Hoàn thiện công nghệ tính toán kết cấu đập vòm bê tông

Vũ Hoàng Hưng[1], *Nguyễn Quang Hùng*[2]

Đại học Thủy lợi

[1]hung.kcct@wru.edu.vn , [2]hungwuhan@wru.edu.vn

Tóm tắt. Thông qua một ví dụ cụ thể, bài báo đã áp dụng những nghiên cứu mới để giải quyết các vấn đề kỹ thuật trong quá trình phân tích ứng suất đập vòm bê tông như xử lý vấn đề tính ổn định giá trị kết quả tính toán theo phương pháp phần tử hữu hạn bằng cách đề xuất sử dụng lý luận phần tử hữu hạn tự thích ứng, xử lý mặt khe tiếp giáp giữa các đoạn đập bằng cách đưa vào phần tử tiếp xúc mặt để mô phỏng các đặc tính (trượt, đóng, mở) của khe, xử lý ứng suất cục bộ bằng cách đưa về ứng suất tương đương.

Từ khóa: đập vòm; tự thích ứng; khe co giãn; ứng suất tương đương; Ansys.

1. Đặt vấn đề

Trước thập niên 70 của thế kỷ trước, phần lớn đập vòm được xây dựng trên thế giới sử dụng phương pháp thí nghiệm trên mô hình vật lý để xác định ứng suất đập vòm. Đập vòm mỏng Vajont được xây dựng ở Italia năm 1958 là một ví dụ điển hình, đập cao 262m, ứng suất nén lớn nhất là 6.8MPa, ứng suất kéo lớn nhất là 0.2MPa; đập vòm mỏng bê tông cong hai chiều Luzzone của Thụy sĩ xây dựng năm 1963, chiều cao đập lớn nhất 208m, ứng suất nén lớn nhất 6.0MPa, ứng suất kéo lớn nhất 2.0~3.0MPa; đập vòm cong hai chiều RoseLand của Pháp cao 150m, ứng suất nén lớn nhất 7.5MPa, ứng suất kéo lớn nhất 2.0MPa [1]. Sử dụng mô hình vật lý tiến hành nghiên cứu có thể mô phỏng kết cấu với điều kiện biên phức tạp, phản ánh trực quan quá trình và hình thức phá hoại của kết cấu. Nhưng do trong mô hình vật lý thường sử dụng thạch cao làm vật liệu đập, gán tải trọng theo hướng thẳng đứng lên khối đập khá khó khăn, nói chung không thoả mãn điều kiện tương ứng về dung trọng vật liệu cùng với việc mô phỏng trường nhiệt độ trong thí nghiệm mô hình vật lý cũng không đơn giản, thông thường đều phải tiến hành xử lý đơn giản hoá khá nhiều. Ngoài ra thí nghiệm mô hình vật lý vừa hao phí thời gian lại chi phí khá nhiều tiền bạc. Hiện nay cùng với sự phát triển không ngừng của phương pháp phần tử hữu hạn và kỹ thuật máy tính, sử dụng mô hình số hay phương pháp phần tử hữu hạn giải trên máy tính điện tử có thể thay thế hoàn toàn hoặc một phần thí nghiệm mô hình vật lý, thực tế đã được kiểm nghiệm. Đại bộ phận đập vòm được xây dựng trên thế giới hiện nay đều dựa vào mô hình số hoặc số ít kết hợp với mô hình vật lý để tiến hành nghiên cứu phân tích. Về phương diện lý thuyết mà nói, dùng mô hình số cũng có thể thực hiện các thí nghiệm như mô hình vật lý. Điều quan trọng chính là việc xử lý các vấn đề kỹ thuật khi xây dựng mô hình sao cho kết quả tính toán sát với thực tế nhất để nâng cao độ tin cậy của kết quả tính toán. Vì vậy tiếp tục các nghiên cứu nhằm hoàn thiện công nghệ tính toán kết cấu đập vòm là cần thiết. Trong khuôn khổ bài báo này, các tác giả giới thiệu một tính toán cụ thể cho một đập vòm để minh họa cho một số kết quả nghiên cứu theo hướng này.

2. Giới thiệu công trình

Đập vòm Nậm Chiến được xây dựng ở Việt Nam có chiều cao đập lớn nhất 135m, chiều dài đập tại đỉnh 273m, tỉ lệ độ dày/cao 0.22, toàn bộ đập từ bờ trái sang bờ phải được phân thành 18 đoạn tạo thành 17 khe co giãn ngang, cao trình đỉnh đập ∇953m, mực nước dâng bình thường ∇945m, chính diện thượng lưu đập và mặt cắt ngang đập tại vị trí cao nhất cho ở hình 1a và b.

Tham số cơ học vật liệu đập và nền ở trạng thái tĩnh:

Bê tông: Môđun đàn hồi E = 2.0GPa; Hệ số Poisson ν = 0.167; Khối lượng riêng ρ = 2400kg/m^3

Nền đá: Môđun đàn hồi E = 24.2GPa; Hệ số Poisson ν = 0.220; Khối lượng riêng ρ = 2600kg/m^3

Khi tiến hành tính toán động, môđun đàn hồi động lấy bằng 1.2 lần môđun đàn hồi tĩnh.

Tham số cơ bản mặt khe tiếp xúc dưới điều kiện tĩnh và động:

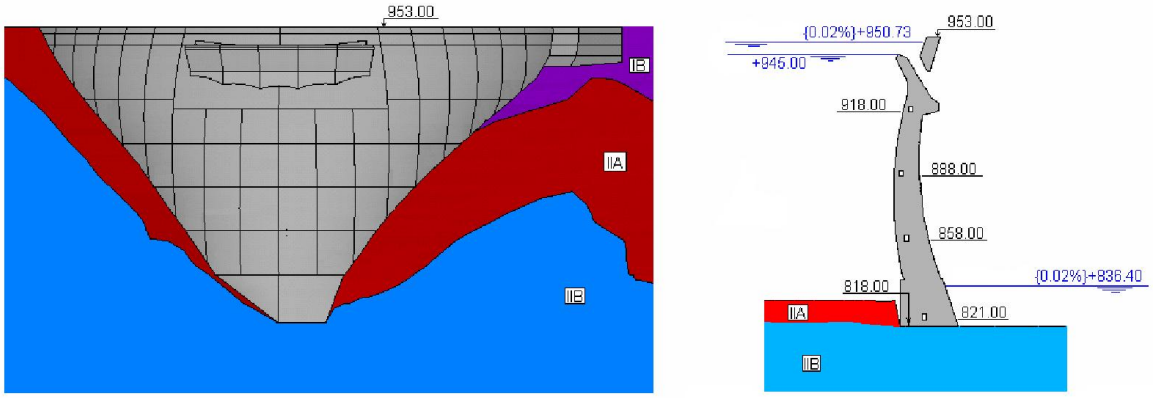
Khoảng hở ban đầu giữa các đoạn đập bằng 0, hệ số ma sát bằng 0.7, lực dính kết bằng 0, cường độ kháng kéo bằng 0.5MPa.

Tham số mực nước đặc trưng thời kỳ vận hành hồ:

Mực nước dâng bình thường: phía thượng lưu ∇945m tương ứng phía hạ lưu ∇833m

Mực nước chết: phía thượng lưu ∇906m tương ứng phía hạ lưu ∇833m.

Thiết kế công trình chịu động đất cấp 8.



(a) Chính diện thượng lưu *(b) Mặt cắt ngang đập tại vị trí cao nhất*

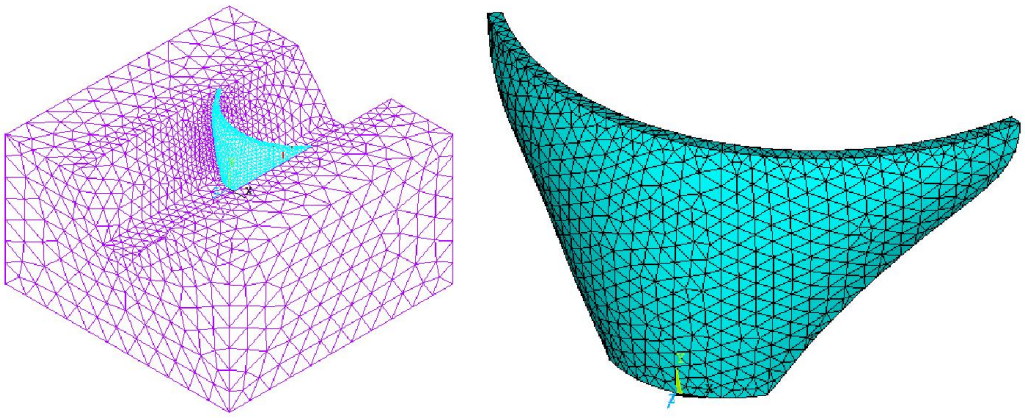
Hình 1 – Kết cấu đập vòm

3. Phân chia mạng lưới phần tử hữu hạn tự thích ứng

Phương pháp phần tử hữu hạn (Finite Element Method) ngay từ khi bắt đầu mới ra đời đã được ứng dụng rộng rãi trong mọi lĩnh vực, trong đó có phân tích ứng suất đập vòm do phương pháp này có nhiều ưu điểm, có thể giải quyết được nhiều vấn đề thực tế công trình mà phương pháp cơ học kết cấu khó có thể giải quyết. Dưới giả thiết đàn hồi, kết quả ứng suất phần tử hữu hạn có quan hệ với kích thước mạng lưới phần tử và loại hình phần tử. Việc lựa chọn một lần kích thước mạng lưới phần tử và loại phần tử phụ thuộc rất nhiều vào kinh nghiệm và chủ quan của người tính toán, do đó tính ổn định của kết quả tính toán ứng suất thấp, đặc biệt tại các vị trí có ứng suất tập trung lớn. Đối với đập vòm thấp hoặc trong tính toán sơ bộ có thể bỏ qua ảnh hưởng này, nhưng vấn đề này không thể bỏ qua đối với đập vòm cao. Phương pháp phần tử hữu hạn tự thích ứng (Adaptive Finite Element Method) là một loại phương pháp số có khả năng giải quyết vấn đề này thông qua tự động điều chỉnh mạng lưới theo một độ sai số hạn định. Đây là phương pháp có độ tin cậy cao và đã được tích hợp trong phần mềm phân tích phần tử hữu hạn ANSYS.

Phần mềm ANSYS cung cấp công năng phân chia mạng lưới tự thích ứng theo mô hình h và mô hình p. Mô hình h dựa trên nguyên lý gia tăng mật độ phần tử để nâng cao độ chính xác còn mô hình p dựa trên nguyên lý tăng bậc hàm gần đúng để nâng cao độ chính xác. Việc sử dụng mô hình h và mô hình p khi phân chia mạng lưới phần tử hữu hạn tự thích ứng trong phần mềm ANSYS, các tác giả bài báo đã có những kết quả nghiên cứu trên mô hình kết cấu đập bê tông trọng lực hai chiều [2].

Với mô hình hình học đập vòm và nền ở trên, các tác giả sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn tự thích ứng thông qua áp dụng mô hình h có sẵn trong phần mềm ANSYS để phân chia mạng lưới phần tử. Trong mô hình sử dụng phần tử khối tứ diện 4 điểm nút (SOLID45), mô hình mạng lưới phần tử hữu hạn tự thích ứng cho ở hình 2.



(a) Mô hình tổng thể *(b) Mô hình khối đập*

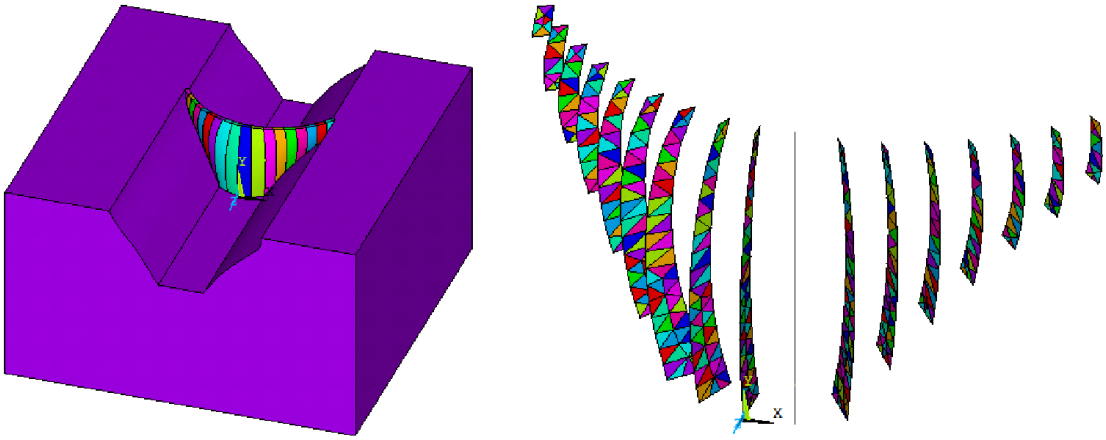
Hình 2 – Mạng lưới phần tử hữu hạn tự thích ứng

4. Mô phỏng khe co giãn

Hiện nay trong quá trình phân tích đập vòm theo phương pháp phần tử hữu hạn thường bỏ qua ảnh hưởng của khe co giãn, coi đập là một khối chỉnh thể. Nhưng trên thực tế do lực kháng cắt giữa các đoạn đập (hay lực ma sát trên mặt tiếp xúc) không đủ lớn hoặc ứng suất cắt trên mặt tiếp xúc lớn, có thể dẫn đến giữa các khối đập xuất hiện hiện tượng trượt, khép kín hoặc mở rộng. Điều này ảnh hưởng không nhỏ đến trường ứng suất trong thân đập. Khi xét đến ảnh hưởng của khe co giãn, cần thiết phải xác định các chỉ tiêu cơ lý trên mặt tiếp xúc và mô phỏng vấn đề tiếp xúc giữa các đoạn đập trong mô hình.

Trong phần mềm ANSYS cung cấp 3 loại phương thức tiếp xúc: điểm - điểm, điểm - mặt và mặt - mặt. Mỗi loại phương thức tiếp xúc đều có phần tử tiếp xúc tương ứng với cả bài toán 2D và 3D. Vấn đề tiếp xúc giữa các đoạn đập vòm có thể coi là tiếp xúc mặt 3D. Việc sử dụng phần tử tiếp xúc trong phần mềm ANSYS, các tác giả đã có những kết quả nghiên cứu khi phân tích ổn định chống trượt đập bê tông trọng lực hai chiều [3].

Với mô hình phần tử hữu hạn tự thích ứng đã xây dựng ở trên, các tác giả sử dụng phần tử tiếp xúc mặt – mặt 3D để mô phỏng 17 khe co giãn giữa các đoạn đập vòm cho ở hình 3.



(a) Phân chia các khối đập vòm *(b) Mạng lưới phần tử tiếp xúc giữa các đoạn đập*

Hình 3 – Mô phỏng phần tử tiếp xúc giữa các đoạn đập vòm

5. Xử lý vấn đề ứng suất cục bộ

Khi sử dụng mô hình tính toán phần tử hữu hạn tự thích ứng ở trên, mặc dù đã hạn chế được tối đa ứng suất tập trung tại các vị trí có đột biến về hình học, nhưng tại các vị trí như đáy đập thượng và hạ lưu vẫn còn hiện tượng tập trung ứng suất. Sử dụng phương pháp tính toán ứng suất tương đương phần tử hữu hạn (Finite Elemment Equivalent Stress Method) sẽ loại bỏ ảnh hưởng của tập trung ứng suất. Hiện nay bản thân phần mềm ANSYS không có mô đun tính toán ứng suất tương đương, vì vậy các tác giả sử dụng ngôn ngữ thiết kế tham số hóa APDL trong phần mềm ANSYS để xuất kết quả ứng suất tương đương sau khi phân tích ứng suất đập vòm theo phương pháp phần tử hữu hạn.

Việc tính toán ứng suất tương đương trong phần mềm ANSYS, các tác giả đã có những kết quả nghiên cứu trên mô hình đập vòm trọng lực cong một chiều [4].

6. Kết quả tính toán

6.1. Kết quả tính toán tĩnh

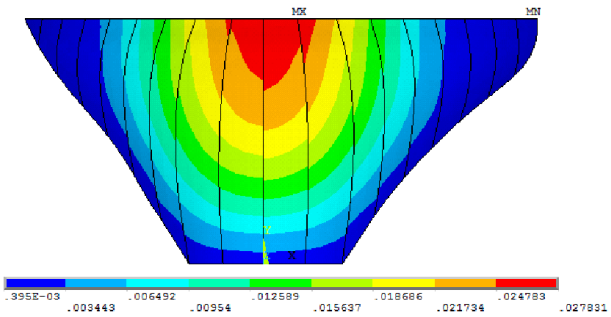
Kết quả tính toán chuyển vị và ứng suất đập vòm dưới tác dụng của tải trọng tĩnh lực được tóm tắt trong bảng 1 và bảng 2, từ hình 4 đến hình 6. Bảng 1 biểu thị chuyển vị tổng lớn nhất, chuyển vị theo phương Y và phương Z lớn nhất của khối đập. Bảng 2 biểu thị kết quả tính toán ứng suất theo phương pháp phần tử hữu hạn tự thích ứng và khi tính toán thêm ứng suất tương đương. Hình 4 thể hiện phổ véc tơ tổng trên mặt thượng lưu đập; hình 5 thể hiện phổ ứng suất theo phương Y trên mặt thượng lưu đập; hình 6 thể hiện phân bố ứng suất theo phương Y và ứng suất cắt YZ trên mặt cắt giữa mặt đáy đập.

Bảng 1 – Chuyển vị tổng lớn nhất, chuyển vị theo phương Y và phương Z lớn nhất của khối đập dưới điều kiện tải trọng tĩnh lực

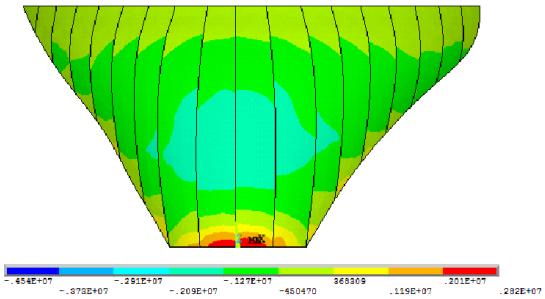
Chuyển vị tổng (m)	Chuyển vị theo phương Y (m)	Chuyển vị theo phương Z (m)
0.0278	-0.0039	-0.0275

Bảng 2 – So sánh kết quả tính toán ứng suất phần tử hữu hạn tự thích ứng và ứng suất tương đương

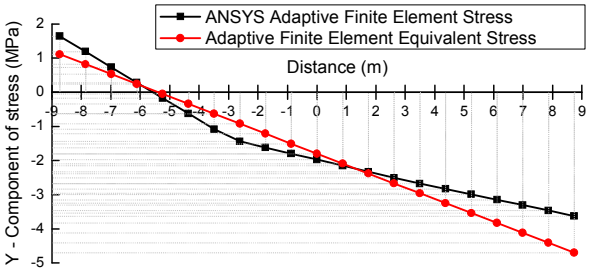
Ứng suất (MPa)		PTHH tự thích ứng	Tương đương
Ứng suất theo phương Y	Lớn nhất	1.64	1.11
	Nhỏ nhất	-3.62	-4.70
Ứng suất cắt YZ	Lớn nhất	-1.36	-1.21
	Nhỏ nhất	-1.90	-1.94



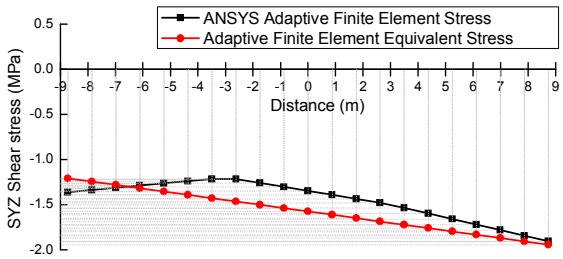
Hình 4 – Phổ chuyển vị tổng mặt thượng lưu đập (m)



Hình 5 – Phổ ứng suất theo phương Y mặt thượng lưu đập (Pa)



(a) Ứng suất theo phương Y



(b) Ứng suất cắt YZ

Hình 6 – Phân bố ứng suất trên mặt cắt giữa mặt đáy đập

6.2. Kết quả tính toán động

Sử dụng kết quả tính toán tĩnh để hoàn thành tính toán động. Đầu vào tính toán động là đường cong gia tốc lịch sử thời gian của một trận động đất được mô phỏng từ đường cong phổ phản ứng thiết kế quy định trong Quy phạm thiết kế công trình chịu động đất. Kết quả tính toán được tóm tắt trong bảng 3 và 4 và hình 7 đến 10. Bảng 3 thể hiện độ mở lớn nhất của các khe co giãn và trượt tương đối lớn nhất giữa các khối đập theo phương Y và Z. Bảng 4 thể hiện kết quả tính toán ứng suất theo phương pháp phần tử hữu hạn tự thích ứng và có xét đến ứng suất tương đương tại một số thời điểm.

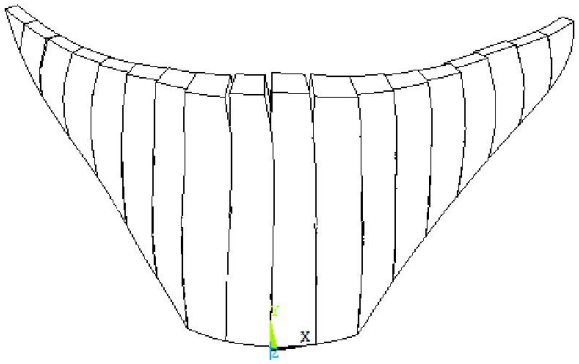
Bảng 3 – Độ mở của khe co giãn và trượt tương đối theo phương Y và Z giữa các khối

Độ mở lớn nhất (m)	Trượt tương đối lớn nhất theo phương Y (m)	Trượt tương đối lớn nhất theo phương Z (m)
0.0132	0.0044	0.0148

Bảng 4 – So sánh kết quả tính toán ứng suất theo phương pháp phần tử hữu hạn tự thích ứng và có xét đến ứng suất tương đương tại một số thời điểm

Ứng suất (MPa)			PTHH tự thích ứng	Tương đương
Ứng suất theo phương Y	t=1s	Lớn nhất	0.82	0.41
		Nhỏ nhất	-3.03	-3.83
	t=1.64s	Lớn nhất	3.67	2.91
		Nhỏ nhất	-4.24	-5.84
	t=3s	Lớn nhất	2.57	1.94
		Nhỏ nhất	-3.54	-4.78
	t=5s	Lớn nhất	2.52	1.88
		Nhỏ nhất	-3.78	-5.06
Ứng suất cắt YZ	t=1s	Lớn nhất	-0.98	-0.85
		Nhỏ nhất	-1.49	-1.54
	t=1.64s	Lớn nhất	-1.93	-1.76
		Nhỏ nhất	-2.41	-2.41
	t=3s	Lớn nhất	-1.29	-1.24
		Nhỏ nhất	-1.79	-1.52
	t=5s	Lớn nhất	-1.41	-1.14
		Nhỏ nhất	-1.95	-1.93

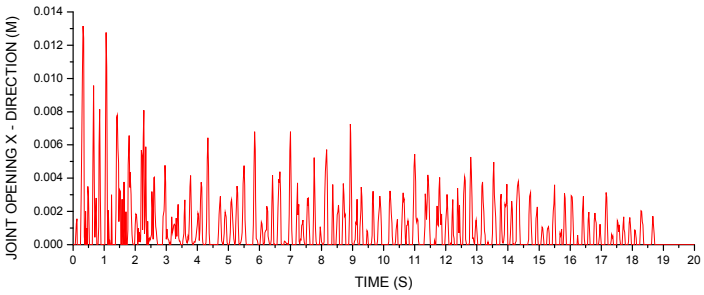
Hình 7 thể hiện hình biến dạng của các khối đập tại thời điểm có độ mở khe co giãn là lớn nhất.



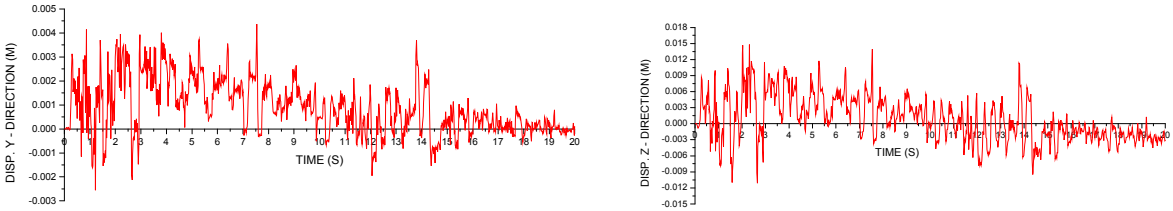
Hình 7 – Biến dạng của các khối đập tại thời điểm độ mở khe lớn nhất

Hình 8 và 9 thể hiện mối quan hệ giữa độ mở tại đỉnh khe co giãn giữa và trượt tương đối theo hai phương Y và Z theo thời gian.

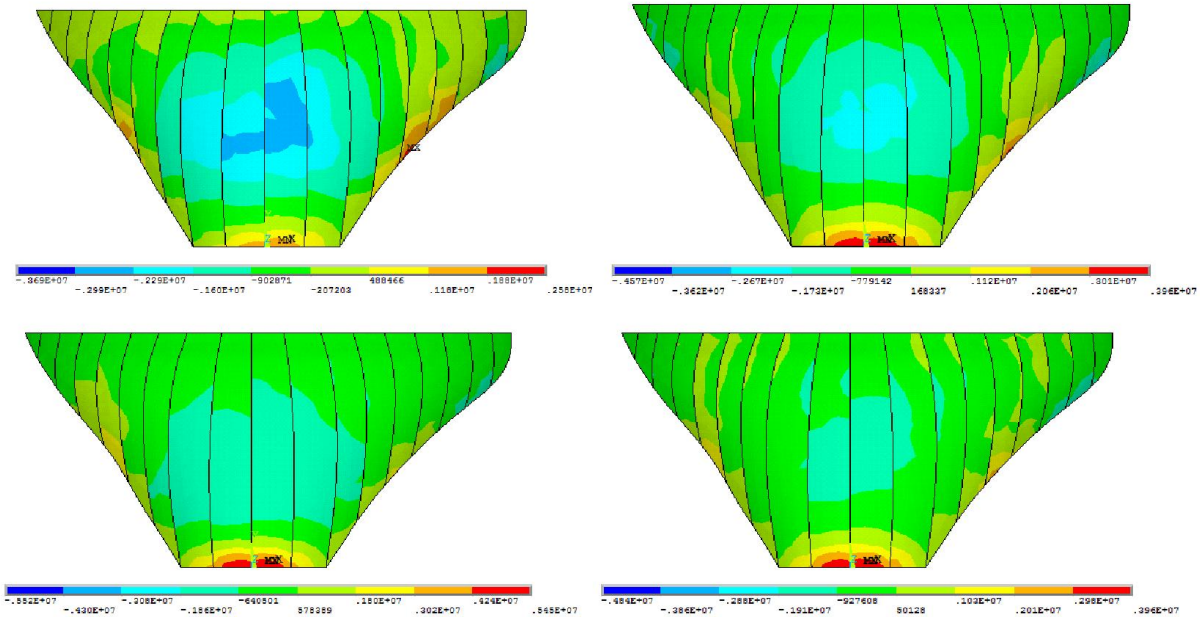
Hình 10 thể hiện phổ ứng suất theo phương Y mặt thượng lưu đập tại các thời điểm t = 1s, 1.64s, 3s và 5s.



Hình 8 – Độ mở tại đỉnh khe co giãn giữa theo thời gian



Hình 9 – Quan hệ giữa trượt tương đối theo hai phương tại đỉnh khe co giãn giữa theo thời gian



Hình 10 – Ứng suất theo phương Y mặt thượng lưu đập tại các thời điểm t=1s, 1.64s, 3s, 5s

6.3. Phân tích kết quả

Chuyển vị lớn nhất của toàn bộ đập dưới tác dụng của tải trọng tĩnh lực là 0.0278 m, ứng suất kéo lớn nhất và ứng suất nén lớn nhất theo phương Y lần lượt là 1.64 MPa và 3.62 MPa, sau khi bổ sung tính toán ứng suất tương đương, ứng suất kéo mặt thượng lưu đập giảm xuống còn 1.11MPa nhưng ứng suất nén mặt hạ lưu đập tăng lên bằng 4.80 MPa. Khi chịu thêm tác dụng của động đất, ứng suất và chuyển vị đập tăng lên đáng kể, ứng suất kéo lớn nhất và ứng suất nén lớn nhất theo phương Y tại thời điểm t = 1.64s lần lượt là 3.67 MPa và 4.24 MPa, nhưng sau khi bổ sung tính toán ứng suất tương đương ứng suất kéo giảm xuống còn 2.91 MPa và ứng suất nén tăng lên 5.84 MPa. Ngoài ra khi chịu tác dụng của tải trọng động đất khe co giãn bị mở rộng và xuất hiện trượt tương đối giữa các khối đập, độ mở lớn nhất của khe co giãn bằng 0.0132 m và trượt tương đối lớn nhất theo phương đứng bằng 0.0044 m và phương dòng chảy bằng 0.0148 m. Các kết quả này đều được so sánh với các kết quả tính toán trên mô hình phần tử hữu hạn thông thường, mô hình tính toán khi không xét đến ảnh hưởng của khe co giãn và cho thấy tính tin cậy của mô hình tính toán mà các tác giả đã lựa chọn [5].

7. Kết luận

Với những nghiên cứu gần đây của các tác giả bài báo, việc ứng dụng vào tính toán ứng suất đập vòm có hiệu quả rõ rệt. Khi thiết kế đập vòm đặc biệt là đập vòm cao cần đặc biệt chú ý đến phương pháp tính toán ứng suất đập vòm, kiến nghị với đập vòm cao cần sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn tự thích ứng đồng thời bổ sung tính toán ứng suất tương đương để loại bỏ ảnh hưởng của ứng suất tập trung. Đối với đập vòm chịu ảnh hưởng của động đất cần xem xét đến sự ảnh hưởng của khe co giãn ngang đến trạng thái ứng suất thân đập. Những kết luận này hy vọng làm tài liệu tham khảo hữu ích cho thiết kế đập vòm trong tương lai.

Tài liệu tham khảo

[1] Dong, F. P., Zhu, B. F., Shen, Z. L., and Ge, N, A survey of high arch stresses in the world, Journal of China Institule of Water Resources and Hydropower Research, 2003, 1(4), 292-299.

[2] Vũ Hoàng Hưng, Nguyễn Quang Hùng. Phương pháp phần tử hữu hạn tự thích ứng và ứng dụng trong phân tích đập bê tông trọng lực. Tạp chí khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường, 11/2009, 64-70.

[3] Vũ Hoàng Hưng, Nguyễn Quang Hùng. Mô hình tiếp xúc phần tử hữu hạn trong phân tích ổn định chống trượt đập bê tông trọng lực. Tạp chí khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường, 06/2009, 38-45.

[4] Vũ Hoàng Hưng. Tính toán ứng suất tương đương phần tử hữu hạn đập vòm bê tông. Hội nghị khoa học kỷ niệm 45 năm thành lập Khoa Công trình, 11/2011.

[5] Vũ Hoàng Hưng. Nghiên cứu độ an toàn tĩnh động lực đập vòm cao và ứng dụng cho đập vòm Nậm Chiến Việt Nam. Luận án Tiến sĩ, trường Đại học Hà Hải, 2011.