

ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY CỦA DẦM LIÊN HỢP THÉP - BÊ TÔNG CỐT THÉP SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP MÔ PHÒNG MONTE CARLO

Nguyễn Trọng Hà⁽¹⁾, Trần Ngọc Long⁽¹⁾,
Võ Thành Phúc⁽²⁾ và Trần Vĩnh Long⁽²⁾

¹ Khoa Xây dựng, Trường Đại học Vinh

² Học viên cao học khóa 26 - Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Vinh

Ngày nhận bài 7/11/2019, ngày nhận đăng 26/12/2019

Tóm tắt: Bài báo trình bày phương pháp đánh giá độ tin cậy của dầm liên hợp thép - bê tông cốt thép với tham số đầu vào là các đại lượng ngẫu nhiên. Mô hình ngẫu nhiên được xây dựng trên cơ sở kết hợp mô hình tất định dầm thép liên hợp thép - bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn Eurocode 4 (EC-4) và phương pháp mô phỏng Monte Carlo. Chương trình tính xây dựng trên nền Matlab cho phép nhóm tác giả tiến hành các khảo sát số. Kết quả nghiên cứu này là tiền đề để nhóm tác giả tiếp tục phát triển mở rộng bài toán cho các dạng kết cấu khác và xét đến các yếu tố ngẫu nhiên khác nhau.

Từ khóa: Dầm liên hợp thép - bê tông cốt thép; độ tin cậy; mô phỏng Monte Carlo.

1. Mở đầu

Dầm liên hợp thép - bê tông cốt thép (Steel Reinforced Concrete - SRC) với các ưu điểm như giảm được trọng lượng bản thân kết cấu, thời gian thi công nhanh là loại kết cấu sử dụng phổ biến trong các công trình dân dụng và công nghiệp. Hiện nay ở Việt Nam chưa có tiêu chuẩn thiết kế cho loại kết cấu này mà cho phép các thiết kế được sử dụng tiêu chuẩn thay thế là Eurocode-4, [1] điều này dẫn đến khi chuyển đổi các tham số thiết kế như tải trọng sử dụng, cường độ vật liệu và các điều kiện an toàn sẽ có sự sai lệch do nhiều nguyên nhân khác nhau dẫn đến có sự suy giảm về độ tin cậy.

Phân tích độ tin cậy là đánh giá xác suất an toàn hoặc xác suất không an toàn của kết cấu khi các tham số đầu vào là các đại lượng không chắc chắn. Lý thuyết độ tin cậy là sự kết hợp của lý thuyết xác suất - thống kê và lý thuyết các quá trình ngẫu nhiên. Xác suất không an toàn của kết cấu được xác định theo biểu (1) như sau [2].

$$P_f = \int_{g(\mathbf{X}) \leq 0} f_{\mathbf{X}}(\mathbf{X}) d\mathbf{x} \quad (1)$$

Trong đó, $\mathbf{X} = \{X_i\}$ là véc tơ các biến ngẫu nhiên đầu vào, $g(\mathbf{X})$ là hàm công năng của kết cấu, $f_{\mathbf{X}}(\mathbf{X})$ là hàm mật độ xác suất đồng thời của véc tơ \mathbf{X} . Miền không an toàn được xác định bởi điều kiện $g(\mathbf{X}) < 0$, miền an toàn được xác định bởi $g(\mathbf{X}) > 0$ và $g(\mathbf{X}) = 0$ định nghĩa mặt giới hạn.

Nghiên cứu, áp dụng lý thuyết độ tin cậy để đánh giá độ tin cậy của kết cấu luôn là một đề tài thu hút sự quan tâm của rất nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước. Ở Việt Nam, năm 2003, tác giả Nguyễn Xuân Chính nghiên cứu đánh giá độ tin cậy của kết cấu bê tông cốt thép với tham số ngẫu nhiên đầu vào là cường độ của bê tông được lấy từ kết

quả thí nghiệm [3]. Năm 2010, tác giả Phạm Khắc Hùng đánh giá độ tin cậy của kết cấu công trình biển cố định bằng thép theo điều kiện bền mở rộng [4]. Nghiên cứu của tác giả Nguyễn Vi và cộng sự về độ tin cậy theo điều kiện ổn định chung của mái dốc và của tường chắn cứng được giới thiệu trong [5], [6]. Độ tin cậy của kết cấu với các tham số đầu vào là đại lượng mờ cũng được nhóm tác giả Lê Xuân Huỳnh và Lê Công Duy quan tâm nghiên cứu trong [7]. Các nghiên cứu này chủ yếu sử dụng phương pháp chỉ số độ tin cậy β hay các phương pháp FORM, SORM. Trong những năm gần đây phương pháp mô phỏng Monte Carlo đã được sử dụng trong đánh giá độ tin cậy của kết cấu công trình. Năm 2012, tác giả Nguyễn Chí Hiếu nghiên cứu độ tin cậy của sàn ứng lực trước với số liệu đo đạc thu được từ thực nghiệm. Tác giả Đặng Xuân Hùng và Nguyễn Trọng Hà nghiên cứu bài toán độ tin cậy của khung phẳng phẳng theo điều kiện ổn định [8], [9].

Về vấn đề phân tích độ tin cậy của dầm thép, dầm bê tông cốt thép đã có nhiều nhà khoa học trên thế giới nghiên cứu khá sớm. Năm 1994, trong [10] tác giả Zhao và cộng sự đánh giá độ tin cậy của cầu thép theo điều kiện an toàn về mỏi của vật liệu theo tiêu chuẩn AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Các yếu tố ngẫu nhiên được quy định trong AASHTO gồm mô đun đàn hồi, cường độ, ứng suất mỏi của vật liệu... Cũng trong công bố này tác giả đề xuất phương pháp Linear Elastic Fracture Method (LEFM) để đánh giá độ tin cậy theo cùng điều kiện như trên nhưng với đề xuất biến ngẫu nhiên khác với tiêu chuẩn AASHTO như: thời gian, thông số hình học, tính chất vật liệu. Tác giả Galambos và cộng sự trong [11] thì áp dụng các phương pháp này để đánh giá độ tin cậy của kết cấu dầm, cột hay liên kết giữa dầm và cột, thiết kế theo tiêu chuẩn AISC của Mỹ. Năm 2018, nhóm các tác giả M. Abubaka và cộng sự đã đánh giá độ tin cậy của dầm liên hợp thép - bê tông theo tiêu chuẩn Eurocode-4, trong nghiên cứu này tác giả sử dụng phương pháp FORM để đánh giá chỉ số độ tin cậy. Ngoài ra một số nghiên cứu về độ tin cậy của dầm thép, dầm bê tông cốt thép cũng được công bố trong thời gian gần đây như [12-16].

Qua các nghiên cứu này, nhóm tác giả nhận thấy việc đánh giá độ tin cậy của kết cấu dầm liên hợp thép - bê tông cốt thép là rất quan trọng. Tuy nhiên theo tìm hiểu của nhóm tác giả thì các nghiên cứu về vấn đề này còn tương đối hạn chế cả về mô hình tính toán và phương pháp đánh giá độ tin cậy. Vì vậy bài báo này hướng đến việc nghiên cứu đánh giá độ tin cậy của kết cấu dầm liên hợp thép - bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn Eurocode-4 bằng phương pháp mô phỏng Monte Carlo.

2. Thiết kế tiết diện dầm liên hợp thép - bê tông cốt thép

2.1. Điều kiện an toàn theo trạng thái giới hạn

Thiết kế kết cấu liên hợp thép - bê tông cốt thép trong bài báo này được nhóm tác giả sử dụng tiêu chuẩn Eurocode-4 (EC-4) [1], khi thiết kế theo EC-4 dầm được kiểm tra theo trạng thái giới hạn: Trạng thái phá hỏng (Ultimate limit state) theo mục 6 của tiêu chuẩn và trạng thái sử dụng (Serviceability limit state) theo mục 7 của tiêu chuẩn.

$$S_d \leq R_d \quad (2)$$

Trong đó: S_d là giá trị tính toán của các tác động, khi xác định S_d phải kể đến các tổ hợp tải trọng nguy hiểm trong quá trình sử dụng cũng như trong thi công lắp dựng.

R_d là sức bền tính toán ứng với tiết diện kiểm tra. R_d phụ thuộc vào cường độ đặc trưng của các loại vật liệu trên tiết diện.

$$R_d = R_d \left(\frac{f_y}{\gamma_a}, \frac{f_{ck}}{\gamma_c}, \frac{f_{ys}}{\gamma_s}, \frac{f_{yp}}{\gamma_{ap}} \right) \quad (3)$$

2.2. Khả năng kháng cắt của tiết diện

Thiết kế khả năng kháng cắt của dầm liên hợp thép - bê tông cốt thép tiêu chuẩn EC-4 cho phép bỏ qua khả năng chịu cắt của bản bê tông cốt thép. Điều kiện an toàn của dầm phải thoả mãn (4).

$$\frac{\tau_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{\frac{f_y}{\sqrt{3}}} \leq 1,0 \quad (4)$$

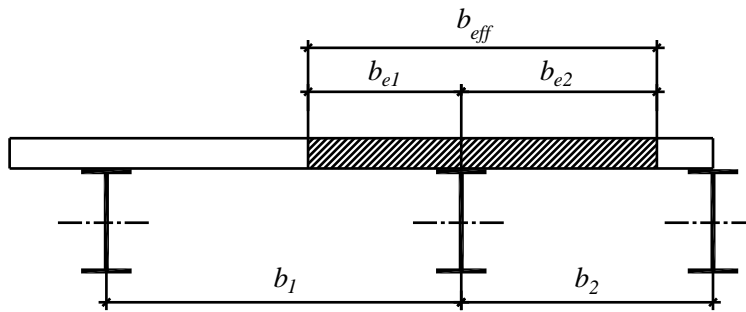
Trong đó: τ_{Ed} là ứng suất tiếp trong tiết diện thép và được xác định theo (5), f_y cường độ của thép sử dụng làm dầm; γ_{M0} là hệ số an toàn của tiết diện,

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} \quad (5)$$

Trong biểu thức (5). t_w là chiều dày bản bụng dầm thép, I_y là mô men quán tính của tiết diện, S_y là mô men tĩnh của tiết diện dưới trục trung hòa của dầm thép, V_{Ed} là giá trị lực cắt do tổng tải trọng ngoài tác dụng gây ra.

2.3. Khả năng kháng uốn của tiết diện

Khi dầm liên hợp thép - bê tông chịu uốn, một phần bản bê tông cốt thép sẽ tham gia làm việc cùng với dầm thép tạo thành tiết diện hình chữ T, bề rộng tham gia làm việc của bản bê tông thể hiện trên Hình 1 và xác định theo biểu thức (6).



Hình 1: Chiều rộng tham gia làm việc của bản sàn bê tông cốt thép

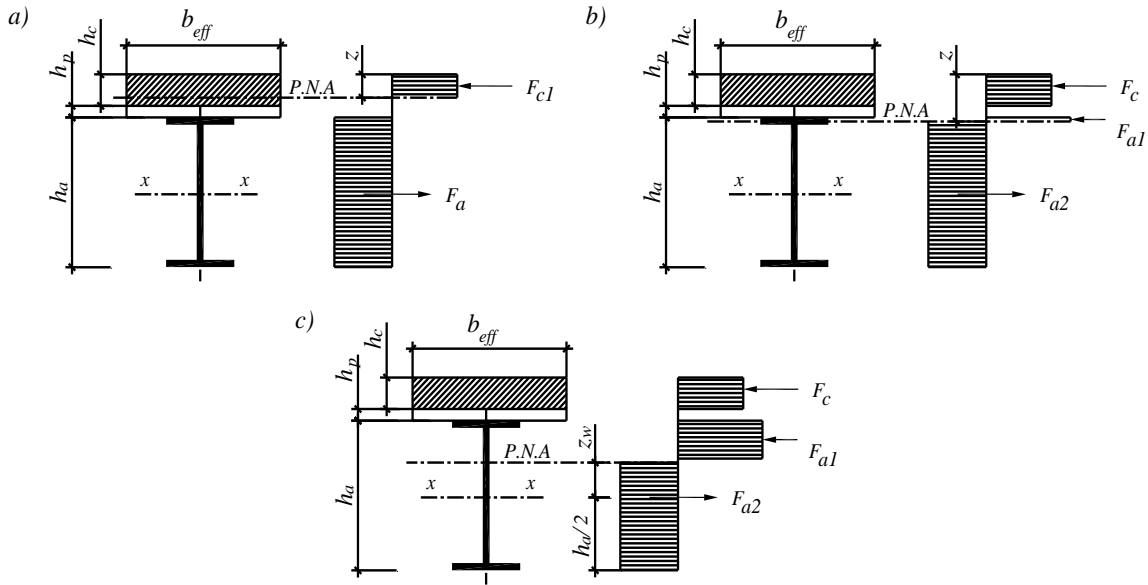
$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2}$$

$$\text{Với } b_{ei} = \min \left(\frac{l_0}{8}, b_i \right) \quad (6)$$

Khi tiết diện chịu mô men uốn sẽ có 03 trường hợp được xem xét tùy thuộc vào vị trí trục trung hòa dẻo (PNA).

Trường hợp 1. Khi trục trung hòa dẻo (PNA) nằm ở bản bê tông cốt thép được thể hiện trên Hình 2a. Giá trị mô men bền dẻo $M_{pl,Rd}$ được xác định theo [1] và thể hiện như biểu thức (7).

$$M_{pl,Rd} = F_a \left(\frac{h_a}{2} + h_c + h_p - \frac{z}{2} \right) \quad (7)$$



a - khi PNA trên bản bê tông; b- khi PNA trên bản cánh dầm thép;
c- khi PNA trên bản bụng dầm thép

Hình 2: Các trường hợp của PNA khi dầm liên hợp thép - bê tông cốt thép chịu mô men dương

Trường hợp 2. Khi trục trung hòa dẻo (PNA) nằm ở vùng cánh của dầm thép như trên Hình 2b. Giá trị mô men bền dẻo $M_{pl,Rd}$ được xác định theo [1] và thể hiện như biểu thức (8).

$$M_{pl,Rd} = F_a \left(\frac{h_a}{2} + h_c + h_p - \frac{z}{2} \right) - \frac{1}{2} \cdot (F_a - F_c) (z + h_p) \quad (8)$$

Trường hợp 3. Khi trục trung hòa dẻo (PNA) nằm ở bản bụng của dầm thép và được thể hiện trên Hình 2.c. Giá trị mô men bền dẻo $M_{pl,Rd}$ được xác định theo [1] và thể hiện như biểu thức (9).

$$M_{pl,Rd} = M_{apl,Rd} + F_c \left(\frac{h_a}{2} + \frac{h_c}{2} + h_p \right) - \frac{F_c^2}{4t_w \frac{f_y}{\gamma_a}} \quad (9)$$

Trong đó: $F_a = A_a f_y / \gamma_a$ sức bền dẻo của dầm thép; $F_c = h_c \cdot b_{eff} \left(0.85 \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \right)$ là sức bền dẻo của bản bê tông cốt thép.

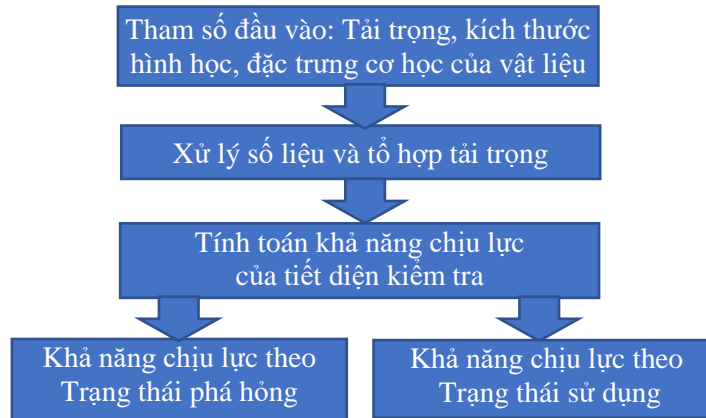
2.4. Trạng thái giới hạn theo điều kiện sử dụng

Theo [1], độ võng tổng cộng của dầm liên hợp thép - bê tông cốt thép được tính toán với tổ hợp tất cả các loại tải trọng tác dụng lên hệ dầm, điều kiện an toàn phải thỏa mãn biểu thức (10).

$$\frac{w}{w_{lim}} \leq 1,0 \quad (10)$$

Trong đó: w là tổng giá trị độ võng do tải trọng gây ra, w_{lim} là độ võng cho phép khi thiết kế kết cấu liên hợp được xác định trong [1].

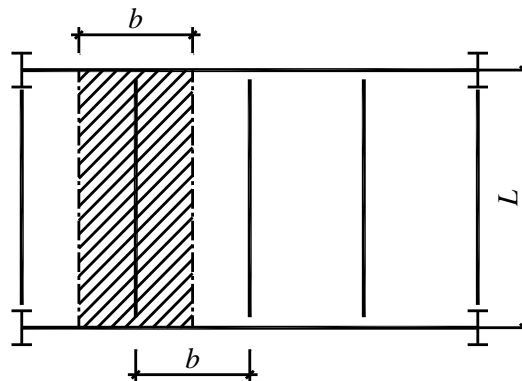
Từ thuật toán tính toán khả năng chịu lực của tiết diện dầm liên hợp thép - bê tông cốt thép đã được trình bày ở trên và sơ đồ khối thể hiện như Hình 3. Nhóm tác giả đã tiến hành lập trình chương trình tính trên nền Matlab. Chương trình sẽ được kiểm chứng sự chính xác ở mục tiếp theo.



Hình 3: Sơ đồ khối thuật toán tính toán khả năng tiết diện liên hợp thép - bê tông cốt thép

2.5. Kiểm chứng kết quả của chương trình tính toán

Để kiểm chứng chương trình tính đã xây dựng, bài báo tiến hành xem xét lại ví dụ của tác giả Phạm Văn Hội trong [17]. Các tham số đầu vào như kích thước hình học, tải trọng và cường độ vật liệu được trình bày trong Bảng 1 và Hình 4. Kết quả tính toán của chương trình được thể hiện trong Bảng 2, khi so sánh với kết quả trong [17] sai số là rất bé. Điều này khẳng định kết quả tính toán của bài báo là đáng tin cậy.



Hình 4: Sơ đồ kết cấu bài toán kiểm chứng [17]

Bảng 1: Bảng tham số đầu vào thiết kế dầm liên hợp thép - bê tông cốt thép trong [17]

$L(m)$	$b(m)$	$g(kN/m)$	$f_{kc}(N/mm^2)$	$f_u(N/mm^2)$	IPE (S235)
10,00	3,50	14,7	25	450	400

Bảng 2: Bảng so sánh kết quả của chương trình tính và kết quả trong [17]

	Kết quả trong [17]	Kết quả chương trình	Đơn vị	Sai số %
b_e	2500,0	2500,0	mm	0,00
M_{Ed}	540,00	540,00	kN.m	0,00
V_{Ed}	216,00	216,00	kN	0,00
$M_{pl,Rd}$	540,02	540,00	kN.m	0,00
$V_{pl,Rd}$	452,60	452,50	kN	0,01

3. Phương pháp mô phỏng Monte Carlo

Phương pháp Monte Carlo là phương pháp dùng các số giả ngẫu nhiên để mô phỏng tính chất ngẫu nhiên của các biến và trực tiếp ước lượng độ tin cậy trên cơ sở luật số lớn. Nếu miền an toàn được định nghĩa bởi điều kiện $f(X) > 0$, xác suất không an toàn của hệ sẽ được xác định theo biểu thức (11) như sau.

$$P_f = \int I_{f(x)<0} f_X(x) dx = E[I_{f(x)<0}] \tag{11}$$

trong đó:

$$I_{f(x)<0} = \begin{cases} 1 & \text{khi } f(X) < 0 \\ 0 & \text{khi } f(X) \geq 0 \end{cases} \tag{12}$$

Theo lý thuyết xác suất thông kê, nếu chúng ta có N các thể hiện của véc tơ ngẫu nhiên X , chúng ta sẽ tính được một mẫu gồm N các giá trị của hàm $I_{f(x)<0}$. Khi đó kỳ vọng của $I_{f(x)<0}$ có thể được tính xấp xỉ bằng trung bình cộng của mẫu.

$$\hat{P}_f = E[I_{f(x)<0}] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_{f(x)<0}^i \tag{13}$$

Theo Lemaire trong [18] tác giả đã chỉ ra rằng, ước lượng (13) là hội tụ và khoảng tin cậy ở 95% của giá trị P_f được tính như sau:

$$\bar{P}_f \left(1 - 200 \sqrt{\frac{1 - \bar{P}_f}{N\bar{P}_f}} \right) \leq P_f \leq \bar{P}_f \left(1 + 200 \sqrt{\frac{1 - \bar{P}_f}{N\bar{P}_f}} \right) \quad (14)$$

4. Đánh giá độ tin cậy của dầm thép - liên hợp bê tông cốt thép

4.1. Điều kiện an toàn

Theo [1], điều kiện an toàn của tiết diện dầm liên hợp thép - bê tông cốt thép phải thỏa mãn đồng thời hai trạng thái giới hạn: trạng thái giới hạn phá hỏng (Ultimate limit state - TTGH1) và trạng thái giới hạn sử dụng (Serviceability limit state - TTGH2). Điều kiện an toàn của dầm liên hợp thép - bê tông cốt thép khi đó được viết như sau.

$$M_{saf} = \begin{cases} \frac{\tau_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} \leq 1,0; & M_{pl,Rd} / M_{Ed} \leq 1,0 \quad (\text{TTGH1}) \\ \frac{w}{w_{lim}} \leq 1,0 & (\text{TTGH2}) \end{cases} \quad (15)$$

Trong đó: M_{saf} là điều kiện an toàn tổng cộng theo EC-4.

4.2. Mô hình tất định và mô hình ngẫu nhiên

Mô hình tất định kiểm tra tiết diện dầm liên hợp thép - bê tông cốt thép với các giá trị đầu vào là thông số hình học bao gồm (L, b, IPE), các tham số của vật liệu bao gồm (f_{kc}, f_u) tham số tải trọng tổng cộng (g), các tham số đầu vào của mô hình tất định có thể được viết dưới dạng $\mathbf{X} = [L, b, IPE, f_{kc}, f, g]$.

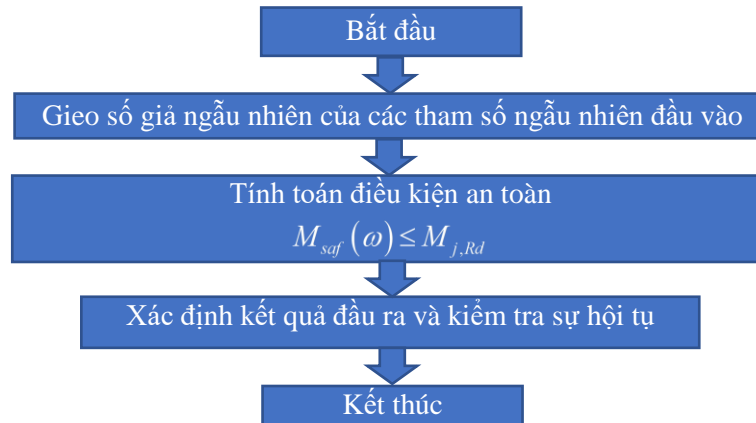
$$M_{saf} = \mathfrak{F}(\mathbf{X}) \quad (16)$$

Mô hình ngẫu nhiên được xây dựng trên cơ sở mô hình tất định khi các tham số đầu vào có một vài tham số ngẫu nhiên. Trong bài báo này sử dụng hai véc tơ giá trị đầu vào, véc tơ thứ nhất bao gồm nhóm các đầu vào tất định $\mathbf{X}_1 = [L, b, IPE]$ và véc tơ thứ hai bao gồm nhóm các giá trị đầu vào ngẫu nhiên $\mathbf{X}_2(\omega) = [f_{kc}(\omega), f(\omega), g(\omega)]$ với ω đặc trưng cho giá trị ngẫu nhiên. Mô hình ngẫu nhiên có thể viết dưới dạng.

$$M_{saf} = \mathfrak{F}(\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2(\omega)) \quad (17)$$

4.3. Đánh giá độ tin cậy bằng mô phỏng Monte Carlo

Bằng cách xây dựng mô hình ngẫu nhiên và phương pháp mô phỏng Monte Carlo, bài báo xây dựng sơ đồ đánh giá độ tin cậy của dầm liên hợp thép bê tông cốt thép như trong Hình 5.



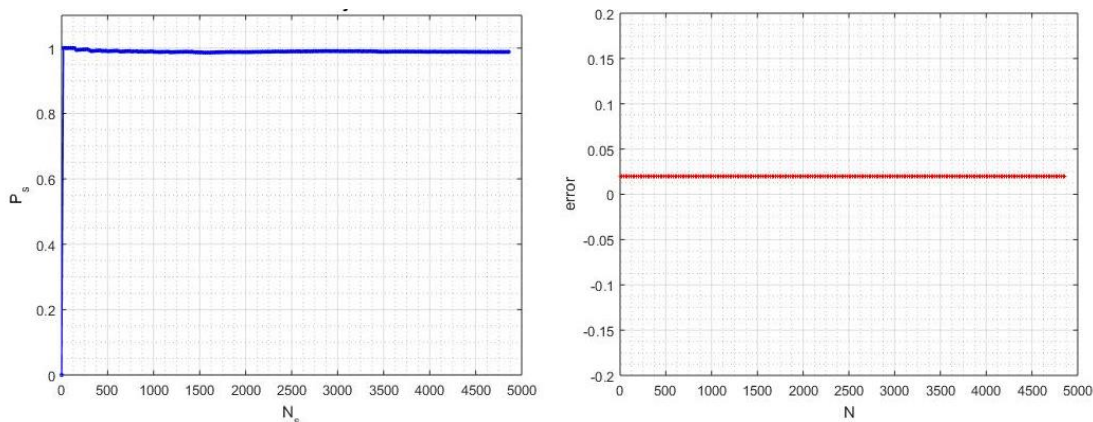
Hình 5: Sơ đồ đánh giá độ tin cậy của dầm liên hợp thép bê tông cốt thép bằng mô phỏng Monte Carlo

4.4. Sự hội tụ của mô phỏng Monte Carlo

Xét bài toán cho trong Hình 4 và giá trị đầu vào của các biến tất định cho trong Bảng 1, giá trị và quy luật của các tham số ngẫu nhiên cho trong Bảng 3. Giá trị tải trọng tổng cộng lên hệ sàn $g (kN/m)$ được giả định là biến ngẫu nhiên đều biến động trong khoảng $[0,95;1,05]$. Cường độ tính toán của vật liệu f_{ck}, f_u được giả định là biến chuẩn với giá trị kỳ vọng là μ_g và hệ số biến thiên $CV_g = \sigma / \mu$.

Bảng 3: Bảng giá các biến ngẫu nhiên đầu vào và các đặc trưng ngẫu nhiên tương ứng

Biến ngẫu nhiên	$g (kN/m)$	$f_{ck} (N/mm^2)$	$f_u (N/mm^2)$
Luật phân phối xác suất	Đều	Chuẩn	Chuẩn
Tham số đặc trưng	μ_g 14,7 [0,95;1,05]	μ_{fck} 25,0	μ_{fu} 450,0 CV_{fu} 0,15



Hình 6: Sự hội tụ của xác suất an toàn (trái) và không an toàn (phải) bằng mô phỏng Monte Carlo

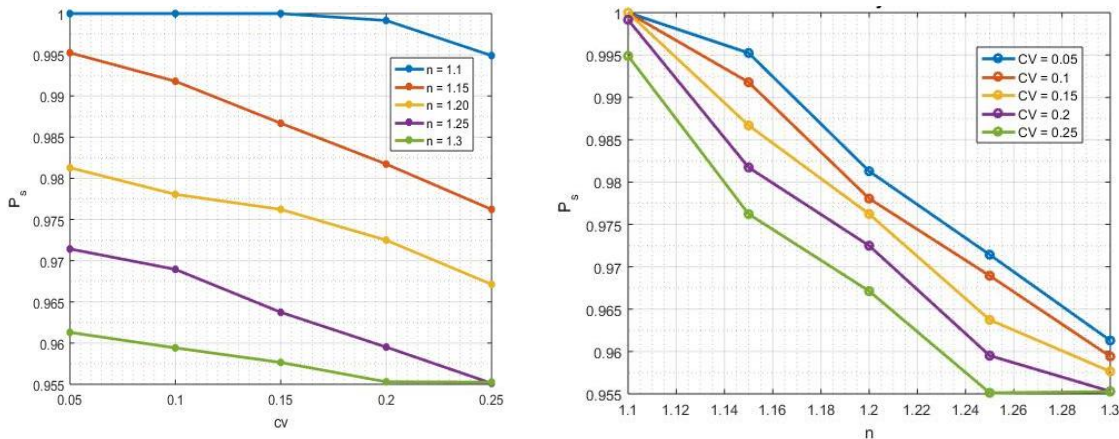
Hình 6 thể hiện sự hội tụ của giá trị xác suất an toàn P_s (phải) và của sai số giữa các vòng lặp (trái) sau 4880 mô phỏng Monte Carlo với tiêu chuẩn hội tụ là 2.5%. Xác suất an toàn hội tụ tại giá trị 0,9883 tương ứng với giá trị độ tin cậy của kết cấu là 98,83%. Thời gian cho một lần đánh giá độ tin cậy là 3,40 phút. Tiêu chuẩn hội tụ 2.5% chứng minh sự tin cậy của giá trị xác suất an toàn ước lượng được. Kết quả này cho thấy mặc dù trong thiết kế đã tính đến hệ số an toàn của tiêu chuẩn nhưng do tính chất của vật liệu, tải trọng thay đổi ngẫu nhiên nên độ tin cậy cũng chỉ đạt 98,83%. Vì vậy có thể thấy việc đánh giá độ tin cậy của kết cấu là rất cần thiết.

4.5. Ảnh hưởng của hệ số biến động và hệ số an toàn lên xác suất an toàn

Trong mục này bài báo khảo sát sự ảnh hưởng của hệ số biến động CV (CV là tỷ số giữa độ lệch chuẩn trên giá trị kỳ vọng của biến ngẫu nhiên chuẩn) đến giá trị của xác suất an toàn P_s . Các biến ngẫu nhiên đầu vào được giả thiết là các biến chuẩn và có cùng hệ số biến động $CV = 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25$, n hệ số an toàn và được lấy bằng $n = 1,1; 1,15; 1,2; 1,25$. Kết quả khảo sát được thể hiện trên Hình 7 và trong Bảng 4. Chúng ta quan sát thấy rằng giá trị của P_s giảm khi CV tăng với các hệ số an toàn khác nhau. Kết quả này là phù hợp với các phân tích định tính bởi khi CV thì giá trị của các thông số đầu vào biến động lớn sẽ làm cho nguy cơ mất an toàn tăng. Mặt khác khi hệ số an toàn tăng lên thì xác suất an toàn cũng tăng. Với hệ số biến động $CV = 0,05$, để kết cấu an toàn tuyệt đối thì hệ số an toàn phải nhận giá $n \geq 1,1$. Kết quả này cho phép chúng ta lựa chọn hệ số an toàn sao cho thỏa mãn được yêu cầu về xác suất an toàn cho trước.

Bảng 4: Ảnh hưởng của hệ số biến động và hệ số an toàn đến xác suất an toàn

n	CV				
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
1,10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0008	0,0051
1,15	0,0048	0,0082	0,0133	0,0183	0,0238
1,20	0,0187	0,0219	0,0238	0,0275	0,0329
1,25	0,0286	0,0311	0,0363	0,0405	0,0449
1,30	0,0387	0,0406	0,0423	0,0447	0,0447



Hình 7: Ảnh hưởng của hệ số biến động (trái) và hệ số an toàn (phải) đến xác suất an toàn

5. Kết luận

Nghiên cứu này đã tìm hiểu và xây dựng được chương trình tính toán khả năng chịu lực của tiết diện dầm liên hợp thép - bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn EC-4, từ đó xây dựng mô hình ngẫu nhiên trên cơ sở kết hợp giữa chương trình tính toán khả năng chịu lực của tiết diện dầm liên hợp thép - bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn EC-4 tất định và mô phỏng Monte Carlo. Kết quả phân tích tất định so với kết quả trong [17] và cho sai số tương đối nhỏ. Các khảo sát ảnh hưởng của các tham số cho kết quả phù hợp với các phân tích định tính. Kết quả nghiên cứu bước đầu khả quan này là tiền đề để nhóm tác giả tiếp tục phát triển mở rộng bài toán cho các dạng kết cấu khác và xét đến các yếu tố ngẫu nhiên khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S. Park, “EN 1994-Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures”, 1992.
- [2] H. Karadeniz, “Review of structural reliability methods with applicability in practice”, in *The Sixteenth International Offshore and Polar Engineering Conference*, 2006: International Society of Offshore and Polar Engineers.
- [3] X. C. Nguyễn, “Xác định xác suất hư hỏng và chỉ số tin cậy một số công trình xây dựng”, *Tuyển tập báo cáo khoa học - Hội nghị Khoa học toàn quốc lần thứ hai về sự cố và hư hỏng công trình xây dựng*, 2003.
- [4] K. H. Phạm, “Xây dựng điều kiện bền mở rộng để xác định độ tin cậy tổng thể đánh giá an toàn của kết cấu công trình biển cố định bằng thép, áp dụng cho điều kiện biển nước sâu Việt Nam”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, vol. 3, pp. 1-7, 2010.
- [5] V. Nguyễn, “Xác định độ tin cậy của tường chắn cứng”, *Tạp chí Hàng hải Việt Nam*, vol. 7, 2010.
- [6] V. Nguyễn, “Độ tin cậy về ổn định chung của mái dốc”, *Tạp chí Giao thông vận tải*, vol. 9, 2010.
- [7] L. C. D. Lê Xuân Huỳnh, “Một phương pháp đánh giá độ tin cậy mờ của kết cấu khung”, *Tạp chí Xây dựng*, 2006.
- [8] T. Ha, “Reliability assessment of frame steel considering semi-rigid connections”, *Journal of Materials and Engineering Structures «JMES»*, vol. 6, no. 1, pp. 119-126, 2019.
- [9] N. T. Ha and D. X. Hung, “Sensitivity analysis of the design portal frames of steel industrial buildings”, in *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 193, p. 04025: EDP Sciences.
- [10] Z. Zhao, A. Haldar, and F. L. Breen Jr, “Fatigue-reliability evaluation of steel bridges,” *Journal of structural engineering*, vol. 120, no. 5, pp. 1608-1623, 1994.

- [11] T. V. Galambos, “Reliability of the member stability criteria in the 2005 AISC Specification”, *International Journal of Steel Structures*, vol. 4, no. 4, pp. 223-230, 2004.
- [12] Y. Luo, A. Li, and Z. Kang, “Reliability-based design optimization of adhesive bonded steel-concrete composite beams with probabilistic and non-probabilistic uncertainties”, *Engineering Structures*, vol. 33, no. 7, pp. 2110-2119, 2011.
- [13] V. Piluso, G. Rizzano, and I. Tolone, “Seismic reliability assessment of a two-story steel-concrete composite frame designed according to Eurocode 8”, *Structural safety*, vol. 31, no. 5, pp. 383-395, 2009.
- [14] Y. Luo, Z. Kang, and A. Li, “Structural reliability assessment based on probability and convex set mixed model”, *Computers & Structures*, vol. 87, no. 21-22, pp. 1408-1415, 2009.
- [15] F. Leitão, J. Da Silva, P. d. S. Vellasco, S. De Andrade, and L. De Lima, “Composite (steel-concrete) highway bridge fatigue assessment”, *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 67, no. 1, pp. 14-24, 2011.
- [16] G. Fabbrocino, G. Manfredi, and E. Cosenza, “Modelling of continuous steel-concrete composite beams: computational aspects”, *Computers & Structures*, vol. 80, no. 27-30, pp. 2241-2251, 2002.
- [17] V. H. Phạm, *Kết cấu liên hợp thép - bê tông dùng trong nhà cao tầng*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2010.
- [18] M. Lemaire, A. Chateauneuf, and J. C. Mitteau, “Fiabilité des structures,” 2005.

SUMMARY

RELIABILITY ASSESSMENT OF COMPOSITE STEEL-REINFORCED CONCRETE BEAM USING MONTE CARLO SIMULATION

This research presents a reliability assessment of composite steel-reinforced concrete beam with the input parameters are random variables. The uncertainty model was constructed based on the deterministic model of design composites steel-reinforced concrete beam according to Eurocode-4 by taking into account the randomness of some input parameters and Monte Carlo simulation. The Matlab-based calculation program allows the authors to perform digital investigation. This initial research result is a prerequisite for further research for other types of structures and taking into account the various random variables.

Keywords: Composite steel-reinforced concrete beam; reliability assessment; Monte Carlo simulation.