■Ngày nhận bài: 21/11/2025 ■Ngày sửa bài: 01/12/2025 ■Ngày chấp nhận đăng: 11/12/2025

Phân tích nguyên nhân và biện pháp xử lý vết nứt của tường chắn bê tông tại dự án đường tuần tra biên giới tỉnh Cao Bằng

Analysis of causes and remedial measures for cracks in concrete retaining walls at the border patrol road project in Cao Bang Province

> THS NGUYỄN THANH TRƯỜNG
Viện Kỹ thuật Công binh, Binh chủng Công binh
Email: thanhtruong.ppc@gmail.com

TÓM TẮT

Tường chắn trọng lực bê tông là kết cấu quan trọng bảo đảm ổn định mái dốc và nền đường. Trong quá trình thi công và khai thác, tường chắn chịu tác động tổng hợp của áp lực đất, áp lực nước ngầm và biến thiên nhiệt độ, dễ phát sinh vết nứt làm giảm khả năng chịu lực và độ bền. Thực hiện nghiên cứu trên tường chắn thuộc dự án Đường tuần tra biên giới tỉnh Cao Bằng, được thi công vào mùa đông làm gia tăng chênh lệch nhiệt giữa bên trong và bề mặt bê tông, ảnh hưởng đến ổn định kết cấu và sự hình thành vết nứt. Khảo sát được tiến hành bằng phương pháp siêu âm phẳng để xác định độ sâu và hướng phát triển của vết nứt. Kết quả cho thấy, vết nứt tập trung ở lớp bê tông ngoài, có xu hướng nghiêng dọc thân tường, hình thành do nhiệt thủy hóa, co ngót vật liệu và phân bố ứng suất không đều. Bài báo đưa ra giải pháp sửa chữa vết nứt bằng bơm vữa áp lực tĩnh, kiểm soát nhiệt độ thi công, giảm tốc độ thủy hóa xi măng và duy trì bảo dưỡng ẩm hợp lý, nhằm hạn chế ứng suất kéo và ngăn ngừa sự phát triển vết nứt. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc đánh giá và xử lý nứt tường chắn trong thi công.

Từ khóa: Nguyên nhân gây nứt tường chắn bê tông; khảo sát; đánh giá vết nứt nông tường chắn bê tông.

ABSTRACT

Concrete gravity retaining walls are essential structures ensuring the stability of slopes and road foundations. During construction and service, these walls are subjected to the combined effects of earth pressure, groundwater pressure and temperature variations, which may lead to cracking and a reduction in strength and durability. This study investigates a retaining wall section from the Border Patrol Road Project in Cao Bang Province, constructed during the winter season when significant temperature differences between the concrete core and surface adversely affected structural stability and crack formation. Field investigations were conducted using the planar ultrasonic testing method to determine the depth and propagation direction of cracks. The results indicate that cracks were concentrated within the outer concrete layer, exhibiting an inclined pattern along the wall body. These cracks were primarily caused by cement hydration heat, material shrinkage and uneven stress distribution. Remedial measures proposed include static-pressure grout injection, construction temperature control, reduction of cement hydration rate and proper moisture curing to minimize tensile stress and prevent further crack propagation. The findings provide both scientific and practical foundations for the evaluation and treatment of cracking in the construction of concrete retaining walls.

Keywords: Causes of cracking in concrete retaining walls; investigation and evaluation of surface cracks in concrete retaining walls.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong các công trình hạ tầng, giao thông ở Việt Nam hiện nay, tường chắn trọng lực bê tông được sử dụng rộng rãi nhờ khả năng chịu lực lớn, độ bền cao và ổn định lâu dài. Nó đóng vai trò quan trọng trong việc chống đỡ mái dốc, ta-luy, hố đào sâu và bảo vệ nền đường. So với các dạng kết cấu khác, tường chắn bê tông có khả năng chịu tải trọng đất và nước ngầm hiệu quả, ít biến dạng, tuổi thọ cao và bảo trì thuận tiện, nên được xem là giải pháp gia cố hiệu quả trong các công trình giao thông. Tuy nhiên, trong quá trình thi công và khai thác, tường chắn bê tông dễ phát sinh vết nứt do chịu tác động đồng thời của tải trọng không đều của áp lực đất, sự thay đổi nhiệt độ và co ngót vật liệu. Các vết nứt này không chỉ ảnh hưởng đến tính toàn khối và khả năng chống thấm của kết cấu, mà còn tiềm ẩn nguy cơ mất ổn định cục bộ nếu không được xử lý kịp thời. Đặc biệt, các loại tường chắn bê tông thi công trong môi trường nhiệt độ thấp có nguy cơ cao xảy ra hiện tượng nứt do sự chênh lệch nhiệt độ lớn giữa bên trong và bề mặt bê tông. Đây là dạng hư hỏng đặc trưng, phản ánh sự mất cân bằng ứng suất kéo - nén trong quá trình thi công và bảo dưỡng, cần được nghiên cứu và đánh giá để đưa ra giải pháp khắc phục phù hợp.

Thời gian thực hiện nghiên cứu tại dự án Đường tuần tra biên giới tỉnh Cao Bằng, nơi có điều kiện khí hậu nhiệt đới gió mùa. Tường chắn trọng lực bê tông thuộc dự án được thi công với bê tông mác 200, trong điều kiện nhiệt độ môi trường dao động từ 8 - 15°C. Sau 5 ngày tháo cốp-pha, tại mặt phía trước của tường chắn đã xuất hiện một số vết nứt ngang dọc theo thân tường, cho thấy có dấu hiệu phân bố ứng suất không đều và co ngót cục bộ do nhiệt độ. Hiện tượng này được xem là cơ sở thực tế để tiến hành khảo sát, đo kiểm tra bằng siêu âm phẳng và phân tích nguyên nhân hình thành vết nứt, từ đó đưa ra giải pháp xử lý và phòng ngừa phù hợp với các công trình thi công trong điều kiện khí hậu tương tự.

2. NGUYÊN LÝ VÀ PHƯƠNG PHÁP KIỂM TRA VẾT NỨT BÊ TÔNG

2.1. Nguyên lý kiểm tra

Việc kiểm tra vết nứt trong bê tông được thực hiện bằng các phương pháp như siêu âm phẳng. Đây là phương pháp được sử dụng phổ biến do có khả năng phản ánh chính xác cấu trúc bên trong vật liệu. Nguyên lý của phương pháp này dựa trên sự truyền và phản xạ của sóng âm: Khi đặt đầu dò phát và đầu dò thu ở hai bên vị trí nghi ngờ có vết nứt, nếu trong khối bê tông tồn tại khe rỗng hoặc gián đoạn, sóng phát sẽ bị cản trở, phản xạ yếu hoặc mất tín hiệu. Thông qua việc phân tích tín hiệu thu nhận, thời gian lan truyền và cường độ phản hồi, có thể xác định chiều sâu, vị trí và hình thái vết nứt. Dựa trên đặc điểm thực tế của công trình tường chắn tại Dự án Đường tuần tra biên giới tỉnh Cao Bằng, cùng điều kiện nhân lực và thiết bị hiện có, bài báo này sử dụng phương pháp siêu âm phẳng để tiến hành kiểm tra và đánh giá vết nứt tường chắn bê tông.

2.2. Thiết bị và phương pháp kiểm tra

2.2.1. Thiết bị kiểm tra

Công tác kiểm tra vết nứt trong tường chắn bê tông được thực hiện bằng thiết bị siêu âm F800, được cấu tạo chủ yếu từ bộ phát - thu siêu âm phẳng, đầu dò hình ảnh và bộ xử lý tín hiệu như minh họa ở Hình 1.

Hình 1. Máy đo chiều rộng và chiều sâu vết nứt bê tông F800

Trong quá trình kiểm tra, thiết bị được hiệu chuẩn theo mẫu chuẩn bê tông, kết hợp các dụng cụ phụ trợ như thước đo, dầu truyền âm, bút đánh dấu, sổ ghi dữ liệu và nhiệt kế hiện trường nhằm đảm bảo độ chính xác và tính ổn định của phép đo.

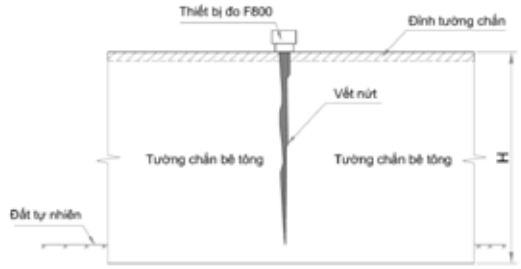
2.2.2. Phương pháp kiểm tra

Sau khi hiệu chỉnh đầu dò siêu âm bằng F800, hình ảnh chụp được sẽ được nhận dạng bề rộng vết nứt để hiệu chỉnh độ chính xác của máy trước khi tiến hành đo thực tế.

Khi khảo sát hiện trường, phép đo được thực hiện lặp lại nhiều lần và đo chéo giữa các điểm, nhằm giảm sai số và đảm bảo độ tin cậy của kết quả. Sai số đo được khống chế trong phạm vi ±5%, đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của thí nghiệm hiện trường.

Khi tiến hành kiểm tra vết nứt trong bê tông, thiết bị đo được đặt vuông góc với bề mặt kết cấu, đồng thời thu nhận và ghi lại tín hiệu sóng phản hồi. Dữ liệu được xử lý tự động, hiển thị chiều sâu, chiều rộng và hướng phát triển của vết nứt. Các kết quả đo được lưu trữ và xuất báo cáo ngay trên thiết bị.

Khi đo chiều rộng vết nứt, camera gắn trên đầu dò truyền hình ảnh trực tiếp về màn hình hiển thị của máy (Hình 2). Sau khi ảnh được làm rõ, thiết bị tự động nhận dạng biên vết nứt, xác định bề rộng và lưu lại kết quả. Trường hợp cần thiết, người vận hành có thể hiệu chỉnh và đọc giá trị thủ công để tăng độ chính xác.



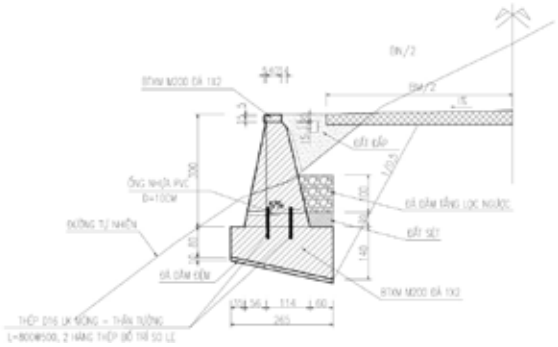
Hình 2. Sơ đồ minh hoạ đo vết nứt trong tường chắn trọng lực bê tông

Khi đo độ sâu vết nứt, đặt bộ phát và bộ thu năng lượng siêu âm ở hai vị trí đối xứng hai bên vết nứt cần kiểm tra, giữa bề mặt thiết bị và tường bê tông cần sử dụng chất kết dính để đảm bảo cường độ tín hiệu thu nhận. Nhấn nút khởi động của thiết bị để lấy mẫu đo vết nứt; khi giá trị độ sâu vết nứt thay đổi, nhấn nút lưu để ghi lại các thông tin liên quan của vết nứt.

3. PHÂN TÍCH XU HƯỚNG PHÁT TRIỂN VÀ NGUYÊN NHÂN HÌNH THÀNH VẾT NỨT TƯỜNG CHẮN

3.1. Phân tích dữ liệu vết nứt

Bài báo chọn 3 vị trí tường chắn bê tông của dự án xảy ra hiện tượng nứt, chiều cao tường chắn từ 1 - 3 m có cấu tạo như Hình 3 làm đối tượng phân tích.



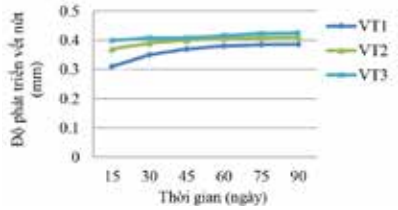
Hình 3. Cấu tạo tường chắn bê tông (đơn vị bản vẽ cm)

Hiện trạng của các đoạn tường chắn phạm vi này có xuất hiện các dạng vết nứt nghiêng khác nhau dọc theo thân tường từ phía

trên đỉnh tường đang có xu hướng phát triển xuống phần thân của tường chắn.

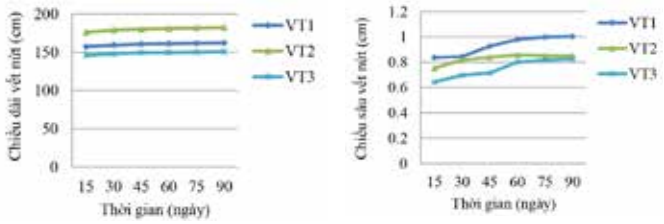
Hình 4. Các dạng nứt nghiêng tường chắn trọng lực bê tông tại đường TTBG tỉnh Cao Bằng

Các vị trí đo được đánh số lần lượt VT1, VT2 và VT3. Công tác đo thực hiện đợt đầu tiên bắt đầu từ ngày 18/11/2024, chu kỳ đo 15 ngày/lần, kéo dài trong 90 ngày. Kết quả đường cong biến thiên vị trí vết nứt thể hiện ở Hình 5, còn đường cong biến thiên chiều dài và độ sâu thể hiện ở Hình 6.



Hình 5. Kết quả đo độ phát triển vết nứt

Từ Hình 5 có thể thấy, độ phát triển vết nứt nằm trong khoảng 0,31 - 0,42 mm, phần lớn vết nứt có độ phát triển 0,39 mm. Theo thời gian, mức phát triển giảm dần và đạt trạng thái ổn định.



a) - Kết quả đo chiều dài vết nứt *b) - Kết quả đo chiều sâu vết*

Hình 6. Kết quả đo chiều dài và chiều sâu vết nứt

Từ Hình 6a có thể thấy, chiều dài vết nứt dao động 1,46 - 1,61 m, trong đó có 2 vết nứt dài hơn 1,5 m. Chiều dài vết nứt tăng dần theo thời gian và sau đó gần như không thay đổi. Từ Hình 6b cho thấy, độ sâu vết nứt trong khoảng 0,6 - 1,0 cm. Theo thời gian, độ sâu tăng chậm và sau khoảng 60 ngày, độ sâu vết nứt có xu hướng ổn định.

Từ các kết quả trên có thể thấy, theo thời gian, vết nứt của tường chắn tiếp tục phát triển với tốc độ chậm, sau đó dần đạt trạng thái ổn định. Khi độ sâu vết nứt đạt đến trạng thái ổn định và vẫn nằm trong lớp bê tông bảo vệ của tường chắn, chưa phát triển vào phần kết cấu chịu lực bên trong, có thể xác định rằng đây là vết nứt bề mặt nông.

3.2. Phân tích lực tác dụng lên tường chắn

Để phân tích nguyên nhân hình thành vết nứt tường chắn, trước tiên tác giả tiến hành phân tích ổn định chịu lực của tường chắn với sự trợ giúp của bộ chương trình GEO 5.

Các nội dung kiểm tra bao gồm:

- Kiểm tra ổn định lật [6]:

$$\gamma_s M_{res} > M_{ovr} \quad (1)$$

Trong đó:

M_{ovr} - Mô-men lật; γ_s - Hệ số ổn định chung của công trình; M_{res} - Mô-men kháng lật.

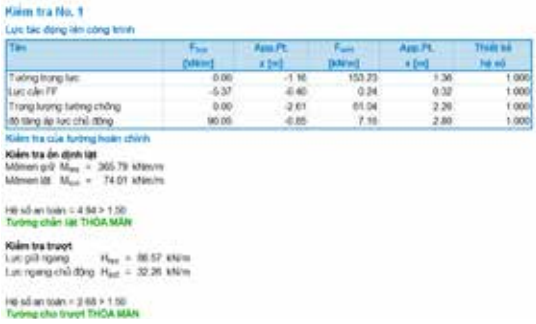
- Kiểm tra ổn định trượt [6]:

$$\gamma_s(N.tg\varphi_d + c_d(d - 2e)) > T \quad (2)$$

Trong đó:

N - Ứng suất pháp tác dụng dưới đáy móng; φ_d - Độ dính thiết kế giữa đất và công trình; d - Chiều dày đế tường; e - Độ lệch tâm; M_{res} - Mô-men kháng lật; γ_s - Hệ số ổn định tổng thể công trình; T - Lực tiếp tuyến tác động dưới đáy móng.

Kết quả kiểm toán bằng Geo5 như sau:



Hình 7. Kết quả tính toán từ phần mềm Geo5 - Phiên bản 5.2017.80.0

Từ kết quả Hình 7 cho thấy, hệ số an toàn ổn định chống trượt của tường chắn 2,68 > 1,5, thỏa mãn yêu cầu tiêu chuẩn, kết cấu ổn định về mặt chịu lực. Do đó, có thể kết luận rằng ứng suất tác dụng lên tường chắn không phải là nguyên nhân chính gây ra vết nứt và các vết nứt không thuộc loại nứt kết cấu.

3.3. Phân tích điều kiện thi công tường chắn

Trong quá trình đổ bê tông tường chắn, do chênh lệch nhiệt độ giữa bê tông và môi trường hoặc nhiệt độ không đồng đều giữa các lớp trong khối tường, cùng với các yếu tố như đầm bê tông không đủ, bảo dưỡng không đạt yêu cầu khiến nhiệt thủy hóa tập trung ở bên trong bê tông tường chắn, làm cho ứng suất kéo cục bộ vượt quá giới hạn chịu kéo của bê tông, từ đó phát sinh vết nứt trên bề mặt tường.

Dự án này sử dụng bê tông mác 200 cho xây dựng tường chắn, trước khi thi công đã tiến hành thí nghiệm thành phần cấp phối như trong Hình 8.

Hình 8. Thiết kế cấp phối bê tông mác 200 dự án đường tuần tra biên giới Cao Bằng

Qua kiểm nghiệm, tỷ lệ cấp phối bê tông được xác định phù hợp với các tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành. Trong quá trình thi công tường chắn, nhà thầu đã tổ chức đổ bê tông theo đúng biện pháp thi công được phê duyệt và tuân thủ đúng các quy định kỹ thuật về trình tự, phương pháp thi công. Sau khi đổ bê tông xong và tháo dỡ cốp pha, tiến hành bảo dưỡng ngay lập tức.

Việc bảo dưỡng được thực hiện bằng cách phủ bao bố tưới ẩm lên bề mặt bê tông. Theo nhật ký thi công dự án, công tác đổ bê tông tường chắn được tiến hành vào tháng 11, khi nhiệt độ không khí dao động trong khoảng 8°C - 15°C. Do nhiệt độ môi trường bên

ngoài thấp, bên trong tâm khối bê tông có nhiệt thủy hóa xi măng cao, dẫn tới có sự chênh lệch nhiệt độ lớn giữa bên trong và bề mặt tường chắn, tạo ra ứng suất kéo bề mặt bê tông, nguy cơ gây nứt bề mặt tường chắn. Vì vậy, cần tính toán chênh lệch nhiệt độ của bê tông để đánh giá nguy cơ nứt trong quá trình bảo dưỡng.

Công thức tính độ tăng nhiệt tuyệt nhiệt [8, 10] như sau:

$$\Delta T_t = \frac{XQ_\tau}{C_b \gamma_b}(1 - e^{-mt}) \quad (3)$$

Trong đó: X - Hàm lượng xi măng trong 1 m^3 bê tông (kg/m^3); Q_τ - Nhiệt thủy hóa của xi măng ở tuổi τ ngày (kJ/kg); C_b - Nhiệt dung riêng của bê tông (kJ/(kg.°C)); γ_b - Trọng lượng riêng của bê tông; m - Mức độ thủy hoá bê tông.

Nhiệt độ bên trong khối bê tông ở tuổi t ngày [8, 10] được xác định:

$$T_t = T_0 + \Delta T_t \quad (4)$$

Trong đó: T_0 - Nhiệt độ ban đầu khi đổ bê tông.

Công thức tính nhiệt độ bề mặt [11] được xác định như sau:

$$T_s = T_\infty + (T_t - T_\infty)e^{-\frac{hL}{(\gamma_b C_b L)}} \quad (5)$$

Trong đó: h - Hệ số trao đổi nhiệt đối lưu (W/m^2.°C); γ_b - Trọng lượng riêng bê tông (kg/m^3); C_b - Nhiệt dung riêng của bê tông (kJ/(kg.°C)); L - Chiều sâu truyền nhiệt đặc trưng (m).

Sau khi tính toán, sự gia tăng nhiệt của bê tông ở các giai đoạn tuổi khác nhau được hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Giá trị tăng nhiệt tuyệt nhiệt của bê tông theo các giai đoạn tuổi.

Thời gian (ngày)	1	3	7	10	14	28	Giá trị cuối
Nhiệt độ bên trong bê tông (°C)	24,43	37,78	46,48	48,01	48,54	48,68	48,68
Nhiệt độ bề mặt bê tông	12,68	12,88	13,01	13,03	13,04	13,04	13,04
Chênh lệch	11,75	24,90	33,47	34,98	35,50	35,64	35,64

Nhiệt độ tâm khối tường chắn được xác định thông qua các cảm biến nhiệt độ đã bố trí trước đó, kết quả chênh lệch nhiệt độ tâm khối và bề mặt tường chắn như sau:

Sau 1 - 3 ngày đầu, chênh lệch nhiệt độ tâm khối bê tông và bề mặt tường chắn dao động 11,75 - 24,90°C; sau 3 - 7 ngày, chênh lệch nhiệt độ giữa bên trong và bề mặt khoảng 24,90 - 33,47°C, vượt quá kiểm soát chênh lệnh nhiệt độ 25°C theo TCVN 9342:2012. Từ đó có thể thấy ứng suất nhiệt có thể là nguyên nhân chính gây nứt.

Dựa trên phân tích tỷ lệ cấp phối bê tông, quy trình đổ, bảo dưỡng và kiểm soát nhiệt độ, có thể xác định rằng nguyên nhân chính gây nứt bề mặt tường chắn là do ứng suất nhiệt. Vết nứt bề mặt xuất hiện chủ yếu là kết quả của việc nhiệt thủy hóa tập trung trong khối bê tông, trong khi nhiệt lượng không kịp tỏa ra môi trường, dẫn đến nhiệt độ bên trong cao hơn đáng kể so với mặt ngoài. Sự co ngót nhiệt của lớp ngoài và giãn nở nhiệt của lớp trong tạo ra ứng suất kéo vượt quá giới hạn chịu kéo của bê tông, làm xuất hiện vết nứt bề mặt nhiệt trên tường chắn.

4. BIỆN PHÁP XỬ LÝ VÀ PHÒNG NGỪA

Đối với các vết nứt đã xuất hiện, tiến hành xử lý bằng công nghệ bơm vữa áp lực tĩnh, sử dụng thiết bị bơm vữa cao áp cỡ nhỏ để bơm liên tục vữa xi măng vào vị trí vết nứt, cho đến khi toàn bộ khe nứt được lấp đầy hoàn toàn. Sau khi hoàn tất quá trình bơm, tiến hành kiểm tra lại bằng phương pháp siêu âm phẳng, kết quả cho thấy các vết nứt không tiếp tục phát triển và không xuất hiện thấm nước, đạt mục tiêu phục hồi liên kết vật liệu và bịt kín vết nứt.

Để phòng ngừa nứt tường chắn bê tông trong các công trình tương tự, có thể thực hiện các biện pháp sau:

- Tối ưu hóa vật liệu: Sử dụng xi măng tỏa nhiệt thấp (như xi măng poóc-lăng hỗn hợp) nhằm giảm nhiệt thủy hóa; đồng thời thử nghiệm tỷ lệ cấp phối trước khi thi công để chọn ra tỷ lệ phối trộn tối ưu cho điều kiện khí hậu thực tế.

- Kiểm soát quy trình thi công: Khi đổ bê tông, cần thi công theo từng lớp, từng đợt, đảm bảo đầm chặt đầy đủ và lớp dưới phải đông kết ban đầu trước khi đổ lớp kế tiếp để tránh tạo khe lạnh; đầm bê tông bảo đảm đúng kỹ thuật để hạn chế rỗ khí và phân tầng vật liệu.

- Chú trọng công tác bảo dưỡng: Sau khi đổ xong, cần bảo dưỡng ẩm ngay; tùy theo điều kiện môi trường và biến thiên nhiệt độ, điều chỉnh thời gian và phương pháp bảo dưỡng phù hợp.

- Giám sát và kiểm soát nhiệt độ: Lắp đặt thiết bị đo nhiệt và hệ thống theo dõi nhiệt độ tự động; thực hiện kiểm soát nhiệt độ theo thời gian thực, đảm bảo chênh lệch nhiệt độ giữa trong và ngoài bê tông không vượt quá 20°C, đồng thời giữ cho nhiệt độ và độ ẩm thay đổi từ từ, nhằm giảm ứng suất nhiệt nội bộ và ngăn ngừa sự hình thành vết nứt nhiệt trong tường chắn.

5. KẾT LUẬN

Kết quả khảo sát cho thấy các vết nứt trên tường chắn chỉ xuất hiện trong lớp bê tông bảo vệ và xu hướng ổn định theo thời gian, không ảnh hưởng đến khả năng chịu lực của kết cấu. Phân tích nội lực chứng minh tải trọng tác dụng không phải nguyên nhân chính, trong khi chênh lệch nhiệt độ bên trong và bề mặt tường chắn bê tông do nhiệt thủy hóa là yếu tố chủ đạo gây nứt bề mặt. Giải pháp đề xuất gồm: Sử dụng xi măng tỏa nhiệt thấp, kiểm soát nhiệt độ thi công, duy trì bảo dưỡng ẩm hợp lý và giám sát nhiệt độ trong - ngoài khối bê tông nhằm hạn chế ứng suất kéo và ngăn ngừa nứt lan rộng. Nghiên cứu góp phần cung cấp cơ sở khoa học cho việc đánh giá và kiểm soát nứt nhiệt trong tường chắn bê tông, đồng thời là tài liệu tham khảo cho các công trình thi công trong điều kiện khí hậu tương tự.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Phan Mạnh Trường (2005), Áp lực đất và tường chắn đất, Lần xuất bản thứ nhất, NXB. Xây dựng, Hà Nội.

[2]. Nguyễn Quang Chiêu (2004), Thiết kế tường chắn đất, Lần xuất bản thứ nhất, NXB. Giao thông vận tải, Hà Nội.

[3]. Phạm Văn Long (2018), Cơ học đất và nền móng, Lần xuất bản thứ hai, NXB. Xây dựng, Hà Nội.

[4]. Nguyễn Việt Hùng (2012), Công trình chắn đất và tường chắn đất, Lần xuất bản thứ nhất, NXB. Giao thông vận tải, Hà Nội.

[5]. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 9342:2012 (2012), Công trình bê tông cốt thép toàn khối xây dựng bằng cốp pha trượt - Thi công và nghiệm thu, Hà Nội.

[6]. Đỗ Văn Đệ (chủ biên), Vũ Minh Tuấn, Nguyễn Hải Nam, Đỗ Tiến Dũng (2011), Tính toán công trình tương tác với nền đất bằng phần mềm GEO5, Lần xuất bản thứ nhất, NXB. Xây dựng, Hà Nội.

[7]. Lê Xuân Cầm (2014), Công nghệ thi công bê tông khối lớn - Các giải pháp kiểm soát nhiệt độ và ứng suất nhiệt, Lần xuất bản thứ nhất, NXB. Xây dựng, Hà Nội.

[8]. Lê Quang Trung, Phan Xuân Thục, Lưu Văn Thực (2024), Chế độ nhiệt trong bê tông khối lớn ở giai đoạn hạ nhiệt, Tạp chí Vật liệu và Xây dựng, tập 14 số 05. DOI: https://doi.org/10.54772/jomc.05.2024.806.

[9]. ACI Committee 224, Causes (1993), Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures (ACI 224.1R-93), American Concrete Institute, Detroit (MI).

[10]. ACI Committee 207 (2016), Report on Thermal and Volume Change Effects on Cracking of Mass Concrete, 1st ed., American Concrete Institute, Farmington Hills (MI).

[11]. USBR Reclamation (1987), Thermal Studies of Mass Concrete, 1st ed., U.S. Bureau of Reclamation, Denver (CO).

[12]. M. Budhu (2011), Soil Mechanics and Foundations, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Hoboken (NJ).

[13]. Federal Highway Administration (FHWA) (2010), Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes - Design and Construction Guidelines (FHWA-NHI-10-024), U.S. Department of Transportation, Washington D.C.

[14]. Wu Kexing, Yu Lihua (2008), Causes and Prevention Measures of Cracks in Hydraulic Concrete Retaining Walls [J]. Water Resources Science and Economy, 14(4): 339-340.

[15]. Wang Qing, Li Long (2013), Temperature Crack Control Measures for Large-Volume Concrete Retaining Walls during Curing [J]. Shanxi Architecture, 39(28): 88-89.

[16]. C. Yang (2025), Study on the Causes of Cracking in Concrete Components: A Case of Wharf Concrete Components, 1st Edition, MDPI Publishing, Basel. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings15081352.