

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

Nguyễn Thị Hồng

**PHÂN TÍCH ĐỘNG LỰC HỌC TÂM CÓ VẾT NÚT CHỊU TẢI
TRỌNG DI ĐỘNG**

Chuyên ngành: Cơ kỹ thuật

Mã số : 9.52.01.01

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Hà Nội – 2020

Công trình được hoàn thành tại:
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

Người hướng dẫn khoa học: **GS.TS Nguyễn Thái Chung**

Phản biện 1: GS. TS Nguyễn Văn Lê

Đại học Thủy Lợi

Phản biện 2: GS. TS Nguyễn Quốc Bảo

Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải

Phản biện 3: GS. TS Trần Minh Tú

Đại học Xây Dựng

Luận án được bảo vệ tại Hội đồng đánh giá luận án cấp Học viện
hợp tại: Học viện Kỹ thuật quân sự

Vào hồi giờ phút ngày tháng năm 2020

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Học viện kỹ thuật Quân sự
- Thư viện Quốc gia

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Kết cấu dạng tấm chịu tác dụng của tải trọng di động thường gặp trong các lĩnh vực giao thông vận tải, xây dựng, công nghiệp, công nghiệp quốc phòng. Đối với các kết cấu tấm không có vết nứt chịu tác dụng của tải trọng di động như: khối lượng di động, hệ dao động di động đến nay đã có khá nhiều công trình của các tác giả trong nước và nước ngoài công bố, trong đó ngoài kết quả nghiên cứu lý thuyết còn có một số kết quả đạt được từ nghiên cứu thực nghiệm. Còn đối với kết cấu tấm có vết nứt chịu tác dụng của tải trọng động, đặc biệt là tải trọng di động đến nay là vấn đề còn ít công trình công bố, chẳng hạn khi xét đầy đủ quá trình và tính chất tác dụng của tải trọng di động lên kết cấu. Vì vậy đề tài “**Phân tích động lực học tấm có vết nứt chịu tải trọng di động**” của luận án là vấn đề cấp thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

2. Đối tượng, phạm vi và mục tiêu nghiên cứu của luận án

- **Đối tượng nghiên cứu:**

+ **Về kết cấu:** Tấm có vết nứt thủng, không lan truyền, chịu uốn với các liên kết cứng tuyệt đối.

+ **Về tải trọng:** Khối lượng di động và hệ dao động một bậc tự do di chuyển với vận tốc không đổi hoặc thay đổi, quỹ đạo di chuyển bất kỳ.

- **Phạm vi nghiên cứu:** Xác định phản ứng động lực học của tấm có vết nứt, chịu tải trọng di động trên cơ sở giải nhiều lớp bài toán với các thông số tải trọng, hình học, vết nứt, vật liệu, liên kết.

- **Mục tiêu nghiên cứu:**

+ Xây dựng thuật toán PTHH và chương trình máy tính phân tích động lực học tấm có vết nứt, chịu tác dụng của hai mô hình tải trọng di động: khối lượng di động (mô phỏng xe bánh xích) và hệ dao động một bậc tự do di động (mô phỏng xe bánh lốp).

+ Khảo sát ảnh hưởng của một số thông số đến phản ứng động của tấm nhằm đưa ra các khuyến cáo kỹ thuật định hướng ứng dụng trong thực tiễn.

+ Nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình tấm có và không có vết nứt chịu tác dụng của khối lượng di động để góp phần kiểm tra độ tin cậy của chương trình tính được thiết lập theo nội dung nghiên cứu của luận án.

3. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu bằng lý thuyết kết hợp với thực nghiệm trên mô hình. Về lý thuyết, áp dụng phương pháp PTHH để thiết lập thuật toán, chương trình tính; về thực nghiệm, tiến hành thí nghiệm trực tiếp trên mô hình trong phòng thí nghiệm với các thiết bị thí nghiệm hiện đại.

4. Cấu trúc của luận án

Luận án gồm phần mở đầu, bốn chương, phần kết luận chung, tài liệu tham khảo, với 146 trang thuyết minh, trong đó có 14 bảng, 67 đồ thị, hình vẽ, 79 tài liệu tham khảo.

Mở đầu: Trình bày tính cấp thiết của luận án và cấu trúc của luận án

Chương 1: Tổng quan vấn đề nghiên cứu.

Chương 2: Thuật toán phần tử hữu hạn phân tích động lực học của tấm có vết nứt chịu tác dụng của tải trọng di động

Chương 3: Ảnh hưởng của một số yếu tố đến đáp ứng động lực học của tấm có vết nứt chịu tác dụng của tải trọng di động

Chương 4: Xác định phản ứng động của tấm có vết nứt chịu tác dụng của khối lượng di động bằng thực nghiệm

Kết luận và kiến nghị:

Tài liệu tham khảo

Phụ lục

NỘI DUNG CHÍNH CỦA LUẬN ÁN

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

Trình bày các kết quả nghiên cứu trong nước và nước ngoài về tải trọng di động, tính toán kết cấu dầm, tấm chịu tải trọng di động. Từ các công trình đã công bố, trên cơ sở các vấn đề cần được tiếp tục nghiên cứu và phát triển, tác giả luận án tập trung vào vấn đề: “***Phân tích động lực học tấm có vết nứt chịu tải trọng di động***”. Theo đó, luận án sẽ tập trung giải quyết các nội dung chủ yếu sau:

1, Nghiên cứu tổng quan về tải trọng di động và tính toán kết cấu dầm, tấm chịu tải trọng di động làm cơ sở cho việc lựa chọn nội dung, phương pháp giải quyết vấn đề của luận án.

2, Xây dựng thuật toán PTHH và chương trình máy tính phân tích động lực học kết cấu tấm có vết nứt trên các liên kết cứng tuyệt đối chịu tác dụng

của hai mô hình tải trọng di động: khối lượng di động và hệ dao động một bậc tự do di động.

3, Khảo sát, xem xét ảnh hưởng của một số yếu tố đến đáp ứng động lực học của tấm nhằm đưa ra các nhận xét, khuyến cáo kỹ thuật, trong đó tập trung xem xét ảnh hưởng của: vật liệu kết cấu, vết nứt, tính chất của tải trọng, thông số hình học của kết cấu.

4, Nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình tấm có vết nứt chịu tác dụng của khối lượng di động, xem xét trực quan phản ứng động của tấm và góp phần kiểm tra độ tin cậy của chương trình tính được thiết lập theo nội dung nghiên cứu lý thuyết của luận án.

CHƯƠNG 2. THUẬT TOÁN PHẦN TỬ HỮU HẠN PHÂN TÍCH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA TẤM CÓ VẾT NỨT CHỊU TẢI TRỌNG DI ĐỘNG

2.1. Đặt vấn đề

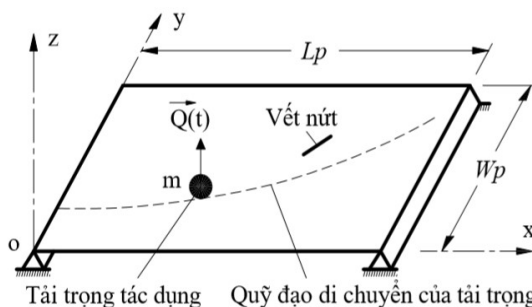
Trong chương này, tác giả trình bày quan hệ ứng xử cơ học, thiết lập thuật toán PTHH và chương trình tính để giải bài toán cho 2 lớp bài toán:

Lớp bài toán thứ nhất: Động lực học của tấm có vết nứt chịu tác dụng của khối lượng xem như chất điểm di động;

Lớp bài toán thứ hai: Động lực học của tấm có vết nứt chịu tác dụng của hệ dao động di động.

2.3. Giới thiệu bài toán tấm có vết nứt chịu tải trọng di động và các giả thiết

Xét tấm chữ nhật có vết nứt, liên kết bất kỳ, chịu tác dụng của tải trọng di động (khối lượng hoặc hệ dao động di động) theo một quỹ đạo cho trước (thẳng hoặc cong) với vận tốc \vec{v} . Mô hình bài toán như trên hình 2.1, với các giả thiết:



Hình 2.1. Tấm có vết nứt chịu khối lượng di động

- Vật liệu tấm đẳng hướng, quan hệ ứng suất - biến dạng là tuyến tính;
- Biến dạng và chuyển vị của tấm là bé;
- Vết nứt thủng, hở và không lan truyền trong quá trình tấm chịu lực;

- Trong quá trình hệ làm việc, tải trọng không tách khỏi bề mặt tấm. Kích thước vết nứt coi là bé nên không ảnh hưởng đến sự di chuyển của tải trọng.

2.4. Thiết lập các quan hệ ứng xử của phần tử tấm có vết nứt chịu tải trọng động

2.4.1. Phần tử tấm có vết nứt chịu tải trọng động

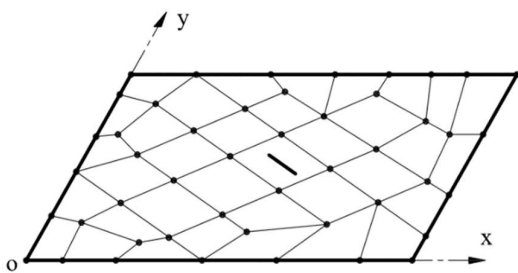
Phương trình mô tả dao động không cản của phần tử tấm không có vết nứt chịu tải trọng động:

$$[M]_e \{\ddot{q}\}_e + [K]_e \{q\}_e = \{f\}_e, \quad (2.36)$$

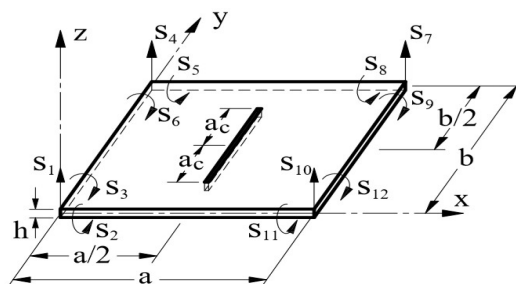
Trường hợp tấm có vết nứt, chỉ xem xét sự khác biệt ma trận độ cứng của phần tử, còn ma trận khối lượng coi như không đổi.

Theo đó, xét phần tử tấm chữ nhật 4 điểm nút có các cạnh song song với các trục tọa độ cục bộ trong mặt phẳng tấm, vết nứt nằm giữa phần tử và song song với 2 cạnh đối diện của phần tử. Điều này hoàn toàn thực hiện được khi sử dụng phần tử chữ nhật 4 điểm nút kết hợp với phần tử tứ giác 4 điểm nút đẳng tham số như trên cho dù phương của vết nứt là bất kỳ, trong đó chỉ cần lưu ý kỹ thuật chia lưới : lưới được phát sinh từ phần tử chứa vết nứt. Hình 2.3 mô tả ví dụ lưới PTHH cho tấm có vết nứt với phương bất kỳ.

Xét phần tử tấm chữ nhật ($a \times b$) 4 điểm nút, có vết nứt dài $2a_c$ song song với cạnh phần tử và nằm chính giữa phần tử. Mỗi nút của phần tử có 3 lực nút phụ thuộc thể hiện như trên hình 2.4.



Hình 2.3. Cách chia phần tử đối với tấm có vết nứt với phương bất kỳ



Hình 2.4. Phần tử tấm có vết nứt và hệ lực nút phụ thuộc

Ma trận độ cứng $[K]_e^c$ của phần tử có vết nứt được xác định [47], [72]:

$$[K]_e^c = [B]^T \left([C^0] + [C^1] \right) [B], \quad (2.37)$$

$[B]$ là ma trận biến đổi hệ lực nút phụ thuộc $S_1 \div S_{12}$ sang hệ lực nút độc lập gồm 9 thành phần $F_1 \div F_9$, $[C^0]$ là ma trận biểu thị độ mềm của phần tử

tấm không có vết nứt, $[C^1]$ là ma trận biểu thị độ mềm bổ sung của phần tử tấm do vết nứt gây ra.

Với $n = 1$, giả thiết rằng thế năng biến dạng đàn hồi chỉ do ứng suất phẳng gây nên, ta có [47], [72]:

$$U^1 = \frac{1}{E} \int_A (K_I^2 + K_{II}^2) dA, \quad (2.47)$$

$A = 2a_c \times z$ ($0 < z \leq h$) là diện tích vết nứt, trường hợp vết nứt thủng như bài toán luận án ta có $A = 2a_c \times h$; K_I và K_{II} là hệ số cường độ ứng suất ứng với hai trường hợp của vết nứt song song với các trục ox , oy .

Phương trình dao động không cản của phần tử tấm có vết nứt:

$$[M]_e \{\ddot{q}\}_e + [K]_e^c \{q\}_e = \{f\}_e, \quad (2.61)$$

2.4.2. Phần tử tấm có vết nứt chịu tải trọng di động

Phương trình mô tả dao động của phần tử tấm có vết nứt chịu tải trọng di động dựa trên cơ sở phương trình (2.61), trong đó véc tơ tải trọng $\{f\}_e$ là véc tơ tải trọng nút của phần tử tấm có vết nứt do tải trọng di động.

2.4.2.1. Phần tử tấm có vết nứt chịu tác dụng của khối lượng di động:

Sử dụng các tài liệu [4], [10], [21], [30], [38], ta nhận được phương trình mô tả dao động của phần tử tấm có vết nứt, chịu tác dụng của khối lượng di động như sau:

$$[M]_e \{\ddot{q}\}_e + [K]_e^c \{q\}_e = \{P\}_e - [M]_e^p \{\ddot{q}\}_e - [C]_e^p \{\dot{q}\}_e - [K]_e^p \{q\}_e, \quad (2.89)$$

Hay:

$$\left([M]_e + [M]_e^p \right) \{\ddot{q}\}_e + [C]_e^p \{\dot{q}\}_e + \left([K]_e^c + [K]_e^p \right) \{q\}_e = \{P\}_e, \quad (2.90)$$

trong đó: $[M]_e^p$, $[C]_e^p$, $[K]_e^p$, $\{P\}_e$ tương ứng là ma trận khối lượng, ma trận cản, ma trận độ cứng và véc tơ tải trọng phần tử bổ sung do tải trọng di động gây nên.

2.4.2.2. Phần tử tấm có vết nứt chịu tác dụng của hệ dao động di động:

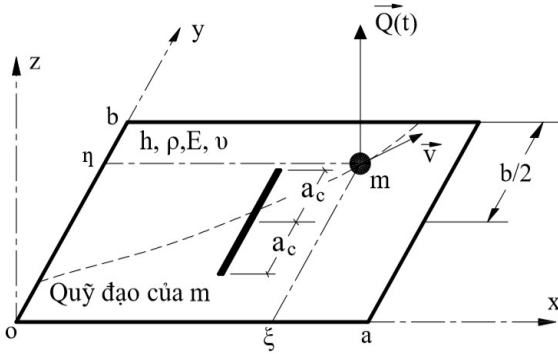
Hệ phương trình dao động của hệ phần tử tấm - hệ dao động như sau:

$$\begin{aligned} \left([M]_e + [M]_e^{pm_1} \right) \{\ddot{q}\}_e + [M]_e^{pm_2} \ddot{u} + [C]_e^p \{\dot{q}\}_e + \left([K]_e^c + [K]_e^p \right) \{q\}_e &= \{P\}_e, \\ m_2 \ddot{u} + c \dot{u} + k u - c [N] \{\dot{q}\}_e - k [N] \{q\}_e &= Q(t). \end{aligned} \quad (2.101)$$

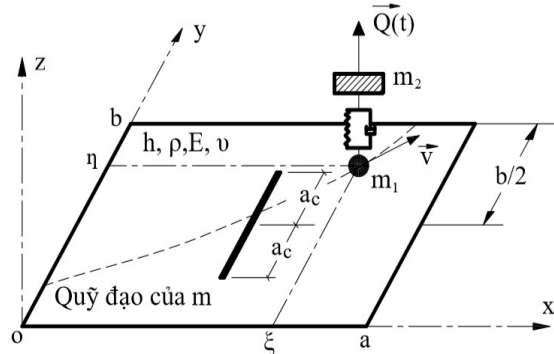
Viết dưới dạng ma trận:

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} [M]_e + [M]_e^{pm_1} & [M]_e^{pm_2} \\ [0] & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\ddot{q}\}_e \\ \ddot{u} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [C]_e^p & [0] \\ -c[N] & c \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\dot{q}\}_e \\ \dot{u} \end{Bmatrix} + \\ & + \begin{bmatrix} [K]_e^c + [K]_e^p & [0] \\ -k[N] & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{q\}_e \\ u \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{P\}_e \\ Q(t) \end{Bmatrix}. \end{aligned} \quad (2.102)$$

Đối với phần tử tấm không có vết nứt, phương trình dao động của phần tử cũng được thể hiện như (2.90), (2.102), song ma trận độ cứng $[K]_e^c$ được thay bằng ma trận độ cứng $[K]_e$.



Hình 2.6. Phần tử tấm chịu tác dụng của khối lượng di động



Hình 2.7. Phần tử tấm chịu tác dụng của hệ dao động di động

2.5. Phương trình mô tả dao động của tấm có vết nứt chịu tải trọng di động và thuật giải

2.5.1. Phương trình mô tả dao động của tấm có vết nứt chịu tải trọng di động

2.5.1.1. Ghép nối các ma trận phần tử vào ma trận chung của toàn hệ:

Sau khi chuyển từ hệ tọa độ cục bộ xyz sang hệ tọa độ tổng thể XYZ, việc lắp ghép các ma trận, véc tơ tải trọng phần tử để tạo thành ma trận, véc tơ tải trọng tổng thể của hệ được tác giả thực hiện bằng phương pháp độ cứng trực tiếp [1], [10], [21], trong đó mảng lưu trữ địa chỉ nút và sơ đồ Skyline được sử dụng.

2.5.1.2. Phương trình mô tả dao động của hệ:

a) Tấm có vết nứt chịu tác dụng của khối lượng di động:

Xuất phát từ phương trình (2.90) và (2.91), ta có phương trình dao động của tấm trong hệ tọa độ tổng thể như sau:

$$([M'] + [M']^p) \{\ddot{q}'\} + [C']^p \{\dot{q}'\} + ([K'] + [K']^c + [K']^p) \{q'\} = \{P'\}, \quad (2.107)$$

trong đó:

$$\begin{aligned}
[M'] &= \sum_{N_e} [M']_e, [M']^p = \sum_{N_m} [M']_e^p, \\
[C']^p &= \sum_{N_m} [C']_e^p, [K']^p = \sum_{N_m} [K']_e^p, \\
[K'] &= \sum_{N_e} [K']_e, [K']^p = \sum_{N_m} [K']_e^p, \\
[K']^c &= \sum_{N_c} [K']_e^c, \{P'\} = \sum_{N_e} \{P\}_e,
\end{aligned} \tag{2.108}$$

N_e là số phần tử tấm không nứt, N_c là số phần tử tấm bị nứt, N_m là số phần tử tấm tiếp xúc trực tiếp với khối lượng m .

b) Tấm có vết nứt chịu tác dụng của hệ dao động di động:

Xuất phát từ phương trình (2.102), phương trình tổng thể mô tả dao động của hệ tấm có vết nứt - hệ dao động di động:

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} [M'] + [M']^{pm_1} & [M']^{pm_2} \\ [0] & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\ddot{q}'\} \\ \ddot{u} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [C']^p & [0] \\ -c[N] & c \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\dot{q}'\} \\ \dot{u} \end{Bmatrix} + \\
+ \begin{bmatrix} [K'] + [K']^c + [K']^p & [0] \\ -k[N] & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{q'\} \\ u \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{P'\} \\ Q(t) \end{Bmatrix},
\end{aligned} \tag{2.109}$$

$$\text{trong đó: } [M']^{pm_1} = \sum_{N_{m1}} [M']_e^{pm_1}, [M']^{pm_2} = \sum_{N_{m2}} [M']_e^{pm_2}, \tag{2.110}$$

N_{m1} , N_{m2} tương ứng là số phần tử tấm tiếp xúc trực tiếp với khối lượng m_1 và hình chiếu đứng của khối lượng m_2 . Với mô hình hệ di động đã xét, ta có $N_{m1} = N_{m2}$.

2.5.3. Thuật toán giải phương trình tổng thể mô tả dao động của hệ

Sau khi thực hiện khử biên, các phương trình (2.107) và (2.109) được xác định và viết lại dưới dạng tổng quát sau:

• Tấm có vết nứt chịu khối lượng di động:

$$[\bar{M}]_m \{\ddot{\bar{U}}\}_m + [\bar{C}_p]_m \{\dot{\bar{U}}\}_m + [\bar{K}]_m \{\bar{U}\}_m = \{\bar{R}\}_m, \tag{2.116}$$

trong đó:

$$\begin{aligned} [\bar{\mathbf{M}}]_m &= [\bar{\mathbf{M}}] + [\bar{\mathbf{M}}]^p, [\bar{\mathbf{C}}]_m = [\bar{\mathbf{C}}]^p, \\ [\bar{\mathbf{K}}]_m &= [\bar{\mathbf{K}}] + [\bar{\mathbf{K}}]^c + [\bar{\mathbf{K}}]^p, \{\bar{\mathbf{R}}\}_m = \{\bar{\mathbf{P}}'\}_m, \{\bar{\mathbf{U}}\}_m = \{\bar{\mathbf{q}}\}. \end{aligned} \quad (2.117)$$

• Tầm có vết nứt chịu hệ dao động di động:

$$[\bar{\mathbf{M}}]_{os} \{\ddot{\bar{\mathbf{U}}}\}_{os} + [\bar{\mathbf{C}}_p]_{os} \{\dot{\bar{\mathbf{U}}}\}_{os} + [\bar{\mathbf{K}}]_{os} \{\bar{\mathbf{U}}\}_{os} = \{\bar{\mathbf{R}}\}_{os}, \quad (2.118)$$

trong đó:

$$\begin{aligned} [\bar{\mathbf{M}}]_{os} &= \begin{bmatrix} [\bar{\mathbf{M}}'] + [\bar{\mathbf{M}}']^{pm_1} & [\bar{\mathbf{M}}']^{pm_2} \\ [0] & m_2 \end{bmatrix}, [\bar{\mathbf{C}}]_{os} = \begin{bmatrix} [\bar{\mathbf{C}}']^p & [0] \\ -c[\mathbf{N}] & c \end{bmatrix}, \\ [\bar{\mathbf{K}}]_{os} &= \begin{bmatrix} [\bar{\mathbf{K}}'] + [\bar{\mathbf{K}}']^c + [\bar{\mathbf{K}}']^p & [0] \\ -k[\mathbf{N}] & k \end{bmatrix}, \{\bar{\mathbf{R}}\}_{os} = \begin{Bmatrix} \{\bar{\mathbf{P}}'\} \\ \mathbf{Q}(t) \end{Bmatrix}, \{\bar{\mathbf{U}}\}_{os} = \begin{Bmatrix} \{\bar{\mathbf{q}}'\} \\ \mathbf{u} \end{Bmatrix}. \end{aligned} \quad (2.119)$$

Các ma trận có chỉ số “p” trong các phương trình (2.116) và (2.118) là các ma trận sinh ra do khối lượng di động hoặc hệ dao động di động hay còn gọi là các ma trận bổ sung và phụ thuộc vào thời gian t. Vì vậy, cả 2 phương trình (2.116) và (2.118) ở trên đều là các phương trình mô tả dao động dạng vi phân cấp 2 tuyến tính có hệ số phụ thuộc vào thời gian. Chúng sẽ được giải bằng phương pháp tích phân trực tiếp của Newmark, (2.116) và (2.118) được viết gọn dưới dạng sau:

$$[\bar{\mathbf{M}}] \{\ddot{\bar{\mathbf{U}}}\} + [\bar{\mathbf{C}}_p] \{\dot{\bar{\mathbf{U}}}\} + [\bar{\mathbf{K}}] \{\bar{\mathbf{U}}\} = \{\bar{\mathbf{R}}\}, \quad (2.120)$$

trong đó:

$[\bar{\mathbf{M}}] \equiv [\bar{\mathbf{M}}]_m, [\bar{\mathbf{C}}_p] \equiv [\bar{\mathbf{C}}]_m, [\bar{\mathbf{K}}] \equiv [\bar{\mathbf{K}}]_m, \{\bar{\mathbf{R}}\} \equiv \{\bar{\mathbf{R}}\}_m, \{\bar{\mathbf{U}}\} \equiv \{\bar{\mathbf{U}}\}_m$ đối với tầm chịu khối lượng di động;

$[\bar{\mathbf{M}}] \equiv [\bar{\mathbf{M}}]_{os}, [\bar{\mathbf{C}}_p] \equiv [\bar{\mathbf{C}}]_{os}, [\bar{\mathbf{K}}] \equiv [\bar{\mathbf{K}}]_{os}, \{\bar{\mathbf{R}}\} \equiv \{\bar{\mathbf{R}}\}_{os}, \{\bar{\mathbf{U}}\} \equiv \{\bar{\mathbf{U}}\}_{os}$ đối với tầm chịu hệ dao động di động.

Trường hợp xét đến cản của kết cấu tầm, với giả thiết lực cản tỷ lệ thuận với véc tơ vận tốc dịch chuyển $(\{f\}_d = -[\bar{\mathbf{C}}_R] \{\dot{\bar{\mathbf{U}}}\})$, thay vào phương trình (2.120) ta có phương trình mô tả dao động có cản của hệ:

$$[\bar{\mathbf{M}}] \{\ddot{\bar{\mathbf{U}}}\} + ([\bar{\mathbf{C}}_R] + [\bar{\mathbf{C}}_p]) \{\dot{\bar{\mathbf{U}}}\} + [\bar{\mathbf{K}}] \{\bar{\mathbf{U}}\} = \{\bar{\mathbf{R}}\}, \quad (2.121)$$

với $[\bar{C}_R]$ - ma trận cản của tấm.

Đối với hệ nhiều bậc tự do, phương pháp cản Rayleigh thường được sử dụng. Theo đó, ma trận cản tổng thể của kết cấu là tổ hợp tuyến tính của ma trận khối lượng $[\bar{M}]$ và ma trận độ cứng $[\bar{K}]$ thông qua hệ số cản Rayleigh α_R, β_R [30]:

$$[\bar{C}_R] = \alpha_R [\bar{M}] + \beta_R [\bar{K}], \quad (2.122)$$

trong đó các hằng số cản Rayleigh α_R, β_R được xác định thông qua tỷ số cản ξ_R và hai tần số dao động riêng đầu tiên ω_1, ω_2 của hệ:

$$\beta_R = \frac{2\xi_R}{\omega_1 + \omega_2}; \alpha_R = \frac{2\xi_R}{\omega_1 \omega_2} = \beta_R \omega_1 \omega_2. \quad (2.123)$$

Phương trình (2.121) được viết gọn dưới dạng:

$$[\bar{M}]\{\ddot{U}\} + [\bar{C}]\{\dot{U}\} + [\bar{K}]\{U\} = \{\bar{R}\}, \quad (2.124)$$

với: $[\bar{C}] = ([\bar{C}_R] + [\bar{C}_p])$.

Phương trình vi phân (2.124) có hệ số phụ thuộc thời gian, được thực hiện bằng phương pháp tích phân trực tiếp Newmark, các bước tích phân được thực hiện trên các khoảng thời gian Δt [21], [30], [38].

2.6. Chương trình tính và kiểm tra độ tin cậy của chương trình tính

2.6.1. Giới thiệu chương trình tính

Trên cơ sở thuật toán đã trình bày, tác giả lập trình tính trong môi trường Matlab. Chương trình do tác giả xây dựng trên cơ sở phương pháp PTHH, có tên CRACKED_PLATE_MOVING (CPM_2019) có khả năng phân tích động đối với tấm chịu tác dụng của tải trọng di động.

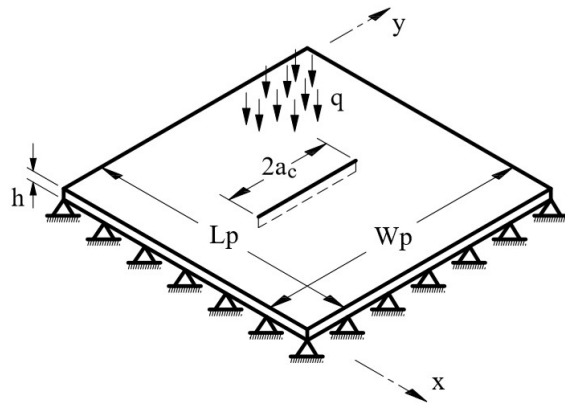
Chương trình CPM_2019 phù hợp với việc phân tích động lực học của tấm có hoặc không có vết nứt chịu tải trọng di động với cả hai mô hình : khối lượng di động và hệ dao động di động.

2.6.2. Kiểm tra độ tin cậy của chương trình tính

Để kiểm tra mức độ tin cậy của chương trình CPM_2019 đã lập, tác giả tính toán so sánh với kết quả trong 2 công trình đã công bố với trường hợp: Tấm có vết nứt chịu tải trọng tĩnh phân bố đều và tấm không có vết nứt chịu tác dụng của hệ dao động 1 bậc tự do di động.

2.6.2.1. Tấm với vết nứt chính giữa chịu lực phân bố đều:

Sử dụng chương trình tính CPM_2019, tính toán bài toán như trong công trình công bố của Amraei A., Fallah N. [15(2017)]. Tấm hình vuông cạnh $L_p = W_p = 20\text{cm}$, chiều dày $h = 1\text{cm}$ có vết nứt dài $2a_c = 8\text{cm}$ ở chính giữa và song song với cạnh của tấm, $E = 1 \times 10^5 \text{N/cm}^2$, hệ số Poisson $\nu = 0,3$.



Hình 2.9. Mô hình của bài toán [15]

Tấm được liên kết tựa khớp theo chu vi và chịu tác dụng của lực phân bố đều với cường độ $q = 1 \times 10^2 \text{N/cm}^2$ (Hình 2.9). Đây là công trình được các tác giả nghiên cứu bằng phương pháp thể tích phần tử trung tâm. Sử dụng lưới với 10 phần tử kích thước $5\text{cm} \times 4\text{cm}$ bố trí thành 2 dãy song song với ox , đối xứng về hai phía của vết nứt, 5 phần tử kích thước $10\text{cm} \times 4\text{cm}$ ở chính giữa tấm.

Bảng 2.1. Kết quả so sánh chuyển vị tại điểm giữa tấm

Đại lượng	Phương pháp		Sai số (%)
	<i>Amraei A., Fallah N. [15]</i>	<i>CPM_2019</i>	
$w_{\max}[\text{mm}]$	0,01182	0,01194	1,02

2.6.2.2. Tấm chịu tác dụng của hệ dao động di động:

Tính toán với mô hình bài toán và các thông số như trong công trình của các tác giả Asghari M. và các cộng sự [17(2009)]. Mô hình bài toán như hình 2.10. Trong đó tấm hình chữ nhật có chiều dài $a = 60\text{m}$, chiều rộng $b = 30\text{m}$, chiều dày $h = 15 \cdot 10^{-2}\text{m}$, độ cứng chống uốn của tấm

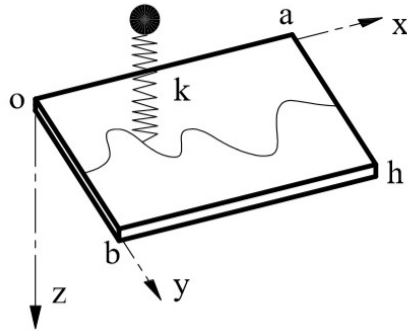
$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} = 7,1 \cdot 10^9 \text{Nm}, \text{ vật liệu có khối lượng riêng } \rho = 7750 \text{kg/m}^3. \text{ Tấm}$$

liên kết bản lề 4 cạnh, chịu tác dụng của hệ dao động di động, gồm: lò xo có độ cứng kéo, nén $k = 10^9 \text{N/m}$ mang khối lượng $m = 10^5 \text{kg}$, chuyển động theo đường thẳng $y = c = b/2 = 15\text{m}$, với vận tốc không đổi $v = 20\text{m/s}$. Điều kiện

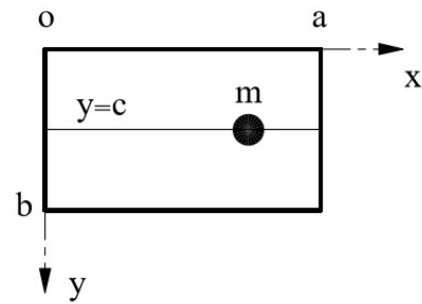
$$\text{đầu của bài toán: } z(0) = \frac{mg}{k}, \dot{w}(x,y,0) = \frac{\partial w}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0. \text{ Đây là công trình được các}$$

tác giả nghiên cứu bằng phương pháp giải tích.

Dao động di động



a, Mô hình không gian tổng quát



b, Mô hình phẳng

Hình 2.10. Mô hình của bài toán [17]

Bảng 2.2. Kết quả so sánh kiểm tra độ tin cậy chương trình tính

Đại lượng	Phương pháp		Sai số (%)
	<i>Asghari M., Ghahremani A.R., Ghafoori E. [17]</i>	<i>CPM_2019</i>	
W_{\max}	17,68	18,12	1,86

Nhận xét: Với hai bài toán kiểm chứng đã thực hiện ở trên cho thấy sai số cả hai trường hợp đều nhỏ hơn 1,9%, điều này có thể khẳng định chương trình tính CPM_2019 do tác giả lập đảm bảo độ tin cậy.

2.7. Kết luận chương 2

Chương 2 đã tập trung giải quyết được các vấn đề chủ yếu sau:

- Trên cơ sở phân tích, xây dựng các ma trận phần tử của tấm có vết nứt và không có vết nứt, đặc biệt là phần tử tấm có vết nứt và các thành phần bổ sung vào ma trận khối lượng, ma trận cản, ma trận độ cứng của phần tử do tải trọng di động gây nên, đã thiết lập phương trình vi phân dao động của phần tử tấm có vết nứt chịu tác dụng của khối lượng di động và hệ dao động di động 1 bậc tự do, trong đó vận tốc tải trọng di động thay đổi, quỹ đạo di chuyển của tải trọng là bất kỳ. Từ đó, đã thiết lập được phương trình mô tả dao động của tấm có vết nứt chịu tác dụng của 2 loại tải trọng di động nêu trên.

- Xây dựng thuật toán PTHH và chương trình tính CPM_2019 trong môi trường Matlab phân tích động lực học của tấm có vết nứt chịu tác dụng của tải trọng di động với hai mô hình tải trọng: khối lượng di động và hệ dao động di động. Chương trình tính CPM_2019 đã được kiểm chứng cho thấy có cơ sở tin cậy.

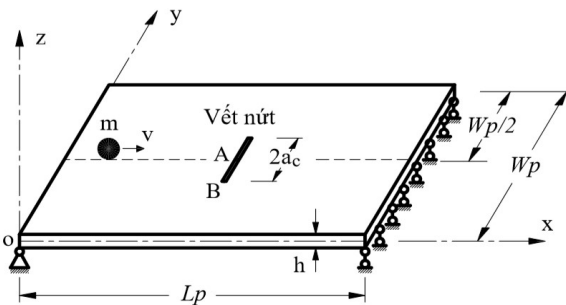
CHƯƠNG 3. ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ YẾU TỐ ĐẾN ĐÁP ỨNG ĐỘNG LỰC HỌC CỦA TẤM CÓ VẾT NỨT CHỊU TÁC DỤNG CỦA TẢI TRỌNG DI ĐỘNG

3.1. Đặt vấn đề

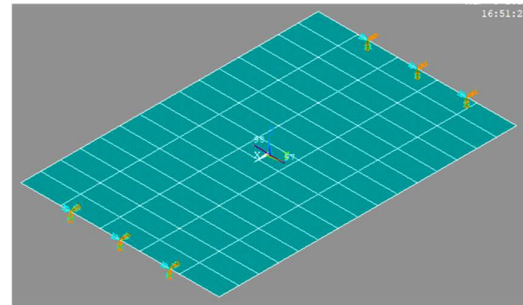
Trong chương này, tác giả tính toán số với các thông số của bài toán thay đổi: tải trọng, vết nứt, kích thước hình học, vật liệu, điều kiện liên kết đến đáp ứng động lực học của tấm dưới tác dụng của khối lượng di động và hệ dao động di động với mô hình như đã trình bày trong chương 2.

3.2. Tấm có vết nứt chịu tác dụng của khối lượng di động

3.2.1. Bài toán xuất phát



Hình 3.1. Mô hình bài toán



Hình 3.2. Mô hình PTHH của bài toán

Thông số kết cấu: Tấm chữ nhật, chiều dài $L_p = 3\text{m}$, chiều rộng $W_p = 2,0\text{m}$, chiều dày $h = 0,025\text{m}$, một (01) vết nứt giữa tấm với chiều dài $2a_c = 0,3\text{m}$ có phương song song với cạnh ngắn của tấm. Tấm có các đặc trưng vật liệu: Mô đun đàn hồi $E = 2,1 \cdot 10^{11}\text{N/m}^2$, hệ số Poisson $\nu = 0,28$, khối lượng riêng $\rho = 7800\text{kg/m}^3$, (Hình 3.1).

Thông số tải trọng: Một khối lượng $m = 5 \cdot 10^2\text{kg}$ chuyển động trên tấm theo quỹ đạo đường thẳng $y = W_p/2$, với vận tốc $v = 10\text{m/s}$

Tấm liên kết gối tựa 2 cạnh ngắn, 2 cạnh dài tự do.

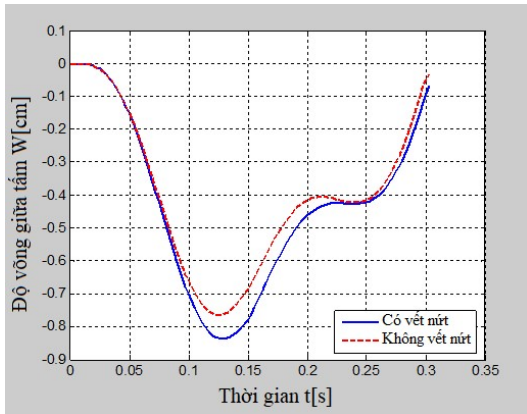
Điều kiện đầu của bài toán: $\{\bar{U}\}_0 = 0; \{\dot{\bar{U}}\}_0 = 0, v(0) = v = 10\text{m/s}$.

Tấm được rời rạc hoá bởi 75 phần tử, tương ứng với 96 nút và 2 nút mô tả vết nứt, mô hình PTHH của bài toán thể hiện như trên hình 3.2.

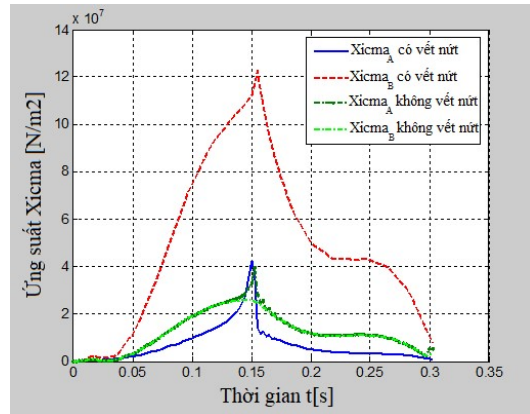
Bài toán dao động riêng: Giải bài toán dao động riêng, tác giả nhận được các tần số riêng và dạng dao động riêng, trong đó bốn tần số riêng đầu tiên [Hz] là: $f_1 = 6,63; f_2 = 15,19; f_3 = 26,86; f_4 = 38,68$.

Bài toán dao động cưỡng bức: Kết quả đáp ứng độ võng, ứng suất tại các điểm tính thể hiện như trên hình 3.4, 3.6.

Nhận xét: Ứng suất tại đầu vết nứt là lớn, trong đó sự thay đổi đột biến của ứng suất đầu vết nứt là vấn đề cần thiết phải quan tâm (tăng 4,7 lần so với không có vết nứt). Đối với độ võng, có sự sai khác tương đối lớn giữa tấm có vết nứt và không có vết nứt (9,6%), do đó các phần tiếp theo của chương này tác giả tập trung xem xét hai yếu tố trên là chủ yếu.



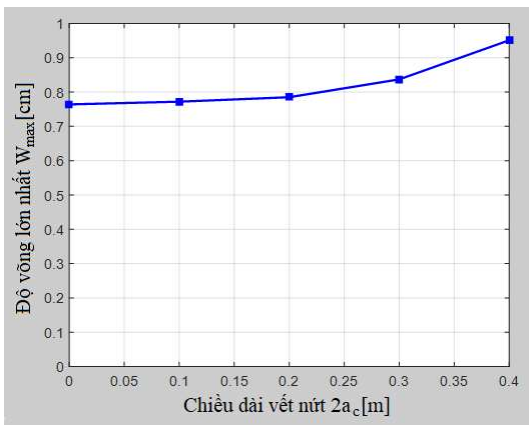
Hình 3.4. Đáp ứng W tại A



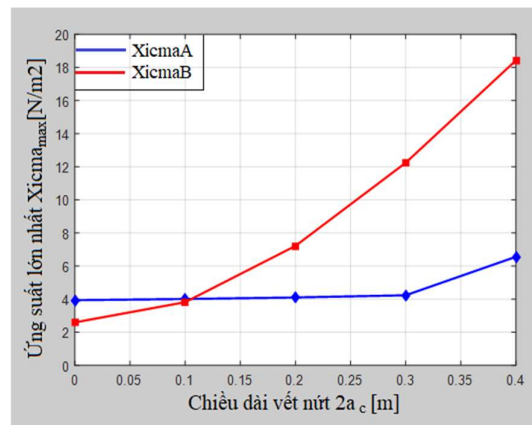
Hình 3.6. σ_y tại điểm A và σ_x tại B

3.2.2. Ảnh hưởng của một số yếu tố đến sự làm việc của hệ

3.2.2.1. Ảnh hưởng của chiều dài vết nứt:



Hình 3.7. Quan hệ W_{max} tại điểm A và chiều dài $2a_c$ của vết nứt.

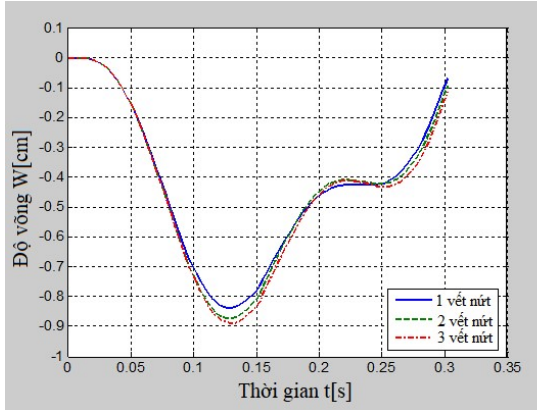


Hình 3.9. σ_y^{max} , σ_x^{max} tương ứng tại A, B và chiều dài $2a_c$ của vết nứt.

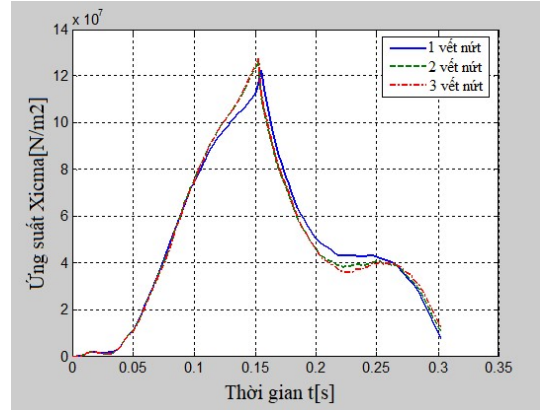
Nhận xét: Ứng suất pháp tại đầu vết nứt đặc biệt nhạy cảm với chiều dài của vết nứt, tốc độ tăng của nó càng lớn khi chiều dài vết nứt càng lớn. Bên cạnh đó, ứng suất tại điểm giữa cạnh vết nứt có tăng khi chiều dài vết nứt tăng, nhưng tốc độ tăng không lớn: tăng 7,6% khi $2a_c$ tăng từ 0 đến 0,3m và 54,9% chỉ khi kích thước này tăng từ 0,3m đến 0,4m.

3.2.2.2. Ảnh hưởng của số lượng vết nứt:

Nhận xét: Số lượng vết nứt có ảnh hưởng đáng kể tới độ võng, gia tốc và ứng suất của tấm, nhìn chung theo xu hướng tăng, trong đó gia tốc và ứng suất tại điểm A tăng mạnh khi số lượng vết nứt tăng (gần 3,4 lần đối với gia tốc và 38,7% đối với ứng suất khi số lượng vết nứt tăng từ 1 đến 3). Với kết quả trên cho thấy tấm sẽ giảm yếu nhanh khi vết nứt tăng và bố trí không đối xứng.

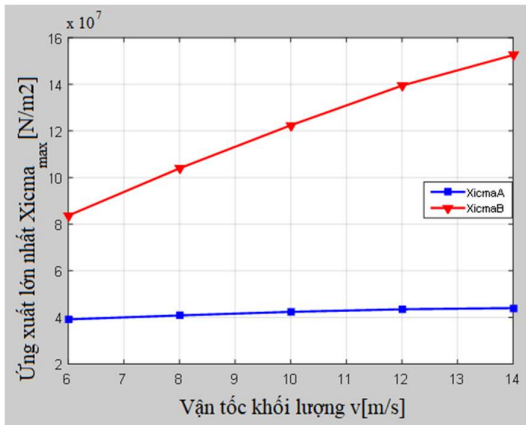


Hình 3.10. Đáp ứng độ võng W tại điểm A theo thời gian

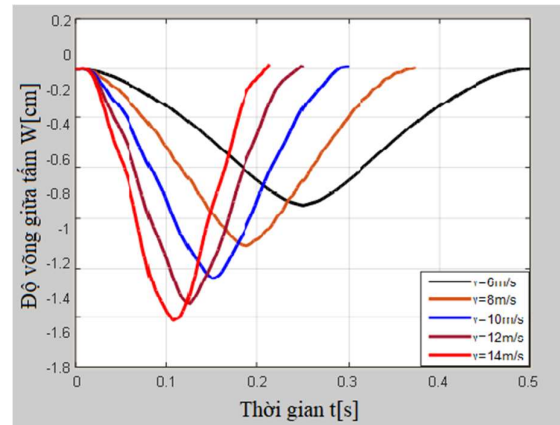


Hình 3.12. Đáp ứng ứng suất σ_y tại A theo thời gian

3.2.2.3. Ảnh hưởng của vận tốc tải trọng:



Hình 3.15. σ_{\max}^A , σ_{\max}^B tại A, B và vận tốc v của khối lượng

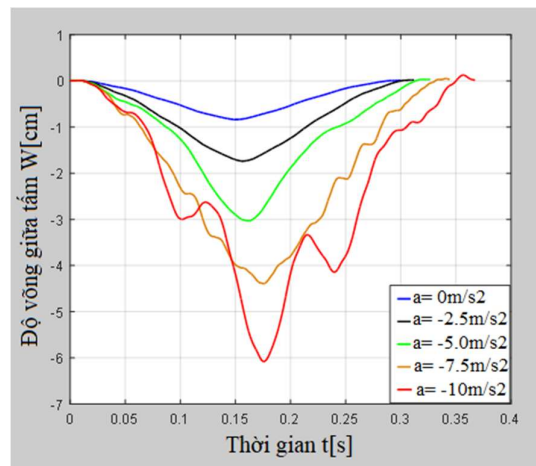


Hình 3.16. Biến thiên độ võng W Tại điểm A theo thời gian

Nhận xét: Ứng suất tại đầu vết nứt rất nhạy cảm với vận tốc di chuyển của tải trọng. Ngoài ra, từ đồ thị đáp ứng độ võng tại điểm giữa của tấm cho ta thấy độ võng tấm tăng đến một điều kiện nào đó của vận tốc khối lượng sẽ có xu hướng gây mất ổn định đối với tấm do chuyển vị tăng đột biến hoặc tấm bị phá hủy do ứng suất vượt quá ứng suất cho phép của vật liệu.

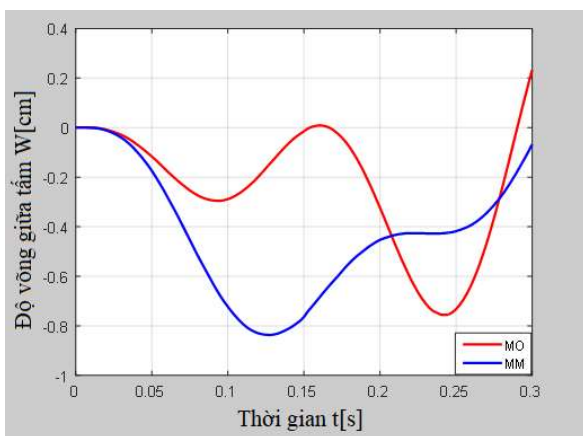
3.2.2.4. Ảnh hưởng của gia tốc khối lượng di chuyển:

Nhận xét: Giá trị gia tốc càng lớn (tương ứng chuyển động chậm dần đều), đường đáp ứng độ võng - thời gian của tấm càng “gồ ghề”, phức tạp và độ “giật” của đường cong càng nhiều. Điều này cho thấy cần hạn chế thấp nhất tăng, giảm đột ngột vận tốc của phương tiện khi di chuyển trên kết cấu.

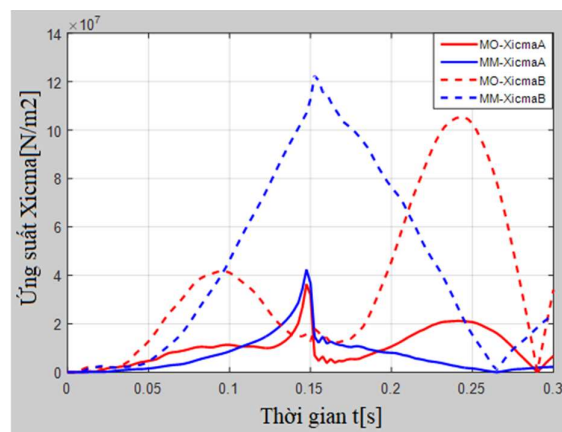


Hình 3.17. Biến thiên độ võng W tại A theo thời gian với các gia tốc khác nhau

3.3. Tấm có vết nứt chịu tác dụng của hệ dao động di động



Hình 3.26. Đáp ứng độ võng tại điểm A theo thời gian

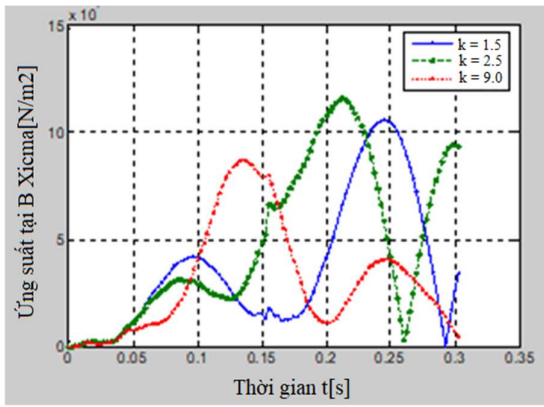


Hình 3.28. Đáp ứng ứng suất σ_y tại A và σ_x tại B theo thời gian

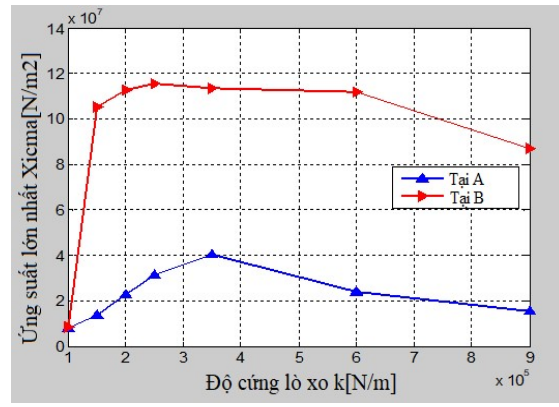
Xét bài toán như mục 3.2.1, trong đó tải trọng di động tác dụng lên tấm là hệ dao động 1 bậc tự do như trên hình 2.7 (ký hiệu MO), với: $m_1 = 300\text{kg}$, $m_2 = 200\text{kg}$, $k = 1,5 \times 10^5 \text{N/m}$, $c = 4,5 \times 10^3 \text{Ns/m}$. Hệ dao động di chuyển với vận tốc $v = 10 \text{ m/s}$. Kết quả tính được so sánh với trường hợp khối lượng $m = m_1 + m_2 = 500\text{kg}$ (ký hiệu MM) di chuyển cùng vận tốc trên tấm. Đáp ứng độ võng giữa tấm (điểm A) và ứng suất tại các điểm tính thuộc tấm như trên hình 3.26, 3.28.

3.3.2. Ảnh hưởng độ cứng lò xo của hệ dao động

Nhận xét: Độ cứng lò xo của hệ dao động di động có ảnh hưởng đáng kể đến đáp ứng động lực học của tấm, khi độ cứng lò xo tăng, các đáp ứng biến thiên không theo qui luật đơn thuần là do tần số của hệ dao động thay đổi.



Hình 3.33. Đáp ứng ứng suất σ_x tại B theo thời gian



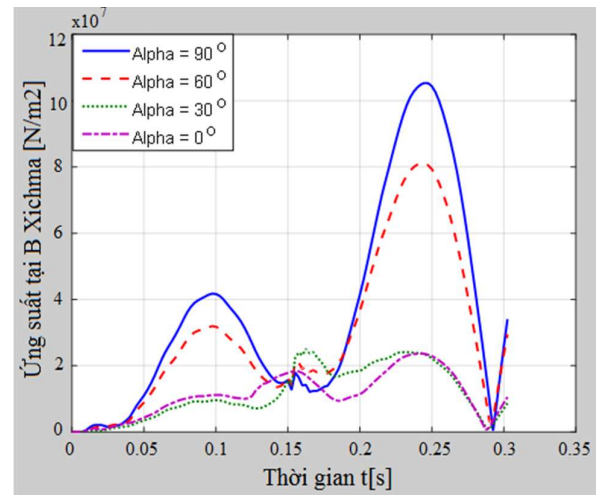
Hình 3.36. Quan hệ ứng suất lớn nhất tại A, B và độ cứng lò xo

3.3.3. Ảnh hưởng vận tốc của hệ dao động

Khi tốc độ di chuyển của hệ dao động tăng từ 6m/s đến 14m/s, độ võng và ứng suất tại các điểm tính của tấm giảm, điểm đột biến xuất hiện xung quanh thời điểm hệ dao động đi qua vết nứt, nhưng quy luật không rõ ràng. Sở dĩ có hiện tượng này, theo tác giả là do có sự ảnh hưởng giữa tần số dao động riêng của hệ dao động và tần số dao động của tấm, đây chính là điểm ứng xử cơ học khác nhau của tấm khi chịu tác dụng của hệ dao động và khối lượng di động đối với cả tấm có vết nứt và không có vết nứt.

3.3.4. Ảnh hưởng của phương vết nứt

Nhận xét: Với bài toán đang xét, khi góc lệch của phương vết nứt so với trục x tăng lên thì độ võng, gia tốc và ứng suất tại các điểm tính đều tăng. Cụ thể khi phương vết nứt càng gần trùng với phương cạnh ngắn tấm ($\alpha = 90^\circ$) thì sẽ bất lợi về độ bền, độ ổn định cho tấm.



Hình 3.41. Đáp ứng ứng suất σ_x tại B theo thời gian

3.4. Kết luận chương 3

- Giải các lớp bài toán khác nhau, các kết quả là cơ sở cho việc lựa chọn các thông số tính toán, thiết kế mới hoặc gia cường đối với kết cấu tấm có và không có vết nứt nhằm định hướng ứng dụng trong thực tế.

- Với kết quả tính toán cho 2 mô hình tải trọng, có thể khẳng định tấm dề mất ổn định khi chịu tác dụng của hệ dao động di động hơn là chịu tác dụng của khối lượng di động do độ võng dề thay đổi đột ngột hoặc tăng theo thời gian, điều này cũng phù hợp với các nhận xét khi nghiên cứu đối với tấm không có vết nứt chịu tác dụng của tải trọng di động. Phương của vết nứt ảnh hưởng lớn đến độ võng, gia tốc và ứng suất của tấm, cụ thể: khi phương của vết nứt thay đổi theo xu hướng càng gần trùng với phương cạnh ngắn của tấm chữ nhật thì các giá trị trên đều tăng. Vì vậy, theo tác giả đây là vấn đề cần được chú ý trong kỹ thuật thiết kế, thi công, gia cường hoặc cảnh báo với các kết cấu tấm có vết nứt trong thực tiễn.

- Việc khảo sát ảnh hưởng của kích thước vết nứt, liên kết, chiều dày tấm đều cho kết quả phù hợp với quy luật cơ học và vật lý, điều này một lần nữa cho thấy chương trình CPM_2019 do tác giả đã lập có cơ sở tin cậy.

CHƯƠNG 4 XÁC ĐỊNH PHẢN ỨNG ĐỘNG CỦA TẤM CÓ VẾT NỨT CHỊU TÁC DỤNG CỦA KHỐI LƯỢNG DI ĐỘNG BẰNG THỰC NGHIỆM

4.1. Mục đích thí nghiệm

- Xác định bằng thực nghiệm đáp ứng động của tấm chữ nhật thông qua các đặc trưng gia tốc, biến dạng cho các trường hợp: tấm không có vết nứt, có 1 vết nứt và có 3 vết nứt, với liên kết ngàm 2 cạnh ngắn, chịu tác dụng của khối lượng di động chính giữa, dọc theo chiều dài của tấm.

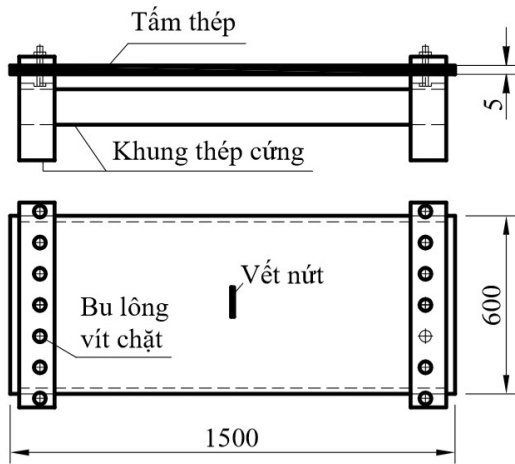
- Kiểm tra, đánh giá mức độ phù hợp của mô hình lý thuyết và phương pháp tính CRACKED_PLATE_MOVING_2019 (CPM_2019) đã lập trong chương 2.

Thí nghiệm được tiến hành tại Phòng Cơ học máy, cơ học – Học viện Kỹ thuật Quân sự, với các thiết bị đo chuyên dụng.

4.2. Mô hình và thiết bị thí nghiệm

4.2.1. Mô hình thí nghiệm

Mô hình thí nghiệm là tấm chữ nhật làm bằng thép. Tấm được ngàm dọc theo 2 cạnh ngắn trên khung thép định hình L20 với hệ bulông vít chặt. So với tấm thí nghiệm thì độ cứng của khung lớn hơn rất nhiều cho nên điều kiện ngàm có thể được xem là đảm bảo. Sơ đồ kết cấu tấm – khung dùng cho thí nghiệm (Hình 4.1), Mẫu thí nghiệm thực (Hình 4.3).



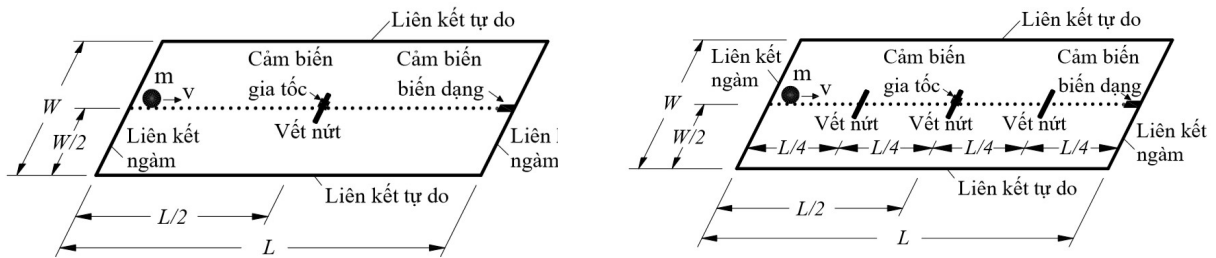
Hình 4.1. Sơ đồ kết cấu tấm -khung dùng cho thí nghiệm



Hình 4.3. Mẫu thí nghiệm

Thí nghiệm cho 3 trường hợp: tấm không có vết nứt, có 1 vết nứt chính giữa, 3 vết nứt, trong đó các vết nứt thủng tấm, có kích thước như nhau $2a_c = 0,1m$ và song song với cạnh ngắn của tấm (Hình 4.2).

3.3.2. Ảnh hưởng độ cứng lò xo của hệ dao động



a, Tấm có 1 vết nứt

b, Tấm có 3 vết nứt

Hình 4.2. Mô hình tấm với các trường hợp vết nứt và vị trí đo thí nghiệm

4.2.2. Thiết bị thí nghiệm

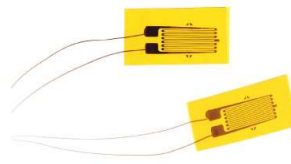
4.2.2.1. Các thiết bị tạo tải:

Khối lượng di động hình trụ, di chuyển dọc theo chiều dài tấm theo đường thẳng chính giữa tấm. Vận tốc di chuyển của khối lượng được tạo ra bằng hệ dây - ròng rọc - mô tơ điều chỉnh tốc độ vô cấp.

4.2.2.2. Cảm biến gia tốc và cảm biến biến dạng:



a, Cảm biến gia tốc PCB

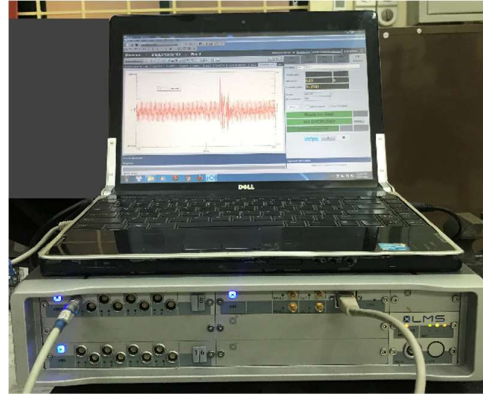


b, Cảm biến biến dạng HBM

Hình 4.4. Cảm biến gia tốc, cảm biến biến dạng

4.2.2.3. Thiết bị đo dao động:

Thiết bị đo dao động dùng trong thí nghiệm là hệ thống đo rung, ồn, biến dạng. Máy này do hãng LMS (Bỉ) sản xuất (Hình 4.5).



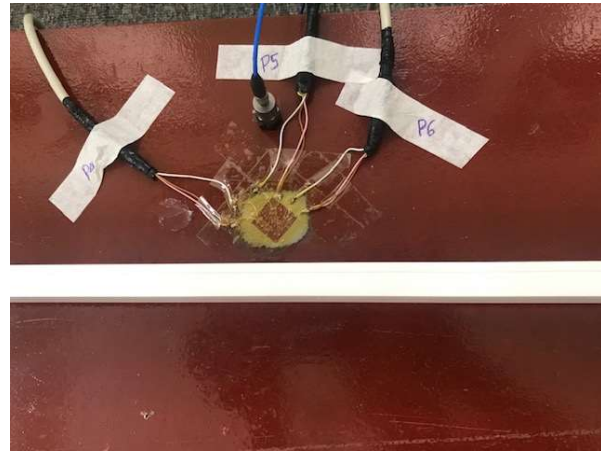
Hình 4.5. Hệ thống đo rung, ồn, biến dạng LMS

4.3. Phương pháp xác định đáp ứng gia tốc, biến dạng của kết cấu

Để xác định đáp ứng gia tốc tại vị trí nào đó thuộc tấm trong quá trình chịu khối lượng di động ta gắn cảm biến gia tốc cố định tại điểm cần đo, trong đó phương trục cảm biến trùng với phương cần đo gia tốc. Cụ thể trong thí nghiệm của chương này, trục cảm biến gia tốc vuông góc với mặt trung bình tấm (Hình 4.6).



a, Gắn cảm biến gia tốc



b, Gắn cảm biến điện trở

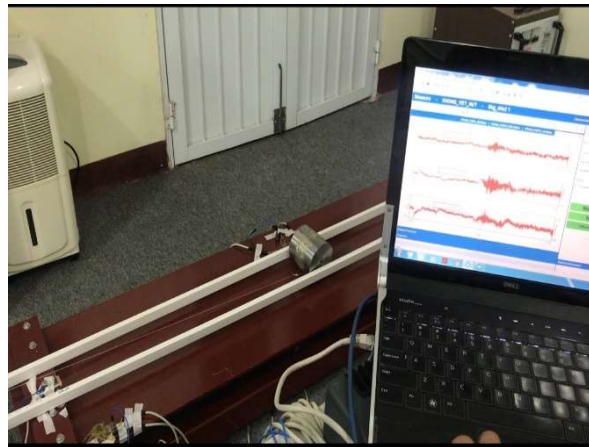
Hình 4.6. Gắn cảm biến lên tấm

Dưới tác dụng của tải trọng, tấm dao động làm đầu đo của cảm biến gia tốc dao động theo đồng thời gây ra biến dạng cho cảm biến, tín hiệu được truyền về máy tính để xử lý. Kết quả mỗi lần đo, ứng với một đầu đo có được bộ số liệu thể hiện đáp ứng gia tốc theo thời gian tại vị trí trên kết cấu mà tại đó gắn đầu đo gia tốc. Từ đáp ứng gia tốc - thời gian, với bộ xử lý *deflection analysis* được tích hợp trong máy tính, tiến hành phân tích ta có được đáp ứng chuyển vị theo phương vuông góc với mặt trung bình tấm tại điểm đo theo thời gian.

4.4. Phân tích và xử lý kết quả thí nghiệm

Bộ số liệu đo được các mô đun và phần mềm tương ứng trong hệ thống thiết bị đo động đa kênh lưu trữ cho mỗi lần thí nghiệm, đây là bộ số liệu “thô”, chưa được phân tích, xử lý thống kê. Các số liệu này cần phải được phân tích, xử lý theo lý thuyết thống kê để có được tính đại diện cho các chỉ tiêu thí nghiệm.

4.5. Thí nghiệm và kết quả thí nghiệm

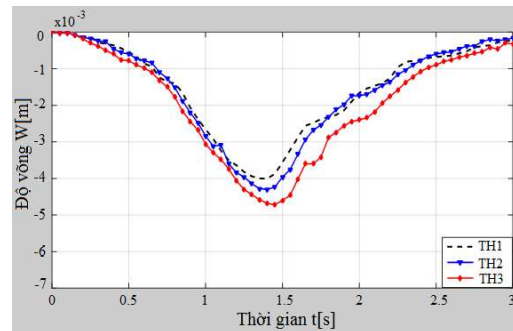


Hình 4.7. Một số hình ảnh thí nghiệm

Thí nghiệm với tấm chữ nhật, bằng vật liệu thép, có kích thước hình học: chiều dài $L_p = 1,5\text{m}$, chiều rộng $W_p = 0,6\text{m}$, chiều dày $h = 0,005\text{m}$. Tấm có các vết nứt thủng, hở giống nhau, có chiều dài $2a_c = 0,1\text{m}$, được bố trí vuông góc với đường thẳng chính giữa tấm (Hình 4.2). Khối lượng m di chuyển với vận tốc v theo quỹ đạo thẳng $y = W_p/2$ dọc phương trục Ox . Thí nghiệm với các trường hợp: tấm không có vết nứt (TH1) và tấm có vết nứt, trong đó tấm có 01 vết nứt (TH2) và tấm có 03 vết nứt (TH3) được tác giả sử dụng để thí nghiệm. Vị trí đo được thể hiện như trên hình 4.2. Các thông số cụ thể của

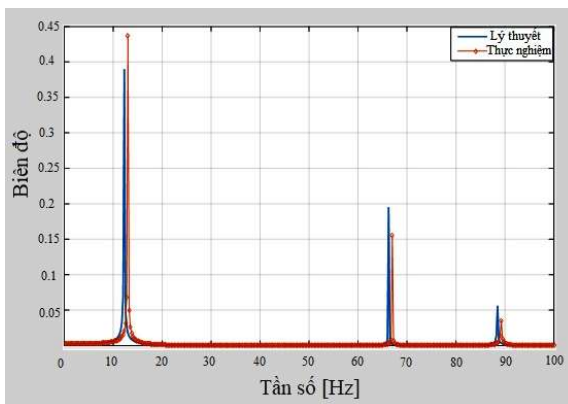
thí nghiệm: Khối lượng $m = 6\text{kg}$ di chuyển với vận tốc quy đổi $v = 0,5\text{m/s}$. Hình 4.7 minh họa một số hình ảnh thí nghiệm.

Nhận xét: Số lượng vết nứt ảnh hưởng lớn đến đáp ứng độ võng của tấm theo thời gian, khi tấm có 3 vết nứt thì đồ thị đường cong đáp ứng độ võng theo thời gian có độ gồ ghề lớn hơn nhiều so với tấm không có vết nứt, đồng thời cường độ cũng lớn hơn khá nhiều (18% đối với tấm có 3 vết nứt và 7,5% đối với tấm có 1 vết nứt), (Hình 4.8).

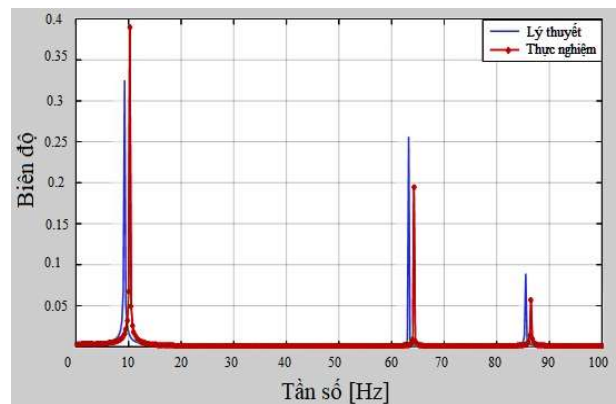


Hình 4.8. Đáp ứng độ võng theo thời gian tại điểm giữa tấm

Từ kết quả đáp ứng gia tốc theo thời gian, bằng phương pháp biến đổi Fourier nhanh (phân tích FFT) có được đáp ứng biên độ - tần số của tấm. Hình 4.9, 4.10 cho thấy kết quả phân tích biên độ - tần số của tấm tại điểm đo gia tốc theo thí nghiệm của các trường hợp tấm dùm trong thí nghiệm và kết quả tính toán lý thuyết bởi chương trình tính CRACKED_PLATE_MOVING_2019 đã lập ở chương 2.



Hình 4.9. Đáp ứng biên độ - tần số của tấm không có vết nứt



Hình 4.10. Đáp ứng biên độ - tần số của tấm có 3 vết nứt

Nhận xét: Đồ thị đáp ứng biên độ - tần số của tấm trong các trường hợp cho kết quả thí nghiệm và tính toán lý thuyết là khá đồng dạng, trong đó sai số giữa 2 phương pháp đối với tần số dao động riêng đầu tiên dao động từ 3,92% đến 7,96% cho thấy mô hình và chương trình tính đã thiết lập trong chương 2 của luận án là phù hợp và tin cậy. Đồng thời, kết quả tần số riêng thu được từ tính toán lý thuyết bé hơn tần số đo đạc thực nghiệm. Điều này

có thể lý giải như sau: mô hình vết nứt thủng theo lý thuyết là lý tưởng, còn mô hình vết nứt thủng thực nghiệm không thể là lý tưởng mà chỉ là gần đúng, do đó tần số vẫn cao hơn. Ngoài ra, biên độ chuyển vị đo được (Hình 4.9 và 4.10) trong thực nghiệm tại tần số đầu tiên lớn hơn biên độ dao động tính theo lý thuyết, sự sai khác này theo tác giả có thể là do ảnh hưởng của tiếp xúc tại các bu lông liên kết giữa tấm và khung (ngay lúc tải tác dụng có sự xô dịch, sau đó xô dịch này mới được khử hết) hoặc hệ số cản tính toán lý thuyết chưa phù hợp với thực tế của mô hình thí nghiệm.

Bảng 4.1. Tần số riêng đầu tiên của tấm

Trường hợp của tấm	Tần số riêng f_1 [Hz]		Sai khác [%]
	Lý thuyết	Thực nghiệm	
Không có vết nứt (TH1)	12,25	12,75	3,92
Có 1 vết nứt (TH2)	10,65	11,15	4,48
Có 3 vết nứt (TH3)	9,25	10,05	7,96

4.6. Kết luận chương 4

Một số kết quả chính đạt được:

- Góp phần nâng cao trình độ, năng lực cho tác giả luận án trong việc tổ chức, thực hiện thí nghiệm xác định các tính chất cơ lý của vật liệu và ứng xử cơ học của kết cấu tấm chịu tải trọng động và tải trọng di động.

- Có được bộ số liệu thí nghiệm làm cơ sở cho việc kiểm tra, đối chứng với kết quả tính toán lý thuyết bằng chương trình tính CRACKED_PLATE_MOVING_2019, cho phép đánh giá mức độ phù hợp của mô hình, thuật toán và độ tin cậy của chương trình tính đã lập. Ngoài ra, kết quả so sánh giữa tính toán lý thuyết và thực nghiệm cho phép khuyến cáo kỹ thuật trên cho tấm có vết nứt.

- Bộ số liệu và kết quả thí nghiệm góp phần làm phong phú thêm cho lĩnh vực thực nghiệm xác định đáp ứng động lực học của tấm có hoặc không có vết nứt chịu tác dụng của khối lượng di động.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1/ Những đóng góp mới của luận án:

- 1, Trên cơ sở các công bố liên quan đến vết nứt của tấm, đã phát triển và cụ thể hóa được các quan hệ ứng xử và các ma trận đối với phần tử tấm có vết nứt, chịu uốn cùng với việc xây dựng các ma trận bổ sung do khối

lượng di động và hệ dao động di động gây ra, đã thiết lập các phương trình mô tả dao động của tấm có vết nứt chịu tác dụng của 2 mô hình tải trọng di động nêu trên, trong đó lý thuyết chuyên vị bậc nhất của tấm đã được sử dụng.

2, Thiết lập thuật toán PTHH và chương trình tính CRACKED_PLATE_MOVING_2019 (CPM_2019) để giải phương trình vi phân có hệ số phụ thuộc thời gian, tính chất vết nứt... mô tả dao động của tấm có vết nứt chịu tác dụng của khối lượng di động và hệ dao động di động. Chương trình tính đã được kiểm chứng và cho thấy đảm bảo tin cậy.

3, Kết quả khảo sát số trên nhiều bài toán với các thông số kết cấu, vết nứt, tải trọng, điều kiện liên kết thay đổi cho thấy ảnh hưởng của chúng đến đáp ứng động lực học của tấm có vết nứt chịu tải trọng di động. Kết quả nghiên cứu cho thấy ảnh hưởng của vết nứt trong ứng xử cơ học của tấm là đáng kể, không thể bỏ qua, tiếp theo các nhận xét, đánh giá và khuyến cáo kỹ thuật với các kết quả khảo sát khác có ý nghĩa khoa học và thực tiễn trong lĩnh vực: giao thông vận tải, đảm bảo vượt sông, chống lầy cho xe cơ giới.

4, Bộ số liệu thực nghiệm trên mô hình với các trường hợp tấm thép không có và có số lượng vết nứt khác nhau cho phép đánh giá đáp ứng động của tấm chịu tác dụng của khối lượng di động. Kết quả thực nghiệm đã góp phần kiểm tra và cho phép khẳng định sự phù hợp của mô hình, thuật toán và độ tin cậy của chương trình tính CPM_2019 do tác giả đã lập. Ngoài ra, kết quả thí nghiệm góp phần làm phong phú thêm trong nghiên cứu thực nghiệm đối với kết cấu tấm có vết nứt và không có vết nứt chịu tác dụng của tải trọng di động.

2/ Nhận xét và kiến nghị:

1, Mô hình tải trọng di động có ảnh hưởng đáng kể đến đáp ứng động lực học của tấm, cụ thể với mô hình hệ dao động di động cho thấy các đường đáp ứng (độ võng, gia tốc, ứng suất) phức tạp, gồ ghề hơn trường hợp khối lượng di động tác dụng. Với tấm có vết nứt, thường xuất hiện “mũi nhọn” trên các đồ thị đáp ứng này, trong đó rõ rệt nhất là đường đáp ứng ứng suất theo thời gian của điểm đầu vết nứt. Với kết quả tính toán cho 2 mô hình tải trọng, có thể khẳng định tấm dễ mất ổn định khi chịu tác dụng của hệ dao động di động hơn là chịu tác dụng của khối lượng di động do độ võng dễ thay

đổi đột ngột hoặc tăng theo thời gian. Phương của vết nứt ảnh hưởng lớn đến độ võng, gia tốc và ứng suất của tấm, cụ thể: khi phương của vết nứt thay đổi theo xu hướng càng gần trùng với phương cạnh ngắn của tấm chữ nhật thì các giá trị trên đều tăng, trong đó sai khác lớn nhất là 19,3% - độ võng và 4,3 lần - ứng suất tại đầu vết nứt. Vì vậy, theo tác giả đây là vấn đề cần được chú ý trong kỹ thuật thiết kế, thi công, gia cường hoặc cảnh báo với các kết cấu tấm có vết nứt trong thực tiễn.

2, Độ cứng lò xo của hệ dao động di động có ảnh hưởng đáng kể đến đáp ứng động lực học của tấm, với bài toán khảo sát cho thấy khi độ cứng lò xo tăng, đáp ứng độ võng của tấm biến thiên không theo quy luật tăng hay giảm một cách đơn thuần, trong vùng biến thiên của độ cứng lò xo như trên ta thấy khi $k = 1,5 \times 10^5 \text{N/m}$ và $k = 2,5 \times 10^5 \text{N/m}$ thì đáp ứng độ võng có xu hướng tăng theo thời gian, còn các giá trị khác thì đáp ứng này giảm. Bên cạnh đó, các giá trị lớn nhất về độ võng, gia tốc và ứng suất tại các điểm tính biến thiên tăng ứng với $k \in [1,0 - 2,5] \times 10^5 \text{N/m}$ và giảm ứng với $k \in [2,5 - 9,0] \times 10^5 \text{N/m}$. Sở dĩ có hiện tượng trên, theo tác giả khi thay đổi độ cứng lò xo đã làm cho tần số dao động của hệ dao động thay đổi, cùng với tần số dao động của tấm sẽ ảnh hưởng đến dao động chung của hệ.

3, Kết quả tần số riêng thu được từ tính toán lý thuyết bé hơn thí nghiệm cho thấy tính toán lý thuyết kém an toàn theo điều kiện cứng hơn nhưng lại an toàn về bền hơn thí nghiệm.

4, Lĩnh vực nghiên cứu của luận án có thể phát triển tiếp theo các hướng sau:

- Phân tích động lực hệ liên hợp tấm - dầm - cột chịu tác dụng đồng thời của tải trọng di động (đoàn tải trọng di động) và lực khí động, trong đó có kể đến ảnh hưởng của các vết nứt trên tấm.

- Mô hình hoá tương tác xe - mặt đường - nền đường, trong đó xe được mô hình bởi hệ dao động, mặt đường được mô hình hoá bởi tấm có hoặc không có vết nứt, nền là hữu hạn bởi các phần tử khối, đồng thời xét cả quá trình di chuyển của tải trọng.

- Nghiên cứu thực nghiệm đối với kết cấu tấm có vết nứt trên các loại liên kết khác nhau: liên kết tập trung hoặc tấm trên nền biến dạng chịu tác dụng của các phương tiện thực như xe bánh lốp, bánh xích di chuyển.

CÁC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ

1. Nguyễn Thái Chung, Lê Phạm Bình, Nguyễn Thị Hồng (2016), *Phân tích động lực học dầm có vết nứt trên nền đàn hồi chịu tác dụng của khối lượng di động*, Tạp chí Giao thông vận tải. Hà Nội 05/2016, tr.52-55.
2. Nguyen Thi Hong, Nguyen Thai Chung, Le Xuan Thuy (2019), *Finite Element Analysis of a Cracked Plate Subjected to Moving Mass*, Tạp chí Xây dựng Việt Nam, số 614, tr.55-61.
3. Nguyen Thai Chung, Nguyen Thi Hong, and Le Xuan Thuy (2019), *Dynamic Analysis of Cracked Plate Subjected to Moving Oscillator by Finite Element Method*, Mathematical Problems in Engineering (ISCI), Volume 2019, 11 pages.
4. Nguyen Thi Hong, Nguyen Thai Chung, Duong Thi Ngoc Thu (2020), *Finite Element Modeling and Experimental Study on Dynamic Behavior of Cracked Plates Subjected to Moving Mass*, Tạp chí Giao thông Vận tải. Hà Nội 03/2020, tr.82-88.