

NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG XỈ THÉP-CÁT MỊN GIA CỐ XI MĂNG LÀM LỚP MÓNG ĐƯỜNG Ô TÔ

Nguyễn Thị Thúy Hằng^{a,*}, Mai Hồng Hà^b, Trần Văn Tiêng^a

^a*Khoa Xây dựng, Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh,
số 01 đường Võ Văn Ngân, quận Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam*

^b*Khoa Công trình giao thông, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh,
số 02 đường Võ Oanh, quận Bình Thạnh, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam*

Nhận ngày 04/09/2019, Sửa xong 09/10/2019, Chấp nhận đăng 09/10/2019

Tóm tắt

Xỉ thép là sản phẩm phụ, được tạo ra trong quá trình luyện thép. Theo thống kê của Sở Tài nguyên-Môi trường (2017), tại Bà Rịa Vũng Tàu có 6 nhà máy thép đang hoạt động với tổng công suất 4,5 triệu tấn/năm và lượng xỉ thép phát sinh vào khoảng 10% sản lượng thép, phần lớn đang được lưu trữ và là nguyên nhân gây tác động xấu đến môi trường. Trong nghiên cứu này, cấp phối hạt của xỉ thép được điều chỉnh bằng cách phối trộn với cát mịn tạo thành cấp phối xỉ thép-cát mịn (tỷ lệ xỉ thép/cát mịn là 80%/20%), sau đó gia cố với xi măng với hàm lượng 4%, 6%, 8%. Các thí nghiệm xác định cường độ chịu nén, cường độ chịu ép chẻ và mô đun đàn hồi ở tuổi 7, 14, 28 và 56 ngày được thực hiện để đánh giá khả năng làm việc của vật liệu gia cố xi măng trong kết cấu áo đường. Kết quả cho thấy các đặc tính kỹ thuật của cấp phối xỉ thép-cát mịn gia cố xi măng được cải thiện đáng kể nên có thể dùng làm lớp móng trên của kết cấu áo đường khi hàm lượng xi măng gia cố từ 6-8%.

Từ khoá: xỉ thép; cát mịn; gia cố xi măng; cường độ chịu nén; cường độ chịu ép chẻ; mô đun đàn hồi.

STUDY ON USING RECYCLE STEEL SLAG-FINE SAND TREATED WITH CEMENT FOR ROAD PAVEMENT SUBBASES

Abstract

Steel slag is a by-product of steel making. According to statistics released (2017) by the Department of Natural Resources and Environment, Ba Ria – Vung Tau province has 6 operating steel factories with a total capacity of 4.5 million tons /year and the amount of steel slag that was produced about 10%, has been landfilling and causing negative effects against the environment. In this study, the grain size distribution of steel slag is corrected by mixing with fine sand to make steel slag-fine sand aggregate (the ratio of mixing is 80% steel slag and 20% fine sand), then it was treated with portland cement. The characteristics of this aggregate such as compressive strength, splitting tensile strength and elastic modulus in 7, 14, 28 and 56 days age are determined for evaluation using the cement treated steel slag-fine sand aggregate in pavement. The results show that the technical specifications of cement treated steel slag-fine sand aggregate are improved efficiency, it can be used for road base when treated by 6-8% cement.

Keywords: steel slag; fine sand; cement treated; compressive strength; splitting tensile strength and elastic modulus.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(5V\)-11](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(5V)-11) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Hiện nay, xỉ thép được xem là vật liệu tái chế sử dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như xây dựng đường, làm cốt liệu cho bê tông, trong nông nghiệp [1]. Các nghiên cứu về xỉ thép ở trong nước

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: hangntt@hcmute.edu.vn (Hằng, N. T. T.)

[2–6] và ngoài nước [7–11] đang dần khẳng định khả năng ứng dụng của xỉ thép trong ngành xây dựng nói chung và trong xây dựng đường nói riêng. Trong một nghiên cứu về việc dùng xỉ thép thay thế cấp phối đá dăm làm lớp móng cho kết cấu áo đường đã được đề cập ở [12], kết quả cho thấy xỉ thép có các chỉ tiêu cơ lý tương đồng với cấp phối đá dăm loại II nên chỉ có thể dùng làm lớp móng dưới. Khi dùng xỉ thép gia cố xi măng với tỉ lệ từ 4-10% [13], cường độ chịu nén và module đàn hồi được cải thiện đáng kể, tuy nhiên cường độ ép chẻ ở 14 ngày tuổi của tất cả các tỷ lệ xi măng đều nhỏ hơn 0,35 MPa nên vẫn không được dùng làm lớp móng trên của kết cấu áo đường theo [14].

Trong nghiên cứu này, tác giả đề xuất cải thiện cấp phối xỉ thép bằng cách phối trộn với cát mịn, cấp phối xỉ thép – cát mịn sau đó được gia cố xi măng với tỷ lệ 4-8% dựa theo kết quả nghiên cứu [11] và theo quyết định 2218 của Bộ GTVT. Các chỉ tiêu cơ lý dùng để đánh giá vật liệu gia cố này như cường độ chịu nén (R_n), cường độ ép chẻ (Re_{ch}), module đàn hồi ở tuổi 7, 14, 28 và 56 ngày được xác định để xem xét khả năng ứng dụng của cấp phối xỉ thép-cát mịn gia cố xi măng làm lớp móng trên của kết cấu áo đường.

2. Vật liệu thử nghiệm

Các nguyên liệu được dùng để làm thực nghiệm bao gồm:

2.1. Xi măng

Chất kết dính sử dụng xi măng Hà Tiên PCB40 có các đặc trưng kỹ thuật ở Bảng 1 phù hợp với các yêu cầu của xi măng dùng để gia cố theo tiêu chuẩn TCVN 8858:2011 [15].

Bảng 1. Các chỉ tiêu cơ lý của xi măng PCB40

Chỉ tiêu thí nghiệm	Phương pháp thí nghiệm	Kết quả
Cường độ chịu nén 28 ngày (Mpa)	TCVN 6016:2011 [16]	42,5
Khối lượng riêng (g/cm^3)	TCVN 4030:2003 [17]	3,09
Độ mịn Blaine (cm^2/g)	TCVN 4030:2003 [17]	3900
Lượng tiêu chuẩn (%)	TCVN 6017:2015 [18]	32,5
Thời gian đông kết (phút)	TCVN 6017:2015 [18]	
+ Bắt đầu		105
+ Kết thúc		215

2.2. Nước

Nước dùng trộn bê tông là nước sạch đảm bảo yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 4506:2012 [19].

2.3. Xỉ thép

Xỉ thép từ các nhà máy luyện thép ở Bà Rịa Vũng Tàu được tái chế tại công ty Trách nhiệm hữu hạn Vật liệu xanh có các tính chất cơ lý và thành phần hạt thí nghiệm theo [20] đã được nghiên cứu ở [12] thể hiện ở Bảng 2 và 3.

2.4. Cát mịn

Cát mịn được sử dụng trong phạm vi nghiên cứu của đề tài là loại cát tự nhiên sông Đồng Nai có các chỉ tiêu cơ lý và hoá học của cát được thể hiện ở Bảng 4 và 5.

Bảng 2. Các chỉ tiêu cơ lý của xỉ thép [12]

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị tính	Giá trị trung bình
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	3,552
2	Khối lượng thể tích ở trạng thái khô	g/cm ³	3,285
3	Khối lượng thể tích ở trạng bão hòa	g/cm ³	3,361
4	Độ hút nước	%	2,275
5	Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	1858,3
6	Độ rỗng giữa các hạt	%	48,28
7	Hàm lượng bụi, bùn, sét	%	0,953
8	Độ hao mòn khi va đập Los Angele	%	21,36
9	Hàm lượng thoi dẹt	%	1,00
10	KLTT khô khi ĐNTC	g/cm ³	2,458
11	Độ ẩm tối ưu khi ĐNTC	%	3,474
12	Độ trương nở thể tích	%	0
13	Sức chịu tải CBR trong phòng	%	96,96
14	Mô đun đàn hồi của vật liệu	MPa	248,2

Bảng 3. Bảng phân tích thành phần hạt của xỉ thép

Kích thước mắt sàng (mm)	Tỷ lệ lọt sàng, % theo khối lượng
50	100,0
37,5	100,0
31,5	97,3
25	88,9
19	80,7
9,5	52,9
4,75	29,4
2,36	14,4
0,425	3,1
0,075	0,7
< 0,075	0,0

Bảng 4. Chỉ tiêu cơ lý và hoá học của cát mịn dùng để phối trộn với xỉ thép

Thứ tự	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị tính	Phương pháp thí nghiệm	Kết quả
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	TCVN 7572-4:2006 [20]	2,67
2	Khối lượng thể tích	g/cm ³	TCVN 7572-4:2006 [20]	2,5
3	Độ xốp tự nhiên	%		46,20
4	Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	TCVN 7572-6:2006 [20]	1345
5	Độ hút nước	%	TCVN 7572-4:2006 [20]	2,58
6	Tạp chất hữu cơ so với màu chuẩn	so màu	TCVN 7572-9:2006 [20]	Ngang màu chuẩn
7	Hàm lượng bùn sét	%	TCVN 7572-8:2006 [20]	2,08
8	Hàm lượng silic hoà tan, Sc	mol/l	TCVN 7572-19:2006 [20]	62,86
9	Hàm lượng ion Cl ⁻	%	TCVN 7572-12:2006 [20]	0,007
10	Hàm lượng SO ₃	%	TCVN 7572-16:2006 [20]	0,012
11	Hàm lượng mica	%	TCVN 7572-20:2006 [20]	0,01

Bảng 5. Thành phần hạt của cát mịn [20]

Kích thước mắt sàng (mm)	Lượng sót tích lũy trên sàng (%)
4,75	0,00
2,36	1,00
0,425	38,76
0,075	95,09
< 0,075	100,00

3. Thiết kế thí nghiệm

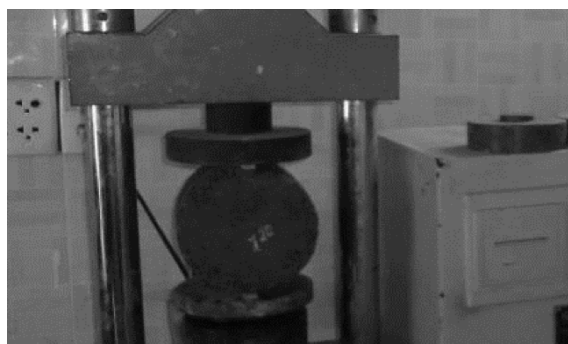
Cát mịn được trộn với xỉ thép với tỷ lệ 80% là xỉ thép và 20% là cát mịn thành cấp phối xỉ thép-cát mịn, sau đó được gia cố xi măng với tỷ lệ 4%; 6%; 8%. Một tổ hợp gồm có 36 mẫu như Hình 1 được chế tạo từ cấp phối gia cố trên, trong đó có 24 mẫu đúc bằng cối Proctor cải tiến (chiều cao 11,7 cm; đường kính 15,2 cm), để thí nghiệm cường độ chịu nén theo TCVN 8858:2011 [15] và cường độ ép chẻ theo TCVN 8862:2011 [21] (Hình 2 và 3); 12 mẫu đúc bằng cối tiêu chuẩn (có đường kính 10,16 cm, cao 11,7 cm), để thí nghiệm mô đun đàn hồi theo TCVN 9843:2013 [22] (Hình 4). Đối với mẫu đúc bằng cối tiêu chuẩn được chia thành 5 lớp, mỗi lớp đầm 25 chày 4,5 kg; mẫu đúc bằng cối Proctor cải tiến được chia thành 5 lớp, mỗi lớp đầm 56 chày 4,5 kg. Tất cả các mẫu đúc thí nghiệm được xác định cường độ chịu nén, cường độ ép chẻ và mô đun đàn hồi.



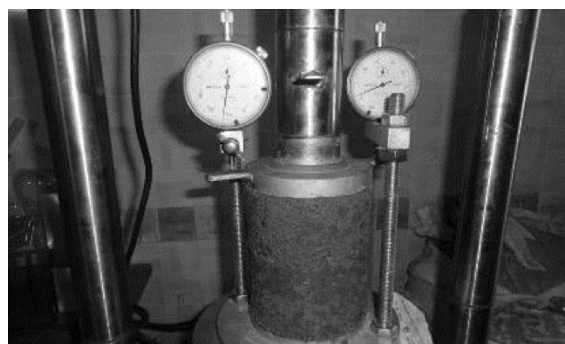
Hình 1. Mẫu thí nghiệm xỉ thép gia cố tập kết để tiến hành bảo dưỡng



Hình 2. Thí nghiệm cường độ chịu nén



Hình 3. Thí nghiệm cường độ ép chẻ



Hình 4. Thí nghiệm mô đun đàn hồi

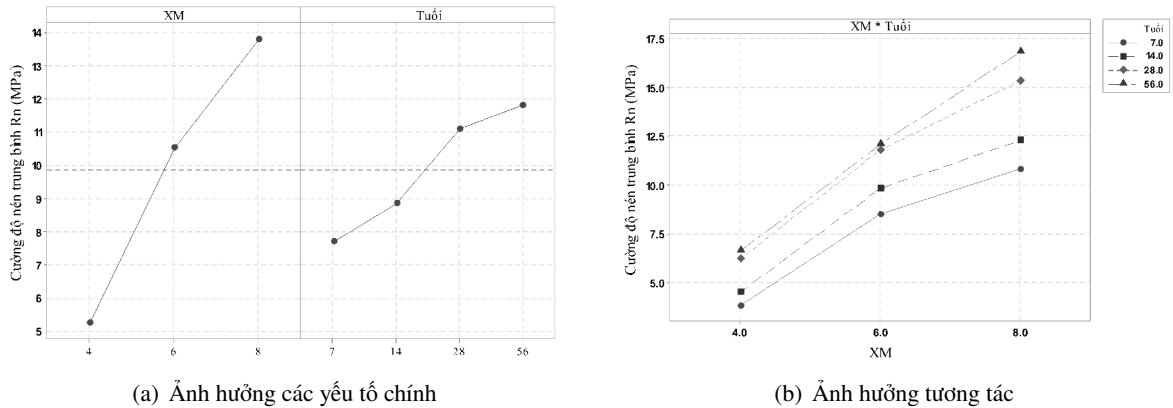
4. Kết quả thí nghiệm

Cường độ chịu nén (R_n); Cường độ chịu ép chẻ ($Rech$); Mô đun đàn hồi (E) ở tuổi 7, 14, 28, 56 ngày được thể hiện ở Bảng 6.

Bảng 6. Bảng kết quả thí nghiệm xi thép+cát mịn gia cố xi măng

Số thứ tự	Tỷ lệ XM	Tuổi	R_n (MPa)	$Rech$ (MPa)	E (MPa)
1	4	7	3,42	0,099	1220,96
2	4	14	4,70	0,165	1233,31
3	4	28	6,04	0,297	1308,51
4	4	56	6,41	0,336	1326,99
5	6	7	8,45	0,620	1516,45
6	6	14	9,82	0,766	1584,22
7	6	28	12,01	0,944	1749,25
8	6	56	12,72	0,827	1776,59
9	8	7	10,99	1,012	1589,75
10	8	14	12,26	1,181	1584,76
11	8	28	15,81	1,347	1775,43
12	8	56	17,40	1,669	1941,99
13	4	7	4,15	0,074	1221,57
14	4	14	4,23	0,158	1239,28
15	4	28	5,84	0,309	1303,36
16	4	56	6,33	0,315	1326,84
17	6	7	8,76	0,617	1533,78
18	6	14	10,15	0,649	1562,28
19	6	28	12,52	0,819	1605,17
20	6	56	11,35	0,890	1768,89
21	8	7	10,63	0,994	1571,36
22	8	14	11,80	1,217	1698,96
23	8	28	14,28	1,370	1890,35
24	8	56	16,40	1,718	1922,39
25	4	7	3,84	0,079	1212,85
26	4	14	4,58	0,172	1229,77
27	4	28	6,72	0,288	1307,06
28	4	56	7,06	0,324	1319,01
29	6	7	8,29	0,560	1549,82
30	6	14	9,46	0,724	1522,70
31	6	28	10,79	0,890	1776,57
32	6	56	12,11	0,954	1704,94
33	8	7	10,78	0,976	1630,28
34	8	14	12,74	1,110	1603,67
35	8	28	15,87	1,438	1920,70
36	8	56	16,62	1,609	1944,85

4.1. Phân tích cường độ chịu nén R_n



Hình 5. Biểu đồ ảnh hưởng các yếu tố đến R_n

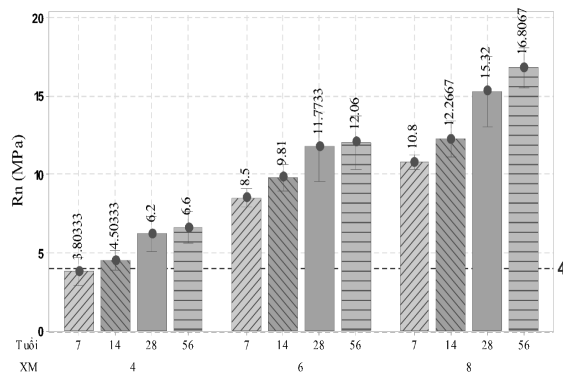
Hình 5 thể hiện sự ảnh hưởng của yếu tố hàm lượng xi măng và tuổi mẫu thí nghiệm đến cường độ chịu nén. Nhận thấy cả 2 yếu tố đều ảnh hưởng nhiều đến R_n .

- Độ tuổi đến cường độ chịu nén: ở giai đoạn đầu từ 7-14 ngày thì cường độ nén phát triển chậm, từ 14-28 ngày thì mức độ tăng nhanh hơn thể hiện qua độ dốc của biểu đồ cường độ nén theo ngày tuổi, từ 28-56 ngày thì R_n lại tăng chậm. Biểu đồ ảnh hưởng ngày tuổi đến cường độ nén không là dạng tuyến tính mà là bậc 2;

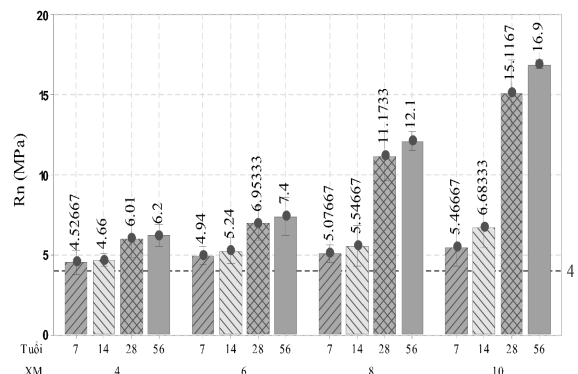
- Ảnh hưởng của tỷ lệ xi măng: Khi tỷ lệ XM tăng thì R_n cũng tăng lên, tỷ lệ tăng nhiều hơn với hàm lượng 4-6% thể hiện bằng độ dốc của các đoạn đường thẳng;

- Ảnh hưởng tương tác của XM*Tuổi cơ bản như nhau đối với các ngày tuổi và tỷ lệ xi măng. Tuy nhiên ở ngày tuổi 28 và 56 ngày thì ảnh hưởng rõ rệt hơn.

Hình 6 là biểu đồ tổng hợp cường độ nén R_n theo lượng xi măng và ngày tuổi. Tất cả các R_n ở tuổi 14 ngày đều lớn hơn 4,0 MPa nên theo quy định của [14] thì cấp phối trên có thể làm lớp móng trên cho kết cấu mặt đường. So với xi thép gia cố xi măng với tỷ lệ 6-8% (Hình 7), xi thép-cát mịn gia cố xi măng có cường độ chịu nén tăng đáng kể, và lớn nhất ở tuổi 14 ngày (khoảng 50%)



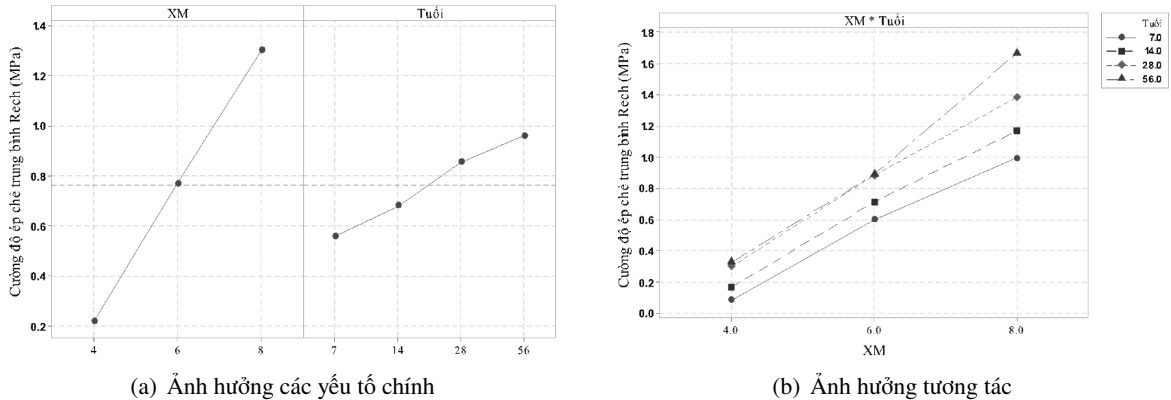
Hình 6. Biểu đồ tổng hợp R_n của xi thép+cát mịn gia cố xi măng



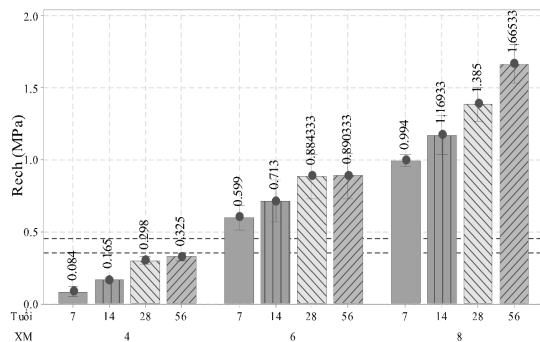
Hình 7. Biểu đồ tổng hợp R_n của xi thép gia cố xi măng [12]

4.2. Phân tích cường độ chịu ép chẻ Rech

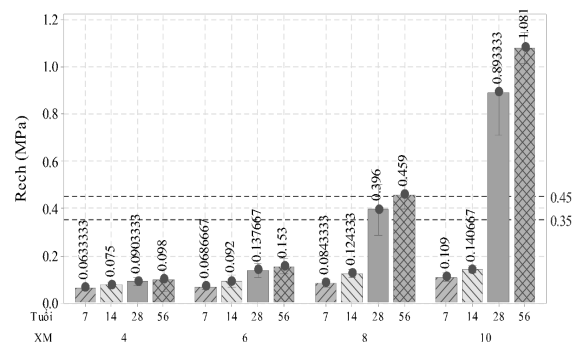
Tương tự như đối với cường độ chịu nén, Hình 8 thể hiện sự ảnh hưởng của tỷ lệ xi măng và tuổi của mẫu thí nghiệm đến cường độ ép chẻ Rech. Nhận thấy cả 2 yếu tố tỷ lệ xi măng và ngày tuổi đều ảnh hưởng nhiều đến Rech. Tuy nhiên ảnh hưởng của tỷ lệ xi măng lớn hơn ảnh hưởng của ngày tuổi đến Rech.



Hình 8. Biểu đồ ảnh hưởng các yếu tố đến Rech



Hình 9. Biểu đồ tổng hợp Rech của xỉ thép+cát mịn gia cố xi măng

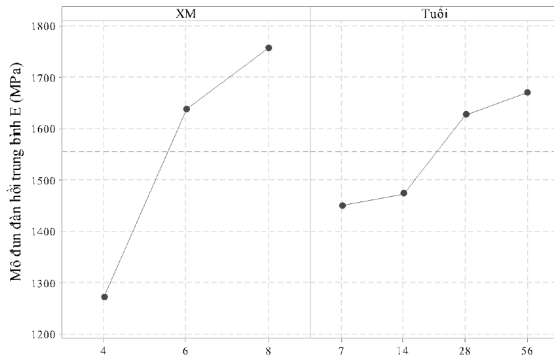


Hình 10. Biểu đồ tổng hợp Rech của xỉ thép gia cố xi măng [12]

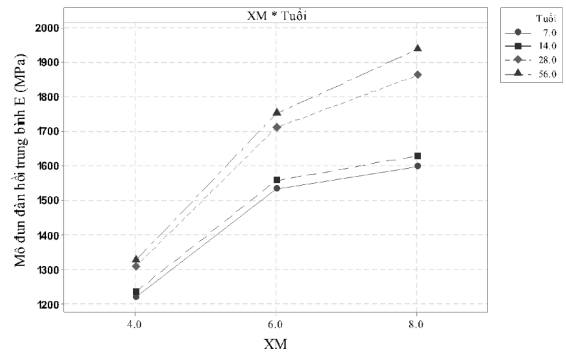
Biểu đồ tổng hợp cường độ chịu nén Rech theo lượng xi măng và ngày tuổi ở Hình 9 cho thấy cường độ ép chẻ ở tuổi 14 ngày ứng với tỷ lệ xi măng 4% nhỏ hơn 0,35 MPa nên chỉ dùng được làm lớp móng dưới theo quy định của [14]; Với tỷ lệ xi măng 6-8%, thì giá trị này đều lớn hơn 0,35 Mpa, do đó đáp ứng yêu cầu đối với vật liệu làm lớp móng trên theo quy định của [14], Yêu cầu kỹ thuật về thiết kế mặt đường bê tông Asphalt cho đường cao tốc ở Trung Quốc quy định giá trị này là 0,4-0,6 MPa [10]. So với xỉ thép gia cố xi măng với tỷ lệ 6-8% [13], cường độ ép chẻ tăng đáng kể, và lớn nhất ở tuổi 14 ngày (gần 90%).

4.3. Phân tích mô đun đàn hồi E

Tương tự như đối với cường độ chịu nén và cường độ chịu ép chẻ, sự ảnh hưởng của tỷ lệ xi măng và tuổi của mẫu thí nghiệm đến mô đun đàn hồi của xỉ thép+cát mịn gia cố xi măng được thể hiện ở Hình 11.

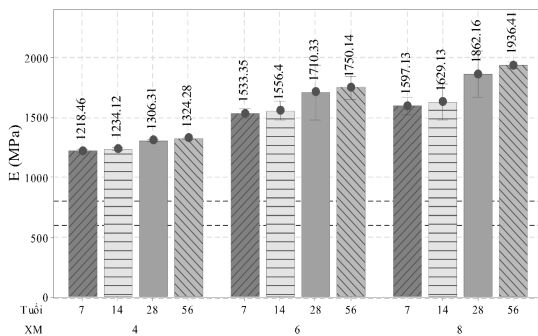


(a) Ảnh hưởng các yếu tố chính

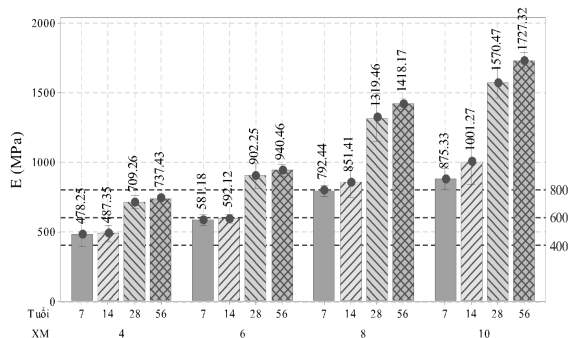


(b) Ảnh hưởng tương tác

Hình 11. Biểu đồ ảnh hưởng các yếu tố đến E



Hình 12. Biểu đồ tổng hợp E của xỉ thép+cát mịn gia cố xi măng



Hình 13. Biểu đồ tổng hợp E của xỉ thép gia cố xi măng [12]

Biểu đồ tổng hợp mô đun đàn hồi E theo lượng xi măng và ngày tuổi ở Hình 12 cho thấy mô đun đàn hồi ứng với các tỷ lệ xi măng, các ngày tuổi đều lớn hơn giới hạn 600-800 MPa, như vậy có thể đạt yêu cầu về mô đun đàn hồi đối với lớp móng trên cho kết cấu áo đường. Yêu cầu kỹ thuật về thiết kế mặt đường bê tông Asphalt cho đường cao tốc ở Trung Quốc quy định giá trị này là 1300-1700 MPa [10]. So với xỉ thép gia cố xi măng với tỷ lệ 4-8% (Hình 13), mô đun đàn hồi tăng đáng kể, và lớn nhất ở tuổi 7 và 14 ngày (khoảng 50-60%).

5. Kết luận

Khi xỉ thép được phối trộn với cát mịn với tỷ lệ 20% cát mịn và 80% xỉ thép tạo thành cấp phối xỉ thép-cát mịn có các chỉ tiêu cơ lý được cải thiện đáng kể. Dựa vào các kết quả thực nghiệm và các phân tích được trình bày ở trên có thể đưa ra một số kết luận như sau:

- Với tỷ lệ xi măng 4%, hỗn hợp xỉ thép + cát mịn gia cố;
- Xi măng có thể dùng làm lớp móng dưới cho kết cấu áo đường;
- Xỉ thép+cát mịn (tỷ lệ 80/20) gia cố xi măng có 2 chỉ tiêu cường độ nén và mô đun đàn hồi thỏa mãn điều kiện để làm lớp móng trên của kết cấu áo đường, riêng chỉ tiêu cường độ chịu ép chẻ thì chỉ có hỗn hợp gia cố tỷ lệ xi măng từ 6-8% mới thỏa mãn điều kiện để làm lớp móng trên của kết cấu áo đường;

- So với xỉ thép gia cố xi măng với tỷ lệ 6-8% [13], xỉ thép-cát mịn gia cố xi măng có cường độ chịu nén tăng khoảng 50% (Hình 7), cường độ ép chế tăng khoảng 90% (Hình 10), module đàn hồi tăng khoảng 50-60% (Hình 13), tăng đáng kể, và lớn nhất ở tuổi 14 ngày.

Tài liệu tham khảo

- [1] Lim, J. W., Chew, L. H., Choong, T. S. Y., Tezara, C., Yazdi, M. H. (2016). Utilizing steel slag in environmental application - An overview. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing.
- [2] Hằng, N. T. T., Hùng, P. Đ., Hà, M. H. (2016). Hiệu chỉnh thành phần cấp phối bê tông cốt liệu xỉ thép. *Người Xây dựng*.
- [3] Hằng, N. T. T., Hùng, P. Đ., Hà, M. H. (2016). Xác định các đặc trưng cơ học của bê tông sử dụng xỉ thép như cốt liệu lớn. *Tạp chí Xây dựng*.
- [4] Hằng, N. T. T., Vũ, N. H., Hùng, P. Đ., Hà, M. H. (2015). Ứng xử chịu uốn của dầm bê tông cốt thép cốt liệu xỉ thép. *Tạp chí Người Xây dựng*.
- [5] Du, N. (2016). *Nghiên cứu khả năng sử dụng cốt liệu xỉ thép để sản xuất bê tông nhựa nóng ở khu vực phía nam Việt Nam*. Trường Đại học Giao thông Vận tải Cơ sở II, Tp. Hồ Chí Minh.
- [6] Liêm, N. D., Ngã, V. T. B., Sơn, Đ. X., Phụng, T. M. (2019). [Nghiên cứu dùng muội than đen và xỉ lò cao nghiền mịn trong việc cải thiện khả năng tự cảm biến của bê tông tính năng cao](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐH XD*, 13(4V):151–158.
- [7] Maruthachalam, V., Palanisamy, M. (2014). *High performance concrete with steel slag aggregate*.
- [8] Maruthachalam, V., Palanisamy, M. (2014). High performance concrete with steel slag aggregate. *GRADVINAR*, 66:605–612.
- [9] Oluwasola, E. A., Hainin, M. R., Aziz, M. M. A. (2014). [Characteristics and utilization of steel slag in road construction](#). *Jurnal Teknologi*, 70(7).
- [10] Shen, W., Zhou, M., Ma, W., Hu, J., Cai, Z. (2009). [Investigation on the application of steel slag-fly ash-phosphogypsum solidified material as road base material](#). *Journal of Hazardous Materials*, 164(1): 99–104.
- [11] Van Oss, H. G. (2003). *Slag-iron and steel*. US geological survey minerals yearbook.
- [12] Hà, M. H., Hằng, N. T. T. (2018). Nghiên cứu sử dụng xỉ thép tái chế làm lớp móng đường ô tô. *Khoa học Công nghệ Giao thông vận tải*, 27-28:149–154.
- [13] Hà, M. H., Hằng, N. T. T., Hùng, P. D. (2019). Nghiên cứu sử dụng xỉ thép tái chế gia cố xi măng làm lớp móng đường ô tô. *Khoa học Công nghệ Giao thông vận tải*, 31-32:149–154.
- [14] Quyết định số 2218/QĐ-BGTVT (2018). *Hướng dẫn điều chỉnh, bổ sung một số nội dung kỹ thuật trong công tác thiết kế, thi công và nghiệm thu lớp móng cấp phối đá dăm gia cố xi măng trong kết cấu mặt đường ô tô*. Bộ Giao thông vận tải, Việt Nam.
- [15] TCVN 8858:2011. *Móng cấp phối đá dăm và cấp phối thiên nhiên gia cố xi măng trong kết cấu áo đường ô tô - Thi công và nghiệm thu*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [16] TCVN 6016:2011. *Xi măng - phương pháp thử – xác định cường độ*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [17] TCVN 4030:2003. *Xi măng – Phương pháp xác định độ mịn*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [18] TCVN 6017:2015. *Xi măng - Phương pháp xác định thời gian đông kết và độ ổn định thể tích*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [19] TCVN 4506:2012. *Nước trộn bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [20] TCVN 7572-4:2006. *Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [21] TCVN 8862:2011. *Quy trình thí nghiệm xác định cường độ kéo khi ép chế của vật liệu hạt liên kết bằng các chất kết dính*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [22] TCVN 9843:2013. *Xác định mô đun đàn hồi của vật liệu gia cố chất liên kết vô cơ*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.