



## Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



# Thiết kế xử lý nền đất yếu bằng cọc cát-xi măng-vôi tại Trường Trung học phổ thông Tây Thái Thụy, Thái Bình

Tạ Đức Thịnh\*

Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:  
 Nhận bài 15/6/2018  
 Chấp nhận 20/7/2018  
 Đăng online 31/8/2018

Từ khóa:  
 Đất yếu  
 Cọc cát-xi măng-vôi  
 Sức chịu tải  
 Độ lún

### TÓM TẮT

Phương pháp xử lý nền đất yếu bằng cọc cát-xi măng-vôi là phương pháp mới, được đề xuất trên cơ sở phương pháp cọc cát, cọc đất-xi măng và cọc đất-vôi. Cơ sở phương pháp luận của phương pháp là tác dụng nén chặt cơ học, tác dụng cố kết thắm và tác dụng gia tăng cường độ của vật liệu cọc và đất nền xung quanh cọc sau khi gia cố. Bài báo trình bày kết quả ứng dụng phương pháp cọc cát-xi măng-vôi để gia cố, xử lý nền đất yếu tại Trường Trung học Phổ thông Tây Thái Thụy, Thái Bình. Kết quả cho thấy, sau khi gia cố, lực dính của đất nền tăng 126%, hệ số nén lún giảm 55%, mô đun tổng biến dạng tăng 277%.

© 2018 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

## 1. Mở đầu

Đất yếu là loại đất có thành phần, trạng thái và tính chất đặc biệt, phân bố khá rộng rãi ở nước ta, đặc biệt là ở vùng đồng bằng Bắc Bộ và đồng bằng sông Cửu Long (Trần Đình Kiên, 2016). Đây là các loại đất có sức kháng cắt nhỏ, tính biến dạng lớn, rất nhạy cảm với tác động của tải trọng ngoài. Khi xây dựng các loại công trình trên nền đất yếu, dù có quy mô, tải trọng vừa và nhỏ, nếu không có giải pháp gia cố, xử lý nền thích hợp, công trình sẽ bị hư hỏng, thậm chí bị phá hủy do mất ổn định về cường độ và biến dạng (Nguyễn Tráp, Nguyễn Anh Dũng, 1985).

Hiện nay, có khá nhiều các phương pháp xử lý, gia cố nền đất yếu được ứng dụng ở nước ta như các phương pháp cọc cát, giếng cát, bắc thắm,

cọc đất-xi măng, cọc đất-vôi...và đã mang lại hiệu quả tích cực, đáp ứng được yêu cầu của thực tiễn xây dựng công trình (Bergado, 1994). Tuy nhiên, mỗi phương pháp đều có những ưu điểm, nhược điểm nhất định. Phương pháp cọc cát có ưu điểm cơ bản là sau khi thi công, tác dụng nén chặt cơ học được phát huy và có thể xây dựng công trình ngay. Thế nhưng, đối với những khu vực có mực nước ngầm dao động mạnh, cọc cát dễ bị gãy, cắt, các hạt cát ở đáy cọc có thể di cư đi nơi khác làm cho chân cọc bị rỗng, dẫn đến sức chịu tải của cọc và nền giảm đi đáng kể theo thời gian, gây mất ổn định công trình. Phương pháp giếng cát, bắc thắm có ưu điểm là tăng nhanh quá trình cố kết thoát nước của đất nền nhưng nhược điểm là thời gian chờ đất nền thoát nước quá lâu, công trình chậm được thi công dẫn đến hiệu quả đầu tư không cao. Phương pháp cọc đất-xi măng có ưu điểm là gia tăng được cường độ chịu tải của cọc theo ý muốn, có thể tiến hành xây dựng công trình ngay sau khi

\*Tác giả liên hệ

E-mail: [taducthinh@humg.edu.vn](mailto:taducthinh@humg.edu.vn)

kết thúc quá trình thi công cọc. Tuy nhiên, phương pháp này có nhược điểm là không làm tăng sức chịu tải của đất nền ở xung quanh cọc và trong trường hợp dưới mũi cọc phân bố các lớp đất yếu thì hiệu quả xử lý, gia cố nền không cao (Tạ Đức Thịnh, 2002).

Để khắc phục những nhược điểm và phát huy ưu điểm của các phương pháp trên, chúng tôi đã đề xuất phương pháp xử lý, gia cố nền đất yếu bằng cọc cát - xi măng - vôi. Đây là phương pháp mới, phát huy được những ưu điểm và khắc phục được nhược điểm của các phương pháp cọc cát, cọc đất - xi măng và cọc đất - vôi, đồng thời tận dụng được nguồn vật liệu tại chỗ, phù hợp với điều kiện Việt Nam, mang lại hiệu quả kinh tế - kỹ thuật cao. Mặc dù vậy, cho đến nay, phương pháp này vẫn chưa được ứng dụng rộng rãi, một phần là do chưa xây dựng được cơ sở lý thuyết và thực nghiệm vững chắc, công nghệ thi công chưa hiện đại, và phần quan trọng hơn, đó là, chưa được cơ quan có thẩm quyền cho phép triển khai. Để tiếp tục hoàn thiện cơ sở lý thuyết và thực nghiệm, chúng tôi đã áp dụng phương pháp này để xử lý, gia cố nền đất yếu tại một số công trình có quy mô, tải trọng vừa và nhỏ ở Quảng Ninh, Thanh Hóa, đặc biệt là ở Trường Trung học Phổ thông Tây Thái Thụy, Thái Bình, bước đầu mang lại kết quả khá rõ rệt cả về kỹ thuật và kinh tế (Trần Đình Kiên, 2016).

## 2. Cơ sở lý thuyết phương pháp gia cố nền đất yếu bằng cọc cát-xi măng-vôi

Như trên đã nói, phương pháp gia cố nền đất yếu bằng cọc cát-xi măng-vôi là phương pháp kết hợp các phương pháp cọc cát, cọc đất-xi măng và cọc đất-vôi. Bản chất của phương pháp là dùng thiết bị chuyên dụng đưa một lượng vật liệu hỗn hợp bao gồm cát, xi măng, vôi vào nền đất để tạo ra một cọc hỗn hợp cát-xi măng-vôi có cường độ nhất định nhằm tăng sức chịu tải của nền, giảm độ lún công trình.

Cơ sở phương pháp luận của phương pháp cọc cát-xi măng-vôi xử lý nền đất yếu là cơ sở lý thuyết và thực nghiệm làm sáng tỏ quá trình nén chặt cơ học, quá trình cố kết thắm, quá trình gia tăng cường độ của cọc và sức kháng cắt của đất nền, việc tính toán sức chịu tải và độ lún của nền sau gia cố, cụ thể như sau:

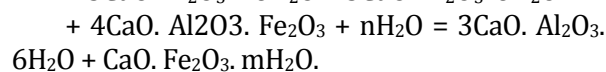
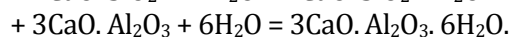
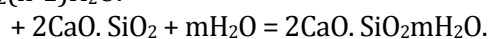
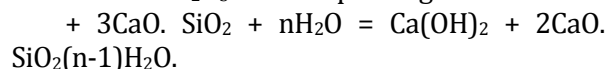
### 2.1. Quá trình nén chặt cơ học

Phương pháp cọc cát-xi măng-vôi giống như phương pháp cọc cát, chỉ khác là vật liệu làm cọc không phải là cát mà là hỗn hợp cát, xi măng và vôi. Lượng hỗn hợp cát, xi măng và vôi được đưa vào nền sẽ chiếm chỗ lỗ rỗng của đất nền, làm cho tổng thể tích lỗ rỗng của nền giảm đi, các hạt đất sắp xếp lại, kết quả là đất nền được nén chặt, sức kháng cắt tăng lên, hệ số nén lún giảm đi. Quá trình này có thể được mô tả như sau:

Nếu xét một khối đất có thể tích ban đầu là  $V_0$ , thể tích hạt rắn là  $V_{ho}$ , thể tích lỗ rỗng ban đầu là  $V_{ro}$ , ta có:  $V_0 = V_{ho} + V_{ro}$ . Sau khi gia cố, thể tích khối đất là  $V$ , thể tích hạt rắn là  $V_h$ , thể tích lỗ rỗng là  $V_r$ , ta có:  $V = V_h + V_r$ . Như vậy, sự thay đổi thể tích khối đất trước và sau khi gia cố là  $\Delta V = V_0 - V = (V_{ho} + V_{ro}) - (V_h + V_r) = V_{ho} + V_{ro} - V_h - V_r$ . Do hạt rắn không biến dạng nên thể tích hạt rắn trước và sau khi gia cố không đổi ( $V_{ho} = V_h$ ), vì vậy,  $\Delta V = V_{ro} - V_r = \Delta V_r$ , hay là  $\Delta V = \Delta V_r$ . Biểu thức này cho thấy bản chất của quá trình nén chặt cơ học, nghĩa là, sự thay đổi thể tích khối đất khi gia cố chính là sự thay đổi thể tích lỗ rỗng trong khối đất.

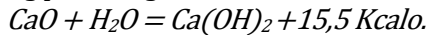
### 2.2. Quá trình cố kết thắm

Ngoài tác dụng nén chặt cơ học, phương pháp cọc cát-xi măng-vôi còn có tác dụng làm tăng nhanh quá trình cố kết thoát nước của đất nền. Sở dĩ như vậy là vì, hỗn hợp cát-xi măng-vôi được trộn khô, khi đưa vào nền sẽ hút nước ở trong nền để tạo ra vữa xi măng-vôi và sau đó được đông cứng biến thành đá xi măng. Quá trình này xảy ra ngay sau khi bắt đầu gia cố và chia thành hai thời kỳ: thời kỳ ninh kết và thời kỳ rắn chắc. Trong thời kỳ ninh kết, vữa xi măng mất dần tính dẻo và đặc dần lại nhưng chưa có cường độ. Trong thời kỳ rắn chắc, chủ yếu xảy ra quá trình thủy hóa các thành phần khoáng vật của clinke, gồm silicat tricalcit  $3CaO \cdot SiO_2$ , silicat bicalcit  $2CaO \cdot SiO_2$ , aluminat tricalcit  $3CaO \cdot Al_2O_3$ , feroaluminat tetracalcit  $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$  theo các phương trình sau:



Các sản phẩm hình thành sau quá trình thủy hóa ( $Ca(OH)_2$ ,  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ ) sẽ trải qua 3 giai đoạn hòa tan, hóa keo và kết tinh, làm tổn thất một lượng nước lớn trong lỗ rỗng của đất. Ngoài ra,

quá trình thủy hóa vôi kèm theo sự tỏa nhiệt làm tăng nhanh quá trình cố kết của đất nền, được biểu diễn bằng phản ứng sau:



Mặt khác, nếu sử dụng cát hạt thô trộn với xi măng và vôi theo tỷ lệ thích hợp thì sau khi đông cứng, cọc cát-xi măng-vôi sẽ có cấu trúc dạng "tổ ong", vẫn có thể tiếp tục cho nước thấm qua và làm việc tương tự như một giếng thu nước thẳng đứng. Dưới tác dụng của tải trọng công trình, cùng với thời gian, ứng suất hữu hiệu tăng lên, ứng suất trung tính giảm đi, nước trong lỗ rỗng của đất sẽ thấm vào cọc theo phương ngang rồi thoát lên trên mặt đất theo chiều dài cọc. Quá trình này có thể được biểu diễn bằng phương trình  $\sigma_z = \sigma + U$ , trong đó,  $\sigma_z$  là ứng suất tổng,  $\sigma$  là ứng suất hữu hiệu,  $U$  là ứng suất trung tính (Tạ Đức Thịnh, 2002).

### 2.3. Quá trình gia tăng cường độ của cọc và sức kháng cắt của đất nền xung quanh cọc

Về bản chất, cọc cát-xi măng-vôi khác cọc đất-xi măng ở chỗ, vật liệu tạo nên cọc cát-xi măng-vôi bao gồm hỗn hợp cát, xi măng và vôi, còn vật liệu tạo nên cọc đất-xi măng chỉ bao gồm đất và xi măng. Như vậy, khi trộn cát với xi măng và vôi, hỗn hợp này hút nước tạo ra vữa cát-xi măng-vôi và đông cứng lại, sức kháng cắt của hỗn hợp tăng lên đáng kể nhờ gia tăng thành phần lực dính do xi măng và vôi tạo ra. Quá trình này có thể giải thích như sau:

Khi chưa có xi măng và vôi, sức kháng cắt của cát là  $\tau = \sigma \tan \varphi$ , với  $\varphi$  là góc ma sát trong của cát. Sau khi trộn xi măng và vôi vào cát, hỗn hợp cát-xi măng-vôi hút nước tạo thành vữa cát-xi măng-vôi và đông cứng, sức kháng cắt lúc này có thêm thành phần lực dính do xi măng và vôi tạo ra, khi đó  $\tau = \sigma \tan \varphi + C_{xm}$ , với  $C_{xm}$  là lực dính được tạo bởi liên kết xi măng-vôi.

Ngoài ra, cọc cát-xi măng-vôi còn tạo ra quá trình trao đổi ion và phản ứng puzolan xảy ra ở mặt tiếp xúc giữa cọc cát-xi măng-vôi và đất nền. Các ion canxi hóa trị hai thay thế các ion natri và hydro hóa trị một ở trong lớp điện kép bao quanh mỗi hạt khoáng vật sét của đất. Vì cần ít hơn canxi hóa trị hai để trung hòa lưới điện âm trên bề mặt của mỗi khoáng vật sét nên giảm được kích thước của lớp điện kép và do đó làm tăng lực hút của các hạt sét, dẫn đến lực dính của đất tăng lên. Mặt khác, silic và nhôm trong khoáng vật sét sẽ phản

ứng với silicat canxi và hydrat nhôm canxi trong phản ứng puzolan, tạo ra các hợp chất có độ bền cao trong môi trường nước. Những quá trình này làm tăng lực ma sát và lực dính của đất xung quanh cọc gia cố, dẫn đến gia tăng cường độ của đất nền (Tạ Đức Thịnh, 2002)..

### 2.4. Vấn đề tính toán sức chịu tải của nền và độ lún của công trình

Việc tính toán sức chịu tải của nền và độ lún của công trình sau khi gia cố sao cho chính xác và đảm bảo độ tin cậy là một trong những vấn đề hết sức quan trọng khi thiết kế xử lý nền đất yếu bằng cọc cát-xi măng-vôi. Do đây là phương pháp mới nên việc tính toán sức chịu tải và độ lún của nền gia cố bằng cọc cát-xi măng-vôi còn có nhiều ý kiến khác nhau. Một số nhà khoa học đề nghị tính toán sức chịu tải của cọc và độ lún của công trình theo các phương pháp hiện hành giống như phương pháp tính toán nền gia cố bằng cọc đất-xi măng mà Bengt Bromé, Bergado và nhiều người khác đề xuất (Bergado et al., 1994). Tuy nhiên, phương pháp tính sức chịu tải và độ lún hiện hành đối với nền gia cố bằng cọc đất-xi măng có những hạn chế, nhất là khi dưới mũi cọc phân bố các lớp đất yếu (Tạ Đức Thịnh, 2017). Theo quan điểm địa chất công trình, tất cả các phương pháp gia cố, xử lý nền đất yếu đều là các phương pháp cải tạo tính chất cơ lý của đất nền, làm cho nền đất sau khi gia cố có tính năng xây dựng tốt lên, nâng cao sức chịu tải, giảm độ lún của công trình. Vì vậy, chúng tôi cho rằng, có thể coi nền đất yếu sau khi gia cố bằng cọc cát-xi măng-vôi là một nền đất mới, có thành phần, trạng thái và tính chất cơ lý mới. Khi đó, hoàn toàn có thể tính toán sức chịu tải của nền và độ lún của công trình theo cách tính thông thường theo lý thuyết đàn hồi và nền biến dạng tuyến tính. Vấn đề là cần xác định hàm lượng cát, xi măng, vôi thích hợp sao cho cường độ của cọc cát-xi măng-vôi không có sự khác biệt quá lớn so với cường độ đất nền xung quanh cọc để có thể coi nền đất mới là nền biến dạng tuyến tính, đồng nhất và đẳng hướng. Tuy nhiên, khi tính toán độ lún của nền công trình sau gia cố, có một số ý kiến đặt vấn đề: lượng vật liệu cát, xi măng, vôi đưa vào nền có được coi là tải trọng gây lún hay không? Đây là vấn đề phức tạp, hiện còn nhiều tranh luận. Chúng tôi cho rằng, cần phân biệt hai trường hợp là thi công chậm và thi công nhanh.

Trường hợp thi công chậm là trường hợp sau khi gia cố nền một thời gian mới bắt đầu thi công xây dựng công trình. Trong trường hợp này, hoàn toàn có thể coi nền gia cố là một nền tự nhiên mới, bởi vì, lượng cát, xi măng, vôi đưa vào nền đã phát huy hết tác dụng (nén chặt cơ học, cố kết thắm, gia tăng cường độ cọc và đất nền xung quanh cọc), làm thay đổi trạng thái ứng suất bản thân của đất nền. Khi đó, nền đất yếu đã gia cố trở thành một nền đất mới, có thành phần, trạng thái và tính chất cơ lý mới và việc tính toán sức chịu tải và biến dạng hoàn toàn như đối với nền tự nhiên. Nghĩa là, lượng cát, xi măng, vôi đưa vào nền không thể coi là tải trọng ngoài gây lún. Trường hợp thi công nhanh, tức là ngay sau khi hoàn thành việc gia cố nền thì tiến hành xây dựng công trình ngay. Trong trường hợp này, rõ ràng, lượng cát, xi măng, vôi đưa vào nền chỉ mới phát huy hết tác dụng nén chặt cơ học, còn tác dụng cố kết thoát nước và gia tăng cường độ cọc và đất nền xung quanh cọc phải sau một thời gian mới phát huy hết. Như vậy, mới chỉ có một phần cát, xi măng, vôi được xem là tải trọng ngoài gây ra biến dạng nền, phần còn lại, theo thời gian sẽ tiếp tục phát huy tác dụng cố kết, gia tăng cường độ cọc và đất nền xung quanh cọc. Nghĩa là, chỉ một phần cát, xi măng, vôi có thể xem là tải trọng ngoài gây lún công trình. Tuy nhiên, việc xác định bao nhiêu % lượng cát, xi măng, vôi đưa vào nền đóng vai trò như tải trọng ngoài gây lún ngay lập tức và bao nhiêu % lượng cát, xi măng, vôi đưa vào nền gây tác dụng biến dạng nền theo thời gian là vấn đề rất phức tạp, cần có nhiều nghiên cứu về lý thuyết và thực nghiệm để làm sáng tỏ. Chúng tôi đề xuất có thể lấy một giá trị bằng 50 % khối lượng cát, xi măng, vôi đưa vào nền bổ sung vào giá trị áp lực gây lún để

tính toán độ lún công trình.

### 3. Tính toán thiết kế xử lý nền đất yếu Trường Trung học Phổ thông Tây Thái Thụy

#### 3.1. Đặc điểm cấu trúc nền

Trường Trung học Phổ thông Tây Thái Thụy, Thái Bình được xây dựng tại xã Thụy Anh, huyện Thái Thụy, tỉnh Thái Bình, có quy mô 3 tầng với 21 phòng học, 2 cầu thang và 3 khu vệ sinh khép kín. Chiều dài công trình 82,4 m, chiều rộng 11,0 m, chiều cao 10,8 m, diện tích sử dụng 2006 m<sup>2</sup>.

Cấu trúc nền khu vực xây dựng đến độ sâu 30 m gồm 4 lớp đất (Công ty tư vấn quy hoạch khảo sát thiết kế xây dựng Thái Bình, 1999), theo thứ tự từ trên xuống dưới như sau:

Lớp 1: Đất lấp, thành phần là sét pha lẫn gạch vỡ, chiều dày 0,6 - 1,0 m

Lớp 2: Bùn sét pha lẫn thấu kính cát bụi màu xám tro, có nhiều tạp chất hữu cơ, chiều dày 7,0 - 8,0 m

Lớp 3: Bùn sét lẫn bùn sét pha, chiều dày trung bình 12,0 m

Lớp 4: Sét pha dẻo mềm-dẻo chảy, chiều dày lớn hơn 10,5 m.

Giá trị trung bình một số chỉ tiêu cơ lý của các lớp đất nền được trình bày trong Bảng 1.

Với cấu trúc nền như trên, các kỹ sư tư vấn thiết kế đều đưa ra giải pháp móng cọc bê tông cốt thép, kích thước 20 x 20 cm, chiều dài cọc 25 m, tựa vào lớp sét trạng thái dẻo mềm 4. Tuy nhiên, việc sử dụng giải pháp móng cọc bê tông cốt thép sẽ làm tăng giá thành công trình nên sau khi phân tích, tính toán các yếu tố kỹ thuật - kinh tế, chúng tôi kiến nghị giải pháp móng băng trên nền gia cố bằng cọc cát-xi măng-vôi.

Bảng 1. Giá trị trung bình một số chỉ tiêu cơ lý của các lớp đất nền.

Chỉ tiêu	Đơn vị	Lớp 1	Lớp 2	Lớp 3
Khối lượng thể tích	g/cm <sup>3</sup>	1,67	1,65	1,72
Hệ số rỗng		1,387	1,315	1,006
Độ ẩm	%	47,18	46,25	45,3
Độ sệt		1,351	1,274	0,75
Góc ma sát trong	độ	6o35'	6o12'	10o12'
Lực dính	kG/cm <sup>2</sup>	0,05	0,07	0,18
Hệ số nén lún	cm <sup>2</sup> /kG	0,101	0,107	0,054
Môđun tổng biến dạng	kG/cm <sup>2</sup>	22,0	21,0	59,0

### 3.2. Xác định hàm lượng xi măng, vôi thích hợp trong hỗn hợp tạo cọc

Việc xác định hàm lượng xi măng, vôi thích hợp có ý nghĩa rất quan trọng, vừa tiết kiệm về kinh tế lại vừa tạo ra một nền đất có thể coi là nền đồng nhất, đẳng hướng để áp dụng các phương pháp tính toán theo lý thuyết đàn hồi và nền biến dạng tuyến tính.

Để xác định hàm lượng xi măng, vôi thích hợp trong hỗn hợp tạo cọc, chúng tôi đã tiến hành chế tạo các mẫu chế bị với vật liệu là cát hạt trung, xi măng Pooclăng P300 Hoàng Thạch và vôi bột nghiền từ vôi cục khô. Hàm lượng xi măng và vôi được tính theo % khối lượng cát khô, lần lượt là, xi măng: 5,0; 7,5; 10; 12,5 và 15 %, vôi: 5,0; 7,0; 9,0 và 11 %. Cát, xi măng, vôi được trộn khô với nhau ở trong chậu và cho thêm nước từ từ bằng bình phun. Mẫu được đúc bằng ống nhựa có đường kính trong 86 mm, chiều cao 172 mm. Khi đúc mẫu, chỉ cho nước thấm ướt mẫu sao cho không bị chảy nước xi măng ra xung quanh và không thấm xuống phía dưới ống nhựa. Sau khi đúc mẫu xong, để mẫu trong phòng, hàng ngày phun nước bảo dưỡng lên bề mặt và sau khi bảo dưỡng 28 ngày, mẫu được mang đi thí nghiệm thấm và nén một trục. Tổng số mẫu thí nghiệm là 25. Kết quả thí nghiệm được trình bày trong Bảng 2 và Bảng 3.

Từ kết quả thí nghiệm mẫu chế bị có thể rút ra một số nhận xét sau:

- Hệ số thấm của cát hạt trung khi chưa có xi măng và vôi là 26,45 m/ngđ,
- Hệ số thấm của mẫu chế bị giảm dần khi hàm lượng xi măng và vôi tăng,
- Khi hàm lượng xi măng tăng > 10%, hệ số thấm của mẫu chế bị giảm rất mạnh,
- Hàm lượng xi măng thích hợp trong hỗn hợp cát-xi măng-vôi nên lấy < 10%, hàm lượng vôi nên lấy nhỏ hơn hoặc bằng 9% vì khi đó hệ số thấm của cọc  $K > 2$  m/ngđ có thể cho nước thấm qua.
- Cường độ kháng nén của cọc tỷ lệ thuận với hàm lượng xi măng và vôi. Tuy nhiên, do sau khi gia cố nền, môđun tổng biến dạng của cọc và đất xung quanh cọc cần có giá trị khác nhau không lớn để áp dụng lý thuyết đàn hồi trong tính toán sức chịu tải của nền và độ lún của công trình nên hàm lượng xi măng và vôi trong hỗn hợp tạo cọc nên lấy nhỏ hơn hoặc bằng 10%.

Trên cơ sở thí nghiệm và phân tích kỹ hiệu quả kinh tế - kỹ thuật, chúng tôi kiến nghị lựa chọn hàm lượng xi măng 7,5%, hàm lượng vôi 7%. Khi đó, cọc cát-xi măng-vôi sẽ có hệ số thấm  $K = 16,09$  m/ngđ, cường độ kháng nén  $\sigma_n = 9,2$  kG/cm<sup>2</sup> sẽ dễ dàng cho nước thấm qua và có thể áp dụng các phương pháp hiện hành để tính sức chịu tải và độ lún của công trình.

Bảng 2. Giá trị trung bình hệ số thấm K của các mẫu chế bị (m/ngđ).

Số TT	Hàm lượng xi măng (%)	Hàm lượng vôi (%) (tỷ lệ % tính theo khối lượng cát khô)				
		0,0	5,0	7,0	9,0	11,0
1	0,0	26,45				
2	5,0	22,85	21,82	20,46	18,77	17,12
3	7,5	18,49	17,27	16,09	14,78	13,56
4	10,0	3,66	3,14	2,67	2,06	1,64
5	12,5	1,17	1,00	0,80	0,61	0,38
6	15,0	0,80	0,70	0,47	0,33	0,23

Bảng 3. Giá trị trung bình cường độ chịu nén một trục của các mẫu chế bị (kG/cm<sup>2</sup>).

Số TT	Hàm lượng xi măng (%)	Hàm lượng vôi (%) (tỷ lệ % tính theo khối lượng cát khô)				
		0,0	5,0	7,0	9,0	11,0
1	5,0	1,6	2,3	3,5	4,8	6,6
2	7,5	5,5	7,2	9,2	11,8	15,0
3	10,0	21,2	22,7	24,2	25,7	27,6
4	12,5	49,8	49,8	50,1	50,5	50,7
5	15,0	60,4	60,4	60,6	60,5	60,6

### 3.3. Thiết kế cọc cát-xi măng-vôi

#### 3.3.1. Diện tích cần gia cố

Diện tích cần gia cố ở đáy móng được tính theo công thức (Nguyễn Tráp, Nguyễn Anh Dũng, 1985):

$$F_{gc} = 1,4b(a+0,4b)$$

Trong đó:  $F_{gc}$ : Diện tích đáy móng cần gia cố;  
 $a$ ,  $b$ : Chiều dài và chiều rộng đáy móng.

#### 3.3.2. Chiều sâu gia cố

Chiều sâu gia cố cũng chính là chiều dài cọc, phụ thuộc vào cấu trúc nền đất yếu và chiều sâu ảnh hưởng nén ép của công trình. Nếu lớp đất yếu phân bố ngay trên mặt đất và dưới nó là lớp đất tốt thì cần gia cố hết chiều dày lớp đất yếu. Tuy nhiên, tốt hơn cả là gia cố đến ranh giới vùng hoạt động nén ép của công trình, thông thường được xác định tại độ sâu mà ở đó thỏa mãn một trong các điều kiện sau đây (Tạ Đức Thịnh, Nguyễn Huy Phương, 2002):

- Ứng suất nén ép do tải trọng công trình gây ra nhỏ hơn hoặc bằng 0,1 ứng suất bản thân của đất tại điểm đó;
- Ứng suất nén ép do tải trọng công trình gây ra bằng áp lực bắt đầu cố kết thẫm;
- Ứng suất nén ép do tải trọng công trình gây ra bằng độ bền kết cấu của đất;
- Ứng suất nén ép do tải trọng công trình gây ra nhỏ hơn 0,2 kG/cm<sup>2</sup> (20 Pa).

Kết quả tính toán cho thấy, tại độ sâu 7,5 m, ứng suất nén ép do tải trọng công trình gây ra nhỏ hơn hoặc bằng 0,1 ứng suất bản thân của đất. Vì vậy, chọn chiều dài cọc gia cố bằng 7,5 m.

#### 3.3.3. Đường kính và khoảng cách giữa các cọc

Căn cứ vào quy mô, tải trọng công trình, chiều dài cọc và tính năng của thiết bị chế tạo cọc, lựa chọn đường kính cọc bằng 30 cm.

Khoảng cách giữa các cọc được tính toán phụ thuộc vào mạng lưới bố trí cọc. Kiến nghị mạng lưới bố trí cọc là mạng ô vuông, khoảng cách giữa các cọc là 1,0 m.

#### 3.3.4. Thiết bị thi công

Có thể dùng các thiết bị chuyên dụng như máy LPS-3 của hãng Linden Alimak - Thụy Điển hoặc dùng búa rung tạo chấn động đưa ống thép xuống nền đất rồi nhồi vật liệu cọc. Tuy nhiên, dùng các máy chuyên dụng thì đòi hỏi mặt bằng thi công

rộng, còn dùng búa rung thì ảnh hưởng đến công trình xung quanh. Vì vậy chúng tôi sử dụng thiết bị thi công là máy khoan UGB-50M của Liên bang Nga. Đây là loại máy khoan đa năng có công suất 150 mã lực, có thể khoan bằng guồng xoắn với chiều quay xuôi, ngược với mômen xoắn rất lớn. Nguyên lý làm việc của thiết bị là dùng hệ thống thủy lực của máy và trọng lượng của thiết bị làm đối trọng trong suốt quá trình ép đất ra xung quanh và nhồi vật liệu cọc.

### 3.4. Kết quả xử lý nền đất yếu

Sau khi hoàn thành việc gia cố, xử lý nền đất yếu, chúng tôi đã tiến hành khoan 3 hố khoan trực tiếp vào 3 thân cọc, lấy 6 mẫu (mỗi cọc lấy 1 mẫu ở các độ sâu khác nhau), khoan 3 hố khoan và lấy 6 mẫu đất xung quanh cọc để thí nghiệm ở trong phòng, đồng thời tiến hành 3 thí nghiệm xuyên tĩnh, 3 thí nghiệm nén tĩnh nền để kiểm tra, đánh giá hiệu quả gia cố nền.

Thí nghiệm nén tĩnh nền phải đảm bảo nén đồng thời 4 cọc và vùng đất xung quanh cọc. Kết quả thí nghiệm trong phòng và hiện trường cho thấy, tính chất cơ lý của đất nền sau gia cố đã được cải thiện đáng kể, hiệu quả nén chặt đất thể hiện rõ rệt qua giá trị hệ số rỗng giảm, khối lượng thể tích tự nhiên tăng; tác dụng của quá trình cố kết thoát nước được thể hiện thông qua giá trị độ ẩm giảm, độ sệt giảm; tác dụng gia tăng cường độ của đất nền được thể hiện thông qua các giá trị góc ma sát trong, lực dính và môđun tổng biến dạng đều tăng, hệ số nén lún giảm (Bảng 4).

Sử dụng các giá trị chỉ tiêu cơ lý của đất nền sau gia cố để tính sức chịu tải và độ lún công trình theo các công thức của lý thuyết đàn hồi và nền biến dạng tuyến tính xác định được giá trị sức chịu tải của nền và độ lún công trình hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu, nghĩa là sức chịu tải của đất nền sau gia cố lớn hơn áp lực công trình truyền dưới đáy móng, độ lún của công trình nhỏ hơn độ lún giới hạn cho phép.

### 4. Kết luận và kiến nghị

Từ những kết quả nghiên cứu đã trình bày ở trên có thể rút ra kết luận và kiến nghị sau:

- Phương pháp gia cố, xử lý nền đất yếu bằng cọc cát-xi măng-vôi là phương pháp mới với cơ sở phương pháp luận là các quá trình làm gia tăng sức chịu tải của nền, giảm độ lún công trình, gồm:

Bảng 4. Giá trị các chỉ tiêu cơ lý của lớp đất 2 trước và sau gia cố nền.

Chỉ tiêu	Đơn vị	Giá trị trước gia cố nền	Giá trị sau gia cố nền	Đánh giá
Khối lượng thể tích	g/cm <sup>3</sup>	1,67	1,78	tăng 6,6%
Hệ số rỗng		1,387	1,131	giảm 18,5%
Độ ẩm	%	47,18	41,05	giảm 13%
Độ sệt		1,351	1,232	giảm 10%
Góc ma sát trong	độ	6°35'	9°39'	tăng 68%
Lực dính	kG/cm <sup>2</sup>	0,05	0,113	tăng 126%
Hệ số nén lún	cm <sup>2</sup> /kG	0,101	0,045	giảm 55%
Môđun tổng biến dạng	kG/cm <sup>2</sup>	22,0	83	tăng 277%
Độ bền nén cọc	kG/cm <sup>2</sup>	24 (lý thuyết)	18 (thực tế)	

quá trình nén chặt cơ học, quá trình cố kết thắm và quá trình gia tăng cường độ của vật liệu cọc và đất nền xung quanh cọc. Nền đất yếu sau khi gia cố có thể coi là nền đất mới, có thành phần, trạng thái, tính chất cơ lý mới và có thể sử dụng lý thuyết đàn hồi, lý thuyết nền biến dạng tuyến tính để tính sức chịu tải của nền và độ lún của công trình.

- Hàm lượng xi măng, vôi thích hợp trong hỗn hợp vật liệu tạo cọc kiến nghị lấy xi măng bằng 7,5 đến 10 %, vôi bằng 7 đến 9 % (so với khối lượng cát khô hạt trung đến thô). Đường kính cọc cát-xi măng-vôi có thể lấy bằng 30 đến 60 cm, chiều dài cọc nền lấy bằng chiều sâu vùng hoạt động nén ép dưới đáy móng công trình.

- Kết quả xử lý nền đất yếu tại Trường Trung học Phổ thông Tây Thái Thụy, Thái Bình bằng phương pháp cọc cát-xi măng-vôi cho thấy, sau khi gia cố, sức kháng cắt của đất nền gia tăng đáng kể (lực dính tăng 126 %, góc ma sát trong tăng 68%), độ lún công trình giảm mạnh (hệ số nén lún giảm 55%).

- Hiện nay, vôi bột càng ngày càng ít được sử dụng nên để phù hợp với thực tiễn có thể chỉ sử dụng cát và xi măng trong hỗn hợp tạo cọc. Tuy nhiên, nguồn vật liệu cát hạt trung và hạt thô đang ngày càng khan hiếm dần nên cần tiếp tục nghiên cứu để sử dụng cát hạt nhỏ, hạt mịn thay thế.

### Tài liệu tham khảo

Công ty CP Tư vấn Quy hoạch Khảo sát Thiết kế

Xây dựng Thái Bình, 1999. Báo cáo kết quả khảo sát địa chất công trình Trường Trung học phổ thông Tây Thái Thụy, Thái Bình. Hiệp hội Tư vấn Xây dựng Việt Nam - VECAS.

Bergado, D. T., Chai, J. C., Alfaro, M. C., Balasubramaniam, A. S., 1994. Những biện pháp kỹ thuật mới cải tạo đất yếu trong xây dựng, Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội.

Nguyễn Tráp, Nguyễn Anh Dũng, 1985. Báo cáo tổng kết Chương trình ứng dụng tiến bộ khoa học kỹ thuật 26-03-03-07. Viện Khoa học Kỹ thuật Xây dựng, Hà Nội.

Tạ Đức Thịnh, 2017. Bàn về phương pháp tính toán sức chịu tải và độ lún của nền đất yếu gia cố bằng cọc đất-xi măng. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ-Địa chất, số 58 - Kỳ 5, tháng 10-2017.

Tạ Đức Thịnh, 2002. Nghiên cứu xử lý, gia cố nền đất yếu bằng cọc cát-xi măng-vôi. Báo cáo tổng kết đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ, Hà Nội.

Tạ Đức Thịnh, Nguyễn Huy Phương, 2002. Cơ học đất. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.

Trần Đình Kiên, 2016. Nghiên cứu, đánh giá tổng hợp điều kiện địa chất công trình vùng ven biển Bắc Bộ phục vụ quy hoạch phát triển kinh tế - xã hội, an ninh - quốc phòng, ứng phó với biến đổi khí hậu và mực nước biển dâng. Báo cáo tổng kết đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ, Mã số CTB-2012-02.