

Nghiên cứu xác định vị trí phân chia các lớp đổ tối ưu của kết cấu bê tông khối lớn thi công bằng phương pháp đổ liên tục kết hợp phân chia lớp đổ tỏa nhiệt khác nhau

Lê Văn Minh^{1*}, Vũ Chí Công¹

¹ Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

TỪ KHOẢ

Nứt do nhiệt
Bê tông khối lớn
Phương pháp đổ liên tục
Cấp phối tỏa nhiệt khác nhau
Phương pháp phần tử hữu hạn
Trường nhiệt độ
Chênh lệch nhiệt độ tối đa
Bê tông tuổi sớm

TÓM TẮT

Để giải quyết bài toán kiểm soát nứt do nhiệt trong bê tông khối lớn (BTKL) được thi công bằng phương pháp đổ liên tục kết hợp phân chia lớp đổ với cấp phối tỏa nhiệt khác nhau thì việc xác định vị trí chiều dày lớp đổ đóng một vai trò quan trọng. Kết cấu thi công được phân chia thành hai lớp đổ có cấp phối tỏa nhiệt khác nhau, lớp cấp phối dưới (lớp có cấp phối tỏa nhiệt thấp) và lớp cấp phối trên (lớp có cấp phối tỏa nhiệt cao). Bài viết này chủ yếu để nghiên cứu ảnh hưởng của độ dày lớp cấp phối trên đến trường nhiệt độ và đánh giá vết nứt trong khối bê tông bằng cách sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn với sự hỗ trợ của phần mềm Midas Civil. Phương pháp phần tử hữu hạn được dùng để phân tích mô phỏng trường nhiệt độ trong bê tông khối lớn ở tuổi sớm. Từ kết quả trường nhiệt độ người ta kết luận rằng nên sử dụng độ dày lớp cấp phối trên phù hợp để giảm chênh lệch nhiệt độ tối đa và kiểm soát nứt bê tông tuổi sớm. Kết quả nghiên cứu được áp dụng để cung cấp tài liệu tham khảo cho các công trình bê tông khối lượng lớn như đập, hầm chướng, trụ cầu, móng khối lớn và các cấu kiện bê tông khác có quy mô tương tự.

KEYWORDS

Thermal crack
Mass concrete
Continuous concrete placement method
Different heat generation concrete mixture
Finite element method
Temperature field
Maximal temperature difference
Early age concrete

ABSTRACT

In order to solve the problem of thermal cracking control in large-volume concrete which is constructed by continuous pouring method in combination with dividing the pour layer with different heat distribution, the determination of the thickness of the pouring layer plays an important role. Construction structure is divided into two layers with different heat distribution, lower layer (layer with low heat distribution) and upper layer (layer with high heat distribution). This article is mainly to study the influence of the upper layer thickness on the temperature field and to evaluate the cracks in concrete blocks by using the finite element method with the support of Midas Civil software. The finite element method is used to simulate the temperature field analysis in early-age bulk concrete. From the results of the temperature field, it is concluded that appropriate layer thickness should be used to reduce the temperature and control premature cracking of concrete. Research results are applied to provide references for large-volume concrete works such as dams, transfer beams, piers, bridge foundations and other structures of similar scale.

1. Giới thiệu

Tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam TCVN 305:2004 [1] về kết cấu bê tông khối lớn, có phạm vi áp dụng cho các kết cấu Bê tông và Bê tông cốt thép thông thường thuộc các công trình dân dụng, công nghiệp và thủy lợi, đưa ra định nghĩa như sau: “Kết cấu bê tông hoặc bê tông cốt thép được coi là khối lớn khi có kích thước đủ để gây ra ứng suất kéo, phát sinh do hiệu ứng nhiệt thủy hóa của xi măng, vượt quá giới hạn kéo của bê tông, làm nứt bê tông, và do đó cần có biện pháp để phòng ngừa vết nứt”. Như vậy khái niệm về BTKL theo tiêu chuẩn Việt Nam tương tự với khái niệm do bộ tiêu chuẩn Mỹ ACI 207 đưa ra [2]. Ngoài ra, trong điều kiện khí hậu ở Việt Nam, tiêu chuẩn TCVN 305:2004 có quy định các kết cấu có cạnh nhỏ nhất lớn hơn

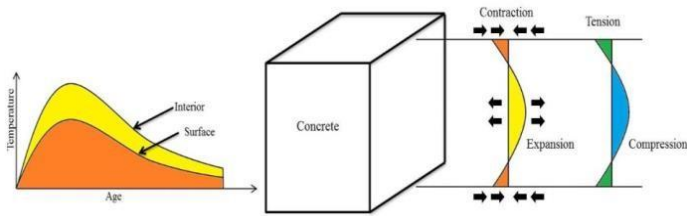
2 m có thể được xem là khối lớn, và với các kết cấu có dạng ngàm hoặc kết cấu có hình khối phức tạp thì kích thước khối lớn sẽ do người thiết kế xem xét quyết định. Các kết cấu bê tông khối lớn như móng khối lớn, đập, hầm chướng, trụ cầu và các cấu kiện bê tông khác có quy mô tương tự [3-5].

Chênh lệch nhiệt độ trong bê tông là do khi nhiệt độ thủy hóa của bê tông tạo ra bị tiêu tán ra môi trường xung quanh làm cho nhiệt độ ở bề mặt bê tông thấp hơn nhiệt độ ở bên trong khối bê tông. Đồng thời nhiệt sinh ra là một hàm của nhiệt độ theo thời gian. Do đó, sự chênh lệch nhiệt độ giữa tâm và bên ngoài của các khối bê tông sẽ tạo ra ứng suất kéo. Nếu ứng suất kéo này lớn hơn cường độ kéo tuổi sớm của bê tông thì hiện tượng nứt sẽ xảy ra [6-8].

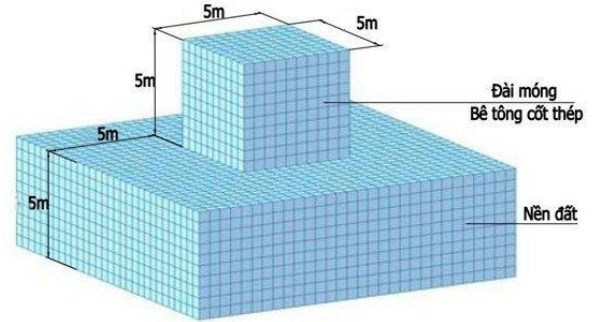
*Liên hệ tác giả: minhlv@huce.edu.vn

Nhận ngày 15/05/2023, sửa xong ngày 03/06/2023, chấp nhận đăng 31/07/2023

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2023.543>



Hình 1. Phân bố ứng suất trong bê tông khối lượng do chênh lệch nhiệt độ [8].



Hình 2. Kích thước tổng thể của mô hình khối của mẫu bê tông móng phân tích.

Các yếu tố quan trọng nhất khi phân tích ứng suất nhiệt ở tuổi sớm là sự phát triển nhiệt độ trong bê tông khối lớn [9]:

- +) Hàm lượng tiêu thụ xi măng;
- +) Chung loại xi măng;
- +) Tính chất nhiệt của bê tông;
- +) Các điều kiện trong quá trình đổ bê tông (nhiệt độ ban đầu của bê tông, nhiệt độ bảo dưỡng, biện pháp thi công);
- +) Nhiệt độ môi trường;
- +) Kích thước hình học của khối bê tông.

Có một số cách để kiểm soát nhiệt độ tối đa; chênh lệch nhiệt độ tối đa và kiểm soát nứt sớm trong bê tông khối, chẳng hạn như giảm hàm lượng xi măng, làm mát trước hỗn hợp bê tông, sử dụng làm mát đường ống, vật liệu cách nhiệt, v.v. [10-11].

Công nghệ thi công BTKL sử dụng cấp phối tỏa nhiệt khác nhau là công nghệ mới. Để kiểm soát nứt, khối bê tông được sử dụng 2 lớp cấp phối có mức độ tỏa nhiệt khác nhau kết hợp với sử dụng tro bay thay thế một phần xi măng và phương pháp bảo dưỡng ủ nhiệt. Đây là công nghệ mới chưa được nghiên cứu nhiều, do vậy đề tài đã nghiên cứu để đưa ra các hướng dẫn về quy trình thi công, bảo dưỡng và nghiệm thu kết cấu BTKL theo công nghệ thi công này.

Nghiên cứu công nghệ đổ bê tông liên tục với cấp phối tỏa nhiệt khác nhau bao gồm nghiên cứu cấp phối, bề dày lớp đổ, chỉ số nứt nhiệt, điều kiện bảo dưỡng, phương pháp nghiên cứu chính của bài báo là phương pháp phân tích phần tử hữu hạn sử dụng công cụ phân tích nhiệt dạng dòng của chương trình Midas/Civil. Công cụ phân tích nhiệt dạng dòng đã được rất nhiều các tác giả sử dụng trong các nghiên cứu của mình [12-20].

Trong bài báo này để nghiên cứu ảnh hưởng cũng như xác định độ dày tối ưu của lớp đổ phía trên có cấp phối tỏa nhiệt nhiều đến trường nhiệt độ và đánh giá vết nứt trong bê tông khối lớn.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Trong nghiên cứu, một mô hình 3D bao gồm một khối bê tông móng có kích thước: 5 × 5 × 5 m đặt trên nền 10 × 10 × 5 m.

Bảng 1. Thông số dữ liệu đầu vào sử dụng trong phân tích.

Dữ liệu đầu vào	Đơn vị	Bê tông lớp dưới	Bê tông lớp trên	Nền đất
Nhiệt dung riêng	kcal/kg ⁰ C	0,25	0,25	0,2
Khối lượng riêng	kgf/m ³	2400	2400	1800
Hệ số dẫn nhiệt	kcal/m.h. ⁰ C	2,3	2,3	1,7
Hệ số trao đổi nhiệt khitiếp xúc môi trường	kcal/m ² .h. ⁰ C	12	12	12
Hệ số trao đổi nhiệt khitiếp xúc ván khuôn thép	kcal/m ² .h. ⁰ C	12	12	-
Nhiệt độ môi trường	°C	20	20	-
Nhiệt độ bảo dưỡng	°C	35	35	-
Nhiệt độ bê tông khi đổ	°C	25	25	-
Cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi	kg/m ²	400	400	-
Hệ số hàm phát triển cường độ nén	ACI	a = 13,9 b = 0,86	a = 13,9 b = 0,86	-
Môđun đàn hồi	kg/cm ²	2,7734 x105	2,7734x105	1,0 x104
Hệ số giãn nở nhiệt		1,0x10 ⁻⁵	1,0x10 ⁻⁵	1,0x10 ⁻⁵
Hệ số poisson's		0,18	0,18	0,2

2.2. Phương trình lý thuyết truyền nhiệt:

Theo [21,23] quá trình truyền nhiệt ba chiều trong môi trường bất đẳng hướng được mô tả bởi phương trình:

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z}) + q(t) \quad (1)$$

Trong đó:

- ρ : Khối lượng thể tích của bê tông, (kg/m³);
- C: Tỷ nhiệt của bê tông, (kcal/kg.°C);
- T(x,y,z,t): Nhiệt độ tại tọa độ (x,y,z) tại thời điểm t, (°C);
- $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$: Hệ số dẫn nhiệt của vật liệu theo các phương x,y,z;
- q(t): Nhiệt sinh ra trong một đơn vị thể tích tại thời điểm t, (kcal/ m³).

Các điều kiện biên:

Tại mặt tiếp xúc của khối bê tông với nền đất
 $T(x, y, z, t) = T_0$ với $t > 0$ (2)

Tại mặt thoát của khối bê tông (biên truyền nhiệt):
 $\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} n_x + \lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} n_y + \lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} n_z + q(t) = 0$ với $t > 0$; (3)

Tại mặt tiếp xúc với ván khuôn (biên đối lưu):
 $\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} n_x + \lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} n_y + \lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} n_z + h_c(T - T_\infty) = 0$ với $t > 0$. (4)

- Trong đó:
- n_x, n_y, n_z : Cosin chỉ phương của mặt truyền nhiệt đang xét;
 - q(t): Nhiệt sinh ra trong một đơn vị thể tích tại thời điểm t, (kcal/ m³);
 - h_c : Hệ số đối lưu, (kcal/ m².h. °C);
 - T_∞ : Nhiệt độ tại mặt đối lưu, (°C).

2.3. Các đặc trưng cơ lý về nhiệt của bê tông:

Bê tông là vật liệu có tính dẫn nhiệt thấp, nên lượng nhiệt thủy hóa của xi măng không kịp thoát ra ngoài và tích tụ trong lòng khối bê tông. Tốc độ tỏa nhiệt tỷ lệ thuận với tỷ số diện tích bề mặt thoát nhiệt trên khối tích bê tông, nên đối với bê tông khối lớn tốc độ thoát nhiệt là chậm hơn rất nhiều so với các kết cấu bê tông thông thường. Vì vậy có thể xem quá trình trao đổi nhiệt trong khối bê tông khi diễn ra phản ứng thủy hóa của xi măng và đóng rắn của bê tông là quá trình đoạn nhiệt [21,22]. Theo [22] lượng nhiệt sinh ra trong quá trình thủy hóa trong một đơn vị thể tích bê tông và nhiệt độ của bê tông tại một thời điểm trong quá trình đoạn nhiệt được xác định theo công thức (5) và (6).

$$q(t) = \frac{1}{24} \cdot \rho \cdot C \cdot K \cdot e^{-\frac{\alpha t}{24}} \quad (5)$$

$$T_{ad} = K \cdot (1 - e^{-\alpha t}) \quad (6)$$

Trong đó:

- q(t): Nhiệt sinh ra trong một đơn vị thể tích tại thời điểm t, (kcal/m³);
- ρ : Khối lượng thể tích của bê tông, (kg/m³);
- C: Tỷ nhiệt của bê tông, (kcal/kg. °C);
- t: Thời gian, (ngày);
- α : Hệ số thể hiện mức độ thủy hóa;
- K: Nhiệt độ tối đa của bê tông trong điều kiện đoạn nhiệt, (°C);
- T_{ad} : Nhiệt độ của bê tông trong điều kiện đoạn nhiệt ở tuổi t (ngày), (°C).

Sự gia tăng nhiệt độ đoạn nhiệt tại thời điểm t (ngày) được xác

định bằng phương pháp thực nghiệm theo công thức (7) [24] :

$$Q(t) = Q_\infty \cdot [1 - e^{-r_{AT} \cdot (t-t_{0,Q})^{s_{AT}}}] \quad (7)$$

Trong đó:

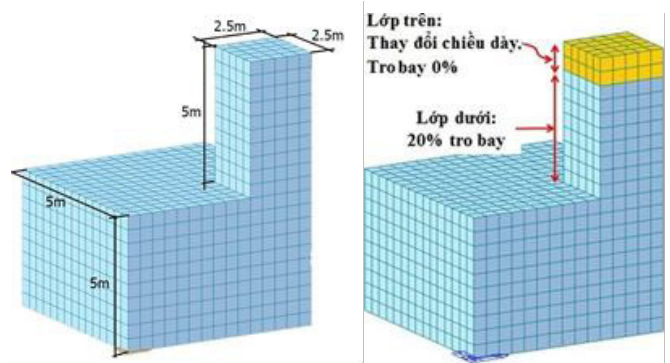
- t: Tuổi bê tông (ngày);
- Q(t): Sự tăng nhiệt độ đoạn nhiệt tại thời điểm t (ngày), (°C);
- Q_∞ : Sự tăng nhiệt độ đoạn nhiệt cuối cùng, (°C);
- r_{AT}, s_{AT} : Các thông số thể hiện tốc độ thay đổi nhiệt độ;
- $t_{0,Q}$: Tuổi bê tông bắt đầu nâng tăng nhiệt, (ngày).

Các đại lượng $Q_\infty, r_{AT}, s_{AT}, t_{0,Q}$ trong công thức (7) được thiết lập là hàm số của nhiệt độ bê tông khi đổ và hàm lượng tùy theo loại xi măng sử dụng.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Mô hình tính toán

Vì mô hình có tính đối xứng nên sử dụng một phần tư kích thước mô hình thực tế để sử dụng trong mô hình phần tích theo phương pháp phần tử hữu hạn như trong Hình 3. Lưới của mô hình được chia với số lượng 2500 phần tử, tương ứng với 3176 nút, được sử dụng để mô phỏng phân tích.



Hình 3. Mô hình phân tích phần tử hữu hạn 3-D.

Nhiệt độ môi trường ảnh hưởng đáng kể đến nhiệt độ tối đa ở trung tâm của khối bê tông trong quá trình đông cứng. Đây là một khối bê tông được xây dựng vào mùa xuân ở phía bắc Việt Nam với nhiệt độ không khí được giả định trung bình là 25 °C, nhiệt độ đất được giả định không đổi 25 °C và nhiệt độ của bê tông lúc đổ là 25 °C.

Để đánh giá ảnh hưởng của chiều dày lớp cấp phối với độ tỏa nhiệt khác nhau đến nhiệt độ lớn nhất và chênh lệch nhiệt độ lớn nhất, tác giả tiến hành phân tích 8 mô hình, với số liệu đầu vào và điều kiện biên như Bảng 1, cấp phối như Bảng 2, mô hình phân tích như Hình 3 và thay chiều dày lớp đổ như Hình 3. Chiều dày lớp bê tông phía trên được thay đổi lần lượt là 0,5 m; 1,0 m; 1,5 m; 2,0 m; 2,5 m; 3,0 m; 3,5 m; 4,0 m; để khảo sát ảnh hưởng của chiều dày lớp cấp phối với tỏa nhiệt khác nhau đến sự thay đổi chênh lệch nhiệt độ tối đa.

Bảng 2. Ma trận các trường hợp phân tích, khối 5,0x5,0x5,0 m.

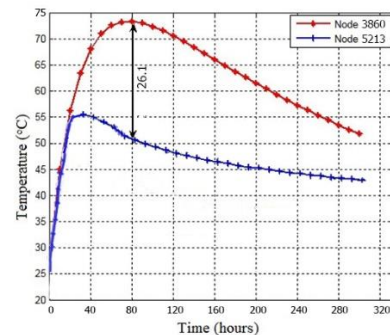
Trường hợp	Thay đổi chiều dày	Cát (kg)	Đá (kg)	Nước (lít)	Bột (kg/m ³)	Xi măng (%)	Tro bay (%)	Loại xi măng
TH1	Lớp trên (0,5 m)					100	0	PCB40, normal
	Lớp dưới (4,5 m)	880	951	160	385	80	20	
TH2	Lớp trên (1,0 m)					100	0	PCB40, normal
	Lớp dưới (4,0 m)	880	951	160	385	80	20	
TH3	Lớp trên (1,5 m)					100	0	PCB40, normal
	Lớp dưới (3,5 m)	880	951	160	385	80	20	
TH4	Lớp trên (2,0 m)					100	0	PCB40, normal
	Lớp dưới (3,0 m)	880	951	160	385	80	20	
TH5	Lớp trên (2,5 m)					100	0	PCB40, normal
	Lớp dưới (2,5 m)	880	951	160	385	80	20	
TH6	Lớp trên (3,0 m)					100	0	PCB40, Normal
	Lớp dưới (2,0 m)	880	951	160	385	80	20	
TH7	Lớp trên (3,5 m)					100	0	PCB40, Normal
	Lớp dưới (1,5 m)	880	951	160	385	80	20	
TH8	Lớp trên (4,0 m)					100	0	PCB40, Normal
	Lớp dưới (1,0 m)	880	951	160	385	80	20	

3.2 Kết quả phân tích

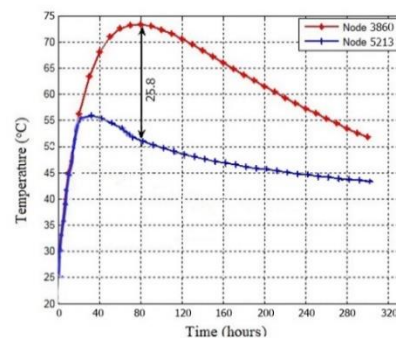
Với sự trợ giúp của chương trình máy tính Midas civil phân tích theo phương pháp phần tử hữu hạn, nhiệt độ tối đa và chênh lệch nhiệt độ tối đa trong bê tông khối lớn với các trường hợp độ dày lớp trên - lớp có cấp phối tỏa nhiệt nhiều hơn (0,5 - 4) m như trong Hình 4 - 11.

Kết quả phân tích cho thấy, khi tăng chiều dày lớp cấp phối trên - lớp có cấp phối tỏa nhiệt nhiều hơn (hàm lượng xi măng lớn hơn) thì nhiệt độ tối đa trong khối bê tông tăng, nhưng chênh lệch nhiệt độ tối đa trong khối bê tông có thể tăng hoặc giảm. Tại thời điểm từ 70 đến 80 h sau khi đổ, khối bê tông có lớp cấp phối trên dày 0,5 m có nhiệt độ lớn nhất $T_{max} = 74,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ và chênh lệch nhiệt độ tối đa là $\Delta T_{max} = 26,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Hình 4), khối bê tông có lớp cấp phối trên dày 1,0 m có $T_{max} = 74,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ và $\Delta T_{max} = 25,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Hình 5), khi khối bê tông có lớp cấp phối trên dày 1,5 m có $T_{max} = 76,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ và $\Delta T_{max} = 26,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Hình 6), khi khối bê tông có lớp cấp phối trên dày 2,0 m có $T_{max} = 78,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ và $\Delta T_{max} = 26,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Hình 7), khi khối bê tông có lớp cấp phối trên dày 2,5 m có $T_{max} = 82,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ và $\Delta T_{max} = 28,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Hình 8), khi khối bê tông có lớp cấp phối trên dày 3,0 m có $T_{max} = 86,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ và $\Delta T_{max} = 30,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Hình 9), khi khối bê tông có lớp cấp phối trên dày 3,5 m có $T_{max} = 89,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ và $\Delta T_{max} = 33,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Hình 10), khi khối bê tông có lớp cấp phối trên dày 4,0 m có $T_{max} = 90,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ và $\Delta T_{max} = 35,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Hình 11). Như vậy theo đánh giá ban đầu, nhiệt độ tối đa trong khối bê tông sẽ có quan hệ bậc nhất với chiều dày lớp đổ phía trên - lớp đổ có cấp phối tỏa nhiệt nhiều hơn (tức là khối đổ có hàm lượng xi măng lớn hơn), chênh lệch nhiệt độ tối đa trong khối bê tông sẽ có quan hệ bậc cao (bậc 2, bậc 3...) với

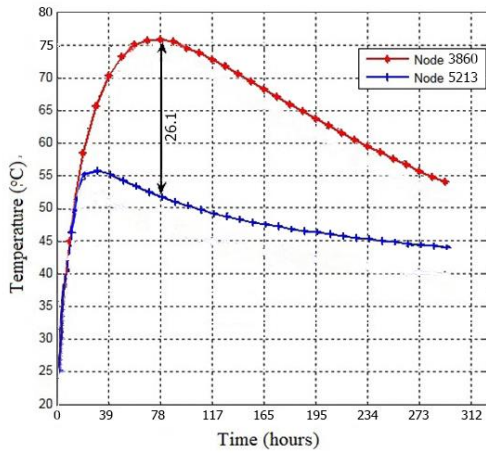
chiều dày lớp đổ phía trên - lớp đổ có cấp phối tỏa nhiệt nhiều hơn (tức là khối đổ có hàm lượng xi măng lớn hơn).



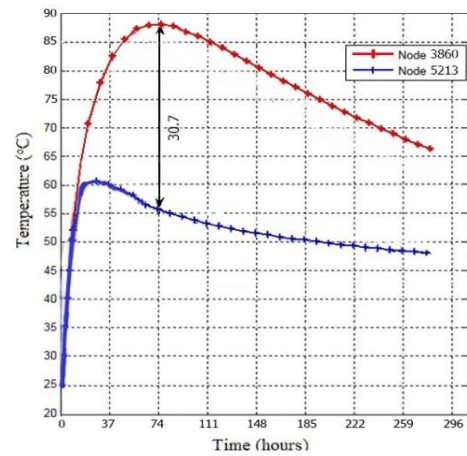
Hình 4. Chênh lệch nhiệt độ tối đa trong bê tông khối lớn với chiều dày lớp trên là 0,5 m.



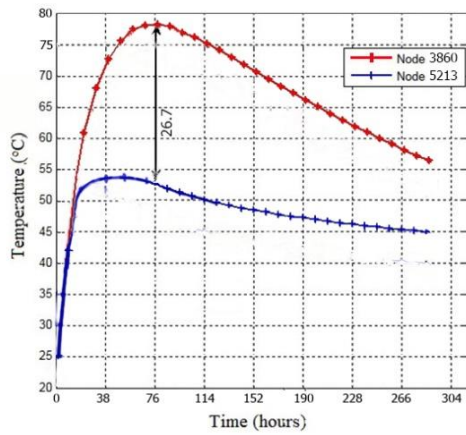
Hình 5. Chênh lệch nhiệt độ tối đa trong bê tông khối lớn với chiều dày lớp trên là 1 m.



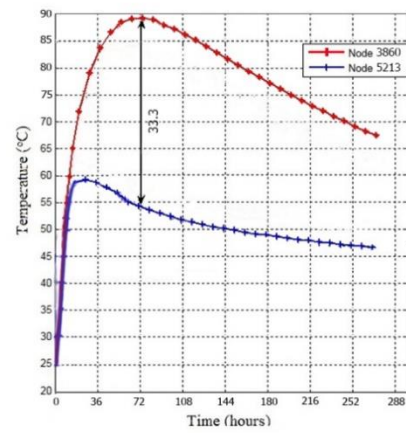
Hình 6. Chênh lệch nhiệt độ tối đa trong bê tông khối lớn với chiều dày lớp trên là 1,5 m.



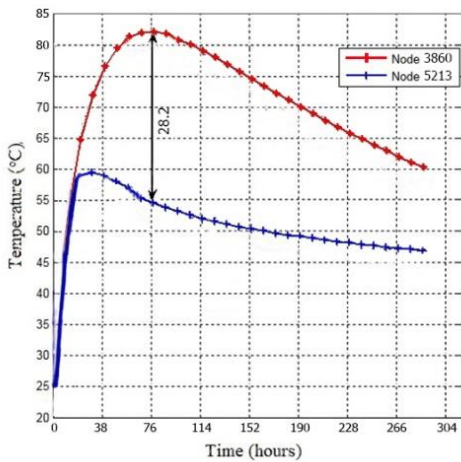
Hình 9. Chênh lệch nhiệt độ tối đa trong bê tông khối lớn với chiều dày lớp trên là 3 m.



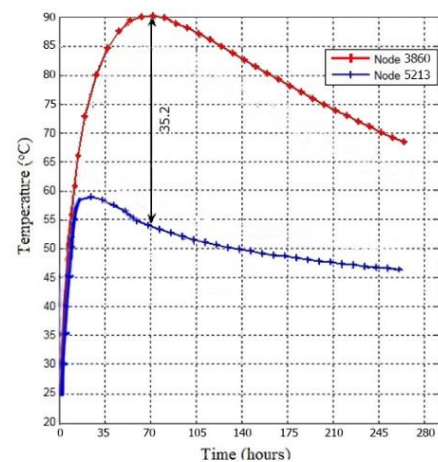
Hình 7. Chênh lệch nhiệt độ tối đa trong bê tông khối lớn với chiều dày lớp trên là 2 m.



Hình 10. Chênh lệch nhiệt độ tối đa trong bê tông khối lớn với chiều dày lớp trên là 3,5 m.



Hình 8. Chênh lệch nhiệt độ tối đa trong bê tông khối lớn với chiều dày lớp trên là 2,5 m.



Hình 11. Chênh lệch nhiệt độ tối đa trong bê tông khối lớn với chiều dày lớp trên là 4 m.

Bảng 3. Chênh lệch nhiệt độ tâm và biên khối bê tông trong các trường hợp phân tích.

Trường hợp	Nhiệt độ tại tâm(°C)	Nhiệt độ bề mặt(°C)	Chênh lệch ΔT_{max} (°C)	Ghi chú
TH1	74,4	50,9	26,1	
TH2	74,8	51,8	25,8	
TH3	76,2	52,0	26,1	
TH4	78,7	52,8	26,7	
TH5	82,3	54,0	28,2	
TH6	86,4	55,7	30,7	
TH7	89,1	55,7	33,3	
TH8	90,1	54,7	35,2	

Với khối bê tông có cấp phối và điều kiện biên như phân tích, chênh lệch nhiệt độ của 8 trường hợp được thể hiện ở Bảng 3. Kết quả phân tích cho thấy, trường hợp TH2 có chênh lệch ΔT là nhỏ nhất. Như vậy, với bài toán kiểm soát nứt nhiệt cho mẫu lập phương 5x5x5 m, chiều dày tối ưu lớp trên là sơ bộ có thể lấy là 1,0 m, lớp dưới là 4,0 m.

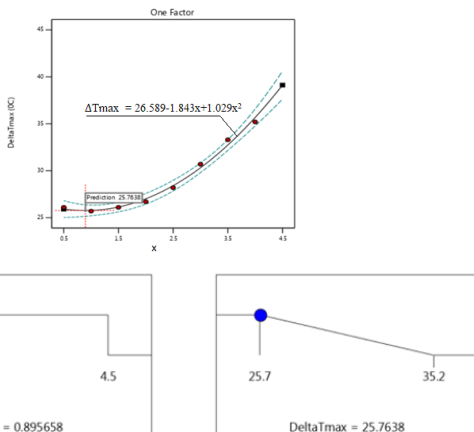
Để tìm ra vị trí phân chia lớp đổ tối ưu, cần tìm nghiệm tối ưu của hàm xấp xỉ chênh lệch nhiệt độ lớn nhất ΔT_{max} theo biến số là chiều dày lớp đổ phía trên D.

Phương trình hàm xấp xỉ chênh lệch nhiệt độ tối đa phụ thuộc vào chiều dày lớn đổ phía trên: $\Delta T_{max} = A + Bx + Cx^2$

Các hệ số A,B,C được xác định theo phương pháp bình phương cực tiểu, ta thu được:

$$\Delta T_{max} = 26,589 - 1,843x + 1,029x^2$$

Nhận thấy hàm số chênh lệch nhiệt độ cực đại trong khối bê tông có quan hệ bậc 2 với chiều dày lớp cấp phối phía trên, hàm số này đạt cực trị (cực tiểu) tại vị trí ẩn số chiều dày $x = 0,9$ m tương ứng với giá trị cực tiểu của độ chênh lệch nhiệt độ tối đa $\Delta T_{max} = 25,76$ °C.



Hình 12. Đồ thị biểu diễn quan hệ chênh lệch nhiệt độ với nhất trong khối bê tông với chiều dày lớp cấp phối phía trên – hình ảnh kết quả nghiệm tối ưu của bài toán.

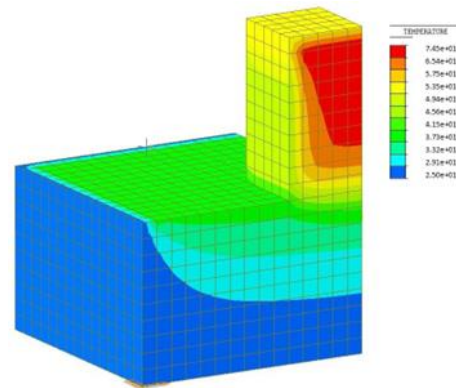
Luận giải kết quả trên, rõ ràng, lớp bê tông phía trên (lớp tỏa nhiều nhiệt) quá mỏng sẽ không tạo ra được nhiều nhiệt, theo đó không trực tiếp làm gia tăng nhiều nhiệt độ bề mặt khối (TH1), trong khi nhiệt độ ở tâm không giảm nhiều. Do đó, sẽ không làm giảm được chênh lệch nhiệt độ ΔT . So sánh với TH2, với lớp trên dày hơn đã làm cho nhiệt độ bề mặt khối tăng lên đáng kể. Trong khi nhiệt độ tâm tăng tương đối ít, theo đó làm giảm ΔT . Với các trường hợp còn lại, khi lớp trên quá dày, mặc dù nhiệt độ bề mặt vẫn tăng lên, nhưng do lớp trên quá dày sẽ tạo ra 1 lượng nhiệt lớn, và lượng nhiệt này sẽ đóng góp vào tâm khối làm cho nhiệt độ ở tâm cũng tăng theo. Kết quả là làm tăng chênh lệch ΔT

Kiểm nghiệm phương trình hồi quy:

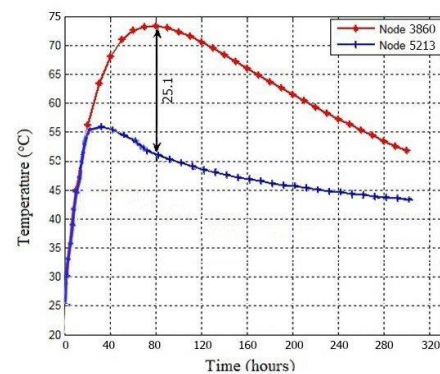
Phương trình hồi quy dạng hàm số bậc 2, đạt cực trị tại vị trí $x = 0,9$ m, tương ứng với $\Delta T_{max} = 25,76$ °C.

Sử dụng thông số đầu vào, điều kiện biên như Bảng 1, mô hình phân tích như Hình 3, với chiều dày và cấp phối lớp trên, lớp dưới như Bảng 4.

Kết quả thu được:



Hình 13. Trường nhiệt độ trong khối bê tông phân tích ở tuổi 80 h.



Hình 14. Chênh lệch nhiệt độ tối đa trong bê tông khối lớn với chiều dày lớp trên là 0,9 m.

Bảng 4. Trường hợp phân tích, khối 5,0x5,0x5,0 m kiểm nghiệm phương trình hồi quy.

Trường hợp	Thay đổi chiều dày	Cát(kg)	Đá (kg)	Nước (lít)	Bột (kg/m ³)	Xi măng (%)	Tro bay (%)	Loại xi măng
	Lớp trên (0,9 m)					10	0	PCB40, normal
TH*	Lớp dưới(4,1 m)	880	951	160	385	80	20	

Theo kết quả phân tích lại bằng phần mềm midas civil thì nhiệt độ tối đa trong khối bê tông là 74,5 °C, chênh lệch nhiệt độ tối đa là $\Delta T_{max} = 25,1^{\circ}C$, sai số so với kết quả thu được từ phương trình hồi quy là 2,56%. Chứng tỏ phương trình hồi quy mô tả sự phụ thuộc của chênh lệch nhiệt độ tối đa trong khối bê tông vào độ dày lớp cấp phối phía trên (lớp có cấp phối tỏa nhiệt nhiều hơn) là đáng tin cậy.

4. Kết luận

Như vậy, để giải quyết bài toán kiểm soát nứt nhiệt trong bê tông khối lớn bằng phương pháp phân chia lớp đổ với cấp phối tỏa nhiệt khác nhau, yếu tố chiều dày lớp đổ đóng một vai trò quan trọng. Chiều dày lớp cấp phối trên (lớp cấp phối tỏa nhiệt) không được mỏng quá, cũng không dày quá.

Các kết quả nghiên cứu mô hình mô phỏng cho thấy khối bê tông có lớp phía trên tỏa nhiệt nhiều hơn có tác dụng như đệm nhiệt giúp giảm sự chênh lệch nhiệt độ giữa bề mặt và tâm khối bê tông. Lớp cấp phối phía trên có thể được xác định thông qua việc giải nghiệm cực trị từ phương trình hồi quy thu được, với điều kiện và giới hạn của nội dung nghiên cứu trong bài báo này thì lớp trên (lớp có cấp phối tỏa nhiệt nhiều) có bề dày bằng khoảng 0,9 m, tức là có tỉ lệ về chiều dày giữa giữa trên và lớp dưới là khoảng 1/4. Các kết quả nghiên cứu này hoàn toàn tương thích với kết quả nghiên cứu được thể hiện trong [25].

Ngoài ra, để giảm sự phát triển nhiệt độ quá cao trong khối bê tông, tro bay được sử dụng thay thế một phần xi măng nhưng vẫn phải đảm bảo cường độ bê tông.

Lời cảm ơn

Tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của trường đại học Xây dựng Hà Nội cho đề tài có mã số 03-2023/KHXD-TĐ.

Tài liệu tham khảo

[1]. TCXDVN 305:2004 (2004), Bê tông khối lớn - Quy phạm thi công và nghiệm thu.
 [2]. ACI Committee 207–Mass and thermally controlled concrete. Korea Concrete Institute, Thermal Crack Control of mass Concrete", Concrete practices
 [3]. Barbara, K., Maciej, B., Maciej, P., and Aneta, Z., "Analysis of crack risk in early age mass concrete with different aggregate types", Procedia Engineering, Vol. 193, 2017, pp 234 - 241.
 [4]. Li, F., Shen, Y., "Full-scale test of the hydration heat and the curing method of the wet joints of a precast segmental pier of a bridge". European Journal of Environmental and Civil Engineering, Vol. 29, 2015, pp 348 - 370

[5]. Barbara, K., Agnieszka, K. W., "Early age thermal and shrink- age cracks in concrete structures – description of the problem", Architecture civil engineering environment, Vol. 2, 2011
 [6]. Worapong, S., Hikaru, N., Minoru, K., and Yasuaki, I., "Analysis of crack propagation due to thermal stress in concrete considering solidified constitutive model", Journal of advanced concrete technology, Vol. 5. No. 1, 2017, pp99 – 112.
 [7]. Tayade. K. C., Deshpande, N. V., Pofale, A. D., "Experimental study of temperature rise of concrete and assessment of cracking due to internal restraint", International journal of civil and structural engineering, Vol. 4, No.3, 2014, pp 353 - 364.
 [8]. Khalifah, H. A., Rahman, M. K., Zakariya Al-Helal, and Sami Al-Ghamdi, "Stress generation in mass concrete blocks with fly ash and silica fume – an experimental and numerical study", Fourth international conference on sustainable construction materials and technologies, August 7- 11,2016.
 [9]. Zhu, Z., Qiang, S., and Chen, W., "A new method solving the temperature field of concrete around cooling pipes". Computers and Concrete, Vol. 11, No. 5, 2013, pp 441 - 462.
 [10]. Couto D., Helene P., Almeida L.C. (2016), "Temperature monitoring in large volume spreadfooting foundations: case study “Parque da Cidade” – São Paulo", Ibracon Structures and Materials Journal, 9 (6): 953-968.
 [11]. Seo T.S., Kim S.S., Lim C.K. (2015), "Experimental Study on Hydration Heat Control of Mass Concrete by Vertical Pipe Cooling Method", Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 14 (3): 657-662.
 [12]. Vũ Chí Công, Hồ Ngọc Khoa, Lê Văn Minh (2022), "So sánh chỉ số nứt nhiệt được xác định bằng 2 phương pháp: Đánh giá đơn giản và phần tử hữu hạn của công hộp bê tông cốt thép", Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng, (1).
 [13]. Vũ Chí Công, Lê Văn Minh, Hồ Ngọc Khoa (2023), "Phân tích xác suất nứt do nhiệt của kết cấu trụ cầu trong quá trình nhiệt thủy hóa xi măng bằng mô phỏng số", Tạp chí vật liệu và xây dựng, (13).
 [14]. Khoa, H.N., Công, V.C. (2012), Phân tích trường nhiệt độ và ứng suất nhiệt trong bê tông khối lớn bằng phương pháp phần tử hữu hạn, Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng, ĐHXD, số 14/12 – 2012.
 [15]. Khoa, H.N., Minh, L.V. (2014), Xác định chỉ số nứt của kết cấu bê tông toàn khối trong thời gian đầu đóng rắn bằng phương pháp phần tử hữu hạn, Tạp chí Xây dựng, Bộ xây dựng, số 8.2014.
 [16]. Khalifah HA, Rahman MK, Al-Helal Zakariya, Al-Ghamdi Sami (2016), "Stress Generation in Mass Concrete Blocks with Fly Ash and Silica Fume– An Experimental and Numerical Study", Fourth international conference on sustainable construction materials and technologies, 7-11.
 [17]. Wang Feng, Chen Chi (2012), "Temperature Sensitivity Analysis of Massive Concrete Mixing with Slag Powder and Fly ash", Advanced Materials Research, Trans Tech Publ, 804-807.
 [18]. Xu Zhi Hua, Sun Da Wei, Xiao Hai (2012), "Finite element analysis of mass concrete temperature crack mechanism", Advanced Materials Research, Trans Tech Publ, 713-716.
 [19]. Hai Tran Hong, Thuc Luu Van (2017), "The Effect of Splitting Concrete Placement on Controlling Thermal Cracking in Mass Concrete", Journal of

- Science and Technology in Civil Engineering (STCE) - NUCE, 11 (6): 7.
- [20]. Li Liang, Liu Xinghong, Dao Vinh TN, Cheng Yonggang (2016), "Thermal cracking analysis during pipe cooling of mass concrete using particle flow code", *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016.
- [21]. J.E Akin (1994), *Finite Element for Analysis and Design*, Academic Press.
- [22]. P. P. Bamforth, D.Chisholm, J.Gibbs, T.Harrison (2008), *Properties of Concrete for use in Eurocode 2*, The Concrete centre.
- [23]. B. Gebhart (1993), *Heat Condition and Mass Diffusion*, McGraw-Hill.
- [24]. JCI, VCA (2011), *Hướng dẫn kiểm soát nứt trong bê tông khối lớn – phiên bản 2008*, VCA, Hà Nội.
- [25]. Park Soon Jeon, Kim Kwang Ki, Lee Sang Hyun (2018), "Application example of hydration heat management of mega foundation and pumpability for high performance concrete used in super highrise building", *The international conference on the 55th anniversary of establishment of Vietnam Institute for Building Science and Technology*, Ha Noi, Viet Nam.