

Phân tích xác suất nứt do nhiệt của kết cấu trụ cầu trong quá trình nhiệt thủy hóa xi măng bằng mô phỏng số

Vũ Chí Công^{1*}, Lê Văn Minh¹, Hồ Ngọc Khoa¹

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

TỪ KHÓA

Bê tông cốt thép khối lớn
Nhiệt thủy hóa xi măng
Xác suất nứt do nhiệt
Phương pháp mô phỏng số

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả phân tích xác suất nứt do nhiệt trong quá trình nhiệt thủy hóa xi măng được xác định bằng mô phỏng số của kết cấu BTCT khối lớn dạng trụ cầu. Nội dung nghiên cứu có đề cập tới mức độ ảnh hưởng của một số yếu tố tới xác suất nứt do nhiệt này theo phương pháp trên. Kết quả phân tích có thể được sử dụng để dự đoán xác suất nứt do nhiệt phục vụ thiết kế phương án thi công và bảo dưỡng bê tông phù hợp nhằm kiểm soát hiện tượng nứt của kết cấu bê tông cốt thép dạng trụ cầu.

KEYWORDS

Massive reinforced concrete
Heat of cement hydration
Probability of thermal cracking
Numerical simulation method lower case letter

ABSTRACT

With the development of urban areas along with the progress of science and technology, underground space can be used with many different functions and purposes (such as commerce, services, public, technical infrastructure, etc.). ..., and these works are closely linked with each other and with the works and facilities above the land surface. Underground space planning is the organization of underground space for construction of works, including: underground public works, underground traffic works, underground technical focal works and underground parts of constructions. construction works on the ground, works of lines, cables, underground engineering pipelines, trenches and technical tunnels. The article presents some problems of underground space planning for urban development in HCMC.

1. Giới thiệu

Hiện nay, ở các thành phố lớn, công trình cầu đô thị đã được xây dựng để giải quyết nhu cầu giao thông ngày càng cao. Tuy nhiên, có nhiều cầu đô thị sau khi thi công, đặc biệt là kết cấu trụ cầu đã phát hiện nhiều vết nứt, như vết nứt trụ cầu Vĩnh Tuy ở Hà Nội, trụ cầu Tình Húc ở Tuyên Quang,... Những vết nứt ban đầu này có thể không trực tiếp phá hoại kết cấu, tuy nhiên nếu phát triển theo thời gian sẽ dẫn đến những ảnh hưởng bất lợi cho kết cấu như giảm cường độ và độ bền của bê tông.

Một số nguyên nhân khách quan có thể dự đoán được là kết cấu bê tông chịu tác động của nhiệt và co ngót sớm [1,7]. Các hiệu ứng co ngót nhiệt ở tuổi sớm gây ra các vết nứt có thể được quan sát thấy trong những ngày đầu tiên sau khi đúc. Vết nứt này là vấn đề nghiêm trọng khi bề rộng vết nứt vượt quá giá trị giới hạn làm giảm độ bền và khả năng sử dụng của kết cấu [2,3]. Ngoài ra, sau khi kết thúc đông cứng bê tông, vết nứt xuất hiện do thay đổi thể tích, nhiệt độ và độ ẩm trong quá trình đông cứng và cũng có thể phát triển do thay đổi nhiệt độ (ban ngày và theo mùa), trước khi chịu tác động của tải trọng cơ học, bê tông đồng thời co lại. Ngoài ra, các vết nứt ngay cả chiều rộng không đáng kể vẫn có thể dẫn đến ăn mòn cốt thép trong bê tông [1]. Những yếu tố này đặc biệt ảnh hưởng đến các công trình trụ cầu trong khu vực đô thị.

Vì vậy, cần phải đánh giá theo phương pháp hiện đại để phân

tích nguy cơ nứt trong quá trình nhiệt thủy hóa xi măng của trụ cầu ở giai đoạn thi công để có biện pháp kiểm soát, ngăn ngừa sự hình thành vết nứt trên các kết cấu đó nhằm nâng cao độ bền và độ bền vững.

2. Cơ sở khoa học về truyền nhiệt và xác suất nứt do nhiệt

2.1. Phương trình lý thuyết truyền nhiệt:

Theo [4,6] quá trình truyền nhiệt ba chiều trong môi trường bất đẳng hướng được mô tả bởi phương trình:

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

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 :

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

Tại mặt thoát khí của khối bê tông (biên truyền nhiệt):

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

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

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

*Liên hệ tác giả: congvu2011@gmail.com

Nhận ngày 04/11/2022, sửa xong ngày 20/11/2022, chấp nhận đăng 10/01/2023

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.01.2023.440>

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).

2.2. 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 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 [4,5]. Theo [5] 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) [9] :

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

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_{∞} ; 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 [5,10] 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 (°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/m³) và nhiệt độ (°C) của cốt liệu;
- W_c, T_c : Khối lượng riêng (kg/m³) và nhiệt độ (°C) của xi măng;
- W_n, T_n : Khối lượng riêng (kg/m³) và nhiệt độ (°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 [5,9]. 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 [6].

2.3. Xác suất 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 [4], 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:

- $\{\sigma\}$: Vectơ ứng suất tại điểm khảo sát, (Kgf/m²);
- $[R]$: Ma trận cân biến dạng của bê tông;
- E : Môđun đàn hồi của bê tông, (Kgf/m²);
- $\{\Delta T\}$: Véc tơ gradient nhiệt độ;
- β : Hệ số giãn nở nhiệt của bê tông.

Theo [9], chỉ số nứt của kết cấu 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/m²), xác định theo (11);
- $\sigma_t(t_e)$: Ứng suất kéo trong kết cấu bê tông tại thời điểm t_e (Kgf/m²);
- $f_t(t_e) = C_1 \cdot f_c'(t_e)^{C_2}$ (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/m²), 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/m²)

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

$$P(I_{cr}) = \left[1 - \exp \left\{ - \left(\frac{I_{cr}}{0,92} \right)^{-4,29} \right\} \right] \cdot 100 \quad (13)$$

Trong đó:

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

I_{cr} : Chỉ số nứt của kết cấu bê tông

Đối với các kết cấu 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 kết cấu có nguy cơ nứt cao. Giá trị giới hạn của chỉ số nứt do nhiệt tương ứng trường hợp này được tính theo (14):

$$I = \frac{0,92}{[-\log(1 - \frac{P_C}{100})]_{lim}} \quad (14)$$

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. Phân tích xác suất nứt do nhiệt của kết cấu trụ cầu Bê tông cốt thép trong quá trình nhiệt thủy hóa xi măng

Trong nghiên cứu này, phần mềm MIDAS Civil được sử dụng để khảo sát mô hình tính toán, phân tích xác suất nứt của kết cấu ở những vị trí và thời điểm khác nhau trong quá trình nhiệt thủy hóa xi măng.

Trình tự các bước phân tích xác suất nứt do nhiệt theo mô phỏng số:

Bước 1: Khai báo các thông số cơ lý của kết cấu, nền đất: Khối lượng riêng, Mô-đun đàn hồi, Hệ số dẫn nhiệt, Hệ số giãn nở nhiệt, Hàm co ngót, từ biến, Hàm phát triển cường độ

Bước 2: Khai báo các thông số về nhiệt: Nhiệt độ môi trường, Hàm sự tăng nhiệt độ đoạn nhiệt, Nhiệt độ biên, Hàm đối lưu và dẫn nhiệt

Bước 3: Thiết lập mô hình kết cấu: Thiết lập mô hình theo kích thước, Phân chia phần tử, Gán thuộc tính cơ lý

Bước 4: Gán thuộc tính nhiệt độ: Gán thông số nhiệt tại biên, Gán hàm sự tăng nhiệt độ đoạn nhiệt, Gán thuộc tính đối lưu và dẫn nhiệt

Bước 5: Gán điều kiện biên: Điều kiện biên chuyển vị, Điều kiện biên nhiệt độ, Điều kiện biên đối lưu theo từng giai đoạn

Bước 6: Gán điều kiện phân tích: Gán các giai đoạn thi công, Gán các thời điểm thi công và khảo sát

Bước 7: Tiến hành phân tích xác suất nứt do nhiệt

4. Thực hành tính toán và thảo luận xác suất nứt của kết cấu trụ cầu Bê tông cốt thép trong quá trình nhiệt thủy hóa xi măng

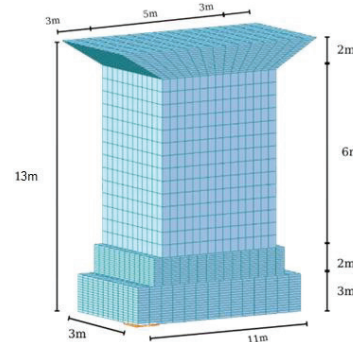
4.1. Kiểm chứng phần mềm mô phỏng số

Hiện nay rất nhiều các nghiên cứu trong và ngoài nước đã sử dụng phương pháp mô phỏng số của chương trình Midas Civil để phân tích trường ứng suất – nhiệt độ trong khối bê tông [8-11, 12-20]. Bên cạnh đó, trong một nghiên cứu đã công bố [21], nhóm tác giả đã tiến hành thực nghiệm đo nhiệt độ của một khối bê tông với kích thước $1,2 \times 1,2 \times 1,2$ m 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 [21] 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 mô phỏng số 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 trong bài báo này là có giá trị, phản ánh được ứng xử thực tế của xác suất nứt do nhiệt trong khối bê tông.

4.2. Mô hình phân tích của mẫu vật liệu

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



Hình 1. Mô hình block trụ cầu Bê tông cốt thép.

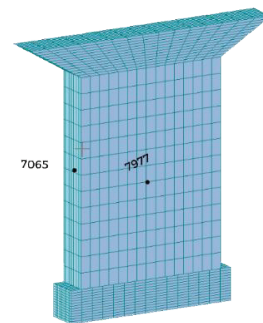
Các thông số tính chất cơ lý và nhiệt độ của các vật liệu, với các thông số phân tích nhiệt được quy đổi từ cấp phối và hàm lượng xi măng của bê tông theo [9].

4.3. Kết quả tính toán phân tích xác suất nứt do nhiệt của kết cấu trụ cầu trong giai đoạn nhiệt thủy hóa xi măng

Tiến hành phân tích xác suất nứt của kết cấu trụ cầu bê tông cốt thép theo sơ đồ các bước được đưa ra. Dựa vào các trường chỉ số nứt theo thời gian nhiệt thủy hóa xi măng trong bê tông, xác định được hai điểm nguy hiểm đại diện cho phần kết cấu trụ cầu.

Biểu đồ chỉ số nứt theo thời gian của 2 điểm khảo sát: Hai điểm 7065 và 7977 điển hình cho bề mặt và tâm của kết cấu phân tích (Hình 3).

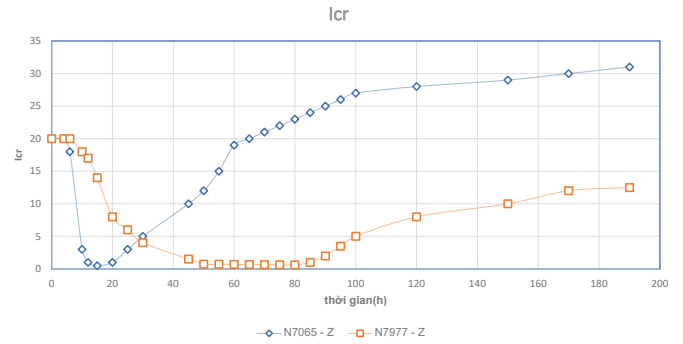
Kết quả trường chỉ số nứt nhỏ nhất của kết cấu trong thời gian nhiệt thủy hóa xi măng trong bê tông (Hình 4).



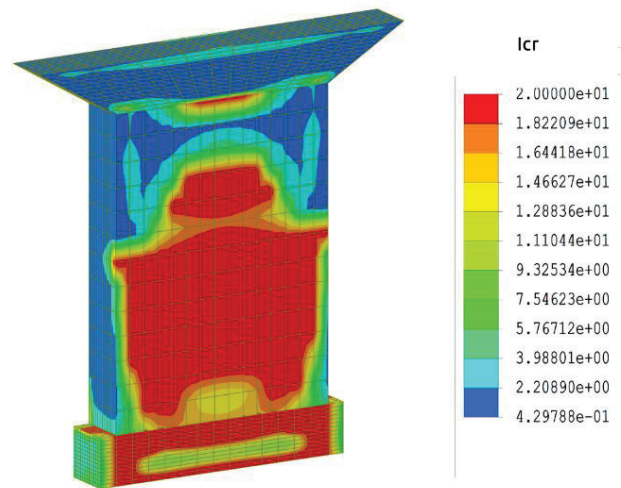
Hình 2. Mô hình phân tích và điểm khảo sát.

Bảng 1. Bảng thông số phân tích xác suất nứt do 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/°C]	1×10^{-5}	1×10^{-5}
Cường độ kéo ngày 28 [N/mm ²]	2,4	
Cường độ nén ngày 28 [N/mm ²]	51,37	
	(dùng XM poóc lãng 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, [°C]	28	
Nhiệt độ không khí, [°C]	25	
Sự tăng nhiệt độ đoạn nhiệt, [°C]	$Q_{\infty} = 40$	
Hằng số thể hiện tốc độ tăng nhiệt độ đoạn nhiệt	$r_{AT}^{SAT} = 1,1$	
	(XM poóc lãng tỏa nhiệt thấp)	
Ảnh hưởng bức xạ nhiệt từ bề mặt kết cấu, [W/m ² .°C]	$H_R = 56$	
	(XM poóc lãng tỏa nhiệt thấp)	
Nhiệt dung riêng, [J/g.°C]	0,25	0,2
Hệ số dẫn nhiệt, [W/m.°C]	2,7	1,7
Hệ số đối lưu nhiệt bề mặt [W/m ² .°C]	Cốp pha thép, dưỡn hệ phun : 14	
	Không khí : 12	
Cấp phối bê tông		
Loại XM	XM poóc lãng tỏa nhiệt thấp	
Cốt liệu lớn nhất, [mm]	20	
Độ sụt, [cm]	14	
Tỷ lệ nước trên xi măng	0,37	
Tỷ lệ cát trên cốt liệu [%]	0,72	
Cấp phối, [kg/m ³], [l/m ³]	Nước : 168	
	Xi măng : 455	
	Cốt liệu nhỏ : 729	
	Cốt liệu lớn : 1010	
	Phụ gia hóa học : Glenium SP8S	



Hình 3. Biểu đồ kết quả chỉ số nứt theo thời gian của 2 điểm khảo sát.



Hình 4. Trường chi số nứt nhỏ nhất của kết cấu trụ cầu bê tông cốt thép.

Kết quả tính toán cho phép thể hiện chỉ số nứt của một điểm (phần tử) bất kỳ ở một thời điểm nhất định của kết cấu. Theo quan điểm từ nhiều kết quả nghiên cứu về hiện tượng nứt trong bê tông, 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). Kết quả phân tích chỉ số nứt kết cấu khối bê tông cho thấy, xác suất xảy ra hiện tượng nứt tại giữa khối bê tông cao nhất là ở thời điểm từ 45 h đến 85 h (phía bên trong khối bê tông), tại biên mặt ngoài khối bê tông xảy ra nứt cao nhất trong khoảng 12 h đến 25 h. Cho thấy đối với kết cấu trụ cầu Bê tông cốt thép dạng như trên, khả năng nứt ở khe bên trong cao hơn. Trong giai đoạn tăng nhiệt chỉ số nứt của các lớp bề mặt 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 trên bề mặt kết cấu có nguy cơ nứt cao nhất. Ngược lại, bê tông các lớp ở tâm của kết cấu lại 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. Như vậy đây lại là giai đoạn có nguy cơ gây nứt cao nhất cho các lớp bê tông phía tâm kết cấu.

Bảng 2. Bảng kết quả phân tích xác suất nứt do nhiệt.

Kết quả phân tích		Chỉ số nứt do nhiệt		Xác suất nứt do nhiệt (%)		Thời điểm (h)	
		Tại tâm	Tại biên	Tại tâm	Tại biên	Tại tâm	Tại biên
1	2	3	4	5	6	7	8
Hàm lượng XM (kg/m ³)	455	0,503	0,609	100	99,98	85	15
N/X	0,37						
Nhiệt độ môi trường thi công (°C)	25						
Nhiệt độ bê tông khi đổ (°C)	28						
Hệ số đối lưu ván khuôn [kcal/m ² . °C]	14						
Hàm lượng cốt thép (%)	3,5						

5. Sự ảnh hưởng của một số yếu tố thi công tới xác suất 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 phần kết cấu trụ cầu bê tông cốt thép, có kích thước 3x11x13 m. 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.

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

- 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 xác suất nứt do nhiệt tại các vị trí nguy hiểm trên kết cấu. Hàm lượng xi măng và tỷ lệ nước trên xi măng là yếu tố chính phát sinh ra nhiệt độ thủy hóa bên trong kết cấu Bê tông cốt thép. Nhiệt độ thay đổi rõ rệt khi chỉ thay đổi hàm lượng xi măng trong cấp phối từ 360 tới 440 kg/m³ hay giảm tỷ lệ N/X (Nước trên Xi măng) từ 0,535 – 0,435; xác suất nứt do nhiệt sẽ bị tăng đáng kể và nguy cơ nứt của kết cấu cao lên nhiều.

+ Một yếu tố có ảnh hưởng đáng kể tới xác suất nứt do nhiệt đó là hàm lượng cốt thép bên trong kết cấu trụ cầu. Trong mẫu nghiên cứu, phân tích theo phương pháp mô phỏng số, ta lựa chọn hàm lượng cốt thép giao động trong khoảng $\Phi = 1 - 4$ (%) nhằm đảm bảo điều kiện làm việc của kết cấu trụ cầu. Sự biến thiên hàm lượng cốt thép tác động đáng kể tới xác suất nứt do nhiệt của mẫu. Khi hàm lượng cốt thép bị giảm tới gần Φ (min), ứng suất kéo của bê tông có xu hướng tăng lên, xác suất nứt do nhiệt sẽ tăng 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 trụ cầu với hàm lượng cốt thép trung bình.

+ Chúng 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 xác suất nứt do nhiệt của mẫu phân tích.

+ 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.

Bảng 3. Xác suất nứt do nhiệt của kết cấu trụ cầu theo mô phỏng số khi thay đổi thông số đầu vào.

Yếu tố thay đổi	TH1	TH2	TH3	Xác suất nứt do nhiệt $P(I_{cr1})-P(I_{cr2})-P(I_{cr3})$
	1	2	3	
Hàm lượng XM, [kg/m ³]	360	400	440	96,12 – 98,19 - 100
Tỷ lệ nước trên XM	0,435	0,485	0,535	99,92 – 96,38 – 92,56
Nhiệt độ bê tông khi thi công, [°C]	28	30	32	99,92 – 99,92 – 99,94
Nhiệt độ môi trường, [°C]	25	28	35	99,91 – 99,89 – 99,89
Đối lưu ván khuôn, [kcal/m ² . °C]	14	8	/	99,91 – 99,85
	(Thép)	(Gỗ)		
Hàm lượng cốt thép, [%]	1	2,5	4	99,92 – 85,83- 99,99

* Chú thích: $P(I_{cr1})-P(I_{cr2})-P(I_{cr3})$ là giá trị xác suất nứt do nhiệt lần lượt của các trường hợp TH1, TH2, TH3

6. Kết luận

Phương pháp mô phỏng số sử dụng trên MIDAS Civil cho phép xác định hình thái thay đổi và trị số xác suất nứt do nhiệt của kết cấu trụ cầu bê tông cốt thép, thi công theo phương pháp toàn khối, ở các vị trí và thời điểm khác nhau trong giai đoạn nhiệt thủy hóa.

Xác suất 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 xác suất nứt do nhiệt. Sự biến thiên xác suất nứt do nhiệt phù hợp với sự biến thiên các thông số đầu vào về mặt lý thuyết.

Kết quả phân tích xác suất nứt do nhiệt của kết cấu trụ cầu bê tông cốt thép phục vụ cho việc dự đoán khả năng nứt của kết cấu trong giai đoạn đầu đóng rắn. Từ đó xác định phương pháp thi công và bảo dưỡng bê tông hợp lý nhằm chống nứt, đảm bảo chất lượng bê tông.

Tài liệu tham khảo

- [1]. B. Klemczak , A. Zmij , Độ tin cậy của các phương pháp tiêu chuẩn để đánh giá nguy cơ nứt tuổi sớm do co ngót nhiệt trong tường bê tông, *Xây dựng và Vật liệu xây dựng*, 226 (2019) 651-661. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.167>
- [2]. T. Do, H. Chen, G. Leon, T. Nguyen, A kết hợp sai phân hữu hạn và mô hình phần tử hữu hạn để dự đoán nhiệt độ và ứng suất của dầm nắp đúc tại chỗ trên cột đúc sẵn, *Xây dựng và Vật liệu xây dựng*, 217 (2019) 172-184. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.019>
- [3]. M. Tia, A. Lawrence, TA Do, D. Verdugo, S. Han, M. Almarshoud , B. Ferrante, A. Markandeya , Nhiệt cực đại của bê tông khối lớn giai đoạn 2, (2016). <https://trid.trb.org/view/1437077>
- [4]. J.E Akin (1994), *Finite Element for Analysis and Design*, Academic Press.
- [5]. P. P. Bamforth, D.Chisholm, J.Gibbs, T.Harrison (2008), *Properties of Concrete for use in Eurocode 2*, The Concrete centre.
- [6]. B. Gebhart (1993), *Heat Condition and Mass Diffusion*, McGraw-Hill.
- [7]. Khoa, H.N., Cường N.H. (2011), Lựa chọn phương pháp bảo dưỡng bê tông hiệu quả trong điều kiện khí hậu nóng ẩm, *Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng*, ĐHXD, số 9/5-2011.
- [8]. 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.
- [9]. JCI, VCA (2011), *Hướng dẫn kiểm soát nứt trong bê tông khối lớn – phiên bản 2008*, VCA, Hà Nội.
- [10]. JSCE (2007), *Standard specifications for concrete structures – 2007 “Materials and Construction”*.
- [11]. 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 (KHCVN)-ĐHXD*, 13(3V): 99–107.
- [12]. 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.
- [13]. 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.
- [14]. Zhou, M. R., Shen, Q. F., Zhang, Z. N., Li, H. S., Guo, Z. Y., Li, Z. B. (2013). Based on MIDAS/CIVIL the anchorage of mass concrete temperature field and stress field simulation analysis. *AdvancedMaterials Research*, Trans Tech Publ, 724:1482–1488.
- [15]. Yunchuan, Z., Liang, B., Shengyuan, Y., Guting, C. (2012). Simulation analysis of mass concrete temperature field. *Procedia Earth and Planetary Science*, 5:5–12.
- [16]. 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.
- [17]. 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.
- [18]. 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.
- [19]. 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.
- [20]. 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.
- [21]. 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.