

ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG CHỊU CẮT CỦA DÀM BÊ TÔNG CỐT THÉP THEO MỘT SỐ TIÊU CHUẨN THIẾT KẾ

THE SHEAR RESISTANCE EVALUATION OF REINFORCED CONCRETE BEAM ACCORDING TO SOME DESIGN CODES

Nguyễn Ngọc Phương

Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội; Email: phuong.nguyennngocphuong@gmail.com

Tóm tắt: Đánh giá khả năng chịu lực của cấu kiện là nhiệm vụ quan trọng của các kỹ sư kết cấu, trong đó có việc đánh giá khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép. Tại Việt Nam hiện nay cho phép sử dụng nhiều tiêu chuẩn của nước ngoài trong thiết kế kết cấu. Tính toán theo các tiêu chuẩn khác nhau cho kết quả nhất định, thường có sự khác nhau; do đó mức độ an toàn cũng có sự khác nhau. Việc đánh giá khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép theo một số tiêu chuẩn thiết kế và thực nghiệm góp phần làm rõ hơn về mức độ an toàn, qua đó có thể có những lựa chọn tiêu chuẩn nước ngoài áp dụng cho thiết kế kết cấu ở Việt Nam nhằm đảm bảo an toàn chịu lực và hiệu quả kinh tế.

Từ khóa: Xây dựng; khả năng chịu cắt; dầm bê tông cốt thép; tiêu chuẩn thiết kế; mức độ an toàn

Abstract: The shear resistance evaluation of structures is an important mission of civil engineers, especially the shear resistance evaluation of reinforced concrete beams. In Vietnam, many codes from other countries for structural designing are allowed to use. The calculation using different codes gives us certain results, often with different and, therefore; also having different safety levels. The shear resistance evaluation of reinforced concrete beams according to some design codes and experiments contributes to clarifying safety levels. Consequently, we can select the foreign codes applied to the structural designing in Vietnam in order to ensure the bearing safety and the economic efficiency.

Key words: Construction; Shear resistance; concrete beam; design codes; safety levels

1. Đặt vấn đề

Đánh giá khả năng chịu lực là nhiệm vụ quan trọng của các kỹ sư kết cấu. Việc cho phép áp dụng một số tiêu chuẩn thiết kế của nước ngoài tại Việt Nam đòi hỏi cần có những đánh giá nhất định để có những lưu ý, quyết định trong thiết kế kết cấu nói chung, trong đó có thiết kế kết cấu dầm bê tông cốt thép (BTCT). Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu BTCT của Việt Nam TCVN 5574:2012 về khả năng chịu cắt của dầm BTCT tuy đáp ứng được các yêu cầu về thiết kế nhưng mức độ an toàn trong tính toán so với một số tiêu chuẩn nước ngoài còn có sự khác biệt. Việc lựa chọn, áp dụng tiêu chuẩn nước ngoài trong thiết kế kết cấu cần có sự phân tích, cân nhắc về mức độ an toàn để có thể sử dụng trong tính toán một cách phù hợp và hiệu quả. Bài báo nhằm làm rõ hơn về mức độ an toàn trong tính toán kháng cắt của dầm BTCT theo một số tiêu chuẩn thiết kế.

2. Khả năng chịu cắt của dầm BTCT và các yếu tố ảnh hưởng

Dầm BTCT là cấu kiện chịu uốn mà nội lực chủ yếu của nó là mômen và lực cắt. Trong tính toán thiết kế, dầm được tính toán để không bị phá hoại trên tiết diện thẳng góc theo mômen và trên tiết diện nghiêng theo lực cắt. Khả năng chịu cắt của dầm Q_u , (V_u), là tổng khả năng chịu cắt tính toán của bê tông Q_b , (V_c), và cốt ngang Q_{sw} , (V_s), [1,2]: $Q_u = Q_b + Q_{sw}$ hoặc $V_u = V_c + V_s$

Các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng chịu cắt của dầm trong một số tiêu chuẩn thiết kế đã đề cập như kích thước tiết diện, đường kính, số nhánh, khoảng cách của cốt đai, cường độ bê tông, cường độ cốt thép ngang, lực dọc, hàm lượng cốt dọc chịu kéo, tải trọng, bê tông vùng kéo, tỷ số a/h_0 , với a là khoảng cách từ điểm đặt lực tập trung đến gối tựa của dầm (nhịp chịu cắt) và h_0 (d) là chiều cao làm

việc hữu ích của tiết diện...[2].

3. Khả năng chịu cắt của dầm BTCT theo một số tiêu chuẩn thiết kế và mô hình miền nén cải tiến MCFT

3.1. Tiêu chuẩn của Mỹ ACI 318:2002[4]

Khả năng chịu cắt của bê tông:

$$V_c = (1,9\sqrt{f'_c} + 2500\rho_w \frac{V_u d}{M_u})b_w d \leq 3,5b_w d \sqrt{f'_c}$$

với: f'_c - độ bền của bê tông (MPa); V_u, M_u - lực cắt và mômen tính toán tại tiết diện đang xét; d - chiều cao hữu hiệu của tiết diện (tương tự h_0 theo TCVN); b_w - bề rộng của tiết diện sườn dầm (tương tự b theo TCVN); ρ_w - hàm lượng cốt dọc chịu kéo trong dầm.

Việc tính toán theo công thức trên khá phức tạp do V_u, M_u, ρ_w thay đổi theo chiều dài dầm, do đó tiêu chuẩn ACI cho phép sử dụng công thức sau:

$$V_c = \lambda \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_w d \quad \text{với } \lambda - \text{hệ số phụ thuộc vào loại}$$

bê tông ($\lambda=1$ với bê tông nặng);

$$\text{Khả năng chịu cắt của cốt đai: } V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$$

với A_v - diện tích tiết diện một lớp cốt thép đai; f_y - giới hạn chảy của cốt thép đai; s - khoảng cách giữa các cốt đai.

3.2. Tiêu chuẩn của Úc AS 3600:2001[5]

Khả năng chịu cắt của bê tông:

$$V_c = \beta_1 \beta_2 \beta_3 b_v d_0 \left(\frac{A_{st} f_c'}{b_v d_0} \right)^{\frac{1}{3}}$$

với β_1 - hệ số chiều cao cấu kiện lấy bằng $1,1(1,6 - d_0/1000) \geq 1,1$; β_2 - hệ số ảnh hưởng của lực dọc trục (=1 khi không có lực dọc); β_3 - hệ số ảnh hưởng của lực tập trung gần vị trí gối tựa (= $2d_0/a$ với a là khoảng cách từ gối đến điểm đặt lực). b_v, d_0 - bề rộng và chiều cao làm việc của dầm; A_{st} - diện tích cốt dọc chịu kéo trong dầm; f_c' - độ bền của bê tông.

Khả năng chịu cắt của cốt đai:

$$V_s = \frac{A_{sv} f_{sv} f d_0 \cot \theta_v}{s} \quad \text{với } f_{sv} - \text{giới hạn chảy}$$

của cốt thép đai; θ_v - góc nghiêng của cốt đai; A_{sv} - diện tích tiết diện một lớp cốt thép đai.

3.3. Tiêu chuẩn của New Zealand NZS 3101:2006[9]

Khả năng chịu cắt của bê tông (áp dụng cho bê tông có cường độ đến 70MPa):

$$V_c = (0,07 + 10\rho_w) \sqrt{f_c'} b_v d_0$$

với: ρ_w - hàm lượng cốt dọc chịu kéo trong dầm; các ký hiệu khác như ở tiêu chuẩn AS.

Khả năng chịu cắt của cốt đai:

$$V_s = \frac{A_{sv} f_{sv} f d_0 \cot \theta}{s} \quad \text{với } f_{sv} - \text{giới hạn chảy của}$$

cốt thép đai; các ký hiệu khác như ở tiêu chuẩn AS.

3.4. Tiêu chuẩn của Canada CSA A23.3:1994[6]

Khả năng chịu cắt của bê tông (áp dụng cho bê tông có cường độ đến 80MPa):

$$V_c = 1,3 \lambda \phi_c (12\beta) \sqrt{f_c'} b_v d_0$$

với λ - hệ số phụ thuộc vào loại bê tông ($\lambda=1$ với bê tông nặng); $\phi_c = 0,6$ (hệ số vật liệu bê tông); β - hệ số chịu cắt của bê tông khi bị nứt (= 0,025); các ký hiệu khác như ở tiêu chuẩn AS.

Khả năng chịu cắt của cốt đai:

$$V_s = \frac{A_{sv} f_{sv} f d_0 \cot \theta_v}{s}$$

với các ký hiệu như ở tiêu chuẩn AS.

3.5. Tiêu chuẩn của Naury NS 3473E:1997[8]

Khả năng chịu cắt của bê tông (áp dụng cho bê tông có cường độ đến 100MPa):

$$V_c = 0,33 \left(f_{td} + \frac{k_A A_s}{\gamma_c b_v d_0} \right) b_v d_0 \leq 0,66 f_{td} b_v d_0 k_v$$

với k_A - hệ số làm việc khi cường độ bê tông nhỏ hơn

100 MPa ($k_A=1$); f_{td} - cường độ thiết kế chịu cắt của bê tông; k_v - hệ số kể đến ảnh hưởng từ điểm đặt lực trên dầm (= 1); $\gamma_c = 1$; A_s - diện tích cốt dọc chịu kéo trong dầm; các ký hiệu khác như ở tiêu chuẩn AS.

Khả năng chịu cắt của cốt đai:

$$V_s = \frac{A_{sv} f_{sv} f d_0 \cot \theta_v}{s}$$

với các ký hiệu như ở tiêu chuẩn AS.

3.6. Tiêu chuẩn của Việt Nam TCVN 5574:2012 và của Nga SNIP 2004[1,3]

Khả năng chịu cắt của bê tông:

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

với b, h_0 - bề rộng và chiều cao hữu hiệu của dầm; R_{bt} - cường độ chịu kéo tính toán của bê tông; φ_{b2} - hệ số kể đến ảnh hưởng của loại bê tông (với bê tông thường $\varphi_{b2} = 2$); c - hình chiếu của tiết diện nghiêng lên trục dầm; φ_f - hệ số kể đến ảnh hưởng của cánh trong vùng nén với tiết diện chữ T,I (với tiết diện thông thường $\varphi_f = 0$); φ_n - hệ số kể đến ảnh hưởng của lực dọc, trường hợp lực dọc là lực nén thì $\varphi_n = 0,1 N / R_{bt} b h_0$.

Khi không có cốt đai chịu lực cắt:

$$Q_b = \varphi_{b4} (1 + \varphi_n) R_{bt} b h_0^2 / c$$

Q_b lấy không lớn hơn $2,5 R_{bt} b h_0$ và không nhỏ hơn $Q_{b,min} = \varphi_{b3} (1 + \varphi_n) R_{bt} b h_0$, với φ_{b3} - hệ số phụ thuộc loại bê tông (với bê tông thường $\varphi_{b3} = 0,6$); φ_{b4} - hệ số phụ thuộc loại bê tông (với bê tông thường $\varphi_{b4} = 1,5$).

Khả năng chịu cắt của cốt đai:

$$Q_{sw} = \sqrt{\frac{\varphi_{b2} R_{sw} A_{sw} R_{bt} b h_0^2}{s}}$$

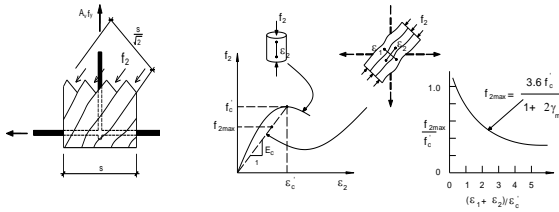
với R_{sw} - giới hạn chảy của cốt thép đai; A_{sw} - diện tích tiết diện một lớp cốt thép đai; R_{bt} - cường độ chịu kéo tính toán của bê tông.

Qua việc giới thiệu một số tiêu chuẩn nêu trên có thể thấy rằng hầu hết các tiêu chuẩn tiên tiến trên thế giới đã đề cập đến ảnh hưởng của mô men uốn, hàm lượng cốt dọc chịu kéo, góc nghiêng của cốt đai; CSA còn đề cập đến ảnh hưởng của bê tông vùng kéo trong dầm. Tiêu chuẩn của Việt Nam và của Nga bỏ qua các yếu tố ảnh hưởng này. Vì vậy, khi tính toán kháng cắt cho dầm BTCT, mức độ an toàn (tỉ số khả năng chịu cắt của bê tông hoặc của dầm theo thí nghiệm trên khả năng chịu cắt của bê tông hoặc của dầm theo tính toán) theo các tiêu chuẩn sẽ khác nhau.

3.7. Lý thuyết miền nén cải tiến MCFT

Các tiêu chuẩn đều dựa trên mô hình đàn dẻo nghiên cứu khả năng chịu cắt của dầm. Lý thuyết (mô hình) miền nén CFT cũng dựa trên mô hình đàn và theo đó, sau khi

một dầm BTCT bị nứt, phần bê tông nằm giữa các vết nứt tạo thành các dải nén nghiêng và có khả năng chịu cắt, tuy nhiên lý thuyết này bỏ qua sự làm việc của bê tông vùng kéo (hình 1).

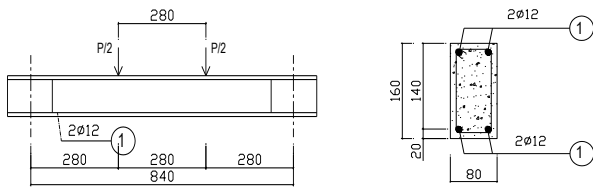


Hình 1. CFT và MCFT, quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông vùng nứt

Lý thuyết miền nén cải tiến MCFT là sự phát triển của CFT, có kể đến ứng suất kéo trong vùng bê tông bị nứt tới khả năng kháng cắt của dầm, được đưa ra bởi Collins và Vecchio (1986). Khi ứng suất kéo này được kể tới, kể cả các phần tử không có cốt đai cũng được dự báo một sức kháng cắt đáng kể sau khi nứt. Khi nứt, ứng suất cắt truyền qua vết nứt thông qua cốt thép liên kết vết nứt, miền là cốt thép không bị cháy. Bê tông giữa các vết nứt coi là có hiệu quả sau đó.[2]. Tiêu chuẩn của Canada và Nauy về khả năng chịu cắt của dầm BTCT được xây dựng dựa trên MCFT. Từ lý thuyết này, Bentz (2001) đã xây dựng phần mềm Response 2000 để phân tích dầm và cột, dựa trên cơ sở cấu kiện bao gồm nhiều lớp bê tông [7]. Phần mềm này đưa ra được mối quan hệ giữa chuyển vị toàn phần và lực cắt, biến dạng cắt trên toàn bộ chiều dài dầm, sự làm việc của dầm ở các giai đoạn tải trọng. Phần mềm này đã được ứng dụng ở nhiều nước cho kết quả có độ tin cậy cao. [2].

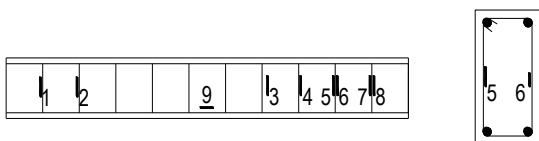
4. Khảo sát thí nghiệm và tính toán số

Thí nghiệm (TN) khả năng chịu cắt của dầm BTCT trên 6 mẫu dầm như hình 2, gồm 1 mẫu không có cốt đai (1-0), 2 mẫu có cốt đai $\phi 6a70$ (2-1, 2-2), 2 mẫu có cốt đai $\phi 6a140$ (3-1,



Hình 2. Sơ đồ thí nghiệm dầm BTCT

1 mẫu có cốt đai $\phi 6a210$ (4-1). Cường độ bê tông theo thiết kế $f'_c = 30$ MPa. Tỉ số $a/d = 2$. Đặt thiết bị đo ứng suất trong cốt đai như hình 3, từ đó xác định khả năng chịu cắt của cốt đai trong dầm V_s .



Hình 3. Sơ đồ đặt thiết bị đo ứng suất trong cốt thép đai.

Thí nghiệm phá hủy mẫu để xác định khả năng chịu cắt của dầm V_u (V_{uc}), qua đó xác định khả năng chịu cắt của bê tông V_c . Kết quả thí nghiệm thể hiện ở bảng 1. [10].

Bảng 1. Kết quả TN xác định f'_c , V_s và V_u

Mẫu	a (mm)	f'_c (MPa)	V_s (KN)	V_u (KN)
1-0	0	34	0	50
2-1	70	33	17,43	97
2-2	70	33	17,65	96
3-1	140	32	12,41	86
3-2	140	32	11,95	73
4-1	210	36	8,338	70

Ví dụ với trường hợp dầm có cốt đai $\phi 6a210$:

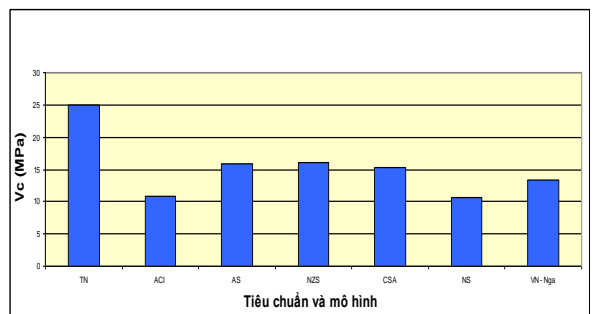
$$V_s = 8,338 \text{ KN} \rightarrow V_c = 70/2 - 8,338 = 26,66 \text{ KN}$$

Với các số liệu như các mẫu dầm thí nghiệm, tính toán khả năng chịu cắt của bê tông V_c và của

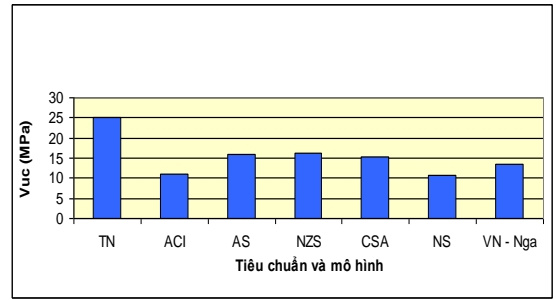
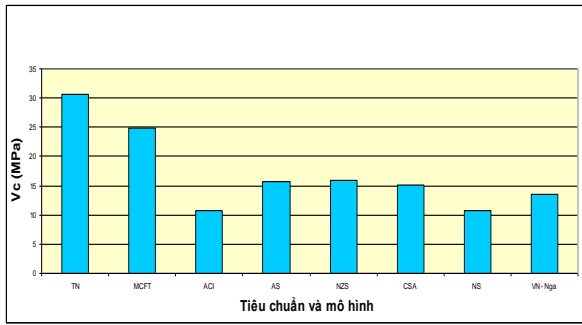
dầm V_u theo các tiêu chuẩn và MCFT (sử dụng phần mềm Response 2000) nêu trên; tính toán hệ số an toàn trung bình k_I - tỉ số V_c theo TN/ V_c theo tính toán (bảng 2) và lập biểu đồ V_c ứng với các trường hợp thay đổi khoảng cách cốt đai theo thí nghiệm, các tiêu chuẩn và MCFT (hình 4,5,6,7).

Bảng 2. V_c theo các tiêu chuẩn, MCFT và thí nghiệm (TN)

Tiêu chuẩn	V_c (KN)				k_I
	$s=0$	$s=70$	$s=140$	$s=210$	
TN	25	30,71	27,57	26,66	
MCFT		24,82	21,5	20,43	1,27
ACI	10,88	10,72	10,72	10,56	2,55
AS	15,87	15,71	15,71	15,55	1,74
NZS	16,11	15,87	15,87	15,63	1,72
CSA	15,28	15,06	15,06	14,83	1,81
NS	10,69	10,69	10,69	10,69	1,93
VN	13,44	13,44	13,44	13,44	2,03

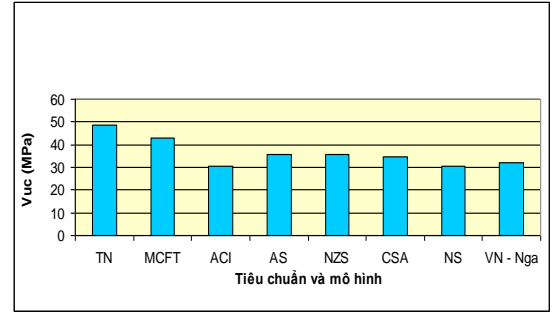
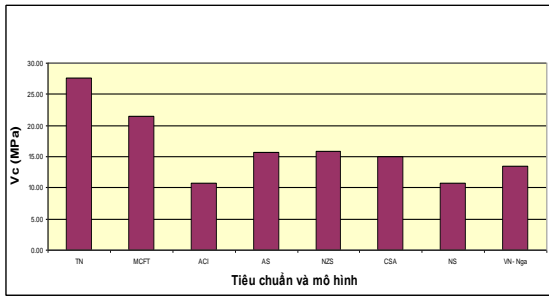


Hình 4. Biểu đồ V_c , trường hợp $s = 0$



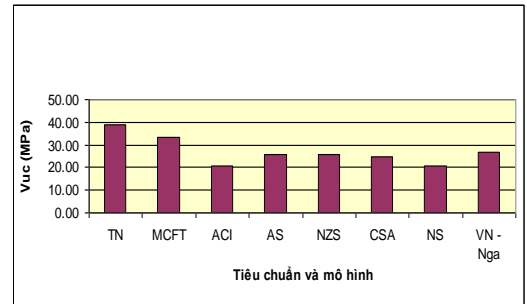
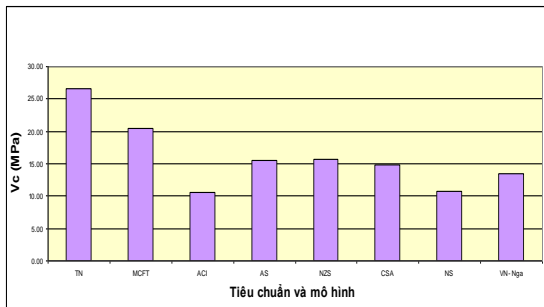
Hình 8. Biểu đồ V_u , trường hợp $s = 0$

Hình 5. Biểu đồ V_c , trường hợp $s = 70$ mm



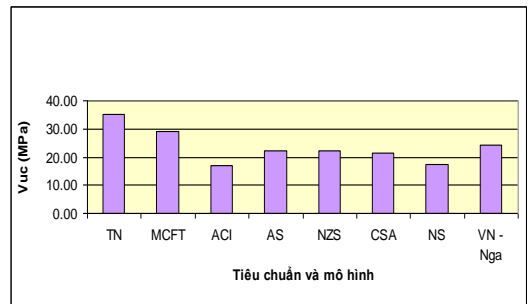
Hình 9. Biểu đồ V_u , trường hợp $s = 70$ mm

Hình 6. Biểu đồ V_c , trường hợp $s = 140$ mm



Hình 10. Biểu đồ V_u , trường hợp $s = 140$ mm

Hình 7. Biểu đồ V_c , trường hợp $s = 210$ mm



Hình 11. Biểu đồ V_u , trường hợp $s = 210$ mm

Tính toán hệ số an toàn trung bình k_2 - tỉ số V_u theo TN/ V_u theo tính toán (bảng 3) và lập biểu đồ V_u (V_{uc}) ứng với các trường hợp thay đổi khoảng cách cốt đai theo thí nghiệm, các tiêu chuẩn và MCFT (hình 8,9,10,11).

Bảng 3. V_u theo các tiêu chuẩn, MCFT và thí nghiệm (TN)

Tiêu chuẩn	V_u (V_{uc}) (KN)				k_2
	s=0	s=70	s=140	s=210	
TN	25	48,5	39	32	
MCFT		35,13	30,27	28,01	1,17
ACI	10,88	30,51	20,61	17,15	1,92
AS	15,87	35,49	25,6	22,14	1,47
NZS	17,75	37,27	27,38	23,82	1,37
CSA	15,28	34,84	24,95	21,42	1,52
NS	14,65	34,43	24,54	21,24	1,93
VN	9,66	25,62	20,95	18,88	1,55

Nhận xét:

Mặc dù các số liệu thí nghiệm và tính toán số không nhiều, nhưng trong phạm vi các kết quả khảo sát trên có thể thấy:

- Khả năng chịu cắt của bê tông thay đổi khi thay đổi khoảng cách cốt đai, tuy nhiên sự thay đổi là không nhiều nhưng khả năng chịu cắt của dầm thay đổi là đáng kể.
- Khả năng chịu cắt của bê tông theo TCVN và Nga không đổi khi khoảng cách cốt đai thay đổi và lớn hơn so

với tiêu chuẩn ACI và NS (bảng 2). Tuy nhiên khả năng chịu cắt của dầm BTCT theo TCVN ở mức trung bình so với các tiêu chuẩn và MCFT. Tiêu chuẩn của Mỹ, Na Uy có hệ số an toàn về khả năng kháng cắt của dầm là cao nhất và lý thuyết MCFT có kết quả sát nhất với thí nghiệm.(bảng 3).

- Qua hệ số k_2 tính toán ở trên, có thể thấy: Các tiêu chuẩn thiết kế về khả năng chịu cắt của dầm BTCT đều an toàn, tuy nhiên mức độ an toàn theo các tiêu chuẩn là khác nhau. Với bê tông thường, cường độ chịu nén < 32 MPa thì việc sử dụng các tiêu chuẩn tính toán khả năng chịu cắt của dầm BTCT đều cho kết quả an toàn, tuy nhiên tính theo MCFT có mức độ an toàn là nhỏ nhất.

5. Kết luận

Tại Việt Nam cho phép sử dụng một số tiêu chuẩn nước ngoài để thiết kế kết cấu công trình nên ngoài yếu tố đảm bảo khả năng chịu lực, khi xét thêm tính hiệu quả kinh tế, tính chất kỹ thuật đặc thù, cần cân nhắc đến mức độ an toàn của các tiêu chuẩn về khả năng chống cắt của dầm BTCT để có thể áp dụng một cách phù hợp.

Tài liệu tham khảo

- [1] Phan Quang Minh, Ngô Thế Phong, Nguyễn Đình Công (2011), *Kết cấu bê tông cốt thép*, Nxb. Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [2] Nguyễn Ngọc Phương (2008), *Khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép ứng lực trước*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, trường Đại học Kiến trúc Hà Nội.
- [3] Tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam (2012), TCXDVN 5574: 2012, *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế*, Nxb. Xây dựng, Hà Nội.
- [4] ACI (2002), *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-02) and Commentary (ACI 318RM-02)* (metric version).
- [5] AS 3600-2001, *Concrete structures*.
- [6] CSA Committee A23.3 (1994), *Design of Concrete Structures*, Canadian Standards Association, Etobicoke, Ontario.
- [7] Evan Bentz (2001), *Response 2000*. User Manual, Toronto, Canada.
- [8] NS 3473.E (1997), *Prosjektering av betongkonstruksjoner Beregnings-og konstruksjonsregler*, Concrete structures Design and detailing rules.
- [9] NZS 3101:2006 (2006), *Incorporating Amendment NO.1 & 2*, Concrete Structures Standard.
- [10] RAGU S.PENDYALA (1997), *THE BEHAVIOUR OF HIGH STRENGTH CONCRETE BEAMS*, Department of civil and environment Engineering, the University of Melbourne.

(BBT nhận bài: 20/03/2014, phản biện xong: 05/05/2014)