

Nghiên cứu tính toán khoảng cách vết nứt dầm bê tông nhẹ sử dụng hạt cốt liệu nhẹ tái chế chịu uốn

Crack spacing calculation in reinforced concrete beam using recycled lightweight aggregates under flexure

> PGS.TS NGUYỄN HÙNG PHONG¹, THS LÊ NGỌC LAN²

¹Khoa XDDD và CN, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

²Khoa QLXD, Học viện Cán bộ Quản lý xây dựng và Đô thị.

TÓM TẮT

Công nghệ mới hiện nay cho phép chế tạo các hạt cốt liệu nhẹ từ phế thải phá dỡ công trình góp phần làm giảm đi việc sử dụng các nguyên liệu tự nhiên đang ngày càng cạn kiệt. Trong bài báo, nhóm các tác giả giới thiệu về nghiên cứu thực nghiệm dầm bê tông nhẹ sử dụng hạt cốt liệu nhẹ tái chế. Thí nghiệm kéo tuốt cốt thép được thực hiện để xác định lực dính giữa bê tông nhẹ và cốt thép. Sau đó, các mẫu dầm được thí nghiệm, đo khoảng cách vết nứt và so sánh với tính toán theo các tiêu chuẩn thông qua giá trị lực dính và cường độ chịu kéo của bê tông. Với kết quả tính toán so sánh đã đề xuất được tiêu chuẩn phù hợp để tính toán khoảng cách vết nứt đối với dầm bê tông nhẹ sử dụng cốt liệu tái chế.

Từ khoá: Bê tông nhẹ; hạt cốt liệu nhẹ tái chế; lực dính; khoảng cách vết nứt.

ABSTRACT

Advanced technologies have been developed to produce lightweight aggregate from construction and demolition wastes, which allow to reduce the use of the limited natural resources. In this paper, the authors present experimental research on lightweight concrete beams using this type of recycled lightweight aggregate. Pull-out tests were carried out to determine the bonding between lightweight concrete and steel. Then the beam specimens were tested, crack spacings were measured and compared with the calculation from different codes using bonding and tensile strength. Through the comparison, the appropriate code was proposed for calculating the crack spacing of lightweight concrete beam with recycled lightweight aggregate.

Keyword: Lightweight concrete; recycled lightweight aggregates; bonding; crack spacing.

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 quốc gia và các nhà khoa học quan tâm. Công nghệ mới hiện nay cho phép chế tạo các hạt cốt liệu nhẹ từ phế thải phá dỡ công trình xây dựng [8]. Điều này 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.

Trong bài báo này nhóm tác giả sử dụng hạt cốt liệu nhẹ sản xuất từ phế thải phá dỡ công trình xây dựng để chế tạo ra bê tông nhẹ có khối lượng thể tích từ 1400 - 1800 kg/m³ và cường độ chịu

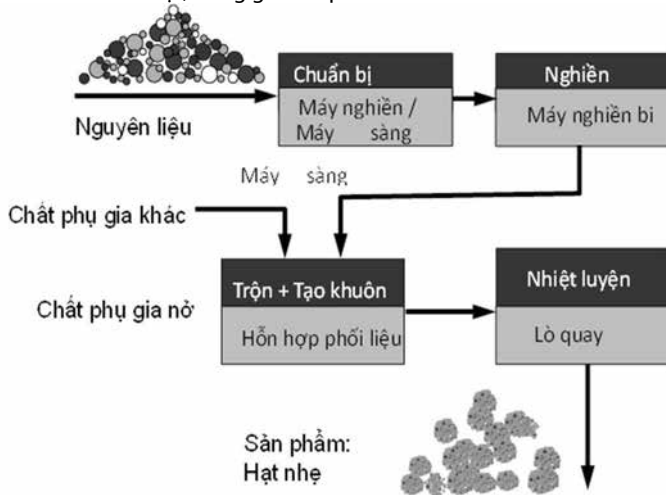
nén đạt từ 15 - 35 MPa. Vật liệu bê tông nhẹ được xác định lực dính để xem xét sự làm việc đồng thời với cốt thép. Sau đó, các dầm bê tông nhẹ cốt thép được chế tạo, thí nghiệm để đánh giá sự làm việc chịu uốn của dầm, dạng phá hoại và vết nứt. Từ đó, đề xuất ra công thức tính toán về khoảng cách vết nứt đối với loại dầm này.

2. VẬT LIỆU SỬ DỤNG TRONG NGHIÊN CỨU

2.1. Hạt cốt liệu nhẹ chế tạo từ phế thải phá dỡ công trình xây dựng

Cốt liệu nhẹ sử dụng trong nghiên cứu là sỏi nhân tạo chế tạo từ phế thải phá dỡ công trình (sau đây viết tắt là CLNTC từ PTXD). Hạt CLNTC sử dụng nguyên liệu từ phế thải xây dựng (sau đây viết tắt là PTXD) thường sử dụng các vật liệu PTXD như vữa xây - trát tường, gạch xây dựng, các nguyên liệu này được phân loại, nghiền mịn và được trộn theo một tỷ lệ phù hợp [8]. Các chất tạo nở như: CaCO₃, dầu nặng, SiC,... được sử dụng để tạo nở cho hạt. Quy trình công nghệ sản xuất sản phẩm hạt nhẹ từ các chất phế thải được thực hiện thông qua các bước sau [7]: nghiền mịn hỗn hợp các

chất phế thải đến độ mịn xác định; trộn hỗn hợp chất thải đã được nghiền mịn với các phụ gia khác và phụ gia nở; vê viên tạo hạt hỗn hợp phối liệu; nung chảy và gây nở hạt ở nhiệt độ cao; phân loại theo kích thước hạt; đóng gói sản phẩm.



Hình 2. 1. Quy trình công nghệ sản xuất sản phẩm hạt nhẹ từ PTXD

2.2. Bê tông nhẹ chế tạo từ hạt cốt liệu nhẹ

2.2.1. Cấp phối chế tạo

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.



Hình 2. 2. Mẫu hạt CLN tái chế từ PTXD

Thành phần cấp phối của bê tông được thể hiện trong Bảng 2. 1, trong đó N/CKD, V_{CLN}/V_b , V_c/V_{CL} lần lượt là tỷ lệ nước/chất kết dính, tỷ lệ thể tích cốt liệu nhẹ/thể tích bê tông, tỷ lệ thể tích cát/cốt liệu.

Bảng 2. 1. Cấp phối hỗn hợp bê tông nhẹ

STT	Tên cấp phối	N/CKD	V_{CLN}/V_b	V_c/V_{CL}	Tro bay (%)	Phụ gia siêu dẻo (%)
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%

2.2.2. Các tính chất cơ lý

Các đặc trưng cơ lý của các mẫu cấp phối bê tông nhẹ chất liệu nhẹ tái chế (BTNCLNTC) lựa chọn được thể hiện trong Bảng 2. 2, Bảng 2. 3, trong đó: f_c , f_r , $f_{ct,sp}$, E_c lần lượt là cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn, cường độ chịu kéo khi ép chế và mô đun đàn hồi của BTNCLNTC.

Bảng 2. 2. 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_c	Mẫu trụ 15x30	15.11	0.027
	$f_{ct,sp}$	Mẫu trụ 15x30	1.73	0.02
Nhóm M2	f_c	Mẫu trụ 15x30	21.11	0.012
	$f_{ct,sp}$	Mẫu trụ 15x30	2.07	0.05
Nhóm M3	f_c	Mẫu trụ 15x30	30.68	0.034
	$f_{ct,sp}$	Mẫu trụ 15x30	2.48	0.03

Bảng 2. 3. Khối lượng thể tích bê tông nhẹ cốt liệu nhẹ tái chế (gọi tắt là KLTT)

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

2.2.3. Thí nghiệm xác định lực dính - độ trượt của bê tông nhẹ sử dụng hạt cốt liệu nhẹ tái chế với cốt thép

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 $d = 12$ 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]).

Kết quả thí nghiệm thu được như Hình 2. 5 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 2. 6. Trong đó, giá trị τ_{max} , τ_f tương ứng lần lượt là 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_f . Các tham số s_1 , s_2 , τ_{max} , τ_f xác định từ kết quả thực nghiệm được thể hiện trong Bảng 2. 4. Có thể thấy, quan hệ lực dính - độ trượt của BTNCLNTC khác với bê tông nhẹ thông thường theo tiêu chuẩn CEB-FIP [3].

Mô hình đề xuất được thể hiện bằng ba phần, thể hiện độ bám chắc của vật liệu BTNCLNTC với cốt thép. Đường cong đạt đỉnh tại giá trị τ_{max} tương ứng với giá trị độ trượt rất nhỏ s_1 . Sau đó là sự suy giảm đột ngột, không duy trì giá trị τ_{max} trong một khoảng giá trị trượt như đối với bê tông nặng và bê tông nhẹ thông thường. Thông qua kết quả thực nghiệm, xác định giá trị lực dính dựa trên độ lớn của đoạn trượt như sau:

$$\text{Với } 0 \leq s \leq s_1 \text{ thì } \tau = \tau_1 = \tau_{max}(s/s_1)^{0.2} \quad (2.1)$$

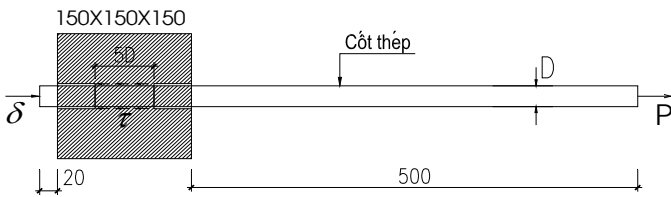
$$\text{Với } s_1 < s \leq s_2 \text{ thì } \tau = \tau_2 = \tau_{max} - (\tau_{max} - \tau_f) \left(\frac{s-s_1}{s_2-s_1} \right) \quad (2.2)$$

$$\text{Với } s_2 < s \text{ thì } \tau = \tau_f \quad (2.3)$$

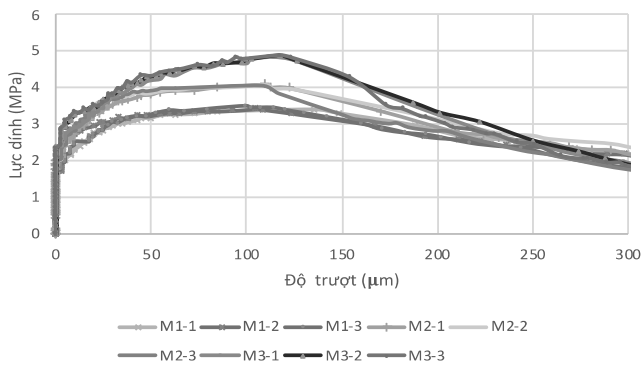
Trong đó giá trị $\tau_{max} = 0.88\sqrt{f_c}$; $\tau_f = 0.62\tau_{max}$; $s_1 = 0.109$ (mm); $s_2 = 0.245$ (mm)



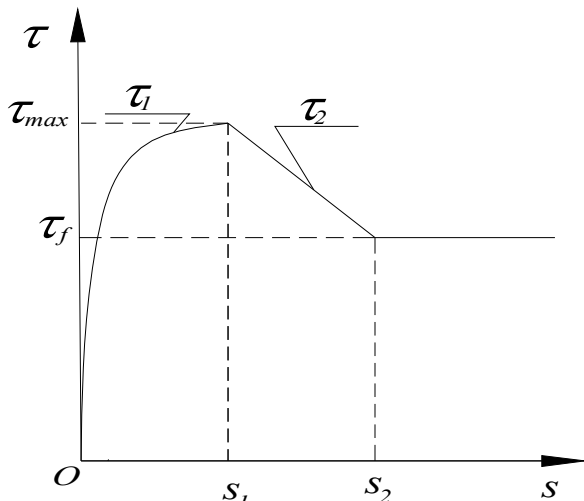
Hình 2.3. Thiết bị thí nghiệm



Hình 2.4. Mô hình thí nghiệm kéo xác định độ bám dính giữa bê tông và cốt thép



Hình 2.5. Biểu đồ quan hệ lực dính - độ trượt của bê tông tương ứng đến khi mẫu bị kéo tuột hoàn toàn tương ứng với 3 nhóm mẫu cấp phối BTNLNTC M1; M2; M3



Hình 2.6. Quan hệ lực dính - độ trượt BTNLNTC

Bảng 2. 4. Bảng giá trị s_1 , s_2 , τ_{max} , τ_f , τ_{ph} xác định từ kết quả thực nghiệm tương ứng

Mẫu	τ_{max} (N/mm ²)	τ_f (N/mm ²)	S_1 (mm)	S_2 (mm)
M1-1	3.41	2.36	0.100	0.272
M1-2	3.43	2.36	0.105	0.244
M1-3	3.50	2.36	0.100	0.244
Mẫu M1 TB	3.44	2.41	0.102	0.253
M2-1	4.09	2.56	0.110	0.250
M2-2	4.08	2.53	0.110	0.250
M2-3	4.08	2.53	0.108	0.250
Mẫu M2 TB	4.08	2.47	0.109	0.250
M3-1	4.85	2.68	0.115	0.233
M3-2	4.87	2.68	0.118	0.233
M3-3	4.88	2.74	0.118	0.230
Mẫu M3 TB	4.86	2.70	0.117	0.232
TB			0.109	0.245

Xác định giá trị lực dính trung bình $\bar{\tau}$ dựa trên giá trị lực dính trung bình $\bar{\tau}_1$ và $\bar{\tau}_2$ (trong đó: $\bar{\tau}_1$ giá trị lực dính trung bình xác định trong giai đoạn ứng suất dính tăng từ 0 tới đạt giá trị τ_{max} và $\bar{\tau}_2$ giá trị lực dính trung bình xác định trong giai đoạn ứng suất dính giảm từ giá trị τ_{max} tới giá trị τ_f):

$$\bar{\tau} = \frac{\bar{\tau}_1 \cdot s_1 + \bar{\tau}_2 \cdot (s_2 - s_1)}{s_2} \quad (2.4)$$

$$\text{Với: } \bar{\tau}_1 = \frac{\int_0^{s_1} \tau_1(s) ds}{s_1 - 0}; \quad \bar{\tau}_2 = \frac{\int_{s_1}^{s_2} \tau_2(s) ds}{s_2 - s_1}$$

Thông qua biến đổi toán học, xác định được giá trị lực dính trung bình theo công thức: $\bar{\tau} = 1.60 \sqrt{\frac{2200}{\rho_c}} f_{ct}$ (2.5)

Giá trị lực dính trung bình của BTNLNTC của nhóm mẫu M1, M2 và M3 tương ứng theo khối lượng thể tích được thể hiện trong Bảng 2. 5. Trong phạm vi nghiên cứu BTNLNTC, có thể thấy, tỷ lệ $\bar{\tau}/f_{ct}$ 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.

Bảng 2. 5. Các giá trị lực dính $\bar{\tau}$ theo khối lượng thể tích

Tên mẫu cấp phối	Khối lượng thể tích bê tông ρ_c (kg/m ³)	Giá trị ứng suất dính trung bình $\bar{\tau}$ (MPa)
Nhóm mẫu M1	1715	$1.81 f_{ct}$
Nhóm mẫu M2	1762	$1.80 f_{ct}$
Nhóm mẫu M3	1775	$1.78 f_{ct}$
Trung bình		$1.80 f_{ct}$

3. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ỨNG XỬ UỐN CỦA DẪM BÊ TÔNG NHẸ

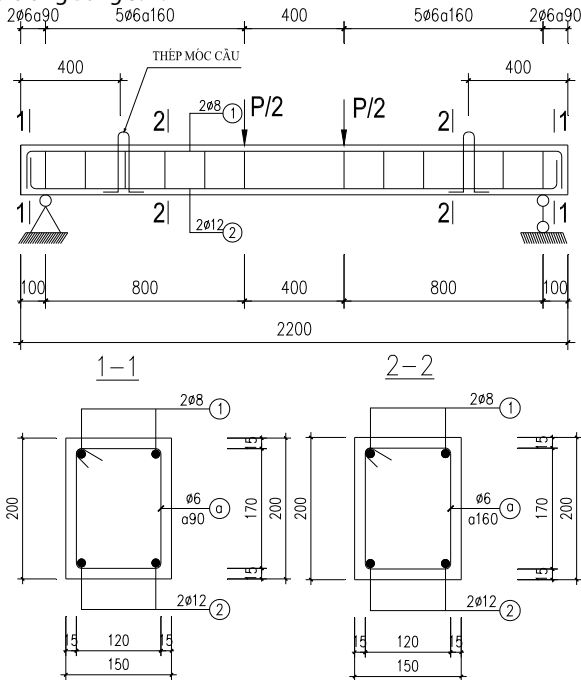
3.1. Mẫu thí nghiệm

Mẫu dầm thí nghiệm gồm 07 mẫu dầm thí nghiệm (mỗi nhóm cấp phối BTNLNTC 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 150x200 mm và nhịp chịu tải là 2000 mm.

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

Cốt thép dọc bố trí 2 ϕ 12 (hàm lượng 0,75%). Cốt đai dầm được bố trí ϕ 6 a160 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. Cốt thép có các đặc trưng cơ học như trong Bảng 3. 1.



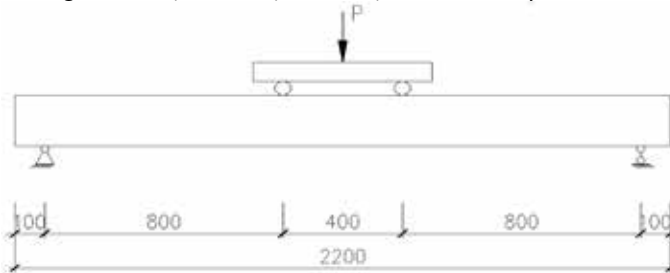
Hình 3. 1. Cấu tạo cốt thép dầm thí nghiệm

Bảng 3. 1. Đặc trưng cơ học của cốt thép

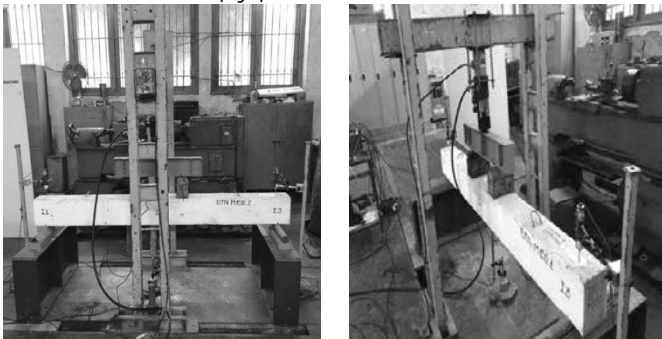
Nhóm thép	Mẫu thép	Đường kính thực (mm)	Giới hạn chảy (MPa)	Giới hạn bền (MPa)
D12	3	12.11	440.0	552.6
D8	3	8.05	356.4	527.4
D6	3	6.02	240.2	305.5

3.2. Thí nghiệm mẫu dầm

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



Hình 3. 2. Sơ đồ bố trí dụng cụ đo



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

3.3. Kết quả thí nghiệm và bàn luận

Kết quả thí nghiệm các mẫu dầm bê tông thường và bê tông nhẹ cốt liệu tái chế cho thấy các thông số về độ võng và khả năng chịu lực của dầm bê tông nhẹ không khác biệt nhiều so với dầm bê tông thông thường. Khác biệt rõ rệt nhất thể hiện qua dạng vết nứt của các mẫu dầm ở trạng thái phá hoại.

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 túy (400 mm).

Bảng 3. 2. Khoảng cách trung bình giữa các vết nứt (đoạn chịu uốn thuần túy 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	7.1	7.2	6.9	8.2	8.3	7.9
2	6.9	7.8	7.8	7.8	8.0	7.5
3	7.9	8.2	8.2	8.1	9.7	7.5
4	8.0	6.9	7.1	6.9	7.0	8.1
TB mẫu	7.48	7.53	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: các dầm BTNCLNTC có các mức cấp phối khác nhau nhưng khoảng cách giữa các vết nứt tương đối đồng đều thể hiện như trong Bảng 3. 2. Điều này cũng được thể hiện thông qua tỷ số $\frac{\tau}{f_{ct}} \approx 1.8$ khá tương đồng ở các mức cấp phối khác nhau như đề cập ở trên.

Trong dầm BTT các vết nứt 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, khoảng cách giữa các vết nứt nhỏ và vết nứt lớn là không đồng đều. Ở giai đoạn cuối, trong dầm BTT các vết nứt nhỏ không phát triển mà chỉ tập trung phát triển ở các vết nứt lớn và gây phá hoại dầm, do đó, rất khó để xác định khoảng cách trung bình giữa các vết nứt. 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. 4. Phân bố các vết nứt trên dầm BTN và dầm BTT

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_s , và phần bê tông chịu kéo chưa nứt được thay thế bằng diện tích chịu kéo hiệu quả $A_{ct,ef}$. 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.

Bảng 3. 3. 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	$S_{r,m}$ Thực nghiệm	$S_{r,max}^{EC2}$	$\frac{S_{r,max}}{S_{r,m}}$	$S_{r,max}^{CEB-FIB}$	$\frac{S_{r,max}}{S_{r,m}}$	$S_{r,max}^{TCVN}$	$\frac{S_{r,max}}{S_{r,m}}$
	(mm)	(mm)		(mm)		(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

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

$$l_{s,max} = \alpha_1 \frac{c}{2} + \alpha_2 \frac{f_{ct}}{2\tau_b} \frac{\Phi}{\rho} \quad (3.1)$$

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

$$l_{s,max} = k \cdot c + \frac{1}{4} \frac{f_{ctm}}{\tau_{bms}} \frac{\Phi_s}{\rho_{s,ef}} \quad (3.2)$$

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

Trong phạm vi nghiên cứu BTNCLNTC, tỷ lệ $\bar{\tau}/f_{ct}$ 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 dính trung bình $\bar{\tau}$ 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.

Tính toán khoảng cách vết nứt lớn nhất theo tiêu chuẩn EN 1992-1-1 [1]; MC 2010 [7] và TCVN 5574:2018 [10] và so sánh với khoảng cách vết nứt trung bình xác định theo thực nghiệm được thể hiện trong *bảng 3.3*.

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

Từ nghiên cứu thực nghiệm về vật liệu bê tông nhẹ và dầm bê tông nhẹ sử dụng cốt liệu nhẹ tái chế có thể đưa ra các kết luận sau:

Bê tông nhẹ cốt liệu nhẹ tái chế có lực dính tốt với cốt thép. Với các cấp phối bê tông nhẹ chế tạo trong nghiên cứu thực nghiệm

này, tỷ số 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 $\bar{\tau}/f_{ct}$ là tương đối ổn định, có giá trị xấp xỉ bằng 1.8.

Ở trạng thái phá hoại, các dầm BTN có vết nứt với khoảng cách đồng đều, vết nứt không phát triển sâu lên phía bê tông vùng nén và có xu hướng phát triển dần ra phía hai đầu dầm. Kết quả tính toán khoảng cách vết nứt lớn nhất theo tiêu chuẩn EN 1992-1-1 trong trường hợp dầm BTNCLNTC (cốt thép) cho giá trị phù hợp với kết quả thực nghiệm. Vì vậy, với dầm BTNCLNTC trong trường hợp hợp nghiên cứu, kiến nghị sử dụng tiêu chuẩn EN 1992-1-1 để tính toán khoảng cách vết nứt của dầm khi chịu uốn.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn Bộ Giáo dục và Đào tạo đã cấp kinh phí để thực hiện nghiên cứu thông qua đề tài khoa học B2021-XDA-06.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- EN 1992-1-1, *Design of Concrete Structures: General Rules and Rules for Buildings and Structural Fire Design*, Thomas Telford London, UK.
- Evans R., H., Marathe M., S. (1968), *Microcracking and Stress-Strain Curves for Concrete in Tension, Material and Structures (RILEM)* 1(1): 61–64.
- 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.
- 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
- Ivan Tomić. (2012), *Analysis of lightweight aggregate concrete beams*, GRADEVINAR 64 (2012) 10, 817-823
- MC 1990, (1990) *CEB-FIP model code 1990-design code*, Conmite Euro-International du Beton.
- MC 2010, (2010) *CEB-FIP model code 2010-design code*, Conmite Euro-International du Beton.
- 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*.
- 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*.
- TCVN 5574:2018, *Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép*.