

MỘT VÀI KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VỀ DIỄN BIẾN NHIỆT VÀ ỨNG SUẤT NHIỆT TRONG BÊ TÔNG ĐẦM LẤN

ThS. Lê Quốc Toàn
Trường ĐH Thủy lợi

Tóm tắt: Để tránh những sự cố do ứng suất nhiệt gây ra đối với các công trình được xây dựng bởi công nghệ bê tông đầm lăn cần lựa chọn cấp phối và quy trình công nghệ thi công phù hợp dựa trên kết quả nghiên cứu về nhiệt và ứng suất nhiệt. Bài viết đề cập đến quá trình diễn biến nhiệt, ứng suất nhiệt; phương pháp và phần mềm tính toán nhiệt, ứng suất nhiệt; một số kết quả nghiên cứu về nhiệt và ứng suất nhiệt tại công trình đập bê tông đầm lăn Đồng Nai 4.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bê tông đầm lăn (RCC) là loại bê tông sử dụng các nguyên vật liệu tương tự như bê tông thường; nhưng khác với bê tông thường được đầm chặt bằng thiết bị rung đưa vào trong lòng khối đổ, RCC được làm chặt bằng thiết bị rung lên từ mặt ngoài (lu rung). Việc đầm lên bê tông bằng lu rung cho phép sử dụng hỗn hợp bê tông khô, ít chất kết dính hơn so với bê tông thường. Ưu điểm nổi bật của bê tông đầm lăn so với bê tông thường là thời gian thi công nhanh và giá thành hạ, chính vì vậy công nghệ này đã và đang được áp dụng khá phổ biến ở Việt Nam. Những công trình thủy điện lớn như Sơn La, Định Bình, Đồng Nai 3, Đồng Nai 4... đã và đang được thi công bằng công nghệ bê tông đầm lăn.

Tuy nhiên vì lượng dùng xi măng trong thành phần của vữa RCC là rất thấp (85kg/m^3 – đập Đồng Nai 4; 60kg/m^3 – đập Sơn La) vì vậy vấn đề nhiệt và ứng suất nhiệt trong RCC nhiều khi ít được quan tâm. Thực tế, do được thi công với tốc độ rất nhanh nên RCC mau chóng đạt được khối tích lớn và vì vậy, xảy ra quá trình tích tụ nhiệt trong khối bê tông; bên cạnh đó do hàm lượng xi măng nhỏ nên cường độ ban đầu của RCC rất thấp, do vậy bê tông thường vốn đã chịu kéo rất kém nay RCC chịu kéo lại càng kém hơn. Mặt khác, tuy RCC chỉ sử dụng 1 lượng nhỏ xi măng chỉ bằng 25-30% lượng sử dụng trong bê tông thường nhưng trong thành phần của nó có chứa 1 lượng tương đối lớn phụ gia hoạt tính (tro bay, Puzolan...) nên sẽ có ảnh hưởng lớn đến nhiệt và diễn biến nhiệt của RCC;

Vì những lý do nêu trên, sự cố thường xảy ra đối với các công trình RCC là sự nứt nẻ mà nguyên nhân thường do ứng suất nhiệt, gây phá

hoại, làm giảm khả năng làm việc và tuổi thọ công trình. Do vậy *nghiên cứu diễn biến nhiệt, ứng suất nhiệt và khống chế nhiệt trong RCC đã và đang là vấn đề hết sức quan trọng*. Để giảm tác động xấu của nhiệt và ứng suất nhiệt cần lựa chọn cấp phối và quy trình công nghệ thi công phù hợp dựa trên kết quả nghiên cứu về nhiệt và ứng suất nhiệt trong RCC.

II. DIỄN BIẾN NHIỆT, ỨNG SUẤT NHIỆT TRONG RCC

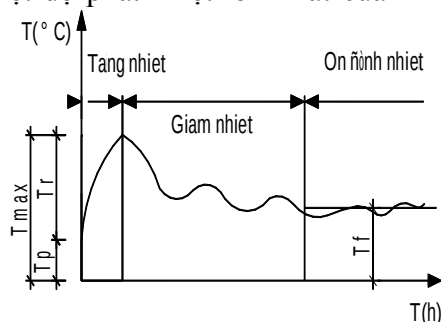
Chất lượng của RCC được quyết định bởi nhiều yếu tố trong đó, khống chế nhiệt, ứng suất nhiệt được xem là một trong những yếu tố quyết định nhất. Ứng suất nhiệt là một trong những nguyên nhân chủ yếu làm xuất hiện khe nứt ở đập bê tông. Các khe nứt này sẽ ảnh hưởng đến khả năng làm việc và tuổi thọ của công trình nhất là với công trình thủy lợi ngoài yêu cầu ổn định lật còn phải đáp ứng khả năng chống thấm cao. Nếu khe nứt xuất hiện sẽ làm giảm khả năng chống thấm và tiềm ẩn sự mất an toàn của công trình khi đưa vào sử dụng. Tính toán nhiệt trong khối bê tông là cơ sở để xác định sự phân bố ứng suất nhiệt trong khối, là căn cứ để kiểm tra khả năng nứt của bê tông và là yếu tố quyết định đến tốc độ thi công bê tông đầm lăn.

Qua nghiên cứu, thí nghiệm cũng như kết quả thực tế cho thấy những yếu tố sau đây ảnh hưởng đến diễn biến nhiệt trong bê tông khối lớn.

- Hàm lượng và tính chất thủy hóa của loại xi măng sử dụng;
- Kích thước khoảng đổ;
- Tính chất cốt liệu; thành phần cấp phối bê tông;
- Điều kiện môi trường.

Quá trình thay đổi nhiệt độ của bê tông khối

lớn có thể chia làm 3 thời kỳ: *tăng nhiệt*, *giảm nhiệt*, *ổn định nhiệt độ* như hình 1-1. Từ hình vẽ thấy rằng: nhiệt độ cao nhất của bê tông $T_{\max}$ bằng nhiệt độ trong bê tông lúc đổ T_p cộng với nhiệt độ phát nhiệt lớn nhất của xi măng T_r . Từ



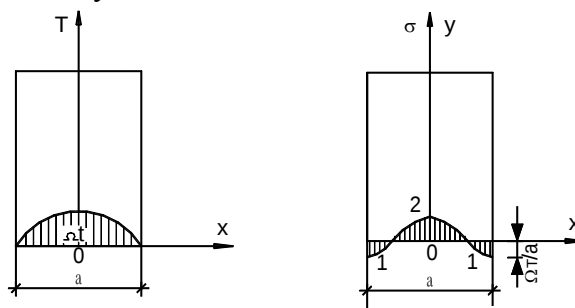
H.1. Diễn biến nhiệt trong khối bê tông

a) Phân bố nhiệt độ (b) Phân bố ứng suất

Sự thay đổi nhiệt độ của khối bê tông sẽ dẫn đến sự biến đổi hình dạng của khối. Nếu biến đổi hình dạng bị kiềm chế sẽ sinh ra ứng suất, gọi là ứng suất nhiệt. Nếu ứng suất nhiệt là ứng suất kéo, thì sẽ gây nứt bê tông vì bê tông chịu kéo rất kém. Nứt trong bê tông thường có 2 dạng, đó là nứt bề mặt và nứt xuyên.

- Nứt bề mặt: Trong quá trình bê tông đông cứng, do xi măng thủy hoá làm nhiệt độ của khối bê tông tăng cao, mặt ngoài của khối bê tông tỏa nhiệt nhanh, bên trong tỏa nhiệt chậm, phát sinh chênh lệch nhiệt độ giữa các vùng dẫn đến thể tích các vùng biến đổi khác nhau, kiềm chế lẫn nhau, dẫn đến chênh lệch biến dạng trong và ngoài khối lớn. Kết cục là trong lòng khối bê tông sinh ứng suất nén, bề mặt sinh ứng suất kéo. ứng suất nhiệt lớn hay nhỏ là tùy thuộc vào sự chênh lệch nhiệt độ. Khi ứng suất kéo vượt quá khả năng chịu kéo của bê tông sẽ phát sinh nứt và được gọi là nứt do sự kiềm chế của nền. Vết nứt bắt đầu từ mặt tiếp xúc với nền phát triển lên, ở trường hợp nghiêm trọng có thể nứt suốt khối bê tông, do vậy được gọi là nứt xuyên. Vết nứt có thể tới 1- 3m, nên còn được gọi là nứt sâu. Vết nứt thường vuông góc với mặt nền, gây nguy hại cho đập.

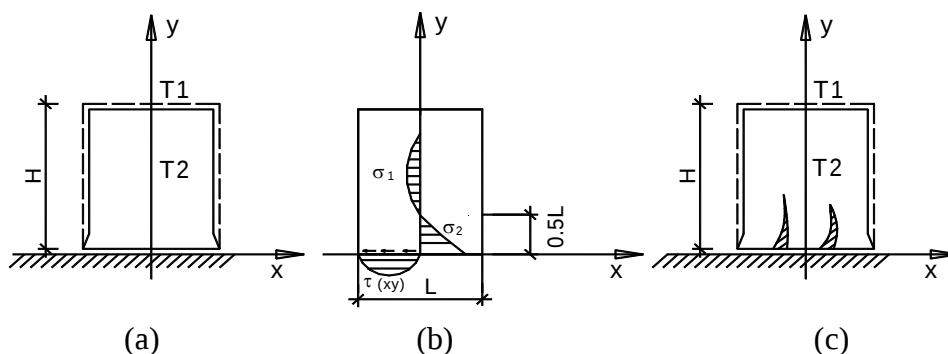
nhiệt độ T_p đến $T_{\max}$ là thời kỳ *tăng nhiệt*. Sau khi đạt đến $T_{\max}$, nhiệt độ trong bê tông sẽ giảm dần tới T_f , giai đoạn này là thời kỳ *giảm nhiệt*. Cuối cùng nhiệt độ trong bê tông ổn định, đó là thời kỳ *ổn định*;



H.2. Ứng suất nhiệt phát sinh trong khối bê tông
1- ứng suất kéo, 2- ứng suất nén.

độ trong khối bê tông giảm dần;

- Nứt xuyên: xảy ra tại bề mặt tiếp xúc giữa khối bê tông mới đổ với nền đá hoặc với khối bê tông cũ, do ứng suất kiềm chế của nền đá hoặc khối bê tông đã đổ cũ với khối bê tông mới đổ. Ứng suất kiềm chế sinh ra do khối bê tông mới đổ và nền đá hoặc khối bê tông đã đổ cũ có sự chênh lệch về nhiệt độ hoặc chênh lệch về biến dạng do sự thay đổi nhiệt độ. Ở giai đoạn bê tông phát nhiệt, thể tích bê tông nở ra, ứng suất kiềm chế là ứng suất nén; ở giai đoạn hạ nhiệt, thể tích bê tông co lại, ứng suất kiềm chế là ứng suất kéo. Khi ứng suất kéo vượt quá khả năng chịu kéo của bê tông sẽ phát sinh nứt và được gọi là nứt do sự kiềm chế của nền. Vết nứt bắt đầu từ mặt tiếp xúc với nền phát triển lên, ở trường hợp nghiêm trọng có thể nứt suốt khối bê tông, do vậy được gọi là nứt xuyên. Vết nứt có thể tới 1- 3m, nên còn được gọi là nứt sâu. Vết nứt thường vuông góc với mặt nền, gây nguy hại cho đập.



H.3. Biến dạng do t^0 và U_S do nền kiềm chế của khối BT

(a) Biến dạng do nền kiềm chế (b) Phân bố ứng suất nhiệt khi bị nền kiềm chế (c) Vết nứt do nền kiềm chế

Bất kể vết nứt tồn tại dưới dạng nào cùng đều ảnh hưởng đến quá trình làm việc và tuổi thọ của công trình. Vì vậy việc nghiên cứu và lựa chọn phương pháp phù hợp để giải bài toán về nhiệt và ứng suất nhiệt trong bê tông đầm lăn là hết sức cần thiết.

III. PHƯƠNG PHÁP VÀ PHẦN MỀM ỨNG DỤNG TÍNH TOÁN NHIỆT VÀ ỨNG SUẤT NHIỆT TRONG BÊ TÔNG ĐẦM LĂN

Lý thuyết về bài toán nhiệt đã được công nhận và sử dụng rộng rãi để tính toán trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Để giải bài toán nhiệt hiện nay có các phương pháp cơ bản như sau:

- Phương pháp giải tích;
- Phương pháp toán tử;
- Phương pháp gần đúng bao gồm: Phương pháp sai phân; Phương pháp phần tử hữu hạn; Phương pháp mô hình;

Ngày nay các nghiên cứu về nhiệt trong bê tông khối lớn và những cơ sở lý thuyết của bài toán nhiệt đã tương đối hoàn chỉnh. Các phương trình cơ bản để tính trường nhiệt độ và trường ứng suất trong bê tông khối lớn hầu hết xuất phát như nhau. Nhưng việc giải bài toán nhiệt trong bê tông khối lớn khá phức tạp, khối lượng tính toán lớn, kết quả của bài toán phụ thuộc vào nhiều yếu tố. Với đặc điểm của bài toán như vậy, thì việc chọn *Phương pháp phần tử hữu hạn để giải bài toán nhiệt* sẽ đáp ứng được các yêu cầu đề ra.

Đây là phương pháp hiện đại đang được ứng dụng rộng rãi và hiệu quả trong việc giải quyết các bài toán của cơ học môi trường liên tục với những vật thể có hình dạng hình học bất kỳ, điều kiện biên và chịu tải phức tạp. Sự ra đời và phát triển của phương pháp này liên hệ chặt chẽ với sự phát triển của máy tính điện tử;

Nội dung cơ bản của phương pháp này là chia miền xác định của hàm thành các miền con gọi là phần tử. Các phần tử thường được chọn có dạng hình học đơn giản, ví dụ với miền phẳng thường chọn các phần tử có dạng tam giác hoặc tứ giác. Các phần tử được xem là chỉ nối với nhau ở một số điểm đặc trưng, ví dụ đỉnh của tam giác hoặc tứ giác. Các điểm này được gọi là điểm nút phần tử. Trong phạm vi phần tử giả thiết dạng của hàm xấp xỉ với hàm phải tìm và thường chọn hàm xấp xỉ ở dạng đa thức nguyên. Điểm khác của phương pháp

PTHH với các phương pháp xấp xỉ khác là không đi xác định hệ số của đa thức xấp xỉ mà biểu diễn các hệ số đó qua giá trị của hàm phải tìm hoặc có thể cả đạo hàm của nó ở các điểm nút của phần tử và thiết lập phương trình để xác định các giá trị đó. Về mặt toán học người ta đã chứng minh được rằng trị của hàm xấp xỉ là trị của hàm phải tìm nếu ứng với nó phiếm hàm ứng với hàm phải tìm đạt giá trị cực tiểu.

Các bước giải được thực hiện như sau:

+ Chọn dạng phần tử, chia miền tính toán thành các phần tử, đánh số mã phần tử và số mã nút.

+ Chọn dạng hàm xấp xỉ với hàm phải tìm ở dạng đa thức nguyên. Biểu diễn hệ số của đa thức qua giá trị của hàm phải tìm hoặc có thể cả đạo hàm của nó ở tại các điểm nút.

+ Thiết lập phương trình để tìm giá trị của hàm hoặc đạo hàm của nó tại các điểm nút.

Khi dùng phương pháp phần tử hữu hạn để giải bài toán nhiệt trong bê tông đầm lăn cần thực hiện hai bài toán:

Bài toán thứ nhất: Tìm sự phân bố nhiệt độ trong khối bê tông (trường nhiệt độ) theo không gian và thời gian. Tuy nhiên khi áp dụng vào thực tế đối với các kết cấu bê tông khối lớn nói chung và với đập bê tông đầm lăn nói riêng cần đòi hỏi có các nghiên cứu tổng hợp về đặc tính của bê tông và về môi trường thì mới thu được kết quả theo mong muốn.

Bài toán thứ hai: Tìm sự phân bố ứng suất nhiệt (trường ứng suất nhiệt) trong khối bê tông dưới ảnh hưởng của nhiệt độ. Đây là bài toán phức tạp do sự thay đổi đặc tính cơ lý của khối bê tông.

Phương pháp phần tử hữu hạn để giải bài toán nhiệt được dùng khi nghiên cứu về trường nhiệt độ và trường ứng suất nhiệt trong đập bê tông trọng lực. Nhưng việc phân tích và đưa ra những kết quả chính xác để áp dụng vào thực tế là một vấn đề mang tính chuyên môn cao, cần có sự đối chứng giữa kết quả tính toán và kết quả kiểm nghiệm tại hiện trường của các công trình đã và đang thi công. Do vậy, chỉ khi bài toán nhiệt được giải quyết thỏa đáng mới đưa ra được các giải pháp quy trình công nghệ thi công hợp lý và mang lại hiệu quả kinh tế, kỹ thuật;

Để tính nhiệt và ứng suất nhiệt hiện nay đã có rất nhiều phần mềm ứng dụng được sử dụng

như: phần mềm thương mại ConTestPro của nhà cung cấp phần mềm JEJMS CONCRETE Thụy điển, phần mềm ANSYS của Mỹ, phần mềm Fenas...

Trong bài này tác giả sử dụng mềm tính toán nhiệt và ứng suất nhiệt Z-soil do Thụy Điển sản xuất, chương trình được viết trên VISUAL BASIC 6;

Z-soil xác định sự phân bố và phát triển của trường nhiệt độ, ứng suất nhiệt được mô phỏng bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Các tính chất cơ lý của bê tông thay đổi theo thời gian, có kể đến độ rã của bê tông và nguồn nhiệt sinh ra được xác định theo một số quy phạm, số liệu thí nghiệm và mô hình hiện có;

Bài toán phân bố nhiệt do quá trình hydrat trong cấu trúc bê tông bằng Z-Soil cho phép dự báo và kiểm soát lượng nhiệt sinh ra và sự phân bố của chúng trong cấu trúc bê tông, đồng thời đánh giá được mức độ nguy hiểm của ứng suất và biến dạng do nhiệt. Từ kết quả phân tích tìm được một nhiệt độ vữa bê tông RCC hợp lý và các điều kiện bảo dưỡng, dưỡng hộ tối ưu phù hợp với tiến độ thi công.

Z-soil tính toán nhiệt độ trong thân đập bê tông có kể đến hầu hết các ảnh hưởng của môi trường xung quanh, sự truyền nhiệt bằng dẫn nhiệt trong môi trường vật rắn, truyền nhiệt bằng sự đối lưu, bức xạ nhiệt giữa bề mặt

vật rắn và môi trường chất lỏng và không khí, kể cả yếu tố thời gian, phản ánh cụ thể sự biến thiên nhiệt độ trong thân đập. Z-soil tính toán phân bố trường nhiệt trong thân đập, hiện tượng phát nhiệt, dẫn nhiệt và toả nhiệt;

Trong các tính toán đã kể đến sự tích tụ và toả nhiệt theo thời gian của khối bê tông đập từ khi thi công khối đổ đầu tiên đến khối đổ cuối cùng và quá trình phát triển nhiệt cho các năm tiếp theo.

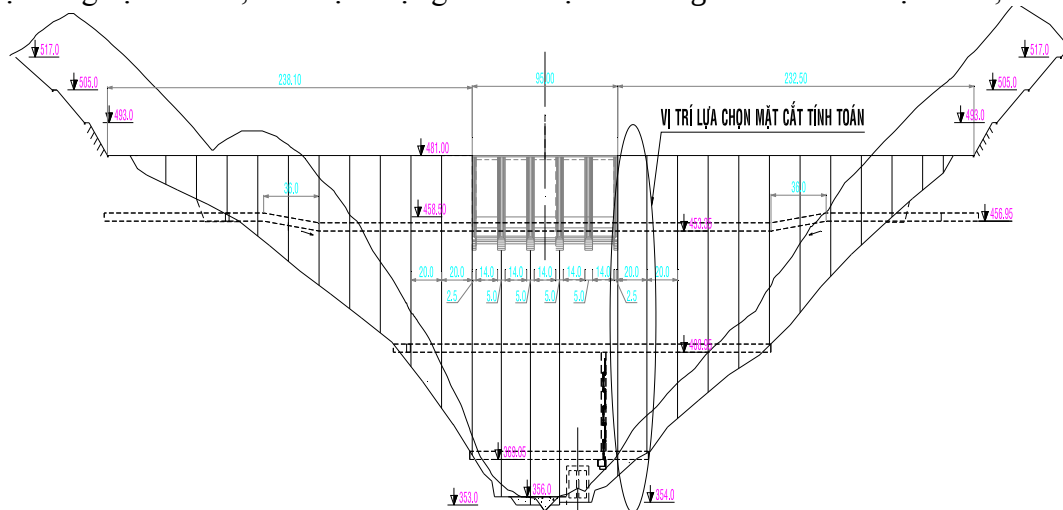
Trình tự tính toán được thực hiện theo hai bước.

Bước 1: Xác định trường nhiệt độ của đập theo không gian và thời gian

Bước 2: Tính toán trường ứng suất trong thân đập do nhiệt thay đổi theo không gian và thời gian, trên cơ sở quan hệ cường độ kéo khối của RCC theo tuổi, xác định được hệ số chống nứt (ứng suất chính lớn nhất trong thân đập do nhiệt độ và trọng lượng bản thân có phương là vô hướng vì vậy hệ số chống nứt được xác định theo cường độ kéo khối).

IV. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN CHO ĐẬP ĐỒNG NAI 4

Mặt cắt tính toán được lựa chọn là mặt cắt nguy hiểm nhất có: chiều cao 127.50 m, cao độ đáy 353.5m, chiều rộng đáy 93.76m, khoảng cách giữa hai khe nhiệt 20 m;



H.4. Mặt cắt dọc thân đập Đồng Nai 4

Sơ đồ tính toán khi chiều dày lớp đổ RCC là 0,3 m bao gồm: 391 lần chất tải, mỗi lần một lớp phần tử có chiều cao 0.3m; 16882 phần tử tứ giác; 17396 nút.

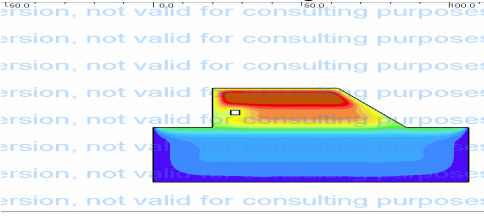
Thực hiện tính toán theo 4 phương án với các

dữ liệu tính toán khác nhau về nhiệt độ ban đầu của vữa RCC, chiều dày 1 lớp đổ, số lớp đổ thực hiện liên tục trong 1 đợt đổ và thời gian nghỉ giãn cách giữa 2 lần đổ.

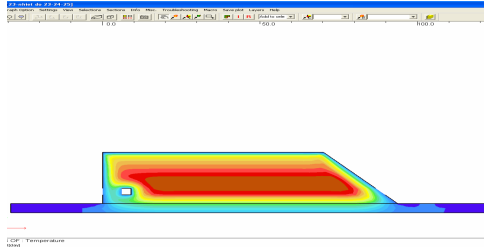
Bảng tổng hợp kết quả tính toán từng phương án

Phương án	T ⁰ vữa RCC	Chiều dày lớp đổ	Số lượng lớp đổ	Nghỉ dần cách (ngày)	Kết quả tính toán Tmax (°C)	Kết quả tính toán σ (Mpa)
1	21 ⁰ C	0.3 m	3 lớp	2-4	37,82 ⁰ C	0,715
2	23 ⁰ C	0.3 m	3 lớp	2-4	40,92 ⁰ C	0,850
3	25 ⁰ C	0.3 m	3 lớp	2-4	48.09 ⁰ C	0,904
4	23 ⁰ C	0.3 m	5 lớp	5	48.03 ⁰ C	0,893

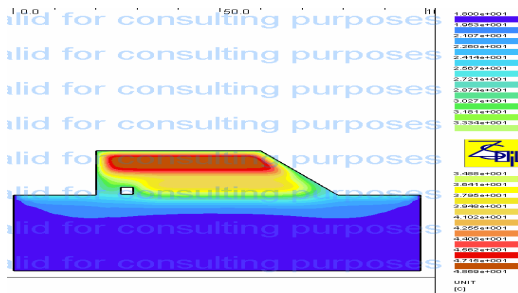
Các biểu đồ nhiệt độ và ứng suất tính toán theo từng phương án



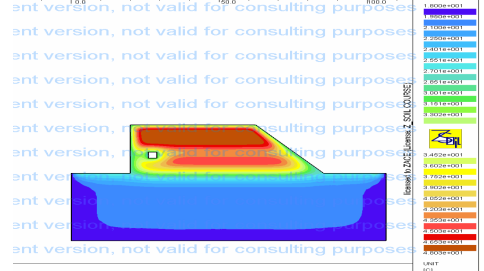
H.5. PA 1- $T_{max}=37.82^{\circ}\text{C}$ (140 ngày)



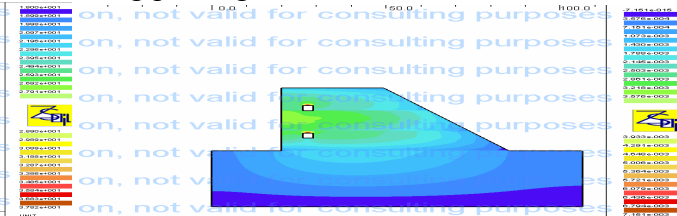
H.7- PA 2- $T_{max} = 40.92^{\circ}C$ (140 ngày)



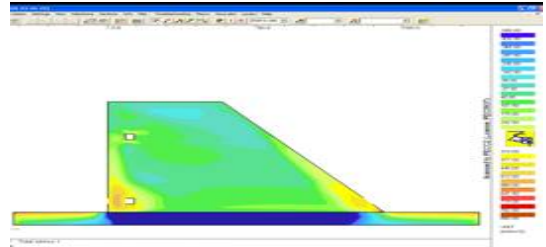
H.9. PA 3- $T_{max} = 48,09^{\circ}\text{C}$ (140 ngày)



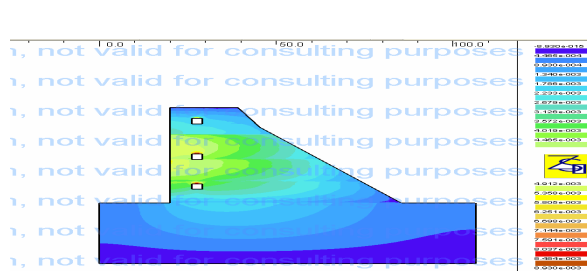
H.11. PA 4 - $T_{max} = 48,03^{\circ}\text{C}$ (140 ngày)



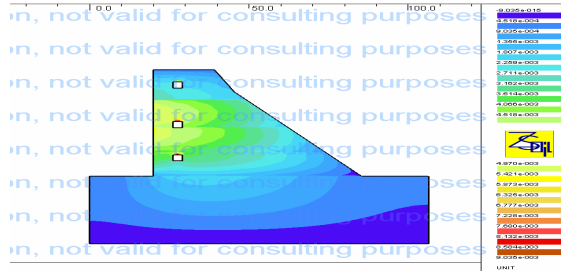
H.6. PA1- $\dot{U}S \sigma_{max}$ sau 300 ngày (0,715 Mpa)



H.8. PA2- $\dot{U}S \sigma_{max}$ sau 320 ngày(0,85 Mpa)



H.10. PA3- $\dot{U}S \sigma_{max}$ sau 400 ngày(0,893 Mpa)



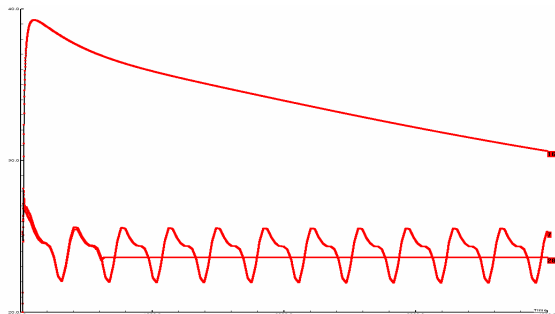
H.12. PA 4- $\dot{\epsilon}_S \sigma_{max}$ sau 420 ngày(0,904 Mpa)

Căn cứ kết quả tính toán từng phương án ta thấy phương án 2 có nhiều ưu điểm hơn so với các phương án còn lại bởi: khi không chế nhiệt độ vữa RCC ở 23 °C và thực hiện đổ liên tục 3 lớp mỗi lớp có chiều dày 0,3m thì nhiệt độ và ứng suất nhiệt phát sinh trong khối RCC vẫn

nằm trong mức cho phép; các biện pháp để không chế nhiệt độ vữa RCC bằng 23 °C trước khi đổ có thể thực hiện được với chi phí không lớn đảm bảo tính hiệu quả của công trình. Đối với phương án 1 nhiệt độ tuy thấp nhất nhưng để không chế nhiệt độ ban đầu của RCC ở 21°C

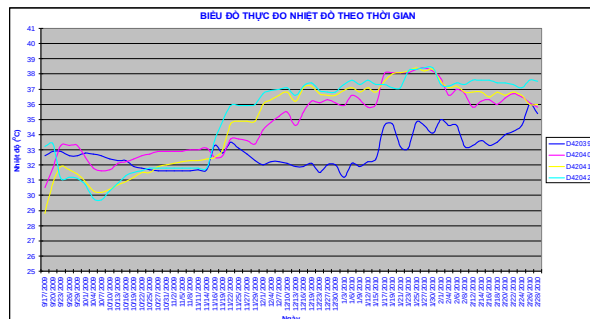
cần dùng biện pháp tương đối phức tạp với chi phí lớn nhất là khi thi công trong mùa khô.

Tại vị trí cách mép đập thượng lưu 40m, cao trình 370,59m, kết quả tính toán cho thấy nhiệt độ cao nhất là 39,2 °C khi RCC đạt 140 ngày



H.13 - T° tính toán theo t.gian V370,59m

tuổi. Số đo nhiệt độ thực tế tại vị trí và cao trình tương ứng khi RCC đạt 143 ngày tuổi là 38,4 °C thấp hơn 0,8 °C so với nhiệt độ tính toán. Như vậy kết quả tính toán và thực tế là tương đối phù hợp.



H.14- T° thực đo theo t.gian V370,59m

Kết luận: Kết quả nghiên cứu và ứng suất nhiệt trong bê tông đầm lăn trên cơ sở áp dụng phần mềm ứng dụng Z-Soil. Phần mềm Z-Soil tính toán nhiệt độ trong thân đập bê tông có kể đến hầu hết các điều kiện môi trường. Vì thế kết

quả nghiên cứu khá sát với thực tế.

Kết quả nghiên cứu giúp cho các nhà tư vấn, thi công xác lập được tiến độ thi công hợp lý, không xảy ra sự cố nứt bê tông vì nhiệt trong quá trình thi công.

Chú giải:

RCC: bê tông đầm lăn (*Roller Compacted Concrete*)

T° : Nhiệt độ trong khối bê tông (*Temperature in concrete block*)

ƯS: Ứng suất nhiệt trong khối bê tông (*Thermal stresses in concrete*)

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Trường Đại học Thủy lợi (1/2008): *Giáo trình Vật Liệu Xây Dựng*
2. Đỗ Văn Lượng (2008): “ *Nghiên cứu sự phát triển nhiệt độ và ứng suất nhiệt để ứng dụng vào công nghệ thi công đập bê tông trọng lực ở Việt Nam* ”
3. ACI 2007-5R: “ *Roller-Compacted Mass Concrete* ”
4. EM 1110-2-2006: “ *Roller Compacted Concrete* ”
5. Kenneth D. Hannsen, William G. Reinhardt: “ *Roller Compacted Concrete Dams* ”
6. Neville A.M: “*Properties of Concrete*”

Abstract:

Some results of studies on thermal evolution and thermal stress of RCC

To avoid problems caused by heat stress for the works was built by RCC technology necessary gradation and selection process of appropriate construction technology based on research results heat and heat stress. The article mentions the process of heat, heat stress, and software methods to calculate heat, heat stress, some research results on the temperature and thermal stresses in the RCC dam projects in Dong Nai 4.