

Nghiên cứu thực nghiệm mô hình quan hệ ứng suất - biến dạng của vật liệu bê tông nhẹ sử dụng hạt cốt liệu nhẹ tái chế từ phế thải xây dựng

Experimental study on the material model of the stress - strain relationship of lightweight concrete using lightweight aggregates from construction and demolition wastes

> TS LÊ NGỌC LAN

Bộ môn XDDD&CN, Trường Đại học Công nghệ giao thông vận tải

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 giảm sử dụng các nguyên liệu tự nhiên đang ngày càng cạn kiệt. Trong bài báo, tác giả giới thiệu về nghiên cứu thực nghiệm quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông nhẹ sử dụng hạt cốt liệu tái chế từ phế thải xây dựng. Từ kết quả nghiên cứu, đề xuất mô hình tính toán biểu đồ quan hệ giữa ứng suất - biến dạng áp dụng trong tính toán mô hình dầm bê tông. Mô hình quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông nhẹ cốt liệu nhẹ tái chế vùng nén đề xuất có dạng đường thẳng với biến dạng cực hạn $\varepsilon_{cu2} \approx 0.0031$. Thông qua kết quả thực nghiệm và mô phỏng số dầm bê tông nhẹ đơn giản chịu uốn thuần túy cho thấy mối quan hệ tải trọng - độ võng có sự thống nhất về ứng xử chịu uốn của dầm bê tông nhẹ cốt liệu nhẹ tái chế cốt thép khi đều trải qua các giai đoạn như đàn hồi chưa nứt, sau khi nứt và giai đoạn tiến đến trạng thái phá hoại. Đường cong quan hệ tải trọng - độ võng trong các mẫu dầm theo thực nghiệm và theo mô phỏng số tương đối gần nhau và đồng dạng. Độ võng của dầm được phân tích trong mô phỏng số so với thực nghiệm có độ chênh lệch trung bình là 4%. Điều này chứng tỏ rằng mô hình quan hệ ứng suất - biến dạng đã đề xuất cho vật liệu bê tông nhẹ cốt liệu nhẹ tái chế là phù hợp.

Từ khóa: Bê tông nhẹ; hạt cốt liệu nhẹ tái chế; dầm bê tông cốt thép chịu uốn; ứng suất - biến dạng; tải trọng - độ võng.

ABSTRACT

Advanced technologies have been developed to produce lightweight aggregates from construction and demolition waste, helping to reduce the use of limited natural resources. In this paper, the author presents an experimental study on the material model of the stress-strain relationship of lightweight concrete beams using recycled lightweight aggregates. Based on the study, a material model is proposed for the stress-strain relationship diagram applied in the analysis of concrete beams. The stress-strain relationship of recycled lightweight concrete is proposed as a linear stress-strain relation with an ultimate strain value of $\varepsilon_{cu2} \approx 0.0031$. The experimental and simulation software results on the flexural behavior of beams using recycled lightweight aggregates under short-term loading show that the load-deflection relationship develops through four stages: uncracked elastic, post-cracking, and approaching the failure state. The load-deflection curves obtained from experimental tests and simulation software are relatively close and similar. The deflection analyzed in simulation software compared to experimental results shows a deviation of 4%. This demonstrates that the proposed stress-strain relationship model for recycled lightweight aggregate concrete is appropriate.

Keywords: Lightweight concrete; recycled lightweight aggregate; reinforced concrete beams under flexure; stress-strain; load-deflection.

1. GIỚI THIỆU

Với tốc độ công nghiệp hoá nước ta diễn ra nhanh chóng, trung bình hàng năm, mỗi đô thị có thêm hàng ngàn nhà ở của các hộ dân và hàng trăm công trình công cộng được xây dựng, tương ứng với đó, mỗi năm có hàng vạn m^3 rác thải xây dựng được thải ra không được xử lý gây ô nhiễm môi trường.

Bên cạnh đó, bê tông nhẹ là một loại vật liệu xây dựng đang rất phát triển hiện nay và được sử dụng phổ biến trong xây dựng cơ bản ở nhiều nước tiên tiến trên thế giới và trong khu vực. Chúng được sử dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau: các kết cấu chính trong công trình dân dụng như khung, sàn, tường,... cũng như các cấu kiện đúc sẵn phục vụ kiến trúc công trình xây dựng. Tuy nhiên, ở Việt Nam đã chế tạo được bê tông nhẹ nhưng cường độ còn thấp

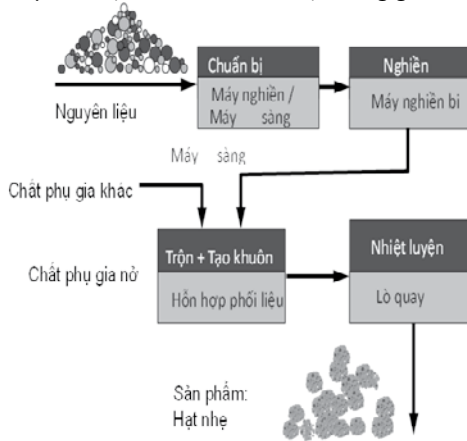
và chủ yếu ứng dụng là các cấu kiện phục vụ kiến trúc, cách âm, cách nhiệt,...

Bê tông nhẹ sử dụng hạt cốt liệu nhẹ sản xuất từ phế thải phá dỡ công trình xây dựng là một trong các loại vật liệu mới có khả năng đạt cường độ cao và có thể áp dụng cho các cấu kiện chịu lực chính của công trình. Chính vì thế, trong bài báo này tác giả đã nghiên cứu thực nghiệm mô hình quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông nhẹ sử dụng hạt cốt liệu nhẹ tái chế từ phế thải xây dựng.

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

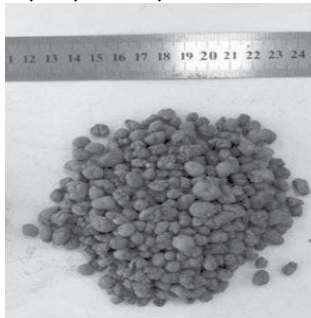
Cốt liệu nhẹ sử dụng trong nghiên cứu là sỏi nhân tạo chế tạo từ phế thải phá dỡ công trình (viết tắt là CLNTC). Hạt CLNTC sử dụng nguyên liệu từ phế thải xây dựng (viết tắt là PTXD) thường sử dụng các vật liệu PTXD như vữa xây - trát tường, gạch xây dựng, các nguyên liệu này được phân loại, nghiền mịn và được trộn theo một tỷ lệ phù hợp [1]. Các chất tạo nở như: CaCO_3 , 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 [1]: 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; vên 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. 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 CLNTC từ PTXD được cung cấp bởi Viện Nghiên cứu Xây dựng ứng dụng Weimar - Cộng hòa liên bang Đức [1], 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 CLNTC 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 và bê tông thường

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%

Lựa chọn cấp phối bê tông nặng có cường độ mẫu trụ chịu nén ở 28 ngày khoảng 30 MPa làm mẫu đối chứng thí nghiệm. Cấp phối hỗn hợp bê tông nặng thông thường được thể hiện trong Bảng 2. 2

Bảng 2. 2. 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

2.3. Tính chất cơ lý

Các đặc trưng cơ lý của các mẫu cấp phối bê tông nhẹ cốt liệu nhẹ tái chế (viết tắt là BTNCLNTC) lựa chọn được thể hiện trong Bảng 2. 3, Bảng 2. 4, 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 chẻ và mô đun đàn hồi của BTNCLNTC. Bảng 2. 5 là cường độ chịu nén của bê tông thông thường.

Bảng 2. 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_c	Mẫu trụ 15x30	15.11	0.027
	f_r	Mẫu 10x10x40	2.91	0.04
	$f_{ct,sp}$	Mẫu trụ 15x30	1.73	0.02
	E_c	Mẫu trụ 15x30	12903	0.016
Nhóm M2	f_c	Mẫu trụ 15x30	21.11	0.012
	f_r	Mẫu 10x10x40	3.54	0.03
	$f_{ct,sp}$	Mẫu trụ 15x30	2.07	0.05
	E_c	Mẫu trụ 15x30	15591	0.031
Nhóm M3	f_c	Mẫu trụ 15x30	30.68	0.034
	f_r	Mẫu 10x10x40	4.17	0.03
	$f_{ct,sp}$	Mẫu trụ 15x30	2.48	0.03
	E_c	Mẫu trụ 15x30	17967	0.05

Bảng 2. 4. 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

Bảng 2. 5. Thí nghiệm cường độ chịu nén của bê tông thông thường

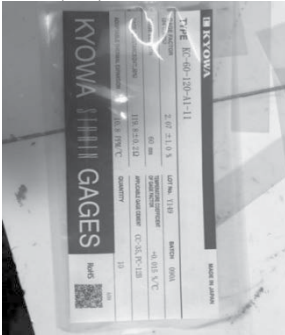
Mẫu cấp phối BTT	Tính chất cơ lý	Kích thước mẫu	Giá trị cường độ (MPa)	Giá trị trung bình (MPa)
M - 1	f_c	Mẫu trụ 15x30	31.87	34.00
M - 2	f_c	Mẫu trụ 15x30	37.29	
M - 3	f_c	Mẫu trụ 15x30	31.87	

3. QUAN HỆ TẢI TRỌNG - ĐỘ VỒNG CỦA DẦM BTNTC TỪ PTXD KHI CHỊU UỐN

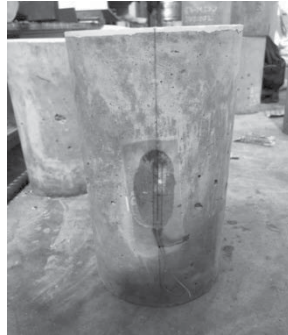
3.1. Nghiên cứu thực nghiệm quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông nhẹ sử dụng hạt CLNTC

3.1.1. Mô hình thí nghiệm

Khảo sát mô hình quan hệ ứng suất - biến dạng bê tông theo tiêu chuẩn ASTM C469 [4]. Mẫu thí nghiệm sử dụng mỗi một cấp phối tương ứng M1; M2; M3 gồm 3 viên mẫu trụ có kích thước 15 x 30 cm. Trình tự thí nghiệm tuân thủ theo tiêu chuẩn ASTM C469 [4]. Sử dụng máy nén thủy lực SANS 3000, đo biến dạng của mẫu bằng 02 tem điện trở Strain gauges đặt đối xứng, chiều dài chuẩn đo $L_0 = 60\text{mm}$. Các đầu đo của tem điện trở và dụng cụ đo lực điện tử Load cell được kết nối với bộ xử lý số liệu Data - Logger SDA 3830 C. Giá tải lực đến khi mẫu bị nén vỡ. Thí nghiệm tại phòng thí nghiệm Công trình - Đại học GTVT.



Hình 3.1. Tem điện trở đo biến dạng bê tông



Hình 3.2. Hệ thống điều chỉnh tải trọng và tốc độ nén (theo chuyển vị và lực)



Hình 3.3. Sử dụng máy nén thủy lực SANS 3000



Hình 3.4. Data logger ghi, xử lý dữ liệu



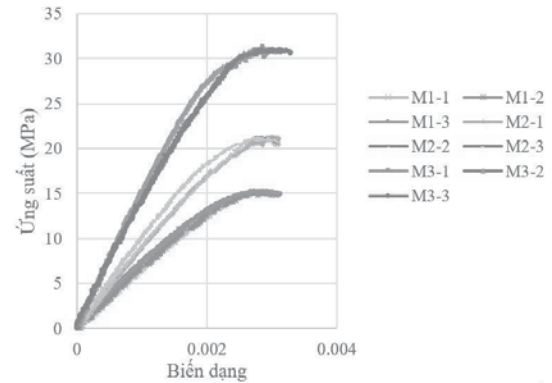
Hình 3.5. Giá tải đến khi mẫu thí nghiệm bị phá hoại

3.1.2. Kết quả thí nghiệm và đề xuất mô hình quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông nhẹ sử dụng hạt CLNTC

Kết quả thí nghiệm là cường độ nén của mẫu bị nén phá hoại và biểu đồ quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông khi chịu nén.



Hình 3.6. Thí nghiệm đến khi mẫu bị nén vỡ phá hoại



Hình 3.7. Biểu đồ quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông tương ứng với 3 nhóm mẫu M1, M2, M3

Bảng 3.1. Trị số thực nghiệm biến dạng ε_{c1} của BTNCLNTC khi chịu nén

Mẫu	M1-1	M1-2	M1-3	M2-1	M2-2	M2-3	M3-1	M3-2	M3-3
$f_{c,i}$ (MPa)	15.13	15.18	15.02	21.00	21.20	20.95	30.70	30.64	30.78
$f_{c(TB)}$ (MPa)	15.11			21.05			30.71		
$\varepsilon_{c1,i}$	0.0027	0.0028	0.0027	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028
ε_{c1}	0.0027			0.0028			0.0028		

Kết quả thí nghiệm quan hệ ứng suất - biến dạng tương ứng trên các mẫu của 3 nhóm cường độ BTNCLNTC tương ứng với 3 nhóm mẫu M1, M2, M3 được thể hiện biểu đồ Hình 3.7. Các đường cong ứng suất - biến dạng của các mẫu trong cùng 1 cấp cường độ có sự đồng nhất. Tính đến thời điểm mẫu thí nghiệm bị ép vỡ thì biểu đồ này chia thành 2 giai đoạn: giai đoạn đầu gần như là đường thẳng cho đến cấp ứng suất khoảng 85% cường độ, khi ứng suất càng lớn gần đạt đỉnh thì biểu đồ chuyển dần sang dạng đường cong khi biến dạng tăng nhanh hơn do sự phát triển biến dạng dẻo của bê

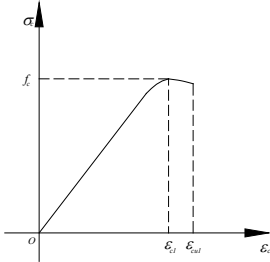
tông. Sau khi đạt đỉnh thì ứng suất trong mẫu bê tông đột ngột bị phá hoại. So sánh giữa các nhóm cường độ bê tông thì biến dạng ε_{c1} khi mẫu bê tông đạt đỉnh ứng suất trước khi bị ép vỡ thì không có sự chênh lệch đáng kể ($\varepsilon_{c1} \approx 0,0028$).

Có thể thấy, giá trị biến dạng $\varepsilon_{c1} \approx 0,0028$ của BTNCLNTC nhỏ hơn so với giá trị đề nghị biến dạng cực hạn của BTN theo tiêu chuẩn ACI 213R-87 [5] ($\varepsilon_{c1} = 0,003$) và tiêu chuẩn EN 1992-1-1 [7] ($\varepsilon_{c1} = k f_{cm} / E_{tc1} \left(\frac{\rho}{2200} \right)^2$).

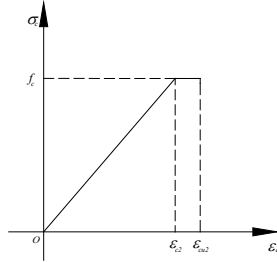
Dựa trên các mô hình quan hệ ứng suất - biến dạng của BTNCLNTC và các đặc trưng biến dạng của BTNCLNTC từ kết quả thực nghiệm, kết hợp so sánh với một số đề xuất của các nghiên cứu trước đây, mô hình quan hệ ứng suất - biến dạng của BTNCLNTC được nghiên cứu và đề xuất như sau:

Quy luật quan hệ ứng suất - biến dạng của vật liệu được thiết lập cần phản ánh đúng ứng xử của vật liệu trong các giai đoạn tương ứng với các thông số đặc trưng được xác định từ thực nghiệm như giá trị đỉnh ứng suất f_c (tương ứng với cường độ của vật liệu) và biến dạng tương ứng ε_{c1} , biến dạng cực hạn ε_{cu1} . Theo các kết quả nghiên cứu [8] và kết quả nghiên cứu thực nghiệm đã chỉ ra rằng mối quan hệ ứng suất - biến dạng đối với BTN sử dụng CLNTC tuyến tính hơn và giòn hơn so với bê tông nặng thông thường: giai đoạn đầu gần như là đường thẳng cho đến cấp ứng suất khoảng 85% cường độ, khi ứng suất càng lớn gần đạt đỉnh thì biểu đồ chuyển dần sang dạng đường cong và sau khi ứng suất đạt đỉnh thì bê tông đột ngột bị phá hoại. Do đó, từ kết quả nghiên cứu thực nghiệm, biểu đồ quan hệ ứng suất - biến dạng của BTNCLNTC thể hiện như Hình 3. 8. Trong đó giá trị biến dạng ứng với ứng suất đỉnh đạt giá trị $\varepsilon_{c1} = 0.0028$. Giá trị biến dạng cực hạn ứng với trạng thái mẫu phá hoại hoàn toàn ε_{cu1} tương đối gần với giá trị ε_{c1} do BTN có tính giòn cao và phá hoại sớm ngay sau khi đạt cường độ.

Từ các kết quả nghiên cứu theo lý thuyết và theo thực nghiệm vật liệu BTNCLNTC giòn và tuyến tính, đề xuất quan hệ ứng suất - biến dạng BTNCLNTC có dạng 2 đoạn thẳng.



Hình 3.8. Biểu đồ quan hệ ứng suất - biến dạng của BTNCLNTC

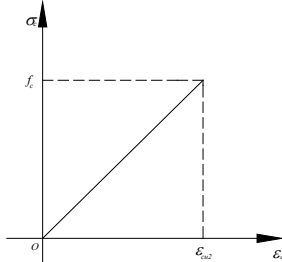


Hình 3.9. Biểu đồ quan hệ ứng suất - biến dạng của BTNCLNTC dạng 2 đoạn thẳng

Giá trị biến dạng ứng với ứng suất đỉnh ε_{c2} : theo kết quả nghiên cứu thực nghiệm, đề xuất giá trị biến dạng ứng với ứng suất đỉnh $\varepsilon_{c2} = 0.0028$.

Giá trị biến dạng cực hạn ε_{cu2} rất gần với giá trị ε_{c2} , tuy nhiên trong điều kiện thí nghiệm, khi mẫu phá hoại hoàn toàn, không đo được chính xác giá trị của biến dạng cực hạn ε_{cu2} . Do đó, giá trị biến dạng cực hạn này được lấy theo giá trị quy định trong tiêu chuẩn châu Âu EN 1992-1-1 [7] cho bê tông nhẹ, lấy bằng $0,0035\eta_1$; trong đó $\eta_1 = (0.4 + 0,6\rho)/2200$; trong phạm vi nghiên cứu BTNCLNTC của đề tài thì $\varepsilon_{cu2} = 0.0031$. Giá trị này gần với $\varepsilon_{c2} = 0.0028$ là phù hợp với quan sát trong thí nghiệm - mẫu phá hoại hoàn toàn ngay sau khi ứng suất đạt đỉnh.

Nhận thấy giá trị ε_{c2} và ε_{cu2} tương đối gần nhau (chênh lệch dưới 10%), do đó, để đơn giản trong tính toán, sai số không đáng kể, đề xuất mô hình tính toán quan hệ ứng suất - biến dạng BTNCLNTC có dạng 1 đoạn thẳng như Hình 3. 10, với giá trị cực hạn là $\varepsilon_{cu2} \approx 0.0031$.



Hình 3.10. Biểu đồ quan hệ ứng suất - biến dạng của BTNCLNTC đề xuất

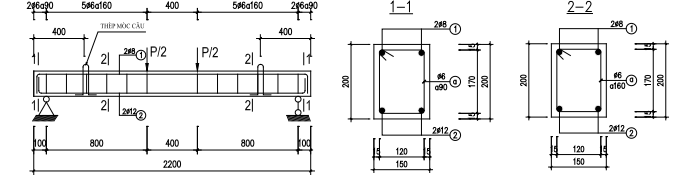
3.2. Nghiên cứu thực nghiệm quan hệ tải trọng - độ võng của dầm BTNTC từ PTXD khi chịu uốn thuần tuý

3.2.1. Mẫu thí nghiệm

Mẫu dầm thí nghiệm gồm 07 mẫu dầm thí nghiệm (mỗi nhóm cấp phối 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 BTT làm đối chứng) có cùng tiết diện 150×200 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 [3] đối với đường kính $\phi 8$ và 12; thuộc nhóm CB-240 T theo TCVN 1651-1-2018 [2] đối với cốt đai có đường kính $\phi 6$.

Cốt thép dọc bố trí 2 $\phi 12$ (hàm lượng 0,75%). Cốt đai dầm được bố trí $\phi 6$ 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 tuý, không bố trí cốt đai. Chiều dày lớp bảo vệ cốt thép dọc được lấy bằng 15 mm như trong Hình 3. 11. Cốt thép có các đặc trưng cơ học như trong Bảng 3. 2.



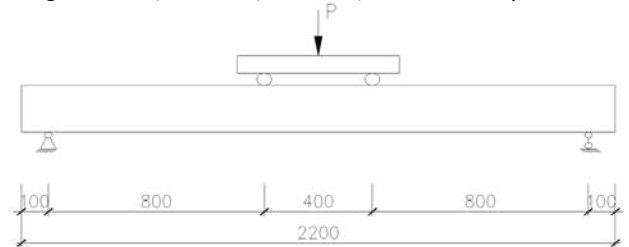
Hình 3.11. Cấu tạo cốt thép dầm thí nghiệm

Bảng 3. 2. Đặc trưng cơ học của cốt thép

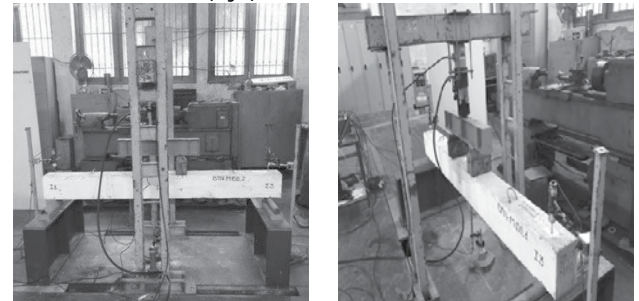
Nhóm thép	Mẫu thép	Đường kính thực (mm)	Giới hạn chảy (MPa)	Giới hạn bền (MPa)
D12	3	12.11	440.0	552.6
D8	3	8.05	356.4	527.4
D6	3	6.02	240.2	305.5

3.2.2. 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 tuý.



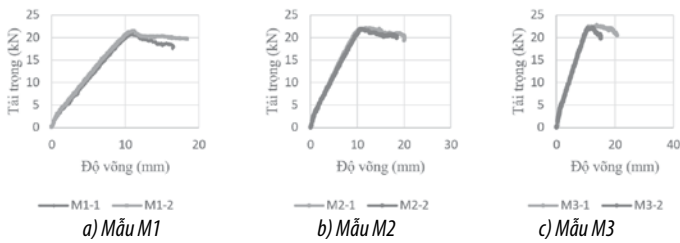
Hình 3.12. Sơ đồ bố trí dụng cụ đo



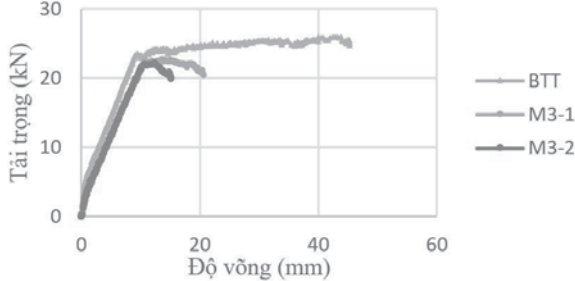
Hình 3.13. Lắp dựng dầm và thiết bị thí nghiệm

3.2.3. Kết quả nghiên cứu

Từ các số liệu đo đạc thực nghiệm, xác định được các biểu đồ quan hệ tải trọng - độ võng dầm tương ứng với từng mẫu cấp phối như hình sau:



Hình 3.14. Biểu đồ quan hệ tải trọng - độ võng dầm bê tông cốt thép tương ứng với nhóm dầm M1; M2; M3



Hình 3.15. Biểu đồ quan hệ tải trọng - độ võng dầm bê tông cốt thép giữa các nhóm dầm M3; BTT

Đường cong quan hệ tải trọng - độ võng được mô phỏng như Hình 3.16. Có thể thấy rằng đường cong được đặc trưng bởi 4 phần đoạn rõ ràng khác nhau được phân tách bằng 4 điểm đặc trưng diễn ra từ khi bắt đầu chịu tải cho đến khi dầm bị phá hoại. 4 điểm đặc trưng này là các điểm A, B, C và D lần lượt là các thời điểm: bắt đầu hình thành khe nứt, thép bắt đầu chảy, tiết diện đạt giá trị tải trọng lớn nhất về khả năng chịu lực và thời điểm dầm bị phá hoại do bê tông vùng nén bị ép vỡ.

Hai điểm A và B được xác định tại thời điểm độ dốc của đường cong thay đổi (bị giảm); C được xác định tại thời điểm tải trọng thay đổi; D thời điểm bê tông vùng nén bị ép vỡ. Giữa hai thời điểm, đường cong được coi gần đúng là đường thẳng. Tại điểm D tương tự như BTT thông thường khi dầm bị phá hoại dẻo, xảy ra phá huỷ do sự phá hoại của bê tông vùng nén.

Bảng 3.3. Các giá trị mô men và độ võng tương ứng

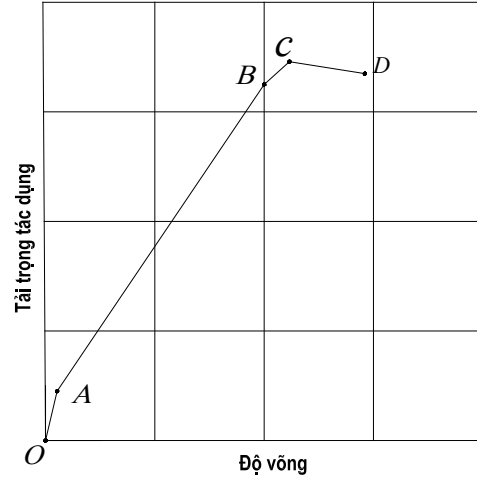
(M_{cr} ; M_s ; M_u ; Δ_{cr} ; Δ_s ; Δ_u tương ứng là giá trị mô men kháng nứt; mô men chảy dẻo và mô men giới hạn và giá trị độ võng tương ứng tại thời điểm đạt trị lần lượt là mô men kháng nứt, mô men dẻo và mô men giới hạn)

Tên mẫu	M_{cr} (kN.m)	Δ_{cr} (mm)	M_s (kN.m)	Δ_s (mm)	M_u (kN.m)	Δ_u (mm)
M1-1	2.000	0.66	15.875	10.035	16.675	10.875
M1-2	2.039	0.74	16.395	10.035	17.115	10.965
Trung bình mẫu M1	2.02	0.70	16.14	10.04	16.90	10.92
M2-1	2.559	0.920	16.595	9.450	17.715	11.950
M2-2	2.719	0.950	15.795	9.325	17.515	10.790
Trung bình mẫu M2	2.64	0.94	16.20	9.39	17.62	11.37
M3-1	3.199	1.200	16.595	9.520	18.154	13.64
M3-2	3.240	1.170	16.355	9.490	17.835	12.30
Trung bình mẫu M3	3.22	1.19	16.48	9.51	18.00	12.97
Mẫu BTT đối chứng	4.04	0.67	18.48	8.63	20.75	42.75

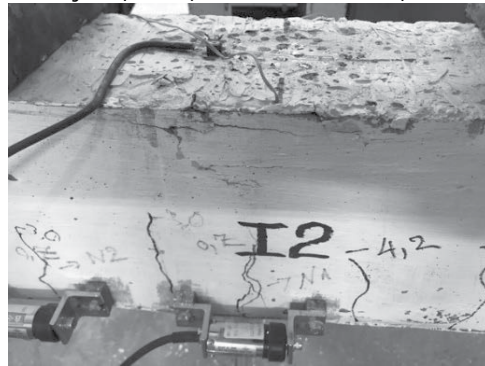
3.3. Nghiên cứu mô phỏng số quan hệ tải trọng - độ võng của dầm BTNTC từ PTXD khi chịu uốn

Tác giả mô phỏng mô hình số thông qua sử dụng phần mềm Response-2000 [9] được Evan Cbentz và Micheal P.Collins viết năm 2000 bằng ngôn ngữ lập trình C++, đây là một trong 4 bộ phần mềm (gồm Response-2000; Membrane-2000; Triax-2000 và Shell-2000). Trong đó Response-2000 dùng để khảo sát dầm, cột còn các phần mềm khác để khảo sát bản, phần tử khối 3D dựa trên lý thuyết miền

Các dầm BTNTC được thử nghiệm đều phát triển tương tự tại các giai đoạn. Tuy nhiên, sự xuất hiện của các thời điểm A,B,C và D khác nhau và mức độ của mỗi nhánh của đường cong phụ thuộc vào độ lớn tương đối của các tham số được khảo sát đối với các cấp phối khác nhau.



Hình 3.16. Các giai đoạn làm việc của dầm BTNTC khi chịu uốn

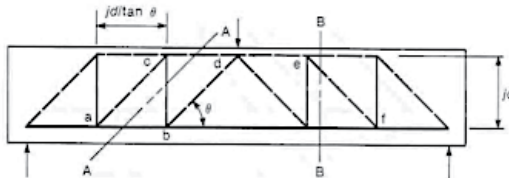


Hình 3.17. Mẫu dầm bị phá hoại tại bê tông vùng nén

nén cải tiến MCFT (Modified Compression Field Theory). Các phần mềm này nằm trong nội dung của luận án tiến sỹ "Sectional analysis of reinforced concrete member"- Phân tích tiết diện của các cấu kiện bê tông cốt thép của Evan C.Bentz tại Trường ĐH Toronto-Canada.

3.3.1. Lý thuyết sử dụng phần mềm

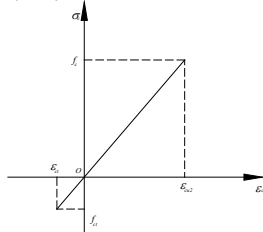
Lý thuyết miền nén CFT (Compression Field Theory) [10] được đề xuất bởi Mitchell và Collins vào năm 1974. Lý thuyết này cơ bản dựa trên mô hình giàn với các thanh xiên nghiêng 45° .



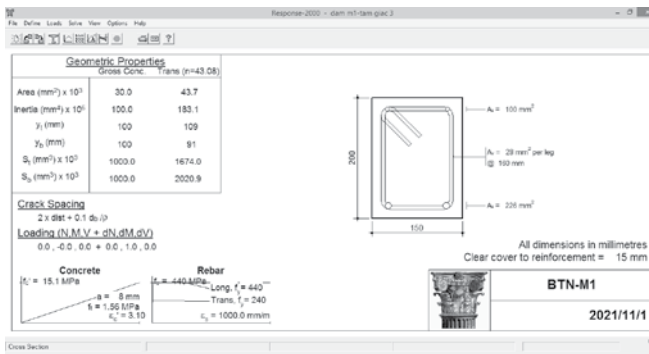
Hình 3.18. Mô hình đàn với góc nghiêng 45°

Các phương pháp đánh giá khả năng chịu cắt của dải bê tông chịu nén nghiêng giữa các vết nứt gọi là lý thuyết miền nén (MCFT). Vấn đề cơ bản trong lý thuyết miền nén là xác định góc nghiêng θ . Lý thuyết miền nén cải tiến MCFT (Vecchio và Collins 1986) [10] là sự phát triển của lý thuyết miền nén CFT, có kể tới ảnh hưởng của ứng suất kéo trong vùng bê tông bị nứt. Khi nứt, ứng suất cắt truyền qua vết nứt thông qua cốt thép liên kết vết nứt, miền là cốt thép không chảy. Bê tông giữa vết nứt được coi là hiệu quả sau đó. Ứng suất cục bộ trong cả bê tông và cốt thép sẽ khác biệt từ điểm này đến điểm khác trong vùng bê tông bị nứt, với ứng suất cốt thép cao nhưng ứng suất kéo của bê tông thấp tại các điểm nứt.

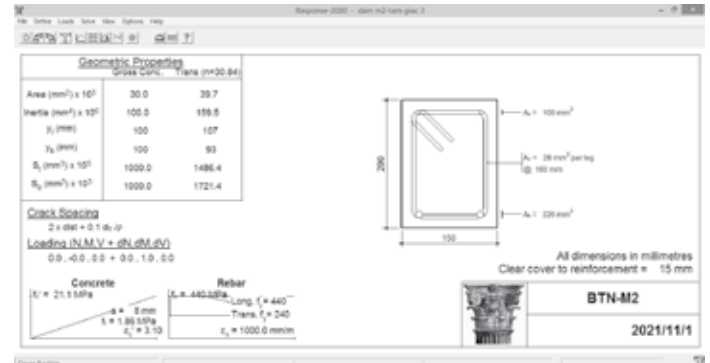
3.3.2. Mô hình vật liệu bê tông và cốt thép



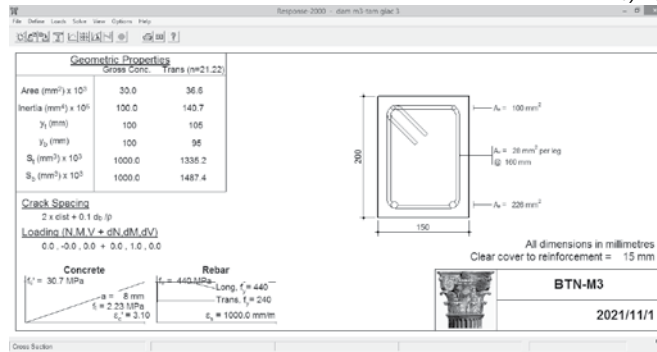
Hình 3.19. Mô hình quan hệ ứng suất - biến dạng BTNCLNTC



a) Mẫu dầm M1



b) Mẫu dầm M2



c) Mẫu dầm M3

Hình 3.21. Số liệu đầu vào dầm BTNCLNTC nghiên cứu

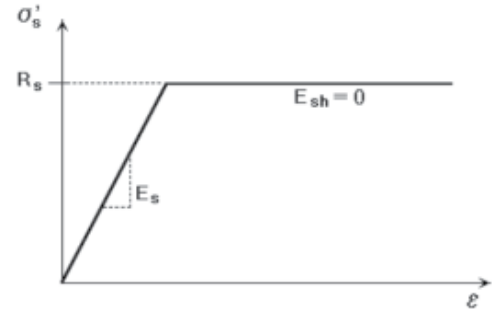
Kết quả chương trình mô phỏng được thể hiện trong Hình 3. 22

3.4. Kiểm chứng, so sánh kết quả nghiên cứu theo mô phỏng số Response 2000 và theo kết quả nghiên cứu thực nghiệm

So sánh kết quả mô phỏng số và kết quả thực nghiệm về mối quan hệ tải trọng - độ võng cho thấy sự thống nhất về ứng xử chịu

Theo kết quả nghiên cứu được trình bày ở phần trên, sử dụng mô hình quan hệ ứng suất - biến dạng BTNCLNTC có dạng như sau:

Trong trường hợp nghiên cứu BTNCLNTC để xuất sử dụng mô hình biểu đồ quan hệ giữa ứng suất - biến dạng dạng 1 đoạn thẳng với biến dạng cực hạn $\varepsilon_{cu2} \approx 0.0031$ như đã đề xuất ở phần trên. Đối với cốt thép, thiên về an toàn, sử dụng mô hình đàn hồi - dẻo lý tưởng.

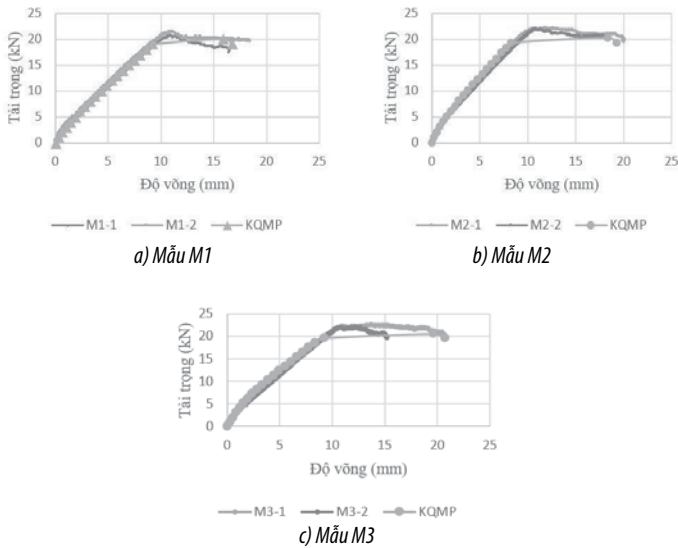


Hình 3.20. Mô hình quan hệ ứng suất - biến dạng cốt thép

3.3.3. Mô phỏng số dầm bê tông nhẹ sử dụng hạt CLNTC nghiên cứu

Sử dụng phần mềm Response-2000 để mô phỏng ứng xử chịu uốn của dầm BTNCLNTC cốt thép. Chi tiết thiết kế của các dầm BTNCLNTC sử dụng trong mô phỏng bao gồm kích thước tiết diện dầm, chi tiết bố trí cốt thép dọc chịu lực và cốt thép đai, tải trọng tác dụng và dạng tải trọng được trình bày trên Hình 3. 11.

Hình 3. 21 trình bày số liệu đầu vào của dầm cho vật liệu bê tông và cốt thép cho dầm BTNCLNTC được thể hiện trên hình tương ứng.



Hình 3.22. Quan hệ tải trọng và độ võng theo phương pháp thực nghiệm và theo phương pháp mô phỏng phần mềm

Bảng 3. 4. Bảng so sánh kết quả độ võng theo phương pháp mô phỏng phần mềm và theo phương pháp thực nghiệm

Tên mẫu	Tải trọng tương ứng (kNm)	Độ võng Δ_{MP} (Mô phỏng số) (mm)	Độ võng Δ_{TN} (Thực nghiệm) (mm)	Sai số
M1	P_{cr}	0.75	0.7	7%
	P_s	9.29	10.04	8%
M2	P_{cr}	0.91	0.94	3%
	P_s	8.34	9.39	13%
M3	P_{cr}	1.16	1.19	3%
	P_s	9.22	9.51	3%
TB				4%

Có thể thấy, độ võng của dầm được phân tích trong mô phỏng số so với thực nghiệm có độ chênh lệch từ 3% đến 13% cho các nhóm dầm, trung bình là 4%. Điều này chứng tỏ rằng: quan hệ ứng suất - biến dạng cho vật liệu BTNCLNTC là phù hợp.

4. KẾT LUẬN

Thông qua nghiên cứu thực nghiệm về quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông CLNTC, và kiểm chứng thông qua mô hình thực nghiệm và mô phỏng số dầm bê tông nhẹ cốt thép sử dụng BTNCLNTC đơn giản chịu uốn thuần túy cho thấy: Quan hệ ứng suất - biến dạng của BTNCLNTC thể hiện tính giòn, giai đoạn đầu gần như là đường thẳng tới cấp ứng suất khoảng 85% cường độ, khi ứng suất càng lớn gần đạt đỉnh thì biểu đồ chuyển dần sang dạng đường cong. Sau khi đạt đỉnh ứng suất, mẫu bê tông bị phá hoại đột ngột. Ứng suất cực hạn của BTNCLNTC khi chịu nén đúng tâm đạt $\varepsilon_{c1} \approx 0,0028$;

Trong trường hợp nghiên cứu BTNCLNTC để xuất sử dụng mô hình biểu đồ quan hệ giữa ứng suất - biến dạng 1 đoạn thẳng với biến dạng cực hạn $\varepsilon_{cu2} \approx 0.0031$.

Từ kết quả mô phỏng số và thực nghiệm cho thấy mối quan hệ tải trọng - độ võng có cùng ứng xử khi chịu uốn đối với dầm BTNCLNTC cốt thép, đều trải qua các giai đoạn như đàn hồi chưa nứt, sau khi nứt và giai đoạn tiến đến trạng thái phá hoại. Đường cong quan hệ tải trọng - độ võng trong các mẫu dầm theo thực nghiệm và theo mô phỏng số tương đối gần nhau và đồng dạng. Độ võng của dầm được phân tích trong mô phỏng số so với thực

ngiem có độ chênh lệch trung bình là 4%. Do đó, có thể thấy: mô hình quan hệ ứng suất - biến dạng đã đề xuất cho vật liệu BTNCLNTC là phù hợp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. 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.
2. TCVN 1651-1:2018, *Thép cốt bê tông - Phần 1: Thép thanh tròn trơn*
3. TCVN 1651-2:2018, *Thép cốt bê tông - Phần 2: Thép thanh vân*
4. ASTM C469-94, *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression in Annual book of ASTM standards*, Annual book of ASTM standard.
5. ACI 213R-87, *Guide for structural lightweight aggregate concrete*, American Concrete Insititute.
6. FIP State of Art Report - bulletin 4 (1999) *Lightweight aggregate concrete - Codes and standards*
7. EN 1992-1-1 (2004), *Eurocode 2: Design of Concrete Structures - Part 1-1 General Rules and Rules for buildings*
8. Clarke J. L. (2005), *Strutural Lightweight Aggregate Concrete*, Blackie Academic & Professional.
9. User Manual Response 2000, Shell 2000, Triax 2000, Membrane 2000.
10. Vecchio, F.J. and Collins, M.P., "The Modified Compression Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear", ACI Journal, Proceedings V. 83 No. 2, March-April 1986, pp. 219-231.