

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO BỘ QUỐC PHÒNG
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ
=====o O o=====

Nguyễn Xuân Bằng

**NHẬN DẠNG LIÊN KẾT TRÊN BỀ MẶT TIẾP XÚC
GIỮA MÓNG CỌC VÀ NỀN ĐÀN HỒI**

Chuyên ngành: Kỹ thuật Xây dựng công trình đặc biệt

Mã số: 62 58 02 06

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Hà Nội – 2013

CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ - BỘ QUỐC PHÒNG

Người hướng dẫn khoa học:

GS.TSKH Nguyễn Văn Hợi

Phản biện 1: GS.TS Nguyễn Mạnh Yên

Phản biện 2: GS.TS Phan Quang Minh

Phản biện 3: GS.TS Nguyễn Văn Lệ

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp

Học viện họp tại: Học viện Kỹ thuật Quân sự

Vào hồi: 08h30 ngày tháng năm 2013

Có thể tìm hiểu luận án tại:

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

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ

- [1] Nguyễn Văn Hợi, Nguyễn Xuân Bằng, Phan Viết Tịnh (2008), *Nhận dạng liên kết trên bề mặt tiếp xúc giữa cọc và nền*/ Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự, số 124 (III-2008), trang 120 - 126.
- [2] Nguyễn Văn Hợi, Nguyễn Xuân Bằng (2012), *Nhận dạng liên kết trên bề mặt tiếp xúc giữa cọc và nền đàn hồi theo mô hình bài toán phẳng*/ Tạp chí Xây dựng, (07 - 2012), trang 64 - 66.
- [3] Nguyễn Văn Hợi, Nguyễn Xuân Bằng (2012), *Ứng dụng phương pháp giải liên tiếp các bài toán thuận để nhận dạng liên kết cọc - nền của các công trình DKI*/ Tạp chí Xây dựng, (10 - 2012), trang 83 - 84.
- [4] Nguyễn Xuân Bằng, Nguyễn Văn Hợi, Phan Thành Trung (2012), *Nhận dạng liên kết giữa móng và nền của công trình DKI bằng phương pháp hàm Penalty*/ Tạp chí Xây dựng, (11 - 2012), trang 47 - 49.
- [5] Nguyễn Văn Hợi, Nguyễn Xuân Bằng (2012), *Nhận dạng liên kết cọc - nền theo mô hình bài toán không gian*/ Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự, số 151 (12 - 2012), trang 118 - 127.
- [6] Nguyễn Văn Hợi, Nguyễn Xuân Bằng (2012), Khảo sát đánh giá trạng thái kỹ thuật các công trình DKI (quyển III.9) thuộc dự án nhánh NCKH cấp nhà nước ĐTB11.3 “Điều tra, khảo sát và đánh giá trạng thái kỹ thuật của các công trình quốc phòng dưới tác dụng của môi trường biển đảo và ảnh hưởng của công trình xây dựng đối với môi trường sinh thái đảo”, Bộ Tư lệnh Công binh, Hà Nội.

cọc luôn luôn nhỏ hơn lực ma sát trong mọi thời điểm. Cần tiếp tục nghiên cứu phương pháp nhận dạng liên kết móng - nền có tính đến lực ma sát của nền lên cọc.

2. Nền đất trong thực tế có thể biến dạng theo các mô hình khác nhau: đàn hồi tuyến tính, đàn - dẻo, đàn - nhớt, đàn - dẻo - nhớt,... Phương pháp giải bài toán nhận dạng liên kết cọc - nền của công trình đã thực hiện trong luận án chỉ mới dừng lại ở mô hình biến dạng thứ nhất của nền. Việc nghiên cứu các phương pháp nhận dạng liên kết móng - nền theo các mô hình đàn - dẻo, đàn - nhớt, đàn - dẻo - nhớt của nền là các phương hướng nghiên cứu tiếp theo sau luận án.

MỞ ĐẦU

Tính cấp thiết của đề tài

Móng cọc là loại kết cấu được sử dụng rất rộng rãi trong các công trình xây dựng như: nhà cao tầng, cầu, cảng, tường kè, công trình biển đảo (giàn khoan dầu khí, công trình đặc biệt dạng DKI),... Nhân tố quan trọng đảm bảo cho công trình giữ được ổn định và bền vững là liên kết trên bề mặt tiếp xúc giữa các cọc và môi trường đất đá (nền đàn hồi). Tuy nhiên, dưới tác dụng của các loại tải trọng bên ngoài, các liên kết nói trên (mô hình hóa cho các tính chất đàn hồi, đàn dẻo, ma sát của môi trường xung quanh cọc) bị suy giảm theo thời gian, dẫn đến khả năng chịu lực của công trình cũng suy giảm theo. Để đề xuất các biện pháp kỹ thuật nhằm phục hồi, duy trì và nâng cao khả năng làm việc tiếp theo của công trình, trước hết cần phải đánh giá được trạng thái thực của các liên kết này tại các thời điểm bất kỳ trong quá trình khai thác sử dụng.

Trong thực tế, miền tiếp xúc giữa kết cấu cọc và môi trường đất đá là các “miền kín” nằm sâu trong đất, không đo đạc trực tiếp được bằng các thiết bị thông thường. Vì vậy, cần phải nghiên cứu phương pháp nhận dạng (chẩn đoán) mô hình và thực trạng liên kết giữa kết cấu móng cọc và môi trường đất đá. Cho đến nay, bài toán nhận dạng kết cấu đã có nhiều công trình nghiên cứu nhưng bài toán nhận dạng liên kết cọc - nền còn ít được đề cập đến.

Với các lí do trên đề tài nghiên cứu về nhận dạng liên kết trên bề mặt tiếp xúc giữa kết cấu móng cọc và môi trường biến dạng là vấn đề rất cấp thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

Mục đích nghiên cứu của luận án

Nghiên cứu phương pháp, mô hình, thuật toán và chương trình tính để nhận dạng liên kết trên bề mặt tiếp xúc giữa kết cấu móng cọc và môi trường đàn hồi phục vụ cho chẩn đoán trạng thái kỹ thuật của công trình.

Phạm vi nghiên cứu của luận án

- Kết cấu: hệ thanh - móng cọc không gian.
- Môi trường nền: đàn hồi tuyến tính.

Phương pháp nghiên cứu

- Nghiên cứu lý thuyết:
- + Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn.
- + Sử dụng phương pháp hàm phạt.
- + Thử nghiệm số trên máy tính.
- + Áp dụng các kết quả nghiên cứu trên để nhận dạng liên kết cọc - nền cho một công trình cụ thể trong thực tế.
- Thử nghiệm tại hiện trường trên một công trình thực để xác định các đặc trưng động lực học của công trình phục vụ cho giải bài toán nhận dạng liên kết cọc - nền.

Cấu trúc của luận án

Toàn bộ nội dung luận án được trình bày trong phần mở đầu, 04 chương, phần kết luận, danh mục các tài liệu tham khảo và phụ lục. Nội dung luận án bao gồm 97 trang, 06 bảng biểu, 35 hình vẽ và đồ thị, 52 tài liệu tham khảo, 05 bài báo khoa học phản ánh nội dung của luận án. Phần phụ lục trình bày mã nguồn của các chương trình đã lập trong luận án.

CHƯƠNG I TỔNG QUAN

Đã tiến hành tổng quan về các vấn đề chính liên quan đến nội dung của luận án. Từ tổng quan rút ra các kết luận:

- Bài toán nhận dạng kết cấu nói chung và bài toán nhận dạng liên kết cọc - nền nói riêng là vấn đề rất cấp thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn. Cho đến nay, bài toán nhận dạng liên kết cọc - nền còn ít được đề cập đến.
- Để giải bài toán nhận dạng liên kết cọc - nền nói trên có nhiều phương pháp, trong số đó phương pháp hàm phạt là phương pháp nhận dạng rất hiệu quả nhưng còn ít được sử dụng.
- Từ các kết luận trên, tác giả đã lựa chọn đề tài, xác định mục đích, nội dung, phương pháp và phạm vi nghiên cứu của luận án như đã trình bày trong phần mở đầu.

KẾT LUẬN CHUNG

I. Các kết quả mới của luận án:

1. Xây dựng thuật toán và chương trình tính toán động lực học kết cấu hệ thanh - móng cọc không gian chịu tác dụng của tải trọng động bất kỳ có tính đến sự làm việc đồng thời của hệ thanh - cọc - nền để làm công cụ tính toán khi giải bài toán nhận dạng liên kết cọc - nền. Chương trình đã lập (mang tên UFEM - 1) đảm bảo độ tin cậy. Nội dung được thể hiện trong các công trình công bố [1], [2], [5].
2. Xây dựng thuật toán và chương trình nhận dạng liên kết giữa móng cọc và nền đàn hồi đối với kết cấu hệ thanh - móng cọc không gian bằng phương pháp hàm phạt. Sử dụng chương trình đã lập tiến hành tính toán bằng số để kiểm tra độ tin cậy của chương trình đã lập. Chương trình đã lập (mang tên UFEM - 2) đảm bảo độ tin cậy. Nội dung được thể hiện trong các công trình công bố [2], [5].
3. Thí nghiệm động tại hiện trường trên công trình biển DKI/2 với tải trọng động được tạo ra bằng thiết bị gây tải nhân tạo và bằng sóng gió tự nhiên tác động lên công trình. Sau khi phân tích xử lý số liệu đo đạc theo 2 phương pháp đã nhận được tần số dao động riêng thấp nhất của công trình. Nội dung được thể hiện trong các công trình công bố [3], [4], [6].
4. Sử dụng các chương trình đã lập (UFEM - 1 và UFEM - 2) và tần số dao động riêng thấp nhất của công trình nhận được bằng thí nghiệm ở hiện trường đã tiến hành giải bài toán nhận dạng liên kết móng - nền của công trình biển DKI/2 bằng phương pháp hàm phạt. Kết quả trên đã được sử dụng để tham khảo khi đánh giá trạng thái kỹ thuật các công trình DKI. Nội dung được thể hiện trong công trình công bố [4].

II. Các vấn đề cần nghiên cứu tiếp theo sau luận án:

1. Trong quá trình chịu lực phản lực đàn hồi của nền đất lên cọc theo các phương tiếp tuyến trong các thời điểm khác nhau có thể nhỏ hơn hoặc bằng lực ma sát. Lời giải của bài toán nhận dạng liên kết cọc - nền của công trình đã thực hiện trong luận án chỉ mới tương ứng với trường hợp đầu, theo đó đã thừa nhận phản lực đàn hồi của nền đất lên

$$K_z = c_z F, K_x = K_y = c_x F, K_{\phi_x} = K_{\phi_y} = c_\phi J, K_\psi = c_\psi J_p, \quad (4.4)$$

Các ký hiệu trong (4.4) tương tự như trong (4.1), trong đó “đáy khối trụ” được thay bằng “đáy cọc”.

* Các tham số nhận dạng liên kết móng - nền công trình DKI/2

Đề đơn giản tính toán nhưng vẫn phù hợp với thực tế khi giải bài toán nhận dạng liên kết móng - nền công trình DKI/2 thừa nhận các giả thiết sau:

- Nền đất mà cọc đi qua là đồng nhất và biến dạng đàn hồi tuyến tính,
- Hệ số c_z tại vị trí mặt nền (dưới đáy trụ): $c_z = 20000T/m^3$,
- Các hệ số c_z, c_x, c_ϕ, c_ψ tại vị trí dưới đáy cọc có thể lấy như sau:
 $c_z = c_x = \infty; c_\phi = c_\psi = 0$. Xét đến quan hệ: $c_\phi = c_u = 0,7c_v$ (4.5)

Các quan hệ (4.3), tính đến (4.5), có dạng:

$$k_v = k_w = c_v b, k_u = k_\phi = 0,7Sc_v = \beta_k k_v, \quad (4.6)$$

Do các giả thiết trên và quan hệ (4.6), véc tơ các tham số nhận dạng liên kết móng - nền công trình DKI/2 chỉ còn lại các độ cứng của các liên trên mặt bên của cọc:

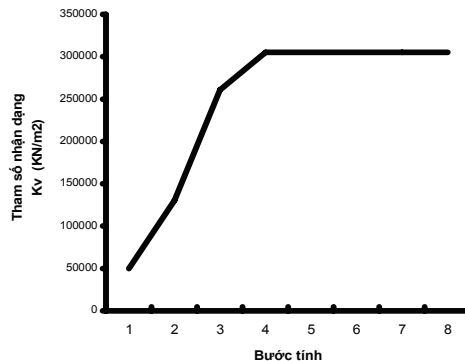
$$\theta = [\theta_1 \theta_2 \theta_3 \theta_4]^T = [k_u \ k_v \ k_w \ k_\phi]^T = [\beta_k k_v \ k_v \ k_v \ \beta_k k_v]^T = \mathbf{k}_v.$$

* Trị riêng đo đặc của công trình DKI/2 tương ứng với tần số thấp nhất (đã trình bày ở trên): $\lambda_e = \lambda_{e1} = (2\pi f_1)^2 = 157,7536 \text{ (rad}^2/\text{s}^2)$. (a)

* Sai số cho phép khi tính lặp: $\varepsilon = 0,5\%$

* Kết quả tính toán:

Sử dụng chương trình nhận dạng liên kết móng - nền **UFEM - 2** và chọn các giá trị ban đầu: $k_{v,0} = 50000 \text{ (kN/m}^2)$, đã tính được giá trị tham số nhận dạng k_v theo các bước tính lặp như thể hiện trên hình 4.20. Nghiệm bài toán hội tụ sau 5 bước tính với kết quả: $k_v = 305310 \text{ kN/m}^2$, tương ứng với $c_v = 424041,7 \text{ kN/m}^3$.

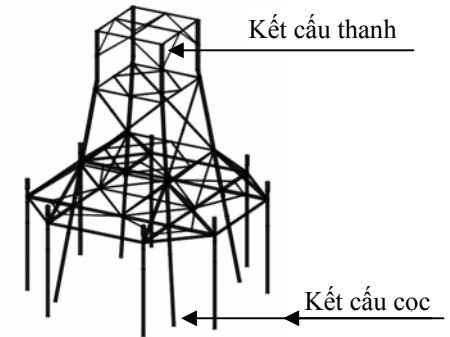


Hình 4.20. Kết quả tính bài toán nhận dạng liên kết công trình DKI

CHƯƠNG II XÂY DỰNG MÔ HÌNH, THUẬT TOÁN VÀ CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN ĐỘNG LỰC HỌC KẾT CẤU HỆ THANH - MÓNG CỌC NGUYÊN VẸN

Đối tượng cần nhận dạng trong bài toán của luận án là liên kết cọc - nền. Kết cấu có các liên kết chưa bị hư hỏng, tương ứng với thời điểm khi mới xây dựng, được gọi là kết cấu nguyên vẹn. Kết cấu có các liên kết cần nhận dạng tại bất cứ thời điểm nào trong thời gian sử dụng của công trình thường là kết cấu có một bộ phận liên kết nào đó đã bị hư hỏng (bị suy giảm một phần hoặc toàn bộ độ cứng) - được gọi là kết cấu không nguyên vẹn.

Trong quá trình giải bài toán nhận dạng liên kết cọc - nền của kết cấu không nguyên vẹn cần đến một mô đun chương trình tính kết cấu nguyên vẹn hay, tổng quát hơn, một mô đun chương trình tính kết cấu có các độ cứng xác định - như là một phần mềm tính toán hỗ trợ cho chương trình tính toán chính ở chương 3. Chương này giành cho việc xây dựng các thuật toán và



Hình 2.1. Hệ kết cấu thanh - cọc không gian

chương trình tính toán hỗ trợ này. Khảo sát hệ kết cấu thanh - cọc không gian còn nguyên vẹn (hình 2.1). Để tính toán kết cấu trên sẽ sử dụng phương pháp PTHH. Khi rời rạc hóa hệ kết cấu trên sẽ có 2 loại PTHH điển hình: Phần tử thanh không gian và phần tử cọc không gian.

2.1. Các phương trình và ma trận cơ bản đối với các phần tử thanh trong hệ tọa độ cục bộ

*** Ma trận độ cứng phần tử thanh không gian:**

$$k_c = \begin{bmatrix} \frac{EF}{a} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EF}{a} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI_z}{a^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{a^2} & -\frac{12EI_z}{a^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{a^2} \\ 0 & 0 & \frac{12EI_y}{a^3} & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{a^2} & -\frac{12EI_y}{a^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{a^2} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GI_p}{a} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GI_p}{a} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{6EI_y}{a^2} & 0 & \frac{4EI_y}{a} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{a^2} & 0 & \frac{2EI_y}{a} \\ 0 & \frac{6EI_z}{a^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{a} & -\frac{6EI_z}{a^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{a} \\ -\frac{EF}{a} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EF}{a} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI_z}{a^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{a^2} & \frac{12EI_z}{a^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{a^2} \\ 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{a^3} & 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{a^2} & \frac{12EI_y}{a^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{a^2} \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{GI_p}{a} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GI_p}{a} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{6EI_y}{a^2} & 0 & \frac{2EI_y}{a} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{a^2} & 0 & \frac{4EI_y}{a} \\ 0 & \frac{6EI_z}{a^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{a} & -\frac{6EI_z}{a^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{a} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

*** Ma trận khối lượng phần tử thanh không gian:**

$$m = \frac{ma}{420} \begin{bmatrix} 140 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 70 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 156 & 0 & 0 & 0 & 22a & 0 & 54 & 0 & 0 & 0 & -13a \\ 0 & 0 & 156 & 0 & 22a & 0 & 0 & 0 & 54 & 0 & 0 & -13a \\ 0 & 0 & 0 & \frac{140I_p}{F} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{70I_p}{F} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 22a & 0 & 4a^2 & 0 & 0 & 0 & 13a & 0 & -3a^2 & 0 \\ 0 & 22a & 0 & 0 & 0 & 4a^2 & 0 & 13a & 0 & 0 & 0 & -3a^2 \\ 70 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 140 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 54 & 0 & 0 & 0 & 13a & 0 & 156 & 0 & 0 & 0 & -22a \\ 0 & 0 & 54 & 0 & 13a & 0 & 0 & 0 & 156 & 0 & -22a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{70I_p}{F} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{140I_p}{F} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -13a & 0 & -3a^2 & 0 & 0 & 0 & -22a & 0 & 4a^2 & 0 \\ 0 & -13a & 0 & 0 & 0 & -3a^2 & 0 & -22a & 0 & 0 & 0 & 4a^2 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

*** Véc tơ tải trọng quy nút của phần tử thanh không gian :**

$$P = \begin{bmatrix} P_{u_1} & P_{v_1} & P_{w_1} & P_{\theta_1} & P_{\theta_{1y}} & P_{\theta_{1z}} & P_{u_2} & P_{v_2} & P_{w_2} & P_{\theta_2} & P_{\theta_{2y}} & P_{\theta_{2z}} \end{bmatrix}^T \quad (2.14)$$

$$= [P_1 \ P_2 \ P_3 \ P_4 \ P_5 \ P_6 \ P_7 \ P_8 \ P_9 \ P_{10} \ P_{11} \ P_{12}]^T$$

trong đó:

E, G - mô đun đàn hồi kéo nén, đàn hồi trượt của vật liệu phần tử,

trị trung bình cộng theo 2 phương pháp trên: $\bar{f}_1 = 2,02$ hez.

4.4. Nhận dạng liên kết móng - nền của công trình DKI/2

* Sơ đồ tính của công trình DKI/2

- Các khối trụ của móng bán trọng lực được thay bằng các phần tử thanh đứng có độ cứng bằng vô cùng.

- Thay liên kết dưới đáy các khối trụ với nền bằng các liên kết đàn hồi tập trung có độ cứng như sau:

$$K_z = c_z F, K_x = K_y = c_x F, K_{\alpha x} = K_{\alpha y} = c_{\alpha} J, K_{\phi} = c_{\phi} J_p, \quad (4.1)$$

trong đó:

K_z - độ cứng của các liên kết đàn hồi (đặc trưng cho độ cứng của nền) dưới đáy trụ tương ứng với chuyển vị đứng theo phương trục z của trụ,

K_x, K_y - độ cứng của các liên kết đàn hồi dưới đáy trụ tương ứng với chuyển vị ngang theo phương trục x và y của trụ,

$K_{\alpha x}, K_{\alpha y}$ - độ cứng của các liên kết đàn hồi dưới đáy trụ tương ứng với chuyển vị xoay của đáy trụ quanh trục ngang x và y,

K_{ϕ} - độ cứng của các liên kết đàn hồi tương ứng với chuyển vị xoắn của đáy trụ quanh trục z,

F, J, J_p - diện tích, mô men quán tính đối với trục ngang x (hoặc y) và mô men quán tính độc cực của đáy trụ,

c_z, c_x - hệ số nén đều và trượt đều (tương ứng với hệ số nền Winkler loại 1 và loại 2) của nền dưới đáy trụ theo phương đứng và ngang,

c_{α}, c_{ϕ} - hệ số nén không đều và trượt không đều của nền dưới đáy trụ.

- Thay liên kết trên mặt bên của cọc với nền bằng các liên kết lò xo đàn hồi theo phương tiếp tuyến dọc trục, pháp tuyến và phương chuyển vị xoắn phân bố liên tục trên bề mặt tiếp xúc cọc - nền theo

toàn chiều dài cọc: $k_u = c_u S, k_v = k_w = c_v b, k_{\phi} = c_{\phi} S$ (4.3)

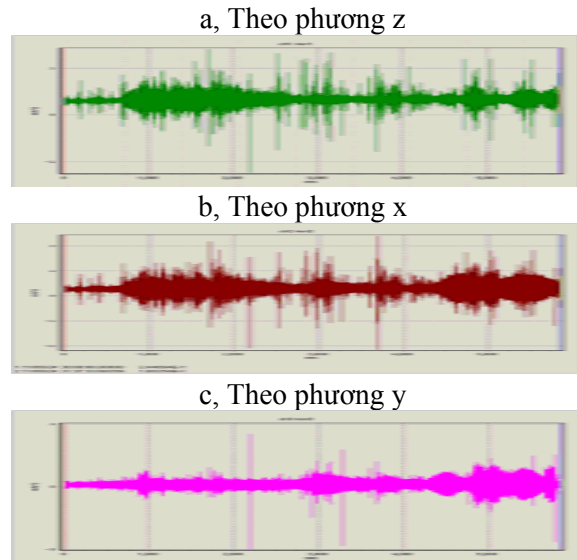
trong đó:

c_v - hệ số nén đều của nền (hệ số nền Winkler loại 1) theo phương ngang,

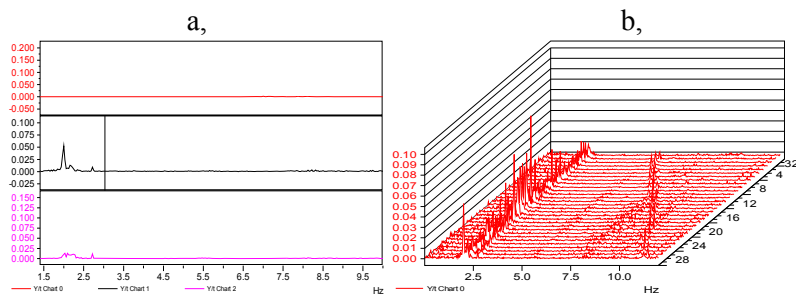
c_u, c_{ϕ} - lần lượt là hệ số trượt đều của nền (hệ số nền Winkler loại 2) theo phương đứng, theo phương chuyển vị xoắn,

b - chiều rộng (đường kính) cọc, S - chu vi cọc.

- Thay liên kết dưới chân cọc với nền bằng các liên kết đàn hồi tập trung có độ cứng như sau:



Hình 4.13. Trích đoạn quan hệ gia tốc chuyển động - thời gian của DKI/2 theo phương pháp thí nghiệm 1



Hình 4.14. Trích đoạn quan hệ biên độ gia tốc - tần số của công trình DKI/2 theo phương pháp thí nghiệm 1

a, 1 bản ghi tương ứng với 3 phương Z,X,Y

b, Nhiều bản ghi tương ứng với phương ngang X

Dựa trên các đồ thị quan hệ gia tốc - tần số có thể xác định được các tần số dao động riêng thấp nhất của công trình theo phương pháp thử nghiệm động 1: $f_1^1=2,01$ hez và theo phương pháp thử nghiệm động 2: $f_1^2=2,03$ hez. Giá trị tần số dao động riêng cần tìm của tần số sẽ là giá

$m = \rho F$ - khối lượng phân bố trên đơn vị dài của phần tử,

F - diện tích tiết diện ngang của phần tử thanh,

I_y, I_z - mô men quán tính đối với các trục y, z của tiết diện thanh,

ρ - mật độ khối lượng của vật liệu, a - chiều dài phần tử thanh.

* Phương trình cân bằng động của PTHH dạng thanh không gian khi không tính đến lực cản chuyển động có dạng:

$$m\ddot{q}(t) + k_c q(t) = p(t), \tag{2.15}$$

trong đó :

k_c, m - tương ứng là các ma trận độ cứng, khối lượng của phần tử,

p - véc tơ tải trọng quy nút của phần tử,

$$q(t) = \begin{bmatrix} u_1 & v_1 & w_1 & \varphi_1 & \theta_{1y} & \theta_{1z} & u_2 & v_2 & w_2 & \varphi_2 & \theta_{2y} & \theta_{2z} \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} q_1 & q_2 & q_3 & q_4 & q_5 & q_6 & q_7 & q_8 & q_9 & q_{10} & q_{11} & q_{12} \end{bmatrix}^T$$

véc tơ chuyển vị nút của phần tử, với $u_i, v_i, w_i, \varphi_i, \theta_{iy}, \theta_{iz}, (i=1,2)$ - tương ứng là chuyển vị dọc, ngang, xoắn và xoay của phần tử trong hệ tọa độ cục bộ,

$\ddot{q}(t)$ - véc tơ gia tốc nút của phần tử.

2.2. Các phương trình và ma trận cơ bản đối với các phần tử cọc tiếp xúc với nền trong hệ tọa độ cục bộ

* Mô hình liên kết giữa cọc và nền

Thừa nhận giả thiết:

- Nền đàn hồi gồm nhiều lớp, tại mỗi điểm của môi trường nền biến dạng theo quy luật tuyến tính (tương ứng với nền Winkler), còn trong phạm vi từng lớp hệ số nền thay đổi theo chiều sâu theo quy luật tuyến tính.

- Phản lực của nền lên cọc sẽ được thay bằng các liên kết lò xo không khối lượng, biến dạng đàn hồi tuyến tính, làm việc hai chiều trong trạng thái kéo - nén như nhau, phân bố đều dọc theo phần tử theo cả 3 phương (pháp tuyến, tiếp tuyến và xoắn) của cọc (hình 2.4).

Với các giả thiết trên, ta có:

$$r_u = -k_u \cdot u, r_v = -k_v \cdot v, r_w = -k_w \cdot w, r_\varphi = -k_\varphi \cdot \varphi, \tag{2.16}$$

$$k_u = c_u S, k_v = c_v b, k_w = c_w b, k_\varphi = c_\varphi S \tag{2.17}$$

trong đó:

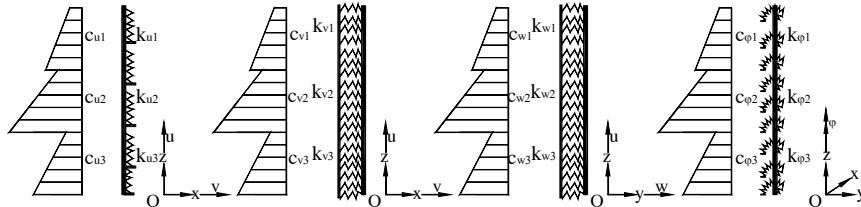
r_u, r_v, r_w, r_φ - phản lực theo phương tiếp tuyến dọc, các phương pháp

tuyến ngang và xoắn quanh trục của phần tử (PT) cọc,
 u, v, w, φ - chuyển vị dọc, các chuyển vị ngang và chuyển vị xoắn của PT cọc,

k_u, k_v, k_w, k_φ - độ cứng liên kết lò xo theo phương chuyển vị dọc, các chuyển vị ngang và chuyển vị xoắn của PT cọc,

c_u, c_v, c_w, c_φ - hệ số nền Winkler theo phương chuyển vị dọc, chuyển vị ngang và chuyển vị xoắn của PT,

b - chiều rộng (đường kính) cọc, S - chu vi tiết diện ngang cọc.



Hình 2.4. Mô hình liên kết cọc - nền không gian

* Phương trình cân bằng động của phần tử cọc tiếp xúc với nền không tính đến lực cản chuyển động trong trạng thái chịu lực không gian có dạng:

$$m\ddot{q}(t) + (k_c + k_s)q(t) = 0, \tag{2.25}$$

trong đó k_s - là ma trận độ cứng của nền đất kết hợp với ma trận độ cứng của cọc trong trạng thái không gian:

$$k_s = \frac{a}{420} \begin{bmatrix} 140k_u & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 70k_u & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 156k_v & 0 & 0 & 0 & 22ak_v & 0 & 54k_v & 0 & 0 & 0 & -13ak_v \\ 0 & 0 & 156k_w & 0 & 22ak_w & 0 & 0 & 0 & 54k_w & 0 & -13ak_w & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 140k_\varphi & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 70k_\varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 22ak_w & 0 & 4a^2k_w & 0 & 0 & 0 & 13ak_w & 0 & -3a^2k_w & 0 \\ 0 & 22ak_v & 0 & 0 & 0 & 4a^2k_v & 0 & 13ak_v & 0 & 0 & 0 & -3a^2k_v \\ 70k_u & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 140k_u & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 54k_v & 0 & 0 & 0 & 13ak_v & 0 & 156k_v & 0 & 0 & 0 & -22ak_v \\ 0 & 0 & 54k_w & 0 & 13ak_w & 0 & 0 & 0 & 156k_w & 0 & -22ak_w & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 70k_\varphi & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 140k_\varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -13ak_w & 0 & -3a^2k_w & 0 & 0 & 0 & -22ak_w & 0 & 4a^2k_w & 0 \\ 0 & -13ak_v & 0 & 0 & 0 & -3a^2k_v & 0 & -22ak_v & 0 & 0 & 0 & 4a^2k_v \end{bmatrix} \tag{2.26}$$

2.3. Phương trình cân bằng động kết cấu hệ thanh - móng cọc nguyên vẹn và các phương pháp giải

* Sau khi biến đổi các véc tơ chuyển vị và lực nút từ hệ tọa độ cục bộ sang hệ tọa độ tổng thể và áp dụng phương pháp độ cứng trực tiếp, áp đặt các điều kiện biên vào hệ sẽ nhận được phương trình cân bằng

4.3. Thí nghiệm xác định các tần số dao động riêng công trình DKI/2

* Phương pháp và thiết bị thí nghiệm: Thử nghiệm động trên công trình DKI/2 được tiến hành theo 2 phương pháp:

+ Phương pháp 1: gây tải trọng động bằng thiết bị gây tải nhân tạo. Thiết bị gây tải nhân tạo được sử dụng là máy gây tải ly tâm có thể điều chỉnh được tần số bằng biến tần (hình 4.8) và được hàn chặt vào tâm của sàn công tác của công trình DKI (nằm trong khung nổi của nhà giàn).



Hình 4.8. Thiết bị gây tải trọng động

+ Phương pháp 2: tải trọng động được gây ra bởi sóng gió tự nhiên tác động lên công trình. Trong trường hợp này việc ghi dao động được thực hiện bằng thiết bị tự ghi gắn trước trên công trình.

Các thiết bị đo dao động bao gồm các đầu đo gia tốc và máy đo chuyên dụng (RION DA-20).

* Các kết quả thí nghiệm: Các đồ thị gia tốc dao động động của công trình DKI/2 trong miền thời gian, tương ứng với 3 phương Z, X, Y trong không gian (1 phương đứng và 2 phương ngang) nhận được theo 2 phương pháp có dạng như trên hình 4.13. Sau khi phân tích biến đổi đã nhận được các đồ thị biên độ gia tốc chuyển động của công trình DKI/2 trong miền tần số như trên hình 4.14.

4.2. Các mô hình liên kết giữa móng công trình DKI với nền

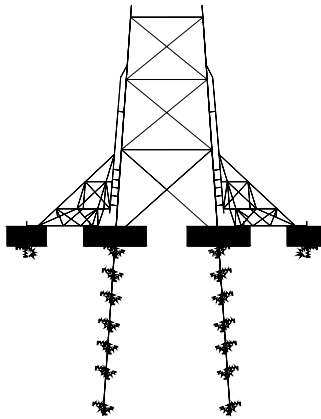
Để làm mô hình tính của công trình, liên kết trên bề mặt tiếp xúc móng

- nền được mô hình hóa như sau:

- Thay liên kết cọc - nền bằng các liên kết lò xo đàn hồi (phương pháp tuyến, tiếp tuyến và phương chuyển vị xoắn) phân bố liên tục trên bề mặt tiếp xúc cọc - nền theo toàn chiều dài cọc như trên hình 4.7.

- Thay liên kết dưới đáy các khối trụ với nền san hô bằng các liên kết lò xo đàn hồi tập trung (theo phương pháp tuyến, tiếp tuyến và phương chuyển vị xoay) đặt tại tâm của đáy trụ (hình 4.7).

Theo mô hình trên thì sự suy giảm liên kết móng - nền trong quá trình chịu lực được đặc trưng bởi sự thay đổi độ cứng của các lò xo đàn hồi cả trên cọc và cả dưới đáy các khối trụ. Các tham số nói trên sẽ được chọn làm tham số để nhận dạng liên kết (gọi tắt là tham số nhận dạng).



Hình 4.7. Hình chiếu mặt bên liên kết móng - nền trong mô hình tính
 Khi giải bài toán nhận dạng liên kết móng - nền của công trình DKI sẽ sử dụng phương pháp hàm phạt đã trình bày trong chương 3, theo đó cần biết trước tần số dao động riêng của công trình nhận được bằng thí nghiệm động trên kết cấu thực tại hiện trường. Các tần số này đã được nhóm tác giả của dự án ĐTB 11.3 (trong đó có tác giả của luận án) thực hiện vào tháng 5/2011 tại vùng biển DKI. Dưới đây trình bày kết quả của thí nghiệm này, thí nghiệm được thực hiện trên công trình DKI/2.

động của kết cấu hệ thanh - móng cọc dưới dạng:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{U}} + \mathbf{K}\mathbf{U} = \mathbf{P} \quad (2.40)$$

trong đó: $\mathbf{M}, \mathbf{C}, \mathbf{K}, \mathbf{P}$ - tương ứng là các ma trận khối lượng, ma trận cản, ma trận độ cứng và véc tơ tải trọng quy nút của hệ trong hệ tọa độ tổng thể khi đã kể đến các điều kiện biên,

$$\mathbf{C} = \alpha_1 \mathbf{M} + \alpha_2 \mathbf{K}, \quad (2.41)$$

$\mathbf{U}, \dot{\mathbf{U}}, \ddot{\mathbf{U}}$ - tương ứng là véc tơ chuyển vị nút, vận tốc nút, gia tốc nút của hệ trong hệ tọa độ tổng thể khi đã kể đến các điều kiện biên.

* Thuật toán giải bài toán dao động riêng của kết cấu:

Hệ phương trình dao động riêng của hệ kết cấu đàn hồi có dạng:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}} + \mathbf{K}\mathbf{U} = \mathbf{0} \quad (2.43)$$

Để giải (2.43) trong luận án sử dụng phương pháp lập không gian con.

* Thuật toán giải bài toán dao động cưỡng bức của kết cấu:

Để giải phương trình (2.40) trong luận án dùng phương pháp tích phân trực tiếp Newmark - là một trong các phương pháp vạm vỡ và hiệu quả nhất khi tính toán kết cấu.

Trên cơ sở các thuật toán đã nhận được, trong chương 2 đã lập được chương trình để giải bài toán động lực học kết cấu hệ thanh - móng cọc bằng ngôn ngữ MATLAB, chương trình mang tên UFEM-1.

2.4. Tính toán số

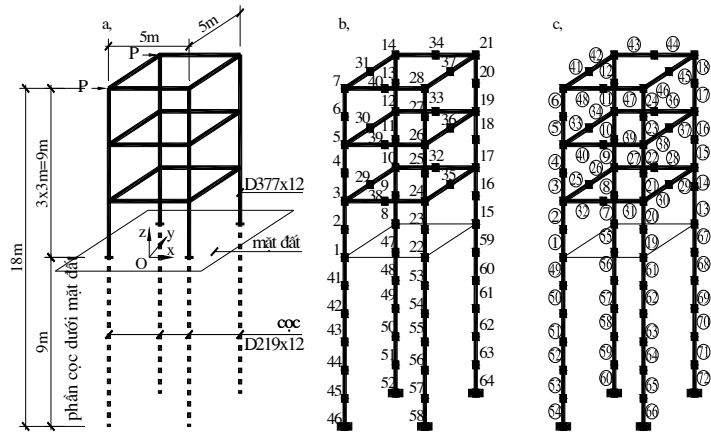
Thí dụ 1 Tính tần số dao động riêng của dầm đơn giản trên nền đàn hồi. Dầm bê tông cốt thép có chiều dài $l=10\text{m}$, tiết diện ngang $0,35 \times 0,35 \text{ m}$, nền đàn hồi đồng nhất có hệ số nền $k_0 = 1000 \text{ KN/m}^3$, $E=2,52 \cdot 10^7 \text{ KN/m}^2$, $\rho = 2,5 \text{ T/m}^3$.

Từ kết quả tính toán cho thấy sai số giữa kết quả tính toán theo chương trình UFEM - 1 với kết quả giải tích không đáng kể.

Thí dụ 2 Tính tần số dao động riêng và chuyển vị ngang của kết cấu khung không gian tác dụng của tải trọng động tập trung theo phương ngang $P=10\sin 50t \text{ (kN)}$ gây ra (hình 2.7). Bỏ qua lực cản chuyển động. Các số liệu xuất phát: Các kích thước hình học thể hiện trên hình 2.7. Thép có mô đun đàn hồi $E=2,1 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$, $\rho = 78 \text{ kN/m}^3$, hệ số nền $c_u = 100 \text{ kN/m}^3$, $c_v = c_w = 1000 \text{ kN/m}^3$.

Khi rời rạc hóa PTHH, kết cấu chia thành 72 phần tử. Sơ đồ đánh số

nút, số phần tử thể hiện trên hình 2.7. Kết quả tính toán bằng chương trình SAP 2000 và bằng chương trình UFEM -1 cho trong bảng 2.2.



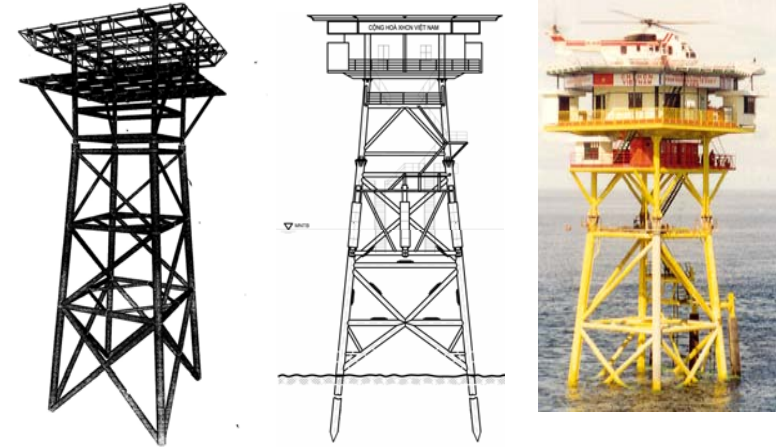
Hình 2.7. Sơ đồ kết cấu và sơ đồ rời rạc hóa PTHH trong thí dụ 2

Bảng 2.2. Kết quả tính của thí dụ 2

Đại lượng tính toán	Chương trình tính		Sai số(%)
	SAP 2000	UFEM -1	
Tần số dao động riêng ω_1 (Rad/s)	12,554	12,60657	0,42
Tần số dao động riêng ω_2 (Rad/s)	12,554	12,60657	0,42
Tần số dao động riêng ω_3 (Rad/s)	14,925	15,01924	0,63
Biên độ chuyển vị tại nút số 7(cm):			
- Theo phương x	14,220	14,21768	0,016
- Theo phương y	$9,266 \cdot 10^{-13}$	$9,26317 \cdot 10^{-13}$	0,030

Từ bảng 2.2 ta thấy rằng kết quả tính toán theo 2 chương trình gần như trùng nhau.

Nhận xét: Từ kết quả tính toán bằng số theo 2 thí dụ trên cho thấy chương trình UFEM - 1 đã lập để tính toán động lực học hệ kết cấu thanh - cọc không gian đảm bảo độ tin cậy.



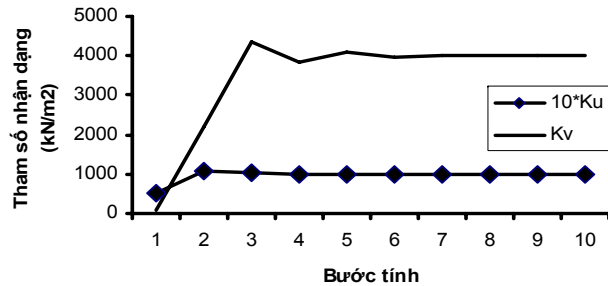
Hình 4.1. Sơ đồ kết cấu công trình DKI dạng giàn thép - móng cọc

Hình 4.2. Ảnh công trình DKI dạng giàn thép - móng cọc

công trình đã bị đổ. Để phục hồi và duy trì khả năng làm việc và bảo đảm sự hoạt động bình thường của các công trình DKI, từ năm 2000 - 2009 tất cả các công trình DKI đã được gia cố sửa chữa. Sau khi gia cố móng của các công trình DKI trở thành móng bán trọng lực. Trong năm 2011 đã xây dựng 2 công trình DKI mới, giải pháp kết cấu móng của các công trình này vẫn là dạng móng bán trọng lực. Như vậy là cho đến thời điểm này tất cả các công trình DKI đang hiện hữu trên vùng biển phía Đông Nam biển Đông đều có kết cấu móng bán trọng lực (gồm các cọc và các khối trụ gia trọng).

* Bài toán nhận dạng liên kết móng - nền các công trình DKI

Từ khảo sát thực tế đối với các công trình trên thấy rằng, sự suy giảm khả năng chịu lực của công trình DKI chủ yếu do liên kết giữa móng cọc và nền bị suy giảm (hư hỏng) theo thời gian. Sự hư hỏng này không thể khảo sát trực tiếp trên bề mặt tiếp xúc cọc - nền, mà chỉ có thể xác định bằng phương pháp chẩn đoán (nhận dạng) trên cơ sở lý thuyết nhận dạng kết cấu. Sau khi liên kết cọc - nền đã được nhận dạng sẽ đánh giá được khả năng chịu lực (trạng thái kỹ thuật) hiện tại của công trình và tính toán dự báo tuổi thọ còn lại của nó.



Hình 3.8. Đồ thị tham số nhận dạng theo từng bước tính

Bảng 3.3. Kết quả tính toán bằng số bài toán không gian

Tham số nhận dạng	Giá trị các tham số nhận dạng theo các bước tính lặp (kN/m ²)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\theta_1(k_u)$	100	2216,8	4365,1	3820,1	4083,5	3956,9	4023,2	3995,2	4006,2	4001,6
$\theta_2(k_v, k_w)$	50	106,0	102,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Nhận xét: Nghiệm của 3 bài toán trên đều hội tụ về các giá cần tìm, chứng tỏ các thuật toán và chương trình đã lập UFEM - 2 là đáng tin cậy.

CHƯƠNG 4

NHẬN DẠNG LIÊN KẾT MÓNG - NỀN CỦA CÁC CÔNG TRÌNH DKI

4.1. Tổng quan các giải pháp kết cấu móng công trình biển DKI và bài toán nhận dạng liên kết cọc - nền

* Tổng quan các giải pháp kết cấu móng công trình biển DKI

Giải pháp kết cấu của các công trình DKI xây dựng trong giai đoạn từ năm 1990 - 1998 có dạng giàn thép - móng cọc, gồm các bộ phận (mô đun) chính: chân đế, thượng tầng (khung nổi + khối nhà ở + sân bay trực thăng). Trên hình vẽ 4.1 và 4.2 thể hiện kết cấu tổng thể của một công trình DKI dạng giàn thép - móng cọc xây dựng trên nền san hô. Các công trình trên, sau một quá trình khai thác sử dụng, hầu hết đều bị rung lắc, trong đó có một số công trình rung lắc rất mạnh và có

CHƯƠNG 3

XÂY DỰNG THUẬT TOÁN VÀ CHƯƠNG TRÌNH NHẬN DẠNG LIÊN KẾT GIỮA MÓNG CỌC VÀ NỀN ĐÀN HỒI

3.1. Bài toán chẩn đoán trạng thái kỹ thuật công trình và nhận dạng liên kết cọc - nền đàn hồi

Trong giai đoạn khai thác sử dụng, dưới tác động của môi trường bên ngoài trạng thái kỹ thuật của các công trình sẽ suy giảm dần theo thời gian - dù cho trong giai đoạn thiết kế đã đảm bảo độ tin cậy. Do đó, cần phải định kỳ tiến hành công tác chẩn đoán trạng thái kỹ thuật công trình nhằm đánh giá chất lượng hiện tại, dự báo sự thay đổi trạng thái kỹ thuật tiếp theo, dự báo tuổi thọ còn lại, đề xuất các biện pháp và thời gian duy tu bảo dưỡng, nâng cao độ tin cậy và sức sống công trình. Trước khi đánh giá trạng thái kỹ thuật của công trình cần phải tiến hành nhận dạng (chẩn đoán), các hư hỏng của nó để xác định mô hình thực trạng của công trình.

Trong luận án đối tượng hư hỏng cần phải nhận dạng là liên kết cọc - nền của kết cấu hệ thanh không gian - móng cọc.

3.2. Lựa chọn phương pháp giải bài toán nhận dạng liên kết cọc - nền

Trong luận án này dựa trên các tần số dao động riêng đã đo đạc được của kết cấu, phương pháp nhận dạng được sử dụng là phương pháp hàm phạt.

3.3. Giải bài toán nhận dạng liên kết cọc - nền đàn hồi bằng phương pháp hàm phạt (Penalty function method)

Khảo sát hệ kết cấu khung - móng cọc không gian. Thừa nhận các giả thiết:

- Các phần tử của kết cấu khung và cọc còn nguyên vẹn, biến dạng đàn hồi tuyến tính, chuyển vị bé.
- Nền đất móng cọc đi qua có cấu tạo địa chất đã biết, đàn hồi tuyến tính. Phản lực của nền lên cọc tuân theo quy luật Winkler, nhưng giá trị hệ số nền không biết.

Mô hình liên kết cọc - nền được thể hiện trên hình 2.4, theo đó phân

lực của nền lên cọc sẽ được thay bằng các liên kết lò xo không khối lượng, biến dạng đàn hồi tuyến tính, làm việc hai chiều trong trạng thái kéo - nén như nhau, phân bố đều dọc theo phần tử theo cả 3 phương (pháp tuyến, tiếp tuyến và xoắn) của cọc, trong đó độ cứng của các liên kết lò xo phụ thuộc vào các hệ số nền trên bề mặt tiếp xúc cọc - nền. Bài toán đặt ra ở đây là cần xác định (hoặc nhận dạng) độ cứng các liên kết lò xo (hoặc các hệ số nền) nói trên.

Để giải bài toán đặt ra sẽ sử dụng phương pháp hàm phạt (penalty function method), theo đó các tham số nhận dạng được xác định trên cơ sở cực tiểu hóa hàm này, là tổng bình phương sai số giữa các trị riêng đo đạc và trị riêng tính toán, ký hiệu:

$\boldsymbol{\theta} = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_j, \dots, \theta_p]^T = [k_{u1}, k_{u2}, \dots, k_{v1}, k_{v2}, \dots, k_{w1}, k_{w2}, \dots, k_{\phi 1}, k_{\phi 2}, \dots]^T$ - véc tơ của các tham số nhận dạng có giá trị chưa biết,

$\mathbf{z}_e = [\lambda_{e1}, \lambda_{e2}, \dots, \lambda_{ei}, \dots, \lambda_{em}]^T$ - véc tơ của m trị riêng đầu tiên nhận được từ đo đạc khi thử nghiệm động kết cấu tại hiện trường (trị riêng bằng bình phương tần số dao động riêng),

$\mathbf{z}_c = [\lambda_{c1}, \lambda_{c2}, \dots, \lambda_{ci}, \dots, \lambda_{cm}]^T$ - véc tơ của m trị riêng đầu tiên nhận được từ tính toán, phụ thuộc vào các tham số nhận dạng, $\mathbf{z}_c = \mathbf{z}_c(\boldsymbol{\theta})$,

$\boldsymbol{\varepsilon} = (\mathbf{z}_c - \mathbf{z}_c(\boldsymbol{\theta})) = \boldsymbol{\varepsilon}(\boldsymbol{\theta})$ - véc tơ sai số giữa các giá trị riêng đo đạc và giá trị riêng tính toán.

Hàm phạt $\mathbf{J}(\boldsymbol{\theta})$ có dạng:

$$\mathbf{J}(\boldsymbol{\theta}) = \|\boldsymbol{\varepsilon}(\boldsymbol{\theta})\|^2 = (\mathbf{z}_c - \mathbf{z}_c(\boldsymbol{\theta}))^T \mathbf{W}_e (\mathbf{z}_c - \mathbf{z}_c(\boldsymbol{\theta})) = \sum_{ei}^m W_{ei} (\lambda_{ei} - \lambda_{ci}(\boldsymbol{\theta}))^2, \quad (3.1)$$

trong đó: $\mathbf{W}_e = \text{diag}(W_{e1}, W_{e2}, \dots, W_{ei}, \dots, W_{em}^{i-1})$ - ma trận trọng số dạng đường chéo xác định dương và thường là ma trận nghịch đảo của phương sai (bình phương độ lệch chuẩn) của các số liệu đo trị riêng.

Do $\mathbf{J}(\boldsymbol{\theta})$ là các hàm phi tuyến bậc cao của $\boldsymbol{\theta}$, nên để tìm nghiệm $\boldsymbol{\theta}$ từ điều kiện cực tiểu hóa hàm phạt bằng phương pháp chính xác gặp rất nhiều khó khăn. Trong luận án này, thay cho phương pháp chính xác sẽ sử dụng phương pháp gần đúng dần (phương pháp lặp). Khai triển Taylor véc tơ sai số $\boldsymbol{\varepsilon}(\boldsymbol{\theta})$ theo các tham số nhận dạng tại véc tơ đã biết nào đó $\boldsymbol{\theta} = \boldsymbol{\theta}_k$, và chỉ giữ lại 2 thành phần đầu tiên của chuỗi, ta có:

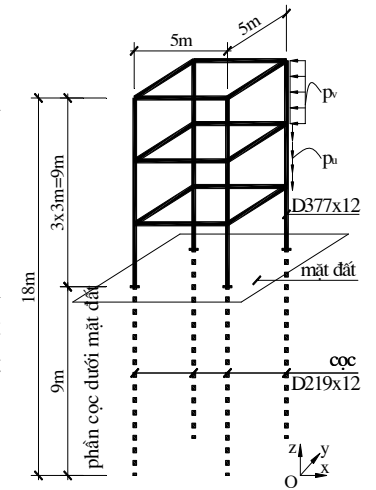
$$\boldsymbol{\varepsilon}_k(\boldsymbol{\theta}) \approx (\mathbf{z}_c - \mathbf{z}_c(\boldsymbol{\theta}_k)) + \left[\frac{\partial(\mathbf{z}_c - \mathbf{z}_c(\boldsymbol{\theta}))}{\partial \boldsymbol{\theta}} \right]_{\boldsymbol{\theta}=\boldsymbol{\theta}_k} \delta \boldsymbol{\theta}_k = \delta \mathbf{z}_k - \mathbf{S}_k \delta \boldsymbol{\theta}_k = \boldsymbol{\varepsilon}_k(\delta \boldsymbol{\theta}_k), \quad (3.3)$$

3.4.2. Bài toán không gian

Nhận dạng độ cứng các liên kết k_u và k_v, k_w trên bề mặt tiếp xúc giữa cọc với nền đồng nhất của kết cấu thanh - cọc - nền có dạng như hình 3.6 (giả thiết độ cứng các liên kết theo phương chuyển vị xoắn $k_\phi = c_\phi \cdot S$ đã biết).

* Số liệu xuất phát.

- Kết cấu hệ thanh - cọc làm bằng thép ống, kích thước như trên hình 3.6, các thanh trên mặt đất $\phi 377 \times 12 \text{mm}$; đoạn cọc trong đất $\phi 219 \times 12 \text{mm}$, $E = 2,1 \cdot 10^7 \text{ T/m}^2$; $\gamma = \rho / g = 7,8 \text{ T/m}^3$. Hệ số nền theo phương chuyển vị xoắn quanh trục x là $c_\phi = 664,0 \text{ kN/m}^2$.



Hình 3.6. Mô hình thực hệ kết cấu thanh - cọc - nền không gian

- Véc tơ đo đạc (giả định): $\lambda_e = [547,47 \ 9189 \ 11202 \ 23979]^T$, tương ứng với độ cứng các liên kết theo các phương (tiếp tuyến, pháp tuyến và xoắn) cho trước sau đây:

$$\mathbf{k}_{uvw} = [k_u \ k_v \ k_w]^T = [100 \ 4000 \ 4000]^T \text{ kN/m}^2, \quad k_\phi = 100 \text{ kN/m}$$

- Chọn sai số cho phép khi tính lặp: $\varepsilon = 0,5\%$.

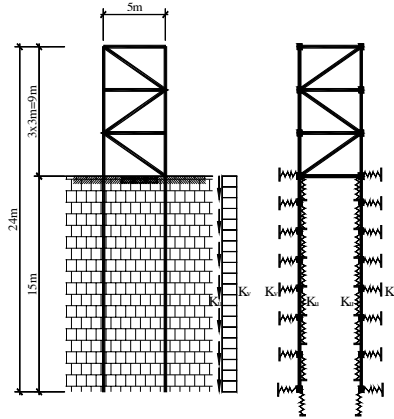
* Kết quả tính toán:

Do vật liệu nền là đẳng hướng nên hệ số nền theo các phương v, w bằng nhau, $c_w = c_v$, theo đó $k_w = k_v$; do đó véc tơ tham số nhận dạng chỉ còn 02 tham số, $\mathbf{k}_{uvw} = [k_u \ k_v]^T$.

Kết quả tính toán giá trị các tham số nhận dạng theo các bước tính lặp được thể hiện trong bảng 3.3 và hình 3.8. Nghiệm bài toán hội tụ sau 10 bước tính với kết quả: $\boldsymbol{\theta} = \mathbf{k}_{uvw} = [k_u \ k_v]^T = [100 \ 4001,6]^T \text{ kN/m}^2$, tương ứng với $\mathbf{c}_{uvw} = [c_u \ c_v]^T = [456,6 \ 18272,15]^T \text{ kN/m}^3$.

sau đây: $\mathbf{k}_{u-v} = [k_u \ k_v]^T = [100 \ 10000]^T$.

- Chọn sai số cho phép khi tính lặp: $\varepsilon = 0,5\%$.



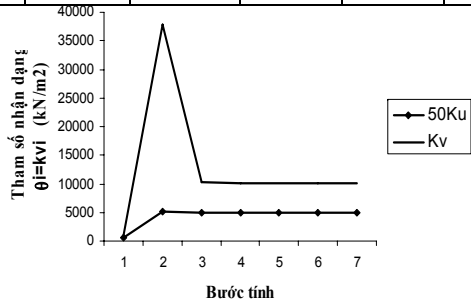
Hình 3.4. Mô hình thực và mô hình tính bài toán 2

*** Kết quả tính toán:**

Kết quả tính toán giá trị các tham số nhận dạng theo các bước tính lặp được thể hiện trong bảng 3.2 và hình 3.5. Nghiệm bài toán hội tụ sau 6 bước tính với kết quả : $\boldsymbol{\theta} = \mathbf{k}_{u-v} = [100,0 \ 10035]^T \text{ kN/m}^2$.

Bảng 3.2. Kết quả tính toán bằng số bài toán 2

Tham số nhận dạng	Giá trị các tham số nhận dạng theo các bước tính lặp (kN/m ²)					
	1	2	3	4	5	6
$\theta_1(k_u)$	103	100	100	100	100	100
$\theta_2(k_v)$	37851	10263	10139	10068	10042	10035



Hình 3.5. Kết quả tính bài toán 2

$$\delta \mathbf{z}_k = \mathbf{z}_c - \mathbf{z}_{c,k}, (3.4); \quad \mathbf{z}_{c,k} = \mathbf{z}_c(\boldsymbol{\theta}_k) = [\lambda_{c1,k}, \lambda_{c2,k}, \dots, \lambda_{ci,k}, \dots, \lambda_{cm,k}]^T, (3.5)$$

$$\mathbf{S}_k = \begin{bmatrix} S_{11,k} & S_{12,k} & \dots & S_{1j,k} & \dots & S_{1p,k} \\ S_{21,k} & S_{22,k} & \dots & S_{2j,k} & \dots & S_{2p,k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{i1,k} & S_{i2,k} & \dots & S_{ij,k} & \dots & S_{ip,k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{m1,k} & S_{m2,k} & \dots & S_{mj,k} & \dots & S_{mp,k} \end{bmatrix}_k, (3.6)$$

$$S_{ij,k} = \frac{\partial \lambda_{ci,k}}{\partial \theta_j}, (3.7)$$

Tính đến (3.3), hàm phạt $\mathbf{J}(\boldsymbol{\theta})$ bây giờ có dạng:

$$\mathbf{J}_k(\boldsymbol{\theta}) = \boldsymbol{\varepsilon}_k^T(\delta \boldsymbol{\theta}_k) \mathbf{W}_\varepsilon \boldsymbol{\varepsilon}_k(\delta \boldsymbol{\theta}_k) = (\delta \mathbf{z}_k - \mathbf{S}_k \delta \boldsymbol{\theta}_k)^T \mathbf{W}_\varepsilon (\delta \mathbf{z}_k - \mathbf{S}_k \delta \boldsymbol{\theta}_k) = \mathbf{J}_k(\delta \boldsymbol{\theta}_k). (3.8)$$

Nghiệm của phương trình (3.8) nhận được bằng cách cực tiểu hóa hàm

$$\mathbf{J}_k(\delta \boldsymbol{\theta}_k) \text{ theo } \delta \boldsymbol{\theta}_k, \text{ theo đó: } \delta \boldsymbol{\theta}_k = [\mathbf{S}_k^T \mathbf{W}_\varepsilon \mathbf{S}_k]^{-1} \mathbf{S}_k^T \mathbf{W}_\varepsilon \delta \mathbf{z}_k (3.10)$$

Do hàm (3.3) là hàm xấp xỉ tuyến tính theo biến $\boldsymbol{\theta}$, nên để tiệm cận với giá trị chính xác của bài toán cần phải tính lặp. Do

$\delta \boldsymbol{\theta}_k = \boldsymbol{\theta}_{k+1} - \boldsymbol{\theta}_k$ nên từ (3.10):

$$\text{có thể viết: } \boldsymbol{\theta}_{k+1} = \boldsymbol{\theta}_k + [\mathbf{S}_k^T \mathbf{W}_\varepsilon \mathbf{S}_k]^{-1} \mathbf{S}_k^T \mathbf{W}_\varepsilon \delta \mathbf{z}_k; (3.12)$$

$$\text{hoặc: } \boldsymbol{\theta}_k = \boldsymbol{\theta}_{k-1} + [\mathbf{S}_{k-1}^T \mathbf{W}_\varepsilon \mathbf{S}_{k-1}]^{-1} \mathbf{S}_{k-1}^T \mathbf{W}_\varepsilon \delta \mathbf{z}_{k-1}, (3.13)$$

trong đó chỉ số (k-1), k, (k+1) chỉ các bước lặp.

Quá trình lặp kết thúc khi nghiệm của bài toán hội tụ với độ chính xác yêu cầu. Các phần tử của ma trận \mathbf{S} (gọi là ma trận nhạy cảm) có thể được xác định từ phương trình đạo động riêng của kết cấu (2.43):

$$S_{ij} = \frac{\partial \lambda_{ci}}{\partial \theta_j} = \boldsymbol{\varphi}_i^T \left[\frac{\partial \mathbf{K}}{\partial \theta_j} - \lambda_i \frac{\partial \mathbf{M}}{\partial \theta_j} \right] \boldsymbol{\varphi}_j, (3.15)$$

$$\text{Ma trận độ cứng } \mathbf{K} \text{ có thể viết dưới dạng: } \mathbf{K} = \mathbf{K}_c + \mathbf{K}_s, (3.16)$$

trong đó:

\mathbf{K}_c - phần ma trận độ cứng không phụ thuộc vào độ cứng của nền,

\mathbf{K}_s - phần ma trận độ cứng phụ thuộc vào độ cứng của nền.

Do \mathbf{K}_c không phụ thuộc vào tham số nhận dạng $\boldsymbol{\theta}$ nên công thức (3.15) chuyển tới dạng:

$$S_{ij} = \frac{\partial \lambda_{ci}}{\partial \theta_j} = \Phi_i^T \frac{\partial \mathbf{K}_s}{\partial \theta_j} \Phi_i \quad (3.18)$$

Tại bước lặp thứ k đại lượng trên có dạng:

$$S_{ij,k} = \frac{\partial \lambda_{ci,k}}{\partial \theta_j} = \Phi_{i,k}^T \left[\frac{\partial \mathbf{K}_s}{\partial \theta_j} \right]_{\theta=\theta_k} \Phi_{i,k} \quad (3.19)$$

Trên cơ sở các thuật toán nhận được, đã lập trình để giải bài toán nhận dạng liên kết trên bề mặt tiếp xúc giữa cọc và nền đàn hồi bằng ngôn ngữ MATLAB, chương trình mang tên **UFEM - 2**.

3.4. Các tính toán bằng số

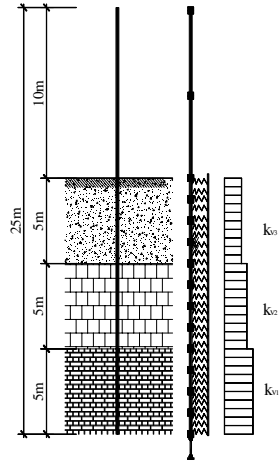
3.4.1. Bài toán phẳng

Bài toán 1

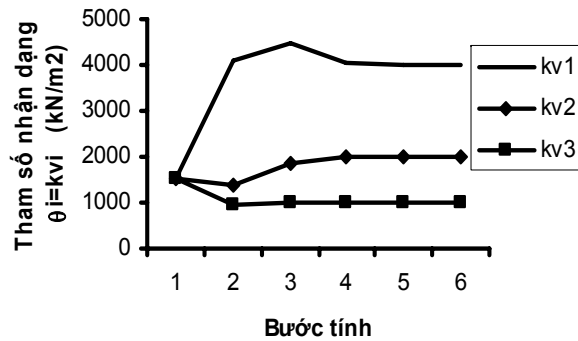
Nhận dạng độ cứng các liên kết pháp tuyến trên bề mặt tiếp xúc giữa cọc đơn và nền 3 lớp của kết cấu thanh - cọc cho trên hình 3.2.

* Các số liệu xuất phát

- Kết cấu thanh - cọc làm bằng thép ống, thanh có tiết diện $\phi 377 \times 12 \text{mm}$; cọc có tiết diện $\phi 219 \times 12 \text{mm}$; $E = 2,1 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$, $\gamma = \rho / g = 78 \text{ kN/m}^3$. Nền đất gồm 3 lớp, mỗi lớp dày 5m.



Hình 3.2. Mô hình thực và mô hình tính bài toán 1



Hình 3.3. Kết quả tính bài toán 1

- Véc tơ trị riêng đo đặc (giả định):

$$\lambda_e = [77 \ 2664 \ 14877 \ 27069 \ 40893 \ 41825]^T \text{ (rad}^2/\text{s}^2\text{)},$$

tương ứng với độ cứng các liên kết pháp tuyến cho trước sau đây:

$$\mathbf{k}_v = [k_{v1}, k_{v2}, k_{v3}]^T = [4000 \ 2000 \ 1000]^T \text{ (kN/m}^2\text{)}.$$

- Chọn sai số cho phép khi tính lặp: $\epsilon = 0,5\%$.

* Kết quả tính toán

- Chọn các tham số nhận dạng: độ cứng các liên kết pháp tuyến k_{vj} ($j=1,2,3$).

- Chọn các giá trị ban đầu

$$\theta_0 = \mathbf{k}_{v0} = [k_{v1,0}, k_{v2,0}, k_{v3,0}]^T = [1500 \ 1500 \ 1500]^T \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

- Nghiệm bài toán:

Kết quả tính toán giá trị các tham số nhận dạng theo các bước tính lặp được thể hiện trong bảng 3.1 và hình 3.3. Nghiệm bài toán hội tụ sau 5 bước tính với kết quả:

$$\theta = \mathbf{k}_v = [k_{v1}, k_{v2}, k_{v3}]^T = [3999,4 \ 2000,1 \ 999,9]^T \text{ (kN/m}^2\text{)}.$$

Bảng 3.1. Kết quả tính toán bằng số bài toán 1

Tham số nhận dạng	Giá trị các tham số nhận dạng theo các bước tính lặp (kN/m ²)				
	1	2	3	4	5
$\theta_1(k_{v1})$	4075,2	4499,6	4028,0	4000,5	3999,4
$\theta_2(k_{v2})$	1360,2	1873,1	1993,9	2000,1	2000,1
$\theta_3(k_{v3})$	946,8	994,2	1000,0	1000,0	999,9

Bài toán 2

Nhận dạng độ cứng các liên kết tiếp tuyến k_u và pháp tuyến k_v trên bề mặt tiếp xúc giữa cọc với nền đồng nhất của kết cấu thanh - cọc có dạng như hình 3.4.

* Số liệu xuất phát.

- Kết cấu hệ thanh - cọc làm bằng thép ống, kích thước như trên hình 3.4, các thanh trên mặt đất $\phi 377 \times 12 \text{mm}$; đoạn cọc trong đất $\phi 219 \times 12 \text{mm}$ dài 15m; $E = 2,1 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$; $\gamma = \rho / g = 78 \text{ kN/m}^3$.

- Véc tơ đo đặc (giả định): $\lambda_e = [168 \ 2655 \ 3026 \ 8130]^T$,

tương ứng với độ cứng các liên kết tiếp tuyến và pháp tuyến cho trước