

Phân tích so sánh khả năng chịu cắt của dầm bê tông đặt cốt thép theo các tiêu chuẩn thiết kế

Comparative analysis of shear capacity of reinforced concrete beams according to design standards

> TS TRẦN TRUNG HIẾU

Khoa Xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

TÓM TẮT

Khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép chịu sự chi phối của nhiều yếu tố. Hiện nay, các tiêu chuẩn thiết kế trên thế giới có nhiều cách tiếp cận khác nhau để tính toán khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép, bao gồm mô hình thanh chống - giằng (strut-and-tie model - STM), mô hình trường ứng suất nén (compression stress field theory - CSFT), mô hình bán thực nghiệm, v.v... Hầu hết các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép chỉ xem xét khả năng chịu cắt của bê tông và cốt đai, trong khi bỏ qua ảnh hưởng của một số yếu tố khác. Bài báo này trình bày tổng quan về một số mô hình tính toán khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép theo các tiêu chuẩn thiết kế khác nhau, bao gồm TCVN 5574:2018, ACI 318, CSA A23.3 và EN 1992-1-1:2004. Các mô hình này được kiểm chứng thông qua bộ dữ liệu thực nghiệm gồm 59 dầm bê tông cốt thép chịu tải trọng tập trung, với tỷ số giữa nhịp cắt và chiều cao hiệu dụng của tiết diện (a/d) thay đổi trong khoảng 2.5 đến 4.0. Trong nghiên cứu, khả năng chịu cắt của bê tông và cốt đai theo từng tiêu chuẩn được đánh giá riêng biệt. Đồng thời, khả năng chịu cắt của bê tông được so sánh với kết quả tính toán theo lý thuyết vết nứt cắt tới hạn (Critical Shear Crack Theory - CSCT) đối với dầm bê tông không đặt cốt đai. Kết quả cho thấy, trong bốn tiêu chuẩn được xem xét, EN 1992-1-1:2004 cho kết quả an toàn nhất, trong khi TCVN 5574:2018 cho kết quả gần với thực nghiệm nhất. Ngoài ra, TCVN 5574:2018 đánh giá khả năng chịu lực của bê tông gần tương đồng với khả năng chịu lực của dầm bê tông không đặt cốt đai.

Từ khoá: Dầm; bê tông cốt thép; khả năng chịu cắt; tiêu chuẩn thiết kế.

ABSTRACT

The shear capacity of reinforced concrete beams is influenced by multiple factors. Currently, different design standards worldwide adopt various approaches to calculating the shear strength of reinforced concrete beams, including the strut-and-tie model (STM), compression stress field theory (CSFT), and semi-empirical models, among others. Most reinforced concrete design standards consider only the shear resistance provided by concrete and stirrups while neglecting the influence of other factors. This often results in overly conservative calculations. This paper provides an overview of several shear strength calculation models for reinforced concrete beams based on different design standards, including TCVN 5574:2018, ACI 318, CSA A23.3, and EN 1992-1-1:2004. These models are validated against an experimental dataset comprising 59 reinforced concrete beams subjected to concentrated loads, with the ratio of shear span to effective depth (a/d) ranging from 2.5 to 4.0. In this study, the shear contributions of concrete and stirrups are separately evaluated for each standard. Additionally, the concrete shear capacity is compared with the shear strength of corresponding beams without stirrups, calculated based on the Critical Shear Crack Theory (CSCT). The results indicate that among the four considered design standards, EN 1992-1-1:2004 provides the most conservative estimates, while TCVN 5574:2018 yields results closest to the experimental data. Moreover, TCVN 5574:2018 assesses the shear contribution of concrete similarly to the shear strength of corresponding beams without stirrups.

Keywords: Beam; reinforced concrete; shear strength; design standards

1. MỞ ĐẦU

Kết cấu bê tông cốt thép được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực xây dựng nhờ vào những ưu điểm vượt trội của nó so với các vật liệu khác, điển hình như khả năng chịu lực cao, tuổi thọ cao, bền ăn mòn, khả năng chịu lửa, giá thành thấp do có khả năng sử dụng vật

liệu địa phương. Một trong những cấu kiện bê tông cốt thép được sử dụng phổ biến là cấu kiện chịu uốn, điển hình là dầm. Dưới tác dụng của tải trọng, dầm có thể bị phá hoại trên tiết diện thẳng góc hoặc tiết diện nghiêng. Với dạng phá hoại trên tiết diện thẳng góc do mômen uốn, khả năng chịu lực có thể dự báo chính xác dựa vào

các lý thuyết tính toán trong các tiêu chuẩn hiện hành được xây dựng dựa trên giả thiết “tiết diện phẳng”. Ngược lại, vấn đề dự báo khả năng chịu cắt của dầm tương đối phức tạp, điều này thể hiện qua lý thuyết tính toán trong các tiêu chuẩn hiện hành. Các tiêu chuẩn hiện nay sử dụng các lý thuyết tính toán khác nhau và vẫn chưa có một mô hình tính toán nào đánh giá đúng ứng xử cắt của dầm. Nguyên nhân của vấn đề này xuất phát từ ứng xử cắt phức tạp của dầm và bị chi phối nhiều yếu tố, từ đặc trưng của vật liệu đến sơ đồ gia tải. Chính vì vậy, nghiên cứu ứng xử cắt của cấu kiện bê tông cốt thép và hoàn thiện các lý thuyết tính toán vẫn là một mối quan tâm lớn đối với các nhà khoa học trong và ngoài nước [1].

Các nghiên cứu thực nghiệm ứng xử cắt của dầm bê tông cốt thép đã chỉ ra rằng, trong trường hợp tổng quát khả năng chịu cắt của dầm được quyết định bởi những yếu tố sau: cường độ của bê tông; hiệu ứng kích thước; tỉ lệ nhịp cắt (a) với chiều cao hiệu quả của tiết diện (d) - a/d ; cốt đai và cốt dọc [2]. Cường độ của bê tông đóng vai trò quan trọng đến ứng xử tổng thể của dầm. Trên tiết diện nghiêng, cường độ chịu kéo của bê tông có ảnh hưởng lớn hơn đến khả năng chịu lực của dầm so với cường độ chịu nén. Khi tăng kích thước tiết diện, đặc biệt là chiều cao hiệu quả của tiết diện, khả năng chịu cắt của dầm tăng. Bên cạnh đó, hiệu ứng kích thước tiết diện còn ảnh hưởng đến dạng phá hoại cắt. Tỉ số a/d ảnh hưởng đến sự phát triển vết nứt nghiêng trong các dầm có nhịp cắt bé, còn đối với các dầm có nhịp cắt lớn (tỉ số a/d lớn), ảnh hưởng của a/d giảm. Các nghiên cứu thực nghiệm chỉ ra rằng, khi tỉ số $a/d > 2.5$, nó không ảnh hưởng đáng kể đến khả năng chịu cắt của dầm. Tuy nhiên, khi tỉ số $a/d < 2.5$, cường độ cắt của dầm tăng do hiệu ứng vòm [3]. Cốt dọc trong dầm cũng ảnh hưởng đến khả năng chịu cắt của dầm. Cụ thể, hàm lượng cốt dọc sẽ làm giảm chiều dài và bề rộng vết nứt thẳng góc, qua đó làm tăng hiệu ứng chốt cài và truyền cắt qua bề mặt vết nứt (dowel action and interface shear transfer), từ đó là tăng khả năng chịu cắt của dầm. Cốt đai trong dầm được sử dụng để tăng khả năng chịu cắt của dầm cũng như để thay đổi dạng phá hoại cắt trở nên dẻo hơn. Thường thì cốt đai sẽ phát huy vai trò sau khi các vết nứt nghiêng được hình thành.

Từ kết quả tổng quan ở trên có thể thấy, cường độ chịu cắt của dầm trên tiết diện nghiêng là một hàm phức tạp, chịu sự chi phối của nhiều yếu tố, và cho đến ngày nay vẫn chưa có một mô hình tính toán nào hoàn hảo. Bài báo này sẽ cung cấp một góc nhìn tổng quát về một số mô hình tính toán trong các tiêu chuẩn dựa trên các lý thuyết tính toán khác nhau.

2. LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN KHẢ NĂNG CHỊU CẮT CỦA MỘT SỐ TIÊU CHUẨN THIẾT KẾ KẾT CẤU BÊ TÔNG CỐT THÉP

2.1. Tiêu chuẩn của Việt Nam - TCVN 5574:2018

TCVN 5574:2018 [4] được ban hành dựa trên tiêu chuẩn thiết kế của Liên bang Nga SP63.13330.2012 [5]. Trong tiêu chuẩn này, lý thuyết tính toán khả năng chịu cắt của dầm được xây dựng dựa trên lý thuyết “tiết diện kháng cắt yếu nhất”. Phương pháp tính toán này có xét đến ảnh hưởng cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo của bê tông, cốt dọc chịu kéo, cốt đai và đặc điểm các vết nứt nghiêng. Các công thức cơ bản tính toán khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép theo TCVN 5574:2018 được thể hiện trong Bảng 1. Cũng nhấn mạnh thêm rằng, nhiều nghiên cứu gần đây cũng chỉ ra rằng, phương pháp tính toán khả năng chịu lực trên tiết diện nghiêng theo TCVN 5574:2018 còn tồn tại nhiều hạn chế [6, 7].

2.2. Tiêu chuẩn ACI 318-19 [8]

Lý thuyết tính toán khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép theo ACI 318-19 là công thức bán thực nghiệm. Khả năng chịu cắt của dầm bao gồm khả năng chịu cắt của bê tông ($V_{Rd,c}$) và cốt đai ($V_{Rd,s}$). Công thức xác định $V_{Rd,c}$ là công thức thực nghiệm dựa trên bộ

dữ liệu nghiên cứu thực nghiệm, trong khi đó $V_{Rd,s}$ được xác định dựa trên mô hình giàn ảo. Các công thức xác định khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép theo ACI 318 được thể hiện trong Bảng 1.

2.3 Tiêu chuẩn CSA A23.3 (2004) [9]

Tiêu chuẩn CSA cung cấp phương pháp tính toán khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép dựa trên lý thuyết trường ứng suất nén sửa đổi (Modified Compression Field Theory). Phương pháp tính toán này có kể đến ảnh hưởng của vết nứt đến sự phana bố ứng suất trong bê tông; tính tương thích biến dạng giữa bê tông và cốt thép cũng như kể đến thanh chống xiên có góc thay đổi (Variable-angle compression struts).

2.4. Tiêu chuẩn Eurocode 2 (EN1992-1-1:2004) [10]

Công thức xác định khả năng chịu cắt theo EN1992-1-1:2004 được xây dựng dựa trên mô hình thanh chống-giàn (strut-and-tie model) với góc nghiêng thay đổi (Variable Strut Inclination), trong đó góc nghiêng của thanh chống bê tông θ thay đổi từ 22° đến 45°. Theo đó, khả năng chịu cắt của dầm gồm 2 phần: phần do thanh chống xiên bê tông tiếp nhận và phần do cốt đai. Chi tiết công thức tính khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép theo EN1992-1-1:2004 được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Công thức xác định khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép theo một số tiêu chuẩn thiết kế

Khả năng chịu lực theo bê tông	Khả năng chịu lực theo cốt đai
TCVN 5574:2018 [4] - $Q_u = Q_b + Q_{sw}$	
$0.5R_{bt}bh_0 \leq Q_b = \frac{\varphi_{b2}R_{bt}bh_0^2}{C} \leq 2.5R_{bt}bh_0$ $h_0 \leq C \leq 2h_0$	$Q_{sw} = \varphi_{sw}q_{sw}C$ $q_{sw} = \frac{R_{sw}A_{sw}}{s} \geq 2.5R_{bt}b$
ACI 318-19 [8] - $V_{Rd} = V_{Rd,c} + V_{Rd,s}$	
$V_{Rd,c} = \frac{\sqrt{f_c}bd}{6}$	$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}f_{yw}d}{s}$
CSA A23.3 (2004) [9] - $V_u = V_{u,c} + V_{u,s}$	
$V_{u,c} = \beta\sqrt{f_c}b_wd$ $\beta = 0.18$	$V_{u,c} = \frac{A_{sw}f_{yw}d \cot(\theta)}{s}$
Eurocode 2 (EN1992-1-1:2004) [10] - $V_{Rd} = \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,max})$	
$V_{Rd,max} = \frac{a_{cw}b_wzV_1f_c}{\cot\theta + \tan\theta}$ $v_1 = 0.6\left(1 - \frac{f_c}{250}\right);$ $1 \leq \cot\theta \leq 2.5$ $z \approx 0.9d$ a_{cw} là hệ số phụ thuộc vào lực dọc (ứng suất trước) tác dụng lên tiết diện, $a_{cw} = \min(1.25; 1 + v_d; 2.5(1 - v_d))$ $v_d = \frac{N_{Ed}}{A_c f_c}$ $\theta = 29^\circ + 7000\varepsilon_x$ $\varepsilon_x = \frac{M_f / d_v + V_f}{2E_s A_s}$	$V_{Rd,s} = A_{sw} \frac{z \cot\theta}{s} f_{yw}$

Ghi chú: $\varphi_{sw} = 0.75$ - hệ số, kể đến sự suy giảm nội lực dọc theo chiều dài hình chiếu của tiết diện nghiêng C; $\varphi_{b2} = 1.5$ - hệ số, kể đến ảnh hưởng của cốt thép dọc, lực bám dính và đặc điểm trạng thái ứng suất của bê tông nằm phía trên vết nứt xiên; h_0 hoặc d - chiều cao hiệu quả của tiết diện; b hoặc b_w - bề rộng của dầm; R_{bt} - cường độ chịu kéo của bê tông (theo TCVN); f'_c - cường độ chịu nén của bê tông; q_{sw} - lực trong cốt thép ngang trên một đơn vị chiều dài cầu kiện; R_{sw} - cường độ chịu cắt của cốt đai; s - bước cốt đai; A_{sw} - tổng diện tích tiết diện ngang của một cốt đai; f_{yw} - giới hạn chảy của cốt đai; β - hệ số ứng suất kéo; θ - góc nghiêng của trường ứng suất nén; z - khoảng cách giữa điểm đặt tổng hợp lực trong bê tông vùng nén và trọng tâm cốt chịu kéo.

2.5. Khả năng chịu cắt của tiết diện không đặt cốt đai theo lý thuyết vết nứt cắt tới hạn (Critical shear crack theory - CSCT) [11]

Để đánh giá khả năng chịu cắt của tiết diện bê tông không đặt cốt đai, một trong những phương pháp được đánh giá cao là phương pháp lý thuyết vết nứt cắt tới hạn. Phương pháp này dựa trên sự mở rộng vết nứt tới hạn trên tiết diện nghiêng [11, 12]. Phương pháp này kể đến ảnh hưởng của bề rộng vết nứt tới hạn, kích thước cốt liệu và cường độ chịu nén của bê tông. Theo đó, cường độ chịu cắt trong trường hợp cấu kiện không đặt cốt đai được xác định theo công thức:

$$\frac{V_R}{bd\sqrt{f'_c}} = \frac{1}{6} \frac{2}{1 + 120 \frac{\varepsilon d}{16 + d_g}} \quad (\text{Đơn vị: MPa, mm}) \quad (1)$$

trong đó: d_g - kích thước cực đại của cốt liệu; ε - biến dạng tại chiều cao tiết diện được xét, giá trị này được xác định dựa vào mô men uốn M trên tiết diện tới hạn theo công thức:

$$\varepsilon = \frac{M}{bd\rho E_s} \frac{0.6d - c}{d - c} \quad (2)$$

chiều cao vùng nén c trong trường hợp này được xác định.

$$c = d\rho \frac{E_s}{E_c} \left(\sqrt{1 + \frac{2E_c}{\rho E_s}} - 1 \right) \quad (3)$$

Mô đun đàn hồi của bê tông trong công thức (3) được xác định gần đúng: $E_c \approx 10000 f'_c^{1/3}$, MPa.

3. KIỂM CHỨNG CÁC MÔ HÌNH TÍNH TOÁN VÀ BÀN LUẬN

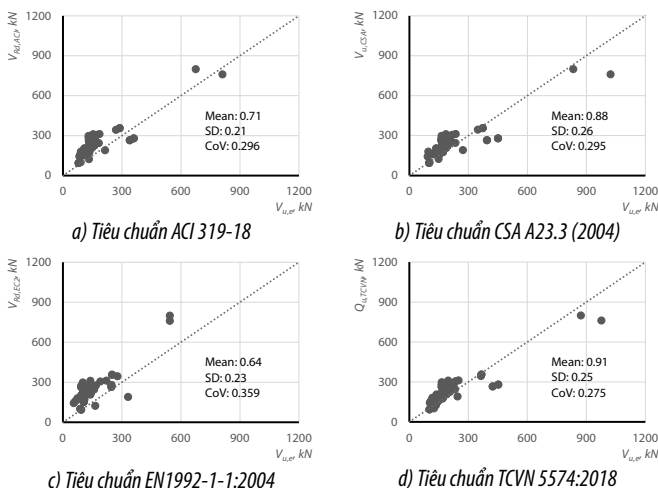
Để kiểm chứng các lý thuyết tính toán đã đề cập ở trên, tác giả sử dụng bộ 59 dữ liệu thí nghiệm dầm bê tông cốt thép chịu tác dụng của tải trọng tập trung từ cơ sở dữ liệu ACI-DAFStb Databases [13]. Các dầm thí nghiệm có tỉ số a/d thay đổi từ 2.5 đến 4.0. Các thông số chi tiết về các dầm thí nghiệm cùng với kết quả thí nghiệm được thể hiện trong Phụ lục. Kết quả tính toán khả năng chịu lực của các dầm theo các lý thuyết trên được thể hiện trong Bảng 2. Các biểu đồ so sánh khả năng chịu lực giữa lý thuyết và thực nghiệm của các dầm được thể hiện trên Hình 1.

Bảng 2. Khả năng chịu lực lý thuyết của các dầm

Tên dầm	a/d	Thí nghiệm		ACI 318				CSA A23.3				TCVN 5574:2018				Eurocode 2				CSCT			Tỷ lệ đóng góp bê tông		
		$V_{u,ex}$ kN	$M_{u,ex}$ kNm	$V_{Rd,G}$ kN	$V_{Rd,sr}$ kN	V_{Rd} kN	Δ_{ACI}	$V_{u,G}$ kN	$V_{u,sr}$ kN	V_{u} kN	Δ_{CSA}	Q_{br} kN	Q_{sw} kN	Q_u kN	Δ_{TCVN}	$V_{Rd,max}$ kN	$V_{Rd,sr}$ kN	V_{Rd} kN	Δ_{EC2}	V_{Ri} kN	$\Delta_{0,ACI}$	$\Delta_{0,CSA}$	$\Delta_{0,TCVN}$		
NHW-4	3.92	94	73	36.7	41.7	78.4	0.83	44.3	56.2	100.6	1.07	58.6	43.7	102.3	1.09	250.7	92.8	92.8	0.99	59.4	0.62	0.75	0.99		
DB0.530M	2.88	265.9	707.7	228	110.9	338.9	1.27	275.4	119.3	394.7	1.48	249.8	174.6	424.4	1.60	1141.8	247	247	0.93	102.2	2.23	2.69	2.44		
DB140M	2.88	279.5	744	248.6	110.9	359.5	1.29	300.1	150.9	451	1.61	277.5	174.6	452.1	1.62	1330.3	247	247	0.88	189.4	1.31	1.58	1.47		
C-1	3.78	157.7	276.3	56.8	46.3	103.1	0.65	68.5	55	123.5	0.78	91.6	48.6	140.2	0.89	275.8	103.1	103.1	0.65	59.3	0.96	1.16	1.54		
H 100/2	2.95	226.6	235.1	95.7	64.1	159.7	0.7	115.5	77.7	193.2	0.85	105.9	100.9	206.7	0.91	643.8	142.7	142.7	0.63	117	0.82	0.99	0.91		
V	3.95	123.7	183.9	25.8	105.3	131.1	1.06	31.1	117.8	148.9	1.2	67.4	67.4	134.8	1.09	165	164.2	164.2	1.33	31.8	0.81	0.98	2.12		
1	3.1	344.3	574.9	144	124.5	268.5	0.78	173.8	174.3	348.1	1.01	234	130.7	364.7	1.06	758.5	277.2	277.2	0.81	203	0.71	0.86	1.15		
S1-1	2.5	229.6	166.7	83.2	62.6	145.9	0.64	100.5	84.9	185.4	0.81	91.2	98.7	189.9	0.83	520.8	139.5	139.5	0.61	134	0.62	0.75	0.68		
S1-2	2.5	209.7	152.1	83.2	62.6	145.9	0.7	100.5	86.9	187.4	0.89	91.2	98.7	189.9	0.91	520.8	139.5	139.5	0.67	136.7	0.61	0.74	0.67		
S1-3	2.5	207.4	150.5	83.2	62.6	145.9	0.7	100.5	87.2	187.7	0.9	91.2	98.7	189.9	0.92	520.8	139.5	139.5	0.67	137.2	0.61	0.73	0.66		
S1-4	2.5	279.3	202.9	83.2	62.6	145.9	0.52	100.5	80.1	180.6	0.65	91.2	98.7	189.9	0.68	520.8	139.5	139.5	0.5	129.7	0.64	0.77	0.7		
S1-5	2.5	254.6	184.9	83.2	62.6	145.9	0.57	100.5	82.4	182.9	0.72	91.2	98.7	189.9	0.75	520.8	139.5	139.5	0.55	132.7	0.63	0.76	0.69		
S1-6	2.5	225.3	163.6	83.2	62.6	145.9	0.65	100.5	85.3	185.8	0.82	91.2	98.7	189.9	0.84	520.8	139.5	139.5	0.62	136.2	0.61	0.74	0.67		
S2-1	2.5	261.4	190	88.9	41.8	130.7	0.5	107.3	54.5	161.8	0.62	98.5	65.8	164.3	0.63	575	93	93	0.36	141	0.63	0.76	0.7		
S2-2	2.5	233.8	169.7	88.9	50.1	139	0.59	107.3	67.6	174.9	0.75	98.5	78.9	177.4	0.76	575	111.6	111.6	0.48	144.5	0.62	0.74	0.68		
S2-3	2.5	254.6	184.9	88.9	62.6	151.5	0.6	107.3	82.4	189.7	0.75	98.5	98.7	197.2	0.77	575	139.5	139.5	0.55	142.5	0.62	0.75	0.69		
S2-4	2.5	220.6	160.2	88.9	62.6	151.5	0.69	107.3	85.8	193.1	0.88	98.5	98.7	197.2	0.89	575	139.5	139.5	0.63	146.7	0.61	0.73	0.67		
S3-1	2.49	210.5	154.8	87.2	47.1	134.3	0.64	105.2	55.7	161	0.76	96.5	74.2	170.7	0.81	553.7	104.9	105	0.5	125.6	0.69	0.84	0.77		
S3-2	2.49	179.3	131.7	87.2	47.1	134.3	0.75	105.2	59.1	164.4	0.92	96.5	74.2	170.7	0.95	553.7	104.9	105	0.59	131.4	0.66	0.8	0.73		
S3-3	2.49	229.8	166.9	86	46.5	132.5	0.58	103.8	63	166.8	0.73	95.2	73.2	168.4	0.73	546.2	103.5	103.5	0.45	142.5	0.6	0.73	0.67		
S3-4	2.49	176.1	127.7	86	46.5	132.5	0.75	103.8	67.2	171	0.97	95.2	73.2	168.4	0.96	546.2	103.5	103.5	0.59	148.7	0.58	0.7	0.64		
S3-5	2.51	297.9	213.6	84.2	45.5	129.7	0.44	101.7	62.1	163.8	0.55	93.3	71.7	164.9	0.55	535.1	101.4	101.4	0.34	145.4	0.58	0.7	0.64		
S3-6	2.51	284.2	203.7	84.2	45.5	129.7	0.46	101.7	62.9	164.6	0.58	93.3	71.7	164.9	0.58	535.1	101.4	101.4	0.36	146.6	0.57	0.69	0.64		
S4-1	2.48	356	460.2	175.1	112.4	287.5	0.81	211.3	162.2	373.5	1.05	189.9	177.1	367	1.03	1173.5	250.4	250.4	0.7	275	0.64	0.77	0.69		
S4-3	2.5	244.8	202	110.9	71.2	182.1	0.74	133.9	99.7	233.6	0.95	120.4	112.2	232.6	0.95	743.5	158.6	158.6	0.65	185.4	0.6	0.72	0.65		
S4-4	2.5	259.4	188.4	97.6	62.6	160.2	0.62	117.8	82	199.7	0.77	105.8	98.7	204.5	0.79	653.9	139.5	139.5	0.54	158.8	0.61	0.74	0.67		
S4-6	2.53	204	101.5	66.2	42.5	108.6	0.53	79.9	56.7	136.6	0.67	71.7	66.9	138.6	0.68	443.4	94.6	94.6	0.46	111.2	0.6	0.72	0.64		
S5-2	2.74	261.3	207.9	98.7	62.6	161.3	0.62	119.2	80	199.2	0.76	109.5	98.7	208.2	0.80	663.8	139.5	139.5	0.53	158.5	0.62	0.75	0.69		

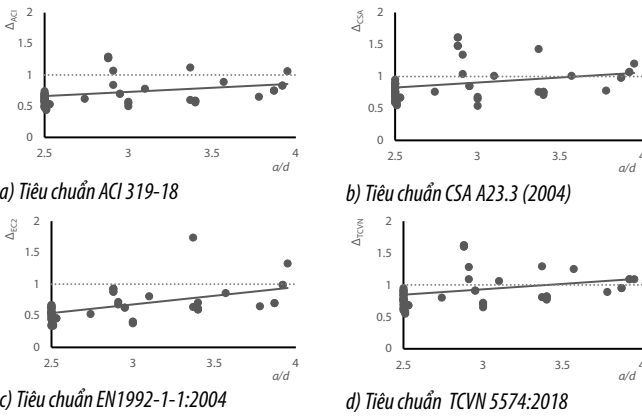
Tên dầm	a/d	Thí nghiệm		ACI 318				CSA A23.3				TCVN 5574:2018				Eurocode 2				CSCT			Tỷ lệ đóng góp bê tông		
		$V_{u,exp}$ kN	$M_{u,exp}$ kNm	$V_{Rd,cr}$ kN	$V_{Rd,s}$ kN	V_{Rd} kN	Δ_{ACI}	$V_{u,G}$ kN	$V_{u,S}$ kN	V_{u} kN	Δ_{CSA}	Q_b kN	Q_{sw} kN	Q_u kN	Δ_{TCVN}	$V_{Rd,max}$ kN	$V_{Rd,s}$ kN	V_{Rd} kN	Δ_{EC2}	V_R kN	$\Delta_{0,ACI}$	$\Delta_{0,CSA}$	$\Delta_{0,TCVN}$		
S7-4	3.4	274.6	258.6	86	74.5	160.5	0.58	103.8	102.3	206.1	0.75	145.9	78.3	224.1	0.82	559.9	166.1	166.1	0.6	153.2	0.56	0.68	0.95		
S7-5	3.4	305.4	287.7	86	85.2	171.2	0.56	103.8	113.6	217.4	0.71	145.9	89.4	235.3	0.77	559.9	189.8	189.8	0.62	151.5	0.57	0.69	0.96		
S7-6	3.4	311.8	293.5	86	99.4	185.4	0.59	103.8	131.7	235.5	0.76	145.9	104.4	250.2	0.80	559.9	221.4	221.4	0.71	151.3	0.57	0.69	0.96		
S8-1	2.5	273.4	198.6	90.2	41.8	131.9	0.48	108.9	53.7	162.6	0.59	98.5	65.8	164.3	0.60	586.6	93	93	0.34	149	0.61	0.73	0.66		
S8-2	2.5	252.3	183.2	90.2	50.1	140.3	0.56	108.9	66.1	175	0.69	98.5	78.9	177.4	0.70	586.6	111.6	111.6	0.44	151.3	0.6	0.72	0.65		
S8-3	2.5	310.8	226	90.2	62.6	152.8	0.49	108.9	77.2	186	0.6	98.5	98.7	197.2	0.63	586.6	139.5	139.5	0.45	146.1	0.62	0.75	0.67		
S8-4	2.5	267.1	194	90.2	62.6	152.8	0.57	108.9	81.2	190.1	0.71	98.5	98.7	197.2	0.74	586.6	139.5	139.5	0.52	150.4	0.6	0.72	0.65		
29g-2	3.87	152.8	264.6	66.8	47.7	114.6	0.75	80.5	69.7	150.3	0.98	95.5	50.1	145.6	0.95	248	106.3	106.3	0.7	114.4	0.58	0.7	0.83		
TS36	3	156.8	145	58.5	28.3	86.9	0.55	70.7	35.2	105.9	0.68	65.1	44.6	109.7	0.70	383.8	63.1	63.1	0.4	98.8	0.59	0.72	0.66		
TH39	3	143.8	132.9	57.7	24.8	82.5	0.57	69.7	23.7	93.4	0.65	65.1	39.1	104.1	0.72	376.6	55.2	55.3	0.38	83.8	0.69	0.83	0.78		
TS39	3	180.1	166.7	57.7	33.1	90.8	0.5	69.7	27.1	96.8	0.54	65.1	52.1	117.2	0.65	376.6	73.7	73.7	0.41	78.5	0.74	0.89	0.83		
V1	3.57	100.9	116.1	50.5	39.2	89.7	0.89	60.9	41.2	102.2	1.01	84.5	41.2	125.6	1.25	270.1	87.3	87.3	0.86	75.1	0.67	0.81	1.13		
7	2.91	799.1	1748.5	430.6	244.1	674.8	0.84	520.1	313.2	833.3	1.04	487.8	384.6	872.3	1.09	2803.2	543.8	543.8	0.68	618.7	0.7	0.84	0.79		
9	2.91	760.6	1663.2	566.5	244.1	810.7	1.07	684.2	338.5	1022.7	1.34	592.3	384.6	976.8	1.28	3851.8	543.8	543.8	0.72	879.2	0.64	0.78	0.67		
1.4/1	3.37	170.6	149.3	52.3	49.3	101.6	0.6	63.1	66.3	129.4	0.76	85.8	51.8	137.6	0.81	303.3	109.8	109.8	0.64	97.8	0.53	0.65	0.88		
1.7/1	3.37	190.5	166.7	53.6	159.7	213.3	1.12	64.8	207.7	272.5	1.43	122.6	122.6	245.2	1.29	332.4	331.4	331.4	1.74	99.5	0.54	0.65	1.23		
NHW-4	3.92	94	73	36.7	41.7	78.4	0.83	44.3	56.2	100.6	1.07	58.6	43.7	102.3	1.09	250.7	92.8	92.8	0.99	69.7	0.53	0.64	0.84		
DB0.530M	2.88	265.9	707.7	228	110.9	338.9	1.27	275.4	119.3	394.7	1.48	249.8	174.6	424.4	1.60	1141.8	247	247	0.93	253.9	0.9	1.08	0.98		
DB140M	2.88	279.5	744	248.6	110.9	359.5	1.29	300.1	150.9	451	1.61	277.5	174.6	452.1	1.62	1330.3	247	247	0.88	360.3	0.69	0.83	0.77		
H 100/2	2.95	226.6	235.1	95.7	64.1	159.7	0.7	115.5	77.7	193.2	0.85	105.9	100.9	206.7	0.91	643.8	142.7	142.7	0.63	163.1	0.59	0.71	0.65		
S2-3	2.5	254.6	184.9	88.9	62.6	151.5	0.6	107.3	82.4	189.7	0.75	98.5	98.7	197.2	0.77	575	139.5	139.5	0.55	162.6	0.55	0.66	0.61		
S2-4	2.5	220.6	160.2	88.9	62.6	151.5	0.69	107.3	85.8	193.1	0.88	98.5	98.7	197.2	0.89	575	139.5	139.5	0.63	164.6	0.54	0.65	0.6		
S3-3	2.49	229.8	166.9	86	46.5	132.5	0.58	103.8	63	166.8	0.73	95.2	73.2	168.4	0.73	546.2	103.5	103.5	0.45	158.9	0.54	0.65	0.6		
S3-4	2.49	176.1	127.7	86	46.5	132.5	0.75	103.8	67.2	171	0.97	95.2	73.2	168.4	0.96	546.2	103.5	103.5	0.59	161.8	0.53	0.64	0.59		
S4-1	2.48	356	460.2	175.1	112.4	287.5	0.81	211.3	162.2	373.5	1.05	189.9	177.1	367	1.03	1173.5	250.4	250.4	0.7	314.7	0.56	0.67	0.6		
S4-4	2.5	259.4	188.4	97.6	62.6	160.2	0.62	117.8	82	199.7	0.77	105.8	98.7	204.5	0.79	653.9	139.5	139.5	0.54	178	0.55	0.66	0.59		
S4-6	2.53	204	101.5	66.2	42.5	108.6	0.53	79.9	56.7	136.6	0.67	71.7	66.9	138.6	0.68	443.4	94.6	94.6	0.46	122.5	0.54	0.65	0.59		
S5-3	2.5	245.1	178	98.7	62.6	161.3	0.66	119.2	83.3	202.5	0.83	109.5	98.7	208.2	0.85	663.8	139.5	139.5	0.57	181.1	0.55	0.66	0.6		
S7-4	3.4	274.6	258.6	86	74.5	160.5	0.58	103.8	102.3	206.1	0.75	145.9	78.3	224.1	0.82	559.9	166.1	166.1	0.6	163.1	0.53	0.64	0.89		
29g-2	3.87	152.8	264.6	66.8	47.7	114.6	0.75	80.5	69.7	150.3	0.98	95.5	50.1	145.6	0.95	248	106.3	106.3	0.7	123.3	0.54	0.65	0.77		
Giá trị trung bình (Mean)							0.71				0.88				0.91				0.64		0.66	0.8	0.82		
Độ lệch chuẩn (SD)							0.21				0.25				0.25				0.24		0.24	0.29	0.34		
Hệ số biến động (CoV, %)							29.6				28.4				26.5				37.5		36.4	36.3	41.5		

Ghi chú: Δ_{ACI} , Δ_{CSA} , Δ_{TCVN} , Δ_{EC2} (Δ) - tương ứng là tỉ số giữa khả năng chịu lực tính theo các lý thuyết ACI, CSA, TCVN và EC so với giá trị thực nghiệm; $\Delta_{0,ACI}$, $\Delta_{0,CSA}$ và $\Delta_{0,TCVN}$ (Δ_0)- tương ứng là tỉ số giữa khả năng chịu lực do phân bê tông đóng góp theo các tiêu chuẩn ACI, CSA và TCVN so với khả năng chịu lực của dầm được tính cho trường hợp không đặt cốt đai theo CSCT.



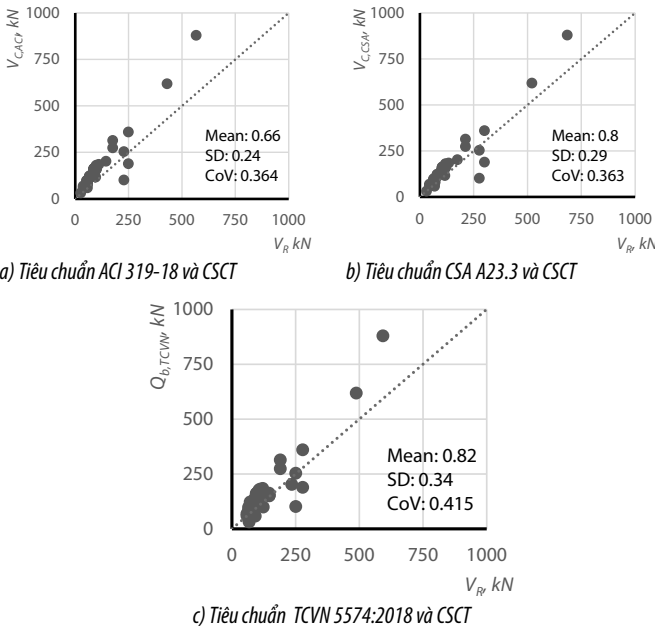
Hình 1. So sánh khả năng chịu cắt lý thuyết theo các tiêu chuẩn và giá trị thực nghiệm

Từ các biểu đồ so sánh khả năng chịu lực của dầm theo lý thuyết với giá trị thực nghiệm trên Hình 1 có thể thấy, các tiêu chuẩn thiết kế ở trên đều cho kết quả nhỏ hơn giá trị thực nghiệm, tức là kết quả thiên về an toàn. Tiêu chuẩn Eurocode 2 cho kết quả an toàn nhất, với tỉ lệ giá trị lý thuyết với thực nghiệm trung bình là 0.64, trong khi đó TCVN 5574:2018 cho kết quả kém an toàn nhất, với tỉ số giữa giá trị lý thuyết và thực nghiệm (Δ) trung bình là 0.91. Đồng thời, tỉ lệ Δ tăng khi tăng tỉ số a/d đối với tất cả các tiêu chuẩn xem xét ở trên (Hình 2). Với các dầm có tỉ lệ a/d thấp (gần 2.5), kết quả tính toán lý thuyết TCVN 5574:2018 tương đồng với kết quả thực nghiệm, khi tăng tỉ lệ a/d, kết quả lý thuyết có xu hướng tăng lớn hơn kết quả thí nghiệm (Hình 2d). Trong khi đó, khi tỉ số a/d gần với 2.5, các tiêu chuẩn ACI 318, CSA A23.3 và EN1992-1-1:2004 cho giá trị khả năng chịu lực lý thuyết nhỏ hơn nhiều so với giá trị thực nghiệm, khi tăng tỉ số a/d dẫn đến 4, các giá trị lý thuyết này dầm tiệm cận với giá trị thực nghiệm (Hình 2a, b và c).



Hình 2. Ảnh hưởng của a/d đến kết quả dự báo khả năng chịu lực của dầm theo lý thuyết

Qua kết quả so sánh ở trên có thể thấy, khả năng chịu lực lý thuyết của dầm bê tông cốt thép trên tiết diện nghiêng theo các tiêu chuẩn nhỏ hơn nhiều so với giá trị thực nghiệm. Nguyên nhân chính ở đây là do các lý thuyết tính toán nêu trên đã bỏ qua nhiều yếu tố ảnh hưởng đến khả năng chịu lực của dầm, các tiêu chuẩn chỉ kể đến khả năng chịu lực của bê tông và cốt đai. Ngoài ra, các công thức xác định phần đóng góp của bê tông theo các mô hình lý thuyết khác nhau cũng chưa thật sự hoàn chỉnh. Để làm rõ hơn khía cạnh này, tác giả tiến hành so sánh phần khả năng chịu lực từ đóng góp của bê tông theo các tiêu chuẩn ACI 318, CSA A23.3 và TCVN 5574:2018 với khả năng chịu lực của dầm tương ứng khi không đặt cốt đai theo CSCT (Mục 2.5), kết quả so sánh được thể hiện trên Hình 3.



Hình 3. So sánh phần đóng góp của bê tông vào khả năng chịu cắt của các dầm theo các tiêu chuẩn thiết kế so với khả năng chịu lực của dầm không cốt đai theo CSCT (V_R).

Từ kết quả so sánh trên Hình 3 có thể thấy, tiêu chuẩn ACI 319-18 ước lượng thấp phần đóng góp của bê tông so với hai tiêu chuẩn CSA A23.3 và TCVN 5574:2018, TCVN 5574:2018 đánh giá phần đóng góp của bê tông gần với khả năng chịu lực của dầm tương ứng không đặt cốt đai. Theo đó tỉ số trung bình giữa phần khả năng chịu cắt do bê tông đóng góp theo các tiêu chuẩn ACI 319-18, CSA A23.3 và TCVN 5574:2018 so với khả năng chịu lực của dầm bê tông không cốt đai theo CSCT lần lượt là 0.66, 0.8 và 0.82.

4. KẾT LUẬN

Từ kết quả nghiên cứu tổng quan về các lý thuyết tính toán khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép theo một số tiêu chuẩn và từ kết quả kiểm chứng mô hình tính toán của các tiêu chuẩn đó với các dầm chịu tải trọng tập trung, có thể rút ra một số kết luận chính như sau:

1. Hiện nay, để tính toán khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép vẫn chưa có một phương pháp hoàn chỉnh nào được áp dụng thống nhất giữa các tiêu chuẩn. Mỗi tiêu chuẩn sử dụng các phương pháp tính toán khác nhau được xây dựng từ những cơ sở riêng biệt.

2. Phần lớn các tiêu chuẩn đưa ra công thức tính toán cường độ trên tiết diện nghiêng của các dầm bê tông cốt thép gồm hai phần: phần do bê tông đóng góp và phần do cốt đai, bỏ qua nhiều yếu tố ảnh hưởng đến khả năng chịu lực khác.

3. Các mô hình tính toán khả năng chịu lực trên tiết diện nghiêng của dầm bê tông cốt thép quá thiên về an toàn, vì vậy kết quả tính toán khả năng chịu lực trên tiết diện nghiêng của dầm theo các lý thuyết tính toán nhỏ hơn nhiều so với giá trị thực nghiệm. Đồng thời, tỉ số giữa khả năng chịu lực theo lý thuyết so với thực nghiệm thay đổi khi thay đổi tỉ số a/d (thay đổi nhịp cắt);

4. Đối với vi phạm nghiên cứu là các dầm bê tông cốt thép có tỉ lệ nhịp cắt a/d thay đổi từ 2.5 đến 4.0, tiêu chuẩn EN1992-1-1:2004 được đánh giá cho kết quả thiên về an toàn nhất, trong khi đó TCVN 5574:2018 cho kết quả lý thuyết gần tương đồng với kết quả nghiên cứu thực nghiệm.

5. Giữa các tiêu chuẩn được xem xét ở trên, bao gồm ACI 319-18, CSA A23.3, EN1992-1-1:2004 và TCVN 5574:2018, TCVN 5574:2018 đánh giá phần khả năng chịu lực do bê tông đóng góp gần với khả năng chịu của tiết diện không đặt cốt đai.

Cũng lưu ý thêm, các kết luận trên được đưa ra ứng với phạm vi nghiên cứu, cụ thể là cho các dầm bê tông cốt thép chịu tác dụng của tải trọng tập trung với tỉ số a/d thay đổi từ 2.5 đến 4.0. Đối với các dầm có các đặc điểm gia tải khác, cần có những nghiên cứu cụ thể hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Collins, M.P., et al., *An adequate theory for the shear strength of reinforced concrete structures*. Magazine of Concrete Research, 2008. **60**(9): p. 635-650.
- ASCE-ACI Committee 445, *Recent Approaches to Shear Design of Structural Concrete*. Journal of Structural Engineering, 1998. **124**(12): p. 1375-1417.
- Paul, Y.L.K. and B.V. Rangan, *Shear Strength of High-Performance Concrete Beams*. ACI Structural Journal, 1998. **95**(6).
- IBST, *Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép (TCVN 5574:2018)*. 2018: Hà Nội. p. 194.
- Ministry of Construction of Russia, *Concrete and reinforced concrete structures. General provisions (SP 63.13330.2012)*. 2012: Moscow.
- Huế, L. and P. Tuấn, *Kiến nghị tính bài toán cốt đai chịu cắt của dầm chịu tải trọng tập trung theo TCVN 5574:2018*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD) - ĐHXDHN, 2022. **16**: p. 60-73.
- Thắng, N., *Tính toán cốt đai cho dầm bê tông cốt thép chịu đồng thời lực phân bố đều và lực tập trung*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD) - ĐHXD, 2019. **13**: p. 25-34.
- ACI Committee 318, *Building code requirements for structural concrete: An ACI Standard: Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19 and ACI 318R-19)*. 2019, American Concrete Institute.
- Canadian Standard Association, *Design of concrete structure (A23.3-94)*. 1994.
- W., B.A., N.R. S., and H. Gulvanessian, *Designers' Guide to EN 1992-1-1 and EN 1992-1-2 Eurocode 2: Design of Concrete Structures. General rules and rules for buildings and structural fire design*. Designers' Guide to Eurocode 2: Design of Concrete Structures. 2005.
- Aurelio, M. and R. Miguel Fernandez, *Shear Strength of Members without Transverse Reinforcement as Function of Critical Shear Crack Width*. ACI Structural Journal, 2008. **105**(2).
- Muttoni, A. and J. Schwartz, *Behavior of Beams and Punching in Slabs without Shear Reinforcement*. in *proceedings of the IABSE Colloquium*. 1991. Germany.
- Karl-Heinz Reineck, E.B.B.F.D.A.K. and B. Oguzhan, *ACI-DAISib Databases for Shear Tests on Slender Reinforced Concrete Beams with Stirrups (with Appendix)*. ACI Structural Journal. **111**(5).

PHỤ LỤC KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

Tác giả	Tên dầm	Kích thước							Cốt dọc			Cốt đai				Bê tông	KQ thí nghiệm	
		<i>b_w</i> mm	<i>h</i> mm	<i>d</i> mm	<i>L</i> mm	<i>C</i> mm	<i>a</i> mm	<i>a/d</i>	<i>A_s</i> mm ²	<i>f_y</i> Mpa	ρ_s	<i>S_w</i> mm	<i>A_{sw}</i> mm ²	<i>f_{yw}</i> Mpa	ρ_w	<i>f_{cu}</i> MPa	<i>V_{u,s}</i> kN	<i>M_{u,s}</i> kNm
Ahmad_1996	NHW-4	127	254	198.1	1585	31.8	776.6	3.92	1146.1	420.7	0.046	99.1	64.3	324.1	0.0051	76.6	94	73
Angelakos_1999	DB0.530M	300	1000	925	5400	76	2662	2.88	1404.3	550	0.005	300	70.8	508	0.0008	24.3	265.9	707.7
Angelakos_1999	DB140M	300	1000	925	5400	76	2662	2.88	2808.6	550	0.010	300	70.8	508	0.0008	28.9	279.5	744
Bresler_1963	C-1	154.9	558.8	463.6	3657.6	152.4	1752.6	3.78	1293.9	555.2	0.018	209.6	64.3	325.5	0.0020	22.5	157.7	276.3
Cladera_2002	H 100/2	200	400	353	2160	75	1042.5	2.95	1608.5	500	0.023	165	56.5	530	0.0017	66.1	226.6	235.1
Guidi_1963	V	80	400	380	0	0	1500	3.95	904.8	490.5	0.030	100	56.5	490.5	0.0071	25.9	123.7	183.9
Johnson_1989	1	304.8	609.6	538.7	4254.5	914.4	1670.1	3.1	4097	524.8	0.025	133.4	64.3	479.3	0.0016	27.7	344.3	574.9
Kong_1997	S1-1	250	350	292	1960	500	730	2.5	2035.8	452	0.028	100	37.7	569	0.0015	46.8	229.6	166.7
Kong_1997	S1-2	250	350	292	1960	500	730	2.5	2035.8	452	0.028	100	37.7	569	0.0015	46.8	209.7	152.1
Kong_1997	S1-3	250	350	292	1960	500	730	2.5	2035.8	452	0.028	100	37.7	569	0.0015	46.8	207.4	150.5
Kong_1997	S1-4	250	350	292	1960	500	730	2.5	2035.8	452	0.028	100	37.7	569	0.0015	46.8	279.3	202.9
Kong_1997	S1-5	250	350	292	1960	500	730	2.5	2035.8	452	0.028	100	37.7	569	0.0015	46.8	254.6	184.9
Kong_1997	S1-6	250	350	292	1960	500	730	2.5	2035.8	452	0.028	100	37.7	569	0.0015	46.8	225.3	163.6
Kong_1997	S2-1	250	350	292	1960	500	730	2.5	2035.8	452	0.028	150	37.7	569	0.0010	53.4	261.4	190
Kong_1997	S2-2	250	350	292	1960	500	730	2.5	2035.8	452	0.028	125	37.7	569	0.0012	53.4	233.8	169.7
Kong_1997	S2-3	250	350	292	1960	500	730	2.5	2035.8	452	0.028	100	37.7	569	0.0015	53.4	254.6	184.9
Kong_1997	S2-4	250	350	292	1960	500	730	2.5	2035.8	452	0.028	100	37.7	569	0.0015	53.4	220.6	160.2
Kong_1997	S3-1	250	350	297	1980	500	740	2.49	1231.5	450	0.017	100	25.1	632	0.0010	49.6	210.5	154.8
Kong_1997	S3-2	250	350	297	1980	500	740	2.49	1231.5	450	0.017	100	25.1	632	0.0010	49.6	179.3	131.7
Kong_1997	S3-3	250	350	293	1960	500	730	2.49	2035.8	452	0.028	100	25.1	632	0.0010	49.6	229.8	166.9
Kong_1997	S3-4	250	350	293	1960	500	730	2.49	2035.8	452	0.028	100	25.1	632	0.0010	49.6	176.1	127.7
Kong_1997	S3-5	250	350	287	1940	500	720	2.51	2714.3	442	0.038	100	25.1	632	0.0010	49.6	297.9	213.6
Kong_1997	S3-6	250	350	287	1940	500	720	2.51	2714.3	442	0.038	100	25.1	632	0.0010	49.6	284.2	203.7
Kong_1997	S4-1	250	350	524	3100	500	1300	2.48	4071.5	452	0.031	100	37.7	569	0.0015	64.3	356	460.2
Kong_1997	S4-3	250	350	332	2160	500	830	2.5	2463	450	0.030	100	37.7	569	0.0015	64.3	244.8	202
Kong_1997	S4-4	250	350	292	1960	500	730	2.5	2035.8	452	0.028	100	37.7	569	0.0015	64.3	259.4	188.4
Kong_1997	S4-6	250	350	198	1500	500	500	2.53	1357.2	442	0.027	100	37.7	569	0.0015	64.3	204	101.5
Kong_1997	S5-2	250	350	292	2100	500	800	2.74	2035.8	452	0.028	100	37.7	569	0.0015	65.8	261.3	207.9
Kong_1997	S5-3	250	350	292	1960	500	730	2.5	2035.8	452	0.028	100	37.7	569	0.0015	65.8	245.1	178
Kong_1997	S7-4	250	350	278	1940	50	945	3.4	3217	433	0.046	80	37.7	569	0.0019	55.1	274.6	258.6
Kong_1997	S7-5	250	350	278	1940	50	945	3.4	3217	433	0.046	70	37.7	569	0.0022	55.1	305.4	287.7
Kong_1997	S7-6	250	350	278	1940	50	945	3.4	3217	433	0.046	60	37.7	569	0.0025	55.1	311.8	293.5
Kong_1997	S8-1	250	350	292	1960	500	730	2.5	2035.8	452	0.028	150	37.7	569	0.0010	54.9	273.4	198.6
Kong_1997	S8-2	250	350	292	1960	500	730	2.5	2035.8	452	0.028	125	37.7	569	0.0012	54.9	252.3	183.2
Kong_1997	S8-3	250	350	292	1960	500	730	2.5	2035.8	452	0.028	100	37.7	569	0.0015	54.9	310.8	226
Kong_1997	S8-4	250	350	292	1960	500	730	2.5	2035.8	452	0.028	100	37.7	569	0.0015	54.9	267.1	194
Krefeld_1966	29g-2	254	508	455.7	3657.6	127	1765.3	3.87	2587.7	276.6	0.022	228.6	64.3	372.4	0.0011	12	152.8	264.6
Ozcebe_1999	TS36	150	360	310	2260	400	930	3	1206.4	450	0.026	70	25.1	255	0.0024	57	156.8	145
Ozcebe_1999	TH39	150	360	310	2260	400	930	3	628.3	439	0.014	80	25.1	255	0.0021	55.5	143.8	132.9
Ozcebe_1999	TS39	150	360	310	2260	400	930	3	628.3	439	0.014	60	25.1	255	0.0028	55.5	180.1	166.7
Petersson_1972	V1	175	353	322	2600	100	1150	3.57	603.2	977	0.011	150	56.5	323	0.0022	28.9	100.9	116.1
Roller_1990	7	457.2	870	762	4572	133.4	2219.3	2.91	6555.2	472.4	0.019	196.9	141.7	445.2	0.0016	55	799.1	1748.5
Roller_1990	9	457.2	870	762	4572	133.4	2219.3	2.91	8194	472.4	0.024	196.9	141.7	445.2	0.0016	95.2	760.6	1663.2
Rosenbusch_2003	1.4/1	200	300	260	1800	0	875	3.37	1847.3	550	0.036	90	25.1	680	0.0014	36.4	170.6	149.3
Rosenbusch_2003	1.7/1	200	300	260	1800	0	875	3.37	1847.3	550	0.036	90	100.5	550	0.0056	38.3	190.5	166.7
Ahmad_1996	NHW-4	127	254	198.1	1585	31.8	776.6	3.92	1146.1	420.7	0.046	99.1	64.3	324.1	0.0051	76.6	94	73
Angelakos_1999	DB0.530M	300	1000	925	5400	76	2662	2.88	1404.3	550	0.005	300	70.8	508	0.0008	24.3	265.9	707.7
Angelakos_1999	DB140M	300	1000	925	5400	76	2662	2.88	2808.6	550	0.010	300	70.8	508	0.0008	28.9	279.5	744
Cladera_2002	H 100/2	200	400	353	2160	75	1042.5	2.95	1608.5	500	0.023	165	56.5	530	0.0017	66.1	226.6	235.1
Kong_1997	S2-3	250	350	292	1960	500	730	2.5	2035.8	452	0.028	100	37.7	569	0.0015	53.4	254.6	184.9
Kong_1997	S2-4	250	350	292	1960	500	730	2.5	2035.8	452	0.028	100	37.7	569	0.0015	53.4	220.6	160.2
Kong_1997	S3-3	250	350	293	1960	500	730	2.49	2035.8	452	0.028	100	25.1	632	0.0010	49.6	229.8	166.9
Kong_1997	S3-4	250	350	293	1960	500	730	2.49	2035.8	452	0.028	100	25.1	632	0.0010	49.6	176.1	127.7
Kong_1997	S4-1	250	350	524	3100	500	1300	2.48	4071.5	452	0.031	100	37.7	569	0.0015	64.3	356	460.2
Kong_1997	S4-4	250	350	292	1960	500	730	2.5	2035.8	452	0.028	100	37.7	569	0.0015	64.3	259.4	188.4
Kong_1997	S4-6	250	350	198	1500	500	500	2.53	1357.2	442	0.027	100	37.7	569	0.0015	64.3	204	101.5
Kong_1997	S5-3	250	350	292	1960	500	730	2.5	2035.8	452	0.028	100	37.7	569	0.0015	65.8	245.1	178
Kong_1997	S7-4	250	350	278	1940	50	945	3.4	3217	433	0.046	80	37.7	569	0.0019	55.1	274.6	258.6
Krefeld_1966	29g-2	254	508	455.7	3657.6	127	1765.3	3.87	2587.7	276.6	0.022	228.6	64.3	372.4	0.0011	12	152.8	264.6

Ghi chú: - *b_w* - bề rộng dầm; *h* - chiều cao dầm; *d* - chiều cao hiệu quả của tiết diện; *L* - nhịp thí nghiệm; *C* - khoảng cách giữa 2 điểm đặt lực; *a* - nhíp cắt (khoảng cách từ gối tựa đến điểm đặt lực gần nhất); *A_s* và *f_y* - tương ứng là tổng diện tích và giới hạn chảy của cốt dọc chịu kéo; *D_s* - hàm lượng cốt dọc chịu kéo; *S_w* - bước cốt đai; *A_{sw}* và ρ_w - tương ứng là tổng diện tích mặt cắt ngang của 01 cốt đai và hàm lượng cốt đai; *f_{cu}* - cường độ chịu nén của bê tông; *V_{u,s}* và *M_{u,s}* - tương ứng là lực cắt cực đại và mô men cực đại tại thời điểm phá hoại.

- Khi tính toán theo TCVN 5574:2018, cường độ bê tông được quy đổi: $R_b = 0.8f_{cu}$; $R_{bt} = \frac{5f_{cu}}{45 + f_{cu}}$; cường độ chịu cắt của cốt đai $R_{sw} = 0.8f_{yw}$