

# XỬ LÝ NỀN ĐẤT YẾU DƯỚI NỀN ĐƯỜNG CÁC LOẠI BẰNG PHƯƠNG PHÁP CỌC TIẾP CẬN CÂN BẰNG ĐẤT GIA CỐ XI MĂNG DEEP CEMENT - SOIL MIXING COLUMNS TO IMPROVE SOFT GROUND UNDER APPROACHING EMBANKMENTS

Phạm Văn Hùng, Nguyễn Công Oanh, Trương Ngọc Giang, Mai Hồng Hà

Phòng Đường Sân bay, Phân viện KHCN GTVT Phía Nam, Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam

## BẢN TÓM TẮT

Nội dung của bài báo này nhằm trình bày cơ sở tính toán và phần mềm thiết kế cọc gia cố cứng của các tác giả theo phương pháp cọc tiếp cận đã bắt đầu được sử dụng nhiều trên thế giới. Giải pháp thiết kế này với nguyên lý cân bằng, phân bố đồng đều biến dạng đã kiểm soát tốt phân bố ứng suất, biến dạng đồng đều và nhỏ, đáp ứng các yêu cầu, tiêu chuẩn khai thác cao cho các công trình quan trọng như đường hạ cất cánh sân bay, đường cao tốc, đường đầu cầu đắp cao, bãi cảng, bãi chứa container xây dựng trên nền đất yếu đạt hiệu quả cao, tiến độ thi công nhanh.

## ABSTRACT

This papers are aimed at presenting an analysing method and our soft-ware to design deep cement-soil mixing columns which have been being widely used all over the world. This method based on the so-called “balance rule” to equally redistribute stresses over structures have proved cost-effective, and well applicable to such important constructions as airport lanes, highways, approaching roads, container ports... which are not only built up under soft ground conditions but also match high quality control and utilizing requirements.

## 1. MỞ ĐẦU

Hiện nay cùng với sự phát triển kinh tế của đất nước, nhu cầu phát triển về cơ sở hạ tầng rất lớn và cấp thiết, trong đó nhu cầu phát triển hạ tầng giao thông, đường trên đất yếu bền vững và hiệu quả đòi hỏi phải nghiên cứu, phát triển một số công nghệ mới trong thi công xây dựng công trình giao thông. để kiểm soát được biến dạng lún và ổn định ở một số công trình giao thông quan trọng như đường cao tốc, đường hạ cất cánh của sân bay, đường đầu cầu đắp cao, bãi cảng chứa container hoặc công hộp băng ngang đường trên nền đất yếu, chúng ta thường sử dụng các giải pháp thông dụng như đệm cát, giềng cát, cọc cát, bắc thăm, vãi địa kỹ thuật, sản phẩm giảm tải BTCT trên nền cọc BTCT. Những công nghệ đã sử dụng thường thì khó kiểm soát được biến dạng lún, và ổn định công trình, thời gian thi công kéo dài hoặc không thể thi công trên diện rộng, kéo dài theo tuyến đường như sản phẩm giảm tải trên nền cọc BTCT có giá thành rất đắt

mà vẫn phải xử lý chuyên tiếp giữa cứng và mềm.

Để giải quyết những vấn đề trên, hiện nay ta sử dụng giải pháp đất gia cố vôi, vôi -ximăng, ximăng làm cọc gia cố sâu, có thể kết hợp hoặc không kết hợp với móng đường gia cố vôi, vôi-ximăng, và ximăng chịu ngập lụt.

Trong bài báo này, chúng tôi tập trung đi về giải pháp tính toán, thiết kế, lập phần mềm tính toán cho cọc đất gia cố cứng có thể chống trên nền đất tốt hoặc treo trong đất yếu.

## 2. CƠ SỞ GIẢI PHÁP THIẾT KẾ

### 2.1 Các nguyên lý thiết kế chung

Trong cọc đất gia cố có hai nguyên lý thiết kế ứng với hai giải pháp công nghệ khác nhau.

- Nguyên lý cọc nửa cứng hay cọc mềm: vật liệu đất gia cố thi công cọc nửa cứng có cường độ chịu nén nở hông tự do, module biến dạng không cao. Cọc đất gia cố và vật liệu đất

xung quanh cọc không gia cố được xem như một khối làm việc đồng nhất, biến dạng của cọc và đất xung quanh cọc xem như bằng nhau, cọc không làm việc như cọc chống mà chỉ xem như cọc treo.

- Nguyên lý cọc cứng: vật liệu đất gia cố thi công cọc cứng có cường độ chịu nén nở hông tự do, module đàn hồi, module biến dạng cao. Trong công nghệ thi công khi chịu tải ngang lớn có thể gia cố tăng cường ống thép thành mỏng ở tâm cọc gia cố.

Các thông số cơ học, tải trọng phân bố cho cọc và cho đất nền xung quanh cọc, khả năng chịu tải, biến dạng của cọc và đất nền không gia cố xung quanh cọc rất khác nhau. Cọc được thiết kế tính toán cho cả trạng thái cọc chống và cọc treo.

## 2.2 Các giải pháp tính toán theo phương pháp cọc tiếp cận

Đối với các công trình giao thông kéo dài có đặc thù là tính chất cơ lý của nền đất yếu, chiều dày các lớp đất yếu là không đồng nhất nên việc đảm bảo cân bằng biến dạng đồng đều là rất khó để đảm bảo tính an toàn khai thác như công trình đường hạ cát cánh của sân bay, đường đầu cầu đắp cao và mỏ cầu, giữa đường và cống hộp ngang đường đặt trên hệ cọc cứng, đường cao tốc có yêu cầu đặc biệt về sự chênh lún. Vì thế nội dung các giải pháp tính toán cọc tiếp cận gồm có như sau:

- Thay đổi chiều dài cọc gia cố để cân bằng biến dạng giữa đường và các hạng mục kết cấu cứng.

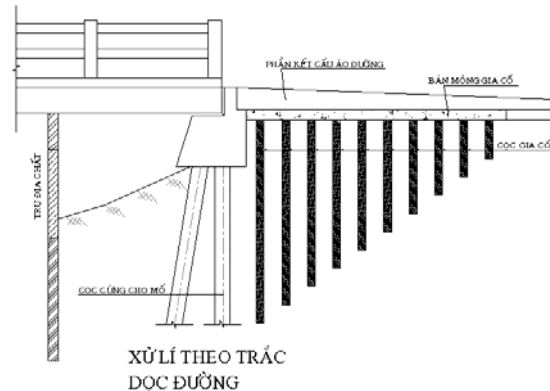
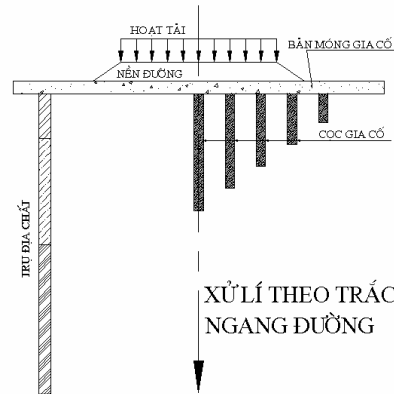
- Thay đổi chiều dài cọc theo tuyến công trình khi các chỉ tiêu cơ lý và chiều dày các lớp đất yếu thay đổi theo nguyên tắc cân bằng biến dạng để đảm bảo biến dạng lún, độ lún lệch dọc theo tuyến công trình nằm trong giới hạn cho phép.

- Tính theo cọc chống khi chiều dày lớp đất yếu nằm trong khoảng 4-10m.

## 2.3 Yêu cầu cấu tạo theo phương pháp cọc tiếp cận

Cọc gia cố có thể làm việc theo cọc chống hoặc cọc treo có đường kính, mật độ phân bố, chiều dài cọc và chiều dài đoạn tuyến khác nhau được tính toán thiết kế phù hợp.

Trên đầu cọc là một bản mỏng bằng vật liệu đất, cát, sỏi, cuội, đá dăm gia cố có diện tích, chiều dày, độ cứng khác nhau được thiết kế cho phù hợp.



Hình 1: cấu tạo điển hình một nền gia cố.

Trên lớp bản mỏng là lớp móng, mặt được tính toán thiết kế theo qui định hiện hành cho lớp móng cứng, bán cứng hoặc móng mềm.

Giới hạn của bài viết này là chưa đề cập đến ảnh hưởng của thành phần hoá học của đất nền đến kết quả gia cố sâu. Tuy nhiên ở đây xét đến biện pháp tính toán sức chịu tải cũng như biến dạng lún của hệ gia cố sâu, đồng thời một chương trình tính toán được thiết lập để phục vụ công tác kiểm toán gia cố sâu hoặc nâng nền đất yếu. Sức chịu tải của cọc gia cố được xác định như sau.

## 3. SỨC CHỊU TẢI CỦA HỆ ĐƯỢC XÁC ĐỊNH THEO SỰ LÀM VIỆC RIÊNG CỦA TỪNG CỌC GIA CỐ

$$R_u = R_{pu} + L \cdot \sum \tau_{di} \cdot h_i \quad (1)$$

$R_u$  Sức chịu tải cực hạn của cọc gia cố

$R_{pu}$  Sức chịu tải mũi cực hạn của cọc gia cố

$\tau_{di}$  ma sát thành cực hạn của cọc gia cố

$h_i$  Chiều dày phân tố

$L$  Chu vi cọc gia cố

Sức chịu tải mũi phụ thuộc vào loại đất.

Đất rời

$$R_{pu} = 75 \cdot \bar{N} \cdot A_p \quad (2)$$

Trong đó  $\bar{N}$  là số SPT trung bình 1d trên và 1d dưới mũi cọc.

Đất dính

$$R_{pu} = 6 \cdot c \cdot A_p \quad (3)$$

Trong đó  $c$  là lực dính của đất nền.

Ma sát thành bên của cọc tính toán theo các công thức sau:

$$\tau_{di} = \frac{10 \cdot N}{3} \quad (4)$$

$$\tau_{di} = c \text{ hay } q_u / 2 \quad (5)$$

Sức chịu tải cho phép cho trường hợp cọc gia cố làm việc đơn lẻ là:

$$q_{a1} = \frac{1}{F_s} (n \cdot R_u) / A_f \quad (6)$$

#### 4. SỨC CHỊU TẢI CỦA CỌC GIA CỐ XÁC ĐỊNH THEO SỰ LÀM VIỆC CHUNG CỦA HỆ CỌC

$$q_{a2} = \frac{1}{F_s} \{ q_d \cdot A_b + \sum (\tau_{di} \cdot h_i) \cdot L_s \} / A_f \quad (7)$$

$q_d$  Sức chịu tải cực hạn dưới chân cọc gia cố

$A_b$  Diện tích đáy khối qui ước

$\tau_{di}$  Ma sát thành cực hạn theo chu vi khối qui ước

$h_i$  Chiều dày các lớp phân tố

$L_s$  Chu vi khối qui ước

Tính toán theo lời giải của K. Terzaghi

$$q_d = i_c \cdot \alpha \cdot c \cdot N_c + i_\gamma \cdot \gamma_1 \cdot B_b \cdot N_\gamma + i_q \cdot \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q \quad (8)$$

Trong đó

$$i_c = i_q = \left( 1 - \frac{\theta}{90} \right)^2 \quad (9)$$

$$i_\gamma = \left( 1 - \frac{\theta}{\phi} \right)^2 \quad (10)$$

$\theta$  Góc nghiêng của tải trọng

$\phi$  Góc nội ma sát của đất nền

$\alpha$  và  $\beta$  phụ thuộc đáy móng công trình

$$\alpha = 1 + 0.2 \frac{B_b}{L_b} \quad (11)$$

$$\beta = 0.5 - 0.2 \frac{B_b}{L_b} \quad (12)$$

$\left. \begin{matrix} N_c \\ N_q \\ N_\gamma \end{matrix} \right\}$  Các hệ số sức chịu tải Terzaghi

$c$  Lực dính của đất nền

$\gamma_1$  Dung trọng đất dưới đáy móng

$\gamma_2$  Dung trọng đất nền trên đáy móng

$$\tau_{di} = \frac{10 \cdot N}{3} \quad (13)$$

$$\tau_{di} = c \text{ hay } q_u / 2 \quad (14)$$

Sức chịu tải của toàn bộ hệ cọc sâu

$$q_a = \min [q_{a1}, q_{a2}] \quad (15)$$

Kiểm tra sức chịu tải của đất nền

$$\sigma_e = \frac{a.P}{A_f} \leq q_a = \min[q_{a1}, q_{a2}] \quad (16)$$

Trong đó

$$a = 1 + \frac{6.M}{L_b.P} \quad (17)$$

là hệ số kể đến độ lệch tâm của tải trọng

## 5. PHÂN TỐ ỨNG SUẤT DO TẢI TRỌNG NGOÀI VÀO CỌC GIA CỐ

Áp suất do tải trọng vào cọc gia cố phụ thuộc vào độ cứng cọc gia cố, độ cứng đất nền xung quanh cọc gia cố và đất nền dưới mũi cọc gia cố [2]. Nó được xác định theo công thức sau:

$$q_p = \mu_p \cdot \sigma_e \quad (18)$$

$q_p$  ứng suất thẳng đứng trong cọc gia cố

$\mu_p$  hệ số tập trung ứng suất

$\sigma_e$  áp suất tiếp xúc thiết kế dưới đáy móng

Hệ số tập trung ứng suất:

$$\mu_p = \frac{n}{1 + (n-1)a_p} \quad (19)$$

Trong đó

$$a_p = \frac{\sum A_p}{A_f} \quad (20)$$

$$n = \frac{E_p}{E_1} \cdot \frac{(\lambda_L + n_{12})}{(\alpha \nu_1 \lambda_L + n_{p2})} \quad (21)$$

$$\alpha \nu_1 = \frac{1 - \nu_1}{(1 + \nu_1)(1 - 2\nu_2)} \quad (22)$$

$$\lambda_L = \frac{H_1}{d_p} \quad (23)$$

$$n_{12} = \frac{E_1}{E_2} \quad (24)$$

$$n_{p2} = \frac{E_p}{E_2} \quad (25)$$

$H_1$  Chiều dày lớp đất bên trên

$H_2$  Chiều dày lớp đất thứ hai

$d_p$  đường kính cọc gia cố

$E_p$  module cọc gia cố

$E_1, E_2$  module lớp thứ nhất và lớp thứ hai

$\nu_1, \nu_2$  hệ số poisson của lớp thứ nhất và lớp thứ hai

$\alpha \nu_1$  Tỉ số gia tăng module theo hướng thẳng đứng do sự làm việc không nở hông. điều kiện bên của cọc gia cố

$$q_p \leq f_c \quad (26)$$

$f_c$  ứng suất cho phép của cọc gia cố

## 6. TÍNH BIẾN DẠNG LÚN CỦA HỆ THỐNG CỌC GIA CỐ

Xem khối móng qui ước biến dạng lún do tải trọng ngoài gồm đất đắp và các lớp kết cấu. Khi tính biến dạng lún ta có thể tính cả thành phần gây ra do hoạt tải xe chạy [4].

$$S = \sum S_i = \sum \frac{e_{0i} - e_{1i}}{1 + e_{0i}} \cdot h_i \quad (27)$$

Ứng suất gây lún dưới đáy móng qui ước tính đến chân cọc gia cố:

$$\sigma'_e = \sigma_e \cdot \frac{B_b \cdot L_b}{B'_b \cdot L'_b} \quad (28)$$

Trong đó

$$B'_b = B_b + 2 \cdot \tan(\phi_{ib} / 4) \quad (29)$$

$$L'_b = L_b + 2 \cdot \tan(\phi_{ib} / 4) \quad (30)$$

## 7. THIẾT KẾ CHIỀU DÀI ĐOẠN GIA CỐ, ĐƯỜNG KÍNH CỌC VÀ MẬT ĐỘ CỌC

### 7.1 Chiều dài đoạn gia cố

Chiều dài đoạn gia cố phụ thuộc vào loại hình công trình là tuyến hay đoạn tuyến ngắn.

Với các công trình là đường đầu cầu đắp cao hay công hộp ngang đường ta thiết kế chiều dài này theo độ dốc dọc và biến dạng lún của hệ khi chưa gia cố, độ chênh lún cho phép [4].

Chiều dài đoạn gia cố  $La = 100S/i$

Hay có thể dùng giá trị nhỏ nhất cho chiều dài đoạn gia cố  $Lamin=8m$ . Tuân theo công thức sau:

$$La = 8 + (12/100).S$$

Trong đó S tính theo cm và La tính theo m.

## 7.2 Chiều dài, đường kính cọc gia cố và mật độ cọc

Chiều dài, đường kính cũng như mật độ cọc gia cố được xác định theo điều kiện sức chịu tải và điều kiện biến dạng lún của hệ cọc. Các tiêu chuẩn về không chế biến dạng lún của công trình trong giới hạn cho phép sao cho sau khi được xử lý hệ kết cấu làm việc đảm bảo các tiêu chuẩn cho phép theo qui định hiện hành đối với móng, mặt đường cứng hay mềm. Nội dung thiết kế này được xử lý trong phần mềm đã được các tác giả thực hiện.

## 8. THIẾT KẾ BẢN MÓNG

Chiều dày bản móng được thiết kế theo điều kiện ứng suất cho phép sẽ được trình bày ở một bài báo sau.

## 9. MỘT SỐ KẾT QUẢ CỦA PHẦN MỀM

Chương trình được viết bằng ngôn ngữ Vb.Net trên nền FrameWork Ver 1.0. Cơ sở dữ liệu trên nền Microsoft Access 2003.

Bảng thông số đầu vào:

Hi (m)	Loại đất	Value	Unit
2.5	Đất sét	2.38	( <sup>0</sup> C)
2.5	Đất sét	5.9	(kN/m <sup>2</sup> )
Dung trọng	$\gamma_1$	16.2	(kN/m <sup>3</sup> )
Dung trọng trên đáy móng tương đương	$\gamma_2$	20.27	(kN/m <sup>3</sup> )

Số SPT	$N_1$	4	(Búa)
Số SPT tr khoảng 1 d trên & dưới mũi cọc	$N_2$	10	(Búa)
Lực dọc	P	2602.5	(kN)
Momen	M	0	(kNm)
Lực ngang	H	0	(kN)
Chiều dài cọc gia cố	L	5	(m)
Đường kính cọc gia cố	d	0.2	(m)
Hệ số an toàn	$F_{sp}$	1.5	
Chiều dài vung gia cố	$L_B$	5	(m)
Chiều rộng vung gia cố	$B_B$	5	(m)
Chiều sâu đặt bản móng	$D_f$	0	(m)
Số cọc gia cố	n	225	(cọc)
Chiều dày lớp gia cố	$H_1$	4.5	(m)
Chiều dày lớp dưới	$H_2$	0.5	(m)
Modul của lớp 1	$E_1$	5000	(kN/m <sup>2</sup> )
Modul của lớp 2	$E_2$	5000	(kN/m <sup>2</sup> )
Modul cọc gia cố	$E_p$	90000	(kN/m <sup>2</sup> )
Hệ số Poisson lớp 1	$\nu_1$	0.35	
Hệ số Poisson lớp 2	$\nu_2$	0.34	
Cường độ nén	$F_c$	500	(kN/m <sup>2</sup> )
Độ sâu chia lớp	$Z_{chia}$	0.5	(m)

Kết quả kiểm toán:

$\sigma_c = 104.10$  (kN/m<sup>2</sup>)  
 $q_d = 172.28$  (kN/m<sup>2</sup>)  
 $q_{a1} = 130.59$  (kN/m<sup>2</sup>)  
 $R_u = 19.65$  (kN)  
 $q_{a2} = 117.89$  (kN/m<sup>2</sup>)  
 $q_a = \min(q_{a1}, q_{a2}) = 117.89$  (kN/m<sup>2</sup>)  
 $a_p = 0.28$   
 $n = 8.16$   
 $\mu_p = 2.70$   
 $q_p = 280.84$  (kN/m<sup>2</sup>)  
 $f_c : 333.33$   
 Độ lún = 7.237 (cm)

## 10. KẾT LUẬN

Giải pháp thiết kế cọc gia cố cứng theo phương pháp cọc tiếp cận đã giải quyết được các vấn đề sau:

- Kiểm soát phân bố ứng suất, biến dạng đồng đều, giảm thiểu đến mức tối đa khả năng gây lún lệch, đảm bảo an toàn giao thông, tiêu chuẩn khai thác đối với những công trình quan trọng kéo dài như đường hạ, cất cánh của sân bay, đường cao tốc, đường đầu cầu đắp cao và các công trình tương tự.

- Giảm được giá thành đầu tư, đẩy nhanh được tiến độ thi công liên tục.

Tăng hiệu quả đầu tư do kéo dài tuổi thọ, chất lượng khai thác, chi phí duy tu bảo dưỡng thấp.

Do giới hạn của bài báo nên một số phần nội dung sẽ được trình bày trong các bài báo sau.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Evangelos I. Stavridakis. Presentation and Assessment of Clay influence on Engineering Parameters of Cement-Treated Clayey Mixtures. *Laboratory of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Geotechnical Engineering Division, Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Greece.*
2. Guideline for Design and Quality Control of Soil Improvement for Buildings, Deep Mixing Cement. *National Institute for Land and Infrastructure Management and Architecture Research Institute, Japan.*
3. Peter J. Nicholson. Cement soil mixing in soft ground. *US Department of Energy.*
4. S. L. Shen & N. Minura. A Technique for Reducing Settlement Difference of Roads on Soft Clay. *Institute of Lowland Technology, Saga University, Honjo, Japan.*