



NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN KHOẢNG CÁCH VẾT NỨT DẦM BÊ TÔNG NHẸ SỬ DỤNG HẠT CỐT LIỆU NHẸ TÁI CHẾ CHỊU UỐN Ở TRẠNG THÁI GIỚI HẠN II

Ths. Lê Ngọc Lan*
PGS.TS. Nguyễn Hùng Phong**



Tóm tắt: Bài báo trình bày nghiên cứu thực nghiệm về dầm bê tông nhẹ sử dụng một vật liệu mới là hạt cốt liệu nhẹ chế tạo từ phế thải phá dỡ công trình xây dựng. Mục đích là nghiên cứu tính toán khoảng cách vết nứt của dầm bê tông nhẹ khi chịu uốn. Kết quả thí nghiệm cho thấy cho thấy dầm bê tông nhẹ nứt sớm hơn so với bê tông thường, nhưng sau đó, vết nứt phân bố đều trên phạm vi toàn dầm. Nghiên cứu đưa giải pháp tính khoảng cách lớn nhất của dầm bê tông cốt liệu nhẹ tái chế (có cốt thép) khi chịu uốn theo trạng thái giới hạn II áp dụng công thức theo tiêu chuẩn EN 1992-1-1 [1] là phù hợp.

Từ khóa: Vết nứt dầm, bê tông nhẹ, hạt cốt liệu nhẹ, tái chế, chịu uốn.

Abstract: This paper presents an experimental study on lightweight concrete beams using a new material, i.e. lightweight aggregates made from construction demolition waste. The purpose is to study and calculate the crack distance of lightweight concrete beams when subjected to bending. Results of the experiment show that lightweight concrete beams crack earlier than normal concrete, but after that, cracks are evenly distributed over the whole beam. The study provides a solution to calculate the maximum distance of recycled lightweight aggregate concrete beams (with reinforcement) when subjected to bending according to limit state II, applying the formula according to EN 1992-1-1 standard [1] is suitable.

Key words: Beam crack, lightweight concrete, lightweight aggregates, recycle, bending.

Nhận ngày 15/10/2022, chỉnh sửa ngày 10/11/2022, chấp nhận đăng ngày 05/12/2022.

1. Giới thiệu

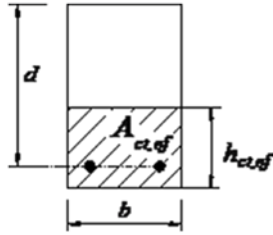
Bê tông nhẹ là một vật liệu xây dựng hiện đang được sử dụng phổ biến trong xây dựng. Sử dụng bê tông nhẹ trong công trình xây dựng mang lại lợi ích kinh tế - kỹ thuật như giảm tải cho công trình, dẫn tới giảm kinh phí xử lý nền móng và hệ thống kết cấu của công trình. Bên cạnh đó, tốc độ công nghiệp hoá nước ta diễn ra nhanh chóng, tương ứng với đó, mỗi năm có một lượng lớn rác thải xây dựng được thải ra mà không được xử lý gây ô nhiễm môi trường. Do đó, việc nghiên cứu khả năng tái chế và ứng dụng chất thải này đang được nhiều nước và các nhà khoa học quan tâm. Sản phẩm thu được từ quá trình xử lý phế thải xây dựng là các hạt cốt liệu rỗng, nhẹ có thể được dùng để chế tạo bê tông nhẹ. Nó góp phần làm giảm đi việc sử dụng các nguyên liệu tự nhiên - nguồn tài nguyên thiên nhiên đang ngày càng cạn kiệt để chế tạo nguyên vật liệu cho ngành xây dựng. Chính vì thế, trong bài báo này nhóm các tác giả lựa chọn đề tài: “Nghiên cứu tính toán khoảng cách vết nứt dầm bê tông nhẹ sử dụng hạt cốt liệu nhẹ tái chế chịu uốn ở trạng thái giới hạn II”.

* Khoa Quản lý Xây dựng - Học viện CBQL Xây dựng và Đô thị

** Phòng Quản lý đào tạo - ĐH Xây dựng Hà Nội

2. Cơ sở lý thuyết tính toán khoảng cách vết nứt của dầm bê tông nhẹ cốt thép khi chịu uốn theo trạng thái giới hạn II

Theo nghiên cứu [3] [1] [5] các công thức áp dụng cho BTT về cơ bản cũng được áp dụng cho BTN. Theo MC 1990 [6], MC 2010 [7], EN1992-1-1 [1] có xem xét đóng góp của bê tông vùng kéo chưa nứt bằng cách xem xét ứng suất kéo trong cốt thép phân bố tuyến tính giữa hai vết nứt cạnh nhau với khoảng cách S_r và phần bê tông chịu kéo chưa nứt được thay thế bằng diện tích chịu kéo hiệu quả $A_{ct,ef}$ như Hình 2.1. Trong đó l_s là chiều dài đoạn truyền lực, khoảng cách cần thiết từ vết nứt đến vị trí cốt thép có biến dạng bằng biến dạng của bê tông.



Hình 2.1. Tiết diện ngang chịu kéo hiệu quả $A_{ct,ef}$ trong cấu kiện chịu uốn

Theo EN1992-1-1 [1] chiều dài truyền lực được xác định theo công thức:

$$l_{s,max} = \alpha_1 \frac{c}{2} + \alpha \frac{f_{ct} \Phi}{2\tau_b \rho} \quad (2.1)$$

Theo MC 2010 [7] chiều dài truyền lực giữa bê tông và cốt thép:

$$l_{s,max} = k \cdot c + \frac{1}{4} \frac{f_{ctm}}{\tau_{bms}} \frac{\phi_s}{\rho_{s,ef}} \quad (2.2)$$

Trong đó giá trị lực dính trung bình theo MC 2010 [7] và EN1992-1-1 [1] có giá trị với $\tau_b = 1.8f_{ct}$

Có thể thấy chiều dài truyền lực của dầm BTCT đều phụ thuộc vào giá trị lực dính trung bình τ_b và theo các chỉ dẫn kỹ thuật trong tiêu chuẩn [7] [1] giá trị lực dính trung bình:

$$\tau_b = 1.8f_{ct}$$

Theo tiêu chuẩn EN 1992-1-1 [1], khoảng cách giữa hai vết nứt lớn nhất [1] xác định theo công thức:

$$S_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff} \quad (2.3)$$

Trong đó: ϕ là đường kính thanh thép; c chiều dày lớp bảo vệ cốt thép dọc (được đo từ bề mặt của thanh cốt thép gần nhất với bề mặt bê tông [1]); k_1 ; k_2 ; k_3 ; k_4 là hệ số.

Theo tiêu chuẩn MC 2010 [7][4], khoảng cách giữa hai vết nứt lớn nhất xác định theo công thức

$$S_{r,max} = 2l_{s,max} = 2(k \cdot c + \frac{1}{4} \frac{f_{ctm}}{\tau_{bms}} \frac{\phi_s}{\rho_{s,ef}}) \quad (2.4)$$

Trong đó: k tham số thực nghiệm để xác định ảnh hưởng của bê tông, đơn giản hoá $k=1$; c chiều dày lớp bảo vệ (được đo từ bề mặt của thanh cốt thép gần nhất với bề mặt bê tông [4]); τ_{bms} lực dính trung bình giữa bê tông và cốt thép $\tau_{bms} = 1.8f_{ctm}$ với tải trọng ngắn hạn; $\rho_{(s,ef)} = A_s / A_{(ct,ef)}$ ($A_{(ct,ef)}$ diện tích chịu kéo hiệu quả).

Theo nghiên cứu [4] khoảng cách giữa các vết nứt là một biến ngẫu nhiên có giá trị trung bình $s_{r,m} = \frac{2}{3} S_{r,max}$ và $s_{r,max} = 2l_{s,max}$. Tỷ số $s_{r,m} / S_{r,m}$ nằm trong khoảng (1.5 - 1.7). Hệ số này phụ thuộc vào hệ số biến đổi cường độ chịu kéo của bê tông.

3. Nghiên cứu thực nghiệm khoảng cách vết nứt của dầm bê tông nhẹ sử dụng hạt cốt liệu nhẹ tái chế cốt thép khi chịu uốn ở trạng thái giới hạn II

3.1. Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu

3.1.1. Bê tông

Cấp phối lựa chọn để tạo ra cường độ chịu nén (mẫu trụ) của bê tông khoảng 15 MPa, 20 MPa, 30 MPa tại 28 ngày tuổi lần lượt ký hiệu là M1, M2, M3. Nguồn gốc vật liệu gồm hạt cốt liệu nhẹ tái chế từ phế thải xây dựng được cung cấp bởi Viện Nghiên cứu Xây dựng ứng dụng Weimar- Cộng hoà liên bang Đức [8], cát vàng Sông Lô, xi măng Pooc lăng Vicem Bút Sơn PC40, phụ gia cuốn khí Placc-air và tro bay được khai thác từ nhà máy nhiệt điện Phả Lại. Thành phần cấp phối của bê tông được thể hiện trong Bảng 3.1 và Bảng 3.2

Mẫu dầm thí nghiệm gồm 07 mẫu dầm thí nghiệm (mỗi nhóm cấp phối bê tông nhẹ cốt liệu nhẹ tái chế (sau đây viết tắt là BTNCLNTC) tương ứng 02 mẫu dầm, bao gồm 03 nhóm có cùng cấp cường độ chịu nén tương ứng nhóm M1, M2 và M3 và 01 mẫu dầm cấp phối bê tông nặng thông thường (sau đây viết tắt là BTT) làm đối chứng) có cùng tiết diện 150x200mm và nhịp chịu tải là 2000mm.

Bảng 3.1. Cấp phối hỗn hợp bê tông nhẹ

STT	Tên CP	N/CKD	V_{CLN}/V_b	V_c/V_{CL}	FA (%)	SD (%)
1	M3	0.36	0.35	0.45	27.61%	1%
2	M2	0.36	0.31	0.45	27.61%	1%
3	M1	0.36	0.28	0.45	27.61%	1%

Bảng 3.1. Cấp phối bê tông nặng thông thường đối chứng

Cốt liệu	Mẫu cấp phối BTT
	1m ³
Ximăng PCB40 (kg)	380
Cát (kg)	760
Đá 1x2 (kg)	1080
Nước (lít)	178

Các đặc trưng cơ lý của các mẫu cấp phối BTNCLNTC lựa chọn được thể hiện trong Bảng 3.3, Bảng 3.4 và cường độ chịu nén của BTT thể hiện trong Bảng 3.5

Bảng 3.3. Tính chất cơ lý của các mẫu cấp phối lựa chọn

Tên mẫu	Tính chất cơ lý	Kích thước mẫu (cm)	Giá trị trung bình (MPa)	Hệ số biến động
Nhóm M1	f	Mẫu trụ 15x30	15.11	0.027
	f	Mẫu 10x10x40	2.91	0.04
	$f_{s,p}$	Mẫu trụ 15x30	1.73	0.02
	E	Mẫu trụ 15x30	12903	0.016
Nhóm M2	f	Mẫu trụ 15x30	21.11	0.012
	f	Mẫu 10x10x40	3.54	0.03
	$f_{s,p}$	Mẫu trụ 15x30	2.07	0.05
	E	Mẫu trụ 15x30	15591	0.031
Nhóm M3	f	Mẫu trụ 15x30	30.68	0.034
	f	Mẫu 10x10x40	4.17	0.03
	$f_{s,p}$	Mẫu trụ 15x30	2.48	0.03
	E	Mẫu trụ 15x30	17967	0.05

Bảng 3.4. Khối lượng thể tích bê tông nhẹ cốt liệu nhẹ tái chế

Tên mẫu	KLTT (hỗn hợp) (kg/m ³)	Hệ số biến động	KLTT (khô) (kg/m ³)	Hệ số biến động
Nhóm M1	1773	0.023	1715	0.047
Nhóm M2	1783	0.011	1762	0.019
Nhóm M3	1798	0.012	1775	0.016

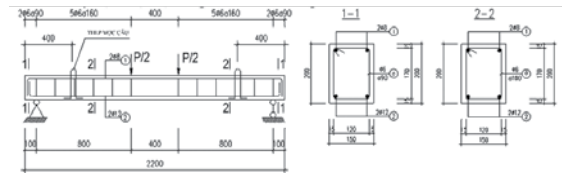
Bảng 3. 5. Cường độ chịu nén của bê tông thông thường

Mẫu cấp phối BTT	Tính chất cơ lý	Kích thước mẫu	Giá trị cường độ (MPa)	Giá trị trung bình (MPa)
M - 1	f_c	Mẫu trụ 15x30	31.87	34.00
M - 2	f_c	Mẫu trụ 15x30	37.29	
M - 3	f_c	Mẫu trụ 15x30	31.87	

3.1.2. Cốt thép

Cốt thép dùng trong thí nghiệm thép Thái Nguyên thuộc nhóm CB-300 V theo TCVN 1651-2-2018 [2] đối với đường kính $\phi 8$ và 12; thuộc nhóm CB-240 T theo TCVN 1651-1-2018 [3] đối với cốt đai có đường kính $\phi 6$.

Cốt thép dọc bố trí 2 12 (hàm lượng 0,75%). Cốt đai dầm được bố trí $\phi 6a$ 160 trên đoạn dài 800 mm gần gối tựa được tính toán đảm bảo dầm không phá hoại cắt trước khi dầm phá hoại uốn, trên đoạn giữa 2 lực tập trung, để đảm bảo uốn thuần túy, không bố trí cốt đai. Chiều dày lớp bảo vệ cốt thép dọc được lấy bằng 15 mm như trong Hình 3.1



Hình 3. 1. Cấu tạo cốt thép dầm thí nghiệm

Cốt thép có các đặc trưng cơ học như trong Bảng 3.6

Bảng 3. 6. Đặc trưng cơ học của cốt thép

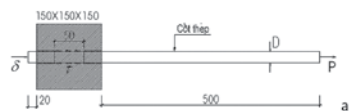
Nhóm thép	Mẫu thép	Đường kính thực (mm)	Giới hạn chảy (MPa)	Giới hạn bền (MPa)	Mô đun đàn hồi (MPa)
D12	3	12.11	440.0	552.6	210000
D8	3	8.05	356.4	527.4	210000
D6	3	6.02	240.2	305.5	210000

3.1.3. Chế tạo mẫu

Cốt liệu thành phần của hỗn hợp bê tông được cân theo khối lượng của cấp phối thiết kế. Các cốt liệu được trộn khô trong máy trộn cưỡng bức trong khoảng 3 phút để hỗn hợp khô đồng nhất. Sau đó tiến hành đổ từ từ nước và phụ gia vào và trộn trong máy. Trộn trong thời gian khoảng 5-7 phút để hỗn hợp vữa xi măng đạt độ dẻo. Sau đó ta cho cốt liệu hạt nhẹ vào trộn trong khoảng 5 phút. Trộn xong tiến hành cho hỗn hợp bê tông vào khuôn đúc mẫu, đầm và làm phẳng bề mặt đảm bảo chiều dày của bản bê tông.

3.2. Nghiên cứu thực nghiệm quan hệ lực dính - độ trượt bê tông nhẹ sử dụng hạt cốt liệu nhẹ tái chế

Xác định quan hệ giữa độ lớn của lực bám dính với chuyển vị trượt cốt thép (quan hệ bám dính – độ trượt) trong trường hợp kéo đúng tâm [9]. Mẫu thí nghiệm: Ứng với mỗi nhóm mẫu M1, M2, M3 chế tạo 03 mẫu lập phương có kích thước 150x150x150mm. Đặt thanh cốt thép đường kính $d = 12\text{mm}$ đi qua tâm mẫu thí nghiệm và song song với các cạnh của mẫu bê tông. Chiều dài tiếp xúc giữa thanh thép và bê tông được lấy bằng $5d$ (60mm). Việc chọn chiều dài tiếp xúc và trình tự thí nghiệm tuân thủ theo hướng dẫn của RILEM (Hiệp hội các phòng thí nghiệm cơ học và vật liệu thế giới (SNIP 2.03.01-84) [2]).

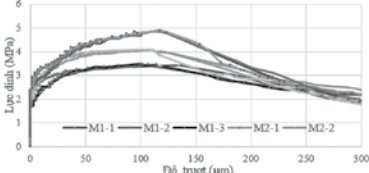


Hình 3. 2. Mô hình thí nghiệm lực dính - độ trượt



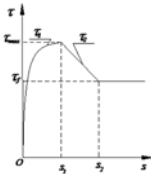
Hình 3. 5. Thiết bị thí nghiệm

Kết quả thí nghiệm thu được như sau:



Hình 3. 6. Biểu đồ quan hệ lực dính – độ trượt của bê tông tương ứng đến khi mẫu bị kéo tuột thép hoàn toàn tương ứng với 3 nhóm mẫu cấp phối BTNCLNTC M1; M2; M3

Theo kết quả nghiên cứu thực nghiệm có thể thấy biểu đồ quan hệ lực dính – độ trượt của BTNCLNTC tương ứng với 3 nhóm mẫu cấp phối có dạng như Hình 3.7



Trong đó, giá trị τ_{max} , τ_r tương ứng lần lượt lực dính đạt giá trị lớn nhất, lực dính tại thời điểm thép bị kéo tuột ra khỏi bê tông. Giá trị S_1 , là độ trượt tương ứng tại thời điểm đạt giá trị ứng suất dính τ_{max} và S_2 là độ trượt tương ứng tại thời điểm đạt giá trị ứng suất dính τ_r .

Giá trị lực dính dính trung bình được xác định theo công thức:

$$\tau = 1,60 \sqrt{\frac{2200}{\rho_c}} f_{ct} \quad (3.1)$$

Bảng 3. 6. Các giá trị lực dính τ theo khối lượng thể tích

Tên mẫu cấp phối	Khối lượng thể tích bê tông ρ (kg/m ³)	Giá trị ứng suất dính trung bình τ (MPa)
Nhóm mẫu M1	1715	$1,81 f_c$
Nhóm mẫu M2	1762	$1,80 f_c$
Nhóm mẫu M3	1775	$1,78 f_c$
Trung bình		$1,80 f_c$

Trong phạm vi nghiên cứu BTNCLNTC, có thể thấy, tỷ lệ của các nhóm mẫu bê tông nhẹ gần như tương đương nhau và có thể coi là một hằng số, có giá trị xấp xỉ bằng 1.8 và giá trị này tương đồng với giá trị lực và giá trị này tương đồng với giá trị lực dính trung bình τ theo tiêu chuẩn MC2010 [7] và EN1992-1-1 [1] khi tính chiều dài truyền lực giữa bê tông và cốt thép. Do đó, trong trường hợp nghiên cứu BTNCLNTC sử dụng tính khoảng cách giữa các vết nứt theo tiêu chuẩn MC2010 [7] và EN1992-1-1 [1] là phù hợp.

3.3. Thí nghiệm dầm bê tông nhẹ cốt liệu nhẹ tái chế chịu uốn

Sơ đồ thí nghiệm là dầm đơn giản, dầm được gia tải bằng 2 lực tập trung cách nhau 400mm (2 lần chiều cao dầm) nằm trên đoạn chính giữa dầm tạo nên đoạn dầm chịu uốn thuần túy.

Hệ khung gia tải là hệ khung thép, gắn cố định vào nền đất, được đặt vuông góc với mặt phẳng uốn của dầm thí nghiệm tại điểm chính giữa nhịp dầm. Dầm được kê tự do trên hai gối (1 gối di động, 1 gối cố định) theo sơ đồ dầm đơn giản.

Sau khi hoàn tất lắp dựng thí nghiệm, tiến hành gia tải lực tác dụng lên dầm bằng kích thủy lực. Trong quá trình gia tải, quan sát kỹ bề dầm để xác định thời điểm xuất hiện khe nứt. Gia tải theo các cấp tải thiết kế, tại mỗi cấp gia tải tiến hành vẽ chiều dài vết nứt tương ứng.



Hình 3. 7. Sơ đồ bố trí dụng cụ đo



Hình 3. 9. Lắp dựng dầm và thiết bị thí nghiệm

3.4 Kết quả nghiên cứu và bàn luận

Tương ứng với từng cấp tải, quan sát bằng mắt thường, vẽ các vết nứt tương ứng. Tiến hành đo khoảng cách các vết nứt trong khoảng dầm uốn thuần tuý (400 mm).

Bảng 3. 8. Khoảng cách trung bình giữa các vết nứt (đoạn chịu uốn thuần tuý 400mm) theo các cấp phối bê tông tương ứng

STT vết nứt	Nhóm M1 l _{cr} (cm)		Nhóm M2 l _{cr} (cm)		Nhóm M3 l _{cr} (cm)	
	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 1	Mẫu 2
1	7	7	7	8	8	8
2	7	8	7	8	8	8
3	8	8	8	8	10	7
4	8	7	8	7	7	8
TB mẫu	7.5	7.5	7.5	7.75	8.25	7.75
TB nhóm mẫu	7.50		7.63		8.00	

Từ kết quả thực nghiệm có thể thấy dầm BTNCLNTC xuất hiện các vết nứt sớm hơn so với BTT, điều này là do hạt CLNTC có cường độ chịu kéo thấp làm cho cường độ chịu kéo của BTNCLNTC thấp hơn so với bê tông thường.

Quan sát trong phạm vi toàn chiều dài dầm: Khoảng cách giữa các vết nứt trong dầm BTNCLNTC phân bố tương đối đều, các vết nứt trong dầm BTT chủ yếu tập trung ở khoảng vị trí giữa dầm, số lượng vết nứt ít hơn nhưng bề rộng lớn hơn, các vết nứt nhỏ xen kẽ các vết nứt lớn; trong khi các vết nứt trong dầm BTNCLNTC phân bố đều trong phạm vi toàn chiều dài dầm, bề rộng vết nứt nhỏ và các vết nứt phát triển tới gần vị trí gối tựa. Khi thép chảy, vết nứt hầu như không phát triển lên cao mà có xu hướng các vết nứt lan rộng ra các phần ở gối tựa. Kết quả thực nghiệm trên cho thấy dầm BTNCLNTC có ứng xử về nứt tương đối khác so với BTT.



Hình 3. 11. Phân bố các vết nứt trên dầm BTN và dầm BTT

Tính toán khoảng cách vết nứt lớn nhất theo tiêu chuẩn EN 1992-1-1; MC 2010 và TCVN 5574:2018 và so sánh với khoảng cách vết nứt trung bình xác định theo thực nghiệm được thể hiện trong Bảng 3.9 sau:

Bảng 3. 9. Bảng so sánh kết quả khoảng cách lớn nhất giữa các vết nứt theo lý thuyết tính toán và khoảng cách trung bình giữa các vết nứt theo thực nghiệm

Tên mẫu	S _m Thực nghiệm (mm)	S _{m ax} (mm)	S _{m ax} r _m (mm)	S _{m ax} - FIB (mm)	S _{m ax} r _m (mm)	S _{m ax} TCVN (mm)	S _{m ax} r _m (mm)
M1	75	122.08	1.63	144.87	2.11	199.115	2.65
M2	76.3	122.08	1.60	146.80	2.07	199.115	2.61
M3	80	122.08	1.53	147.47	1.98	199.115	2.49
TB			1.58		1.90		2.58

Từ kết quả so sánh cho thấy tỷ số giữa khoảng cách vết nứt lớn nhất tính theo tiêu chuẩn EN 1992-1-1; MC 2010 và TCVN 5574:2018 so với khoảng cách vết nứt trung bình (xác định theo thực nghiệm) lần lượt là 1.58; 1.90 và 2.58.

Có thể thấy, tỷ số giữa khoảng cách vết nứt lớn nhất tính theo tiêu chuẩn EN 1992-1-1 so với khoảng cách vết nứt trung bình theo thực nghiệm có giá trị 1.58 nằm trong khoảng (1.5 - 1.7) là tương đối phù hợp với nghiên cứu [4].

Do đó, trong trường hợp nghiên cứu khi tính khoảng cách lớn nhất của dầm BTNCLNTC (có cốt thép) khi chịu uốn theo trạng thái giới hạn II áp dụng công thức theo tiêu chuẩn EN 1992-1-1 [1] là phù hợp

4. Kết luận

Tỷ lệ giữa giá trị lực dính trung bình giữa BTN sử dụng CLNTC và cốt thép và cường độ chịu kéo của BTN sử dụng CLNTC $\overline{f_{ct}}$ là một giá trị hằng số, có giá trị xấp xỉ bằng 1.8 và giá trị này tương đồng với giá trị lực dính trung bình $\overline{\tau}$ theo tiêu chuẩn MC2010 [7] và EN1992-1-1 [1] khi tính chiều dài truyền lực giữa bê tông và cốt thép. Từ kết quả so sánh lý thuyết nghiên cứu và kết quả thực nghiệm cho thấy khi tính toán khoảng cách vết nứt lớn nhất tính theo tiêu chuẩn EN 1992-1-1 trong trường hợp dầm BTNCLNTC (có cốt thép) tại trạng thái giới hạn II là hoàn toàn phù hợp. Do đó, trong trường hợp nghiên cứu khi tính khoảng cách lớn nhất của dầm BTNCLNTC (có cốt thép) khi chịu uốn theo trạng thái giới hạn II áp dụng công thức theo tiêu chuẩn EN 1992-1-1 [1].

Tài liệu tham khảo:

1. EN 1992-1-1, Design of Concrete Structures: General Rules and Rules for Buildings and Structural Fire Design, Thomas Telford London, UK.

2. Evans R., H., Marathe M., S. (1968), Microcracking and Stress-Strain Curves for Concrete in Tension, Material and Structures (RILEM) 1(1): 61–64.

3. FIP Guidance documents - bulletin 8 (2000) Lightweight aggregate concrete - Recommended extensions to Model Code 90 Guide, Identification of research needs Technical report, Case studies State of art report.

4. Francis Barre, Philippe Bisch, Danièle Chauvel, Jacques Cortade, Jean-François Coste, Jean-Philippe Dubois, Silvano Erlicher, Etienne Gallitre, Pierre Labbé, Jacky Mazars, Claude Rospars, Alain Sellier, Jean-Michel Torrenti, François Toutlemonde (2016), "Control of Cracking in Reinforced Concrete Structures", Great Britain and the United States

5. Ivan Tomičić (2012), Analysis of lightweight aggregate concrete beams, GRAĐEVINAR 64 (2012) 10, 817-823

6. MC 1990, (1990) CEB-FIP model code 1990-design code, Conmited Euro-International du Béton.

7. MC 2010, (2010) CEB-FIP model code 2010-design code, Conmited Euro-International du Béton.

8. Nguyễn Hùng Phong (2016), Nghiên cứu chế tạo và ứng dụng hạt cốt liệu nhẹ từ phế thải phá dỡ công trình xây dựng dân dụng ở Việt Nam - NĐT.21.GER/16.

9. SNIP 2.03.01-84, Guidelines for Design of Concrete and reinforced concrete structures made of heavy - weight and light - weight concrete without reinforcement prestress.

10. TCVN 5574:2018, Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép.