

Hàm lượng cốt liệu thô tạo khung chịu lực và ảnh hưởng của nó đến khả năng chống biến dạng không hồi phục của hỗn hợp bê tông nhựa chặt

■ **ThS. ĐỖ VƯƠNG VINH; PGS. TS. TRẦN THỊ KIM ĐĂNG**

Trường Đại học Giao thông vận tải

TÓM TẮT: Trong hỗn hợp bê tông nhựa (BTN), cốt liệu thô hoặc là khung cốt liệu thô được xem là một trong các yếu tố cơ bản tạo nên khả năng kháng biến dạng không hồi phục. Một hỗn hợp được thiết kế với tỉ lệ thành phần cỡ hạt cốt liệu hợp lý sẽ cho bộ khung cốt liệu thô vững chắc và có khả năng chống biến dạng không hồi phục tốt. Theo quan điểm thiết kế cốt liệu thô tạo khung và sự chèn móc giữa các hạt cốt liệu thì cỡ hạt được gọi là cốt liệu thô sẽ thay đổi tùy thuộc vào cỡ hạt lớn nhất danh định của hỗn hợp. Đối với hỗn hợp bê tông nhựa chặt (BTNC) 12.5 thì cốt liệu thô là các hạt sót sàng 2,36 mm. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng cỡ hạt thô tạo khung đến khả năng chống biến dạng không hồi phục của các hỗn hợp BTNC 12.5 sử dụng thí nghiệm Wheel Tracking và thí nghiệm từ biến tĩnh cho thấy tồn tại một khoảng hàm lượng cốt liệu thô tạo khung tốt nhất cho khả năng chống lại biến dạng không hồi phục cao nhất. Hỗn hợp có cấp phối cốt liệu thiết kế theo phương pháp Bailey cho chiều sâu lún vết bánh xe sau 20.000 lượt gia tải là nhỏ nhất, độ cứng từ biến cao nhất, biến dạng tổng, biến dạng không hồi phục và tốc độ biến dạng là nhỏ nhất.

TỪ KHÓA: Bê tông nhựa, cốt liệu thô, hàm lượng cốt liệu thô, lún vết bánh xe, biến dạng không hồi phục.

ABSTRACT: In the asphalt concrete, coarse aggregate or coarse aggregate skeleton has been considered as the basic factor creating permanent deformation resistance. A mixture designed with a sufficient aggregate distribution could result in better coarse aggregate skeleton and provide higher permanent deformation resistance. From the design viewpoint of coarse aggregate skeleton and aggregate interlock, the coarse aggregate size varies depending on the nominal maximum particle size. Coarse aggregate skeleton of 12.5 mm asphalt mixture for example is created by the particles retaining on the sieve size of 2.36 mm. The investigated results of the coarse aggregate content effect on the permanent

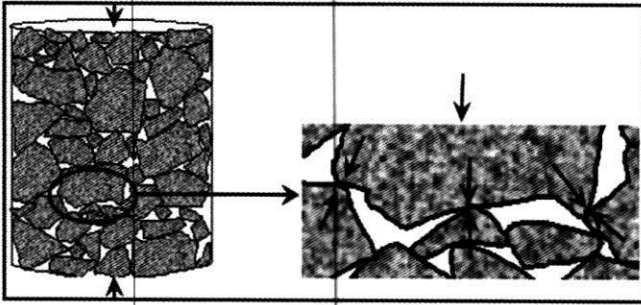
deformation resistance of the 12.5 mm asphalt mixture using wheel track and static creep tests show potential ranges of coarse aggregate content which could provide better permanent deformation resistance. The investigated asphalt mixture with aggregate blending follows Bailey method shows the best permanent deformation resistance with the smallest rutting depth after 20000 loading passes, the highest creep stiffness and the smallest total deformation, permanent deformation and deformation rate.

KEYWORDS: Asphalt concrete, coarse aggregate, coarse aggregate content, rutting depth, permanent deformation.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

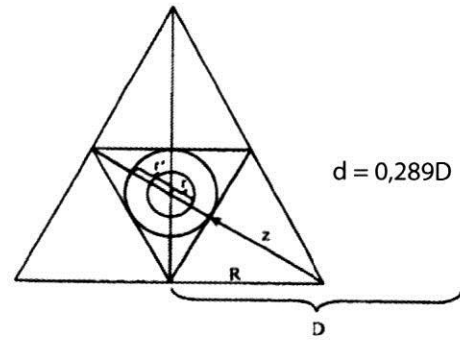
Cốt liệu là thành phần chiếm tỉ lệ lớn nhất trong hỗn hợp BTN chặt (khoảng 94 - 95% khối lượng và 80 - 90 % thể tích). Bên cạnh những yếu tố về chất lượng của các thành phần cốt liệu thì tỉ lệ phối trộn giữa các phân cốt liệu có ảnh hưởng đến hầu hết các tính chất quan trọng của hỗn hợp BTN, trong đó có khả năng chống biến dạng không hồi phục.

Cốt liệu thô hoặc là khung cốt liệu thô được xem là yếu tố cơ bản tạo nên khả năng kháng biến dạng không hồi phục của hỗn hợp BTN. Các hạt cốt liệu thô tiếp xúc và chèn móc với nhau tạo các đường liên tục truyền và phân bố các ứng suất phát sinh do tải trọng của bánh xe qua lớp BTN đến các lớp vật liệu móng phía dưới (Hình 1.1). Mỗi loại hỗn hợp BTN khi thiết kế tùy theo tỉ lệ phối hợp giữa các thành phần nói chung và tỉ lệ phối hợp cốt liệu theo kích cỡ nói riêng sẽ tạo các khung cốt liệu thô khác nhau, có khả năng kháng biến dạng khác nhau. Một hỗn hợp được thiết kế với tỉ lệ giữa các phân cốt liệu hợp lý sẽ cho bộ khung cốt liệu thô vững chắc, do đó có khả năng chịu được số lần tác dụng tải trọng trùng phục lớn hơn với biến dạng không hồi phục nhỏ hơn. Ngược lại, một hỗn hợp có khung cốt liệu thô kém sẽ chỉ chịu được số lần tải trọng trùng phục nhỏ với biến dạng không hồi phục lớn hơn.



Hình 1.1: Sự truyền ứng suất trong khung cốt liệu

Theo truyền thống khi thiết kế hỗn hợp BTN, cốt liệu thô được hiểu là các cốt liệu sót trên sàng 4,75 mm và cốt liệu mịn là các cốt liệu lọt qua cỡ sàng này. Với quan niệm thiết kế phối trộn để tạo khung cốt liệu thô, cốt liệu thô được hiểu là cốt liệu có kích thước lớn mà khi đưa vào khối thể tích sẽ tạo ra lỗ rỗng; cốt liệu mịn là cốt liệu chèn vào lỗ rỗng của các cốt liệu thô. Trên cơ sở định nghĩa này, nghiên cứu [5] đã phân tích về mặt hình học phẳng cho các dạng phối trộn để các hạt cốt liệu mịn chèn vào lỗ rỗng của các hạt cốt liệu thô mà vẫn đảm bảo cho các hạt cốt liệu thô tiếp xúc với nhau. Sơ đồ tính toán và kết quả cuối cùng của các trường hợp phân tích được thể hiện trong Hình 1.2.



Cốt liệu thô với một mặt tròn và 2 mặt phẳng

Hình 1.2: Sơ đồ tính xác định tỉ lệ kích cỡ giữa cốt liệu thô và cốt liệu mịn

Xét thực tế các hạt có thể có hình dạng khác nhau, nếu lấy trung bình cộng tỉ lệ tính toán trong cả 4 trường hợp, có thể xác định được tỉ lệ giữa đường kính cốt liệu thô và đường kính cốt liệu mịn (xem như là hạt nê-m chèn) là:

$$d = 0,22D \quad (1)$$

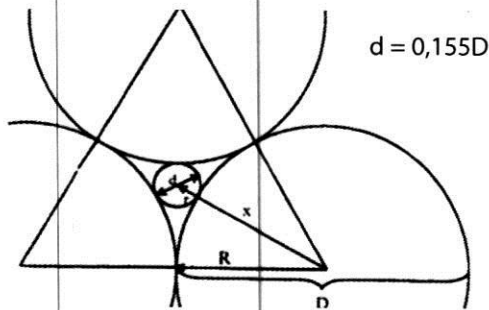
Với: d - Đường kính của hạt cốt liệu nê-m chèn;

D - Đường kính của hạt cốt liệu thô.

Dựa vào lý thuyết trên nghiên cứu [5] để xuất cỡ hạt phân định cốt liệu thô và cốt liệu mịn cho các hỗn hợp BTN là cỡ sàng gần nhất tính theo công thức (1). Cỡ sàng phân định cốt liệu thô và cốt liệu mịn cho các hỗn hợp BTN chặt thông dụng được thể hiện trong Bảng 1.1.

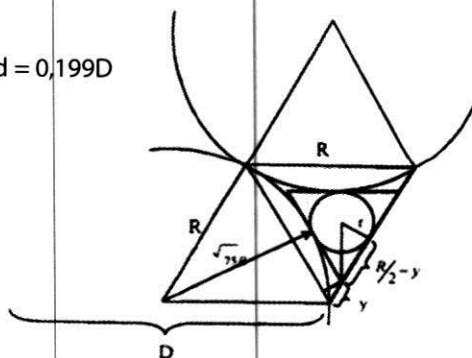
Bảng 1.1. Cỡ hạt phân định cốt liệu thô và cốt liệu mịn để xuất theo quan điểm cốt liệu thô tạo khung và cốt liệu nê-m chèn

Cỡ hạt lớn nhất danh định (mm)	Cỡ hạt phân định cốt liệu thô và cốt liệu mịn tính toán (mm)	Cỡ hạt phân định cốt liệu thô và cốt liệu mịn để xuất (mm)
19	4,18	4,75
12,5	2,75	2,36
9,5	2,09	2,36



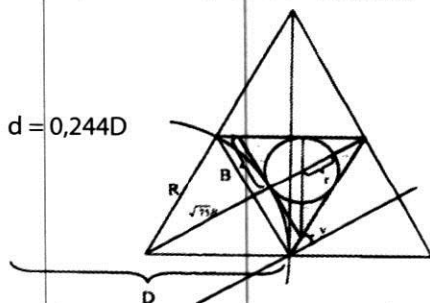
Cốt liệu thô với các mặt đều tròn

$$d = 0,199D$$



Cốt liệu thô với 2 mặt tròn và 1 mặt phẳng

$$d = 0,244D$$



Cốt liệu thô với 1 mặt tròn và 2 mặt phẳng

2. VẬT LIỆU VÀ CÁC HỖN HỢP BTN NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu thí nghiệm

Vật liệu thí nghiệm được lựa chọn theo cách để hạn chế các điều kiện biên, tập trung nghiên cứu vào thành phần cỡ hạt cốt liệu thông qua chỉ tiêu hàm lượng cốt liệu tạo khung (HLCLTK). Các loại vật liệu sử dụng trong nghiên cứu là những vật liệu đáp ứng các tiêu chuẩn của Việt Nam để chế tạo hỗn hợp BTN chặt. Nguồn vật liệu để chế tạo các hỗn hợp BTN nghiên cứu vì vậy được lựa chọn như sau:

- Cốt liệu thô và cốt liệu mịn: Mỏ đá Thống Nhất, huyện Kinh Môn, tỉnh Hải Dương.

- Bọt khoáng: Bọt khoáng được nghiền từ đá vôi của doanh nghiệp vận tải Hồng Lạc, Hải Dương.

- Nhựa đường: Nhựa đường đặc 60/70 - Shell Singapore nhập khẩu bởi Petrolimex.

Cốt liệu thô, cốt liệu mịn, được sàng thành từng cỡ sàng riêng biệt theo bộ sàng tiêu chuẩn.

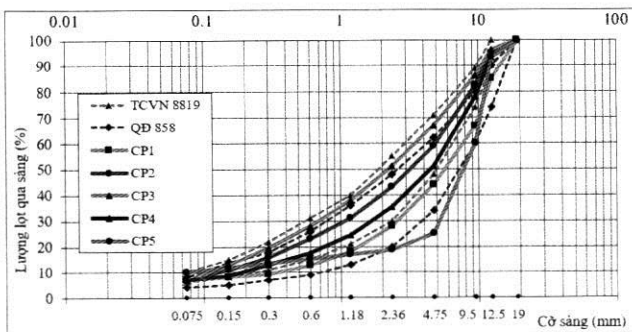
* Các hỗn hợp BTN nghiên cứu:

Với mục đích nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng cốt liệu tạo khung đến khả năng kháng biến dạng không

hồi phục của hỗn hợp BTNC, 5 hỗn hợp BTN 12.5 (loại BTN phổ biến được sử dụng làm lớp mặt đường ô tô ở Việt Nam) có thành phần cấp phối cốt liệu và hàm lượng cốt liệu thô tạo khung ($d \geq 2,36$ mm) khác nhau đã được lựa chọn trong nghiên cứu. Trong đó, có 4 hỗn hợp có cấp phối liên tục nằm trong phạm vi đường bao cấp phối cốt liệu phù hợp với TCVN8819:2011 [1] hoặc QĐ 858/QĐ-BGTVT [3]. Các hỗn hợp này được ký hiệu từ CP1 đến CP4, trong đó hỗn hợp CP4 có thành phần cấp phối liệu được thiết kế theo phương pháp Bailey [6]. Hỗn hợp CP5 là hỗn hợp có cấp phối gián đoạn với hàm lượng cốt liệu thô tạo khung cao. Thành phần cấp phối của các hỗn hợp BTN 12.5 được thể hiện trong **Bảng 2.1** và **Hình 2.1**.

Bảng 2.1. Thành phần cấp phối của các hỗn hợp BTN 12.5

Cỡ sàng (mm)	TCVN 8819:2011		Quyết định 858/QĐ-BGTVT		CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
	Min	Max	Min	Max					
19	100	100	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
12,5	90	100	74	90	85,0	95,0	96,0	93,4	93,3
9,5	74	89	60	80	66,6	82,5	86,0	78,0	60,0
4,75	48	71	34	62	44,0	59,0	67,0	51,1	25,0
2,36	30	55	20	48	28,0	43,0	51,0	35,3	18,7
1,18	21	40	13	36	18,1	31,0	38,0	24,5	16,9
0,6	15	31	9	26	12,6	23,0	28,0	17,5	15,2
0,3	11	22	7	18	9,2	16,0	19,5	12,9	13,5
0,15	8	15	5	14	8,2	11,0	13,0	8,7	11,7
0,075	6	10	4	8	7,0	7,0	7,0	7,0	10,0



Hình 2.1: Đường cong cấp phối của các hỗn hợp BTN 12,5 nghiên cứu

Các hỗn hợp BTN 12,5 được thiết kế thành phần theo phương pháp Marshall phù hợp Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN8820:2011 [2], TCVN 8819:2011 [1] và Quyết định 858/QĐ-BGTVT [3]. Các hỗn hợp được đầm 75 chày/mặt, riêng hỗn hợp CP5 cấp phối gián đoạn hàm lượng đá dầm cao đầm 50 chày/mặt và có sử dụng 0,3% hàm lượng sợi cellulose để hạn chế lượng chảy nhựa. Hàm lượng nhựa tối ưu lựa chọn để hỗn hợp có độ rỗng dư khoảng 4,0%, các chỉ tiêu khác phù hợp với tiêu chuẩn. Hàm lượng nhựa tối ưu của các hỗn hợp từ CP1 đến CP5 lần lượt là 4,60%, 4,70%, 4,80%, 4,70% và 6,10%.

3. THÍ NGHIỆM ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG CHÔNG BIẾN DẠNG KHÔNG HỒI PHỤC

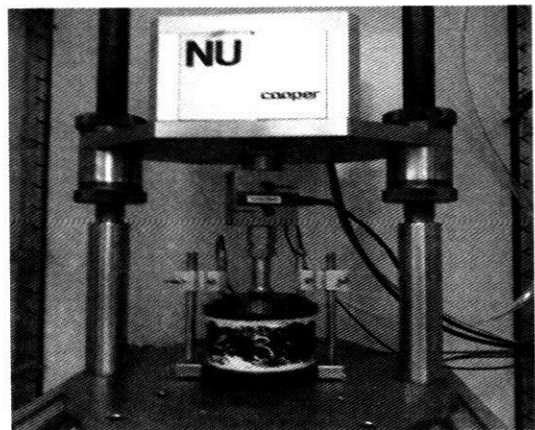
Khả năng chống biến dạng không hồi phục của các hỗn hợp BTN được thực hiện bằng thí nghiệm hần lún vết bánh xe và thí nghiệm từ biến tĩnh.

- *Thí nghiệm hần lún vết bánh xe:*

Thí nghiệm hần lún vết bánh được thực hiện theo Phương pháp A trong Quyết định 1617/QĐ-BGTVT [4]. Mẫu thí nghiệm dạng tấm hình chữ nhật được đúc bằng đầm

lần có kích thước 320x260x50 (mm) với độ rỗng dư phù hợp với tiêu chuẩn. Thí nghiệm được thực hiện trong môi trường nước ở nhiệt độ 50°C với 20.000 lượt gia tải. Công tác đúc mẫu và thí nghiệm hần lún vết bánh xe được thực hiện tại phòng thí nghiệm LAS-XD 1256 - Trường Đại học GTVT.

- *Thí nghiệm từ biến tĩnh:*



Hình 3.1: Thí nghiệm từ biến tĩnh

Thí nghiệm từ biến tĩnh được thực hiện bằng cách tác dụng một tải trọng lên mẫu sau đó dỡ tải. Biến dạng của mẫu được đo và ghi lại trong suốt quá trình gia tải và dỡ tải. Mẫu thí nghiệm là mẫu Marshall thông thường. Thí nghiệm được thực hiện với áp lực 200 kPa ở nhiệt độ 60°C. Mẫu thí nghiệm được duy trì trong buồng ổn nhiệt ở nhiệt độ thí nghiệm tối thiểu 3h trước khi thí nghiệm. Lắp đặt mẫu và bố trí hệ thống gia lực, đo và ghi kết quả như **Hình 3.1**. Gia tải với áp lực 200 kPa trong 1h (3.600 giây), sau đó dỡ tải và theo dõi biến dạng trong vòng 15 phút (90 giây). Thí nghiệm được thực hiện trên thiết bị của hãng Cooper tại Phòng Thí nghiệm Bộ môn Vật liệu xây dựng - Trường Đại học GTVT.

Từ kết quả thí nghiệm và biểu đồ thể hiện biến dạng theo thời gian có thể xác định được các thông số:

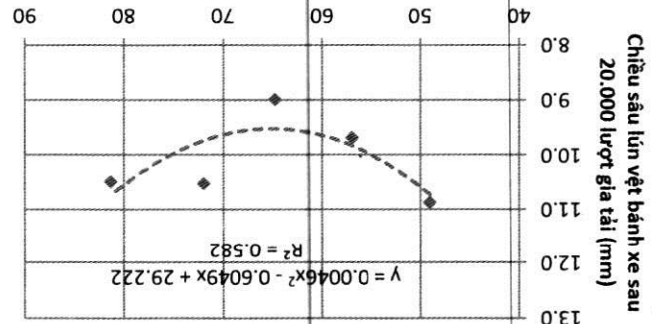
- Biến dạng tổng (ϵ^{max}): Biến dạng thẳng đứng tại thời điểm đo tải (%);
- Biến dạng không hồi phục (ϵ^{perm}): Biến dạng còn lại được xác định tại thời điểm kết thúc đo tải (%);
- Độ cứng từ biến (Creep Stiffness - CS): $CS = \frac{\sigma}{\epsilon^{max}}$ (MPa)
- Tốc độ biến dạng: Là độ dốc của đường biểu diễn biến dạng theo thời gian ở giai đoạn biến dạng ổn định.

4. KẾT QUẢ VÀ PHÂN TÍCH KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

- Kết quả thí nghiệm lún vật bán xe của các hỗn hợp BTNC 12.5 được thể hiện trong Bảng 4.1. Kết quả cho thấy chiều sâu lún vật bán xe sau 20.000 lượt gia tải của các hỗn hợp đều nhỏ hơn giá trị giới hạn 12,5 mm quy định trong Quyết định số 1617/QĐ-BGTVT [4]. Hình 4.1 thể hiện quan hệ giữa lượng cốt liệu tạo khung $d \geq 2,36$ mm và chiều sâu lún sau 20.000 lượt gia tải. Có thể thấy tồn tại một hàm lượng cốt liệu tạo khung cho chiều sâu lún sau 20.000 lượt gia tải là nhỏ nhất. Hỗn hợp CP4 (cấp phối thiết kế theo phương pháp Bailey) có chiều sâu lún sau 20.000 lượt gia tải là nhỏ nhất. Có thể xem đây là ưu điểm của phương pháp Bailey để lựa chọn được hàm lượng cốt liệu tạo khung hợp lý.

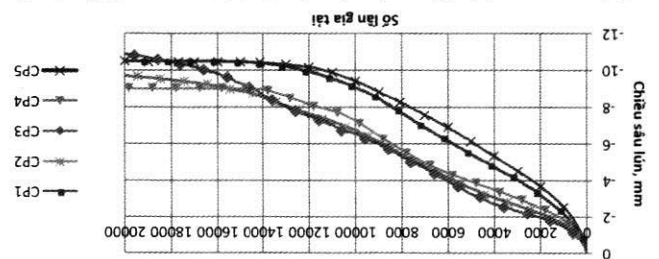
Bảng 4.1. Chiều sâu lún vật bán xe sau 20.000 lượt gia tải

Loại hỗn hợp	Chiều sâu lún vật bán xe ở 20.000 lượt gia tải (mm)	
	Mẫu bên trái	Trung bình
CP1	10,26	10,76
CP2	9,80	9,68
CP3	10,95	10,83
CP4	9,31	8,71
CP5	10,69	10,28



Quan hệ giữa chiều sâu lún vật bán xe và số lượt gia tải các hỗn hợp được thể hiện trong Hình 4.2, qua đó thấy đường cong phát triển vết lún chia thành 3 giai đoạn. Giai đoạn 1 có tốc độ lún nhanh tương ứng với lượt gia tải thứ 1.000 đối với cả 5 hỗn hợp. Giai đoạn 2 tốc độ biến dạng nhỏ hơn so với giai đoạn 1 và kết thúc ở các lượt gia tải khác nhau tùy thuộc vào từng loại hỗn hợp. Bằng cách vẽ

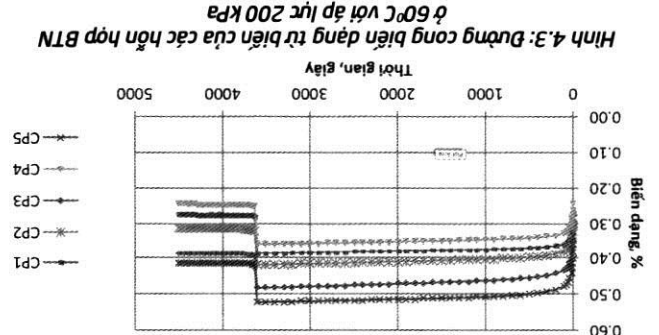
Các đường tiếp tuyến với đường cong phát triển lún của giai đoạn 2 và giai đoạn 3, có thể xác định điểm kết thúc của giai đoạn 2. Giai đoạn 3 là giai đoạn tốc độ lún rất chậm (xem như ổn định) hoặc lún nhanh đột biến do bị phá hoại. Các hỗn hợp nghiên cứu đều không xuất hiện lún nhanh đột biến do bị phá hoại. Hàm lượng cốt liệu tạo khung quyết định thời điểm đạt đến trạng thái ổn định (xem như dừng lún) của mẫu. Mẫu hỗn hợp CP5 có lượng cốt liệu tạo khung lớn nhất đạt đến trạng thái ổn định nhanh nhất ở lượt tải 10.000; tiếp đến hỗn hợp CP1 ở lượt tải 11.000; hỗn hợp CP4 ở lượt tải 13.000; hỗn hợp CP2 ở lượt tải 14.000 và cuối cùng là hỗn hợp CP3 cho đến kết thúc thí nghiệm ở lượt tải 20.000 vẫn chưa đạt trạng thái xem như dừng lún.



Hình 4.2: Quan hệ giữa chiều sâu lún vật bán xe và số lần gia tải

- Kết quả thí nghiệm từ biến tính:

Kết quả thí nghiệm từ biến của các hỗn hợp là giá trị trung bình của 3 mẫu thí nghiệm và được thể hiện trong Bảng 4.2. Đường cong biến dạng theo thời gian của các hỗn hợp được thể hiện trong Hình 4.3. Kết quả thí nghiệm cho thấy đường cong biến dạng từ biến theo thời gian trong toàn bộ thời gian gia tải mới thể hiện trong giai đoạn 1 - giai đoạn hỗn hợp BTNC chưa bị phá hoại. Về độ cứng từ biến, hỗn hợp CP4 cho giá trị lớn nhất, hỗn hợp CP5 cho giá trị nhỏ nhất. Về biến dạng tổng và biến dạng không hồi phục, hỗn hợp CP4 cho giá trị nhỏ nhất, hỗn hợp CP5 cho giá trị lớn nhất. Về độ dốc từ biến, hỗn hợp CP4 cho giá trị nhỏ nhất, hỗn hợp CP3 cho giá trị lớn nhất.



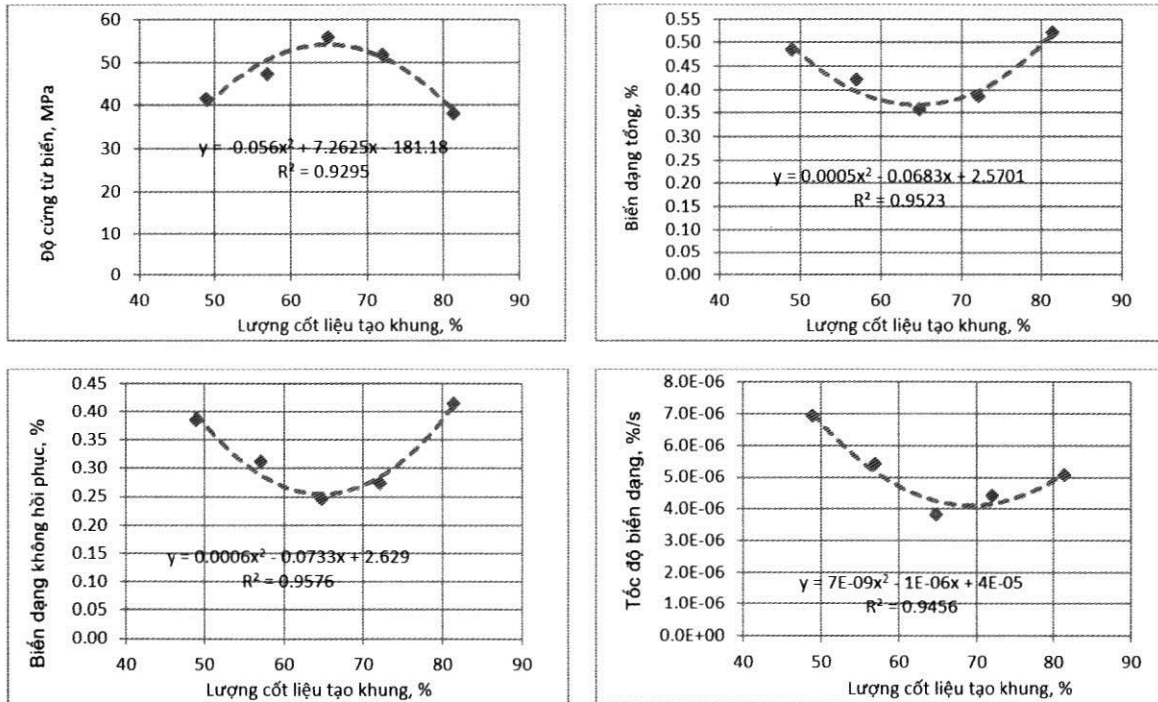
Hình 4.3: Đường cong biến dạng từ biến của các hỗn hợp BTNC ở 60°C với áp lực 200 kPa

Bảng 4.2. Các thông số thí nghiệm từ biến của các hỗn hợp BTNC ở nhiệt độ 60°C với áp lực 200 kPa

TT	Thông số	Nhiệt độ	CP3	CP2	CP4	CP1	CP5
1	Biến dạng tổng, %	60°C	0,4835	0,4199	0,3578	0,3857	0,5229
2	Biến dạng biến dạng không hồi phục, %	60°C	0,3855	0,3125	0,2448	0,2741	0,4150
3	Độ dốc của đường cong từ biến, %/s	60°C	6,93E-06	5,45E-06	3,85E-06	4,44E-06	5,05E-06
4	Độ cứng từ biến, MPa	60°C	41,42	47,65	56,05	51,88	38,31



Biểu đồ quan hệ giữa hàm lượng cốt liệu tạo khung với các thông số của thí nghiệm từ biến được xây dựng và thể hiện trong Hình 4.4. Kết quả cho thấy giữa hàm lượng cốt liệu thô tạo khung và các thông số từ biến có mối quan hệ chặt. Có xu thế tồn tại một khoảng hàm lượng cốt liệu tạo khung cho độ cứng từ biến lớn nhất, tổng biến dạng, biến dạng dư và tốc độ biến dạng là nhỏ nhất. Với các vật liệu sử dụng trong nghiên cứu, hỗn hợp CP4 (cấp phối thiết kế theo phương pháp Bailey) có độ cứng từ biến cao nhất, biến dạng tổng, biến dạng dư và tốc độ biến dạng là nhỏ nhất.



Hình 4.4: Biểu đồ quan hệ giữa hàm lượng cốt liệu tạo khung với các thông số từ biến

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

- Trên cơ sở phân tích lý thuyết cốt liệu thô tạo khung trong hỗn hợp BTN, có thể kết luận cốt liệu thô tạo khung là cốt liệu có đường kính (d) sót trên sàng có kích cỡ lân cận giá trị bằng $(0,22xD)$, với D là đường kính hạt cốt liệu lớn nhất danh định. Do vậy, cốt liệu nệm chèn là cốt liệu sót qua cỡ sàng này. Tương ứng cho hỗn hợp có cỡ hạt cốt liệu lớn nhất danh định là 12,5 mm thì cốt liệu thô tạo khung là cốt liệu sót sàng 2,36 mm.

- Giữa hàm lượng hạt cốt liệu thô tạo khung với các thông số đặc trưng cho khả năng chống lại biến dạng không hồi phục của các hỗn hợp BTN có mối quan hệ khá chặt với chỉ tiêu chiều sâu lún vết bánh xe và có mối quan hệ rất chặt với các thông số của thí nghiệm từ biến. Có xu thế tồn tại một khoảng hàm lượng cốt liệu thô cho khả năng chống lại biến dạng không hồi phục cao. Hỗn hợp CP4 (cấp phối cốt liệu thiết kế theo phương pháp Bailey) có chiều sâu lún vết bánh xe sau 20.000 lượt gia tải là nhỏ nhất, độ cứng từ biến cao nhất, biến dạng tổng, biến dạng không hồi phục và tốc độ biến dạng là nhỏ nhất.

- Tiếp tục nghiên cứu về ảnh hưởng của hàm lượng cốt liệu tạo khung đến đặc tính biến dạng không hồi phục của hỗn hợp BTN và mức độ cải thiện khả năng chống biến dạng không hồi phục của hỗn hợp BTN chặt có cấp phối thiết kế theo phương pháp Bailey với các nguồn cốt liệu khác nhau.

Tài liệu tham khảo

[1]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2011), *TCVN 8819:2011*

- *Mặt đường BTN nóng - Yêu cầu thi công và nghiệm thu*, Hà Nội, Việt Nam.

[2]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2011), *TCVN 8820:2011 - Hỗn hợp BTN nóng - Thiết kế theo phương pháp Marshall*, Hà Nội, Việt Nam.

[3]. Bộ GTVT (2014), *Quyết định số 858/QĐ-BGTVT về việc ban hành Hướng dẫn áp dụng hệ thống các tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành nhằm tăng cường quản lý chất lượng thiết kế và thi công mặt đường BTN nóng đối với các tuyến đường ô tô có quy mô giao thông lớn*, Hà Nội, Việt Nam.

[4]. Bộ GTVT (2014), *Quyết định số 1617/QĐ-BGTVT về việc ban hành Quy định kỹ thuật về phương pháp thử độ sâu vết hằn bánh xe của BTN xác định bằng thiết bị Wheel Tracking*, Hà Nội, Việt Nam.

[5]. Vavrik, W. R. (2000), *Asphalt mixture design concepts to develop aggregate interlock*, Doctoral dissertation, University of Illinois, Illinois, USA.

[6]. Vavrik, W.R. et al (2002), *Bailey Method for Gradation Selection in Hot-Mix Asphalt Mixture Design*, Transportation Research Circular No. E-C044, Transportation Research Board, Washington, D.C., USA.

Ngày nhận bài: 01/12/2020

Ngày chấp nhận đăng: 24/12/2020

**Người phản biện: PGS. TS. Nguyễn Quang Phúc
TS. Trần Danh Hợp**