

TÍNH TOÁN HẠN CHẾ BỀ RỘNG VẾT NỨT TRÊN BẢN CÁNH DẦM LIÊN HỢP THÉP - BÊ TÔNG CÓ LIÊN KẾT TƯƠNG TÁC KHÔNG HOÀN TOÀN

CALCULATING THE RESTRICTION OF CRACK WIDTH ON THE SLAB OF A STEEL-CONCRETE COMPOSITE BEAM WITH INCOMPLETELY INTERACTIVE CONNECTIONS

Võ Duy Hải¹, Huỳnh Minh Sơn²

¹Trường Cao đẳng Công nghệ, Đại học Đà Nẵng; duyhai88@gmail.com

²Đại học Đà Nẵng; sonhmdhnd@gmail.com

Tóm tắt - Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu phân tích tổng thể biến dạng nứt trên bản cánh (bản bê tông cốt thép có tấm tôn sóng) của dầm liên hợp thép-bê tông có liên kết tương tác không hoàn toàn. Áp dụng tiêu chuẩn Eurocode 4 (Châu Âu) tính toán lựa chọn tỷ lệ phân phối mômen hợp lý cho dầm liên hợp thép-bê tông theo sơ đồ liên tục nhằm giảm giá trị mômen âm tại gối để hạn chế tác nhân gây nứt trên bản cánh, mặt khác làm tăng giá trị mômen dương tại nhịp để phát huy hiệu quả tham gia chịu nén của bản cánh dầm. Từ giá trị nội lực phân phối sẽ tính toán được diện tích cốt thép thanh theo tiêu chí vừa đủ hạn chế bề rộng vết nứt đồng thời tận dụng hết khả năng tham gia chịu lực trong tiết diện liên hợp, đảm bảo cho dầm vừa đủ chịu mômen sau khi phân phối tại đồng thời ở các tiết diện chịu mômen âm tại các gối trung gian và các tiết diện chịu mômen dương ở nhịp.

Từ khóa - Dầm liên hợp thép-bê tông; dầm liên tục; liên kết tương tác không hoàn toàn; mômen bền dẻo; mômen bền dẻo suy giảm; vết nứt; tỷ lệ phân phối mômen; hệ số an toàn thiết kế; bề rộng hiệu quả của bản cánh; cốt thép thanh; Eurocode 4.

1. Đặt vấn đề

Kết cấu dầm-sàn liên hợp thép-bê tông (LH-TBT) có nhiều ưu việt nhờ phát huy tối đa sự làm việc giữa bản cánh bê tông cốt thép có tấm tôn sóng và dầm thép hình là giải pháp tốt cho hệ dầm sàn công trình nhà cao tầng [1] nhờ có thể tiếp cận với các tiêu chí “công trình xanh” do giảm được đáng kể trọng lượng vật liệu, giảm chiều cao dầm cũng như sử dụng linh hoạt tấm tôn sóng trong sàn làm cốppha, qua đó khắc phục hạn chế của phương pháp thi công so với kết cấu bê tông cốt thép toàn khối.

Vấn đề đặt ra là cần phải đảm bảo hạn chế bề rộng vết nứt trên bản cánh dầm tại tiết diện chịu mômen âm hai bên gối trung gian trong điều kiện xét đến liên kết giữa bản cánh và dầm thép hình là tương tác không hoàn toàn?

Việc điều chỉnh nội lực trong dầm liên tục nhằm giảm mômen âm gây nứt tại các gối trung gian đồng thời làm tăng mômen dương tại nhịp [1] (nhưng vẫn đảm bảo các trạng thái về cường độ và độ võng) cần được xem xét để chọn được tỷ lệ phân phối mômen hợp lý sao cho mômen bền dẻo dương của các tiết diện ở nhịp và gối đủ chịu các giá trị mômen tính toán sau khi phân phối.

Như vậy, tính toán cốt thép khống chế bề rộng vết nứt không chỉ dựa theo điều kiện đủ chống nứt theo tiêu chuẩn Eurocode 4 (EC4) mà còn đảm bảo phát huy tối đa khả năng tham gia chịu lực của chúng trong tiết diện liên hợp chịu mômen âm tại gối.

Abstract - The paper presents the results of a study analyzing the overall deformation on a slab (a steel-concrete composite slab with profiled sheeting) of steel-concrete composite beams with partial interaction. The Eurocode 4 (Europe) was applied to calculate and select the reasonable moment ratio distribution for steel-concrete composite beams based on a continuous diagram to reduce the negative moment value at the supports, thereby restricting cracking agents on the slab, and increasing the positive moment value at the beams' mid-span to enhance the of the participation efficiency of the composite slab in compression. The values of the distributed internal forces enabled the calculation of the reinforcement area in such a way that was sufficient enough to limit the crack width and at the same time to take full advantage of the moment resistance ability of the steel-concrete composite beam, ensuring that the composite beam was still capable of resisting the redistributed negative moment at the supports as well as at the areas for the positive moment at the beam's mid-span.

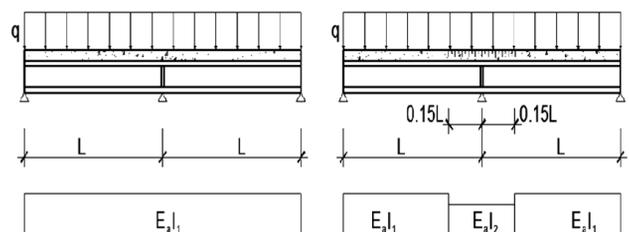
Key words - steel-concrete composite beam; continuous beam; incompletely interactive connections; durable and flexible moment; reduction of durable and flexible moment; cracks; moment distribution ratio; design safety factor; slab's effective width; reinforced steel; Eurocode 4.

Việc tính toán cốt thép hạn chế vết nứt cần xét đến trong các trường hợp bất lợi nhất khi liên kết giữa bản cánh và dầm thép hình là tương tác không hoàn toàn [1].

2. Giải quyết vấn đề

2.1. Phân tích tổng thể dầm LH-TBT có sơ đồ liên tục

EC4 hướng dẫn phương pháp phân tích đàn hồi không phụ thuộc vào loại tiết diện, trong đó chủ yếu kể đến sự mất tính cứng của vùng bê tông chịu mô men âm do hình thành vết nứt, khi đó sẽ phân bố lại mômen trước khi dầm đạt trạng thái giới hạn [4]. Có 02 phương pháp như sau:



a. Phương pháp phân tích đàn hồi không nứt b. Phương pháp phân tích đàn hồi nứt

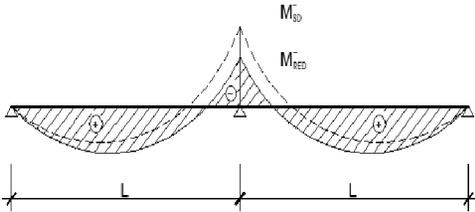
Hình 1. Phương pháp phân tích đàn hồi theo EC4

Phân tích đàn hồi không nứt: Giả thiết rằng bê tông chịu kéo không bị nứt do đó cho phép tính toán với mô men quán tính (I_1) (tính cho tiết diện liên hợp thép-bê tông) lấy

không đổi trên toàn nhịp dầm [8];

Phân tích đàn hồi nứt: Giả thiết phần bê tông chịu kéo đã bị nứt do đó lấy mômen quán tính (I_2) trong phạm vi 15% chiều dài nhịp ở hai bên gối trung gian, còn lại lấy mômen quán tính (I_1). Mômen quán tính (I_2) được tính bỏ qua phần bê tông bị nứt, kê đến cốt thép bố trí trong bê tông hiệu quả (b_{eff}) của bản cánh tại gối trung gian [8].

Theo EC4, phân bố mô men trong dầm liên tục được tính toán bằng cách giảm mômen âm tại tiết diện gối (có tỷ số mô men tính toán và mômen bền dẻo lớn [2]), đồng thời làm tăng mômen dương tại nhịp dầm mà vẫn đảm bảo cân bằng giữa tải trọng tác dụng và mômen uốn.



Hình 2. Phân bố mô men uốn trong dầm liên tục

Tiến hành phân phối lại mômen tại nhịp:

$$M_{red}^{(+)} = M_{sd}^{(+)} + p.M_{sd}^{(-)} \quad (1)$$

Trong đó:

$M_{sd}^{(+)}$: Mômen tính toán dương tại tiết diện nhịp;

$M_{sd}^{(-)}$: Mômen tính toán âm tại tiết diện gối;

p là tỷ lệ phân phối mô men (%) không lấy quá giá trị ở Bảng 1 [8].

Bảng 1. Tỷ lệ phân phối mô men p (%) lớn nhất

Loại tiết diện (tại gối)	1	2
Phân tích đàn hồi không nứt	40%	30%
Phân tích đàn hồi nứt	25%	15%

Giá trị mômen phân phối tại nhịp $M_{red}^{(+)}$ cần được kiểm tra sao cho thỏa mãn điều kiện độ võng:

$$\frac{\Delta}{L} \leq \left[\frac{\Delta}{L} \right] \quad (2)$$

Trong đó: δ_f là giá trị độ võng lớn nhất tại nhịp dầm xét liên kết có tương tác hoàn toàn [2]:

$$\Delta = \Delta_f \left[1 + k_s (1 - N/N_f) / (\Delta_a / \Delta_f - 1) \right] \quad (3)$$

Trong đó:

Δ_a : Độ võng của dầm thép có cùng nhịp và tải trọng;

Hệ số $k_s=0,3$ khi thi công không chống đỡ và $k_s=0,5$ khi thi công có chống đỡ [8];

N/N_f : Mức độ liên kết tương tác không hoàn toàn, theo EC4: $N/N_f=0,4 \div 1$ [8];

Liên kết tương tác hoàn toàn: $N/N_f=1$;

Liên kết tương tác không hoàn toàn: $N/N_f < 1$;

Δ_f : Độ võng của dầm LH-TBT cùng nhịp và tải trọng khi liên kết tương tác hoàn toàn [2]:

$$\Delta_f = \Delta_0 \left[1 - Cr_1 r_2 (M_A^- + M_B^-) / M_0^+ \right] \quad (4)$$

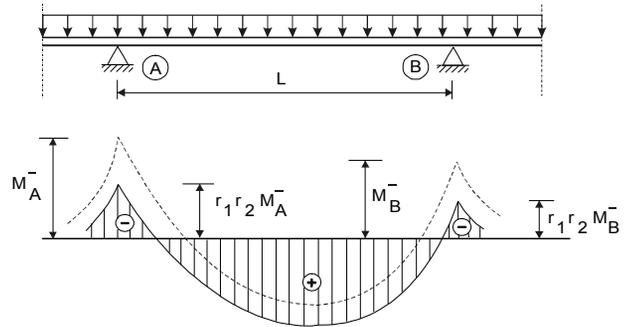
Trong đó:

M_A^-, M_B^- là mô men tại gối tựa tính toán theo phân tích đàn hồi không nứt;

$C=0,6$ khi tải trọng phân bố đều;

$C=0,5$ khi tải trọng tập trung giữa nhịp.

Δ_0 và M_0^+ : Độ võng và mô men dương tương ứng giữa nhịp khi coi như dầm đơn giản gối tựa khớp ở A,B.



Hình 3. Tính toán độ võng dầm liên tục theo mômen gối

Để tận dụng hết vật liệu, cho giá trị mômen sau khi phân phối tại nhịp bằng mômen bền dẻo dương:

$$M_{red}^{(+)} = M_{pl,Rd}^{(+)} \quad (5)$$

$M_{pl,Rd}^{(+)}$: Mômen bền dẻo dương của tiết diện.

Xét đến liên kết tương tác không hoàn toàn ($N/N_f < 1$) thì phải thay $M_{pl,Rd}^{(+)}$ bằng mômen bền dẻo dương suy giảm $M_{red,Rd}^{(+)}$:

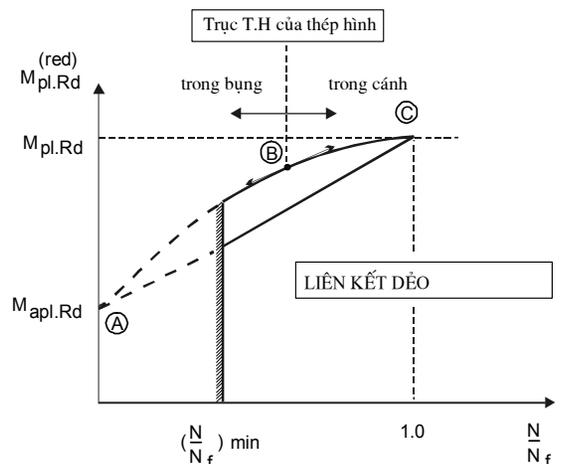
$$M_{red}^{(+)} = M_{red,Rd}^{(+)} \quad (6)$$

EC 4 thể hiện quan hệ giữa mômen bền dẻo dương suy giảm $M_{red,Rd}^{(+)}$ và mật độ liên kết tương tác không hoàn toàn (N/N_f) theo đường cong ABC như Hình 4. Vì đường cong ABC luôn lồi nên bằng phương pháp đơn giản, thiên về an toàn có thể thay ABC bằng đường thẳng AC [2], từ đó xác định được mômen bền dẻo suy giảm:

$$M_{red,Rd}^{(+)} = M_{apl,Rd}^{(+)} + \frac{N}{N_f} (M_{pl,Rd}^{(+)} - M_{apl,Rd}^{(+)}) \quad (7)$$

Trong đó:

$M_{apl,Rd}^{(+)}$: Mômen bền dẻo dương do dầm thép hình.



Hình 4. Mômen bền dẻo giảm do tương tác không hoàn toàn

Gọi $k = \frac{M_{red,Rd}^{(+)}}{M_{red}^{(+)}}$ (8) là hệ số an toàn thiết kế ($k \geq 1$) thể

hiện mức độ thiết kế an toàn nghĩa là chênh lệch giữa khả năng chịu mômen của tiết diện với mômen tính toán.

Suy ra tỷ lệ phân phối mômen hợp lý p^* (%):

$$p^* = (M_{red,Rd}^{(+)} - M_{sd}^{(+)}) / M_{sd}^{(+)} \quad (8)$$

Tính được mômen sau khi phân phối tại gối theo p^* :

$$M_{red}^{(-)} = (1 - p^*) \cdot M_{sd}^{(-)} \quad (9)$$

2.2. Tính toán cốt thép thanh trong bản cánh dầm

Để tận dụng hết vật liệu, cho giá trị mômen sau khi phân phối tại gối bằng mômen bền dẻo âm:

$$M_{red}^{(-)} = (1 - p^*) \cdot M_{sd}^{(-)} = M_{pl,Rd}^{(-)} \quad (10)$$

Mômen bền dẻo âm theo EC4 có 02 trường hợp [8] tùy theo vị trí trục trung hòa dẻo của tiết diện dầm:

Trường hợp 1: Trục trung hòa trên bản cánh dầm thép:

$$\text{Khi } F_a > F_s \text{ và } F_a - F_s \leq \frac{2b_f t_f f_y}{\gamma_a} \quad (11)$$

$$M_{pl,Rd}^{-} = F_a \left(\frac{h_a}{2} + h_s \right) - (F_a - F_s) \left(\frac{z_f}{2} + h_s \right) \quad (12)$$

Trong đó:

F_a, F_s : Hợp lực do dầm thép hình và thép thanh;

$$F_a = A_a \frac{f_y}{\gamma_a} \quad (13); \quad F_s = A_s \frac{f_{sk}}{\gamma_s} \quad (14)$$

h_a : Chiều cao dầm thép hình;

h_s : Khoảng cách trọng tâm các lớp thép thanh đến mép trên dầm thép hình;

b_f, t_f : Bề rộng và bề dày dầm thép hình;

f_y : Giới hạn chảy của vật liệu thép hình;

f_{sk} : Giới hạn chảy của vật liệu thép thanh;

γ_a : Hệ số an toàn vật liệu của thép hình, $\gamma_s = 1,0$;

γ_s : Hệ số an toàn vật liệu của thép thanh, $\gamma_s = 1,15$;

z_f : Bề dày cánh chịu kéo từ trục trung hòa đến mép trên dầm thép hình:

$$z_f = \frac{F_a - F_s}{2b_f \frac{f_y}{\gamma_a}} \quad (15)$$

Trường hợp 2: Trục trung hòa trên bụng của dầm thép: Khi

$$F_a > F_s \text{ và } F_a - F_s > \frac{2b_f t_f f_y}{\gamma_a} \quad (16)$$

$$M_{pl,Rd}^{-} = M_{apl,Rd} + F_s \left(\frac{h_a}{2} + h_s \right) - \frac{F_s^2}{4t_w \frac{f_y}{\gamma_a}} \quad (17)$$

Trong đó:

t_w : Bề dày bụng dầm thép hình;

$$M_{apl,Rd} = \frac{2 S_x \cdot f_y}{\gamma_a} \quad (18) \quad \text{với } S_x = W_{ypl}/2 \quad (19)$$

W_{ypl} : Môđun kháng uốn theo trục y của thép hình.

Từ (12) hay (17) suy ra hợp lực cốt thép thanh (F_s) và diện tích cốt thép thanh cần thiết (A_{sct}) trong bản cánh theo tiêu chí bền đều đảm bảo phát huy hết khả năng tham gia chịu lực của cốt thép thanh trong tiết diện liên hợp.

Mặt khác, theo EC4, diện tích cốt thép thanh tối thiểu phải đảm bảo hạn chế bề rộng vết nứt trên bản cánh:

Về yêu cầu cấu tạo, nếu không tính toán hạn chế bề rộng của vết nứt trong bản cánh dầm LH-TBT thì cần phải bố trí cốt dọc (không kể tấm tôn) ít nhất là 0,4% diện tích phần bê tông khi dầm được chống đỡ và 0,2% diện tích phần bê tông khi dầm không được chống đỡ [7]. Mặt khác, yêu cầu cấu tạo cần kéo dài các cốt thép cấu tạo một đoạn bằng 1/4 chiều dài nhịp ở hai bên gối trung gian hoặc 1/2 chiều dài nhịp khi dầm dạng côngxôn [5].

Về yêu cầu tính toán, diện tích cốt thép thanh tối thiểu để hạn chế bề rộng vết nứt gây ra chỉ do các biến dạng co ngót của bê tông hay chuyển vị gối tựa [6]:

$$A_{smin} = k \cdot k_c \cdot f_{ct} \cdot A_{ct} / \sigma_s \quad (20)$$

Trong đó:

k : Hệ số giảm sức bền của bê tông chịu kéo khi so với ứng suất ở những vùng gần vết nứt, $k = 0,8$ [8];

k_c : Hệ số kể đến sự phân bố dầm tam giác của biến dạng trong tiết diện liên hợp trước khi nứt, thiên về an toàn có thể lấy $k_c = 0,9$ [8];

A_{ct} : Diện tích của bản bê tông chịu kéo (ứng với bề rộng hiệu quả của bản b_{eff});

f_{ct} : Cường độ trung bình của bê tông tại thời điểm bắt đầu nứt; khi đã đủ 28 ngày có thể lấy $f_{ct} = 3 \text{ kN/mm}^2$ [5]

σ_s : Ứng suất cho phép lớn nhất của cốt thép thanh khi bắt đầu hình thành vết nứt [6].

Để cốt thép thanh vẫn làm việc đàn hồi khi xuất hiện các vết nứt đầu tiên [4]:

$$\sigma_s \leq f_{sk} \quad (21)$$

Để hạn chế bề rộng vết nứt nên dùng cốt thép thanh có ma sát lớn (cốt có gờ hay lưới hàn) và đường kính nhỏ [4]. Bảng 2 [8] cho giá trị σ_s phụ thuộc đường kính lớn nhất của thép thanh và bề rộng cho phép của vết nứt (w_k).

Kết hợp hai yêu cầu tính toán thép thanh vừa đảm bảo đủ bền tại tiết diện liên hợp chịu mômen âm tại gối cũng như tiết diện liên hợp chịu mômen dương tại nhịp đồng thời đủ để hạn chế bề rộng vết nứt ($w_k = 0,3 \text{ mm}$ hoặc $w_k = 0,5 \text{ mm}$), xác định được diện tích cốt thép thanh:

$$A_s = \max (A_{sct} \text{ và } A_{smin}) \quad (22)$$

A_{sct} : Diện tích thép thanh cần thiết theo tiêu chí bền;

A_{smin} : Diện tích thép thanh tối thiểu để khống chế nứt.

2.3. Kết quả tính toán, khảo sát

Tính toán và khảo sát dầm LH-TBT theo sơ đồ liên tục hai nhịp, mỗi nhịp $L = 10 \text{ m}$, khoảng cách dầm 3 m . Dầm thép hình IPE450, chiều cao dầm LH-TBT lần lượt là $h = 630; 640; 650$ và 660 mm với các bề dày bản cánh: $h_b = 180; 190; 200$ và 210 mm [3].

Theo EC4, các tiết diện chịu mômen âm tại gối tựa

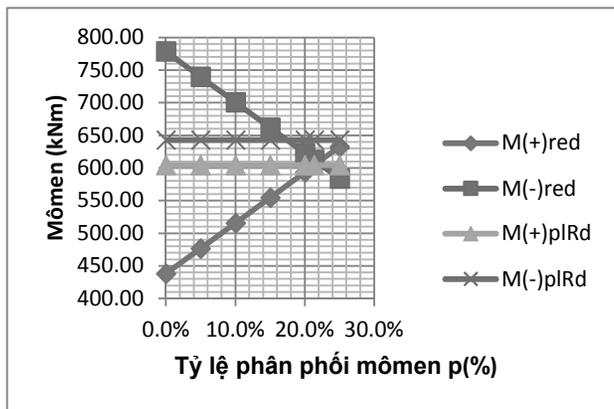
trung gian phải là liên kết tương tác hoàn toàn. Khảo sát chọn tỷ lệ phân phối mômen hợp lý p^* (%) và tính toán bố trí cốt thép thanh cần thiết để hạn chế nứt bản cánh?

2.3.1 Trường hợp bất lợi nhất khi liên kết tương tác không hoàn toàn $N/N_f=0,4$:

Khi $h_b=200\text{mm}$: Theo thuật toán như mục 2 và công thức (8) xác định được tỷ lệ phân phối mômen hợp lý $p^*=21,37\%$ ứng với $M_{\text{red}}^{(+)}=M_{\text{red,Rd}}^{(+)}$ ($k=1$). Thay đổi bề dày bản cánh: $h_b=180; 190; 200$ và 210mm , xác định được tỷ lệ phân phối mômen hợp lý p^* (%) như Bảng 2.

Bảng 2. Tỷ lệ phân phối mômen hợp lý p^* (%) ($N/N_f=0,4$)

Tỷ lệ phân phối mômen p (%)	Bề dày bản cánh dầm $h_b=200\text{mm}$			
	Mômen tính toán sau khi phân phối tại nhịp $M_{\text{red}}^{(+)}$ (kN.m)	Mômen tính toán sau khi phân phối tại gối $M_{\text{red}}^{(-)}$ (kN.m)	Mômen bền dẻo của tiết diện tại nhịp khi $N/N_f=0,4$ $M_{\text{red,Rd}}^{(+)}$ (kN.m)	Mômen bền dẻo của tiết diện tại nhịp khi $N/N_f=0,4$ $M_{\text{red,Rd}}^{(-)}$ (kN.m)
0,00	437,90	778,50	604,30	643,04
5,00	476,83	739,58		
10,00	515,75	700,65		
15,00	554,68	661,73		
20,00	593,60	622,80		
21,37	604,30	613,46		
25,00	632,53	583,88		
Tỷ lệ phân phối mômen hợp lý p^* (%)	Bề dày bản cánh dầm thay đổi $h_b(\text{mm})$			
	180	190	200	210
	18,85	19,99	21,37	22,40



Hình 5. Tỷ lệ phân phối mômen hợp lý p^* (%) ($N/N_f=0,4$)

Dựa vào tỷ lệ phân phối mômen p^* (%), theo thuật toán mục 2.2, tính toán được:

- Diện tích cốt thép thanh cần thiết (A_{set}) tại tiết diện gối tựa như Bảng 3 để đảm bảo phát huy hết khả năng chịu lực của thép thanh trong tiết diện liên hợp tại gối tựa;
- Diện tích cốt thép thanh tối thiểu (A_{min}) như Bảng 3 đủ không chế bề rộng vết nứt ($w \leq w_k=0,3\text{mm}$) theo (20).

Kết hợp hai điều kiện theo (22), tính được diện tích cốt thép thanh trong bản cánh (A_{sc}), suy ra khoảng cách cốt thép (s) ($60\text{mm} \leq s \leq 200\text{mm}$) như Bảng 3.

Kết quả Bảng 3 cho thấy: Khi $N/N_f=0,4$ và $h_b=200\text{mm}$, diện tích cốt thép A_{set} luôn lớn hơn A_{min} do đó không những đảm bảo yêu cầu không chế bề rộng vết nứt mà còn đảm bảo cho cốt thép thanh làm việc hiệu quả tại tiết diện gối chịu mômen âm và chênh lệch giữa mômen tính toán

và mômen bền dẻo dương tại nhịp dầm bằng 0. Đây là phương án tối ưu và an toàn nhất ngay cả khi mức độ tương tác không hoàn toàn thấp nhất cho phép theo EC4 ($N/N_f=0,4$).

Bảng 3. Tính toán cốt thép hạn chế nứt bản cánh ($N/N_f=0,4$)

Bề dày bản cánh h_b (mm)	180	190	200	210	
Mômen bền dẻo ($N/N_f=1$) $M_{\text{pl,Rd}}^{(+)}$ (kN.m)	861,1	884,3	907,5	930,7	
Mômen bền dẻo $N/N_f=0,4$ $M_{\text{red,Rd}}^{(+)}$ (kN.m)	584,7	593,6	604,3	612,3	
Mômen tính toán sau khi phân phối ($k=1$) $M_{\text{sd}}^{(+)}$ (kN.m)	584,7	593,6	604,3	612,3	
Tỷ lệ phân phối mômen hợp lý p^* (%)	18,90	20,00	21,37	22,40	
Mômen tính toán sau khi phân phối $M_{\text{red}}^{(+)}=M_{\text{pl,Rd}}^{(+)}$ (kN.m)	632,3	622,3	613,5	604,4	
Diện tích cốt thép cần thiết tại tiết diện gối tựa A_{set} (mm^2)	1800,0	1623,2	1473,4	1348,4	
Diện tích cốt thép tối thiểu để không chế bề rộng vết nứt ($w_k=0,3\text{mm}$) A_{min} (mm^2)	840 (Φ6)	945 (Φ8)	1050 (Φ10)	1181,25 (Φ12)	
Kết quả chọn cốt thép chống nứt cho bản cánh dầm LH-TBT ($N/N_f=0,4$)					
Bề dày bản cánh h_b (mm)	180	190	200	210	
Đường kính Φ (mm)	12	12	12	10	12
Khoảng cách cốt thép ($60\text{mm} < s < 300\text{mm}$)	70	80	90	70	100
Diện tích cốt thép chọn A_{sc} (mm^2)	2131,6	1879,3	1683,4	1480,3	1526,2

2.3.2 Trường hợp khi liên kết tương tác không hoàn toàn $N/N_f=0,5 \div 1$

Thay đổi mức độ liên kết tương tác không hoàn toàn ($N/N_f=0,5 \div 1$) và hệ số an toàn thiết kế (k), tương tự ta được tỷ lệ phân phối mômen hợp lý p^* (%) như Bảng 4.

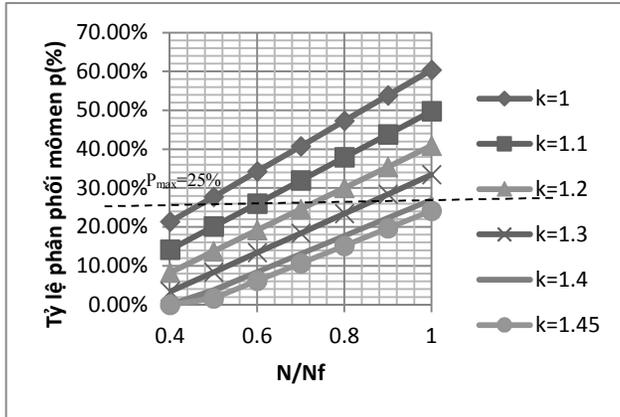
Bảng 4. Tỷ lệ phân phối mômen hợp lý p^* (%) theo (N/N_f)

Hệ số an toàn thiết kế ($k \geq 1$)	Mức độ liên kết tương tác không hoàn toàn ($N/N_f \leq 1$)						
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1,00	21,37	27,72	34,24	40,76	47,28	53,80	60,32
1,10	14,16	20,09	26,01	31,94	37,87	43,79	49,72
1,20	8,29	13,73	19,16	24,59	30,02	35,46	40,89
1,30	3,33	8,34	13,36	18,37	23,39	28,40	33,42
1,40	0,00	3,73	8,39	13,04	17,70	22,36	27,01
1,45	0,00	1,66	6,16	10,65	15,15	19,65	24,14

Các giá trị nền sẫm màu trong Bảng 4 không được lựa chọn vì tỷ lệ phân phối mômen p^* vượt quá trị số cho phép theo phương pháp phân tích đàn hồi nứt [8] như Bảng 1 là 25%.

Dựa vào đồ thị Hình 6, nhận thấy tùy theo yêu cầu thiết kế an toàn mà lựa chọn hệ số k . Hệ số k càng lớn thì tỷ lệ phân phối mômen hợp lý p^* càng nhỏ và ngược lại. Mặt khác, tùy theo mức độ tương tác không hoàn toàn (N/N_f) và hệ số thiết kế an toàn (k) theo yêu cầu lựa chọn của người thiết kế, Sử dụng đồ thị Hình 6 có thể dễ dàng xác

định được tỷ lệ phân phối mômen hợp lý p^* (%) thỏa mãn $p^* \leq p_{\max} = 25\%$ như Bảng 1 (EC4) (trên Hình 6 các giá trị p^* lựa chọn nằm dưới đường đứt nét $p_{\max} = 25\%$). Với giá trị p^* (%) xác định được, có thể tính được diện tích cốt thép thanh cần bố trí trong bản cánh dầm cho các trường hợp liên kết tương tác không hoàn toàn ($N/N_f = 0,5 \div 1$), kết quả thể hiện trên Bảng 5. Các giá trị (-) có p^* vượt quá 25% hoặc không xác định được p^* khi k lớn trong khi N/N_f nhỏ.



Hình 6. Tỷ lệ phân phối mômen hợp lý p^* (%) theo (N/N_f)

Bảng 5. Tính toán cốt thép hạn chế nứt bản cánh ($N/N_f = 0,5 \div 1$)

k	N/N_f						
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1,0	Φ12/100 1526mm ²	-	-	-	-	-	-
1,1	Φ12/70 2131,6mm ²	Φ12/90 1683mm ²	-	-	-	-	-
1,2	Φ14/70 2901,4mm ²	Φ12/70 2131,6mm ²	Φ12/90 1683mm ²	Φ10/80 1305mm ²	-	-	-
1,3	Φ14/60 3359,3mm ²	Φ14/70 2901,4mm ²	Φ12/70 2131,6mm ²	Φ12/90 1683mm ²	Φ12/110 1397,6mm ²	-	-
1,4	-	Φ14/60 3359,3mm ²	Φ14/70 2901,4mm ²	Φ12/70 2131,6mm ²	Φ12/80 1879,3mm ²	Φ12/110 1397,6mm ²	-
1,45	-	-	Φ14/70 2901,4mm ²	Φ12/60 2468mm ²	Φ12/70 2131,6mm ²	Φ12/90 1683mm ²	Φ12/120 1290,5mm ²

Dựa vào kết quả Bảng 5 nhận thấy, diện tích cốt thép hạn chế nứt giảm dần khi mức độ tương tác không hoàn toàn của liên kết (N/N_f) tăng lên và ngược lại. Mặt khác, hệ số an toàn thiết kế (k) càng tăng thì diện tích cốt thép hạn chế nứt theo đó cũng cho phép tăng lên và ngược lại.

3. Kết luận

Vấn đề kháng nứt cho dầm LH-TBT nhằm giải quyết thực tế khó tránh khỏi do hiện tượng co ngót của bê tông hoặc chủ yếu do ứng suất kéo trong vùng chịu mômen âm trong dầm liên tục. Khi liên kết có tương tác không hoàn toàn, ảnh hưởng của sự nứt bản cánh bê tông đến khả năng chịu mômen và độ võng của dầm là đáng kể [3].

Việc tính toán, kiểm tra vết nứt bản cánh bê tông của dầm LH-TBT phải được kiểm tra cùng với trạng thái giới

hạn sử dụng về độ võng. Để hạn chế nguy cơ gây nứt tại gối tựa trung gian của dầm liên tục cần xem xét việc điều chỉnh nội lực thông qua tỷ lệ phân phối mômen p (%) sao cho giảm được mômen âm tính toán tại gối để ngăn ngừa sự nứt đồng thời làm tăng mômen dương tính toán tại nhịp nhưng không được vượt quá giá trị cho phép trong trạng thái giới hạn về cường độ hay độ võng ở nhịp dầm. Tùy theo yêu cầu thiết kế có thể lựa chọn mức độ an toàn thông qua hệ số an toàn thiết kế (k) từ đó, xác định được tỷ lệ phân phối mômen hợp lý p^* (%) tùy theo mức độ liên kết tương tác không hoàn toàn (N/N_f).

Diện tích cốt thép thanh cần thiết (A_{sc}) để hạn chế sự nứt cho bản bê tông cần được tính toán dựa trên diện tích thép tối thiểu (A_{smin}) theo EC4 đồng thời phải dựa trên tiêu chí “bền đều” về khả năng làm việc tại các tiết diện nhịp và các gối tựa trung gian (A_{sct}) tương ứng với tỷ lệ phân phối mômen hợp lý p^* (%). Tỷ lệ phân phối mômen hợp lý p^* (%) được lựa chọn sao cho chênh lệch mômen tính toán sau khi phân phối với mômen bên dèo của dầm tại các tiết diện giữa nhịp và gối tựa trung gian (phụ thuộc hệ số an toàn thiết kế ($k \geq 1$) và mức độ liên kết tương tác không hoàn toàn N/N_f) bằng 0.

Trong phạm vi khảo sát, phương án tính toán cốt thép thanh kháng nứt an toàn và kinh tế nhất khi $k=1$ và $N/N_f=0,4$ sẽ luôn đảm bảo không chế bề rộng vết nứt luôn nhỏ hơn giá trị giới hạn $w_k=0,3\text{mm}$ trong mọi trường hợp liên kết tương tác không hoàn toàn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Huỳnh Minh Sơn, nghiên cứu ứng dụng công nghệ sản liên hợp thép-bê tông trong công trình nhà cao tầng ở đô thị Việt Nam, báo cáo tổng kết đề tài khoa học công nghệ cấp Bộ-2008.
- [2] Phạm Văn Hội, Kết cấu liên hợp thép – bê tông, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, Hà Nội-2006.
- [3] Võ Duy Hải, nghiên cứu ảnh hưởng vết nứt trong bản bê tông có tương tác không hoàn toàn với dầm thép hình đến khả năng chịu tải của dầm liên hợp thép-bê tông, Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, Đại học Đà Nẵng -2013.
- [4] Vasdravellis George; Uy Brian; Tan Ee Loon; Kirkland Brenadan, Behaviour and design of composite beams subjected to negative bending and compression, Journal of Constructional Steel Research-2012.
- [5] Asst.Lect. Hesham Abd AL- Latef Numans, Linear Analysis of Continuous Composite Concrete-Steel Beam with Partial Connection Journal of Engineering and Development, No. 2-2009.
- [6] Prof. Dr.Ing.U.Kuhlmann, Institute of Structural Design Universitat Stuttgart Gemany, Design of composite beams according to Eurocode 4-1-1-2006.
- [7] P.R Johnson, Composite structures of steel and concrete. Volume 1, Beames, Slaps Columns, and Frames for buildings, Blackwell Scientific Publications -2004.
- [8] Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures Part 1-1: General rules and rules for buildings-2006.