

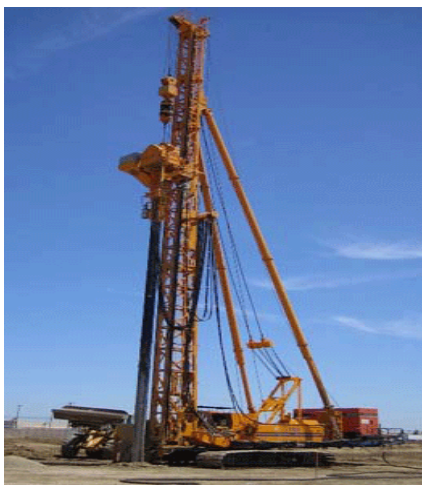
Cải tạo nền đất sét yếu theo phương pháp cọc cát đầm

Kỹ sư Lương Phương Hợp
Tổng Cty TVTK GTVT (TEDI)

Tóm tắt: Phương pháp cọc cát đầm (*The Sand Compaction Pile Method – SCP*) trong kỹ thuật cải tạo nền đất yếu được xếp vào nhóm các phương pháp làm tăng độ chặt nền đất. SCP đã có lịch sử phát triển khá lâu, được áp dụng rộng rãi ở nhiều nước trên thế giới. Ở Việt Nam, SCP cũng đã được áp dụng để cải tạo nền đất yếu trong một số công trình xây dựng dân dụng, công nghiệp, giao thông nhưng quy mô và phạm vi còn rất hạn chế. Trong những năm gần đây, SCP đã được áp dụng để cải tạo nền đất yếu cho một số hạng mục công trình trong khuôn khổ các dự án xây dựng Đại lộ Thăng Long, dự án xây dựng đường ô tô cao tốc Hà Nội - Hải Phòng,... Khó khăn nhất hiện nay đối với các kỹ sư thiết kế là Việt Nam vẫn chưa có tiêu chuẩn kỹ thuật cho công tác khảo sát, thiết kế, thi công và nghiệm thu đối với loại hình công nghệ này. Bài viết này xin trân trọng giới thiệu một số nội dung xem xét, tính toán chủ yếu cần thực hiện khi thiết kế cải tạo nền đất sét yếu theo phương pháp cọc cát đầm.

1. Khái lược về phương pháp cọc cát đầm

Cải tạo nền đất yếu theo phương pháp cọc cát đầm (*The Sand Compaction Pile Method – SCP*) thực chất là tạo ra một hệ thống các cọc bằng cát được đầm chặt trực tiếp trong nền đất yếu để tăng khả năng chịu tải, tăng khả năng kháng lún và tăng khả năng ổn định dưới móng công trình xây dựng. Trong công nghệ cải tạo nền đất yếu, SCP được xếp vào loại phương pháp tăng độ chặt của nền đất bằng biện pháp cơ học (thoát nước và đầm nén cơ học). Nhờ những tiến bộ trong chế tạo thiết bị thi công cọc cát đầm chuyên dụng, SCP đã được áp dụng ngày một rộng rãi ở nhiều nước trên thế giới trong cải tạo nền đất sét yếu, nền đất lẫn hữu cơ, nền đất cát mịn xốp và đã được áp dụng thành công cho cả nền đất yếu trên cạn cũng như nền đất yếu ngập dưới nước (*Hình 1.a & Hình 1.b*). Phương pháp SCP thường được áp dụng để cải tạo nền đất dưới móng các công trình có kết cấu kiểu trọng lực như bồn bể chứa, đê chắn sóng, hầm đường bộ, nền đường v.v...



Hình 1.a: Thiết bị thi công SCP trên cạn



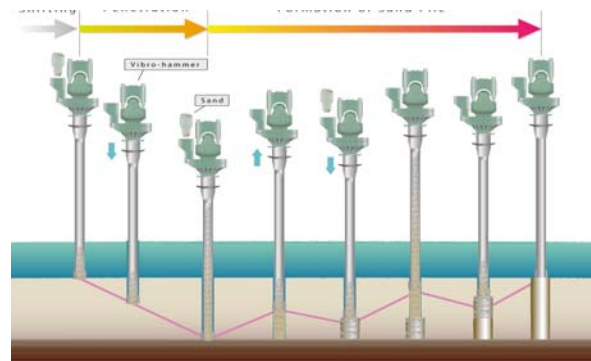
Hình 1.b: Thiết bị thi công SCP dưới nước

Hệ thống cọc cát đầm chặt trực tiếp vào nền đất có tác dụng làm giảm độ rỗng, giảm độ ẩm đất nền qua đó làm tăng trọng lượng thể tích, mô đun biến dạng, lực dính và tăng góc

nội ma sát cho khối đất nền. Khả năng chịu tải của nền đất yếu sau khi cải tạo theo phương pháp SCP phụ thuộc chủ yếu vào tỷ lệ chiếm chỗ của cọc cát đầm trong khối đất nền. Dưới tác động của tải trọng truyền xuống từ móng, hệ thống cọc cát đầm và nền đất xung quanh cọc cát có sự tác động tương hỗ khi chịu tải, tính chất làm việc của nền đất sau cải tạo gần với mô hình làm việc của nền tự nhiên. Trong tính toán thiết kế cải tạo nền đất yếu có thể quan niệm nền cải tạo theo phương pháp SCP như một nền tổ hợp.

Trình tự các bước thi công cọc cát đầm như được minh họa trong sơ đồ (Hình 1.c) và có thể tóm tắt một cách ngắn gọn như sau:

- (1). Chuẩn bị mặt bằng, định vị vị trí cọc cát bằng thiết bị khảo sát. Trên cạn có thể áp dụng phương pháp đánh dấu như vẫn thường áp dụng trong phương pháp PVD... Tập kết máy đóng cọc cát và vật liệu cát vào đúng vị trí để thi công;
- (2). Hạ ống vách (thường là ống thép có đường kính từ 0,4 – 0,7m và mũi cọc có cấu tạo để đóng mở tự động khi chịu lực ấn xuống/kéo lên) và theo dõi chiều sâu hạ cho đến khi mũi cọc ống vách đạt đến cao độ theo yêu cầu thiết kế;
- (3). Dừng hạ ống vách khi mũi cọc ống vách đạt đến cao độ thiết kế yêu cầu, mở van giảm áp lực bên trong ống vách rồi tiến hành rót cát qua phễu vào trong ống vách (thường dùng máy nén khí để rót/xả cát);
- (4). Kéo nâng ống vách lên khoảng 2-3m để cát tự tụt vào hố do ống vách tạo ra;
- (5). Đầm chặt cát bằng việc ấn ống vách xuống 1-2m và thực hiện khoảng 3 lần (hoặc dùng búa rung để đầm chặt cát);
- (6). Lặp lại các bước theo trình tự từ (3) đến (5) cho đến khi thi công xong cọc cát;
- (7). Di chuyển thiết bị thi công cọc cát đến vị trí mới.



Hình 1.c: Sơ đồ trình tự thi công cọc cát đầm

Hiện nay, các công trình xây dựng trên nền đất yếu ngày một gia tăng và phương pháp SCP đang được áp dụng một cách rộng rãi vì có nhiều ưu điểm chính như sau:

- Thân thiện với môi trường nhờ sử dụng vật liệu là cát mà không phải thay thế đất nền nguyên thổ;
- Quá trình cố kết của đất nền diễn ra nhanh hơn so với phương pháp PVD, giếng cát;
- Biện pháp thi công tương đối đơn giản, thiết bị thi công không đòi hỏi quá phức tạp, sử dụng vật liệu địa phương sẵn có;
- Chi phí xây dựng hợp lý và khá rẻ khi so sánh với các phương pháp dùng cọc BTCT, cọc gỗ, cọc thép thậm chí là so với phương pháp cọc xi măng đất, cọc đá dăm...

Kinh nghiệm từ thực tiễn, các nhà nghiên cứu Nhật Bản đã chỉ ra rằng: phương pháp cọc cát đầm là một phương pháp có hiệu quả cao để nén chặt các lớp đất nền yếu có chiều

dày lớn như đất cát bụi bão hoà nước, đất yếu có xen kẽ các lớp bùn mỏng, đất sét yếu, đất than bùn.

2. **Tính toán bố trí hệ thống cọc cát đầm**

2.1. **Xác định hệ số rỗng của nền sau khi cải tạo theo phương pháp SCP**

Khi cải tạo nền đất yếu bằng phương pháp SCP đất nền sẽ được nén chặt đến một mức độ nào đó, tuy nhiên không thể nén chặt đất nền đến một độ chặt tùy ý được. Đối với nền đất sét yếu, hệ số rỗng của nền sau khi được nén chặt bởi hệ thống SCP có thể xác định gần đúng dựa vào tính chất cơ lý của đất nền theo biểu thức dưới đây ;

$$e^* = \frac{\Delta}{\gamma_n \cdot 100} (W_1 + 0,5 \cdot \Phi)$$

Trong đó:

- + e^* : Hệ số rỗng của đất nền sau cải tạo theo phương pháp SCP;
- + Δ : Trọng lượng riêng của đất ;
- + W_1 : Độ ẩm của đất ở giới hạn lãn;
- + Φ : Chi số dẻo của đất;
- + γ_n : Trọng lượng thể tích của nước.

Cũng nên lưu ý, khi áp dụng phương pháp SCP mà độ chặt nền sau cải tạo không thể đạt đến giới hạn độ chặt cần thiết (độ chặt đất nền mong muốn) thì người thiết kế cần hiểu rằng giải pháp áp dụng SCP trong trường hợp đó là không hợp lý.

2.2. **Xác định diện tích phạm vi nền đất cần được nén chặt**

- Xác định diện tích nền đất cần được nén chặt dưới đế móng công trình:
Diện tích nền đất yếu cần được nén chặt (A) thường phải lớn hơn diện tích đế móng công trình nhằm đảm bảo nền đất yếu sau cải tạo ổn định dưới tác dụng của tải trọng công trình truyền xuống. Kích thước mặt bằng nền cần cải tạo thường được xác định rộng hơn về mỗi phía bằng khoảng $0,2 \cdot b$ (trong đó b chiều rộng của đế móng công trình).
- Xác định tổng diện tích tiết diện của hệ thống các cọc cát đầm:
Từ kết quả xác định hệ số rỗng e^* của đất nền sau cải tạo theo phương pháp SCP và diện tích nền đất cần được nén chặt (A), tổng diện tích tiết diện ngang hệ thống cọc cát đầm có thể xác định từ biểu thức sau:

$$A_s / A = as = (e_o - e^*) / (1 + e_o)$$

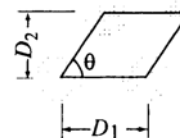
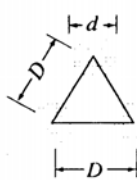
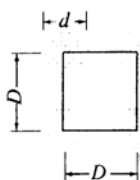
Trong đó:

- + A_s : Tổng diện tích tiết diện của hệ thống cọc cát đầm;
- + as : Tỷ lệ diện tích thay thế của cọc cát trong khối nền đất cần cải tạo;
- + e_o : Hệ số rỗng của đất nền thiên nhiên trước khi cải tạo.

Thực tế xây dựng ở Nhật Bản, tỷ lệ thay thế đối với nền đất sét thường áp dụng với giá trị $as \approx 0,3 - 0,8$ và được chia làm 03 mức độ thay thế “*thấp*”, “*trung bình*”, “*cao*” tương ứng với các giá trị $as < 0,3$; $as = 0,3 \div 0,5$ và $as > 0,5$.

2.3. **Các sơ đồ bố trí nền cọc SCP trên mặt bằng**

Tuỳ theo hình dạng mặt bằng của đế móng công trình, hệ thống SCP có thể bố trí theo dạng lưới hình vuông (Hình 2.a); hình tam giác đều (Hình 2.b) hoặc hình bình hành (Hình 2.c). Các dạng sơ đồ lưới bố trí SCP như trên được coi là sơ đồ hợp lý nhất vì đảm bảo được mức độ nén chặt đất giữa các cọc cát đầm là tốt nhất.



Hình 2.a: Bố trí nền SCP theo lưới ô vuông Hình 2.b: Bố trí nền SCP theo lưới tam giác đều Hình 2.c: Bố trí nền SCP theo lưới hình bình hành

Tương ứng với các sơ đồ bố trí nói trên, tỷ lệ thay thế của SCP trong khối nền đất cải tạo có thể được xác định theo các biểu thức sau đây:

- Với sơ đồ bố trí theo lưới hình vuông:

$$as = A_s / A = (\pi.d^2) / (4.D^2)$$

- Với sơ đồ bố trí theo lưới hình tam giác đều :

$$as = A_s / A = (\sqrt{3}.\pi.d^2) / (8.D^2)$$

- Với sơ đồ bố trí theo lưới hình bình hành :

$$as = A_s / A = (\pi.d^2) / (4.D_1.D_2 \sin \theta)$$

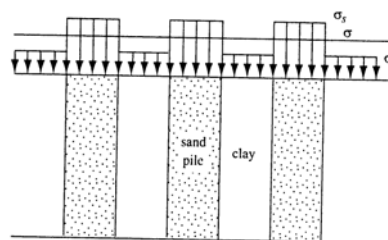
Trong đó:

- + d : Đường kính cọc cát;
- + D : Khoảng cách giữa các cọc cát trong sơ đồ hình vuông, tam giác;
- + D_1, D_2 : Khoảng cách giữa các cọc cát trong sơ đồ hình bình hành;
- + θ : Góc nhọn trong sơ đồ lưới hình bình hành

3. Tính toán khả năng chịu tải của nền đất sau khi cải tạo

3.1. Tỷ lệ tập trung ứng suất

Như đã trình bày ở trên, nền đất sét yếu sau khi cải tạo theo phương pháp SCP có thể quan niệm là một nền tổ hợp bao gồm hệ thống các SCP và đất sét bao quanh SCP. Tải trọng truyền từ móng công trình xuống nền được phân bố tập trung chủ yếu lên hệ thống SCP bởi vì độ cứng của cọc cát đầm cao hơn rất nhiều lần so với nền đất sét bao quanh cọc (xem minh họa trên



Hình 3.a: Phân bố ứng suất của nền tổ hợp

Hình 3.a). Với giả thiết trạng thái ứng suất của cọc cát đầm và đất bao quanh cọc đạt đến trạng thái cực hạn thì tỷ số tập trung ứng suất có thể xác định theo biểu thức sau:

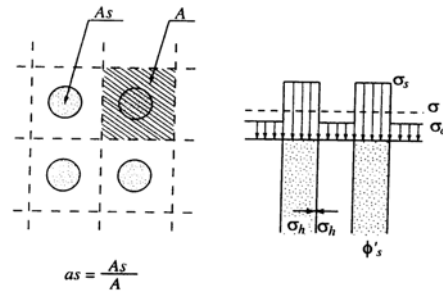
$$n = \frac{\sigma_s}{\sigma_c} = \frac{1 + \sin \varphi_s}{1 - \sin \varphi_s} \left(1 + \frac{\sigma_u}{\sigma_c} \right)$$

Trong đó:

- + n : Tỷ lệ tập trung ứng suất;
- + σ_s : Ứng suất thẳng đứng trên tiết diện cọc cát;
- + σ_c : Ứng suất thẳng đứng trên phần nền đất sét quanh SCP;
- + σ_u : Ứng suất đàn hồi cận trên của đất nền;
- + φ_s : Góc nội ma sát của cọc cát đậm;

3.2. Sức chịu tải của SCP đơn lập

Trong trường hợp khoảng cách giữa các cọc cát là tương đối lớn, phạm vi diện tích tác dụng của tải trọng là nhỏ so với đường kính của SCP thì tính toán xác định khả năng chịu tải của SCP đơn lập được xem xét như sơ đồ (Hình 3.b). Theo Murayama.S, sức chịu tải của SPC trong nền đất sét có thể xác định theo biểu thức:



Hình 3.b: Khả năng chịu tải của SCP đơn

$$P = 0.7 \cdot q_u \cdot \frac{1 + \sin \varphi_s}{(n - 1) + (n + 1) \cdot \sin \varphi_s} \cdot (A_s \cdot n + A_c)$$

Trong đó:

- + P : Khả năng chịu tải;
- + q_u : Cường độ nén nở hông của đất sét;
- + A_s : Diện tích mặt cắt ngang của cọc cát;
- + A_c : Diện tích mặt cắt ngang của nền sét và $A_c = A - A_s$;
- + φ_s : Góc nội ma sát của cọc cát;
- + n : Tỷ lệ tập trung ứng suất;

3.3. Sức chịu tải của nền tổ hợp (hệ thống SCP + đất được nén chặt giữa các cọc)

Khi khoảng cách giữa các cọc cát đậm là không đủ lớn để làm việc như một cọc đơn lập hoặc đáy móng công trình đủ rộng bao phủ lên một nhóm SCP thì đánh giá khả năng chịu tải của nền tổ hợp bao gồm hệ thống các SCP và đất sét xung quanh với nguyên tắc có xem xét đến tác dụng tương hỗ giữa cọc cát và đất nền. Trong trường hợp này, sức chịu tải của nền tổ hợp (P_f) có thể tính toán xác định theo biểu thức như sau:

$$P_f = q_a \cdot A = [as \cdot q_{as} + (1 - as) \cdot q_{ac}] \cdot A$$

Trong đó:

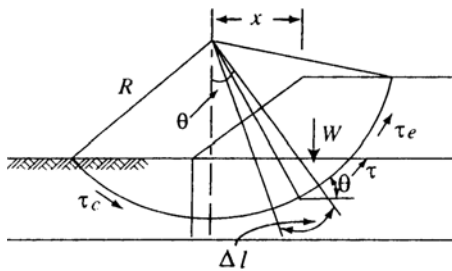
- + q_{ac} : Sức chịu tải của nền đất sét và $q_{ac} = \frac{1}{F_s} \cdot c \cdot N_c$ $q_{ac} = c \cdot N_c / F_s$

- + q_{as} : Sức chịu tải của nền đất cát và $q_{as} = \frac{1}{F_s} \cdot \frac{1}{2} \cdot b \cdot \gamma_s \cdot N_\gamma$
- + c : Cường độ kháng cắt của đất sét
- + A : Diện tích nền móng,
- + b : Chiều rộng móng
- + γ_s : Khối lượng đơn vị của cát
- + N_γ : Hệ số khả năng chịu tải của bản thân
- + F_s : Hệ số an toàn

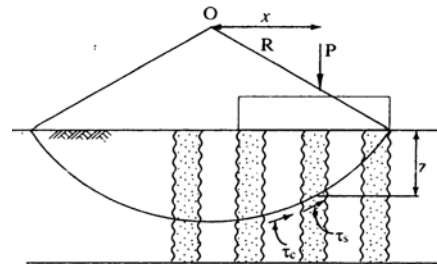
4. Kiểm toán ổn định của nền đất được cải tạo theo phương pháp SCP

4.1. Công thức tổng quát

Vấn đề ổn định của nền đất sét yếu sau cải tạo theo phương pháp SCP thông thường được đánh giá thông qua bài toán phân tích ổn định trượt cung tròn mà trong đó cường độ chống cắt của nền tổ hợp là giá trị hợp nhất của cọc cát đầm và đất nền được nén chặt giữa các cọc cát đầm trong khối nền tính toán. Thông qua bài toán phân tích ổn định như sơ đồ tính toán như chỉ ở Hình 4.a & Hình 4.b, Hệ số an toàn chống trượt (F_s) và khả năng chịu tải (P_f) của nền tổ hợp có thể xác định thông qua các biểu thức dưới đây:



Hình 4.a: Sơ đồ minh họa kiểm toán ổn định trượt cung tròn



Hình 4.b: Xác định sức chịu tải thông qua kiểm toán ổn định trượt cung tròn

- Hệ số an toàn trượt cung tròn (F_s) :

$$F_s = M_r / M_d = [R \cdot \Sigma(\tau \cdot \Delta l)] / [\Sigma(W \cdot x)]$$

- Sức chịu tải của nền tổ hợp :

$$P_f = [R \cdot \Sigma(\tau \cdot \Delta l)] / [\Sigma(W \cdot x)]$$

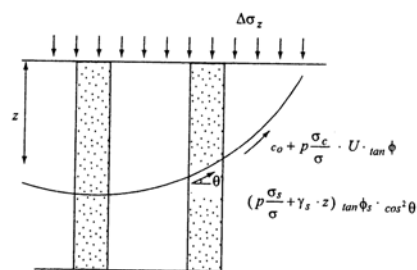
Trong đó:

- + F_s : Hệ số an toàn;
- + P_f : Sức chịu tải của nền tổ hợp;
- + W : Tải trọng gây trượt cung tròn;
- + M_r : Moment gây trượt;
- + M_d : Moment chống trượt;

- + Δl : Cung trượt tròn;
- + R : Bán kính cung trượt tròn;
- + τ : Cường độ kháng cắt của đất nền tổ hợp;

4.2. Xác định cường độ chống cắt của nền tổ hợp

Hiện nay có khá nhiều công thức được các nhà nghiên cứu đề xuất để xác định cường độ kháng cắt của nền đất sau cải tạo theo phương pháp SCP. Dưới đây chỉ xin trình bày công thức được Nakayama kiến nghị dùng để xác định τ khi kiểm toán ổn định của nền đất sét yếu sau cải tạo bằng phương pháp SCP:



Hình 4.c : Sơ đồ minh họa về cường độ chống cắt của nền tổ hợp

$$\tau = as \cdot \left(p \frac{\sigma_s}{\sigma} + \gamma_s \cdot z \right) \cdot \tan \varphi_s \cdot \cos^2 \theta$$

$$+ (1-as) \cdot \left(c_o + p \frac{\sigma_c}{\sigma} \cdot U \cdot \tan \varphi_c \right)$$

Trong đó:

- + τ : Cường độ kháng cắt của đất nền tổ hợp;
- + p : Ứng suất trung bình theo phương đứng;
- + U : Độ cố kết của đất nền xung quanh SCP;
- + z : Độ sâu;
- + γ_s : Khối lượng đơn vị của cát;
- + φ_s, φ_c : Góc nội ma sát của cọc cát và nền đất sét;
- + σ : Ứng suất theo phương đứng lên nền tổ hợp;
- + σ_s, σ_c : Ứng suất theo phương đứng lên cọc cát/đất sét;
- + c_o : Lực dính đơn vị của đất sét;
- + θ : Góc tiếp tuyến của mặt trượt.

5. Tính toán dự báo lún

5.1. Tính toán dự báo tổng độ lún nền tự nhiên (nền đất khi chưa cải tạo)

Việc tính toán dự báo tổng độ lún của nền đất sét khi chưa cải tạo hiện có thể áp dụng theo nhiều phương pháp khác nhau. Khi nền tự nhiên chưa cải tạo là một lớp địa chất khá đồng nhất thì có thể xác định theo biểu thức đơn giản như sau :

$$S_c = H \cdot C_c \cdot \log \frac{\sigma}{\sigma_o}$$

Trong đó:

- + H : Tổng chiều dày của khối nền tổ hợp;
- + C_c : Chỉ số nén lún của nền đất sét tự nhiên

- + σ : Ứng suất nén thẳng đứng do tải trọng gây nên
- + σ_o : Ứng suất nén thẳng đứng ban đầu

Hoặc khi đất nền tự nhiên gồm nhiều lớp địa chất có đặc trưng biến dạng khác nhau chưa cải tạo thì có thể áp dụng công thức được giới thiệu trong 22TCN262-2000 như sau:

$$S_c = \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{1 + e_o^i} \left[C_r^i \cdot \log\left(\frac{\sigma_{pz}^i}{\sigma_{vz}^i}\right) + C_c^i \log \frac{\sigma_z^i + \sigma_{vz}^i}{\sigma_{pz}^i} \right]$$

Trong đó:

- + H_i : Chiều dày lớp đất tính lún thứ i , $i = 1 \div n$; $H_i \leq 2,0$ m ;
- + e_o^i : Hệ số rỗng của lớp đất i ở trạng thái tự nhiên ban đầu.
- + C_c^i : Chỉ số nén lún hay độ dốc của đoạn đường cong nén lún (biểu diễn dưới dạng $e \sim \log \sigma$) trong phạm vi $\sigma^i > \sigma_{pz}^i$ của lớp đất i .
- + C_r^i : Chỉ số nén lún hay độ dốc của đoạn đường cong nén lún nói trên trong phạm vi $\sigma^i < \sigma_{pz}^i$
- + $\sigma_{vz}^i, \sigma_{pz}^i, \sigma_z^i$: Áp lực (ứng suất nén thẳng đứng) do trọng lượng bản thân các lớp đất tự nhiên nằm trên lớp i , áp lực tiền cố kết ở lớp i và áp lực do tải trọng đắp gây ra ở lớp i (xác định các trị số áp lực này tương ứng với độ sâu z ở chính giữa lớp đất yếu thứ i).

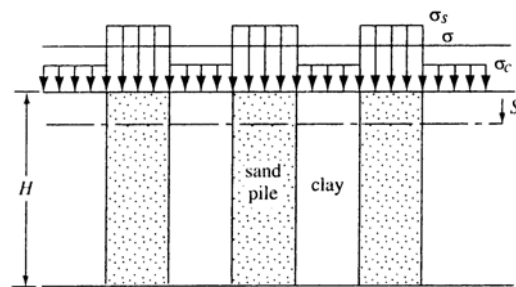
5.2. Tính toán dự báo tổng độ lún nền tổ hợp (nền sau cải tạo)

Tổng độ lún của nền tổ hợp được tính toán dự báo trên cơ sở mức độ giảm lún khi đất nền được tăng cường bởi hệ thống SCP và độ lún của nền được coi là đồng đều nhau. Mô hình lún của nền tổ hợp được minh họa trong Hình 5. Như vậy, tổng độ lún của nền sau khi được cải tạo có thể xác định thông qua biểu thức tổng quát như sau:

$$S = \beta \cdot S_c$$

Trong đó:

- + S : Tổng độ lún của nền tổ hợp (nền sau cải tạo theo phương pháp SCP);
- + S_c : Tổng độ lún của nền đất sét tự nhiên (nền chưa cải tạo);
- + β : Hệ số giảm lún khi cải tạo nền đất sét yếu bằng phương pháp SCP và có thể lấy $\beta = 1 - as$ (với $as > 0,5$) hoặc $\beta = 1 / [1 + (n - 1)as]$ (với $as = 0,3 \div 0,5$).



Hình 5: Mô hình lún đồng nhất của nền tổ hợp

6. Thay lời kết luận

Cọc bằng cát được đầm chặt trực tiếp vào nền đất và bản thân những cọc cát đầm luôn có cường độ cao hơn nhiều lần so với đất nền xen giữa hệ thống cọc cát. Do vậy, trong tính toán thiết kế xử lý nền đất sét yếu bằng phương pháp SCP, vai trò tham gia chịu lực của SCP cùng với đất nền luôn luôn được xét đến, ngoài chức năng thoát nước đứng tương tự như phương pháp PVD, giếng cát.

Trong thiết kế cải tạo nền đất sét yếu, đánh giá khả năng chịu tải, kiểm toán ổn định trượt và dự báo tổng độ lún của nền đất sau cải tạo khi mang tải luôn là những nội dung chủ yếu mà người thiết kế phải quan tâm thực hiện. Các nghiên cứu về tương tác của hệ thống cọc cát với đất nền đã được rất nhiều nhà nghiên cứu quốc tế quan tâm, các kết quả nghiên cứu của họ cũng đã được công bố rộng rãi trong các tài liệu chuyên khảo mà người kỹ sư thiết kế có thể lựa chọn để tham khảo, áp dụng khi ở nước ta chưa sẵn có tiêu chuẩn thiết kế cho loại hình công nghệ này.

Nội dung chủ yếu của bài viết chỉ mới tập trung giới thiệu một cách ngắn gọn từ việc tổng hợp, chọn lọc một số các kết quả nghiên cứu, kinh nghiệm thực tiễn đã được áp dụng trong cải tạo nền đất yếu ở Nhật Bản, Hàn Quốc và Việt Nam. Để phương pháp SCP có thể được áp dụng rộng rãi và mang lại hiệu quả kinh tế thiết thực trong ngành xây dựng kết cấu cơ sở hạ tầng của Việt Nam, việc quan tâm giành các nguồn lực thích đáng để tổng kết, đúc rút kinh nghiệm từ các dự án đã áp dụng phương pháp SCP trong cải tạo nền đất yếu nên được quan tâm nhiều hơn. Ngoài ra, hy vọng các cơ quan quản lý nhà nước liên quan cũng nên sớm đầu tư nghiên cứu, xây dựng và ban hành bộ tiêu chuẩn kỹ thuật về khảo sát, thiết kế, thi công và nghiệm thu cho công tác cải tạo nền đất yếu theo phương pháp cọc cát đầm.

Tài liệu tham khảo:

- (1). *Technical standards for Port and Harbour facilities in Japan. OCDI - 1991.*
- (2). *Kinoshita, H. et al.: Sand Compaction Pile Technology and its Performance in both Sandy and Clayey Grounds*
- (3). *Nippon Kaiko., Ltd: Survey, Design and Operartion in Sand Drain and Sand Compaction Method.*
- (4). *Hoàng Văn Tân, Trần Đình Ngô, Phan Xuân Trường, Phạm Xuân, Nguyễn Hải: Những phương pháp xây dựng công trình trên nền đất yếu. Nxb Xây dựng- 1997 .*
- (5). *Vũ Công Ngữ, Nguyễn Văn Dũng: Cơ học đất. Nxb KH&KT-1995.*
- (6). *22TCN262-2000 Quy trình khảo sát thiết kế nền đường ô tô đắp trên đất yếu. Bộ GTVT -2000*
- (7). *Nguyễn Châu Lâm & Phí Hồng Thịnh: Cọc cát đầm chặt trong việc cải tạo nền đất yếu*
- (8). *Lương Phương Hợp: Nền đất yếu và cải tạo nền đất yếu theo phương pháp trộn sâu. Thông tin KSTK Tedi, Số 2 – 2005 .*