



NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA GIÓ, ĐỘNG ĐẤT TỚI DAO ĐỘNG CỦA TÒA NHÀ CAO TẦNG

Nguyễn Hữu Đình¹, Vũ Xuân Trường²

¹ Trường Đại học Hàng Hải Việt Nam

² Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

Ngày tòa soạn nhận được bài báo: 08/08/2019

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 16/08/2019

Ngày bài báo được duyệt đăng: 26/08/2019

Tóm tắt:

Bài báo này nghiên cứu ảnh hưởng của gió hoặc động đất tới dao động của tòa nhà cao tầng. Bài báo xây dựng ba mô hình dao động của tòa nhà cao tầng. Bài toán thứ nhất nghiên cứu mô hình nhà 3 tầng là hệ đàn hồi dao động tự do dưới tác dụng của trọng lượng bản thân. Bài toán thứ hai nghiên cứu dao động ngang của tòa nhà 3 tầng khi có lực gió tác dụng vào tầng trên cùng dưới dạng điều hòa $F(t) = F_0 \sin \Omega t$. Bài toán thứ ba là nghiên cứu dao động bé của tòa nhà 2 tầng được cấu thành 3 khối đặt trên nền đàn hồi khi chịu động đất làm móng rung động ngang $u(t) = u_0 \sin \omega t$. Kết quả bài báo cho ta biết được dao động ngang của tòa nhà dưới tác dụng của lực gió hoặc động đất và cũng là hướng để chúng ta nghiên cứu tiếp theo.

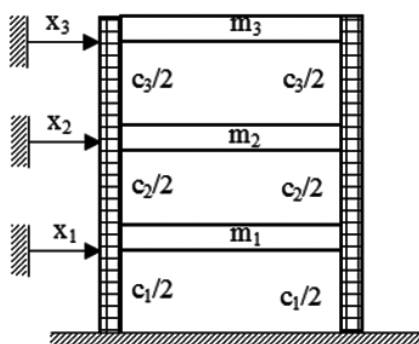
Từ khóa: Dao động của tòa nhà cao tầng.

1. Đặt vấn đề

Dao động và những ảnh hưởng của nó tới tòa nhà cao tầng đã được quan tâm từ lâu. Những ảnh hưởng của nó tới công trình làm hư hỏng đến kết cấu của tòa nhà thậm chí dao động mạnh nó có thể làm sập tòa nhà. Như chúng ta biết rằng, trên thế giới có rất nhiều vụ động đất hoặc bão gió trong năm. Có thể động đất nhẹ làm tòa nhà rung lắc mà con người chúng ta cảm nhận được. Động đất mạnh sẽ làm sập tòa nhà. Gây ra nhiều hậu quả tồi tệ đến con người và các vận dụng xung quanh. Do vậy việc nghiên cứu dao động của tòa nhà cao tầng khi chịu tác động của gió hoặc động đất là một vấn đề thời sự mà chúng ta cần nghiên cứu nó.

2. Xây dựng một số mô hình dao động của tòa nhà cao tầng

2.1. Mô hình dao động ngang của tòa nhà 3 tầng như Hình 1

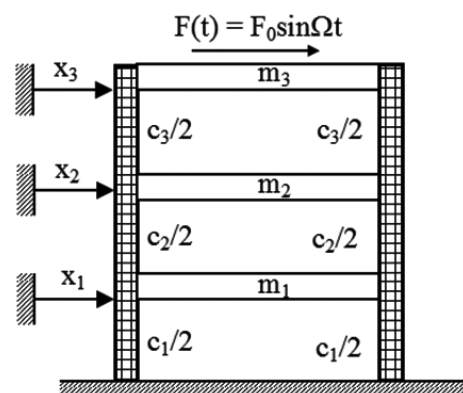


Hình 1

Trong đó:

- m_1 : Khối lượng tầng 1
- m_2 : Khối lượng tầng 2
- m_3 : Khối lượng tầng 3
- c_1 : Độ cứng uốn các bức tường tầng 1
- c_2 : Độ cứng uốn các bức tường tầng 2
- c_3 : Độ cứng uốn các bức tường tầng 3

2.2. Mô hình dao động ngang của tòa nhà 3 tầng khi chịu tác dụng của lực gió $F(t) = F_0 \sin \Omega t$ đặt vào tầng 3 của tòa nhà Hình 2

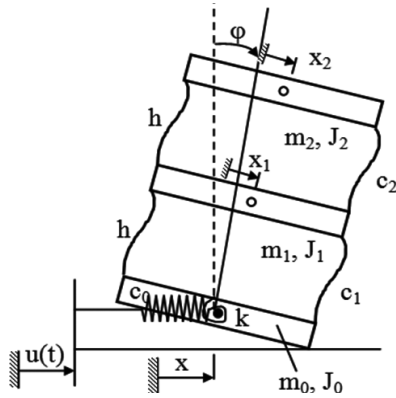


Trong đó:

Xem rằng lực của gió đặt vào khối lượng m_3 dưới dạng điều hòa

$$F(t) = F_0 \sin \Omega t$$

2.3. Mô hình tòa nhà 2 tầng được cấu thành 3 khối đặt trên nền đàn hồi khi chịu động đất làm móng rung động ngang $u(t)$ như Hình 3



Hình 3

Trong đó:

- m_0 : Khối lượng móng và nền tầng 1
- m_1 : Khối lượng tầng 1
- m_2 : Khối lượng tầng 2
- h : Chiều cao tầng 1 và tầng 2
- c_1 : Độ cứng uốn các bức tường tầng 1
- c_2 : Độ cứng uốn các bức tường tầng 2

Coi nền móng nhà được gắn với các lò xo thẳng có độ cứng c_0 và lò xo xoắn có độ cứng k .

3. Thiết lập phương trình vi phân dao động của các mô hình

3.1. Mô hình dao động ngang của tòa nhà 3 tầng (Hình 1)

Chọn tọa độ suy rộng của cơ hệ x_1, x_2, x_3 là các độ lệch ngang của các khối lượng m_1, m_2, m_3 so với vị trí cân bằng thẳng đứng.

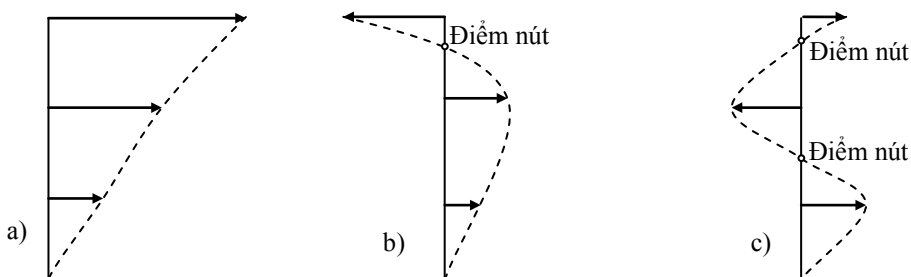
Biểu thức động năng và thế năng của hệ có dạng

$$T = \frac{1}{2}m_1\dot{x}_1^2 + \frac{1}{2}m_2\dot{x}_2^2 + \frac{1}{4}m_3\dot{x}_3^2$$

$$\Pi = \frac{1}{2}c_1x_1^2 + \frac{1}{2}c_2(x_2 - x_1)^2 + \frac{1}{2}c_3(x_3 - x_2)^2$$

Thay vào phương trình Lagrăng II như sau

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = -\frac{\partial \Pi}{\partial q_i}$$



Hình 4

Phương trình vi phân dao động nhỏ của cơ hệ xung quanh vị trí cân bằng có dạng $M\ddot{x} + Cx = 0$ với ma trận khối lượng và ma trận độ cứng của hệ là:

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix}$$

Phương trình tần số của cơ hệ có dạng là.

$$|C - \omega^2 M| = 0$$

$$\Leftrightarrow \begin{vmatrix} c_1 + c_2 - \omega^2 m_1 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 - \omega^2 m_2 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 - \omega^2 m_3 \end{vmatrix} = 0$$

Với số liệu cho khối lượng các tầng bằng nhau $m_1 = m_2 = m_3 = m = 262,69 \cdot 10^3$ kg, độ cứng uốn của các bức tường ở các tầng là $c_1 = 3c, c_2 = 2c, c_3 = c = 88,56 \cdot 10^6$ N/m.

Đặt $\lambda = \omega^2 \frac{m}{c}$ Phương trình tần số là $\lambda^3 - 9\lambda^2 + 18\lambda - 6 = 0$, giải ra nhận được kết quả như sau:

$$\lambda_1 = 0,4158 \Rightarrow \omega_1 = 11,84 \text{ rad/s}$$

$$\lambda_2 = 2,2943 \Rightarrow \omega_2 = 27,81 \text{ rad/s}$$

$$\lambda_3 = 6,2899 \Rightarrow \omega_3 = 46,05 \text{ rad/s}$$

Phương trình xác định các vector riêng có dạng:

$$\begin{bmatrix} 5 - \lambda_k & -2 & 0 \\ -2 & 3 - \lambda_k & -1 \\ 0 & -1 & 1 - \lambda_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{1k} \\ a_{2k} \\ a_{3k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Tương ứng với các tần số riêng ta có các dạng dao động riêng như sau

$$v_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 2,29 \\ 3,92 \end{bmatrix} \quad v_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1,35 \\ -1,04 \end{bmatrix} \quad v_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ -0,64 \\ 0,12 \end{bmatrix}$$

Ma trận dạng riêng là

$$v = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2,29 & 1,35 & -0,64 \\ 3,92 & -1,04 & 0,12 \end{bmatrix}$$

Các dạng riêng được biểu diễn như Hình 4.

Nhận xét:

- Dạng riêng 1: Các khối lượng dao động cùng pha, dịch chuyển tăng theo chiều cao.

- Dạng riêng 2: Khối lượng m_1, m_2 dao động cùng pha, khối lượng m_3 dao động ngược pha. Xuất hiện “điểm nút” ở vị trí giữa m_2 và m_3 .

- Dạng riêng 3: Khối lượng m_1, m_3 dao động cùng pha, khối lượng m_2 dao động ngược pha. Xuất hiện 2 “điểm nút” ở các vị trí giữa m_2 và m_3 .

Kết luận: Có thể suy ra đối với tòa nhà n tầng: Ở dạng dao động riêng thứ k sẽ có (k-1) điểm nút.

3.2. Mô hình dao động ngang của tòa nhà 3 tầng khi chịu tác dụng của lực gió $F(t) = F_0 \sin \Omega t$ đặt vào tầng 3 của tòa nhà (Hình 2)

Biểu thức động năng và thế năng của hệ có dạng

$$T = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{x}_2^2 + \frac{1}{4} m_3 \dot{x}_3^2$$

$$\Pi = \frac{1}{2} c_1 x_1^2 + \frac{1}{2} c_2 (x_2 - x_1)^2 + \frac{1}{2} c_3 (x_3 - x_2)^2$$

Thay vào phương trình Lagrăng II như sau:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = - \frac{\partial \Pi}{\partial q_i}$$

Phương trình dao động của cơ hệ có dạng $M\ddot{x} + Cx = f(t)$. Trong đó Ma trận khối lượng và ma trận độ cứng, Véc tơ cột lực cưỡng bức là:

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix}$$

$$f(t) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ F_0 \sin \Omega t \end{bmatrix}$$

3.3. Mô hình tòa nhà 2 tầng được cấu thành 3 khối đặt trên nền đàn hồi khi chịu động đất làm móng rung động ngang $u(t)$ (Hình 3).

Chọn tọa độ: x_1, x_2 là các dịch chuyển ngang tương đối của khối tâm trên các khối m_1, m_2 so với hệ động là khối lượng m_0 ; x là dịch chuyển ngang của khối lượng m_0 so với đất; φ là dịch chuyển góc của khối lượng m_0 . Chọn mốc là vị trí cân bằng tĩnh.

Biểu thức động năng và thế năng có dạng

$$T = \frac{1}{2} m_0 (\dot{x} + \dot{u})^2 + \frac{1}{2} m_1 (\dot{x} + \dot{u} + \dot{x}_1 + h\dot{\varphi})^2 + \frac{1}{2} m_2 (\dot{x} + \dot{u} + \dot{x}_2 + 2h\dot{\varphi})^2 + \frac{1}{2} (J_0 + J_1 + J_2) \dot{\varphi}^2$$

$$\Pi = \frac{1}{2} c_0 x^2 + \frac{1}{2} k\varphi^2 + \frac{1}{2} c_1 x_1^2 + \frac{1}{2} c_2 (x_2 - x_1)^2$$

Sử dụng phương trình Lagrăng II

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = - \frac{\partial \Pi}{\partial q_i}$$

Ta thu được phương trình vi phân dao động của hệ là:

$$(m_0 + m_1 + m_2) \ddot{x} + (m_1 + 2m_2) h \ddot{\varphi} + m_1 \ddot{x}_1 + m_2 \ddot{x}_2 + c_0 x = - (m_0 + m_1 + m_2) \ddot{u}(t)$$

$$(m_1 + 2m_2) h \ddot{x} + (J_0 + J_1 + J_2 + m_1 h^2 + 4m_2 h^2) \ddot{\varphi} + m_1 h \ddot{x}_1 + 2m_2 h \ddot{x}_2 + k\varphi = - (m_1 + 2m_2) h \ddot{u}(t)$$

$$m_1 \ddot{x}_1 + m_1 h \ddot{\varphi} + m_1 \ddot{x}_1 + (c_1 + c_2) x_1 + c_2 x_2 = - m_1 \ddot{u}(t)$$

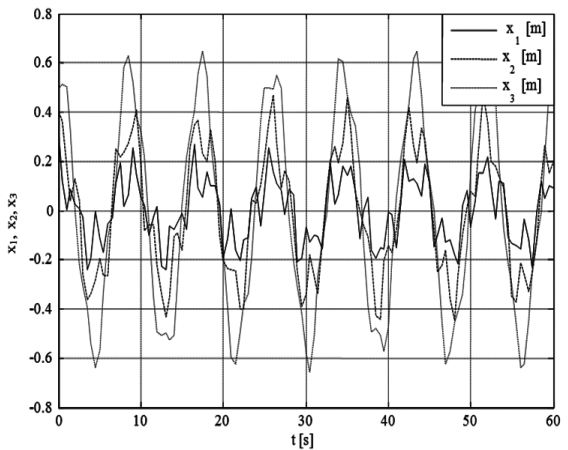
$$m_2 \ddot{x}_2 + 2m_2 h \ddot{\varphi} + m_2 \ddot{x}_2 - c_2 x_1 + c_2 x_2 = - m_2 \ddot{u}(t)$$

4. Kết quả chương trình

4.1. Mô hình dao động ngang của tòa nhà 3 tầng (Hình 1)

Bảng 1. số liệu khối lượng và độ cứng

m_1	262,69x10 ³ kg
m_2	262,69x10 ³ kg
m_3	262,69x10 ³ kg
c_1	3x88,56x10 ⁶ N/m
c_2	2x88,56x10 ⁶ N/m
c_3	88,56x10 ⁶ N/m



Hình 5. Dao động của mô hình 1

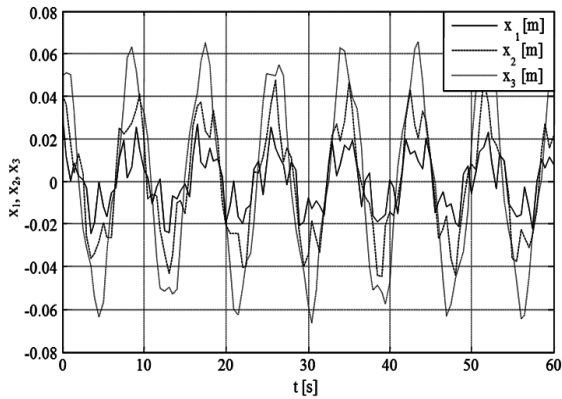
4.2. Mô hình dao động ngang của tòa nhà 3 tầng khi chịu tác dụng của lực gió $F(t) = F_0 \sin \Omega t$ đặt vào tầng 3 của tòa nhà (Hình 2)

Bảng 2. Số liệu các thành phần hình 2

m_1	262,69x10 ³ kg
m_2	262,69x10 ³ kg
m_3	262,69x10 ³ kg
c_1	3x88,56x10 ⁶ N/m

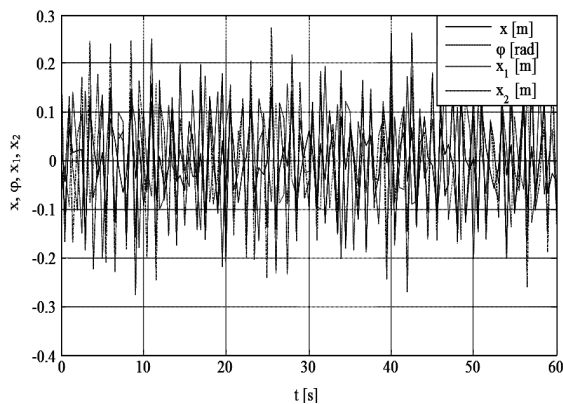
c_2	$2 \times 88,56 \times 10^6 \text{ N/m}$
c_3	$88,56 \times 10^6 \text{ N/m}$
F_0	$50 \times 10^6 \text{ N}$
Ω	100π

Với lực gió $F(t) = F_0 \sin \Omega t$.



Hình 6. Dao động của mô hình 2

4.3. Mô hình tòa nhà 2 tầng được cấu thành 3 khối đặt trên nền đàn hồi khi chịu động đất làm móng rung động ngang $u(t)$ (Hình 3)



Hình 7. Dao động của mô hình 3

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Văn Khang, Thái Mạnh Cầu, Vũ Văn Khiêm, Nguyễn Nhật Lê, *Bài tập dao động kỹ thuật*. NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 2002.
- [2]. Nguyễn Văn Khang, *Dao động kỹ thuật*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 1998.
- [3]. Nguyễn Văn Khang, *Động lực học hệ nhiều vật*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 2007.
- [4]. Đỗ Sanh, Nguyễn Văn Đình, Nguyễn Nhật Lê, *Bài tập cơ học Tập 1 (in lần thứ 16)*, NXB Giáo dục Việt Nam, Hà Nội, 2011.
- [5]. Đỗ Sanh, Lê Doãn Hồng, *Bài tập cơ học Tập 2 (in lần thứ 13)*, NXB Giáo dục Việt Nam, Hà Nội, 2011.
- [6]. Hoàng Mạnh Cường, Nguyễn Hữu Đình, Phạm Thị Thúy, *Cơ học lý thuyết*, NXB Hàng Hải, Hải Phòng, 2018.

Bảng 3. Số liệu các thành phần hình 3

m_0	$800,69 \times 10^3 \text{ kg}$
m_1	$262,69 \times 10^3 \text{ kg}$
m_2	$262,69 \times 10^3 \text{ kg}$
c_0	$5 \times 88,56 \times 10^6 \text{ N/m}$
c_1	$2 \times 88,56 \times 10^6 \text{ N/m}$
c_2	$88,56 \times 10^6 \text{ N/m}$
k	$10 \times 88,56 \times 10^6$
h	3,2 m
J_0	4000 kgm^2
J_1	2500 kgm^2
J_2	2500 kgm^2
u_0	$5 \times 10^{-3} \text{ m}$
ω	$\omega = 100\pi$

Với móng rung động theo luật $u = u_0 \sin \omega t$.

5. Kết luận

Bài báo này đã nghiên cứu ba bài toán dao động của tòa nhà cao tầng đó là, dao động tự do của tòa nhà ba tầng chúng ta đã tìm được tần số dao động riêng của từng tầng tương ứng với tần số dao động riêng chúng ta có các dạng dao động riêng. Cuối cùng có một số nhận xét về dạng riêng ứng với tòa nhà n tầng. Bài toán thứ hai nghiên cứu dao động cưỡng bức của tòa nhà ba tầng chúng ta cũng xác định được tần số dao động riêng của hệ. Bài toán thứ ba nghiên cứu dao động nhỏ của tòa nhà hai tầng khi có động đất làm móng rung động ngang.

RESEARCH ON THE VIBRATION OF HIGH-RISE BUILDING UNDER WIND, EARTHQUAKES EXCITATION

Abstract:

This paper studies the effects of wind or earthquakes on the fluctuations of a high-rise building. The paper builds three oscillating models of high-rise buildings. The first problem is to study the model of a 3-storey building which is a elastic system that fluctuates freely under the effect of self weight. The second problem studies the horizontal oscillation of a 3-storey building when the wind force is a function of harmonic $F(t)=F_0\sin\Omega t$ effect on the top floor. The third problem is studying the small fluctuation of a 2-storey building composed of 3 blocks placed on elastic ground subjected to earthquakes, causing horizontal vibration foundation $u(t)=u_0\sin\omega t$. The results of the article tell us the horizontal oscillation of the building under the effect of wind forces, earthquakes and also the direction for our further research.

Keywords: *Vibration of high-rise buildings, wind forces, earthquakes excitation.*