phần N_{pa}^- (trong hình 3 là N_{p1}^-)

- Phần còn lại của tôn thép chịu kéo, gây ra nội lực thành phần N_{pa}^+

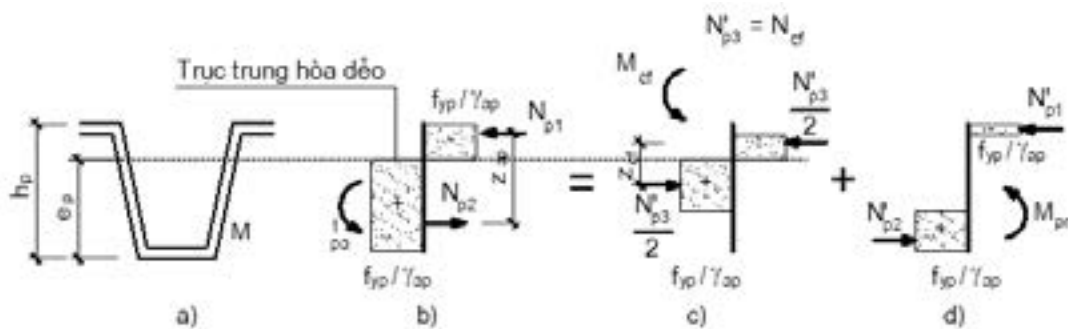
Cấu kiện chịu uốn không có lực dọc nên tổng hợp lực trên tiết diện theo phương dọc trục bằng 0, tức

$$N_{cf} + N_{pa}^- = N_{pa}^+ \quad (8)$$

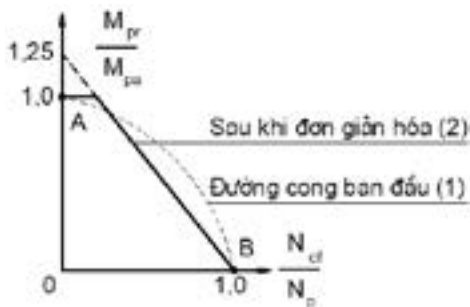
Để đơn giản hoá tính toán, tách N_{pa}^+ thành 2 lực là N_{p2}^+ (có giá trị bằng N_{p1}^+) và N_{p3}^+ (có giá trị bằng N_{cf}). Mô men sinh ra do ngẫu lực N_{p1}^+ và N_{p2}^+ gọi là mô men bổ sung M_{pr} (hình 3d)



Hình 3. Chia tách sơ đồ tính



Hình 4. Liên hệ giữa M_{pa} và M_{pr}



Hình 5. Đồ thị quan hệ giữa M_{pa} và M_{pr}

$$N'_{p3} = N_{cf} \quad (9)$$

$$N'_{p1} = N'_{p2} \quad (10)$$

$$N'_{p1} + N'_{p2} + N'_{p3} = \frac{A_p f_{yp}}{\gamma_{ap}} = N_p \quad (11)$$

Với N_p là tổng khả năng chịu lực trực (kéo hoặc nén) của tiết diện tôn.

Như vậy, khả năng chịu uốn của tiết diện $[M_{nh}]$ sẽ gồm hai thành phần: mô men ngẫu lực do N_{cf} với cánh tay đòn z tương ứng (hình 3c) và mô men phụ M_{pr} (hình 3d)

$$[M_{nh}] = N_{cf} z + M_{pr} \quad (12)$$

c) Mô men phụ M_{pr}

Mô men phụ M_{pr} được xác định thông qua mô men kháng uốn dẹt M_{pa} .

Xét tiết diện tôn ở trạng thái chảy dẻo toàn phần như trên

hình 4, với trục trung hòa dẹt cách đáy tôn một khoảng e_p .

Phía trên trục trung hòa dẹt, tôn chịu nén gây ra thành phần N_{p1} . Phía dưới trục trung hòa dẹt, tôn chịu kéo gây ra thành phần N_{p2} . Vì cường độ chịu kéo và nén của tôn bằng nhau nên:

$$N_{p1} = N_{p2} = \frac{1}{2} \frac{A_p f_{yp}}{\gamma_{ap}} = \frac{1}{2} N_p \quad (13)$$

Giá trị của mô men kháng uốn dẹt M_{pa}

$$M_{pa} = N_{p1} z_{ap} = \frac{1}{2} N_p z_{ap} \quad (14)$$

Tách sơ đồ ứng suất dẻo của tôn (hình 4b) thành hai sơ đồ như thể hiện trên hình 4, với sơ đồ 2 (hình 4d) chính là sơ đồ xác định M_{pr} ở hình 3d, sơ đồ 1 (hình 4c) là phần còn lại. Do $N'_{p1} = N'_{p2}$ nên tại sơ đồ 1 thành phần nén bằng thành phần kéo, dựa vào công thức (11) và (13) để dàng xác định giá trị của chúng bằng nửa N'_{p3} . Mô men của sơ đồ trong hình 4c do ngẫu lực gây ra gọi là M_{cf} , ta có:

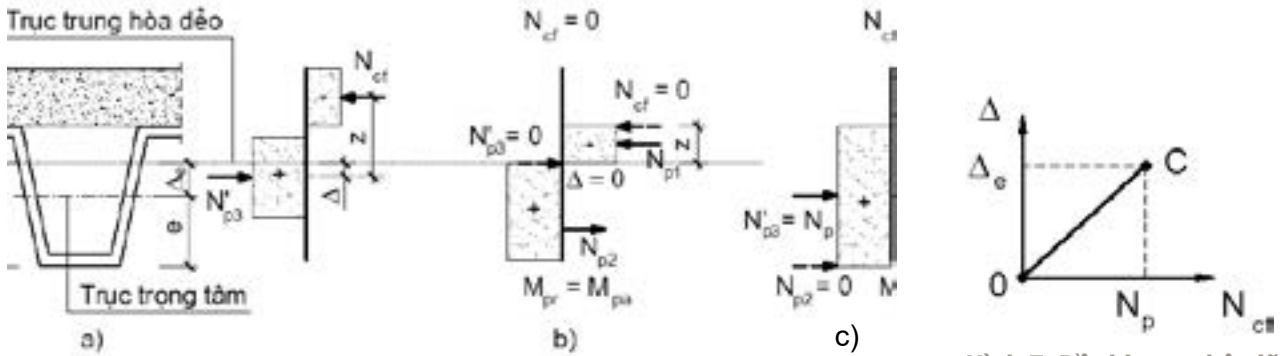
$$M_{cf} = \frac{N'_{p3}}{2} z_{cf} = \frac{N_{cf}}{2} z_{cf} \quad (15)$$

Ta có:

$$M_{pa} = M_{pr} + M_{cf} = M_{pr} + \frac{N_{cf}}{2} z_{cf} \quad (16)$$

$$M_{pr} = M_{pa} - \frac{N_{cf}}{2} z_{cf} = M_{pa} \left(1 - \frac{N_{cf}}{2 M_{pa}} z_{cf} \right) \quad (17)$$

$$\frac{M_{pr}}{M_{pa}} = \left(1 - \frac{N_{cf}}{N_p} \frac{z_{cf}}{z_{ap}} \right) \quad (18)$$



Hình 6. Trường hợp đặc biệt của M_{pr} và z

Hình 7. Đồ thị quan hệ giữa Δ và N_{cf}

Mối quan hệ giữa M_{pr} và M_{pa} được thể hiện bằng đường cong (1) trên hình 5. Khi $N_{cf} = 0$ (hình 6b), tức không có bê tông, không phải là sàn liên hợp, chỉ là sàn thép thuần túy, thì trạng thái giới hạn của sàn chính là tôn thép dẻo hoàn toàn và $M_{pr} = M_{pa}$ (thể hiện bằng điểm A trên đồ thị). Khi $N_{cf} = N_p$ (hình 6c), tức trục trung hòa của tiết diện nằm ngay trên mặt tôn, không có phần tôn thép nào chịu nén, $N_{p1} = 0$, do vậy $M_{pr} = 0$ (điểm B trên đồ thị).

Việc xác định mối quan hệ giữa z_{cf} và z_{ap} để xây dựng đường cong (1) rất phức tạp, không phù hợp với thực tế áp dụng, vì thế đơn giản hóa đường cong (1) thành hai đoạn thẳng (2) như trên hình 5 với biểu thức tương ứng:

$$\text{Đoạn thẳng: } \frac{M_{pr}}{M_{pa}} = 1 \quad (19)$$

$$\text{Đoạn xiên: } \frac{M_{pr}}{M_{pa}} = 1,25 \left(1 - \frac{N_{cf}}{N_p} \right) \quad (20)$$

Biểu thức trên có thể rút gọn thành:

$$M_{pr} = 1,25 M_{pa} \left(1 - \frac{N_{cf}}{A_p \frac{f_{yp}}{\gamma_{ap}}} \right) \leq M_{pa} \quad (21)$$

d) Cánh tay đòn z

Từ hình 6a, ta có:

$$z = h - \frac{h_c}{2} - e_p + \Delta \quad (22)$$

Với Δ là khoảng cách từ vị trí của lực N'_{p3} tới trục trung hòa dẻo của tiết diện tôn.

Khi $N_{cf} = 0$ (hình 6b) tức sàn là sàn tôn thuần túy, thì N'_{p1} và N'_{p2} chính là N_{p1} và N_{p2} , còn $N'_{p3} = 0$, vị trí của N'_{p3} trùng với vị trí của trục trung hòa dẻo, nên $\Delta = 0$ (điểm 0 trên hình 7).

Khi $N_{cf} = N_p$ (hình 6c), trục trung hòa của tiết diện nằm ngay trên mặt tôn, không có phần tôn thép nào chịu nén, toàn bộ tôn chịu kéo, còn $N'_{p3} = N_p$, vị trí của N'_{p3} trùng với vị trí của trục trọng tâm tôn, nên $\Delta = \Delta_e = e_p - e$ (điểm C trên hình 7).

Nếu đơn giản hóa mối quan hệ giữa Δ và N_{cf} là tuyến tính, ta có:

$$\Delta = \Delta_e \frac{N_{cf}}{N_p} = (e_p - e) \frac{N_{cf}}{\frac{A_p f_{yp}}{\gamma_{ap}}} \quad (23)$$

Từ (22) và (23) suy ra:

$$z = h - \frac{h_c}{2} - e_p + (e_p - e) \frac{N_{cf}}{\frac{A_p f_{yp}}{\gamma_{ap}}} \quad (24)$$

4. Kết luận

Việc hiểu rõ bản chất công thức xác định khả năng chịu mô men dương của sàn liên hợp khi trục trung hòa nằm trong phần tôn thép sẽ giúp các kỹ sư tránh được các sai sót khi thiết kế sàn liên hợp, đồng thời khi cần thiết có thể sử dụng các nguyên lý gốc chưa bị đơn giản hóa để đưa ra các thiết kế tối ưu, tiết kiệm hơn.

Tài liệu tham khảo

1. Phạm Văn Hội, Kết cấu liên hợp thép - bê tông, 2006, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật.
2. EN 1994-1-1, Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for building.