

Nhận dạng suy giảm độ cứng tiết diện kết cấu bằng phương pháp giải liên tiếp các bài toán thuận

Identification of stiffness reduction in structure by consecutive method of the forward

TS NGUYỄN XUÂN BÀNG

Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn; Email: nxb@lqdtu.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp giải bài toán nhận dạng vị trí và hệ số suy giảm độ cứng tiết diện của kết cấu. 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 giá trị 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 kết quả tính toán bằng số, có thể khẳng định mô hình, thuật toán và chương trình tính là tin cậy, có thể sử dụng để nhận dạng vị trí và hệ số suy giảm độ cứng tiết diện của kết cấu.

Từ khóa: Suy giảm; độ cứng tiết diện; tần số dao động riêng; tính toán; đo đạc.

ABSTRACT

This paper presents the results of identification of stiffness reduction in structure. 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 of stiffness reduction in structure.

Keywords: Reduction; stiffness; natural frequencies; calculate; measure.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, việc xác định trạng thái kỹ thuật của kết cấu là rất cần thiết và hết sức quan trọng, trạng thái kỹ thuật của kết cấu phụ thuộc nhiều vào sự thay đổi của các tham số kết cấu như suy giảm độ cứng tiết diện, hư hỏng cục bộ, xuất hiện vết nứt, suy giảm liên kết với môi trường, ... Với kết cấu ban đầu, độ cứng tiết diện là một tham số biết trước, tuy nhiên, trong quá trình vận hành khai thác, có nhiều trường hợp độ cứng tiết diện không đủ điều kiện xác định như:

- Có sự sai lệch trong quá trình thi công xây dựng so với hồ sơ thiết kế, sự thay đổi này không được ghi nhận trong hồ sơ hoàn công, vị trí tiết diện ở những vị trí khó sử dụng các kỹ thuật để có thể xác định được kích thước tiết diện, chất lượng của vật liệu;

- Trong quá trình khai thác sử dụng, tiết diện kết cấu có thể bị suy giảm độ cứng.

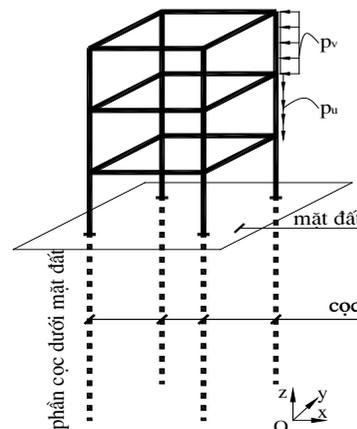
Do đó việc nhận dạng vị trí và hệ số suy giảm độ cứng tiết diện ứng với trạng thái làm việc thực tế của kết cấu trên số liệu đo đạc hiện trường (tần số dao động riêng, chuyển vị, biến dạng, ...) là rất cần thiết.

Để giải bài toán nhận dạng kết cấu nói chung, nhận dạng vị trí và hệ số suy giảm độ cứng tiết diện nói riêng, có thể áp dụng nhiều phương pháp như: phương pháp giải liên tiếp các bài toán thuận, ứng dụng ANN, phương pháp hàm phạt (penalty), phương pháp quy hoạch phi tuyến, ... [1, 3, 4, 5].

Trong bài báo này, tác giả sử dụng phương pháp giải liên tiếp các bài toán thuận, đây là phương pháp có thể tận dụng các chương trình tính toán kết cấu hiện có, để nhận dạng vị trí và hệ số suy giảm độ cứng tiết diện, là phương pháp hiệu quả trong trường hợp thông tin thu thập được không đầy đủ, nhiều dạng khác nhau, như bao gồm tần số dao động riêng, chuyển vị, biến dạng, ... [4,5].

2. PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA HỆ KẾT CẤU

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



Hình 1. Kết cấu khung không gian

Thừa nhận giả thiết biến dạng của hệ kết cấu là đàn hồi tuyến tính và bé. Mô hình tính của kết cấu được thể hiện trên hình 2.

Để tính toán các tham số dao động của hệ kết cấu sẽ sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH).

Phương trình chuyển động của hệ kết cấu theo phương pháp PTHH [2,5], sau khi đã đưa các điều kiện biên vào hệ, có thể thiết lập được dưới dạng:

$$M\ddot{U}(t) + C\dot{U}(t) + KU(t) = P(t), \quad (1)$$

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.

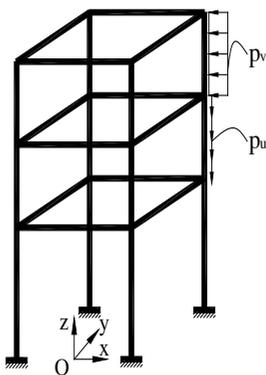
Ma trận cản của hệ kết cấu có thể tính theo ma trận khối lượng và ma trận độ cứng dưới dạng:

$$C = \alpha M + \beta K, \quad (2)$$

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 (1) có thể xây dựng từ các ma trận của các PTHH trong hệ bằng phương pháp "độ cứng trực tiếp" [2,5]. Dưới đây dẫn ra các ma trận của các PTHH đối với hệ kết cấu thanh không gian.

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 được xác định theo [2,5].



Hình 2. Mô hình tính hệ kết cấu thanh không gian
Phương trình dao động riêng của hệ:

$$KU(t) + M\ddot{U}(t) = 0 \quad (3)$$

Để giải (3), tác giả sử dụng phương pháp lặp Power- Sweeping [5].

3. BÀI TOÁN NHẬN DẠNG SUY GIẢM ĐỘ CỨNG TIẾT DIỆN VÀ PHƯƠNG PHÁP GIẢI

Để xây dựng các thuật toán nhận dạng suy giảm độ cứng tiết diện, 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 vị trí (số hiệu phần tử) và hệ số suy giảm độ cứng tiết diện 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].

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 phần tử có sự suy giảm độ cứng tiết diện).

Dưới đây là các bước xây dựng mô hình tính, thuật toán để giải bài toán nhận dạng vị trí và hệ số suy giảm độ cứng tiết diện 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 vị trí và hệ số suy giảm độ cứng tiết diện $SG = [pt_1 \ pt_2 \ \dots \ pt_n \ k_{SG1} \ k_{SG2} \ \dots \ k_{SGn}]^T$ làm tham số nhận dạng và chọn véc tơ tần số dao động riêng $\Omega = [\omega_1 \ \omega_2 \ \dots \ \omega_m]$ 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:

$\Omega^0 = [\omega_1^0 \ \omega_2^0 \ \dots \ \omega_i^0 \ \dots \ \omega_m^0]^T$, 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 SG_i thành các bộ giá trị rời rạc (véc tơ), trong đó hệ số suy giảm độ cứng tiết diện trong khoảng biến thiên dự đoán.

6. Tính véc tơ tần số dao động riêng Ω_j^c (véc tơ tham số trạng thái) của kết cấu công trình theo các véc tơ giá trị khác nhau của kr^j ta được:

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

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

7. Tính tổng bình phương độ lệch giữa Ω_j^c và Ω^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

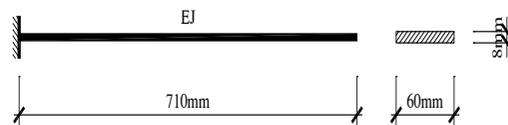
Véc tơ $SG_{it} = SG^j$ tương ứng với δ_{\min}^2 sẽ là tham số nhận dạng (vị trí và hệ số suy giảm độ cứng tiết diện) cần tìm.

Sau khi đã xác định được véc tơ vị trí và hệ số suy giảm độ cứng tiết diện 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, 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.

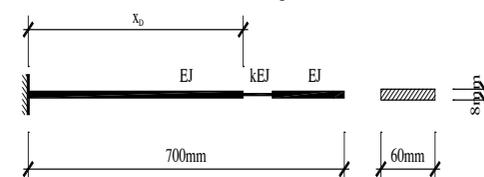
Với các thuật toán trên, tác giả đã xây dựng chương trình CMFP (Consecutive method of the forward problem) để giải bài toán nhận dạng vị trí và hệ số suy giảm độ cứng tiết diện trong kết cấu theo mô hình kết cấu thanh không gian bằng ngôn ngữ MATLAB.

4. 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 vị trí và hệ số suy giảm độ cứng tiết diện của kết cấu dầm conxon có dạng như hình 3.



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



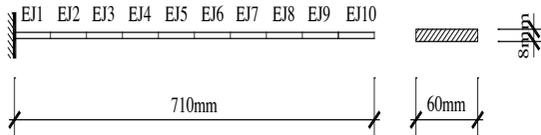
Hình 4. Tham số nhận dạng

* Số liệu xuất phát.

- Kết cấu dầm thép một đầu ngàm (conxon) dài 710 mm, tiết diện 60x8 mm như trên hình 3; mô đun đàn hồi của thép: $E=2,03.10^7 \text{ T/m}^2$; trọng lượng riêng thép: $\gamma = \rho / g = 7,85 \text{ T/m}^3$.

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

* Rời rạc hoá PTHH đối với kết cấu: Được thể hiện trên hình 5 với 11 nút, 10 phần tử.



Hình 5. Sơ đồ tính

* Trường hợp 1:

Coi kết cấu chỉ có 01 phần tử suy giảm độ cứng tiết diện (trên toàn bộ phần tử), với hệ số suy giảm $k_{SG} = 0,8$ (80%), khi đó số lượng tham số cần nhận dạng là 01 tham số (pt_{11} - số hiệu phần tử suy giảm độ cứng tiết diện).

- Véc tơ đo đặc (giả định):

$$\Omega^0 = [\omega_1^0 \ \omega_2^0 \ \omega_3^0]^T = [12,78 \ 80,38 \ 225,76]^T \quad (a)$$

Đây thực chất không phải là các giá trị đo đặc thật mà là các tần số dao động riêng tính toán đối với kết cấu với 01 phần tử (số 1) suy giảm độ cứng, véc tơ vị trí và hệ số suy giảm độ cứng tiết diện như sau:

$$SG = [pt_1]^T = [1]^T. \quad (b)$$

- Tham số nhận dạng lúc này là:

$$SG_{11} = [pt_{11}]^T, \text{ số tham số nhận dạng là 01 tham số.}$$

- Số trường hợp tính toán: Trong bài toán này, lần lượt cho từng phần tử suy giảm độ cứng tiết diện (10 phần tử, tương ứng có 10 trường hợp tính toán).

- Kết quả tính toán:

+ Giá trị nhỏ nhất của độ lệch quân phương: $\delta_{\min}^2 = \delta_1^2 = 0,1327$, tương ứng véc tơ tham số trạng thái

$$\Omega_3^c = [\omega_1 \ \omega_2 \ \omega_3]^T = [12,784 \ 80,383 \ 225,756]^T$$

+ Véc tơ tham số nhận dạng tương ứng là $SG_{11} = [pt_1]^T = [1]^T \text{ kN.m}$. Kết quả đúng với giá trị giả định ban đầu.

* Trường hợp 2:

Coi kết cấu chỉ có 02 phần tử suy giảm độ cứng tiết diện (trên toàn bộ phần tử), với hệ số suy giảm $k_{SG} = 0,8$ (80%), khi đó số lượng tham số cần nhận dạng là 02 tham số (pt_{11} - số hiệu phần tử suy giảm độ cứng tiết diện).

- Véc tơ đo đặc (giả định):

$$\Omega^0 = [\omega_1^0 \ \omega_2^0 \ \omega_3^0]^T = [12,52 \ 80,40 \ 221,46]^T \quad (c)$$

Đây thực chất không phải là các giá trị đo đặc thật mà là các tần số dao động riêng tính toán đối với kết cấu với 02 phần tử (số 3 và số 4) suy giảm độ cứng, véc tơ vị trí và hệ số suy giảm độ cứng tiết diện như sau:

$$SG = [pt_1 \ pt_2]^T = [3 \ 4]^T. \quad (d)$$

- Tham số nhận dạng lúc này là:

$$SG_{11} = [pt_{11} \ pt_{12}]^T, \text{ số tham số nhận dạng là 02 tham số.}$$

- Số trường hợp tính toán: Trong bài toán này, lần lượt cho từng cặp 02 phần tử suy giảm độ cứng tiết diện, có $10 \times 9 = 90$ trường hợp tính toán.

- Kết quả tính toán:

+ Giá trị nhỏ nhất của độ lệch quân phương: $\delta_{\min}^2 = \delta_{21}^2 = 0,1188$, tương ứng véc tơ tham số trạng thái

$$\Omega_3^c = [\omega_1 \ \omega_2 \ \omega_3]^T = [12,516 \ 80,399 \ 221,463]^T$$

+ Véc tơ tham số nhận dạng tương ứng là $SG_{11} = [pt_1 \ pt_2]^T = [3 \ 4]^T$, là trường hợp các phần tử 3, 4 suy giảm độ cứng tiết diện với hệ số 80%. Kết quả đúng với giá trị giả định ban đầu.

* Trường hợp 3:

Coi kết cấu chỉ có 02 phần tử suy giảm độ cứng tiết diện (trên toàn bộ phần tử), với hệ số suy giảm k_{SG} bằng nhau và có thể thay đổi từ 0,5 - 0,9 (50% - 90%), khi đó số lượng tham số cần nhận dạng là 03 tham số (02 pt_{11} - số hiệu phần tử suy giảm độ cứng tiết diện, và 01 hệ số suy giảm k_{SG}).

- Véc tơ đo đặc (giả định) như trường hợp 2.

- Tham số nhận dạng lúc này là:

$$SG_{11} = [pt_{11} \ pt_{12} \ k_{SG}]^T, \text{ số tham số nhận dạng là 03 tham số.}$$

- Số trường hợp tính toán: Trong bài toán này, lần lượt cho từng cặp 02 phần tử suy giảm độ cứng tiết diện, hệ số suy giảm độ cứng thay đổi từ 50% đến 90%, có $10 \times 9 \times 5 = 450$ trường hợp tính toán.

- Kết quả tính toán:

+ Giá trị nhỏ nhất của độ lệch quân phương: $\delta_{\min}^2 = \delta_{104}^2 = 0,1188$, tương ứng véc tơ tham số trạng thái

$$\Omega_3^c = [\omega_1 \ \omega_2 \ \omega_3]^T = [12,516 \ 80,399 \ 221,463]^T$$

+ Véc tơ tham số nhận dạng tương ứng là $SG_{11} = [pt_1 \ pt_2 \ k_{SG}]^T = [3 \ 4 \ 0,8]^T$, là trường hợp các phần tử 3, 4 suy giảm độ cứng tiết diện với hệ số suy giảm $k_{SG} = 80\%$. Kết quả đúng với giá trị giả định ban đầu.

5. NHẬN XÉT

Với véc tơ tham số trạng thái đo đặc được (tần số dao động riêng), sử dụng chương trình tính đã lập (CMFP) của tác giả, xác định được sự suy giảm độ cứng tiết diện trong kết cấu đều đúng với giá trị giả định ban đầu, do đó mô hình, thuật toán và chương trình tính đã lập đảm bảo độ tin cậy, có thể sử dụng để nhận dạng sự suy giảm độ cứng tiết diện trong kết cấu bằng phương pháp giải liên tiếp các bài toán thuận (tự động hóa thay đổi, xác định các bộ giá trị độ cứng tiết diện trên máy tính), trên cơ sở đó cập nhật giá trị độ cứng tiết diện 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]. A. Borowiec, L. Ziemiński (2005), Identification of stiffness reduction in beams using parameterdependent frequency changes and neural networks, Computational Fluid and Solid Mechanics.
- [2]. Bathe K.J. and Wilson E.L. (1996), Finite element method, Prentice-Hall International, Inc.
- [3]. Deobeling SW, Farrar CR, Prime MB, Sheritz DW (1996). Damage Identification and Health Monitoring of Structural and Mechanical Systems from Changes in their Vibration Characteristic: A Literature Review, Los Alamos National Laboratory.
- [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 KQSQ.