

Đánh giá độ tin cậy khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép có các tham số đầu vào dạng số khoảng

Reliability assessment of the shear strength of reinforced concrete beam that has an interval – valued input data

Ngày nhận bài: 13/01/2017

Ngày sửa bài: 12/02/2017

Ngày chấp nhận đăng: 5/03/2017

Nguyễn Quang Liên, Lê Công Duy,
Đặng Hồng Long

TÓM TẮT:

Đánh giá khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép là một vấn đề phức tạp. Trong bài báo này, nhóm tác giả trình bày ứng dụng đánh giá độ tin cậy khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép (BTCT) theo TCVN 5574:2012 và tiêu chuẩn ACI 318 trong trường hợp xét đến các yếu tố đầu vào không chắc chắn như tải trọng, cường độ vật liệu, hàm lượng cốt dọc...được biểu diễn dưới dạng số khoảng, đồng thời lồng ghép vận dụng thuật toán tiến hóa vi phân đột biến hỗn hợp (hcde) để tối ưu các hàm mục tiêu chứa tham số khoảng.

Từ khóa: khả năng chịu cắt, độ tin cậy, bê tông cốt thép, số khoảng, tiến hóa vi phân.

ABSTRACT:

The assessment of the shear strength of reinforced concrete beam is a complicated problem. In this paper, the authors presents an application of evaluating the reliability of the shear strength of reinforced concrete (RC) beam follow TCVN 5574:2012 and ACI 318 standard, in case, uncertain input parameters are interval – valued such as load, strength of materials, the ratio of the longitudinal reinforcement area to the beam area...at once, we apply the “hybrid crossover differential evolution” (HCDE) in order to optimize the target functions which contain interval parameters.

Key words: shear strength, reliability, reinforced concrete, interval-valued, differential evolution.

KS. Nguyễn Quang Liên

Học viên Cao học K12 – Đại học Duy Tân

TS. Lê Công Duy, ThS. Đặng Hồng Long

Khoa Xây dựng – Đại học Duy Tân

1. Đặt vấn đề

Sự phá hoại dầm BTCT không những tại những tiết diện chịu uốn (do mô men) mà còn phá hoại tại những tiết diện chịu cắt hoặc cắt và uốn kết hợp (flexural shear). Thông thường, sự phá hoại trên tiết diện thẳng góc được đảm bảo nếu bố trí cốt dọc hợp lý, còn sự phá hoại trên các tiết diện nghiêng thì diễn ra phức tạp hơn. Các nghiên cứu [6],[7] đã chỉ ra khả năng chịu cắt của dầm BTCT trên tiết diện nghiêng là sự đóng góp của các thành phần sau: lực cắt tại phần bê tông chịu nén chưa xuất hiện vết nứt, lực liên kết tại bề mặt khe nứt thông qua sự cài chặt cốt liệu, lực ngang qua cốt thép chịu kéo (phụ thuộc hàm lượng cốt dọc và chiều dày lớp bê tông bảo vệ), lực cắt của cốt ngang cắt qua vết nứt nghiêng. Vấn đề tính toán khả năng chịu cắt của dầm BTCT tùy thuộc vào quan điểm sử dụng mô hình của mỗi nước. Bên cạnh đó, việc xét đến tính không chắc chắn của các đại lượng đầu vào như tải trọng, thông số vật liệu, kích thước tiết diện ...là một vấn đề có tính thực tiễn khi đánh giá khả năng chịu cắt của dầm BTCT bởi sai số trong quá trình thiết kế, thi công là luôn tồn tại, nhưng đồng thời cũng làm cho quá trình tính toán phức tạp hơn. Các đại lượng đầu vào này có thể là đại lượng ngẫu nhiên, đại lượng khoảng hay là đại lượng mờ. Trong phạm vi nghiên cứu của bài viết, xem xét một số yếu tố đầu vào là các đại lượng có tính không chắc chắn được biểu diễn dưới dạng các số khoảng để đánh giá khả năng chịu cắt của dầm theo TCVN 5574:2012 và tiêu chuẩn ACI 318.

Ngành xây dựng trong những năm gần đây, các nhà nghiên cứu trong và ngoài nước đã công bố nhiều bài báo liên quan đến bài toán đánh giá độ tin cậy của kết cấu theo các quan điểm ngẫu nhiên, mờ và khoảng [2-4] và [8-12]. Với nhiều quan điểm và mô hình đánh giá độ tin cậy khác nhau, trong bài báo này nhóm tác giả áp dụng một quan điểm tính toán đánh giá độ tin cậy của kết cấu theo lý thuyết khoảng đã được trình bày trong [2] để đánh giá độ tin cậy của khả năng chịu cắt của dầm BTCT có cốt ngang theo TCVN 5574 và tiêu chuẩn ACI 318 có xét đến các yếu tố đầu vào không chắc chắn dạng số khoảng như tải trọng, cường độ vật liệu, bước cốt đai, hàm lượng cốt dọc. Để xác định khoảng giá trị đầu ra của bài toán, tác giả vận dụng thuật toán “tối ưu tiến hóa vi phân đột biến hỗn hợp – HCDE” đã được trình bày chi tiết trong [5] để tối ưu các hàm mục tiêu. Kết quả đánh giá độ tin cậy khả năng chịu cắt của dầm BTCT trong trường hợp xét đến tính không chắc chắn của thông số đầu vào là có ý nghĩa thực tiễn và góp phần đưa ra thêm một số phương án thiết kế kết cấu dầm chịu cắt trong trường hợp độ tin cậy an toàn P_s không nhất thiết bằng 1.

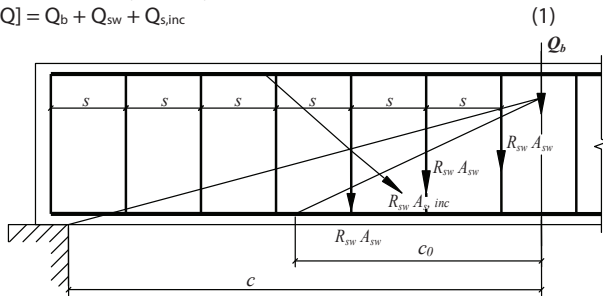
2. Cơ sở lý thuyết tính toán

2.1 Khả năng chịu cắt của dầm BTCT

2.1.1 Khả năng chịu cắt của dầm BTCT có cốt đai theo TCVN 5574:2012

Theo TCVN 5574:2012, khả năng chịu cắt của dầm BTCT có đặt cốt đai và cốt xiên được xác định như sau:

$$[Q] = Q_b + Q_{sw} + Q_{s,inc}$$



Hình 1. Sơ đồ nội lực trên tiết diện nghiêng với trục dọc cấu kiện BTCT khi tính toán độ bền chịu cắt

Q_b là khả năng chịu cắt của bê tông:

$$Q_b = \frac{\varphi_{b2} (1 + \varphi_f + \varphi_n) R_{bt} b h_0^2}{c} \quad (2)$$

φ_{b2} : Hệ số xét đến ảnh hưởng của loại bê tông, đối với bê tông

nặng lấy $\varphi_{b2} = 2$;

φ_f : Hệ số xét đến ảnh hưởng cánh chịu nén của tiết diện T, l;

$$\varphi_f = \frac{0,75 u_f h_f}{b h_0} \leq 0,5; \quad u_f = \min[3h_f; (b_f - b)];$$

h_f, b_f : Chiều cao và bề rộng tính toán của bản cánh.

h_0 : Chiều cao tính toán của tiết diện dầm.

φ_n : Hệ số kể đến ảnh hưởng của lực trục.

R_{bt} : Cường độ chịu kéo tính toán của bê tông.

Ngoài ra khả năng chịu cắt của bê tông được khống chế:

$$Q_{b,min} \leq Q_b \leq Q_{b,max} \quad (7)$$

Khả năng chịu cắt bé nhất của bê tông:

$$Q_{b,min} = \varphi_{b3} (1 + \varphi_f + \varphi_n) R_{bt} b h_0 \quad (8)$$

$$\text{với } (1 + \varphi_f + \varphi_n) \leq 1,5; \quad Q_{b,max} = 2,5 R_{bt} b h_0 \quad (9)$$

Đối với bê tông nặng thì hệ số $\varphi_{b3} = 0,6$

$$\text{Khả năng chịu cắt của cốt đai: } Q_{sw} = q_{sw} c_0 \quad (10)$$

q_{sw} : nội lực trong cốt thép đai trên một đơn vị chiều dài cấu kiện,

được xác định $q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{sw}}{s}$ với s là bước của cốt đai. Ngoài ra

$$q_{sw} \geq \frac{\varphi_{b3} (1 + \varphi_n + \varphi_f) R_{bt} b}{2} \quad (10')$$

Tiêu chuẩn 5574:2012 không đề cập đến góc nghiêng của vết nứt mà dựa trên việc cực tiểu hóa về phải của phương trình (1) để tìm được tiết diện nghiêng nguy hiểm nhất c_0 :

$$c_0 = \sqrt{\frac{\varphi_{b2} (1 + \varphi_n + \varphi_f) R_{bt} b h_0^2 \cdot s}{R_{sw} A_{sw}}} \quad (11)$$

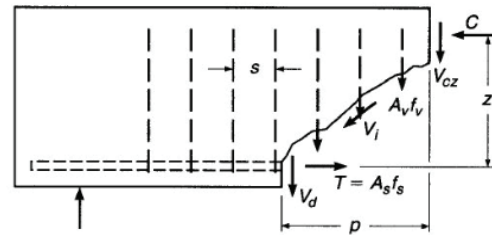
Giá trị của c_0 lấy không nhỏ hơn h_0 và không lớn hơn $2h_0$, đồng thời cũng không lớn hơn c (*).

$$\text{Khả năng chịu cắt của cốt xiên: } Q_{s,inc} = \sum R_s A_{s,inc} \sin \alpha$$

2.1.2 Khả năng chịu cắt của dầm BTCT theo ACI 318

Theo ACI 318, khả năng chịu cắt của dầm BTCT là sự đóng góp của các thành phần sau [...]:

$$[Q] = V_{cz} + V_{ly} + V_d + V_s = V_c + V_s \quad (12)$$



Hình 2. Cân bằng lực tại vết nứt kéo xiên trong dầm BTCT có cốt đai theo ACI 318

V_{cz} : lực cắt tại vùng bê tông chịu nén chưa xuất hiện vết nứt.

$V_i = V_{lx} + V_{ly}$: lực liên kết tại bề mặt khe nứt thông qua sự cài chặt cốt liệu, được xác định thông qua thí nghiệm, có giá trị bằng khoảng 1/3 tổng giá trị lực cắt [6,7]:

V_d : lực ngang qua cốt thép chịu kéo (phụ thuộc vào chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép).

$V_s = n A_v f_v$: tổng lực cắt trong cốt đai cắt qua vết nứt nghiêng.

Giá trị V_s có thể xác định được thông qua cường độ chảy dẻo của cốt thép đai và số lượng thanh thép đai, còn 3 thành phần còn lại trong công thức (12) chỉ có thể xác định chính xác thông qua thực nghiệm bởi sự ứng xử phức tạp ảnh hưởng qua lại lẫn nhau khi vết nứt phát triển. Tiêu chuẩn AIC 318 cho phép gần đúng tổng giá trị của 3 thành phần này thiên về an toàn và lấy bằng giá trị gây nứt bê tông V_{cr} [6],[7]:

$$V_c = V_{cz} + V_{ly} + V_d \approx V_{cr} = (0,16 \sqrt{f_c} + 17 \frac{\rho V_u d}{M_u}) b_w d \quad (13)$$

Trong đó V_u, M_u là lực cắt và mô men uốn tại tiết diện đang xét.

Như vậy, theo ACI 318 khả năng chịu cắt của dầm có thể được xác định bằng:

$$[Q] = V_c + V_s \approx (0,16 \sqrt{f_c} + 17 \frac{\rho V_u d}{M_u}) b_w d + n A_v f_v \quad (\text{đơn vị SI}) \quad (14)$$

Với f_c là cường độ chịu nén đặc trưng của bê tông, d là chiều cao làm việc của tiết diện, b_w là bề rộng của dầm, n là số lượng cốt đai cắt qua vết nứt nghiêng, A_v và f_v là diện tích cốt đai và cường độ chịu kéo tiêu chuẩn của cốt đai.

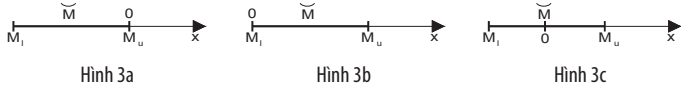
Tuy nhiên, khi xác định khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép trong trường hợp có các tham số dạng khoảng cần tối ưu các hàm chứa tham số khoảng để xác định giá trị của hàm đầu ra dưới dạng khoảng. Trong bài báo này tác giả vận dụng thuật toán thuật toán tối ưu tiến hóa vi phân đột biến hỗn hợp (HCDE) để tối ưu hàm mục tiêu chứa các biến số đầu vào dạng số khoảng. Thuật toán tối ưu tiến hóa vi phân đột biến hỗn hợp (HCDE) là một thuật toán tối ưu mới và có nhiều ưu điểm được trình bày cụ thể trong [5]. Về cơ bản HCDE vẫn bao gồm các quá trình khởi tạo quần thể, chọn lọc và lai ghép giống các phương pháp tiến hóa vi phân truyền thống, tuy nhiên trong bước đột biến các cá thể phương trình đột biến hỗn hợp giúp đẩy nhanh quá trình hội tụ của thuật toán, đồng thời tránh cho quá trình tìm kiếm bị rơi vào một giải pháp tối ưu cục bộ. Ví dụ tính toán chi tiết sẽ được trình bày trong mục 3.

2.2 Đánh giá độ tin cậy theo "Công thức tỷ số khoảng"

Công thức đánh giá với tên gọi "Công thức tỷ số khoảng" đã được trình bày chi tiết trong [2]. Công thức được thiết lập trong trường hợp các tham số ảnh hưởng đến bài toán đánh giá là các tham số khoảng, được thiết lập dựa trên cơ sở so sánh tập trạng thái của kết cấu \tilde{Q} với tập khả năng của kết cấu \tilde{R} . Trong bài báo này, tập trạng thái \tilde{Q} của kết cấu là lực cắt lớn nhất do tải trọng ngoài gây ra tại tiết diện khảo sát,

còn tập khả năng \bar{R} là khả năng chịu cắt của tiết diện khảo sát được xác định từ các số liệu đầu vào.

Độ tin cậy khoảng kết cấu về độ bền cắt được xác định bằng cách xét tập $\bar{M} = \bar{R} - \bar{Q}$ là tập khoảng an toàn, vì \bar{R} và \bar{Q} là các tập số khoảng nên tập \bar{M} cũng là một tập số khoảng có khoảng giá trị $\bar{M} = [M_l; M_u]$. Tùy thuộc vào khoảng giá trị của các tập số khoảng \bar{R} và \bar{Q} có thể xảy ra ba trường hợp như trên Hình 3.



Hình 3. Các trường hợp tập khoảng an toàn \bar{M}

Trong đó: $M_l = \min(R_u - Q_u, R_u - Q_l, R_l - Q_u, R_l - Q_l)$
 $M_u = \max(R_u - Q_u, R_u - Q_l, R_l - Q_u, R_l - Q_l)$

Trên Hình 3a số khoảng của tập \bar{M} nằm hoàn toàn phía bên trái trục tung nên độ không tin cậy của nó là $P_f=1$ hay độ tin cậy $P_s=0$

Trên Hình 3b số khoảng của tập \bar{M} nằm hoàn toàn phía bên phải trục tung nên độ không tin cậy của nó là $P_f=0$ hay độ tin cậy $P_s=1$

Trường hợp tổng quát như Hình 3c, số khoảng của tập \bar{M} có một phần bên trái và một phần bên phải trục tung, độ không tin cậy của kết cấu được xác định bằng xác suất xuất hiện phần phân bố bên trái điểm 0 của khoảng an toàn \bar{M} :

$$\text{Prob}(\bar{M} < 0) = P_f = \frac{0 - M_l}{M_u - M_l} = \frac{|M_l|}{M_u - M_l} \quad (15)$$

Theo định nghĩa, thì độ tin cậy P_s của phần tử chính bằng xác suất không hỏng của phần tử được tính theo công thức:

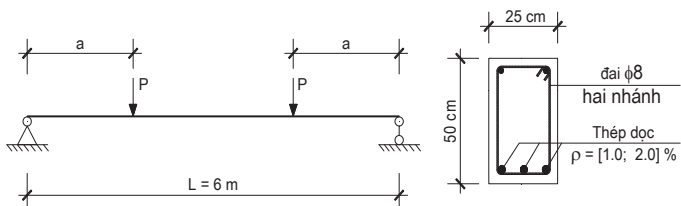
$$\text{Prob}(\bar{M} > 0) = P_s = \frac{M_u - 0}{M_u - M_l} = \frac{M_u}{M_u - M_l} \quad (16)$$

Ta có $P_f + P_s = 1$ như trong định nghĩa độ tin cậy theo mô hình ngẫu nhiên.

3. Ví dụ tính toán

3.1. Số liệu đầu vào:

Xét một dầm đơn giản có tiết diện $b \times h = 25 \times 50 (\text{cm}^2)$, chiều cao làm việc của tiết diện $h_0 = 45 (\text{cm})$, nhịp dầm 6m, chịu tải trọng tập trung như hình 4.



Hình 4. Sơ đồ tính độ bền chịu cắt của dầm

Đánh giá độ tin cậy khả năng chịu cắt của dầm theo TCVN 5574:2012 và ACI 318 với các thông số đầu vào như sau:

- Bê tông cấp độ bền B20 có cường độ giả thiết lấy sai lệch $\pm 2\%$ so với giá trị quy định: + Cường độ tính toán: $R_b = [11.27; 11.73] (\text{MPa})$; $R_{bt} = [0.882; 0.918] (\text{MPa})$.

+ Cường độ tiêu chuẩn: $R_{bn} = [14.7; 15.3] (\text{MPa})$; $R_{btn} = [1.372; 1.428] (\text{MPa})$.

- Cốt thép dọc nhóm A-II có cường độ giả thiết lấy sai lệch $\pm 2\%$ so với giá trị quy định:

$R_{sn} = [289.1; 300.9] (\text{MPa})$; $R_s = [274.4; 285.6] (\text{MPa})$;

- Giả thiết sử dụng cốt thép đai phi 8, khoảng cách bố trí cốt đai là đại lượng khoảng $s = [195; 205] (\text{mm})$ sinh ra do sai số trong thi công (a_{sw}

$= 50.3 \text{ mm}^2$, đai hai nhánh $n = 2$) bố trí đều theo chiều dài dầm, cốt thép đai thuộc nhóm A-I có cường độ giả thiết sai lệch $\pm 2\%$ so với giá trị quy định:

$R_{sn} = [230.3; 239.7] (\text{MPa})$; $R_s = [220.5; 229.5] (\text{MPa})$; $R_{sw} = [171.5; 178.5] (\text{MPa})$.

- Tỷ số giữa nhịp chịu cắt và chiều cao tiết diện thay đổi $a/h_0 = [1.0; 1.2; 1.5; 1.8; 2.0; 2.2; 2.5; 2.8; 3.0]$.

- Tải trọng ngoài $P = [150; 180] (\text{kN})$.

- Hàm lượng cốt dọc là đại lượng khoảng $\rho = [1.0; 2.0]\%$.

3.2. Độ tin cậy khả năng chịu cắt của dầm theo TCVN 5574

Khả năng chịu cắt của bê tông nặng: $Q_b = \frac{2 R_{bt} b h_0^2}{c}$ với $c = a = 2h_0$

Do $0.882 \leq R_{bt} \leq 0.918 (\text{MPa})$ dễ dàng xác định được $Q_b = [99.225; 103.275] (\text{kN})$.

Kiểm tra điều kiện hạn chế (7): $Q_{b,\min} \leq Q_b \leq Q_{b,\max}$

với: $Q_{b,\min} = 2R_{bt}bh_0 = [59.535; 61.965] (\text{kN})$;

$Q_{b,\max} = 2.5R_{bt}bh_0 = [248.063; 258.189] (\text{kN})$,

được khoảng giá trị $Q_b = [99.225; 103.275] (\text{kN})$.

Kiểm tra điều kiện về thiết kế cốt đai: $q_{sw} \geq \frac{\varphi_{b3} (1 + \varphi_n + \varphi_f) R_{bt} b}{2}$

với $\varphi_{b3} = 0.6$, $\varphi_n = \varphi_f = 0$

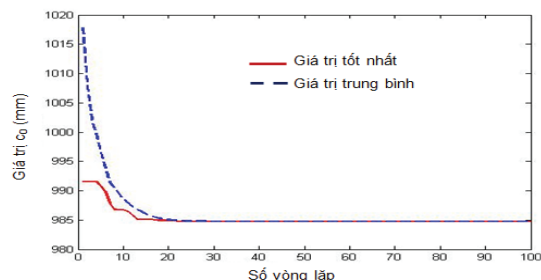
hay $q_{sw} \geq [66.150; 68.850] \text{ N/mm}$.

Tối ưu hàm mục tiêu $q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot n \cdot a_{sw}}{s}$ bằng HCDE với điều kiện ràng

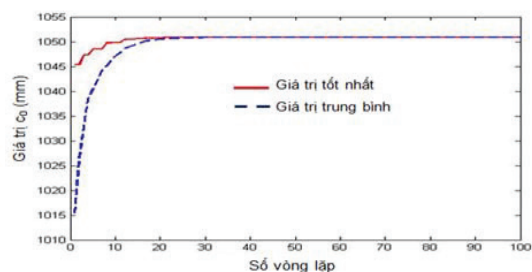
buộc $171.5 \leq R_{sw} \leq 178.5 (\text{MPa})$; $195 \leq s \leq 205 (\text{mm})$ ta được kết quả $q_{sw} = [84.161; 92.088] \text{ N/mm}$, do đó cốt đai giả thiết đảm bảo yêu cầu.

Chiều dài hình chiếu của tiết diện nghiêng nguy hiểm nhất xác định theo (11):

$$c_0 = \sqrt{\frac{\varphi_{b2} (1 + \varphi_n + \varphi_f) R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2 \cdot s}{R_{sw} \cdot A_{sw}}} = \sqrt{\frac{2 R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2 \cdot s}{R_{sw} \cdot A_{sw}}}$$



Hình 5a. Tối ưu bằng HCDE để tìm giá trị min của c_0



Hình 5b. Tối ưu bằng HCDE để tìm giá trị max của c_0

Tối ưu giá trị hàm số c_0 với điều kiện ràng buộc các biến đầu vào $0.882 \leq R_{bt} \leq 0.918 (\text{MPa})$; $171.5 \leq R_{sw} \leq 178.5 (\text{MPa})$; $195 \leq s \leq 205 (\text{mm})$. Còn lại là các hằng số $b = 300 (\text{mm})$, $h_0 = 650 (\text{mm})$, $A_{sw} = n \cdot a_{sw} = 2 \times 50.3 = 100.6 (\text{mm}^2)$ ta được kết quả: $984.76 \leq c_0 \leq 1050.90 (\text{mm})$, hình 5a &

hình 5b. Do $c_0 > 2h_0 = 900(\text{mm})$ nên lấy $c_0 = 2h_0$ để tính toán, hay nói cách khác $c_0 = [900.00; 900.00]$ mm.

Từ đây xác định được khả năng chịu cắt của cốt đai: $Q_{sw} = q_{sw} \cdot c_0$, khoảng giá trị tìm được là $Q_{sw} = [75.745; 82.879]$ (kN).

Do đó, khả năng chịu cắt tổng cộng của dầm theo (1) là:

$[Q] = Q_b + Q_{sw} = [99.225; 103.275] + [75.745; 82.879] = [174.970; 186.154]$ (kN).

Đánh giá độ tin cậy theo công thức tỷ số khoảng:

- Tập khả năng $\tilde{R} = [Q] = [174.970; 186.154]$ (kN).

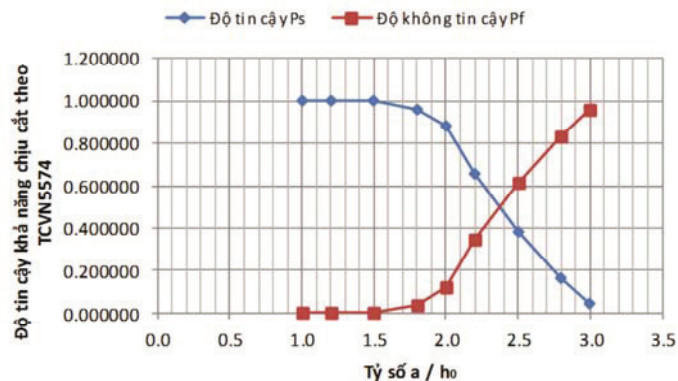
- Tập trạng thái $\tilde{Q} = Q_{\max} = P = [150.00; 180.00]$ (kN).

Do đó tập an toàn: $\tilde{M} = \tilde{R} - \tilde{Q} = [-5.030; 36.154]$ (kN)

Như vậy, độ tin cậy $P_s = \frac{36.154}{36.154 - (-5.030)} = 0.877864$

Và độ không tin cậy $P_f = \frac{|-25.030|}{36.154 - (-25.030)} = 0.122136$

Tiến hành khảo ảnh hưởng của tỷ số giữa nhịp chịu cắt trên chiều cao tính toán của tiết diện lần lượt theo các trường hợp $a/h_0 = 1.0; 1.2; 1.5; 1.8; 2.0; 2.2; 2.5; 2.8; 3.0$ kết quả tổng hợp theo bảng 1, bảng 2 và bảng 3.



Hình 6. Độ tin cậy khả năng chịu cắt của dầm BTCT theo TCVN 5574 3.3. Đánh giá độ tin cậy khả năng chịu cắt của dầm theo tiêu chuẩn ACI

318

Khả năng chịu cắt của dầm xác định theo công thức (14):

$$V_c = (0,16\sqrt{f'_c} + 17 \frac{\rho V_u d}{M_u}) b_w d \quad (\text{đơn vị SI})$$

Bảng 1. Khả năng chịu cắt của bê tông Q_b

c = a (mm)	a / h ₀	Q _{bmin} (kN)	Q _{bmax} (kN)	Q _b theo (2)	Q _b theo (2) & (7)
450	1.0	[59.535; 61.965]	[248.063; 258.189]	[198.450; 206.550]	[198.450; 206.550]
540	1.2	[59.535; 61.965]	[248.063; 258.189]	[165.375; 172.125]	[165.375; 172.125]
675	1.5	[59.535; 61.965]	[248.063; 258.189]	[132.300; 137.700]	[132.300; 137.700]
810	1.8	[59.535; 61.965]	[248.063; 258.189]	[100.250; 114.750]	[100.250; 114.750]
900	2.0	[59.535; 61.965]	[248.063; 258.189]	[99.225; 103.275]	[99.225; 103.275]
990	2.2	[59.535; 61.965]	[248.063; 258.189]	[90.205; 93.886]	[90.205; 93.886]
1125	2.5	[59.535; 61.965]	[248.063; 258.189]	[79.380; 82.620]	[79.380; 82.620]
1260	2.8	[59.535; 61.965]	[248.063; 258.189]	[70.875; 73.768]	[70.875; 73.768]
1350	3.0	[59.535; 61.965]	[248.063; 258.189]	[66.150; 68.850]	[66.150; 68.850]

Bảng 2. Khả năng chịu cắt của cốt đai

c = a (mm)	a / h ₀	c ₀ theo (11) (mm)	c ₀ theo điều kiện hạn chế (*)	q _{sw} (N/mm)	Q _{sw} = q _{sw} · c ₀ (kN)
450	1.0	[984.76; 1050.90]	[450.00; 450.00]	[84.161; 92.088]	[37.872; 41.440]
540	1.2	[984.76; 1050.90]	[540.00; 540.00]	[84.161; 92.088]	[45.445; 49.728]
675	1.5	[984.76; 1050.90]	[675.00; 675.00]	[84.161; 92.088]	[56.809; 62.159]
810	1.8	[984.76; 1050.90]	[810.00; 810.00]	[84.161; 92.088]	[68.170; 74.591]
900	2.0	[984.76; 1050.90]	[900.00; 900.00]	[84.161; 92.088]	[75.745; 82.879]
990	2.2	[984.76; 1050.90]	[900.00; 900.00]	[84.161; 92.088]	[75.745; 82.879]
1125	2.5	[984.76; 1050.90]	[900.00; 900.00]	[84.161; 92.088]	[75.745; 82.879]
1260	2.8	[984.76; 1050.90]	[900.00; 900.00]	[84.161; 92.088]	[75.745; 82.879]
1350	3.0	[984.76; 1050.90]	[900.00; 900.00]	[84.161; 92.088]	[75.745; 82.879]

Bảng 3. Đánh giá độ tin cậy khả năng chịu cắt của dầm theo TCVN 5574

c = a (mm)	a / h ₀	$\tilde{R} = [Q] = Q_b + Q_{sw}$ (kN)	$\tilde{Q} = Q_{\max} = P$ (kN)	$\tilde{M} = \tilde{R} - \tilde{Q}$ (kN)	Độ tin cậy P _s	Độ không tin cậy P _f
450	1.0	[236.323; 247.990]	[150.000; 180.000]	[56.322; 97.990]	1.000000	0.000000
540	1.2	[210.822; 221.853]	[150.000; 180.000]	[30.822 ; 71.853]	1.000000	0.000000
675	1.5	[189.109; 199.859]	[150.000; 180.000]	[9.109; 49.859]	1.000000	0.000000
810	1.8	[178.420; 189.341]	[150.000; 180.000]	[-1.58; 39.341]	0.961389	0.038611
900	2.0	[174.970; 186.154]	[150.000; 180.000]	[-5.03; 36.154]	0.877865	0.122135
990	2.2	[165.949; 176.766]	[150.000; 180.000]	[-14.051; 26.766]	0.655756	0.344244
1125	2.5	[155.125; 165.499]	[150.000; 180.000]	[-24.875; 15.499]	0.383886	0.616114
1260	2.8	[146.620; 156.647]	[150.000; 180.000]	[-33.38; 6.647]	0.166063	0.833937
1350	3.0	[141.895; 151.729]	[150.000; 180.000]	[-38.105; 1.729]	0.043405	0.956595

Trong trường hợp tỷ số $a/h_0 = 2.0$, xét tại tiết diện nguy hiểm nhất là tại vị trí đặt lực tập trung thì tỷ số $\frac{V_u \cdot d}{M_u} = \frac{P \cdot d}{P \cdot a} = \frac{d}{a} \approx \frac{h_0}{a}$, cường độ bê

tông $14.7 \leq f_c \leq 15.3$ (MPa), hàm lượng cốt dọc $0.01 \leq \rho \leq 0.02$, $b_w = b = 250$ (mm), $d \approx h_0 = 450$ (mm), khả năng chịu cắt của bê tông $78.576 \leq V_c \leq 89.532$ (kN).

Khả năng chịu cắt của cốt thép đai $V_s = n \cdot A_w \cdot f_v = d \cdot A_w \cdot f_v / s$, tối ưu hàm mục tiêu V_s với các tham số đầu vào $230.3 \leq f_v \leq 239.7$ (MPa), $195 \leq s \leq 205$ (mm), $d \approx h_0 = 450$ (mm), $A_w = 100.6$ (mm²) ta được kết quả $50.857 \leq V_s \leq 55.647$ (kN), dễ nhận thấy rằng theo ACI thì V_s không phụ thuộc vào tỷ số a/h_0 và tiêu chuẩn ACI xem gần đúng góc vết nứt nghiêng là 45° .

Khả năng chịu cắt tổng cộng: $[Q] = V_c + V_s = [129.433; 145.179]$ (kN).

Đánh giá độ tin cậy theo công thức tỷ số khoảng:

- Tập khả năng $\bar{R} = [Q] = [129.433; 145.179]$ (kN).

- Tập trạng thái $\bar{Q} = Q_{\max} = P = [150.00; 180.00]$ (kN)

Do đó tập an toàn: $\bar{M} = \bar{R} - \bar{Q} = [-50.567; -4.821]$ (kN)

Như vậy, độ tin cậy $P_s = 0.000000$; độ không tin cậy $P_f = 1.000000$.

Thay đổi giá trị tỷ số a/h_0 từ 1.0 đến 3.0, kết quả tổng hợp trong bảng 4 và bảng 5:

Bảng 4. Khả năng chịu cắt của dầm theo ACI 318

c = a (mm)	a / h ₀	V _c (kN)	V _s (kN)	[Q] = V _c + V _s (kN)
450	1.0	[88.138; 108.657]	[50.857; 55.647]	[138.995; 164.304]
540	1.2	[84.951; 102.282]	[50.857; 55.647]	[135.808; 157.929]
675	1.5	[81.763; 95.907]	[50.857; 55.647]	[132.62; 151.554]
810	1.8	[79.638; 91.657]	[50.857; 55.647]	[130.495; 147.304]
900	2.0	[78.576; 89.532]	[50.857; 55.647]	[129.433; 145.179]
990	2.2	[77.706; 87.794]	[50.857; 55.647]	[128.563; 143.441]
1125	2.5	[76.663; 85.707]	[50.857; 55.647]	[127.52; 141.354]
1260	2.8	[75.843; 84.068]	[50.857; 55.647]	[126.7; 139.715]
1350	3.0	[75.388; 83.157]	[50.857; 55.647]	[126.245; 138.804]

Bảng 5. Đánh giá độ tin cậy khả năng chịu cắt của dầm theo ACI 318

c = a (mm)	a / h ₀	$\bar{R} = [Q] = V_c + V_s$ (kN)	$\bar{Q} = Q_{\max} = P$ (kN)	$\bar{M} = \bar{R} - \bar{Q}$ (kN)	Độ tin cậy P _s	Độ không tin cậy P _f
450	1.0	[138.995; 164.304]	[150.000; 180.000]	[-41.005; 14.304]	0.258620	0.741380
540	1.2	[135.808; 157.929]	[150.000; 180.000]	[-44.192; 7.929]	0.152127	0.847873
675	1.5	[132.620; 151.554]	[150.000; 180.000]	[-47.380; 1.554]	0.031757	0.968243
810	1.8	[130.495; 147.304]	[150.000; 180.000]	[-49.505; -2.696]	0.000000	1.000000
900	2.0	[129.433; 145.179]	[150.000; 180.000]	[-50.567; -4.821]	0.000000	1.000000
990	2.2	[128.563; 143.441]	[150.000; 180.000]	[-51.437; -6.559]	0.000000	1.000000
1125	2.5	[127.520; 141.354]	[150.000; 180.000]	[-52.480; -8.646]	0.000000	1.000000
1260	2.8	[126.700; 139.715]	[150.000; 180.000]	[-53.30; -10.285]	0.000000	1.000000
1350	3.0	[126.245; 138.804]	[150.000; 180.000]	[-53.755; -11.196]	0.000000	1.000000

Nhận xét:

- Khả năng chịu cắt của bê tông theo TCVN 5574-2012 không xét đến ảnh hưởng của hàm lượng cốt dọc, ảnh hưởng của mô men uốn ... Trong khi thực tế những yếu tố này có tham gia vào khả năng chịu cắt, và tiêu chuẩn ACI 318 đã có xét đến thông qua hệ số hàm lượng cốt dọc ρ và tỷ số $V_u \cdot d / M_u$.

- Các thông số đầu vào dạng số khoảng nên tập an toàn \bar{M} cũng là số khoảng, điều này phù hợp với thực tế do luôn tồn tại sai số của các thông số đầu vào. Độ tin cậy P_s theo tỷ số khoảng có giá trị từ 0.000000 đến 1.000000 có ý nghĩa thực tiễn trong thực tế thiết kế thay vì chỉ xét độ tin cậy quá an toàn $P_s = 1.000000$ và độ không tin cậy $P_f = 0.000000$.

- Tỷ số giữa nhịp chịu cắt và chiều cao tiết diện a/h_0 ảnh hưởng lớn đến độ tin cậy của khả năng chịu cắt đánh giá theo TCVN 5574: 2012, do đó khi thiết kế kết cấu chịu dầm chịu cắt khuyến nghị nên quan tâm đến tỷ số này. Độ tin cậy P_s giảm dần khi tỷ số a/h_0 thay đổi từ 1.0 đến 3.0. Vị trí giao nhau giữa đường độ tin cậy P_s và độ không tin cậy P_f trên hình 6 chính là điểm xác suất an toàn 50% và xác suất hỏng 50%.

- Độ tin cậy khả năng chịu cắt đánh giá theo ACI 318 có xu hướng thấp hơn so với cách đánh giá theo TCVN 5574 thậm chí là mất an toàn (trường hợp $P_s = 0.000000$) do đó khi đánh giá khả năng chịu cắt của dầm BTCT theo TCVN 5574 khuyến nghị nên đánh giá thêm độ tin cậy theo tiêu chuẩn ACI 318 và một số tiêu chuẩn khác để xem xét mức độ an toàn.

- Việc vận dụng thuật toán tối ưu tiến hóa vi phân đột biến hỗn hợp HCDE để đánh giá khả năng chịu cắt của dầm BTCT khi các thông số đầu vào dạng khoảng là có ý nghĩa thực tiễn. Khả năng hội tụ nhanh (trong ví dụ cụ thể là khoảng 30 vòng thế hệ, hình 5a và 5b) và tránh tối ưu hàm mục tiêu rơi vào cực bộ mở ra triển vọng giải quyết các bài toán có tham số đầu vào lớn hơn.

4. Kết luận

Đánh giá độ tin cậy của quá trình thiết kế và sử dụng kết cấu là một vấn đề đã và đang được nhiều tác giả quan tâm trong thời gian gần đây. Bài báo đã trình bày một cách đánh giá độ tin cậy khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép theo lý thuyết khoảng [2] trong trường hợp xét đến các tham số đầu vào dạng không chắc chắn biểu diễn dưới dạng đại lượng số khoảng, đây là một vấn đề có ý nghĩa thực tiễn, đặc biệt là trong thiết kế kết cấu. Bài báo cũng đã vận dụng thuật toán tối ưu tiến hóa vi phân mới, có nhiều ưu điểm – tiến hóa vi phân đột biến hỗn hợp, đã được giới thiệu trong [5] để tìm khoảng đầu ra của hàm mục tiêu thay vì sử dụng lý thuyết khoảng thuần túy. Với các yếu tố đầu vào dạng số khoảng, độ tin cậy khả năng chịu cắt của dầm BTCT thay đổi từ 0 đến 1 và phụ thuộc vào các yếu tố như tải trọng, cường độ vật liệu, hàm lượng cốt dọc và đặc biệt là tỷ số a/h_0 . Độ tin cậy khả năng chịu cắt của dầm khi đánh giá theo TCVN 5574:2012 có xu hướng cao hơn so với độ tin cậy đánh giá theo ACI 318, do đó trong trường hợp thiết kế, khuyến nghị ngoài đánh giá độ tin cậy chịu cắt theo 5574:2012 nên đánh giá thêm theo một số tiêu chuẩn khác để tìm được giải pháp thiết kế có mức độ an toàn phù hợp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Xuân Chính, *Phương pháp đánh giá độ tin cậy của khung bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn Việt Nam*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Hà Nội, 2000.
- [2]. Lê Công Duy, *Một cách đánh giá độ tin cậy khoảng của kết cấu dàn phẳng*, Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây dựng, số 01/2015.
- [3]. Lê Công Duy, Đặng Hồng Long, *Một thuật toán giải phương trình cơ bản của phương pháp phần tử hữu hạn có tham số khoảng*, Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, Bộ Xây dựng, số 3/2014.
- [4]. Phan Văn Khôi, *Cơ sở đánh giá độ tin cậy*, Nhà xuất bản KH & KT, Hà Nội, 2001.
- [5]. Đặng Hồng Long, Lê Công Duy, Hoàng Nhật Đức, *Ứng dụng thuật toán tiến hóa vi phân đột biến hỗn hợp (HCDE) xác định tần số dao động riêng kết cấu khung phẳng có tham số đầu vào dạng số khoảng*, Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng số 4/2016, trang 10-16.
- [6]. Phùng Ngọc Dũng, Lê Thị Thanh Hà, *Phân tích và thiết kế dầm bê tông cốt thép trên tiết diện nghiêng theo ACI 318, Eurocode2 và TCVN 5574:2012*, Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng, số 3/2014.
- [7]. Nguyễn Việt Trung, *Thiết kế kết cấu bê tông cốt thép hiện đại theo tiêu chuẩn ACI*, Nhà xuất bản Giao thông vận tải, 2000.
- [8]. Lê Xuân Huỳnh, Lê Công Duy, *Độ tin cậy của kết cấu khung có tham số đầu vào dạng số mờ*, Tuyển tập công trình Hội nghị cơ học toàn quốc lần thứ IX, Hà Nội, 12/2012.
- [9]. Nguyễn Văn Phó, Nguyễn Đình Tân, *Một phương pháp tính độ tin cậy của công trình có biến mờ tham gia*, Tạp chí KHCN Xây Dựng số 3, 2005.
- [10]. Bend Moller, Wolfgang Graf, Michael Beer, *Safety Assessment of Structure in View of Fuzzy Randomness*. Institute of Structural Analysis, Dresden University of Technology, Dresden Germany, 2003.
- [11]. Kwan-Ling-Lai, *Fuzzy Based Structural Reliability Assessment*, Structure Dept. China Engineering Consultants, Inc, Taipei 1990.
- [12]. Zhiping Qiu, Di Yang, Isaac Elishakoff, *Probabilistic interval reliability of structural systems*, International Journal of Solids and Structures 45-2008, pp.2850-2860.