

PHÂN TÍCH ỨNG SUẤT CẮT TRƯỢT GIỮA CÁC LỚP TRONG KẾT CẤU ÁO ĐƯỜNG SỬ DỤNG BÊ TÔNG NHỰA CỨNG

Nguyễn Huỳnh Tấn Tài^{a,*}, Trần Vũ Tự^a

^a*Khoa Xây dựng, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, số 01 đường Võ Văn Ngân, quận Thủ Đức, thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam*

Nhận ngày 09/08/2019, Sửa xong 18/09/2019, Chấp nhận đăng 20/09/2019

Tóm tắt

Bê tông nhựa cứng có module đàn hồi cao hơn bê tông nhựa thông thường từ 2 đến 3 lần. Do đó, nó có khả năng kháng biến dạng tốt, bao gồm cả biến dạng không hồi phục. Việc áp dụng bê tông nhựa cứng đã được áp dụng rộng rãi ở các nước châu Âu, trong khi ở Việt Nam còn gặp nhiều e ngại về độ bền mỏi cũng như trượt giữa các lớp bê tông nhựa. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả phân tích ứng xử của kết cấu mặt đường trong đó sử dụng các lớp bê tông nhựa có module độ cứng khác biệt nhau nhằm đánh giá khả năng trượt giữa các lớp bê tông nhựa. Kết quả phân tích cho thấy việc ứng dụng bê tông nhựa cứng dù ở lớp mặt trên hay (và) mặt dưới đều không gây ra giá trị ứng suất cắt quá lớn tại vị trí mặt liên kết, và điều kiện dính bám giữa các lớp được thỏa mãn.

Từ khoá: ứng suất cắt trượt; kết cấu áo đường; bê tông nhựa cứng; module độ cứng.

ANALYSING THE INTERLAYER SHEAR STRESS OF ASPHALT PAVEMENT COMPOSED OF CONVENTIONAL AND HIGH MODULUS ASPHALT

Abstract

High modulus asphalt concrete (HMAC) is 2-3 times stiffer than conventional asphalt concrete (AC) in terms of stiffness modulus. As a result, HMAC has high resistance to deformation including the irreversible one. Although HMAC has been widely used in Europe, there are still concerns in Vietnam about the fatigue life of pavement structures and resistance to shear debonding between layers of conventional AC and HMAC. In this study, the aim is to analyse the interlayer shear stress in asphalt structures comprised of several layers of asphalt having large difference in stiffness to evaluate the possibility of shear debonding between layers of asphalt. The results show that the use of HMAC in either the wearing or (and) the binder course does not give rise to very high shear stress at interlayer surfaces, and the interlayer bonding is well assured.

Keywords: shear stress; pavement structure; high modulus asphalt concrete; stiffness modulus.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(5V\)-10](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(5V)-10) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Hiện nay, kết cấu áo đường mềm đang được sử dụng rất phổ biến ở Việt Nam, trong đó hỗn hợp bê tông nhựa chặt được sử dụng để làm tầng mặt của kết cấu áo đường. Bên cạnh những ưu điểm của mặt đường bê tông nhựa như êm thuận trong lưu thông, dễ dàng thi công và sửa chữa, mặt đường bê tông nhựa rất dễ tích lũy biến dạng không hồi phục để hình thành vết hằn bánh xe, gây mất an toàn giao thông [1].

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: taint@hcmute.edu.vn (Tài, N. H. T.)

Nhiều nhóm giải pháp đã được đề xuất nhằm giải quyết bài toán hần lún vệt bánh xe bao gồm các giải pháp về qui trình thi công như kiểm soát chặt chẽ nhiệt độ bê tông nhựa, nâng cao chất lượng lu lèn hoặc cải tiến đặc tính làm việc của vật liệu như kiểm soát chất lượng cốt liệu, biến tính nhựa đường, sử dụng bột khoáng có nguồn gốc đá vôi để tăng tính dính bám cũng như thay đổi thành phần cấp phối theo hướng tăng hàm lượng đá dăm nhằm tăng sức kháng cắt của bê tông nhựa [2–6]. Bê tông nhựa cứng, hay bê tông nhựa module cao, là loại bê tông nhựa có module đàn hồi cao hơn bê tông nhựa thông thường từ 2 đến 3 lần, được chế tạo bằng cách sử dụng các loại nhựa đường (bitum) cứng hoặc sử dụng nhựa đường thông thường nhưng bổ sung thêm các phụ gia gốc polymer để làm tăng độ cứng. Do đó, nó có khả năng kháng biến dạng tốt, bao gồm cả biến dạng không hồi phục. Mặc dù bê tông nhựa cứng đã được áp dụng rộng rãi ở các nước châu Âu, đến nay vẫn chưa có nhiều nghiên cứu về bê tông nhựa cứng trong điều kiện Việt Nam [7]. Do đó, việc ứng dụng bê tông nhựa cứng ở Việt Nam còn gặp nhiều trở ngại do những e ngại về độ bền mỏi cũng như trượt giữa các lớp bê tông nhựa. Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu áo đường mềm hiện hành 22TCN 211-06 [8] chưa có qui định cụ thể về việc kiểm toán nứt mỏi của các lớp bê tông nhựa cũng như xét đến sự trượt giữa các lớp kết cấu trong phân tích kết cấu. Do đó, sự dính bám giữa các lớp kết cấu được xem như là hoàn hảo, không có hiện tượng trượt trong suốt quá trình làm việc kết cấu áo đường. Để đảm bảo giả thiết này là đúng, ứng suất cắt trượt giữa các lớp bê tông nhựa phải nhỏ hơn cường độ dính bám giữa hai lớp trong mọi điều kiện. Nếu có hiện tượng trượt giữa các lớp xảy ra, độ cứng kháng uốn của toàn bộ kết cấu sẽ suy giảm. Kết quả là ứng suất kéo ở đáy lớp gia tăng đồng thời xuất hiện trong tất cả các lớp bê tông nhựa kể cả lớp mặt trên. Điều này dẫn đến độ bền nứt mỏi của kết cấu áo đường suy giảm đáng kể. Ở nhiệt độ cao (~60°C), hư hỏng chủ yếu không phải do hiện tượng trượt giữa các lớp và tách lớp mà là do hiện tượng tích lũy biến dạng dư (hần lún vệt bánh xe). Do đó, trong một nghiên cứu gần đây của Lân [9], một giá trị ngưỡng yêu cầu cho cường độ dính bám giữa hai lớp bê tông nhựa ở 20°C đã được đề xuất trên cơ sở phân tích tương quan giữa cường độ dính bám ở 20°C và ứng xử thực tế của mặt đường.

Để nghiên cứu ứng xử của kết cấu áo đường sử dụng bê tông nhựa cứng trong các điều kiện nhiệt độ khác nhau, một mô hình tương tác - dính bám giữa 2 lớp vật liệu được đề xuất và tích hợp vào một chương trình phân tích kết cấu bằng phương pháp phần tử hữu hạn tự phát triển. Căn cứ vào các giá trị ứng suất phân tích được, điều kiện dính bám giữa các lớp khi có sự chênh lệch khá lớn về độ cứng giữa chúng có thể được kiểm tra. Kết quả nghiên cứu sẽ góp phần vào việc đánh giá khả năng ứng dụng của bê tông nhựa cứng trong điều kiện Việt Nam.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Mô hình tương tác giữa các lớp

Xét hai vật thể trong không gian Euclide 3 chiều. Vị trí của mọi điểm của hai vật thể tại thời điểm t bất kỳ được biểu thị bằng véc-tơ $\mathbf{X}^{(i)}$. Chúng tôi sẽ phát biểu bài toán cơ học sử dụng phép mô tả Lagrange. Trạng thái ban đầu của hai vật thể được miêu tả bằng các vùng $\Omega_0^{(i)}$ và $\Omega^{(i)}$ trong không gian \mathbb{R}^3 . Giả sử trong khoảng thời gian khảo sát $[0, T]$, hai vật thể có di chuyển để có thể tiếp xúc với nhau. Quá trình di chuyển của hai vật thể được biểu thị bằng ánh xạ $\phi^{(1)}$ and $\phi^{(2)}$

$$\forall i \in \{1, 2\}, \forall t \in [0, T], \phi^{(i)}(\cdot, t) : \Omega_0^{(i)} \rightarrow \Omega^{(i)} \quad (1)$$

$$\mathbf{X}^{(i)} \mapsto \mathbf{x}^{(i)} = \phi^{(i)}(\mathbf{X}^{(i)}, t)$$

trong đó $\mathbf{X}^{(i)}$ và $\mathbf{x}^{(i)}$ là các vị trí ban đầu và hiện tại của vật thể thứ i . Trường chuyển vị của vật thể thứ i được định nghĩa bởi $\mathbf{U}^{(i)} = \mathbf{x}^{(i)} - \mathbf{X}^{(i)}$. Phương trình cân bằng của vật thể thứ i tại một điểm bất kỳ

được biểu thị bằng phương trình (2)

$$\mathbf{div}(\mathbf{F}^{(i)} \cdot \boldsymbol{\Sigma}^{(i)}) + \rho_0^{(i)} \mathbf{f}^{(i)} = \mathbf{0} \quad (2)$$

trong đó $\boldsymbol{\Sigma}^{(i)}$ là ten-xơ ứng suất Green-Lagrange, $\mathbf{F}^{(i)}$ là ten-xơ gradient biến dạng, $\rho_0^{(i)}$ là khối lượng thể tích của vật thể thứ i , $\mathbf{f}^{(i)}$ là véc-tơ lực khối.

Biên ở trạng thái ban đầu của vật thể thứ i được phân ra thành 3 phần không chồng lấn là liên kề từng phần với nhau đặt tên là $S_{oU}^{(i)}$, $S_{oT}^{(i)}$ và $S_{oc}^{(i)}$, trong đó $S_{oU}^{(i)}$ và $S_{oT}^{(i)}$ là các phần biên mà chuyển vị và áp lực tác dụng vào vật thể và $S_{oc}^{(i)}$ là phần biên mà tương tác giữa hai vật thể có thể xảy ra. Điều kiện biên trên $S_{oU}^{(i)}$ và $S_{oT}^{(i)}$ của mỗi vật thể i có thể được tóm tắt như sau

$$\mathbf{U}^{(i)} = \bar{\mathbf{U}}^{(i)} \text{ trong } S_{oU}^{(i)}, \boldsymbol{\Pi}^{(i)} \mathbf{N}^{(i)} = \bar{\mathbf{T}}^{(i)} \text{ trong } S_{oT}^{(i)} \quad (3)$$

trong đó $\bar{\mathbf{U}}^{(i)}$, $\bar{\mathbf{T}}^{(i)}$ là chuyển vị cưỡng bức và áp lực tác dụng, $\mathbf{N}^{(i)}$ là véc-tơ pháp tuyến ngoài của mặt $S_o^{(i)}$.

Sự tương tác giữa các vật thể được mô hình hóa bằng mô hình tiếp xúc có tính đến lực ma sát Coulomb và lực dính theo hai phương pháp và tiếp tuyến. Qui luật tương tác được mô hình hóa như sau: Gọi $\mathbf{T}(\mathbf{X}, t) = \boldsymbol{\Pi}^{(1)} \mathbf{N}$ là véc-tơ ứng suất Piola-Kirchhoff tại một điểm $\mathbf{X} \in S_{oc}^{(1)}$ và được phân tích thành hai thành phần pháp tuyến và tiếp tuyến:

$$\mathbf{T}(\mathbf{X}, t) = T_N(\mathbf{X}, t) \mathbf{v} - \mathbf{T}_T(\mathbf{X}, t) \quad (4)$$

trong đó T_N là ứng suất tiếp xúc theo phương pháp tuyến và \mathbf{T}_T là ứng suất tiếp xúc theo phương tiếp tuyến tại điểm $\mathbf{X} \in S_{oc}^{(1)}$ và được phân tích thành hai thành phần *tiếp xúc* và *lực dính* như phương trình (5)

$$T_N = T_N^c + T_N^a; \quad \mathbf{T}_T = \mathbf{T}_T^c + \mathbf{T}_T^a \quad (5)$$

Điều kiện để hai bề mặt không xâm nhập vào nhau hay còn gọi là *điều kiện tiếp xúc pháp tuyến* được viết trong phương trình (6) [10, 11]

$$\forall \mathbf{X} \in S_{oc}^{(1)}, g(\mathbf{X}, t) \leq 0 \text{ và } \begin{cases} \text{nếu } g(\mathbf{X}, t) < 0, T_N^c(\mathbf{X}, t) = 0 \\ \text{nếu } g(\mathbf{X}, t) = 0, T_N^c(\mathbf{X}, t) \geq 0 \end{cases} \quad (6)$$

Lực dính theo phương pháp tuyến được mô hình hóa bằng phương trình

$$\forall \mathbf{X} \in S_{oc}^{(1)}, -\delta \leq g(\mathbf{X}, t) < 0, \dot{g}(\mathbf{X}, t) < 0 \text{ thì } T_N^a(\mathbf{X}, t) = -b_N \quad (7)$$

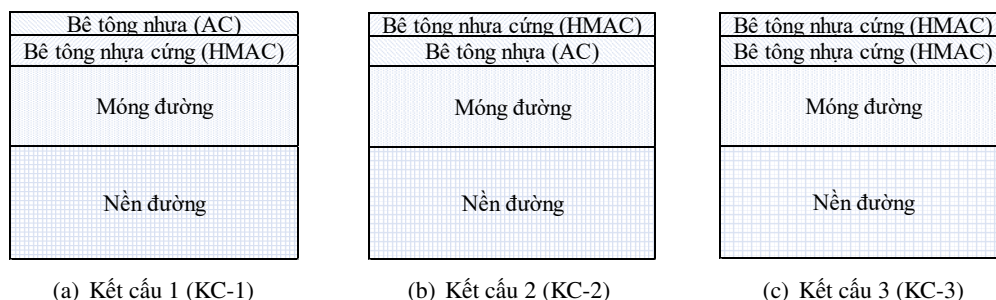
trong đó b_N là cường độ dính bám giữa 2 bề mặt và δ là khoảng hở giới hạn của hai bề mặt khi lực dính còn hữu hiệu (chưa bị phá vỡ).

Điều kiện tương tác theo phương tiếp tuyến được mô hình hóa bằng qui luật ma sát của *Morh-Coulomb*, được đặc trưng bởi *hệ số ma sát* μ và lực dính đơn vị b_T giữa hai bề mặt đang tương tác

$$\begin{aligned} \forall \mathbf{X} \in S_{oc}^{(1)}, & \text{(a) } g(\mathbf{X}, t) < \delta \Rightarrow \mathbf{T}_T(\mathbf{X}, t) = \mathbf{0} \\ & \text{(b) } \delta \leq g(\mathbf{X}, t) < 0 \Rightarrow \|\mathbf{T}_T(\mathbf{X}, t)\| = b_T \\ & \text{(c) } g(\mathbf{X}, t) = 0 \Rightarrow \|\mathbf{T}_T(\mathbf{X}, t)\| \leq \mu T_N^c(\mathbf{X}, t) + b_T \\ \text{trong đó } & \begin{cases} \text{nếu } \|\mathbf{T}_T\| < \mu T_N^c + b_T, \mathbf{V}_T = \mathbf{0} \text{ (dính bám)} \\ \text{nếu } \|\mathbf{T}_T\| = \mu T_N^c + b_T, \mathbf{V}_T \times \mathbf{T}_T = \mathbf{0}, \mathbf{V}_T \cdot \mathbf{T}_T \geq 0 \text{ (trượt)} \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

2.2. Cấu tạo và mô hình hóa kết cấu áo đường

Kết cấu áo đường mềm sử dụng bê tông nhựa thông thường ở nước ta thường gồm 2 phần: móng đường và mặt đường. Móng đường có thể được làm bằng cấp phối đá dăm, đá dăm Macadam, cấp phối thiên nhiên, ... và mặt đường thường được cấu tạo 2 hoặc 3 lớp bao gồm: đá gia cố nhựa hoặc gia cố xi măng, bê tông nhựa hạt trung và lớp bê tông nhựa hạt mịn. Trong nghiên cứu này, chúng tôi phân tích ứng suất cắt trượt xuất hiện trong 4 loại kết cấu áo đường điển hình trong đó KC-1, KC-2 và KC-3 (Hình 1) là các kết cấu có sử dụng vật liệu bê tông nhựa cứng, kết cấu tham chiếu (KC-Ref) là kết cấu chỉ sử dụng 2 lớp bê tông nhựa thông thường. Trong tất cả các loại kết cấu, lớp mặt trên có chiều dày là 5 cm, lớp mặt dưới có chiều dày là 7 cm, lớp móng đường dày 40 cm.



Hình 1. Các phương án kết cấu áo đường sử dụng bê tông nhựa cứng

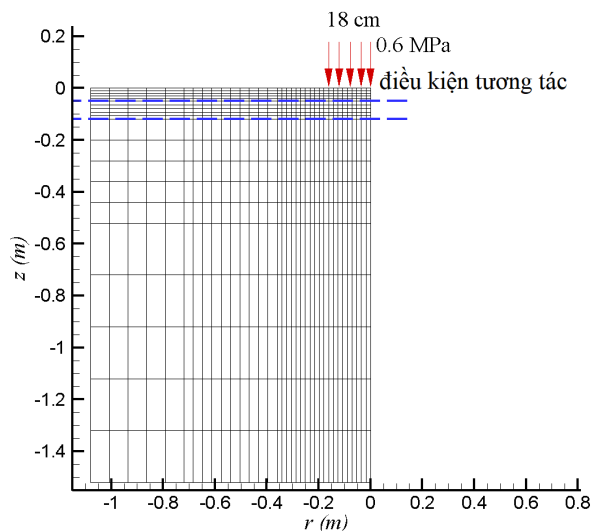
Ứng xử của các lớp vật liệu nền, móng và mặt đường được mô hình hóa bằng quy luật ứng xử đàn hồi của Saint-Venant Kirchhoff

$$\Sigma = 2\mu\mathbf{E} + \lambda tr(\mathbf{E})\mathbf{I} \quad (9)$$

trong đó \mathbf{I} là ten-xơ đơn vị bậc 2, μ là mô-đun chống cắt, λ là hằng số Lamé, và vết của te-xơ được định nghĩa $tr(\mathbf{A}) = A_{ii}$. Vật liệu bê tông nhựa thông thường có ứng xử đàn hồi – nhớt, phụ thuộc vào tần số tác dụng của tải trọng và nhiệt độ. Một cách gần đúng, chúng ta có thể xem ứng xử của vật liệu bê tông nhựa là gần – đàn hồi (quasi-elastic) tại một giá trị nhiệt độ nhất định và một tần số tác dụng nhất định. Trong nghiên cứu này, chúng tôi phân tích ứng xử của kết cấu áo đường ở nhiệt độ 25°C và 60°C. Giá trị mô-đun đàn hồi của bê tông nhựa và bê tông nhựa cứng được xác định từ thí nghiệm mô-đun đàn hồi động và có giá trị lần lượt là lần lượt là 5 GPa và 15 GPa ở 25°C và 150 MPa và 250 MPa ở 60°C. Hệ số Poisson của hai loại bê tông nhựa đều bằng 0,35. Mô-đun đàn hồi chung của 2 lớp móng và nền đường xem như không phụ thuộc vào nhiệt độ và bằng 160 MPa, hệ số Poisson lấy bằng 0,3.

Tải trọng tác dụng của bánh xe tác dụng lên mặt đường được lấy như qui định trong tiêu chuẩn 22 TCN 211-06 [8], trong đó diện tích tiếp xúc của vết bánh xe được qui về hình tròn đường kính 36 cm, áp lực tác dụng lên mặt đường là 0,6 MPa. Như vậy, kết cấu áo đường có thể được xem như đang làm việc trong điều kiện *đối xứng trục* và bài toán có thể đưa về bài toán 2 chiều để tiết kiệm thời gian tính toán (Hình 2).

Kết cấu áo đường được rời rạc hóa bằng 700 phần tử tứ giác 8 nút. Tổng số nút của bài toán là 2353 nút. Giữa hai lớp mặt trên và dưới bê tông nhựa và giữa lớp mặt dưới với lớp móng đường được gán các điều kiện tương tác như trong Mục 2.2, trong đó hệ số ma sát được lấy $\mu = 0,5$; lực dính theo phương tiếp tuyến (b_T) khảo sát lần lượt bằng 0,5 và 1 MPa trong điều kiện 25°C; bằng 0,1 và 0,5 MPa trong điều kiện 60°C. Trong trường hợp việc thi công đảm bảo chất lượng, cường độ dính bám theo phương pháp tuyến giữa 2 lớp bê tông nhựa có thể bằng giá trị cường độ chịu kéo của lớp



Hình 2. Mô hình hóa kết cấu áo đường bằng phần tử 2 chiều 8 nút

bê tông nhựa yếu hơn. Trong phân tích này, tác giả sử dụng giá trị lực dính đủ lớn để đảm bảo không có hiện tượng tách lớp xảy ra $b_N = 0,1$ MPa. Để xác định chính xác giá trị này, phương pháp tạo mẫu và thí nghiệm trình bày trong tài liệu [12] có thể được áp dụng.

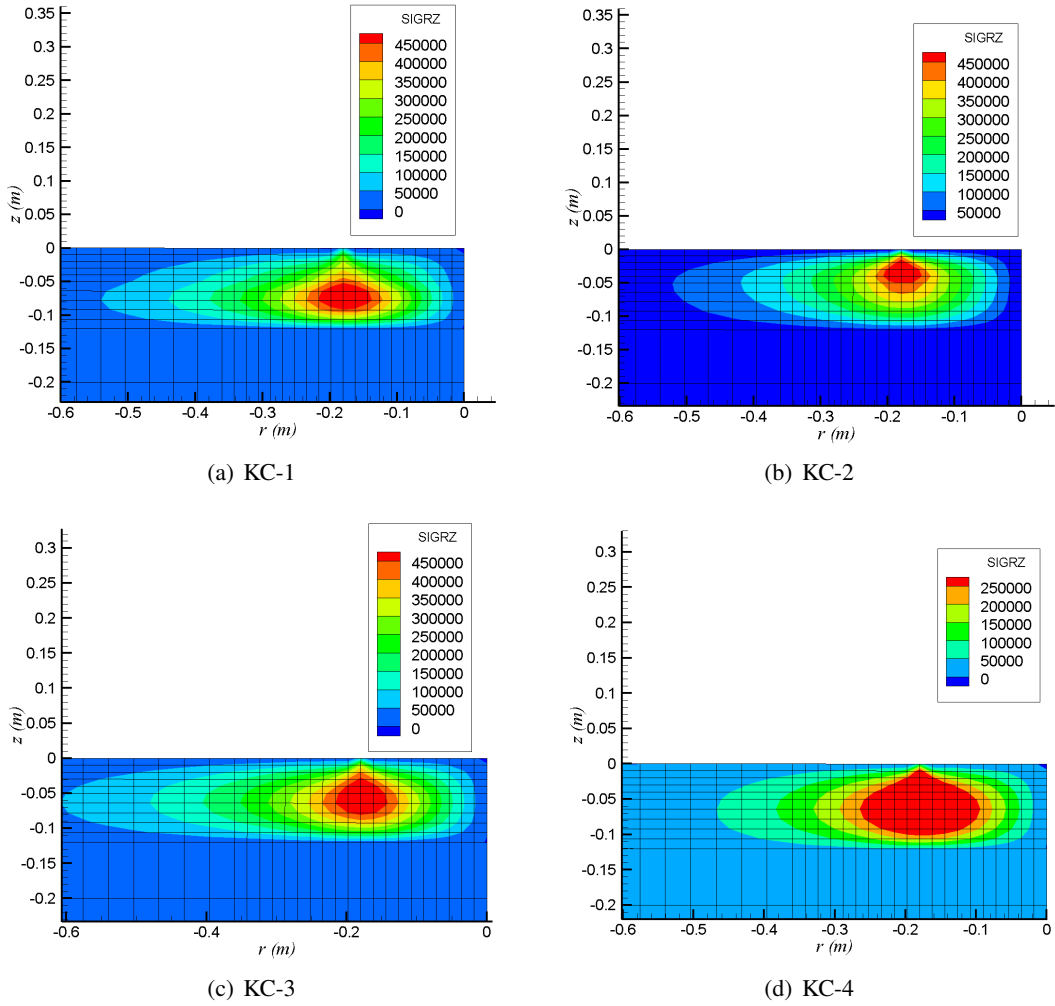
Điều kiện biên của bài toán như sau. Các nút ở trục đối xứng và tại biên bên trái bị khống chế chuyển vị theo phương ngang còn các nút ở biên bên dưới bị khống chế chuyển vị theo cả hai phương. Kết quả tính toán được trình bày trong phần tiếp theo bên dưới.

3. Kết quả phân tích

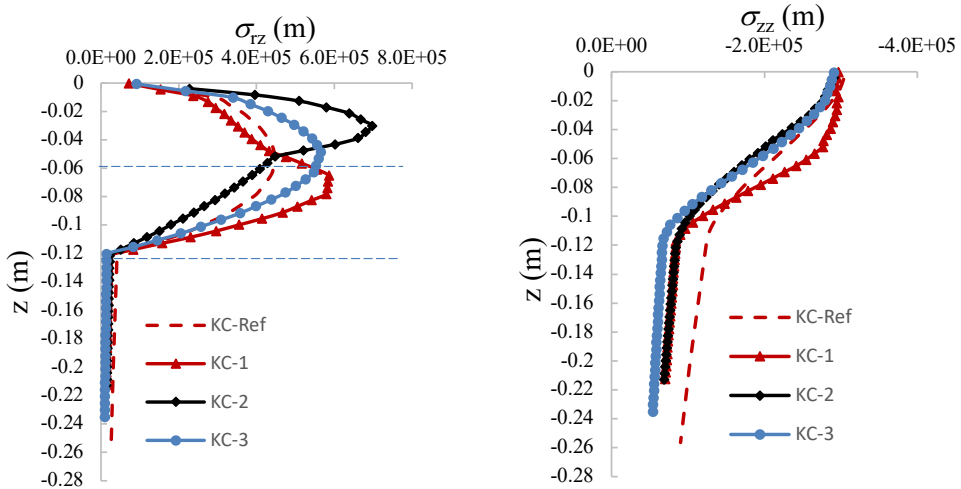
Sự phân bố ứng suất tiếp (σ_{rz}) trong các kết cấu KC-1, KC-2, KC-3 và KC-Ref ở nhiệt độ 25°C ứng với trường hợp lực dính theo phương tiếp tuyến $b_T = 1,0$ Mpa được trình bày trong Hình 3. Qua đó, chúng ta có thể quan sát được ứng suất tiếp lớn nhất xuất hiện tại mặt có tọa độ $r = 0,18$ m hay tại mặt ngay vị trí của mép vệt bánh xe.

Để có thể quan sát rõ hơn sự phân bố của ứng suất tiếp theo chiều sâu của kết cấu, giá trị ứng suất tiếp tại mặt $r = 0,18$ m được trích ra và được biểu diễn trong Hình 4. Ứng suất tiếp lớn nhất xuất hiện ở bên trong lớp mặt trên của kết cấu KC-2 tại độ sâu $z = -0,03$ m, có giá trị 0,698 MPa. Tuy nhiên, để đánh giá khả năng trượt giữa các lớp, chỉ các giá trị ứng suất tiếp lớn nhất (σ_{rz}^{\max}) tại các mặt liên kết giữa các lớp ($z = -0,05$ m và 0,12 m) được dùng để kiểm tra điều kiện trượt. Các giá trị của σ_{rz}^{\max} ở độ sâu $z = -0,05$ m trong các kết cấu KC-1, KC-2, KC-3 và KC-Ref lần lượt bằng 0,434 MPa, 0,454 MPa, 0,565 MPa và 0,447 MPa. Như vậy, ứng suất tiếp tại mặt liên kết giữa các lớp lớn nhất khi sử dụng bê tông nhựa cứng cho cả hai lớp mặt trên và dưới. Trong trường hợp chỉ sử dụng một lớp bê tông nhựa cứng (mặt trên hoặc dưới), giá trị lớn nhất của ứng suất tiếp tại mặt liên kết giữa các lớp không thay đổi đáng kể so với khi sử dụng bê tông nhựa thông thường cho cả hai lớp mặt.

Các giá trị ứng suất tiếp và ứng suất pháp tại các độ sâu $z = -0,05$ m và $-0,12$ m được trình bày trong Bảng 1. Chúng ta cần kiểm tra điều kiện trượt theo phương trình (8), trong đó cường độ dính bám được xác định theo điều kiện ma sát và lực dính Mohr-Coulomb ($\sigma_{rz} \leq \mu\sigma_{zz} + b_T$). Kết quả kiểm tra cho thấy trong tất cả các loại kết cấu, không xảy ra hiện tượng trượt giữa các lớp ở 25°C với giá trị cường độ dính bám giữa các lớp $b_T = 1$ và 0,5 MPa.



Hình 3. Phân bố ứng suất tiếp trong các kết cấu áo đường ở nhiệt độ 25°C

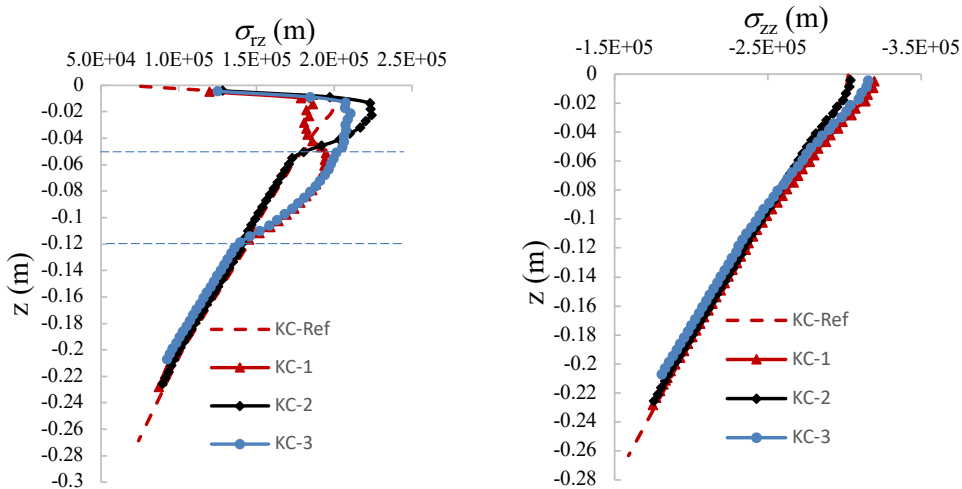


Hình 4. Phân bố ứng suất tiếp và ứng suất pháp theo chiều sâu ở nhiệt độ 25°C

Bảng 1. Ứng suất tiếp và pháp (MPa) tại mặt liên kết giữa các lớp

Mặt	KC-1		KC-2		KC-3		KC-Ref.	
	σ_{rz}	σ_{zz}	σ_{rz}	σ_{zz}	σ_{rz}	σ_{zz}	σ_{rz}	σ_{zz}
Nhiệt độ 25°C, $b_T = 1,0$ MPa								
$z = -0,05$ m	0,434	-0,267	0,454	-0,205	0,565	-0,221	0,447	-0,230
$z = -0,12$ m	0,310	-0,078	0,263	-0,083	0,015	-0,066	0,415	-0,123
Nhiệt độ 60°C, $b_T = 0,5$ MPa								
$z = -0,05$ m	0,195	-0,274	0,181	-0,271	0,202	-0,271	0,181	-0,274
$z = -0,12$ m	0,139	-0,231	0,142	-0,233	0,137	-0,227	0,143	-0,235

Sự phân bố ứng suất tiếp theo chiều sâu tại mặt $r = 0,18$ m trong các kết cấu KC-1, KC-2, KC-3 và KC-Ref ở nhiệt độ 60°C ứng với trường hợp lực dính theo phương tiếp tuyến là 0,5 MPa được trình bày trong Hình 5. Kết quả tính toán cho thấy ứng suất trượt tại $z = -0,05$ m là lớn nhất khi sử dụng bê tông nhựa cứng cho cả 2 lớp mặt trên và dưới. Tương tự như ở 25°C, giá trị lớn nhất của ứng suất tiếp tại mặt liên kết giữa các lớp khi chỉ sử dụng 1 lớp bê tông nhựa cứng không thay đổi đáng kể so với khi sử dụng cả hai lớp mặt là bê tông nhựa thông thường. Kết quả kiểm tra khả năng trượt giữa các lớp bê tông nhựa cho thấy không có hiện tượng trượt khi $b_T \geq 0,1$ MPa ở 60°C.



Hình 5. Phân bố ứng suất tiếp và ứng suất pháp theo chiều sâu ở nhiệt độ 60°C

4. Kết luận

Ứng suất cắt trượt giữa các lớp trong kết cấu áo đường sử dụng bê tông nhựa cứng đã được phân tích bằng phương pháp phần tử hữu hạn, trong đó sự tương tác giữa các lớp được mô hình hóa bằng các điều kiện tiếp xúc và dính bám và ứng xử của các lớp vật liệu được xem như đàn hồi. Kết quả phân tích có thể được tóm tắt như sau:

- Ứng suất tiếp lớn nhất xuất hiện tại mặt $r = 0,18$ m hay tại mặt đi qua vị trí của mép vệt bánh xe.

- Ứng suất tiếp tại mặt liên kết giữa các lớp là lớn nhất khi bố trí lớp bê tông nhựa cứng ở cả hai lớp mặt trên và dưới. Trong trường hợp chỉ sử dụng 1 lớp bê tông nhựa cứng, giá trị ứng suất tiếp lớn nhất tại mặt liên kết giữa các lớp thay đổi không đáng kể so với trường hợp sử dụng cả hai lớp bê tông nhựa thông thường.

- Điều kiện dính bám giữa các lớp được đảm bảo khi cường độ dính bám giữa các lớp $\geq 0,5$ MPa ở điều kiện 25°C và $\geq 0,1$ MPa ở điều kiện 60°C .

Như vậy, việc ứng dụng bê tông nhựa cứng trong kết cấu áo đường dù ở lớp mặt trên hay (và) mặt dưới đều không gây ra giá trị ứng suất cắt quá lớn tại mặt liên kết ($< 0,6$ MPa ở 25°C , $< 0,2$ MPa ở 60°C) như quan ngại ban đầu. Với giá trị cường độ dính bám giữa các lớp bê tông nhựa $\geq 0,5$ MPa ở điều kiện nhiệt độ tính toán 25°C , hiện tượng trượt giữa các lớp không xảy ra. Ở nhiệt độ tính toán 60°C , cường độ dính bám yêu cầu giữa 2 lớp bê tông nhựa là $0,1$ MPa. Để có thể kiểm tra ở nhiều điều kiện nhiệt độ khác nhau cũng như xét đến ảnh hưởng của tần số tác dụng của tải trọng, ứng xử đàn hồi – nhớt của bê tông nhựa cần được xét đến.

Tài liệu tham khảo

- [1] Nguyen, H. T. T. (2017). [Modelling the mechanical behaviour of asphalt concrete using the Perzyna viscoplastic theory and Drucker–Prager yield surface](#). *Road Materials and Pavement Design*, 18(S2): 264–280.
- [2] Quyết định 858-BGTVT. *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 bê tông nhựa nóng đối với các tuyến đường ô tô có quy mô giao thông lớn*. Bộ Giao thông Vận tải, Việt Nam.
- [3] Nguyen, H. T. T., Tran, T. N. (2018). [Effects of crumb rubber content and curing time on the properties of asphalt concrete and stone mastic asphalt using dry process](#). *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11(3):236–244.
- [4] Tran, T. N., Nguyen, H. T. T., Nguyen, K. S., Nguyen, N. T. H. (2017). Semi-flexible material: The sustainable alternative for the use of conventional road materials in heavy-duty pavement. *Congrès International de Géotechnique – Ouvrages – Structures*, Springer Singapore, 552–559.
- [5] Tài, N. H. T., Nhân, T. T. (2017). [Nghiên cứu và ứng dụng hỗn hợp đá dăm vữa nhựa trong xây dựng mặt đường tại Việt Nam](#). *Tạp chí Đại học Thủ Dầu Một*, (32):57–62.
- [6] Hải, D. H. (2016). [Các nghiên cứu về thiết kế và thi công hỗn hợp bê tông nhựa nóng trong điều kiện việt nam nhằm hạn chế phát sinh lún vệt bánh xe trên mặt đường ô tô](#). *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Xây dựng (KHCCND) - ĐHXD*, 10(4):11–17.
- [7] Hội, T. D. (2018). [Nghiên cứu hỗn hợp đá – nhựa nóng cường độ cao dùng trong kết cấu mặt đường ô tô cấp cao ở Việt Nam](#). Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Giao thông Vận tải.
- [8] 22 TCN 211-06. *Áo đường mềm - Các yêu cầu và chỉ dẫn thiết kế*. Bộ Giao thông Vận tải, Việt Nam.
- [9] Lân, N. N. (2016). [Nghiên cứu ứng xử dính bám và đề xuất giới hạn cường độ dính bám giữa hai lớp bê tông asphalt trong kết cấu áo đường mềm ở Việt Nam](#). Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Giao thông Vận tải.
- [10] Le Van, A., Nguyen, T. T. H. (2009). [A weighted residual relationship for the contact problem with Coulomb friction](#). *Computers & Structures*, 87(23-24):1580–1601.
- [11] Tài, N. H. T., Le Van, A. (2011). [A simple weak form for contact problems with Coulomb friction](#). *Vietnam Journal of Mechanics*, 33(4):259–282.
- [12] Tài, N. H. T., Tiến, P. M., Tự, T. V. (2017). [Đánh giá khả năng dính bám giữa lớp bê tông nhựa và bê tông xi măng](#). *Tạp chí Xây dựng*.