



EFFECT OF RECYCLED AGGREGATE CONTENT FROM BURNT CLAY BRICKS AND WASTE CONCRETE ON MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH STRENGTH CONCRETE

Pham Dinh Huy Hoang¹, Nguyen Thanh Sang^{1*}, Vu Ba Duc²

¹Faculty of Construction Engineering, University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

²Faculty of Civil Engineering, University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 8/7/2020

Revised: 3/9/2020

Accepted: 9/9/2020

Published online: 28/10/2020

<https://doi.org/10.47869/tcsj.71.8.6>

* *Corresponding author*

Email: nguyenthanhsang@utc.edu.vn; Tel: 0983316711

Abstract.

This paper presents the effect of recycled aggregate content from fired clay bricks and waste concrete on compressive strength, splitting tensile strength, static elastic modulus of high strength concrete. The seven mixtures were used with 0 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, and 100 % recycled aggregate instead of nature aggregate by weight. The compressive and compressive strength were tested at 3, 7, 28 days, and static elastic modulus was tested at 28 days. The slump of concrete mixture ranges from 9-16 cm, decrease to 3-12,2 cm after 30 minutes and 1-7,8 cm after 60 minutes. Compressive strength reaches from 46,1-65,3 MPa, splitting tensile strength reaches from 2,75-3,76 MPa, elastic modulus reaches from 23-36 GPa. The results show that when increasing the recycled aggregate content, the mechanical properties of high-strength concrete tend to decrease.

Keywords: recycled concrete, recycled aggregate, fired clay bricks, high strength concrete.



ẢNH HƯỞNG CỦA HÀM LƯỢNG CỐT LIỆU TÁI CHẾ TỪ GẠCH ĐẤT SÉT NUNG VÀ BÊ TÔNG PHẾ THẢI ĐẾN TÍNH CHẤT CƠ HỌC CỦA BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO

Phạm Đình Huy Hoàng¹, Nguyễn Thanh Sang^{1*}, Vũ Bá Đức²

¹Khoa Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

²Khoa Công trình, Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 8/7/2020

Ngày nhận bài sửa: 3/9/2020

Ngày chấp nhận đăng: 9/9/2020

Ngày xuất bản Online: 28/10/2020

<https://doi.org/10.47869/tcsj.71.8.6>

* Tác giả liên hệ

Email: nguyenthanhsang@utc.edu.vn; Tel: 0983316711

Tóm tắt. Bài báo này trình bày về ảnh hưởng của hàm lượng cốt liệu tái chế từ gạch đất sét nung và bê tông phế thải đến cường độ chịu nén, cường độ chịu ép chệch, mô đun đàn hồi tĩnh của bê tông cường độ cao. Bảy cấp phối sử dụng trong nghiên cứu với hàm lượng cốt liệu tái chế thay thế cốt liệu tự nhiên là 0%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 100% theo khối lượng. Cường độ chịu nén và ép chệch được thí nghiệm ở tuổi 3, 7, 28 ngày, mô đun đàn hồi tĩnh được thí nghiệm ở tuổi 28 ngày. Độ sụt của hỗn hợp bê tông từ 9-16cm, suy giảm còn 3-12,2cm sau 30 phút và 1-7,8cm sau 60 phút. Cường độ chịu nén đạt được từ 46,1-65,3MPa, cường độ chịu ép chệch từ 2,75-3,76MPa, mô đun đàn hồi từ 23-36GPa. Các kết quả cho thấy khi tăng hàm lượng cốt liệu tái chế, các tính chất cơ học của bê tông cường độ cao có xu hướng giảm.

Từ khóa: bê tông tái chế, cốt liệu tái chế, gạch đất sét nung, bê tông cường độ cao.

© 2020 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Công nghiệp bê tông tiêu thụ một lượng lớn năng lượng và nguyên liệu thô. Một khối lượng lớn bê tông phế thải sau khi phá dỡ các công trình xây dựng. Để đáp ứng được xu hướng phát triển xây dựng bền vững, việc tái chế chất thải rắn xây dựng (CTRXD) nói chung và bê tông nói riêng là cần thiết, việc sử dụng cốt liệu tái chế (CLTC) để thay thế một phần

hoặc hoàn toàn cốt liệu tự nhiên trong sản xuất bê tông có tầm quan trọng trong lĩnh vực xây dựng và có ý nghĩa kinh tế, môi trường.

Cốt liệu tái chế thường được sử dụng làm vật liệu san lấp, làm móng hoặc bê tông mặt trong các công trình đường không yêu cầu chất lượng cao mà ít được sử dụng để chế tạo bê tông sử dụng trong các kết cấu chịu lực do có cường độ không cao, cũng như sự suy giảm chất lượng theo thời gian bởi sự khác biệt giữa cốt liệu tái chế và cốt liệu tự nhiên (CLTN). Độ rỗng của CLTC cao hơn so với CLTN do hàm lượng vữa bao quanh cốt liệu và chất lượng của bê tông thô. Hàm lượng vữa trong CLTC từ 25-60% theo khối lượng, cốt liệu tái chế mịn thường có hàm lượng vữa cao hơn do tác động từ quá trình sản xuất [1]. Cấu trúc lỗ rỗng làm CLTC có độ hút nước lớn [2], điều này gây ra hiện tượng tổn thất tính công tác lớn của bê tông tái chế cũng như ảnh hưởng trực tiếp đến vùng chuyển tiếp của bê tông [3].

Có nhiều báo cáo đã trình bày các nghiên cứu về tính chất cơ học của bê tông tái chế (BTTC), các kết quả chỉ ra rằng có thể sử dụng CLTC lên đến 100% để thay thế CLTN [4,5,6], cường độ chịu nén của BTTC thường từ 25-50MPa [7,8,9,10], đã có các nghiên cứu về bê tông cường độ cao sử dụng CLTC, cường độ chịu nén có thể đạt trên 55MPa [4,5,11,12,13] tuy nhiên các cốt liệu tái chế sử dụng thường không lẫn tạp chất như gạch, sành, sứ, nhựa... Các nghiên cứu về bê tông tái chế sử dụng cốt liệu từ bê tông lẫn gạch nung trên thế giới đã được thực hiện nhưng cường độ đạt từ 20-40MPa [14,15,16]. Một số nghiên cứu chế tạo bê tông tái chế đạt được cường độ chịu nén ~50MPa như nghiên cứu của J. Yang, Q. Du và Y. Bao (2011) [17] sử dụng cốt liệu lớn tái chế từ gạch nung và bê tông phế thải với 2 hàm lượng gạch là 20%, 50%, cường độ chịu nén đạt được từ 43-48MPa, cường độ ép chẻ từ 2,77-2,9MPa. Nghiên cứu của C. Zheng và các cộng sự (2018) [18] sử dụng 2 loại cốt liệu lớn tái chế là 100% cốt liệu bê tông tái chế và 100% gạch nung với hàm lượng thay thế cốt liệu tự nhiên ở mỗi loại từ 25-100%, cường độ chịu nén đạt được từ 48-51MPa. Với thực tế ở Việt Nam hiện nay, CTRXD không được phân loại rõ ràng dẫn tới CLTC thường lẫn nhiều tạp chất, phần lớn trong đó là gạch đất sét nung, hàm lượng từ 10-30%, điều này gây khó khăn trong việc chế tạo các loại bê tông tái chế có cường độ cao

Bài báo trình bày về ảnh hưởng của hàm lượng cốt liệu tái chế từ gạch đất sét nung và bê tông phế thải đến một số tính chất cơ học của bê tông cường độ cao. Bầy cấp phối được sử dụng trong nghiên cứu với hàm lượng CLTC thay thế CLTN là 0%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 100% theo khối lượng.

2. VẬT LIỆU SỬ DỤNG VÀ THÀNH PHẦN CẤP PHỐI

2.1. Chất kết dính

Xi măng Vicem PC40 Bút Sơn cỡ hạt trung bình (CHTB) 16,1 μ m (TCVN 2682: 2009), tro bay Vũng Áng CHTB 26,5 μ m (TCVN 10302:2014), xỉ lò cao nghiền mịn S95 Hòa Phát CHTB 12,2 μ m phù hợp tiêu chuẩn TCVN 11586:2016. Thành phần hóa học của vật liệu xi măng và chất kết dính phụ thêm được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần hóa học của vật liệu chất kết dính.

CKD	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	MnO	TiO ₂	Cl ⁻	MKN
Xi măng	63,56	21,49	3,49	5,4	1,4	0,7	0,15	1,65	-	-	-	1,2
Tro bay	4,27	53,88	6,7	21,82	1,45	3,4	0,67	0,2	0,08	0,4	0,001	6,27
Xỉ lò cao	31,35	31,5	3,7	16,74	7,44	0,83	0,01	0,56	-	-	-	-

2.2. Cốt liệu

Cát tái chế (Cát TC) và đá tái chế (Đá TC) $D_{max}=12,5mm$ được nghiền từ gạch đất sét nung và bê tông ở bãi nghiền Pháp Vân của công ty Toàn Cầu. Hàm lượng gạch có trong đá tái chế là 31,2%, được xác định thông qua phương pháp phân tách thủ công bằng tay với 10 mẫu thử ngẫu nhiên, mỗi mẫu thử 2kg cốt liệu. Cát sông (Cát TN) và đá vôi (Đá TN) cũng được sử dụng trong nghiên cứu này. Thành phần hạt và các chỉ tiêu cơ lý của cốt liệu phù hợp tiêu chuẩn ASTM C33, được trình bày ở Hình 1, Hình 2 và Bảng 2, thành phần hóa của cốt liệu tái chế được trình bày ở Bảng 3.

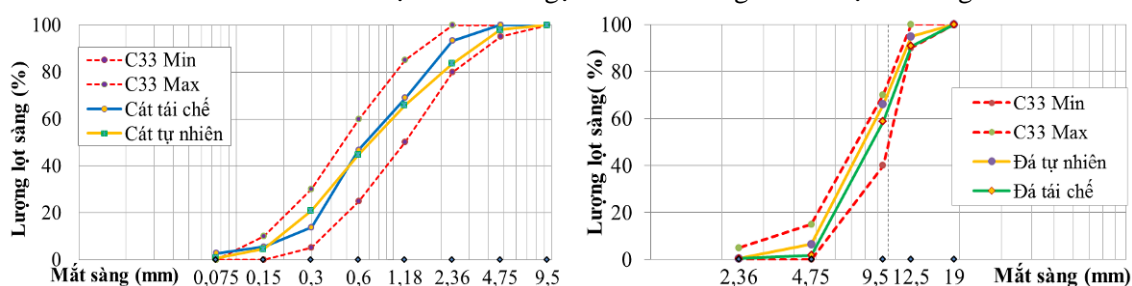


a. Cát tái chế



b. Đá tái chế

Hình 1. Cốt liệu tái chế từ gạch đất sét nung và cốt liệu bê tông.



a. Đường cong cấp phối thành phần hạt của cát

b. Đường cong cấp phối thành phần hạt của đá

Hình 2. Đường cong cấp phối thành phần hạt của cốt liệu theo ASTM C33.

Bảng 2. Chỉ tiêu cơ lý của cốt liệu.

STT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Cát TC	Cát TN	Đá TC	Đá TN
1	Khối lượng riêng	g/cm^3	2,539	2,627	2,606	2,730
2	Khối lượng thể tích khô	g/cm^3	1,940	2,495	2,127	2,617
3	Khối lượng thể tích bão hòa nước	g/cm^3	2,176	2,593	2,310	2,621
4	Khối lượng thể tích xốp	%	1,244	1,460	1,053	1,420
5	Khối lượng thể tích lèn chặt hoàn toàn khô	g/cm^3	1,489	1,775	1,338	1,710
6	Mô đun độ mịn		2.647	2.636	-	-
7	Tạp chất	%	-	-	1,03	-
8	Độ hút nước sau 5 phút	%	7,11	0,71	7,24	0,48
9	Độ hút nước sau 30 phút	%	10,23	0,81	7,44	0,52
10	Độ hút nước sau 60 phút	%	10,40	0,94	7,92	0,66
11	Độ hút nước sau 24h	%	12,15	1,22	8,45	0,85

Bảng 3. Thành phần hóa của cốt liệu tái chế.

STT	Loại vật liệu	Thành phần hóa (%)				
		CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃
1	Đá tái chế	25,30	5,64	1,55	0,32	0,35
2	Cát tái chế	12,19	2,04	2,36	0,58	0,65

2.3. Nước và phụ gia

Sử dụng nước phù hợp tiêu chuẩn TCVN 4506:2012 và phụ gia BASF 8735 phù hợp tiêu chuẩn ASTM C494 loại G.

2.4. Thành phần cấp phối bê tông

Thành phần cấp phối bê tông được thiết kế dựa trên phương pháp thể tích tuyệt đối, tỷ lệ cát/đá không thay đổi là 40/60. Hàm lượng cốt liệu tái chế gồm cả cát và đá tái chế sử dụng từ 40%-100% tổng lượng cốt liệu. Khối lượng cốt liệu có sự thay đổi ở các cấp phối do khối lượng riêng của các loại cốt liệu khác nhau nên cần tính toán lại để đảm bảo khối lượng thể tích tuyệt đối và tỷ lệ cát/đá. Hỗn hợp CKD gồm xi măng 450kg/m³, xi lò cao 150kg/m³, tro bay 100kg/m³ được sử dụng nhằm cải thiện chất lượng chất nền trong hỗn hợp bê tông do cốt liệu sử dụng được tái chế từ gạch nung và bê tông có chất lượng thấp. Tỷ lệ N/CKD được điều chỉnh trong quá trình thực nghiệm nhằm đảm bảo cường độ yêu cầu và tính công tác (độ sụt 14 ± 2cm) trong đó lượng nước thực tế thêm vào tính theo độ hút nước của cốt liệu sau 30 phút (khoảng thời gian đảm bảo khả năng thi công thực tế). Thành phần cấp phối các hỗn hợp trình bày ở Bảng 4.

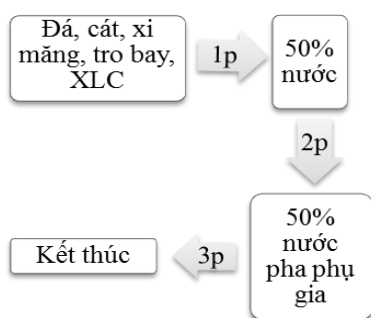
Bảng 4. Thành phần cấp phối bê tông.

Cấp phối	Nước	Xi măng	Xi lò cao	Tro bay	Cát TC	Đá TC	Cát tự nhiên	Đá tự nhiên	Phụ gia	Nước thêm	Đơn vị
ĐC	205	450	150	100	0	0	627	940	6	0	
40TC	205	450	150	100	615	0	0	923	6	63	
50TC	205	450	150	100	308	463	308	463	6	66	kg/m ³
60TC	205	450	150	100	0	927	618	0	6	69	
70TC	205	450	150	100	611	458	0	458	6	97	
80TC	205	450	150	100	306	919	306	0	6	100	
100TC	205	450	150	100	607	910	0	0	6	130	

Chú thích: Tỷ lệ (cát tái chế/cát tự nhiên/đá tái chế/đá tự nhiên) theo các cấp phối 40-100TC lần lượt là (40/0/0/60)-40TC, (20/20/30/30)-50TC, (0/40/60/0)-60TC, (40/0/30/30)-70TC, (20/20/60/0)-80TC, (40/0/60/0)-100TC, ĐC là bê tông đối chứng 100% cốt liệu tự nhiên.

2.5. Mẫu thử và phương pháp thí nghiệm

Mẫu thử được chuẩn bị cho các thí nghiệm cường độ chịu nén (lập phương 100×100×100mm, TCVN3118:1993), cường độ ép chẻ (trụ 100×200mm, ASTM C496), mô đun đàn hồi (trụ 150×300mm, ASTM C469). Quy trình trộn và mẫu thí nghiệm được thể hiện ở Hình 4. Các mẫu thử được tháo khuôn sau 24h và được bảo dưỡng ở điều kiện nhiệt độ 23°C, độ ẩm tương đối >95% cho đến ngày thí nghiệm.



Hình 4. Quy trình trộn và mẫu thí nghiệm được đúc tại phòng thí nghiệm VLXD- ĐH GTVT.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tính công tác

Tính công tác của hỗn hợp bê tông được xác định bằng phương pháp đo độ sụt sử dụng côn Abram. Do tính chất hút nước cao của cốt liệu tái chế, sự suy giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông được xác định sau 30 và 60 phút nhằm xác định khả năng thi công thực tế. Kết quả tính công tác của các hỗn hợp được trình bày ở Bảng 5 và Hình 5.

Bảng 5. Kết quả thử nghiệm tính công tác của hỗn hợp bê tông tái chế.

Cấp phối	ĐC	40TC	50TC	60TC	70TC	80TC	100TC
Độ sụt ban đầu (cm)	21,5	16	15,5	15	15	10	9,5
Độ sụt sau 30 phút (cm)	21	6	10,3	12,2	7	8	3
Độ sụt sau 60 phút (cm)	18,5	4	7,2	7,8	4	4	1



a. 100% tái chế



b. 80% tái chế



c. 70% tái chế



d. 60% tái chế



e. 50% tái chế



f. 40% tái chế

Hình 5. Độ sụt của các hỗn hợp bê tông tái chế.

Độ sụt của các hỗn hợp BTTC từ 9,5cm đến 16cm và có xu hướng giảm khi tăng hàm lượng cốt liệu tái chế. Các cấp phối sử dụng 40-70% CLTC có độ sụt giảm 5-6cm, cấp phối sử dụng 80-100% giảm 11,5-12cm so với cấp phối đối chứng dù đã bù nước do độ hút nước của CLTC. Độ sụt suy giảm còn 3-12,2cm sau 30 phút và 1-7,8cm sau 60 phút. Kết quả tổn thất độ sụt ở các hỗn hợp có sự tương đồng với các nghiên cứu đã có trên thế giới [3,19]. Các hỗn hợp sử dụng nhiều cát tái chế có xu hướng suy giảm tính công tác nhanh hơn, cụ thể ở các cấp phối 40TC, 70TC, 100TC có độ sụt lần lượt giảm còn 6cm, 7cm, 3cm sau 30 phút và 4cm, 4cm, 1cm sau 60 phút. Độ sụt thấp sau 30p và 60p nhưng bê tông không ở trạng thái khô, hỗn hợp vẫn có thể dễ dàng thi công khi có tác động đầm rung.

Sự tổn thất độ sụt ở bê tông sử dụng CLTC được giải thích do CLTC có độ hút nước lớn, hình dạng góc cạnh tạo thành bởi hiệu ứng nghiền khi sản xuất cốt liệu làm tăng ma sát, giảm độ linh động của hỗn hợp bê tông [1]. Hàm lượng hạt mịn cao trong cát tái chế cũng là nguyên nhân làm suy giảm tính công tác [9].

Với kết quả độ sụt được trình bày tại Bảng 6, bê tông sử dụng CLTC có thể ứng dụng vào các công trình không yêu cầu tính công tác cao như đường hoặc chế tạo cầu kiện đúc sẵn mật độ cốt thép nhỏ, các cấp phối có tổn thất độ sụt nhỏ (50TC, 60TC) có thể áp dụng trong các công trình dân dụng hoặc các hạng mục có độ sụt yêu cầu phổ biến là 12 ± 2 cm.

3.2. Cường độ chịu nén

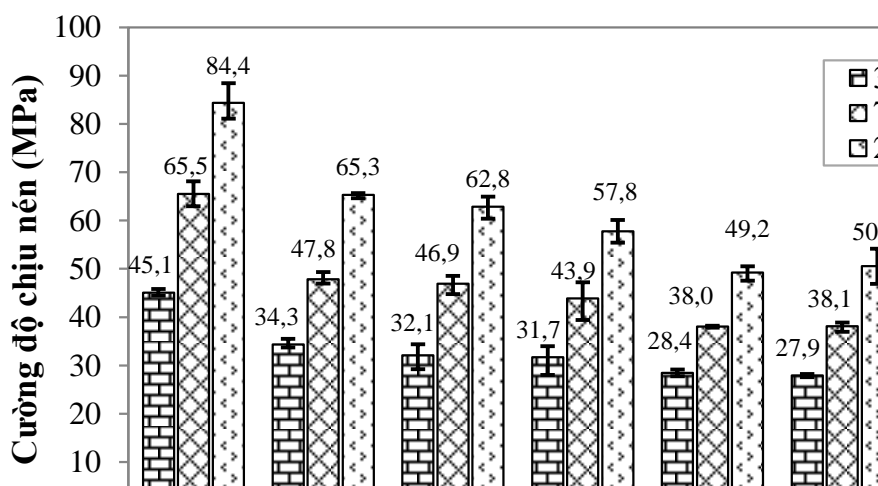
Cường độ chịu nén được thí nghiệm ở các ngày tuổi 3, 7, 28 trên mẫu lập phương $10 \times 10 \times 10$ cm và được trình bày ở Bảng 6 và Hình 7, kết quả là giá trị trung bình của 3 mẫu thử. Dạng phá hoại của mẫu được thể hiện ở Hình 6.



Hình 6. Dạng phá hoại của mẫu nén.

Bảng 6. Cường độ chịu nén trung bình ở các ngày tuổi.

Tuổi TN	Cấp phối	ĐC	40TC	50TC	60TC	70TC	80TC	100TC
3 ngày	R_{n3}^{TB} (MPa)	45,1	34,3	32,1	31,7	28,4	27,9	22,5
	$R_{n3}^{TB} / R_{n28}^{TB}$ (%)	53,5%	52,6%	51,0%	54,8%	57,7%	55,2%	48,9%
7 ngày	R_{n7}^{TB} (MPa)	65,5	47,8	46,9	43,9	38,0	38,1	36,0
	$R_{n7}^{TB} / R_{n28}^{TB}$ (%)	77,7%	73,3%	74,6%	75,9%	77,3%	75,5%	78,0%
28 ngày	R_{n28}^{TB} (MPa)	84,4	65,3	62,8	57,8	49,2	50,5	46,1



Hình 7. Ảnh hưởng của hàm lượng CLTC đến cường độ chịu nén.

Cường độ chịu nén đạt được từ 46,1-65,3MPa ở tuổi 28 ngày và có xu hướng giảm khi tăng hàm lượng CLTC sử dụng. Ở tuổi 3 ngày cường độ chịu nén của các cấp phối sử dụng CLTC giảm 23,9-50,1%, ở tuổi 7 ngày từ 27-45,1% và ở 28 ngày là 22,6-45,4% so với bê tông đối chứng. Từ Bảng 7 có thể thấy bê tông sử dụng CLTC có sự phát triển cường độ ở các ngày tuổi tương đương bê tông thường với Rn_3^{TB} / Rn_{28}^{TB} từ 48,9-54,8%, Rn_7^{TB} / Rn_{28}^{TB} từ 73,3-78%, giá trị này ở bê tông đối chứng là 53,5% và 77,7%.

Sự suy giảm cường độ được giải thích do cốt liệu tái chế từ bê tông và gạch có độ rỗng và độ hút nước lớn dẫn tới lượng nước sử dụng cao làm giảm chất lượng của khung đá-CKD. Cường độ chịu nén còn phụ thuộc vào cường độ của khung cốt liệu [8,20], trong khi đó chất lượng của CLTC thấp hơn nhiều so với CLTN, cường độ bê tông phế thải từ 20-30MPa và gạch là 7,5MPa (thấp hơn 70-90% CLTN). Hàm lượng vữa có độ hút nước lớn bao quanh các hạt cốt liệu làm làm liên kết CKD-cốt liệu dễ bị phá vỡ.

3.3. Cường độ chịu ép chẻ

Cường độ chịu ép chẻ được thí nghiệm ở các tuổi 3,7,28 ngày trên mẫu trụ 10×20cm và được trình bày ở Bảng 8 và Hình 9. Kết quả là giá trị trung bình của 3 mẫu thử. Dạng phá hoại của mẫu sau khi ép chẻ được thể hiện ở Hình 8.

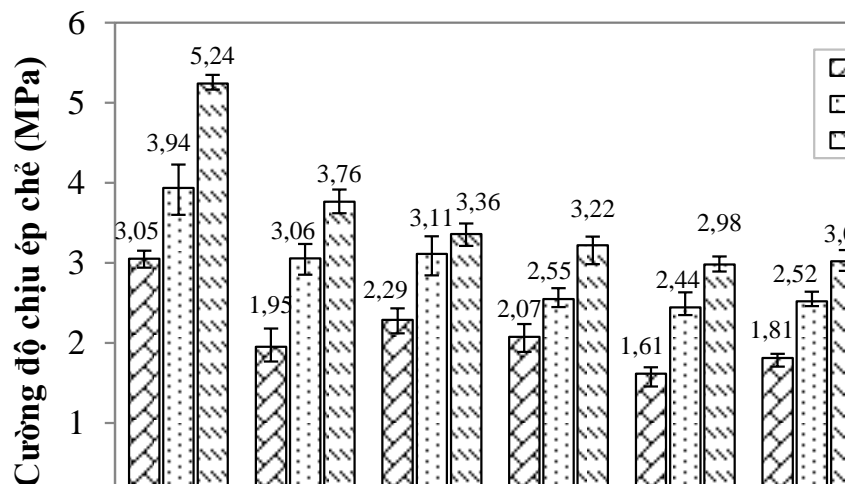


Hình 8. Dạng phá hoại của mẫu ép chẻ.

Bảng 7. Cường độ chịu ép chẻ trung bình ở các ngày tuổi.

Tuổi TN	Cấp phối	ĐC	40TC	50TC	60TC	70TC	80TC	100TC
3 ngày	R_{ec3}^{TB} (MPa)	3,05	1,95	2,29	2,07	1,61	1,81	1,59
	$R_{ec3}^{TB} / R_{ec28}^{TB}$ (%)	58,3%	51,8%	68,1%	64,4%	54,2%	60,0%	57,6%
7 ngày	R_{ec7}^{TB} (MPa)	3,94	3,06	3,11	2,55	2,44	2,52	2,42
	$R_{ec7}^{TB} / R_{ec28}^{TB}$ (%)	75,1%	81,2%	92,7%	79,2%	82,0%	83,4%	88,0%
28 ngày	R_{ec28}^{TB} (MPa)	5,24	3,76	3,36	3,22	2,98	3,02	2,75

Cường độ chịu ép chẻ đạt được từ 2,75-3,76MPa ở tuổi 28 ngày và tỷ lệ nghịch với hàm lượng CLTC sử dụng. Ở tuổi 3 ngày, cường độ ép chẻ giảm từ 25-48,1% so với bê tông đối chứng, giá trị này ở tuổi 7 ngày, 28 ngày lần lượt là 20,9-38,6% và 28,1-47,5%. Các cấp phối sử dụng 100% cát tái chế (40TC, 70TC, 100TC) có sự suy giảm cường độ ép chẻ rõ rệt. Bảng 8 chỉ ra rằng bê tông CLTC có xu hướng phát triển cường độ ép chẻ sớm hơn so với bê tông đối chứng với $R_{ec3}^{TB} / R_{ec28}^{TB}$ từ 51,8-68,1% (bê tông ĐC là 58,3%), $R_{ec7}^{TB} / R_{ec28}^{TB}$ từ 81,2-92,7% (bê tông ĐC là 75,1%).



Hình 9. Ảnh hưởng của hàm lượng CLTC đến cường độ chịu ép chẻ.

Cơ chế làm giảm cường độ ép chẻ tương tự như cơ chế làm giảm cường độ chịu nén khi sử dụng CLTC. Cường độ chịu ép chẻ có quan hệ mật thiết với cường độ chịu kéo của bê tông, phụ thuộc vào cường độ khung cốt liệu và khung CKD. Đối với BTTC, khung cốt liệu có cường độ không cao do đó cường độ ép chẻ chủ yếu phụ thuộc vào chất lượng của chất nền [9], điều này được thể hiện rõ ở Hình 8 khi các hạt cốt liệu đều bị vỡ sau thí nghiệm. Xu hướng phát triển cường độ ép chẻ của BTTC sớm hơn so với bê tông đối chứng được giải thích do bê tông sử dụng CLTC khô có khả năng hút nước mạnh trong khoảng thời gian đầu (0-3 ngày) của quá trình rắn chắc, nên nước trong hỗn hợp chất nền giảm nhanh, dẫn tới thời gian đông kết của chất nền được rút ngắn và làm BTTC hình thành cường độ ép chẻ sớm hơn so với bê tông đối chứng [3].

3.4. Mô đun đàn hồi tĩnh

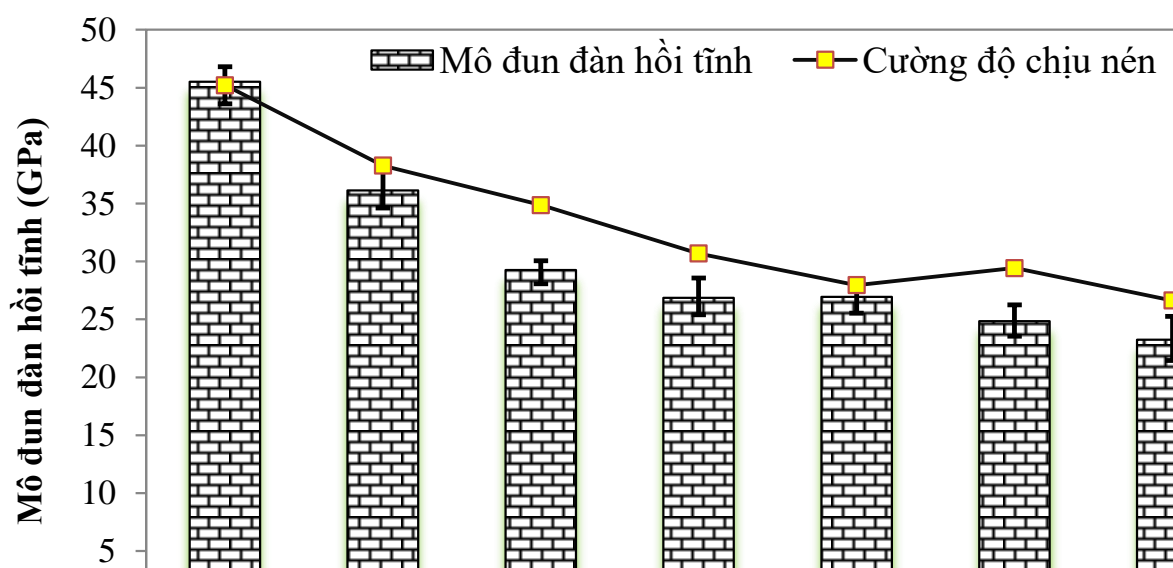
Mô đun đàn hồi tĩnh được xác định trên mẫu trụ 15×30cm ở tuổi 28 ngày. Kết quả là giá trị trung bình của 3 mẫu thử, được trình bày tại Bảng 8 và Hình 10.



Hình 10. Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi tĩnh.

Bảng 8. Mô đun đàn hồi tĩnh trung bình ở tuổi 28 ngày.

Cấp phối	ĐC	40TC	50TC	60TC	70TC	80TC	100TC
Cường độ chịu nén (MPa)	72,35	61,25	55,80	49,09	44,72	47,09	42,62
Tỷ lệ cường độ nén $R_{nTru}/R_{nL\grave{a}p\ ph\grave{u}ong}$	0,86	0,94	0,89	0,85	0,91	0,93	0,92
Mô đun đàn hồi tĩnh (GPa)	45,51	36,12	29,26	26,86	26,95	24,86	23,26



Hình 10. Quan hệ giữa mô đun đàn hồi tĩnh và cường độ chịu nén.

Mô đun đàn hồi tĩnh của BTTC đạt từ 23-36GPa ở tuổi 28 ngày, có xu hướng tỷ lệ thuận với cường độ chịu nén, giảm từ 20,6-48,9% khi tăng hàm lượng CLTC sử dụng. So với bê tông sử dụng cốt liệu thường, mô đun đàn hồi tĩnh của BTTC thấp hơn khoảng 30%, nguyên nhân do CLTC có mô đun đàn hồi thấp [3].

Mô đun đàn hồi là giá trị đặc trưng cho biến dạng của bê tông, cường độ chịu nén cao nhưng mô đun đàn hồi thấp hơn so với bê tông truyền thống cho thấy bê tông sử dụng CLTC có khả năng hấp thụ năng lượng tốt hơn so với bê tông truyền thống trong một số kết cấu xây dựng công trình.

Giá trị tỷ lệ giữa cường độ trên mẫu trụ $15 \times 30 \text{cm}$ và lập phương $10 \times 10 \times 10 \text{cm}$ đạt từ 0,86-0,93. Giá trị này quy đổi theo tiêu chuẩn TCVN 3118:1993 là 0,758, có sự thay đổi này có thể do sự khác biệt ở loại cốt liệu sử dụng.

4. KẾT LUẬN

Có thể chế tạo bê tông cường độ cao với hàm lượng CLTC từ gạch đất sét nung và bê tông phế thải lên đến 50% theo khối lượng cốt liệu.

Cường độ chịu nén, cường độ chịu ép chệch và mô đun đàn hồi tĩnh giảm khi tỷ lệ cốt liệu tái chế tăng lên.

Cát tái chế gây suy giảm nhiều đến các tính chất cơ học của bê tông cường độ cao.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm nghiên cứu xin chân thành cảm ơn phòng thí nghiệm Vật liệu xây dựng-Bộ môn Vật liệu xây dựng, Trường Đại học Giao thông vận tải đã hỗ trợ trong quá trình nghiên cứu thực nghiệm, công ty Toàn Cầu đã cung cấp cốt liệu tái chế giúp nhóm nghiên cứu thực hiện nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. H.Y. Fang, F.L. Liu, J.H. Yang, High-quality coarse aggregate recycling from waste concrete by impact crushing, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22 (2020) 887-896. <https://doi.org/10.1007/s10163-020-00984-w>
- [2]. J. M.VGomez-Soberon, Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate: An experimental study, *Cement and Concrete Research*, 32 (2002) 1301-1311. [https://doi.org/10.1016/s0008-8846\(02\)00795-0](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(02)00795-0)
- [3]. T.K. Tống, Nghiên cứu sử dụng phế thải xây dựng trong chế tạo bê tông, Luận án Tiến sỹ Kỹ thuật, Đại học Xây Dựng, 2014.
- [4]. L. Evangelista, J. De Brito, Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates, *Cement and Concrete Composites*, 32 (2010) 9-14. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.09.005>
- [5]. L. Evangelista, J. de Brito, Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates, *Cement and concrete composites*, 29 (2007) 397-401. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.12.004>
- [6]. L.R. Santillan et al., Long-term sulfate attack on recycled aggregate concrete immersed in sodium sulfate solution for 10 years, *Materiales de Construcción*, 70 (2020) 212. <https://doi.org/10.3989/mc.2020.06319>
- [7]. S.W. Tabsh, A.S. Abdelfatah, Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete, *Construction and Building Materials*, 23 (2009) 1163-1167. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.06.007>
- [8]. V. Corinaldesi, Mechanical and elastic behaviour of concretes made of recycled-concrete coarse aggregates, *Construction and Building materials*, 24 (2010) 1616-1620. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.02.031>

- [9]. L. Berredjem, N. Arabi, L. Molez, Mechanical and durability properties of concrete based on recycled coarse and fine aggregates produced from demolished concrete, *Construction and Building Materials*, 246 (2020) 118421. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118421>
- [10]. S.I. Mohammed, K. B. Najim, Mechanical strength, flexural behavior and fracture energy of Recycled Concrete Aggregate self-compacting concrete, *Structures*, 23 (2020) 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.09.010>
- [11]. D.Y. Gao et al., Experimental Study of Utilizing Recycled Fine Aggregate for the Preparation of High Ductility Cementitious Composites, *Materials*, 13 (2020) 679. <https://doi.org/10.3390/ma13030679>
- [12]. T.Y. Tu, Y.Y. Chen, C.L. Hwang, Properties of HPC with recycled aggregates, *Cement and Concrete Research*, 36 (2006) 943-950. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.11.022>
- [13]. M.C. Limbachiya, T. Leelawat, R.K. Dhir, Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete, *Materials and structures*, 33 (2000) 574-580. <https://doi.org/10.1007/bf02480538>
- [14]. C.S. Poon, D. Chan, Paving blocks made with recycled concrete aggregate and crushed clay brick, *Construction and building materials*, 20 (2006) 569-577. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.044>
- [15]. L. Zong, Z. Fei, S. Zhang, Permeability of recycled aggregate concrete containing fly ash and clay brick waste, *Journal of Cleaner Production*, 70 (2014) 175-182. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.040>
- [16]. A.K. Padmini, K. Ramamurthy, M.S. Mathews, Behaviour of concrete with low-strength bricks as lightweight coarse aggregate, *Magazine of Concrete Research*, 53 (2001) 367-375. <https://doi.org/10.1680/macr.2001.53.6.367>
- [17]. J. Yang, Q. Du, Y. Bao, Concrete with recycled concrete aggregate and crushed clay bricks, *Construction and Building Materials*, 25 (2011) 1935-1945. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.063>
- [18]. C. Zheng et al., Mechanical properties of recycled concrete with demolished waste concrete aggregate and clay brick aggregate, *Results in Physics*, 9 (2018) 1317-1322. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.04.061>
- [19]. M. Malesev, V. Radonjanin, S. Marinkovic, Recycled concrete as aggregate for structural concrete production, *Sustainability*, 2 (2010) 1204-1225. <https://doi.org/10.3390/su2051204>
- [20]. H. Damera, D.N. Murthy, N.R. Rao, Mechanical and durability studies on blended pozzolonic concretes with fly ash & recycled aggregates, *Materials Today:Proceedings*, 27 (2020) 1522-1529. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.174>