

SO SÁNH TRẠNG THÁI ỨNG SUẤT - BIẾN DẠNG CỦA TRỤ PIN THÀNH MỎNG TRONG PHÂN TÍCH TUYẾN TÍNH VÀ KHI CÓ KẼ ĐẾN YẾU TỐ PHI TUYẾN HÌNH HỌC

Nguyễn Văn Xuân¹, Nguyễn Cảnh Thái², Nguyễn Ngọc Thắng²

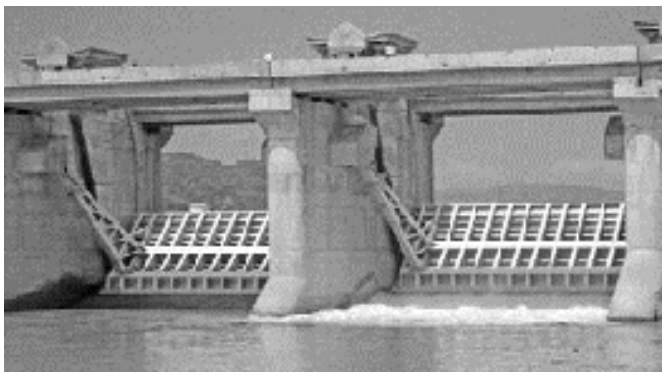
¹TT Chính sách và Kỹ thuật Thủy lợi, Tổng Cục Thủy lợi, email: Bantotmr@gmail.com

²Trường Đại học Thủy lợi, email: ncanhthai@tlu.edu.vn; nnthang@tlu.edu.vn

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trụ pin là một trong những bộ phận kết cấu quan trọng sử dụng trong công trình thủy công. Với đập trụ đỡ có cửa van cung, thì trên các trụ pin thuộc mố biên, và trên các trụ pin nằm giữa hai khoang có chế độ làm việc của cửa van khác nhau, tại vị trí tai van sẽ phải chịu những lực tác dụng không đối xứng. Trong công tác thiết kế, kiểm định và vận hành, xác định chính xác trạng thái ứng suất - biến dạng tại vị trí này có ý nghĩa quan trọng đến việc đảm bảo duy trì độ bền của hạng mục.

Trường hợp ở hai bên của trụ pin, một bên đóng, một cửa van đóng, một cửa van mở, phân tích ứng suất là bài toán tám phẳng đàn hồi chịu lực tập trung [1].



Hình 1. Trụ pin đập dâng Văn Phong

Trước yêu cầu thực tế đảm bảo đa mục tiêu, kết hợp giải pháp kỹ thuật và cảnh quan, một bài toán được đặt ra là xây dựng các trụ pin có thành mỏng. Khi đó, biến dạng do uốn có trị số lớn.

Trong phân tích tuyến tính bài toán này, mối quan hệ giữa các đại lượng biến dạng và chuyển vị là hàm bậc nhất. Mặt cắt ngang không thay đổi các thông số hình học trong suốt quá trình chịu tải, và như vậy là chưa phản ánh đúng sự làm việc của kết cấu.

Trong phân tích phi tuyến hình học, mối quan hệ giữa biến dạng và chuyển vị là phi tuyến:

$$\{\varepsilon\} = [D(u)]\{u\} \quad (1)$$

(trong đó, $[D(u)]$ là hàm của vec tơ chuyển vị nút $\{u\}$ tương ứng)

Phương trình hệ thống cho một phần tử của bài toán phi tuyến hình học

$$\{dF\} = [K_e + K_m + K_g]\{d\Delta\} \quad (2)$$

(trong đó, $\{dF\}$ là số gia vec tơ lực quy nút, $\{d\Delta\}$ là số gia vec tơ chuyển vị nút, K_e là ma trận độ cứng đàn hồi, K_m là ma trận giảm dẻo (*plastic reduction matrix*), K_g là ma trận độ cứng phi tuyến hình học.

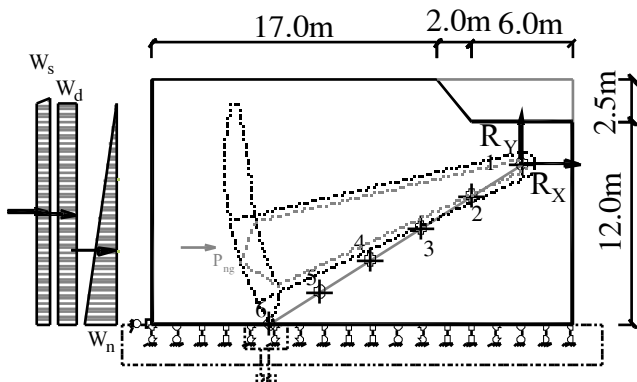
Bài toán phi tuyến hình học lúc này thuộc nhóm bài toán chuyển vị lớn (*large displacement*), trong khi biến dạng nhỏ (*small strain*) [2].

Trong phạm vi bài báo, kết cấu bê tông được mô tả là vật thể đàn hồi tuyến tính, làm việc trong điều kiện bê tông không phá hủy (*uncracked concrete conditions*), được so sánh trong 2 trường hợp phân tích ứng xử tuyến tính và phi tuyến hình học. Đây cũng là điều kiện quan trọng cho công trình thủy công, thiết kế trong điều kiện không được phép hình thành vết nứt [1] [3] [4].

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Bài báo được thực hiện trên cơ sở phân tích sự thay đổi ảnh hưởng của Modul đàn hồi qua mác bê tông (BT) đến ứng suất trên mặt cắt cơ bản của trụ biên và tai van với các độ dày trụ biên khác nhau. Quá trình phân tích được thực hiện bằng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH), với sự trợ giúp của phần mềm Abaqus.

Mô hình được thực hiện với các chiều dày 0,5m, 1m, 2m; sử dụng phần tử C3D8R, là phần tử khối 3 chiều, 8 nút được gán cho các phần tử khối solid của bê tông. Chuyển vị các phương x, y, z của đáy trụ bằng 0. Các điểm đo ứng suất được bố trí cách đều 3,55m trên đoạn thẳng nối cối quay tai van và mép dưới của van khi làm việc. Độ dày lưới là 1 đơn vị. Đây là khu vực cần xác định ứng suất để gia cường cốt thép [1] [5].



Hình 1. Mặt cắt và các điểm tính ứng suất

Các lực tác động chính truyền đến cối quay tai van gồm: áp lực thủy tĩnh, áp lực thủy động, áp lực sóng, trọng lượng van. Chiều sâu ngập nước 13m, chiều rộng cửa van 25m, lực tác động truyền lên cối quay tai van gồm 2 lực chính: Rx = 1120 tấn; Ry = 137 tấn. Ứng suất tính toán là ứng suất chính, xác định trong hệ tọa độ Descartes như sau:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{I_1}{3} + \frac{2}{3} \left(\sqrt{I_1^2 - 3I_2} \right) \cos \varphi \\ \sigma_2 &= \frac{I_1}{3} + \frac{2}{3} \left(\sqrt{I_1^2 - 3I_2} \right) \cos \left(\varphi - \frac{2\pi}{3} \right) \\ \sigma_3 &= \frac{I_1}{3} + \frac{2}{3} \left(\sqrt{I_1^2 - 3I_2} \right) \cos \left(\varphi - \frac{4\pi}{3} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

trong đó,

$$\varphi = \frac{1}{3} \cos^{-1} \left(\frac{2I_1^3 - 9I_1I_2 + 27I_3}{2(I_1^2 - 3I_2)^{3/2}} \right)$$

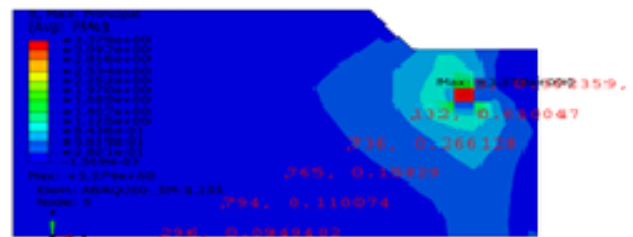
$$I_1 = \sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}$$

$$I_2 = \sigma_{11}\sigma_{22} + \sigma_{22}\sigma_{33} + \sigma_{33}\sigma_{11} - \sigma_{12}^2 - \sigma_{23}^2 - \sigma_{31}^2$$

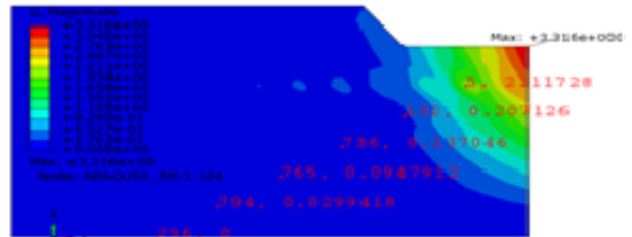
$$I_3 = \sigma_{11}\sigma_{22}\sigma_{33} - \sigma_{11}\sigma_{23}^2 - \sigma_{22}\sigma_{31}^2 - \sigma_{33}\sigma_{12}^2 + 2\sigma_{12}\sigma_{23}\sigma_{31}$$

(trong đó, I_1, I_2, I_3 là các bất biến của trạng thái ứng suất; $\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{33}, \sigma_{12}, \sigma_{23}, \sigma_{31}$ là ứng suất thành phần)

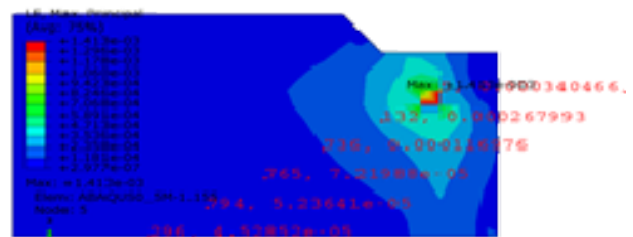
3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU



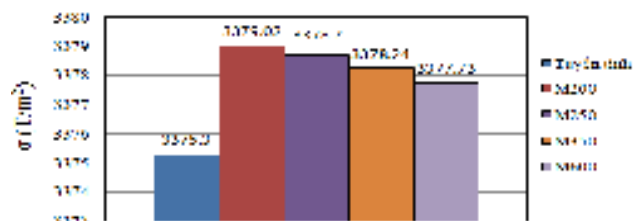
Hình 3. Ứng suất chính tương ứng BT M200, tấm dày 0.5m



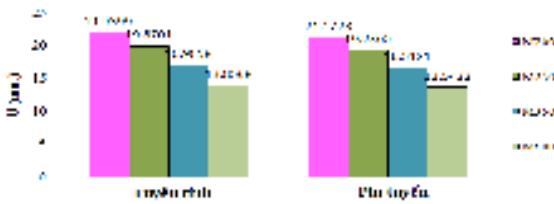
Hình 4. Chuyển vị tương ứng BT M200, tấm dày 0.5m



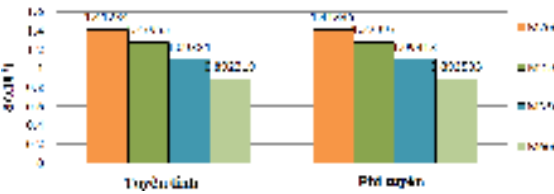
Hình 5. Biến dạng tương ứng BT M200, tấm dày 0.5m



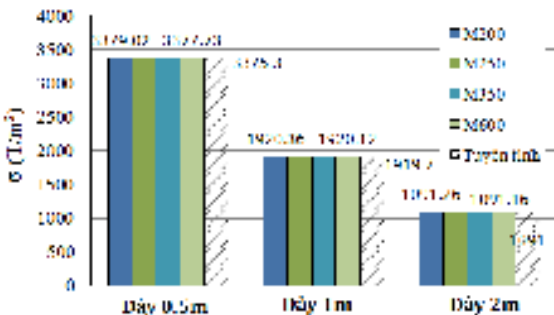
Hình 6. Ứng suất chính tại điểm 1 tương ứng các mác BT khác nhau, tấm dày 0.5m



Hình 7. Chuyển vị tại điểm 1 tương ứng các mức BT khác nhau, tấm dày 0.5m



Hình 8. Biến dạng tại điểm 1 tương ứng các mức BT khác nhau, tấm dày 0.5m



Hình 9. Ứng suất chính tại điểm 1 tương ứng các mức BT và độ dày khác nhau

Bảng 1. Biến dạng tại điểm 1

Đ. dày m	Tr. hợp tính	M200 x 10 ⁻³	M250 x 10 ⁻³	M350 x 10 ⁻³	M600 x 10 ⁻³
0.5	T. tính	1.61467	1.41284	1.27955	1.09381
	P. tuyến HH	1.61532	1.41335	1.27997	1.09413
	chênh lệch %	0.04	0.036	0.033	0.029

Bảng 2. Chuyển vị tổng U_{magnitude} tại điểm 1

Đ. dày m	Tr. hợp tính	M200 mm	M250 mm	M350 mm	M600 mm
0.5	T. tính	21.9399	19.8701	16.9858	13.8568
	P. tuyến HH	21.1728	19.2365	16.5181	13.5422
	chênh lệch %	-3.496	-3.189	-2.753	-2.27
1	T. tính	12.147	11.001	9.40412	7.67178
	P. tuyến HH	12.1117	10.9721	9.38294	7.65766
	chênh lệch %	-0.291	-0.263	-0.225	-0.184
2	T. tính	7.35253	6.6589	5.69228	4.64371
	P. tuyến HH	7.35113	6.65774	5.69144	4.64314
	chênh lệch %	-0.019	-0.017	-0.015	-0.012

Có thể nội suy giữa điểm 2 và 6 từ giá trị tuyến tính sang phi tuyến với M200, dày 0,5m:

$$y_2 = y_1 + a.x_1^4 + b.x_1^3 + c.x_1^2 + d.x_1^1 + e \quad (4)$$

(trong đó, x₁: khoảng cách từ điểm 1 đến các điểm đo; y₁: ứng suất tuyến tính; y₂: ứng suất phi tuyến tương ứng BT M200)

$$\begin{aligned} a &= 0.001434 & d &= -7.51231 \\ b &= -0.0721 & e &= 6.4863 \\ c &= 1.235408 \end{aligned}$$

từ điểm 1 đến điểm 2, có thể nội suy qua CT:

$$y_2 = y_1 - 3,1919.x_1 + 3,72032 \quad (5)$$

4. KẾT LUẬN

So với phân tích tuyến tính, việc tính toán trụ pin thành mỏng có xét đến phi tuyến hình học cho kết quả ứng suất, biến dạng, chuyển vị chênh lệch không nhiều. Mức BT càng nhỏ, chênh lệch ứng suất do ảnh hưởng phi tuyến hình học càng lớn; giá trị biến dạng cũng lớn hơn.

Điểm 1 là vị trí chịu lực tập trung nên có ý nghĩa quan trọng trong thực tế. Độ dày của trụ pin càng giảm, chênh lệch ứng suất nguy hiểm càng tăng. Trong các trường hợp tính toán, ứng suất - biến dạng lớn nhất tại điểm này khi trụ dày 0,5m và BT M200. Tại điểm này, các giá trị ứng suất, biến dạng và chuyển vị đều vượt quá giới hạn làm việc của vật liệu, cần bổ sung cốt thép gia cường. Do độ dài bài báo có hạn, vấn đề nghiên cứu khoanh vùng trong phạm vi kết cấu bê tông, nên chi tiết cốt thép xét trong chuyên đề khác.

Với các công trình thủy công thuộc vùng biển, trong khu vực có mực nước lên xuống, xác định chính xác ứng suất - biến dạng tại vị trí này giúp lựa chọn cốt thép gia cường hợp lý, chọn chiều dày lớp BT bảo vệ phù hợp đảm bảo khả năng chống nứt của vật liệu trong điều kiện bị xâm thực của nước biển, giúp gia tăng độ bền và quy mô công trình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] TCVN 10400:2015, Công trình thủy lợi - Đập trụ đỡ - Yêu cầu về thiết kế. Hà Nội, Việt Nam: Bộ Khoa học và Công nghệ, 2015.
- [2] O.C.Zienkiewicz, R.L.Taylor, *The Finite Element Method. Volume 2: Solid Mechanics*, 5th ed. Oxford, England: Butterworth-Heinemann, 2000.
- [3] TCVN 4116:1985, Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép Thủy công - Tiêu chuẩn thiết kế., 1985.
- [4] MacGregor J. G, Wight J. K, *Reinforced Concrete: Mechanics.*: Prentice-Hall, 2005.
- [5] US Army Corps of Engineers, "EM 1110-2-2702: Design of spillway tainter gates," Washington, 2000.