

Ảnh hưởng của nhiệt độ và tốc độ gia tải đến đặc tính kháng cắt của bê tông nhựa trong thí nghiệm nén ba trục

■ ThS. NCS. NGÔ NGỌC QUỲ; PGS. TS. TRẦN THỊ KIM ĐĂNG; PGS. TS. LÃ VĂN CHÂM
Trường Đại học Giao thông vận tải

TÓM TẮT: Đặc tính kháng cắt với hai tham số đặc trưng là lực dính đơn vị và góc nội ma sát (c, ϕ) của bê tông asphalt phụ thuộc nhiều yếu tố: các yếu tố liên quan đến bản thân vật liệu bê tông asphalt như loại chất kết dính, hàm lượng chất kết dính, thành phần kích cỡ cốt liệu, chất lượng cốt liệu, mức độ đầm chặt và yếu tố ngoài như nhiệt độ thí nghiệm, tốc độ gia tải. Bài báo đưa ra kết quả nghiên cứu thực nghiệm đặc tính kháng cắt của hỗn hợp bê tông asphalt sử dụng thí nghiệm nén ba trục với hai loại hỗn hợp phổ biến được sử dụng ở Việt Nam là BTNC19 và BTNC12,5. BTNC19 được sử dụng để khảo sát ảnh hưởng của hai yếu tố ngoài là nhiệt độ và tốc độ gia tải. BTNC12,5 được sử dụng để khảo sát đặc tính kháng cắt của hỗn hợp với ba loại chất kết dính khác nhau. Ảnh hưởng của cả nhiệt độ và tốc độ nén đến lực dính đơn vị rất rõ rệt với lực dính đơn vị giảm khi nhiệt độ tăng và lực dính đơn vị giảm với tốc độ nén nhỏ. Trong khi đó, góc nội ma sát của hỗn hợp lại không bị ảnh hưởng đáng kể bởi các yếu tố này (ở nhiệt độ 60°C và tốc độ gia tải 7,5 mm/phút). Bitum cải tiến PMBIII rất có hiệu quả trong việc cải thiện đặc tính kháng cắt của hỗn hợp với cả hai tham số lực dính và góc nội ma sát đều được cải thiện so với hai loại nhựa đường thông thường là 60/70 và 40/50. Với cùng một loại bitum 60/70, hỗn hợp BTNC12,5 có đặc tính kháng cắt cao hơn BTNC19.

TỪ KHÓA. Hỗn hợp bê tông asphalt, sức kháng cắt, thí nghiệm nén ba trục, lực dính đơn vị, góc nội ma sát.

ABSTRACT: Shear resistance with two representative parameters of cohesion and internal friction angle (c, ϕ) of hot mix asphalt depends on many factors: internal factors of material components, such as bitumen type, bitumen content, aggregates size distribution, aggregate quality, degree of compaction and external factors as testing temperature, loading rate. The paper shows results of experimental research on shearing property using triaxial compression test on the two of the most

popular asphalt mixes, BTNC19 and BTNC12.5. BTNC19 is used for assessment of temperature and loading rate. BTNC12.5 is used for differences of shearing resistance of the mixtures with three binder types. It is evidently significant influence of testing temperature and loading rate on the cohesion, while the impact on internal friction angle is unclear (at a temperature of 60°C and load rate of 7.5 mm/min). The cohesion is increased with temperature increase and loading rate decrease. Using modified bitumen as PMBIII brings highly effective to shearing resistance improvement for both c and ϕ in comparison with using conventional bitumen of 60/70 and 40/50. BTNC12.5 has shearing resistance higher than BTNC19 when both use the same conventional binder of 60/70.

KEYWORDS: Hot Mix Asphalt, shear resistance, triaxial compression test, cohesion, internal friction angle.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bê tông asphalt với sự có mặt của chất kết dính bitum có đặc tính đàn - nhớt, với các ứng xử của vật liệu phụ thuộc vào điều kiện nhiệt độ và tốc độ gia tải. Đặc tính kháng cắt là một trong các tính chất cơ bản thể hiện ứng xử của đặc tính đàn - nhớt của vật liệu.

Có nhiều mô hình thí nghiệm khác nhau để xác định cường độ kháng cắt và các tham số đặc trưng cho sức kháng cắt (c, ϕ) của bê tông asphalt như: mô hình cắt phẳng, mô hình nén một trục kết hợp với ép chèn, mô hình cắt xoay, mô hình nén 3 trục. Thí nghiệm nén 3 trục là mô hình thí nghiệm ưu việt, mô tả gần nhất trạng thái ứng suất của bê tông asphalt ngoài hiện trường và là mô hình được nhiều nghiên cứu lựa chọn trong nghiên cứu cơ bản về đặc tính kháng cắt của vật liệu. Các nghiên cứu khi lựa chọn các phương pháp thí nghiệm khác thì đều lựa chọn thí nghiệm nén 3 trục làm đối chứng. Ở Việt Nam, đến thời điểm hiện nay có rất ít nghiên cứu trực tiếp về cường độ kháng cắt hoặc tham số đặc trưng sức kháng cắt c, ϕ cũng như khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến chúng của bê tông asphalt. Trong nghiên cứu [1], nhóm tác giả đã tiến hành cải tiến thiết

bí thí nghiệm nén 3 trục cỡ lớn của vật liệu đất để đáp ứng yêu cầu tiêu chuẩn [2] xác định các tham số c, ϕ của bê tông asphalt ở điều kiện nhiệt độ và tốc độ gia tải mong muốn. Nghiên cứu này thực hiện các thí nghiệm nén ba trục với hai loại bê tông nhựa chất sử dụng phổ biến ở Việt Nam để phân tích ảnh hưởng của một số nội yếu tố (loại hỗn hợp, loại chất dính kết bitum) và một số ngoại yếu tố cơ bản (nhiệt độ, tốc độ gia tải) đến đặc tính kháng cắt của hỗn hợp bê tông asphalt.

2. THIẾT BỊ VÀ TRÌNH TỰ THÍ NGHIỆM XÁC ĐỊNH c, ϕ THEO MÔ HÌNH NÉN 3 TRỤC

Thiết bị thí nghiệm nén 3 trục sử dụng trong nghiên cứu được cải tiến từ thiết bị thí nghiệm 3 trục loại lớn cho vật liệu đất. Thông số kỹ thuật của thiết bị và trình tự thí nghiệm xác định c, ϕ của mẫu bê tông asphalt được trình bày trong nghiên cứu [1] và tiêu chuẩn [2].

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

3.1. Phạm vi nghiên cứu, điều kiện thí nghiệm

Nghiên cứu dừng lại ở việc đánh giá ảnh hưởng riêng rẽ của một số yếu tố cơ bản, là loại hỗn hợp theo đường kính hạt cốt liệu lớn nhất danh định và loại chất kết dính bitum sử dụng và các ngoại yếu tố cơ bản là nhiệt độ và tốc độ gia tải đến các tham số đặc tính kháng cắt c, ϕ của hỗn hợp. Bảng 3.1 thể hiện nội dung nghiên cứu và điều kiện thí nghiệm trong khuôn khổ nghiên cứu.

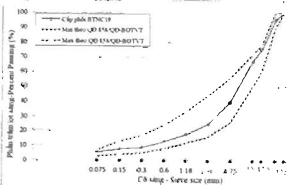
Bảng 3.1. Nội dung nghiên cứu thí nghiệm và các yếu tố ảnh hưởng

Yếu tố ảnh hưởng	Đối tượng	Điều kiện thí nghiệm
Nhiệt độ	BTNC19	30°C, 45°C, 60°C ở tốc độ 7,5 mm/phút
Tốc độ gia tải	BTNC19	Tốc độ 0,75, 2,5, 7,5 mm/phút ở nhiệt độ 60°C
Loại chất kết dính	BTNC12,5 nhựa 60/70, 40/50 và PMB III	Nhiệt độ 60°C, tốc độ 7,5 mm/phút

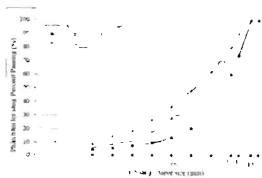
3.2. Mẫu thí nghiệm

Mẫu thí nghiệm có đường kính 100mm và chiều cao 150mm theo [2]. Mẫu được chế bị bằng đầm xoay theo ASTM D6925 - 15.

Hình 3.1a, 3.1b thể hiện thành phần cấp phối của các hỗn hợp bê tông asphalt nghiên cứu. Bảng 3.2 tổng hợp các chỉ tiêu cơ lý của mẫu Marshall các loại hỗn hợp. Các cấp phối và chỉ tiêu cơ lý của mẫu Marshall của các hỗn hợp được thiết kế đảm bảo yêu cầu theo TCVN 8819: 2011 và Quyết định số 858/QĐ-BGTVT.



Hình 3.1a: Thành phần cấp phối BTNC19



Hình 3.1b: Thành phần cấp phối BTNC12,5

Bảng 3.2. Chỉ tiêu cơ lý mẫu Marshall các hỗn hợp bê tông asphalt thí nghiệm

TT	Loại hỗn hợp	Hàm lượng nhựa (%)	Tỷ trọng tương (G _m)	Tỷ trọng lớn nhất (G _m ^{max})	Độ rỗng dư	Độ ổn định (kN)	Độ dẻo còn lại (%)
3	BTNC12,5 nhựa 60/70	4,5	2,446	2,551	4,10	11,27	4,03
4	BTNC12,5 nhựa 40/50	4,5	2,444	2,549	4,10	14,31	4,73
5	BTNC12,5 nhựa PMB III	4,5	2,444	2,552	4,21	15,71	5,1
6	BTNC19 nhựa 60/70	4,3	2,503	2,615	4,26	11,30	3,44

3.3. Kết quả thí nghiệm xác định tham số kháng cắt c, ϕ

Kết quả thí nghiệm xác định các thông số kháng cắt c, ϕ của các loại hỗn hợp bê tông asphalt thể hiện ở Bảng 3.3, Bảng 3.4 và Bảng 3.5.

Đánh giá độ chụm của các kết quả thí nghiệm: Theo ASTM C670-2015, độ lệch tối đa giá trị max và min của các kết quả thí nghiệm với tối 3 mẫu là 3,3Cv, tối 5 mẫu là 3,9Cv (Cv = 6%: hệ số biến sai). Kết quả phân tích cho thấy, độ chụm của các kết quả thí nghiệm đạt yêu cầu.

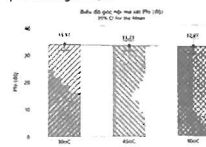
* Khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ đến các thông số kháng cắt:

Bảng 3.3 là tổng hợp kết quả thí nghiệm c, ϕ ở các nhiệt độ của hỗn hợp BTNC19 nhựa 60/70 với cùng tốc độ gia tải 7,5 mm/phút.

Bảng 3.3. Kết quả thí nghiệm c, ϕ ở các nhiệt độ của hỗn hợp BTNC19 nhựa 60/70

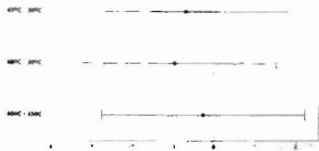
Nhiệt độ thí nghiệm	30°C		45°C		60°C	
	ϕ (độ)	c (kPa)	ϕ (độ)	c (kPa)	ϕ (độ)	c (kPa)
Trung bình 3 mẫu	33,93	977,3	33,23	371,0	32,97	291,7
Độ lệch chuẩn	0,961	54,5	0,802	20,4	1,159	18,1

Sử dụng phần mềm Minitab 19 phân tích ANOVA và phân tích hàm định phát hiện sự khác theo chuẩn Tukey. Kết quả phân tích ANOVA với kết quả thí nghiệm ϕ cho hệ số P-value > 0,05; biểu đồ Hình 3.3 cho thấy đường 0 cắt qua tất cả các khoảng tin cậy và biểu đồ Hình 3.2 cho thấy ảnh hưởng của yếu tố nhiệt độ đến góc nội ma sát ϕ là không rõ rệt.



Hình 3.2: Biểu đồ góc nội ma sát ϕ (CI 95%) BTNC19 nhựa 60/70 ở nhiệt độ 30°C, 45°C, 60°C tốc độ 7,5 mm/phút

So sánh Tukey Simultaneous với khoảng tin cậy 95%
Differences of Means for Phi (độ)

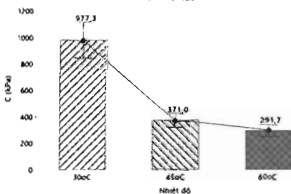


Biểu đồ phân tích ANOVA với khoảng tin cậy 95%

Hình 3.3: Trung bình hiệu kết quả c (CI 95%) của hỗn hợp AC19_CP1 ở nhiệt độ 30°C, 45°C, 60°C tốc độ 7,5 mm/phút

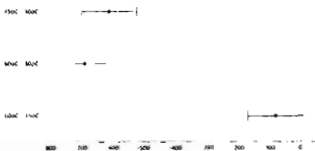
Kết quả phân tích ANOVA với các kết quả của lực dính đơn vị c có ý nghĩa thống kê cao, hệ số p-value < 0,05 và $R^2 = 98,84\%$.

Biểu đồ lực dính đơn vị c (kPa)
95% CI for the Mean



Hình 3.4: Biểu đồ lực dính đơn vị c (CI 95%) BTNC19 nhựa 60/70 ở nhiệt độ 30°C, 45°C, 60°C tốc độ 7,5 mm/phút

So sánh Tukey Simultaneous với khoảng tin cậy 95%
Differences of Means for C (kPa)



Biểu đồ phân tích ANOVA với khoảng tin cậy 95%

Hình 3.5: Trung bình hiệu kết quả c (CI 95%) của hỗn hợp AC19_CP1 ở nhiệt độ 30°C, 45°C, 60°C tốc độ 7,5 mm/phút

Hình 3.4 và Hình 3.5 cho thấy có sự khác biệt đáng kể về lực dính đơn vị c của các mẫu thí nghiệm ở các giá trị nhiệt độ khác nhau. Khi nhiệt độ tăng, lực dính đơn vị của hỗn hợp giảm đáng kể (giảm 70,15% khi nhiệt độ tăng từ 30°C lên 60°C). Khi nhiệt độ tăng từ mức trung bình đến trung bình cao (từ 30°C lên 45°C), lực dính đơn

vị giảm mạnh (giảm 62,0% từ 977,3 xuống 371,0 kPa), mức giảm khi nhiệt độ tăng từ mức trung bình cao đến cao (từ 30°C lên 45°C) ít hơn (21,37% từ 371,0 xuống 291,7 kPa).

* Khảo sát ảnh hưởng của tốc độ gia tải đến tham số không cốt:

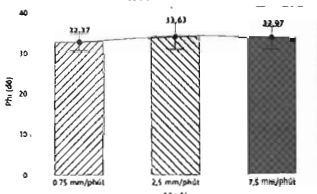
Bảng 3.4 là tổng hợp kết quả thí nghiệm c ở các tốc độ gia tải khác nhau của hỗn hợp BTNC19 nhựa 60/70 với cùng nhiệt độ 60°C.

Bảng 3.4. Kết quả thí nghiệm c, ở các tốc độ gia tải của hỗn hợp BTNC19 nhựa 60/70

Tốc độ gia tải	0,75 mm/phút	2,5 mm/phút	7,5 mm/phút
φ (độ)	32,37	33,63	32,97
c (kPa)	147,33	191,33	291,7
Độ lệch chuẩn	0,833	15,7	1,301
		16,44	1,159

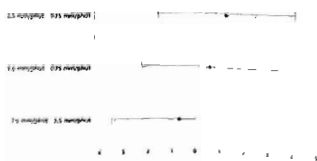
Kết quả phân tích ANOVA với kết quả thí nghiệm φ cho hệ số P-value > 0,05. Điều đó Hình 3.7 cho thấy đường 0 cốt qua tất cả các khoảng tin cậy và biểu đồ Hình 3.6 cho thấy không có ảnh hưởng rõ rệt của yếu tố tốc độ gia tải đến góc nổi ma sắt φ.

Biểu đồ góc nổi ma sắt Phi (độ)
95% CI for the Mean



Hình 3.6: Biểu đồ góc nổi ma sắt φ (CI 95%) BTNC19 nhựa 60/70 ở tốc độ 0,75, 2,5 và 7,5 mm/phút nhiệt độ 60°C

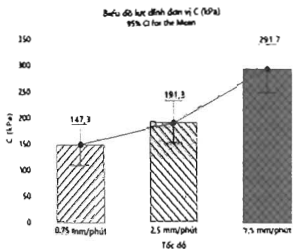
So sánh Tukey Simultaneous với khoảng tin cậy 95%
Differences of Means for Phi (độ)



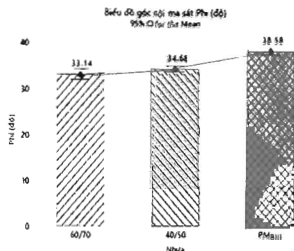
Biểu đồ phân tích ANOVA với khoảng tin cậy 95%

Hình 3.7: Trung bình hiệu kết quả c (CI 95%) BTNC19 nhựa 60/70 ở tốc độ 0,75, 2,5 và 7,5 mm/phút nhiệt độ 60°C

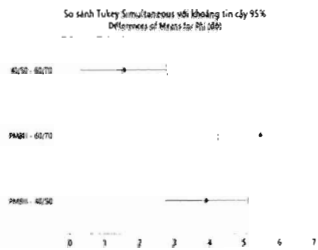
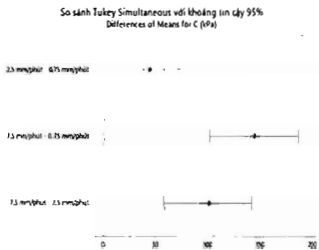
Kết quả phân tích ANOVA với các kết quả của lực dính đơn vị c có ý nghĩa thống kê cao, hệ số p-value < 0,05 và $R^2 = 93,47\%$. Hình 3.8 thể hiện kết quả của c, Hình 3.9 là sự khác biệt giữa trung bình các kết quả ở các tốc độ gia tải.



Hình 3.8: Biểu đồ góc nội ma sát c (CI 95%) BTNC19 nhựa 60/70 ở tốc độ 0.75, 2.5 và 7.5 mm/phút nhiệt độ 60°C



Hình 3.10: Biểu đồ góc nội ma sát phi (CI 95%) BTNC12.5 sử dụng các loại nhựa khác nhau ở 60°C, tốc độ 7.5 mm/phút



Hệ thống tin cậy không chắc chắn ở ngoài là cơ sở thực nghiệm đồng lệ

Hệ thống tin cậy không chắc chắn ở ngoài là cơ sở thực nghiệm đồng lệ

Hình 3.9: Trung bình hiệu kết quả c (CI 95%) BTNC19 nhựa 60/70 ở tốc độ 0.75, 2.5 và 7.5 mm/phút nhiệt độ 60°C

Hình 3.11: Trung bình hiệu kết quả phi (CI 95%) BTNC12.5 sử dụng các loại nhựa khác nhau ở 60°C, tốc độ 7.5 mm/phút

Hình 3.8 và Hình 3.9 cho thấy có sự khác biệt đáng kể về lực dính đơn vị c của các mẫu hỗn hợp thí nghiệm ở các giá trị tốc độ gia tải khác nhau. Khi tốc độ gia tải tăng, lực dính đơn vị của mẫu hỗn hợp bê tông asphalt tăng.

Kết quả phân tích ANOVA với các kết quả của lực dính đơn vị c có ý nghĩa thống kê, hệ số p-value < 0,05 và $R^2_{adj} = 84,98\%$.

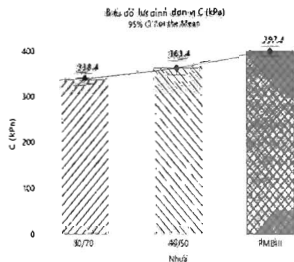
* Khảo sát ảnh hưởng của loại chất kết dính đến tham số kháng cắt:

Bảng 3.5 là tổng hợp kết quả thí nghiệm c, f của hỗn hợp BTNC12.5 sử dụng các loại chất kết dính khác nhau với cùng nhiệt độ 60°C và tốc độ gia tải 7,5 mm/phút.

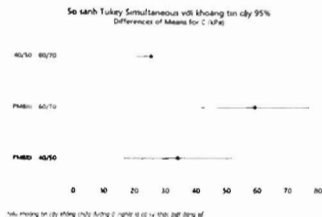
Bảng 3.5. Kết quả thí nghiệm c, phi của hỗn hợp BTNC12.5 sử dụng chất kết dính khác nhau

Loại chất kết dính	Nhựa 60/70	Nhựa 40/50	Nhựa PMB III
Trung bình 5 mẫu	33,14	34,64	38,58
Độ lệch chuẩn	0,934	1,016	0,522

Kết quả phân tích ANOVA với kết quả thí nghiệm phi cho thấy đảm bảo ý nghĩa thống kê ở mức ý nghĩa 95% với hệ số p < 0,05 và hệ số xác định điều chỉnh $R^2_{adj} = 91,41\%$. Hình 3.10 thể hiện kết quả của c, Hình 3.11 là sự khác biệt giữa trung bình các kết quả với các loại chất kết dính khác nhau.



Hình 3.12: Biểu đồ lực dính đơn vị c (CI 95%) BTNC12.5 sử dụng các loại bitum khác nhau ở 60°C, tốc độ 7.5 mm/phút



Hình 3.13: Lực dính đơn vị c (195%) BTN C1,5 sử dụng các loại bitum khác nhau ở 60°C, tốc độ 7.5 mm/phút

Hình 3.10, Hình 3.11 và Hình 3.12, Hình 3.13 cho thấy có sự khác biệt đáng kể về cả góc nôi ma sát và lực dính đơn vị c của các mẫu bê tông asphalt khi sử dụng các loại chất kết dính bitum khác nhau. Hỗn hợp sử dụng bitum cải tiến PMBII cho kết quả góc nôi ma sát và lực dính đơn vị lớn nhất tiếp đến là BTN sử dụng nhựa 40/50, BTN sử dụng nhựa thường 60/70 cho kết quả thấp nhất.

4. KẾT LUẬN

Một số kết luận từ các kết quả nghiên cứu thực nghiệm ban đầu như sau:

- Thí nghiệm nén ba trục để xác định các đặc trưng sức kháng cắt của hỗn hợp asphalt cho các kết quả thí nghiệm có độ tin cậy cao. Khoảng giá trị của các tham số cường độ kháng cắt cũng như ảnh hưởng của các yếu tố đến chúng khá thống nhất với một số kết quả thí nghiệm lực dính đơn vị và góc ma sát trong của hỗn hợp bê tông asphalt thông thường trong một số nghiên cứu của nước ngoài cũng sử dụng thí nghiệm nén ba trục [3,4,5,6,7].

- Nhiệt độ thí nghiệm và tốc độ gia tải ảnh hưởng lớn đến sức kháng cắt của bê tông nhựa, khi nhiệt độ tăng và/hoặc tốc độ gia tải giảm sức kháng cắt của hỗn hợp bê tông asphalt giảm, thể hiện qua sự giảm đáng kể của giá trị lực dính đơn vị. Trong khi đó, góc nôi ma sát không có thay đổi gì rõ rệt khi thay đổi nhiệt độ và tốc độ gia tải trong thí nghiệm.

- Loại chất kết dính bitum có ảnh hưởng đến sức kháng cắt của hỗn hợp bê tông asphalt. Bitum cải thiện bằng phụ gia polymer, PMBII cải thiện đáng kể cường độ kháng cắt với cả hai tham số c và f đều tăng. Bitum thông thường có độ kim lún thấp hơn (40/50) cũng có cường độ kháng cắt cao hơn với cả hai tham số c và f đều lớn hơn. Vì vậy, nên cân nhắc về lợi ích kỹ thuật để sử dụng các loại chất kết dính bitum polymer hoặc có độ kim lún thấp hơn ở các tuyến đường hay các đoạn tuyến có khả năng chịu lực cắt lớn, như đường có tải trọng xe nặng, tốc độ xe chạy chậm, đoạn qua trạm thu phí, qua nút giao cắt, đoạn có độ dốc dọc lớn.

Tài liệu tham khảo

[1]. Trần Thị Kim Đăng, Ngô Ngọc Quý (2016), Xác

định sức kháng cắt của bê tông nhựa bằng thí nghiệm nén 3 trục, Tạp chí GTVT, tháng 12, tr.4.

[2]. T 0718-2011 (2011), 沥青混合料抗剪强度试验(三轴压缩法), editor.

[3]. Li Qiang, HOU Rui, MA Xiang, LI Guofen (2016), “沥青混合料抗剪性能试验方法及其影响因素研究 (Testing Methods and Factors for Shear Properties of Asphalt Mixtures)”, 公路, 41(4), pp.50-54

[4]. Qiang Li, Hyun Jong Lee and Eui Yoon Hwang (2010), Characterization of permanent deformation of asphalt mixtures based on shear properties, Transportation Research Record, 2181(1), pp.1-10.

[5]. Qiang Li, Hyun Jong Lee and Sang Yum Lee (2011), Permanent deformation model based on shear properties of asphalt mixtures: Development and calibration, Transportation Research Record, 2210(1), pp.81-89.

[6]. K Pellinen Terhi, Jiansheng Song and Shangzhi Xiao (2004), Characterization of hot mix asphalt with varying air voids content using triaxial shear strength test, 8th conference on asphalt pavements for southern Africa, Paper.

[7]. J Yang, H Zhu and Z Chen (2009), Evaluation on the shear performance of asphalt mixture through triaxial shear test, Advanced Testing and Characterization of Bituminous Materials, Two Volume Set, CRC Press, pp.591-600.

Ngày nhận bài: 20/4/2020

Ngày chấp nhận đăng: 11/5/2020

Người phản biện: TS. Lương Xuân Chiêu
TS. Trần Danh Hợp