

Nghiên cứu xác định một số chỉ tiêu của bê tông đầm lăn sử dụng cốt liệu lớn xỉ thép trong xây dựng kết cấu áo đường ô tô

Researching properties of the roller compacted concrete using steel slag as coarse aggregates in constructing the pavement structure of the road

Nguyễn Đức Trọng

Phân hiệu tại Thành phố Hồ Chí Minh, Trường Đại học Giao thông vận tải

Tác giả liên hệ: trongnd_ph@utc.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/9/2023; Ngày chấp nhận đăng: 18/10/2023

Tóm tắt:

Cốt liệu tạo nên cấu trúc khung xương và có ảnh hưởng lớn đến tính chất của bê tông nói chung. Xi thép có bề mặt hạt xù xì, kết cấu tổ ong nên bê tông đầm lăn (BTĐL) sử dụng cốt liệu này khi đầm lèn tạo nên ma sát lớn và khó chặt hơn so với khi dùng cốt liệu đá dăm truyền thống. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu cường độ của BTĐL sử dụng 0%, 50%, 100% cốt liệu lớn xỉ thép (CLLXT) trong xây dựng kết cấu áo đường ô tô. Kết quả ban đầu cho thấy khi hàm lượng CLLXT càng nhiều, cường độ của BTĐL càng giảm. Ở tuổi 28 ngày khi sử dụng 50%, 100% cốt liệu lớn xỉ thép thay đá dăm, cường độ kéo uốn giảm lần lượt là 5.5%, 8.7% so với khi dùng 100% cốt liệu đá dăm truyền thống, với hàm lượng thay thế 50% đủ điều kiện để làm mặt đường BTĐL từ cấp IV trở xuống.

Từ khóa: Bê tông đầm lăn; Xi thép; Tro bay; Cường độ kéo uốn; Kết cấu mặt đường.

Abstract:

Aggregates form the skeleton structure of concrete and significantly affect its mechanical properties. When aggregates are used in roller-compacted concrete (RCC), steel slag with a rough grain surface and honeycomb structure produces higher friction between particles and more difficulty in achieving the required compaction than traditional crushed stone aggregates. This study investigated the strength of RCC using steel slag (SSA) to replace traditional aggregates with replaced volume contents of 0%, 50%, and 100% in constructing road pavement structures. The results showed that the higher the volume content of SSA used, the lower the strength of the RCC achieved. The flexural strength of RCC using steel slag with replaced volume contents of 50% and 100% decreased by 5.5% and 8.7%, respectively, compared to that of RCC using traditional crushed stone aggregate at the same curing time of 28 d. RCC using steel slag with a replaced volume content of 50% was qualified to construct a road with category IV and below.

Keywords: Roller compacted concrete; Steel slag; Fly ash; Flexural strength; Pavement structure.

1. Giới thiệu

Trong tình hình kinh tế hiện nay, làm đường bê tông xi măng nói chung và BTĐL nói riêng là một giải pháp kích cầu được Chính phủ và Bộ Xây dựng khuyến khích để thúc đẩy ngành

xi măng trong nước phát triển. Sử dụng nguồn lực sẵn có là xi măng trong nước có thể giảm nhập siêu, hàng năm, Việt Nam phải nhập khẩu khối lượng lớn nhựa đường, góp phần

vào việc xây dựng hệ thống hạ tầng đồng bộ, chất lượng với chi phí xây dựng hợp lý.

BTĐL là loại bê tông khô, không sứt, thành phần hạt có tính cấp phối liên tục, được rải và đầm chặt bằng lu (chủ yếu là lu rung hoặc lu lốp), khi sử dụng làm mặt đường thi công nhanh, sử dụng đường sớm hơn so với bê tông xi măng (BTXM) truyền thống. BTĐL sử dụng lượng nước ít, lượng nước này ngoài chức năng giúp cho xi măng thủy hoá, còn giảm ma sát cốt liệu giúp quá trình đầm chặt dễ dàng hơn. Do đó tính chất bề mặt cốt liệu có ảnh hưởng ít nhiều đến quá trình lu lèn, độ chặt của bê tông tươi và tính chất của bê tông đông cứng.

Xi thép tại Bà Rịa - Vũng Tàu là sản phẩm tạo ra từ quá trình luyện thép bằng công nghệ lò điện hồ quang (EAF), đây là sản phẩm phụ của quá trình sản xuất thép, công nghệ này tạo ra khoảng 150 – 200 kg xi thép từ mỗi tấn thép lỏng [1]. Sản lượng xi thép trên thế giới trong năm 2015 ước tính trong khoảng 170 triệu đến 250 triệu tấn [2]-[4], còn tại Việt Nam, khoảng một triệu tấn xi EAF đã được thu hồi trong thời gian trên [1], [5].

Trong thập kỷ qua, việc sử dụng xi EAF thay thế cốt liệu tự nhiên trong bê tông ngày càng trở nên phổ biến nhằm giảm thiểu ô nhiễm môi trường [1], [5]. Nghiên cứu [4] và [5] cho thấy khi sử dụng 20% tro bay cho BTĐL có chứa cốt liệu xi EAF tạo ra loại bê tông tốt có thể dùng làm mặt đường. Với BTXM thông thường, Manso và các cộng sự [3] cho rằng cường độ chịu nén của bê tông xi

thép cao hơn bê tông sử dụng cốt liệu tự nhiên. Nghiên cứu [6] cho kết quả các tính chất cơ học của bê tông dùng xi thép gần như tương tự với bê tông truyền thống khi xi thép thay thế khoảng 50 - 75%. Trọng [7] cho rằng khi sử dụng 15 - 20% tro bay thay thế xi măng, các tính chất của BTĐL là tối ưu nhất.

Việc nghiên cứu ứng dụng công nghệ BTĐL sử dụng xi thép trong xây dựng đường giao thông cần được nghiên cứu, triển khai để có thể dùng nguồn vật liệu sẵn có tại địa phương. Xi thép có thể thay thế một phần cốt liệu đá dăm nhằm giảm áp lực sử dụng nguồn vật liệu tự nhiên ngày càng cạn dần. Hiện nay, việc nghiên cứu các tính chất của BTĐL làm mặt đường, sử dụng cốt liệu lớn xi thép chưa được đánh giá đầy đủ, mức độ ảnh hưởng hàm lượng dùng cốt liệu lớn xi thép đến các tính chất của BTĐL cần được xem xét để tìm ra giải pháp sử dụng phù hợp nhất.

2. Vật liệu chế tạo bê tông đầm lăn

2.1. Xi măng

Nghiên cứu này sử dụng loại xi măng Insee PCB40 có cường độ chịu nén theo TCVN 6016:2011 tuổi 28 ngày là 42.7 MPa; khối lượng riêng của xi măng: 3.10 g/cm³; lượng nước tiêu chuẩn: 31.8 %

2.2. Tro bay

Tro bay dùng trong nghiên cứu này được lấy từ nhà máy Formusa, Nhơn Trạch có chỉ tiêu lý, hóa trình bày ở bảng 1.

Bảng 1. Kết quả thí nghiệm chỉ tiêu lý, hóa của tro bay Formusa, Nhơn Trạch [7].

STT	Tên các chỉ tiêu	Đơn vị	Phương pháp thử	Kết quả thử nghiệm
1	Hàm lượng mất khi nung	%		3.2
2	Hàm lượng oxit silic (SiO ₂)	%	ASTM C311 - 02	51.1
3	Hàm lượng oxit nhôm (Al ₂ O ₃)	%		33.0
4	Hàm lượng oxit sắt (Fe ₂ O ₃)	%		5.1

Tro bay từ nhà máy Formusa, Nhơn Trạch có các chỉ tiêu chất lượng phù hợp loại F trong quy định của ASTM C618.

2.3. Cốt liệu cho bê tông đầm lăn

Cốt liệu lớn

- Đá dăm: Loại 5 x 20 mm (kết hợp 50% đá 10 x 20 mm và 50% đá 5 x 10 mm) có các chỉ tiêu đạt yêu cầu của TCVN 7570:2006.

- Xi thép (XT): Sử dụng xỉ thép lấy tại Bà Rịa - Vũng Tàu được sàng lọc các cỡ hạt không phù hợp sao cho thành phần hạt tương đương cốt liệu lớn đá dăm (5 x 20 mm).

Cốt liệu nhỏ: Là cát tự nhiên (hạt thô).

Các chỉ tiêu cơ lý và thành phần hạt của các loại cốt liệu cho BTĐL được trình bày tại bảng 2 và 3.

Bảng 2. Các chỉ tiêu cơ lý của các loại cốt liệu cho bê tông đầm lăn.

Chỉ tiêu	Đơn vị	Đá 5 x 20 mm	Xi thép	Cát tự nhiên hạt thô
Mô đun độ lớn (M_{ai})	-	-	-	2.32
Khối lượng riêng	g/cm ³	2.795	3.343	2.651
Khối lượng thể tích xốp	g/cm ³	1.542	1.850	1.512
Hàm lượng chung bụi, bùn, sét	%	0.82	1.58	1.05
Độ hút nước	%	0.48	2.25	0.88
Độ mài mòn LA	%	12.8	14.6	-

Bảng 3. Thành phần hạt vật liệu chế tạo BTĐL.

Cỡ sàng (mm)	Lượng lọt sàng (%)				
	Đá 10 x 20 mm	Đá 5 x 10 mm	Xi thép	Cát tự nhiên	Tro bay
25.4	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
19.5	90.6	100.0	98.4	100.0	100.0
12.5	62.2	100.0	78.5	100.0	100.0
9.5	7.6	89.1	63.9	100.0	100.0
4.75	0.5	20.8	20.7	99.7	100.0
2.36	0.1	7.6	11.1	96.8	100.0
1.18	0.0	7.0	9.4	84.3	100.0
0.60	0.0	6.9	8.6	60.9	100.0
0.30	0.0	6.6	6.9	22.2	100.0
0.15	0.0	6.2	4.1	4.0	100.0
0.075	0.0	0.1	1.7	0.9	75.9

2.4. Nước

Nước sử dụng cho bê tông là nước sạch, đạt tiêu chuẩn TCVN 4506:2012.

3. Thành phần cấp phối bê tông đầm lăn và kế hoạch thực nghiệm

3.1. Thành phần cấp phối BTĐL

Thành phần cốt liệu cho BTĐL được thiết kế theo hướng dẫn ACI325.10 [8] và cấp phối

tính toán theo lý thuyết thể tích đặc tuyệt đối. Trình tự thực hiện như sau:

- Xác định tính chất cơ lý vật liệu và cường độ bê tông yêu cầu.
- Xác định khối lượng của vật liệu thành phần theo lý thuyết thể tích đặc tuyệt đối trên cơ sở thành phần phối trộn các cốt liệu nằm trong miền tiêu chuẩn (hình 1).
- Tính toán khối lượng cho một mẻ trộn theo thành phần của BTĐL tại bảng 4 (với lượng tro bay lấy bằng 20% chất kết dính tính toán), thành phần cấp phối của các tổ hợp

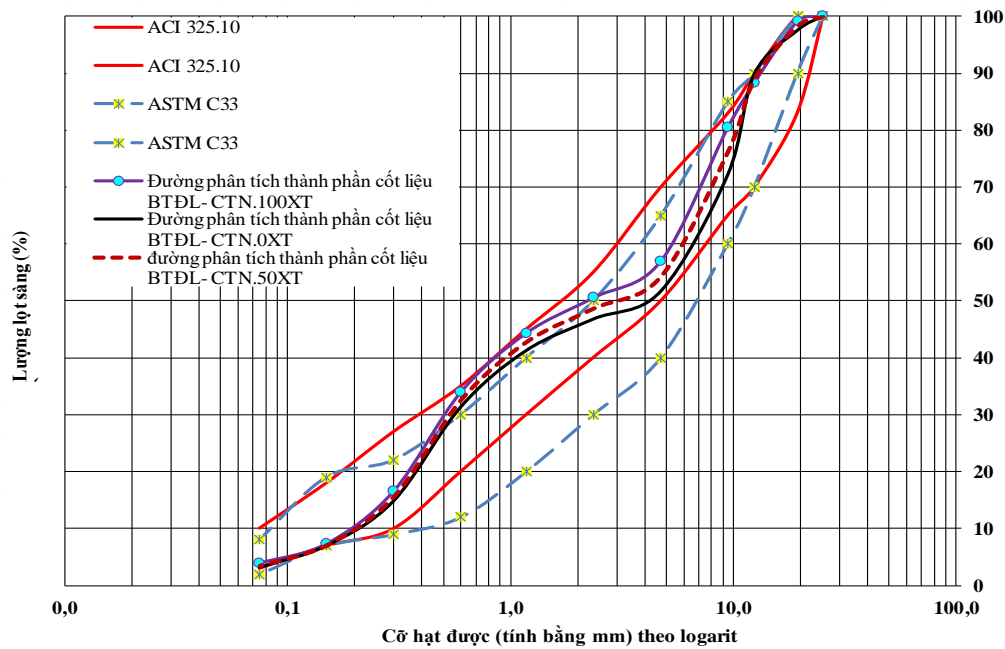
BTĐL ở bảng 5. Sau đó tiến hành đúc mẫu, bảo dưỡng và thí nghiệm.

Kí hiệu các tổ hợp mẫu như sau:

- Tổ hợp 1 (BTĐL dùng cát tự nhiên và có 0% CLLXT, 100% cốt liệu đá dăm): CTN.0XT;
- Tổ hợp 2 (BTĐL dùng cát tự nhiên và có 100% CLLXT): CTN.100XT;
- Tổ hợp 3 (BTĐL dùng cát tự nhiên và có 50% CLLXT, 50% cốt liệu lớn đá dăm): CTN.50XT.

Bảng 4. Thành phần cấp phối bê tông đầm lăn.

Cấp phối BTĐL	Xi măng	Tro bay	Cát tự nhiên hạt thô	Đá 5 x 20 mm	Đá 5 x 10 mm	Xi thép	Nước
CTN.0XT	298	75	872	555	555	0	153
CTN.100XT	298	75	958	0	0	1221	153
CTN.50XT	298	75	918	292	292	583	153



Hình 1. Thành phần cấp phối của BTĐL.

Bảng 5. Thành phần cấp phối của các tổ hợp BTĐL.

Cỡ sàng (mm)	Lượng lọt sàng (%)			Tiêu chuẩn ACI 325.10 [8]
	CTN.0XT	CTN.100XT	CTN.50XT	
25.4	100.00	100.00	100.00	100
19.5	97.46	99.16	98.31	83-100

Cỡ sàng (mm)	Lượng lọt sàng (%)			Tiêu chuẩn ACI 325.10 [8]
	CTN.0XT	CTN.100XT	CTN.50XT	
12.5	89.78	88.35	89.08	70-90
9.5	72.11	80.48	76.31	65-83
4.75	51.64	56.97	54.35	50-70
2.36	46.74	50.54	48.68	40-55
1.18	41.21	44.32	42.81	30-45
0.60	31.29	33.93	32.63	20-35
0.30	14.81	16.55	15.68	10-27
0.15	6.96	7.33	7.14	7-18
0.075	3.15	3.90	3.53	3-10

3.2. Kế hoạch thực nghiệm

Tính toán thành phần cấp phối BTĐL có cường độ 36MPa ở bảng 4 cho một mẻ trộn, sau khi trộn mẫu đo độ cứng Vebe cho từng tổ

hợp. Mỗi cấp phối đúc 27 mẫu (mỗi chỉ tiêu lấy giá trị trung bình của 3 mẫu thử cho một ngày tuổi). Số lượng mẫu thí nghiệm được trình bày ở bảng 6.

Bảng 6. Số lượng mẫu thí nghiệm.

Chỉ tiêu thí nghiệm	Số lượng mẫu thí nghiệm		
	CTN.0XT	CTN.100XT	CTN.50XT
R_n (7, 28, 56 ngày)	9	9	9
R_u (7, 28, 56 ngày)	9	9	9
E_{dh} (28 ngày)	6	6	6
Mài mòn (28 ngày)	3	3	3
Tổng cộng	27	27	27

Tổng cộng 03 tổ hợp có tất cả 81 mẫu thử các loại được chế tạo, bảo dưỡng trong điều kiện tiêu chuẩn theo TCVN 3105:2022 cho đến ngày tuổi thí nghiệm và được thử nghiệm tại phòng thí nghiệm hợp chuẩn (LAS-XD154). Trong đó, sử dụng ASTM C1170-91 (Phụ lục A) để thử độ cứng Vebe, TCVN 3118:2022 để xác định R_n TCVN 3119:2022 để xác định R_u (mẫu 10 x 10 x 40 cm), TCVN 5726:2022 để xác định E_{dh} (mẫu 10 x 10 x 40 cm), TCVN 3114:2022 để xác định độ mài mòn.

3.3. Phương pháp thực nghiệm

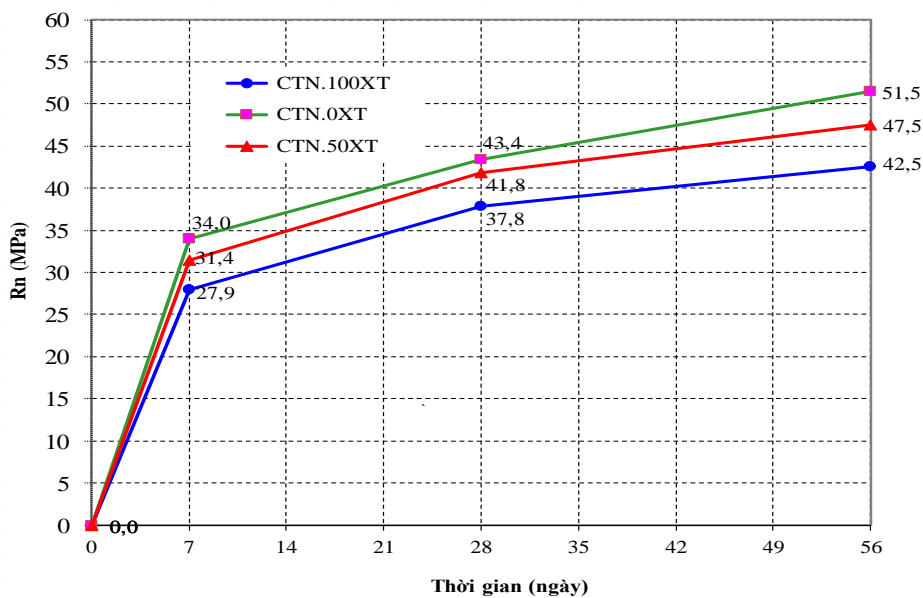
Thiết kế hỗn hợp BTĐL với độ cứng Vebe từ 20 – 45s [9]. Với thành phần cấp phối như trình bày ở bảng 4.

4. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

Từ kết quả nghiên cứu về cường độ: R_n , R_u , E_{dh} , mài mòn của BTĐL vẽ được các biểu đồ hình 2, hình 3, hình 4, hình 5.

4.1. Độ cứng vebe và cường độ chịu nén

Khi sử dụng cốt liệu lớn xi thép là 0%, 50%, 100%, độ cứng vebe của BTĐL lần lượt là 25s, 38s, 67s. Như vậy khi lượng xi thép càng nhiều, độ cứng Vebe giá trị càng lớn và khi dùng hoàn toàn là xi thép, độ cứng của BTĐL không đạt yêu cầu cho bê tông làm đường (20-45s). Kết quả thí nghiệm R_n được thể hiện ở hình 2.



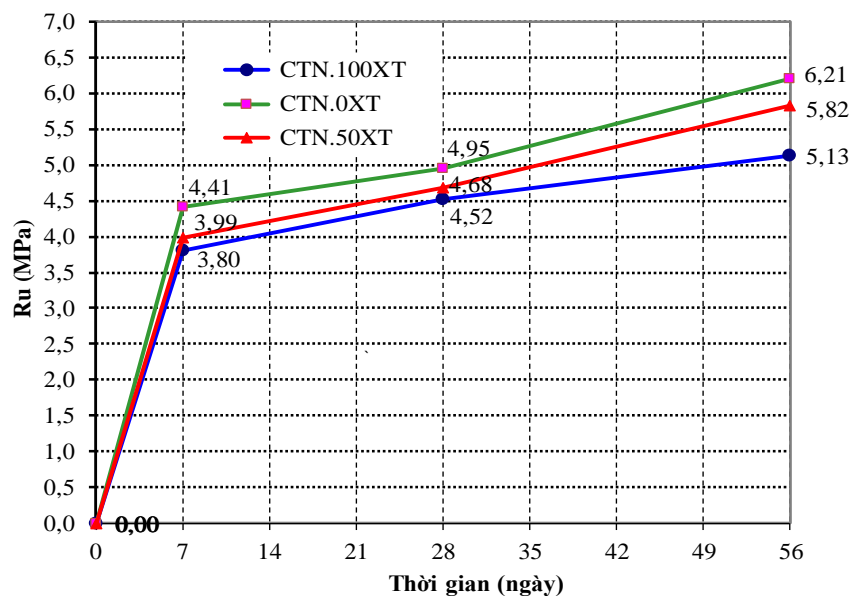
Hình 2. R_n của BTĐL theo thời gian.

Kết quả thực nghiệm ở hình 2 cho thấy khi làm lượng cốt liệu lớn xi thép càng nhiều, R_n của BTĐL càng giảm ở các ngày tuổi. R_n của tuổi 7 ngày so với tuổi 28 ngày khi hàm lượng cốt liệu lớn xi thép sử dụng 0%, 50%, 100% lần lượt là 78.3%, 75.1%, 73.8%; Còn R_n tuổi 56 ngày tăng so với tuổi 28 ngày tương ứng là: 18.7%, 13.6%, 12.4%.

Khi sử dụng 50%, 100% cốt liệu lớn xi thép, ở tuổi 7 ngày R_n giảm so với dùng 100% cốt liệu đá tự nhiên lần lượt: 7.7%, 17.9 %; ở tuổi 28 ngày giảm lần lượt: 3.7%, 12.9 %; tuổi 56 ngày giảm lần lượt: 7.8%, 17.5 %.

4.2. Cường độ chịu uốn (R_u)

Kết quả thí nghiệm R_u được thể hiện ở hình 3.



Hình 3. R_u của BTĐL theo thời gian.

Giống như cường độ chịu nén, kết quả thí nghiệm cũng cho thấy khi làm lượng cốt liệu lớn xi thép càng nhiều, R_u của BTĐL càng giảm ở các ngày tuổi. R_u của tuổi 7 ngày so với tuổi 28 ngày khi hàm lượng cốt liệu lớn xi thép sử dụng 0%, 50%, 100% lần lượt là 89.1%,

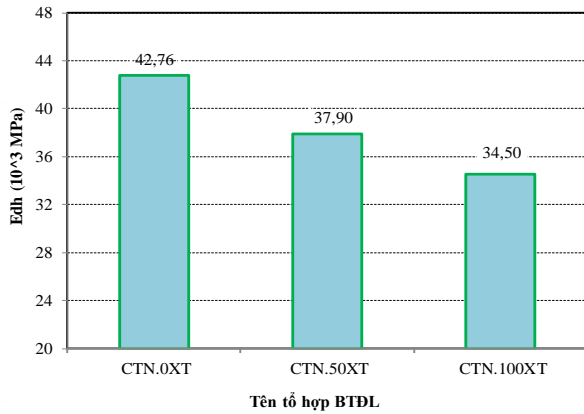
85.3%, 84.1%; R_u tuổi 56 ngày tăng so với tuổi 28 ngày tương ứng là: 25.5%, 24.4%, 13.5%

Khi dùng 50%, 100% cốt liệu lớn xi thép, ở tuổi 7 ngày R_u giảm so với sử dụng 100% cốt liệu đá dăm tự nhiên lần lượt: 9.5%, 13.8 %; ở

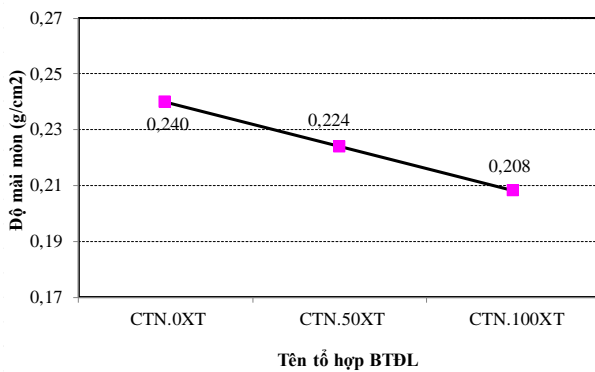
tuổi 28 ngày giảm lần lượt: 5.5%, 8.7% và tuổi 56 ngày giảm lần lượt: 6.3%, 17.4 %.

4.3. Mô đun đàn hồi khi nén tĩnh (E_{dh}) và độ mài mòn của BTĐL

Kết quả E_{dh} và độ mài mòn được thể hiện ở hình 4 và 5.



Hình 4. E_{dh} của BTĐL.



Hình 5. Độ mài mòn của BTĐL.

Kết quả thực nghiệm cho thấy ở tuổi 28 ngày, khi sử dụng 50% và 100% cốt liệu lớn xi thép, E_{dh} của BTĐL giảm so với sử dụng hoàn toàn cốt liệu đá dăm tự nhiên lần lượt: 11.4% và 19.3%; còn độ mài mòn nhiều hơn lần lượt: 7.7%, 15.4 %.

4.4. Thảo luận và đánh giá

Khi sử dụng cốt liệu lớn xi thép càng nhiều, cường độ của BTĐL ở tất cả các ngày tuổi đều giảm so với khi sử dụng hoàn toàn là cốt liệu đá dăm tự nhiên. Sự giảm cường độ của BTĐL có chứa xi thép hồ quang điện (EAF) là do các hạt đá vôi gây ra [5]. Đá vôi (CaCO_3) được thêm vào quá trình luyện thép để loại bỏ các tạp chất. Các tạp chất này được loại bỏ bằng cách kết hợp với canxi oxit (CaO) sinh ra từ

quá trình nung đá vôi trong lò để tạo thành xi. Lớp bột mỏng ở bên ngoài hạt xi không thể được làm sạch, theo [4] cho rằng sự thô ráp bề mặt của kết cấu xi EAF không phát huy hiệu quả trong bê tông có tỷ lệ nước-xi mẫn thấp, vì vậy, tạo nên vùng chuyển tiếp xấu giữa cốt liệu EAF và hồ xi mẫn. Ngoài ra, với bề mặt xi thô ráp, sần sùi tạo ra ma sát lớn giữa các hạt cốt liệu làm hỗn hợp khó đầm chặt hơn, kết cấu kém chặt không những ảnh hưởng xấu đến tính công tác (độ cứng vebe), cường độ của BTĐL còn làm giảm khả năng chống mài mòn của mặt đường bê tông.

Ở tuổi 28 ngày, khi sử dụng 50% cốt liệu lớn xi thép R_n , R_u , E_{dh} của BTĐL giảm so với khi dùng 100% cốt liệu đá tự nhiên lần lượt: 3.7%, 5.5%, 11.4%, độ mài mòn nhiều hơn 7.7%. Còn khi dùng hoàn toàn cốt liệu lớn xi thép (mức 100%), sự suy giảm các chỉ tiêu trên tương ứng là: 12.9%, 8.7%, 19.3%, độ mài mòn nhiều hơn 15.4%. Điều này cho thấy ở mức thay thế 50% đá dăm bằng cốt liệu xi thép, sự giảm cường độ và khả năng chống mài mòn không đáng kể so với khi sử dụng hoàn toàn cốt liệu đá dăm tự nhiên. Dựa vào khuyến cáo trong quyết định số 4452/QĐ-BGTVT [9] và quy định trong tiêu chuẩn TCCS 40:2022/TCĐBVN [10], với hàm lượng cốt liệu lớn xi thép thay thế đá dăm từ 0-50% cho các tính chất của BTĐL đủ điều kiện làm mặt đường bê tông từ cấp IV trở xuống.

5. Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu, một số kết luận được rút ra như sau:

- Khi cốt liệu lớn là xi thép càng nhiều, độ cứng Vebe của BTĐL càng lớn, nếu dùng hoàn toàn cốt liệu lớn xi thép, độ cứng vebe không đạt yêu cầu của bê tông làm đường ô tô.
- BTĐL sử dụng cốt liệu lớn xi thép hàm lượng càng nhiều, sự phát triển cường độ R_n , R_u ở tuổi sớm (7 ngày) và tuổi muộn (56 ngày) tăng càng chậm. Sự có mặt của cốt liệu xi thép làm suy giảm cường độ (R_n , R_u , E_{dh}) và giảm

khả năng chống mài mòn của BTĐL so với khi sử dụng hoàn toàn là cốt liệu đá dăm tự nhiên.

• Có thể sử dụng đến 50% cốt liệu lớn xỉ thép thay thế đá dăm dùng để chế tạo BTĐL sử dụng trong xây dựng đường ô tô, các thông số kỹ thuật của tổ hợp này đáp ứng được yêu cầu trong xây dựng mặt đường bê tông từ cấp IV trở xuống.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải thông qua đề tài mã số T2023-PHII_CT-004.

Tài liệu tham khảo

- [1] World Steel Association, “World Steel in Figures 2016,” Brussels, Belgium, 2016. [Online]. Available: <https://aceroplatea.es/docs/WorldSteelFigures2016.pdf>.
- [2] United States Geological Survey, “Mineral Commodity Summaries 2016: Iron and Steel Slag,” VA, USA, 2016. [Online]. Available: <https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2016.pdf>.
- [3] J. M. Manso, J. A. Polanco, M. Losañez, J. J. González, “Durability of concrete made with EAF slag as aggregate,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 28, no. 6, pp.528–534, Jul. 2006, doi:10.1016/j.cemconcomp.2006.02.008.
- [4] M. N. -T. Lam, S. Jaritngam, D. -H. Le, “Roller-compacted concrete pavement made of Electric Arc Furnace slag aggregate: Mix design and mechanical properties,” *Con. and Build. Mat.*, vol. 154, pp.482-495, Nov. 2017, doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.07.240.
- [5] M. N. -T. Lam, D. -H. Le, S. Jaritngam, “Compressive strength and durability properties of roller-compacted concrete pavement containing electric arc furnace slag aggregate and fly ash,” *Con. and Build. Mat.*, vol.191, pp. 912-922, Dec. 2018, doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.10.080.
- [6] J. P. Patel, “Broader use of steel slag aggregates in concrete,” M.S. Thesis, Civ. Eng., Cle. and Sta. Univ., OH, USA, 2008.
- [7] N. Đ. Trọng, “Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng tro bay đến tính chất của bê tông đầm lăn sử dụng hỗn hợp cát mịn tự nhiên và cát nghiền,” *TC KH GTVT*, vol. 51, tr. 43-47, tháng 4 năm 2016.
- [8] ACI 325.10R95, “Report on Roller Compacted Concrete Pavement,” Reapproved 2001, pp.31-1
- [9] *Quyết định về việc Ban hành quy định tạm thời về kỹ thuật thi công và nghiệm thu mặt đường bê tông đầm lăn trong xây dựng công trình giao thông*, 4452/QĐ-BGTVT, Bộ Giao thông vận tải, HN, VN, 18/12/2015.
- [10] *Thi công và nghiệm thu mặt đường bê tông xi măng trong xây dựng công trình giao thông*, TCCS40 : 2022/TCĐBVN, Tổng cục đường bộ Việt Nam, HN, VN, 11/5/2022.