

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP GIẢI LIÊN TIẾP CÁC BÀI TOÁN THUẬN TRONG NHẬN DẠNG ĐỘ CỨNG NGÀM ĐÀN HỒI BẰNG CÁC THAM SỐ DAO ĐỘNG RIÊNG CỦA KẾT CẤU

Nguyễn Xuân Bằng¹

¹Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt – Học viện Kỹ thuật Quân sự

Nhận ngày 02/05/2021, thẩm định ngày 08/5/2021, chỉnh sửa ngày, 14/05/2021, chấp nhận đăng 12/06/2021

Tóm tắt

Trong bài báo trình bày phương pháp giải bài toán nhận dạng độ cứng ngầm đàn hồi của hệ kết cấu thanh - cọc. Mô hình tính của bài toán là hệ kết cấu thanh - cọc dưới dạng khung không gian, biến dạng đàn hồi tuyến tính, thay liên kết cọc - nền bằng ngầm đàn hồi. Bài toán đặt ra được giải theo phương pháp giải liên tiếp các bài toán thuận dựa trên cơ sở cực tiểu hóa độ lệch quân phương - là tổng bình phương sai số giữa các tần số dao động riêng đo đạc và tần số dao động riêng tính toán - kết hợp với phương pháp phần tử hữu hạn.

Từ khóa: giải liên tiếp các bài toán thuận, độ cứng ngầm đàn hồi, tần số dao động riêng đo đạc, nhận dạng, thanh - cọc.

Abstract

This paper presents the results of identification elastic restraint of the structure on the pipe - foundation. The model of the problem is the structure on the pipe - foundation as three-dimensional, linear elastic deformation, linked deposit - should be replaced with elastic restraint. The problem is solving by the consecutive forward problem of structure analysis and minimize the squared error between the measured and calculated natural frequencies of the actual structure and finite element model. From the numerical calculation shows, models, algorithms, and calculation programs are reliable. The program can be used to identify the elastic restraint of is the frame - pile structure as three-dimensional.

Keywords: the consecutive method of the forward problem, elastic restraint stiffness, frequencies measured, identification, frame - pile.

1. Mở đầu

Trong tính toán kết cấu thanh - cọc - nền, có thể sử dụng nhiều mô hình khác nhau để mô tả liên kết cọc - nền như: mô hình chiều sâu ngầm tương đương, mô hình liên kết đàn hồi trên toàn bộ thân cọc, mô hình ngầm đàn hồi,... Với mô hình ngầm đàn hồi, độ cứng ngầm đàn hồi theo các phương có thể được xác định theo Venkataramana [1], tuy nhiên, trong nhiều trường hợp, độ cứng ngầm đàn hồi không đủ điều kiện xác định như:

- Trong quá trình khai thác sử dụng các cọc có thể bị suy giảm liên kết với nền theo thời gian, do đó độ cứng ngầm đàn hồi bị thay đổi;

- Các tính chất cơ lý nền không đầy đủ để có thể xác định chính xác độ cứng ngầm đàn hồi.

Do đó việc nhận dạng độ cứng ngầm đàn hồi (k_r, k_s) ứng với trạng thái làm việc thực tế của cọc (trên cơ sở các tần số dao động riêng đo đạc tại hiện trường), trên cơ sở đó xác định trạng thái kỹ thuật của kết cấu là rất cần thiết và hết sức quan trọng.

Để giải bài toán nhận dạng kết cấu, có thể áp dụng nhiều phương pháp như: phương pháp giải liên tiếp các bài toán thuận, ứng dụng trực tiếp phần mềm MATLAB, phương pháp hàm phạt (penalty), phương pháp quy hoạch phi tuyến,...[5]. Trong bài báo này, tác giả sử dụng phương pháp giải liên tiếp các bài toán thuận để nhận dạng độ cứng ngầm đàn hồi của liên kết cọc - nền.

2. Phương pháp giải liên tiếp các bài toán thuận

Phương pháp này thường áp dụng khi điều kiện thông tin không đầy đủ [4, 5], thí dụ như nhận dạng theo số liệu đo đạc (chuyển vị, biến dạng, tần số dao động riêng...), để tìm nghiệm bài toán ngược gắn với các giá trị đã dự đoán. Để nhận dạng theo phương pháp này chỉ cần sử dụng các phần mềm phân tích kết cấu (thí dụ như SAP, LUCAS,... hoặc các chương trình tự xây dựng) như một công cụ để tính toán liên tiếp với một loạt các giá trị cho trước, trong một khoảng giới hạn mà nó được coi là phù hợp nhất với đặc trưng đó. Các bước tính toán thông thường theo phương pháp này là:

1. Xác định tham số cần nhận dạng S của mô hình (S ở đây có thể là vết nứt, miền tiếp xúc kết cấu- nền, độ cứng kết cấu, độ cứng ngầm đàn hồi,...).

2. Xác định tham số trạng thái cần đo đạc W để phục vụ nhận dạng (tần số và dạng dao động riêng, chuyển vị,...).

3. Xây dựng mô hình tính toán dựa trên hồ sơ hoàn công và kết quả kiểm tra tại hiện trường.

4. Đo đạc các tham số trạng thái để nhận dạng W^0

$$W^0 = [W_1^0 \quad W_2^0 \quad \dots \quad W_m^0] \quad (1)$$

5. Giải bài toán. Khi giải cần dự đoán khoảng giới hạn của tham số cần nhận dạng, rồi rạc hoá tham số cần nhận dạng trong khoảng giới hạn:

$$S = \{a < S_1 < S_2 < \dots < S_k < b\}$$

Dùng phần mềm phân tích kết cấu để tính toán các tham số cần nhận dạng $S = S^I$, tính được các tham số trạng thái của hệ trong đó có tham số $W^{(i)}$:

$$W^{(i)} = [W_1^{(i)} \quad W_2^{(i)} \quad \dots \quad W_m^{(i)}] \text{ Tính tổng bình phương độ lệch giữa } W^{(i)} \text{ và } W^0: \quad (2)$$

$$\delta_i^2 = \sum |W_i^1 - W_i^0|^2$$

Lần lượt tính toán với các giá trị của tham số nhận dạng được rời rạc hoá.

Tìm giá trị nhỏ nhất của độ lệch quân phương:

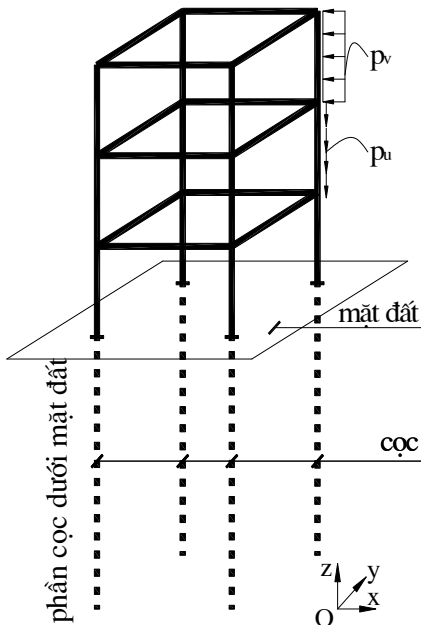
$$\delta_s = \min_{(i)} \delta_i \quad (3)$$

Và S_s ứng với δ_s sẽ là giá trị xấp xỉ tốt nhất cần tìm (ở đây là giá trị độ cứng ngầm đàn hồi nhận dạng được).

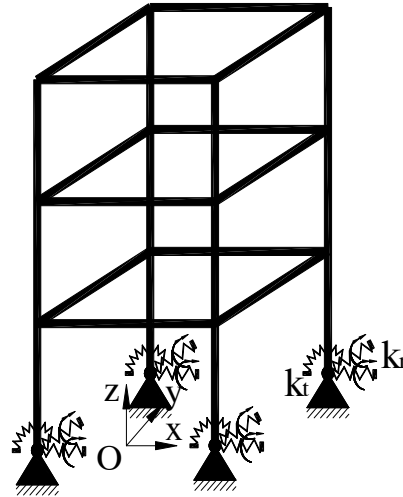
Theo phương pháp này, sẽ phải giải nhiều bài toán thuận với các giá trị tham số nhận dạng thay đổi, trong nhiều trường hợp số lượng bài toán thuận cần giải là rất lớn (có thể đến hàng nghìn bài toán). Do đó việc sử dụng các phần mềm phân tích kết cấu (thí dụ như SAP, LUCAS, ...) sẽ không khả thi, cần có một chương trình tính toán kết cấu, mà tích hợp trong đó khả năng tự động thay đổi tham số đầu vào (ở đây là độ cứng ngầm đàn hồi).

3. Phương trình chuyển động của hệ kết cấu khung - cọc theo mô hình bài toán không gian

Khảo sát hệ kết cấu khung - cọc dưới dạng khung không gian chịu tác dụng tải trọng động (Hình 1) trong hệ tọa độ vuông góc Oxyz.



Hình 1. Mô hình thực hệ kết cấu thanh - cọc không gian.



Hình 2. Mô hình tính hệ kết cấu thanh - cọc không gian.

Thừa nhận các giả thiết sau đây:

- Liên kết cọc - nền được thay thế bằng liên kết ngầm đàn hồi.
- Biến dạng của hệ kết cấu thanh - cọc là đàn hồi tuyến tính và bé.

Mô hình tính của kết cấu được thể hiện trên Hình 2.

Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) để xây dựng phương trình chuyển động của hệ kết cấu thanh - cọc - nền theo phương pháp PTHH [2, 5], sau khi đưa các điều kiện biên vào hệ, có thể viết được dưới dạng:

$$M\ddot{U}(t) + C\dot{U}(t) + KU(t) = P(t), \quad (4)$$

trong đó: $U(t), \dot{U}(t), \ddot{U}(t)$ - tương ứng là các véc tơ chuyển vị, vận tốc và gia tốc nút của hệ kết cấu;

M, K, C - tương ứng là các ma trận khối lượng, ma trận độ cứng, ma trận cản của hệ kết cấu;

$P(t)$ - véc tơ tải trọng quy nút của hệ kết cấu.

Ma trận cản của hệ kết cấu có thể tính theo ma trận khối lượng và ma trận độ cứng dưới dạng:

$$C = \alpha M + \beta K, \quad (5)$$

trong đó: α, β - các hệ số phụ thuộc vào các tần số dao động riêng của hệ và hệ số cản nhớt của vật liệu.

Các ma trận của toàn hệ trong phương trình (4) có thể xây dựng từ các ma trận của các PTHH trong hệ bằng phương pháp "độ cứng trực tiếp" [2, 5].

Các ma trận khối lượng m , ma trận độ cứng k , véc tơ tải trọng quy nút p của phần tử trong hệ tọa độ cục bộ có dạng:

$$\mathbf{m} = \frac{ma}{420} \begin{bmatrix} 140 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 70 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 156 & 0 & 0 & 0 & 22a & 0 & 54 & 0 & 0 & 0 & -13a \\ 0 & 0 & 156 & 0 & 22a & 0 & 0 & 0 & 54 & 0 & -13a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{140I_p}{F} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 70 & 0 \\ 0 & 0 & 22a & 0 & 4a^2 & 0 & 0 & 0 & 13a & 0 & -3a^2 & 0 \\ 0 & 22a & 0 & 0 & 0 & 4a^2 & 0 & 13a & 0 & 0 & 0 & -3a^2 \\ 70 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 140 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 54 & 0 & 0 & 0 & 13a & 0 & 156 & 0 & 0 & 0 & -22a \\ 0 & 0 & 54 & 0 & 13a & 0 & 0 & 0 & 156 & 0 & -22a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 70 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{140I_p}{F} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -13a & 0 & -3a^2 & 0 & 0 & -22a & 0 & 0 & 4a^2 & 0 \\ 0 & -13a & 0 & 0 & 0 & -3a^2 & 0 & -22a & 0 & 0 & 0 & 4a^2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{k} = \begin{bmatrix} \frac{EF}{a} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EF}{a} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI_x}{a^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_x}{a^2} & 0 & \frac{12EI_x}{a^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_x}{a^2} \\ 0 & 0 & \frac{12EI_y}{a^3} & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{a^2} & 0 & 0 & \frac{12EI_y}{a^3} & 0 & \frac{6EI_y}{a^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GI_z}{a} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GI_z}{a} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_x}{a^2} & 0 & \frac{4EI_x}{a} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_x}{a^2} & 0 & \frac{2EI_x}{a} \\ 0 & \frac{6EI_x}{a^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_x}{a} & 0 & -\frac{6EI_x}{a^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_x}{a} \\ -\frac{EF}{a} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EF}{a} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI_x}{a^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_x}{a^2} & 0 & \frac{12EI_x}{a^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_x}{a^2} \\ 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{a^3} & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{a^2} & 0 & 0 & \frac{12EI_y}{a^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{a^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{GI_z}{a} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GI_z}{a} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_x}{a^2} & 0 & \frac{2EI_x}{a} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_x}{a^2} & 0 & \frac{4EI_x}{a} \\ 0 & \frac{6EI_x}{a^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_x}{a} & 0 & -\frac{6EI_x}{a^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_x}{a} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} \frac{p_u}{2} & \frac{p_u}{2} & \frac{p_w}{2} & \frac{p_w}{2} & \frac{p_\phi}{12} & \frac{p_\phi}{12} & \frac{p_u}{2} & \frac{p_u}{2} & \frac{p_w}{2} & \frac{p_w}{2} & \frac{p_\phi}{12} & \frac{p_\phi}{12} \end{bmatrix}^T, \quad (6)$$

trong đó:
 I_y, I_z - mô men quán tính đối với trục y, z ,
 I_p - mô men quán tính độc cực,
 F - diện tích tiết diện ngang của phần tử,
 a - chiều dài phần tử,
 m - khối lượng phân bố trên đơn vị dài của phần tử,
 p_u, p_w, p_ϕ - tải trọng dọc và ngang phân bố,
 p_ϕ - tải trọng xoắn phân bố.

Phương trình dao động riêng của hệ:

$$\mathbf{K}\mathbf{U}(t) + \mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}}(t) = \mathbf{0} \quad (7)$$

Phương trình tần số tương ứng:

$$\|\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M}\| = 0$$

hay:

$$\left\| \frac{1}{\omega^2} - \mathbf{K}^{-1} \mathbf{M} \right\| = 0 \quad (8)$$

Để giải (8), tác giả sử dụng phương pháp lặp Power-Sweeping [5] với thuật toán như sau:

1. Đọc các ma trận \mathbf{K}, \mathbf{M} .
2. Chọn số tần số (max), sai số tính toán, véc tơ ban đầu $X_0, t_0=0, k=0$.
3. Tính lặp từ 1-max, lặp cho đến khi sai số < sai số cho phép.

$$\begin{aligned}
 k &= k+1. \\
 t_1 &= t_0. \\
 x_1 &= \mathbf{K}^{-1} \cdot \mathbf{M} \cdot x_0.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{abs}(x_1[m]) &= \max(\text{abs}(X_1(i))), \quad i = 1, n. \\
 t_1 &= x_1[m]. \\
 x_1[i] &= X_1(i)/t_1, \quad i = 1, n. \\
 \omega_i &= \sqrt{\frac{1}{t_1}} \\
 \mathbf{K}^{-1} \mathbf{M} &= \mathbf{K}^{-1} \mathbf{M} = t_1 \cdot \mathbf{X}_1 \cdot \mathbf{X}_1^T
 \end{aligned}$$

4. Kết thúc.
4. Bài toán nhận dạng độ cứng ngầm đàn hồi và phương pháp giải

Để xây dựng các thuật toán xác định độ cứng ngầm đàn hồi, tác giả sử dụng phương pháp “giải liên tiếp các bài toán thuận” [2,4,5] của lý thuyết chẩn đoán kỹ thuật công trình với tham số nhận dạng là độ cứng ngầm đàn hồi của từng cọc trên cơ sở các tần số dao động riêng đo đạc được bằng thử nghiệm động của kết cấu tại hiện trường.

Quá trình giải bài toán sẽ liên quan đến các nội dung tính toán động lực học công trình, với nó sẽ sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) mà các thuật toán của chúng đã được thiết lập trong [3,5].

Dưới đây là các bước xây dựng mô hình tính, thuật toán để giải bài toán nhận dạng độ cứng ngầm đàn hồi bằng phương pháp “giải liên tiếp các bài toán thuận”- Consecutive method of the forward problem.

1. Rời rạc hóa kết cấu công trình thành các PTHH.
2. Chọn véc tơ độ cứng ngầm đàn hồi $\mathbf{kr} = [kr_1 \quad kr_2 \quad \dots \quad kr_n]$ làm tham số nhận dạng và chọn véc tơ tần số dao động riêng $\mathbf{\Omega} = [\omega_1 \quad \omega_2 \quad \dots \quad \omega_m]$ của kết cấu làm tham số trạng thái của hệ.

3. Xác định các kích thước hình học của hệ kết cấu có tính đến các số liệu khảo sát trực quan tại hiện trường.

4. Tiến hành thí nghiệm đo đạc tại hiện trường các tần số dao động riêng thấp nhất (véc tơ tham số trạng thái) của kết cấu: $\mathbf{\Omega}^0 = [\omega_1^0 \quad \omega_2^0 \quad \dots \quad \omega_m^0]^T$,

với: ω_i^0 ($i = 1 \div m$) - các tần số dao động riêng thấp nhất đo đạc được của kết cấu tại hiện trường.

5. Rời rạc hóa véc tơ tham số nhận dạng kr_j thành các bộ giá trị rời rạc (véc tơ) kr_j^i ($j = 1 \div k$) trong khoảng biến thiên các giá trị độ cứng ngầm đàn hồi.

6. Tính véc tơ tần số dao động riêng $\mathbf{\Omega}_j^c$ (véc tơ tham số trạng thái) của kết cấu công trình theo các véc tơ giá trị khác nhau của kr_j^i ta được:

$$\mathbf{\Omega}_j^c = [\omega_{1j}^c \quad \omega_{2j}^c \quad \dots \quad \omega_{mj}^c]^T, \quad i = 1 \div m, j = 1 \div k,$$

với: ω_{ij}^c - tần số dao động riêng tính toán thứ i tương ứng với kr_j^i

7. Tính tổng bình phương độ lệch giữa $\mathbf{\Omega}_j^c$ và $\mathbf{\Omega}^0$:

$$\delta_j^2 = \sum_{i=1}^m (\omega_{ij}^c - \omega_i^0)^2, \quad j = 1 \div k$$

8. Tìm giá trị nhỏ nhất của độ lệch quân phương: δ_{\min}^2

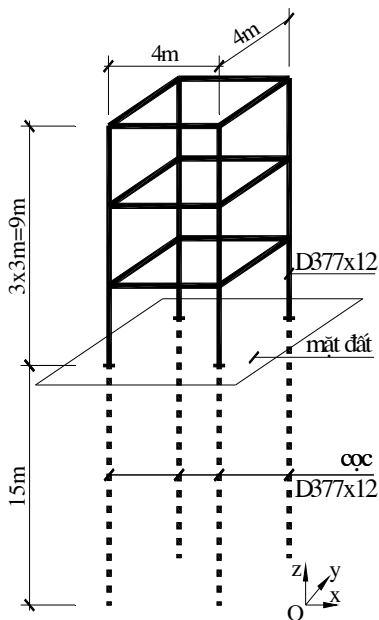
Véc tơ $kr_{it} = kr_j^i$ tương ứng với δ_{\min}^2 sẽ là độ cứng ngầm đàn hồi cần tìm.

Sau khi đã xác định được véc tơ độ cứng ngàm đàn hồi theo phương pháp ở trên, cập nhật vào sơ đồ tính kết cấu (trong chương trình tính kết cấu) sẽ xác định được các đại lượng cơ học của công trình (trạng thái chuyển vị, nội lực, ứng suất,... của kết cấu) tương ứng với tải trọng thiết kế, từ đó, trên cơ sở đó sẽ đánh giá được trạng thái kỹ thuật hiện tại của công trình và đề xuất các vấn đề kỹ thuật cần giải quyết để duy trì sự làm việc bình thường của công trình trong thời gian tiếp theo.

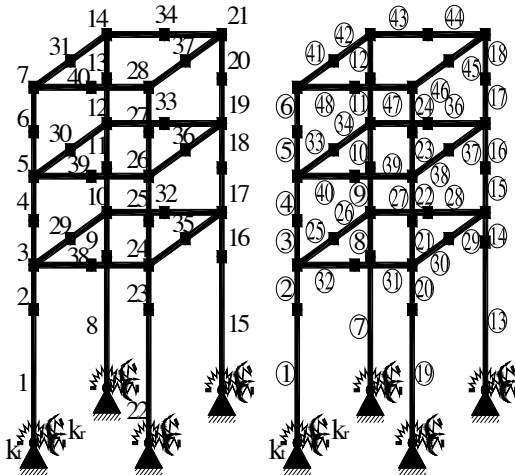
Với các thuật toán trên, tác giả đã xây dựng chương trình **CMFP** (Consecutive method of the forward problem) để giải bài toán nhận dạng độ cứng ngàm đàn hồi của kết cấu khung - cọc làm việc theo mô hình không gian bằng ngôn ngữ MATLAB.

5. Tính toán bằng số

Tính toán bằng số dưới đây được thực hiện nhằm kiểm tra độ tin cậy của các thuật toán và chương trình đã lập. Nhận dạng độ cứng ngàm đàn hồi của kết cấu thanh - cọc có dạng như Hình 3.



Hình 3. Mô hình kết cấu của tính toán bằng số.



Hình 4. Sơ đồ đánh số nút, số phần tử.

* Số liệu xuất phát.

- Kết cấu hệ thanh - cọc làm bằng thép ống, kích thước như trên Hình 3, tiết diện ngang các thanh trên mặt đất và cọc loại $\phi 377 \times 12$ mm; mô đun đàn hồi của thép: $E = 2.1 \cdot 10^7$ T/m²; trọng lượng riêng thép: $\gamma = \rho / g = 7,8$ T/m³.

- Chọn sai số cho phép: $\epsilon = 0,5\%$

- Véc tơ đo đạc (giả định):

$$\Omega = [\omega_1^0 \ \omega_2^0 \ \omega_3^0 \ \omega_4^0]^T = [24,99 \ 117,27 \ 144,16 \ 200,91]^T \quad (a)$$

Đây thực chất không phải là các giá trị đo đạc thật mà là các tần số dao động riêng tính toán đối với kết cấu thanh - cọc với véc tơ độ cứng ngàm đàn hồi cho trước sau đây:

$$krt = [kr \ kt]^T = [4 \cdot 10^8 \ 10^8]^T \text{ (kN.m)}. \quad (b)$$

* Rời rạc hoá PTHH đối với kết cấu: Được thể hiện trên Hình 4 với 40 nút, 48 phần tử. Trong đó chiều sâu ngàm đàn hồi theo API RP 2A WSD [3], có thể được xác định: $I_u = (3,5 - 8,5) \cdot D$ (với D là đường kính cọc), ở đây lựa chọn $I_u = 1,8$ m.

* Trường hợp 1: Coi độ cứng ngàm đàn hồi của các cọc là như nhau, coi độ cứng lò xo xoay theo hai phương là như nhau ($k_{r,x} = k_{r,y} = kr$) và $kr = 40000 \cdot kt$, khi đó số lượng tham số cần nhận dạng là 01 tham số (kt - độ cứng lò xo xoắn).

- Tham số nhận dạng lúc này là:

$$krt_u = [40000kt_u \ kt_u]^T, \text{ số tham số nhận dạng là 01 tham số.}$$

Véc tơ độ cứng ngàm đàn hồi ban đầu được chọn là:

$$krt_u^0 = [kr_u^0 \ kt_u^0]^T = [4 \cdot 10^7 \ 10^3]^T \text{ (kN.m)}.$$

- Số trường hợp tính toán: Trong bài toán này, giá trị độ cứng ngàm đàn hồi được dự đoán có thể là: $kr_1 = kr = 4 \cdot 10^7 \div 4,2 \cdot 10^8$, $kr_2 = kt = 10^3 \div 10^4$ với bước thay đổi trị độ cứng ngàm đàn hồi là 5 % giá trị độ cứng ngàm đàn hồi ban đầu nêu trên, sẽ có 20 giá trị mỗi độ cứng ngàm đàn hồi, tức là có 20 trường hợp tính toán.

- Kết quả tính toán:

+ Giá trị nhỏ nhất của độ lệch quân phương: $\delta_{\min}^2 = \delta_{11}^2 = 3,55 \cdot 10^{-5}$, tương ứng véc tơ tham số trạng thái

$$\Omega_4^c = [\omega_1 \ \omega_2 \ \omega_3 \ \omega_4]^T = [24,99 \ 117,27 \ 144,16 \ 200,91]^T$$

+ Véc tơ tham số nhận dạng tương ứng là $krt_u = [kr_u \ kt_u]^T = [kr_u \ kt_u]^T = [4 \cdot 10^8 \ 10^4]^T$ kN.m. Kết quả đúng với giá trị giả định ban đầu.

* Trường hợp 2: Coi độ cứng ngàm đàn hồi của các cọc là như nhau, coi độ cứng lò xo xoay theo hai phương là như nhau ($k_{r,x} = k_{r,y} = kr$), khi đó số lượng tham số cần nhận dạng là 02 tham số (kt - độ cứng lò xo xoắn, kr - độ cứng lò xo xoay).

- Tham số nhận dạng lúc này là:

$$krt_u = [kr_u \ kt_u]^T, \text{ số tham số nhận dạng là 02 tham số.}$$

Véc tơ độ cứng ngàm đàn hồi ban đầu được chọn là:

$$krt_u^0 = [kr_u^0 \ kt_u^0]^T = [4 \cdot 10^7 \ 10^3]^T \text{ (kN.m)}.$$

- Số trường hợp tính toán: Trong bài toán này, giá trị độ cứng ngàm đàn hồi được dự đoán có thể là: $kr_1 = kr = 4 \cdot 10^7 \div 4,2 \cdot 10^8$, $kr_2 = kt = 10^3 \div 10^4$ với bước thay đổi trị độ cứng ngàm đàn hồi là 10 % giá trị độ cứng ngàm đàn hồi ban đầu nêu trên, sẽ có 10

giá trị mỗi độ cứng ngàm đàn hồi, tức là có 100 trường hợp tính toán.

- Kết quả tính toán:

+ Giá trị nhỏ nhất của độ lệch quân phương:
 $\delta_{\min}^2 = \delta_{56}^2 = 3,55 \cdot 10^{-5}$, tương ứng véc tơ tham số trạng thái

$$\Omega_4^c = [\omega_1 \ \omega_2 \ \omega_3 \ \omega_4]^T = [24,99 \ 117,27 \ 144,16 \ 200,91]^T$$

+ Véc tơ tham số nhận dạng tương ứng là
 $\mathbf{krt}_{ii} = [kr_{ii} \ kt_{ii}]^T = [kr_{ii} \ kt_{ii}]^T = [4 \cdot 10^8 \ 10^4]^T$ kN.m. Kết quả đúng với giá trị giá định ban đầu.

Nhận xét: Với véc tơ tham số trạng thái đo đạc được (tần số dao động riêng), sử dụng chương trình tính đã lập (CMFP) của tác giả, xác định được giá trị độ cứng ngàm đàn hồi đều đúng với giá trị giá định ban đầu, do đó đảm bảo độ tin cậy, có thể sử dụng để xác định độ cứng ngàm đàn hồi bằng phương pháp giải liên tiếp các bài toán thuận (tự động hóa thay đổi, xác định các bộ giá trị độ cứng ngàm đàn hồi trên máy tính), trên cơ sở đó cập nhật giá trị độ cứng liên kết ngàm đàn hồi để tính toán trạng thái ứng suất, biến dạng, các tham số động lực học của kết cấu, làm căn cứ đánh giá trạng thái kỹ thuật hiện tại của công trình và đề xuất các vấn đề kỹ thuật cần giải quyết để duy trì sự làm việc bình thường của công trình trong thời gian tiếp theo.

Tài liệu tham khảo

- [1] Venkataramana.K, Yamada.Y, 1989, *Dynamic soil -structure interaction effects of the random response of offshore platforms*, Proc. 8th Int. Conf. Offshore Mech. and Arctic Eng., ASME, pp.565-572.
- [2] Bathe K.J. and Wilson E.L., 1996, *Finite element method*, Prentice-Hall International, Inc.
- [3] American Petroleum Institute (2003), *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms - Working Stress Design* (Washington: API Publications)..
- [4] Bùi Đức Chính (2003), *Áp dụng bệnh học công trình và tin học trong đánh giá kết cấu nhịp đơn giản cầu BTCT thường trên đường ô tô*, Viện KH&CN GTVT, Hà Nội.
- [5] Nguyễn Xuân Bằng (2013), *Nhận dạng liên kết trên bề mặt tiếp xúc giữa móng cọc và nền đàn hồi*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Học viện KTQS.