

ĐÁP ỨNG ĐỘNG CỦA TẤM COMPOSITE TRÊN NỀN ĐÀN NHÓT CHỊU TÁC DỤNG CỦA HỆ DAO ĐỘNG DI ĐỘNG

DYNAMIC RESPONSE OF COMPOSITE PLATE RESTING ON VISCOELASTIC FOUNDATION UNDER THE OSCILLATION SYSTEM MOVING

Vũ Văn Đức

Khoa Cơ bản - Kỹ thuật Cơ sở, Trường Cao đẳng Kỹ thuật Quân sự 1

TÓM TẮT

Báo cáo trình bày kết quả nghiên cứu thuật toán phần tử hữu hạn phân tích tấm composite lớp chịu tác dụng của hệ dao động di động và tấm được đặt trên nền đàn hồi có xét đến hệ số cản của nền. Tấm giả thiết thỏa mãn lý thuyết biến dạng cắt bậc nhất của Mindlin, tải trọng được mô hình bằng một hệ dao động di động. Sử dụng thuật toán và chương trình tính đã được kiểm chứng độ tin cậy, báo cáo tiến hành khảo sát ảnh hưởng của một số các yếu tố về vật liệu composite, nền đàn nhót, điều kiện biên, ... đến đáp ứng động của kết cấu.

Từ khóa: *Tấm composite lớp; Hệ dao động di động; Nền đàn nhót; Phương pháp phần tử hữu hạn.*

ABSTRACT

The paper presents the results of the finite element method analysis of layered composite plate subjected to moving loads and plates resting on viscoelastic foundation. Based on Mindlin's first-order shear deformation theory, the load is modeled by a moving oscillating system. Using a proven algorithm and program to calculate reliability, the paper investigates the influence of a number of factors on composite materials, viscoelastic foundation, boundary conditions, etc. to the dynamic response of the results structure.

Keywords: *Layered composite plate; Moving oscillation system; Viscoelastic foundation; Finite element method.*

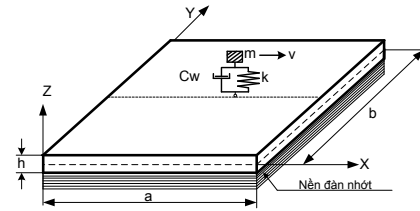


1. MỞ ĐẦU

Các kết cấu dạng tấm làm bằng vật liệu composite lớp đã và đang được sử dụng rộng rãi trong đời sống và kỹ thuật do có nhiều ưu điểm như bền, nhẹ, giá thành rẻ, ... Trong thực tế, khi các kết cấu dạng tấm được đặt tựa trên nền đất, để đơn giản tính toán nhưng vẫn đảm bảo độ chính xác cần thiết, nền đất thường được lý tưởng hóa bằng các mô hình nền đàn hồi một hoặc hai hệ số. Đã có nhiều công trình tập trung nghiên cứu các đáp ứng động của tấm chịu tác dụng bởi tải trọng di động như [2, 6, 7], trong [4], các tác giả đã đi vào phân tích đáp ứng động của tấm composite lớp trên nền đàn hồi một hệ số chịu tác dụng của khối lượng di động. Ankit Gupta và Mohammad [3] đã nghiên cứu dao động riêng của tấm FGM trên nền đàn hồi sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn. Bài báo [5] tập trung nghiên cứu đáp ứng động lực học của tấm composite cơ tính biến đổi trong môi trường nhiệt chịu tác dụng của khối lượng di động. Tác giả A.R. Vosoughi và cộng sự [9] đã nghiên cứu đáp ứng động của tấm composite lớp dày trên nền đàn hồi chịu tác dụng của tải trọng di động. Các nghiên cứu trước đây chưa tập trung nghiên cứu tính toán đối với trường hợp nền đàn hồi hai hệ số có cản nhớt chịu tác dụng của hệ dao động di động, đây là bài toán thường gặp trong thực tế khi xe di chuyển trên cầu, mặt đường băng khi máy bay cất và hạ cánh, ... Vì vậy, việc tính toán với trường hợp này là rất cần thiết, có ý nghĩa thực tiễn, giúp cho việc thiết kế và sử dụng kết cấu này một cách hiệu quả nhất.

2. MÔ HÌNH BÀI TOÁN VÀ CÁC GIẢ THIẾT

Xét tấm composite lớp có kích thước hai cạnh là a, b , chiều dày tấm h , chịu tác dụng của hệ dao động di động đặt trên nền đàn hồi có mô hình như trên hình 1.



Hình 1. Mô hình tấm composite lớp trên nền đàn hồi

Hệ dao động di động ở đây có một hệ dao động với các thông số kết cấu gồm khối lượng hệ dao động m , hệ số cản nhớt của hệ c_w , độ cứng của lò xo k . Hệ dao động chuyển động với vận tốc v trên quỹ đạo được xác định và cho trước.

Nền đàn nhớt ở đây được mô tả với lớp đàn hồi theo mô hình Winkler với hai hệ số k_1 và k_2 , được mô hình hóa như hệ lò xo đặt trên toàn bộ bề mặt tiếp xúc của tấm và lớp cản nhớt được mô hình hóa như hệ cản nhớt piston - xy lanh thủy lực với hệ số cản nhớt c . Phản lực của nền được mô tả như sau:

$$R(w, x) = k_1 w + k_2 \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) + c \dot{w} \quad (1)$$

Các giả thiết: Tấm thỏa mãn lý thuyết biến dạng cắt bậc nhất, vật liệu tấm làm việc trong giới hạn đàn hồi. Không có sự tách rời giữa hệ dao động và tấm trong quá trình hệ dao động chuyển động. Tấm tựa trên nền đàn hồi hai hệ số và có cản nhớt (nền đàn nhớt). Tải trọng không tách rời khỏi tấm khi di chuyển.

3. CƠ SỞ TOÁN HỌC

Theo phương pháp phần tử hữu hạn, đối với phần tử tấm chịu tác dụng của hệ dao động di động trên nền đàn nhớt, hệ phương trình dao động cưỡng bức của hệ có dạng:

$$\begin{cases} m \ddot{w}_m + c_w (\dot{w}_m - \dot{w}) + k (w_m - w) = 0 \\ [M]_e \{\ddot{q}\}_e + ([C]_e + [C_n]_e) \{\dot{q}\}_e + ([K]_e + [K_n]_e) \{q\}_e = [N_w]^T \{m(g - \ddot{w}_m)\} \end{cases} \quad (2)$$

Với $[C]_e$ là ma trận cản phần tử, được tính thông qua ma trận độ cứng phần tử và ma trận khối lượng phần tử bởi công thức lực cản do Reilay đưa ra. Vì $w = [N_w]\{q\}_e$, thay vào phương trình trên, ta thu được hệ phương trình dao động cưỡng bức của hệ có dạng tổng quát ở dạng ma trận như sau:

$$\begin{bmatrix} [M]_e & [N_w]^T m \\ [0] & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{q}_e \\ \dot{w}_m \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [C]_e + [C_n]_e & 0 \\ -c_w[N_w] & c_w \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{q}_e \\ \dot{w}_m \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [K]_e + [K_n]_e & 0 \\ -c_w v[N_w]_{,x} - k[N_w] & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q_e \\ w_m \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} [N_w]mg \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3)$$

Trong đó, $[N_w]_{,x}$ là đạo hàm của ma trận hàm dạng của chuyển vị w đối với biến x . Sau khi tập hợp ma trận và khử điều kiện biên, ta thu được phương trình dao động cưỡng bức tổng thể của toàn hệ như sau:

$$\begin{bmatrix} [M] & [N_w]^T m \\ [0] & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{q} \\ \dot{w}_m \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [C]_t + [C_n] & 0 \\ -c_w[N_w] & c_w \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{q} \\ \dot{w}_m \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [K] + [K_n] & 0 \\ -c_w v[N_w]_{,x} - k[N_w] & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q \\ w_m \end{Bmatrix} = \{F\} \quad (4)$$

Dùng kỹ thuật kết nối các chỉ số bậc tự do tương ứng của các ma trận và véc tơ tải của phần tử tấm trên nền đàn nhớt chịu hệ dao động di động trong hệ tọa độ tổng thể trong từng bước thời gian, phương trình chuyển động tổng quát của hệ kết cấu được biểu diễn như sau:

$$[M]\{\ddot{q}\} + [C]\{\dot{q}\} + [K]\{q\} = \{F(t)\} \quad (5)$$

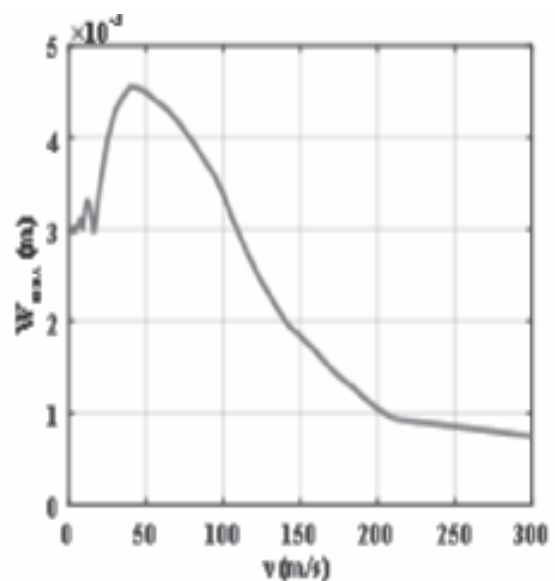
Với $[M]$, $[C]$, $[K]$ và $\{F(t)\}$ lần lượt là ma trận khối lượng, cản, độ cứng và véc tơ tải trọng tổng thể của cả hệ trong từng bước thời gian. Do đó, trong từng bước thời gian phải tính toán lại và cập nhật ma trận độ cứng tổng thể $[K]$ vào phương trình chuyển động tổng thể của hệ. Sau khi được thiết lập, phương trình chuyển động được giải bằng phương pháp tích phân số NEWMARK trên toàn miền thời gian dựa trên chương trình máy tính được viết bằng ngôn ngữ MATLAB [1, 4, 8].

4. KHẢO SÁT SỐ VÀ BÌNH LUẬN

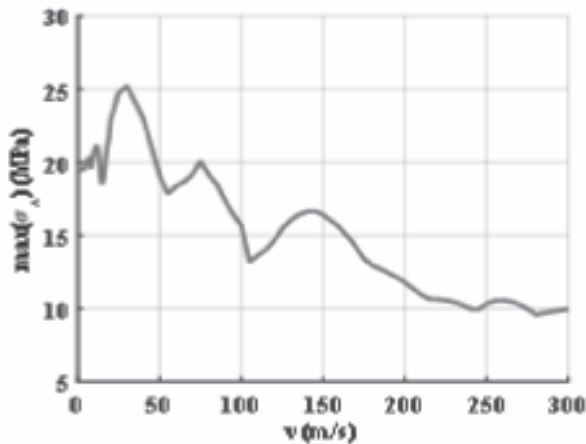
Xét tấm composite lớp hình vuông có a

$= b = 1$ m, chiều dày $h = a/100$, đặt trên nền đàn hồi hai hệ số ($k_1 = 5 \cdot 10^3$ N/m³, $k_2 = 10^3$ N/m²), hệ số cản nhớt $c = 1 \cdot 10^3$ (N.s/m³). Tấm liên kết tựa đơn trên tất cả các cạnh, tấm gồm 05 lớp (góc xếp lớp cốt $[0, \theta, \theta/2, \theta, 0]$) chịu hệ dao động di động có $m = 100$ kg, $k = 10^2$ N/m, hệ số cản $c_w = 10^2$ Ns/m³, di chuyển với vận tốc 20 m/s theo đường giữa tấm song song với trục x với quỹ đạo $y = b/2$. Các đặc trưng cơ tính vật liệu của các lớp cho như sau: lớp 1 và lớp 5: $E_1 = 144,8$ GPa, $E_2 = E_1/10$, $G_{12} = 0,5E_2$, $G_{23} = 0,2E_2$, khối lượng riêng $\rho = 2000$ kg/m³. Ba lớp giữa có $E_1 = 75,8$ GPa, $E_2 = 0,1E_1$, $G_{12} = 0,5E_2$, $G_{23} = 0,2E_2$, khối lượng riêng $\rho = 2500$ kg/m³. Cả 05 lớp có chiều dày bằng nhau và $h/5$, xét trường hợp góc cốt $\theta = 90^\circ$.

Để khảo sát ảnh hưởng của vận tốc hệ dao động di động đến đáp ứng động lực học của kết cấu, tác giả thay đổi vận tốc di chuyển của hệ này trong khoảng 0,1-300 m/s. Kết quả đáp ứng chuyển vị đứng lớn nhất của điểm giữa tấm, vận tốc lớn nhất điểm giữa tấm; ứng suất pháp tuyến lớn nhất tại vị trí mặt trên $z = h/2$ gian thể hiện như trên hình 2-3.



Hình 2. Chuyển vị thẳng đứng max tại giữa tấm



Hình 3. Ứng suất pháp max σ_x lớn nhất

Nhận xét: Từ các đồ thị, ta thấy rằng chuyển vị của tấm phụ thuộc đáng kể vào tốc độ của tải trọng di động. Ban đầu, khi tải trọng có tốc độ bằng 0, chuyển vị là do tải tĩnh gây ra; khi tải trọng chuyển động có tốc độ, thì sẽ thêm tác dụng do lực quán tính gây ra làm cho chuyển vị và ứng suất tại điểm chính giữa tấm thay đổi cùng với tốc độ di chuyển. Ta thấy rằng, khi vận tốc là 40,56 m/s sẽ cho chuyển vị lớn nhất và trong phạm vi khảo sát.

5. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày phương pháp phân tử hữu hạn tính toán đáp ứng động lực học của tấm composite lớp tựa trên nền đàn nhớt chịu tác dụng của hệ dao động di động, trong đó xét mô hình nền đàn hồi hai hệ số và hệ số cản nhớt c. Qua các ví dụ khảo sát cụ thể thấy rằng vận tốc di chuyển của hệ dao động di động ảnh hưởng phức tạp đến đáp ứng của hệ ảnh hưởng nhiều đến đáp ứng chuyển vị và ứng suất của tấm. Các kết quả khảo sát là tài liệu tham khảo hữu ích khi thiết kế, sử dụng các tấm composite lớp trong thực tế. ❖

Ngày nhận bài: 18/7/2022

Ngày phản biện: 26/7/2022

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Chu Quốc Thắng; *Phương pháp phần tử hữu hạn*. NXB. Khoa học Kỹ thuật, (1997).
- [2]. Tinh Quoc Bui; *Buckling analysis of simply supported composite laminates subjected to an in-plane compression load by a novel mesh-free method*. Vietnam Journal of Mechanics, VAST, 33, (2), (2011), pp. 65 – 78.
- [3]. Ankit Gupta, Mohammad Talha, Virendra Kumar Chaudhari Phạm; *Natural frequency of functionally graded plates resting on elastic foundation using finite element method*. 3rd International Conference on Innovations in Automation and Mechatronics Engineering, ICIAME 2016, Procedia Technology, 23 (2016) pp. 163 – 170.
- [4]. Phạm Tiến Đạt, Đoàn Trắc Luật, Lê Xuân Thùy, Nguyễn Thị Giang; *Tính toán tấm composite lớp trên nền đàn hồi chịu tác dụng của khối lượng di động*. Tuyển tập công trình Hội nghị Khoa học Toàn quốc “Vật liệu và kết cấu composite Cơ học, công nghệ và ứng dụng”, Nha Trang, (7-2016), tr.181-188.
- [5]. P. Malekzadeh, S.M. Monajjemzadeh; *Dynamic response of functionally graded plates in thermal environment under moving load*. Composite Part B, 45, (2013), pp. 1521-1533.
- [6]. M. R. Taheri, E.C. Ting; *Dynamic response of plate to moving loads: structural impedance method*. Computers & Structures, 33, (6), (1989), pp. 1379-1393.
- [7]. E. N. Wilson, A. Tsirk; *Dynamic behavior of rectangular plates and cylindrical shell*. Civil Engineering Department Rep. S-67-7, New York University (1967).
- [8]. D. M. Yoshida, W. Weaver; *Finite-element analysis of beams and plates with moving loads*. Bridge Structures Engineering, 31, (1), (1971), pp. 179-195.
- [9]. A.R. Vosoughi; *Response of moderately thick laminated composite plates on elastic foundation subjected to moving load*. Composite Structures, 97, (2013) ,pp 286–295.