

PHÂN TÍCH DAO ĐỘNG CỦA TẤM PANEL HỘP HÌNH CHỮ NHẬT

VIBRATION ANALYSIS OF RECTANGULAR BOX-PANEL PLATE

TS. Bùi Văn Bình

Trường Đại học Điện lực

TÓM TẮT

Khi thiết kế các kết cấu, việc tính toán tần số dao động riêng, dự báo dạng dao động nhằm giảm thiểu sự cộng hưởng, giảm trọng lượng của kết cấu là vấn đề được quan tâm hàng đầu. Bài báo trình bày kết quả tính toán tần số dao động, dạng dao động tự do, phân tích đáp ứng độ võng tức thời của tấm hộp có mặt cắt hình chữ nhật (mặt cắt dạng hộp kín) làm bằng vật liệu composite sợi các-bon T700. Ảnh hưởng của góc sợi được khảo sát cho bài toán dao động riêng và bài toán dao động tức thời dưới tác dụng của lực va đập. Thuật toán và chương trình tính được viết bằng Matlab dựa trên lý thuyết tấm bậc nhất Reissner-Mindlin, sử dụng phần tử đẳng tham số 8 nút, mỗi nút có 5 bậc tự do.

Từ khóa: *Tấm hình thang; Vật liệu composite; Dao động tự do; Dạng dao động; Phương pháp phần tử hữu hạn.*

ABSTRACT

While designing structures, the natural vibration frequency of the structure and predicting the vibration pattern to minimize resonance and reduce the weight of the structure is the most important problem. This paper presents some numerical results of free vibration, mode shape analyses and transient analysis of the box panel plate (closed box section) made of T700 carbon fiber composite material. The effects of fiber orientations in the free vibration and the transient vibration under the effect of impact force were investigated. The Matlab programming using eight-noded rectangular isoparametric plate element with five degree of freedom per node based on Reissner-Mindlin plate theory was built to solve the problems.

Keywords: *Box panel plate; Composite material; Free vibration; Mode shape; Finite element method.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vật liệu composite lớp ngày càng được sử dụng rộng rãi trong đời sống và trong kỹ thuật vì các đặc tính đặc biệt của nó so với các loại vật liệu khác như khả năng chống radar, giảm thiểu các ảnh hưởng của trường điện từ, trọng lượng nhẹ, dễ dàng gia công các hình dạng phức tạp bằng phương pháp thủ công,... Tính toán dao động, dự báo dạng dao động của kết cấu là một trong những mối quan tâm hàng đầu của các nhà khoa học, nhà sản xuất. Những năm gần đây, nhiều nghiên cứu về ứng xử cơ học của các kết cấu tấm có hình dạng hình học đặc biệt như vát, xiên, chéo và các tấm dạng panel hộp đã được công bố với nhiều cách tiếp cận cả về lý thuyết và thực nghiệm. Năm 2015, Mohri và các cộng sự đã trình bày việc sử dụng mô hình phần tử dầm 3D để nghiên cứu ổn định của dầm thành mỏng có mặt cắt hở chịu biến dạng xoắn lớn trong tài liệu [1]. Năm 2016, O'Boy và các cộng sự [2] sử dụng lý thuyết Rayleigh-Ritz phân tích dao động của tấm hình chữ nhật với rãnh phân bố theo quy luật lũy thừa ở giữa tấm, kết quả phân tích cho thấy hiệu quả của các rãnh đến việc giảm rung động kết cấu của tấm. Năm 2024, Bagheri và các cộng sự trong [3] trình bày nghiên cứu dao động tự do trong mặt phẳng của các tấm hình chữ nhật dưới các điều kiện biên khác nhau bằng phương pháp Riley-Ritz cải tiến. Nghiên cứu cho thấy tác động của sự thay đổi thông số hình học đến dao động tự do của các tấm hình chữ nhật, mang lại những hiểu biết quan trọng cho các ứng dụng kỹ thuật khác nhau. Năm 2021, Eftekhari trong [4] trình bày đề xuất phát triển phần tử dầm 1D để giải bài toán dao động tự do của tấm mỏng và dày hình chữ nhật. Tác giả đề xuất trước tiên đơn giản bài toán tấm ban đầu thành hai bài toán dầm đơn giản, mỗi bài toán sau đó được rời rạc hóa riêng biệt với sự trợ giúp của phương pháp phần tử hữu hạn một

chiều. Các kết quả tính toán số đã được thực hiện cho các tấm có kích thước khác nhau,... Tại Việt Nam, các công trình nghiên cứu về loại kết cấu tấm hộp đã và đang được quan tâm nghiên cứu. Bài báo này trình bày một số kết quả tính toán số tần số dao động tự do, phân tích dạng dao động, đáp ứng tức thời của độ võng của tấm panel hộp có mặt dạng hình chữ nhật dựa trên lý thuyết tấm bậc nhất làm bằng vật liệu composite sợi các-bon T700.

2. THIẾT LẬP CÔNG THỨC PHẦN TỬ HỮU HẠN

2.1. Cơ sở lý thuyết

Theo Reissner-Mindlin [5], các thành phần chuyển vị u , v , w của tấm được biểu diễn như sau:

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_0 + z\theta_x \\ v_0 + z\theta_y \\ w_0 \end{Bmatrix} \text{ với } \begin{Bmatrix} \theta_x \\ \theta_y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial w}{\partial x} + \phi_x \\ \frac{\partial w}{\partial y} + \phi_y \end{Bmatrix} \quad (1)$$

Trong đó: u_0 , v_0 và w_0 là các thành phần chuyển vị của điểm trên mặt trung bình ($z = 0$) theo các phương x , y và z .

θ_x và θ_y lần lượt là góc xoay của pháp tuyến mặt trung bình quanh các trục y và x .

2.2. Xây dựng công thức phần tử hữu hạn

Bằng việc sử dụng phần tử đẳng tham số 8 nút, mỗi nút có 5 bậc tự do, các chuyển vị của điểm bất kỳ của mặt trung bình của tấm được xác định:

$$\begin{aligned} u_0 &= \sum_{i=1}^8 N_i(\xi, \eta) \cdot u_i; \quad v_0 = \sum_{i=1}^8 N_i(\xi, \eta) \cdot v_i; \quad w_0 = \sum_{i=1}^8 N_i(\xi, \eta) \cdot w_i; \\ \theta_x &= \sum_{i=1}^8 N_i(\xi, \eta) \cdot \theta_{xi}; \quad \theta_y = \sum_{i=1}^8 N_i(\xi, \eta) \cdot \theta_{yi}; \end{aligned} \quad (2)$$



$N_i(\xi, \eta)$ là các hàm dạng của phần tử đẳng tham số 8 nút trong hệ tọa độ phần tử (ξ, η) .

Ma trận độ cứng phần tử được xác định như sau:

$$[k]_{e(40 \times 40)} = \int_{A_e} ([B]^T) [H] [B] t dA_e \quad (3)$$

Phương trình dao động tự do không cản của kết cấu được xác định là:

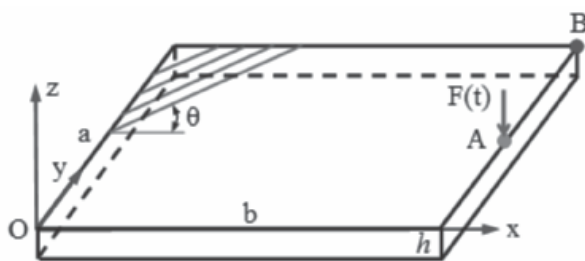
$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\} \quad (4)$$

Trong đó: $\{u\}, \{\ddot{u}\}$ là véc-tơ chuyển vị nút, véc-tơ gia tốc của chuyển vị nút trong hệ tọa độ tổng thể; $[M], [K]$ lần lượt là ma trận khối lượng, ma trận độ cứng trong hệ tọa độ tổng thể.

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN SỐ

3.1. Đối tượng khảo sát

Xét kết cấu tấm panel hộp làm bằng vật liệu composite lớp, kích thước như Hình 1.



Hình 1. Tấm composite panel hộp

Trong đó: $a = 0.6$ (m); $b = 1$ (m); tấm gồm 20 lớp composite, mỗi lớp có độ dày là $t_1 = 1.5$ (mm), có cấu hình góc sợi lệch trục là $[\theta/-\theta]_{10}$ và cấu hình đúng trục là $[90^\circ/0^\circ]_{10}$ (ký hiệu là $\theta = 90^\circ$).

Vật liệu composite được khảo sát là composite cốt sợi các-bon T700 có cơ tính như trong Bảng 1.

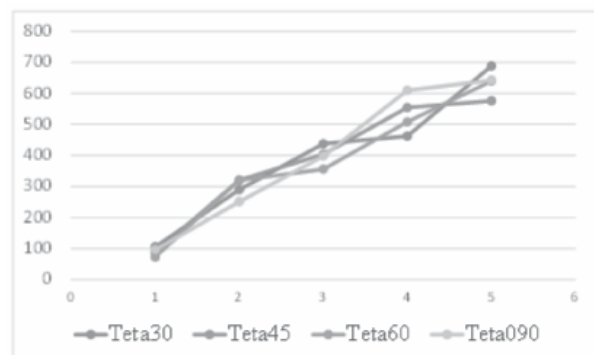
Bảng 1. Cơ tính vật liệu composite cốt sợi các-bon T700.

E_1 (GPa)	E_2 (GPa)	G_{12} (GPa)	ν_{12}	ν_{23}	ρ (kg/m ³)
230	40	24	0.26	0.4	1800

Điều kiện biên được khảo sát trong trường hợp: ngàm tại các cạnh $x = 0$, các cạnh khác tự do.

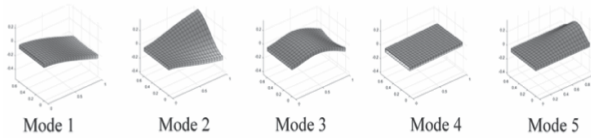
3.2. Khảo sát ảnh hưởng của cấu hình góc sợi composite

Để khảo sát ảnh hưởng của cấu hình góc sợi composite đến tần số dao động, dạng dao động, đáp ứng độ võng tức thời của tấm, bài báo xét tấm có cấu hình góc sợi $[\theta^\circ/-\theta^\circ]_{10}$ khi $\theta = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ (ký hiệu là teta30, teta45 và teta60) và $[90^\circ/0^\circ]_{10}$ (ký hiệu là teta090); Kết quả tính toán năm tần số dao động đầu tiên, năm dạng dao động đầu tiên tương ứng được trình bày trên Hình 2, Hình 3 và Hình 4.

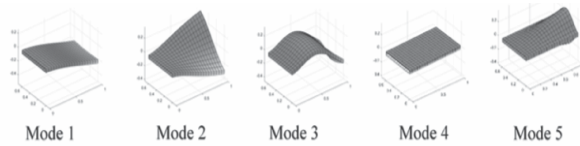


Hình 2. Ảnh hưởng của cấu hình góc sợi đến tần số dao động riêng

Năm dạng dao động đầu tiên tương ứng với các trường hợp khi cấu hình góc sợi lệch trục $[45^\circ/-45^\circ]_{10}$ và góc sợi đúng trục $[90^\circ/0^\circ]_{10}$ được trình bày trên Hình 3 và Hình 4.

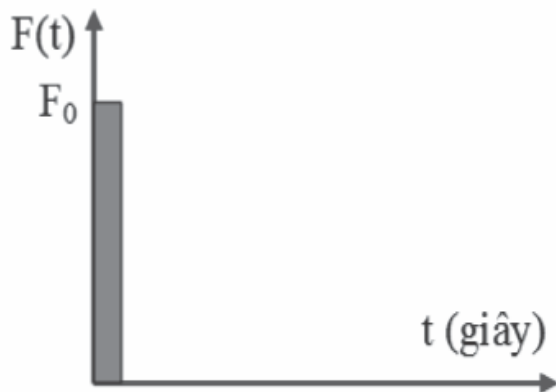


Hình 3. Năm tần số dao động riêng đầu tiên khi $\theta = 45^\circ$

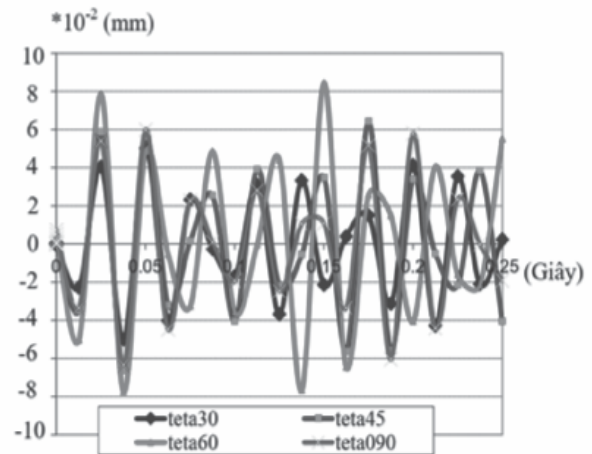


Hình 4. Năm tần số dao động riêng đầu tiên khi $\theta = 90^\circ$

Để khảo sát ảnh hưởng của cấu hình góc sợi đến đáp ứng độ võng tức thời, bài báo xét tấm chịu tác dụng của tải trọng va đập có sơ đồ tải trọng như Hình 5: lực va đập tác động vào điểm A (Hình 1), thời gian tác động là 0.01 giây. Đáp ứng độ võng của điểm B (Hình 1) được đo trong khoảng thời gian là 0.25 giây và được biểu diễn trên Hình 6 tương ứng với các cấu hình góc sợi là teta30, teta45 và teta60 và teta090.



Hình 5. Sơ đồ tải trọng tác động



Hình 6. Đáp ứng độ võng tức thời của tấm tại điểm B

Nhận xét:

- Hình 2, Hình 3 và Hình 4 cho thấy khi cấu hình góc sợi thay đổi, tần số dao động riêng của kết cấu tấm không thay đổi nhiều cho cả hai trường hợp cấu hình composite đúng trục và lệch trục. Tần số dao động riêng của các kết cấu tấm có cấu hình đúng trục lớn hơn tần số tương ứng khi tấm có cấu hình lệch trục. Điều đó chứng tỏ đặc điểm về kết cấu tấm dạng panel hộp đã làm giảm ảnh hưởng của cấu hình góc sợi.

- Hình 3, Hình 4 cho thấy, năm dạng dao động đầu tiên của các tấm tương ứng với các trường hợp tương tự nhau. Trong đó, dạng dao động thứ nhất là uốn, thứ hai là xoắn, thứ ba là uốn, thứ tư là dao động ngang và thứ năm là dao động cục bộ của các tấm thành phần.

- Hình 6 cho thấy tấm có cấu hình góc sợi đúng trục (teta090) có độ võng là nhỏ nhất so với các trường hợp khác trong trường hợp bài báo đã khảo sát.



4. KẾT LUẬN

Bằng việc sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn dựa trên lý thuyết tấm bậc nhất, bài báo đã xây dựng được thuật toán và chương trình tính toán số bằng Matlab để khảo sát dao động tự do và dao động tức thời của tấm panel hộp làm bằng vật liệu composite sợi các bon T700. Thông qua các kết quả khảo sát số của nghiên cứu, có thể đưa ra một số kết luận như sau: hình dạng hình học của tấm panel hộp làm suy giảm ảnh hưởng của các góc sợi composite, dạng dao động của kết cấu tấm loại này rất phức tạp đặc biệt là ở các mode dao động lớn. ❖

Ngày nhận bài: **12/4/2024**

Ngày phản biện: **14/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. F. Mohri, S.A. Meftah, N. Damil, *A large torsion beam finite element model for tapered thin-walled open cross sections beams*, Engineering Structures 99, (2015), 132-148.
- [2]. D.J. O'Boy, V.V. Krylov, *Vibration of a rectangular plate with a central power-law profiled groove by the Rayleigh-Ritz method*, Applied Acoustics 104 (2016), 24-32.
- [3]. A. Bagheri, A. Mortezaei, M.A. Sayarinejad, *Analysis of free in-plane vibrations of a rectangular plate with various boundary conditions canonical form using the modified Riley-Ritz method*, Results in Engineering 21 (2024), 101768.
- [4]. S.A. Eftekhari, *A simple finite element procedure for free vibration of rectangular thin and thick plates*, Applied Mathematics and Computation 401 (2021), 126104.
- [5]. Bathe, K-J (1996), *Finite element procedures*, Prentice-Hall, Inc.