

PHÂN TÍCH ĐỘNG LỰC HỌC MÁY ĐÓNG CỌC BẰNG RUNG ĐỘNG

DYNAMIC ANALYSIS ON A VIBRATING PILE DRIVER

Trương Chí Công

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

TÓM TẮT

Nghiên cứu ứng dụng ma sát rung của máy đóng cọc bằng rung động, với mô hình động phi tuyến được phát triển, phương pháp Runge-Kutta được đưa vào mô phỏng số của máy đóng cọc rung để thu được các đặc tính động phi tuyến của hệ thống. Kết quả cho thấy rằng biên độ của cọc tăng đến một mức độ nhất định khi tăng biên độ và tần số của lực kích thích, và nó giảm đến một mức độ nhất định khi giảm biên độ của lực kích thích, tuy nhiên khi giảm tần số của lực kích thích không có ảnh hưởng rõ ràng đến biên độ của cọc. Sự thay đổi độ cứng của hệ ảnh hưởng rất lớn đến biên độ của cọc.

Từ khoá: Ma sát; Rung động; Cọc; Biên độ; Tần số; Độ cứng.

ABSTRACT


Study on application of vibration friction of pile driving machine by vibration in single layer ground, with the nonlinear dynamic model developed, the Runge-Kutta method was introduced into the numerical simulation of a vibrating pile driver to obtain the nonlinear dynamic characteristics of the system.

The results revealed that the amplitude of pile increases to a certain extent with the amplitude and frequency of exciting force, and it decreases to a certain extent with the decreasing amplitude of exciting force. But the decreasing frequency of exciting force has no obvious influence on the amplitude of pile. The change in stiffness of the system will affect greatly the amplitude of pile.

Keywords: Friction; Vibration; Pile; The amplitude; Frequency; Stiffness.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

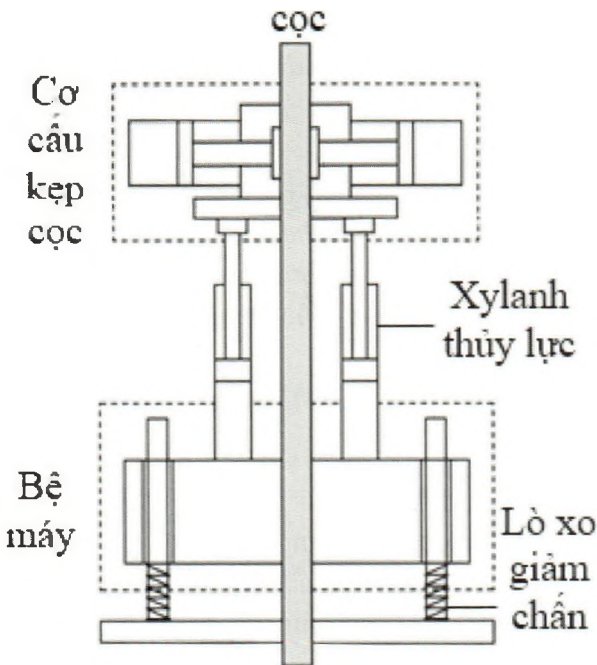
Ngày nay, ma sát rung được sử dụng rộng rãi trong thực tế kỹ thuật, nhất là trong lĩnh vực đóng cọc trong xây dựng. Các đặc tính động lực học phi tuyến của ma sát rung và

nghiên cứu lý thuyết có giá trị và triển vọng để ứng dụng rộng rãi, nhưng người ta chưa nghiên cứu đầy đủ về phần kháng ma sát, đối với đóng cọc chống rung thì hầu hết người ta chỉ tập trung vào sức kháng mũi cọc [1-6], bỏ qua hoặc đơn giản hóa lực ma sát xung quanh của nó. 

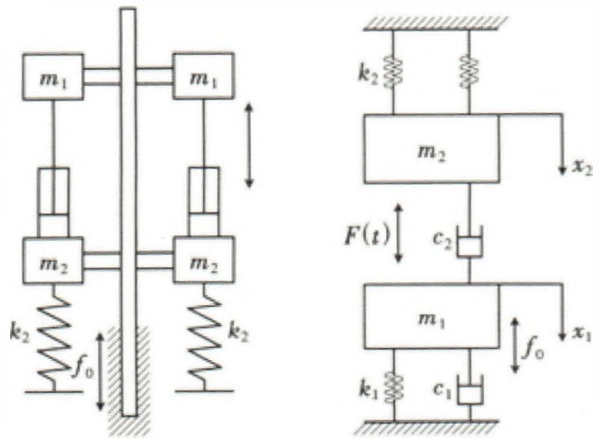
Trong điều kiện thực tế, bản chất của việc đóng cọc rung là khắc phục lực cản ma sát của mặt cọc do rung động và khắc phục lực cản của đầu cọc do va đập. Bài báo này sẽ tập trung vào phân tích độ sâu hạ cọc ảnh hưởng do rung động và lực kéo của lực ma sát mặt bên của cọc khi chịu tác động của đất xung quanh.

2. MÔ HÌNH HỆ THỐNG ĐÓNG CỌC BẰNG RUNG ĐỘNG

Hình 1 là sơ đồ cấu tạo của máy đóng cọc rung kiểu kích thích thủy lực. Trong hình 1, ta thấy trên bàn kẹp có một thiết bị kẹp thủy lực để kẹp cọc và nó được nối với bộ máy qua bốn xi lanh thủy lực. Để giảm rung động truyền xuống móng cọc, một lò xo giảm chấn được lắp đặt dưới chân đế. Khi máy đóng cọc kiểu kích thích thủy lực làm việc, thiết bị kích thích rung động được tích hợp với cọc và được kết nối với đất tạo thành một hệ thống rung. Mô hình cơ học của máy đóng cọc rung được thể hiện trong hình 2.



Hình 1. Sơ đồ cấu tạo máy đóng cọc



Hình 2. Mô hình cơ học máy đóng cọc

Phương trình vi phân chuyển động của mô hình như sau:

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = \varepsilon f + F \sin \omega t \quad (1)$$

Với:

$$\ddot{X} = \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{bmatrix}; \dot{X} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix}; X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}; M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_2 \end{bmatrix}; k = \begin{bmatrix} k_1 & 0 \\ 0 & k_2 \end{bmatrix}; F = \begin{bmatrix} F \\ 0 \end{bmatrix}; f = -f(x_1)$$

Trong đó: m_1 là tổng khối lượng của thiết bị kẹp và cọc; m_2 là tổng khối lượng của bộ đóng cọc; c_1 là hệ số giảm độ nhớt của đất; c_2 là hệ số giảm chấn của hệ thống thủy lực; k_1 là hệ số biến dạng độ đàn hồi của đất; k_2 là độ cứng lò xo dao động; x_1, x_2 là chuyển vị của thiết bị kẹp cọc và bộ máy; F là biên độ lực kích thích; ω là tần số lực kích thích; $f(x_1)$ là lực cản ma sát động của cọc.

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG SỐ VÀ PHÂN TÍCH MÁY ĐÓNG CỌC

Xét các yếu tố như độ chính xác của lời giải và tốc độ tính toán, phương pháp Runge-Kutta bậc 4 được chọn là phương pháp số để giải hệ phương trình.

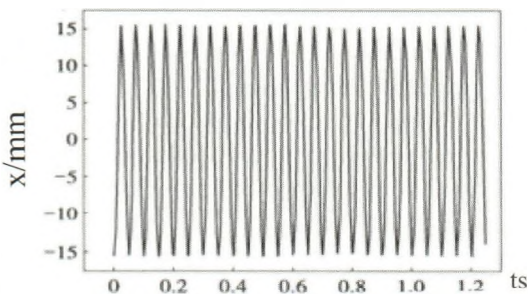
Các thông số cơ bản của mô phỏng như sau: khối lượng thiết bị kẹp cọc $m_1 = 50$ kg, khối lượng bệ cọc $m_2 = 200$ kg; độ cứng của lò xo $k_1 = 1000$ kN/m, $k_2 = 1800$ kN/m; hệ số giảm chấn $c_1 = 600$ kN.s/m, $c_2 = 200$ kN.s/m; tần số và biên độ lực kích thích $\omega = 30$ Hz, $F = 150$ kN.

Đặt: $y_1 = x_1; y_2 = \dot{x}_1; y_3 = x_2; y_4 = \dot{x}_2$ (3)

Khi đó, công thức (1) có thể chuyển thành hệ phương trình vi phân cấp một:

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = y_2; \dot{y}_2 = \frac{1}{m_1}[F \sin \omega t - f(y_2) - c_1 y_2 - k_1 y_1 - c_2(y_2 - y_4)] \\ \dot{y}_3 = y_4; \dot{y}_4 = \frac{1}{m_2}[F(t) - k_2 y_3 - c_2(y_4 - y_2)] \end{cases} \quad (4)$$

Hình 3 là tính toán với các thông số đã cho ban đầu. Có thể thấy bằng trực quan rằng khi máy đóng cọc làm việc ở trạng thái ổn định thì biên độ dao động do máy kích thích truyền tới cọc là khoảng 16 mm.

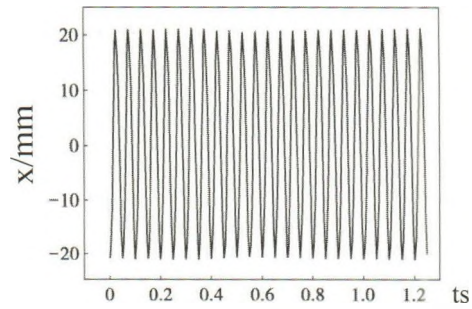


Hình 3. Biên độ của cọc theo thời gian rung của cọc và thiết bị kẹp cọc

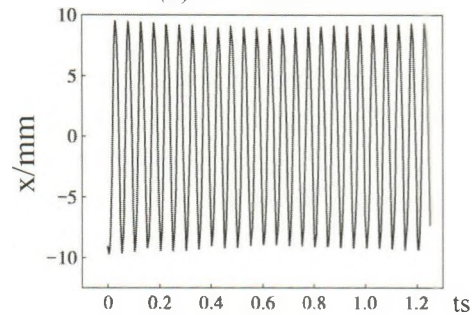
3.1. Ảnh hưởng của biên độ lực kích thích

Giữ nguyên các thông số ban đầu, chỉ tăng biên độ lực kích thích thủy lực F , lấy $F = 200$ kN, như hình 4a, biên độ của cọc khoảng 20 mm. Do đó, tăng biên độ của lực kích thích sẽ làm tăng biên độ của cọc đến một mức nào đó. Ngược lại, lấy $F = 100$ kN, như hình 4b,

biên độ của cọc là khoảng 9 mm, giảm một lượng nhất định.



(a) $F = 200$ kN

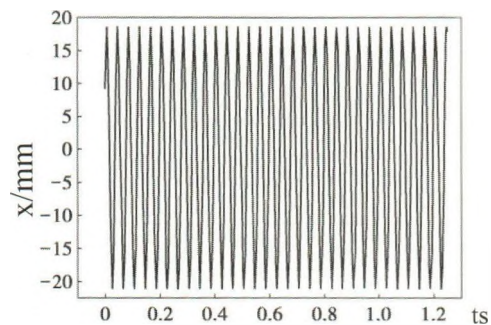


(b) $F = 100$ kN

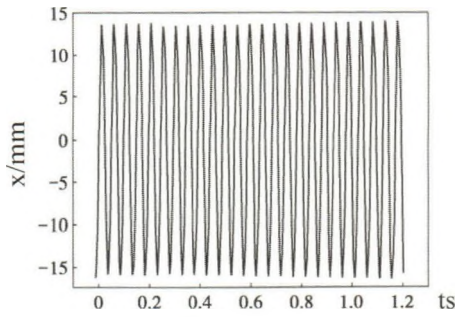
Hình 4. Biên độ của cọc theo thời gian rung ứng với lực kích thích khác nhau

3.2. Ảnh hưởng của tần số lực kích thích

Giữ nguyên các thông số ban đầu, chỉ tăng tần số lực kích thích thủy lực ω , lấy $\omega = 35$ Hz, như hình 5a, biên độ của cọc khoảng 18 mm. Do đó, sau khi tăng tần số của lực kích thích thì biên độ của cọc tăng. Ngược lại, lấy $\omega = 25$ Hz, như hình 5b, qua hình vẽ có thể thấy rằng biên độ của cọc không có biến đổi.



(a) $\omega = 35$ Hz

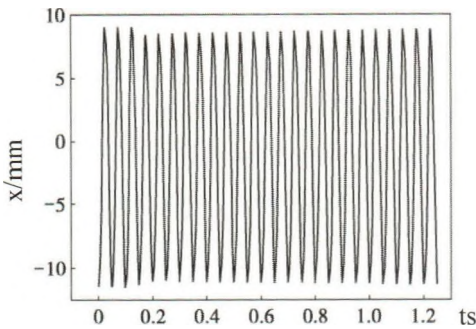


(b) $\omega = 25 \text{ Hz}$

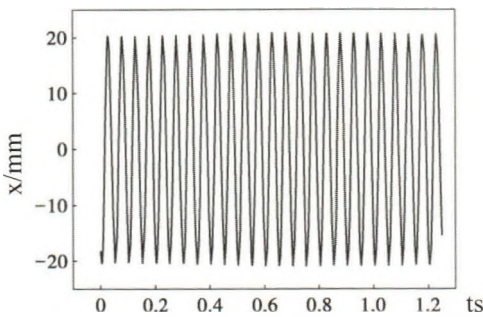
Hình 5. Biên độ của cọc theo thời gian rung ứng với tần số lực kích thích khác nhau

3.3. Ảnh hưởng của độ cứng của đất

Giữ nguyên các thông số ban đầu, lấy $k_1 = 1500 \text{ kN/m}$, như hình 6a. Có thể thấy rằng biên độ của cọc đã giảm đi đáng kể là 8 mm. Nếu đất mềm thì lấy $k_1 = 800 \text{ kN/m}$, như trong hình 6b. Có thể thấy rằng biên độ của cọc đã tăng lên đáng kể, trở thành 20 mm. Điều này là do đất mềm hơn và sức cản của cọc nhỏ hơn.



(a) $k_1 = 1500 \text{ kN/m}$



(b) $k_1 = 800 \text{ kN/m}$

Hình 5. Biên độ của cọc theo thời gian rung ứng với độ cứng của đất khác nhau

4. KẾT LUẬN

Khi biên độ của lực kích thích thay đổi, với sự tăng của biên độ của lực kích thích thì biên độ của cọc tăng đến một mức độ nhất định; khi giảm biên độ của lực kích thích thì biên độ của cọc giảm ở một mức độ nhất định.

Khi tần số của lực kích thích thay đổi, khi tần số của lực kích thích tăng lên thì biên độ của cọc tăng đến một mức độ nhất định; ngược lại, khi tần số của lực kích thích giảm thì biên độ của cọc không thay đổi nhiều.

Khi độ cứng thay đổi, khi độ cứng tăng lên thì biên độ của cọc giảm rõ ràng; ngược lại, khi độ cứng giảm thì biên độ của cọc tăng lên rõ ràng. ❖

Ngày nhận bài: 06/6/2022

Ngày phản biện: 16/6/2022

Tài liệu tham khảo:

[1]. N. T. An; *The theory of bar collision and Applying the wave theory into the pile problem*. Water Resource University, Hanoi, 1991.
 [2]. N. D. Cuong, T. C. Cong, N. N. Huyen; *Determining Oscillating energy of piles*, Collection of Scientific Works in National Conference of Mechanics, Hanoi, 2002.
 [3]. Cong T.C.; *Study the coefficient of energy transfer from hammer to pile driven in two layers foundation base, pile bearing side friction $q_1 \neq q_2$ pile bottom encounters constant resistance*, Applied Mechanics and Materials Vols. 427-429, 2013.
 [4]. Cong T.C; *Study the stress in the pile driven in two layers foundation base*, Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research. 3937-3948, 2014.
 [5]. Smith E.A; *Pile driving analysis by the wave equation*, Journal the soil mechanics and foundations division, V86, SM.4, Pt.1, 1960.
 [6]. Goble, G. G., Scanlan, R. H. and Tomko, J. J.; *Dynamic Studies on the Bearing Capacity of Piles*, Vol. I and II, Case Institute of Technology, 1967.