

ĐÁNH GIÁ SAI SỐ NỘI LỰC BÀI TOÁN HỆ VÒM BA KHỚP KHI DÙNG PHẦN MỀM SAP2000

THÁI PHƯƠNG TRÚC

*Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Công nghiệp thành phố Hồ Chí Minh
thaiphuongtruc@iuh.edu.vn*

DOIs: <https://doi.org/10.46242/jstiuh.v61i07.4733>

Tóm tắt: Kết cấu dạng vòm là dạng kết cấu đặc biệt có những ưu điểm như: khả năng vượt nhịp lớn, trọng lượng bản thân nhẹ. Kết cấu vòm thường dễ tạo những ấn tượng mạnh, phù hợp với các loại kiến trúc mang tính biểu trưng như: các trung tâm hội nghị quốc gia, trung tâm triển lãm, sân vận động, siêu thị, sân bay, kết cấu cầu... Việc phân tích, tính toán kết cấu dạng này thường dùng phương pháp giải tích hoặc sử dụng các phần mềm phần tử hữu hạn như SAP2000 hoặc Etabs để chia nhỏ thành thành nhiều phần tử. Mục tiêu của bài báo là đánh giá độ chính xác của phương pháp phần tử hữu hạn dùng SAP2000 với phương pháp dầm tham chiếu dùng lời giải giải tích.

Từ khóa. Kết cấu vòm, kiến trúc vượt nhịp lớn, kết cấu vòm trong xây dựng, Mathcad Prime, Sap2000, kết cấu vòm 3 khớp.

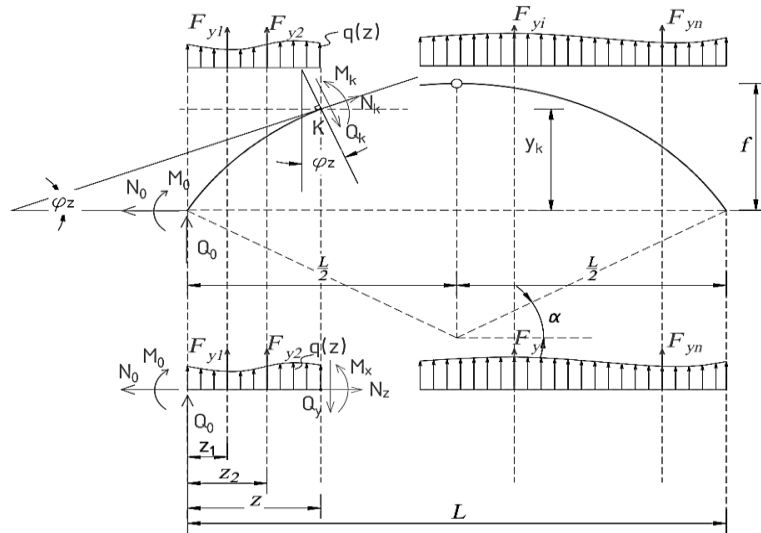
1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, việc tính toán xác định nội lực trong các thanh vòm phẳng có thể sử dụng một số phương pháp như: phương pháp sai phân hữu hạn, phương pháp phần tử hữu hạn... Nhìn chung, ý tưởng của các phương pháp này là rời rạc hoá vòm cong thành các đoạn thẳng nối với nhau. Để bài toán đạt độ chính xác cao, số lượng phần tử chia lưới trong bài toán càng lớn thì độ chính xác càng cao. Tuy nhiên, vấn đề này đòi hỏi tài nguyên tính toán và tiêu tốn nhiều thời gian.

Trong bài báo này, tác giả dùng phương pháp mặt cắt giải quyết bài toán vòm 3 khớp thông qua dầm tham chiếu tương đương (hình 1), vấn đề này đã được Nguyễn Sơn Lâm [1] cùng các cộng sự nghiên cứu và công bố. Ý tưởng của phương pháp này là xác định nội lực của dầm tham chiếu tương đương về chiều dài, đặc trưng hình học, tải trọng và các liên kết. Sau đó, dùng phương pháp hình chiếu để xác định được các thành phần nội lực trên dầm tham chiếu từ đó xác định nội lực trên hệ vòm 3 khớp bằng các phép biến đổi cơ bản. Tuy nhiên, nghiên cứu này chưa đánh giá được độ tin cậy, sai số tính toán đối với các dạng vòm khác nhau. Do đó, trong bài báo này, tác giả sử dụng công cụ lập trình Mathcad Prime nhằm thiết lập các hàm nội lực trong vòm 3 khớp. Kết quả nghiên cứu được so sánh kiểm chứng với các phần mềm như SAP2000 [2] hay Robot Structural Analysis nhằm đánh giá độ tin cậy của phương pháp đề xuất. Bài báo sử dụng công cụ lập trình Mathcad [3] để phân tích nội lực vòm ba khớp chịu tải trọng phân bố đều theo phương đứng.

2 NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1 Thiết lập công thức xác định nội lực



Hình 1: Vòm 3 khớp chịu tải trọng đứng

Hình 1 trình bày mô hình phân tích nội lực vòm ba khớp chịu tải trọng phân bố đều theo phương đứng. Khảo sát nội lực tại điểm K bất kỳ, ta xác định được các thành phần nội lực N_0, Q_0, M_0 trên dầm tham chiếu [4]. Dùng phương pháp hình chiếu, ta xác định thành phần nội lực N_K, Q_K, M_K tại điểm K trên hệ vòm:

$$\begin{cases} N_k = -Q_0 \cdot \sin \varphi - N_0 \cdot \cos \varphi \\ Q_k = Q_0 \cdot \cos \varphi - N_0 \cdot \sin \varphi \\ M_k = M_x - N_0 \cdot y \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó:

- y - Hàm số được xác định từ phương trình hình học của cơ hệ, có thể tham khảo bảng 1;
- φ - góc hợp bởi tiếp tuyến tại điểm K và phương nằm ngang;

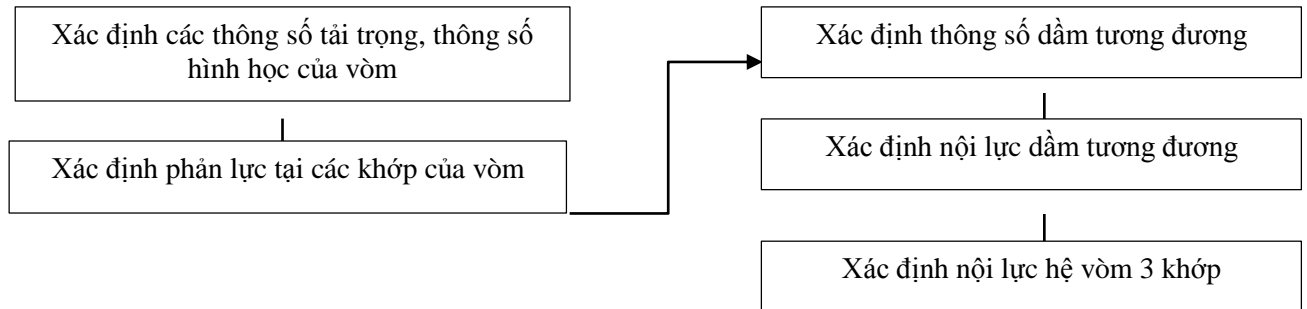
Bảng 1 – Một số hàm dạng vòm 3 khớp thường gặp

$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{dy}{dz} \right)$		
Dạng	Phương trình hàm số $y = f(z)$	Hàm tiếp tuyến $\tan \varphi = \frac{dy}{dz}$
Đường tròn	$z^2 + \left(y - \frac{f}{2} + \frac{l^2}{8f} \right)^2 = \left(\frac{l^2}{8f} + \frac{f}{2} \right)^2$	$\tan \varphi = - \frac{z}{\sqrt{\left(\frac{l^2}{8f} + \frac{f}{2} \right)^2 - z^2}}$
Parabol	$y = f - \frac{4f}{l^2} \cdot z^2$	$\tan \varphi = - \frac{8f}{l^2} \cdot z$
Ellipse	$\frac{4z^2}{l^2} + \frac{y^2}{f^2} = 1$	$\tan \varphi = - \frac{4f}{l^2 \cdot \sqrt{1 - \frac{4z^2}{l^2}}} \cdot z$
Hàm sin	$y = f \sin \left(\frac{\pi z}{l} \right)$	$\tan \varphi = \frac{\pi f}{l} \cdot \cos \left(\frac{\pi z}{l} \right)$

2.2 Quy trình tính toán

Phương pháp tính toán hệ vòm ba khớp dùng lời giải giải tích được xác định theo hình 2:

ĐÁNH GIÁ SAI SỐ NỘI LỰC...



Hình 2: Sơ đồ quy trình tính toán

3 CÁC THÍ DỤ TÍNH TOÁN

3.1 Các thí dụ tính toán

Để đánh giá mức độ tin cậy của phương án, tác giả đã đưa ra nhiều dạng bài toán khác nhau với các loại vòm như: vòm gãy khúc, vòm cung tròn, vòm parabol từ loại tải đơn giản đến phức tạp nhằm để so sánh đánh giá. Người nghiên cứu bỏ qua vòm dạng ellipse và dạng hình sin bởi 2 dạng vòm này không được hỗ trợ bởi phần mềm thương mại như SAP2000 [2] nên tác giả không có điều kiện so sánh đối chiếu.

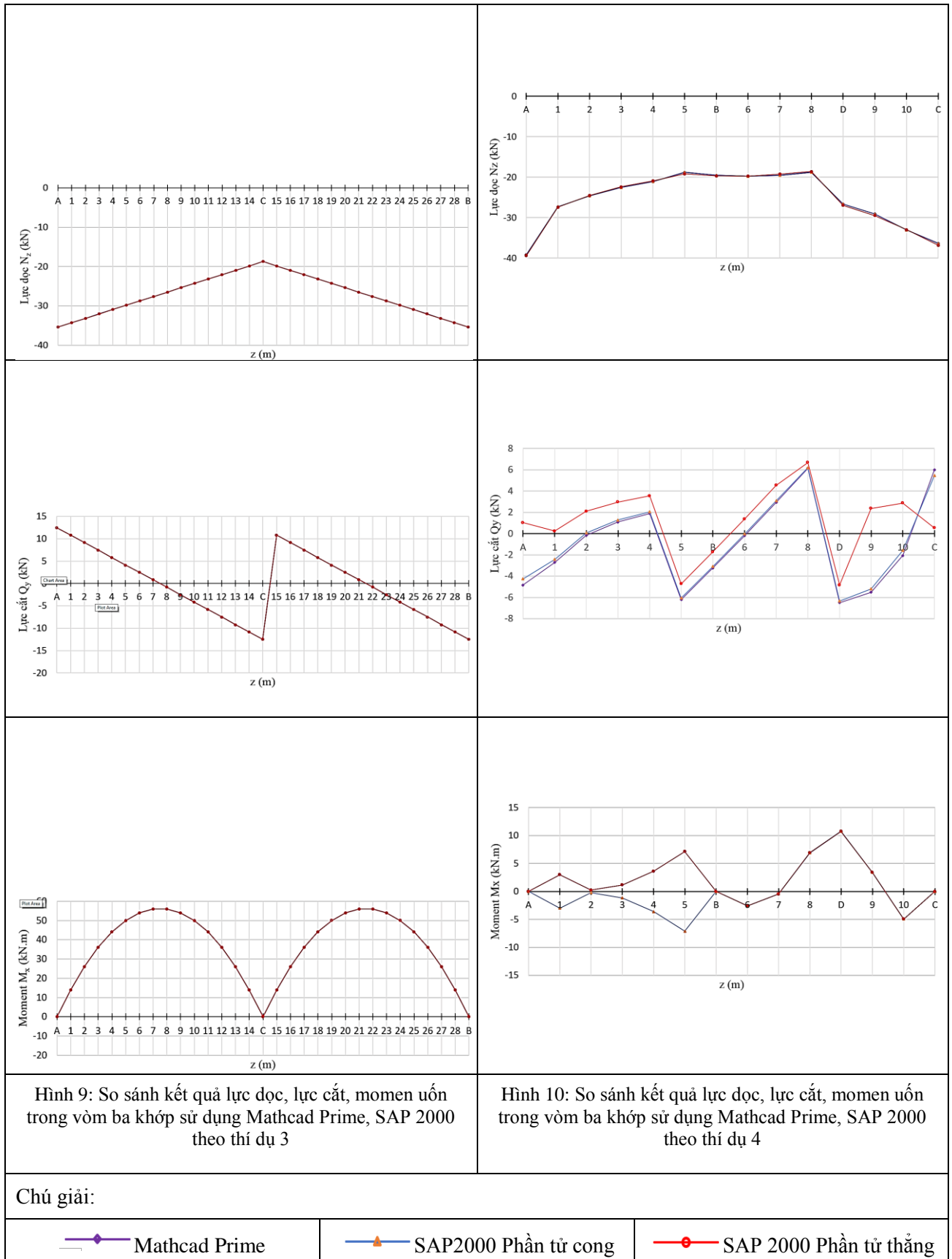
<p>Thí dụ 1</p>	<p>Thí dụ 2</p>
<p>Hình 3: Sơ đồ hệ vòm cung tròn</p>	<p>Hình 4: Sơ đồ hệ vòm dạng parabol</p>
<p>Thí dụ 3</p>	<p>Thí dụ 4</p>
<p>Hình 5: Sơ đồ hệ vòm gãy khúc</p>	<p>Hình 6: Sơ đồ hệ vòm cung tròn tải trọng phức tạp</p>

3.2 Kết quả đối sánh

Tác giả đã lập bảng so sánh đối chiếu kết quả tính toán được thông qua 3 phương pháp tính toán: Phương pháp giải tích dùng Mathcad Prime [5], phương pháp phần tử hữu hạn SAP2000 dùng phần tử thẳng, phương pháp dùng phần tử cong đường tròn hoặc parabol tương ứng với từng dạng vòm. Kết quả các thí dụ được lập ở các biểu đồ.

<p>Biểu đồ so sánh kết quả tính toán của thí dụ 1</p>	<p>Biểu đồ so sánh kết quả tính toán của thí dụ 2</p>
<p>Hình 7: So sánh kết quả lực dọc, lực cắt, momen uốn trong vòm ba khớp sử dụng Mathcad Prime, SAP 2000 theo thí dụ 1</p>	<p>Hình 8: So sánh kết quả lực dọc, lực cắt, momen uốn trong vòm ba khớp sử dụng Mathcad Prime, SAP 2000 theo thí dụ 2</p>
<p>Biểu đồ so sánh kết quả tính toán của thí dụ 3</p>	<p>Biểu đồ so sánh kết quả tính toán của thí dụ 4</p>

ĐÁNH GIÁ SAI SỐ NỘI LỰC...



Hình 9: So sánh kết quả lực dọc, lực cắt, momen uốn trong vòm ba khớp sử dụng Mathcad Prime, SAP 2000 theo thí dụ 3

Hình 10: So sánh kết quả lực dọc, lực cắt, momen uốn trong vòm ba khớp sử dụng Mathcad Prime, SAP 2000 theo thí dụ 4

Chú giải:

—◆— Mathcad Prime

—▲— SAP2000 Phần tử cong

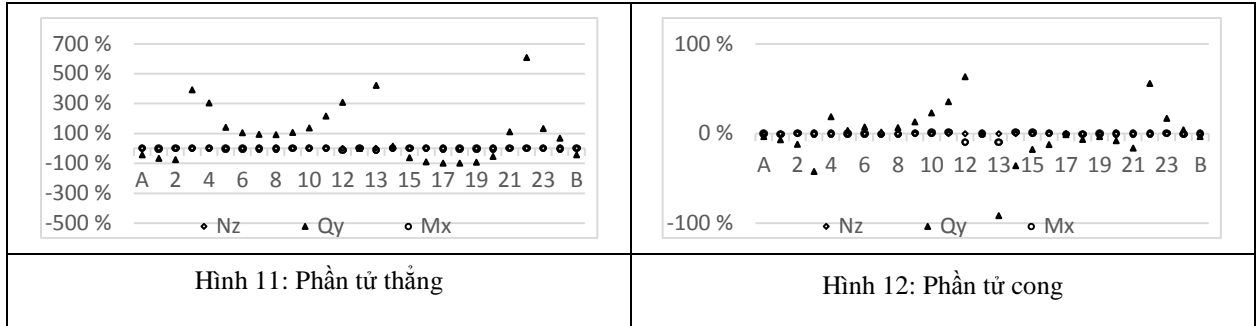
—●— SAP 2000 Phần tử thẳng

3.3

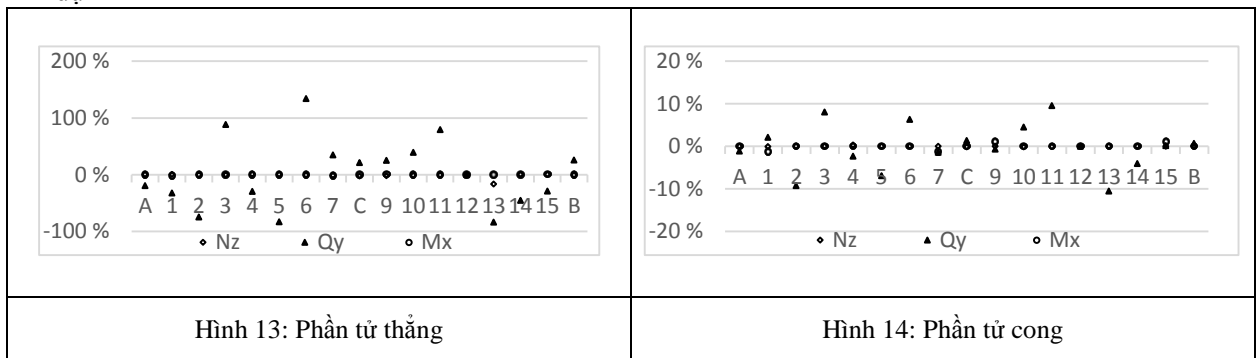
3.4 Đánh giá sai số của nội lực vòm ba khớp

Biểu đồ so sánh độ chính xác kết quả giữa SAP2000 với MathCad Prime đối với hệ vòm cung tròn trong thí dụ 1 được thể hiện trong hình 11, 12. Sai số giữa nội lực vòm ba khớp trong trường hợp vòm dạng parabol, vòm dạng gãy khúc và hệ vòm cung tròn được thể hiện trên các Hình 13, 14, 15, 16, 17.

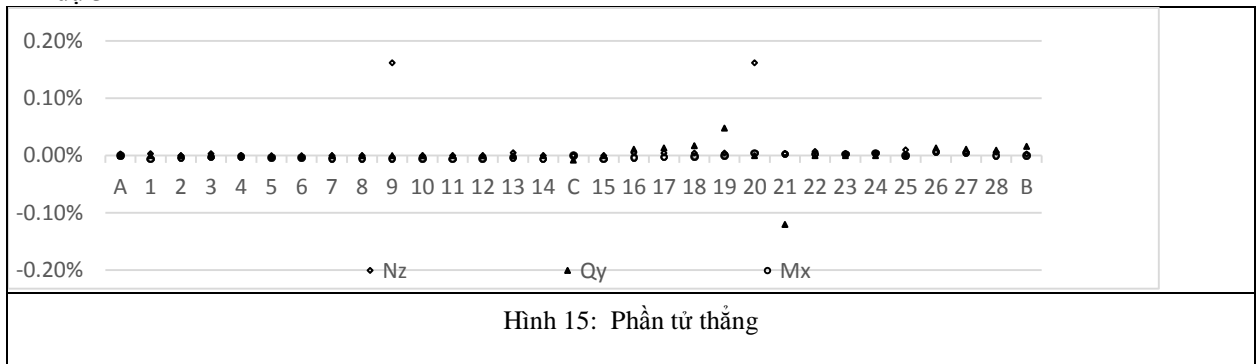
Thí dụ 1



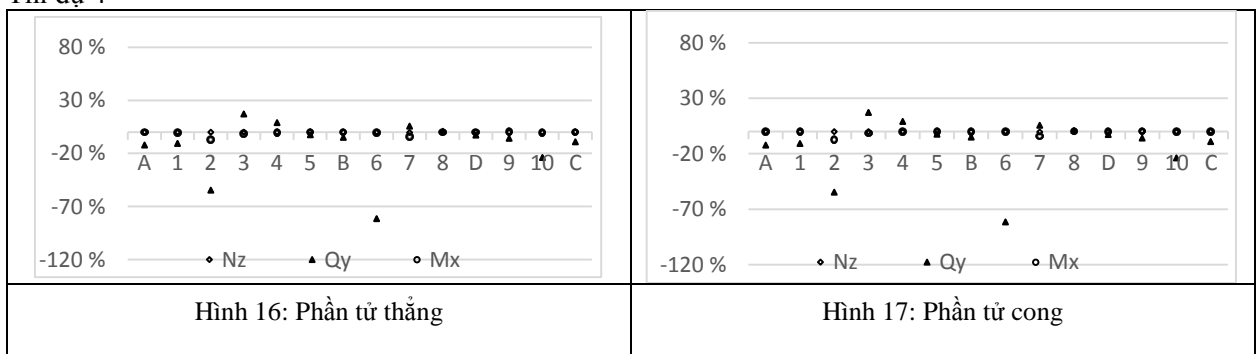
Thí dụ 2



Thí dụ 3



Thí dụ 4



ĐÁNH GIÁ SAI SỐ NỘI LỰC...

Thông qua 4 thí dụ đã tính toán và so sánh kết quả với cả 2 phương án: dùng phần tử cong (với công cụ curved frame) và phần tử thẳng (với công cụ straight element frame), một số kết luận được rút ra như sau:

- Theo kết quả thí dụ 3 (hình 5), nội lực tính toán giữa Mathcad Prime và Sap2000 có sai lệch không đáng kể dưới 1% (hình 15). Đây là kết quả rất tốt, khẳng định độ tin cậy của phương pháp và tính chính xác của giải thuật lập trình dùng phương pháp thông số ban đầu.
- Đối với thí dụ 1 (hình 3) khảo sát bài toán đơn giản có dạng đối xứng là vòm tròn 3 khớp chịu tải trọng phân bố là hằng số nhằm kiểm tra sự hợp lý của kết quả nội lực. Tác giả nhận thấy là biểu đồ lực cắt có tính phản xứng và biểu đồ moment có tính đối xứng và trơn mịn trên toàn hệ phù hợp với các tính chất cơ bản của cơ học. Qua đây, người nghiên cứu cũng nhận thấy sự khác biệt rõ ràng kết quả phân tích giữa phần tử thẳng và phần tử cong (hình 11 & 12): tính liên tục của phần tử cong tốt hơn so với phần tử thẳng. Tuy nhiên, khi so sánh kết quả với Mathcad thì độ sai lệch là đáng kể (hình 11 & 12): trong một số trường hợp mức độ sai lệch của phần tử cong là trên 90% (hình 12) và phần tử thẳng lên đến 600%. Kết quả cho thấy sai số khi sử dụng phần tử thẳng trong phần mềm SAP2000 lớn hơn nhiều so với phần tử cong khi chia lưới vòm cùng số lượng phần tử.
- Thí dụ 2 khảo sát bài toán vòm 3 khớp có dạng hình học parabol thể hiện ở hình 4. Biểu đồ so sánh kết quả (hình 13 & 14) cho thấy sai số đạt giá trị 150% khi sử dụng phần tử thẳng và 10% với phần tử cong parabol. Do đó, nội lực vòm khi sử dụng phần tử cong dạng parabol có độ tin cậy cao hơn.
- Bài toán vòm 3 khớp cung tròn nhưng tải trọng tác dụng phân bố đều bậc nhất được khảo sát trong thí dụ 4 (hình 6). Kết quả thu được (hình 16 & 17) với sai số rất lớn. Trường hợp phần tử thẳng và cả phần tử cong lên đến 70%. Như vậy, dạng tải trọng và dạng hình học của vòm ảnh hưởng đáng kể đến kết quả nội lực vòm.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, khi sử dụng các phần tử thẳng và cong của phần mềm SAP2000 trong mô phỏng tính toán kết cấu dạng vòm, sai số của nội lực tăng dần khi tải trọng phân bố có dạng phức tạp.

4 KẾT LUẬN

Qua kết quả nghiên cứu, tác giả nhận thấy rằng việc phân tích nội lực các bài toán dạng vòm 3 khớp hay kết cấu dạng cong nói chung khi sử dụng phần mềm SAP2000 cần phải thận trọng. Bên cạnh đó tác giả cũng đề xuất hướng nghiên cứu tiếp theo như sau:

- Một là, cần có nhiều nghiên cứu nhằm cải tiến phần tử cong để có được kết quả đáng tin cậy hơn đặc biệt đối với dạng tải phức tạp;
- Hai là, nghiên cứu một số dạng phần tử cong khác ngoài dạng phần tử tròn, parabol như ellipse, dạng hình sin. Hiện nay SAP2000 chưa có dạng phần tử này;
- Ba là, phát triển hướng nghiên cứu này dùng Mathcad Prime với bài toán tải trọng ngang (tải gió). Trước mắt hỗ trợ các kỹ sư thiết kế trong việc tính toán các bài toán phẳng dạng cong trong khi chờ đợi các nghiên cứu cải tiến phần tử cong.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] N.S.Lâm, V.T. H. Thu, H.Tr. Minh, “Analysis internal force of three-hinged arch using Mathcad,” *Tạp Chí Xây Dựng* (5/2020), trang 115-118.
- [2] Computers & Structures Inc CSI, *CSI Analysis Reference Manual For SAP2000 , ETABS , SAFE and CSiBridge*, Rev.14. Berkeley, California, USA, 2017.
- [3] Prof. Dr. Hans Benker, *Practical Use of Mathcad: solving Mathematical Problems with a Computer Algebra System*. Springer-Verlag London, 1999. DOI: 10.1007/978-1-4471-0539-8.
- [4] I. A. Karnovsky, *Theory of arched structures: Strength, stability, vibration*. Springer, 2012. DOI: 10.1007/978-1-4614-0469-9.
- [5] Brent Maxfiel, *Engineering with Mathcad: Using Mathcad to Create and Organize Your Engineering Calculations*. Elsevier’s Science, 2006.

EVALUATION OF ERROR OF INTERNAL FORCE PROBLEMS OF THREE-JOINT ARCH SYSTEM USING SAP2000

THAI PHUONG TRUC

*Faculty of Civil Engineering, Industrial University of Ho Chi Minh City
thaiphuongtruc@iuh.edu.vn*

Abstract. The arch structure is special the following advantages: the ability to overcome great spans, and light self-weight. The arch structure often easy to creates strong impressions, suitable for iconic architecture such as national convention centers, exhibition centers, stadiums, supermarkets, airports, bridge structures... Structural analysis of this type often calculus methods or uses finite element software such as SAP2000 or Etabs to subdivide the bar into many elements. The paper's objective is to evaluate the error of the finite element method using SAP2000 with the reference beam method using the calculus solution.

Keywords. Arch structure, large span architecture, arch structure in construction, Mathcad Prime, Sap2000, 3-joint arch structure.

Ngày gửi bài: 11/10/2022

Ngày chấp nhận đăng: 28/12/2022