

Thực nghiệm hiện trường mặt đường bê tông hạt nhỏ sử dụng cát mịn và phụ gia khoáng ở tỉnh Quảng Ngãi

■ **TS. HỒ VĂN QUÂN; ThS. NGUYỄN TẤN KHOA; PGS. TS. PHAN CAO THỌ**

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng

■ **PGS. TS. NGUYỄN THANH SANG**

Trường Đại học Giao thông vận tải

TÓM TẮT: Bài báo trình bày kết quả từ thực nghiệm hiện trường về cường độ nén, ép chẻ và khả năng chống thâm nhập clorua của các loại bê tông hạt nhỏ (BTHN) cấp 35 MPa và 45 MPa, thí nghiệm được thực hiện trên các mẫu đúc trong phòng, mẫu đúc và mẫu khoan ngoài hiện trường ở 7 và 28 ngày. Trong thành phần của BTHN sử dụng tổ hợp 35% xỉ lò cao (XL) và 20% tro bay (TB). Mặt đường BTHN thi công ngoài hiện trường được bảo dưỡng (BD) bằng cách phủ lớp cát dày 5 cm và tưới nước giữ ẩm trong 3 điều kiện: 7 ngày, 10 ngày và 14 ngày. Các mẫu bê tông đúc ngoài hiện trường được BD ẩm cùng điều kiện với mặt đường. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng, phương pháp BD ẩm có ảnh hưởng đáng kể đến cường độ và khả năng chống thâm nhập clorua của mặt đường BTHN ngoài hiện trường, thời gian BD ẩm càng dài thì cường độ của bê tông càng cao và độ thấm clorua càng thấp. Cường độ yêu cầu của BTHN thi công ngoài hiện trường ở các điều kiện BD ẩm khác nhau đều đạt yêu cầu so với cường độ thiết kế.

TỪ KHÓA: Bê tông hạt nhỏ, xỉ lò cao nghiền mịn, tro bay, độ thấm clorua, mặt đường bê tông xi măng.

ABSTRACT: This paper presents the results from field experiments on compressive strength, split tensile strength and chloride penetration resistance of 35 MPa and 45 MPa grade fine grained concrete (FGC). Experiments were performed on laboratory cast, cast and field drilled samples at 7 and 28 days. In the composition of FGC uses a combination of 35% ground granulated blast furnace slag (GGBFS) and 20% fly ash (FA). FGC pavement constructed in the field is cured by covering with 5 cm thick sand layer and watering to keep moisture in 3 conditions: 7 days, 10 days and 14 days. Field-cast concrete samples are cured to the same conditions as the FGC pavement. The results of the study show that the the moisture curing method has a significant effect on the strength and chloride penetration resistance of the FGC pavement in the field, the longer the moisture curing time, the higher the strength of the

concrete and the lower the chloride permeability. The required strength of FGC constructed in the field at different the moisture curing conditions meet the design strength requirements.

KEYWORDS: Fine grained concrete, ground granulated blast furnace slag, fly ash, chloride permeability, concrete pavement.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nhu cầu sử dụng cát sông (CS) để sản xuất bê tông xi măng (BTXM) xây dựng công trình ngày càng lớn do sự phát triển mạnh của cơ sở hạ tầng. Việc khai thác cát trên sông đã gây ra nhiều vấn đề nghiêm trọng đến sinh thái và môi trường như giảm khả năng chứa nước, mất thảm thực vật, ô nhiễm nguồn nước và đặc biệt là gây xói mòn, trượt lở bờ sông, thay đổi dòng chảy và lũ lụt. Trong hoàn cảnh đó, việc sử dụng các vật liệu để thay thế CS trở nên vô cùng quan trọng theo hướng thân thiện với môi trường. Ở một số nước thiếu CS, để giảm chi phí vận chuyển người ta đã sử dụng cát mịn (CM) thay thế CS trong sản xuất BTXM [1,2], đặc biệt, CM rất phù hợp để sản xuất BTHN. BTHN hay còn gọi là bê tông cát là một loại bê tông mới có cường độ tương đương với BTXM thông thường [3,4]. BTHN thường bao gồm cát (không có đá dăm), xi măng, nước, chất độn và phụ gia khoáng [5]. TB, XL nghiền mịn (XL), bột đá vôi... và các puzolan tự nhiên thường được sử dụng làm chất độn để sản xuất BTHN [6]. Trên thế giới, BTHN hiện nay có thể xem là loại bê tông thân thiện với môi trường và được nhiều tác giả nghiên cứu và ứng dụng [3,4,5,6,7,8,9].

Ở Việt Nam, tình trạng thiếu hụt CS cũng rất nghiêm trọng, nhiều địa phương phải mua CS từ các nơi khác để sản xuất BTXM làm tăng chi phí vận chuyển và giá thành xây dựng. Với đường bờ biển dài khoảng 3.260 km chạy dài từ Bắc tới Nam, lượng CM hiện rất dồi dào và chưa được khai thác, nếu tận dụng được nguồn CM này để sản xuất BTHN thì tình trạng thiếu hụt CS sẽ được cải thiện phần nào, đặc biệt là ở các vùng ven biển và hải đảo. BTHN đã được nghiên cứu ở Việt Nam vào những năm đầu của thế kỉ 21 [10], đến nay đã có nhiều công trình được nghiên cứu [11,12].

Nghiên cứu này tiến hành thí công thí điểm một đoạn mặt đường ô tô ngoài hiện trường bằng hai loại BTHN có cấp cường độ nén 35 MPa và 45 MPa sử dụng 35%XL và 20%TB để đánh giá, so sánh với kết quả trong phòng thí nghiệm (PTN) và điều chỉnh một số nội dung trong quá trình thí công để phù hợp với đặc tính của BTHN.

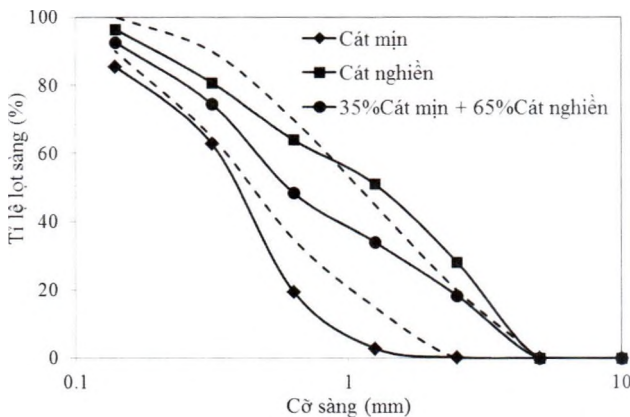
2. VẬT LIỆU SỬ DỤNG VÀ CHƯƠNG TRÌNH THÍ NGHIỆM

2.1. Vật liệu

Chất kết dính: Sử dụng xi măng poóc-lăng hỗn hợp PCB40 (X) thỏa mãn TCVN 6260:2009; phụ gia khoáng (PGK) gồm TB loại F (TB) và XL nghiền mịn S95 (XL) phù hợp với TCVN 10302:2014 và TCVN 11586:2016.

Cốt liệu: Sử dụng cát mịn (CM) có $M_k = 1,71$, cát nghiền (CN) có $M_k = 3,20$ là các vật liệu địa phương có tính chất phù hợp với TCVN 7570:2006. Thành phần hạt của CM và CN không thỏa mãn loại cát thô theo TCVN 7570:2006, tuy nhiên khi phối hợp 65%CN và 35%CM thì thỏa mãn yêu cầu. Thành phần hạt của CM và CN được trình bày trong Hình 2.1.

Phụ gia siêu dẻo (SD) thỏa mãn ASTM C494 loại F.



Hình 2.1: Thành phần hạt của CM và CN

Hai loại BTHN có tỉ lệ nước - chất kết dính (N/CKD) là 0,36 và 0,32 được thiết kế theo phương pháp thể tích đặc lớn nhất [13], sử dụng 35%XL và 20%TB thay thế X được trình bày trong Bảng 2.1.

Bảng 2.1. Thành phần của các loại BTHN

Kí hiệu bê tông	X (kg)	N (lit)	XL (kg)	TB (kg)	CKD (kg)	CN (kg)	CM (kg)	N/CKD	SD (%CKD)	Độ sụt (cm)
32XLTB	261	186	203	116	580	1039	506	0,32	2,0	14-16
36XLTB	247	198	193	110	550	1039	612	0,36	1,5	14-16

2.2. Chương trình thí nghiệm

2.2.1. Thí nghiệm xác định cường độ nén và ép chệ

Các mẫu BTHN trong PTN (MPTN) là mẫu trụ 150x300 mm được đúc và BD theo TCVN 3105:1993. Các mẫu BTHN đúc ngoài hiện trường (MĐHT) là mẫu trụ 100x200 mm, các mẫu khoan từ mặt đường BTHN ngoài hiện trường (MKHT) có đường kính 100 mm và chiều cao bằng chiều dày tấm BTHN (h_{BTHN}) là 20 cm, các mẫu này được gia công trong PTN trước khi thí nghiệm.

Cường độ nén R_n và ép chệ R_e của các mẫu BTHN được thí nghiệm theo TCVN 3118:1993 và TCVN 3120:1993 và được tính theo các công thức sau:

$$R_n = \alpha \beta \frac{P_n}{F} \text{ (MPa)} \tag{2.1}$$

$$R_e = \alpha \frac{2P_e}{\pi HD} \text{ (MPa)} \tag{2.2}$$

Trong đó:

P_n và P_e - Lực nén và ép chệ phá hoại mẫu (N);

F - Diện tích chịu lực của viên mẫu (mm^2);

H - Chiều cao mẫu (mm); D - Đường kính mẫu (mm).

α - Hệ số tính đổi cường độ của mẫu trụ 100x200 mm về cường độ của mẫu trụ 150x300 mm, $\alpha = 0,967$.

β - Hệ số tính đổi cường độ nén của mẫu trụ khoan hiện trường có tỉ số $H/D < 2$ theo Bảng 2.2.

Bảng 2.2. Hệ số tính đổi β

H/D	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
β	0,99	0,98	0,97	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,9	0,89

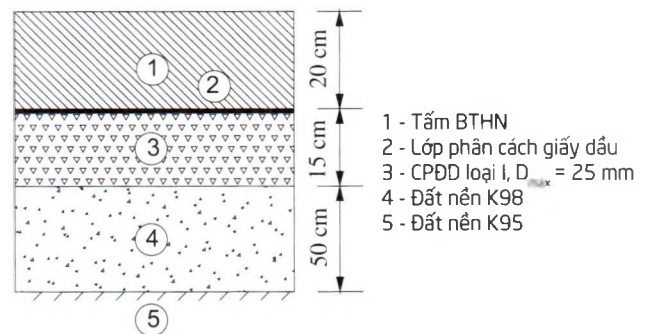
2.2.2. Thí nghiệm xác định độ thấm clorua

Thí nghiệm độ thấm clorua của các mẫu trụ BTHN 100x200 mm được tiến hành theo TCVN 9337:2012.

2.3. Thí công thử nghiệm ngoài hiện trường

Hiện trường (HT) thí công là công trình mặt đường BTXM ven biển ở xã Nghĩa An, tỉnh Quảng Ngãi. Kết cấu áo đường gồm các lớp vật liệu như Hình 2.2.

Mặt đường rộng 7,0 m (tấm BTHN rộng 6,50 m, đá vữa mỗi bên rộng 0,25 m), khoảng cách giữa các khe co là 5,0 m và giữa các khe giãn là 45 m. Các khe co, khe giãn có bố trí thanh truyền lực (TTL) bằng thép tròn trơn $\Phi 25$ mm, dài 50 cm và cách nhau 50 cm.



Hình 2.2: Kết cấu áo đường BTHN

Hai loại BTHN được thí công thử nghiệm ngoài HT với chiều dài cho mỗi loại là 45 m. Thí công mặt đường BTHN tuân theo QĐ 1951/BGTVT [14].

2.3.1. Công tác chuẩn bị

Các lớp móng và đá vữa hai bên đường đã được thí công và nghiệm thu. Trước khi thí công, lớp móng cấp phối đá dăm (CPĐD) loại 1 được san gạt tạo mũi lượn với độ dốc ngang 2% và lu lèn tạo phẳng, sau đó tưới ẩm nước trên mặt lớp móng.

2.3.2. Lắp đặt ván khuôn và lớp phân cách

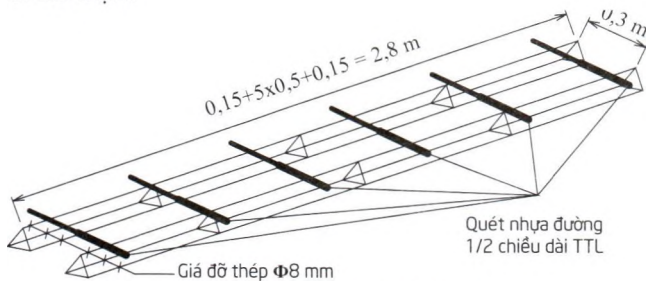
Sử dụng ván khuôn thép với chiều dài mỗi tấm là 5,0 m, chiều cao là 20 cm. Thành ván khuôn tiếp xúc với bê tông được quét dầu chống dính để thuận tiện khi tháo dỡ. Sau khi lắp dựng ván khuôn, tiến hành trải lớp phân cách giấy dầu, vị trí tiếp giáp giữa các tấm giấy dầu được chồng lên nhau 20 - 25 cm.

2.3.3. Công tác trộn và vận chuyển hỗn hợp bê tông

Hỗn hợp BTHN được trộn ở trạm trộn cách nơi thi công khoảng 10 km và vận chuyển bằng ô tô chuyên dùng với thể tích thùng 7,0 m³.

2.3.4. Công tác lắp đặt thanh truyền lực

Các vị trí khe co được đánh dấu trên thành ván khuôn và đá vữa, các TTL được quét nhựa đường 1/2 chiều dài thanh và được đặt trên giá đỡ chế tạo sẵn bằng thép Φ8 mm, chiều cao của giá đỡ bằng 1/2 h_{BTHN} như Hình 2.3. Khi đổ bê tông gần đến vị trí các khe co thì tiến hành lắp giá đỡ TTL vào vị trí đã đánh dấu sẵn, dùng các đinh thép Φ8 mm dài 20 cm để ghim giá đỡ TTL cố định xuống lớp móng CPĐD loại I.



Hình 2.3: Giá đỡ thanh truyền lực

2.3.5. Công tác đổ, đầm, nhấn khe, hoàn thiện và tạo nhám mặt đường

Hỗn hợp BTHN được đổ vào trong ván khuôn, đầu tiên sử dụng đầm dùi, sau đó đến đầm bàn và cuối cùng là đầm ống di chuyển trên ván khuôn để san gạt. Sử dụng các bàn xoa cán ngắn và cán dài để hoàn thiện bề mặt BTHN.

Sử dụng các thanh thép dài 3,2 m, dày 8 mm và sâu bằng 1/4 h_{BTHN} (5,0 cm) để nhấn tạo khe co, các thanh nhấn tạo khe được quét dầu chống dính trước khi sử dụng. Sau khi nhấn tạo khe, sử dụng các bàn xoa để hoàn thiện lại bề mặt BTHN ở hai bên khe co.

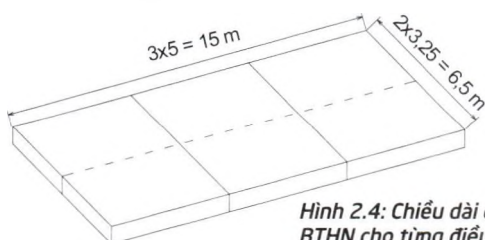
Khi mặt đường HTHN vừa se lại thì tiến hành tạo nhám bằng chổi sợi dẻo.

2.3.6. Công tác BD

Công tác BD mặt đường được tiến hành theo TCVN 8828:2011. Sau khi tạo nhám, tiến hành phun hợp chất BD dạng sương mù bằng thiết bị cầm tay lên bề mặt BTHN để BD ban đầu.

Sau khi bê tông đông cứng (khoảng 24h sau khi đổ), tiến hành BD ẩm tự nhiên (BDTN) bằng cách phủ một lớp cát dày 5 cm trên mặt đường và tưới ẩm nước giữ ẩm. Việc tưới nước giữ ẩm được thực hiện 2 lần/ngày vào lúc sáng sớm và chiều muộn cho đến khi kết thúc BD.

Nghiên cứu tiến hành BDTN theo 3 điều kiện: 7, 10 và 14 ngày, chiều dài đoạn mặt đường BTHN cho mỗi điều kiện BDTN dài 15 m như trong Hình 2.4.

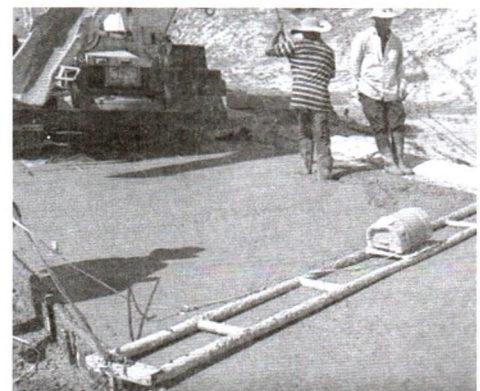


Hình 2.4: Chiều dài đoạn mặt đường BTHN cho từng điều kiện BDTN

2.3.7. Công tác đúc và khoan mẫu hiện trường

Các MĐHT được đúc trong quá trình đổ bê tông và được BDTN cùng điều kiện với mặt đường BTHN. Các MKHT được khoan từ mặt đường BTHN ở 7 và 28 ngày, sử dụng mũi khoan có đường kính trong là 100 mm.

Mỗi tổ mẫu đúc và khoan ngoài HT gồm 3 mẫu cho mỗi thí nghiệm cường độ và 2 mẫu cho thí nghiệm thấm clorua. Kết quả là giá trị trung bình của tổ mẫu.





Hình 2.5: Các hình ảnh thi công ngoài hiện trường

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Một vài điểm cần chú ý trong quá trình thi công

3.1.1. Thời điểm tháo ván khuôn

Vì sử dụng đến 55%PGK nên thời gian đông kết (TGĐK) của BTHN kéo dài. Theo quan sát của nhóm nghiên cứu, thời gian tháo ván khuôn không nên nhỏ hơn 24h sau khi đổ bê tông khi thi công trong mùa khô, nếu tháo ván khuôn sớm lúc bê tông chưa đông cứng có thể bị chảy sệ làm hỏng tấm BTHN. Khi thi công trong mùa mưa, thời gian tháo ván khuôn không nên nhỏ hơn 48h. Trường hợp mặt đường BTHN có bố trí thanh liên kết, để đảm bảo khi tháo ván khuôn không ảnh hưởng đến chất lượng của thanh liên kết, thời gian tháo ván khuôn không nên nhỏ hơn 72h.

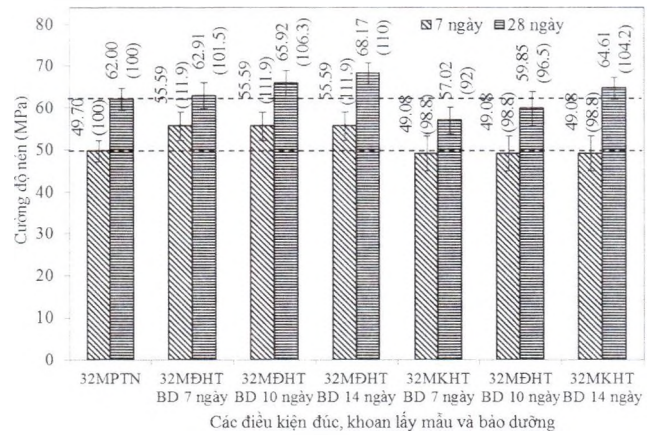
3.1.2. Thi công kết cấu có bề mặt nghiêng

Hỗn hợp BTHN có độ linh động lớn hơn bê tông thường do sự chênh lệch về độ ẩm và ma sát của cốt liệu nhỏ (cát) kém hơn so với cốt liệu đá dăm và TGĐK chậm. Đối với các kết cấu có bề mặt nghiêng dốc $\geq 2\%$ như mặt đường, sau khi đầm và hoàn thiện bề mặt, hỗn hợp BTHN vẫn có thể bị chảy dồn sang phía thấp của mặt đường tạo ra ứng suất kéo gây nứt khi tấm BTHN chưa đông cứng. Do vậy, để tránh hiện

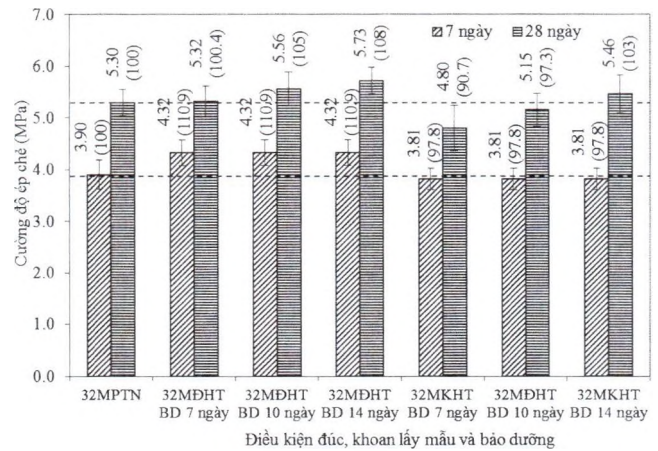
tượng này khi thi công kết cấu có bề mặt nghiêng, phần dưới bằng phẳng nên thi công trước, phần nghiêng trên cùng dày khoảng 5 cm thi công sau khi phần dưới bắt đầu đông kết (khô se bề mặt), đầm lớp trên xuyên qua lớp dưới khoảng 5 cm và hoàn thiện bề mặt.

3.2. Cường độ nén và ép chế

Cường độ nén, ép chế của các mẫu BTHN và mức độ đạt được (giá trị trong ngoặc đơn) của MĐHT và MKHT so với MPTN (R/R_{MPTN}^* , %) ở các độ tuổi và điều kiện BDTN khác nhau được thể hiện trên Hình 3.1 và 3.2.

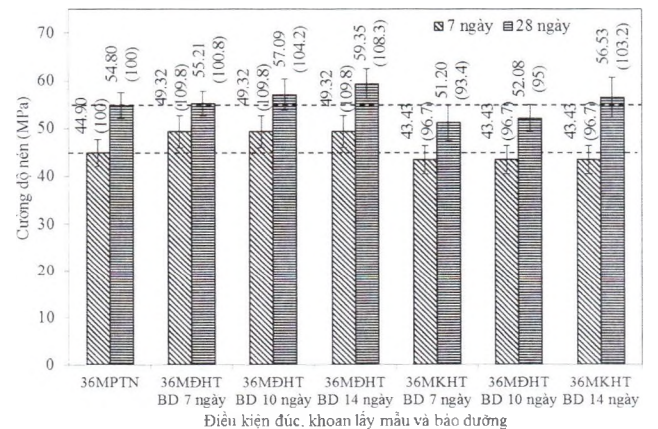


a) - Cường độ nén

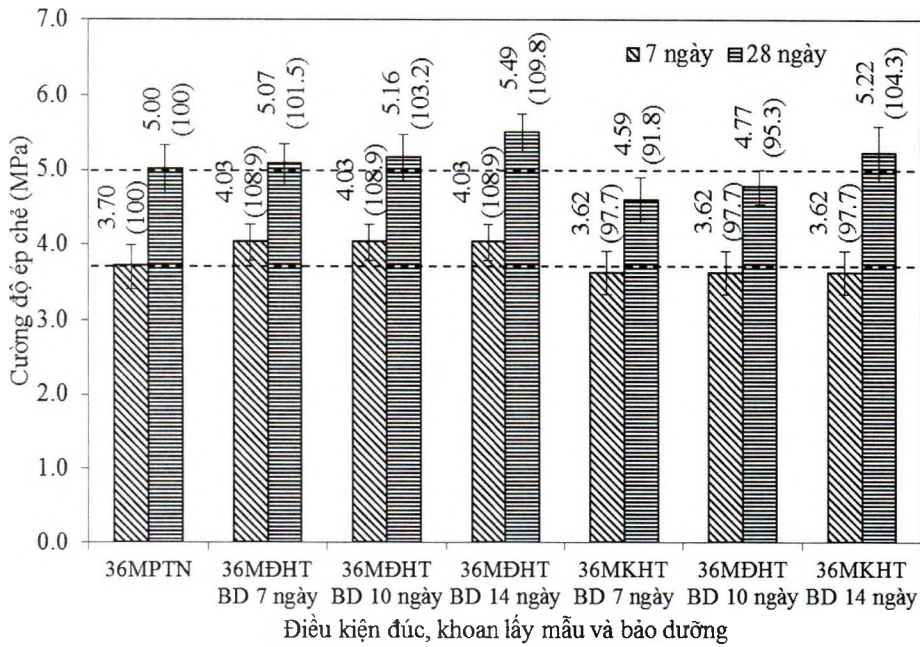


b) - Cường độ ép chế

Hình 3.1: Cường độ nén và ép chế của bê tông 32XLTB trong phòng thí nghiệm và ngoài hiện trường



a) - Cường độ nén



b) - Cường độ ép chèn

Hình 3.2: Cường độ nén và ép chèn của bê tông 36XLTB trong phòng thí nghiệm và ngoài hiện trường

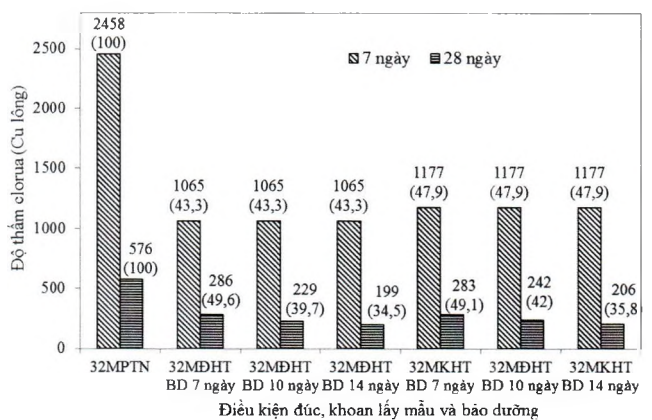
Kết quả trên cho thấy, điều kiện BDTN ảnh hưởng đáng kể đến cường độ của BTHN, thời gian BDTN càng dài thì cường độ của BTHN đạt được càng cao. Các MĐHT có cường độ khá cao so với MKHT và cao hơn cả MPTN. Ở 7 ngày, cường độ nén và ép chèn của MĐHT đạt (108 - 112)% của MKHT đạt (96 - 99)% so với MPTN. Ở 28 ngày, cường độ nén và ép chèn của MĐHT tương đương (BDTN 7 ngày) và cao hơn (3 - 10)% (BDTN 10 và 14 ngày) so với MPTN, MKHT có cường độ thấp hơn khoảng (3 - 10)% (BDTN 7 ngày và 10 ngày) và cao hơn khoảng (3 - 4)% (BDTN 14 ngày) so với MPTN cho cả hai loại BTHN.

Việc MĐHT có cường độ cao hơn MPTN có thể do: (1) các MĐHT có chất lượng đầm chặt tương tự như MPTN, (2) được cung cấp đầy đủ ẩm trong thời gian BDTN ngoài HT, (3) nhiệt độ BD ngoài hiện trường cao hơn trong phòng thí nghiệm. Theo ghi nhận của nhóm nghiên cứu, nhiệt độ không khí trung bình ngày trong khoảng thời gian BDTN là khoảng 37°C, nhiệt độ cao nhất trong ngày lên đến 40°C, do vậy nhiệt độ cao nhất trong các MĐHT và mặt đường BTHN có thể lên đến 65°C [15,16], đây có thể là lý do chính thúc đẩy sự thủy hóa của XL và TB dẫn đến gia tăng cường độ, (4) các MĐHT ở trạng thái ẩm trong khi các MPTN luôn ở trạng thái bảo hòa nước, điều này cũng góp phần làm tăng cường độ của MĐHT.

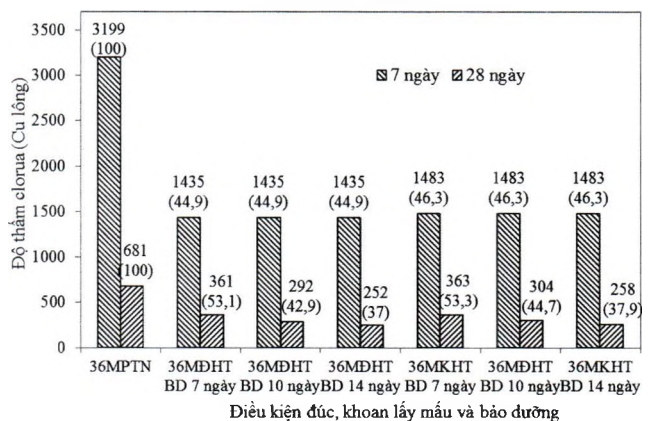
Các MKHT có cường độ thấp hơn so với MĐHT và MPTN là do MKHT lấy trực tiếp từ tấm BTHN nên có chất lượng đầm lên kém hơn. Các kết quả trên cũng cho thấy rằng, khi thi công BTHN sử dụng PGK trong mùa khô, có thể chỉ cần BDTN liên tục trong 7 ngày như bê tông thường.

3.3. Độ thấm clorua

Độ thấm clorua của các mẫu BTHN và mức độ đạt được của MĐHT và MKHT so với MPTN (Q/Q_{MPTN} %) ở các độ tuổi và điều kiện BDTN khác nhau được thể hiện trên Hình 3.3.



a) - Bê tông 32XLTB



b) - Bê tông 36XLTB

Hình 3.3: Khả năng chống thấm clorua của các BTHN

Kết quả trên cho thấy, độ thấm clorua của MĐHT và MKHT giảm (50 - 60)% so với MPTN, trong khi độ thấm clorua của MĐHT và MKHT là gần tương tự nhau. Điều kiện

BDTN ảnh hưởng đáng kể đến độ thấm clorua của BTHN, độ thấm clorua giảm lần lượt (47 - 50)%, (55 - 60)% và (60 - 64)% tương ứng với thời gian BDTN là 7, 10 và 14 ngày. Độ thấm clorua của các MĐHT và MKHT giảm sâu so với MPTN là do nhiệt độ cao ngoài HT đẩy nhanh sự thủy hóa của XL và TB như đã phân tích.

4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả nghiên cứu có thể rút ra một số kết luận như sau:

- TGTVK của BTHN không nên nhỏ hơn 24h khi thi công trong mùa khô và không nhỏ hơn 48h khi thi công trong mùa mưa. Trường hợp có bố trí thanh liên kết thì TGTVK không nên nhỏ hơn 72h.

- Cường độ nén và ép chèn của các BTHN thi công ngoài HT ở 28 ngày với các điều kiện BDTN khác nhau đạt yêu cầu so với cường độ thiết kế.

- Độ thấm clorua của các BTHN khi thi công ngoài HT giảm (50 - 60)% so với MPTN và nhỏ hơn 500 cu-lông ở 28 ngày.

- Phương pháp BDTN ngoài HT ảnh hưởng đáng kể đến cường độ và độ thấm clorua của BTHN, thời gian BDTN càng dài thì cường độ càng cao và độ thấm clorua càng thấp. Khi thi công BTHN trong mùa khô nên BDTN liên tục trong khoảng thời gian tối thiểu là 7 ngày.

- BTHN sử dụng XL và TB hoàn toàn có thể sử dụng để xây dựng mặt đường ô tô thay cho bê tông truyền thống. Ngoài ra, các BTHN có độ thấm clorua rất thấp nên có thể ứng dụng trong các công trình ven biển.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Xây dựng trong Đề tài cấp Bộ thuộc Đề án 126/QĐ-TTg có Mã số RD79-19.

Tài liệu tham khảo

- [1]. M. Boutouil (1998), *Traitement des vases dragage par stabilisation/solidification a base de ciment et additifs*, Universite le havre, France, pp.526-527.
- [2]. T. Bouziani, M. Bederina, M. Hadjoudja (2012), *Effect of dune sand on the properties of flowing sand-concrete (FSC)*, Inter. J. Concr. Struct. Mater. 6 (1), 59-64.
- [3]. M. Bédérina, M.M. Khenfer, R.M. Dheilly, M. Queneudec (2005), *Reuse of local sand: effect of limestone filler proportion on the rheological and mechanical properties of different sand concretes*, Cem. Concr. Res. 35 (6), 1172-1179.
- [4]. B. Belhadj, M. Bederina, K. Benguetache, M. Queneudec (2014), *Effect of the type of sand on the fracture and mechanical properties of sand concrete*, Concr. Constr. 2 (1), 13-27.
- [5]. M. Serykh (1997), *Acquired experience in the use of sand concrete in Russia*, French-Russian congress on sand concrete, Bordeaux, France, pp.8-17.
- [6]. S. Subas, H. Ozturk, M. Emiroglu (2017), *Utilizing of waste ceramic powders as filler material in self-consolidating concrete*, Constr. Build. Mater. 149, pp.567-574.
- [7]. Saloua El Euch Khay, Jamel Neji and Amara Loulizi (March-April 2010), *Compacted Sand Concrete in Pavement*

Construction: An Economical and Environmental Solution, ACI Materials Journal, pp.195-202.

[8]. A.S. Al-Harthy, M. Abdel Halim, R. Taha, K.S. Al-Jabri (2007), *The properties of concrete made with fine dune sand*, Construction and Building Materials 21, pp.1803-1808.

[9]. Fu Jia Luo, Li He, Zhu Pan, Wen Hui Duan, Xiao Ling Zhao, Frank Collins (2013), *Effect of very fine particles on workability and strength of concrete made with dune sand*, Construction and Building Materials 47, pp.131-137.

[10]. Hoàng Minh Đức (2001), *Sử dụng bê tông cốt liệu nhỏ trong sản xuất các cấu kiện đường cỡ nhỏ, sử dụng trong điều kiện khí hậu Việt Nam*, Đề tài cấp Trường ĐHXD Matxcova.

[11]. Nguyễn Thanh Sang (2015), *Nghiên cứu thực nghiệm bê tông xi măng hạt nhỏ để sửa chữa mặt đường bê tông xi măng sân bay nội bài*, Tạp chí GTVT, tháng 8, tr.11-13.

[12]. Nguyễn Thanh Sang, Lê Thanh Hà (2010), *BTHN sử dụng phụ gia tro trấu cho các vùng thiếu đá dăm*, Tạp chí GTVT, tháng 8, tr.33-36.

[13]. NF-P18-500, A. S. (1995), *Bétons de sables*, French.

[14]. Bộ GTVT, QĐ-BGTVT số 1951 (17/8/2012), *Quy định tạm thời về kỹ thuật thi công và nghiệm thu mặt đường BTXM trong xây dựng công trình giao thông*.

[15]. Phạm Đăng Nguyên, Nguyễn Văn Tươi, Phạm Đăng Nhân, Phạm Huy Khang (2016), *Khảo sát sự chênh lệch nhiệt độ trong tấm BTXM mặt đường ô tô khu vực miền Trung*, Tạp chí GTVT, tháng 12, tr.51-53.

[16]. Phạm Duy Linh, Vũ Đức Sỹ, Phạm Cao Thăng (2020), *Nghiên cứu tính toán gradient nhiệt độ và nhiệt độ trung bình trong tấm BTXM mặt đường trong điều kiện khí hậu Việt Nam*, Tạp chí GTVT, tháng 8, tr.43-46.

Ngày nhận bài: 11/6/2021

Ngày chấp nhận đăng: 19/7/2021

**Người phản biện: PGS. TS. Nguyễn Quang Phúc
TS. Nguyễn Văn Tươi**