

# Đánh giá độ tin cậy trong ứng xử của dầm bê tông cốt thép chịu uốn

The article evaluates the reliability of bent-reinforced concrete beams

> THS NGÔ QUỐC THANH<sup>1</sup>, THS PHẠM DUY QUÂN<sup>1</sup>, PGS.TS ĐÀO ĐÌNH NHÂN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Xây dựng Miền Tây; Email: ngoquocthanh@mtu.edu.vn

<sup>2</sup>Trường Đại học Kiến trúc TP.HCM; Email: nhan.daodinh@uah.edu.vn

## TÓM TẮT

Đánh giá độ tin cậy (ĐTC) trong ứng xử của dầm bê tông cốt thép (BTCT) chịu uốn, cung cấp góc nhìn cụ thể, về mức độ ảnh hưởng của độ biến động của một số biến thiết kế đến cường độ chịu uốn của tiết diện dầm BTCT. Trên cơ sở đó khảo sát ĐTC của cấu kiện dầm cũng như phân bố xác suất chuyển vị của nó. Phương pháp phân tích bậc nhất (gọi tắt là FORM) [1] và phương pháp Monte Carlo sẽ được sử dụng để đánh giá ĐTC. Cả phân tích tuyến tính và phân tích phi tuyến đều được sử dụng để đánh giá. Kết quả phân tích độ nhạy xác định các biến ảnh hưởng lớn đến dầm là: cường độ bê tông ( $R_b$ ), tải trọng ( $P$ ), cường độ thép ( $R_s$ ), diện tích thép ( $A_s$ ). Đánh giá ĐTC bằng phương pháp Monte Carlo kết hợp phân tích phi tuyến cho ra ĐTC nhỏ nhất so với các phương pháp còn lại. Kết quả phân tích và xây dựng phân phối xác suất chuyển vị lớn nhất của dầm khảo sát thì hệ số biến động về chuyển vị khá bé, bằng 7,1%.

**Từ khóa:** Độ tin cậy; phân tích bậc nhất; phương pháp Monte Carlo; phân tích phi tuyến; phân tích tuyến tính, chuyển vị.

## ABSTRACT

The research evaluates the reliability of bent-reinforced concrete beams, in order to provide a specific view on the influence of the variation of some design variables on the flexural strength of the reinforced concrete beam section. From this, the research continues to carry out a survey of the reliability of the reinforced concrete beam structures as well as its displacement probability distribution. In this paper, there are two methods used to evaluate the reliability: The First Order Reliability Method (FORM) and Monte Carlo Method. Besides, researchers also use the linear analysis and nonlinear analysis for the evaluation. The results of sensitivity analysis identify variables that greatly affect the beam including concrete strength ( $R_b$ ), loading capacity ( $P$ ), steel strength ( $R_s$ ), and steel area ( $A_s$ ). Evaluating the reliability by Monte Carlo method combined with nonlinear analysis has given the smallest reliability compared with the other methods. The results of analyzing and constructing the maximum displacement probability distribution of the beam being investigated have showed that the coefficient of variation in displacement is quite low, only 7.1%.

**Key word:** Reliability; the first order reliability method; monte Carlo method; linear analysis; Nonlinear analysis; displacement.

## 1. MỞ ĐẦU

Trong thực tế, kết cấu xây dựng chịu tác động của nhiều yếu tố mang tính ngẫu nhiên như hoạt tải, gió, động đất... Ngoài ra các đặc trưng của kết cấu như kích thước, đặc trưng vật liệu, cường độ... cũng mang tính ngẫu nhiên. Kể đến tính ngẫu nhiên của các tác động và thuộc tính của kết cấu, các phương pháp thiết kế thường sử dụng các hệ số thành phần như hệ số tải trọng, hệ số điều kiện làm việc... Mặc dù vậy các công trình vẫn có thể xảy ra sự cố do tính ngẫu nhiên, hay sự biến động của các biến trong thực tế so với các giá trị sử dụng trong thiết kế.

Trong tính toán, thiết kế có số liệu, giá trị cụ thể nhưng trong thực tế có nhiều yếu tố ngẫu nhiên không thể lường trước được, biến động gây ra bất lợi, dẫn đến sự cố công trình. Vì vậy, đánh giá ĐTC, tức là dự đoán xác suất an toàn của công trình, là công việc cần thiết.

Ví dụ: Tải trọng (hoạt tải) có giá trị thay đổi theo thời gian và không gian, là một đại lượng thay đổi một cách ngẫu nhiên. Tải trọng tác động lên khu vực sàn (Hình 1) [2] thay đổi ngẫu nhiên, phụ thuộc vào số lượng người tại thời điểm nhất định.



a) 10k N/m<sup>2</sup>      b) 20k N/m<sup>2</sup>      c) 25k N/m<sup>2</sup>

Hình 1. Tải trọng tác động lên sàn thay đổi theo số lượng người

## 2. THIẾT LẬP PHƯƠNG TRÌNH ĐÁNH GIÁ ĐTC

Phương pháp xác định độ nhạy của từng biến ảnh hưởng trực tiếp đến ứng xử của dầm BTCT gồm các biến như sau: ( $R_b, P, R_s, A_s \dots$ ). Sử dụng công thức xác định moment lớn nhất (do ngoại lực tác động lên cấu kiện) và moment giới hạn (do nội lực tác động) của cấu kiện đang xét (dầm BTCT) lần lượt cho các biến dao động ngẫu nhiên trong miền dao động xung quanh kỳ vọng  $\pm 3\sigma$  [2]. Với hệ số

biến động của từng biến (tra theo TCVN 5574-2018 [3] và một số tài liệu liên quan [4], [5], [6]. Xem giá trị của các biến mà đề bài cho ban đầu là giá trị trung bình của từng biến. Từ đó xác định được các biến có ảnh hưởng lớn nhất đến khả năng chịu lực của cấu kiện đang xét.

Đánh giá ĐTC theo phương pháp bậc nhất là phương pháp chỉ sử dụng đến moment bậc 1, tức là kỳ vọng và hiệp phương sai của các biến cơ bản mà không đòi hỏi các hàm mật độ của chúng. Trình tự tính được thể hiện cụ thể như sau:

$$\text{Kỳ vọng } \mu_M = [M] - M_{xĐt} \quad (1)$$

Xác định độ lệch chuẩn, lấy đạo hàm theo từng biến nhạy đã được xác định

$$\sigma_M^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^2 \sigma_{X_i}^2 \quad (2)$$

$$\text{Phương sai: } \sigma_M = \sqrt{\sigma_M^2} \quad (3)$$

$$\text{Chỉ số ĐTC: } \beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} \quad (4)$$

=> Xác định ĐTC  $P_s$ .

Đánh giá ĐTC bằng phương pháp Monte Carlo là phương pháp đặc biệt có thể sử dụng để tạo ra kết quả số mà không cần thiết phải thực hiện thử nghiệm thật. Ta có thể sử dụng kết quả từ các thử nghiệm trước đó để thiết lập các phân phối xác suất cho các thông số quan trọng của bài toán. Sau đó ta sử dụng thông tin phân phối này để tạo các mẫu dữ liệu số. Trong mỗi thí nghiệm giá trị của các biến ngẫu nhiên đầu vào  $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$  được lấy mẫu dựa trên các phân phối của chúng. Sau đó các biến ngẫu nhiên đầu ra  $Y$  được ước lượng qua hàm trạng thái giới hạn  $Y=g(X)$  tại các giá trị mẫu ngẫu nhiên đầu vào. Số mẫu càng nhiều thì mô phỏng càng chính xác [2]. Thiết lập phương trình mô phỏng:

Hàm trạng thái giới hạn

$$g(X) = \left[ R_s A_s \left( h_0 - \frac{R_s A_s}{2bR_b} \right) \right] - \left( \frac{1.1 \times q_{1.1}^{tc} \times L^2}{12} + \frac{1.2 \times q_{1.2}^{tc} \times L^2}{12} \right) \quad (5)$$

$$\text{Giá trị trung bình: } \mu_M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g_i(X) \quad (6)$$

$$\Rightarrow \text{ChØ sè §TC: } \beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} \quad (7)$$

=> Xác định ĐTC  $P_s$ .

### 3. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

#### 3.1. Thông số thiết kế và khảo sát

Cho sàn có tiết diện 6m x 6m, chức năng sàn là văn phòng làm việc. Chọn sơ bộ chiều dày sàn  $h_s = 120$  mm. Chọn sơ bộ tiết diện dầm  $b \times h = (300 \times 500)$ . Bê tông B25. Cường độ thép CIII.

Bảng 1. Tải trọng truyền lên Dầm.

STT	Các lớp cấu tạo	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	h (m)	$g_s^{tc}$ (kN/m <sup>2</sup> )	Hệ số vượt tải (n)
1	Gạch Ceramic	20	0.01	0.2	1.1
2	Vữa lót	18	0.03	0.54	1.2
3	Tường xây dày 100			4.0	1.2
4	Sàn BTCT	25	0.12	3.0	1.1
5	Vữa trát trần	18	0.015	0.27	1.2
6	Khung trần + thiết bị			0.300	1.2

Tính toán thép dầm BTCT chịu uốn.

$$M_{\max} = \frac{1.1 \times 19.2 \times 6^2}{12} + \frac{1.2 \times 42.66 \times 6^2}{12} \quad (8)$$

$$\Rightarrow M_{\max} = 216.936 \text{ (kNm)}$$

Giả thiết lớp bê tông bảo vệ 3.5 cm.

$$\alpha_m = \frac{21693.6}{1.42 \times 30 \times 46.5^2} = 0.236 \quad (9)$$

$$\alpha_m = 0.236 \leq \alpha_R = 0.405. \text{ Thỏa điều kiện xảy ra phá hoại dẻo:}$$

Từ công thức ta tính:

$$\zeta = 0.5 \left( 1 + \sqrt{1 - 2 \times 0.236} \right) = 0.864 \quad (10)$$

Diện tích thép tính toán

$$A_s = \frac{21693.6}{0.864 \times 36.5 \times 46.5} = 14.80 \text{ (cm}^2\text{)} \quad (11)$$

Theo mục 4.1.5 TCVN 4453:1995 [4], các thanh thép bị hẹp, bị giảm tiết diện do làm sạch hoặc do các nguyên nhân khác không vượt quá giới hạn cho phép 2% đường kính (d). Ta có diện tích thép

$$A_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \text{ từ đó xác định được độ lệch chuẩn tối đa cho phép so}$$

với giá trị trung bình, theo qui luật 3 $\sigma$  thiết lập được công thức sau:

$$0.04 \times A_s = 3\sigma_{A_s} \Leftrightarrow v_{A_s} = \frac{\sigma_{A_s}}{A_s} \approx \frac{0.04}{3} = 0.0133 \quad (12)$$

Độ lệch chuẩn diện tích thép:

$$\sigma_{A_s} = v_{A_s} \times A_s = 0.0133 \times 14.80 = 0.1968 \text{ cm}^2 \quad (13)$$

#### 3.2. Xác định biến nhạy Dầm BTCT

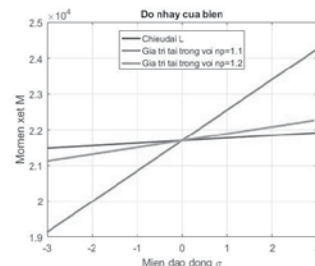
Khảo sát độ nhạy các biến khi tính  $M_{xĐt}$ .

$$M_{xĐt} = M_{\max} = \frac{1.1 \times q_{1.1}^{tc} \times L^2}{12} + \frac{1.2 \times q_{1.2}^{tc} \times L^2}{12} \quad (14)$$

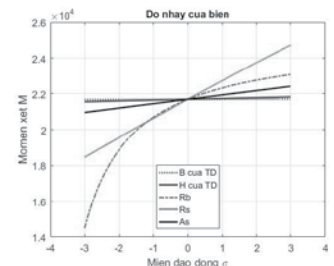
Bảng 2. Hệ số biến động và độ lệch chuẩn các biến.

Thông số	Hệ số biến động ( $v$ )	Độ lệch chuẩn ( $\sigma$ )
Tải trọng với $n_p=1.1$	0.000333	0.0064 kN/cm
Tải trọng với $n_p=1.2$	0.0667	0.02844 kN/cm
Cường độ BT B25	0.135	0.3208 kN/cm <sup>2</sup>
Cường độ thép CIII	0.05	2.09 kN/cm <sup>2</sup>
Chiều rộng Dầm BTCT	0,00167	0,0501 cm
Chiều cao Dầm BTCT	0,00167	0,0835 cm
Chiều dài Dầm BTCT	0,00167	1,0 cm
Diện tích thép	0,0133	0,1968 cm <sup>2</sup>

Với các hệ số biến động ta tiến hành mô phỏng sự biến động Moment giới hạn, trong miền dao động  $\pm 3\sigma$ .



Hình 2. Ảnh hưởng các biến đến Moment xét [7].



Hình 3. Ảnh hưởng các biến đến Moment giới hạn. [7]

Từ biểu đồ Hình 2 ta thấy tải trọng ( $q_{1.1}^{tc}$ ), tải trọng ( $q_{1.2}^{tc}$ ), chiều dài (L) của dầm đều ảnh hưởng lớn đến Moment dầm. Ta kết luận biến độ nhạy ảnh hưởng lớn đến khả năng làm việc của dầm BTCT là tải trọng ( $q_{1.1}^{tc}$ ), tải trọng ( $q_{1.2}^{tc}$ ), chiều dài (L).

Từ biểu đồ Hình 3 ta thấy cường độ bê tông ( $R_b$ ), cường độ thép ( $R_s$ ), diện tích thép ( $A_s$ ), của dầm ảnh hưởng lớn nhất đến Moment dầm. Ta kết luận biến có độ nhạy ảnh hưởng lớn nhất đến khả năng làm việc của dầm BTCT là: cường độ bê tông ( $R_b$ ), cường độ thép ( $R_s$ ), diện tích thép ( $A_s$ ).

**3.3. Đánh giá ĐTC của dầm đơn giản**

**3.3.1. Phương pháp bậc nhất**

Xác định Moment theo tải trọng trung bình của dầm:

$$M_{xDt} = \frac{19.2 \times 6^2}{12} + \frac{42.66 \times 6^2}{12} \tag{15}$$

$$\Rightarrow M_{xDt} = 185.58 \text{ kN.m} = 18558 \text{ kN.cm}$$

Giá trị Moment giới hạn

$$[M] = 41.75 \times 14.8 \times (46,5) - 0.5 \times \frac{41.75^2 \times 14.8^2}{30 \times 2.376} \tag{16}$$

$$\Rightarrow [M] = 26054.177 \text{ kNcm}$$

Xác định kỳ vọng

$$\mu_M = [M] - M_{xDt} = 26054.177 - 18558 \tag{17}$$

$$\Rightarrow \mu_M = 7496.177 \text{ kNcm}$$

Giá trị phương sai

$$\sigma_M^2 = \left(\frac{\partial M}{\partial R_b}\right)^2 \sigma_{R_b}^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial R_s}\right)^2 \sigma_{R_s}^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial A_s}\right)^2 \sigma_{A_s}^2 \tag{18}$$

$$- \left(\frac{\partial M}{\partial p}\right)^2 \sigma_{q_{11}}^2 - \left(\frac{\partial M}{\partial g}\right)^2 \sigma_{q_{12}}^2 - \left(\frac{\partial M}{\partial L}\right)^2 \sigma_L^2$$

$$\Rightarrow \sigma_M^2 = 943333.0745$$

Giá trị phương sai:

$$\sigma_M = \sqrt{\sigma_M^2} = \sqrt{943333.0745} = 971.253 \text{ kNcm} \tag{19}$$

$$\Rightarrow Ch\varnothing \text{ sè } \S TC: \beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} = \frac{7496.177}{971.253} \approx 7.718 \tag{20}$$

Sau khi xác định được chỉ số ĐTC, xác định ĐTC  
Ps=0.9999999999999994

**3.3.2. Phương pháp Monte Carlo**

Sử dụng mô phỏng Monte Carlo xác định giá trị trung bình và sai lệch bình phương trung bình. Các biến ngẫu nhiên đã được xác định mục 3.2. Xác định hàm trạng thái dầm BTCT chịu uốn

$$g(X) = \left[ R_m A_s \left( h_0 - \frac{\sigma_y A_s}{2bR_b} \right) \right] - \left( \frac{q_{1.1}^c \times L^2}{12} + \frac{q_{1.2}^c \times L^2}{12} \right) \tag{21}$$

Giá trị các hệ số biến động và độ lệch chuẩn các biến đã được xác định trong Bảng 2. Kết quả được thể hiện trong Bảng 3, với số biến ngẫu nhiên N=10

Xác định giá trị trung bình, độ sai lệch trung bình và chỉ số ĐTC của Moment:

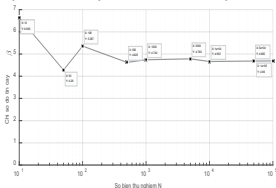
$$\mu_M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} g_i(X) = 8019.1 \tag{22}$$

$$\Rightarrow Ch\varnothing \text{ sè } \S TC: \beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} = \frac{8019.1}{1208.5} \approx 6.6358 \tag{23}$$

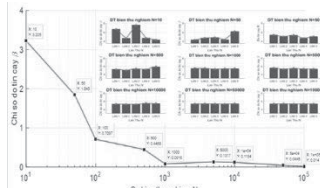
Bảng 3. Kết quả tính toán với biến ngẫu nhiên N=10 tại nhịp dầm BTCT. [7]

STT	$L_i$ (cm)	$q_{1.1}^c$ (kN/cm)	$q_{1.2}^c$ (kN/cm)	$\sigma_y$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$R_{mi}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$A_{si}$ (cm <sup>2</sup> )	$M_{ghi}$ (kN.cm)	$M_{xeti}$ (kN.cm)	$g(X)_i$ (kN.cm)
1	599.498	0.188	0.414	45.364	2.411	14.875	28551.558	18019.202	10532.356
2	598.917	0.192	0.450	45.175	2.644	14.847	28379.786	19188.209	9191.577
3	600.287	0.200	0.436	42.539	2.578	14.463	26032.384	19087.706	6944.679
4	598.759	0.194	0.433	41.336	2.169	14.846	25966.538	18741.812	7224.726
5	598.907	0.194	0.428	41.200	2.721	15.129	26374.966	18603.140	7771.827
6	599.990	0.201	0.417	41.740	1.888	15.117	26697.827	18540.150	8157.677
7	598.573	0.198	0.437	41.068	2.617	14.627	25416.783	18937.800	6478.983
8	599.901	0.188	0.399	43.204	1.960	14.645	26772.923	17588.481	9184.442
9	599.875	0.198	0.388	40.686	2.902	14.758	25406.244	17591.523	7814.721
10	601.041	0.195	0.457	42.474	2.694	14.760	26527.135	19637.188	6889.948

Đánh giá ĐTC ta xác định giá trị hàm trạng thái giới hạn, khi g(X)<0 thì cấu kiện bị hỏng, bài toán có 0/10 trường hợp g(X)<0. Khi tiến hành với số lần thử nghiệm N lớn sẽ thu được kết quả có độ tin cậy cao hơn. Kết quả khảo số chỉ số ĐTC với số biến thử nghiệm N thay đổi từ 10, 50, 100, 500, 1.000, 10.000, 50.000 và 100.000 biến, được thể hiện trên đồ thị Hình 4 và Hình 5.



Hình 4. Chỉ số ĐTC của Dầm BTCT theo thay đổi của biến ngẫu nhiên. [7]



Hình 5. Biểu đồ thể hiện sự chênh lệch giữa chỉ số độ tin cậy  $\beta_{max}$  và  $\beta_{min}$  [7]

Với kết quả đã khảo sát nhận thấy:

Tính toán theo phương pháp bậc 1, sử dụng độ lệch chuẩn lớn nhất và xảy ra đồng thời sẽ gây ra ảnh hưởng lớn đến ĐTC của cấu kiện thiết kế. Hạn chế của phương pháp này là chỉ đánh giá được trường hợp xảy ra đồng loạt ở mức cao nhất của các biến ngẫu nhiên, nhưng trong thực tế trường hợp này rất khó xảy ra. Việc đánh giá theo phương pháp này

giúp ta có thể đánh giá mức ảnh hưởng lớn nhất của các biến đến khả năng làm việc của cấu kiện.

Tính toán theo phương pháp Monte Carlo có ĐTC cao hơn, tiến hành đánh giá ĐTC dựa trên phân phối chuẩn của các biến ngẫu nhiên. Các biến có độ lệch chuẩn ngẫu nhiên, từ kết quả tính toán được thể hiện trên biểu đồ, nhận thấy với lượng biến ngẫu nhiên khảo sát càng lớn thì chỉ số ĐTC càng ổn định và ĐTC ít có biến động. Với số lượng biến ngẫu nhiên lớn thì có thể dựa vào ĐTC đã tính toán, có thể đánh giá ĐTC trong ứng xử của dầm BTCT khách quan, chính xác, từ đó đưa ra những điều chỉnh phù hợp trong quá trình thiết kế cấu kiện nói chung, dầm BTCT nói riêng.

Chọn Phương pháp mô phỏng Monte Carlo để khảo sát, đánh giá ĐTC các cấu kiện sau này.

**3.4. Đánh giá ĐTC dầm 2 đầu ngàm.**

Tính thép cho gối dầm BTCT

$$M_{xDt} = M_{max} = \frac{5 \times 1.1 \times 19.2 \times 6^2}{96} + \frac{5 \times 1.2 \times 42.66 \times 6^2}{96} \tag{24}$$

$$\Leftrightarrow M_{xDt} = 135.585(kNm) = 13558.5(kNcm)$$

$$\Rightarrow A_s = \frac{13558.5}{0.920 \times 36.5 \times 46.5} = 8.683 (cm^2)$$

Tính thép cho nhịp dầm BTCT

$$M_{xĐt} = M_{\max} = \frac{1.1 \times 19.2 \times 6^2}{32} + \frac{1.2 \times 42.66 \times 6^2}{32}$$

$$\Leftrightarrow M_{xĐt} = 81.351 \text{ kNm} = 8135.1 \text{ kNcm} \quad (25)$$

$$\Rightarrow A_s = \frac{8135.1}{0.954 \times 36.5 \times 46.5} = 5.0258 \text{ (cm}^2\text{)}$$

**3.4.1. Đánh giá ĐTC dầm theo hệ thống nối tiếp**

Một trong những sự phụ thuộc quan trọng của ĐTC là phụ thuộc ĐTC hệ thống vào ĐTC của các phần tử. Các phần tử nối tiếp nhau trên cùng một cấu kiện, khi một trong các phần tử bị hỏng thì toàn bộ phần tử sẽ bị hỏng. Sử dụng lý thuyết nhân xác suất, theo đó xác suất của tích, bằng tích xác suất làm việc không hỏng của hệ thống. Theo sơ đồ dầm 2 đầu ngàm thì vị trí phần tử chịu tác động lực lớn nhất là tại gối và nhịp trên cùng một dầm, các phần tử này quan hệ mật thiết, liên kết với nhau như một hệ thống nối tiếp. Vì vậy, đánh giá ĐTC dầm 2 đầu ngàm theo mô hình hệ thống nối tiếp rất phù hợp.

**3.4.1.1. Đánh giá ĐTC tại Gối**

Sử dụng mô phỏng Monte Carlo xác định giá trị trung bình và sai lệch bình phương trung bình. Các biến nhảy đã được xác định ở mục 3.2, nếu có sự thay đổi ngẫu nhiên ảnh hưởng lớn đến ứng xử của dầm BTCT gồm: chiều dài cấu kiện (L), tải trọng hệ số vượt tải  $n_p = 1.1$  ( $q_{1.1}^{tc}$ ) tải trọng có hệ số vượt tải  $n_p = 1.2$  ( $q_{1.2}^{tc}$ ), cường độ thép ( $R_s$ ), cường độ bê tông ( $R_b$ ), diện tích thép ( $A_s$ ), các biến này sẽ được thay đổi ngẫu nhiên theo quy luật phân phối chuẩn nhằm đánh giá sự ảnh hưởng đến ứng xử của dầm BTCT.

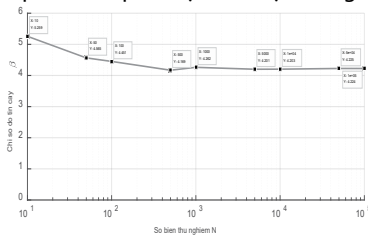
Xác định hàm trạng thái tại gối của dầm:

$$g(X) = \left[ R_m A_s \left( h_0 - \frac{\sigma_y^m A_s}{2bR_b} \right) \right] - \left( \frac{5 \times q_{1.1}^{tc} \times L^2}{96} + \frac{5 \times q_{1.2}^{tc} \times L^2}{96} \right) \quad (26)$$

Giá trị các hệ số biến động và độ lệch chuẩn của các biến đã được xác định trong Bảng 2. Riêng giá trị hệ số biến động của diện tích thép cần phải xác định lại do có sự thay đổi.

$$v = \frac{\sigma}{\mu} = 0.0133 \Rightarrow \sigma_{A_s} = 0.0133 \times 8.683 = 0.1155 \text{ c} \quad (27)$$

Sử dụng phần mềm Matlab để tiến hành với số lần thử tăng dần từ 10, 50, 100, 1.000, 5.000, 10.000, 50.000, 100.000 biến ngẫu nhiên trên các biến nhảy, nhằm thu được kết quả chính xác hơn và có sự đánh giá khách quan. Kết quả được thể hiện trong đồ thị:



Hình 6. Chỉ số ĐTC tại Gối của dầm BTCT theo sự thay đổi của biến ngẫu nhiên. [7]

**3.4.1.2. Đánh giá ĐTC tại Nhịp**

Sử dụng mô phỏng Monte Carlo xác định giá trị trung bình và sai lệch bình phương trung bình. Các thông số sử dụng tương tự như đánh giá ĐTC của dầm tại Gối.

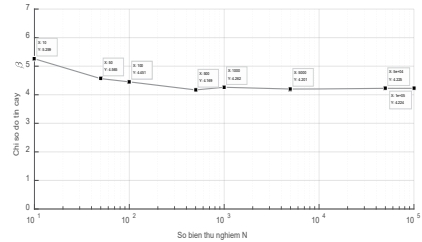
Hàm trạng thái tại nhịp của dầm:

$$g(X) = [M] - M_{xĐt} = \left[ R_m A_s \left( h_0 - \frac{\sigma_y^m A_s}{2bR_b} \right) \right] - \left( \frac{q_{1.1}^{tc} L^2}{32} + \frac{q_{1.2}^{tc} L^2}{32} \right) \quad (28)$$

Giá trị các hệ số biến động và độ lệch chuẩn của các biến đã được xác định trong Bảng 2. Riêng giá trị hệ số biến động của diện tích thép cần phải xác định lại do có sự thay đổi:

$$v = \frac{\sigma}{\mu} = 0.0133 \Rightarrow \sigma_{A_s} = 0.0133 \times 5.0258 = 0.0668 \text{ cm} \quad (29)$$

Tương tự như khi tính toán tại Gối. Sử dụng phần mềm Matlab để tiến hành với số lần thử tăng dần từ 10, 50, 100, 1.000, 5.000, 10.000, 50.000, 100.000 biến ngẫu nhiên trên các biến nhảy. Kết quả được thể hiện trong đồ thị sau:



Hình 7. Chỉ số ĐTC tại Nhịp của dầm BTCT theo sự thay đổi của biến ngẫu nhiên. [7]

Từ đồ thị Hình 6 và Hình 7 thể hiện chỉ số ĐTC của dầm BTCT 2 đầu ngàm, ta nhận thấy chỉ số ĐTC và ĐTC của dầm có sự biến động rõ rệt theo sự biến động của số lần thử nghiệm và hội tụ khi số lần thử nghiệm càng lớn. Với giá trị chỉ số ĐTC thể hiện trên đồ thị Hình 6, Hình 7, số lần thử nghiệm để đạt được hội tụ là từ 10.000 đến 100.000, chỉ số ĐTC và ĐTC với số lần thử nghiệm này biến động rất thấp. Với những kết quả đã khảo sát có thể kết luận số lần thử nghiệm cần thiết để đánh giá ĐTC của dầm là 10.000, số lượng thử nghiệm này vừa đủ lớn để có thể đánh giá chuẩn xác, khách quan ĐTC của dầm.

Với kết quả tính toán mục 3.4.1.1 và mục 3.4.1.2 ta xác định ĐTC của Dầm BTCT 2 đầu ngàm, tính toán theo ĐTC hệ thống nối tiếp:

$$R = R_{g1} \times R_{nh} \times R_{g2} \quad (30)$$

Giá trị ĐTC dầm BTCT 2 đầu ngàm, với số lần thử nghiệm 10.000:

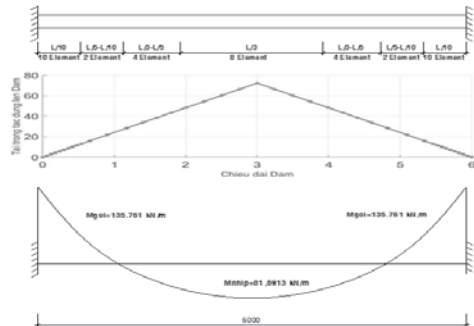
$$R \approx 0.999977767542167 \quad (31)$$

**3.4.2. Đánh giá ĐTC của dầm theo phân tích tuyến tính và phi tuyến**

Giá thiết dầm chịu tải trọng như đã tính toán ở Bảng 1, sau đó phân tích đánh giá ĐTC của dầm BTCT lại trong mô hình OpenSees. Nội dung phân tích gồm phân tích tuyến tính và phân tích phi tuyến từ đó đánh giá tính hợp lý của quá trình phân tích tuyến tính và phi tuyến. Sau đó, phân tích thêm việc thay đổi các thông số đánh giá ảnh hưởng như thế nào đến ĐTC dầm BTCT

**3.4.2.1. Phân tích dầm tuyến tính**

Đối với phần tử dầm, khu vực 2 đầu ngàm sẽ làm việc phi tuyến mạnh, do đó chia nhỏ 2 đầu ngàm với số lượng 10 phần tử, các phần còn lại chia ít hơn để giảm thời gian phân tích cho máy tính [8]. Sơ đồ truyền tải của tải trọng tác động lên dầm theo lưới phần tử cùng với sơ đồ rời rạc hóa kết cấu được thể hiện tại Hình 8.

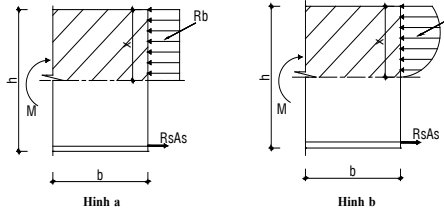


Hình 8. Sơ đồ truyền tải của tải trọng lên dầm theo lưới phần tử. [7]

Bảng 4. So sánh chênh lệch thông số khảo sát theo phương pháp khác nhau. [7]

Thông số		Phân tích theo hệ thống nối tiếp	Phân tích tuyến tính	Chênh lệch (%)
Đầu thanh (Gối 1)	Chỉ số ĐTC $\beta$	4.4386	4.3853	1.20083
	ĐTC	0.9999954729	0.9999942096	0.0001263306
Giữa thanh (Nhịp)	Chỉ số ĐTC $\beta$	4.2029	4.3177	2.73145
	ĐTC	0.9999868215	0.9999921171	0.0005295670
Cuối thanh (Gối 2)	Chỉ số ĐTC $\beta$	4.4386	4.3776	1.37431
	ĐTC	0.9999954729	0.9999939998	0.0001473107
ĐTC Dầm		0.999977767	0.9999803266	0.0002559685

Khi phân tích với số phần tử tổng số 24, chia thành lưới 10-2-4-8-4-2-10, Moment lớn nhất tại gối 135.761 kN.m so với Moment gối đã tính ở mức 3.4, là 135.585 kN.m chênh lệch 0.1296% và Moment lớn nhất tại nhịp 81,8913 kN.m so với Moment nhịp đã tính ở mức 3.4, là 81,351 kN.m chênh lệch 0,6598%. Nhìn chung, khi ta phân tích dầm theo mô hình phân tích số thì sự chênh lệch Moment so với tính toán theo mô hình phân tích giải tích là không đáng kể.



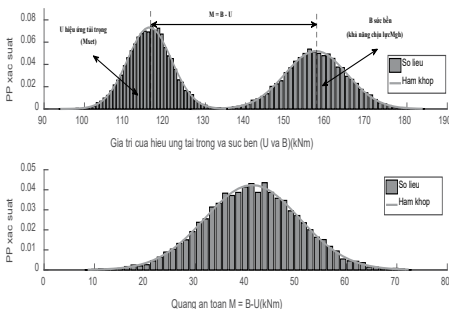
Hình 9. Sơ đồ trạng thái Ứng suất - Biến dạng bê tông trên tiết diện thẳng góc. [7]

Không sử dụng giả thiết ứng suất trong bê tông là phân phối đều như Hình 9a. Thay vào đó sử dụng giả thiết ứng suất trong bê tông sẽ phân phối theo Ứng suất - Biến dạng như Hình 9b. Việc phân tích sẽ được thực hiện mô hình trong Opensees, dựa trên cơ sở Hình 9b. Kết quả phân tích xác định được diện tích thép phân tích theo mô hình Opensees tại gối 8.5439 cm<sup>2</sup> và nhịp 5.07262 cm<sup>2</sup> so với diện tích thép tính theo mô hình phân tích giải tích thì tại gối 8.683 cm<sup>2</sup> và tại nhịp 5.0258 cm<sup>2</sup>, sự chênh lệch giữa 2 mô hình phân tích không quá lớn. Cụ thể tại gối chênh lệch là 1,602% và tại nhịp chênh lệch là 0.923%. Do đó, tiến hành phân tích đánh giá ĐTC của dầm theo mô hình phân tích số, nhằm đánh giá thêm nhiều vị trí chịu tác động lớn của tải trọng, làm cơ sở đánh giá ĐTC trên toàn bộ dầm.

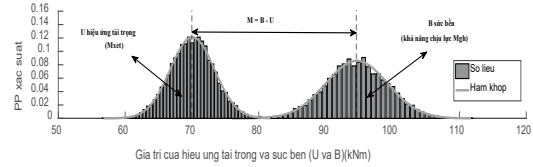
Xác định ĐTC theo đại lượng ngẫu nhiên

$$M = B - U \tag{32}$$

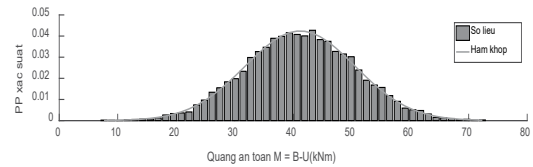
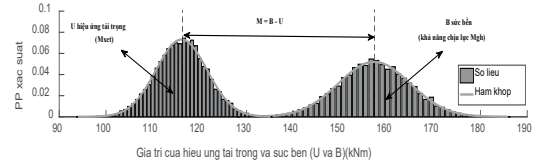
Với ý nghĩa của sức bền và hiệu ứng tải trọng, M được gọi là quãng an toàn. B có ý nghĩa là sức bền, trong phân tích này B được xem là Moment giới hạn, khả năng chịu lực của dầm. U có ý nghĩa là hiệu ứng tải trọng, trong phân tích này U được xem là Moment xét, do tải trọng gây ra tác động lên dầm. Moment đại lượng ngẫu nhiên M có giá trị trung bình  $\mu_M = \mu_B - \mu_U$ , độ lệch chuẩn và hàm mật độ được tính từ thông số: Vật liệu, kích thước, tiết diện...được thể hiện như sau:



Hình 10. Phân phối xác suất quãng an toàn tại đầu thanh dầm. [7]



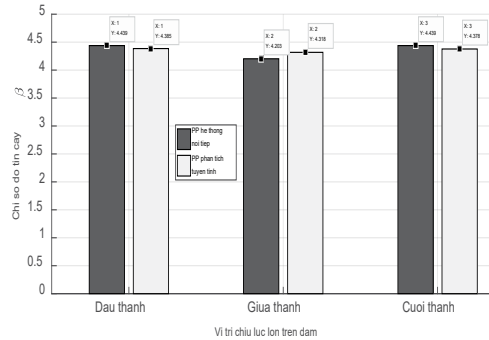
Hình 11. Phân phối xác suất quãng an toàn tại giữa thanh dầm. [7]



Hình 12. Phân phối xác suất quãng an toàn tại cuối thanh dầm. [7]

Khi phân tích dầm theo phân tích tuyến tính với số phần tử và lưới như trên, thì chỉ số ĐTC và ĐTC của dầm tại các vị trí đầu, giữa và cuối so với tại gối và nhịp của dầm phân tích đánh giá theo phương pháp phân tích hệ thống nối tiếp có sự chênh lệch nhất định, thể hiện trong Bảng 4.

Với kết quả tính toán trong Bảng 4, ta thể hiện biểu đồ sự chênh lệch giữa chỉ số ĐTC của dầm BTCT tính theo phương pháp phân tích tuyến tính và phương pháp phân tích hệ thống nối tiếp kết quả thể hiện Hình 13.



Hình 13. Biểu đồ thể hiện chênh lệch chỉ số ĐTC. [7]

Với kết quả tính toán Bảng 4, biểu đồ Hình 13, nhìn chung khi phân tích dầm theo mô hình phân tích tuyến tính thì sự chênh lệch

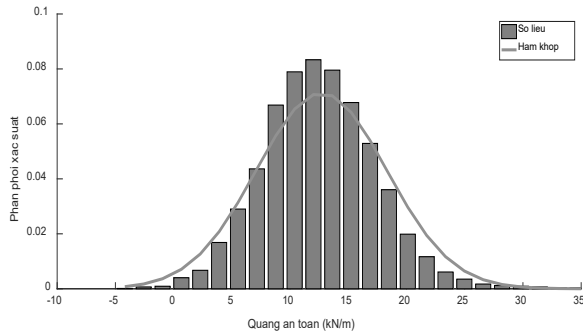
chỉ số ĐTC và ĐTC so với tính toán theo mô hình phân tích hệ thống nối tiếp là không đáng kể.

### 3.4.2.2. Phân tích dầm phi tuyến.

Ở mục 3.4.2.1 đã phân tích dầm tuyến tính, khi phân tích tuyến tính là thiết kế thành phần cấu kiện hoặc toàn bộ cấu trúc sao cho ngay cả khi lực thiết kế tối đa được áp dụng cho kết cấu, sự dịch chuyển của cấu trúc không vượt quá giới hạn đàn hồi của nó. Vấn đề phát sinh với phân tích tuyến tính là khi các lực trở nên lớn (trong trường hợp động đất, gió, bão...), kích thước thành phần cấu kiện hoặc toàn bộ tòa nhà sẽ được thiết kế rất lớn. Không hiệu quả kinh tế.

Để giải quyết vấn đề của phân tích tuyến tính, ta tiến hành phân tích phi tuyến, phân tích phi tuyến cho phép cấu trúc hoặc thành phần cấu kiện vượt qua giới hạn, giới hạn đàn hồi và sử dụng phi tuyến tính của nó.

Các thông số tính toán như: Moment, diện tích thép lấy tương tự mục 3.1 và 3.2, số lượng phần tử phân tích trên dầm BTCT chia tương tự Hình 8, chia nhỏ theo khu vực 2 đầu ngàm với số lượng phần tử lớn hơn vị trí còn lại, vị trí càng chia nhỏ thì kết quả càng chính xác. Tiến hành đánh giá ĐTC dựa trên mô hình phân tích số trên phần mềm Opensees kết hợp với phần mềm Matlab đánh giá trường hợp dầm phi tuyến. Kết quả phân tích thể hiện như sau:



Hình 14. Phân phối xác suất quang an toàn dầm phân tích phi tuyến. [7]

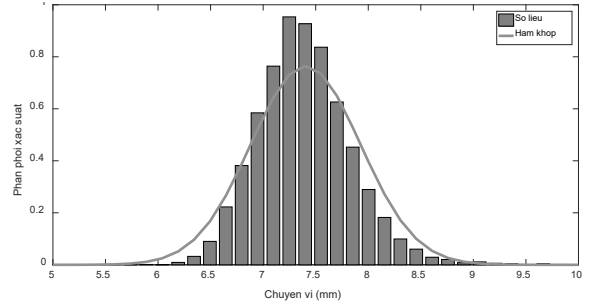
Khi phân tích phần tử của dầm theo trường hợp phi tuyến, sự tương tác giữa tải trọng và vật liệu được thể hiện rõ rệt. Chỉ số ĐTC và ĐTC khi phân tích phần tử theo phi tuyến thấp hơn so với đánh giá các theo các phương pháp còn lại. Cụ thể được thể hiện trong Bảng 5 sau:

Bảng 5. ĐTC của dầm BTCT khi đánh giá theo các phương pháp khác nhau.

Thông số	Phân tích theo hệ thống nối tiếp	Phân tích tuyến tính	Phân tích phi tuyến
ĐTC dầm	0.999977767	0.999976522	0.9883246332

Từ số liệu thống kê trong Bảng 5, ta thấy rằng ĐTC của dầm BTCT khi phân tích đánh giá, phân tích phần tử theo phi tuyến sẽ thấp hơn các phương pháp còn lại, cụ thể ĐTC khi phân tích phi tuyến sẽ chênh lệch so với phương pháp phân tích hệ thống nối tiếp là 1.165339289%, so với phương pháp phân tích tuyến tính thì là 1.165216237%. Trong khi ĐTC chênh lệch giữa phương pháp hệ thống nối tiếp và phương pháp phân tích tuyến tính là 0.000124503%. Với sự chênh lệch này ta thấy rằng khi phân tích dầm theo phi tuyến sẽ thể hiện được sự nguy hiểm của cấu kiện hơn so với các phân tích theo các phương pháp còn lại, từ đó đánh giá được chính xác mức độ ảnh hưởng của các biến đến khả năng làm việc của cấu kiện, đưa ra biện pháp phù hợp trong thiết kế, đánh giá. Với kết quả phân tích ta có thể kết luận đánh giá cấu kiện tiếp theo nên đánh giá theo phi tuyến do có sức phá hoại lớn.

Khi phân tích dầm theo phân tích phi tuyến ĐTC có sự thay đổi rõ rệt so với các phương pháp phân tích trước đó. Ta tiến hành xác định chuyển vị của dầm khi phân tích dầm theo phương pháp phân tích phi tuyến.



Hình 15. Phân phối xác suất của chuyển vị của dầm phân tích phi tuyến. [7]

Từ biểu đồ Hình 15 và phân tích chuyển vị của dầm phi tuyến ta có giá trị chuyển vị trung bình của dầm là  $\mu \approx 7.404$  mm và độ lệch chuẩn  $\sigma \approx 0.522$  mm, ta xác định được hệ số biến động  $v = 0.071$ . Với xác suất vượt 90% và 95% thì ta có chuyển vị tương ứng là 8.0774 và 8.2653, giá trị chuyển vị gấp 1.091 và 1.116 lần giá trị chuyển vị trung bình.

## 4. KẾT LUẬN

Đánh giá ĐTC của dầm BTCT chịu uốn bằng phương pháp bậc 1 và phương pháp Monte Carlo. Trong phương pháp Monte Carlo thì cả phân tích tuyến tính và phi tuyến đều được sử dụng để xác định nội lực và cường độ của dầm. Trong đó phương pháp Monte Carlo kết hợp với phân tích phi tuyến cho ra ĐTC nhỏ nhất. Tác giả đề nghị sử dụng phương pháp này để đánh giá ĐTC cho dầm BTCT do tính an toàn và phản ánh đúng sự làm việc thực tế của cấu kiện. Ngoài ra nghiên cứu còn phân tích và xây dựng phân phối xác suất chuyển vị lớn nhất của dầm. Đối với dầm khảo sát thì hệ số biến động về chuyển vị là khá bé, bằng 7,1%.

Các kết luận đã nêu ở trên là đúng cho mô hình tác giả khảo sát gồm: dầm đơn giản và dầm 2 đầu ngàm. Để có kết quả mang tính tổng quát thì chúng ta cần khảo sát thêm nhiều mô hình cấu kiện khác nhau, đánh giá thêm các yếu tố ngoại lực tác động đến khả năng làm việc của cấu kiện và đó cũng là hướng nghiên cứu tiếp theo sau của nghiên cứu này.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] X. Du, "Rolla First order and second reliability methods," 2005.
- [2] H. B. An, "Tài liệu giảng dạy: Lý thuyết độ tin cậy trong kết cấu xây dựng. Đề tài NCKH cấp Trường,," Trường Đại học Kiến trúc TP. HCM, 12/2019..
- [3] T. 5574:2018, "Thiết kế kết cấu bê tông và BTCT,," 2018.
- [4] T. 4453:1995, Kết cấu bê tông và BTCT toàn khối – Quy phạm thi công và nghiệm thu, 1995.
- [5] N. X. Chinh, Phương pháp đánh giá ĐTC của khung BTCT thiết kế theo TCVN". Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Hà Nội: Viện Khoa học công nghệ Xây dựng, 2000.
- [6] P. V. Khôi, Cơ sở đánh giá ĐTC, Hà Nội: NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2001.
- [7] N. Q. Thanh, Đánh giá ĐTC trong ứng xử của dầm BTCT chịu uốn. Luận văn thạc sĩ, Trường Đại học Kiến trúc TP. HCM, 2020.
- [8] Đ. Đ. Nhân, Phân tích phi tuyến kết cấu thanh, Hà Nội: NXB Xây Dựng, 2017.