

ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA HÀM LƯỢNG CỐT DỌC ĐẾN KHẢ NĂNG CHỊU CẮT CỦA DÀM BÊ TÔNG CỐT THÉP THEO “LÝ THUYẾT MIỀN NÉN CẢI TIẾN ĐƠN GIẢN”

EVALUATION INFLUENCE OF LONGITUDINAL STEEL RATIO TO THE SHEAR CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE BEAM ACCORDING TO “SIMPLIFIED MODIFIED COMPRESSION FIELD THEORY”

Phạm Phú Anh Huy¹, Đặng Hồng Long²

¹Khoa Xây dựng – Đại Học Duy Tân; anhhuyl2006@gmail.com

²Khoa Xây dựng – Đại Học Duy Tân; honglongxl2006@gmail.com

Tóm tắt

Đánh giá khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép (BTCT) là vấn đề phức tạp đã và đang được nghiên cứu trên thế giới. Mô hình đánh giá khả năng chịu cắt của dầm BTCT tùy thuộc vào quan điểm cụ thể. Tuy nhiên trong những năm gần đây, việc đánh giá khả năng chịu cắt của dầm BTCT theo mô hình Lý thuyết miền nén cải tiến (Modified Compression Field Theory-MCFT) đang cho thấy nhiều ưu điểm, và thực tế là được được nghiên cứu và đưa vào tiêu chuẩn của một số quốc gia như Canada, Mỹ, Anh... Phương pháp đánh giá khả năng chịu cắt của dầm BTCT theo MCFT là một quy trình lập khá phức tạp kết hợp với các số liệu thực nghiệm để tính toán, vì thế cần đến sự hỗ trợ của phần mềm chuyên dụng. Trong bài báo này, nhóm tác giả muốn giới thiệu một phương pháp thực hành đơn giản hơn được dựa trên mô hình đánh giá khả năng chịu cắt theo MCFT gọi là “Lý thuyết miền nén cải tiến đơn giản” (Simplified Modified Compression Field Theory - SMCFT). Một số ví dụ tính toán theo SMCFT để làm rõ quy trình tính toán.

Từ khóa: khả năng chịu cắt; miền nén cải tiến; miền nén cải tiến đơn giản; dầm bê tông cốt thép; sức kháng cắt.

1. Đặt vấn đề

Nhiều nghiên cứu [2][3][4] đã chỉ ra khả năng chịu cắt của dầm BTCT trên tiết diện nghiêng là sự đóng góp của các thành phần sau:

V_c : lực cắt tại vùng bê tông chịu nén chưa xuất hiện vết nứt.

$V_i = V_{ix} + V_{iy}$: lực liên kết tại 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 [5].

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

$V_s = nA_s f_y$: tổng lực cắt trong cốt đai cắt qua vết nứt nghiêng.

Như vậy, thực tế có nhiều yếu tố tham gia đóng góp vào khả năng chịu cắt của dầm. Vấn đề xây dựng các công thức xác định khả năng chịu cắt của dầm BTCT tùy thuộc vào quan điểm sử dụng mô hình tính toán của từng quốc gia. Trong những năm gần đây, mô hình *Miền nén cải tiến (MCFT)* xây dựng trên cơ sở lý thuyết- thực nghiệm do Collins và Vecchio phát triển năm 1986 cho kết quả dự báo gần với các kết quả thí nghiệm [4]. Ngoài các yếu tố truyền thống ảnh hưởng đến khả năng chịu cắt, mô hình MCFT còn xét đến ảnh hưởng của ứng suất kéo trong vùng bê tông bị nứt. Khi nứt, ứng suất cắt truyền qua vết nứt thông qua cốt thép liên kết vết nứt, miễn là cốt thép không chảy, bê tông giữa các vết nứt xem là có hiệu quả sau đó. Các kết quả thực nghiệm được tiến hành ở ba quốc gia (Mỹ, Canada, Nhật) trong suốt gần 20 năm cho

Abstract

Evaluation of the shear capacity of RC beam is very complex problem and being studied in the world. The model for the evaluation of the shear capacity of RC beam depends on the view of each nation, and particular condition. However, in recent years, evaluation of the shear capacity of RC beam according to Modified Compression Field Theory (MCFT) shows various advantages, MCFT has studied and applied to the standard of some nations as Canada, British, America... Evaluation of the shear capacity of RC beam according to MCFT is a complex repeated progress and needs the help from computer software. This paper introduces a practical method that simpler based on MCFT to evaluate the shear capacity of RC beam, denoted “Simplified Modified Compression Field Theory - SMCFT”. Some of examples are conducted to make clearly procedure of evaluation.

Key words: shear capacity; modified compression field theory; simplified modified compression field; RC beam; stirrup.

thấy MCFT dự đoán khả năng chịu cắt của dầm BTCT với mức độ sai lệch rất khả quan là dưới 12,2% so với thực tế [5]. Mặc dù vậy, quy trình đánh giá khả năng chịu cắt của dầm theo MCFT là khá phức tạp và phải sử dụng phần mềm chuyên dụng *Response2000* do nhóm tác giả của Đại học Toronto (Canada) phát triển. Trong bài báo này, tác giả giới thiệu sử dụng phương pháp *SMCFT* do chính tác giả của MCFT là Bentz, Collins và Vecchio đề xuất [5] và cho kết quả sai lệch so với MCFT là không quá 12%. SMCFT thực chất là một quá trình tính lập, sơ đồ khối quy trình đánh giá theo SMCFT được trình bày ở mục tiếp theo và quy trình lập được tác giả lập trình trên phần mềm Maple 13.

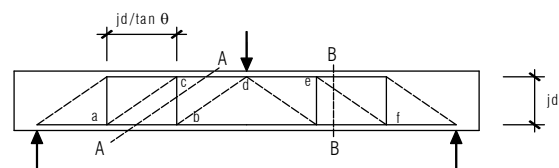
2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Lý thuyết miền nén cải tiến

Lý thuyết miền nén – CFT (Compression Field Theory) được đề xuất bởi Mitchell và Collins vào năm 1974. Lý thuyết này cơ bản dựa trên mô hình giàn với các thanh xiên nghiêng 45° . Theo mô hình này, sức chống cắt đạt tới khi cốt đai bị chảy và sẽ tương ứng với một ứng

$$\text{suất cắt là: } v = \frac{A_v f_y}{b_w s} = \rho_v f_y \quad (1)$$

với ρ_v là hàm lượng cốt đai.



Hình 1: Mô hình dầm với góc nghiêng 45°

Dạng tổng quát của phương trình (1) là:

$$v = \rho_v f_y \cot g\theta \quad (2)$$

với θ - góc của vết nứt nghiêng.

Các phương pháp đánh giá khả năng chịu cắt của dải bê tông chịu nén nghiêng giữa các vết nứt gọi là lý thuyết miền nén (CFT). Vấn đề cơ bản trong lý thuyết miền nén là xác định góc nghiêng θ . Nếu cốt thép dọc dài theo lượng biến dạng là ε_x , thì cốt thép ngang sẽ bị dẫn dài theo lượng là ε_y , bê tông chịu nén xiên sẽ bị ngăn lại theo một lượng là ε_2 , nên hướng của biến dạng nén chính có thể tìm được theo phương trình của Wagner [8]:

$$\tan^2 \theta = (\varepsilon_x + \varepsilon_2) / (\varepsilon_y + \varepsilon_2) \quad (3)$$

Lý thuyết miền nén CFT yêu cầu việc tính toán biến dạng nén trong bê tông ε_2 , đi kèm với ứng suất nén f_2 . Để làm việc đó Vecchio và Collins [4] đã giả thiết mối quan hệ ứng suất - biến dạng có dạng đơn giản sau:

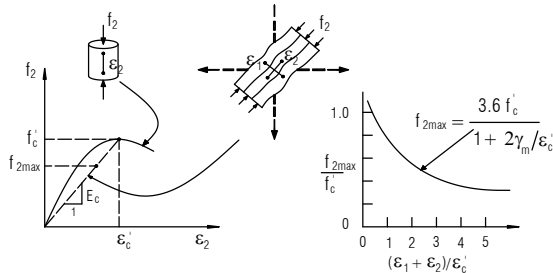
$$f_2 = f_{2,max} [2(\varepsilon_2 / \varepsilon'_c) - (\varepsilon_2 / \varepsilon'_c)^2] \quad (4)$$

Dựa trên các kết quả nhận được từ một loạt các đầm thí nghiệm (1978), Collins đã chỉ ra là khi vòng tròn biến dạng càng lớn thì ứng suất nén cần để phá hoại bê tông $f_{2,max}$ sẽ nhỏ đi. Mối quan hệ được đưa ra là:

$$f_{2,max} = \frac{3,6 f'_c}{1 + \frac{2\gamma_m}{\varepsilon_c}} \quad (5)$$

γ_m : đường kính của vòng tròn biến dạng ($\gamma_m = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$);

ε'_c : biến dạng mà tại đó bê tông trong khi thí nghiệm nén mẫu hình trụ đạt tới cường độ chịu nén đặc trưng f'_c .



Hình 2: Quan hệ ứng suất-biến dạng của bê tông vùng nứt

Trong lý thuyết miền nén (CFT), hai giả thiết quan trọng được thiết lập là bê tông không chịu kéo sau khi bị nứt và góc nghiêng của ứng suất nén xiên trùng với góc nghiêng của biến dạng chính. Thực tế cho thấy, hướng của ứng suất chính không giống với hướng của của biến dạng sau khi bê tông bị nứt. Như vậy, có thể thấy rằng lý thuyết miền nén đã bỏ qua sự đóng góp của ứng suất kéo trong các vùng bê tông bị nứt và do đó có những ước lượng quá lớn sự biến dạng và đánh giá thấp về cường độ.

Lý thuyết miền nén cải tiến (MCFT) được đưa ra bởi Vecchio và Collins [4],[6]. Khác với các mô hình truyền thống, MCFT có kể tới ảnh hưởng của ứng suất kéo trong vùng bê tông bị nứt. Khi nứt, ứng suất cắt truyền qua vết nứt thông qua cốt thép liên kết vết nứt, miễn là cốt thép không chảy. Bê tông giữa vết nứt được coi là có hiệu quả sau đó. Người ta nhận thấy là ứng suất cục bộ trong cả bê

tông và cốt thép sẽ khác biệt từ điểm này đến điểm khác trong vùng bê tông bị nứt, với ứng suất cốt thép cao nhưng ứng suất kéo của bê tông thấp tại các điểm nứt. Khi xác định giá trị góc của vết nứt nghiêng θ từ phương trình của Wagner[8], các điều kiện tương thích liên hệ biến dạng trong vùng bê tông bị nứt đối với biến dạng trong cốt thép được mô tả theo biến dạng trung bình, trong đó biến dạng được đo dọc theo chiều dài cơ sở lớn hơn chiều rộng của vết nứt.

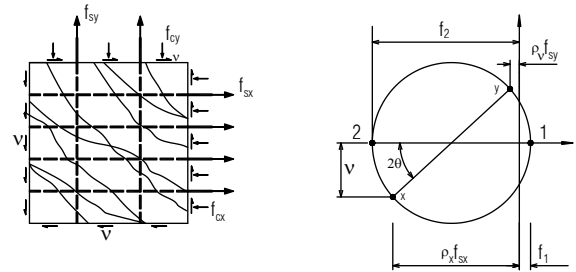
Các điều kiện cân bằng, trong đó liên hệ giữa ứng suất của bê tông và ứng suất của cốt thép với lực tác dụng được thể hiện theo các trị số của ứng suất trung bình, tức là trị số trung bình của ứng suất lấy trên chiều dài lớn hơn khoảng cách của vết nứt. Các mối quan hệ này có thể xác định từ hình 3 theo các phương trình sau:

$$\rho_v f_{sy} = f_{cy} = v \tan \theta - f_1 \quad (6)$$

$$\rho_x f_{sx} = f_{cx} = v \cot g\theta - f_1 \quad (7)$$

$$f_2 = v(\tan \theta + \cot g\theta) - f_1 \quad (8)$$

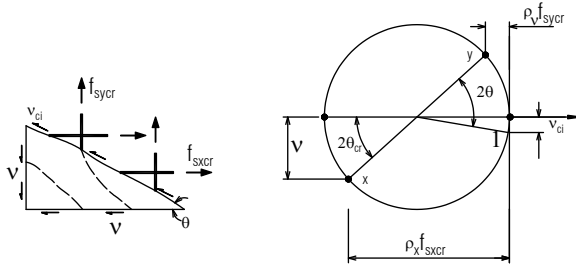
Các phương trình cân bằng, các mối quan hệ tương thích, quan hệ ứng suất - biến dạng của cốt thép và bê tông trong vùng nứt khi chịu nén cho phép xác định trị số ứng suất trung bình, biến dạng trung bình, và góc nghiêng θ đối với bất kỳ cấp tải trọng nào cho đến khi phá hoại.



a, Đồ thị ứng suất

b, Ứng suất trung bình trong bê tông

Hình 3a: Cân bằng theo trị số ứng suất trung bình



a, Đồ thị ứng suất

b, Ứng suất cục bộ trong bê tông

Hình 3b: Cân bằng theo ứng suất cục bộ tại một vết nứt

Từ hình 3a và 3b, ứng suất trong cốt thép tại các vết nứt có thể được xác định:

$$\rho_v f_{sycr} = v \tan \theta - v_{ci} \tan \theta \quad (9)$$

$$\rho_x f_{sxcr} = v \cot g\theta + v_{ci} \cot g\theta \quad (10)$$

Phá hoại của phần tử bê tông cốt thép sẽ chịu ảnh hưởng không phải từ ứng suất trung bình mà bởi ứng suất cục bộ tác dụng tại vết nứt. Khi kiểm tra các điều kiện trên tại một vết nứt, dạng nứt phức tạp thực tế sẽ được đơn giản hoá bao gồm một loạt các vết nứt song song cùng nghiêng góc θ so với thép dọc và cách nhau một

khoảng s_θ . Giá trị cực đại của V_{ci} được lấy theo mối liên hệ giữa chiều rộng của vết nứt, (w), và kích cỡ cực đại của cốt liệu, (a), theo phương trình:

$$V_{ci} \leq \frac{0,18\sqrt{f'_c}}{0,3 + \frac{24w}{a+16}} \quad (11)$$

Chiều rộng của vết nứt được lấy bằng khoảng cách của vết nứt nhân với biến dạng kéo chính ε_1 (với $w = \varepsilon_1 s_\theta$).

Với những tải trọng lớn, biến dạng trung bình trong cốt đai ε_y thông thường sẽ vượt quá biến dạng chảy của cốt thép. Trong trường hợp này cả f_{sv} trong phương trình (6) và f_{sver} trong phương trình (9) sẽ bằng với ứng suất chảy trong cốt đai. Cân bằng vé phải của 2 phương trình này và thay V_{ci} từ phương trình (11) sẽ có:

$$f_1 \leq \frac{0,18\sqrt{f'_c}}{0,3 + \frac{24w}{a+16}} \text{tg}\theta \quad (12)$$

Việc giới hạn ứng suất kéo chính trung bình f_1 , trong bê tông nhằm kể tới khả năng phá hoại theo cơ chế cài chặt của cốt liệu, điều này sẽ đảm nhiệm vai trò truyền ứng suất cắt bề mặt (V_{ci}), dọc theo bề mặt của vết nứt.

Khi những ứng suất kéo này được kể tới, theo lý thuyết MCFT, kể cả các phần tử không có cốt đai cũng được dự báo một sức kháng cắt đáng kể sau khi nứt. Sức kháng cắt dự báo không chỉ là một hàm của lượng cốt thép đai gia cường mà còn là của lượng cốt thép dọc. Tăng lượng cốt thép dọc sẽ tăng sức kháng cắt.

Qua các kết quả thí nghiệm và so sánh với lý thuyết, MCFT đưa ra những điểm tiến bộ hơn và một dự báo tin cậy về khả năng kháng cắt của cấu kiện [7]. Dựa trên lý thuyết này Bentz (Đại học Toronto- Canada) phát triển (2001) dưới sự hỗ trợ của GS. M.P Collins đã viết thành phần mềm Response2000. Phần mềm này đã được Ibrahim M. Metwally [7] đánh giá kết quả khá chính xác với các thực nghiệm, sai số không quá 12%. Do vậy việc sử dụng phần mềm này để đánh giá khả năng chịu cắt của dầm BTCT là tin cậy và đỡ tốn chi phí cho việc thí nghiệm.

2.2. Phương pháp SMCFT

SMCFT là phương pháp đánh giá khả năng chịu cắt của dầm BTCT dựa trên mô hình lý thuyết miền nén cài tiến được đề xuất bởi chính nhóm tác giả của MCFT.

Trong phương pháp MCFT hai đại lượng quan trọng cần xác định là β, θ . Hai đại lượng này ràng buộc lẫn nhau, được xác định dựa trên các bảng lập sẵn do chính nhóm tác giả đưa ra. Các đại lượng này dựa trên các thí nghiệm, do vậy việc sử dụng các bảng và đồ thị tra sẵn khá phức tạp và khó thực hiện tính toán thủ công.

Vì vậy, phương pháp SMCFT giả định hai đại lượng β, θ độc lập theo các biểu thức (13) và (14) [3]:

$$\beta = \frac{0,4}{1+1500\varepsilon_x} \frac{1300}{1000+S_{xe}} \quad (13)$$

$$\theta = (29^0 + 7000\varepsilon_x)(0,88 + \frac{S_{xe}}{2500}) \leq 75^0 \quad (14)$$

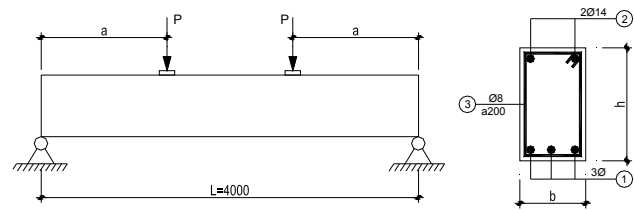
Thực chất SMCFT là một quá trình tính lặp. Việc giả thiết các điều kiện ban đầu cho bài toán lập theo SMCFT là rất quan trọng, đặc biệt là giả thiết về biến dạng tỷ đối cực đại của cốt thép dọc tại thời điểm phá hoại sẽ ảnh hưởng đến số bước lặp. Quy trình tính lặp theo SMCFT được tác giả trình bày thành sơ đồ khối như hình 7 và lập trình tính toán trên phần mềm Maple 13.

3. Kết quả nghiên cứu và khảo sát

Khảo sát mô hình dầm đơn giản chịu tải trọng tập trung như hình vẽ 4. Với $L=4m$, tiết diện dầm (20×40)cm ($h/b=2$), $a/h_0=2,0$.

Sử dụng bê tông cấp độ bền B20, thép dọc nhóm AII, thép đai cấu tạo 2 ϕ 14 ($A_s=308mm^2$). Thép đai nhóm AI, đường kính $\phi=8mm$, khoảng cách đai 200mm, bố trí đều.

Dự báo khả năng chịu cắt của dầm theo phương pháp SMCFT và so sánh kết quả với MCFT thông qua phần mềm Response2000 khi hàm lượng cốt dọc thay đổi từ 0,2% đến 3,0%



Hình 4: Mô hình khảo sát khả năng chịu cắt

Chiều cao làm việc được lấy $h_0=350mm$.

Bê tông cấp độ bền B25 có $f'_c = 18,5MPa$;

$$E_b = 27 \times 10^3 MPa$$

Cốt thép dọc chịu lực sử dụng nhóm AII có $f_y = 295MPa$;

Cốt thép đai sử dụng nhóm thép AI có $f_{sv} = 235MPa$;

$E_s = 2100MPa$; bố trí cốt đai đường kính $\phi 8$ ($a_{sw} = 50,3mm^2$), đai 2 nhánh ($n=2$), bố trí đều trên toàn dầm. Hàm lượng cốt đai là

$$\rho_z = \frac{na_{sw}}{bh} \times 100\% = \frac{2 \times 50,3}{200 \times 400} \times 100\% \approx 0,126\%$$

Trường hợp hàm lượng cốt dọc $\rho_x = 0,2\%$

Giả thiết trước là tại thời điểm xảy ra phá hoại thì cốt thép dọc chưa chảy dẻo, và biến dạng tỷ đối trong thép dọc lớn nhất là $\varepsilon_x^* = 1,0 \times 10^{-3}$;

Giả thiết khoảng cách giữa các vết nứt nghiêng quy đổi là $S_{xe} = 150mm$.

Tính các hệ số θ và β :

$$\beta = \frac{0,4}{1+1500 \times \varepsilon_x^*} \times \frac{1300}{1000+S_{xe}} \approx 0,18087$$

$$\theta = (29 + 7000 \times \varepsilon_x^*) \times (0,88 + \frac{S_{xe}}{2500}) \approx 33,84^0$$

Tính giá trị ứng suất cắt tại thời điểm phá hoại:

$$\nu = \beta \sqrt{f'_c} + \rho_z f_{sw} \cot \theta \approx 0,4393 MPa$$

Tính giá trị ứng suất kéo trong cốt dọc tại thời điểm phá hoại:

$$f_{sxc} = \frac{(\nu + \beta \sqrt{f'_c}) \cot \theta}{\rho_x} \approx 907,8 MPa > f_y = 295 MPa$$

Như vậy giả thiết ban đầu là tại thời điểm phá hoại cốt dọc chưa chảy dẻo là không chính xác. Do đó cần phải giả thiết lại giá trị $\varepsilon_x^* \geq 1,9 \times 10^{-3}$, chọn $\varepsilon_x^* = 1,9 \times 10^{-3}$.

Tính lại tương tự các giá lần lượt là: $\beta \approx 0,1175; \theta \approx 39,762^\circ; \nu \approx 0,3467 MPa$;

Tính lại giá trị ứng suất kéo trong cốt dọc:

$$f_{sxc} = \frac{(\nu + \beta \sqrt{f'_c}) \cot \theta}{\rho_x} \approx 511,9 MPa > f_y = 295 MPa$$

Lặp lại quá trình tính toán một cách tương tự bằng cách tăng ε_x^* , kết quả chỉ dừng lại khi $f_{sxc} \approx f_y$, lúc này tương ứng với giá trị $\varepsilon_x^* = 3,928 \times 10^{-3}$; $\beta \approx 0,06561$; $\theta \approx 53,106^\circ$; $\nu \approx 0,504 MPa$;

Khả năng chịu cắt của dầm $V = \nu b h_0 = 35,281 kN$.

Trường hợp hàm lượng cốt dọc $\rho_x = 2,0\%$

Tương tự giả thiết $\varepsilon_x^* = 1,0 \times 10^{-3}$; $S_{xe} = 150 mm$.

Ta có:

$$\beta = \frac{0,4}{1 + 1500 \varepsilon_x^*} \times \frac{1300}{1000 + S_{xe}} \approx 0,18087$$

$$\theta = (29 + 7000 \varepsilon_x^*) \times (0,88 + \frac{S_{xe}}{2500}) \approx 33,84^\circ$$

$$\nu = \beta \sqrt{f'_c} + \rho_z f_{sw} \cot \theta \approx 0,4393 MPa$$

$$f_{sxc} = \frac{(\nu + \beta \sqrt{f'_c}) \cot \theta}{\rho_x} \approx 90,78 MPa < f_y = 295 MPa$$

Như vậy giả thiết ban đầu là đúng, tiến hành kiểm tra lại biến dạng trong cốt dọc:

$$\varepsilon_x = \frac{\nu \cot \theta - \beta \sqrt{f'_c}}{E_s \rho_x} \approx 0,032 \times 10^{-3} \neq \varepsilon_x^* ; \text{ Cần giả thiết lại } \varepsilon_x^*$$

Quá trình được lặp lại đến khi $\varepsilon_x^* \approx \varepsilon_x = 0,4948 \times 10^{-3}$; $f_{sxc} \approx 231,01 MPa < f_y$. Giá trị khả năng chịu cắt của dầm thu được là $V = \nu b h_0 \approx 112,941 kN$.

Với các hàm lượng cốt dọc ρ_x thay đổi từ 0,2% đến 3,0%, quá trình thực hiện được tiến hành tương tự. Quá trình tính toán được tác giả lập trình trên phần mềm Maple 13, kết quả tổng hợp theo bảng 1. Kết quả tính theo SMCFT được so sánh với kết quả tính theo MCFT (bằng phần mềm Response2000) được trình bày ở bảng 2.

4. Bàn luận

Tác giả đã xây dựng được code trên Maple13 để dự báo khả năng chịu cắt của dầm theo lý thuyết SMCFT khi hàm lượng cốt dọc thay đổi từ 0,2% đến 3,0%.

Bảng 1: Kết quả tính khả năng chịu cắt theo SMCFT

| Kết quả tính | Hàm lượng cốt dọc $\rho(\%)$ | | | | | |
|--------------------------------|------------------------------|------|------|------|------|-------|
| | 0,2 | 0,5 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,5 |
| $\varepsilon_x \times 10^{-3}$ | 3,93 | 2,09 | 1,32 | 1,20 | 0,79 | 0,60 |
| β | 0,07 | 0,11 | 0,15 | 0,16 | 0,21 | 0,24 |
| $\theta(\text{độ})$ | 53,1 | 41,0 | 36,0 | 35,2 | 32,4 | 31,2 |
| $\nu(\text{Mpa})$ | 0,50 | 0,81 | 1,06 | 1,11 | 1,36 | 1,51 |
| $V(\text{kN})$ | 35,3 | 56,8 | 74,2 | 84,8 | 95,1 | 105,9 |

Bảng 1(tt): Kết quả tính khả năng chịu cắt theo SMCFT

| Kết quả tính | Hàm lượng cốt dọc $\rho(\%)$ | | | | | |
|--------------------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,5 | 2,8 | 3,0 |
| $\varepsilon_x \times 10^{-3}$ | 0,53 | 0,50 | 0,47 | 0,43 | 0,39 | 0,38 |
| β | 0,25 | 0,26 | 0,27 | 0,28 | 0,28 | 0,29 |
| $\theta(\text{độ})$ | 30,8 | 30,5 | 30,3 | 30,1 | 29,9 | 29,8 |
| $\nu(\text{Mpa})$ | 1,58 | 1,61 | 1,65 | 1,69 | 1,73 | 1,76 |
| $V(\text{kN})$ | 110,4 | 112,9 | 115,5 | 118,6 | 121,4 | 123,1 |

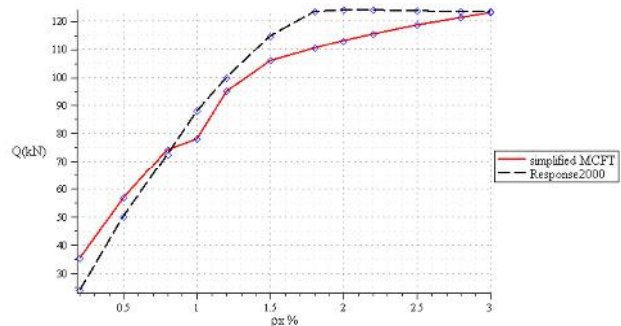
Bảng 2: Kết quả so sánh khả năng chịu cắt tính theo SMCFT và MCFT

| Kết quả tính | Hàm lượng cốt dọc $\rho(\%)$ | | | | | |
|--------------|------------------------------|------|------|------|-------|-------|
| | 0,2 | 0,5 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,5 |
| SMCFT | 35,3 | 56,8 | 74,2 | 84,8 | 95,1 | 105,9 |
| MCFT | 23,9 | 50,2 | 72,5 | 88,1 | 100,0 | 114,7 |
| Sai lệch (%) | 47,6 | 11,6 | 2,3 | 3,7 | 4,9 | 7,7 |

Bảng 2(tt): Kết quả so sánh khả năng chịu cắt tính theo SMCFT và MCFT

| Kết quả tính | Hàm lượng cốt dọc $\rho(\%)$ | | | | | |
|--------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,5 | 2,8 | 3,0 |
| SMCFT | 110,4 | 112,9 | 115,5 | 118,6 | 121,4 | 123,1 |
| MCFT | 122,6 | 124,0 | 124,0 | 123,6 | 123,3 | 123,3 |
| Sai lệch (%) | 9,9 | 8,9 | 6,9 | 4,0 | 1,6 | 0,2 |

Khi hàm lượng cốt dọc từ 0,5% đến 3,0%, sai số giữa hai kết quả tính khả năng chịu cắt theo MCFT và SMCFT là xấp xỉ 10%. Điều này cho phép có thể dùng phương pháp SMCFT để đánh giá khả năng chịu cắt của dầm BTCT nhanh chóng và tiện lợi (không cần sử dụng các bảng tra và số liệu thực nghiệm như phương pháp MCFT).

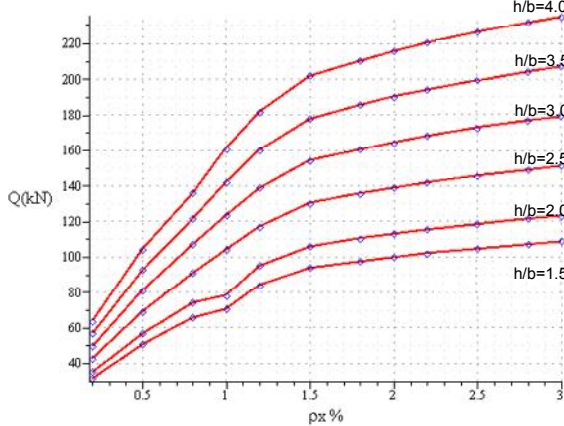


Hình 5: Khả năng chịu cắt của dầm theo MCFT và SMCFT

Tuy nhiên, khi hàm lượng cốt dọc dưới 0,5% thì sai số giữa hai phương pháp tính khá lớn. Điều này cũng thể hiện đúng bản chất của phương pháp lập SMCFT. Quy

trình tính lặp theo SMCFT được dùng dựa trên điều kiện biến dạng tỷ đối lớn nhất của cốt thép dọc (ϵ_x^*) và ứng suất trong cốt thép dọc tại vết nứt (f_{sxc}) như sơ đồ khối hình 7. Khi hàm lượng cốt thép dọc bé thì ứng suất và biến dạng trong cốt thép dọc nhanh chóng đạt đến điều kiện dừng của quá trình lặp, trong khi MCFT còn đưa ra thêm các điều kiện khác như bề rộng vết nứt, độ lớn của cốt liệu, ảnh hưởng của ứng suất trong cốt đai... Điều này dẫn đến kết quả tính giữa hai phương pháp có sai số lớn.

Thay đổi tỷ số h/b từ 1,5 đến 4,0, khả năng chịu cắt của dầm với bề rộng b=200 được dự báo theo SMCFT bằng code trên Maple13 như hình 6.



Hình 6: Họ đường cong dự báo khả năng chịu cắt theo hàm lượng cốt dọc và tỷ số h/b cho trường hợp bề rộng dầm b=200mm.

Xây dựng được các họ đường cong dự báo khả năng chịu cắt của dầm theo lý thuyết SMCFT (một điển hình họ đường cong với b=200mm được thể hiện ở hình 6) giúp các cán bộ thiết kế có thể sử dụng các đồ thị này để xác định khả năng chịu cắt của dầm một cách nhanh chóng, thuận lợi.

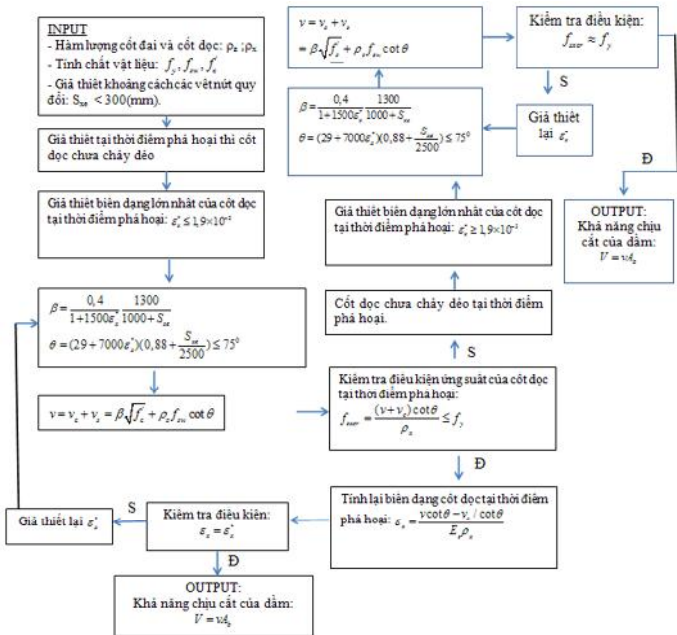
5. Kết luận

Bài báo trình bày thuật toán tính lặp theo phương pháp SMCFT để đánh giá khả năng chịu cắt của dầm BTCT với các thí dụ số cụ thể.

Kết quả dự báo khả năng chịu cắt theo SMCFT có sai số so với MCFT có thể chấp nhận được trong kỹ thuật (xấp xỉ 10%) với hàm lượng cốt dọc sử dụng phổ biến từ [0,5%-3,0%]. Đồng thời tư duy vòng lặp khiến phương pháp dễ dàng tích hợp với lập trình để mở ra nhiều hướng nghiên cứu về khả năng chịu cắt của dầm BTCT.

Xây dựng được họ các đường cong dự báo khả năng chịu cắt của dầm BTCT khi thay đổi b, tỷ số h/b và hàm lượng cốt dọc. Từ đó, có thể xác định khả năng chịu cắt

của dầm BTCT theo phương pháp tra đồ thị.



Hình 7: Sơ đồ thuật toán đánh giá khả năng chịu cắt của dầm theo SMCFT

Tài liệu tham khảo

- [1] ACI Committee 318 (2008), Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary (318R-08). Ingham Hills: American Concrete Institute.
- [2] Abdul Ghaffar (2010), Development of shear capacity equations for rectangular reinforced concrete beam, Pak. J. Engg. & Appl. Sci. Vol 6, Jan, 2010 (p1-8).
- [3] Bentz, E.C., Vecchio, F.J., & Collins, M.P. (2006). Simplified Modified Compression Field Theory for Calculating Shear Strength of Reinforced Concrete Elements, ACI Structural Journal, v.103, n.4, pp.614-624.
- [4] Collins, M.P., & Vecchio, F.J. (1986). The Modified Compression Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear, ACI Journal, v.83, n.2, pp.219-231.
- [5] Evan C. Bentz, Frank J. Vecchio, and Michael P. Collins (2006), Simplified Modified Compression Field Theory for Calculating Shear Strength of Reinforced Concrete Elements, ACI structure journal, August 2006 (p614-p624)
- [6] Frank J. Vecchio and Michael P. Collins (1986), The modified compression field theory for reinforced concrete elements subjected to shear, ACI journal, March 1986
- [7] Ibrahim M. Metwally (2012), Evaluate the capability and accuracy of response-2000 program in prediction of the shear capacities of reinforced and prestressed concrete members, HBRC Journal (2012) 8, p99-106.
- [8] Wagner, H., 1929, "Ebene Blechwandträger mit sehr dünnem Stegblech (Metal Beams with Very Thin Webs)," Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt, 20 (8-12), Berlin.

Kính gửi Ban biên tập và Phản biên các nội dung mà tác giả đã sửa theo các yêu cầu của Phản biên



1. Phản tác giả sửa được bôi đỏ để dễ theo dõi.
2. Chỉnh sửa một số lỗi đánh máy và câu chữ còn sót.
3. Đã giải thích trong phần bàn luận ý kiến của phản biện vì sao khi hàm lượng cốt dọc bé hơn 0.5% thì sai số kết quả tính giữa hai phương pháp lớn

Cụ thể: Tuy nhiên, khi hàm lượng cốt dọc dưới 0.5% thì sai số giữa hai phương pháp tính khá lớn. Điều này cũng thể hiện đúng bản chất của phương pháp lập SMCFT. Quy trình tính lập theo SMCFT được dùng dựa trên biến dạng tỷ đối lớn nhất của cốt thép dọc (ϵ_x^*) và ứng suất trong cốt thép dọc tại vết nứt (f_{sxc}) như sơ đồ khối hình 7. **Khi hàm lượng cốt thép dọc bé (cụ thể theo nghiên cứu của bài báo thì giá trị là 0.5%) thì ứng suất và biến dạng trong cốt thép dọc nhanh chóng đạt đến điều kiện dừng của quá trình lập**, trong khi MCFT còn đưa ra thêm các điều kiện khác như bề rộng vết nứt, độ lớn của cốt liệu, ảnh hưởng của ứng suất trong cốt đai... Điều này dẫn đến kết quả tính giữa hai phương pháp có sai số lớn.

4. Phản biện yêu cầu bình luận thêm hình 6, ví dụ như tỷ số h/b. Nội dung phản hồi như sau:
Khi tăng h/b thì khả năng chịu cắt của dầm tăng lên. Do vậy mục đích của việc xây dựng các họ đường cong dự báo khả năng chịu cắt của dầm để giúp các cán bộ thiết kế có thể xác định khả năng chịu cắt của dầm theo phương pháp tra đồ thị nhanh chóng và tiện dụng. Tác giả thay đổi các tỷ số h/b phù hợp với các tỷ số h/b thường dùng trong các công trình thực tế.
Kết quả của nghiên cứu viết được code trên Maple13, chạy code này có thể xuất hằng trăm đồ thị với các thông số b,h,h/b và hàm lượng cốt dọc thay đổi. Tuy nhiên trong bài báo chỉ thể hiện điển hình một họ đường cong với b=200.
5. Tác giả đã hiệu chỉnh kết luận theo ý kiến của PB để nội dung sát với kết quả nghiên cứu

Trân trọng cảm ơn

Thông tin về tác giả

| | |
|---|---|
|  | <p>Phạm Phú Anh Huy:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tóm tắt quá trình đào tạo, nghiên cứu (thời điểm tốt nghiệp và chương trình đào tạo, nghiên cứu) 1996-2001: Học Đại học tại Đại học Bách Khoa – Đại Học Đà Nẵng 2004-2007: Học cao học tại Đại học Xây dựng Hà Nội Từ 2012 đến nay: làm nghiên cứu sinh tại Đại học Ubon Ratchthani – Thái Lan - Tóm tắt công việc hiện tại (chức vụ, cơ quan): Từ 2001 đến nay là giảng viên Khoa Xây dựng – Đại học Duy Tân ĐN - Lĩnh vực quan tâm: Cơ học phá hủy, Kết cấu công trình bằng bê tông cốt thép, động đất và lý thuyết kháng chấn - Điện thoại: 0914.02.02.42 |
|  | <p>Đặng Hồng Long:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tóm tắt quá trình đào tạo, nghiên cứu (thời điểm tốt nghiệp và chương trình đào tạo, nghiên cứu) 2006-2011: Học Đại học tại Đại học Bách Khoa – Đại Học Đà Nẵng 2011-2014: Học cao học tại Đại học Bách Khoa – Đại Học Đà Nẵng - Tóm tắt công việc hiện tại (chức vụ, cơ quan): Từ 2011 đến nay là giảng viên Khoa Xây dựng – Đại học Duy Tân ĐN - Lĩnh vực quan tâm: Lý thuyết mờ, động lực học công trình, Kết cấu công trình - Điện thoại: 0932.475.790 |