

ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ NHỚT HỒ CHẤT KẾT DÍNH TỚI CẤU TRÚC CỦA BÊ TÔNG RỖNG THOÁT NƯỚC

Nguyễn Văn Đồng, Phạm Hữu Hanh

Trường Đại học Xây dựng

Nhận ngày 15/11/2020, chỉnh sửa ngày 01/12/2020, chấp nhận đăng 20/01/2021

Tóm tắt

Bê tông rỗng thoát nước (BTRTN) là một loại vật liệu mới, được ứng dụng nhiều trong thực tiễn như lớp áo mặt đường, bãi đỗ xe, khu vui chơi, Tuy nhiên, việc lựa chọn thành phần vật liệu, quá trình tạo hình còn gặp một số vấn đề như lượng hồ quá nhiều gây hiện tượng tách hồ bịt kín lỗ rỗng dưới đáy, phân bố lỗ rỗng không đều theo chiều cao mẫu, Để hạn chế các vấn đề trên trong bài báo này tác giả sử dụng hỗn hợp chất kết dính từ: xi măng, silica fume (10-30)%, tro bay (10-30)%, tỷ lệ nước/chất kết dính là 0,2; 0,22; 0,24 để điều chỉnh độ nhớt hồ chất kết dính. Với độ nhớt của hồ CKD trong khoảng (19-354) mmPa.s, xác định được chiều dày hồ CKD lớn nhất bọc xung quanh hạt cốt liệu, với cốt liệu (5-10)mm có chiều dày đạt (0,243-0,710) mm, với cốt liệu (10-20) có chiều dày đạt (0,297-0,821) mm. Bằng cách sử dụng phần mềm ImageJ phân tích hình ảnh mặt cắt mẫu theo chiều cao của BTRTN, tác giả đánh giá được sự phân bố độ rỗng theo chiều cao của BTRTN ứng với các độ nhớt của hồ CKD là 19, 31 và 69 mmPa.s. Đây là cơ sở để thiết kế thành phần cấp phối bê tông rỗng thoát nước và lựa chọn chế độ tạo hình thích hợp.

Từ khóa: *Bê tông rỗng thoát nước; phụ gia khoáng; độ nhớt; phân bố lỗ rỗng; tro bay; silica fume*

Abstract

Pervious concrete is a new material that has been widely applied in construction such as: road surface coating, parking lot, amusement park, etc. However, the selection of material composition, forming process still has some problems such as: large quantity of binder pastes which causes to seal the pores at the bottom layer of concrete, distribution of pores is uneven depending to the height of sample, etc. To solve the above problems, this research used binders composing of cement, 10-30% of silica fume and fly ash by weight of binder with the water/binder ratio of 0.2; 0.22; 0.24 to adjust the binder viscosity. With the viscosity of the CKD lake in the range (19-354) mmPa.s, the largest thickness of the CKD lake wrapped around the aggregate is determined, with aggregate (5-10) mm having a thickness of (0.243-0.710) mm, with aggregate (10-20) reaching a thickness of (0.297-0.821) mm, and the porosity distribution was also analyzed according to the sample height by using ImageJ software. The author assessed the porosity distribution according to the height of the NRR corresponding to the viscosities of the CKD lake 19, 31 and 69 mmPa.s. This is the basis for designing pervious concrete and selecting the appropriate forming mode.

Keywords: *pervious concrete; mineral admixture; viscosity; pore distribution characteristics; fly ash; silica fume*

1. Giới thiệu

Bê tông rỗng thoát nước (BTRTN) đã được nghiên cứu và ứng dụng khá phổ biến ở các nước trên thế giới. Tuy nhiên, việc thiết kế hỗn hợp BTRTN là khác biệt so với thiết kế bê tông thông thường. Thành phần của BTRTN bao gồm xi măng poóc lăng, cốt liệu đồng đều (cho được độ rỗng giữa các hạt lớn), cốt liệu nhỏ chiếm khoảng 7% khối lượng cốt liệu lớn. Việc bổ sung một lượng nhỏ cốt liệu nhỏ như cát làm tăng đáng kể cường độ chịu nén, độ bền băng giá nhưng làm giảm nhanh độ rỗng. Nói chung, hỗn hợp BTRTN bao gồm: (270-415) kg/m³ xi măng, (1190-1480) kg/m³ cốt liệu và tỷ lệ nước/xi măng dao động từ 0,27 đến 0,40. Cường độ nén điển hình 28 ngày dao động từ 3,5 đến 28,0 MPa và hệ số thấm thay đổi từ 1,35 đến 12,17 mm/s [1, 2]. Ngoài ra, kích thước lỗ rỗng dao động từ 2 đến 8mm tùy thuộc vào loại cốt liệu và phương pháp đầm chặt [2, 3]. Nhiều nghiên cứu đã đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ nước/xi măng, tỷ lệ cốt liệu/xi măng, kích thước cốt liệu, loại vật liệu kết dính, năng lượng đầm chặt [1, 2, 4-6] đến các tính chất của BTRTN. Tuy nhiên, số lượng nghiên cứu về phương pháp thiết kế hỗn hợp BTRTN còn hạn chế. Một số phương pháp thiết kế được công bố như phương pháp của Viện

bê tông Mỹ [2], phương pháp của Zouaghi [7] và phương pháp của Zheng [8]. Hơn nữa, những phương pháp thiết kế này không hoàn chỉnh; chúng vẫn còn một số hạn chế, chúng không cho thấy làm thế nào để xác định tỷ lệ N/X hợp lý hoặc không tính đến ảnh hưởng của đầm chặt lên các tính chất của bê tông, ...

BTRTN được tạo thành từ 2 thành phần chính là cốt liệu lớn (CLL) xếp thành khung xương chịu lực và tạo thành hệ thống lỗ rỗng, hồ chất kết dính (CKD) bao bọc bề mặt giúp gắn kết các hạt cốt liệu với nhau và tạo cường độ. Đặc điểm của hồ CKD ảnh hưởng rất lớn tới các tính chất của BTRTN. Độ nhớt của hồ CKD ảnh hưởng đến tính công tác của hỗn hợp BTRTN, khả năng bám dính của hồ vào bề mặt hạt cốt liệu. CKD được tạo thành từ hỗn hợp của xi măng, phụ gia khoáng, phụ gia hóa học và nước. Trong thực tế đã có một số nghiên cứu sử dụng các phụ gia khoáng khác nhau như silica fume (SF), tro bay (FA), xỉ lò cao (GBFS), tro trấu (RHA) [9-13], ... nhằm các mục đích như tăng cường độ, cải thiện tính công tác hay để giảm lượng dùng xi măng, nhưng các nghiên cứu thường đánh giá sự ảnh hưởng trực tiếp của phụ gia đến tính chất của BTRTN mà không thông qua các tính chất của hồ CKD. Tác giả đã tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của từng phụ gia FA,

SF cũng như hỗn hợp 2 loại phụ gia này đến độ nhớt của hồ CKD và cường độ của đá CKD [14], SF có tác dụng nâng cao cường độ đá CKD, đồng thời kiểm soát độ nhớt hồ CKD; FA có tác dụng thay thế một phần xi măng, đồng thời giảm lượng dùng nước. Đây là cơ sở để thiết kế thành phần cấp phối BTRTN.

2. Nguyên vật liệu sử dụng

Trong nghiên cứu sử dụng các nguyên vật liệu gồm: Xi măng PC40 Bút Sơn có các tính chất đạt theo tiêu chuẩn TCVN 2682 : 2009 [15], khối lượng riêng 3,1g/cm³; Tro bay được lấy từ nhà máy nhiệt điện Phá Lại sau khi đã trải qua công đoạn tuyển nổi để loại bỏ bột lượng than chưa cháy, có khối lượng riêng 2,12g/cm³; Silica fume sử dụng của hãng Elkem có khối lượng riêng 2,21g/cm³; thành phần hóa của xi măng, tro bay, silica fume được thể hiện trong Bảng 1. Phụ gia siêu dẻo sử dụng là ACE388 của hãng Basf, có dung trọng là 1,08g/cm³; nước sử dụng thỏa mãn theo TCVN 4506 : 2012 [16] nước dùng cho vữa và bê tông.

Bảng 1. Thành phần hóa của vật liệu sử dụng

Tính chất	Hàm lượng, %		
	Xi măng	Tro bay	Silica fume
SiO ₂	22,58	58,38	93,45
Al ₂ O ₃	5,72	25,12	0,92
Fe ₂ O ₃	3,45	7,01	0,52
CaO	61,23	0,84	1,57
MgO	0,65	0,70	
K ₂ O		3,28	
Na ₂ O		0,30	
SO ₃		0,14	
Mất khi nung, (%)	1,71	3,89	4,20
Tỷ diện tích bề mặt, (m ² /g)	0,345	0,498	18,5

Cốt liệu sử dụng là đá dăm, với 2 loại cốt liệu: (5-10)mm và (10-20)mm, tính chất của cốt liệu được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Tính chất cơ lý của cốt liệu lớn

TT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả theo cỡ hạt	
			(5-10) mm	(10-20) mm
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	2,72	2,72
2	Khối lượng thể tích chọc chặt	kg/m ³	1620	1570
3	Độ rỗng chọc chặt	%	41,0	43,6
4	Hàm lượng bùn, bụi, sét	%	0,12	0,11
5	Cường độ nén đập trong xi lanh	%	5,0	7,0

3. Phương pháp thí nghiệm

3.1. Xác định chiều dày tối đa của hồ CKD trong BTRTN [17]

Để xác định được chiều dày tối đa hồ CKD bám xung quanh hạt cốt liệu, ta giả sử hạt cốt liệu như những quả cầu. Khi đó, tổng diện tích bề mặt hạt của hỗn hợp cốt liệu được xác định thông

qua đường kính trung bình Di và khối lượng thể tích hạt ρ_v^h, trình tự xác định như sau:

- Xem xét lớp i có kích thước trung bình là Di, diện tích bề mặt của mỗi hạt là:

$$S_i = \pi \cdot D_i^2 \tag{1}$$

- Thể tích của mỗi hạt: $V_i = \frac{\pi \cdot D_i^3}{6}$ (2)

- Khối lượng của mỗi hạt: $m_i = \rho_v^h \cdot V_i$ (3)

- Khối lượng cốt liệu trong bê tông rỗng thoát nước là M_c, số lượng hạt cốt liệu trong bê tông là:

$$N = \frac{M_c}{m_i} \tag{4}$$

- Tổng diện tích bề mặt của hỗn hợp là:

$$S = N \cdot S_i = \frac{M_c}{m_i} \cdot \pi D_i^2 = \frac{M_c}{\rho_v^h \cdot \frac{\pi D_i^3}{6}} \cdot \pi D_i^2 = \frac{6M_c}{D_i \cdot \rho_v^h} \text{ (mm}^2\text{)} \tag{5}$$

- Sau khi trộn hỗn hợp bê tông, cân khối lượng bê tông M₁ đổ lên sàng, đường kính sàng phụ thuộc vào đường kính của cốt liệu lớn.

- Rung sàng trên bàn rung trong thời gian 15 giây với biên độ A=0,5 mm; vận tốc v=2900±100 vòng/phút.

- Quan sát tấm đế của sàng: nếu có nhiều hồ xi măng rơi xuống đáy (lớp hồ xi măng quá mỏng), tỷ lệ N/CKD không thích hợp.

- Sau khi sàng, cân lại khối lượng bê tông trên sàng được M₂ (g) (đã trừ khối lượng sàng). Khi đó, khối lượng của hồ CKD bọc xung quanh hạt cốt liệu là:

$$M_3 = M_1 - M_2 \text{ (g)} \tag{6}$$

- Thể tích hồ CKD còn lại trong hỗn hợp bê tông (V_{CKD}):

$$V_{CKD} = \frac{M_3}{\rho_{CKD}} \text{ (mm}^3\text{)} \tag{7}$$

- Chiều dày hồ CKD tối đa (δ_{max}) được tính theo công thức:

$$\delta_{max} = \frac{V_{CKD}}{S} \text{ (mm)} \tag{8}$$



Hình 1. Quá trình xác định lượng hồ CKD dư

3.2. Thiết kế cấp phối BTRTN

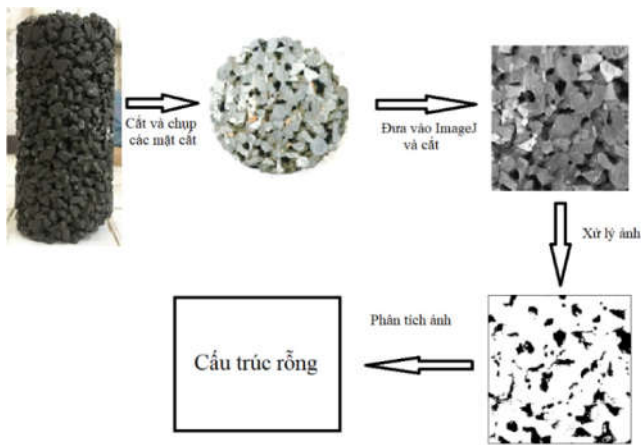
BTRTN được thiết kế theo tiêu chuẩn ACI211.3R-02[18]

3.3. Xác định cấu trúc rỗng

Cấu trúc lỗ rỗng được phân tích bằng phần mềm ImageJ [19] rên mẫu bê tông hình trụ có kích thước 100x200 mm. Mẫu bê tông được cắt thành 11 lát, chụp ảnh mỗi bề mặt bằng máy ảnh, sau đó mỗi ảnh được xử lý bởi phần mềm ImageJ xác định được: độ rỗng trên mỗi mặt, phân bố kích thước lỗ rỗng.

Bảng 3. Kết quả xác định chiều dày tối đa của hồ CKD trong BTRTN

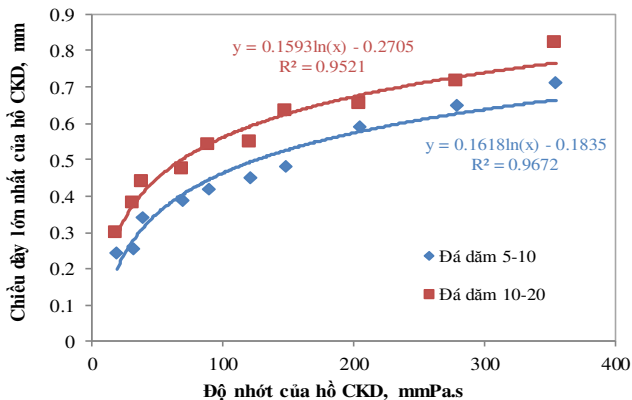
STT	Đặc điểm của hồ CKD sử dụng trong BTRTN					Chiều dày tối đa của hồ CKD trong BTRTN, mm	
	Hàm lượng phụ gia	Hàm lượng g SF, %	Hàm lượng g FA, %	N/CK D	Độ nhớt hồ CKD, mmPa.s	Đá dăm 5-10	Đá dăm 10-20
1	ĐC	0	0	0,20	354	0,710	0,821
2	10SF	10	0	0,20	278	0,650	0,716
3	10FA	0	10	0,20	205	0,590	0,654
4	ĐC	0	0	0,22	148	0,480	0,634
5	10SF20FA	10	20	0,20	121	0,450	0,548
6	10SF10FA	10	10	0,22	89	0,420	0,542
7	10SF20FA	10	20	0,22	69	0,387	0,474
8	10SF30FA	10	30	0,22	39	0,340	0,439
9	10SF10FA	10	10	0,24	31	0,255	0,382
10	10SF30FA	10	30	0,24	19	0,243	0,297



Hình 2. Quy trình xác định cấu trúc rỗng bằng phân tích hình ảnh

4. Kết quả thí nghiệm

4.1. Ảnh hưởng của độ nhớt hồ chất kết dính đến chiều dày tối đa của hồ chất kết dính trong bê tông rỗng thoát nước



Hình 3. Ảnh hưởng của độ nhớt tới chiều dày lớn nhất của màng hồ CKD

Tác giả sử dụng 10 hỗn hợp chất kết dính có độ nhớt khác nhau tăng dần từ 19 mmPa.s (độ nhớt của từng hỗn hợp được xác định bằng Nhớt kế kiểu rung V-10, kết quả độ nhớt đã được tác giả công bố tại tài liệu [14]), với mỗi cấp phối tác giả tiến hành xác định chiều dày lớp hồ CKD tối đa bọc xung quanh hạt cốt liệu lớn. Kết quả đánh giá ảnh hưởng của độ nhớt hồ CKD tới chiều dày hồ CKD lớn nhất được thể hiện trong Bảng 3 và Hình 3.



a) HHBT quá nhão, tách hồ b) HHBT đạt yêu cầu c) HHBT quá khô

Hình 4. HHBT sau khi trộn

Theo kết quả thực nghiệm ta thấy:

- Khi độ nhớt của hồ CKD tăng dần hỗn hợp hồ CKD dần sệt lại làm tăng khả năng bám dính của hồ CKD vào bề mặt hạt cốt liệu, từ đó tăng chiều dày hồ CKD lớn nhất bọc xung quanh hạt cốt liệu, nhưng tốc độ tăng chậm dần. Khi tăng độ nhớt từ 19 mmPa.s đến 148 mmPa.s, chiều dày hồ CKD lớn nhất tăng nhanh: Với cốt liệu (5-10) mm tăng từ 0,243 mm lên 0,480 mm (tăng 97,5%), với cốt liệu (10-20) mm tăng từ 0,297 mm lên 0,634 mm (tăng 113,5%), nhưng khi tiếp tục tăng độ nhớt cho đến 354 mmPa.s thì chiều dày hồ CKD lớn nhất tăng chậm lại, độ nhớt từ 250 mmPa.s trở lên thì chiều dày tăng không đáng kể. Quan hệ giữa độ nhớt hồ CKD với chiều dày hồ CKD lớn nhất trong BTRTN được thể hiện trong các công thức:

Với cốt liệu (5-10) mm: $y = 0,1593\ln(x) - 0,2705$ (9)

Với cốt liệu (10-20) mm: $y = 0,1618\ln(x) - 0,1835$ (10)

Trong đó: y – Chiều dày hồ CKD lớn nhất trong BTRTN, mm
x – Độ nhớt của hồ CKD, mmPa.s ($x \in [19; 354]$ mmPa.s)

Bảng 4. Đặc điểm của hồ CKD

Ký hiệu	Hàm lượng phụ gia	Tỷ lệ N/CKD	Hàm lượng FA, %	Hàm lượng SF, %	Độ nhớt, mmPa.s	Log(thời gian chảy)
CP1	10SF30FA	0,24	30	0	19	1,47
CP2	10SF10FA	0,24	20	10	31	1,52
CP3	10SF20FA	0,22	20	10	69	1,87

Dựa vào các công thức (9) và (10) ta có thể đưa ra chỉ dẫn về hồ CKD như: loại và lượng dùng phụ gia, tỷ lệ N/CKD khi sử dụng BTRTN để tránh hiện tượng bị tách hồ CKD bị kín phân đáy, làm suy giảm nhanh hệ số thấm nước, đồng thời vẫn đảm bảo được tính công tác của hỗn hợp bê tông.

- Khi cùng độ nhớt của hồ CKD, chiều dày hồ CKD lớn nhất tỷ lệ thuận với cỡ hạt cốt liệu lớn:

+ Khi sử dụng hỗn hợp hồ CKD có độ nhớt rất nhỏ 19 mmPa.s (cấp phối 10SF30FA, N/CKD=0,24), chiều dày hồ CKD lớn nhất với cỡ hạt (5-10) mm đạt 0,243 mm, còn với cỡ hạt (10-20) mm là 0,297 mm, tại độ nhớt này khả năng bám dính của hồ vào bề mặt hạt cốt liệu lớn rất yếu, HHBT rất dễ xảy ra hiện tượng tách hồ CKD được thể hiện trong mục a) của Hình 4.

+ Khi sử dụng hồ CKD có độ nhớt 354 mmPa.s (cấp phối ĐC, N/CKD=0.2), chiều dày lần lượt là 0,628 mm và 0,821 mm, lúc này hỗn hợp bê tông khá khô cứng các hạt rời rạc, được thể hiện trong mục c) của Hình 4, khi đó làm giảm sự kết dính giữa các hạt. Nếu tiếp tục tăng độ nhớt hồ CKD thì HHBT trở nên khô cứng các hạt không thể dính kết với nhau, không thể tạo hình sản phẩm.

4.2. Ảnh hưởng của độ nhớt hồ CKD tới sự phân bố độ rỗng theo chiều cao của BTRTN

Để đánh giá ảnh hưởng của độ nhớt đến phân bố độ rỗng theo chiều cao của mẫu BTRTN hình trụ, kích thước 100x200 mm, đề tài lựa chọn 3 hỗn hợp CKD có độ nhớt khác nhau có đặc điểm được thể hiện trong Bảng 4.

Tiến hành thí nghiệm với 2 cỡ hạt đá (5-10) mm và (10-20) mm, ở các độ rỗng thiết kế: 14%; 20%; 26%. Sau khi chế tạo mẫu và bảo dưỡng, tiến hành xác phân bố độ rỗng theo chiều cao mẫu bằng phương pháp hình ảnh, mặt cắt điển hình của mẫu được thể hiện trong Hình 5; Hình 6, kết quả đánh giá được thể hiện trong Hình 7 và Hình 8.



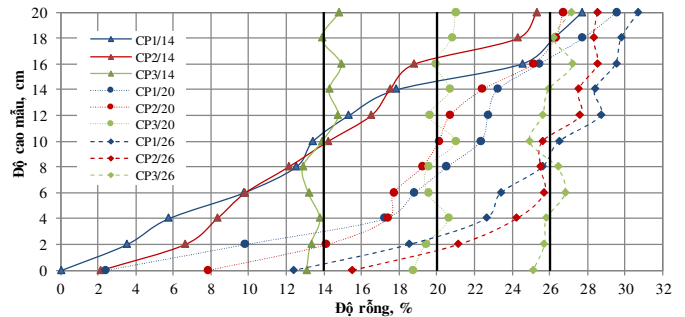
Hình 5. Mặt cắt mẫu theo chiều cao, khi sử dụng hỗn hợp CKD CP3, độ rỗng thiết kế 20%, cốt liệu sử dụng (5-10) mm



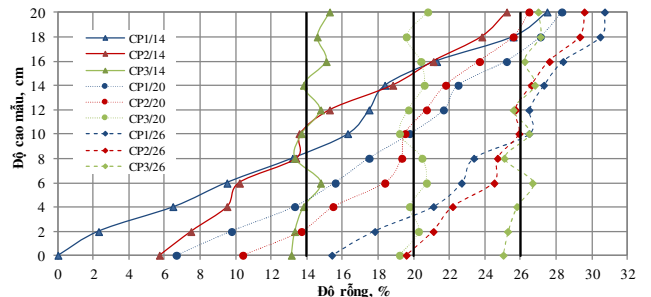
Hình 6. Mặt cắt mẫu theo chiều cao, khi sử dụng hỗn hợp CKD CP3, độ rỗng thiết kế 20%, cốt liệu sử dụng (10-20) mm



Hình 7. Mặt cắt dọc mẫu, khi sử dụng hỗn hợp chất kết dính CP3 với độ rỗng 20%



Hình 8. Ảnh hưởng của độ nhớt đến phân bố độ rỗng theo chiều cao của BTRTN khi sử dụng cỡ hạt (5-10) mm



Hình 9. Ảnh hưởng của độ nhớt đến phân bố độ rỗng theo chiều cao của BTRTN khi sử dụng cỡ hạt (10-20) mm

Từ các kết quả thực nghiệm ta thấy:

- Khi sử dụng CP1 ở cả 3 độ rỗng thiết kế và cả 2 cỡ hạt cốt liệu đều xảy ra hiện tượng tách hồ CKD (đường màu xanh dương) ở các mặt cắt trên cùng (mặt cắt 18 cm và 20 cm) độ rỗng rất lớn so với độ rỗng thiết kế trong khoảng (27-31)% ở cả 3 độ rỗng thiết kế, sờ di như vậy là do hồ không bám được xung quanh hạt cốt liệu mà bị tách ra rơi xuống các lớp dưới. Sau đó độ rỗng giảm nhanh ở các mặt cắt tiếp theo, đặc biệt ở mặt đáy (mặt cắt 0 cm) với độ rỗng thiết kế 14% (lượng dùng hồ lớn) độ rỗng bằng 0 (đặc hoàn toàn, Hình 10) làm mất khả năng cho nước thấm qua của bê tông. Với độ nhớt này thì chỉ phù hợp khi cần chế tạo BTRTN có độ rỗng rất lớn (khoảng 30%).



Hình 10. Hiện tượng tách hồ CKD trong BTRTN

- Khi sử dụng CP2 ở cả 3 độ rỗng thiết kế và 2 cỡ hạt thì hiện tượng tách hồ CKD vẫn xảy ra (đường màu đỏ): các mặt cắt trên (mặt cắt ở 18 cm và 20 cm) có độ rỗng cao hơn độ rỗng thiết kế trong khoảng (25-30)%, do khi tạo hình hồ CKD một phần bị tách ra rơi xuống dưới, độ rỗng giảm dần ở các mặt cắt tiếp theo, độ rỗng ở mặt đáy rất nhỏ làm giảm nhanh hệ số thoát nước của BTRTN. Với độ nhớt này thì phù hợp khi cần chế tạo BTRTN có độ rỗng lớn (khoảng 28%).

- Khi sử dụng CP3 ở cả 3 độ rỗng thiết kế ứng với 2 cỡ hạt thì không còn hiện tượng tách hồ CKD (đường màu xanh lá), độ rỗng phân bố tương đối đều theo chiều cao mẫu, biên độ dao động độ rỗng giữa các mặt cắt nhỏ (khoảng 20%), đây là hỗn hợp CKD phù hợp để chế tạo BTRTN.

5. Kết luận

Bằng cách sử dụng các phương pháp lý thuyết, thực nghiệm và phân tích hình ảnh nghiên cứu đã đạt được các kết quả như sau:

- Xây dựng được mối quan hệ giữa độ nhớt hồ CKD với chiều dày tối đa của BTRTN. Với độ nhớt trong khoảng (19-354) mmPa.s, độ nhớt giảm thì chiều dày hồ CKD bọc xung hạt cốt liệu giảm, khi cùng độ nhớt chiều dày hồ CKD với đá (10-20)mm lớn hơn đá (5-10)mm.

- Theo phương pháp phân tích hình ảnh bằng phần mềm ImageJ ta thấy, khi sử dụng hồ CKD có độ nhớt 19 mmPa.s và 31 mmPa.s thì mẫu BTRTN xảy ra hiện tượng phân tầng, độ rỗng giảm dần theo chiều cao của mẫu, mặt đáy mẫu độ rỗng bằng 0 làm mất khả năng thoát nước của loại bê tông này. Với độ nhớt 69 mmPa.s độ rỗng phân bố đều theo chiều cao mẫu.

Các kết quả đạt được là cơ sở để thiết kế thành phần BTRTN, từ đó hạn chế các nhược điểm của loại bê tông này và góp phần thúc đẩy ứng dụng vào thực tiễn ở nước ta.

Tài liệu tham khảo

- [1] Jing Yang, G.J., Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials. *Cement and Concrete Research* 33 (2003) 381–386, 2003.
- [2] ACI 522R : 05, Pervious concrete, Reported by ACI Committee 522 2006.
- [3] Neithalath N, B.D., Sumanasooriya MS. , Advances in pore structure characterization and performance prediction of pervious concretes. . *Concr Int* 2010;32:35–40.
- [4] N. Neithalath , M.S.S., Omkar Deo Characterizing pore volume, sizes, and connectivity in pervious concretes for permeability prediction. *MATERIALS CHARACTERIZATION* 61 (2010) 802– 813.
- [5] D.Tennis, L.L., J.Akers Pervious concrete pavements. Portland Cement Association, Skokie, Illinois, & National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, 2004.
- [6] Schaefer VR, W.K., Suleiman MT, Kevern J, Mix design development for pervious concrete in cold climates. Technical report, National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University, 2006.
- [7] A. Z., Technological problems of multi-performance porous concrete. *Proceedings of the 1st fib congress*; 2002. p. 233–42.
- [8] Zheng M, C.S., Wang B. , Mix design method for permeable base of porous concrete. *Int J Pavement Res Technol* 2012;5:102–7.
- [9] (1999), V.G.P., Experimental investigation and theoretical modeling of silica fume activity in concrete. *Cement and Concrete Research*. 29, p. 79–86.
- [10] Minju Jo, L.S., Marleisa Arocho, Juliana St John, Sangchul Hwang, Optimum mix design of fly ash geopolymer paste and its use in pervious concrete for removal of fecal coliforms and phosphorus in water. *Construction and Building Materials* (2015).
- [11] Natalia I. Vázquez-Rivera, L.S.-P., Juliana N. St John, Omar I. Molina-Bas, Sangchul S. Hwang, Optimization of pervious concrete containing fly ash and iron oxide nanoparticles and its application for phosphorus removal. *Construction and Building Materials* 93 (2015) 22–28.
- [12] Tawatchai Tho-in, V.S., Prinya Chindaprasirt, Chai Jaturapitakkul, Pervious high-calcium fly ash geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*, 30 (2012) 366–371.
- [13] Saeid Hesami, S.A., Mahdi Nematzadeh, Effects of rice husk ash and fiber on mechanical properties of pervious concrete pavement. *Construction and Building Materials*, 2014(Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, 47148-71167 Babol, Iran).
- [14] N.V.Dong, P.H.H., N.V.Tuan, P.Q.Minh, N.V.Phuong, The effect of mineral admixture on the properties of the binder towards using in making pervious concrete. *Cigos 2019, Innovation for Sustainable Infrastructure; Proceedings of 5th International Conference on Geotechnics, Civil Engineering Works and Structures*, 2019.
- [15] TCVN 2682 : 2009 - Xi măng pooc lăng - Yêu cầu kỹ thuật.
- [16] TCVN 4506 : 2012, Nước cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật
- [17] Dang Hanh Nguyen, N.S., Mohamed Boutouil, Lydia Leleyter, Fabienne Baraud, A modified method for the design of pervious concrete mix. *Construction and Building Materials* 73 (2014) 271–282, 2014.
- [18] <ACI 211.3R-02 R09 Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete_MyCivil.ir.pdf>.
- [19] National Institutes of Health, USA. ImageJ; 2013.