

PHÂN TÍCH TRƯỜNG NHIỆT ĐỘ VÀ ỨNG SUẤT NHIỆT TRONG BÊ TÔNG KHỐI LỚN BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

Hồ Ngọc Khoa¹, Vũ Chí Công²

Tóm tắt: Việc phân tích trường nhiệt độ và ứng suất trong kết cấu bê tông khối lớn có ý nghĩa vô cùng quan trọng, nhằm mục đích kiểm soát nứt trong khối bê tông. Tuy nhiên sự phân bố này thường rất phức tạp, đặc biệt là với những kết cấu có khối tích rất lớn như đài móng nhà siêu cao tầng, dầm chuyển, sàn chuyển... do số lượng phần tử nhiều và khó khăn trong tính toán các điều kiện biên. Bài viết này giới thiệu qui trình lập và giải bài toán phân tích trường nhiệt độ và ứng suất trong bê tông khối lớn bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Từ kết quả phân tích có thể dự đoán được qui luật và mức độ phát triển của trường nhiệt độ và ứng suất trong khối bê tông thời gian đầu đông rắn, từ đó đưa ra những giải pháp thi công phù hợp nhằm kiểm soát nứt do nhiệt thủy hóa xi măng trong các kết cấu bê tông khối lớn.

Từ khóa: Bê tông khối lớn, trường nhiệt độ, ứng suất nhiệt, nứt nhiệt, phân tích phần tử hữu hạn.

Summary: The analysis of temperature fields and thermal stresses in mass concrete structures is highly significant for preventing concrete from cracking. However, the distribution is often very complex, especially with the texture of a massive mat foundations of skyscrapers, transfer beams and transfer floors because of the various elements and the difficulty in fixing the boundary conditions. This article introduces a process of set up and solving the problems of temperature and stress analysis in mass concrete by the finite element method. Based on the results, it can be predicted the rules and the level of development of the temperature field and thermal stress in concrete structures at the first stage of curing duration, which could be useful in making appropriate solutions in preventing thermal cracks owing to cement hydration in these structures.

Keywords: mass concrete, thermal crack, finite element analysis, adiabatic temperature.

Nhận ngày 12/11/2012, chỉnh sửa ngày 26/11/2012, chấp nhận đăng ngày 15/12/2012

1. Đặt vấn đề

Kết cấu bê tông khối lớn có thể tích tụ nhiệt thủy hóa xi măng đủ lớn để gây nên sự thay đổi đáng kể thể tích bê tông trong quá trình đông rắn. Sự thay đổi thể tích không đều sẽ tạo ra ứng suất kéo trong khối bê tông và khi ứng suất này vượt quá giới hạn kéo thì bê tông sẽ bị nứt. Sự thay đổi thể tích này phát sinh từ các yếu tố như: quá trình co khô do mất nước, co nở nhiệt của bê tông không đều do sự chênh lệch nhiệt độ ΔT giữa các phần của khối bê tông [1, 2, 4]. Vì vậy, việc chống nứt nhiệt cho bê tông khối lớn chính là việc kiểm soát được sự phân bố nhiệt độ và ứng suất trong khối bê tông.

¹TS, Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng. E-mail: hnkhoa@yahoo.com

²KS, Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng.

Sự hình thành và phân bố trường nhiệt độ trong bê tông khối lớn về cơ bản phụ thuộc vào các yếu tố nội tại của bê tông cũng như các yếu tố bên ngoài liên quan đến môi trường và công nghệ thi công. Các yếu tố nội tại của bê tông có thể kể đến: số lượng phần tử; loại phần tử (dạng tam giác, chữ nhật); thông số về nhiệt của vật liệu; loại và hàm lượng xi măng; các tính chất về nhiệt của nguyên vật liệu; nhiệt độ bê tông khi đổ; nhiệt dung riêng của bê tông; tốc độ tỏa nhiệt; hình dạng, kích thước kết cấu; cấp phối bê tông. Các yếu tố bên ngoài khối bê tông là các điều kiện biên như: các thông số môi trường (nhiệt độ, độ ẩm, tốc độ gió...); phương pháp bảo dưỡng bê tông; ràng buộc về nhiệt của khối bê tông với các mặt tiếp xúc (ván khuôn, nền đất); các giá trị về nhiệt tại mặt thoáng của khối bê tông; hệ số trao đổi nhiệt [1, 4]. Trong thi công các công trình xây dựng dân dụng và công nghiệp hiện nay có nhiều kết cấu có khối tích rất lớn như đầm, sàn chuyển, đài móng nhà siêu cao tầng, móng máy... Với những kết cấu này lượng nhiệt thủy hóa xi măng rất lớn, mặt khác sự phân bố nhiệt độ và ứng suất trong lòng khối bê tông khá phức tạp. Tuy nhiên, việc xác định trường nhiệt độ, ứng suất của những kết cấu này là rất khó khăn, do số lượng phần tử, số biến và các thông số về điều kiện biên khá lớn.

Bài viết này giới thiệu kết quả phân tích trường nhiệt độ và ứng suất trong quá trình thủy hóa xi măng của kết cấu bê tông khối lớn bằng phương pháp PTHH. Các giá trị tính toán về vật liệu, các điều kiện biên và mô hình được xác lập theo các quy phạm hiện hành cũng như tham khảo thực nghiệm. Kết quả tính toán được phân tích và so sánh với kết quả thực nghiệm. Từ đó có thể kiểm tra lại các thông số thiết kế (cấp phối bê tông, nhiệt độ bê tông khi đổ, phương pháp và thời gian bảo dưỡng...) để đưa ra các điều chỉnh hợp lý về vật liệu và giải pháp thi công nhằm kiểm soát nứt, đảm bảo chất lượng kết cấu bê tông khối lớn.

2. Lý thuyết về quá trình truyền nhiệt và ứng suất do hiệu ứng nhiệt

2.1 Phương trình vi phân chủ đạo của quá trình truyền nhiệt

Theo [5, 6] quá trình truyền nhiệt ba chiều trong môi trường bất đẳng hướng được mô tả bởi phương trình:

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

trong đó: ρ : khối lượng thể tích của bê tông, $[\text{kg}/\text{m}^3]$; C : tỷ nhiệt của bê tông, $[\text{kcal}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}]$; $T(x,y,z,t)$: nhiệt độ tại tọa độ (x,y,z) tại thời điểm t , $[\text{C}]$; $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$: hệ số dẫn nhiệt của vật liệu theo các phương x,y,z ; q : nhiệt sinh ra trong một đơn vị thể tích, $[\text{kcal}/\text{m}^3]$.

Các điều kiện biên:

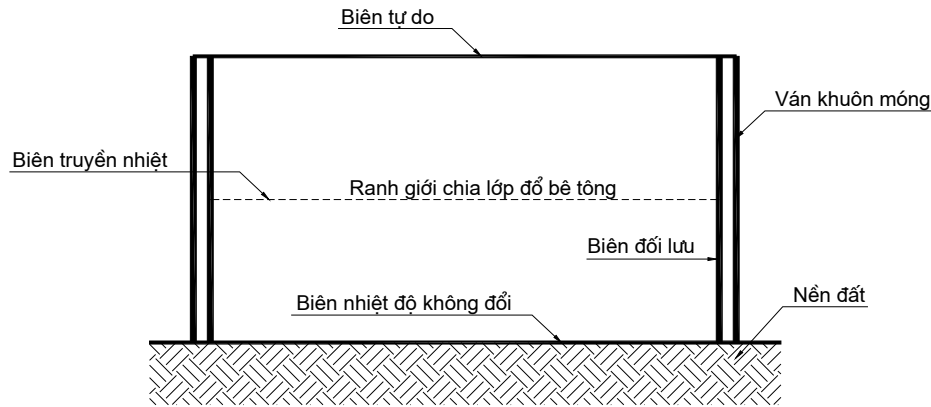
$$\text{Tại biên nhiệt độ không đổi } T = T_0: T(x, y, z, t) = T_0 \text{ với } t > 0 \quad (2)$$

$$\text{Tại biên truyền nhiệt: } \lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} n_x + \lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} n_y + \lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} n_z + q(t) = 0 \text{ với } t > 0 \quad (3)$$

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

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 , $[\text{kcal}/\text{m}^3]$; h_c : hệ số đối lưu, $[\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$; T_∞ : nhiệt độ tại mặt đối lưu, $[\text{C}]$.

Các điều kiện biên trên mô hình đài móng bê tông khối lớn thể hiện ở hình 1.



Hình 1. Các biên truyền nhiệt trong kết cấu đài móng bê tông khối lớn

2.2 Các thông số tính toán nhiệt

2.2.1 Nguồn nhiệt và tăng nhiệt độ đoạn nhiệt của bê tông

Xi măng pooc lăng thông thường có chứa các thành phần khoáng clinke như C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF . Khi tác dụng với nước, xảy ra phản ứng thủy hóa các khoáng clinke sinh ra nhiệt. Tùy theo hàm lượng xi măng, thành phần của từng khoáng mà tốc độ phản ứng và lượng nhiệt phát ra khác nhau [1, 3]. Do 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. Mặt khác do 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 [1]. 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 đông rắn của bê tông là quá trình đoạn nhiệt. Lượng nhiệt thoát ra từ phản ứng thủy hóa xi măng chính là năng lượng của quá trình này, hay nói cách khác chính là nguồn nhiệt của quá trình truyền nhiệt trong bê tông. Đại lượng q ở công thức (1) chính là nguồn nhiệt trên một đơn vị thể tích. Tại cuộc hội thảo về phân tích kết cấu bê tông cốt thép bằng phương pháp phần tử hữu hạn năm 1985 tại Tokyo - Nhật Bản, Tanabe đã đưa ra công thức xác định nguồn nhiệt đơn vị q và quy luật của sự tăng nhiệt độ đoạn nhiệt trong bê tông (công thức 5 và 6). Đến năm 1986, công thức này đã được Hiệp hội kỹ sư xây dựng Mỹ - ASCE công nhận [9].

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

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

trong đó: q : nhiệt sinh ra trong một đơn vị thể tích, [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].

Như vậy, nếu có thể biết giá trị K và α thì có thể tính được nguồn nhiệt q và từ đó xác định được trường nhiệt độ trong khối bê tông. Tuy nhiên, việc tính toán K và α rất phức tạp vì quá trình sinh nhiệt diễn ra trong thời gian dài và phụ thuộc vào nhiều yếu tố. Kết quả nhiều nghiên cứu thực nghiệm đã chỉ ra rằng K và α phụ thuộc trực tiếp vào hàm lượng xi măng, loại xi măng sử dụng và nhiệt độ vữa bê tông khi đổ. Cùng một loại xi măng, khi hàm lượng xi măng và nhiệt độ vữa bê tông khi đổ tăng thì K và α đều tăng. Như vậy, muốn để nhiệt độ trong khối bê tông giảm thì phải giảm hàm lượng xi măng và nhiệt độ ban đầu của vữa bê tông. Theo [7],

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG

hiệt độ tại tâm khối bê tông trong điều kiện đoạn nhiệt được xác định bằng phương pháp thực nghiệm theo công thức (7):

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

trong đó: t : tuổi bê tông [ngày]; $Q(t) \equiv T_{ad}$: nhiệt độ đoạn nhiệt của bê tông ở tuổi t (ngày), [$^{\circ}\text{C}$]; Q_{∞} : nhiệt độ tối đa của bê tông trong điều kiện đoạn nhiệt, [$^{\circ}\text{C}$]; r_{AT} , s_{AT} - các thông số thể hiện tốc độ thay đổi nhiệt độ; $t_{0,Q}$ - tuổi bê tông bắt đầu nâng nhiệt, [ngày].

Các đại lượng Q_{∞} , 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 xi măng tùy theo loại xi măng sử dụng.

2.2.2 Nhiệt độ bê tông khi đổ (nhiệt độ ban đầu)

Theo [8, 9] nhiệt độ bê tông khi đổ được tính theo nhiệt độ và hàm lượng của các thành phần bê tông khi trộn, xác định theo công thức 8:

$$T_m = \frac{C_s(T_g \cdot W_g + T_c \cdot W_c) + T_m \cdot W_m}{C_s(W_g + W_c) + W_m} \quad (8)$$

trong đó: T_m : Nhiệt độ bê tông sau khi được trộn với các vật liệu đã làm mát ($^{\circ}\text{C}$); C_s : Tỷ nhiệt của xi măng và cốt liệu có tính đến nước (lấy $C_s = 0,2$); W_g , T_g - Khối lượng (kg/m^3) và nhiệt độ ($^{\circ}\text{C}$) của cốt liệu; W_c , T_c - Khối lượng (kg/m^3) và nhiệt độ ($^{\circ}\text{C}$) của xi măng; W_m , T_m - Khối lượng (kg/m^3) và nhiệt độ ($^{\circ}\text{C}$) của nước.

Nhiệt độ thực tế có thể cao hơn giá trị tính toán theo công thức 8 do ảnh hưởng của nhiệt thủy hóa xi măng, nhiệt ma sát khi trộn, hiện tượng nóng cơ học của máy trộn...

2.2.3 Nhiệt độ môi trường

Nhiệt độ môi trường ảnh hưởng trực tiếp đến nhiệt độ tối đa và sự giảm nhiệt độ của bê tông khi đổ. Nhiệt độ môi trường trong tính toán được lấy là nhiệt độ trung bình ngày trong 3 năm tại công trường hoặc sử dụng số liệu quan trắc khí tượng tại khu vực thi công [7, 8].

2.2.4 Nhiệt độ tại các biên

Tại biên không thay đổi nhiệt độ, nhiệt độ được lấy theo nhiệt độ trung bình cố định tại mặt tiếp xúc đó, ví dụ: nền đất trong trường hợp thi công đài móng, nhiệt độ được lấy là nhiệt độ trung bình năm. Tại biên đối lưu, nhiệt độ phụ thuộc vào loại cốt pha, thời gian tháo khuôn, vật liệu bảo dưỡng, phương pháp và thời gian bảo dưỡng [6].

2.3 Quan hệ giữa trường ứng suất và nhiệt độ

Theo [5], mối quan hệ giữa ứng suất nhiệt và nhiệt độ trong khối bê tông thể hiện trong công thức:

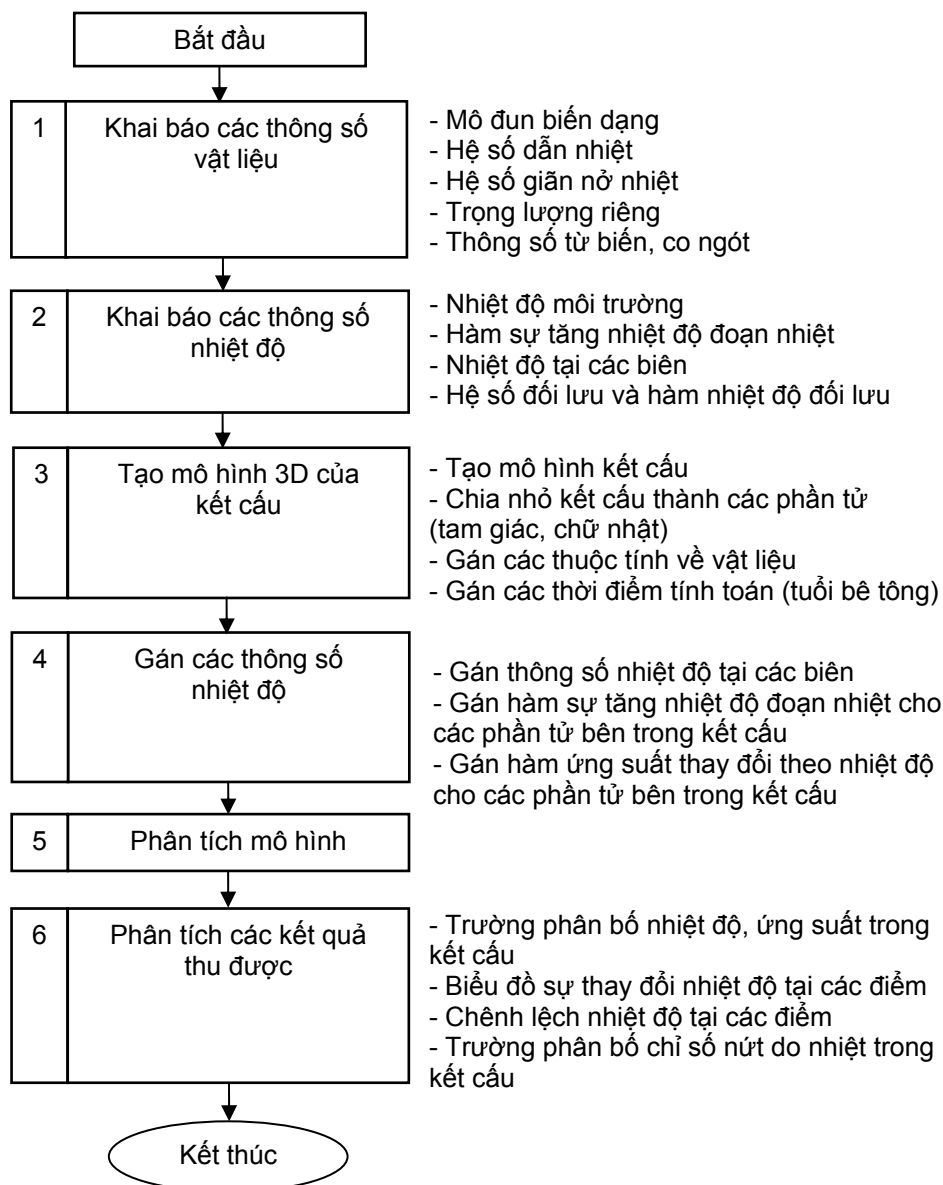
$$\{\sigma\} = [R] \cdot E \cdot \beta \cdot \{\Delta T\} \quad (9)$$

trong đó: $\{\sigma\}$: vectơ ứng suất tại điểm khảo sát, [kG/m^2]; $[R]$: ma trận cân biến dạng của bê tông; E : mô đun đàn hồi của bê tông, [kG/m^2]; $\{\Delta T\}$: vectơ gradient nhiệt độ; β : hệ số giãn nở nhiệt của bê tông.

Qua công thức 9 thấy rằng, khi chênh lệch nhiệt độ ΔT càng lớn thì ứng suất nhiệt trong khối bê tông càng lớn và càng dễ xảy ra nứt nhiệt trong khối bê tông do ứng suất vượt quá giới hạn bền kéo của bê tông. Vì vậy, để chống nứt cho bê tông khối lớn cần kiểm soát chênh lệch nhiệt độ ΔT trong giới hạn cho phép.

3. Quy trình phân tích trường nhiệt độ và ứng suất trong bê tông khối lớn

Việc phân tích trường nhiệt độ và ứng suất trong bê tông khối lớn được thực hiện bằng phương pháp PTHH. Hiện nay có rất nhiều phần mềm phân tích kết cấu bằng phương pháp PTHH có khả năng phân tích nhiệt độ và ứng suất nhiệt như: ANSYS, ABAQUS, MIDAS... Trong nghiên cứu này, phần mềm MIDAS Civil v7.0.1 [10] được sử dụng để khảo sát mô hình tính toán. Quy trình thực hiện gồm 6 bước, mô tả theo sơ đồ khối ở hình 2.

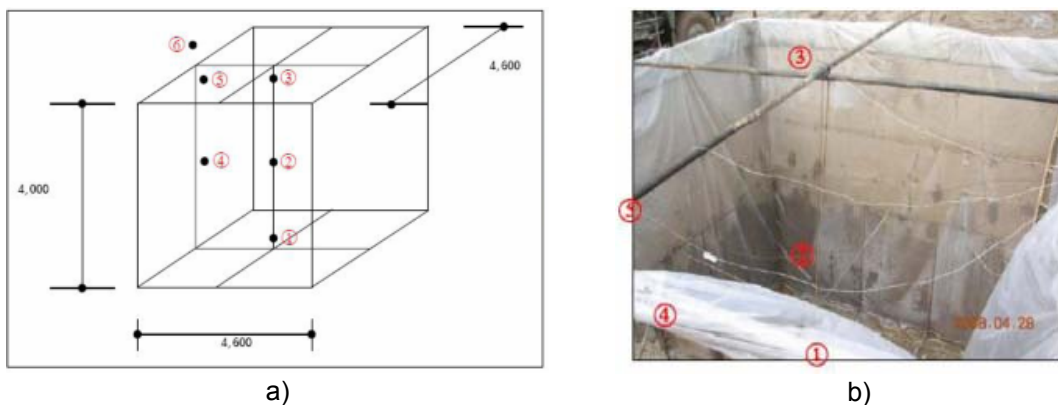


Hình 2. Quy trình phân tích trường nhiệt độ, ứng suất trong bê tông khối lớn bằng phương pháp PTHH

4. Phân tích trường nhiệt độ và ứng suất nhiệt cho một khối mẫu bê tông thí nghiệm cụ thể

4.1. Mẫu thí nghiệm và mô hình phân tích

Đối tượng bài toán phân tích trường nhiệt độ và ứng suất là khối mẫu bê tông đài móng kích thước 4600 x 4600 x 4000 mm, có bố trí các điểm đo nhiệt độ trong khối (hình 3).



Hình 3. Khối mẫu bê tông thí nghiệm

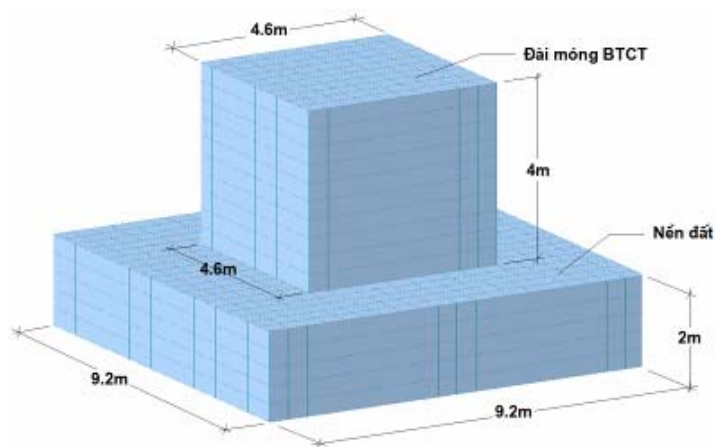
a) Sơ đồ bố trí các điểm đo nhiệt độ; b) Ảnh chụp hiện trường thi công mẫu bê tông thí nghiệm
1, 2, 3, 4, 5 - điểm đo nhiệt độ trong khối mẫu, 6 - điểm đo nhiệt độ môi trường

Đây là khối mẫu được thi công để tiến hành thí nghiệm theo dõi diễn biến nhiệt độ và ứng suất trong khối bê tông, phục vụ thiết kế biện pháp thi công đài móng công trình Keangnam Hanoi Landmark Tower. Chiều cao khối bê tông thí nghiệm (4000 mm) đúng bằng chiều dày lớn nhất của đài móng. Cấp phối bê tông của khối mẫu (bảng 1) giống như cấp phối bê tông được thiết kế cho phần đài móng công trình sẽ thi công.

Bảng 1. Cấp phối bê tông B40 khối mẫu thí nghiệm

Tỷ lệ N/X	Vật liệu cho 1m ³ bê tông (kg/m ³)				
	Cát	Đá	Xi măng	Nước	Phụ gia siêu hóa dẻo
37,5%	829	1007	445	167	5,12 (1,15%)

Các bước thực hiện được tiến hành theo quy trình ở (hình 2). Sử dụng chương trình *MIDAS Civil v7.0.1* phân tích kết cấu theo phương pháp PTHH để phân tích mô hình khối bê tông thí nghiệm mô phỏng (hình 4). Do tính chất đối xứng về vật liệu và các điều kiện biên ở các mặt bên của khối bê tông mô hình, nên để giảm bớt khối lượng tính toán tiến hành phân tích với 1/4 mô hình, với các thông số được tính toán theo các công thức đã trình bày ở phần trên kết hợp với các thông số được xác định từ thực tế thí nghiệm (bảng 1), các điều kiện biên về nhiệt độ, chuyển vị mô tả ở (hình 1).



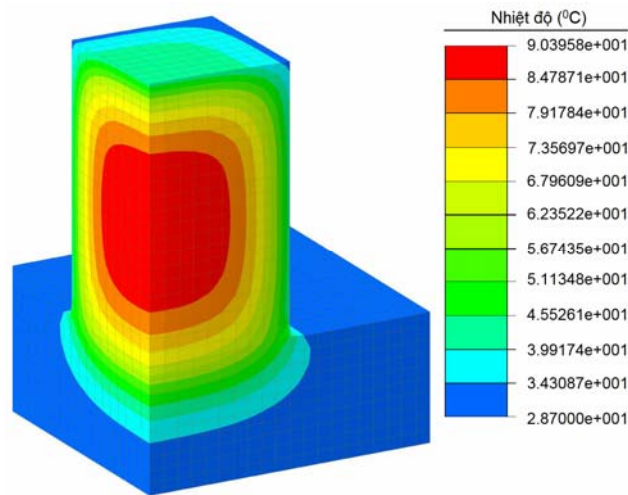
Hình 4. Mô hình khối móng dùng để phân tích

Bảng 2. Các thông số tính toán về vật liệu sử dụng trong phân tích

Đặc điểm \ Phần	Bê tông đài móng B40	Nền đất
Các thông số tra bảng, theo [9]		
Tỷ nhiệt C, [kcal/kg ⁰ C]	0.27	0.2
Khối lượng thể tích, [kG/m ³]	2400	1800
Hệ số dẫn nhiệt, [kcal/m.h. ⁰ C]	2.5	1.7
Hệ số trao đổi nhiệt, [kcal/m ² .h. ⁰ C]	12	12
Cường độ chịu nén, [kG/m ²]	6000000	
Hệ số giãn nở nhiệt	1.0x10 ⁻⁵	1.0x10 ⁻⁵
Hệ số poisson	0.2	0.2
Các thông số tính toán theo các công thức ở mục 2		
Loại xi măng	Tỏa nhiệt thấp	
Hàm lượng xi măng, [kg/m ³]	445	
Tỷ lệ N/X	0.375	
Nhiệt độ bê tông khi đổ [°C] “tính theo công thức 2.8”	30	
Mô đun đàn hồi, [GPa]	35.2	1.0x10 ⁸
Hằng số hàm tăng nhiệt độ đoạn nhiệt “sử dụng cho công thức 2.6”	K = 59.6 ⁰ C ; α = 1.113	
Nhiệt độ môi trường [°C]	28.7	

4.2 Kết quả phân tích và nhận xét

a. Nhiệt độ

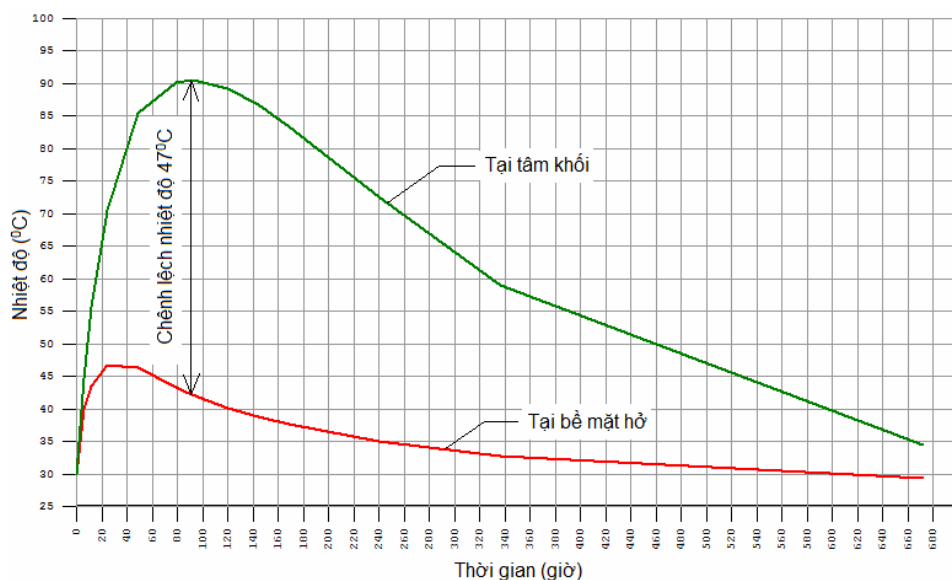


Hình 5. Trường phân bố nhiệt độ trong khối móng ở tuổi 85 giờ

Theo kết quả phân tích, nhiệt độ trong khối bê tông đạt giá trị lớn nhất ở tuổi 85 giờ sau khi đổ, khu vực xung quanh tâm khối móng là nơi có nhiệt độ cao nhất, điểm cao nhất có nhiệt độ là 90,39⁰C (hình 5). Theo dõi sự thay đổi nhiệt độ của điểm 9245 (điểm nằm ở tâm của khối móng) trong mô hình, thấy rằng nhiệt độ tăng rất nhanh ở thời gian đầu (chỉ khoảng hơn 3 ngày

là đã đạt được giá trị lớn nhất) sau đó nhiệt độ giảm dần và ở tuổi 28 ngày, nhiệt độ tại tâm đã giảm đến gần giá trị nhiệt độ bê tông khi đổ và chênh lệch so với nhiệt độ môi trường là không cao (hình 6).

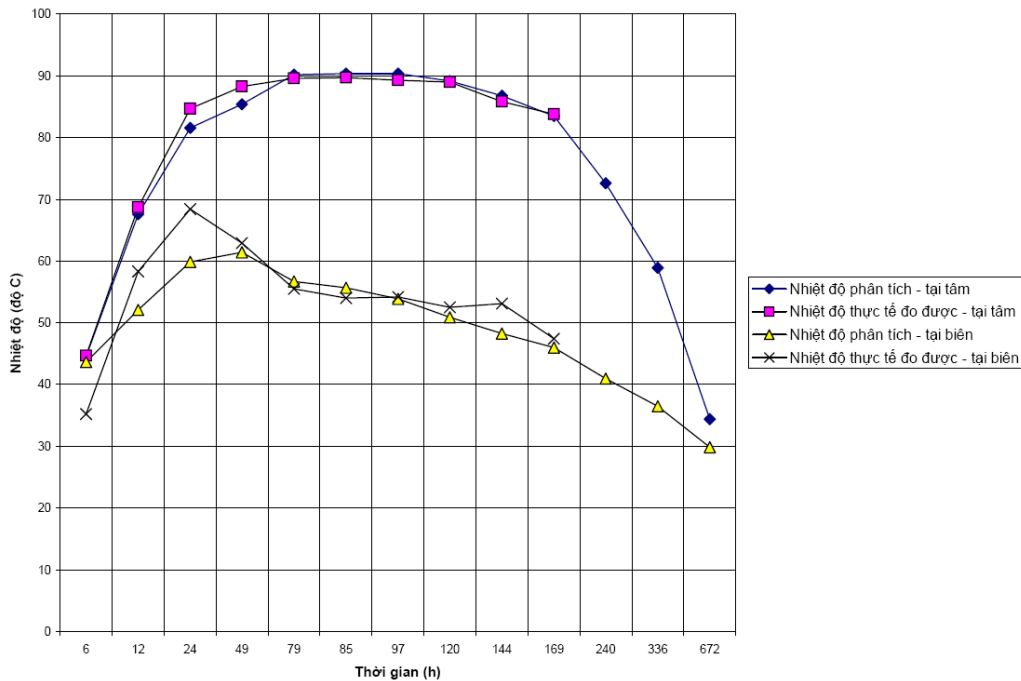
Biểu đồ trường phân bố nhiệt độ tại các thời điểm khác nhau cho thấy thời gian đầu nhiệt độ phân bố khá đều tại các điểm trong lòng khối bê tông, nhưng càng về sau vùng xung quanh tâm khối nhiệt độ tăng cao cùng với thể tích vùng này co nhỏ lại. Điều này có thể giải thích như sau: thời gian đầu sau khi đổ bê tông, vữa bê tông vẫn ở dạng lỏng, khả năng đối lưu và truyền nhiệt tốt nên nhiệt độ phân bố đều. Càng về sau, khi bê tông bắt đầu đông rắn, nhiệt lượng phát ra từ phản ứng thủy hóa xi măng bị tích tụ trong lòng khối và làm nhiệt độ vùng xung quanh tâm tăng rất cao.



Hình 6. Thay đổi nhiệt độ tại tâm khối đổ và mặt hở ở các thời điểm khác nhau

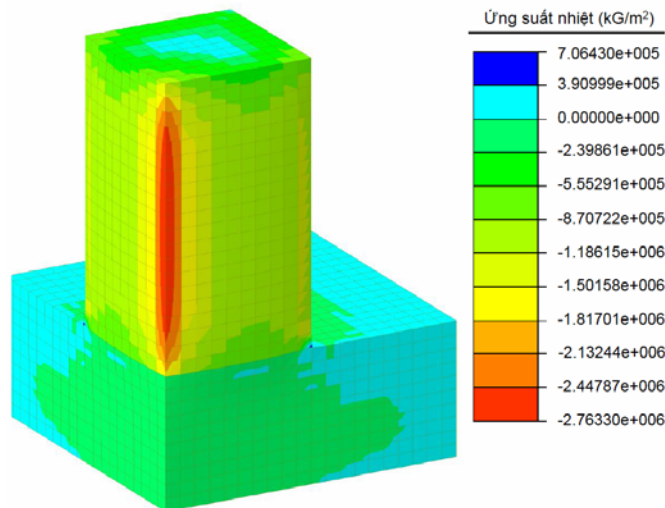
Tại các biên, đặc biệt là biên tự do (mặt thoáng của khối mẫu) nhiệt độ có tăng nhưng không lớn và nhanh chóng giảm nhiệt độ về nhiệt độ môi trường. Tuy nhiên, chênh lệch nhiệt độ giữa điểm nằm trên biên tự do và tâm khối là rất lớn. Tại tuổi 85 giờ: nhiệt độ tại tâm là $90,39^{\circ}\text{C}$ còn nhiệt độ tại mặt thoát nhiệt tự do chỉ là $43,23^{\circ}\text{C}$, chênh lệch nhiệt độ $\Delta T = 47^{\circ}\text{C}$ (hình 6).

So sánh diễn biến nhiệt độ theo kết quả phân tích mô hình với nhiệt độ thực tế đo được tại hiện trường thí nghiệm tại điểm tâm khối bê tông và điểm nằm trên trục đối xứng thẳng đứng, cách bề mặt tự do của khối bê tông 0,2m, thấy rằng qui luật biến thiên của nhiệt độ là giống nhau. Về trị số: tại tâm khối nhiệt độ phân tích tương đối sát với nhiệt độ thực tế đo được; tại điểm gần mặt tự do thì có sự khác nhau, đặc biệt trong thời gian đầu sau khi đổ bê tông, mặc dù sự khác biệt là không lớn (hình 7). Vấn đề ở đây có thể là do hàm nhiệt độ môi trường sử dụng trong phân tích là hằng số (nhiệt độ không khí trung bình trong tháng), khác với nhiệt độ không khí tại từng thời điểm đo, do đó có sự chênh lệch về trị số của 2 phương pháp.



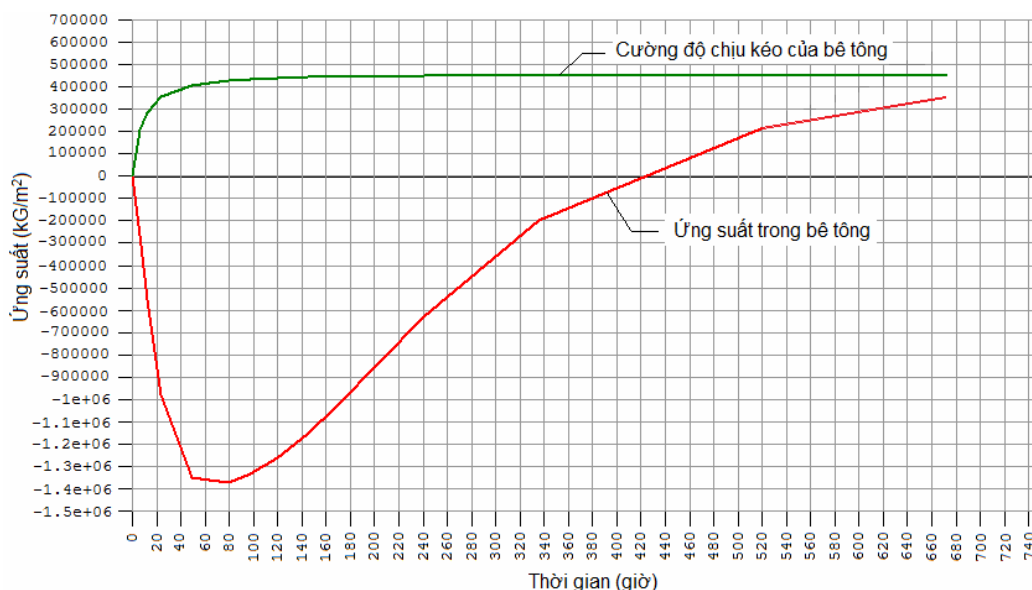
Hình 7. So sánh thay đổi nhiệt độ qua phân tích và thực tế đo được tại tâm và biên của khối đổ
b. Ứng suất

Theo kết quả phân tích ta thấy ứng suất trong khối bê tông ở thời gian đầu sau khi đổ bê tông chủ yếu là ứng suất nén, ứng suất kéo chỉ xuất hiện chủ yếu ở mặt thoáng và xung quanh các góc cạnh ván khuôn (hình 8). Điều này có thể được giải thích là do trong khoảng thời gian này là giai đoạn tăng nhiệt khối bê tông, khi đó phần bê tông phía trong có xu hướng nở nhiệt nên ứng suất phát sinh chủ yếu trong khối là ứng suất nén. Trong khi đó ở mặt thoáng và góc ván khuôn bê tông bị giảm nhiệt độ nhanh (ra môi trường không khí và qua ván khuôn) sẽ có xu hướng co, nhưng do bị các lớp phía trong có nhiệt độ cao hơn kìm giữ và là nguyên nhân phát sinh ra ứng suất kéo của lớp bê tông ở những vị trí này. Khi ứng suất kéo vượt quá giới hạn kéo của bê tông thì bê tông sẽ bị nứt.



Hình 8. Trường phân bố ứng suất nhiệt trong khối đổ ở tuổi 24 giờ

Thay đổi của ứng suất tại tâm khối bê tông và sự phát triển của cường độ chịu kéo của bê tông được thể hiện ở hình 9. Qua biểu đồ nhận thấy rằng: trong giai đoạn tăng nhiệt độ của khối bê tông (60 - 70 giờ đầu đông rắn) ứng suất nén tại tâm khối tăng dần. Trong giai đoạn hạ nhiệt (sau 90 - 100 giờ) ứng suất nén giảm dần do có sự cân bằng với ứng suất kéo bắt đầu xuất hiện trong tâm khối. Trị số của ứng suất kéo tăng dần tùy theo mức độ chênh lệch nhiệt độ giữa tâm và biên của khối bê tông (hình 6, 9). Nếu giá trị ứng suất kéo này vượt quá cường độ chịu kéo của bê tông tại cùng thời điểm thì bê tông sẽ bị nứt.



Hình 9. Thay đổi ứng suất trong khối bê tông và cường độ chịu kéo của bê tông

Căn cứ vào kết quả phân tích có thể dự đoán được qui luật phát triển cũng như giá trị của nhiệt độ và ứng suất trong bê tông để đưa ra được phương án thi công kết cấu bê tông hợp lý hoặc các biện pháp xử lý kịp thời trong quá trình bảo dưỡng phòng chống nứt, đảm bảo chất lượng cho bê tông khối lớn.

5. Kết luận

Kết quả phân tích trường nhiệt độ và ứng suất nhiệt trên khối mẫu thí nghiệm bằng phương pháp PTHH đã mô tả được qui luật thay đổi và xác định được giá trị của chúng tại các vị trí và thời điểm đông rắn khác nhau của bê tông. Kết quả phân tích về cơ bản tương đồng với kết quả đo thực tế bằng phương pháp thí nghiệm hiện trường. Kết quả phân tích khẳng định tầm quan trọng của việc kiểm soát trường nhiệt độ - ứng suất nhiệt để chống nứt nhiệt cho bê tông khối lớn trong điều kiện khí hậu Việt Nam.

Từ việc phân tích mô hình mẫu bê tông thí nghiệm bằng phương pháp PTHH, có thể mở rộng phân tích trên mô hình kết cấu thực tế, từ đó đưa ra dự báo và điều chỉnh kịp thời phương án thi công trước khi thi công chính thức. Căn cứ thay đổi và sự phân bố nhiệt độ - ứng suất nhiệt giữa các phần trong khối bê tông, có thể đưa ra biện pháp thi công và bảo dưỡng hiệu quả nhằm giảm chênh lệch nhiệt độ giữa các lớp bê tông, như: giữ nhiệt khối đổ (bằng vật liệu cách nhiệt); đưa nhiệt trong khối bê tông ra ngoài bằng ống chứa nước lạnh; điều chỉnh sự tỏa nhiệt của các lớp bê tông khác nhau bằng cấp phối hoặc tính toán lượng thép bổ sung chịu ứng suất kéo tại những vị trí cần thiết với mục đích đảm bảo chất lượng và độ bền sử dụng của kết cấu bê tông khối lớn.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Tiến Đích (2010), *Công tác bê tông trong điều kiện khí hậu nóng ẩm Việt Nam*, NXB Xây dựng, Hà Nội.
2. Hồ Ngọc Khoa (2011), *Nghiên cứu biến dạng lớp của kết cấu bê tông, thi công theo phương pháp toàn khối, trong thời gian đầu đóng rắn*, Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp trường, Trường Đại học Xây dựng, Hà Nội.
3. Bazenov I.U.M., Bạch Đình Thiên, Trần Ngọc Tính (2004), *Công nghệ bê tông*, NXB Xây dựng, Hà Nội.
4. Копылов В.Д., Нгуен Куи Дык, Хо Нгок Khoa (2012), “Физические процессы, протекающие в твердеющем в жарком климате бетоне”, Промышленное и гражданское строительство, № 5, Москва.
5. J.E Akin (1994), *Finite Element for Analysis and Design*, Academic Press.
6. B. Gebhart (1993), *Heat Condition and Mass Diffusion*, McGraw-Hill.
7. JCI, VCA (2011), *Hướng dẫn kiểm soát nứt trong bê tông khối lớn – phiên bản 2008*, VCA, Hà Nội.
8. JSCE (2007), *Standard specifications for concrete structures – 2007 “Materials and Construction”*.
9. P. P. Bamforth, D.Chisholm, J.Gibbs, T.Harrison, Bamforth, D.Chisholm, J.Gibbs, Properties of Concrete for use in Eurocode 2, The Concrete centre.
10. MIDAS Information Technology (2004), *Heat of Hydration- Analysis Analysis Manual Version 7.0.1*.