

Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu kéo uốn của bê tông nội bảo dưỡng đối với mặt đường bê tông xi măng

Lê Thái Bình¹

¹Khoa Xây dựng, Trường Đại học Điện Lực, 235 Hoàng Quốc Việt, Cổ Nhuế, Bắc Từ Liêm, Hà Nội.

TỪ KHOÁ

Nội bảo dưỡng
Cường độ chịu kéo khi uốn,
Cát nhẹ
Hệ số dư vữa

TÓM TẮT

Cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông xi măng đối mới mặt đường cứng là một trong những chỉ tiêu hết sức quan trọng cần được nghiên cứu nâng cao. Bài báo này trình bày một số kết quả nghiên cứu trong phòng thí nghiệm về ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông nội bảo dưỡng đối với mặt đường bê tông xi măng. Kết quả nghiên cứu cho thấy hệ số dư vữa đối với cường độ chịu kéo khi uốn có thể lựa chọn hợp lý trong khoảng 1,47 đến 1,56.

KEYWORDS

Internal curing
Tensile strength in bending
Light sand
Mortar residual coefficient

ABSTRACT

The flexural tensile strength of cement concrete against hard pavement is one of the very important criteria that need to be researched and improved. This article presents some laboratory research results on the influence of mortar residual coefficient on the flexural tensile strength of internal curing concrete for cement concrete pavement. The research results show that the mortar residual coefficient for the tensile strength in bending can be reasonably selected in the range of 1.47 to 1.56.

1. Đặt vấn đề

Yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng tới cường độ bê tông là tỷ lệ nước - xi măng (N/X). Để giảm tỷ lệ N/X với mục đích nâng cao cường độ bê tông thì có thể giảm lượng nước sử dụng, tăng lượng dùng xi măng hoặc áp dụng đồng thời cả hai biện pháp đó. Đối với một hỗn hợp gồm các vật liệu thành phần đã cho thì chỉ có thể giảm lượng nước nhào trộn đến một giới hạn nhất định, nhỏ hơn giới hạn đó thì tính công tác của hỗn hợp bê tông không đảm bảo yêu cầu. Do đó, để đảm bảo điều kiện thi công cũng như ứng dụng trong thực tiễn thì trong bê tông nội bảo dưỡng làm mặt đường bê tông xi măng cần phải giảm lượng nước nhào trộn đến mức thấp nhất có thể và lượng dùng xi măng phù hợp. Trong nghiên cứu, đã thiết kế lựa chọn thành phần bê tông theo phương pháp thể tích tuyệt đối, lý thuyết kết hợp thực nghiệm (Quyết định số 778/1998/QĐ-BXD “Chỉ dẫn kỹ thuật chọn thành phần bê tông các loại” [1].

Theo Quyết định số 1951/QĐ-BGTVT [2] cho thấy đối với mặt đường bê tông xi măng các cấp hàm lượng xi măng sử dụng nằm trong khoảng (300 ÷ 400) kg/m³, tỷ lệ N/X = 0,44 ÷ 0,48 (hay X/N = 2,08 ÷ 2,30) tùy theo cấp đường cụ thể. Để lựa chọn cấp phối bê tông nội bảo dưỡng dùng cho mặt đường bê tông xi măng cần nghiên cứu, đã tiến hành thí nghiệm khảo sát sơ bộ các cấp phối bê tông được chế tạo với cùng loại xi măng, xi lò cao (lượng dùng phụ gia khoáng hạt tính xi lò cao (XLC) bổ sung thay thế xi măng (XM) theo nguyên tắc lượng dùng xi măng trong các cấp phối là không đổi, xi lò cao đóng vai trò vừa là chất kết dính bổ sung đồng thời là vi cốt liệu thêm vào bê tông, với lượng dùng được tính toán theo tỷ lệ từ 15 % đến 55 % so

với lượng xi măng. Lượng cát nhẹ được tính toán sơ bộ với độ co hóa học của chất kết dính (CS) nhận một số giá trị trong khoảng 0,06 đến 0,08. Các cấp phối thí nghiệm được thiết kế với hệ số dư vữa khác nhau từ 1,20 đến 1,71 [1].

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu đã sử dụng xi măng Nghi Sơn PCB40 đáp ứng yêu cầu của TCVN 6260: 2009; khối lượng riêng 3,10 g/cm³; độ mịn (lượng sót trên sàng 0,09 mm) 0,8 %; độ dẻo tiêu chuẩn 29,0 %; độ ổn định thể tích 1,0 mm; thời gian đông kết: bắt đầu 120 phút, kết thúc 180 phút; cường độ chịu nén: tuổi 3 ngày: 33,5 MPa, tuổi 28 ngày 49,5 MPa.

Cốt liệu lớn lựa chọn đá dăm có kích thước hạt lớn nhất 20mm được sản xuất từ mỏ đá vôi Kiện Khê - Hà Nam để sử dụng trong nghiên cứu. Tính chất cơ lý của loại đá này hoàn toàn đáp ứng được các yêu cầu để làm cốt liệu cho bê tông dùng cho mặt đường bê tông xi măng, thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật theo TCVN [5]. Trước khi sử dụng, đá dăm được rửa sạch và phơi khô. Kết quả thí nghiệm một số tính chất cơ lý của đá dăm được trình bày trong Bảng 1.

Cốt liệu nhỏ (CLN) cốt liệu nhỏ sử dụng là cát vàng (CV) sông Lô - Việt Trì, đạt yêu cầu kỹ thuật chế tạo bê tông theo TCVN 7570:2006 [5]. Tính chất vật lý của CV được trình bày trong Bảng 2.

Vật liệu nội bảo dưỡng sử dụng cát nhẹ Keramzit được sản xuất tại Nhà máy sản xuất sỏi đá nhẹ Đồng Nai, là loại cốt liệu rỗng nhân tạo được chế tạo trên cơ sở nung nở phồng đất sét vè viên, làm vật liệu thực hiện chức năng nội bảo dưỡng bê tông. Thành phần hạt và tính chất kỹ thuật của cát nhẹ được thể hiện trong Bảng 3 và Bảng 4.

*Liên hệ tác giả: binhlt@epu.edu.vn

Nhận ngày 04/11/2021, sửa xong ngày 20/12/2021, chấp nhận đăng 05/01/2022

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.05.2022.368>

Bảng 1. Thành phần hạt và tính chất cơ lý của đá vôi.

Kích thước mắt sàng, (mm)	100	70	40	20	10	5
Lượng sót tích lũy, (%)	0	0	0	3,8	68,5	96,1
Khối lượng riêng, (g/cm ³)	2,73					
Khối lượng thể tích ở trạng thái bão hoà trong, khô bề mặt, (g/cm ³)	2,72					
Khối lượng thể tích ở trạng thái khô, (g/cm ³)	2,71					
Khối lượng thể tích xốp, (kg/m ³)	1450					
Khối lượng thể tích ở trạng thái lèn chặt, (kg/m ³)	1760					
Độ hút nước, (%)	0,6					
Độ hồng, (%)	46,5					
Độ hồng ở trạng thái lèn chặt (%)	35,1					
Độ nén đập, (%)	9					
Cỡ hạt nhỏ nhất Dmin, (mm)	5					
Cỡ hạt lớn nhất Dmax, (mm)	20					
Hàm lượng bụi, sét, (%)	0,5					
Hàm lượng thoi det, (%)	9					
Độ mài mòn LA, (%)	22					

Bảng 2. Tính chất vật lý của cát vàng (CV).

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	2,67
2	Khối lượng thể tích ở trạng thái bão hoà nước, khô bề mặt	g/cm ³	2,64
3	Khối lượng thể tích ở trạng thái khô	g/cm ³	2,63
4	Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	1410
5	Độ hút nước	%	0,7
6	Độ hồng	%	46,4
7	Lượng hạt lớn hơn 5mm	%	0
8	Hàm lượng bụi, sét	%	0,7
9	Tạp chất hữu cơ, (so với màu chuẩn)	--	Sáng hơn
10	Mô đun độ lớn	--	2,7

Bảng 3. Thành phần hạt của cát nhẹ (thử theo ASTM C136/C136M) [8].

Chỉ tiêu	Kích thước cỡ sàng, mm					
	9,5	4,75	2,36	1,18	0,3	0,15
Khối lượng sót sàng m _i (g)	0	57,8	452,0	234,2	141,9	94,1
Tỷ lệ lọt sàng, %	100	94,2	49,0	25,6	11,5	10,1
Thành phần hạt yêu cầu theo ASTM C1761-17	100	65-100	-	15-80	0-35	0-25

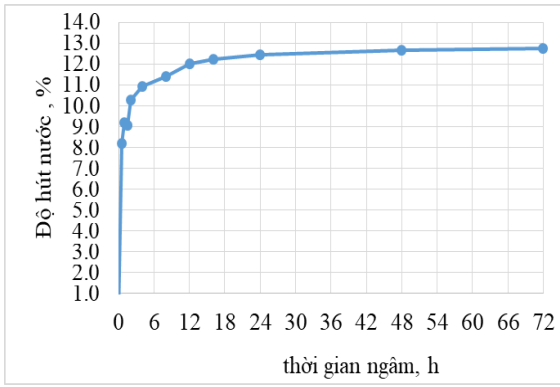
Khả năng hút và nhả nước của cát nhẹ đã được khảo sát, kết quả thể hiện trên Hình 1 và Hình 2.

Trong môi trường có độ ẩm tương đối 94 ± 2 %, cát nhẹ mất ẩm, sau 12 ngày gần như ổn định ở độ ẩm 0,4 %. Theo đó tính toán được độ nhả ẩm $D = 96,8$ %. Như vậy, cát nhẹ sản xuất tại Việt Nam sử dụng trong nghiên cứu đạt yêu cầu kỹ thuật theo ASTM C1761/C1761M-13b [9] và ASTM C330-17a [10].

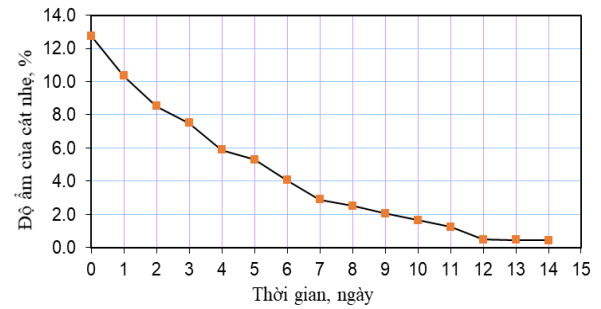
Xi lò cao sử dụng trong nghiên cứu là xi lò cao nghiên cứu của Công ty CP Năng lượng Hòa Phát, thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 11586:2016 [4]. Các chỉ tiêu cơ lý và thành phần hoá của xi lò cao sử dụng trong nghiên cứu được trình bày trong Bảng 5.

Bảng 4. Tính chất kỹ thuật của cát nhẹ [9].

TT	Chỉ tiêu	PP thí nghiệm	Đơn vị	Giá trị	Yêu cầu theo ASTM C1761
1	Khối lượng riêng	TCVN 6221	g/cm ³	1,88	-
2	Khối lượng thể tích (hạt)	TCVN 6221	g/cm ³	1,52	-
3	Khối lượng thể tích xốp	TCVN 7572-6	kg/m ³	930	≤ 1120
4	Hàm lượng sét cục và các hạt mềm	ASTM C142	%	1,9	≤ 3
5	Hàm lượng bụi bùn sét	TCVN 7572-8	-	Sáng hơn màu chuẩn	Sáng hơn màu chuẩn
6	Mô đun độ lớn	TCVN 7572-2	-	2,7	-
7	Độ ẩm	TCVN 7572-7	%	2,6	-
8	Độ hút nước sau 72h	ASTM C1761	%	12,8	≥ 5
9	Độ nhả nước so với độ hút nước bão hòa ban đầu	ASTM C1761	%	96,8	≥ 85
10	Mất khi nung	TCVN 11586, TCVN 8265	%	0,2	≤ 5



Hình 1. Độ hút nước của cát nhẹ theo thời gian ngâm mẫu.



Hình 2. Độ nhả nước của cát nhẹ đã bão hòa theo thời gian.

Bảng 5. Tính chất kỹ thuật của xi loà cao S95 Hoà Phát.

	Tính chất								
	Khối lượng riêng, g/cm ³	Bề mặt riêng, cm ² /g	Chỉ số hoạt tính cường độ, %	Tỷ lệ độ lưu động, %	Độ ẩm, %	Hàm lượng MgO %	Hàm lượng SO ₃ , %	Hàm lượng Cl ₂ , %	Mất khi nung, % (ở 700 ± 25 °C)
Giá trị	2,9	5200	7 d: 80 28 d: 98 91 d: 116	96	0,5	6,5	2,6	0,01	1,2
Phương pháp thử	TCVN 4030: 2003	TCVN 11586:2016 (viện dẫn TCVN 4030 và TCVN 6016:2011)	TCVN 3121-3: 2003	TCVN 8265:2009	TCVN 141: 2008	TCVN 11586 (viện dẫn TCVN 8265)			

Phụ gia trong nghiên cứu sử dụng phụ gia siêu dẻo gốc Polycarboxylate của hãng BASF, có tên thương phẩm MasterGlenium SKY 8588 phù hợp với TCVN 8826:2011 và nước máy Hà Nội đảm bảo yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 4506:2012 [6].

Phương pháp thực nghiệm chủ yếu theo các tiêu chuẩn đã có. Phương pháp xác định cường độ chịu kéo khi uốn theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3119:1993 [7]. Ngoài các tiêu chuẩn TCVN về yêu cầu kỹ thuật và xác định tính chất của vật liệu cho vữa và bê tông, trong nghiên cứu còn sử dụng các tiêu chuẩn: ASTM C1761M – 17 Yêu cầu kỹ thuật của vật liệu nội bào dưỡng cho bê tông [9].

Công tác chế tạo và thí nghiệm mẫu hỗn hợp bê tông và bê tông đều tuân thủ các yêu cầu của các tiêu chuẩn Việt Nam, tiêu chuẩn nước ngoài tương ứng và được tiến hành thực hiện nghiên cứu tại phòng thí nghiệm PTN VILAS047 – Trung tâm Khoa học Công nghệ GTVT – Trường ĐH GTVT.

3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận

Để làm rõ ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến các tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông, đã tiến hành thí nghiệm các mẫu bê tông sử dụng cát mịn có mô đun độ lớn khác nhau, các mẫu bê tông này sử dụng cùng loại xi măng, đá, phụ gia, nước và cùng tỷ lệ X/N=2,20. Hệ số dư vữa được thiết kế thay đổi trong khoảng xác định, các cấp phối bê tông

trên được phối trộn và xác định khối lượng thể tích trên cơ sở kết quả khối lượng thể tích xác định được đã tiến hành tính toán cấp phối bê tông thực tế của mỗi mẻ trộn kết quả thành phần hỗn hợp bê tông được trình bày tại Bảng 6, kết quả thí nghiệm các tính chất của hỗn hợp bê tông được trình bày tại Bảng 7.

Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông được nghiên cứu trên các cấp phối đã được trình bày tại Bảng 6. Kết quả xác định cường độ chịu kéo khi uốn được trình bày trong Bảng 8.

Các đường tương quan biểu diễn quan hệ giữa hệ số dư vữa và cường độ chịu kéo khi uốn ở tuổi 3, 7 và 28 ngày được thiết lập theo mô hình bậc 2 theo phương pháp bình phương nhỏ nhất và được trình bày tại Hình (3, 4, 5).

Các kết quả nghiên cứu ở Bảng 8 cho thấy, khi hệ số dư tăng từ 1,20 lên 1,59 (Hình 3, 4 và 5), thì cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông ở tuổi 3, 7 và 28 ngày có xu hướng tăng dần. Khi tiếp tục tăng hệ số dư vữa quá 1,57 thì cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông có xu hướng giảm. Chênh lệch giữa giá trị cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông lớn nhất và nhỏ nhất không vượt quá 2 MPa. Nếu coi mức biến động cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông 2 % là nằm trong phạm vi sai số thí nghiệm, thì cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông có giá trị lớn nhất khi hệ số dư vữa thay đổi trong khoảng từ 1,47 đến 1,68, sự thay đổi cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông trong khoảng hệ số dư vữa này

không có ý nghĩa về mặt thống kê. Điều đó có nghĩa ở khoảng hệ số dư vừa từ 1,47 đến 1,68, thì hỗn hợp bê tông nội bảo dưỡng có sử dụng xi-lô cao có tính công tác tốt nhất, bê tông đạt cường độ chịu kéo khi uốn cao nhất, hay nói cách khác khoảng hệ số dư vừa từ 1,47 đến 1,68, là

khoảng hệ số dư vừa tối ưu đối với cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông thường, bê tông nội bảo dưỡng không dùng xi-lô cao và bê tông nội bảo dưỡng sử dụng xi-lô cao.

Bảng 6. Thành phần bê tông nghiên cứu.

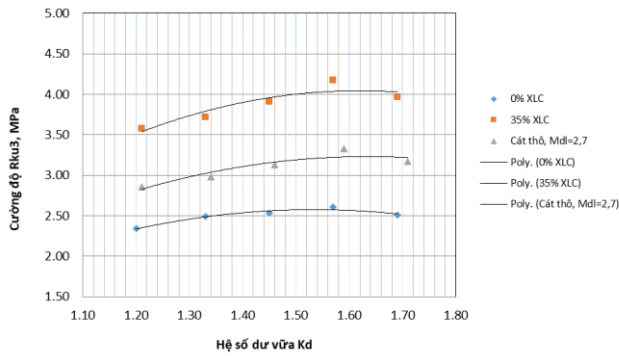
Kí hiệu	Lượng dùng vật liệu, kg/m ³							Thông số	
	XM	XLC	Nước	CN	Cát	Đá	PG	Tỷ lệ XLC/XM	K _d
CP1	300	0	136	202	472	1325	2,69	0%	1.2
CP2	299	0	135	219	511	1257	2,69	0%	1.33
CP3	299	0	135	235	547	1199	2,69	0%	1.45
CP4	299	0	135	249	581	1146	2,69	0%	1.57
CP5	299	0	135	262	611	1097	2,69	0%	1.69
CP16	299	105	136	176	411	1324	2,69	35%	1.21
CP17	299	105	136	193	451	1259	2,69	35%	1.33
CP18	299	105	136	209	488	1201	2,69	35%	1.45
CP19	299	105	136	223	521	1147	2,69	35%	1.57
CP20	299	105	136	236	551	1098	2,69	35%	1.69
CPV1	299	0	136	0	733	1322	2.69	0	1.21
CPV2	298	0	135	0	793	1254	2.68	0	1.34
CPV3	297	0	135	0	849	1194	2.68	0	1.46
CPV4	297	0	135	0	900	1140	2.67	0	1.59
CPV5	297	0	135	0	946	1090	2.67	0	1.71

Bảng 7. Tính chất của hỗn hợp bê tông.

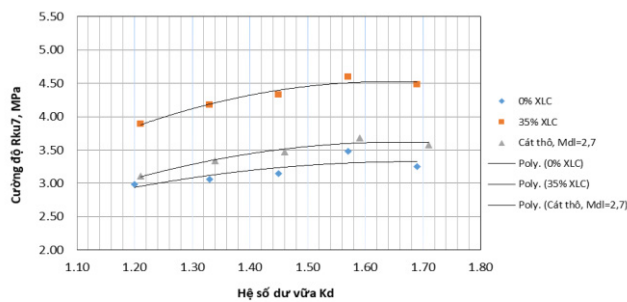
KH	KLTT, kg/m ³	ĐS, cm			Bọt khí, %	Tách nước, %	Tách vữa, %
		0'	30'	60'			
CP1	2430	10,0	9,0	8,0	1,5	0,0	3,9
CP2	2420	9,0	8,5	6,5	1,6	0,0	4,1
CP3	2410	7,5	6,0	5,0	1,9	0,0	4,2
CP4	2410	6,5	5,5	4,0	2,1	0,0	4,3
CP5	2400	5,0	4,0	2,0	2,3	0,0	4,5
CP16	2450	13,5	12,5	12,0	1,1	0,0	0,0
CP17	2440	11,5	10,5	9,5	1,3	0,0	0,0
CP18	2440	10,0	9,0	8,0	1,4	0,0	0,0
CP19	2430	9,0	8,5	7,0	1,5	0,0	0,0
CP20	2430	7,5	6,0	5,5	1,6	0,0	0,0
CPV1	2490	12,0	11,5	10,0	1,2	0,0	0,1
CPV2	2480	10,5	9,0	8,0	1,5	0,0	0,3
CPV3	2480	9,0	7,5	6,5	1,6	0,0	0,5
CPV4	2470	8,0	6,5	5,0	1,7	0,0	0,7
CPV5	2470	5,5	4,5	3,5	1,9	0,0	1,2

Bảng 8. Kết quả cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông.

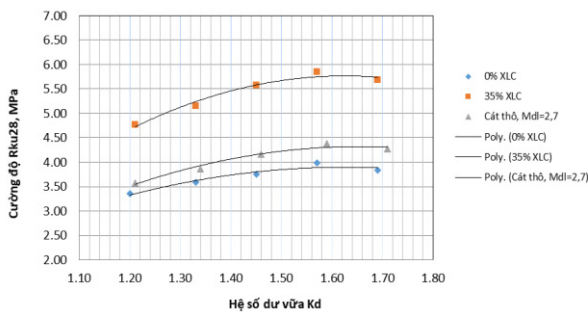
TT	Kí hiệu	K _d	R _{ku} , ở độ tuổi, MPa		
			3 ngày	7 ngày	28 ngày
1	CP1	1,20	2,34	2,98	3,35
2	CP2	1,33	2,49	3,06	3,59
3	CP3	1,45	2,53	3,15	3,75
4	CP4	1,57	2,61	3,48	3,99
5	CP5	1,69	2,51	3,25	3,84
6	CP16	1,21	3,58	3,89	4,77
7	CP17	1,33	3,72	4,18	5,15
8	CP18	1,45	3,91	4,33	5,57
9	CP19	1,57	4,17	4,60	5,85
10	CP20	1,69	3,97	4,48	5,69
11	CPV1	1,21	2,86	3,11	3,58
12	CPV2	1,34	2,98	3,34	3,86
13	CPV3	1,46	3,13	3,47	4,17
14	CPV4	1,59	3,33	3,68	4,38
15	CPV5	1,71	3,17	3,58	4,27



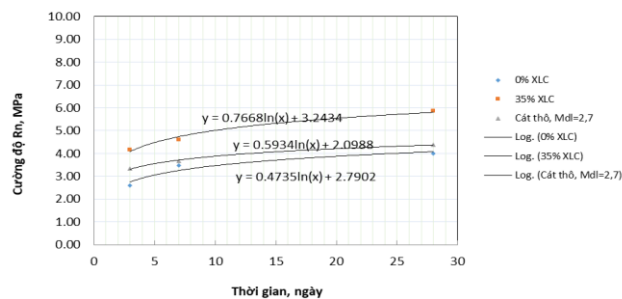
Hình 3. Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông ở tuổi 3 ngày.



Hình 4. Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông ở tuổi 7 ngày.



Hình 5. Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông ở tuổi 28 ngày.



Hình 6. Sự phát triển cường độ chịu kéo khi uốn theo thời gian.

Kết quả nghiên cứu sự phát triển cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông nội bảo dưỡng cho thấy sự phát triển cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông theo thời gian, tác giả đã sử dụng một số cấp phối đại diện như CP4 ($K_d = 1,57$); CP19 ($K_d = 1,57$) và CPV4 ($K_d = 1,59$), để thể hiện trên biểu đồ phát triển cường độ chịu kéo khi uốn theo thời gian, kết quả được trình bày trên Hình 6.

Trên cơ sở kết quả thí nghiệm, đã xây dựng đường tương quan giữa cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông và tuổi mẫu theo phương pháp bình phương nhỏ nhất. Đánh giá thống kê cho thấy tương quan dạng hàm logarit mô tả tốt các kết quả thí nghiệm. Sự phát triển cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông bê tông thường, bê tông nội bảo dưỡng không dùng xi lò cao và bê tông nội bảo dưỡng sử dụng xi lò cao đều tuân theo quy luật chung.

Mức độ phát triển cường độ chịu kéo khi uốn theo thời gian của các mẫu bê tông có thể được đánh giá thông qua hệ số của phương trình hồi quy. Hệ số góc của phương trình của bê tông nội bảo dưỡng sử dụng xi lò cao có giá trị cao nhất (0,767), điều này cho thấy mức phát triển cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông này cao hơn so với bê tông thường (0,474) và bê tông nội bảo dưỡng không dùng xi lò cao (0,593).

4. Kết luận

Như vậy, có thể thấy rằng việc tăng hệ số dư vữa có ảnh hưởng tích cực đến cường độ chịu kéo khi uốn.

Bê tông nội bảo dưỡng sử dụng xi lò cao có mức độ phát triển cũng như giá trị cường độ chịu kéo khi uốn cao hơn so với bê tông thường và bê tông nội bảo dưỡng không dùng xi lò cao.

Kết quả nghiên cứu cũng đã xác định được khoảng hệ số dư vữa hợp lý đối với cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông thường, bê tông nội bảo dưỡng không dùng xi lò cao và bê tông nội bảo dưỡng sử dụng xi lò cao đáp ứng yêu cầu kỹ thuật đối với mặt đường bê tông xi măng tới cấp IV, cụ thể khoảng hệ số dư vữa đó là ($K_d = 1,47 \div 1,56$), các giá trị K_d này có thể tham khảo khi thiết kế thành phần bê tông.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Bộ Xây dựng (1998), Chi dẫn kỹ thuật chọn thành phần bê tông các loại theo Quyết định số 778/1998/QĐ-BXD ngày 05/9/1998, Việt Nam.
- [2]. Bộ Giao thông vận tải (2012), Quyết định số 1951/QĐ-BGTVT ngày 17/8/2012 ban hành “Quy định tạm thời về kỹ thuật thi công và nghiệm thu mặt đường bê tông xi măng trong xây dựng công trình giao thông”, Việt Nam.
- [3]. Tiêu chuẩn Việt Nam (2009), TCVN 6260:2009 Xi măng Pooc lăng hỗn hợp – Yêu cầu kỹ thuật, Việt Nam.
- [4]. Tiêu chuẩn Việt Nam (2016), TCVN 11586:2016 Xi hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa, Việt Nam.
- [5]. Tiêu chuẩn Việt Nam (2006), TCVN 7570:2006 Cốt liệu cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật, Việt Nam.
- [6]. Tiêu chuẩn Việt Nam (2012), TCVN 4506:2012 Nước cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật, Việt Nam.

- [7]. Tiêu chuẩn Việt Nam (1993), TCVN 3119:1993 Bê tông nặng – Phương pháp xác định cường độ chịu kéo khi uốn, Việt Nam.
- [8]. ASTM C136/C136M (2019), Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, USA.
- [9]. ASTM C1761/C1761M-13b (2017), Standard Specification for Lightweight Aggregate for Internal Curing of Concrete, USA.
- [10]. ASTM C330/C330M-17A (2017), Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete, USA.