

Nghiên cứu kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng có khả năng thoát nước mặt theo hướng phát triển bền vững

Nguyễn Thị Hồng^{1*}, Lê Thanh Hà¹

¹ Trường Đại học Giao thông Vận tải

TỪ KHOÁ

Bê tông xi măng rỗng
Thoát nước mặt bền vững
Độ rỗng
Cường độ mưa
Hệ số thấm
Chiều dày kết cấu mặt đường

TÓM TẮT

Sự thay thế bề mặt phủ tự nhiên thành bề mặt phủ nhân tạo ở các đô thị đã làm mất đi khả năng thấm và lưu giữ nước của các khu vực. Đây là nguyên nhân chính gây ra ngập lụt và ô nhiễm môi trường, suy giảm mực nước ngầm, tăng hiệu ứng đảo nhiệt v.v... cho các đô thị. Để khắc phục tình trạng đó, việc nghiên cứu các giải pháp kỹ thuật thoát nước mặt bền vững trong đó có kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng có khả năng tăng cường thấm và lưu giữ nước mặt là điều rất cần thiết. Tuy nhiên, hiện nay ở Việt Nam, các đề tài nghiên cứu về vấn đề này chỉ chủ yếu tập trung nghiên cứu lớp bề mặt bê tông xi măng có độ rỗng cao. Trong khi, khả năng thấm và lưu giữ nước mặt của kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng còn phụ thuộc nhiều vào lớp móng và lớp nền nằm liền kề dưới lớp bề mặt bê tông đó. Vì vậy, nghiên cứu này trình bày mô hình thiết kế toàn bộ kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng không những đảm bảo về cường độ chịu lực mà còn đảm bảo khả năng thấm và lưu giữ nước tốt. Hơn thế nữa, nghiên cứu cũng trình bày công tác thử nghiệm ở ngoài hiện trường đối với loại kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng chịu tải trọng nhẹ (phương tiện lưu thông $\leq 2,5$ tấn) để đánh giá mô hình thiết kế và đánh giá hiệu quả thoát nước của kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng.

KEYWORDS

Pervious Concrete
Sustainable drainage
Porosity
Rainfall intensity
Permeability coefficient
Thickness of pavement structure

ABSTRACT

The replacement of a natural surface with an artificial surface in urban areas has deprived the water permeability and retention. It is the main cause of flooding, environmental pollution, reduction of groundwater for urban and increased urban heat island effect. Therefore, the application of sustainable drainage technical solutions including pervious concrete pavement with high water permeability and retention is essential. However, the current research topics on this issue in Vietnam mainly focus on high porous concrete slabs while the water permeability and retention of pervious concrete pavement also heavily depends on the subbase and the subgrade under that porous concrete slab. According to the issue mentioned above, this research has presented a design model of the entire pervious concrete pavement construction that not only ensures the load-bearing strength but also ensures high water permeability and retention. In addition, the authors have conducted testing on the field for porous concrete pavement which is light load-bearing (a load of a vehicle ≤ 2.5 tons) to evaluate the drainage efficiency of the designed pervious concrete pavement.

1. Giới thiệu

Giải pháp thoát nước mặt bền vững là giải pháp phân tán dòng chảy nước mưa trên bề mặt thông qua quá trình thấm, lưu giữ và chứa nước của các loại mặt phủ đô thị nhằm giảm ngập lụt, ô nhiễm môi trường đồng thời tăng mực nước ngầm cho đô thị. Trong khi, các loại kết cấu mặt đường có thể áp dụng vật liệu bê tông xi măng rỗng thoát nước như kết cấu mặt hè, kết cấu mặt đường trong nhóm nhà ở, đường dạo, sân, bãi v.v chiếm một tỷ lệ diện tích đáng kể (khoảng 15%) trong các đô thị [1]. Do đó, việc nghiên cứu kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng có khả năng thoát nước mặt theo hướng phát triển bền vững là điều rất cần thiết. Hiện nay ở Việt Nam đã có một số

đề tài nghiên cứu về vấn đề này nhưng chỉ chủ yếu tập trung nghiên cứu lớp bề mặt làm từ vật liệu bê tông xi măng có độ rỗng cao để thấm nước tốt. Trong khi đó, khả năng thấm và lưu giữ nước mặt của kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng còn phụ thuộc nhiều vào điều kiện của lớp móng và lớp nền nằm liền kề dưới lớp bề mặt bê tông đó. Vì vậy, nghiên cứu này trình bày mô hình thiết kế toàn bộ kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng không những đảm bảo về cường độ chịu lực mà còn đảm bảo khả năng thấm và lưu giữ nước tốt. Hơn thế nữa, nghiên cứu cũng trình bày công tác thử nghiệm ở ngoài hiện trường đối với loại kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng chịu tải trọng nhẹ (phương tiện lưu thông $\leq 2,5$ tấn) để kiểm tra mô hình thiết kế và đánh giá hiệu quả thoát nước của kết cấu mặt

*Liên hệ tác giả: honghatang@gmail.com

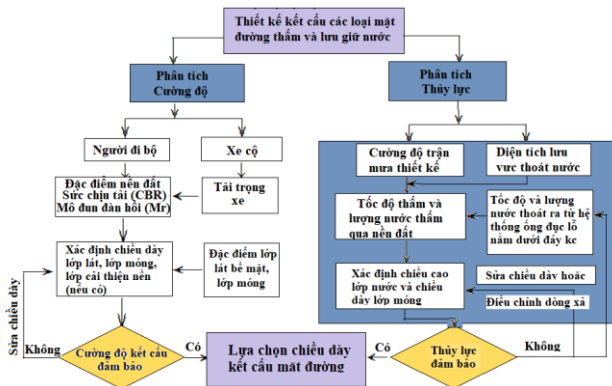
Nhận ngày 25/10/2021, sửa xong ngày 04/11/2021, chấp nhận đăng 01/04/2022

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2022.174>

đường bê tông xi măng rỗng thoát nước.

2. Mô hình thiết kế kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng có khả năng tăng cường thấm và lưu giữ nước mặt

Vấn đề quan trọng khi thiết kế các loại kết cấu mặt đường bê tông rỗng có khả năng tăng cường thấm và lưu giữ nước mặt là phải thực hiện đánh giá sơ bộ bao gồm: đánh giá điều kiện địa chất; các chỉ tiêu cơ lý của đất và đánh giá cường độ mưa của khu vực trước khi tiến hành thiết kế kết cấu mặt đường. Ngoài ra, còn đánh giá địa hình, nguồn xả nước, hệ thống thoát nước hiện có, điều kiện sử dụng đất hiện tại và tương lai, v.v. Quá trình thiết kế kết cấu các loại mặt đường đô thị có khả năng tăng cường thấm và lưu giữ nước là vừa phải đảm bảo cường độ chịu lực vừa phải đảm bảo thủy lực. Mô hình thiết kế được thể hiện ở Hình 1.



Hình 1. Mô hình thiết kế kết cấu các loại mặt đường thấm và lưu giữ nước.

Trình tự mô hình thiết kế kết cấu các loại mặt đường thấm và lưu giữ nước (trong đó có kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng thoát nước) bao gồm các bước sau đây :

- Thiết kế sơ bộ kết cấu mặt đường.
- Tính toán kết cấu mặt đường đảm bảo các yếu tố về cường độ chịu lực.
- Tính toán kết cấu mặt đường đảm bảo các yếu tố về thủy lực.
- Lựa chọn chiều dày kết cấu mặt đường cho hợp lý.

2.1. Thiết kế sơ bộ kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng thoát nước

Dựa trên cơ sở các kết cấu mặt đường bê tông xi măng truyền thống (bê tông xi măng thường) đang được áp dụng tại Việt Nam, thiết kế sơ bộ cấu tạo kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng thoát nước bao gồm các bước: lựa chọn số lớp, lựa chọn vật liệu và chiều dày mỗi lớp. Có thể tham khảo cấu tạo kết cấu mặt đường điển hình như Hình 2.

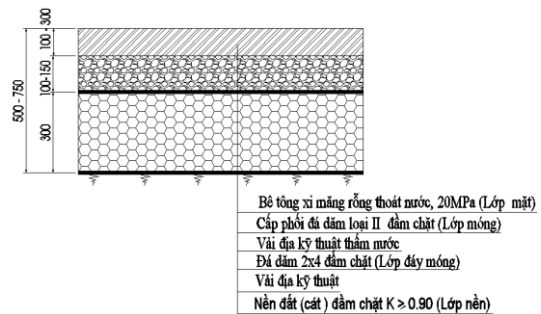
Khi thiết kế kết cấu mặt đường loại bê tông xi măng rỗng thoát nước chịu tải trọng nhẹ, vật liệu và cấu tạo của các lớp kết cấu phải đảm bảo các yêu cầu sau đây:

a/ Lớp mặt bê tông xi măng rỗng

- Cường độ chịu nén tối thiểu đạt 20 Mpa [2, 3, 4].
- Cường độ chịu kéo uốn đạt tối thiểu 4,0 Mpa [2, 3].
- Độ rỗng: 15 %÷25 % [4, 5].
- Độ thấm tối thiểu: 50÷100 lần so với cường độ mưa của khu vực thiết kế [6].

b/ Lớp móng trên

- Lớp móng trên và lớp móng dưới phải có khả năng chống xói, có độ cứng thích hợp, vì vậy nên lựa chọn loại vật liệu cho lớp móng trên là cấp phối đá dăm có CBR > 100 %, tiêu chuẩn thử nghiệm TCVN 8859:2011 [2, 3, 5].
- Đối với đường có cấp quy mô giao thông nhẹ, lớp móng trên được sử dụng bằng cấp phối đá dăm có chiều dày 80÷200 mm [2, 3, 5].



Hình 2. Kết cấu điển hình mặt đường bê tông xi măng rỗng thoát nước chịu tải trọng nhẹ.

c/ Lớp móng dưới

- Đối với đường có quy mô giao thông thiết kế thuộc cấp trung bình và nhẹ thì có thể không bố trí lớp móng dưới [2, 3, 5].
- Đối với các loại kết cấu mặt đường phải bố trí lớp móng dưới thì chiều dày lớp móng dưới bằng cấp phối đá dăm trong khoảng 180 ÷ 240 mm, bằng cấp phối đá dăm gia cố xi măng trong khoảng 150 ÷ 200 mm. Nên chọn chiều dày lớp bằng chiều dày tối đa có thể lu chặt 1 lần [2, 3, 5].

d/ Lớp đáy móng

Sử dụng đá dăm có góc cạnh. Cốt liệu đá dăm phải có kích thước đồng đều, không lẫn hạt mịn. Lớp đáy móng có độ rỗng 30÷40 %, độ dẫn thủy lực của lớp vật liệu thường đạt 10÷500 mm/s [5].

e/ Lớp vải địa kỹ thuật

Vải địa kỹ thuật phải tuân thủ theo TCVN8871:2011. Đối với địa không thấm nước, thường được sản xuất từ vật liệu từ polyethylene (HDPE), polypropylene hoặc cao su monome ethylene propylene diene (EPDM).

f/ Nền đất

Lớp nền thường được đầm chặt với mật độ Proctor 90 %÷95 %. Đối với những khu vực là nền cát thì lượng nước thấm qua nền cát là đáng kể ngay cả sau khi đầm chặt. Khi đó, tốc độ thấm của nền đường cần được kiểm tra để tính toán độ dày dự kiến của lớp đáy móng và chiều dày tấm bê tông rỗng đáp ứng mục đích lưu giữ lượng nước cần thiết và chịu được tải trọng yêu cầu [5]. Đối với những khu vực nền đất yếu, thì lớp móng dưới hoặc lớp đáy móng có thể tăng chiều dày

để tăng cường độ chịu lực cho kết cấu mặt đường. Khả năng thấm của đất nền sẽ được trình bày ở mục 2.3.

2.2. Tính toán kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng thoát nước theo điều kiện cường độ chịu lực

Kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng là loại kết cấu áo đường cứng. Vì vậy, phương pháp tính toán kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng đảm bảo điều kiện cường độ chịu lực được thực hiện tương tự như kết cấu mặt đường bê tông xi măng truyền thống và được áp dụng theo các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu áo đường cứng hiện hành [5, 7]. Khi đó, kết cấu mặt đường đã được thiết kế sơ bộ ở các bước trên cần được kiểm toán theo hai trạng thái giới hạn dưới tác dụng tổng hợp của tải trọng xe chạy trùng phục và tác dụng lặp đi lặp lại của sự biến đổi gradien nhiệt độ giữa mặt trên và mặt dưới của tấm bê tông xi măng rỗng thoát nước. Nếu kết quả kiểm toán đạt được các tiêu chuẩn về các trạng thái giới hạn thì cấu tạo kết cấu mặt đường ở bước thiết kế sơ bộ là được chấp nhận. Ngược lại, nếu kết quả chưa đạt tiêu chuẩn thì cần thay đổi chiều dày các lớp kết cấu và tiếp tục kiểm toán lại cho đến khi đạt tiêu chuẩn cho phép.

Mô hình tính toán là mô hình tấm một lớp trên nền đàn hồi nhiều lớp áp dụng cho trường hợp tấm bê tông xi măng rỗng đặt trên lớp móng (lớp móng trên) bằng vật liệu hạt. Kết cấu mặt đường được tiến hành kiểm toán theo các tiêu chuẩn trạng thái giới hạn dưới đây.

$$\gamma_r \cdot (\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) \leq f_r \tag{1}$$

$$\gamma_r \cdot (\sigma_{pmax} + \sigma_{tmax}) \leq f_r \tag{2}$$

Trong đó:

σ_{pr} : là ứng suất kéo uốn gây bởi do tác dụng xe chạy tại vị trí tấm bê tông để bị phá hoại mặc định (Mpa);

σ_{tr} : là ứng suất kéo uốn gây bởi do tác dụng gradien nhiệt độ gây ra cũng tại vị trí tấm bê tông để bị phá hoại mặc định (Mpa);

σ_{pmax} : là ứng suất kéo uốn do tải trọng trục xe nặng nhất gây ra tại vị trí tấm bê tông để bị phá hoại mặc định (Mpa);

σ_{tmax} : là ứng suất kéo uốn lớn nhất gây ra tại vị trí tấm bê tông để bị phá hoại mặc định khi xuất hiện gradien nhiệt độ lớn nhất giữa mặt trên và mặt dưới tấm bê tông (Mpa);

f_r : là cường độ kéo uốn thiết kế của bê tông xi măng (Mpa);

γ_r : là hệ số độ tin cậy.

Các thông số trên được xác định theo tiêu chuẩn thiết kế kết cấu áo đường cứng hiện hành [2].

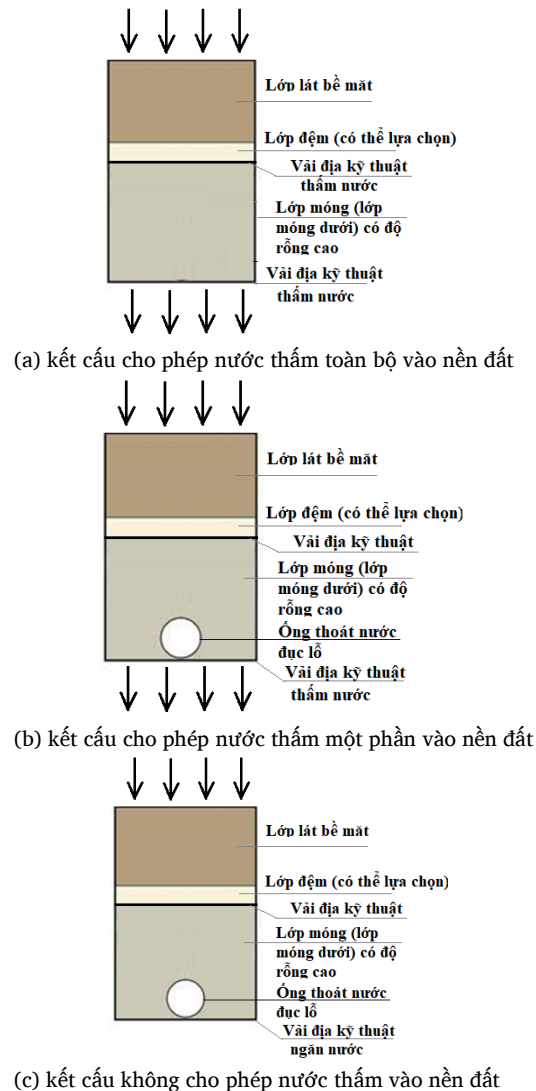
2.3. Tính toán kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng thoát nước theo điều kiện thủy lực

Dựa vào khả năng thấm và sức chịu tải của nền đất, kết cấu mặt đường bê tông rỗng thoát nước được phân thành ba loại như sau:

- Kết cấu mặt đường cho phép nước thấm toàn bộ vào nền đất. Kết cấu này áp dụng cho những nơi đất nền có hệ số thấm cao $K = 10^{-6} \div 10^{-3}$ m/s [7].

- Kết cấu mặt đường không cho phép nước thấm vào nền đất. Kết cấu này áp dụng cho những nơi đất nền có hệ số thấm thấp $K = 10^{-10} \div 10^{-8}$ m/s hoặc những nơi sức chịu tải của đất thấp (sức chịu tải CBR - California Bearing Ratio; $CBR < 2,5 \%$), nơi có dòng chảy bề mặt chứa những chất gây ô nhiễm, nơi có mực nước ngầm nằm gần sát đáy của kết cấu ($< 1,0$ m).

- Kết cấu mặt đường không cho phép nước thấm vào nền đất. Kết cấu này áp dụng cho những nơi đất nền có hệ số thấm thấp $K = 10^{-10} \div 10^{-8}$ m/s hoặc những nơi sức chịu tải của đất thấp (sức chịu tải CBR - California Bearing Ratio; $CBR < 2,5 \%$), nơi có dòng chảy bề mặt chứa những chất gây ô nhiễm, nơi có mực nước ngầm nằm gần sát đáy của kết cấu ($< 1,0$ m).



Hình 3. Các loại kết cấu mặt đường bê tông rỗng thoát nước.

Để thiết kế kết cấu mặt đường bê tông rỗng thoát nước đảm bảo các yếu tố thủy lực, cần xác định các thông số sau đây của lớp đáy móng (lớp lưu giữ nước):

- Chiều dày lớp vật liệu của lớp đáy móng.
- Đường kính ống thoát nước đục lỗ (nếu có).
- Số lượng các điểm xả nước (nếu có).
- Thời gian lưu giữ nước.

Trong phần tính toán này, nghiên cứu chỉ trình bày cho hai

trường hợp: kết cấu cho phép nước thấm toàn bộ vào nền đất và kết cấu không cho phép nước thấm vào nền đất vì kết cấu cho phép nước thấm một phần vào nền đất thì tùy theo tương quan lượng nước thấm xuống nền đất với cường độ mưa của khu vực có thể coi là bài toán của kết cấu cho phép nước thấm toàn bộ vào nền đất hoặc kết cấu không cho phép nước thấm vào nền đất.

2.3.1 *Tính toán thủy lực lớp đáy móng của kết cấu mặt đường cho phép nước thấm toàn bộ vào nền đất*

Dựa vào phương trình tổng quát về cân bằng nước, xác định các thông số của lớp đáy móng. Để đơn giản tính toán, nghiên cứu này bỏ qua lượng nước bốc hơi qua bề mặt kết cấu, phương trình cân bằng nước được viết như sau:

$$Q_m = Q_f + Q_e + Q_x + Q_b \tag{3}$$

Trong đó:

Q_m : là lượng nước mưa rơi xuống mặt đường bê tông rỗng (m³/s).

Q_f : là lượng nước thấm vào nền đất (m³/s).

Q_e : là lượng nước được chứa trong các lỗ rỗng của lớp đáy móng (lớp lưu giữ nước) (m³/s).

Q_x : lượng nước thoát ra ngoài qua ống thu nước đục lỗ đặt dưới đáy kết cấu (m³/s). Trường hợp này là bài toán cho phép nước thấm toàn bộ vào nền đất nên $Q_x = 0$.

Q_b : là lượng nước hình thành dòng chảy trên bề mặt (m³/s). Tuy nhiên, do dòng chảy trên bề mặt chỉ xuất hiện khi cường độ mưa rơi trên bề mặt đường vượt quá tốc độ thấm của lớp mặt. Trong khi, lớp lát bề mặt thường được thiết kế với độ rỗng cao và tốc độ thấm lớn (tối thiểu 50÷100 lần so với cường độ mưa)[6], vì vậy coi như không có dòng chảy trên bề mặt $Q_b = 0$.

a/ *Lượng nước mưa rơi xuống mặt đường có khả năng thấm và lưu giữ nước*

$$Q_m = \frac{\psi \cdot I \cdot F \cdot 10^{-6}}{3,6} \tag{4}$$

Trong đó:

F : là diện tích mặt đường có khả năng thấm và lưu giữ nước (m²).

I : là cường độ mưa (mm/h).

ψ : là hệ số dòng chảy ($\psi = 1$).

b/ *Lượng nước thấm vào trong nền đất*

$$Q_f = \frac{f \cdot F \cdot 10^{-6}}{3,6} \tag{5}$$

Trong đó:

f : là tốc độ thấm của nền đất (mm/h). Xác định theo phương trình thấm của Horton:

$$f = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-k \cdot t} \tag{6}$$

f_c, f_0 : là tốc độ thấm khi đạt tới giá trị không đổi và tốc độ thấm ban đầu (mm/h).

k : là hằng số phân rã.

Các thông số này lấy theo kết quả thí nghiệm đất nền. Tuy nhiên sau một thời gian sử dụng, tốc độ thấm sẽ bị giảm đi do hiện tượng lắng cặn. Vì vậy, khi tính toán phải xét tới hệ số an toàn K ($K = 1,5 \div 10$) [5], có thể tham khảo Bảng 1.

Bảng 1. Hệ số kể tới sự giảm tốc độ thấm của đất nền do lắng cặn.

Diện tích mặt đường cần thoát nước (m ²)	Hậu quả khi xảy ra tắc nghẽn		
	Không gây nghiêm trọng hoặc bất tiện cho công trình lân cận	Mức ảnh hưởng trung bình	Gây hư hại hoặc rất gây bất tiện cho công trình lân cận
< 100	1,5	2	10
100 ÷ 1000	1,5	3	10
> 1000	1,5	5	10

c/ *Lượng nước chứa trong lớp đáy móng (lớp lưu giữ nước) và cách xác định chiều dày lớp đáy móng*

Lượng nước chứa trong lớp đáy móng được xác định như sau:

$$Q_e = \frac{W}{3600 \cdot T} = \frac{h \cdot F}{3600 \cdot T} \tag{7}$$

Trong đó:

W, h : là thể tích (m³) và chiều cao lớp nước (m) được chứa trong lớp đáy móng.

T : là thời gian mưa (h).

Chiều cao lớp nước trong lớp móng được xác định theo công thức của Ferguson [5]:

$$h = H \cdot e \tag{8}$$

Trong đó:

H, e : là chiều dày (m) và độ rỗng (%) của lớp vật liệu đáy móng.

Từ công thức (3), (4), (5), (7) và (8), chiều dày lớp đáy móng được xác định theo công thức sau:

$$H = \frac{T}{e} (I - f) \cdot 10^{-3} \tag{9}$$

d/ *Thời gian lưu giữ nước trong lớp đáy móng*

Kết cấu phải đảm bảo thời gian lưu giữ nước trong lớp đáy móng không được vượt quá 24h [7, 8].

Thời gian lưu giữ nước (đơn vị tính là h) là tỷ số giữa chiều cao lớp nước lưu giữ trong lớp đáy móng và tốc độ thấm của đất nền. Công thức như sau:

$$t = \frac{1000 \cdot h}{f} \tag{10}$$

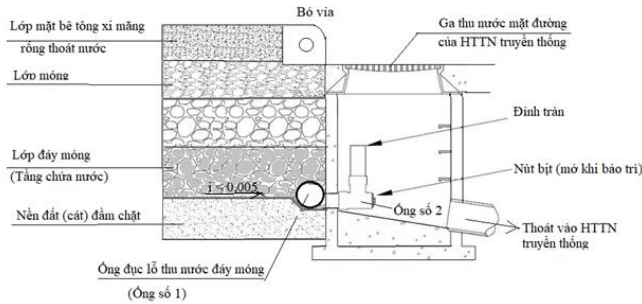
2.3.2 *Tính toán thủy lực lớp đáy móng của kết cấu mặt đường không cho phép nước thấm vào nền đất*

Trong trường hợp này, chiều dày lớp đáy móng của kết cấu mặt đường phụ thuộc vào phương pháp xả nước ra khỏi đáy móng. Bao gồm phương pháp xả theo đỉnh tràn và phương pháp xả đáy.

a/ *Tính toán thủy lực lớp đáy móng theo phương pháp xả tràn*

Hình 4 là cấu tạo lớp đáy móng chứa nước với phương pháp xả nước bằng đỉnh tràn. Lớp đáy móng có cấu tạo bằng đá dăm loại đá 2x4 đầm chặt, độ rỗng 30 ÷ 40 % và được lắp đặt ống thu nước đục lỗ (ống số 1) để thu gom nước xả ra khỏi đáy móng. Tuy nhiên, để lưu giữ lượng nước mưa trong lớp đáy móng trong suốt thời gian mưa tính toán thì phải bố trí các điểm xả nước bằng đỉnh tràn (ống số 2). Đỉnh tràn được đặt kết hợp trong các ga thu nước mặt đường của hệ

thống thoát nước truyền thống. Cao độ đỉnh tràn cách cao độ bề mặt vật liệu của lớp đáy móng (tầng chứa nước) tối thiểu là 0,15m để tạo áp lực tự do cho nước từ đáy móng thoát qua đỉnh tràn [7]. Đáy của lớp đáy móng có độ dốc ngang nhỏ hơn 0,005 hướng về ống thu nước đục lỗ (ống số 1). Ống thu nước đục lỗ có độ dốc dọc tối thiểu là 0,005 về phía giếng thu nước mặt đường. Khi cường độ mưa vượt quá thời gian lưu giữ nước của kết cấu mặt đường, nước sẽ không xả theo đỉnh tràn mà sẽ theo ống số 1 thoát ra nguồn tiếp nhận bằng van điều tiết hoặc trạm bơm.



Hình 4. Cấu tạo lớp đáy móng chứa nước với phương pháp xả nước bằng đỉnh tràn.

Dựa theo phương trình cân bằng nước (phương trình số 3), lượng nước chứa trong lớp đáy móng được tính toán như sau:

$$Q_e = Q_m - Q_x \quad (11)$$

Trong đó :

Q_m tính theo công thức (4).

Q_x : là lượng nước xả tràn ra khỏi lớp đáy móng. Lưu lượng này chính là lượng nước được thu gom vào ống thoát nước đục lỗ nằm dưới đáy kết cấu và được xác định như sau :

$$Q_x = N \cdot Q \quad (12)$$

N : là số lượng điểm xả nước ra khỏi lớp đáy móng.

Q : là lưu lượng xả ra tại một điểm xả (đơn vị m^3/s), được tính toán như sau:

$$Q = n \cdot Q_0 \quad (13)$$

n : là số lỗ bố trí trên chiều dài ống thoát nước đục lỗ (chiều dài ống là khoảng cách giữa hai điểm xả).

Q_0 : là lưu lượng của một lỗ thu nước (đơn vị m^3/s), xác định theo công thức:

$$Q_0 = C_0 \cdot A_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0} \quad (14)$$

C_0 : là hệ số lưu lượng của lỗ (0,6÷0,8); Đối với vật liệu có kích thước hạt lớn hơn đường kính lỗ thì lấy $C_0 = 0,8$.

g : là gia tốc trọng trường ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$);

A_0 : là diện tích của một lỗ thu nước (m^2).

H_0 : là cột áp (m); có thể lấy tối thiểu bằng đường kính ống thu nước đục lỗ.

Từ các công thức (4), (5), (7), (8), (11), (12), (13) và (14), ta có chiều dày lớp đáy móng của kết cấu mặt đường như sau:

$$H = \frac{10^3 \cdot T}{e} \cdot \left(I \cdot 10^{-6} - \frac{3,6}{F} \cdot N \cdot n \cdot C_0 \cdot A_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0} \right) \quad (15)$$

- Đường kính ống thu nước đục lỗ (đơn vị là mm), tính theo công thức sau:

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot v}} \quad (16)$$

v : là vận tốc dòng chảy trong ống ($v = 0,5 \div 1,5 \text{ m/s}$).

- Thời gian lưu giữ nước trong lớp đáy móng (đơn vị là h), được xác định như sau:

$$t = t_1 + t_2 \quad (17)$$

Trong đó:

t_1 : là thời gian lưu giữ nước trong lớp đáy móng nằm phía dưới đỉnh tràn (h), tính toán như sau:

$$t_1 = \frac{(H - H_d) \cdot e}{I} \quad (18)$$

I : là cường độ mưa (mm/h);

H : là chiều cao của toàn bộ lớp vật liệu đáy móng (mm);

H_d : là chiều cao lớp vật liệu đáy móng phần phía trên đỉnh tràn (mm);

t_2 : là thời gian lưu giữ nước trong lớp đáy móng [2] nằm phía trên đỉnh tràn áp dụng công thức như sau:

$$t_2 = \frac{H_d}{3600 \cdot V_x} \quad (19)$$

V_x : là tốc độ dòng chảy qua lớp vật liệu đáy móng để ra ống xả (đơn vị m/s), xác định theo công thức sau:

$$V_x = \frac{1}{e} \cdot k \cdot \sqrt{i_d^2 + i_n^2} \quad (20)$$

e : là độ rỗng của lớp vật liệu đáy móng.

k : là độ dẫn thủy lực của vật liệu lớp đáy móng chứa nước (m/s).

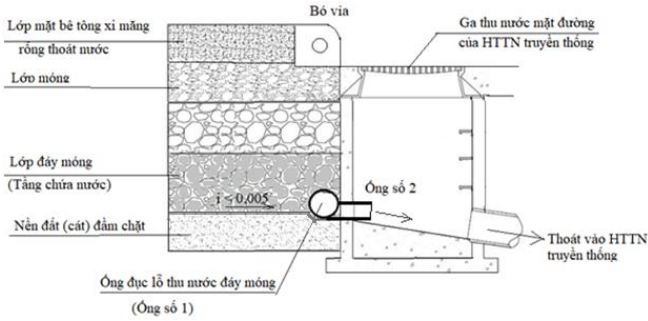
i_d ; i_n : là độ dốc dọc và độ dốc ngang của lớp đáy móng (%).

Sau khi tính toán, thời gian lưu giữ nước không được lớn hơn 24h. Ngoài ra, khi thời gian lưu giữ nước trong lớp đáy móng đạt tới thời gian lưu giữ nước tính toán thì nước sẽ không xả tràn qua các ống xả tràn số 2, mà nước sẽ theo ống thoát nước đục lỗ (ống số 1) thoát ra hệ thống thoát nước hoặc nguồn tiếp nhận bằng van điều tiết hoặc trạm bơm.

- Phạm vi áp dụng: kết cấu mặt đường thấm nước có lớp đáy móng xả nước theo phương pháp đỉnh tràn được áp dụng ở những nơi không giới hạn xây dựng chiều dày tầng chứa nước.

b/ Tính toán thủy lực lớp đáy móng theo phương pháp xả đáy

Hình 5 là cấu tạo lớp đáy móng chứa nước với phương pháp xả đáy. Lớp đáy móng cũng có cấu tạo bằng đá dăm loại đá 2x4 đầm chặt, độ rỗng 30÷40 % và được lắp đặt ống thu nước đục lỗ (ống số 1) để thu gom nước và xả ra khỏi đáy móng bằng các ống xả (ống số 2). Ống xả xả nước ra các ga thu nước mặt đường của hệ thống thoát nước truyền thống. Đáy của lớp đáy móng có độ dốc ngang nhỏ hơn 0,005 hướng về ống thu nước đục lỗ (ống số 1). Ống thu nước đục lỗ có độ dốc tối thiểu là 0,005 về phía giếng thu nước mặt đường. Thời gian lưu giữ nước trong lớp đáy móng ngắn hơn trường hợp xả nước bằng đỉnh tràn.



Hình 5. Cấu tạo lớp đáy móng chứa nước với phương pháp xả đáy.

- Xác định chiều dày lớp vật liệu đáy móng lưu giữ nước:

Để xác định được chiều dày lớp vật liệu đáy móng lưu giữ nước, cần xác định chiều cao lớp nước tối đa trong lớp đáy móng của một trận mưa theo công thức Cedergren (1974) [7] như sau:

$$I = k \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^2 \quad (21)$$

$$\Rightarrow h = b \cdot \sqrt{\frac{I}{k}} \quad (22)$$

Trong đó:

h : là chiều cao lớp nước lớn nhất trong tầng chứa nước (m).

I : là cường độ mưa (m/s).

k : là độ dẫn thủy lực của lớp vật liệu chứa nước (m/s).

b : là 1/2 khoảng cách giữa các điểm xả nước (m).

Vậy chiều dày lớp vật liệu đáy móng như sau:

$$H = \frac{b}{e} \cdot \sqrt{\frac{I}{k}} \quad (23)$$

- Xác định đường kính ống thoát nước đục lỗ :

Trong trường hợp này, lưu lượng nước cần xả ra khỏi đáy móng là lưu lượng chứa trong các lỗ rỗng trong thời gian mưa tính toán. Vì vậy, đường kính ống đục lỗ (đơn vị là mm) xác định theo công thức:

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{Q_e}{\pi \cdot v}} \cdot 1000 \quad (24)$$

Q_e : là lượng nước chứa trong lớp đáy móng (m³/s), được tính theo công thức (7).

v : là vận tốc dòng chảy trong ống ($v = 0,5 \div 1,5$ m/s).

- Thời gian lưu giữ nước:

$$t = \frac{h}{3600 \cdot V_x} \quad (25)$$

V_x : là tốc độ dòng chảy qua lớp vật liệu đáy móng để ra ống xả (đơn vị m/s), xác định theo công thức (20).

Thời gian lưu giữ nước sau khi tính toán không được lớn hơn thời gian mưa. Nếu kết quả tính toán không thỏa mãn điều kiện này thì phải giảm khoảng cách giữa các ống xả.

- Phạm vi áp dụng: kết cấu mặt đường thấm nước có lớp đáy móng xả nước theo phương pháp xả đáy được áp dụng ở những nơi giới hạn xây dựng chiều dày tầng chứa nước.

3. Thử nghiệm ở ngoài hiện trường đối với loại kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng thoát nước chịu tải trọng nhẹ

3.1. Chế tạo bê tông xi măng rỗng trong phòng thí nghiệm

3.1.1. Vật liệu và thành phần cấp phối của bê tông xi măng rỗng

Trong nghiên cứu này, thành phần cấp phối của bê tông xi măng rỗng được thiết kế dựa trên nguyên lý thể tích đặc tuyệt đối và theo các chỉ dẫn trong báo cáo ACI522R10 của Viện bê tông Hoa Kỳ [9], thành phần cấp phối được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Thành phần cấp phối bê tông xi măng rỗng (kg/m³).

Xi măng (XM)	Nước (N)	Đá dăm (Đ)	Phụ gia siêu dẻo PGSD (%XM)
341	102	1625	1,0

Nghiên cứu này đã sử dụng vật liệu chế tạo bê tông xi măng rỗng là xi măng loại PCB40 Vissai để làm chất kết dính đồng thời phù hợp với tiêu chuẩn TCVN6260: 2009 và ASTM C595. Cốt liệu sử dụng là đá dăm kích thước 5x10 mm có $D_{max} = 12,5$ mm, nguồn gốc từ mỏ đá Hòa Bình. Nước dùng để chế tạo bê tông là nước sinh hoạt từ nhà máy nước sông Đà, thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 4056:2012 đối với nước trộn vữa và bê tông. Phụ gia sử dụng loại phụ gia siêu dẻo Sikament NN phù hợp tiêu chuẩn ASTM C494 loại F (phụ gia siêu dẻo giảm nước và nhanh ninh kết cao cấp). Loại phụ gia này có một số đặc tính kỹ thuật như sau:

- Dạng sản phẩm : Dạng lỏng, gốc Naphtalen Formaldehyt Sulfonat.
- Khối lượng thể tích 1,19 đến 1,22 kg/lít; Hàm lượng clorua: không có.
- Lượng dùng điển hình: 0,8 đến 1,2 %.

3.1.2. Trộn hỗn hợp bê tông và tạo mẫu

Trình tự trộn hỗn hợp bê tông được tiến hành theo các bước như sau:

- Đổ xi măng và cốt liệu vào cối trộn. Khởi động máy trộn.
- Trộn trong thời gian 2 phút.
- Đổ hỗn hợp nước và phụ gia siêu dẻo vào cối trộn.
- Trộn tiếp tục trong thời gian 3 phút.
- Sau khi trộn, kiểm tra tính công tác của hỗn hợp bê tông xi măng rỗng bằng cách dùng tay nắm một lượng hỗn hợp bê tông xi măng rỗng thành dạng hình cầu, sau đó quan sát. Lượng nước dùng vừa đủ khi hỗn hợp bê tông vẫn giữ được hình cầu nhưng không bị tách hồ và dính bám vào tay.

Quá trình đầm bê tông và tạo mẫu được tiến hành như sau: đổ bê tông vào các khuôn mẫu, đồng thời chia làm hai lớp và đầm 25 lần/lớp bằng thanh thép (chiều dài 600 mm và đường kính 16 mm). Sau khi đầm xong mỗi lớp, gõ nhẹ vào ván khuôn bằng búa cao su khoảng 10 lần. Ngay sau khi kết thúc quá trình đầm và hoàn thiện bề

mặt, các mẫu bê tông được phủ bởi một lớp ni-lông nhằm tránh mất hơi nước và bảo dưỡng trong phòng với điều kiện nhiệt độ 25 °C và độ ẩm tương đối 50÷60 % trong vòng 24 giờ. Sau đó, tháo ván khuôn và bảo dưỡng mẫu đến 14 ngày tuổi trong môi trường nước nhiệt độ 20-25 °C. Sau 14 ngày, toàn bộ các mẫu được bảo dưỡng trong không khí với điều kiện trong phòng như trên. Các mẫu bê tông xi măng rỗng sau khi tháo ván khuôn được thể hiện trong Hình 6.



Hình 6. Các mẫu bê tông xi măng rỗng sau khi tháo ván khuôn.

3.1.3. Thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của bê tông xi măng rỗng

a/ Khối lượng thể tích và độ rỗng

Khối lượng thể tích và độ rỗng của bê tông xi măng rỗng được xác định theo tiêu chuẩn ASTM C1754/C1754M-12 [10]. Kết quả của 03 mẫu thí nghiệm được trình bày ở Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm khối lượng thể tích và độ rỗng của các mẫu bê tông xi măng rỗng.

Hỗn hợp	Kích thước mẫu	M1	M2	M3
KLTT (kg/m ³)	Mẫu lập phương 150x150x150 mm	2040	2040	2040
Độ rỗng (%)	Mẫu trụ D100xH150 mm	18,4	17,7	19,5

Kết quả trong nghiên cứu này cho thấy khối lượng thể tích của bê tông xi măng rỗng là 2040(kg/m³); độ rỗng trung bình là 18,5 %. Kết quả này đảm bảo yêu cầu để làm lớp mặt kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng như đã trình bày ở mục 2.1.

b/ Cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn

Cường độ chịu nén và kéo khi uốn của bê tông xi măng rỗng được xác định lần lượt theo TCVN 3118-1993 và TCVN 3119- 1993 [11, 12]. Môđun đàn hồi của bê tông xi măng rỗng được xác định theo TCVN 5726:1993 (ASTM C469)[13]. Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo uốn và môđun đàn hồi của bê tông xi măng rỗng tuổi 28 ngày được trình bày ở Bảng 4.

Kết quả thí nghiệm cho thấy, bê tông xi măng rỗng có cường độ chịu nén trung bình là 26,04 (Mpa), cường độ kéo uốn trung bình là 4,0 (Mpa), môđun đàn hồi trung bình là 25,30 (GPa). Kết quả này đảm bảo yêu cầu để làm lớp mặt kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng như đã trình bày ở mục 2.1.

Bảng 4. Cường độ chịu nén, cường độ kéo uốn và môđun đàn hồi của các mẫu bê tông xi măng rỗng.

Hỗn hợp	Kích thước mẫu	M1	M2	M3
Cường độ chịu nén (Mpa)	Mẫu lập phương 150x150x150 mm	26,04	24,24	27,84
Cường độ kéo uốn (Mpa)	Mẫu dầm 100x100x400 mm	4,0	3,8	4,3
Môđun đàn hồi (GPa)	Mẫu trụ D150xH300 mm	25,20	24,00	26,80

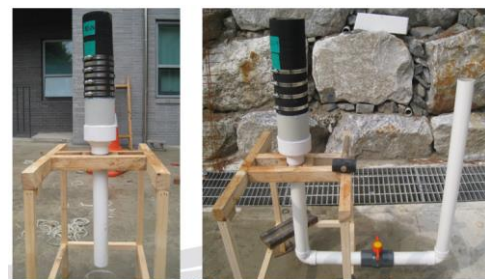
c/ Hệ số thấm

Hệ số thấm là một trong những đặc tính quan trọng của bê tông xi măng rỗng. Trong nghiên cứu này, khả năng thấm của mẫu trụ D100xH150 mm được tính toán trong hai trường hợp. Đối với trường hợp 1, chiều cao mực nước được thay đổi trong phạm vi từ 10÷15 mm so với bề mặt trên của mẫu (trường hợp chiều cao mực nước gần như không thay đổi) gần giống với tiêu chuẩn ASTM C1701/C1701M-17a [14] về thí nghiệm xác định khả năng thấm của bê tông xi măng rỗng tại hiện trường và hệ số thấm được tính theo công thức (26). Đối với trường hợp 2, mẫu bê tông D100xH150 được đặt vào thiết bị thí nghiệm như trong Hình 7. Khi đó, khả năng thấm của mẫu được xác định theo định luật Darcy với trường hợp chiều cao mực nước thay đổi và hệ số thấm xác định theo công thức (27).

$$I = \frac{K \cdot M}{3600 \cdot D^2 \cdot t} \tag{26}$$

Trong đó:

- I :là Hệ số thấm trong trường hợp 1(mm/s).
- M :là lượng nước thấm qua mẫu (kg).
- D :là đường kính trong của ống chứa nước (mm).
- t :là thời gian cần thiết để lượng nước thấm qua mẫu (s).
- K :là hệ số đổi đơn vị (K = 4.583.666.000).



Hình 7. Thí nghiệm xác định hệ số thấm.

$$k = \frac{aL}{At} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \quad (27)$$

Trong đó:

- k : là hệ số thấm trong trường hợp 2 (mm/s).
- a : là mặt cắt ngang của ống chứa nước (mm²).
- L : là chiều cao của mẫu (mm).
- A : là mặt cắt ngang của mẫu (mm²).
- t : là thời gian cần thiết để nước thấm qua mẫu từ h_1 đến h_2 (s).
- h_1 : là chiều cao mực nước ban đầu (mm).
- h_2 : là chiều cao mực nước sau cùng (mm).

Kết quả thí nghiệm về hệ số thấm của các mẫu bê tông xi măng rỗng rỗng được thể hiện ở Bảng 5.

Bảng 5. Kết quả thí nghiệm hệ số thấm của các mẫu bê tông xi măng rỗng.

Hỗn hợp	Kích thước mẫu	M1	M2	M3
Hệ số thấm (mm/s)	Mẫu trụ D100xH150 mm	4,33	3,85	4,95

Kết quả thí nghiệm cho thấy, bê tông xi măng rỗng có hệ số thấm trung bình là 4,38(mm/s). Kết quả này đảm bảo yêu cầu để làm lớp mặt cho kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng thoát nước ở những khu vực có cường độ mưa lớn (I= 150 mm/h).

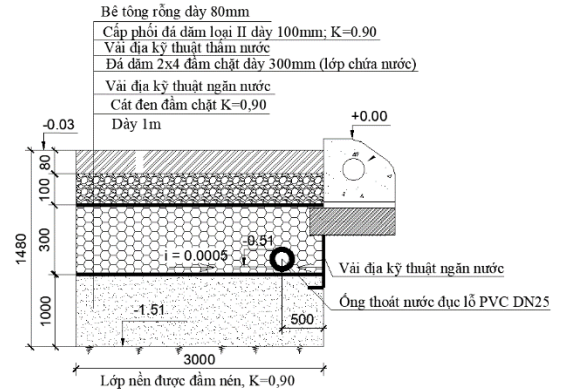
3.2. Thử nghiệm kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng thoát nước chịu tải trọng nhẹ

Mục đích của việc thử nghiệm là đánh giá kết quả sau khi áp dụng mô hình thiết kế đã đề xuất và đánh giá hiệu quả thoát nước của kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng. Trong nghiên cứu này, do đất nền khu vực Hà Nội (nơi thử nghiệm) có hệ số thấm thường thấp nên chỉ tiến hành thử nghiệm loại kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng chịu tải trọng nhẹ và không cho phép nước thấm vào nền đất. Kích thước ô thử nghiệm loại kết cấu này là BxL=3x4 m. Bên cạnh đó, xây dựng ô thử nghiệm loại kết cấu mặt đường bê tông xi măng truyền thống (bê tông xi măng thường) để so sánh và đánh giá hiệu quả thoát nước của loại kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng. Trong quá trình thử nghiệm, sử dụng mô hình mưa nhân tạo có cường độ mưa I=70 mm/h để tạo mưa trên các ô thử nghiệm (cường độ mưa lấy bằng cường độ mưa thiết kế hệ thống cống thoát nước thành phố Hà Nội ứng với chu kỳ 5 năm) (Hình 8). Ngoài ra, để đánh giá hiệu quả thoát nước của các kết cấu, sử dụng máng tràn đo lưu lượng loại đập tràn hình tam giác. Thiết bị này cho độ chính xác là 1 % với phạm vi chiều cao lớp nước trên đỉnh tràn 0,05 m < H < 0,25 m (Hình 10d).

Ô thử nghiệm của kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng thoát nước bao gồm các lớp sau đây theo thứ tự kể từ trên bề mặt xuống nền đất (Hình 9).



Hình 8. Ô thử nghiệm kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng thoát nước và mô hình mưa nhân tạo.



Hình 9. Kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng thoát nước của ô thử nghiệm.

3.2.1. Kiểm toán kết cấu mặt đường thử nghiệm

a/ Theo điều kiện cường độ chịu lực

Số liệu tính toán dựa vào kết cấu mặt đường thiết kế sơ bộ ở Hình 9 và các kết quả thí nghiệm sau khi chế tạo mẫu bê tông xi măng rỗng. Tổng hợp số liệu có các thông số như sau: khu vực thử nghiệm tại địa điểm thành phố Hà Nội có cường độ mưa I=70 mm/h, thời gian mưa 2h. Trị số gradien nhiệt độ khi thiết kế tấm bê tông xi măng rỗng là $T_g = 86 \text{ }^\circ\text{C/m}$ [2]. Nghiên cứu này chỉ tính toán với tải trọng phương tiện lưu thông $\leq 2,5$ tấn (đường cấp nội bộ) với tải trọng trục nhẹ 25 kN và tải trọng trục đơn nặng nhất thiết kế là 60kN. Kết cấu mặt đường bao gồm các lớp: lớp mặt bê tông xi măng rỗng dày 0,08 m, cường độ kéo uốn $f_r = 4 \text{ Mpa}$ và mô đun đàn hồi $E_c = 25,3 \text{ Gpa}$ (các thông số này được lấy từ kết quả thí nghiệm các chi tiêu cơ lý của mẫu bê tông xi măng được chế tạo và trình bày ở mục 3.1); hệ số poisson $\mu_c = 0,15$ [2]; sử dụng cốt liệu đá vôi [2] có hệ số dẫn nở nhiệt $\alpha_c = 7.10^{-6}/^\circ\text{C}$ [2]. Tấm bê tông xi măng rỗng có kích thước 3,0 m x 4,0 m. Lớp móng trên là cấp phối loại 2 dày 0,1 m, mô đun đàn hồi 200 Mpa. Lớp đáy móng bằng đá dăm 2x4 đầm chặt, dày 0,3 m, độ rỗng để chứa nước $e = 40 \%$, mô đun đàn hồi 250 Mpa; độ dẫn thủy lực 360 m/h. Độ dốc đáy móng $i = 0,0005$ về phía ống thu nước đục lỗ. Ống thu nước đục lỗ bố trí 141đ/1 m dài, đường kính lỗ thu nước là 5 mm. Nền đất có mô đun đàn hồi $E_0 = 40 \text{ Mpa}$.

Kết quả kiểm toán:

Kết cấu mặt đường được tiến hành kiểm toán theo các tiêu chuẩn trạng thái giới hạn như đã trình bày ở mục 2.2. Kết quả tính toán như sau :

- Theo điều kiện 1:

$$\gamma_r (\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) \leq f_r \Rightarrow 1,04 \times (2,537 + 0,178) = 2,82 \text{ Mpa} \leq 4 \text{ Mpa}$$

- Theo điều kiện 2:

$$\gamma_r (\sigma_{pmax} + \sigma_{imax}) \leq f_r \Rightarrow 1,04 \times (2,971 + 0,81) = 3,93 \text{ Mpa} \leq 4 \text{ Mpa};$$

Kết luận: kết quả đạt được các điều kiện giới hạn cho phép do đó kết cấu mặt đường đề xuất ban đầu đảm bảo các điều kiện về cường độ chịu lực.

b/ Theo điều kiện thủy lực

Số liệu tính toán dựa vào kết cấu mặt đường đã đề xuất và cường độ mưa của khu vực là 70 mm/h;

Kết quả kiểm toán:

- Trường hợp xả theo đỉnh tràn:

+ Chiều dày lớp đáy móng (lớp chứa nước):

$$H = \frac{10^3 \cdot T}{e} \cdot \left(I \cdot 10^{-6} - \frac{3,6}{F} \cdot N \cdot n \cdot C_0 \cdot A_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0} \right)$$

$$= \frac{10^3 \cdot 2}{0,4} \cdot \left(70 \cdot 10^{-6} - \frac{3,6}{3,4} \cdot 1,10 \cdot 0,8 \cdot 1,9638 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,0125} \right) = 0,23 \text{ m.}$$

+ Thời gian lưu giữ nước:

$$t = t_1 + t_2 = 1,43 + 0,03 = 1,46 < 24 \text{ h}$$

- Trường hợp xả đáy:

+ Chiều dày lớp đáy móng (lớp chứa nước):

$$h = b \cdot \sqrt{\frac{I}{k}} = 4 \cdot \sqrt{\frac{1,94 \cdot 10^{-5}}{0,1}} = 0,056 \text{ (m)} \Rightarrow H = 0,056 / 0,4 = 0,14 \text{ (m).}$$

+ Thời gian lưu giữ nước:

$$t = \frac{h}{3600 \cdot V_x} = \frac{0,056}{3600 \cdot 0,000176} = 0,09 \text{ h} < 2 \text{ h}$$

Kết luận: kết quả đạt được các điều kiện giới hạn cho phép do đó kết cấu mặt đường đề xuất ban đầu đảm bảo các điều kiện về thủy lực.

3.2.2. Thi công kết cấu mặt đường thử nghiệm

Trình tự thi công các kết cấu thử nghiệm như sau:

- Định vị các ô đất thử nghiệm.
- Đào rãnh thoát nước để dẫn nước thoát từ khu đất thử nghiệm về hệ thống thoát nước hiện có của khu vực.
- Thi công lớp cát nền. Sử dụng vật liệu cát đen có Dmax = 0,3 mm để san lấp mặt bằng. Cát đen được rải thành nhiều lớp, chiều dày mỗi lớp trung bình 15cm và được đầm chặt bằng máy đầm bàn Honda PC60. Máy đầm có kích thước mặt đầm 530x330 mm; lực ly tâm 1030 kgf; vận tốc di chuyển 20-25 m/phút; trọng lượng 60 kg. Mỗi lớp cát được đầm chặt 10 lượt và thường xuyên được tưới nước trước khi đầm. Sau đó, để sau 3 ngày và theo dõi, đo đạc nếu lớp cát nền đạt chiều dày thiết kế yêu cầu thì mới được tiến hành các công việc tiếp theo.
- Rải vải địa kỹ thuật loại không thấm (loại cường lực 28 kN/m).
- Thi công lớp đáy móng (lớp chứa nước): dài một dải lớp đá dăm 2x4 đầm chặt dày 5 cm, rộng 10 cm để đệm ống thoát nước đục lỗ. Sau đó, đặt ống đục lỗ PVC DN25, PN16; ống đục lỗ được bố trí 14 lỗ/1m dài đường ống, đường kính 1 lỗ là 5 mm. Ống thoát nước đục lỗ đặt

đốc về phía điểm xả nước là 0,003 (Hình 10a). Tiến hành rải đá dăm và đầm chặt. Rải đá dăm thành nhiều lớp, mỗi lớp dày 10 cm và đầm chặt 10 lượt bằng máy đầm bàn. Lớp đá dăm có độ dốc ngang về phía ống thu nước đục lỗ là 0,0005 và độ dốc dọc là 0,0005. Thường xuyên được tưới nước trước khi đầm.

- Khi lớp đá dăm đầm chặt đạt chiều dày thiết kế, tiến hành rải lớp vải địa kỹ thuật thấm nước.
- Thi công lớp móng trên: tiến hành rải cấp phối đá dăm loại 2 trên lớp vải địa kỹ thuật thấm nước. Lớp cấp phối đá dăm này dày 10 cm và được đầm chặt 10 lượt bằng máy đầm bàn. Thường xuyên được tưới nước trước khi đầm.
- Thi công lớp mặt bê tông xi măng rỗng: nguyên vật liệu, tỷ lệ cấp phối và phương pháp trộn bê tông được lấy theo chi dẫn ở mục 3.1. Đồ một mẫu thử có kích thước 1,0x1,0 m và tiến hành đo thấm ở ngoài hiện trường (Hình 10b). Kết quả hệ số thấm là K=5,31 mm/s. Kết quả này lớn hơn so với hệ số thấm của mẫu đã chế tạo trong phòng thí nghiệm (như đã trình bày ở mục 3.1 là K=4,38 mm/s). Nguyên nhân sự sai khác này là do điều kiện thi công ngoài hiện trường (điều kiện nhiệt độ, gió, độ ẩm v.v) khác so với điều kiện chế tạo bê tông rỗng ở trong phòng thí nghiệm và hiện tượng thấm xảy ra đối với tấm bê tông xi măng rỗng ở ngoài hiện trường là diễn ra theo đa phương trong khi mẫu bê tông rỗng trong phòng thí nghiệm chủ yếu diễn ra một phương. Kết quả này hoàn toàn chấp nhận được, vì vậy tiến hành đổ bê tông xi măng rỗng vào ô thử nghiệm và tiến hành đầm lên bê tông bằng máy bàn, số lượt đầm là 10 lượt (Hình 10c).
- Sau khi bề mặt bê tông rỗng hoàn thiện, tiến hành che phủ bảo dưỡng. Kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng sau khi hoàn thiện được thể hiện trên Hình 10d.



(a) Thi công lớp đáy móng



(b) Đo thấm mẫu thử của tấm BTXMR



(c) Đổ bê tông xi măng rỗng cho lớp mặt



(d) Kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng



(e) Máng tràn đo lưu lượng



(f) Đo lưu lượng cho kết cấu bê tông thường

Hình 10. Thi công kết cấu mặt đường thử nghiệm.

3.2.3. Đánh giá kết quả thử nghiệm và hiệu quả thoát nước của kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng thoát nước

a/ Thời gian lưu giữ nước

- Theo phương pháp xả đỉnh tràn: thời gian cho mưa bắt đầu là 9 h 00 phút. Thời gian bắt đầu xuất hiện dòng xả là 10 h 50 phút.

- Theo phương pháp xả đáy: thời gian cho mưa bắt đầu là 10 h 14 phút. Thời gian bắt đầu xuất hiện dòng xả là 10 h 22 phút.

Kết quả so sánh thời gian lưu giữ nước theo tính toán thiết kế và số liệu đo đạc ở ngoài thực địa được thể hiện ở Bảng 6.

Bảng 6. Bảng so sánh thời gian lưu giữ nước theo tính toán thiết kế và số liệu theo đo đạc ở ngoài thực địa.

Cấu tạo đáy móng	Kết quả tính toán thiết kế	Kết quả đo đạc tại thực địa
Không cho phép thấm vào nền đất và xả nước theo phương pháp xả đỉnh tràn	1,46 h	1,50 h
Không cho phép thấm vào nền đất và xả nước theo phương pháp xả đáy	5,4 phút	8 phút

Kết quả thời gian lưu giữ nước ở ngoài thực địa lớn hơn 1,1÷1,4 lần so với thời gian lưu giữ nước thiết kế. Sự sai khác này do tính toán thiết kế chưa kể tới thời gian lưu giữ nước trong các lỗ rỗng của lớp bề mặt bê tông rỗng và lớp móng trên của kết cấu mặt đường.

b/ Lưu lượng nước thoát ra khỏi kết cấu mặt đường

Sử dụng máng tràn đo lưu lượng (Hình 10e) để đo lưu lượng dòng xả ra của kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng và kết cấu mặt đường bê tông xi măng thường (Hình 10f). Kết quả được thể hiện ở Bảng 7, Bảng 8 và Bảng 9.

Bảng 7. Kết quả đo lưu lượng dòng xả ra của kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng xả theo phương pháp xả đỉnh.

Thời gian T(h)	$\Delta T(h)$	Lưu lượng xả Q (m ³ /h)
10h50'	0	0
11h55'	1,08	0,55
12h05'	0,17	0,702
12h25'	0,33	0,87
12h50'	0,42	0,87

Từ kết quả Bảng 7 cho thấy lưu lượng dòng xả ra trung bình trong 2h mưa là 0,68 m³/h.

Bảng 8. Kết quả đo lưu lượng dòng xả ra của kết cấu mặt đường bê tông xi măng rỗng xả theo phương pháp xả đáy.

Thời gian T(h)	$\Delta T(h)$	Lưu lượng xả Q (m ³ /h)
10h22'	0	0
10h43'	0,35	0,55
10h44'	0,017	0,702
10h46'	0,033	0,87
12h22'	1,60	0,87

Từ kết quả Bảng 8 cho thấy lưu lượng dòng xả ra trung bình trong 2h mưa là 0,81 (m³/h).

Bảng 9. Kết quả đo lưu lượng dòng xả ra của kết cấu mặt đường bê tông xi măng thường.

Thời gian T(h)	$\Delta T(h)$	Lưu lượng xả Q (m ³ /h)
10h08'	0	0
10h13'	0,083	0,55
10h14'	0,017	0,702
10h14'20"	0,006	0,87
12h08'	1,90	0,87

Từ kết quả Bảng 9 cho thấy lưu lượng dòng xả ra trung bình trong 2h mưa là 0,86 (m³/h).

Các kết quả trên cho thấy lưu lượng dòng thoát ra khỏi kết cấu mặt đường bê tông xi măng rộng nhỏ hơn dòng thoát ra khỏi kết cấu mặt đường bê tông xi măng truyền thống là 0,7 đến 0,9 lần trong cùng một thời gian mưa, nghĩa là giảm được 10÷20 % lưu lượng dòng xả ra so với kết cấu mặt đường bê tông xi măng truyền thống.

4. Kết luận

Kết cấu mặt đường bê tông xi măng rộng có khả năng phân tán dòng chảy nước mưa trên bề mặt thông qua quá trình thấm, lưu giữ và chứa nước của kết cấu. Điều đó nhằm giảm ngập lụt, ô nhiễm môi trường, tăng mực nước ngầm cho đô thị và cũng là triết lý của giải pháp thoát nước mặt bền vững. Trong khi, các loại kết cấu mặt đường bê tông xi măng rộng có thể được áp dụng rộng rãi cho nhiều loại bề mặt phủ của đô thị. Do đó, việc nghiên cứu kết cấu mặt đường bê tông xi măng rộng có khả năng thoát nước mặt theo hướng phát triển bền vững là điều rất cần thiết. Nghiên cứu này đã trình bày mô hình thiết kế toàn bộ kết cấu mặt đường bê tông xi măng rộng không những đảm bảo về cường độ chịu lực mà còn đảm bảo khả năng thấm và lưu giữ nước tốt. Hơn thế nữa, nghiên cứu cũng trình bày công tác thử nghiệm ở ngoài hiện trường đối với loại kết cấu mặt đường bê tông xi măng rộng thoát nước chịu tải trọng nhẹ. Kết quả thử nghiệm hoàn toàn phù hợp với mô hình thiết kế đề xuất. Mặt khác, lưu lượng dòng xả ra khỏi kết cấu mặt đường bê tông xi măng rộng giảm 10 đến 20 % so với kết cấu mặt đường bê tông xi măng truyền thống trong cùng một thời gian mưa. Tuy nhiên, để tăng cường khả năng ứng dụng của kết cấu mặt đường này vào thực tế, cần có những ban hành về qui trình, tiêu chuẩn vật liệu bê tông xi măng có độ rộng cao.

Tài liệu tham khảo

[1]. Qui chuẩn QCVN 01:2021/BXD, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về quy hoạch xây dựng. NXB Xây dựng.
 [2]. Quyết định 3230/QĐ-BGTVT ngày 14/12/2012 ban hành Quy định tạm thời về thiết kế mặt đường bê tông xi măng thông thường có khe nổi trong xây dựng công trình giao thông.
 [3]. 22TCN223-1995, Áo đường cứng đường ô tô - Tiêu chuẩn thiết kế. Bộ giao thông vận tải, 1995.
 [4]. Civil Engineering Standard Specification, Korea.

[5]. Bruce k.Ferguson, *Porous pavements*. Integrative Studies in Water Management and Land Development, 2005.
 [6]. Steve Wilson, *Design & Construction of Concrete Block Permeable Pavements*. Interpave, 2018.
 [7]. CIRIA C698 London, Site Handbook for the Construction of SUDS, 2007.
 [8]. David Butler and John W.Davies, *Urban drainage*. Spon Press.
 [9]. ACI 522R-10, *Report on Pervious Concrete*. American Concrete Institute, 2010.
 [10]. ASTM C1754/C1754M-12, *Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete*.
 [11]. TCVN 3118:1993: Tiêu chuẩn Việt Nam về bê tông nặng -Phương pháp xác định cường độ nén.
 [12]. TCVN 3119:1993: Tiêu chuẩn Việt Nam về bê tông nặng -Phương pháp xác định cường độ chịu kéo khi uốn.
 [13]. TCVN 5726:1993: Tiêu chuẩn Việt Nam về bê tông nặng -Phương pháp xác định cường độ lăng trụ và môđun đàn hồi khi nén tĩnh.
 [14]. ASTM C1701/C1701M-17a, *Standard Test Method for Infiltration rate of In Place Pervious Concrete*.
 [15]. TCVN 7957:2008: Tiêu chuẩn Việt Nam về Thoát nước - Mạng lưới và công trình bên ngoài.