



MỘT SỐ NGHIÊN CỨU VỀ MÓNG CỌC MA SÁT CHỊU TẢI TRỌNG ĐỘNG THẲNG ĐỨNG

Nguyễn Bảo Việt¹

Tóm tắt: Ứng xử của móng cọc ma sát dưới tác dụng của tải trọng động được nghiên cứu với 2 yếu tố chính là biên độ dao động và lực tác động. Mức tăng biên độ dao động của hệ so với chuyển vị của hệ khi chịu tải trọng tĩnh có cường độ bằng biên độ lực kích thích và mức tăng biên độ lực tác động với biên độ lực kích thích cho thấy tác động của tải trọng động lên hệ. Kết quả tính toán bằng phương pháp phân tích động theo ACI 351.3R-4 chỉ ra rằng mô đun biến dạng của đất, E và khối lượng của máy, m , là 2 yếu tố gây ra ảnh hưởng lớn nhất. Mức tăng có thể đạt đến mức 50% với biên độ dao động và 100% với biên độ lực tác động. Việc tăng độ sâu chôn dài là một cách để giảm ảnh hưởng của tải trọng động mặc dù trong nghiên cứu này sự sai khác chỉ ở mức 15%. Chiều dài của cọc có ảnh hưởng không nhiều đến ứng xử của hệ cho dù nó có ảnh hưởng lớn tới sức chịu tải của móng.

Từ khóa: Móng máy; cọc ma sát; biên độ dao động; biên độ lực tác động.

Summary: Behavior of machinery foundation on friction piles is studied on 2 aspects of amplitude of displacement and maximum dynamic force. The increment of amplitude of displacement compared to displacement under a static load with amplitude of the dynamic acting force and increment of maximum dynamic force compared to amplitude of the dynamic acting force would show the behavior of the foundation. Calculated results based on dynamic analysis recommended by ACI 351.3R-4 indicate that shear modulus of the soils and mass of the machines which could make the increments of displacement amplitude and maximum dynamic force are 50% and 100% respectively. To increase the embedded depth of the foundation is a solution to reduce the effects of the dynamic forces however in this research the difference is only 15%. Length of the piles has less effect on the behavior of the foundation although it plays an important role on the bearing capacity of foundation.

Keywords: Machinery foundation; friction piles; amplitude of displacements; maximum dynamic force.

Nhận ngày 27/02/2015, chỉnh sửa ngày 16/3/2015, chấp nhận đăng 31/3/2015



1. Giới thiệu

Hiện nay tại Việt Nam việc tính toán, thiết kế móng máy là một vấn đề còn ít được quan tâm. Móng máy hầu hết được tính toán với giả thiết đơn giản hóa tuân theo “quy tắc ngón tay cái” hoặc là các tải trọng động được quy đổi về tải trọng tĩnh tương đương cái được cung cấp bởi các đơn vị sản xuất máy. ACI 351.3R-04 khuyến cáo rằng “quy tắc ngón tay cái” và phương pháp “tải trọng tĩnh tương đương” nên được áp dụng lần lượt cho móng có trọng lượng máy nhỏ hơn 22kN và 45kN. Để thiết kế móng cho các máy nặng hơn hoặc đòi hỏi có độ chính xác cao hơn, phương pháp phân tích động đòi hỏi được áp dụng. Phương pháp này xét đến được vấn đề một cách tổng thể với các yếu tố mang tính động bao gồm: Tần số (chu kỳ) cũng như biên độ của lực tác dụng; loại đất và mô đun kháng cắt của đất; ứng xử của đất nền với hệ móng, cọc...

Với việc hệ thống tiêu chuẩn Việt Nam hiện chưa có tiêu chuẩn chính thức về việc tính toán, thiết kế móng máy, bài báo này nghiên cứu về các yếu tố ảnh hưởng đến sự ứng xử của móng máy có trọng lượng lớn. Phạm vi nghiên cứu của bài báo giới hạn cho móng cọc ma sát chịu tải trọng điều hòa thẳng đứng.

¹ TS, Khoa Xây dựng Cầu đường. Trường Đại học Xây dựng. E-mail: nbviet.huce@gmail.com.



2. Móng máy

Móng máy thường chịu tải trọng biến đổi về cường độ, hướng gọi là lực kích thích hay tải trọng động, nó làm khối móng và cả nền đất xung quanh dao động theo. Máy có thể là loại hoạt động có chu kỳ bao gồm các loại máy quay đều (máy điện, tuốc bin), máy chuyển động quay đều kết hợp tịnh tiến qua lại (máy nén, máy bơm, máy cưa, máy có cơ cấu tay quay), các máy chuyển động tịnh tiến qua lại thực hiện liên tiếp (máy đúc và rung dập khuôn...). Máy cũng có thể là loại hoạt động không theo chu kỳ: các máy chuyển động quay không đều hoặc tịnh tiến qua lại không đều (máy cán, máy phát điện công suất thay đổi) và các máy tịnh tiến qua lại thực hiện những nhát đập (máy búa, máy đập...).

2.1 Các loại tải trọng tác dụng lên móng máy

2.1.1 Tải trọng tĩnh

Tải trọng tĩnh bao gồm: Trọng lượng máy cùng với các thiết bị phụ và sức căng của đai chuyển động và trọng lượng bản thân của đài móng, bệ máy và cọc.

2.1.2 Tải trọng động

- Tải trọng động phát sinh trong quá trình vận hành là do chuyển động của các khối lệch tâm gây ra. Sự lệch tâm này là không thể tránh khỏi trong việc chế tạo sản xuất do độ chính xác của nó chỉ ở mức độ nhất định. Thông thường các nhà sản xuất sẽ phải cung cấp các thông số của tải trọng động này như độ lệch tâm, khối lượng chuyển động, tốc độ máy... để làm các thông số trong tính toán thiết kế kết cấu chống đỡ máy.

- Tải trọng động thường được biểu diễn dưới dạng dao động điều hòa có dạng $Q_t = Q_0 \sin(\omega t)$. Trong đó Q_0 là biên độ; ω là tần số góc; t là thời gian.

2.2 Các yêu cầu kỹ thuật đối với móng máy

Do tính chất phải chịu cả tải trọng tĩnh và tải trọng động nên móng máy có những yêu cầu khác biệt cơ bản với móng công trình thông thường. Ngoài 2 yêu cầu thông thường về cường độ và biến dạng như các kết cấu chịu tải trọng tĩnh, móng máy còn phải thỏa mãn cả điều kiện về hoạt động của máy và con người. Đó là 1) Đảm bảo độ bền vững và ổn định (TTGH 1); 2) Đảm bảo độ lún và biến dạng của nền đất, kết cấu móng (TTGH 2); 3) Đảm bảo khống chế các chuyển động trong phạm vi cho phép để không làm cản trở sự hoạt động của máy cũng như của người điều khiển máy.

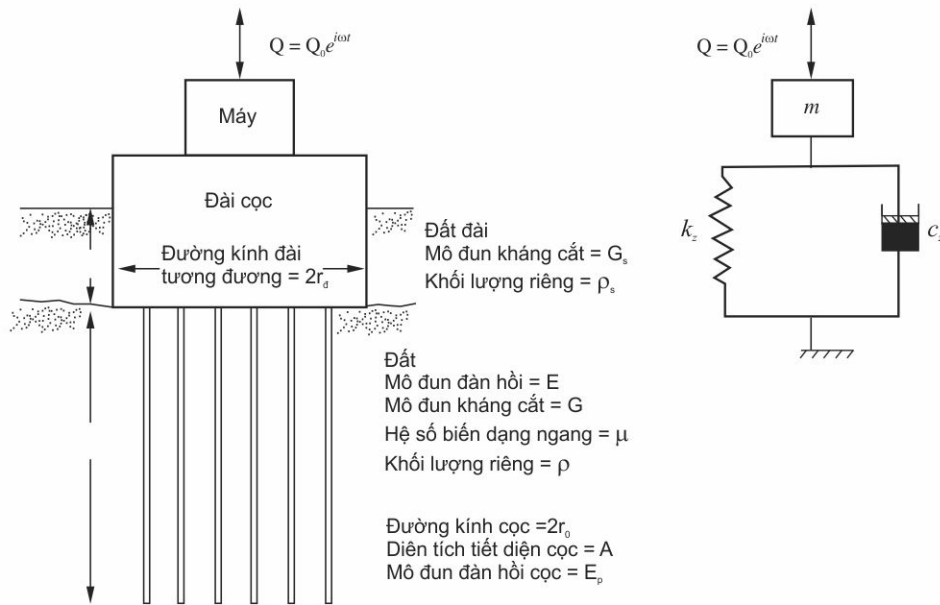
Trong phân tích tính toán người ta tách ra làm 2 phần tải trọng tĩnh và tải trọng động. Phần tải trọng động được phân tích theo bài toán động để tìm được biên độ chuyển vị, vận tốc, gia tốc của hệ. Các kết quả này phải thỏa mãn các giá trị khống chế theo tiêu chuẩn để thỏa mãn yêu cầu thứ 3. Phần tải trọng tĩnh kết hợp với giá trị lớn nhất của tải trọng động tác dụng lên hệ được coi như là một tác động dạng tĩnh trong bài toán phân tích thông thường để thỏa mãn 2 yêu cầu đầu tiên về cường độ và biến dạng (cần xét đến tính mỏi của vật liệu).



3. Phương pháp phân tích móng cọc ma sát chịu tải trọng điều hòa

Cọc ma sát truyền tải trọng từ đầu cọc qua ma sát mặt bên và qua lực chống tại mũi cọc vào nền đất. Để phân tích xác định ứng xử của cọc ma sát chịu tải trọng động thẳng đứng ta có thể dùng một số phương pháp sau: 1) Giải phương trình sóng dọc một chiều. 2) Phân tích 3 chiều với quan niệm việc lan truyền sóng qua cả cọc và đất. 3) Phân tích ứng xử của hệ móng máy + lò xo + hệ giảm chấn mô phỏng cọc và đất.

Việc giải phương trình sóng một chiều bao gồm cả việc mở rộng của phương pháp số để phân tích quá trình đóng cọc là phương pháp đơn giản nhưng có độ chính xác không cao nên không thích hợp để giải các bài toán ứng xử của cọc dưới tác dụng của dao động đứng. Phương pháp phân tích 3 chiều mặc dù có độ chính xác cao nhưng phức tạp và cần nhiều công sức thời gian. Phương pháp này thích hợp với những móng cọc có những yêu cầu khắt khe ví dụ như các tuabin phát điện của các nhà máy điện nguyên tử....

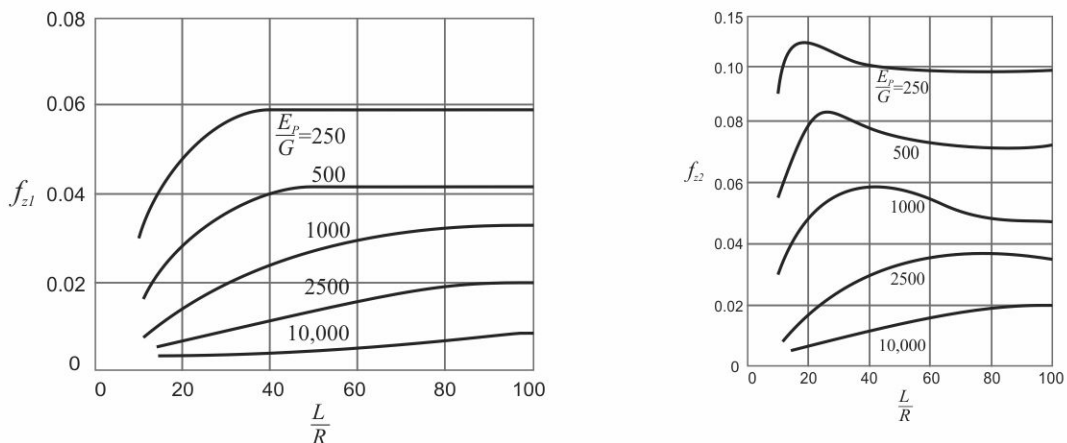


Hình 1. Mô hình tính toán móng cọc ma sát chịu tải trọng động thẳng đứng

Novak (1977) đã đề xuất sử dụng hệ khối lượng + lò xo + hệ giảm chấn mô phỏng đài cọc + máy, cọc và đất và đạt được một số kết quả khá khả quan (Hình 1). Mô hình này chính là sử dụng mô hình nguyên bản của Maxwell với m là khối lượng tương đương của hệ bao gồm đài móng và máy, các thông số độ cứng k_z và hệ số cản nhớt c_z của cọc đơn được xác định theo công thức sau (Novak and El-Sharnouby, 1983):

$$k_z = \left(\frac{E_p A}{r_o} \right) f_{z1} \quad c_z = \left(\frac{E_p A}{\sqrt{G/\rho}} \right) f_{z2} \quad G = \frac{E}{2(1+\mu)} \quad (1)$$

trong đó: f_{z1} , f_{z2} là hệ số không thứ nguyên xác định bằng đồ thị tại Hình 2

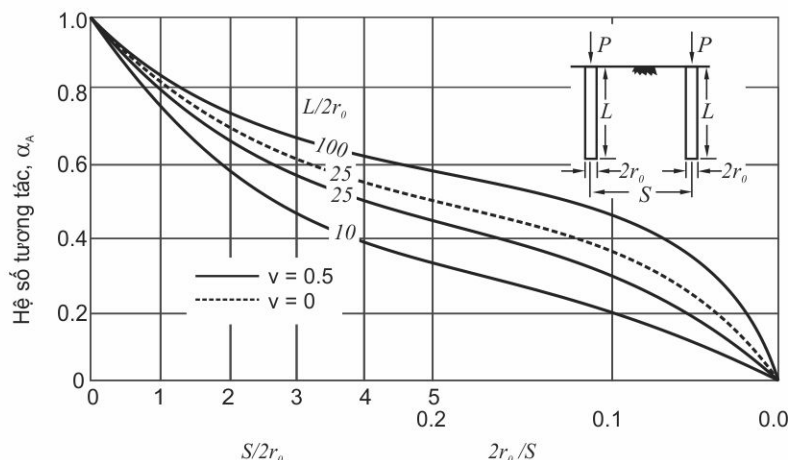


Hình 2. Đồ thị xác định giá trị f_{z1} và f_{z2} dựa trên thông số L/r_o [4]

Để xét đến ảnh hưởng của nhóm cọc trong khi chưa có các nghiên cứu về chúng khi chịu tải trọng động, Novak (1977) đề nghị sử dụng hệ số tương tác giữa các cọc chịu tải trọng tĩnh, α_A , của Poulos (1968) để xác định độ cứng, $k_{z(g)}$, hệ số cản nhớt $c_{z(g)}$, của nhóm cọc theo phương trình sau:

$$k_{z(g)} = \frac{\sum_{i=1}^n k_z}{\sum_{i=1}^n \alpha_A} \quad c_{z(g)} = \frac{\sum_{i=1}^n c_z}{\sum_{i=1}^n \alpha_A} \quad (2)$$

trong đó: n là số lượng cọc và α_A là hệ số tương tác giữa hai cọc và được xác định từ Hình 3



Hình 3. Hệ số tương tác giữa các cọc α_A [5]

Trong trường hợp đài móng được chôn sâu, nó sẽ tiếp xúc với nền đất xung quanh và làm tăng độ cứng và hệ số cản nhớt của nhóm cọc. Độ cứng, $k_{z(f)}$ và hệ số cản nhớt, $c_{z(f)}$ do ảnh hưởng của đài cọc có thể được tính bằng công thức sau:

$$k_{z(f)} = G_s h_m \bar{S}_1 \quad c_w^f = h_m r_d \bar{S}_2 \sqrt{G_s \rho_s} \quad (3)$$

trong đó: h_m là chiều sâu chôn đài cọc; r_d là bán kính của đài cọc tròn tương đương về diện tích; G_s và ρ_s là mô đun kháng cắt và khối lượng riêng của lớp đất đắp xung quanh đài, còn $\bar{S}_1$ và $\bar{S}_2$ là các hằng số có thể lấy lần lượt bằng 2,70 và 6,70.

Các giá trị này cần được cộng thêm vào các giá trị độ cứng và giảm chấn của nhóm cọc để xác định độ cứng, $k_{z(g)}$ và hệ số cản nhớt, $c_{z(g)}$ của cả hệ cọc, đài.

$$k_{z(g)} = \frac{\sum_1^n k_z}{\sum_1^n \alpha_A} + G_s h_m \bar{S}_1 \quad c_{z(g)} = \frac{\sum_1^n c_z}{\sum_1^n \alpha_A} + h_m r_d \bar{S}_2 \sqrt{G_s \rho_s} \quad (4)$$

Khi đã xác định được các thông số khối lượng, m , độ cứng, $k_{z(g)}$ và hệ số cản nhớt, $c_{z(g)}$ của cả hệ cọc - đài, nghiệm của bài toán có thể được lấy theo Das và Ramana (2011) như sau:

$$\text{Độ cản nhớt tới hạn: } D_z = \frac{c_{z(g)}}{2\sqrt{k_{z(g)}m}} \quad (5)$$

$$\text{Tần số góc tự nhiên: } \omega_n = 2\sqrt{\frac{k_{z(g)}}{m}} \quad (6)$$

$$\text{Biên độ dao động của hệ: } S_z = \frac{Q_0 / k_{z(g)}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + 4D_z^2 \frac{\omega^2}{\omega_n^2}}} \quad (7)$$

$$\text{Cường độ lớn nhất của lực kích thích lên hệ: } Q_d^{\max} = S_z \sqrt{k_{z(g)}^2 + (c_{z(g)}\omega)^2} \quad (8)$$



4. Kết quả và nhận xét

4.1 Các thông số phân tích, khảo sát

Tiến hành nghiên cứu một móng cọc ma sát gồm 4 cọc bố trí đối xứng chịu tải trọng điều hòa đúng tâm có các thông số như sau:

Mô đun đàn hồi vật liệu làm cọc:	$E_p = 30.000\text{MPa};$
Kích thước cọc vuông:	$d = 300\text{mm};$
Khoảng cách giữa các cọc:	$s = 900\text{mm};$
Kích thước đài móng (dài x rộng x cao):	$1,5 \times 1,5 \times 1,2 \text{ m}^3$ (khối lượng đài 6,48 tấn)
Khối lượng riêng nền đất:	$\rho = 1,8 \text{ tấn/m}^3;$
Hệ số biến dạng ngang:	$\mu = 0,4;$

Với giả thiết cọc đủ sức chịu tải, ta sẽ khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến ứng xử của hệ móng cọc ma sát chịu tải trọng động $Q_0 \sin(\omega t)$ với tải trọng tĩnh Q_0 ở hai yếu tố chính biên độ dao động của hệ, S_z và biên độ lực tác động lên hệ, $Q_d^{\max}$. Sự ảnh hưởng của các thông số được nghiên cứu bằng cách giữ nguyên các thông số khác như khai báo ban đầu và thay đổi giá trị các thông số nghiên cứu như sau:

- Độ sâu chôn đài (6 trường hợp): $h_m = 0,0; 0,2; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2 \text{ m}.$
- Mô đun biến dạng của đất nền (6 trường hợp): $E = 5; 10; 15; 20; 25; 30 \text{ Mpa}.$
- Khối lượng của máy (6 trường hợp): $m_{\text{máy}} = 5; 10; 15; 20; 25; 30 \text{ tấn}.$
- Chiều dài của cọc (6 trường hợp): $L = 10; 12; 14; 16; 18; 20 \text{ m}.$

Phân phân tích tính toán cho bài toán tĩnh thỏa mãn yêu cầu về cường độ và biến dạng không được đề cập đến trong nghiên cứu này.

Các kết quả tính toán cho phần tải trọng động được biểu diễn dưới dạng đồ thị biểu hiện mối quan hệ giữa hệ số khuếch đại chuyển vị (a) và hệ số khuếch đại tải trọng động (b) với tỷ số tần số góc của lực kích thích với tần số góc tự nhiên của hệ móng cọc + máy.

Hệ số khuếch đại biên độ dao động được định nghĩa bằng biểu thức: $\frac{S_z}{Q_0 / k_{z(g)}}$

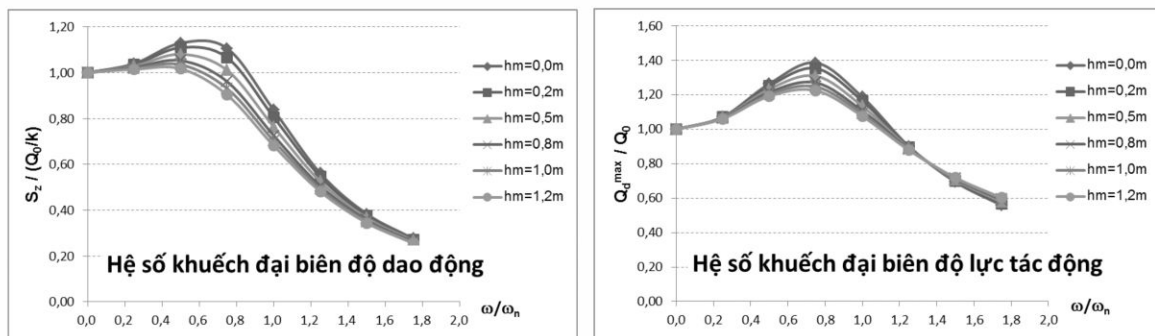
Trong đó phần mẫu số chính là chuyển vị của hệ dưới tải trọng tĩnh có cường độ bằng Q_0 , biên độ của lực kích thích.

Hệ số khuếch đại biên độ lực tác động được định nghĩa bằng biểu thức: $\frac{Q_d^{\max}}{Q_0}$

Cả hai hệ số khuếch đại này càng lớn thể hiện ảnh hưởng của tải trọng kích thích lên hệ càng nhiều, đặc biệt là khi tần số của lực kích thích gần với tần số dao động tự nhiên của hệ. Thông thường các hệ số này đều lớn hơn 1,0 nên các móng máy đều được cấu tạo, thiết kế to hơn so với móng chịu tải trọng tĩnh có cường độ tương đương với biên độ của lực kích thích.

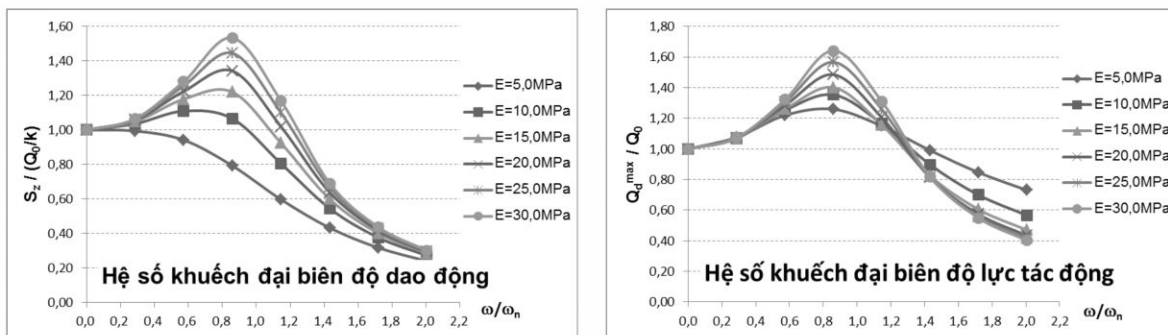
4.2 Kết quả tính toán và nhận xét

Hình 4 thể hiện sự ảnh hưởng của độ sâu chôn đài tới ứng xử của hệ móng cọc ma sát chịu tải trọng động với 2 yếu tố chính là chuyển vị và tải trọng tác động lớn nhất. Kết quả tính toán này cho thấy chiều sâu chôn đài càng lớn thì ảnh hưởng do tác động của tải trọng kích thích càng nhỏ. Hệ số khuếch đại biên độ dao động tương ứng với tần số kích thích nguy hiểm nhất $\omega = 0,5\omega_n$ giảm dần từ 1,13 giảm dần xuống 1,02 khi độ sâu chôn đài h_m tăng dần từ 0,0m đến 1,2m. Như vậy có nghĩa là biên độ dao động của hệ tăng lên không đáng kể chỉ khoảng 13% (trong trường hợp đài móng đặt hoàn toàn trên mặt đất) so với chuyển vị của hệ dưới tải trọng tĩnh có cường độ bằng biên độ lực kích thích. Tương tự như vậy, hệ số khuếch đại biên độ lực tác động cũng giảm dần từ 1,39 xuống 1,23 khi độ sâu chôn đài h_m tăng dần từ 0,0m đến 1,2m. Điều này có nghĩa là biên độ của lực tác động tăng lên khoảng 39% so với biên độ lực kích thích tại tần số $\omega = 0,75\omega_n$ trong trường hợp bất lợi nhất, đài móng đặt trên mặt đất.



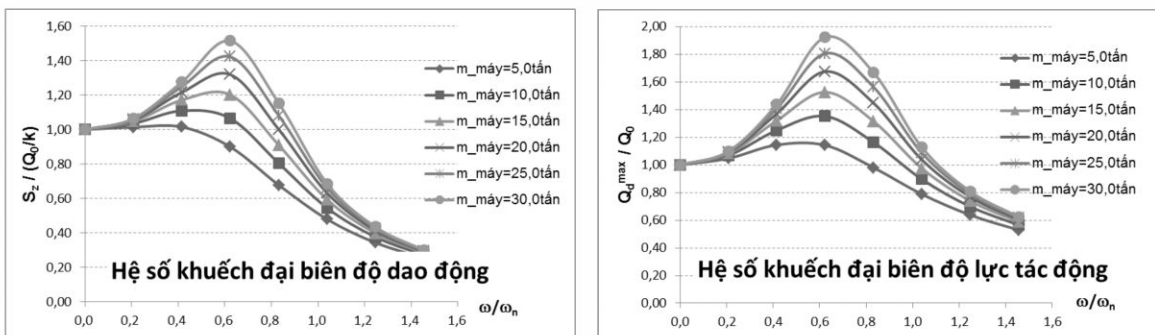
Hình 4. Ảnh hưởng của độ sâu chôn dài tới ứng xử của hệ móng cọc ma sát

Kết quả tính toán trong Hình 5 thể hiện ảnh hưởng của mô đun biến dạng nền đất tới hệ số khuếch đại biên độ dao động và biên độ lực tác động lên hệ. Ta có thể nhận thấy khi nền đất không tốt $E=5\text{MPa}$, dao động của hệ thuộc loại có lực cản lớn, biên độ dao động của hệ nhỏ hơn biên độ của hệ khi chịu lực tĩnh có cường độ tương đương. Tuy nhiên khi nền đất tốt hơn thì hệ số khuếch đại này tăng lên. Độ tăng này có thể đạt đến 53% khi nền đất thuộc loại rất tốt $E=30\text{MPa}$. Với các loại đất thường gặp có mô đun biến dạng $E=10\sim 15\text{MPa}$ thì độ tăng này vào khoảng 25%. Biên độ của lực tác động có độ tăng nhiều hơn từ 26% đến 65% khi mô đun biến dạng đất nền tăng từ 5MPa lên 30MPa.



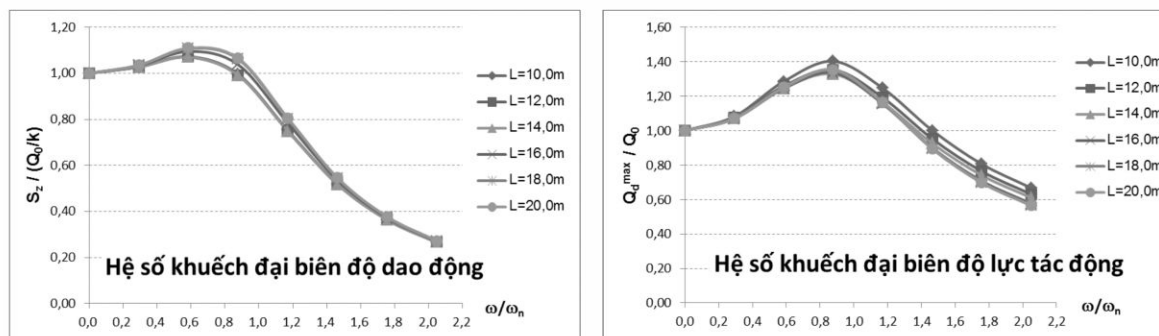
Hình 5. Ảnh hưởng của mô đun biến dạng đất nền tới ứng xử của hệ móng cọc ma sát

Trong các thông số khảo sát thì khối lượng của máy có một tác động khá lớn đến sự ứng xử của hệ móng máy. Hình 6 cho thấy hệ số khuếch đại biên độ dao động và biên độ lực tác động tăng khi khối lượng của máy tăng và đạt đến giá trị 1,52 và 1,93 một cách tương ứng khi khối lượng máy $m_{\text{máy}} = 30$ tấn. Như vậy, biên độ dao động có thể tăng đến hơn 50% và nội lực trong kết cấu móng do tải trọng động gây ra có thể tăng gần 100% so với kết quả tính toán tĩnh với tải trọng có cường độ bằng biên độ lực kích thích.



Hình 6. Ảnh hưởng của khối lượng của máy tới ứng xử của hệ móng cọc ma sát

Đối với sức chịu tải của cọc cũng như của hệ móng máy, chiều dài cọc là yếu tố ảnh hưởng chính nhưng đối với ứng xử của hệ móng cọc ma sát chịu tải trọng động thì chiều dài cọc lại có độ ảnh hưởng tương đối thấp. Cọc dài hơn sẽ làm tăng độ cứng và độ cản nhớt của hệ và làm độ cản tới hạn của hệ sẽ giảm đi nhưng nói chung sự thay đổi không lớn lắm. Hình 7 cho ta thấy mặc dù chiều cọc thay đổi từ 10m đến 20m nhưng giá trị của cả 2 hệ số khuếch đại biên độ dao động và lực tác động hầu như không đổi và đạt giá trị lớn nhất lần lượt vào khoảng 1,15 và 1,4.



Hình 7. Ảnh hưởng của chiều dài cọc tới ứng xử của hệ móng cọc ma sát



5. Kết luận

Việc phân tích động bài toán móng cọc ma sát chịu tải trọng dao động điều hòa có thể xem xét ứng xử của hệ móng máy. Một số kết luận có thể rút ra từ các kết quả nghiên cứu này như sau:

- Khối lượng của đài móng + máy và độ cứng của nền đất (mô đun biến dạng) là 2 yếu tố có ảnh hưởng lớn đến sự ứng xử của hệ móng máy. Khi tần số lực kích thích có giá trị bất lợi nhất thì biên độ dao động của móng có thể tăng đến hơn 50% so với chuyển vị của hệ khi chịu tải trọng tĩnh có cường độ bằng với biên độ của lực kích thích. Thêm nữa biên độ lực tác động lên hệ có thể tăng đến hơn 60% và 100% lần lượt cho các trường hợp mô đun biến dạng đất nền $E=30\text{MPa}$ và khối lượng máy là 30 tấn.

- Ảnh hưởng của tải trọng động lên biên độ dao động của hệ móng máy có thể được giảm thiểu với việc tăng chiều sâu chôn đài, mặc dù độ ảnh hưởng của nó là không lớn lắm chỉ khoảng 15% với trường hợp độ sâu chôn đài là 1,2m.

- Chiều dài cọc mặc dù có tác dụng làm tăng sức chịu tải của hệ, giảm chuyển vị nhưng lại có ảnh hưởng không lớn đến cả 2 hệ số khuếch đại biên độ dao động (15%) và lực tác động (40%) lên hệ của bài toán móng cọc ma sát chịu tải trọng động.

Tài liệu tham khảo

1. ACI 351.3R-04, (2004), "Foundations for Dynamic Equipment".
2. Das B. M., Ramana G. V., (2011), *Principles of Soil Dynamics*, Second Edition, Cengage Learning.
3. Novak, M. (1977), "Vertical Vibration of Floating Piles", *Journal of the Engineering Mechanics Division*, ASCE, Vol. 103, No. EM1, pp. 153-168.
4. Novak, M., and El-Sharnouby, B., (1983), "Stiffness and Damping Constants of Single Piles", *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Vol. 109, No. GT7, pp. 961-974.
5. Poulos, H. G., (1968), "Analysis of Settlement of Pile Groups", *Geotechnique*, Vol. 18, No. 4, pp. 449-471.