

Mô hình tính toán bê tông nhiều lớp trong sửa chữa mặt đường bê tông xi măng

■ GS. TS. PHẠM HUY KHANG; TS. NGUYỄN TRỌNG HIỆP; ThS. TRẦN THỊ THÚY; ThS. PHẠM QUANG THÔNG

Trường Đại học Giao thông vận tải

TÓM TẮT: Việc sửa chữa mặt đường bê tông xi măng (BTXM) biến mô hình tính toán trở thành bài toán BTXM nhiều lớp, lớp BTXM cũ và lớp bê tông phủ để sửa chữa. Việc nghiên cứu mô hình trạng thái ứng suất, biến dạng của tấm sau khi sửa chữa là hết sức quan trọng và cần thiết để từ đó đánh giá được trạng thái ứng suất và độ bền vững của kết cấu sau khi sửa chữa.

TỪ KHÓA: Mô hình tính toán, thiết kế, sửa chữa, mặt đường bê tông nhiều lớp.

ABSTRACT: The pavement repair of cement concrete surface turns the calculation model into a multi-layered cement concrete problem, old cement concrete layer and concrete cover for repair. The study of the stress and deformation state model of the plate after repair is very important and necessary to evaluate the stress state and stability of the structure after repair.

KEYWORDS: Calculation model, design, repair, multi-layer of cement concrete pavement.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

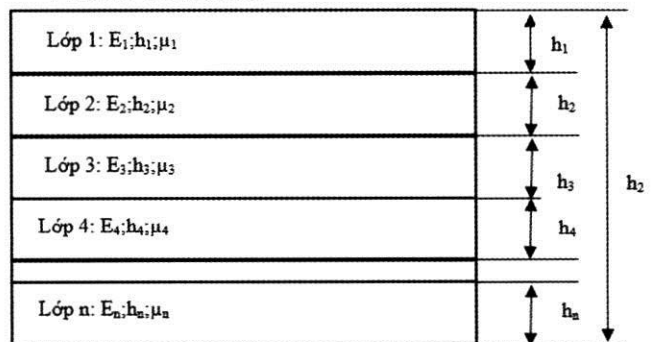
Mặt đường BTXM sau một thời gian khai thác với nhiều lý do khác nhau sẽ dẫn đến bị hư hỏng bề mặt. Có nhiều dạng hư hỏng khác nhau liên quan đến tấm BTXM mặt đường, tuy nhiên những dạng sử dụng vật liệu xử lý chủ yếu liên quan đến hư hỏng bề mặt tấm. Với dạng hư hỏng này sau sửa chữa bằng cách phủ một lớp vật liệu có chiều dày h , mặt đường sau sửa chữa sẽ làm việc như một mặt đường BTXM hai lớp.

Sự làm việc của mặt đường BTXM sau khi sửa chữa được coi như là loại mặt đường BTXM nhiều lớp. Lý thuyết tính được lập dựa trên việc giải bài toán tấm trên nền đàn hồi với móng và tấm BTXM mặt đường.

Trong trường hợp đặc biệt, khi phủ thêm một lớp BTXM lên mặt đường cũ (gia cường hoặc sửa chữa), bài toán quy về bê tông hai lớp.

2. TÍNH TOÁN KẾT CẤU TOÀN KHỐI NHIỀU LỚP CÓ ĐỘ CỨNG KHÁC NHAU

2.1. Sơ đồ kết cấu



Hình 2.1: Mô hình tấm BTXM nhiều lớp

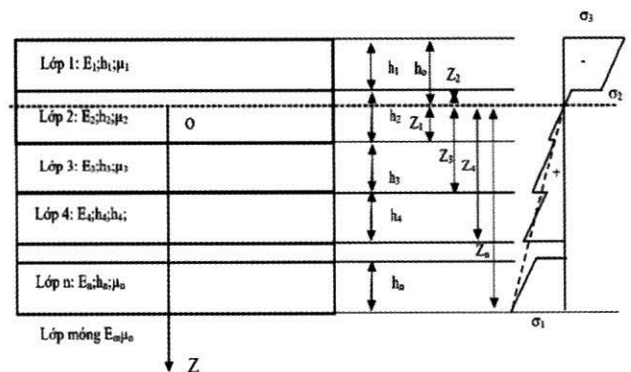
Bài toán tổng quan của BTXM nhiều lớp được mô tả như Hình 2.1.

Trong đó: Lớp 1 có cường độ $R \geq 30$ Mpa.

Lớp 2,3... có $R \leq 30$ Mpa;

Các lớp có chiều dày h_i ; các đặc trưng mô-đun đàn hồi E_i ; hệ số Poisson μ_i .

2.2. Mô hình tính toán



Hình 2.2: Mô hình tính toán tấm BTXM nhiều lớp

- Các giả thuyết tính toán: $+ E_1 > E_2 > \dots > E_{n \text{ nền}}$

Trong trường hợp đặc biệt:

1) $E_1 = E_2 = E_3 \dots = E_n$: Bài toán quy về bê tông 1 lớp

2) $E_2 = E_3 \dots = E_n$: Bài toán quy về bê tông 2 lớp

3) $E_2 = E_3 \dots = E_{n-1}$: Bài toán quy về bê tông 3 lớp

+ Hệ số poisson $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n = 0,15$;

$\mu_0 = 0,3$ (hệ số poisson móng).

2.3. Tính toán kết cấu toàn khối hai lớp có độ cứng khác nhau

2.3.1. Lý thuyết tính

Như đã biết, tấm bê tông sử dụng làm mặt đường thường có chiều dày không đổi, độ võng của tấm nhỏ hơn

chiều dày của tấm. Do vậy, ta thường dùng lý thuyết tấm mỏng của lý thuyết đàn hồi với các giả thuyết sau:

- Coi tấm bê tông hai lớp như là một tấm mỏng đàn hồi, độ võng nhỏ, từng lớp đồng chất, đẳng hướng. Riêng với bê tông hai lớp có lớp trên là bê tông polymer, lớp dưới là BTXM cũ về mặt lý thuyết phải coi đây là lớp dị hướng trong kết cấu chung.

- Khi chịu uốn mặt cắt chia đôi bề dày của tấm (mặt trung gian) không bị biến dạng.

Khi độ võng của tấm nhỏ hơn chiều dày của tấm thì ứng suất và biến dạng xuất hiện trên mặt trung hòa nhỏ không đáng kể (có thể bỏ qua).

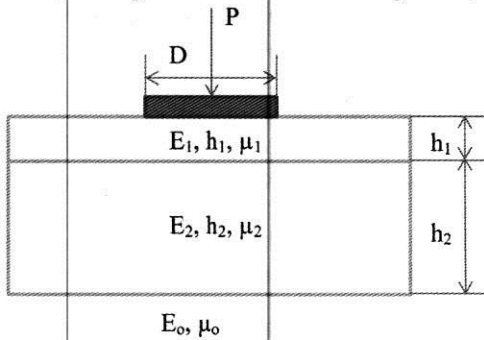
Trong thực tế với bê tông hai lớp, mặt trung hòa không chia đôi bề dày của tấm và tại mặt trung gian có ứng suất nhưng ứng suất này rất nhỏ (có thể bỏ qua).

- Nếu trước khi biến dạng, những điểm của tấm nằm trên đường thẳng vuông góc với mặt phẳng trung gian, thì sau khi tấm bị biến dạng uốn chúng vẫn nằm trên đường thẳng vuông góc với mặt phẳng trung gian.

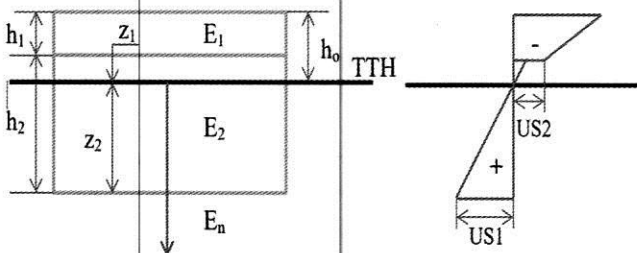
Đây cũng là giả thuyết gần đúng bởi vì thực nghiệm cho thấy rằng, khi các lớp bê tông có độ cứng khác nhau (EJ khác nhau) thì biến dạng của các điểm của tấm nằm trên đường thẳng vuông góc với mặt phẳng trung gian sẽ không cùng nằm trên một đường thẳng.

- Ứng suất pháp tuyến tác dụng theo phương vuông góc với mặt trung gian của tấm có giá trị rất bé (có thể bỏ qua).

2.3.2. Đặc trưng đàn hồi của tấm bê tông hai lớp



Hình 2.3: Mô hình tính toán



Hình 2.4: Sơ đồ ứng suất tính toán

- Mô hình tính:

$$E_1 > E_2 > \dots > E_{n\text{ nền}}$$

Hệ số Poisson $\mu_1 = \mu_2 = 0,15$;

Lớp 1 và lớp 2 dính chặt (thì công liền khối).

- Sơ đồ tính:

Từ Hình 2.4 xuất phát từ công thức của lý thuyết đàn hồi ta có:

$$M_x = \int_{z_1}^z \sigma_{x_1} z dz + \int_{-h_0}^z \sigma_{x_2} z dz = -D_b \left[\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right] \quad (a)$$

Thay:

$$\sigma_x = \frac{E_b}{1-\mu^2} [\epsilon_x + \mu \epsilon_y] = -\frac{E_b z}{1-\mu^2} \left[\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right] \quad (b)$$

====>

$$M_x = \int_{z_1}^z -\frac{E_b z}{1-\mu^2} \left[\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right] z^2 dz + \int_{-h_0}^z -\frac{E_b z}{1-\mu^2} \left[\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right] z^2 dz$$

$$M_x = \left[\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right] \left[-\frac{E_b z^3}{1-\mu^2} z_2 - \frac{E_b z^3}{1-\mu^2} z_1 \right]$$

$$M_x = -\frac{E_b (z_2^3 - z_1^3) + E_1 (h_0^3 + z_1^3)}{3(1-\mu^2)} \left[\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right] \quad (**)$$

Từ (a) và (**) ta có:

$$D_b = \frac{E_b (z_2^3 - z_1^3) + E_1 (h_0^3 + z_1^3)}{3(1-\mu^2)} \quad (c)$$

Trong đó:

$$z_2 = h_1 + h_2 - h_0$$

$$z_1 = h_1 - h_0$$

Cân bằng độ cứng giữa (c) và (**) của tấm xác định bằng công thức:

$$D_b = \frac{E_b h^3}{12(1-\mu_b^2)}$$

Đối với hệ hai lớp ta thay mô-đun đàn hồi của tấm bằng mô-đun đàn hồi chung của hệ, từ đó ta có:

$$\frac{E_b (z_2^3 - z_1^3) + E_1 (h_0^3 + z_1^3)}{3(1-\mu^2)} = \frac{E_{ch} h^3}{12(1-\mu^2)} \rightarrow E_{ch} = \frac{4}{h^3} [E_b (z_2^3 - z_1^3) + E_1 (h_0^3 + z_1^3)] \quad (d)$$

Đặc trưng đàn hồi của tấm:

- Nếu tính theo hệ số nền, ta có: $L = \sqrt[4]{\frac{D}{K}} = \sqrt[4]{\frac{E_b h^3}{12(1-\mu^2)K}}$

(Với k là hệ số nền)

- Nếu tính theo mô-đun đàn hồi E của nền đất ta có:

$$L = \sqrt[3]{\frac{2D(1-\mu_n^2)}{E_n}}$$

Nhận xét:

- Với bê tông thường ta có đặc trưng đàn hồi L bằng:

$$L = h \sqrt[3]{\frac{E_b(1-\mu_n^2)}{6E_n(1-\mu_b^2)}}$$

- Với bê tông hai lớp đặc trưng đàn hồi L bằng:

$$L = \sqrt[3]{\frac{2D_b(1-\mu_n^2)}{E_n}}$$

Trong đó: D_b xác định theo (c).

Kết luận:

- Như vậy, với phương pháp này, việc tính toán đặc trưng đàn hồi của tấm bê tông hai lớp hoàn toàn khác với bê tông một lớp.

- Việc tính mô-đun đàn hồi chung của tấm bê tông hai lớp hoàn toàn xác định được theo (d).

2.3.3. Tìm vị trí trục trung hòa của tấm

2.3.3.1. Phương pháp cân bằng lực

- Biểu đồ ứng suất của bê tông hai lớp xác định như

Hình 2.4.

- Cân bằng lực tác dụng (tổng hợp lực trên mặt cắt bằng 0).

Phương trình cân bằng lực có dạng:

$$\int_{z_1}^{z_2} E_1 z dz + \int_{h_0}^{z_1} E_2 z dz = 0 \leftrightarrow E_1 \frac{z^2}{2} z_2 + E_1 \frac{z^2}{2} z_1 = 0$$

Thay giá trị $z_1 = h_1 - h_0$; $z_2 = h_1 + h_2 - h_0$

Ta có:

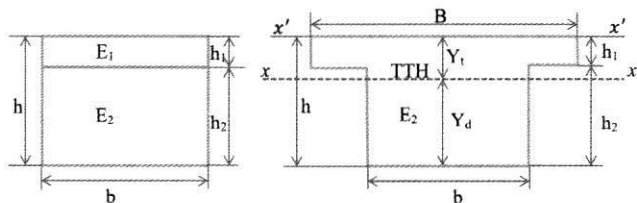
$$\frac{1}{2} \{E_1 (z_2^2 - z_1^2) + E_2 (z_1^2 - h_0^2)\} = 0$$

$$\rightarrow h_o = \frac{E_1 h_1^2 + 2E_2 h_1 h_2 + E_2 h_2^2}{2(E_1 h_1 + E_2 h_2)}$$

Với h_o là khoảng cách từ trục trung hòa đến mặt trên cùng của lớp trên.

2.3.3.2. Phương pháp tính đổi tiết diện (Hình 2.5)

Quy đổi hệ tương đương như sau:



Hình 2.5: Quy đổi tiết diện

Theo (1.1) ta có:

$$h_o = \frac{s'_x}{F} = \frac{(B-b) \frac{h_1^2}{2} + \frac{bh^2}{2}}{(B-b)h_1 + bh}$$

với $B = \frac{E_1}{E_2} b$ ta được:

$$h_o = \frac{E_1 h_1^2 + 2E_2 h_1 h_2 + E_2 h_2^2}{2(E_1 h_1 + E_2 h_2)}$$

Với h_o là khoảng cách từ trục trung hòa đến mặt trên cùng của lớp trên.

2.4. Tính mô-men và ứng suất do tải trọng gây ra

2.4.1. Cơ sở lý thuyết tính

Từ công thức cơ bản của lý thuyết tấm trên nền đàn hồi ta có:

$$\sigma_x = \frac{E_b}{1-\mu^2} [\epsilon_x + \mu \epsilon_y] = -\frac{E_b z}{1-\mu^2} \left[\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right]$$

$$\rightarrow M_x = \frac{E_2(z_2^3 - z_1^3) + E_1(h_0^3 + z_1^3)}{3(1-\mu^2)} \left[\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right]$$

$$\leftrightarrow M_x = D_b \left[\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right]$$

$$\frac{M_x}{D_b} = \left[\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right]$$

Từ đó ta có: $\sigma_1 = \frac{E_2 z_2}{D_b(1-\mu^2)} M$

$\sigma_2 = \frac{E_1 z_1}{D_b(1-\mu^2)} M$

Trong đó:

σ_1 - Ứng suất kéo uốn do tải trọng gây ra tại thứ dưới lớp 2 (US1);

σ_2 - Ứng suất kéo uốn do tải trọng gây ra tại thứ dưới lớp 1 (US2).

2.4.2. Tính mô-men uốn do tải trọng gây ra

Để tính ứng suất trong các trường hợp khác nhau, chúng tôi đề nghị tính toán mô-men M theo các phương pháp sau:

* Tính mô-men khi tải trọng tác dụng tại giữa tấm:

$$M_t = M_r = \left(0,0529 - 0,2137 \lg \frac{2L}{D} \right) P$$

Trong đó: $L = \sqrt{\frac{2D_b(1-\mu_n^2)}{E_n}}$

* Tính mô-men uốn:

- Tải trọng ở giữa tấm:

$$M = 0,275(1 + \mu) \frac{P}{6} \lg \frac{E_{ch} h^3}{KR^4} = 0,275(1 + \mu) \frac{P}{6} \alpha_o$$

$$M = 0,529(1 + 0,54\mu) \frac{P}{6} (\alpha_o - 0,71)$$

- Tải trọng ở góc tấm:

$$M = \frac{P}{2} \left[1 - \left(\frac{12(1-\mu^2)}{R+10\alpha_o} \right)^{0,15} (R\sqrt{2})^{0,6} \right], \text{ với } \alpha_o = 1,91C \frac{h^3}{R} \sqrt{\frac{E_{ch}(1-\mu_n^2)}{E_n(1-\mu_b^2)}}$$

Thay α_o và rút gọn ta có:

+ Với tải trọng ở giữa tấm:

$$\alpha_1 = 0,275(1 + \mu)\alpha_o$$

$$M_1 = \frac{P\alpha_1}{6}$$

+ Với tải trọng ở cạnh tấm:

$$\alpha_2 = 0,529(1 + 0,54\mu)(\alpha_o - 0,71)$$

$$M_2 = \frac{P\alpha_2}{6}$$

+ Với tải trọng ở góc tấm:

$$\alpha_3 = 3,36 - \frac{4,58x10^{0,125\alpha_o}}{0,925x10^{0,125\alpha_o} + 0,41}$$

$$M_3 = \frac{P\alpha_3}{6}$$

Người ta đã lập sẵn các bảng để tính giá trị $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ phụ thuộc vào tỷ số E_{ch}/E_n và h/R .

2.5. Trình tự tính toán mặt đường bê tông hai lớp

Bước 1: Tính vị trí trục trung hòa theo công thức sau:

$$h_o = \frac{E_1 h_1^2 + 2E_2 h_1 h_2 + E_2 h_2^2}{2(E_1 h_1 + E_2 h_2)}$$

Bước 2: Tính độ cứng của tấm theo công thức:

$$D_b = \frac{E_2(z_2^3 - z_1^3) + E_1(h_0^3 + z_1^3)}{3(1-\mu^2)}$$

Bước 3: Tính đặc trưng đàn hồi của tấm theo công thức:

$$L = \sqrt[3]{\frac{2D_b(1-\mu_n^2)}{E_n}}$$

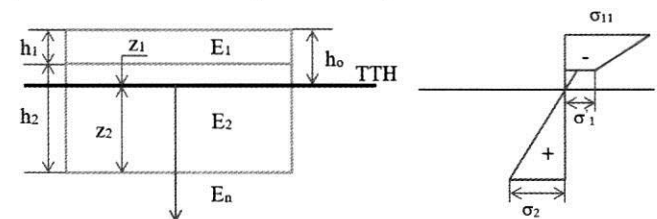
Bước 4: Tính mô-men uốn của tấm theo các phương pháp đã trình bày.

3. PHÂN TÍCH ỨNG DỤNG TRONG TÍNH TOÁN SỬA CHỮA MẶT ĐƯỜNG BTXM

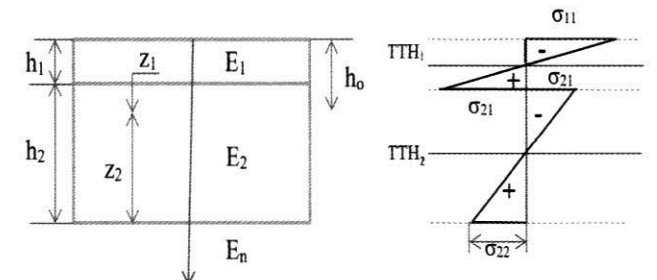
- Với chiều dày lớp gia cường, hoặc lớp phủ từ 4 - 10 cm cần các điều kiện sau đây:

+ Vật liệu sử dụng: Loại vật liệu sử dụng lớp phủ hoặc miếng vá cần có cường độ cao hơn lớp bê tông cũ (thường ≥ 40 Mpa).

+ Vật liệu cần có độ dính bám tốt với mặt đường cũ, phân tích mô hình ứng suất hai loại như sau:



Hình 3.1: Khi hai lớp dính chặt tạo thành tấm liền khối



Hình 3.2: Khi hai lớp không dính bám với nhau tạo thành hai tấm riêng biệt

Trong trường hợp Hình 3.1, tấm BTXM mặt đường làm việc như 1 tấm.

Trong trường hợp Hình 3.2, tấm BTXM mặt đường làm việc như 2 tấm riêng biệt, ứng suất lớp phủ sẽ rất lớn dẫn đến lớp phủ bị phá hoại.

Trường hợp này cũng dễ xảy ra khi chất lượng thi công tấm bê tông không tốt, tạo hiện tượng phân tầng hoặc khi thi công các lớp, không chú ý đến thời gian bắt đầu ninh kết của bê tông.

Trong thực tế có thể kiểm tra lực dính bám của 2 lớp theo tiêu chuẩn TCVN 9491:2012/ TCVN 9349:2012 khi cường độ kéo nhỏ $\geq 0,9$ Mpa.

- Ví dụ: Kết cấu sửa chữa mặt đường BTXM đường Đông Trường Sơn dày 17 cm, lớp phủ 5 cm.

Các chỉ tiêu vật liệu như sau:

+ Lớp BTXM mặt đường cũ có $R_n = 30$ Mpa, $R_{ku} = 4,5$ MPa;

+ Lớp phủ sửa chữa bằng bê tông polymer có $R_n = 50$ Mpa; $R_{ku} = 7$ Mpa;

+ Hai lớp dính chặt (Hình 3.1).

Kết quả tính toán : $\sigma_2 = 2,1$ Mpa; $\sigma_{11} = 2,8$ Mpa.

4. KẾT LUẬN

Nâng cấp, sửa chữa mặt đường BTXM cũ là một vấn đề phức tạp trong tính toán và thực hiện, cần có những tính toán và nghiên cứu phù hợp mới có thể lựa chọn vật liệu và thiết lập quy trình thi công hợp lý. Bài báo đã trình bày những lý thuyết tính toán cơ bản khi nâng cấp lớp phủ hoặc khi sửa chữa mặt đường BTXM. Để giải quyết vấn đề này, rất cần các kết quả thực nghiệm và các tiêu chuẩn phù hợp mới có thể dẫn hoàn thiện và đáp ứng yêu cầu.

Tài liệu tham khảo

[1]. GS. TS. Phạm Huy Khang (2017), *Mặt đường sân bay theo quan điểm hiện đại*, NXB. GTVT.

[2]. Transportation research board 2010 executive committee (2011), *Guidelines for the Preservation of High-Traffic-Volume Roadways*, Washington, d.c.

[3]. Oregon department of transportation, Revised June 2010, *Pavement distress survey manual, Pavement services unit revised june 2010, Distress survey manual, Section 2 jointed concrete pavements (jcp)*.

[4]. *Cement Concrete & Aggregates Australia, Concrete Pavement, Maintenance/Repair*, June 2009.

[5]. National cooperative highway research program, *Quality Management of Pavement Condition, Data Collection, A Synthesis of Highway Practice*, Transportation research board, Washington, d.c. 2009.

[6]. Department of Transportation. Federal Highway Administration, US (2008), *Concrete Pavement Rehabilitation and Preservation Treatments*.

[7]. Concrete Society and ICRI (May 2003), *Concrete Repair Manual*, Second Edition, Volume 1, ACI, BRE.

Ngày nhận bài: 03/11/2020

Ngày chấp nhận đăng: 04/12/2020

Người phản biện: Cố GS. TS. Nguyễn Xuân Đào

GS. TS. Bùi Xuân Cậy