

# Phân tích đặc tính cản đến ứng xử động lực học của tấm mỏng nổi trên nền nước chịu tải trọng di động

## Analysis of damping properties on dynamic response of a floating plate resting on the water subjected to moving load

**Trần Minh Thi, Trần Văn Hùng - TS. Trần Minh Thi**

Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại Học Bách Khoa - Đại học Quốc gia TP.HCM

Email: tmthi@hcmut.edu.vn - Điện thoại: 0938414090

**ThS. Trần Văn Hùng** - Trung tâm Kỹ thuật Tiêu Chuẩn Đo lường Chất lượng 3 (QUATEST 3), 49 Pasteur, Phường Nguyễn Thái Bình, Quận 1, TP. Hồ Chí Minh

**Tóm tắt:** Bài báo nghiên cứu về ứng xử động của các kết cấu có diện tích lớn nổi (Very Large Floating Structure-VLFS) trên nền nước khi chịu tác động của tải trọng tập trung chuyển động, có xét đến ảnh hưởng của đặc tính cản của tấm đến ứng xử của hệ. Kết cấu tấm được phân tích theo lý thuyết tấm mỏng Kirchhoff dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn (Finite Element Method-FEM). Nền nước được mô hình tính toán bằng phương pháp phần tử biên (Boundary Element Method-BEM). Một chương trình tính toán trên Matlab về ứng xử động lực học của tấm mỏng nổi trên nền nước chịu tải di động được đề xuất. Chương trình này có độ tin cậy cao khi kết quả được kiểm chứng bằng việc so sánh với kết quả nghiên cứu thực nghiệm. Sau đó, ứng xử động của VLFS chịu tải trọng di động được khảo sát với các thông số khác nhau của đặc tính cản, bao gồm cản nhớt, cản kết cấu và cản vật liệu. Kết quả khảo sát cho thấy mức độ ảnh hưởng đáng kể của các tác nhân cản lên hệ kết cấu. Bên cạnh đó, nghiên cứu này cũng khảo sát các thông số cơ bản của bài toán ảnh hưởng đến ứng xử của hệ như thay đổi vận tốc, độ lớn tải trọng, chiều dày và chiều rộng tấm.

**Từ khóa:** Tấm nổi, FEM, BEM, hydroelastic, VLFS.

**Abstract:** The paper investigates dynamic response of Very-Large Floating Structure (VLFS) resting on the water due to moving load, considering damping properties of the plate on the VLFS response. Kirchhoff plate theory is employed to study the plate structure based on the Finite Element Method (FEM). The water is modeled by using Boundary Element Method (BEM). A Matlab program of modeling response of VLFS resting on the water under moving load is proposed. The calculating program is highly accepted as the results were verified by comparing to experimental results. Dynamic response of VLFS under moving load was then investigated due to damping properties, including viscous damping, structural damping and material damping. Results also show that significant influence of damping properties on the structure. In addition, influences of velocity and magnitude of moving load, thickness and width of plate on VLFS response were investigated.

**Keywords:** FEM, BEM, hydroelastic, VLFS.

### 1. Giới thiệu

Nhu cầu phát triển kinh tế biển đòi hỏi phải sử dụng loại kết cấu nổi thích hợp để mở rộng khai thác các mỏ nhỏ, các mỏ tại những khu vực nước có độ sâu lớn và tăng cường xây dựng các công trình quốc phòng trên biển. Một trong những hướng giải quyết vấn đề trên là sử dụng loại kết cấu nổi hiện đang được đánh giá cao trên thế giới. Kết cấu nổi là những công trình kỹ thuật phức tạp, trang bị hiện đại, đòi hỏi vốn đầu tư rất lớn, thường có kích thước lớn và có hình dạng khác với các công trình nổi truyền thống sử dụng trong vận tải và quân sự. Trong quá trình làm việc trên biển, các kết cấu nổi thường xuyên chịu các tác động khác nhau từ môi trường sóng biển cũng như các tải trọng di động bên trên nó. Vì vậy, việc nghiên cứu giải quyết bài toán tương tác động lực học về kết cấu nổi chịu tải trọng di động để đánh giá khả năng làm việc an toàn của kết cấu nổi là cần thiết và rất có ý nghĩa thực tiễn. Bài toán động lực học kết cấu nổi chịu tải trọng di động là khá rộng và phức tạp, bao gồm nhiều nội dung như xác định ứng xử

động lực học của tấm nổi dưới tải trọng di động ở các vận tốc khác nhau, kích thước tấm nổi và chiều sâu nước biển khác nhau. Bài báo này tập trung nghiên cứu về ảnh hưởng của các tác nhân cản đến ứng xử động của tấm nổi chịu tải di động.

Ứng xử động lực học của kết cấu nổi chịu tác động tải trọng di động là mối quan tâm trong nhiều lĩnh vực công nghệ kỹ thuật như sân bay, cầu nổi, kho bãi ngoài khơi... Tải di động là một vấn đề đã được nghiên cứu rất nhiều trong thời gian qua. Người tiên phong vấn đề này là Stoke [2], đã phân tích cầu đường sắt thế kỷ XIX và ứng dụng của nó vẫn rất hiệu quả trong việc tính toán thiết kế lòng đường, cầu cho xe lửa băng qua. Mathews [3], [4] đã giải quyết vấn đề động lực học của một tải bất kỳ khi tải trọng di chuyển dọc theo một dầm có chiều dài vô hạn tựa trên một nền đàn hồi bằng phương pháp biến đổi Fourier. Timoshenko [5] đã giải phương trình vi phân tổng quát trong miền thời gian cho một dầm đơn giản chịu tải di động bằng phương pháp chồng chất năm 1974. Cai và cộng sự [6] cũng sử dụng phương pháp

chồng chất để giải quyết bài toán tải di động trên một dầm đồng nhất, vô hạn trên con lăn hỗ trợ tuần hoàn. Chen và Huang [7] đã xét tải trọng không đổi di chuyển với vận tốc dọc theo một dầm Timoshenko dài vô hạn trên nền đàn nhớt.

Trong khi đó, phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) đã được sử dụng khá rộng rãi để giải quyết nhiều bài toán phức tạp. Yoshida và Weaver [8] đã sử dụng phương pháp FEM để phân tích dầm và tấm tựa đơn chịu tải trọng chuyển động và khối lượng chuyển động. Trong nghiên cứu này, khối lượng chuyển động được mô hình hóa để phân tích sự tương tác giữa mặt đường và sự chuyển động xe. Wu và cộng sự [9] đã nghiên cứu phản ứng động của kết cấu tấm với các yếu tố ảnh hưởng đến ứng xử của tấm như chiều dài tấm, gia tốc và vận tốc ban đầu của tải trọng di chuyển. #Ể nghiên cứu các ứng dụng thực tế, Gupta [10] phân tích dao động tự nhiên của tấm hình chữ nhật trên nền đàn nhớt với sự thay đổi chiều dày của tấm. Tuy nhiên, các nghiên cứu liên quan phân tích ứng xử động của một kết cấu nổi chịu tải trọng di động còn nhiều hạn chế. Wu và Shih [11] đã thực hiện nghiên cứu của một cầu treo bằng FEM. Sturova sử dụng phương pháp mode-expansion nghiên cứu ứng xử dầm nổi trên nước cạn và nước sâu [12]. Xing và Jin [13] đã trình bày kết quả số về ứng xử đàn hồi của dầm nổi chịu tác động hạ cánh của hệ “khối lượng-lò xo-cản nhớt”. Watanabe và Utsunomiya [14] sử dụng FEM để trình bày kết quả số cho ứng xử đàn hồi của một tấm tròn nổi chịu tác dụng của tải trọng xung. Qiu và Liu [15] gần đây phát triển phương pháp miền thời gian để phân tích ứng xử Hydroelastic đặc trưng tấm chịu tải di động. Liu-chao Qiu [16] đã mô hình hóa và mô phỏng các phản ứng của dầm nổi trong điều kiện vùng nước sâu dưới tác dụng của tải di động.

## 2. Cơ sở lý thuyết

Mô hình của bài toán được phân tích bao gồm kết cấu tấm, phần chất lỏng là nước bên dưới tấm và tương tác giữa tấm và nước. Tấm được mô phỏng dựa theo lý thuyết tấm mỏng Kirchhoff. Chuyển động của nước được đại diện bởi một thể vận tốc. Chuyển động theo phương đứng của nước được giả thiết là nhỏ để xây dựng phương trình chuyển động dựa trên lý thuyết sóng tuyến tính. Sự tương tác của tấm và nước được thể hiện qua điều kiện vận tốc của tấm trùng với vận tốc của mặt nước tiếp xúc với tấm, tức là không có khoảng cách giữa mặt đáy tấm và mặt nước tiếp xúc với đáy tấm.

Sự tiêu tán cơ năng xuất hiện trong quá trình dao động của vật thể làm giảm động năng và thế năng của hệ và trên thực tế dao động của vật thể là tắt dần. Lực cản trên có được là do các tác nhân cản khách quan gây ra như ma sát của bề mặt vật thể với không khí hoặc nước trong quá trình nó di chuyển. Ngoài ra, tác nhân gây cản có thể đến từ yêu cầu khống chế dao động của vật thể như cơ cấu cản trong các phương tiện xe cộ đi lại, các hệ thống cản được xây dựng trên các công trình cao tầng và rất nhiều ứng dụng của lực cản trong nhiều lĩnh vực của cuộc sống.

### 2.1. Các tác nhân cản

Các lực cản làm ảnh hưởng đến ứng xử động lực học của hệ được nghiên cứu trong bài báo này bao gồm: cản

nhớt, cản kết cấu và cản vật liệu (Kelvin-Voigt damping).

**Cản nhớt** xuất hiện do sự tương tác của kết cấu với môi trường xung quanh, làm giảm cơ năng của hệ. Cản nhớt thay đổi phụ thuộc vào vận tốc chuyển động của kết cấu, được biểu diễn như sau:

$$C_V = \alpha \frac{\partial u}{\partial t} \quad (1)$$

trong đó,  $C_V$  – lực cản nhớt;  $\alpha$  – hệ số quan hệ giữa lực cản nhớt và chuyển vị theo thời gian;  $u$  – chuyển vị, và  $t$  – thời gian

**Đối với vật liệu** có diện tích tiếp xúc nhỏ, lực cản nhớt sẽ nhỏ tương ứng và ngược lại, do đó lực cản nhớt còn phụ thuộc vào diện tích tiếp xúc với môi trường của kết cấu.

**Cản kết cấu** được biểu diễn bằng biểu thức sau:

$$C_s = -\gamma \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} \quad (2)$$

trong đó,  $C_s$  – Lực cản kết cấu;  $\gamma$  – hệ số quan hệ giữa lực cản kết cấu và chuyển vị theo thời gian.

Lực cản kết cấu đặc trưng cho sự thay đổi kết cấu bên trong của vật liệu. Trong lực cản kết cấu, một phần năng lượng của hệ được hấp thụ vào sự biến dạng bên trong và sự thay đổi hình dạng kết cấu phần tử tạo thành vật liệu, sự thay đổi bên trong này diễn ra lặp đi lặp lại và làm giảm cơ năng của hệ.

### Cản vật liệu

Lực cản do vật liệu (hay còn gọi là lực cản Kelvin-Voigt) xuất hiện trong hầu hết các dao động trong miền đàn hồi của kết cấu, nó phụ thuộc vào sự chuyển vị của hệ và được biểu diễn qua hệ số cản như sau:

$$C_M = \beta \frac{\partial^5 u}{\partial x^4 \partial t} \quad (3)$$

trong đó,  $C_M$  – lực cản vật liệu;  $\beta$  – hệ số quan hệ giữa lực cản vật liệu và chuyển vị theo thời gian.

Tương tự như cơ cấu cản lò xo, hệ số cản tới hạn do lực cản được xác định phụ thuộc vào các thông số như sau:

$$C_M^{cr} = 2(\rho_w g \rho_M h)^{1/2} \quad (4)$$

Trong đó,  $\rho_w$  – trọng lượng riêng của chất lỏng;  $g$  – gia tốc trọng trường;  $\rho_M$  – trọng lượng riêng của tấm và  $h$  – chiều dày tấm

Gọi  $B$  là tỉ số cản vật liệu,

$$B = \frac{C_M}{C_M^{cr}} \quad (5)$$

### 2.2. Phương trình năng lượng của tấm

Phương trình cân bằng của tấm có dạng:

$$\frac{\partial^4 d}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 d}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 d}{\partial y^4} = \frac{q(x, y)}{D_p} \quad (6)$$

phương trình trên được gọi là phương trình Sophi-Giecmann, trong đó  $d(x, y)$  chuyển vị tấm và  $q(x, y)$  là ngoại lực phân bố

Năng lượng biến dạng đàn hồi của tấm Kirchhoff được cho bởi công thức sau:

$$U = \frac{1}{2} \int_V \boldsymbol{\varepsilon}_b^T \boldsymbol{\sigma}_b dV \quad (7)$$

trong đó  $\boldsymbol{\varepsilon}_b$  là biến dạng uốn của tấm,  $\boldsymbol{\sigma}_b$  là ứng suất uốn của tấm.

Công nội ảo của kết cấu tấm được cho bởi:

$$\begin{aligned} \delta W_I = \delta U_b &= \frac{1}{2} \int_{\Omega} \boldsymbol{\kappa}_b^T \mathbf{D}_b \boldsymbol{\kappa}_b dx dy = \\ &= \{\delta \mathbf{d}\}^T \int_0^{t-\xi} \int_0^{t-\xi} \mathbf{B}_b^T \mathbf{D}_b \mathbf{B}_b \mathbf{J} d\eta d\xi \{\mathbf{d}\} \end{aligned} \quad (8)$$

với  $\boldsymbol{\kappa}_b$  là vectơ thành phần độ cong,  $\mathbf{D}_b$  là ma trận vật liệu ứng với biến dạng uốn của tấm,  $\mathbf{d}$  là vectơ chuyển vị nút của tấm,  $\mathbf{J}$  là ma trận Jacobi của phép biến đổi tọa độ,  $\boldsymbol{\kappa}_b = \mathbf{B}_b \mathbf{d}$  (9)

với  $\mathbf{B}_b$  là ma trận gradient biến dạng uốn của phần tử tấm và được xác định như sau:

$$\mathbf{B}_b = \begin{bmatrix} 0 & N_{i,x} & 0 \\ 0 & 0 & N_{i,y} \\ 0 & N_{i,y} & N_{i,x} \end{bmatrix} \quad (10)$$

với  $N$  là hàm dạng của nút thứ  $i$ .

Công nội ảo của kết cấu tấm trên nền chất lỏng được cho bởi:

$$\delta W_E = \delta W_E^p + \delta W_E^m + \delta W_E^c + \delta W_E^k \quad (11)$$

Trong đó:

Công ảo gây ra do lực phân bố đều  $p$

$$W_E^p = \int_{\Omega} (\delta \mathbf{d}) \mathbf{b} dx dy \quad (12)$$

với  $\mathbf{b} = [p(x,y) \ 0 \ 0]^T$  là vec tơ tải trọng

Công ảo gây ra do lực quán tính

$$W_E^m = - \int_{\Omega} (\delta \mathbf{d}) \mathbf{m} \ddot{\mathbf{d}} dx dy \quad (13)$$

với  $\mathbf{m}$  là ma trận khối lượng và được xác định bởi

$$\mathbf{m} = \rho \begin{bmatrix} h & 0 & 0 \\ 0 & \frac{h^3}{12} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{h^3}{12} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Công ảo gây ra do lực đàn hồi của nền

$$W_E^k = - \int_{\Omega} (\delta \mathbf{d}) k_f w dx dy \quad (15)$$

Công ảo gây ra do lực cản nền

$$W_E^c = - \int_{\Omega} (\delta \mathbf{d}) c_f \dot{\mathbf{d}} dx dy \quad (16)$$

Cân bằng công nội ảo và công ngoại ảo phương trình được xác định:

$$\{\delta \mathbf{d}\}^T \mathbf{F}_e = \{\delta \mathbf{d}\}^T \int_{\Omega} (\mathbf{M}_e \{\ddot{\mathbf{d}}\} + \mathbf{C}_e \{\dot{\mathbf{d}}\} + \mathbf{K}_e \{\mathbf{d}\}) dx dy \quad (17)$$

Áp dụng phương pháp Galerkin và sử dụng các hàm

dạng chuyển vị  $N$ , các ma trận khối lượng, cản độ cứng và vectơ lực của phần tử tấm được xác định như sau:

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_e &= \int_{\Omega} p \mathbf{N} dx dy \\ \mathbf{M}_e &= \int_{\Omega} \mathbf{N}^T \mathbf{m} \mathbf{N} dx dy \\ \mathbf{C}_e &= \int_{\Omega} c_f \mathbf{N}^T \mathbf{N}_w dx dy \\ \mathbf{K}_e &= \int_{\Omega} \mathbf{B}_b^T \mathbf{D}_b \mathbf{B}_b dx dy \end{aligned} \quad (18)$$

với  $(\cdot)_{,x}$  là đạo hàm theo  $x$

$(\cdot)_{,xx}$  là đạo hàm cấp hai theo  $x$ .

Như vậy, cuối cùng phương trình tổng quát chuyển động của các phần tử tấm Kirchhoff được viết như sau:

$$\mathbf{M}_e \ddot{\mathbf{d}}(t) + \mathbf{C}_e \dot{\mathbf{d}}(t) + \mathbf{K}_e \mathbf{d}(t) = \mathbf{P}(t) \quad (19)$$

với  $\mathbf{d}(t)$  là vectơ chuyển vị theo thời gian của phần tử tấm.

Vậy phương trình tổng quát của mô hình phần tử tấm chuyển động có dạng như sau:

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{d}} + \mathbf{C} \dot{\mathbf{d}} + \mathbf{K} \mathbf{d} = \mathbf{P} \quad (20)$$

trong đó:  $\mathbf{d}$  là vec tơ chuyển vị tổng thể;  $\mathbf{M}$ ,  $\mathbf{C}$  và  $\mathbf{K}$  là các ma trận khối lượng tổng thể, cản tổng thể và độ cứng tổng thể;  $\mathbf{P}$  là vec tơ tải tổng thể.

### 2.3. Phần tử tứ giác bốn nút với phép nội suy Hermite

Nội suy đường Hermite là phép xấp xỉ theo giá trị và cả đạo hàm từ bậc 1 đến bậc nào đó tại các điểm nút.



Hình 1 Nội suy đường Hermite

Phương trình biểu diễn:

$$\mathbf{x}(t) = a_3 t^3 + a_2 t^2 + a_1 t + a_0 \quad (21)$$

$$\mathbf{x}'(t) = 3a_3 t^2 + 2a_2 t + a_1 \quad (22)$$

Giá trị hàm biểu diễn và đạo hàm tại hai điểm nút:

$$x_0 = \mathbf{x}(0) = a_0$$

$$x'_0 = \mathbf{x}'(0) = a_1$$

$$x_1 = \mathbf{x}(1) = a_3 + a_2 + a_1 + a_0$$

$$x'_1 = \mathbf{x}'(1) = 3a_3 + a_2 + a_1$$

hay được viết lại:

$$a_0 = x_0$$

$$a_1 = x'_0$$

$$a_2 = -3x_0 - 2x'_0 + 3x_1 - x'_1$$

$$a_3 = 2x_0 + x'_0 - 2x_1 + x'_1$$

(24)

Thay (24) vào (21), phương trình được viết lại như sau:

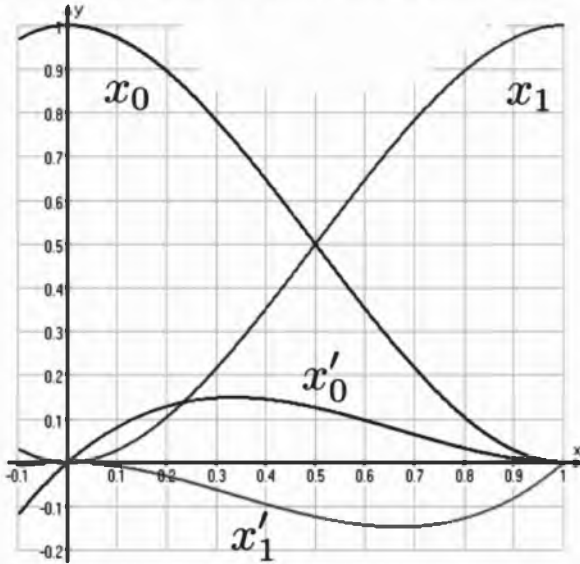
$$\mathbf{x}(t) = (2x_0 + x'_0 - 2x_1 + x'_1)t^3 +$$

$$+ (-3x_0 - 2x'_0 + 3x_1 - x'_1)t^2 + x'_0 t + x_0 \quad (25)$$

hay dưới dạng ma trận:

$$X(t) = \begin{bmatrix} t^3 & t^2 & t & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_0' \\ x_1 \\ x_1' \end{bmatrix} \quad (26)$$

và được biểu diễn dưới dạng hình học như sau:



Hình 2: Các đường nội suy Hermite

Phần tử tứ giác bốn nút Hermite được xây dựng trên cơ sở đường cong Hermite, được biểu diễn như sau:

$$P(u, w) = U^T [C] W, 0 \leq u \leq 1, 0 \leq w \leq 1 \quad (27)$$

trong đó

$$U = \begin{bmatrix} u^3 & u^2 & u & 1 \end{bmatrix}^T, W = \begin{bmatrix} w^3 & w^2 & w & 1 \end{bmatrix}^T \quad (28)$$

Ma trận hệ số

$$C = \begin{bmatrix} C_{33} & C_{32} & C_{31} & C_{30} \\ C_{23} & C_{22} & C_{21} & C_{20} \\ C_{13} & C_{12} & C_{11} & C_{10} \\ C_{03} & C_{02} & C_{01} & C_{00} \end{bmatrix} \quad (29)$$

và được xác định như sau:

$$C = M_H B M_H^T \quad (30)$$

trong đó  $M_H$  là ma trận Hermite, được cho bởi:

$$M_H = \begin{bmatrix} 2 & -2 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (31)$$

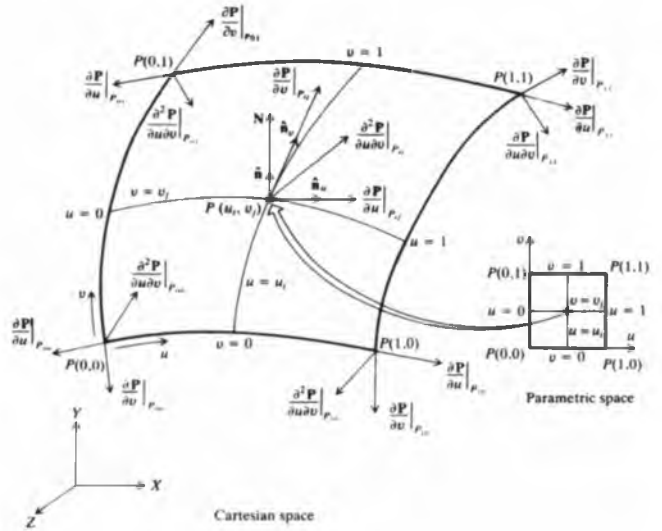
và ma trận các điều kiện biên:

$$B = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{v00} & P_{v01} \\ P_{10} & P_{11} & P_{v10} & P_{v11} \\ P_{u00} & P_{u01} & P_{w00} & P_{w01} \\ P_{u10} & P_{u11} & P_{w10} & P_{w11} \end{bmatrix} \quad (32)$$

trong đó, bốn hệ số trên bên trái là các điều kiện về tọa độ; bốn hệ số trên bên phải và bốn hệ số dưới bên

trái là các điều kiện về vec tơ tiếp tuyến theo các phương; bốn hệ số dưới bên phải là các điều kiện về vec tơ xoắn.

Mặt phẳng Hermit được mô tả trên mặt phẳng như sau:

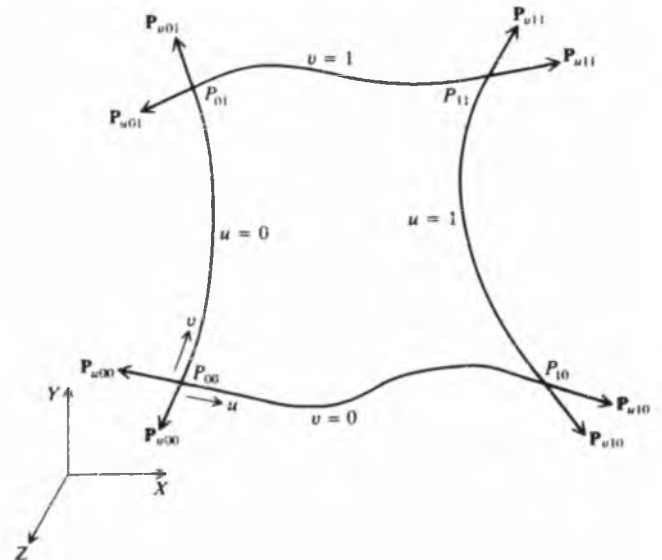


Hình 3: Phần tử bốn nút với phép nội suy Hermite

Các vec tơ xoắn thường rất khó xác định, do đó để đơn giản trong mô phỏng và tính toán, có thể bỏ qua vec tơ xoắn, ma trận B trở thành:

$$B = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{v00} & P_{v01} \\ P_{10} & P_{11} & P_{v10} & P_{v11} \\ P_{u00} & P_{u01} & 0 & 0 \\ P_{u10} & P_{u11} & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (33)$$

và được biểu diễn như sau:



Hình 4. Phần tử bốn nút Hermite không kể đến vec tơ xoắn

#### 2.4. Phương pháp nút Hermite không kể đến vector xoắn

Khi nghiên cứu về sự chuyển động của chất lỏng nếu ta nhắc đến tất cả các tính chất cơ bản của nó thì sẽ gặp khó khăn. Do đó, khái niệm “chất lỏng lý tưởng” được nghiên cứu đến.

Chất lỏng lý tưởng được hiểu là chất lỏng giả định, có tính dịch chuyển tuyệt đối, tức là hoàn toàn không nhớt, cũng như không nén tuyệt đối, không dẫn nở khi nhiệt độ thay đổi và tuyệt đối không có khả năng chống lại lực cắt.

Nghiên cứu chuyển động của chất lỏng lý tưởng (bỏ qua ảnh hưởng của tính nhớt) là một vấn đề rất quan trọng. Khi chất lỏng chuyển động với số Reynolds cao ( $Re > 1$ ), miền ảnh hưởng của tính nhớt chỉ tồn tại trong một lớp mỏng biên, được gọi là lớp biên. Ngoài vùng lớp biên, ảnh hưởng của tính nhớt đến sự chuyển động của các phần tử chất lỏng là rất nhỏ, khi đó ta có thể xem dòng chất lỏng chuyển động như chất lỏng lý tưởng.

Lý thuyết về chuyển động của chất lỏng lý tưởng cũng có thể áp dụng được cho chuyển động của chất lỏng ít nhớt, hay chất lỏng chuyển động có vận tốc lớn vì khi đó số Re sẽ lớn, tính nhớt sẽ ảnh hưởng ít đến dòng chảy.

Khi giả thuyết chất lỏng có tính nhớt bằng không, các phương trình vi phân chuyển động sẽ có dạng đơn giản hơn, giúp có thể tìm giải một cách dễ dàng hơn. Các kết quả tính toán này có thể được sử dụng để kiểm nghiệm các mô hình tính toán số hoặc áp dụng trong thực tế trên cơ sở đưa vào các hệ số hiệu chỉnh thực nghiệm.

Điểm khác nhau cơ bản giữa chất lỏng thực và chất lỏng lý tưởng là không có tính nhớt, còn các tính chất khác thì chất lỏng thực cũng gần đạt như chất lỏng lý tưởng. Do đó, có thể coi chất lỏng lý tưởng là chất lỏng không có ma sát giữa các lớp ma sát khi chuyển động tương đối với nhau, cũng có nghĩa là không bị mất năng lượng khi nó chuyển động.

**Hàm thế vận tốc của chất lỏng**

Thế vận tốc của sóng tán xạ được viết dưới dạng:

$$\phi_s(x, y, z, t) \tag{34}$$

và thỏa mãn phương trình Laplace:

$$\nabla^2 \phi = 0 \tag{35}$$

Các điều kiện biên:

Điều kiện đáy biển:

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0 \text{ trên } \Gamma_b, z = -D \tag{36}$$

Điều kiện mặt thoáng:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t} + g \frac{\partial^2 \phi}{\partial z} = 0 \text{ trên } \Gamma_t, z = 0 \tag{37}$$

Điều kiện nhiễu xạ vùng xa:

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \left( \frac{\partial(\phi)}{\partial r} + \frac{\partial(\phi_t)}{\partial t} \right) = 0 \text{ trên } \Gamma_\infty \tag{38}$$

Điều kiện tương thích mặt đáy kết cấu:

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = \frac{\partial d}{\partial t} \text{ trên } \Gamma_{sv}, z = 0 \tag{39}$$

với  $r = \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)}$  là khoảng cách từ nguồn đến điểm khảo sát, D là độ sâu của nước

**Phương pháp phần tử biên**

Nghiệm cơ sở thỏa mãn phương trình bên dưới được sử dụng như là hàm Green cho mô hình:

$$\nabla^2 G = \delta(x - \xi)(y - \eta)(z - \zeta) \tag{40}$$

có dạng như sau:

$$G = \frac{1}{4\pi R} \tag{41}$$

$$R = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + (z - \zeta)^2}$$

với R là khoảng cách từ điểm đặt hàm Dirac's delta (x, y, z) lên bất kỳ điểm khảo sát ( $\xi, \eta, \zeta$ ).

Phương trình tích phân biên của mô hình được viết dưới dạng như sau:

$$\int_{SB} \left( -\phi_s \frac{\partial G}{\partial n} \right) dS + \int_{sv} \left( -G \left( \frac{k_0}{\omega} \phi_s \right) - \phi_s \frac{\partial G}{\partial n} \right) dS + \int_{sv} \left( -\frac{1}{g} G (\phi_s''') - \phi_s \frac{\partial G}{\partial n} \right) dS + \int_{sh} \left( G \left( d' - \frac{\partial \phi_{lc}}{\partial z} \right) - \phi_s \frac{\partial G}{\partial n} \right) dS + \frac{1}{2} \phi_s(x, z) = 0 \tag{42}$$

Miền biên được giả thiết rời rạc N phần tử chữ nhật hàng. Giá trị của hàm thế và đạo hàm của nó được giả thiết là không đổi trên mỗi phần tử và bằng giá trị tại tâm của phần tử. Phương trình (42) được đưa về dạng bên dưới cùng với các điều kiện biên:

$$\frac{1}{2} \phi_s(x, y, z) + \sum_{j=1}^N \left( \int_{\Gamma_j} \frac{\partial G}{\partial n}(x, y, z, \xi, \eta, \zeta) \right) d\Gamma_j \phi_j = \sum_{j=1}^N \left( \int_{\Gamma_j} G(x, y, z, \xi, \eta, \zeta) \right) d\Gamma_j \frac{\partial \phi_j}{\partial n} \tag{43}$$

với  $\Gamma_j$  là biên phần tử thứ j

Biên đáy biển  $\Gamma_b$ , biên nhiễu xạ  $\Gamma_\infty$ , biên mặt thoáng  $\Gamma_t$  và biên kết cấu  $\Gamma_{sh}$  được đánh số lần lượt là 1,2,3,4.

Phương trình (43) được giải bằng phương pháp thế, được viết dưới dạng bên dưới:

$$\begin{cases} \frac{1}{2} \phi_1(x, y, z) + \sum_{j=1}^N H_{1j} \phi_j = \sum_{j=1}^N \frac{G_{1j}}{\partial n} \frac{\partial \phi_j}{\partial n} \\ \dots\dots\dots \\ \frac{1}{2} \phi_N(x, y, z) + \sum_{j=1}^N H_{Nj} \phi_j = \sum_{j=1}^N \frac{G_{Nj}}{\partial n} \frac{\partial \phi_j}{\partial n} \end{cases} \tag{44}$$

Phương trình (44) được viết dưới dạng ma trận:

$$\mathbf{H}_\Phi = \mathbf{G} \frac{\partial \Phi}{\partial n} \tag{45}$$

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{11} & \mathbf{H}_{12} & \mathbf{H}_{13} & \mathbf{H}_{14} \\ \mathbf{H}_{21} & \mathbf{H}_{22} & \mathbf{H}_{23} & \mathbf{H}_{24} \\ \mathbf{H}_{31} & \mathbf{H}_{32} & \mathbf{H}_{33} & \mathbf{H}_{34} \\ \mathbf{H}_{41} & \mathbf{H}_{42} & \mathbf{H}_{43} & \mathbf{H}_{44} \end{bmatrix} \tag{46}$$

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} \mathbf{G}_{11} & \mathbf{G}_{12} & \mathbf{G}_{13} & \mathbf{G}_{14} \\ \mathbf{G}_{21} & \mathbf{G}_{22} & \mathbf{G}_{23} & \mathbf{G}_{24} \\ \mathbf{G}_{31} & \mathbf{G}_{32} & \mathbf{G}_{33} & \mathbf{G}_{34} \\ \mathbf{G}_{41} & \mathbf{G}_{42} & \mathbf{G}_{43} & \mathbf{G}_{44} \end{bmatrix} \tag{47}; \quad \Phi = \begin{bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \\ \Phi_4 \end{bmatrix} \tag{48}$$

Kết cấu được rời rạc bằng những phần tử con dựa trên lý thuyết tấm.

Hệ phương trình động lực học của kết cấu được cho bởi:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{d}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{d}} + \mathbf{K}\mathbf{d} = \mathbf{F} + \rho \mathbf{L}_2 i\omega \Phi + \rho \mathbf{L}_2 \dot{\Phi} \tag{49}$$

Với M, C, K lần lượt là ma trận khối lượng, ma trận cản và ma trận độ cứng tổng thể, d là vecto chuyển vị nút

tổng thể,  $L_2$  là ma trận chuyển đổi tải trọng phân bố đều trên mỗi phân tử thành các lực tập trung tại nút phân tử,  $F$  là vectơ tải trọng nút do hoạt tải bên trên tấm gây ra.

**2.5. Phương pháp Newmark**

Ý tưởng của phương pháp là từ giá trị của nghiệm đã biết tại thời điểm  $i$  suy ra giá trị của thời điểm tại  $i+1$  bằng các giả thiết khác nhau về sự biến thiên của gia tốc trong từng bước thời gian. Phương pháp Newmark có hai cách tìm nghiệm: dạng gia tốc và dạng chuyển vị.

Bằng cách xấp xỉ sự biến thiên của gia tốc trong mỗi bước thời gian, biểu thức của vận tốc và chuyển vị trong mỗi bước thời gian được suy ra thông qua các phép tích phân từ phương trình vi phân gia tốc. Giá trị của vận tốc và chuyển vị được đề xuất bởi các phương trình sau:

$$\dot{d}_{i+1} = \dot{d}_i + (1 - \gamma)\Delta t \ddot{d}_{i+1} \tag{50}$$

$$d_{i+1} = d_i + \dot{d}_i \Delta t + \left(\frac{1}{2} - \beta\right) \Delta t^2 \ddot{d}_i + \beta \Delta t^2 \ddot{d}_{i+1} R \tag{51}$$

trong đó độ lớn bước thời gian là  $\Delta t$ ; giá trị gia tốc tại các thời điểm  $t, t+\Delta t$  tương ứng kí hiệu chỉ số lần lượt là  $i, i+1$  được kí hiệu lần lượt là  $\ddot{d}_i, \ddot{d}_{i+1}$ .

**2.6. Phương pháp Houbolt**

Phương pháp Houbolt là phương pháp sai phân ẩn, xét phương trình cân bằng tại thời điểm  $t + t$  để giải phương trình động lực học.

$$\ddot{\Phi}_{t+\Delta t} = \frac{1}{\Delta t^2} (2\Phi_{t+\Delta t} - 5\Phi_t + 4\Phi_{t-\Delta t} - \Phi_{t-2\Delta t}) \tag{52}$$

$$\dot{\Phi}_{t+\Delta t} = \frac{1}{6\Delta t^2} (11\Phi_{t+\Delta t} - 18\Phi_t + 9\Phi_{t-\Delta t} - 2\Phi_{t-2\Delta t}) \tag{53}$$

**3. Ví dụ số**

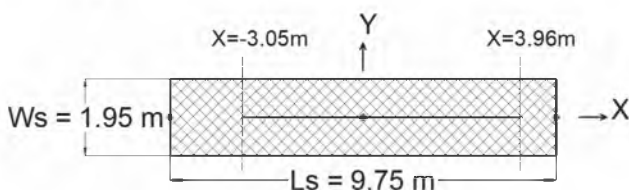
**3.1. Kiểm chứng chương trình**

Một chương trình lập trình trên Matlab được đề xuất để mô phỏng tính toán ứng xử động của kết cấu tấm nổi trên nền nước chịu tải trọng di động có xét đến các tác nhân cản.

Độ tin cậy của chương trình được kiểm chứng khi so sánh với kết quả phân tích số của mô hình VL-10 của Endo và Yago [1]

**Mô hình thí nghiệm**

Mô hình thí nghiệm VL-10 tại biển của Viện Nghiên Cứu Kỹ Thuật Mega-Float. VL-10 là Pon-toon có dạng tấm chữ nhật với kích thước như Hình 5 và thông số đặc trưng cụ thể trong Bảng 1. Mô hình VL-10, được thiết kế tương tự với MF-300 theo quy luật bản sao với một trọng lượng 69 N di động. Trong thí nghiệm này, gốc tọa độ được đặt tại vị trí chính giữa tấm theo cả phương dọc và phương ngang, tải di động với vận tốc không đổi 0.61 m/s (2.2 km/h) từ vị trí có tọa độ  $x = -3.05$  m đến vị trí có tọa độ  $x = 3.96$  m.



Hình 5. Mô hình thí nghiệm VL-10

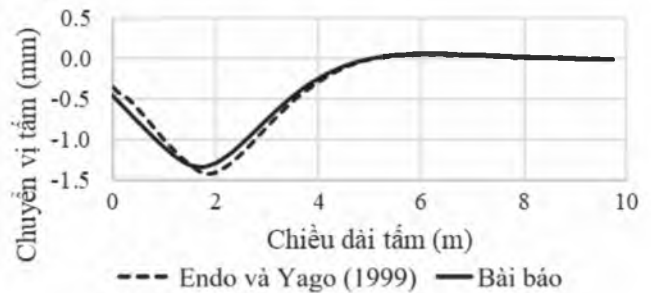
Thông số của mô hình được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số mô hình VL-10

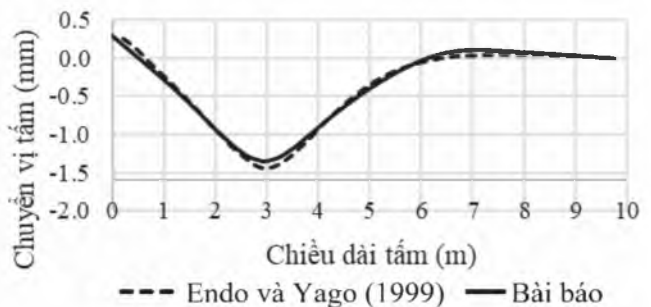
Thông số	Giá trị
Chiều dài tấm	9.75 m
Chiều rộng tấm	1.95 m
Chiều dày tấm	0.0545 m
Phần chìm trong nước	0.0163 m
Độ cứng uốn	17.53 kN/m <sup>2</sup>
Độ cứng tương đương	9.1443 kNm <sup>2</sup>
Hệ số Poisson	0.13
Khối lượng riêng tương đương	0.25625 tấn/m <sup>3</sup>
Độ sâu đáy biển	1.9 m
Trọng lượng của xe	69 N
Vận tốc chuyển động	0.61 m/s
Vị trí bắt đầu	$X = -3.05$ m
Vị trí kết thúc	$X = 3.96$ m

**(Bài toán khảo sát)**

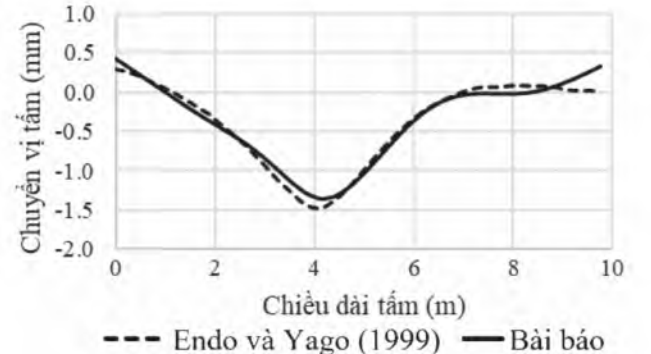
Phương pháp phần tử hữu hạn được dùng để chia lưới mô hình tấm và phương pháp phần tử biên để chia lưới phần đáy biển. Với thông số như Bảng 1, chuyển vị tại các thời điểm  $t = 0$  giây,  $t = 1.85$  giây,  $t = 3.65$  giây,  $t = 1.85$  giây,  $t = 5.5$  giây,  $t = 7.3$  giây,  $t = 9.4$  giây và  $t = 10.1$  giây được trích xuất ra để so sánh với kết quả thực nghiệm của Endo và Yago (1999) (Hình 6 đến Hình 12).



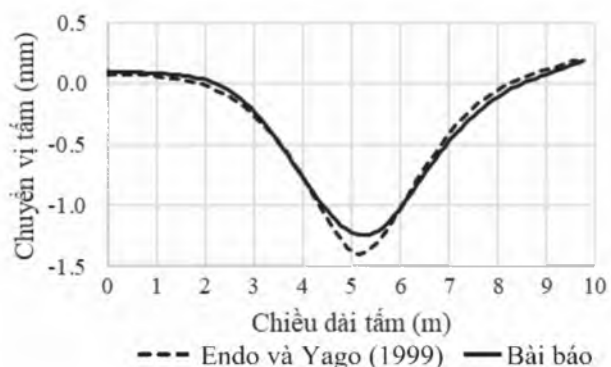
Hình 6. Chuyển vị của tấm tại thời điểm  $t = 0s$



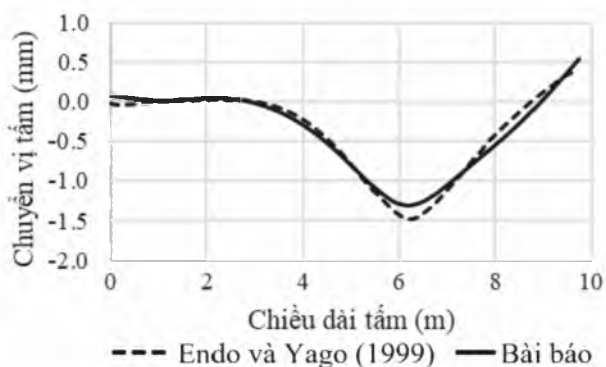
Hình 7. Chuyển vị của tấm tại thời điểm  $t = 1.85s$



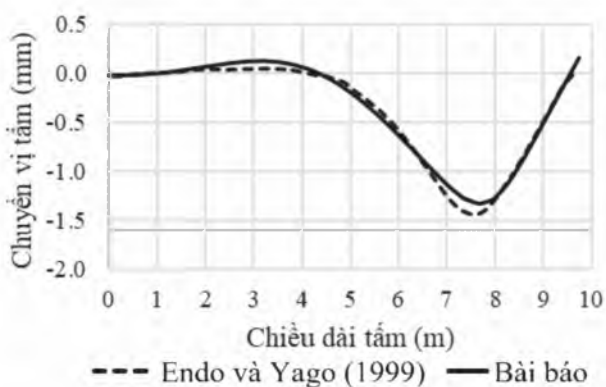
Hình 8. Chuyển vị của tấm tại thời điểm  $t = 3.65s$



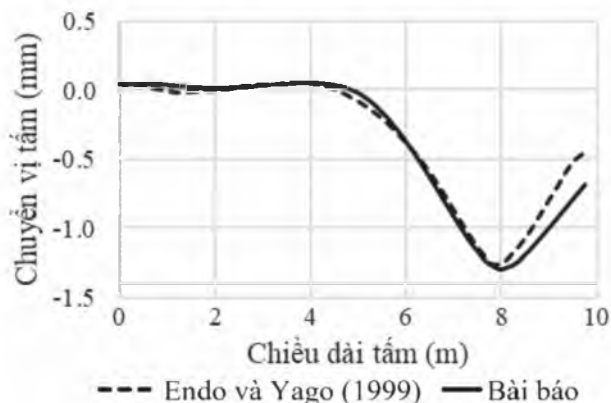
Hình 9. Chuyển vị của tấm tại thời điểm  $t = 5.5s$



Hình 10. Chuyển vị của tấm tại thời điểm  $t = 7.3s$



Hình 11. Chuyển vị của tấm tại thời điểm  $t = 9.4s$



Hình 12. Chuyển vị của tấm tại thời điểm  $t = 10.1s$

### Đánh giá kết quả

Từ các biểu đồ trên từ Hình 6 đến Hình 12, chuyển vị của tấm theo thời gian của Endo và Yago (1999) và Bài báo được so sánh tương đối giống nhau. Sai số lớn nhất giữa các chuyển vị lớn nhất được thống kê theo Bảng 2.

Bảng 2. So sánh độ lệch giữa chuyển vị lớn nhất của Endo và Yago (1999) và của Bài báo

Thời điểm (s)	Endo và Yago (1999)	Bài báo	Sai số (%)
0	1.42	1.35	4.93
1.85	1.45	1.36	6.21
3.65	1.48	1.35	8.78
5.5	1.40	1.25	10.71
7.3	1.48	1.30	12.16
9.4	1.43	1.33	6.99
10.1	1.26	1.29	2.38

Bảng 2 cho thấy sai số giữa hai kết quả hầu hết nhỏ hơn 10.71%, có hai thời điểm độ lệch lớn hơn 12.16% là tại 5.5 giây và 7.3 giây. Kết quả lý thuyết và thực nghiệm cho sai số như trên là hoàn toàn có thể chấp nhận được vì có nhiều thông số khi tính toán lý thuyết đã được đơn giản hóa.

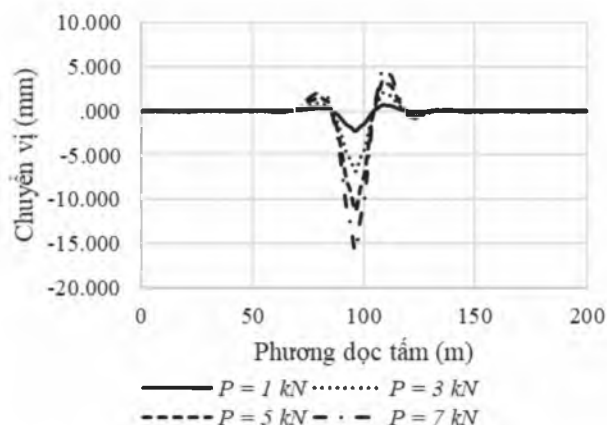
Từ các kết quả nêu trên, độ tin cậy của chương trình tính toán đề xuất là chấp nhận được. Vì vậy, chương trình này được áp dụng để khảo sát các bài toán tiếp theo.

### 3.2. Khảo sát ứng xử của tấm khi thay đổi độ lớn tải trọng

Bài toán này thực hiện với mục đích khảo sát ứng xử của tấm khi có sự thay đổi của độ lớn tải trọng tác dụng. Đây là một bài toán khảo sát cơ bản để đánh giá ứng xử của tấm, độ lớn của lực tác dụng được thay đổi ở các giá trị  $P = 1 \text{ kN}$ ,  $P = 3 \text{ kN}$ ,  $P = 5 \text{ kN}$  và  $P = 7 \text{ kN}$ . Các thông số khác của bài toán được cho như Bảng 3.

Bảng 3. Thông số bài toán khảo sát thay đổi độ lớn tải trọng

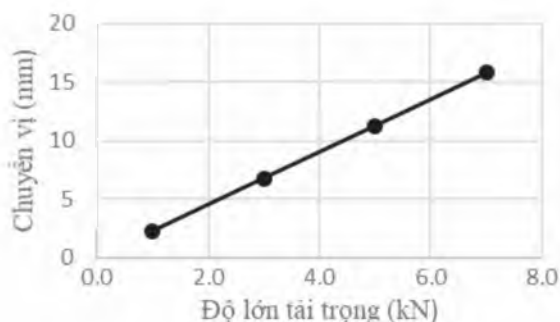
Thông số	Giá trị
Chiều dài tấm	200 m
Chiều rộng tấm	80 m
Chiều dày tấm	0.2 m
Module đàn hồi tấm	$6.1 \times 10^9 \text{ kN/m}^2$
Hệ số Poison	0.3
Độ sâu nước biển	5 m
Vận tốc chuyển động	7 m/s
Vị trí khảo sát	100 m
Hệ số cản nhớt	0.01
Hệ số B (cản vật liệu)	0.1



Hình 13. Chuyển vị tấm khi thay đổi độ lớn tải trọng

Kết quả chuyển vị tấm ứng với sự thay đổi của tải trọng được thể hiện trong Hình 13. Có thể nhận thấy rằng, chuyển vị tấm tăng dần khi tăng dần độ lớn tải trọng tác dụng, điều này phù hợp với quy luật chung là chuyển vị tăng và tải trọng tăng. Ngoài ra, khi tăng độ lớn tải trọng, các vị trí tấm ở phía trước và sau tải trọng cũng có sự gia tăng của chuyển vị dương, từ đó nhận thấy được hiện tượng truyền sóng trong vùng chất lỏng tác động đáng kể đến chuyển vị tấm.

Hình 14 thể hiện chuyển vị lớn nhất của tấm theo từng cấp độ tải. Kết quả cho thấy rằng, quan hệ giữa chuyển vị và tải trọng là tuyến tính.



Hình 14. Quan hệ giữa chuyển vị lớn nhất của tấm và độ lớn tải trọng

### 3.3. Khảo sát chuyển động tấm khi thay đổi hệ số cản nhớt

Bài toán này thực hiện với mục đích khảo sát ứng xử tấm khi thay đổi hệ số cản nhớt ở các giá trị  $C_V = 0.01$ ,  $C_V = 0.03$ ,  $C_V = 0.06$  và  $C_V = 0.1$  nhằm tìm ra sự biến thiên của chuyển vị cũng như một số hình thái của tấm khi vận tốc chuyển động  $V = 1 \text{ m/s}$ ,  $4 \text{ m/s}$ ,  $7 \text{ m/s}$  và  $10 \text{ m/s}$ . Các thông số của tấm được cho như trong Bảng 5.

Bảng 5. Thông số bài toán khảo sát thay đổi hệ số cản nhớt

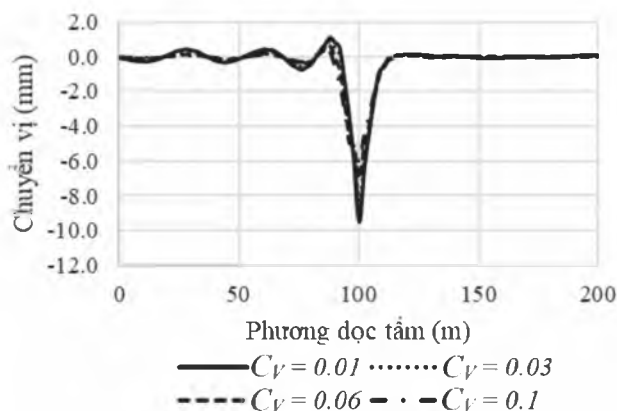
Thông số	Giá trị
Chiều dài tấm	200 m
Chiều rộng tấm	80 m
Chiều dày tấm	0.2 m
Module đàn hồi tấm	$6.1 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$
Hệ số Poisson	0.3
Độ sâu nước biển	5 m
Độ lớn tải trọng	5 kN
Vị trí khảo sát	100 m
Hệ số B (cản vật liệu)	0.1

Các ứng xử của tấm được thể hiện từ Hình 15 đến Hình 18, một số thông số về chuyển vị tấm sẽ được khảo sát khi thay đổi hệ số cản  $C_V$  ở từng cấp vận tốc được minh họa như trong Bảng 6, bao gồm các thông số như sau:

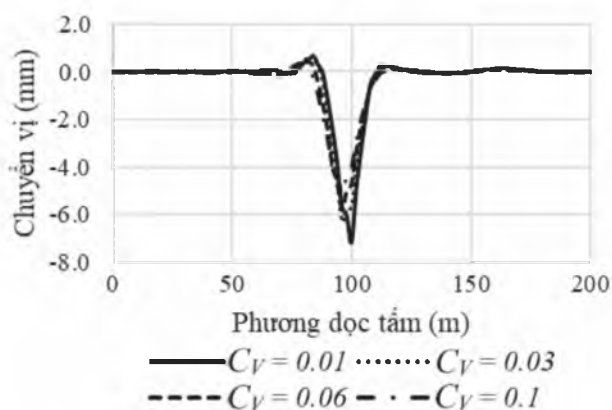
- +  $y\text{-max}$ : chuyển vị lớn nhất của tấm
- +  $y1$ : chuyển vị dương phía trước vị trí tải trọng
- +  $y2$ : chuyển vị dương ngay sau vị trí tải trọng
- +  $e$ : bề rộng vùng ảnh hưởng của tải trọng, là khoảng cách giữa hai giao điểm gần nhất của đường chuyển vị và mặt trung hòa. Dựa vào các thông số này có thể đánh giá ứng xử của tấm ở từng vận tốc cũng như sự ảnh hưởng của hệ số cản  $C_V$  đến chuyển vị và hình dạng tấm.

Bảng 6. Các thông số hình dạng tấm khi thay đổi  $C_V$  với  $V = 1 \text{ m/s}$

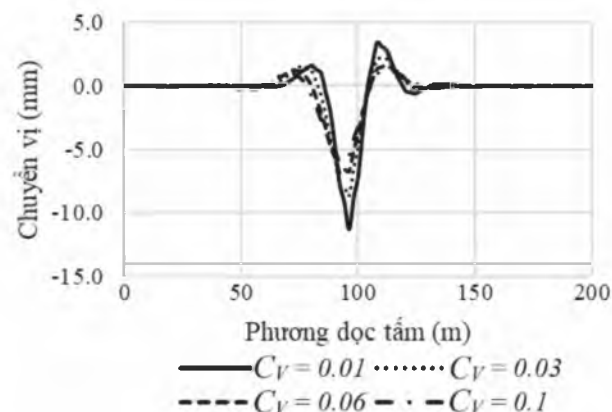
$C_V$	$y1$ (mm)	$y\text{-max}$ (mm)	$y2$ (mm)	$e$ (m)
0.01	1.12	9.52	-	20
0.03	0.89	8.30	-	22
0.06	0.62	6.98	-	24
0.1	0.30	6.05	-	26



Hình 15. Chuyển vị tấm khi thay đổi hệ số cản  $C_V$  với  $V = 1 \text{ m/s}$



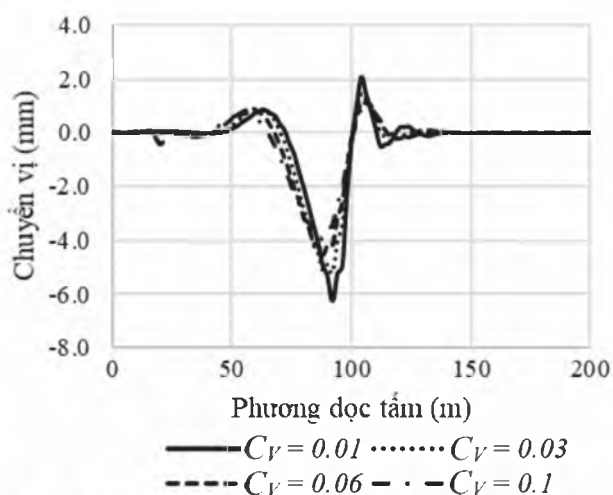
Hình 16. Chuyển vị tấm khi thay đổi hệ số cản  $C_V$  với  $V = 4 \text{ m/s}$



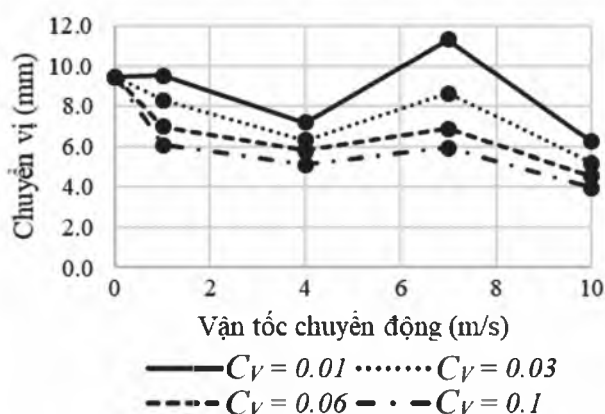
Hình 17. Chuyển vị tấm khi thay đổi hệ số cản  $C_V$  với  $V = 7 \text{ m/s}$

Hình 19 thể hiện các thông số hình dạng tấm ở các vận tốc khác nhau khi thay đổi hệ số cản  $C_V$ . Kết quả cho thấy khi hệ số cản  $C_V$  tăng, chuyển vị lớn nhất của tấm giảm và độ giảm khác nhau ở các vận tốc khác nhau. Trong đó, độ giảm chuyển vị tấm lớn nhiều nhất khi vận tốc là  $V = 7 \text{ m/s}$ .





Hình 18. Chuyển vị tấm khi thay đổi hệ số cản  $C_V$  với  $V = 10$  m/s



Hình 19. Chuyển vị lớn nhất tấm khi thay đổi hệ số cản  $C_V$

### 3.4. Khảo sát chuyển động tấm khi thay đổi hệ số cản vật liệu

Bài toán này thực hiện với mục đích khảo sát ứng xử tấm khi thay đổi hệ số cản vật liệu khi thay đổi các giá trị  $B = 0.1$ ,  $B = 0.3$ ,  $B = 0.5$  và  $B = 0.7$ , trong đó  $B$  là tỉ số cản vật liệu,

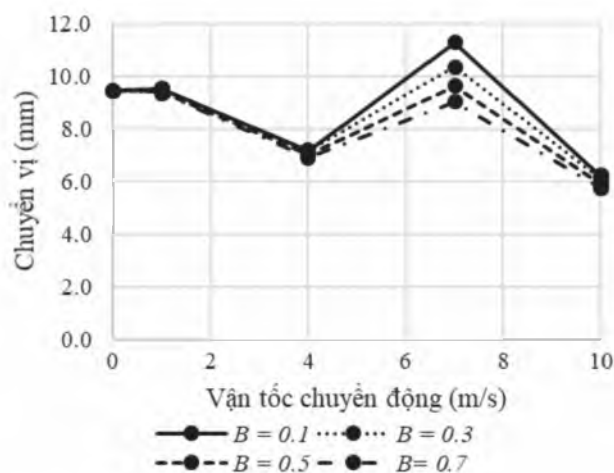
$$B = \frac{C_M}{C_M^{cr}} \quad (54)$$

nhằm tìm ra sự biến thiên của chuyển vị cũng như một số hình thái của tấm khi vận tốc chuyển động  $V = 1$  m/s,  $V = 4$  m/s,  $V = 7$  m/s và  $V = 10$  m/s. Các thông số của tấm được cho như trong Bảng 7.

Bảng 7. Thông số bài toán khảo sát thay đổi vận tốc chuyển động

Thông số	Giá trị
Chiều dài tấm	200 m
Chiều rộng tấm	80 m
Chiều dày tấm	0.2 m
Module đàn hồi tấm	$6.1 \times 10^5$ kN/m <sup>2</sup>
Hệ số Poisson	0.3
Độ sâu nước biển	5 m
Độ lớn tải trọng	5 kN
Vị trí khảo sát	100 m
Hệ số cản nhớt	0.01

Hình 20 thể hiện kết quả chuyển vị tấm lớn nhất theo các giá trị vận tốc và hệ số  $B$  khác nhau. Kết quả cho thấy ảnh hưởng của vận tốc và hệ số  $B$  đến chuyển vị lớn nhất tấm không đáng kể. Tuy nhiên, chuyển vị lớn nhất của tấm chỉ thay đổi đáng kể khi vận tốc  $V = 7$  m/s ứng với các giá trị  $B$  khác nhau.



Hình 20. Chuyển vị lớn nhất tấm khi thay đổi hệ số  $B$

## 4. Kết luận

Từ các bài toán kiểm chứng và các bài toán khảo sát, một số kết luận được rút ra như sau:

1. Mô hình kiểm chứng có sự tương đồng về chuyển vị và sai số chấp nhận được so với mô hình thí nghiệm. Do đó, chương trình tính toán mô phỏng tấm được đề xuất của bài báo này cần được áp dụng nhằm góp phần làm giảm bớt các thử nghiệm thực tế, giảm chi phí nghiên cứu nhưng vẫn đảm bảo được độ chính xác cần thiết.

2. Tăng lực cản nhớt của hệ kết cấu làm giảm đáng kể chuyển vị của tấm. Do đó, lực cản nhớt sẽ làm giảm dao động kết cấu và góp phần làm giảm tác hại của hiện tượng mỏi lên kết cấu.

3. Lực cản vật liệu ít làm thay đổi ứng xử kết cấu hơn so với lực cản nhớt, và chủ yếu làm giảm chuyển vị tại giá trị lớn với vận tốc chuyển vị đủ lớn. □

### Lời cảm ơn

Nghiên cứu được tài trợ bởi Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM trong khuôn khổ Đề tài mã số T-KTXD-2020-77.

### Tài liệu tham khảo:

- [1] H. Endo and K. Yago, "Time history response of a large floating structure subjected to dynamic load," J Soc Nav Arch. Jpn, vol. 186, pp. 369–376, 1999.
- [2] S. G. G. Stokes, Discussion of a differential equation relating to the breaking of railway bridges. Printes at the Pitt Press by John W. Parker, 1849.
- [3] P. M. Mathews, "Vibrations of a beam on elastic foundation," Zeitschrift fur Angewandte Mathematik und Mechanik 1958; 38:105-115.
- [4] P. M. Mathews, "Vibration of a beam on elastic foundation II," ZAMM-Journal Appl. Math. Mech. Fur Angew. Math. Und Mech., vol. 39, no. 1-2, pp. 13-19, 1959.

- [5] W. Weaver Jr, S. P. Timoshenko, and D. H. Young, *Vibration problems in engineering*. John Wiley & Sons, 1990.
- [6] C. W. Cai, Y. K. Cheung, and H. C. Chan, "Dynamic response of infinite continuous beams subjected to a moving force – an exact method," *J. Sound Vib.*, vol. 123, no. 3, pp. 461-472, 1988.
- [7] Y. Chen and Y. Huang, "Dynamic stiffness of infinite Timoshenko beam on viscoelastic foundation in moving co-ordinate," *Int. J. Numer. Methods Eng.*, vol. 48, no. 1, pp. 1-18, 2000.
- [8] D. M. Yoshida and W. Weaver, "Finite element analysis of beams and plates with moving load," *Publ. Int. Assoc. Bridg. Struct. Eng.*, vol. 31, no. 1, pp. 179-195, 1991.
- [9] J. Wu, M. Lee, and T. Lai, "The dynamic analysis of a flat plate under a moving load by the finite element method," *Int. J. Numer. Method Eng.*, vol. 24, no. 4, pp. 743-762, 1987.
- [10] A. K. Gupta, A. Khanna, and D. V. Gupta, "Free vibration of clamped viscoelastic rectangular plate having bi-direction exponentially thickness variation," *J. Theor. Appl. Mech.*, vol. 47, no. 2, pp. 457-471, 2009.
- [11] C. G. Koh, J. S. Y. Ong, D. K. H. Chua, and J. Feng, "Moving element method for train-track dynamics," *Int. J. Numer. Methods Eng.*, vol. 56, no. 11, pp. 1549-1567, 2003.
- [12] I.V Sturova, "Unsteady behavior of an elastic beam floating on shallow water under external loading," *J. Appl. Mech. Tech. Phys.*, vol. 43, no. 3, pp. 415-423, 2002.
- [13] J. Z. Jin and J. T. Xing, "Transient dynamic analysis of a floating beam-water interaction system excited by the impact of a landing beam," *J. Sound Vib.*, vol. 303, no. 1, pp. 371-390, 2007
- [14] E. Watanabe, T. Utsunomiya, and C. M. Wang, "Hydroelastic analysis off pontoon-type VLFS: a literature survey," *Eng. Struct.*, vol. 26, no. 2, pp. 245-256, 2004.
- [15] Q. Liuchao and L. Hua, "Three-dimensional time-domain analysis of very large floating structures subjected to unsteady external loading," *J. offshore Mech. Arct. Eng.*, vol. 129, no. 1, pp. 21-28, 2007.
- [16] L. Qiu, "Modeling and simulation of transient responses of a flexible beam floating in finite depth water under moving loads," *Appl. Math. Model.*, vol. 33, no. 3, pp. 1620-1632, 2009.
- [17] V.H.Nhi, "Phân tích động lực học tấm Mindlin trên nền đàn nhớt chịu tải di động sử dụng phần tử 2-D chuyển động," *Đại học Bách Khoa TPHCM*, 2014.
- [18] N. X. Vũ, "Phân tích động lực học kết cấu nổi siêu lớn (VLFS) dưới tác dụng đồng thời sóng biển và tải tập trung di động sử dụng phương pháp phần tử chuyển động," p. Diễn đàn khoa học công nghệ.
- [19] J. NEWMAN, "Distributions of sources and normal dipoles over a quadrilateral panel," 1985.
- [20] Tran Minh Thi, "Dynamic Analysis of high-speed rail system on two-parameter elastic damped foundation," *VNU-HCM*, 2013.
- [21] Takatoshi Takizawa, "Response of a floating sea ice sheet to a steadily moving load," *Issue C5, Volume 93, Pages 5100-5112*, 1988..

## Đề xuất giải pháp thiết kế, cải tạo vỉa hè...

(Tiếp theo trang 38)

có ánh sáng tổng thể, rõ, đảm bảo an toàn cho người sử dụng.

- Với khu vực ở mới: Các khu vực ở, khu nghỉ cần có ranh giới và phạm vi chiếu sáng hạn chế, rõ ràng để tránh ô nhiễm đến các không gian khác. Các đô thị mật độ cao yêu cầu chiếu sáng theo gam màu nóng hoặc lạnh từng khu vực để tạo ra đặc trưng kiến trúc buổi đêm. Khuyến khích các hình thức chiếu sáng động theo không gian nhìn dọc theo các tuyến đường giao thông cao tầng, đường sắt đô thị với mật độ cao. Không gian xanh nghỉ ngơi cần giảm cường độ chiếu sáng. Cần tạo điểm nhấn ánh sáng về đêm, điểm định hướng nhìn cho vùng này bằng cách yêu cầu một số điểm cao công trình phải được chiếu sáng định hướng về đêm cho dân cư và du khách. Sử dụng năng lượng mặt trời để chiếu sáng đô thị.

### 2.5.5. Hệ thống thoát nước thải đường phố

Thay thế vật liệu tại các đoạn đường đã xuống cấp bằng tạo mảng cỏ, gạch bê tông rỗng, gạch cỏ làm tăng khả năng thấm thấu nước mưa, tập trung tại các tuyến đường thường xuyên ngập lụt.

### 3. Kết luận

Vỉa hè đô thị là yếu tố đặc trưng của quá trình công nghiệp hóa, đô thị hóa Thủ đô Hà Nội, là hệ thống hành lang không gian giao thông - văn hóa - kinh tế - xanh của đô thị

Vỉa hè là hành lang không gian giao thông cho người đi bộ - không gian chuyển tiếp giữa công trình và đường giao thông; Là hành lang văn hóa đặc trưng của thành phố Hà Nội, không gian tổ chức các hoạt động văn hóa cộng đồng, phản chiếu "sức sống" của đô thị Hà Nội; Là hành lang hỗ trợ, thúc đẩy phát triển kinh tế đô thị; Là hành lang xanh tạo lập sinh thái đô thị.

Vì vậy các giải pháp nêu trên nhằm xây dựng, định hướng triển khai thiết kế quy hoạch đầu tư, xây dựng, quản lý khai thác và vận hành vỉa hè đô thị ngay từ ban đầu không phải để khi các hoạt động diễn ra trên vỉa hè theo các chức năng vốn có của nó lại bị chính quyền thường xuyên can thiệp dẫn đến ảnh hưởng đến kinh tế, chính trị, văn hóa của đô thị. Công tác quy hoạch, thiết kế và quản lý các hệ thống tiện ích đô thị, cây xanh, hè phố tại các vỉa hè cần được sự vào cuộc và nỗ lực của chính quyền đô thị nói chung và của các ban ngành, quận phường và người dân nói riêng thì hy vọng trong tương lai gần các đô thị sẽ trở thành đô thị xanh, văn minh, văn minh, hiện đại, môi trường được cải thiện, phát triển bền vững. □

### Tài liệu tham khảo:

1. Bài báo "Tổ chức Không gian công cộng cho người khuyết tật tiếp cận sử dụng" - TS.KTS. Lê Thị Bích Thuần
2. Đề tài "Nghiên cứu đề xuất các giải pháp quản lý và khai thác cơ sở hạ tầng kỹ thuật đô thị trong phạm vi chỉ giới đường đỏ phù hợp với điều kiện của Hà Nội" - Viện Nghiên cứu Đô thị và Phát triển Hạ tầng
3. Tạp chí Kiến trúc Việt Nam
4. Báo điện tử Dân Trí.
5. Báo điện tử VN express.
6. Báo điện tử Nhân Dân.
7. website: kienviet.net