

# NGHIÊN CỨU CÁC THÔNG SỐ LÀM VIỆC TỐI ƯU CHO MÁY BÚA RUNG VÀ CỖ NHỎ THÔNG QUA MÔ HÌNH

Nguyễn Hồng Ngân, Nguyễn Chí Nghĩa

Trường Đại học Bách khoa – ĐH Quốc Gia TP.HCM

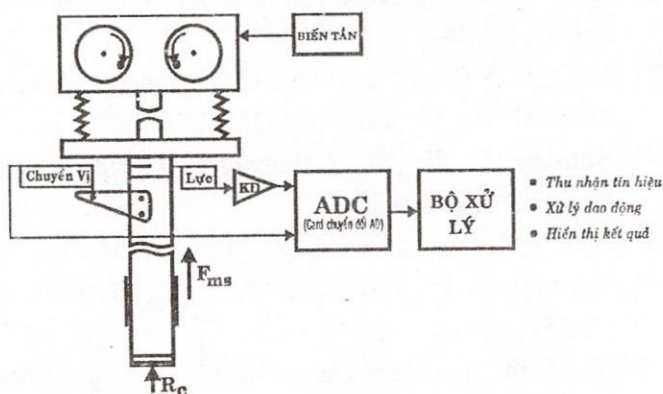
(Bài nhận ngày 08 tháng 02 năm 2002, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 10 tháng 4 năm 2002)

**TÓM TẮT:** Bằng việc kiểm chứng mô hình toán của máy búa va rung cỡ nhỏ với những kết quả đo lực và độ lún trên mô hình phòng thí nghiệm, chúng tôi đã thiết lập một chương trình mô phỏng búa rung và đóng cọc trên máy tính. Từ đó đã rút ra được một số thông số làm việc tối ưu cho búa rung và cỡ nhỏ thông qua chương trình này.

## 1. Giới thiệu

Để đóng các loại cọc vào đất, các loại búa đóng cọc cần phải thắng các thành phần lực cản đầu cọc và lực ma sát thành bên của cọc. Các loại búa đóng cọc dùng va đập thuần túy như búa hơi, búa diesel có thể tạo ra xung lượng và đập lớn để làm lún cọc tuy nhiên số lần va đập trên một đơn vị thời gian thấp nên ít ảnh hưởng đến quá trình làm giảm ma sát, còn những loại búa rung thì thường ở những điều kiện làm việc và thông số tần số biên độ lực kích và trọng lượng thích hợp cũng có thể làm lún cọc rất tốt, tuy nhiên trong trường hợp những thông số của búa không đảm bảo thắng độ lún đàn hồi của đất thì cần phải có cơ cấu tạo ra va đập với tần số đủ để xuyên nút đất. Các loại búa va kết hợp cùng với rung động thì có số lần va đập trong một phút cao nên có ảnh hưởng đáng kể đến việc làm giảm lực ma sát và với xung va đủ mạnh có thể dễ dàng làm lún cọc, nên các loại búa này thường có trọng lượng tương đối nhỏ so với các loại máy khác. Sử dụng đặc tính đó của máy búa rung và chúng tôi đã nghiên cứu chế tạo, thí nghiệm và mô phỏng máy búa trên máy tính để tìm ra những thông số làm việc hiệu quả cho máy búa rung và cầm tay cỡ nhỏ có thể sử dụng để đóng cọc trầm.

Hình 1. Sơ đồ mô hình thí nghiệm



## 2. Mô hình thí nghiệm.

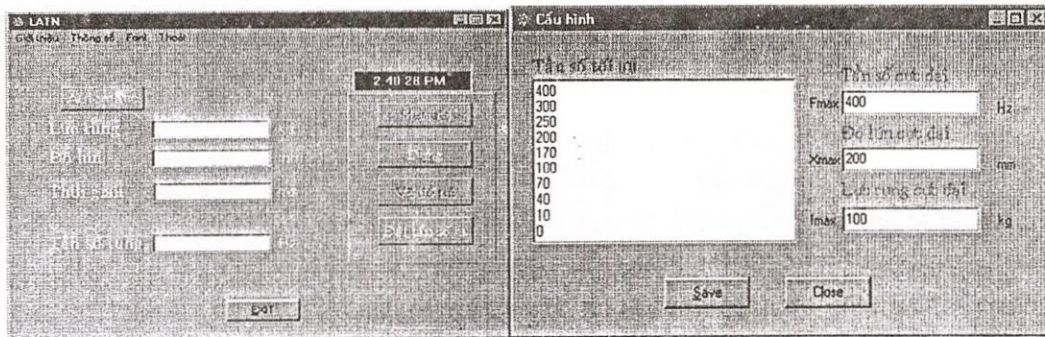
Để tiến hành mô phỏng quá trình lún cọc bằng búa rung và trên máy tính chúng tôi đã thiết lập một mô hình thí nghiệm. Mục đích của mô hình thí nghiệm là kiểm chứng và so sánh các kết quả nhận được trên mô hình thí nghiệm và mô hình thiết lập trên máy tính từ đó cho phép mô phỏng quá trình lún cọc trên máy để tiết kiệm thời gian và giá thành tính máy búa.

Thiết bị thí nghiệm (hình 1) bao gồm một máy búa rung và cỡ nhỏ lượng 20 kg được gắn với một cọc sắt dài 1 mét cho phép đo độ lún và lực tác dụng lên đầu cọc. Các thông số đầu vào và các tín hiệu đo có thể được thu nhận và điều khiển trên màn hình máy tính. Màn hình điều khiển và thu nhận tín hiệu được trình bày ở hình 2.

Điều khiển (hình 2):

+Nút “Dừng” để dừng hệ thống bất cứ lúc nào; nút “Automatic” để điều khiển máy chạy tự động, tần số rung của búa sẽ được điều chỉnh tối ưu theo độ lún của cọc; nút “Manual” dùng để đo đặc tính lún của cọc.

+Qui trình điều khiển: Dừng hệ thống; nhập tần số rung rồi nhấn nút “Đặt tần số ra”; nhấn “Manual”, khi đó búa sẽ rung với tần số cố định được đặt trước, khi hệ thống hoạt động ta sẽ có đồ thị biểu diễn hàm độ lún của cọc theo thời gian một cách trực tiếp. Các đồ thị được vẽ là độ lún theo thời gian  $x(t)$ , lực rung theo thời gian  $f(t)$  và lực rung theo độ lún  $f(x)$ . Có thể lưu đồ thị dưới dạng tập tin hình ảnh .BMP.



Hình 2. Màn hình điều khiển trên Máy tính.

-Xem và sửa thông số điều khiển ở menu “Thông Số”.

-Mở tập tin mặc định “Data.dat” để xem thông tin.

-Tần số tối ưu là mảng tần số mà tại độ sâu tương ứng độ lún hiệu dụng là lớn nhất.

Trong mô hình này với độ lún cực đại là  $x_{max} = 200\text{mm}$ , mảng tần số tối ưu ứng với 10 khoảng, mỗi khoảng 20 mm. Để sửa đổi nhập số liệu vào và nhấn “save” để lưu lại với tên tùy ý.

+ Qui trình làm việc :

-Động cơ của máy búa (được nối với biến tần ) thông qua bộ truyền đai và cặp bánh răng đồng tốc làm cho hai trục mang đề ba lăng quay ngược chiều nhau, và tạo ra lực kích định hướng theo phương dọc trục, lực này tác dụng trực tiếp lên cọc, khi trọng lượng của cọc và búa cùng lực tác dụng lớn hơn lực cản ma sát và lực đầu cọc thì cả hệ búa cọc dịch chuyển xuống dưới theo thanh dẫn hướng. Cùng với quá trình làm việc của máy búa, đầu đo độ lún (POT-potentiometer) của cọc và đầu đo lực kích (Load cell) của búa thu nhận tín hiệu đưa vào card chuyển đổi AD (analog-digital), từ đây tín hiệu sẽ được đưa vào bộ xử lý và hiển thị kết quả ra màn hình máy tính.

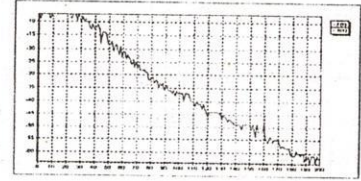
+Các thông số thay đổi được trong quá trình thí nghiệm:

Tần số rung của đầu búa thay đổi nhờ một biến tần gắn với động cơ ( có thể được điều khiển trực tiếp trên biến tần hoặc trên màn hình máy tính). Lực tác dụng lên cọc được thay đổi bằng cách thay đổi trọng lượng đối trọng treo trên hệ puli. Mômen tĩnh đề ba lăng được thay đổi bằng cách thay đổi bán kính lệch tâm thông qua điều chỉnh bu lông gắn trục lệch tâm.

### Kết quả thí nghiệm.

Các kết quả đo: Kết quả đo lực kích của búa lên cọc và độ lún khi tần số động cơ thay đổi từ  $n = 300 \div 450$  vòng /phút. Một trong những kết quả đo độ lún trong trường hợp búa va khi thay đổi lực cản đầu cọc được trình bày ở hình 3.

+Lập chương trình mô phỏng trên máy tính chạy trong phần mềm SIMULINK để kiểm chứng thực nghiệm, các thông số kiểm chứng lấy từ thực nghiệm cho thấy hai kết quả có sai lệch không đáng kể .



Hình 3: Đồ thị độ lún theo thời gian với lực cản  $F_1, R_1$ .

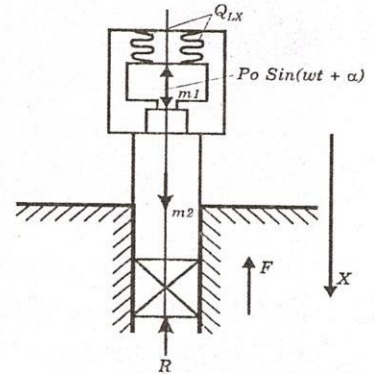
### 3. Cơ sở lý thuyết đóng cọc bằng búa rung va và quá trình mô phỏng trên máy tính

Dựa trên cơ sở những kết quả nhận được trên mô hình thí nghiệm ta mô phỏng quá trình lún cọc bằng búa rung va trên máy tính và tìm ra các thông số làm việc hợp lý cho loại máy búa đóng cọc cỡ nhỏ. Để đơn giản tính toán các tác giả [2], [11] đã giới hạn chuyển động của một phần va là luôn tuần hoàn và luôn bằng thời gian một vòng quay của đề-ba-lăng.

Để xác lập mô hình toán chúng tôi chấp nhận một số giả thiết sau: cọc là vật cứng tuyệt đối, đất quanh cọc không chuyển động, giữa thành cọc và đất là ma sát khô, lực kích lên cọc  $P=P_0 \cdot \sin(\omega t + \alpha)$ , va chạm giữa búa và cọc là tức thời, khảo sát chuyển động của cọc trong điều kiện có lực cản đầu cọc và lực cản thành bên.

Trong rung va, vận tốc quay của đề-ba-lăng biến thiên rất mạnh do ảnh hưởng của va đập. Trong một số điều kiện nào đó, sự thay đổi vận tốc có thể đạt 40%. Tuy nhiên, sự biến đổi này thường không gây ảnh hưởng nhiều đến khả năng đóng của máy búa do thời gian của giai đoạn chuyển đổi rất ngắn, vì vậy khi nghiên cứu quá trình lún bằng rung va, tính chất đặc biệt này có thể bỏ qua.

Sơ đồ tính toán của lún bằng rung va trong đất dẻo thuận tủy được biểu thị trên hình 4.



Hình 4. Mô hình đàn dẻo.

Quá trình rung va lún có thể viết theo từng giai đoạn sau: Giai đoạn chuyển động của phần va:

$$m_1 \ddot{x} + C_1 \dot{x} = -P_0 \sin(\omega t + \alpha) + m_1 g + Q_{B1} \quad (1)$$

với  $t = 0 \quad x(0) = \dot{x}(0) = 0$ ; với  $t = t_1 \quad x(t_1) = x_1; \dot{x}(t_1) = \dot{x}_1$

Giai đoạn lún cọc vào đất:

$$(m_1 + m_2) \ddot{x} = -P_0 \sin(\omega t + \alpha) + (m_1 + m_2) g - F - R \quad (2)$$

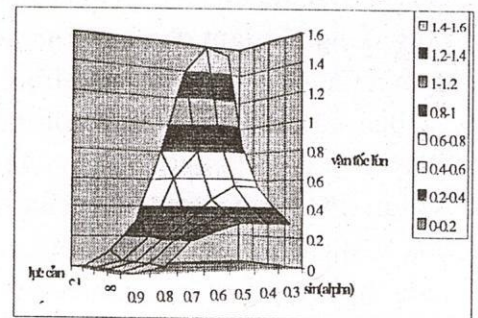
với  $t = t_1 \quad x = 0, \dot{x} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \dot{x}_1$ ; với  $t = t_2 \leq \frac{2\pi}{\omega}$

$$x = 0; \dot{x} = \dot{x}_2$$

Góc pha ban đầu được xác định từ điều kiện tại điểm

$t = 0$  thì các lực tác dụng phần va bằng 0, có nghĩa là:

$$\alpha = \arcsin \left( \frac{m \cdot g + Q_1 \cdot x}{P_0} \right) \quad (3)$$



Hình 5. Biểu đồ vận tốc không thứ nguyên ý theo  $\sin \alpha$  sau 1 lần va.

- Với  $\xi_1 = 0,3; \beta = 1; 1) f + \gamma = 2;$   
 2)  $f + \gamma = 4;$  3)  $f + \gamma = 6;$   
 4)  $f + \gamma = 8;$  5)  $f + \gamma = 10$

Để dễ dàng tính toán tiếp trên máy tính, ta đưa ra các thông số không thứ nguyên :

$$q = \frac{Q}{P_0} \quad \beta = \frac{m_2}{m_1} \quad \gamma = \frac{R}{P_0} \quad f = \frac{F}{P_0} \quad \xi_1^2 = \frac{C_1}{m_1 \omega^2} \quad y = \frac{m \omega^2}{P_0} \quad (4)$$

Trên hình 5 là biểu đồ mối quan hệ của vận tốc lún không thứ nguyên  $y$  và thông số  $\sin \alpha$  của máy búa.

Phân tích biểu đồ trên ta thấy giá trị tối ưu của  $\sin \alpha$  phụ thuộc vào đại lượng lực cản đất không thứ nguyên.

Với giá trị lực cản nhỏ ( $f + \gamma \leq 2$ ) thì giá trị tối ưu của  $\sin \alpha$  sẽ lớn và vận tốc va đập không thứ nguyên  $y_1$  có bước trượt lớn.

Khi tăng dần lực cản không thứ nguyên ( $f + \gamma$ ) thì  $\sin \alpha$  tối ưu sẽ giảm và giá trị cực đại của vận tốc không thứ nguyên cực đại sẽ tiến đến gần nhau.

Trong một số loại đất có vùng đàn hồi lớn thì việc lún cọc bằng rung va có hơi khác với mô hình tính toán là đất dẻo hoàn toàn, khi đó thường đòi hỏi vận tốc va cũng như công suất yêu cầu của động cơ tăng.

Mô hình đàn hồi dẻo của lực cản đất là mô hình tổng quát có thể giải thích được những tính chất đặc biệt đó, sơ đồ của nó được biểu diễn trên hình 6.

Điều kiện ban đầu khi  $t = t_0$  cho giai đoạn một của chuyển động:  $x = x_0$ ;

$$\dot{x} = \dot{x}_0 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} (\dot{x}_1)_0 \quad (5)$$

Trong đó  $(\dot{x}_1)_0$  là vận tốc va đập của phần va. Giá trị  $x_0$  và  $(x_1)_0$  khi bắt đầu tính là chưa xác định, đồng thời góc pha cũng chưa biết, vì vậy, bài toán sẽ được giải gần đúng theo phương pháp lặp.

Giá trị gần đúng ban đầu của  $x_0$  có thể được lấy  $x_0 = 0$ , còn qua việc giải bài toán rung va lún cọc trong đất dẻo hoàn toàn, giá trị  $x_0'$  được xác định bằng biểu thức:

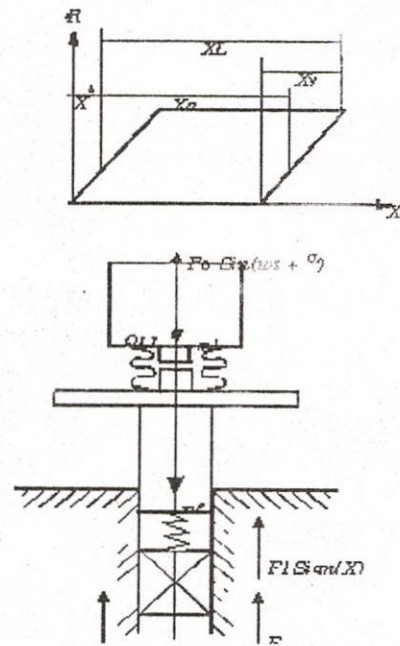
$$x_0' = x_y + x_a - x_1$$

Trong đó:  $t$  - Thời gian một chu kỳ, được xác định trong tính toán;  $x_y$  - biến dạng đàn hồi của đất;  $x_a$  - độ lún cọc sau một chu kỳ;  $x_1$  - độ lún cọc cực đại cọc đạt được trong một chu kỳ.

Ví dụ với lực cản tổng  $f + \gamma = 4$  với  $\frac{f}{\gamma} = 0,8$  khả năng lún của búa sẽ giảm khi tăng

lực căng ban đầu của lò xo đối với mô hình đất dẻo hoàn toàn. Không phụ thuộc vào lực cản đất khi tăng độ đàn hồi của nó, giảm giá trị sẽ dẫn tới giảm độ lún của cọc sau 1 lần va.

Sự khác nhau giữa kết quả tính toán của mô hình đàn dẻo và dẻo thuần túy, về cơ bản là dựa trên khả năng tách búa khỏi chuyển động của cọc.



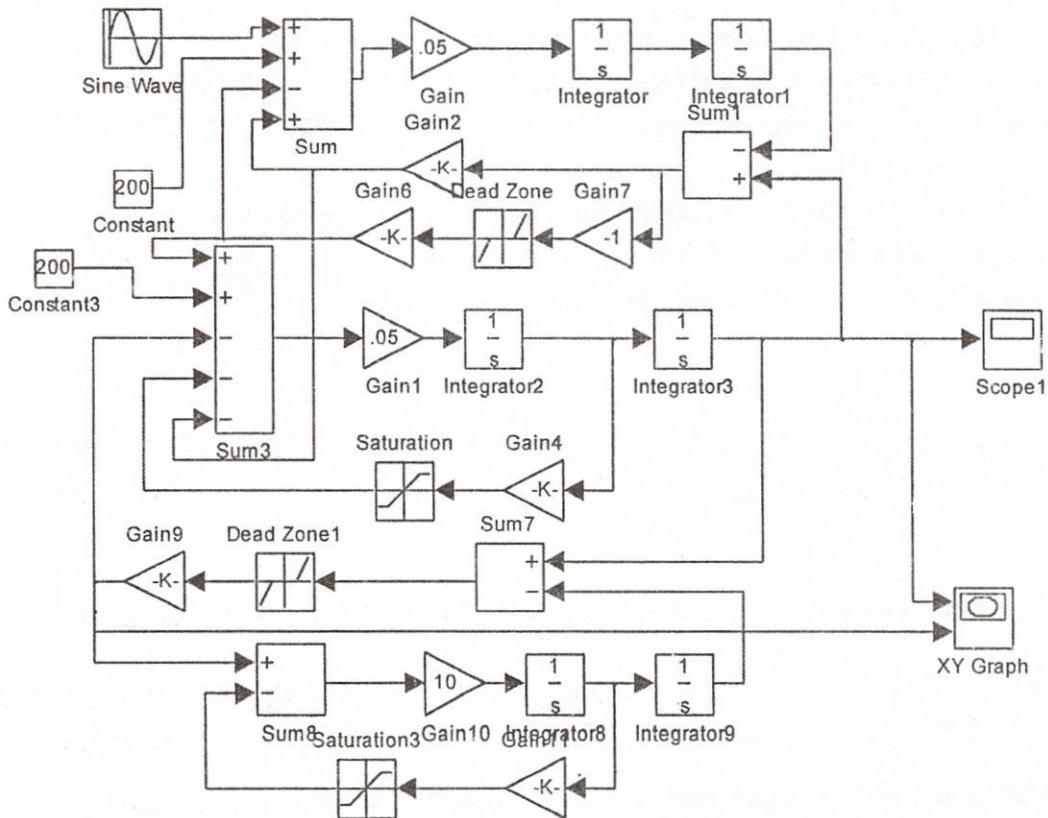
Hình 6. Mô hình rung va trên đất đàn dẻo

Hiện tượng này trong phần lớn các trường hợp sẽ xảy ra khi chuyển động của cọc chịu tác dụng của thành phần lực động đàn hồi của lực cản đất lên đầu cọc (giai đoạn có phản lực đàn hồi), điều đó sẽ dẫn tới việc thay đổi vận tốc va và vị trí của đề-ba-lăng tại thời điểm tác dụng và lên cọc. Tính chất đặc biệt này của việc rung và lún trong mô hình đàn dẻo được thấy rõ trong mối quan hệ của những đặc tính cơ bản của lực cản động của đất  $f + v$ ;  $f/v$ ;  $\xi_3$  (lực cản đàn hồi của đất không thứ nguyên).

Phân tích các kết quả nhận được ta thấy với thông số máy búa không đổi, vận tốc va đập của búa sẽ phụ thuộc vào lực cản động và độ cứng của đất. Đối với  $\xi_3 = 1,5$  thì  $y_1$  max khi  $f + v = 4$ . Khi tăng độ cứng của đất, giá trị cực đại của vận tốc va đập  $y_1$  sẽ dịch chuyển theo phía tăng lực cản đất. Các kết quả cũng cho thấy vận tốc va đập của búa không chỉ phụ thuộc vào giá trị tuyệt đối của lực cản đất mà còn vào tỷ lệ giữa lực cản đầu cọc và lực cản thành bên.

Với giá trị hệ số độ cứng của đất lớn  $\xi_3 = 2,0$  và  $\xi_3 = 3,0$  khi tăng lực cản bên trong tổng lực cản đất thì vận tốc va đập của búa sẽ giảm gần như tuyến tính và sẽ dẫn tới kết quả nhận được

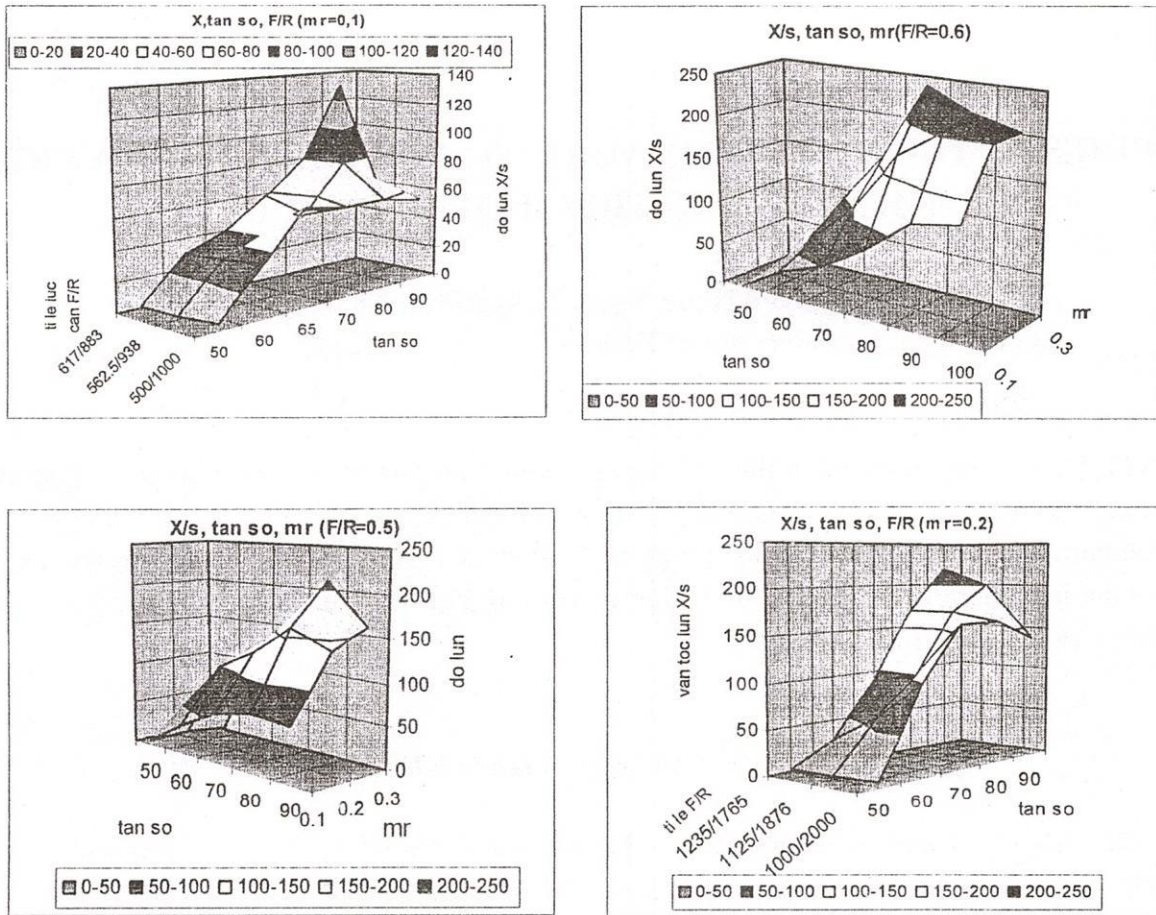
trong việc mô hình cản dẻo đã nghiên cứu. Đối với trường hợp hệ số đàn hồi không thứ nguyên  $\xi_3 = 1,5$  ta có vận tốc va đập cực đại khi  $\frac{f}{v} = 0,5$ . Vận tốc va đập giảm khi  $\frac{f}{v}$  tăng và nó cũng tiến tới mô hình dẻo thuần túy cho trước. Bằng tính toán ta thấy rằng vị trí của đề-ba-lăng tại thời điểm va đập không chỉ phụ thuộc lực nén ban đầu của lò xo máy búa và trọng lượng phần va đập mà còn vào hệ số độ cứng cũng như giá trị lực cản động của đất.



Hình 6. Chương trình mô phỏng búa rung và đóng cọc trong đất đàn dẻo

Dùng mô hình đàn dẻo của lực cản đất còn cho phép thấy mối quan hệ cơ bản để xác định độ sâu lún tới hạn của búa.

Để xác định các thông số làm việc tối ưu của máy búa rung và cỡ nhỏ đóng cọc trầm trong đất đàn dẻo trên chương trình mô phỏng ta lấy các thông số ban đầu của búa và cọc như sau: khối lượng của búa là 20 kg, của cọc là 20 kg, độ cứng lò xo búa là 60000N/m, khe hở của đe là 0 mm, moment tĩnh bánh lệch tâm thay đổi từ 0,1 đến 0,3kg.m, công suất động cơ giới hạn số vòng quay cực đại là 90 rad/giây, các thông số của đất: độ cứng đàn hồi của đất 200000N/m, tổng lực cản đầu cọc và thành bên thay đổi từ 1500 đến 4500N tương ứng với lực cản khi đóng bằng tay. Chương trình mô phỏng viết bằng phần mềm MATLAB được trình bày trên hình 6 và một số kết quả mô phỏng được trình bày ở hình 7.



Hình 7. Các kết quả nhận được từ mô hình mô phỏng.

#### 4. Kết luận

Từ những mô phỏng của máy búa rung và cỡ nhỏ ta rút ra những kết luận sau:

- Vùng tồn tại chế độ đóng lớn nhất là ở chế độ  $\xi_1$  và  $\sin\alpha$  lớn.
- Giá trị tối ưu của  $\sin\alpha$  phụ thuộc vào đại lượng lực cản đất không thứ nguyên.

Với giá trị lực cản nhỏ ( $f + \gamma \leq 2$ ) thì giá trị tối ưu của  $\sin\alpha$  sẽ lớn và vận tốc và đập không thứ nguyên  $y_1$  có bước trượt lớn.

- Khi tăng dần lực cản không thứ nguyên ( $f + \gamma$ ) thì  $\sin\alpha$  tối ưu sẽ giảm và giá trị cực đại của vận tốc không thứ nguyên cực đại sẽ tiến đến gần nhau.

- Kết quả mô phỏng cho máy búa nhỏ đóng trong đất đàn dẻo cho thấy khi tỉ lệ lực ma sát với lực cản đầu cọc là 0,5 ta tìm ra được tần số để đạt vận tốc lún cực đại là 80 rad / sec ứng với cả ba chế độ moment tĩnh là 0,1-0,2-0,3kg.m, tuy nhiên với momen tĩnh lớn (0,3kg.m ) thì tần số tối ưu ảnh hưởng rất đáng kể đến độ lún cọc, sau tần số đó vận tốc lún của cọc giảm mạnh mẽ.

- Trong những trường hợp tỉ lệ lực ma sát so với lực cản đầu cọc tăng thì máy búa làm việc tương đối ổn định với khe hở  $\delta$  bằng 0 và sẽ tạo được một va đập sau mỗi một vòng quay của đề ba lang, ở đây ta không tìm thấy được tần số cho vận tốc lún cực đại tuy nhiên với những tần số cao thì năng lượng sẽ tiêu tốn nhiều cho việc cọc bị nhổ lên khi đóng do đó hiệu suất làm việc của động cơ sẽ thấp. Từ những kết luận trên ta có thể sơ bộ rút ra được những thông số làm việc hiệu quả cho búa rung va cỡ nhỏ.

## STUDIES OF THE OPTIMIZED WORKING-PARAMETERS OF A LIGHT IMPACT-VIBRATION HAMMER MODEL

Nguyen Hong Ngan, Nguyen Chi Nghia  
University of Technology – VNU-HCM

**ABSTRACT:** Laboratory modelling of impact - vibration pile driving was created. The force and pile penetration results based on labo model were measured and tested by a mathematical model. A simulating program of impact vibration pile driving based on this mathematical model was developed. Some working-parameters of light impact-vibration hammer were optimized.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. DEEKS, A.J., and RANDOLPH, M.F. *Analytical Model of Hammer Impact for Pile Driving*. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanic, Vol. 17, pp.279-302. London:John Wiley & Sons, Ltd . (1993)
- [2]. EROFEEV, L.V. *Vibrationnye I Vibroudarnye Machiny Dlya Pogruzheniya Svai* (Vibration and Impact-Vibration machines for driving piles). NIIinfstroidorkommunash, Moscow, p43. (1966)
- [3]. FRITZ, G. *Auslegung von Stellemen für Schwingungserregerzellen mit geregelter Parametervstellung und adaptive Regelungskonzepte für den Vibrationsrammprozes*. ReiheF/ Heft 44, Karlsruhe. (1996)
- [4]. ISERMANN, R., LACHMANN, K.-H. and MATKO, D. *Adativ Control Systems*. Prentice Hall, New York etc. (1992)
- [5]. LIKINS,G., RAUSCHE, F., MORRISON, M. and RAINES, R. *Evaluation of Measurements for Vibratory Hammer*. Proceeding of the Fourth International Conference of the Application of Stress Wave Theory to Pile, pp. 433-436. (1992)

- [6]. NGUYEN ANH TUAN, NGUYEN HONG NGAN, *Dynamic modeling of friction characteristic between pile and soil*. The 4<sup>th</sup> International Symposium on High Performance of Tribosystem, 15-16 June 2001 pp.104-109. (2001)
- [7]. NGUYỄN HỒNG NGÂN. *Mô hình toán của hệ dao động n bậc tự do ứng dụng cho thanh đàn hồi phi tuyến*. Tuyển tập công trình khoa học 45 năm Trường Đại học Bách khoa Hà Nội 10/2001, trang 224 – 229. (2001)
- [8]. NGUYỄN HỒNG NGÂN. *Ứng dụng một số công cụ tin học để giải quyết bài toán mô hình dao động phi tuyến hệ búa - cọc - đất*. Tuyển tập công trình khoa học 45 năm Trường Đại học Bách khoa Hà Nội 10/2001, trang 179 – 185. (2001)
- [9]. O'NEILL, M. W., VPULANANDAN, C. AND WONG, D. *Laboratory Modeling of Vibro-Driven Piles*, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 116, No. 8, 1190-1209. (1990)
- [10]. SVINKIN M.R. *Velocity-impedance-energy relationships for driven piles*. Proc., Fifth Inter. Conf. on the Application of Stress-Wave Theory to Piles, Orlando, Florida, September 11-13, 1996, 870-890. (1996)
- [11]. TSEITLIN, M.G. VERSTOV, V.V., and AZBEL, G.G. *Vibratsionnaya Tekhnika I Tekhnologiya V Svainykh I Burovikh Rabotakh* (Vibratory Methods and the Technology of Piling and Boring Work) Stroizdat, Leningradskoe Otdelenie, Leningrad. (1987)
- [12]. VIPULANDAN, C. and WONG, D. *Behavior of Vibro-Driven Piles in Sand*. Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 116, No.8, 1211-1230. (1990).