

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**

**BỘ QUỐC PHÒNG**

**HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ**

**NGUYỄN THANH HÙNG**

**PHÂN TÍCH PHI TUYẾN ĐỘNG LỰC HỌC VÀ ỔN ĐỊNH CỦA KẾT  
CẤU CÔNG TRÌNH BIỂN HỆ THANH TRÊN NỀN SAN HỒ  
CHỊU TÁC DỤNG CỦA TẢI TRỌNG SÓNG BIỂN VÀ GIÓ**

**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 Hoàng Xuân Lượng**

Phản biện 1: **GS.TS Nguyễn Văn Lệ**

Trường Đại học Thủy lợi

Phản biện 2: **GS.TS Nguyễn Quốc Bảo**

Trường Đại học Công nghệ GTVT

Phản biện 3: **GS.TS Trần Văn Liên**

Trường Đại học Xây dựng

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp Học viện  
học tại Học viện Kỹ thuật quân sự

Vào hồi      giờ      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

Các công trình biển dạng móng cọc tại vùng biển Việt Nam đến nay cơ bản đã phát huy tốt vai trò của nó, song do sự xuống cấp của công trình theo thời gian, bên cạnh sự biến đổi của môi trường trong thời gian qua, một số công trình đã giảm hiệu quả sử dụng đáng kể, ảnh hưởng lớn đến điều kiện sinh hoạt và tác chiến, đặc biệt có những công trình bị đổ do mất ổn định, gây thiệt hại to lớn cả về kinh tế, an ninh quốc phòng và sinh mạng con người. Việc nghiên cứu tính toán độ bền, độ cứng, độ ổn định để từ đó có giải pháp thiết kế, thi công và gia cường các công trình biển dạng móng cọc là vấn đề hết sức cần thiết và bắt buộc. Do vậy, đề tài ***“Phân tích phi tuyến động lực học và ổn định của kết cấu công trình biển hệ thanh trên nền san hô chịu tác dụng của tải trọng sóng biển và gió”*** của luận án là vấn đề cấp thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

### 2. Mục đích và nhiệm vụ nghiên cứu của luận án:

- Đề xuất mô hình, xây dựng thuật toán và chương trình phân tích động lực học và ổn định của kết cấu công trình biển hệ thanh trên nền san hô chịu tác dụng của tải trọng sóng và gió theo mô hình bài toán không gian với quan niệm kết cấu và nền san hô làm việc đồng thời bằng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH), kết hợp tiêu chuẩn ổn định động Budiansky - Roth có xét đến tính bền và bất biến hình của kết cấu.

- Khảo sát phân tích ảnh hưởng của một số yếu tố đến đáp ứng động lực học và ổn định của hệ, đưa ra các nhận xét, khuyến nghị định hướng tham khảo cho việc nâng cao khả năng ổn định cho các công trình biển cố định hệ thanh như nhà giàn DKI.

- Nghiên cứu thực nghiệm xem xét dao động và ổn định của mô hình hệ thanh không gian cố định trong bể tạo sóng ba chiều (3D) làm cơ sở đối chứng và kiểm tra sự phù hợp của thuật toán và độ tin cậy của chương trình tính đã lập.

### **3. Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu của luận án:**

- **Đối tượng nghiên cứu:** Kết cấu công trình biển cố định hệ thanh không gian tương tác với nền san hô (mô phỏng công trình nhà giàn DKI) chịu tải trọng sóng biển và gió.

- **Phạm vi nghiên cứu:** Nghiên cứu đáp ứng động lực học và ổn định của hệ thanh không gian tương tác với nền san hô, trong đó:

+ **Về kết cấu:** Công trình biển cố định hệ thanh không gian mô phỏng theo nhà giàn DKI, công trình biển cố định ngoài khơi.

+ **Về nền:** Nền san hô khu vực quần đảo Trường Sa.

+ **Về tải trọng:** Tải trọng sóng biển được xác định theo lý thuyết sóng Airy, lý thuyết sóng Stoke và tải trọng gió là hàm của thời gian.

- **Phương pháp nghiên cứu:** Phương pháp lý thuyết kết hợp thực nghiệm:

+ **Về lý thuyết:** Sử dụng phương pháp PTHH,

+ **Về thực nghiệm:** Thí nghiệm trực tiếp trên mô hình trong bể tạo sóng 3D.

### **4. Cấu trúc của luận án**

Luận án gồm phần mở đầu, bốn chương, phần kết luận và kiến nghị, tài liệu tham khảo, với 107 trang thuyết minh, trong đó có 13 bảng, 60 hình vẽ, đồ thị, 89 tài liệu tham khảo và 31 trang phụ lục.

Mở đầu: Trình bày tính cấp thiết của đề tài luận án và bố cục luận án.

**Chương 1:** Tổng quan về vấn đề nghiên cứu

**Chương 2:** Thuật toán PTHH phân tích động lực học và ổn định của kết cấu hệ thanh cố định trên nền san hô chịu tác dụng của tải trọng sóng biển và gió

**Chương 3:** Ảnh hưởng của một số yếu tố đến đáp ứng phi tuyến động lực học và ổn định của hệ

**Chương 4:** Nghiên cứu thực nghiệm xác định phản ứng động và ổn định của kết cấu hệ thanh mô phỏng công trình biển.

**Kết luận và kiến nghị:**

**Tài liệu tham khảo**

**Phụ lục.**

## **Chương 1**

### **TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU**

Trình bày sơ lược về nền san hô; các nghiên cứu tổng quan về công trình biển, tải trọng phổ biến tác dụng lên công trình biển và tình hình nghiên cứu tính toán kết cấu công trình biển. Từ các công trình đã công bố, tác giả rút ra các vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu và theo đó rút ra một số kết luận:

- Nền san hô có tính chất khác biệt theo từng khu vực, vị trí địa lý, vì thế kết quả của các công trình công bố với các thông số cơ bản của nền san hô là số liệu đầu vào quan trọng, làm cơ sở khoa học cho việc xây dựng mô hình, phương pháp tính công trình trên nền san hô.

- Công trình biển làm việc trong điều kiện môi trường khắc nghiệt và chịu tải trọng tác dụng phức tạp, ngoài tải trọng bản thân kết cấu và các bộ phận công tác, còn có nhiều tải trọng tác dụng, như: sóng biển, gió, dòng chảy, động đất, vv, xét về tần suất tác dụng và mức độ nguy hiểm thì phải tiến hành tính toán trường hợp tải trọng sóng biển và tải trọng gió.

- Sử dụng mô hình bài toán phẳng và mô hình bài toán không gian (kết cấu và nền không tương tác hoặc thay thế nền bằng liên kết biến dạng) trong tính toán công trình biển hệ thanh, đã được tập trung nghiên cứu và có được khá nhiều kết quả. Còn với mô hình bài toán không gian, kết cấu công trình hệ thanh và nền tương tác đến nay chỉ mới có một số rất ít công bố, chủ yếu với tải trọng tĩnh tác dụng, đặc biệt là vấn đề ổn định của kết cấu. Theo hướng này, nghiên cứu thực nghiệm là nội dung có kết quả công bố còn hạn chế, cần phải có nhiều nghiên cứu sâu hơn.

- Nghiên cứu, tính toán tĩnh và động lực học các công trình trên nền san hô thuộc các đảo nổi, đến nay đã có một số công bố với mô hình phẳng, còn đối với mô hình không gian bước đầu đã được sử dụng và đã có được một số kết quả về bài toán động lực học. Với bài toán phân tích ổn định tĩnh và động công trình biển hệ thanh làm việc trên nền san hô đến nay hầu như chưa có công trình nghiên cứu nào công bố, vì thế cần xem xét, nghiên cứu vấn đề này một cách hệ thống.

## Chương 2

# THUẬT TOÁN PTHH PHÂN TÍCH PHI TUYẾN ĐỘNG LỰC HỌC VÀ ỔN ĐỊNH CỦA KẾT CẤU HỆ THANH CỐ ĐỊNH TRÊN NỀN SAN HỒ CHỊU TÁC DỤNG CỦA TẢI TRỌNG SÓNG BIỂN VÀ GIÓ

### 2.1. Đặt vấn đề

Ổn định của kết cấu là vấn đề khó và phức tạp nhưng luôn có ý nghĩa lớn, đóng vai trò rất quan trọng trong các lĩnh vực kỹ thuật cũng như thực tiễn.

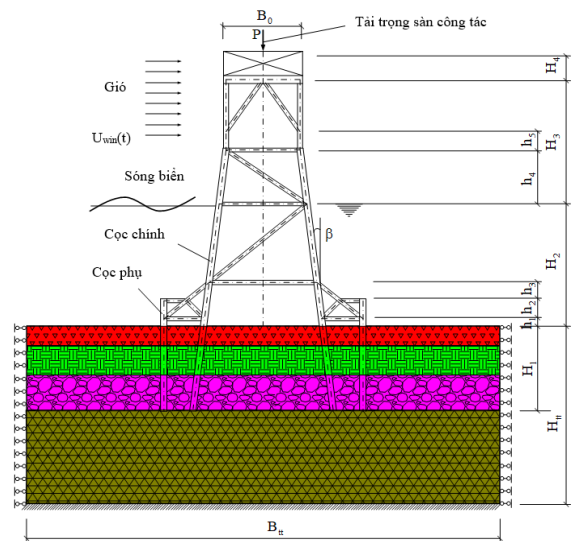
Trong chương này, tác giả thiết lập thuật toán PTHH, xây dựng chương trình tính nhằm phân tích động lực học và ổn định công trình biển cố định hệ thanh, chịu tác dụng của tải trọng sóng và gió, trong đó sử dụng lý thuyết sóng Stoke bậc 2, mô hình bài toán không gian 3D, kết cấu và nền san hô làm việc đồng thời để góp phần sâu sắc thêm bài toán dao động cũng như ổn định loại công trình trên, giúp người thiết kế có cái nhìn tổng thể, đưa lại hiệu quả cao hơn.

### 2.2. Giới thiệu bài toán và các giả thiết

Xét công trình biển cố định hệ thanh dạng DKI [36], mô hình tính gồm hệ thanh không gian và một phần nền san hô với kích thước được xác định bằng phương pháp lặp, phần nền san hô này gọi là miền nghiên cứu (Hình 2.2).

Mô hình bài toán được xây dựng trên cơ sở các giả thiết:

- Hình dạng, tính chất vật liệu của kết cấu không thay đổi theo thời gian;
- Vật liệu kết cấu và các lớp nền san hô là đàn hồi tuyến tính, biến dạng bé;
- Các thanh cọc được cắm trực tiếp xuống nền san hô, liên kết giữa cọc và nền san hô là liên kết một chiều;
- Không xét đến hiện tượng xoáy và tương tác sóng - gió.

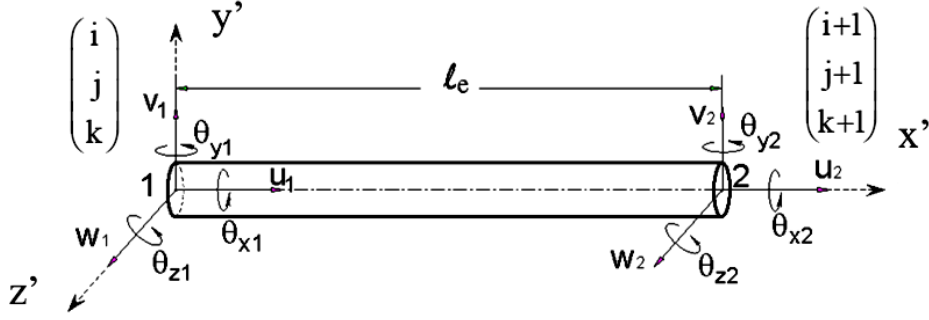


**Hình 2.2.** Hình chiếu đứng của mô hình bài toán

## 2.3. Thiết lập các phương trình chủ đạo của bài toán

### 2.3.1. Các quan hệ đối với phần tử thanh 3D

Kết cấu công trình hệ thanh (cả phần ngáp trong nền san hô) được rời rạc hóa bởi các phần tử thanh 3D hai điểm nút, mỗi nút có 6 bậc tự do:  $u_i$ ,  $v_i$ ,  $w_i$ ,  $\theta_{xi}$ ,  $\theta_{yi}$ ,  $\theta_{zi}$ , với  $i = 1, 2$  (Hình 2.3).



**Hình 2.3. Phần tử thanh 3D và các bậc tự do**

#### 2.3.1.1. Trường chuyển vị [40], [78]:

$$\begin{aligned} u &= u(x, y, z, t) = u_0(x, t) + z\theta_y(x, t) - y\theta_z(x, t), \\ v &= v(x, y, z, t) = v_0(x, t) - z\theta_x(x, t), \\ w &= w(x, y, z, t) = w_0(x, t) + y\theta_x(x, t), \end{aligned} \quad (2.1)$$

#### 2.3.1.2. Trường biến dạng [15], [78]:

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \gamma_{zx} \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \{\varepsilon^L\} + \{\varepsilon^{NL}\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^L \\ \gamma_{zx}^L \\ \gamma_{xy}^L \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^{NL} \\ \gamma_{zx}^{NL} \\ \gamma_{xy}^{NL} \end{Bmatrix}, \quad (2.4)$$

#### 2.3.1.3. Trường ứng suất [15], [78]:

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \tau_{zx} \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} E & 0 & 0 \\ 0 & G & 0 \\ 0 & 0 & G \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \gamma_{zx} \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = [D]\{\varepsilon\} = [D]\{\varepsilon^L\} + [D]\{\varepsilon^{NL}\}, \quad (2.7)$$

#### 2.3.1.4. Phương trình mô tả dao động của phần tử trong hệ tọa độ cục bộ:

$$[M]_e^b \{\ddot{q}\}_e^b + [K(\{q\}_e^b)]_e^b \{q\}_e^b = \{f\}_e^b, \quad (2.51b)$$

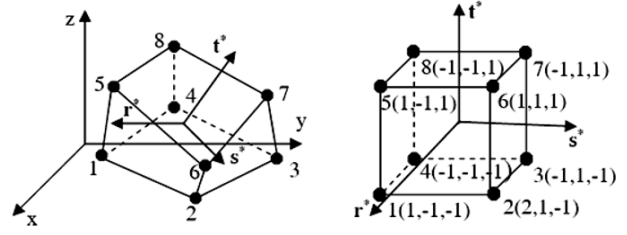
#### 2.3.1.5. Phương trình mô tả dao động của phần tử trong hệ tọa độ tổng thể:

$$[M']_e^b \{\ddot{q}'\}_e^b + [K'(\{q\}_e^b)]_e^b \{q'\}_e^b = \{f'\}_e^b, \quad (2.55)$$

### 2.3.2. Các quan hệ đối với phần tử thuộc các lớp nền san hô

#### 2.3.2.1. Các quan hệ ứng xử cơ bản của phần tử:

Các lớp nền san hô được mô hình hóa bởi các phần tử khối lục diện 8 điểm nút, tại mỗi nút có 3 bậc tự do:  $u_i, v_i, w_i$



a, Trong hệ tọa độ tổng thể b, Trong hệ tọa độ cục bộ  
**Hình 2.4.** Phân tử lục diện 8 điểm nút

Ma trận độ cứng của phần tử xác định theo biểu thức [40]:

$$[K]_e^s = \int_{V_e} [B]^T [D^s] [B] dV_e, \quad (2.69)$$

$24 \times 24$      $V_e$

Ma trận khối lượng phần tử được xác định bởi [78]:

$$[M]_e^s = \int_{V_e} \rho^s [N]^T [N] dV_e, \quad (2.73)$$

$24 \times 24$      $V_e$

Và véc tơ tải trọng nút phần tử [40], [78]:

$$\{f\}_e^s = \int_{V_e} [N]^T \{g\} dV + \int_{A_e} [N]^T \{p\} dA, \quad (2.74)$$

#### 2.3.2.2. Phương trình mô tả dao động của phần tử:

Tương tự như đối với phần tử thanh, phương trình mô tả dao động của phần tử nền trong hệ tọa độ tổng thể có dạng sau:

$$[M']_e^s \{\ddot{q}\}_e^s + [K']_e^s \{q'\}_e^s = \{f'\}_e^s. \quad (2.75)$$

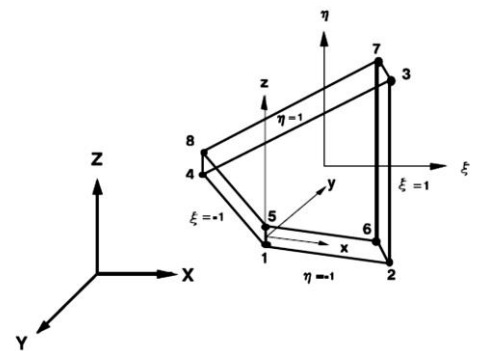
### 2.3.3. Quan hệ đối với phần tử thuộc lớp tiếp xúc giữa thanh và nền san hô

Sử dụng phần tử tiếp xúc (PTTX) 3 chiều (3D) để mô hình hóa lớp tiếp xúc giữa cọc và nền san hô.

Véc tơ chuyển vị tại một điểm thuộc phần tử được biểu diễn [48], [49]:

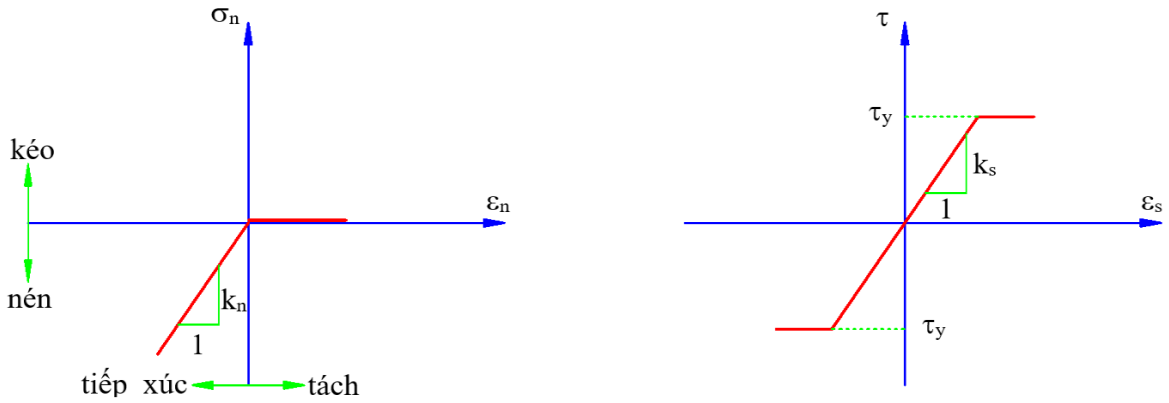
$$\{u_i\} = [B_i] \{q_i\}, \quad (2.76)$$

Ma trận độ cứng của PTTX trong hệ tọa độ cục bộ:  $[K]_e^{slip} = \iint [N]^T [k] [N] dx dy,$  (2.81)



**Hình 2.5.** Phần tử tiếp xúc 3 chiều (3D)

Quy luật biến thiên ứng suất theo biến dạng trong phần tử (Hình 2.6).

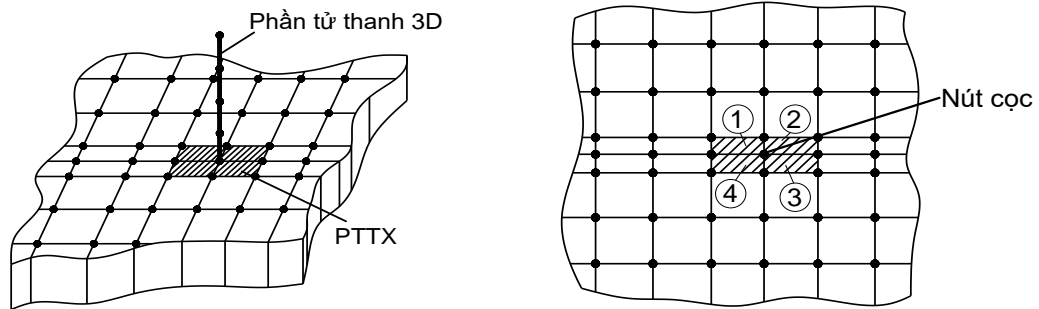


a, Quan hệ ứng suất - biến dạng pháp tuyến

b, Quan hệ ứng suất - biến dạng tiếp tuyến

**Hình 2.6.** Quy luật biến thiên ứng suất theo biến dạng trong phần tử

Mô hình PTHH mô tả liên kết nút trong vùng chứa cọc (thanh 3D), phần tử tiếp xúc và nền san hô được thể hiện trên như hình 2.7.



a) Hình không gian

b) Hình chiếu bằng

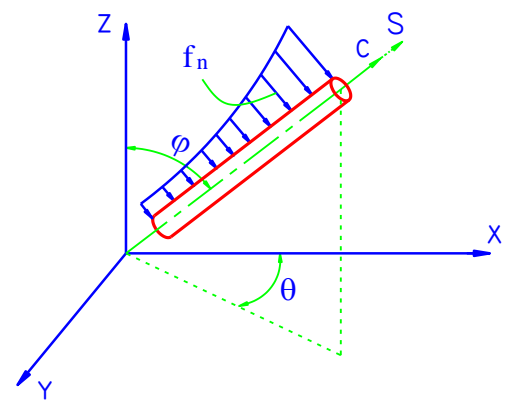
**Hình 2.7.** Mô hình PTHH khu vực xung quanh cọc

### 2.3.4. Tải trọng sóng và gió tác dụng lên công trình

#### 2.3.4.1. Tải trọng sóng tác dụng lên phần tử thanh:

Áp dụng phương trình Morison, tải trọng tác dụng lên phần tử thanh theo phương X, Y và Z xác định bởi [82], [84]:

$$\begin{aligned} f_X &= \frac{1}{2} \rho_w C_D D |V_X| V_X + \rho_w C_1 \frac{\pi D^2}{4} a_X, \\ f_Y &= \frac{1}{2} \rho_w C_D D |V_Y| V_Y + \rho_w C_1 \frac{\pi D^2}{4} a_Y, \\ f_Z &= \frac{1}{2} \rho_w C_D D |V_Z| V_Z + \rho_w C_1 \frac{\pi D^2}{4} a_Z, \end{aligned} \quad (2.86)$$



**Hình 2.8.** Phần tử thanh chịu tải trọng sóng

### 2.3.4.2. Tải trọng gió tác dụng lên công trình:

Áp lực gió phân bố theo chiều dài thanh được xác định bởi:

$$q_{win}(t) = \frac{1}{2} BC_p \rho_{air} [U_{win}(t)]^2 \cos\phi, \quad (2.92)$$

Véc tơ tải trọng nút của phần tử thanh do áp lực gió gây nên [36]:

$$\{f\}_e^{win} = \left\{ \int_0^{L_e} [N]^T \{p_{win}(t)\} ds \right\}. \quad (2.95)$$

## 2.4. Phương trình phi tuyến mô tả dao động của hệ

### 2.4.1. Tập hợp ma trận và véc tơ toàn hệ

Thực hiện thông qua chương trình tính Buckling\_3D\_Frame\_Coral\_2019.

### 2.4.2. Phương trình mô tả dao động của hệ

$$[M]\{\ddot{q}\} + [C(\{q\})]\{\dot{q}\} + [K(\{q\})]\{q\} = \{f\}, \quad (2.105)$$

Đây là phương trình động lực học phi tuyến, được giải bằng cách kết hợp phương pháp tích phân trực tiếp Newmark và lặp Newton-Raphson.

### 2.4.3. Khử biên

Việc xử lý điều kiện biên được thực hiện trên cơ sở tín hiệu bậc tự do trên biên, tùy theo các loại liên kết, chúng ta sẽ biết được tính chất của các bậc tự do và theo đó thứ tự các hàng, cột trong hệ phương trình (2.105) bị xóa một cách thích hợp.

## 2.5. Phân tích ổn định động của hệ

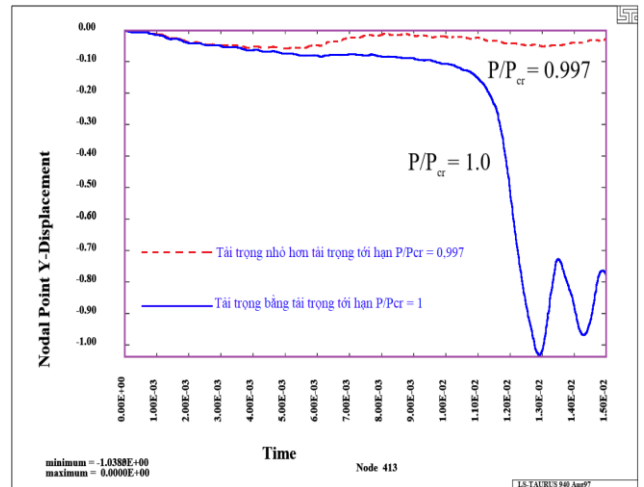
Việc phân tích ổn định hay mất ổn định của hệ dựa vào đáp ứng chuyển vị của điểm thuộc đỉnh công trình khi giải phương trình (2.105). Các giá trị thay đổi làm cho hệ chuyển từ trạng thái ổn định sang mất ổn định được gọi là các giá trị tới hạn, chúng có thể là: vận tốc gió, chiều cao sóng, đường kính cọc chính, cọc phụ, mô đun đàn hồi nền san hô, vv [42].

### 2.5.1. Tiêu chuẩn kiểm tra bền đối với các thanh cấu thành kết cấu

$$\text{Điều kiện bền ứng suất pháp: } \sigma_{max} \leq [\sigma], \quad (2.106)$$

### 2.5.2. Tiêu chuẩn ổn định động của Budiansky – Roth

Việc giải phương trình dao động ứng với các điều kiện khác nhau của tải trọng cho các đáp ứng động khác nhau, trong một điều kiện nào đó, biên độ chuyển vị lớn nhất của hệ tăng theo thời gian và có bước nhảy đột ngột, hệ thực hiện dao động quanh vị trí cân bằng mới khác so với vị trí cân bằng ban đầu (Hình 2.9) thì kết cấu được xem là mất ổn định, tải trọng tương ứng để xảy ra hiện tượng này được gọi là lực tới hạn.



Hình 2.9. Biểu đồ dấu hiệu mất ổn định động theo tiêu chuẩn Budiansky - Roth

### 2.5.3. Phân tích ổn định của kết cấu công trình hệ thanh trên nền san hô chịu tác dụng của tải trọng sóng và gió

Giải phương trình (2.105), tại mỗi bước tải trọng tiến hành kiểm tra điều kiện bền (2.106) và xây dựng các đồ thị đáp ứng động tương ứng của điểm thuộc đỉnh kết cấu, từ đó cho phép ta kết luận về khả năng ổn định của hệ.

## 2.6. Phân tích phi tuyến động lực học của hệ theo thuật toán PTHH

Hệ phương trình (2.105) sau khi khử biên trở thành:

$$[\bar{M}]\{\ddot{\bar{q}}\} + [\bar{C}(\{\bar{q}\})]\{\dot{\bar{q}}\} + [\bar{K}(\{\bar{q}\})]\{\bar{q}\} = \{\bar{f}\}. \quad (2.107)$$

Dùng thuật toán tích phân trực tiếp Newmark kết hợp lặp Newton-Raphson để giải hệ phương trình (2.107).

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

### 2.7.1. Chương trình tính

Chương trình tính B3DFC\_2019 được viết bằng ngôn ngữ lập trình Matlab. Chương trình có khả năng phân tích kết cấu công trình hệ thanh, chịu tác dụng đồng thời của tải trọng sóng biển và tải trọng gió, sử dụng mô hình bài toán không gian, hệ kết cấu và nền san hô tương tác đầy đủ.

### 2.7.2. Kiểm tra độ tin cậy của chương trình

**Bài toán 01:** Phân tích bài toán dao động riêng của kết cấu công trình biển hệ thanh bằng thép như trong công trình nghiên cứu của các tác giả Mohamed Nour El-Din, Jinkoo Kim [65].

**Bảng 2.3.** Kết quả so sánh 4 tần số riêng đầu tiên

Tần số riêng [Hz]	Phương pháp		Sai số (%)
	<i>Mohamed Nour El-Din, Jinkoo Kim [65]</i>	<i>B3DFC_2019</i>	
$f_1$	0,521	0,548	5,08
$f_2$	1,887	1,973	4,56
$f_3$	2,381	2,553	7,23
$f_4$	3,704	3,942	6,43

**Bài toán 02:** Phân tích bài toán kết cấu công trình biển hệ thanh trên nền san hô chịu tác dụng của tải trọng sóng và gió, với các số liệu kết cấu, nền và tải trọng như trong công trình của tác giả Lê Hoàng Anh [1].

**Bảng 2.4.** So sánh giá trị lớn nhất của các đại lượng tính

Phương pháp	Chuyển vị [cm]		Gia tốc [ $m/s^2$ ]		Mô men chân cọc [kNm]	
	$U_x^{\max}$	$U_y^{\max}$	$\ddot{U}_x^{\max}$	$\ddot{U}_y^{\max}$	$M_z^{\text{Chinh}}$	$M_z^{\text{Phu}}$
<i>Lê Hoàng Anh</i>	13,866	0,8605	1,3216	0,0215	3518,16	6725,94
<i>B3DFC_2019</i>	14,351	0,8872	1,2582	0,0211	3430,21	6544,33
<i>Sai số [%]</i>	3,5	3,1	4,8	1,8	2,5	2,7

## 2.8. Kết luận chương 2

Thiết lập phương trình phi tuyến mô tả dao động của hệ; xây dựng thuật toán PTHH giải phương trình; thiết lập đ ược chương trình tính B3DFC\_2019 để phân tích phi tuyến động lực học và ổn định của kết cấu hệ thanh không gian - nền san hô làm việc đồng thời, chịu tác dụng của tải trọng sóng và gió. Chương trình tính đã được kiểm chứng và có cơ sở tin cậy.

### Chương 3

## ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ YẾU TỐ ĐẾN ĐÁP ỨNG PHI TUYẾN ĐỘNG LỰC HỌC VÀ ỔN ĐỊNH CỦA HỆ

### 3.1. Đặt vấn đề

Khảo sát ảnh hưởng của một số yếu tố đến đáp ứng phi tuyến động lực học và ổn định của công trình nhà giàn DKI/7 trên nền san hô chịu tác dụng của tải trọng sóng và gió.

Với chương trình tính đã được thiết lập sử dụng tính toán số, ngoài giá trị thực tiễn, kết quả của chương này còn cho phép tính toán đối với các loại công trình biển khác như: tua bin gió, nhà cao tầng trên các đảo, ...

### 3.2. Bài toán xuất phát: mô hình bài toán như hình 3.1 hoặc hình 2.2 với các thông số tính toán cụ thể như sau:

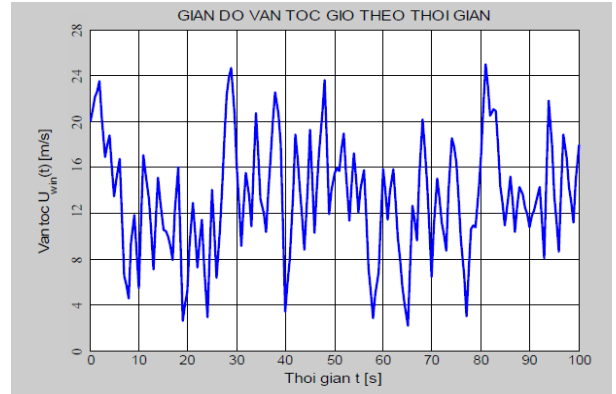
Hệ thanh kết cấu làm bằng vật liệu thép có:  $E = 2,1 \times 10^{11} \text{N/m}^2$ ,  $\nu = 0,3$ ,  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ . Đường kính ngoài và chiều dày thành ống của cọc chính là  $D_{ch} = 1,35 \text{m}$ ;  $t_{ch} = 3,8 \text{cm}$ , của cọc phụ là  $D_{ph} = 1,44 \text{m}$ ,  $t_{ph} = 3,8 \text{cm}$ , của thanh xiên và thanh ngang là  $D_{th} = 0,711 \text{ m}$ ,  $t_{th} = 2,54 \text{ cm}$ . Cọc được đóng sâu  $H_1 = 20 \text{m}$  vào nền san hô, nghiêng góc  $\beta = 8^\circ$ . Các kích thước  $H_2 = 20,1 \text{ m}$ ;  $H_3 = 20,5 \text{ m}$ ,  $H_4 = 4 \text{m}$ ,  $h_1 = 1,5 \text{m}$ ,  $h_2 = 3,2 \text{m}$ ,  $h_3 = 2,7 \text{m}$ ,  $h_4 = 8,9 \text{m}$ ,  $h_5 = 2,7 \text{m}$ ,  $B_0 = 12 \text{m}$ , tổng diện tích phần chắn gió quy đổi của sàn công tác là  $12 \text{m}^2$ .

- Nền san hô: Đặc trưng cơ lý của các lớp vật liệu nền được lấy theo kết quả thí nghiệm tại một đảo thuộc quần đảo Trường Sa [13], [14].

**Bảng 3.1. Đặc trưng vật liệu các lớp nền san hô**

Lớp	Độ sâu (m)	$E_f$ (N/cm <sup>2</sup> )	$\nu_f$	$\rho_f$ (kg/m <sup>3</sup> )	Hệ số ma sát với thép $f_{ms}$	Tỷ số cản $\xi$
1	2	$2,83 \times 10^4$	0,22	$2,55 \times 10^3$	0,21	0,05
2	10	$2,19 \times 10^5$	0,25	$2,60 \times 10^3$	0,32	
3	20	$2,03 \times 10^6$	0,22	$2,95 \times 10^3$	0,33	
4	50	$2,71 \times 10^5$	0,25	$2,00 \times 10^3$	0,35	

- Tải trọng: Sóng có chiều cao  $H_w=9,0\text{m}$ , chu kỳ  $T_w = 7,81\text{s}$ ; hệ số  $C_D = 0,75$ ;  $C_1=2,0$ ;  $C_p = 1$ , khối lượng riêng  $\rho_w = 1050 \text{ kg/m}^3$ ;  $\rho_{\text{air}}=1,225 \text{ kg/m}^3$ . Giảm đồ vận tốc gió  $U_{\text{win}}(t)$  như trên hình 3.2 [43]. Trọng lượng của sàn công tác  $P_0=6000\text{kN}$ . Khối gia tải  $\varnothing 8,0 \times 3\text{m}$ ;  $E_c = 2,4 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ ;  $\nu=0,35$ ;  $\rho_c = 2500 \text{ kg/m}^3$ .



**Hình 3.2.** Giảm đồ vận tốc gió  $U_{\text{win}}(t)$  với  $U_{\text{max}}= 26,5\text{m/s}$  [43]

**Bài toán dao động riêng:** Giải bài toán dao động riêng, có được các tần số riêng và dạng dao động riêng tương ứng. Ở đây tác giả viện dẫn 10 tần số riêng đầu tiên của hệ (Hz):  $f_1 = 3,385$ ,  $f_2 = 3,513$ ,  $f_3 = 4,688$ ,  $f_4 = 4,912$ ,  $f_5=4,976$ ,  $f_6 = 5,486$ ,  $f_7 = 5,581$ ,  $f_8 = 5,711$ ,  $f_9 = 5,810$ ,  $f_{10} = 5,844$ .

**Bài toán dao động cưỡng bức:** Sử dụng chương trình B3DFC\_2019 giải bài toán với các thông số đã cho để xem xét ảnh hưởng của tính chất phi tuyến hình học, kết quả như Bảng 3.2:

**Bảng 3.2.** Giá trị lớn nhất của chuyển vị, vận tốc, gia tốc tại đỉnh giàn và mô men uốn tại mặt cắt chân cọc chính, cọc phụ

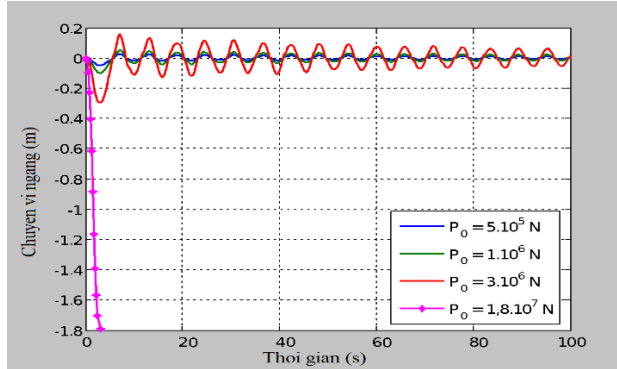
Trường hợp	Đại lượng				
	Chuyển vị $U_x^{\text{max}} [m]$	Vận tốc $\dot{U}_x^{\text{max}} [m/s]$	Gia tốc $\ddot{U}_x^{\text{max}} [m/s^2]$	Mô men uốn chân cọc [Nm]	
				$M_y^{\text{Chinh}}$	$M_y^{\text{Phu}}$
Tuyến tính	0,0441	0,379	2,479	$1,192 \cdot 10^6$	$3,534 \cdot 10^6$
Phi tuyến	0,0493	0,336	2,179	$1,095 \cdot 10^6$	$3,224 \cdot 10^6$
Sai số	11,79	11,35	12,10	8,14	8,77

**Nhận xét:** Mômen uốn chân cọc phụ khá lớn so với giá trị tương ứng tại chân cọc chính, nên có thể khẳng định tác dụng chịu lực của cọc phụ trong kết cấu. Ngoài ra, sự khác biệt giữa biểu đồ đáp ứng chuyển vị cũng như giá trị lớn nhất của các đại lượng giữa 2 trường hợp tuyến tính và phi tuyến cho thấy việc giải bài toán phi tuyến hình học trong trường hợp này như nội dung luận án giải quyết là cần thiết.

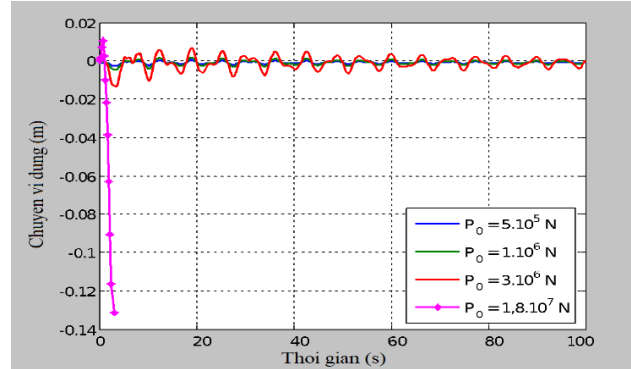
### 3.3. Ảnh hưởng của một số yếu tố đến dao động và ổn định của hệ

#### 3.3.1. Ảnh hưởng của lực quy đổi sàn công tác

Giải bài toán với giá trị của lực  $P_0$  biến thiên từ  $5.10^5$  N đến  $1,8.10^7$  N. Kết quả đáp ứng động của hệ thể hiện như hình 3.8, 3.9 và Bảng 3.3.



**Hình 3.8.** Đáp ứng chuyển vị ngang  $U_x$  của đỉnh giàn



**Hình 3.9.** Đáp ứng chuyển vị đứng  $W$  của đỉnh giàn

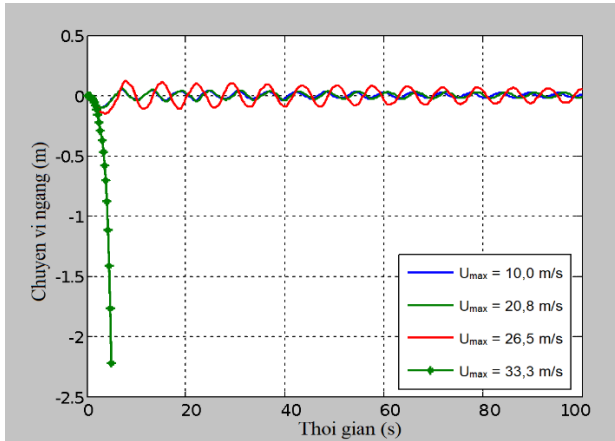
**Bảng 3.3** Giá trị lớn nhất về chuyển vị, gia tốc tại đỉnh giàn ứng với các giá trị lực thẳng đứng  $P_0$  của sàn công tác tác dụng lên đỉnh giàn khác nhau.

$P_0$ [N]	$U_x^{\max}$ [m]	$W_{\max}$ [m]	$\ddot{U}_x^{\max}$ [m/s <sup>2</sup> ]	$\ddot{W}_{\max}$ [m/s <sup>2</sup> ]
$5.10^5$	0,0492	0,00277	5,697	1,905
$1.10^6$	0,0984	0,00469	11,399	1,885
$3.10^6$	0,2954	0,0136	34,144	3,845
$1,8.10^7$	1,7924	0,1312	131,253	22,219

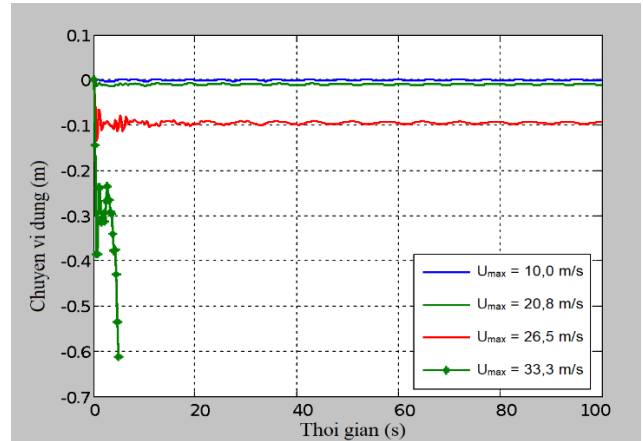
**Nhận xét:** Khi lực nén quy đổi của sàn công tác  $P_0$  tăng, các giá trị chuyển vị, gia tốc tại đỉnh của giàn cũng đều tăng. Trong phạm vi lực quy đổi  $P_0$  của sàn công tác bé hơn  $1,8.10^7$ N, nhìn chung dao động của giàn không có bất thường, giàn ổn định. Khi tải trọng này lân cận  $1,8.10^7$ N, hiện tượng chuyển vị ngang tại đỉnh giàn (Tương ứng mô men uốn cả chân cọc chính và phụ) tăng đột biến, điều này thể hiện trên đồ thị đáp ứng chuyển vị như trên. Để xác định được giá trị tới hạn của  $P_0$ , tại thời điểm lân cận với việc tăng đột biến về chuyển vị, cần tiến hành chia nhỏ bước thời gian tích phân so với bước thời gian tích phân ban đầu, giá trị của  $P_0$  ứng với thời điểm chuyển vị tăng đột biến được xem là giá trị tới hạn  $P_0^{\text{th}}$ . Trong trường hợp này lực nén quy đổi của sàn công tác tới hạn là  $P_0^{\text{th}} = 1,8 \times 10^7$  N.

### 3.3.2. Ảnh hưởng của gió

Để xem xét ảnh hưởng của gió đến dao động và ổn định của giàn, tác giả tính toán với dạng giản đồ vận tốc gió như hình 3.2, song vận tốc gió cực đại  $U_{max}$  của mỗi trường hợp là khác nhau và có chiều cao sóng  $H_w$  tương ứng:  $U_{max}(H_w) = 10\text{m/s}(4,2\text{m}); 20,8\text{m/s}(7,0\text{m}); 26,5\text{m/s}(9,0\text{m}); 33,3\text{m/s}(14,0\text{m})$ .



**Hình 3.12.** Chuyển vị ngang tại đỉnh giàn với vận tốc gió khác nhau



**Hình 3.13.** Chuyển vị đứng tại đỉnh giàn với vận tốc gió khác nhau

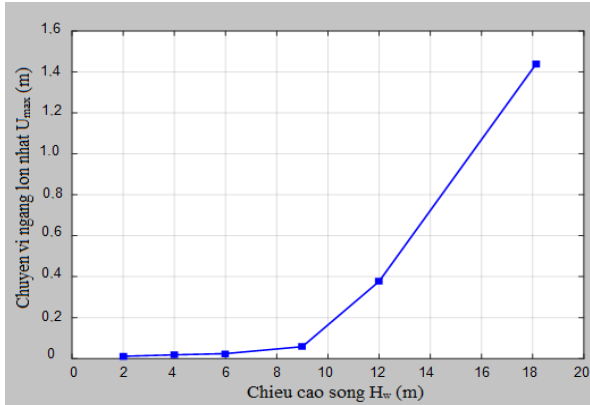
**Bảng 3.4.** Giá trị lớn nhất của chuyển vị, gia tốc tại đỉnh giàn với các trường hợp gió khác nhau

$U_{max}[\text{m/s}]$	$U_x^{\max}[\text{m}]$	$W_{\max}[\text{m}]$	$\ddot{U}_x^{\max}[\text{m/s}^2]$	$\ddot{W}_{\max}[\text{m/s}^2]$
10,0	0,0184	0,00469	1,399	1,085
20,8	0,0313	0,0135	1,849	1,376
26,5	0,0493	0,0345	2,179	1,996
33,3	2,2248	0,6122	24,421	15,297

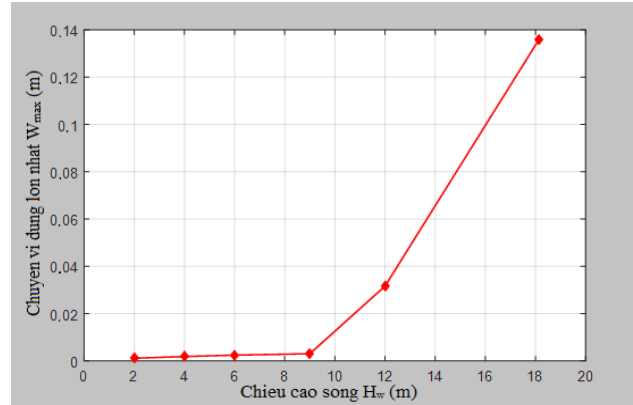
**Nhận xét:** Khi vận tốc gió thay đổi theo xu hướng tăng, đáp ứng động lực học của giàn diễn ra phức tạp, khi vận tốc gió lớn nhất trong giản đồ gia tốc gió lân cận 33m/s hiện tượng chuyển vị ngang và đứng của đỉnh giàn tăng đột biến xuất hiện. Cũng tương tự như phần trên, trong trường hợp này giá trị của bước thời gian tính trong các bước lặp được giảm xuống để xác định được một cách khá chính xác giá trị tới hạn của vận tốc gió, kết quả có được: với giản đồ vận tốc gió như trên hình 3.2 thì vận tốc gió lớn nhất đạt tới hạn là  $U_{max}^{\text{th}} = 33,3\text{m/s}$  và tương ứng chiều cao sóng  $H_w = 14\text{m}$ .

### 3.3.3. Ảnh hưởng của sóng

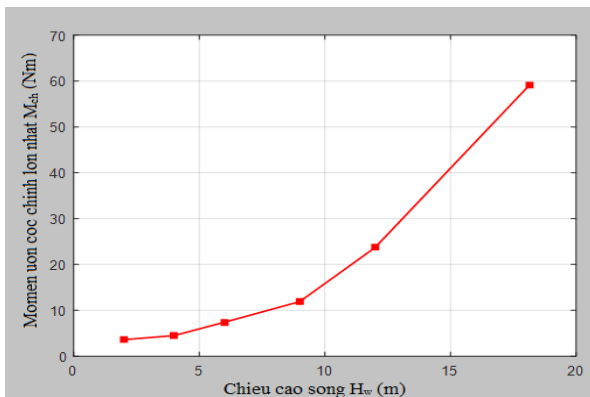
Xem xét bài toán với thông số  $H_w$  thay đổi, còn các đại lượng khác giữ nguyên như bài toán xuất phát. Kết quả thể hiện như trong bảng 3.5 và các đồ thị hình 3.16 đến 3.19.



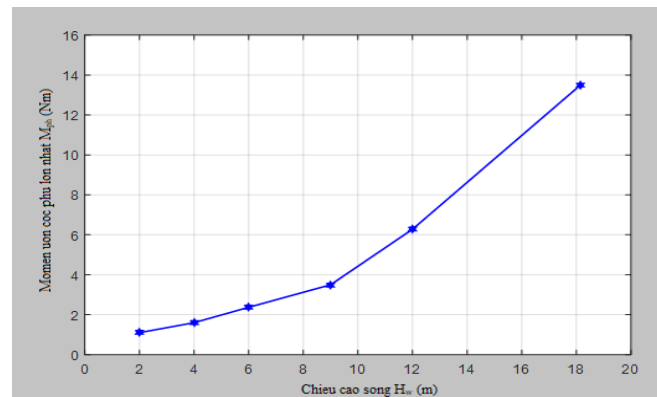
**Hình 3.16.** Quan hệ chiều cao sóng và chuyển vị ngang lớn nhất



**Hình 3.17.** Quan hệ chiều cao sóng và chuyển vị đứng lớn nhất



**Hình 3.18.** Quan hệ chiều cao sóng và mô men uốn cọc chính lớn nhất



**Hình 3.19.** Quan hệ chiều cao sóng và mô men uốn cọc phụ lớn nhất

**Bảng 3.5.** Quan hệ giữa giá trị lớn nhất của chuyển vị tại đỉnh giàn, mô men uốn chân cọc với chiều cao sóng

$H_w$ [m]	$U_x^{\max}$ [m]	$W_{\max}$ [m]	Mô men uốn chân cọc [Nm]	
			$M_y^{\text{Chinh}}$	$M_y^{\text{Phu}}$
2,0	0,011	0,0011	3,6	1,1
4,0	0,018	0,0018	4,5	1,6
6,0	0,024	0,0024	7,4	2,37
9,0	0,049	0,003	11,9	3,5
12,0	0,377	0,0416	23,7	6,28
18.14	1,44	0,136	59,1	13,49

**Nhận xét:** Khi chiều cao sóng biển tăng, lực tác dụng lên giàn tăng, nội lực xuất hiện trong giàn tăng. Với chiều cao sóng biển nhỏ hơn 18m hệ dao động ổn định; chiều cao sóng đạt lân cận 18m, chuyển vị của giàn có xu hướng tăng nhanh, khi đó chỉ cần tăng chiều cao sóng một đại lượng bé thì chuyển vị tại đỉnh giàn cũng tăng nhanh, cho đến khi chiều cao sóng đạt lân cận 18,14m thì chuyển vị tại đỉnh giàn tăng đột biến, trong trường hợp này có thể xem  $H_w^{th}=18,14m$  là giá trị tới hạn của chiều cao sóng.

### 3.3.4. Ảnh hưởng của vật liệu kết cấu

Xem xét ảnh hưởng của vật liệu kết cấu, tác giả tính toán với mô đun đàn hồi vật liệu giàn biến thiên từ  $1,7 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$  đến  $2,1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$  trong khi các điều kiện khác của bài toán giữ nguyên như mục 3.2.

**Bảng 3.6.** Quan hệ giữa chuyển vị lớn nhất tại đỉnh giàn, mô men uốn chân cọc với mô đun đàn hồi vật liệu

E [N/m <sup>2</sup> ] ( $\times 10^{11}$ )	$U_x^{max}$ [m]	$W_{max}$ [m]	Mô men uốn chân cọc [ $\times 10^6 \text{ Nm}$ ]		$H_w^{th}$ [m]	$U_{max}^{th}$ [m/s]
			$M_y^{Chinh}$	$M_y^{Phu}$		
1,7	0,367	0,105	1,753	5,751	13,06	26,7
1,8	0,171	0,072	1,461	4,602	13,33	27,2
1,9	0,088	0,054	1,269	3,871	14,25	28,4
2,0	0,054	0,041	1,142	3,406	15,62	30,2
2,1	0,0493	0,035	1,095	3,224	18,14	33,3

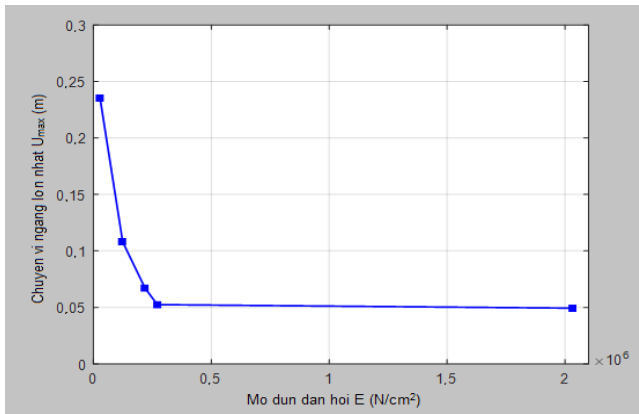
**Nhận xét:** Khi giá trị mô đun đàn hồi của vật liệu giàn thay đổi giảm từ  $2,1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$  đến  $1,7 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$  thì chuyển vị lớn nhất của đỉnh giàn và mô men uốn tại chân cọc chính, phụ tăng một cách phi tuyến, trong đó tốc độ tăng lớn nhất khi mô đun đàn hồi biến thiên từ  $1,7 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$  đến  $1,9 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$  (4,17 lần - chuyển vị ngang, 1,94 lần - chuyển vị đứng; 38,14% - mômen chân cọc chính, 48,57% - mômen chân cọc phụ). Trong khi đó giá trị tới hạn của chiều cao sóng, vận tốc lớn nhất tới hạn của gió giảm đáng kể khi mô đun đàn hồi vật liệu giàn giảm như trên (28,1% - chiều cao sóng tới hạn, 19,8% - vận tốc lớn nhất tới hạn của gió). Do vậy, để phù hợp với điều kiện thực tế của kỹ thuật, kinh tế, tác giả đề nghị sử dụng vật liệu có mô đun đàn hồi trong khoảng  $1,9 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$  đến  $2,1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$  cho công trình nhà giàn có mô hình như bài toán luận án.

### 3.3.5. Ảnh hưởng của nền

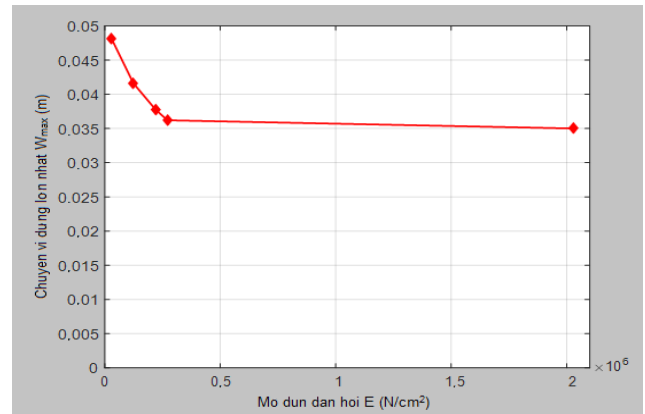
Khảo sát ảnh hưởng của mô đun đàn hồi lớp nền có độ cứng lớn nhất (nền số 3) thuộc miền nghiên cứu, các giá trị của mô đun đàn hồi thay đổi đều phù hợp với số liệu thực của các lớp nền san hô đã công bố. Kết quả sự phụ thuộc của chuyển vị ngang, đứng lớn nhất tại đỉnh giàn và chiều cao sóng tới hạn, vận tốc gió lớn nhất tới hạn vào mô đun đàn hồi thể hiện như trong bảng 3.8 và đồ thị hình 3.26 đến 3.29.

**Bảng 3.8.** Quan hệ giữa giá trị lớn nhất của chuyển vị tại đỉnh giàn, chiều cao sóng tới hạn và vận tốc gió lớn nhất tới hạn với mô đun đàn hồi vật liệu nền san hô

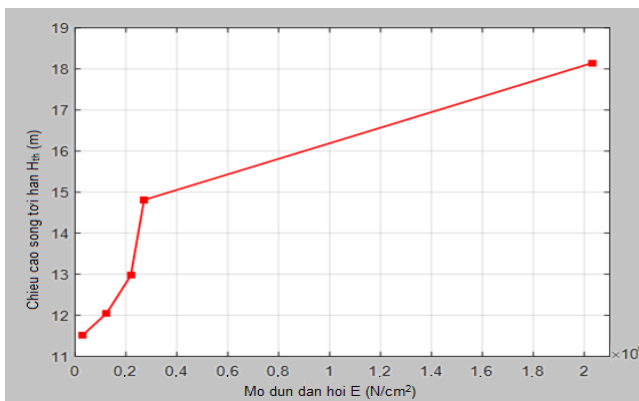
$E_f$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$U_x^{\max}$ [m]	$W_{\max}$ [m]	$H_w^{\text{th}}$ [m]	$U_{\max}^{\text{th}}$ [m/s]
$2,83 \times 10^4$	0,2352	0,0482	11,51	21,3
$1,24 \times 10^5$	0,1084	0,0416	12,05	22,7
$2,19 \times 10^5$	0,0671	0,0378	12,97	25,3
$2,71 \times 10^5$	0,0524	0,0362	14,81	29,9
$2,03 \times 10^6$	0,0493	0,0351	18,14	33,3



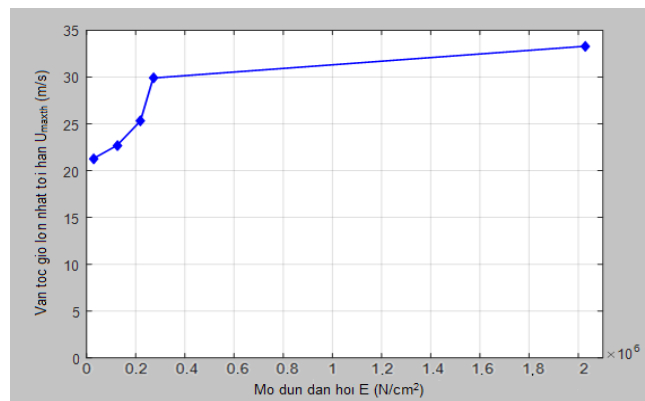
**Hình 3.26.** Quan hệ mô đun đàn hồi vật liệu nền và chuyển vị ngang lớn nhất



**Hình 3.27.** Quan hệ mô đun đàn hồi vật liệu nền và chuyển vị đứng lớn nhất



**Hình 3.28.** Quan hệ mô đun đàn hồi vật liệu nền và chiều cao sóng tới hạn



**Hình 3.29.** Quan hệ mô đun đàn hồi vật liệu nền và vận tốc gió lớn nhất tới hạn

**Nhận xét:** Khi mô đun đàn hồi lớp nền san hô giảm thì chuyển vị ngang và đứng tại đỉnh của giàn đều tăng, trong khi các đại lượng tới hạn như chiều cao sóng, vận tốc gió lớn nhất tác dụng vào công trình đều giảm một cách phi tuyến. Trong nghiên cứu cũng cho thấy chuyển vị đứng của đỉnh giàn chịu ảnh hưởng không nhiều của mô đun đàn hồi vật liệu nền lớp này, theo tác giả điều này là phù hợp vì chuyển vị đứng bao gồm chuyển vị do biến dạng của giàn và chuyển vị do dịch chuyển đứng tương đối giữa cọc và nền, trong đó yếu tố thứ hai này phụ thuộc lớn vào hệ số ma sát giữa vật liệu san hô và vật liệu cọc, ít chịu ảnh hưởng của mô đun đàn hồi lớp san hô.

### **3.4. Kết luận chương 3**

- So sánh bài toán luận án giải quyết (phi tuyến hình học) với bài toán tuyến tính cho thấy việc tính toán kết cấu công trình biển hệ thanh cố định trên nền san hô ngoài quan niệm tính liên kết một chiều của nền san hô thì việc xét đến phi tuyến hình học đối với kết cấu là khó nhưng cần thiết.

- Có được số liệu đáp ứng động lực học phi tuyến và ổn định của kết cấu hệ thanh không gian làm việc đồng thời với nền san hô chịu tác dụng của tải trọng sóng biển và gió, đặc biệt là có được các giá trị tới hạn khi xem xét bài toán ổn định động. Đồng thời các kết quả tính toán số phù hợp quy luật cơ học và toán học, điều này có tác dụng tiếp tục khẳng định sự phù hợp của thuật toán và độ tin cậy của chương trình tính đã lập.

- Với việc thay đổi các thông số tải trọng, kết cấu, nền san hô cho thấy mức độ ảnh hưởng của các yếu tố này đến dao động và các giá trị tới hạn của hệ, trong đó gió, sóng và nền san hô là các yếu tố ảnh hưởng lớn nhất. Các nhận xét, khuyến cáo kỹ thuật được chỉ ra có tác dụng làm cơ sở cho việc lựa chọn các thông số hợp lý thiết kế cho công trình biển và lựa chọn khu vực thi công đối với loại công trình này cũng như giải pháp gia cường, tăng sức kháng lực cho các công trình cũ hiện đang sử dụng.

- Từ kết quả tính toán cho thấy việc quan tâm đến dao động đối với công trình biển hệ thanh là cần thiết, song vấn đề ổn định của loại công trình này trước tác động của sóng biển và gió là hết sức quan trọng, cần được quan tâm trong quá trình thiết kế, thi công và khai thác, sử dụng. Nền là một trong các yếu tố có ảnh hưởng lớn đến đáp ứng động lực học, ổn định của công trình, vì vậy một lần nữa khẳng định sử dụng mô hình tương tác đầy đủ kết cấu - nền để tính toán cho công trình biển hệ thanh chịu tác dụng của tải trọng sóng, gió, dòng chảy, ... là phù hợp.

## Chương 4

# NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH PHẢN ỨNG ĐỘNG VÀ ỔN ĐỊNH CỦA KẾT CẤU HỆ THANH MÔ PHỎNG CÔNG TRÌNH BIỂN

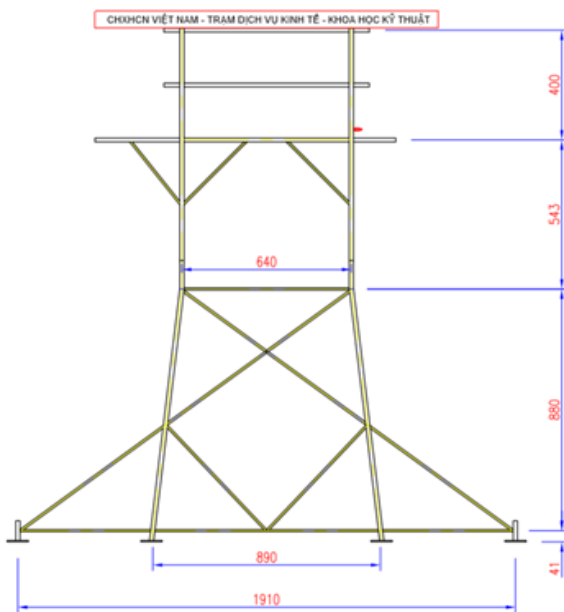
### 4.1. Mục đích thí nghiệm

- Bổ sung kết quả thực nghiệm về phản ứng động và ổn định của kết cấu giàn thép mô phỏng một dạng của công trình biển DKI trong bể tạo sóng trong hệ thống kết quả thí nghiệm cơ học.
- Bộ số liệu có được từ thực nghiệm góp phần kiểm chứng độ tin cậy của thuật toán và chương trình tính B3DFC\_2019 đã được thiết lập trong chương 2.
- Nâng cao năng lực tổ chức thực hiện thí nghiệm và thu thập, xử lý và đánh giá kết quả thí nghiệm trong lĩnh vực cơ học

### 4.2. Mô hình và thiết bị thí nghiệm

#### 4.2.1. Mô hình thí nghiệm

Mô hình thí nghiệm là hệ kết cấu thép ống mô phỏng nhà giàn DKI mới gồm 4 cọc chính  $\Phi 16$  dày 1,2 mm, các thanh giằng  $\Phi 8$  dày 1,2 mm được liên kết với nhau bằng phương pháp hàn, cọc chính nghiêng với phương đứng  $\alpha = 8^\circ$ , mỗi cọc chính được bố trí 2 cọc vẩy  $\Phi 16$  và các thanh giằng tương ứng, phần mô phỏng sàn và tường nhà ở, sinh hoạt được làm bằng thép hộp và tôn có khối lượng 11 kg, tổng khối lượng của cả hệ là 61 kg (Hình 4.1, 4.2).



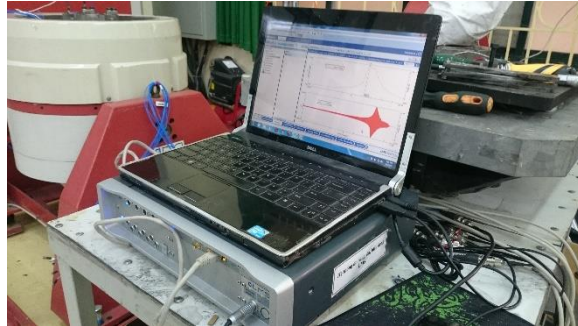
Hình 4.1. Mô hình thí nghiệm



Hình 4.2. Mô hình thí nghiệm trong bể tạo sóng

#### 4.2.2. Thiết bị thí nghiệm

Máy đo động nhãn hiệu LMS hoạt động theo nguyên lý động lực học, cung cấp bởi hãng LMS của Bỉ (Hình 4.4)



**Hình 4.4.** Thiết bị đo động LMS và màn hình hiển thị kết quả

#### 4.3. Phương pháp đo và ghi tín hiệu gia tốc, biến dạng của kết cấu

Máy ghi động nhận được tín hiệu đáp ứng gia tốc, biến dạng theo thời gian từ các đầu đo và lưu bộ dữ liệu vào bộ nhớ, kết quả có thể quan sát trực tiếp từ hiển thị trên màn hình thiết bị. Mỗi một lần đo tương ứng với một đầu đo ta có được một bộ số liệu đáp ứng gia tốc, biến dạng theo thời gian tại vị trí đo thuộc kết cấu.

Để so sánh với kết quả thực nghiệm, tác giả sử dụng chương trình B3DFC\_2019 đã lập trong chương 2, tính bài toán với các thông số như mô hình thí nghiệm (về đặc trưng hình học, cơ học và tải trọng tác dụng). Giả thiết rằng liên kết giữa kết cấu và nền là liên kết cứng và tải trọng sóng thí nghiệm đảm bảo đúng theo lý thuyết sóng Airy.

#### 4.4. Cơ sở phân tích và xử lý số liệu thí nghiệm

Từ bộ số liệu thu được qua các lần đo thí nghiệm, tác giả tiến hành xử lý thống kê nhờ phần mềm chuyên dụng tích hợp trong máy tính để có được các đồ thị đáp ứng về gia tốc, biến dạng theo thời gian, đáp ứng biên độ - tần số và theo đó có được các giá trị lớn nhất của các đại lượng đo.

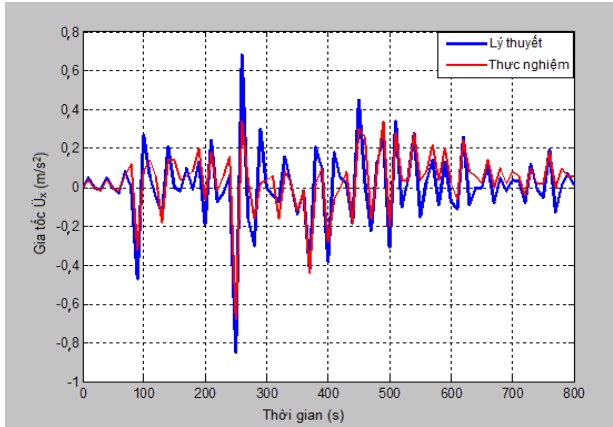
#### 4.5. Tổ chức thí nghiệm và kết quả thí nghiệm

##### 4.5.1. Tổ chức thí nghiệm tại bể tạo sóng 3D

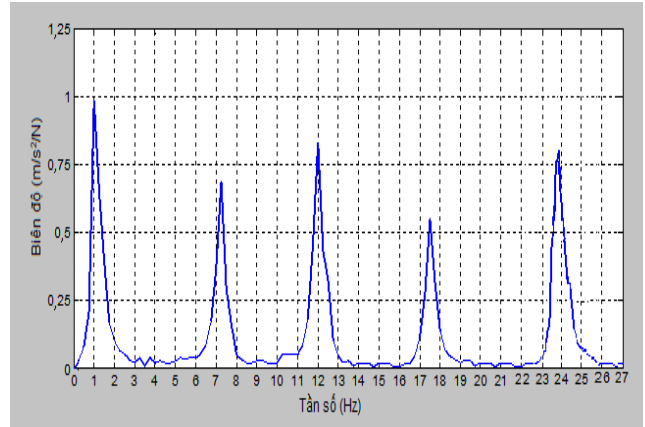
Mô hình được thiết kế mô phỏng nhà giàn DKI/7 thế hệ cải tiến, gia công và chế tạo mô hình thí nghiệm tại xưởng cơ khí. Sau khi gia công, mô hình được đưa tới và lắp đặt tại bể tạo sóng. Chân của các cọc chính và cọc váy được định vị chặt với sàn bể bằng mặt bích và bu lông.

### 4.5.2. Kết quả thí nghiệm

#### 4.5.2.1 Trường hợp không có gia tải lên đỉnh giàn



**Hình 4.12.** Đáp ứng gia tốc tại điểm đo



**Hình 4.13.** Đáp ứng biên độ - tần số

**Bảng 4.2.** Các tần số dao động riêng đầu tiên của hệ

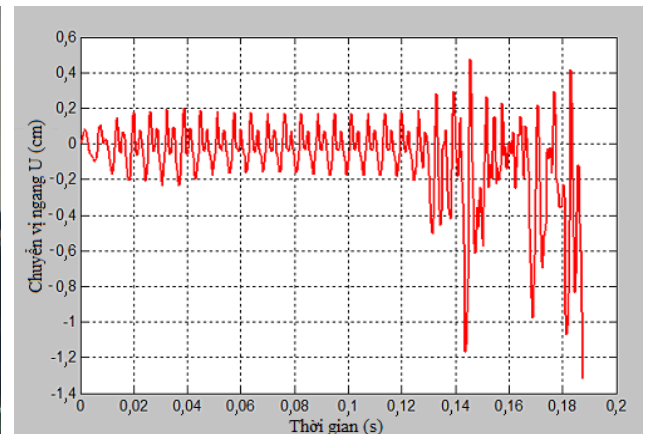
Tần số riêng $f$ [Hz]	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$
<i>Thực nghiệm</i>	1,06	7,21	12,11	17,52	23,97
<i>Lý thuyết (KTT)</i>	1,15	7,94	13,32	19,64	26,79
<i>Sai số [%]</i>	10,93	9,86	10,79	12,08	12,36

#### 4.5.2.2. Trường hợp có gia tải lên đỉnh giàn:

Tiến hành thí nghiệm với thông số sóng không đổi, gia tải thẳng đứng lên đỉnh giàn bằng cách sử dụng các khối gia tải, khi tải trọng gia tải đạt giá trị  $P=251\text{kg}$  thì đáp ứng chuyển vị - thời gian có hiện tượng tăng lên nhanh và mô hình thí nghiệm rung lắc mạnh.



**Hình 4.14.** Gia tải trong quá trình thí nghiệm tại bể tạo sóng



**Hình 4.15.** Đáp ứng chuyển vị ngang tại đỉnh giàn

### **Nhận xét:**

- Trong điều kiện của thí nghiệm, khi không gia tải lên đỉnh giàn (không chất các khối gia tải) thì hầu như kết cấu không bị mất ổn định, dao động ổn định và trong phạm vi cho phép, hệ ổn định;

- Khi tải trọng thẳng đứng tác dụng lên đỉnh giàn tăng dần, đến giá trị  $P=251\text{kg}$ , thì dao động ngang tại đỉnh giàn có hiện tượng bất thường, mô hình thí nghiệm rung lắc mạnh, chuẩn bị đổ. Xét theo tiêu chuẩn ổn định tương tự của Budiansky - Roth thì có thể khẳng định giàn bị mất ổn định và tải trọng đứng tới hạn  $P_{th} = 251 \text{ kg}$ . Việc thí nghiệm xác định khả năng ổn định, mất ổn định của giàn chịu tác dụng đồng thời của tải trọng khai thác và tải trọng sóng mô phỏng trong bể tạo sóng là có khả năng thực hiện được.

- Kết quả thí nghiệm trong bể tạo sóng được so sánh với tính toán lý thuyết theo mô hình không tương tác cho thấy sai số lớn nhất của gia tốc là 14,6% và sai số lớn nhất về tần số riêng (trong 5 tần số riêng đầu tiên) là 12,36% là chấp nhận được, một lần nữa cho thấy tính phù hợp và độ tin cậy của chương trình tính B3DFC\_2019 đã lập trong chương 2.

### **4.6. Kết luận chương 4**

Mặc dù điều kiện tổ chức và thí nghiệm khó khăn, số lượng thí nghiệm chưa được nhiều, song nhận xét một cách chủ quan thì kết quả đạt được trong chương này đáp ứng được mục tiêu đề ra và thể hiện trong một số điểm chính sau:

- Kết quả thí nghiệm có cơ sở tin cậy, góp phần đánh giá mức độ tin cậy của chương trình tính đã lập ở chương 2 của luận án và góp phần cùng các công bố khác làm phong phú thêm kết quả trong lĩnh vực nghiên cứu đáp ứng động lực học và ổn định của kết cấu giàn chịu tác dụng của tải trọng sóng trong phòng thí nghiệm.

- Đã xác định được khả năng ổn định động của mô hình khi tăng tải trọng tĩnh tác dụng thẳng đứng lên đỉnh mô hình, trong khi các điều kiện thí nghiệm khác không đổi. Trong trường hợp này có thể xem tải trọng tĩnh tới hạn tác dụng theo phương thẳng đứng lên đỉnh giàn là  $P_{th} = 251 \text{ kg}$ . Mặc dù trong thí nghiệm chỉ mới thay đổi được yếu tố tải trọng tĩnh tác dụng lên đỉnh giàn để xem xét khả năng ổn định của hệ nhưng đây cũng là cơ sở để tiến hành các nghiên cứu tiếp theo với các thông số khác thay đổi.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 1/ Những đóng góp mới của luận án:

- Xây dựng các quan hệ ứng xử phi tuyến hình học do mỗi quan hệ phi tuyến biến dạng - chuyển vị của kết cấu gây ra, trong điều kiện áp dụng tính chất liên kết một chiều giữa thanh và nền san hô gây ra sự tách trượt giữa 2 bề mặt này có được phương trình phi tuyến động lực học của hệ kết cấu công trình biển hệ thanh và nền san hô làm việc đồng thời chịu tác dụng của tải trọng sóng và gió. Thuật toán PTHH và chương trình tính B3DFC\_2019 cho phép giải bài toán đặt ra, xác định các đáp ứng phi tuyến động lực học và ổn định động của hệ. Trong đó mô hình bài toán không gian, kết cấu và nền san hô làm việc đồng thời, tải trọng sóng được tính theo lý thuyết sóng Stoke bậc 2 và tải trọng gió theo phương pháp đáp ứng vận tốc gió theo thời gian đã được sử dụng. Chương trình tính đã được kiểm tra bảo đảm độ tin cậy.

- Phân tích số với nhiều trường hợp bằng mô hình tính mô phỏng sự làm việc của công trình DKI/7, cho thấy sự ảnh hưởng của các yếu tố tải trọng, vật liệu, kích thước hình học và nền san hô đến phản ứng phi tuyến động lực học và ổn định của hệ thể hiện qua chuyển vị, mô men trên mặt cắt ngang của thanh và các giá trị tới hạn. Các nhận xét định tính cùng các khuyến cáo kỹ thuật đưa ra trong luận án có ý nghĩa khoa học và thực tiễn có thể là cơ sở tham khảo cho tính toán thiết kế mới và gia cố công trình biển hệ thanh.

- Kết quả thí nghiệm tại bể tạo sóng ba chiều (3D) trong phòng thí nghiệm cùng với kết quả nghiên cứu lý thuyết bằng chương trình tính B3DFC\_2019 là khá đồng dạng về quy luật, sai số trong phạm vi chấp nhận được, cho thấy thuật toán, chương trình tính B3DFC\_2019 đã lập ở chương 2 và kết quả nghiên cứu lý thuyết là tin cậy.

- Các số liệu thí nghiệm tại bể tạo sóng còn có giá trị làm phong phú thêm kết quả và tài liệu nghiên cứu đáp ứng động lực học và ổn định của hệ thanh theo mô hình không tương tác với nền, chịu tác dụng của tĩnh tải và tải trọng sóng.

- Chương trình tính và kết quả nghiên cứu (cả lý thuyết và thực nghiệm) của luận án là tài liệu có thể định hướng tham khảo cho tính toán, lựa chọn các thông số hợp lý phục vụ công tác thiết kế, thi công hoặc gia cố các công trình biển hệ thanh như nhà giàn DKI, giàn khoan dầu khí phục vụ quốc phòng - an ninh và phát triển kinh tế biển của Việt Nam.

## **2. Một số kiến nghị**

- Như nhiều kết luận đã trình bày trong các công bố về địa chất công trình của nền san hô, vật liệu nền san hô phức tạp, tính phân tán cao, trong luận án mới chỉ tham khảo số liệu của một (01) loại nền, một điều kiện tính cụ thể để làm thông số tính toán nên chỉ mới có giá trị tham khảo về phương pháp và công cụ tính. Do đó, ứng với một vị trí địa lý, yêu cầu cụ thể xác định xây dựng công trình, cần phải có khảo sát kỹ thuật nhằm xác định chỉ tiêu kỹ thuật, điều kiện làm việc, để xây dựng mô hình tính phù hợp.

- Phân tích phi tuyến động lực học và ổn định của kết cấu hệ thanh với mô hình kết cấu và nền làm việc đồng thời, chịu tác dụng đồng thời của tải trọng sóng, gió và tĩnh tải là vấn đề khó, song kết quả là ý nghĩa, có giá trị ứng dụng cao, đặc biệt trong bối cảnh biến đổi khí hậu và tranh chấp Biển Đông có nhiều tiềm ẩn như hiện nay.

- Từ các thông số tính toán mô phỏng công trình nhà giàn DKI/7 và kết quả có được, theo quan điểm điều kiện bền và điều kiện ổn định, tác giả nhận thấy: Vật liệu công trình có mô đun đàn hồi trong khoảng  $1,9 \times 10^{11} \text{N/m}^2$  đến  $2,1 \times 10^{11} \text{N/m}^2$  là hợp lý.

- Nội dung nghiên cứu của luận án có thể phát triển theo các hướng sau:  
+ Nghiên cứu giảm dao động, tăng khả năng ổn định cho công trình biển hệ thanh bằng các công nghệ giảm dao động có tính khả thi và phù hợp điều kiện Việt Nam, như sử dụng thiết bị TMD, thiết bị hấp thụ và tiêu tán tải trọng sóng, ...

+ Nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình, ngoài thực địa xác định ổn định của mô hình, kết cấu công trình biển hệ thanh với các điều kiện mô hình, nền, tải trọng khác nhau./.

## DANH MỤC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ

1. Nguyễn Thái Chung, Lê Hoàng Anh, Nguyễn Thanh Hưng (2015), *Nghiên cứu giảm dao động của công trình DKI chịu tác dụng của tải trọng sóng sử dụng mô hình tương tác đầy đủ hệ thanh không gian - nền san hô và thiết bị tiêu tán năng lượng TMD*, Tuyển tập công trình Hội nghị Cơ học kỹ thuật toàn quốc năm 2015, Tập 2, tr.19-28.
2. Lê Hoàng Anh, Nguyễn Thái Chung, Nguyễn Thanh Hưng (2015), *Nghiên cứu phản ứng động của công trình DKI chịu tác dụng của tải trọng sóng và gió sử dụng mô hình hệ thanh không gian và nền san hô làm việc đồng thời*, Tuyển tập Hội nghị Khoa học toàn quốc Cơ học Vật rắn biến dạng lần thứ XII năm 2015, Tập 1, tr.185-192.
3. Hoàng Xuân Lượng, Nguyễn Thanh Hưng (2017), *Nghiên cứu thực nghiệm xác định khả năng ổn định của hệ thanh không gian chịu tác dụng của tải trọng sóng*, Tuyển tập Hội nghị cơ học toàn quốc lần thứ X, Tập 3, tr.757-762.
4. Nguyễn Thanh Hưng (2020), *Nghiên cứu đáp ứng động của hệ khung - tấm composite làm việc đồng thời với nền đàn hồi*, Tạp chí xây dựng Việt Nam tháng 01.2020, tr20-24.
5. Nguyen Thanh Hung, Nguyen Thai Chung, Hoang Xuan Luong (2020), *Research on the stability of the 3D Frame on the Coral Foundation Subjected to Impact Load*, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển, số 2.2020:231-243