

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM KHẢO SÁT ĐỘ CONG VÀ ĐỘ VỒNG CỦA DẦM BÊ TÔNG CỐT THÉP

ThS. TẠ DUY HƯNG

Công ty CP TV Xây dựng công nghiệp và đô thị Việt Nam (VCC)

TS. NGUYỄN TUẤN TRUNG

Trường Đại học Xây dựng

Tóm tắt: Bài báo giới thiệu một nghiên cứu thực nghiệm được tiến hành trên bốn mẫu dầm bê tông cốt thép (BTCT) nhằm nghiên cứu sự phát triển độ võng, quan hệ mô men uốn – độ cong của dầm trước và sau khi xuất hiện vết nứt. Số liệu thực nghiệm được dùng để kiểm chứng kết quả tính toán lý thuyết theo các tiêu chuẩn TCVN 5574:2012, ACI 318-11, EN 1992-1-1 và SP 63.13330.2012. Trong đó, SP 63.13330.2012 là tiêu chuẩn thiết kế hiện hành của Nga, đang được sử dụng làm cơ sở cho dự thảo tiêu chuẩn BTCT mới thay thế cho tiêu chuẩn TCVN 5574:2012. Kết quả cho thấy các giả thiết và quy trình tính toán độ võng theo SP 63.13330.2012 cho kết quả phù hợp với kết quả thí nghiệm khi áp dụng cho các mẫu dầm nêu trên.

Astract: The paper presents an experimental study on four reinforced concrete beams to investigate deflection development, moment – curvature relationship of the beams before and after cracking. The test data are used to validate the theoretical results from some design codes such as TCVN 5574:2012, ACI 318-11, EN 1992-1-1 and SP 63.13330.2012. Among them, SP 63.13330.2012 is using as a basis to draft a new reinforced concrete design code replacing TCVN 5574:2012. The experimental results show that the assumptions and the design procedure to calculate deflection in SP 63.13330.2012 are agreed well with the experimental results when applied to the tested beams.

1. Giới thiệu

Dầm bê tông cốt thép (BTCT) là một trong những loại cấu kiện được dùng phổ biến nhất trong các công trình dân dụng và công nghiệp. Dưới yêu cầu mở rộng không gian kiến trúc, hệ kết cấu dầm sàn càng ngày càng đòi hỏi phải có nhịp lớn hơn. Ngoài yêu cầu về khả năng chịu lực, đối với cấu kiện dầm sàn BTCT có khẩu độ lớn thì việc kiểm soát độ võng là rất cần thiết.

Tính toán độ võng cho dầm BTCT được nêu chi tiết trong các tiêu chuẩn TCVN 5574-2012 [1], EN 1992-1-1 (EC2-1) [2], ACI 318-11 [3] và SP 63.13330.2012 (SP63) [4], trong đó việc tính toán độ võng chủ yếu là xác định độ cong của cấu kiện hay chính là xác định độ cứng chống uốn hiệu quả tại đoạn dầm đang xét. Tuy nhiên, các tiêu chuẩn có sự khác nhau khi tính toán độ võng như khác nhau trong việc xác định các đặc trưng vật liệu, mô men kháng nứt, độ cứng chống uốn hiệu quả,... Bài báo giới thiệu kết quả của một chương trình thực nghiệm gồm 04 mẫu dầm BTCT được tiến hành tại Phòng thí nghiệm và Kiểm định Công trình – Trường Đại học Xây dựng năm 2017. Mục đích nhằm nghiên cứu sự phát triển độ võng, quan hệ mô men uốn – độ cong của dầm trước và sau khi xuất hiện vết nứt. Qua đó, đánh giá và so sánh với kết quả tính toán theo các tiêu chuẩn, đồng thời có nhận định về tính phù hợp của tiêu chuẩn SP63[4] khi áp dụng ở Việt Nam.

2. Tính toán độ võng của dầm bê tông cốt thép theo các tiêu chuẩn

2.1. TCVN 5574:2012 [1]

Các giả thiết sử dụng để tính toán là (i) giả thiết tiết diện phẳng; (ii) giả thiết đồng biến dạng giữa cốt thép và bê tông; (iii) khi tiết diện chuẩn bị hình thành vết nứt, độ giãn dài tương đối lớn nhất của thớ bê tông chịu kéo ngoài cùng bằng $2R_{bt,ser}/E_b$ và ứng suất trong vùng bê tông chịu kéo phân bố đều và bằng $R_{bt,ser}$.

Sơ đồ ứng suất – biến dạng của tiết diện để tính mô men kháng nứt M_{cr} và sau khi đã xuất hiện vết nứt như hình 1.

Công thức tính toán độ cứng chống uốn của tiết diện được chia ra cho đoạn dầm không có vết nứt và đoạn dầm có vết nứt trong vùng kéo. Khi tiết diện chưa bị nứt, độ cứng chống uốn tiết diện EI do tác dụng của tải trọng ngắn hạn kí hiệu B_{sh} , được tính theo công thức (1).

$$B_{sh} = \varphi_{bt} E_b I_{red} \quad (1)$$



Hình 1. Sơ đồ ứng suất– biến dạng theo TCVN 5574:2012

Trong đó: φ_{b1} là hệ số xét đến ảnh hưởng của từ biến ngắn hạn của bê tông, với bê tông nặng lấy bằng 0.85; E_b là mô đun đàn hồi của bê tông; I_{red} mômen quán tính của tiết diện quy đổi.

Khi tiết diện đã hình thành vết nứt, độ cứng chống uốn EI kí hiệu B , được tính theo công thức (2).

$$B = \frac{h_0 z}{\frac{\psi_s}{A_s E_s} + \frac{\psi_b}{\nu E_b A_{b,red}}} \quad (2)$$

trong đó: ψ_b hệ số xét đến sự phân bố không đều ứng suất của thớ bê tông chịu nén ngoài cùng trên chiều dài đoạn có vết nứt, với bê tông nặng $\psi_b = 0.9$; ψ_s hệ số xét đến sự làm việc của bê tông vùng chịu kéo trên đoạn có vết nứt; $A_{b,red}$ diện tích quy đổi của vùng bê tông chịu nén có xét đến biến dạng không đàn hồi của bê tông; ν hệ số đặc trưng trạng thái đàn hồi dẻo của bê tông vùng nén, với bê tông nặng lấy $\nu = 0.45$; z là khoảng cách từ cốt thép chịu kéo đến trọng tâm vùng bê tông chịu nén.

Độ cong của tiết diện được tính bằng:

$$1/r = M/EI \quad (3)$$

Sau khi xác định được độ cong $1/r$, độ võng dầm được tính toán theo công thức (4).

$$f_m = \int_0^l \overline{M_x} \left(\frac{1}{r} \right)_x dx \quad (4)$$

trong đó: $\overline{M_x}$ là mô men uốn tại tiết diện x do tác dụng của lực đơn vị đặt theo hướng chuyển vị cần xác định tại tiết diện x trên nhịp cần tìm độ võng; $(1/r)_x$ là độ cong toàn phần tại tiết diện x do tải trọng gây nên độ võng cần xác định.

2.2. ACI 318-11 [2]

Các giả thiết sử dụng để tính toán là (i) giả thiết tiết diện phẳng; (ii) giả thiết đồng biến dạng giữa cốt thép và bê tông; (iii) diện tích cốt thép được quy đổi thành diện tích bê tông tương đương với hệ số quy đổi $n = E_s/E_c$; (iv) bỏ qua bê tông vùng kéo khi tiết diện đã nứt.

Sơ đồ ứng suất – biến dạng của tiết diện để tính mô men kháng nứt M_{cr} và sau khi đã xuất hiện vết nứt như hình 2.



Hình 2. Sơ đồ ứng suất– biến dạng theo ACI 318-11

với f_t là cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông:

$$f_t = 0.62 \sqrt{f'_c} \text{ MPa} \quad (5)$$

Tiêu chuẩn ACI 318-11 tính toán độ võng thông qua việc tính mô men quán tính hiệu quả I_e trên đoạn dầm đang xét, được tính theo công thức (6).

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} \quad (6)$$

trong đó: I_e là mô men quán tính hiệu quả của tiết diện; I_g là mô men quán tính nguyên không kể cốt thép; I_{cr} là mô men quán tính quy đổi của tiết diện khi bị nứt hoàn toàn; M_{cr} mô men kháng nứt của tiết diện; M_a mô men tác dụng.

Độ cong và độ võng của đoạn dầm được tính theo công thức (3) và (4).

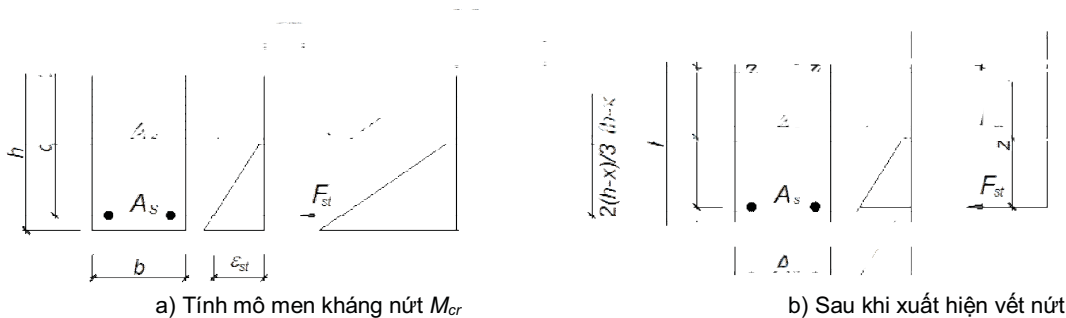
Ngoài ra, tiêu chuẩn ACI318-11 có bổ sung thêm đặc trưng về biến dạng của cốt thép khi chảy dẻo. Gọi biến dạng tỷ đối của thép khi chảy dẻo là ε_{ys} , được tính bằng f_y/E_s , độ cong $1/r$ của tiết diện đang xét có thể tính theo công thức (7).

$$\frac{1}{r} = \frac{\varepsilon_{ys}}{d - x} \quad (7)$$

2.3. EN 1992-1-1 (EC2-1) [3]

Các giả thiết sử dụng khi tính toán là (i) giả thiết tiết diện phẳng; (ii) giả thiết đồng biến dạng giữa cốt thép và bê tông; (iii) diện tích cốt thép được quy đổi thành diện tích bê tông theo tỷ lệ $n = E_s/E_{cm}$; (iv) bỏ qua bê tông vùng kéo khi tiết diện đã nứt. Tiêu chuẩn EC2-1 không đề cập rõ ràng việc dùng tiết diện nguyên hay tiết diện quy đổi để tính mô men kháng nứt.

Sơ đồ ứng suất – biến dạng của tiết diện để tính mô men kháng nứt M_{cr} và sau khi đã xuất hiện vết nứt như hình 3.



Hình 3. Sơ đồ ứng suất- biến dạng theo EN 1992-1-1

Tiêu chuẩn EC2-1 tính toán độ võng thông qua việc tính mô men quán tính hiệu quả I_e trên đoạn dầm đang xét, được tính theo công thức (8).

$$I_e = \beta \left(\frac{M_{cr}}{M} \right)^2 I_{uc} + \left[1 - \beta \left(\frac{M_{cr}}{M} \right)^2 \right] I_{cr} \quad (8)$$

trong đó: I_e là mô men quán tính hiệu quả của tiết diện; I_{uc} là mô men quán tính quy đổi của tiết diện với trục trung hòa khi chưa bị nứt; I_{cr} là mô men quán tính của tiết diện với trục trung hòa khi bị nứt hoàn toàn; β hệ số bằng 1,0 với tải trọng ngắn hạn và 0,5 với tải trọng dài hạn; M_{cr} mô men kháng nứt của tiết diện; M_a mô men tác dụng.

Độ cong và độ võng của đoạn dầm cũng được tính theo công thức (3) và (4).

2.4. SP 63.13330.2012 (SP63) [4]

Các giả thiết sử dụng khi tính toán là (i) giả thiết tiết diện phẳng; (ii) giả thiết đồng biến dạng giữa cốt

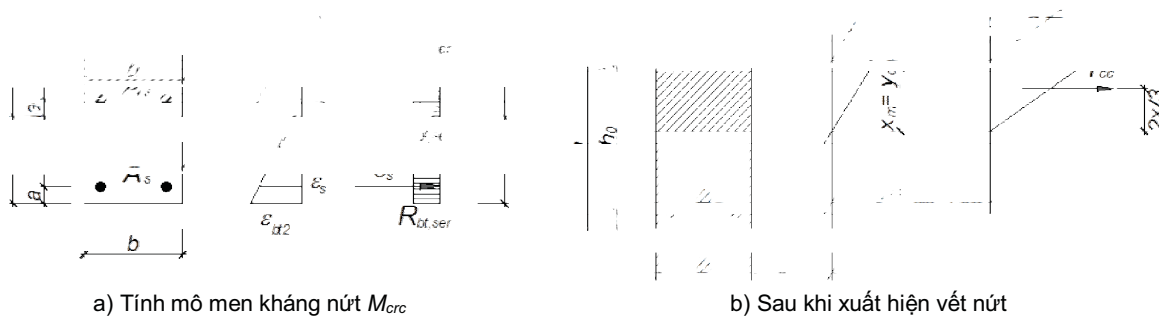
thép và bê tông; (iii) khi tiết diện chưa nứt, biểu đồ ứng suất trong vùng bê tông chịu nén dạng tam giác, biểu đồ ứng suất trong vùng bê tông chịu kéo dạng hình thang với ứng suất không vượt quá cường độ chịu kéo của bê tông $R_{bt,ser}$, biến dạng tương đối của thớ bê tông chịu kéo ngoài cùng bằng giá trị giới hạn $\varepsilon_{bt,u}$ của nó. Với tác dụng của tải trọng ngắn hạn $\varepsilon_{bt,u} = \varepsilon_{bt2} = 0.00015$.

Sơ đồ ứng suất – biến dạng của tiết diện để tính mô men kháng nứt M_{cr} và sau khi đã xuất hiện vết nứt như hình 4.

Khi tiết diện chưa bị nứt, độ cứng chống uốn do tác dụng của tải trọng ngắn hạn kí hiệu là D_{sh} , được tính theo công thức (9).

$$D_{sh} = 0.85 E_b I_{red} \quad (9)$$

trong đó: E_b là mô đun đàn hồi của bê tông; I_{red} mô men quán tính của tiết diện quy đổi khi chưa nứt.



Hình 4. Sơ đồ ứng suất – biến dạng theo SP63

Khi tiết diện đã hình thành vết nứt, độ cứng chống uốn kí hiệu D , được tính theo công thức (10).

$$D = E_{b,red} I_{red} \quad (10)$$

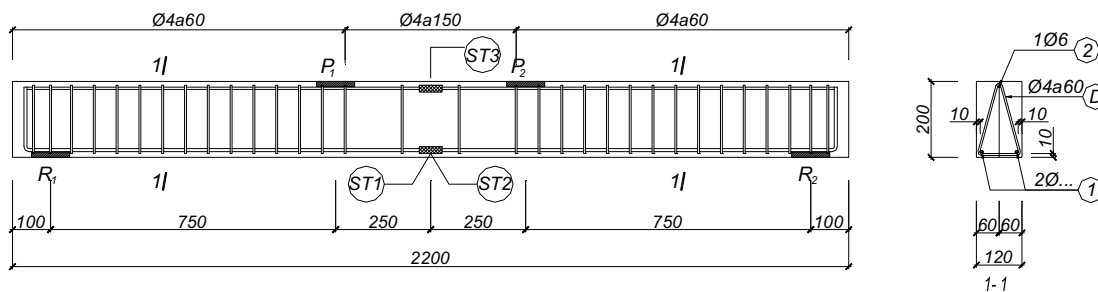
trong đó: $E_{b,red}$ là mô đun biến dạng quy đổi của bê tông, tính bằng $R_{b,ser}/\varepsilon_{b1,red}$. Khi có tác dụng ngắn hạn của tải trọng, với bê tông nặng: $\varepsilon_{b1,red} = 0.0015$; I_{red} mô men quán tính của tiết diện quy đổi khi đã nứt.

Độ cong và độ võng của dầm được tính tương tự như TCVN 5574-2012. Tiêu chuẩn SP63 có quy định biến dạng của cốt thép khi chảy dẻo, vì vậy độ cong của tiết diện đang xét cũng có thể được tính toán theo biến dạng khi chảy dẻo ε_{ys} của cốt thép theo công thức (7).

3. Chương trình thí nghiệm

3.1. Mẫu thí nghiệm

Thí nghiệm gồm 04 mẫu dầm BTCT, mỗi dầm có chiều dài 2200mm, kích thước $b \times h = 120 \times 200$ (mm). Cốt đai 2 đầu dầm được tính toán và bố trí 4a60 để tránh khả năng dầm bị phá hoại do lực cắt. Nghiên cứu này bỏ qua sự làm việc của cốt thép vùng nén, do đó chỉ bố trí 1φ6 tại vùng bê tông chịu nén nhằm hạn chế ảnh hưởng của cốt thép vùng nén đến kết quả thí nghiệm. Bốn dầm bê tông cốt thép chia làm hai tổ mẫu, tổ 1 gồm 02 dầm có cốt thép chịu kéo 2φ8, tổ 2 gồm 02 dầm có cốt thép chịu kéo 2φ10. Hàm lượng cốt thép μ_s tương ứng là 0,45% và 0,71%. Để đo biến dạng của cốt thép, bố trí hai tem đo biến dạng ST1, ST2 gần ở cốt thép vùng kéo và một tem ST3 tại cốt thép vùng nén. Các bản thép kích thước 100x120x5 được bố trí tại các vị trí đặt lực tập trung P_1 , P_2 và vị trí gối tựa R_1 , R_2 nhằm tránh sự phá hoại cục bộ của bê tông. Chi tiết cấu tạo như trong hình 5.



Hình 5. Cấu tạo dầm thí nghiệm

Sử dụng bê tông cấp độ bền B20 độ sụt 10 ± 2 cm. Cấp phối vật liệu cho $1m^3$ bê tông gồm 430kg xi măng PCB30, 597kg cát vàng, 1207kg đá 1x2 và 197 lít nước.

Để xác định các đặc trưng cơ lý của vật liệu như cường độ bê tông, cường độ cốt thép, mô đun đàn hồi, các thí nghiệm vật liệu cơ bản được tiến hành. Kết quả thu được cho ở bảng 1.

Bảng 1. Thông số dầm thí nghiệm

STT	Tổ mẫu	Tên mẫu	Cốt thép	μ_s (%)	f_{cube} (MPa)	$f_{cylinder}$ (MPa)	f_y (MPa)	f_r (MPa)	f_{ct} (MPa)
1	Tổ 1	D1.1	2φ8	0.45	30.5	23.9	374.0	3.03	2.89
2		D1.2	2φ8		36.9	29.5	409.8	3.37	2.89

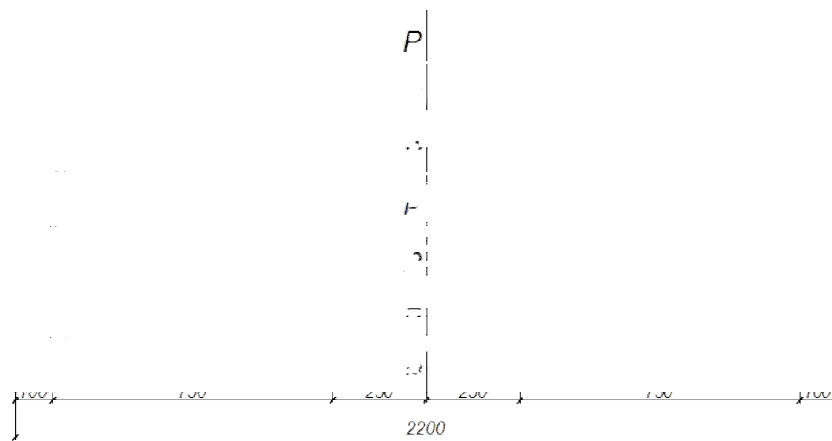
STT	Tổ mẫu	Tên mẫu	Cốt thép	μ_s (%)	f_{cube} (MPa)	$f_{cylinder}$ (MPa)	f_y (MPa)	f_r (MPa)	f_{ct} (MPa)
3	Tổ 2	D2.1	2 ϕ 10	0.71	37.5	30.0	328.5	3.4	2.89
4		D2.2	2 ϕ 10		34.3	26.3	341.2	3.18	2.89

trong đó: f_{cube} là cường độ chịu nén mẫu lập phương; $f_{cylinder}$ là cường độ chịu nén mẫu lăng trụ; f_y là giới hạn chảy của cốt thép; f_r là cường độ chịu kéo khi uốn, được tính bằng $f_r = 0.62\sqrt{f_c}$ MPa; f_{ct} là cường độ chịu kéo dọc trục.

3.2. Hệ gia tải và bố trí thiết bị đo

Sơ đồ thí nghiệm là dầm đơn giản, chịu tác dụng của hai lực tập trung có giá trị $P/2$ (hình 5). Tải

trọng tác dụng lên dầm được tạo bởi một kích thủy lực loại 20 tấn kết hợp với dầm phân tải. Thông qua dầm phân tải, tải trọng tập trung đầu kích là P được phân thành hai tải trọng đều nhau tác dụng lên dầm. Giá trị tải trọng tập trung đầu kích được xác định thông qua 01 dụng cụ đo lực điện tử (load cell) được kết nối với bộ xử lý số liệu Data - Logger TDS 530. Sơ đồ bố trí dụng cụ đo được chỉ ra trong hình 6.



Hình 6. Sơ đồ bố trí dụng cụ đo

trong đó: $I1$, $I2$ là hai LVDT (linear variable differential transformer) để đo chuyển vị tại hai gối tựa; $I3$ là LVDT đo chuyển vị giữa dầm; $I4$ là LVDT đo biến dạng nén bê tông; $I5$ là LVDT đo biến dạng kéo bê tông; $ST4$, $ST5$, $ST6$ là tem đo biến dạng bê tông gắn ở mặt ngoài dầm, có khoảng cách đến tim hình học dầm lần lượt là 0mm, 40mm, 80mm.

3.3. Tiến hành thí nghiệm

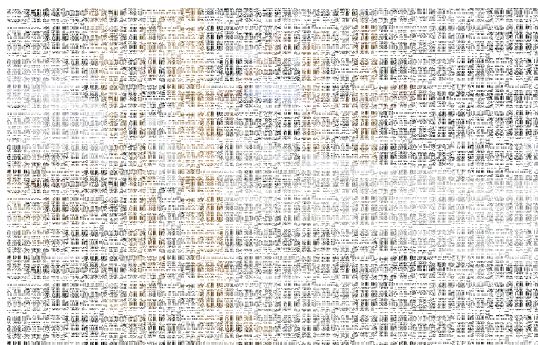
Sau khi hoàn tất lắp dựng thí nghiệm, tiến hành gia tải thử với tải trọng là 2,0kN. Mục đích là để loại trừ các sai số về lắp dựng kết cấu và kiểm tra sự làm việc ổn định của hệ. Khi thấy hệ và các dụng cụ

đo ổn định, tiến hành đưa các số liệu về giá trị ban đầu là 0. Tiến hành gia tải lực tác dụng lên dầm bằng kích thủy lực với tốc độ dịch chuyển của pít tông khoảng 1,2mm/phút.

Trong quá trình gia tải, biểu đồ biến dạng của bê tông vùng kéo và cốt thép vùng kéo được theo dõi chặt chẽ để xác định thời điểm xuất hiện khe nứt. Tiến hành tăng tải trọng theo từng cấp tải. Tại mỗi cấp tải, tiến hành vẽ chiều dài vết nứt tương ứng như hình 8. Sự phát triển độ võng của dầm được tự động ghi lại.



Hình 7. Dầm TN đã hoàn tất cài đặt



Hình 8. Dầm sau khi kết thúc thí nghiệm

4. Phân tích và đánh giá kết quả

4.1 Cơ chế phá hoại

Trong quá trình thí nghiệm, vết nứt đầu tiên xuất hiện trong khoảng chính giữa dầm tại vùng có mô men lớn nhất. Khi tải trọng tăng lên, các vết nứt khác xuất hiện và lan rộng về phía gối tựa. Các vết nứt đầu tiên mở rộng và phát triển về phía bê tông vùng nén.



Hình 9. Sự phát triển vết nứt dầm D2.1

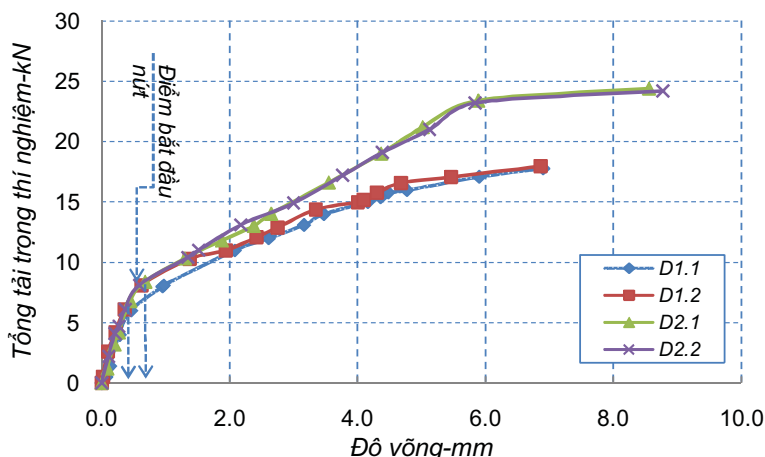


Hình 10. Bê tông vùng nén bị phá vỡ

4.2 Sự phát triển độ cong, độ võng của dầm BTCT

Quan hệ tải trọng – độ võng thực nghiệm giữa 2 tổ mẫu được thể hiện trong hình 11. Có thể nhận thấy rằng hàm lượng cốt thép có ảnh hưởng đáng kể đến sự phát triển độ võng của dầm BTCT. Dầm

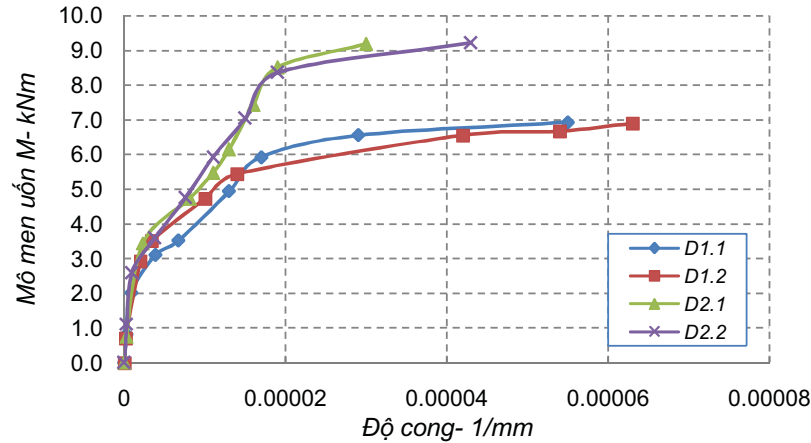
có hàm lượng cốt thép lớn hơn thì có độ võng nhỏ hơn tại cùng một cấp tải trọng. Ví dụ tại cấp tải trọng $P=15\text{kN}$, tổ mẫu 2 có cốt thép chịu kéo $2\phi 10$ có độ võng nhỏ hơn tổ mẫu 1 có cốt thép chịu kéo $2\phi 8$.



Hình 11. Quan hệ tải trọng – độ võng thực nghiệm

Hình 12 chỉ ra quan hệ mô men - độ cong thực nghiệm. Độ cong thực nghiệm được xác định theo kết quả đo biến dạng của 2 LVDT I4 và I5 theo biểu thức $1/r = (I/4 + I/5) / h$ (với h là chiều cao tiết diện tính bằng mm). Khi dầm chưa xuất hiện vết nứt, độ cong của các dầm đều nhỏ, mối quan hệ là tuyến tính. Sau khi dầm xuất hiện vết nứt, độ cong phát

triển nhanh. Khi độ cong đạt khoảng 0.000014 đối với D1.1, 0.000017 đối với D1.2 và 0.00002 đối D2.1 và D2.2 thì cốt thép bắt đầu chảy dẻo, được xác định bằng biến dạng đo được tại tem ST1 và ST2 gắn ở cốt thép chịu kéo. Lúc này, cho dù tải trọng tăng lên ít nhưng độ cong vẫn tiếp tục phát triển.

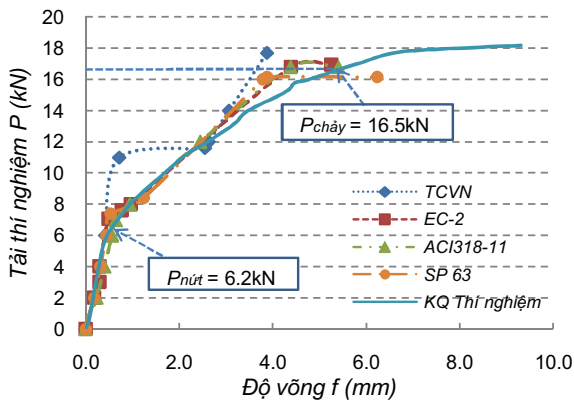


Hình 12. Quan hệ mô men – độ cong thực nghiệm

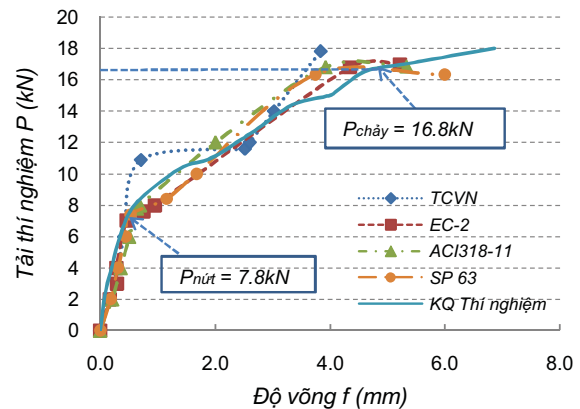
4.3 So sánh kết quả thí nghiệm với tiêu chuẩn

Kết quả so sánh quan hệ tải trọng – độ võng giữ lại tính toán lý thuyết và thực nghiệm của bốn dầm thí nghiệm được chỉ ra từ hình 13 đến hình 16. Tải trọng gây nứt ($P_{nứt}$) được xác định bằng

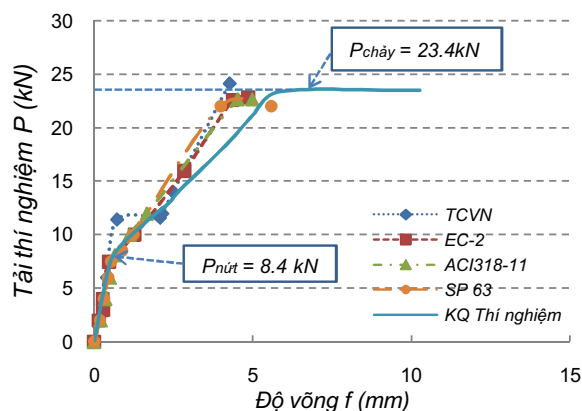
thời điểm độ võng đột ngột tăng lên so với giai đoạn tuyến tính ban đầu. Tải trọng gây chảy dẻo cốt thép ($P_{chảy}$) được xác định bằng biến dạng đo được tại tem ST1 và ST2 gắn ở cốt thép chịu kéo.



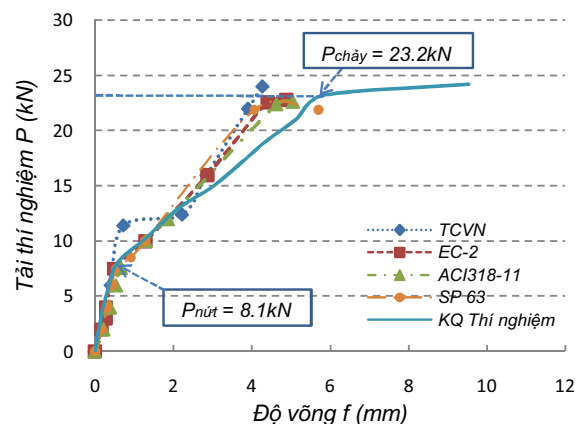
Hình 13. Quan hệ tải trọng – độ võng dầm D1.1



Hình 14. Quan hệ tải trọng – độ võng dầm D1.2



Hình 15. Quan hệ tải trọng – độ võng dầm D2.1



Hình 16. Quan hệ tải trọng – độ võng dầm D2.2

Có thể thấy rằng kết quả tính toán lý thuyết giữa ba tiêu chuẩn ACI 318-11, EC2-1 và SP63 là tương đồng. TCVN 5574-2012 có khác biệt với ba tiêu chuẩn còn lại do có sự khác biệt trong việc xác định mô men kháng nứt. Như chỉ ra trên hình 1(a), TCVN 5574-2012 quy định khi tính mô men kháng nứt, toàn bộ vùng bê tông chịu kéo có ứng suất bằng $R_{bt,ser}$ còn ở các tiêu chuẩn ACI 318-11 và EC2-1 thì mô men kháng nứt của tiết diện xác định với biểu đồ hình tam giác với ứng suất tại thớ kéo ngoài cùng bằng ứng suất kéo cực hạn (f_r với ACI 318-11 và f_{ct} với EC2-1). Do đó, giá trị mô men kháng nứt tính theo TCVN 5574:2012 lớn hơn khá nhiều so với giá trị tính theo ba tiêu chuẩn còn lại cũng như so với giá trị thực nghiệm.

Kết quả tính toán lý thuyết tương đối sát với kết quả thí nghiệm trong giai đoạn dầm làm việc đàn hồi và khi mới xuất hiện những vết nứt đầu tiên. Khi dầm xuất hiện thêm nhiều vết nứt mới và vết nứt cũ mở rộng thì kết quả tính toán lý thuyết có xu hướng nhỏ hơn thực nghiệm.

Đồng thời, có thể thấy rằng độ võng tính toán theo biến dạng khi chảy dẻo của cốt thép theo tiêu chuẩn SP63 là rất gần với kết quả thí nghiệm.

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày một nghiên cứu thực nghiệm và so sánh giữa kết quả thực nghiệm với tính toán lý thuyết theo bốn tiêu chuẩn TCVN 5574:2012, ACI 318-11, EC2-1 và SP63. Kết quả

nghiên cứu cho thấy các tính toán lý thuyết tương đối sát với kết quả thực nghiệm trong giai đoạn dầm làm việc đàn hồi và khi mới xuất hiện những khe nứt đầu tiên. Trong bốn tiêu chuẩn được đề cập, tiêu chuẩn EC2-1, ACI318-11 và SP63 phản ánh đúng hơn sự phát triển độ võng của dầm ở giai đoạn dầm chưa bị nứt và khi mới xuất hiện những khe nứt ban đầu. Giá trị mô men kháng nứt tính theo TCVN 5574:2012 lớn hơn khá nhiều so với giá trị tính theo ba tiêu chuẩn còn lại cũng như so với giá trị thực nghiệm.

Kết quả thực nghiệm cũng chỉ ra rằng các giả thiết và quy trình tính toán độ võng theo tiêu chuẩn SP63 là phù hợp với kết quả thí nghiệm nêu trên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] TCVN 5574:2012 Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép – Tiêu chuẩn thiết kế.
- [2] Building code requirements for structural concrete (ACI 318M-11).
- [3] Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1.1: General rules and rules for buildings (BS EN 1992-1-1:2004).
- [4] SP 63.13330.2012 Concrete and reinforced concrete structures.

Ngày nhận bài: 27/11/2017.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 18/12/2017.