

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ YẾU TỐ ĐẾN TRẠNG THÁI ỨNG SUẤT NHIỆT TRONG ĐẬP SÊ SAN 3

PGS.TS. NGUYỄN CHIẾN - Đại học Thủy Lợi

KS. NGUYỄN CẢNH TĨNH - Ban QLTW DA Thủy lợi

Tóm tắt: Khi xây dựng đập bê tông trọng lực khối lớn, ứng suất nhiệt là một yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến độ bền và ổn định của đập nên cần được phân tích, đánh giá đầy đủ trong thiết kế, thi công và quản lý khai thác đập. Trong bài này giới thiệu việc sử dụng phần mềm ConteSt Pro để nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố như hàm lượng xi măng, nhiệt độ vữa, chiều cao khối đổ, thời gian giãn cách khối đổ đến trường nhiệt độ và ứng suất nhiệt trong đập Sê San 3. Phương pháp và các kết quả tính toán có thể tham khảo cho các công trình tương tự.

1. Đặt vấn đề

Đập bê tông trọng lực khối lớn được xây dựng ngày càng nhiều trong các công trình thủy lợi, thủy điện ở nước ta. Đặc điểm của vật liệu bê tông là tỏa nhiệt trong quá trình ngưng kết, làm cho nhiệt độ trong lòng khối đổ tăng lên nhiều so với khu vực bên ngoài, gây ra sự giãn nở không đều, có thể tạo ra ứng suất kéo lớn, tạo vết nứt trong lòng khối đổ, tiềm ẩn khả năng phá hoại độ bền, gây mất ổn định công trình. Ngoài ra, trong quá trình khai thác đập, sự chênh lệch nhiệt độ giữa ngày và đêm, giữa mùa hè và mùa đông của môi trường xung quanh đập cũng là những yếu tố gây nên ứng suất nhiệt, có thể tổ hợp cùng với các tác động khác gây mất an toàn đập. Vì vậy, trong thiết kế, thi công và quản lý khai thác đập phải giải bài toán ứng suất nhiệt và đánh giá an toàn của công trình chịu tác động của ứng suất nhiệt cùng với các tác động khác.

Trong thi công đổ bê tông đập khối lớn luôn có sự mâu thuẫn giữa yêu cầu tăng tốc độ thi công với những hạn chế do ứng suất nhiệt trong khối đổ. Vì vậy phải giải quyết bài toán kinh tế trong việc lựa chọn kích thước khối đổ, thời gian giãn cách khối đổ, nhiệt độ vữa khi đổ, hàm lượng xi măng trong vữa... Những nghiên cứu về ảnh hưởng của các yếu tố đến trạng thái ứng suất nhiệt trong đập là cơ sở để lựa chọn hợp lý giá trị của các thông số cơ bản trong thi công đập. Sau đây trình bày những kết quả nghiên cứu chính đã thực hiện đối với đập Sê San 3.

2. Phương pháp tính toán ứng suất nhiệt thân đập

2.1. Nguyên lý cơ bản xác định trường nhiệt độ trong thân đập

Đối với thân đập bê tông, nhiệt được truyền trong đó chủ yếu theo nguyên lý dẫn nhiệt. Phương trình vi phân dẫn nhiệt dưới dạng tổng quát được viết như sau [2]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{q_v}{c\rho} + \frac{\lambda}{c\rho} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (2.1)$$

Trong đó:

T: Nhiệt độ bê tông ($^{\circ}\text{C}$).

x,y,z: Các hướng của tọa độ (m).

ρ : Khối lượng riêng của vật thể (Kg/m^3).

τ : Biến thời gian (giờ, ngày).

c: Nhiệt dung riêng của vật liệu ($\text{KCal}/\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$).

q_v : Năng suất tỏa nhiệt của nguồn nhiệt bên trong ($\text{Kcal}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$).

λ : Hệ số dẫn nhiệt, đặc trưng cho khả năng dẫn nhiệt của vật thể.

Phương trình (2.1) có các trường hợp riêng:

+ Nếu không có nguồn nhiệt bên trong tức

$$q_v = 0 \text{ thì } \frac{\partial T}{\partial \tau} = a\nabla^2 T \quad (2.2)$$

+ Nếu nhiệt độ trong vật không thay đổi theo thời gian (dẫn nhiệt ổn định), (2.1) chuyển thành

$$\text{phương trình Poisson: } \frac{q_v}{c\rho} + a\nabla^2 T = 0 \quad (2.3)$$

+ Nếu dẫn nhiệt ổn định và không có nguồn nhiệt bên trong ($q_v = 0$), (2.1) chuyển thành phương trình Laplace $\nabla^2 T = 0$ (2.4)

2.2. Sự phát triển nhiệt độ trong khối đổ bê tông

Dòng nhiệt của kết cấu bê tông trong quá trình xây dựng phụ thuộc chủ yếu vào quá trình hòa tan và ngưng kết của xi măng. Tổng nhiệt lượng phụ thuộc vào quá trình thủy hóa của từng loại xi măng, dao động trong khoảng 120–130kJ/kg. Hầu hết nhiệt tỏa ra trong 6-7 ngày đầu sau khi đổ bê tông, trong đó sự tăng nhiệt độ chủ yếu xảy ra trong hai ngày đầu, giá trị tăng đạt cực đại sau khoảng 8-12h từ khi trộn. Quá trình nhiệt phát triển nhanh ở điều kiện nhiệt độ cao, ở nhiệt độ môi trường thấp thì quá trình nhiệt phát triển chậm. Với các kết cấu bê tông khối lớn, điều kiện tỏa nhiệt ra môi trường không thuận lợi, đồng thời do bê tông có tính dẫn nhiệt kém nên nhiệt lượng sinh ra tập trung vào khu vực lõi của khối, làm phát sinh chênh lệch nhiệt độ với vùng vật liệu giáp biên. Đồng thời nhiệt độ của khối bê tông cao hơn nhiệt độ môi trường xung quanh (không khí hoặc nước). Khi nhiệt độ trong khối bê tông đạt một giá trị nào đó sẽ giảm dần đến mức ổn định. Khi đó chỉ có vùng bê tông giáp biên mới chịu ảnh hưởng của biến thiên nhiệt độ môi trường.

2.3. Ứng suất nhiệt trong khối đổ bê tông

Trạng thái ứng suất nhiệt của đập bê tông được hình thành trong quá trình thi công và chịu ảnh hưởng của trường nhiệt thay đổi theo thời gian. Sự thay đổi của trường nhiệt phụ thuộc vào các yếu tố như: nhiệt thủy hóa xi măng, dao động nhiệt độ ngoài trời, sơ đồ phân chia mặt cắt đập thành các khối đổ bê tông, kích thước của khối đổ v.v. Sự thay đổi nhiệt độ các vùng bên ngoài đập được xác định bởi các dao động nhiệt độ xung quanh (nước hồ, không khí), khi nhiệt độ ban đầu được phân bố đều trong giới hạn công trình, ứng suất tại vị trí tiếp giáp σ_{xk} được thay đổi không nhiều theo chiều rộng của đập và có thể xác định theo công thức:

$$\sigma_{xk} = E_b \alpha (T_k - T_{ma}) K_3 K_c \quad (2.5)$$

Trong đó :

α : Hệ số nhiệt độ tăng tuyệt tính;

T_k : Nhiệt độ bê tông khi nhập khối;

K_c : Hệ số kể đến ảnh hưởng dao động ứng suất.

E_b : Mô đun đàn hồi của bê tông;

T_{ma} : Nhiệt độ trung bình nhiều năm của nền;

K_3 : Hệ số tính đến vị trí tiếp giáp (gia cố) của công trình và nền;

Hệ số K_3 phụ thuộc vào tỷ số của mô đun biến dạng nền E_0 với giá trị tính toán mô đun đàn hồi của khối đổ bê tông E_{bt} theo công thức:

$$K_3 = 0,168 \frac{E_0}{E_{br}} + \frac{1}{3} \left[1 - \exp \left(-5,971 \frac{E_0}{E_{br}} \right) \right] \quad (2.6)$$

Giá trị tính toán của mô đun đàn hồi của khối đổ bê tông E_{bt} theo quy phạm thiết kế đập bê tông Snip 2.06.06-85 được xác định theo công thức:

$$E_{bt} = 0,75 E_b \left[1 - 0,04 \left(\frac{3}{h_b} - 1 \right) \right] \quad (2.7)$$

Với h_b - chiều cao khối đổ bê tông.

Sự cân bằng nhiệt độ khối đổ và nền xảy ra khi mô đun đàn hồi của bê tông đạt tới giá trị giới hạn của mình trong điều kiện giảm tính từ biến do hậu quả bị lão hoá. Trong phạm vi vùng đập có chiều cao $H_{ad}=0,5B$, nhiệt độ ban đầu được phân bố theo chiều cao $T_d=T_d(y)$, tại các điểm ở độ cao y kể từ nền, ứng suất kéo

$$\sigma_{xd} = E_b \alpha (T_d - T_{ma}) K_3 K_c \left(1 - \frac{y}{H_{da}} \right) \quad (2.8)$$

Đánh giá khả năng chống nứt của bê tông:

$$\sigma_{xd} \leq \gamma_{cm} \epsilon_{lim} E \quad (2.9)$$

Trong đó:

γ_{cm} : Hệ số điều kiện làm việc;

ϵ_{lim} : Độ kéo căng giới hạn của bê tông;

E_b : Mô đun đàn hồi ban đầu của bê tông.

Giá trị ϵ_{lim} , E_b , γ_{cm} được lấy theo các quy phạm thiết kế, phụ thuộc vào cấp bê tông, độ sụt của hỗn hợp bê tông, cỡ hạt lớn nhất của cốt liệu [3].

2.4. Lựa chọn phân mềm tính toán

Việc nghiên cứu trường ứng suất nhiệt trong thân đập đã được xem xét từ khá lâu, vẫn thường dùng phương pháp tính toán ứng suất nhiệt của Viện năng lượng Liên Xô (cũ). Qua thực tế thiết kế, thi công xây dựng cùng với các phương tiện nghiên cứu, tính toán ngày càng hiện đại, vấn đề ứng suất nhiệt trong thân đập bê tông hiện nay đã được xem xét có nhiều điểm khác so với quan niệm trước đây. Việc ứng dụng phương pháp phân tử hữu hạn (PTHH) để giải bài toán nhiệt trong bê tông tỏ ra khá hữu hiệu, phương pháp

PTHH cho phép mô phỏng sự làm việc của toàn bộ khối đập với hầu hết các yếu tố ảnh hưởng đến ứng suất nhiệt bao gồm cả thời gian. ConteSt Pro là phần mềm chuyên dụng để phân tích trường nhiệt và ứng suất nhiệt trong các kết cấu bê tông khối lớn, phần mềm đã tích hợp hầu hết các yếu tố ảnh hưởng, kể cả yếu tố thời gian vào thuật toán chương trình. Do đó kết quả tính toán đã mô tả tương đối phù hợp sự biến thiên nhiệt độ và phân bố ứng suất trong thân đập. ConteSt Pro tính toán sự gia tăng nhiệt trên mặt phẳng vuông góc với tim đập, phụ thuộc vào chiều dài dọc theo tim đập (khoảng cách giữa hai khe nhiệt) đủ để sinh ra những đường biên đoạn nhiệt. Ứng suất phát sinh do nhiệt độ trong khối bê tông đập được tính theo trục dọc tim đập, ConteSt Pro xem xét hiện tượng phát nhiệt và tỏa nhiệt trong mặt phẳng vuông góc với trục khối đổ và sự tích tụ hay tỏa nhiệt theo thời gian của khối bê tông đập từ khi bắt đầu thi công khối đầu tiên [1]. Các kết quả tính toán nêu ra dưới đây đều được thực hiện bằng ConteSt Pro.

3. Ứng dụng tính toán cho đập Sê San 3

3.1. Giới thiệu đập Sê San 3 [4]

Công trình thủy điện Sê San 3 (xem hình 1) nằm trên dòng chính sông Sê San, là một công trình trong bậc thang khai thác thủy điện sông Sê San đã được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt theo văn bản số 496/CP-CN ngày 7/6/2001.

Công trình nằm cách thủy điện Ialy khoảng 20km về phía hạ lưu, nhiệm vụ chính là phát điện với công suất lắp máy 260MW. Theo tiêu chuẩn Việt Nam TCXD VN 285: 2002, công trình thủy điện Sê San 3 thuộc nhóm công trình cấp I. Đập dâng Sê San 3 có kết cấu đập bê tông trọng lực, chiều cao đập lớn nhất là 79,5m, hệ số mái thượng lưu 1:0,1, hệ số mái hạ lưu 1:0,75.

3.2 Các thông số tính toán ứng suất nhiệt cho đập Sê San 3

Theo thiết kế, trên mặt cắt ngang đập có sự phân bố các loại bê tông khác nhau như sau:

- Phần lõi đập chiếm phần lớn diện tích mặt cắt ngang đập là bê tông M15;
- Phần mặt mái thượng lưu đập là lớp bê tông M20 dày 150cm;
- Đáy đập là lớp bê tông M20 dày 150cm;

Trong thành phần cấp phối bê tông đập, chất kết dính của bê tông đập là xi măng và phụ gia

khoáng hoạt tính. Tỷ lệ sử dụng phụ gia khoáng hoạt tính trong khoảng 30% tổng lượng chất kết dính của bê tông. Xi măng dùng cho bê tông đập là loại xi măng toả nhiệt thấp hoặc xi măng toả nhiệt trung bình của các nhà máy sản xuất xi măng theo công nghệ lò quay có mác PC30.

3.3 Nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố đến trạng thái ứng suất nhiệt của đập Sê San 3.

Ứng suất nhiệt độ trong thân đập phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong đó có 4 yếu tố chính là: lượng dùng xi măng, nhiệt độ ban đầu vữa bê tông, chiều cao khối đổ, thời gian giãn cách giữa hai đợt đổ. Để lượng hóa sự ảnh hưởng của 4 yếu tố này, đã thực hiện tính toán cho 9 tổ hợp khác nhau, cụ thể:

- TH1: Lượng dùng xi măng M15/M20 là 158/203kg, nhiệt độ vữa 22.5°C; chiều cao khối đổ 3m; tốc độ lên đập 0,5m/h; thời gian giãn cách 2 đợt đổ là 10 ngày.

- TH2: Lượng dùng xi măng M15/M20 là 175/255kg, nhiệt độ vữa 22.5°C; chiều cao khối đổ 3m; tốc độ lên đập 0,5m/h; thời gian giãn cách 2 đợt đổ là 10 ngày.

- TH3: Lượng dùng xi măng M15/M20 là 200/250kg, nhiệt độ vữa 22.5°C; chiều cao khối đổ 3m; tốc độ lên đập 0,5m/h; thời gian giãn cách 2 đợt đổ là 10 ngày.

- TH4: Lượng dùng xi măng M15/M20 là 175/255kg, nhiệt độ vữa 10°C; chiều cao khối đổ 3m; tốc độ lên đập 0,5m/h; thời gian giãn cách 2 đợt đổ là 10 ngày.

- TH5: Lượng dùng xi măng M15/M20 là 175/255kg, nhiệt độ vữa 15°C; chiều cao khối đổ 3m; tốc độ lên đập 0,5m/h; thời gian giãn cách 2 đợt đổ là 10 ngày.



Hình 1. Thủy điện Sê San 3 nhìn từ hạ lưu

- TH6: Lượng dùng xi măng M15/M20 là 175/255 kg, nhiệt độ vữa 22.5°C; chiều cao khối đổ 1 m; tốc độ lên đập 0,5 m/h; thời gian giãn cách 2 đợt đổ là 10 ngày.

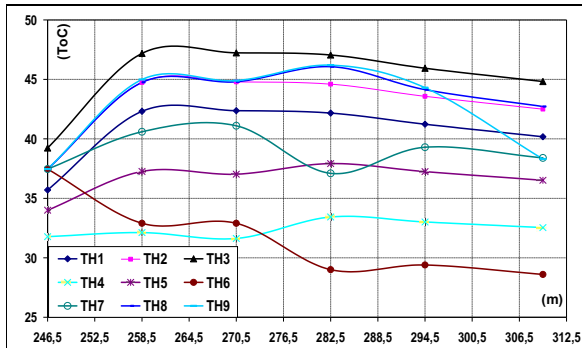
- TH7: Lượng dùng xi măng M15/M20 là 175/255 kg, nhiệt độ vữa 22.5°C; chiều cao khối đổ 2 m; tốc độ lên đập 0,5 m/h; thời gian giãn cách 2 đợt đổ là 10 ngày.

- TH8: Lượng dùng xi măng M15/M20 là 175/255kg, nhiệt độ vữa 22.5°C; chiều cao khối

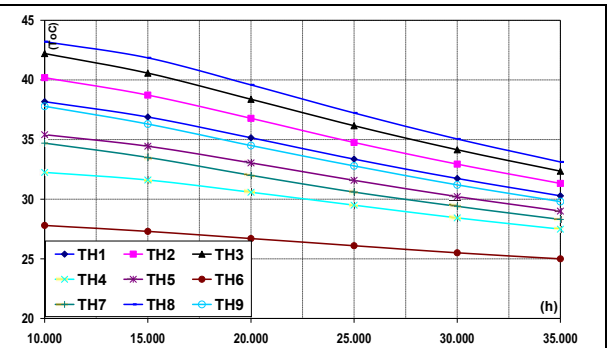
đổ 3m; tốc độ lên đập 0,5m/h; thời gian giãn cách 2 đợt đổ là 15 ngày.

- TH9: Lượng dùng xi măng M15/M20 là 175/255kg, nhiệt độ vữa 22.5°C; chiều cao khối đổ 3m; tốc độ lên đập 0,5m/h; thời gian giãn cách 2 đợt đổ là 5 ngày.

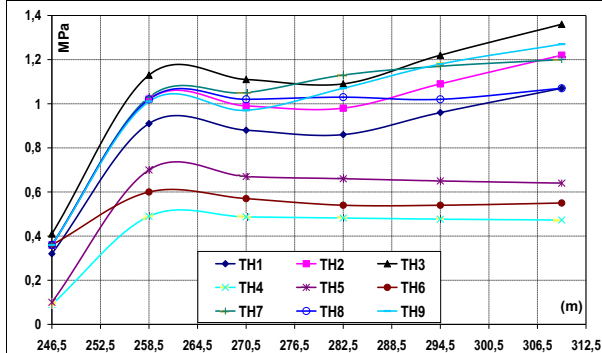
Kết quả tính toán nhiệt độ và ứng suất nhiệt trong thân đập thời kỳ thi công và vận hành xem ở hình vẽ 2, 3, 4, 5:



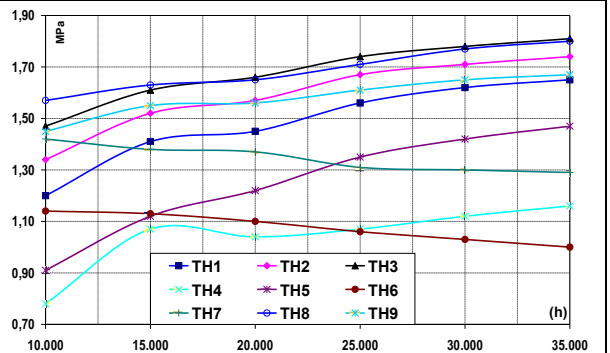
Hình 2. Nhiệt độ thân đập thời kỳ thi công



Hình 3. Nhiệt độ thân đập thời kỳ vận hành



Hình 4. Ứng suất nhiệt thân đập thời kỳ thi công



Hình 5. Ứng suất nhiệt thân đập thời kỳ vận hành

Một số nhận xét:

1. Về ảnh hưởng lượng dùng xi măng: Giá trị ứng suất nhiệt và độ mất ổn định do nhiệt biến đổi tăng so với lượng dùng xi măng, nếu lượng xi măng càng lớn thì giá trị ứng suất nhiệt trong thân đập càng tăng và hệ quả là kết cấu đập càng dễ mất ổn định do nhiệt. Nếu tăng lượng dùng xi măng sẽ làm tăng độ bền kết cấu đập nhưng lại dễ làm mất ổn định vì nhiệt, còn nếu giảm lượng dùng xi măng để đạt an toàn về nhiệt thì lại làm mất ổn định bên của kết cấu. Do đó cần có các giải pháp làm mát khác để có thể giảm lượng dùng xi măng ở mức cho phép.

2. Về ảnh hưởng nhiệt độ ban đầu: Giá trị

ứng suất nhiệt và độ mất ổn định do nhiệt biến đổi giảm so với nhiệt độ ban đầu của hỗn hợp vữa. Nhiệt độ ban đầu của hỗn hợp vữa càng thấp thì sự tăng nhiệt, ứng suất nhiệt và mức độ mất ổn định về nhiệt càng ít. Do đó để hạn chế sự phát triển nhiệt trong khối đổ cần nghiên cứu các giải pháp làm lạnh cốt liệu, có thể áp dụng biện pháp làm lạnh cốt liệu trước hoặc bố trí hệ thống làm mát trong thân đập.

3. Về ảnh hưởng chiều cao khối đổ: Giá trị ứng suất nhiệt và độ mất ổn định do nhiệt biến đổi tăng so với việc tăng chiều cao khối đổ, quá trình tăng nhiệt phát triển trong thời gian dài. Để đảm bảo an toàn về nhiệt, nên chọn kích thước

khối đổ thiên bé. Tuy nhiên chọn khối đổ kích thước nhỏ sẽ kéo dài thời gian thi công, tăng giá thành công trình, do đó việc chọn kích thước cần có sự so sánh phương án. Nếu chọn kích thước thiên lớn thì phải bố trí hệ thống làm mát, giảm lượng ximăng, hạ thấp nhiệt ban đầu của vữa.

4. Về ảnh hưởng thời gian giãn cách các đợt đổ: Nếu thời gian giãn cách khối đổ quá ngắn thì hầu như chỉ có quá trình chông nhiệt trong các khối, nên sự thoát nhiệt ra môi trường ngoài là không đáng kể, gây nên sự chênh lệch lớn về nhiệt độ giữa phần lõi đập so với phần vỏ. Để đảm bảo an toàn về nhiệt, nên giãn dài thời gian giữa các khối đổ. Tuy nhiên điều đó đồng nghĩa với việc kéo dài thời gian thi công, chậm tiến độ, ảnh hưởng đến thời gian khai thác nhất là với các công trình thủy điện. Do đó không nên quá kéo dài thời gian giãn cách mà phải nghiên cứu đề xuất các giải pháp kỹ thuật nhằm giảm ứng suất nhiệt như bố trí hệ thống làm mát, giảm lượng ximăng, hạ thấp nhiệt ban đầu, kích thước khối đổ...

4. Kết luận

So sánh các kết quả tính toán từ phần mềm ConteSt Pro và số liệu quan trắc hiện trường, nhận thấy kết quả tính toán từ phần mềm là khá tin cậy, có thể sử dụng trong thiết kế công trình bê tông khối lớn. Khi dùng chương trình để phân tích một số yếu tố ảnh hưởng đến trạng thái ứng

suất nhiệt, có thể rút ra các kết luận sau:

- Trong thời gian thi công đập, thời kỳ đầu là quá trình tăng nhiệt sau đó là quá trình giảm nhiệt. Nhiệt độ đạt max trong vùng lõi đập, giá trị max duy trì trong thời gian dài do vùng lõi đập là khối bê tông lớn gây nên hiệu ứng “ủ nhiệt” trong lõi, nhiệt trong lõi không thoát được ra ngoài. Do đó cần bố trí các ống làm mát trong vùng lõi đập. Càng lên cao, nhiệt độ max trong lõi đập giảm dần, do phần đỉnh đập có kích thước nhỏ hơn nhiều so với phần thân đập nên nhiệt thủy hóa được trao đổi với môi trường, không gây nên sự tích nhiệt trong lõi đập.

- Vùng dễ mất ổn định do nhiệt phát sinh nằm ở chân đập, do mức độ biến dạng nhiệt của nền khác so với bê tông nên dễ phát sinh vùng kéo. Mặc dù lõi nhiệt tập trung ở thân đập nhưng vùng mất ổn định về nhiệt cũng có thể phát sinh từ vùng đỉnh đập do phần đỉnh đập kích thước bé nên lớp vỏ nguội nhanh hơn, trong khi phần thân vẫn đang ở mức nhiệt độ cao.

- Mức độ mất ổn định về nhiệt phát triển sau khi thi công xong, nên cần chú ý đến đặc tính này trong tính toán nhiệt, bố trí thiết bị làm mát hợp lý. Theo kinh nghiệm thi công, trong phạm vi từ đáy đập đến chiều cao $H=0,5B$ đòi hỏi phải có những “ứng xử” về nhiệt chặt chẽ, vùng đập ở chiều cao $H>0,5B$ đòi hỏi xử lý nhiệt ít khắt khe hơn.

Tài liệu tham khảo

1. JEMJMS Concrete (2002), *ConteSt Pro User Manual*, Sweden.
2. GS.TS Nguyễn Văn Mạo (2000), *Cơ sở tính toán công trình thủy lợi*, Trường Đại học Thủy lợi, Hà Nội.
3. Tiêu chuẩn Snip 2.06.06-85 (1986), *Đập bê tông và bê tông cốt thép*, (bản tiếng Nga).
4. Tư vấn xây dựng điện 1 (2002), *Báo cáo chính thủy điện Sê San 3*.

STUDYING SOME FACTORS IMPACT ON THERMAL STRESS STATUS OF SE SAN 3 CONCRETE DAM

ASSOCIATE PRO.DR. NGUYỄN CHIẾN – *Water Resources University*
ENG. NGUYỄN CẢNH TĨNH – *Central Project Office of MARD*

To build a large gravity concrete dams, thermal stress is one of the most important factors that affects to dam stability, so it must be fully carry out while designing, constructing and operating. This article is showing some results in using Contest Pro software to study the impact of factors such as: cements content, temperature, block height and delaying time between two block in SeSan3 concrete dam. The method and calculation result should be uses as references for the similar dams.

Người phản biện: GS. Phạm Ngọc Khánh