

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

COMPARISON OF THERMAL CRACKING INDEX DETERMINED BY 2 METHODS: SIMPLE EVALUATION METHOD, FINITE ELEMENT METHOD

TS. VŨ CHÍ CÔNG, PGS.TS. HỒ NGỌC KHOA, ThS. LÊ VĂN MINH

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

Email: khoahn@huce.edu.vn

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả so sánh chỉ số nứt nhiệt trong thời gian đầu đóng rắn được xác định bằng 2 phương pháp: đánh giá đơn giản và phần tử hữu hạn của cấu kiện bê tông cốt thép (BTCT) dạng công hộp. Từ đó chỉ ra tính ưu nhược, độ tương quan của hai phương pháp. Nội dung nghiên cứu có đề cập tới mức độ ảnh hưởng của một số yếu tố thực tế tới chỉ số nứt này theo hai phương pháp trên. Kết quả phân tích có thể được sử dụng để dự đoán chỉ số nứt phục vụ thiết kế phương án thi công và bảo dưỡng bê tông phù hợp nhằm kiểm soát hiện tượng nứt của cấu kiện bê tông cốt thép, đánh giá mức độ tương quan giữa hai phương pháp xác định chỉ số nứt và chỉ ra yếu tố ảnh hưởng lớn nhất tới chỉ số nứt của cấu kiện.

Từ khóa: Bê tông cốt thép khối lớn, thời gian đầu đóng rắn, chỉ số nứt do nhiệt, phương pháp đánh giá đơn giản, phương pháp phần tử hữu hạn.

Abstract: The article presents the comparison results of the thermal cracking index during early curing time determined by two methods: simple evaluation and finite element of reinforced concrete structures in the form of box culverts. From there, it shows the advantages and disadvantages, the correlation of the two methods. The content of the study mentions the influence of some actual factors on this crack index according to the two methods above. The results of the analysis can be used to predict the cracking index for the design of appropriate concrete construction and maintenance plans to control the cracking of reinforced concrete structures, and to assess the degree of correlation between the two methods to determine the crack index and indicate the that has the greatest influence on the crack index of the member.

Keywords: Mass reinforced concrete, early curing time, thermal cracking index, simple evaluation method, finite element method.

1. Đặt vấn đề

Ở thời gian bắt đầu đóng rắn, trong cấu kiện bê tông cốt thép hình thành trường nhiệt độ bởi nhiệt sinh ra từ phản ứng thủy hóa xi măng và sự trao đổi nhiệt giữa bê tông với môi trường bên ngoài. Trường nhiệt độ này tạo ra trường ứng suất nhiệt dẫn đến sự thay đổi thể tích và phát sinh ứng suất kéo trong cấu kiện, khi ứng suất kéo này vượt quá khả năng chịu kéo của bê tông sẽ xảy ra hiện tượng nứt. Qua đó chỉ số nứt sẽ được xác định thông qua ứng suất nhiệt dựa trên các cơ sở lý thuyết truyền nhiệt, ứng suất nhiệt phụ thuộc tới các chỉ tiêu cơ lý của vật liệu, yếu tố công nghệ thi công, tính chất môi trường thi công. Trong bài báo, chỉ số nứt nhiệt được xác định theo cả hai phương pháp là phương pháp đánh giá đơn giản và phương pháp phần tử hữu hạn.

2. Cơ sở khoa học về truyền nhiệt và chỉ số nứt do nhiệt

2.1 Phương trình lý thuyết truyền nhiệt

Theo [7,9] quá trình truyền nhiệt ba chiều trong môi trường bất đẳng hướng được mô tả bởi phương trình:

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

trong đó: ρ - khối lượng thể tích của bê tông, (kg/m^3);

C - tỷ nhiệt của bê tông, ($\text{kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$);

$T(x,y,z,t)$ - nhiệt độ tại tọa độ (x,y,z) tại thời điểm t , ($^\circ\text{C}$);

$\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$ - 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/m^3).

Các điều kiện biên:

- Tại mặt tiếp xúc của khối bê tông với nền đất:

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

- Tại mặt tiếp xúc với ván khuôn (biên đối lưu):

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

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 , (kcal/m^3);

h_c - hệ số đối lưu, ($\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$);

T_∞ - nhiệt độ tại mặt đối lưu, ($^\circ\text{C}$);

2.2 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 cấu kiện 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 [1,2]. Theo [8] 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/m^3);

ρ - khối lượng thể tích của bê tông, (kg/m^3);

C - tỷ nhiệt của bê tông, ($\text{kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$);

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, ($^\circ\text{C}$);

T_{ad} - nhiệt độ của bê tông trong điều kiện đoạn

$$T(x, y, z, t) = T_0 \text{ với } t > 0 \quad (2)$$

- Tại mặt thoáng của khối bê tông (biên truyền nhiệt):

nhiệt ở tuổi t (ngày), ($^\circ\text{C}$).

Sự gia tăng nhiệt độ đoạn nhiệt tại thời điểm t (ngày) được xác định bằng phương pháp thực nghiệm theo công thức (7) [10]:

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

trong đó: t - tuổi bê tông (ngày);

$Q(t)$ - sự tăng nhiệt độ đoạn nhiệt tại thời điểm t (ngày), ($^\circ\text{C}$);

Q_∞ - sự tăng nhiệt độ đoạn nhiệt cuối cùng, ($^\circ\text{C}$);

r_{AT} , S_{AT} - các thông số thể hiện tốc độ thay đổi nhiệt độ;

$t_{0,Q}$ - tuổi bê tông bắt đầu nâng tăng 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 tùy theo loại xi măng sử dụng.

Theo [8,11] nhiệt độ ban đầu của hỗn hợp bê tông được tính theo nhiệt độ trung bình của các thành phần vật liệu tại thời điểm trộn, bao gồm: nước, xi măng và cốt liệu (thô, mịn), xác định theo công thức (8):

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

trong đó: T_m - nhiệt độ trung bình của 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 riêng (kg/m^3) và nhiệt độ ($^\circ\text{C}$) của cốt liệu;

W_c , T_c - khối lượng riêng (kg/m^3) và nhiệt độ ($^\circ\text{C}$) của xi măng;

W_n, T_n - khối lượng riêng (kg/m^3) và nhiệt độ ($^{\circ}\text{C}$) của nước.

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 [8,10]. Tại biên không thay đổi nhiệt độ, nhiệt độ được lấy theo nhiệt độ trung bình cố định tại mặt tiếp xúc đó. Tại biên đối lưu, nhiệt độ phụ thuộc vào loại cốp pha, thời gian tháo khuôn, vật liệu bảo dưỡng, phương pháp và thời gian bảo dưỡng [9].

2.3 Chỉ số nứt do nhiệt của bê tông

Khi chênh lệch nhiệt độ ΔT càng lớn thì ứng suất nhiệt trong khối bê tông càng lớn, theo [7] mối quan hệ giữa ứng suất nhiệt và nhiệt độ trong khối bê tông thể hiện trong công thức (9):

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

trong đó: $\{\sigma\}$ - Véc tơ ứng suất tại điểm khảo sát, (Kgf/m^2);

$[R]$ - ma trận cản biến dạng của bê tông;

E - mô đun đàn hồi của bê tông, (Kgf/m^2);

$\{\Delta T\}$ - véc tơ gradient nhiệt độ;

β - hệ số giãn nở nhiệt của bê tông.

Theo [10], chỉ số nứt của cấu kiện bê tông được xác định theo công thức (10):

$$I_{cr} = \frac{f_t(t_e)}{\sigma_t(t_e)} \quad (10)$$

trong đó: $f_t(t_e)$ - giá trị thiết kế cường độ kéo tách của BT tại thời điểm t_e (Kgf/m^2), xác định theo (11);

$\sigma_t(t_e)$ - ứng suất kéo trong cấu kiện bê tông tại thời điểm t_e (Kgf/m^2).

$$f_t(t_e) = C_1 x f'_c(t_e)^{C_2} \quad (11)$$

trong đó: C_1, C_2 - Các hằng số phụ thuộc vào loại bê tông;

$f'_c(t_e)$ - cường độ nén của bê tông tại thời điểm t_e (Kgf/m^2), xác định theo (12).

$$f'_c(t_e) = \frac{t_e - S_f}{a + b(t_e - S_f)} f'_c(t_n) \quad (12)$$

trong đó: t_e - tuổi chỉnh nhiệt độ (ngày);

t_n - tuổi kiểm soát cường độ của bê tông dưỡng hộ dưới nước ở 20°C (ngày);

a, b - các thông số thể hiện phát triển cường độ, phụ thuộc loại XM và tuổi bê tông;

S_f - tuổi chỉnh nhiệt độ tương ứng bắt đầu đóng rắn, phụ thuộc loại XM (ngày);

$f'_c(t_n)$ - cường độ nén của bê tông tại t_n (Kgf/m^2).

Khi giá trị $I_{cr} < 1$ thì cấu kiện bê tông bắt đầu nứt. Xác suất nứt do nhiệt của cấu kiện bê tông xác định theo công thức (13):

$$P(I_{cr}) = \left[1 - \exp \left\{ - \left(\frac{I_{cr}}{0.92} \right) \right\} \right] \times 100 \quad (13)$$

trong đó: $P(I_{cr})$ - Xác suất nứt do nhiệt (%);

I_{cr} - Chỉ số nứt của cấu kiện bê tông.

Đối với các cấu kiện bê tông, chỉ số nứt an toàn là $\geq 1,85$, khi đó xác suất nứt do nhiệt $\leq 5\%$. Khi xác suất nứt $> 5\%$ thì cấu kiện có nguy cơ nứt cao. Giá trị giới hạn của chỉ số nứt do nhiệt tương ứng trường hợp này được tính theo (14):

$$I_{lim} = \frac{0.92}{\left[-\log \left(1 - \frac{P_c}{100} \right) \right]} \quad (14)$$

trong đó: I_{lim} - Giá trị giới hạn của chỉ số nứt với xác suất nứt do nhiệt vượt 5%;

P_c - Xác suất nứt do nhiệt vượt 5%.

3. Quy trình xác định chỉ số nứt do nhiệt của cấu kiện bê tông cốt thép dạng cổng hộp trong thời gian đầu đóng rắn

3.1 Theo phương pháp đánh giá đơn giản

Theo [10], phương pháp đánh giá đơn giản chỉ áp dụng cho từng cấu kiện có hình dạng đặc thù: dạng tấm, dạng tường và dạng cột trụ. Để áp dụng được phương pháp này cần phân chia cấu kiện thành các phần có hình dạng tương ứng với công thức cho trước và xác định chỉ số nứt riêng rẽ cho từng phần. Sơ đồ thuật toán các bước xác định chỉ số nứt theo phương pháp đánh giá đơn giản thể hiện ở hình 1.

Trong phương pháp này, chỉ số nứt I_{cr} của cấu kiện được xác định theo hai dạng cấu kiện chính là cấu kiện dạng tường và cấu kiện dạng tấm với các công thức được xác định theo [10] như sau:

Cấu kiện dạng tường:

$$I_{mra-WT} = -1.93 \times 10^{-2} T_a - 2.8 \times 10^{-3} D - 1.17 \times 10^{-2} Q_{\infty} + 1.55 \times 10^{-2} r_{AT}^{SAT} + 8.72 \times 10^{-2} \log(H_R) + 0.476 f_t - 0.165 \log_{10}(L/H) + 0.224 \log_{10}(E_C/E_R) + 0.015$$

$$I_{cr} = I_{mra-WT} - 0.3$$

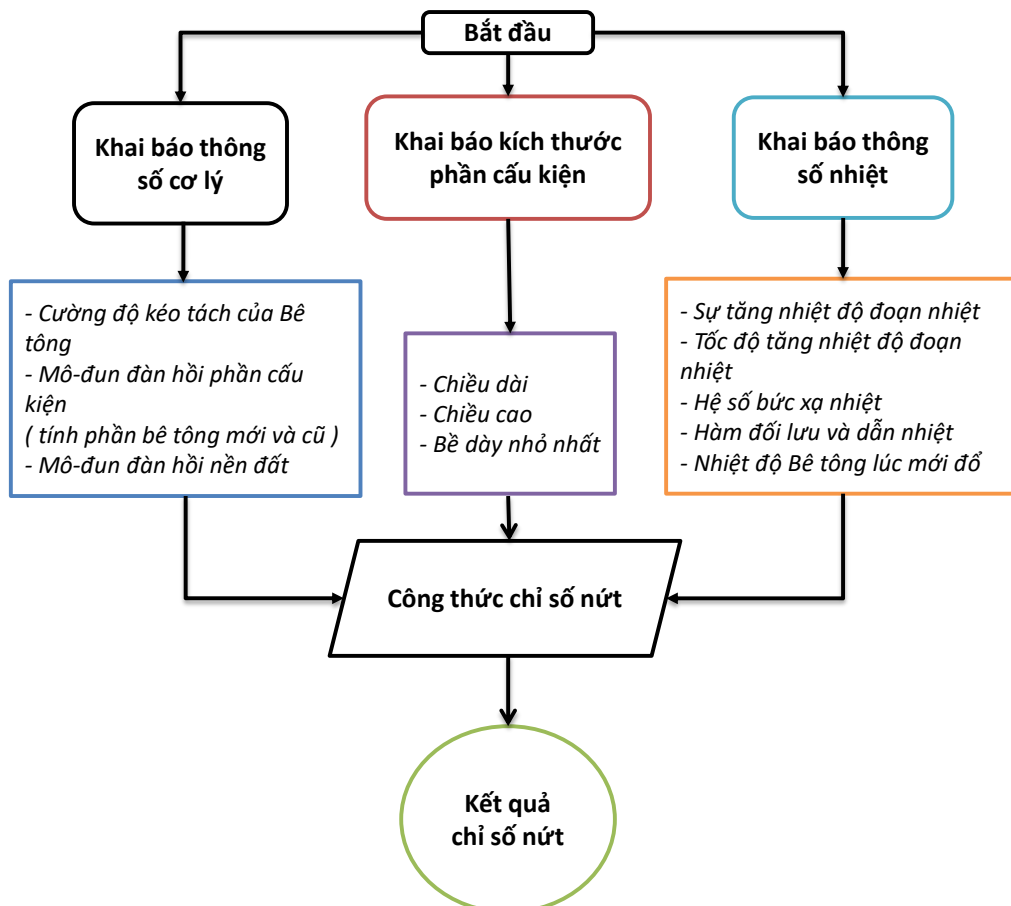
Cấu kiện dạng tấm:

$$I_{mra-LT} = -4.32 \times 10^{-2} T_a + 1.03 \times 10^{-2} D - 9.3 \times 10^{-2} Q_{\infty} + 0.149 r_{AT}^{SAT} - 0.312 \log(H_R) + 0.142 f_t - 0.236 \log_{10}(L/H) - 7.67 \times 10^{-2} \log_{10}(E_C/E_R) + 5.98$$

$$I_{cr} = I_{mra-LT} - 0.3$$

trong đó:

- T_a - Nhiệt độ bê tông lúc đổ, [$^{\circ}\text{C}$];
- D - Độ dày tối thiểu của chi tiết; độ dày tường của cấu kiện dạng tường; chiều cao của bê tông mới đổ dạng tấm và dạng cột, [m];
- Q_{∞} - Sự gia tăng nhiệt độ đoạn nhiệt, [$^{\circ}\text{C}$];
- r_{AT}, s_{AT} - Các thông số thể hiện tốc độ thay đổi nhiệt độ;
- H_R - Giá trị biểu hiện ảnh hưởng bức xạ nhiệt từ bề mặt của cấu kiện, [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$];
- f_t - Cường độ kéo tách của bê tông 28 – 91 tuổi ngày dưỡng hộ phù hợp, [N/mm^2];
- L, H - Là kích thước chiều dài, rộng đối với tấm bê tông và là chiều rộng, chiều cao đối với tường, [m];
- E_C, E_R - Mô-đun đàn hồi của cấu kiện và mô-đun đàn hồi của nền bên dưới đỡ cấu kiện, [N/mm^2].

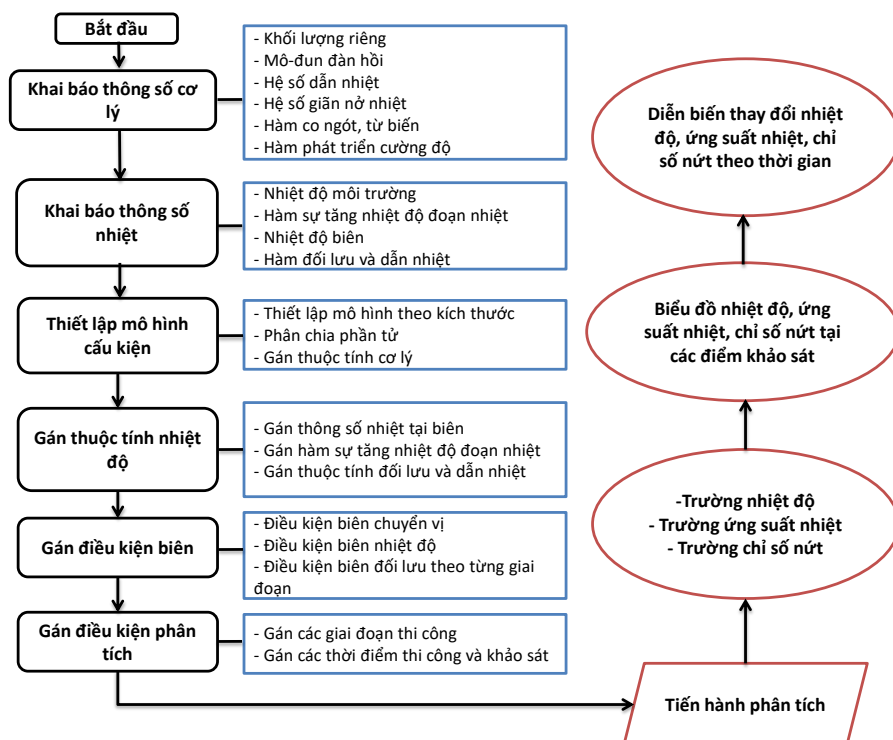


Hình 1. Sơ đồ thuật toán xác định chỉ số nứt theo phương pháp đánh giá đơn giản

3.2 Theo phương pháp phần tử hữu hạn

Trong nghiên cứu này, phần mềm MIDAS Civil được sử dụng để khảo sát mô hình tính toán, phân tích trường nhiệt độ, ứng suất trong cấu kiện bê

tông, từ đó xác định chỉ số nứt của cấu kiện ở những vị trí và thời điểm khác nhau của giai đoạn đầu đóng rắn. Các bước thực hiện theo [2] như sau (hình 2):



Hình 2. Sơ đồ thuật toán xác định chỉ số nứt theo phương pháp phần tử hữu hạn

4. Thực hành tính toán và thảo luận chỉ số nứt của cấu kiện bê tông cốt thép dạng công hộp trong thời gian đầu đóng rắn

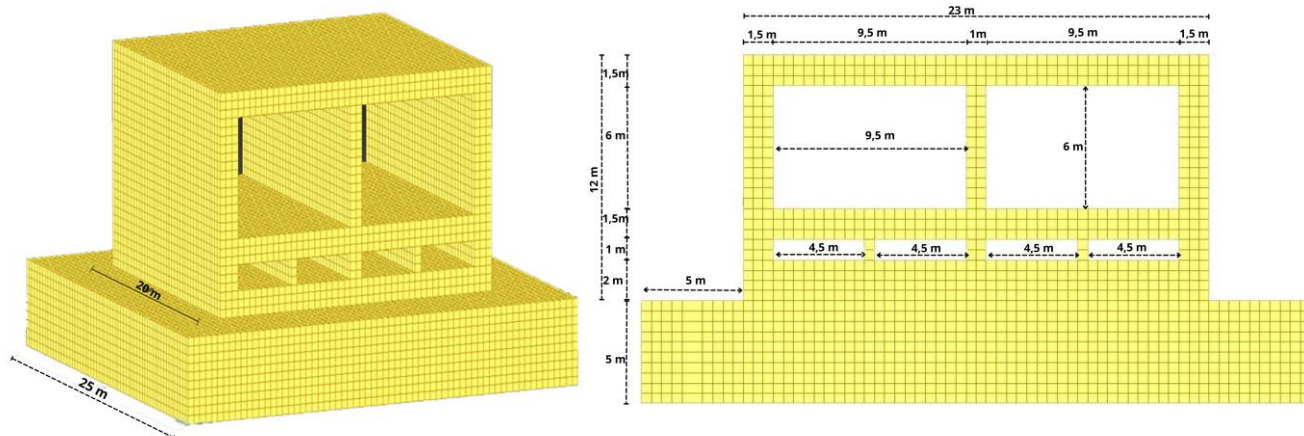
4.1 Kiểm chứng phần mềm mô phỏng số – Phương pháp phần tử hữu hạn

Hiện nay rất nhiều các nghiên cứu trong và ngoài nước đã sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn của chương trình Midas Civil để phân tích trường ứng suất – nhiệt độ trong khối bê tông [2-6, 14-22]. Bên cạnh đó, trong một nghiên cứu đã công bố [3], nhóm tác giả đã tiến hành thực nghiệm đo nhiệt độ của một khối bê tông với kích thước 1,2 x 1,2 x 1,2m và mô phỏng lại khối bê tông đó với các điều kiện thực tế để kiểm chứng và kết luận tính chính xác giữa mô hình và thực tế. Kết quả nghiên cứu trong [3] cho thấy sự phát triển nhiệt độ đo

được từ khối bê tông thực nghiệm và mô phỏng số là tương đối gần nhau. Sự tương đồng về quy luật phát triển nhiệt cũng như giá trị nhiệt độ lớn nhất tại các điểm khảo sát cho thấy độ tin cậy, tính tương thích giữa cách thức mô phỏng và thực nghiệm, khẳng định quá trình phân tích bằng phương pháp phần tử hữu hạn sử dụng công cụ Midas Civil của nhóm tác giả là đáng tin cậy. Do đó, các kết quả thu được từ quá trình mô phỏng số - phương pháp Phần tử hữu hạn trong bài báo này là có giá trị, phản ánh được ứng xử thực tế của trường ứng suất – nhiệt độ trong khối bê tông.

4.2 Mô hình phân tích của mẫu vật liệu

Tiến hành phân tích một block công hộp bê tông cốt thép có kích thước như sau:



Hình 3. Mô hình block công hộp bê tông cốt thép

KẾT CẤU - CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

Các thông số tính chất cơ lý và nhiệt độ của các vật liệu, với các thông số phân tích nhiệt được quy đổi từ cấp phối và hàm lượng xi măng của bê tông theo [10].

Bảng 1. Bảng thông số phân tích nhiệt

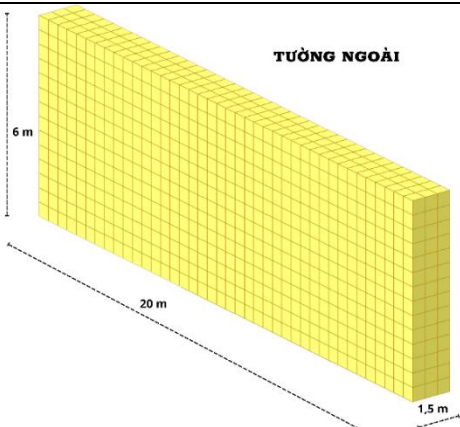
Các điều kiện phân tích ứng suất		
Chỉ số cơ lý	Bê tông cấp bền B40	Nền đất
Mô-đun đàn hồi, [MPa]	36000	20
Hệ số giãn nở nhiệt, [1/ ⁰ C]	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁵
Cường độ kéo [N/mm ²]	2.1	
Cường độ nén ngày 28 [N/mm ²]	22 (dùng XM poóc lăng tỏa nhiệt thấp)	
Hệ số nở ngang Poisson	0.2	0.3
Các điều kiện phân tích nhiệt		
Chỉ số nhiệt	Bê tông cấp bền B40	Nền đất
Nhiệt độ bê tông khi đổ, [⁰ C]	28	
Nhiệt độ không khí, [⁰ C]	25	
Sự tăng nhiệt độ đoạn nhiệt, [⁰ C]	Q _∞ = 40	
Hằng số thể hiện tốc độ tăng nhiệt độ đoạn nhiệt	r _{AT} ^{SAT} = 1.1 (XM poóc lăng tỏa nhiệt thấp)	
Ảnh hưởng bức xạ nhiệt từ bề mặt cấu kiện, [W/m ² . ⁰ C]	H _R =56 (XM poóc lăng tỏa nhiệt thấp)	
Nhiệt dung riêng, [J/g. ⁰ C]	0.25	0.2
Hệ số dẫn nhiệt, [W/m. ⁰ C]	2.7	1.7
Hệ số đối lưu nhiệt bề mặt [W/m ² . ⁰ C]	Cốp pha thép, đường hộ phun: 14	
	Không khí: 12	
Cấp phối bê tông		
Loại XM	XM poóc lăng tỏa nhiệt thấp	
Cốt liệu lớn nhất, [mm]	20	
Độ sụt, [cm]	10	
Tỷ lệ nước trên xi măng	0.435	
Hàm lượng không khí, [%]	2.5	
Tỷ lệ cát trên cốt liệu [%]	0.4	
Cấp phối, [kg/m ³], [l/m ³]	Nước: 165.3	
	Xi măng: 380	
	Cốt liệu nhỏ: 532	
	Cốt liệu lớn: 1330	
	Phụ gia hóa học: Glenium SP8S	

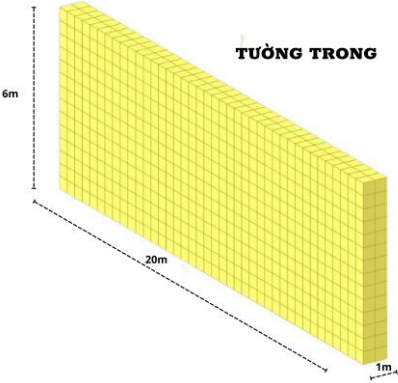
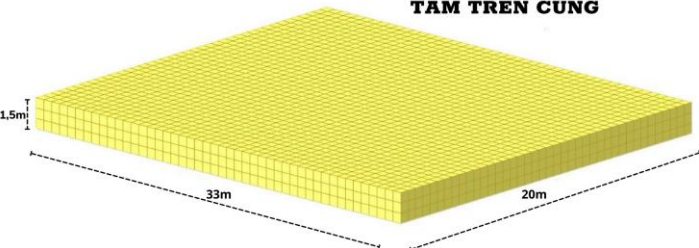
4.3 Kết quả tính toán chỉ số nứt do nhiệt

4.3.1 Kết quả chỉ số nứt do nhiệt theo phương pháp đánh giá đơn giản

Xác định chỉ số nứt do nhiệt cho phần cấu kiện dạng tường và phần cấu kiện dạng tấm trên cùng.

Bảng 2. Kết quả chỉ số nứt tính theo phương pháp đánh giá đơn giản

Cấu kiện	Kích thước	Thông số	Chỉ số nứt I_{cr}
Tường ngoài		$T_a = 28^\circ\text{C}$	0.514
		$D = 1.5\text{m}$	
		$Q_\infty = 40^\circ\text{C}$	
		$r_{AT}^{SAT} = 1.1$	
		$H_R = 5.6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	
		$f_t = 2.1 \text{ N/mm}^2$	
		$L = 20\text{m}$	
		$H = 6\text{m}$	
		$E_C = 36000 \text{ N/mm}^2$ $E_R = 20 \text{ N/mm}^2$	

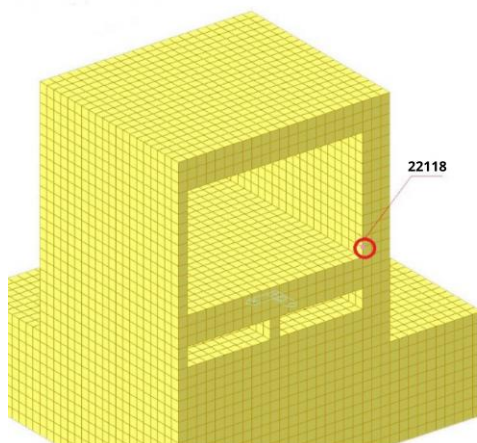
Tường trong		$T_a = 28^{\circ}\text{C}$	0.516
		$D = 1\text{m}$	
		$Q_{\infty} = 40^{\circ}\text{C}$	
		$r_{AT}^{SAT} = 1.1$	
		$H_R = 5.6 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$	
		$f_t = 2.1 \text{ N/mm}^2$	
		$L = 20\text{m}$ $H = 6\text{m}$	
		$E_C = 36000 \text{ N/mm}^2$ $E_R = 20 \text{ N/mm}^2$	
Tấm trên cùng		$T_a = 28^{\circ}\text{C}$	0.368
		$D = 1.5\text{m}$	
		$Q_{\infty} = 40^{\circ}\text{C}$	
		$r_{AT}^{SAT} = 1.1$	
		$H_R = 5.6 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$	
		$f_t = 2.1 \text{ N/mm}^2$	
		$L = 33\text{m}$ $H = 20\text{m}$	
		$E_C = 36000 \text{ N/mm}^2$ $E_R = 20$	

Kết quả tính toán cho phép thể hiện chỉ số nứt được coi là nguy hiểm nhất của toàn mẫu cấu kiện bê tông cốt thép. Theo [10], khi chỉ số nứt $I_{cr} < 1$ thì bắt đầu có hiện tượng nứt xảy ra trong kết cấu bê tông (với xác suất lớn). Như vậy theo kết quả phân tích ở trên thì có thể kết luận cấu kiện bê tông cốt thép của mẫu tác giả nghiên cứu sẽ có nguy cơ bị nứt trong thời gian đầu đóng rắn. Tuy nhiên phương pháp đánh giá đơn giản chưa thể hiện được vị trí và thời điểm có xác suất xảy ra nứt hay vùng có nguy cơ nứt cao.

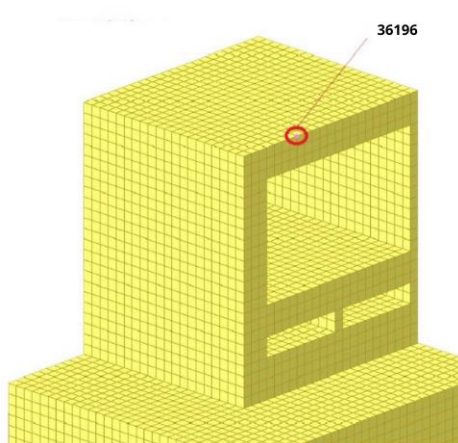
4.3.2 Kết quả chỉ số nứt do nhiệt theo phương pháp phần tử hữu hạn

Tiến hành phân tích chỉ số nứt của cấu kiện cốt thép bê tông theo sơ đồ thuật toán được đưa ra. Dựa vào các trường chỉ số nứt theo thời gian đóng rắn bê tông, xác định được hai điểm nguy hiểm đại diện cho phần cấu kiện dạng tấm và cấu kiện dạng tường.

Kết cấu dạng tường (tường ngoài) -CS4
Điểm 2: tọa độ 22118

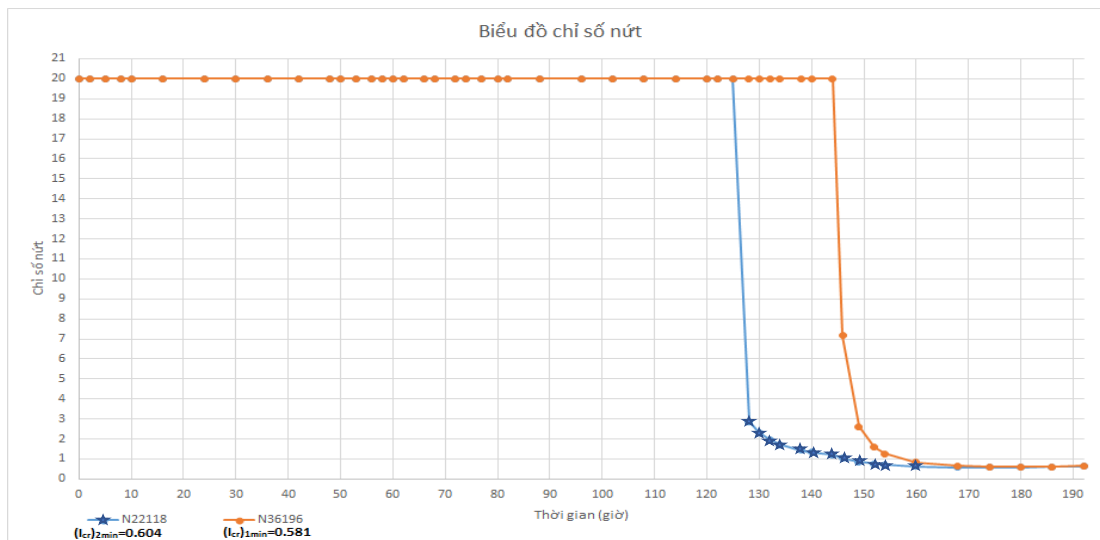


Kết cấu dạng tấm -CS5
Điểm 1: tọa độ 36196



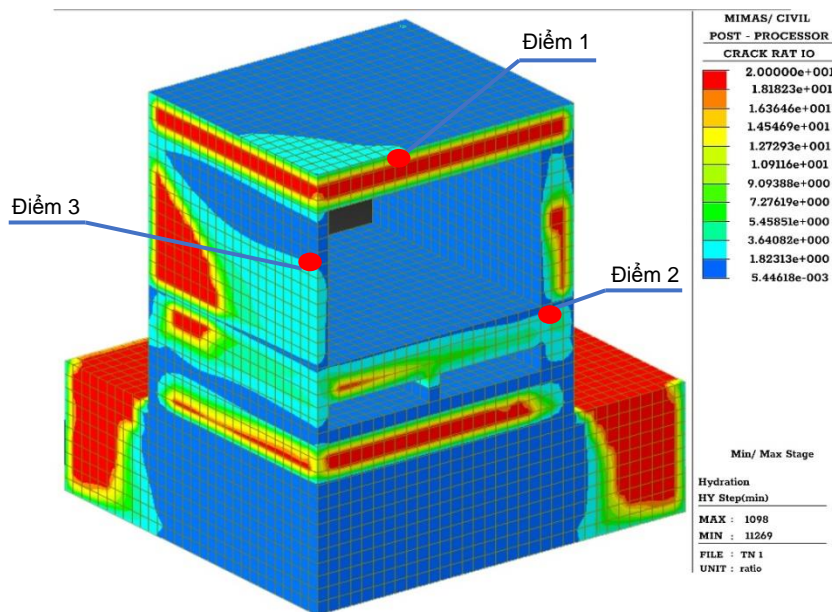
Hình 4. Mô hình phân tích và điểm khảo sát

Biểu đồ chỉ số nứt theo thời gian của 2 điểm khảo sát:



Hình 5. Biểu đồ kết quả chỉ số nứt theo thời gian của 2 điểm khảo sát

Kết quả trường chỉ số nứt nhỏ nhất của cầu kiện trong thời gian đóng rắn



Hình 6. Trường chỉ số nứt nhỏ nhất của cầu kiện (Biểu diễn ¼ cầu kiện)

Kết quả phân tích chỉ số nứt cầu kiện bê tông mẫu lồng hộp cho thấy, xác suất xảy ra hiện tượng nứt cao tại phía tường vách bên trong gần tâm khối bê tông trong khoảng 140h đến 160h và tại biên cầu kiện tấm xảy ra nứt cao nhất trong khoảng 170h-190h. Cho thấy đối với cầu kiện bê tông cốt thép dạng lồng hộp như trên, khả năng nứt ở khe vách tường bên trong sẽ sớm hơn.

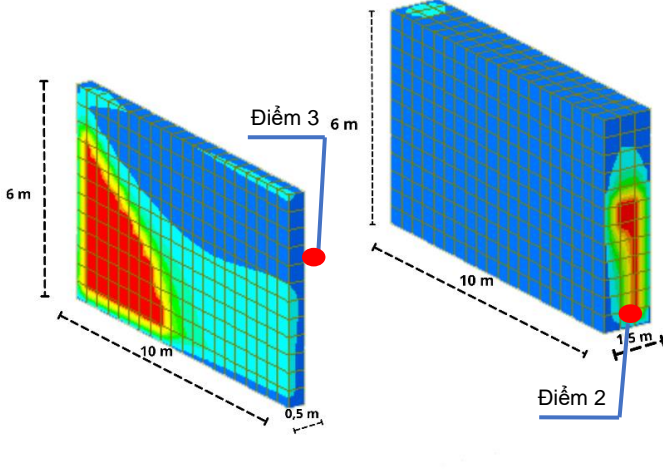
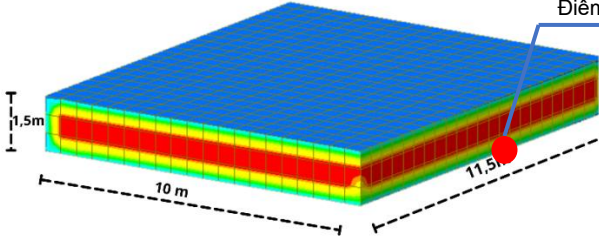
Trong giai đoạn tăng nhiệt chỉ số nứt của các lớp ở tại phía tường vách bên trong gần tâm khối bê tông giảm dần và đạt giá trị nhỏ nhất ở thời điểm nhiệt độ thủy hóa đạt giá trị cực đại và chênh lệch nhiệt độ ΔT đạt giá trị lớn nhất. Đây chính là thời điểm bê tông các lớp ở tường vách bên trong gần tâm khối bê tông kết cấu có nguy cơ nứt cao nhất. Bê tông các lớp ở biên tường vách và tấm của kết

cấu đều có nguy cơ nứt trong giai đoạn hạ nhiệt, khi bê tông nguội dần. Chỉ số nứt nhỏ dần đạt giá trị cực tiểu ở cuối giai đoạn giảm nhiệt của bê tông.

4.3.3 So sánh kết quả chỉ số nứt do nhiệt theo hai phương pháp

Để so sánh sự tương quan giá trị chỉ số nứt theo hai phương pháp nêu trên, tiến hành đánh giá chỉ số nứt cho từng phần cấu kiện có hình dạng đặc thù là dạng tấm và dạng tường, với các thông số về cơ lý, nhiệt độ và cấp phối như nhau. Đối với phương pháp đánh giá đơn giản, việc sử dụng công thức sẽ cho kết quả chỉ số nứt được coi là nguy hiểm duy nhất. Đối với phương pháp phần tử hữu hạn, chỉ số nứt nguy hiểm nhất được xác định thông qua trường chỉ số nứt.

Bảng 3. So sánh chỉ số nứt tính theo phương pháp đánh giá đơn giản và phương pháp phần tử hữu hạn

Phân cấu kiện của kết cấu (Biểu diễn ¼ cấu kiện)	Loại cấu kiện	Kết quả chỉ số nứt I_{cr} theo phương pháp	
		Đánh giá đơn giản	PTHH
	Dạng tường	- Tường trong dày 1m $I_{cr} = 0.516$ - Tường ngoài dày 1.5m $I_{cr} = 0.514$	- Tường trong dày 1m $(I_{cr})_{min} = 0.581$ (Điểm 3) - Tường ngoài dày 1.5m $(I_{cr})_{min} = 0.581$ (Điểm 2)
	Dạng tấm	$I_{cr} = 0.368$	$(I_{cr})_{min} = 0.604$ (Điểm 1)

Theo [10] thì khi chỉ số nứt < 1 thì cấu kiện bắt đầu nứt chỉ số nứt càng bé thì xác suất nứt xảy ra càng lớn. Qua kết quả tính toán trong bài báo thì chỉ số nứt tính theo phương pháp đánh giá đơn giản luôn thấp hơn phương pháp phần tử hữu hạn. Đối với cấu kiện dạng tường, sự chênh lệch giá trị chỉ số nứt theo hai phương pháp sẽ nhỏ hơn so với cấu kiện dạng tấm. Phương pháp phần tử hữu hạn phân tích và thể hiện được vị trí cụ thể, thời điểm cụ thể có thể xảy ra hiện tượng nứt hay xác suất nứt cao cho cấu kiện trong suốt diễn biến của quá trình đóng rắn thi công theo phương pháp toàn khối, phương pháp đánh giá đơn giản chỉ tính được chỉ số nứt được coi là nguy hiểm nhất của toàn mẫu cấu kiện bê tông mà chưa thể hiện được diễn biến của quá trình đóng rắn bê tông, chưa thể hiện được vị trí cũng như thời điểm cụ thể xảy ra hiện tượng

nứt, như vậy cho thấy phương pháp đánh giá đơn giản chỉ có thể dùng trong giai đoạn đánh giá sơ bộ chỉ số nứt.

5. Sự ảnh hưởng của một số yếu tố thi công tới chỉ số nứt do nhiệt

Thực hiện đánh giá mức độ ảnh hưởng của một số yếu tố thi công và vật liệu tới chỉ số nứt của phân cấu kiện dạng tường của công hợp bê tông cốt thép, có kích thước 1.5x6x20m. Để đơn giản hóa việc so sánh, ta giữ nguyên các thông số phân tích bài toán từ mục 4 và thay đổi riêng rẽ từng yếu tố, tuy nhiên để đảm bảo việc so sánh có hiệu quả, cần giới hạn giá trị của từng yếu tố trong khoảng cho phép được khuyến cáo và phù hợp với tính chất, cấp phối thực tế của vật liệu.

Bảng 4. Chỉ số nứt tính theo phương pháp đánh giá đơn giản và phương pháp phần tử hữu hạn khi thay đổi thông số đầu vào

Yếu tố thay đổi	Lần 1	Lần 2	Lần 3	Giá trị chỉ số nứt nguy hiểm nhất theo phương pháp	
				Phần tử hữu hạn, $(I_{cr})_1 - (I_{cr})_2 - (I_{cr})_3$	Đánh giá đơn giản, $(I_{cr})_1 - (I_{cr})_2 - (I_{cr})_3$
Hàm lượng XM, $[kg/m^3]$	380	400	420	0.581 - 0.497 - 0.411	0.514 - 0.365 - 0.276
Tỷ lệ nước trên XM	0.435	0.53	0.6	0.581 - 0.667 - 0.745	0.296 - 0.404 - 0.514
Nhiệt độ bê tông khi thi công, $[^{\circ}C]$	28	30	32	0.581 - 0.581 - 0.577	0.514 - 0.453 - 0.395
Nhiệt độ môi trường, $[^{\circ}C]$	25	28	35	0.585 - 0.587 - 0.589	
Đối lưu ván khuôn, $[kcal/m^2 \cdot ^{\circ}C]$	14 (Thép)	8 (Gỗ)		0.585 - 0.595	
Hàm lượng cốt thép, [%]	0.1	0.22	0.46	0.583 - 0.787 - 0.589	

*Chú thích: $(I_{cr})_1 - (I_{cr})_2 - (I_{cr})_3$ là giá trị chỉ số nứt lần lượt của lần 1, lần 2, lần 3

Tổng hợp kết quả phân tích trên với sự thay đổi cấp phối và nhiệt độ môi trường ta nhận thấy rằng:

- Về thời điểm có xác suất nứt xảy ra lớn và quy luật thay đổi giá trị chỉ số nứt khá là giống nhau theo cả 2 phương pháp khi ta thay đổi các yếu tố đầu vào (đối với cùng một dạng cấu kiện);

- Thông qua việc thay đổi các yếu tố về vật liệu, điều kiện thi công, điều kiện môi trường và hàm lượng cốt thép, ta nhận xét thấy:

- + Hàm lượng xi măng, tỷ lệ nước với xi măng trong cấp phối bê tông có ảnh hưởng lớn nhất tới sự biến thiên giá trị chỉ số nứt tại các vị trí nguy hiểm trên cấu kiện đối với cả 2 phương pháp. Hàm lượng xi măng và tỷ lệ nước trên xi măng là yếu tố chính phát sinh ra nhiệt độ thủy hóa bên trong cấu kiện bê tông cốt thép. Nhiệt độ thay đổi rõ rệt khi chỉ thay đổi hàm lượng xi măng trong cấp phối từ 380 tới 420 (kg/m^3) hay giảm tỷ lệ N/X (nước trên xi măng) từ 0.6 – 0.4, chỉ số nứt sẽ bị giảm đáng kể và nguy cơ nứt của kết cấu cao lên nhiều khi tính theo cả 2 phương pháp, tuy nhiên chỉ số nứt tính theo phương pháp đánh giá đơn giản thì giảm nhiều hơn;

- + Một yếu tố có ảnh hưởng đáng kể tới giá trị chỉ số nứt đó là hàm lượng cốt thép bên trong kết cấu cổng hộp. Trong mẫu nghiên cứu, phân tích theo phương pháp phần tử hữu hạn, ta lựa chọn hàm lượng cốt thép dao động trong khoảng $\Phi = 0.1 - 0.46$ (%) nhằm đảm bảo điều kiện làm việc của cấu kiện cổng hộp. Sự biến thiên hàm lượng cốt thép tác động đáng kể tới chỉ số nứt của mẫu. Khi hàm lượng cốt thép bị giảm tới gần Φ (min), ứng suất kéo của bê tông có xu hướng tăng lên, chỉ số nứt bị giảm và làm tăng nguy cơ nứt của kết cấu. Khi hàm lượng cốt thép tăng lên gần Φ (max), ứng suất kéo của bê tông giảm, nhưng theo sự làm việc ở trạng thái giới hạn 2 (Biến dạng cho phép) của kết cấu bê tông cốt thép, hàm lượng thép lớn có xu hướng làm tăng bề rộng vết nứt sinh ra, làm tăng

nguy cơ nứt và dẫn đến phá hoại của kết cấu. Qua hai trường hợp trên, ta nên thiết kế kết cấu bê tông cốt thép dạng cổng hộp với hàm lượng cốt thép trung bình. Phương pháp đơn giản không đề cập được tới sự ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép;

- + Chủng loại ván khuôn chuyên dụng như ván khuôn thép, ván khuôn gỗ dán (hoặc gỗ ép) có hệ số đối lưu chênh lệch không lớn, thay đổi hệ số đối lưu ảnh hưởng không đáng kể tới biến thiên nhiệt độ, ứng suất và chỉ số nứt của mẫu phân tích theo phương pháp phần tử hữu hạn. Phương pháp đơn giản không đề cập được tới sự ảnh hưởng của chủng loại ván khuôn;

- + Ngoài ra yếu tố tác động giữa nhiệt độ ban đầu lúc đổ bê tông và nhiệt độ môi trường thi công có gây ảnh hưởng tới sự chênh lệch nhiệt độ của khối bê tông giữa bên trong và bên ngoài, làm gia tăng ứng suất kéo và tăng khả năng nứt. Tuy nhiên nhiệt độ môi trường thường biến động nhỏ và chênh lệch không quá lớn so với nhiệt độ bê tông khi đổ nên ảnh hưởng của 2 yếu tố này so với các yếu tố khác là không lớn theo cả hai phương pháp, phương pháp đơn giản không đề cập được tới sự ảnh hưởng yếu tố nhiệt độ môi trường.

6. Kết luận

Phương pháp phần tử hữu hạn sử dụng trên MIDAS Civil 2011 v7.2.1 cho phép xác định hình thái thay đổi và giá trị chỉ số nứt của cấu kiện bê tông, thi công theo phương pháp toàn khối, ở các vị trí và thời điểm khác nhau trong giai đoạn đầu đóng rắn, phương pháp này có độ tin cậy cao hơn.

Phương pháp đánh giá đơn giản có phương thức tính dễ dàng và sử dụng ít số liệu hơn phương pháp phần tử hữu hạn, tuy thuận tiện tính toán nhưng tính chính xác sẽ không cao như phương pháp phần tử hữu hạn và không phản ánh được sự ảnh hưởng của nhiều yếu tố khác như: nhiệt độ môi trường, đối lưu ván khuôn, hàm lượng cốt thép...

Đối với cấu kiện dạng tường, sự chênh lệch kết quả theo hai phương pháp sẽ nhỏ hơn so với cấu kiện dạng tấm. Phương pháp đánh giá đơn giản được thiết lập dựa trên quá trình đa hồi quy đối với các chỉ số nứt do nhiệt tính theo phương pháp phần tử hữu hạn, và cho giá trị giới hạn thấp hơn của phương pháp phần tử hữu hạn.

Giá trị chỉ số nứt do nhiệt phụ thuộc phần lớn vào nguyên nhân sinh ra nguồn nhiệt, chính vì vậy yếu tố hàm lượng xi măng, tỷ lệ nước trên xi măng có tác động lớn nhất tới giá trị chỉ số nứt do nhiệt theo cả hai phương pháp. Sự biến thiên giá trị chỉ số nứt do nhiệt phù hợp với sự biến thiên các thông số đầu vào về mặt lý thuyết.

Kết quả phân tích chỉ số nứt của bê tông theo hai phương pháp cho thấy phương pháp đánh giá đơn giản có thể dùng trong giai đoạn đánh giá sơ bộ chỉ số nứt để đưa ra các phương án bảo dưỡng, công nghệ thi công hợp lý. Tuy vậy, việc đánh giá lại chỉ số nứt của cấu kiện theo phương pháp phần tử hữu hạn là cần thiết để đối chiếu kết quả tính toán sơ bộ và tăng độ chính xác chỉ số nứt do nhiệt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Đích, N.T. (2010), Công tác bê tông trong điều kiện khí hậu nóng ẩm Việt Nam, *NXB Xây dựng, Hà Nội*.
- 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.
- 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.
- Dung, Đ. T. M., Chức, N. T., Khải, L. T. Q. (2020). Ảnh hưởng của kích thước kết cấu bê tông khối lớn đến sự hình thành trường nhiệt độ và vết nứt ở tuổi sớm ngày. *Tạp chí Xây dựng Việt Nam*, (1):11–14.
- Tang, L. V., Nguyen, C. T., Bulgakov, B., Pham, A. N. (2018). Composition and early-age temperature regime in massive concrete foundation. *MATEC Web of Conferences, EDP Sciences*, 196:04017.
- Thực, L. V., Trung, L. Q., Hùng, N. M. (2019). Nghiên cứu kiểm soát nứt do nhiệt trong bê tông khối lớn bằng cơ chế sử dụng ống làm lạnh. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐHXD*, 13(3V): 99–107.
- J.E Akin (1994), *Finite Element for Analysis and Design*, Academic Press.
- P. P. Bamforth, D.Chisholm, J.Gibbs, T.Harrison (2008), Properties of Concrete for use in Eurocode 2, *The Concrete centre*.
- B. Gebhart (1993), Heat Condition and Mass Diffusion, *McGraw-Hill*.
- JCI, VCA (2011), Hướng dẫn kiểm soát nứt trong bê tông khối lớn – phiên bản 2008, *VCA, Hà Nội*.
- JSCE (2007), Standard specifications for concrete structures – 2007 “Materials and Construction”.
- H. Krisnamoorthy (1996), Finite Element Analysis-Theory and Programming, *Tata McGraw Hill*.
- MIDAS Information Technology (2011), Heat of Hydration- Analysis Analysis Manual Version 7.2.1.
- Khalifah, H. A., Rahman, M. K., Zakariya, A.-H., Al-Ghamdi, S. (2016). Stress generation in mass concrete blocks with fly ash and silica fume-an experimental and numerical study. *Proceeding 4th International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, 7–11.
- Wang, F., Chen, C. (2012). Temperature Sensitivity Analysis of Massive Concrete Mixing with Slag Powder and Fly ash. *Advanced Materials Research, Trans Tech Publ*, 594:804–807.
- Zhou, M. R., Shen, Q. F., Zhang, Z. N., Li, H. S., Guo, Z. Y., Li, Z. B. (2013). Based on MIDAS/CIVIL theanchorageofmassconcretetemperaturefieldandstressfieldsimulationanalysis. *AdvancedMaterials Research, Trans Tech Publ*, 724:1482–1488.
- Yunchuan, Z., Liang, B., Shengyuan, Y., Guting, C. (2012). Simulation analysis of mass concrete temperature field. *Procedia Earth and Planetary Science*, 5:5–12.
- Liu, W., Cao, W., Yan, H., Ye, T., Jia, W. (2016). Experimental and numerical studies of controlling thermal cracks in mass concrete foundation by circulating water. *Applied Sciences*, 6(4):110.
- Li, C.-R., Du, J.-L. (2011). The application of Midas/Civil software in mass concrete pile cap hydration heat control. *Shandong Transportation Science and Technology*, 1.
- Wang, J., Li, F., Wang, S.-X. (2007). A Study on 3-dimensional FEM Analysis of Massive Concrete Hydration Heat of Cable-stayed Bridge Platform [J]. *Highway*, 11:173–176.
- Xingang, W., Wei, Z., Shiguang, F., Huaishang, Q. (2010). Study of Layout for Water-cooling Pipes in Mass Concrete Based on MIDAS [J]. *Port Engineering Technology*, 6.
- Yu, R., Wang, X., Liu, T. (2010). Admixtures on Mass Concrete Temperature Crack Control Study and Numerical Simulation. *2010 International Conference on E-Product E-Service and E-Entertainment, IEEE*, 1–8.

Ngày nhận bài: 23/3/2022.

Ngày nhận bài sửa: 13/4/2022.

Ngày chấp nhận đăng: 14/4/2022.

