



## Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <http://jmes.humg.edu.vn>



# Analytical methods for stress transfer efficacy in the piled embankment



Hung Van Pham <sup>\*</sup>, Phuc Dinh Hoang, Thinh Duc Ta

*Faculty of Civil Engineering, Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam*

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 06<sup>th</sup> Oct. 2020

Accepted 14<sup>th</sup> Nov. 2020

Available online 31<sup>st</sup> Dec. 2020

#### Keywords:

Arching,  
Embankment,  
Pile,  
Soft soil,  
Stress.

### ABSTRACT

*Soft soil reinforced by rigid inclusions under embankment is a soft soil improvement method, known as a piled embankment. It has been widely studied and applied over the world, since 90's decade of the last century. The behavior of a piled embankment is mainly based on the formation of soil arching within the embankment and the negative skin friction around inclusion shaft. The paper investigates the mechanical behavior of a piled embankment to make clear the load transfer mechanism of the method. Additionally, some of the analytical methods in determining the stress transfer efficacy are presented.*

Copyright © 2020 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

<sup>\*</sup>Corresponding author

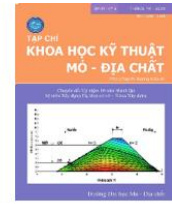
E - mail: [phamvanhung@humg.edu.vn](mailto:phamvanhung@humg.edu.vn)

DOI: 10.46326/JMES.HTCS2020.11



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

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



# Phương pháp giải tích xác định hiệu quả truyền ứng suất trong khối đắp khi sử dụng phương pháp khối đắp trên nền đất yếu gia cố bằng cọc cứng

Phạm Văn Hùng\*, Hoàng Đình Phúc, Tạ Đức Thịnh

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

### THÔNG TIN BÀI BÁO

### TÓM TẮT

#### Quá trình:

Nhận bài 06/10/2020  
Chấp nhận 14/11/2020  
Đăng online 31/12/2020

#### Từ khóa:

Cọc cứng,  
Đất yếu,  
Hiệu ứng vòm,  
Khối đắp,  
Ứng suất.

*Kỹ thuật gia cố nền đất yếu bằng cọc cứng cho nền đường đắp đã được nghiên cứu, ứng dụng trên thế giới từ những thập kỷ 90 của thế kỷ trước. Những ứng xử cơ học của hệ gia cố khối đắp-nền đất yếu gia cố bằng cọc cứng chủ yếu được giải thích dựa trên nguyên lý hình thành vòm ứng suất bên trong khối đắp và sự hình thành ma sát âm quanh thân cọc. Bài báo sẽ tiến hành phân tích những ứng xử cơ học để làm rõ cơ chế làm việc của khối đắp trên nền đất yếu gia cố bằng cọc cứng. Ngoài ra, bài báo cũng tiến hành phân tích một số các phương pháp giải tích nhằm xác định hiệu quả truyền ứng suất bên trong khối đắp đang được sử dụng phổ biến trên thế giới.*

© 2020 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

## 1. Mở đầu

Kỹ thuật khối đắp trên đất yếu gia cố bằng cọc cứng đã được áp dụng rộng rãi trên thế giới trong các dự án đường sắt, đường bộ, cầu, tường chắn, bể chứa,... nhờ những ưu điểm như: giảm giá thành và thời gian xây dựng; cải thiện đáng kể sức chịu tải của nền đất yếu làm giảm độ lún và chuyển vị nghiêng của công trình và ít gây ảnh hưởng đến môi trường xung quanh.

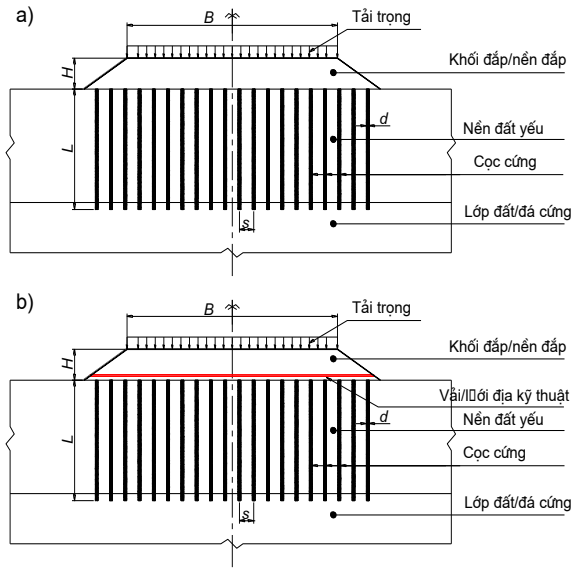
Phương pháp gia cố nền đất yếu bằng khối đắp trên đất yếu gia cố bằng cọc cứng (piled embankment) bao gồm các cọc cứng bằng bê tông, bê tông cốt thép, thép, ống thép nhồi bê tông, xi măng đất,... gia cố một phần hay toàn bộ chiều dày

nền đất yếu. Các cọc được bố trí theo lưới hình tam giác hay lưới hình vuông với khoảng cách  $s$ . Khối đắp bên trên với chiều cao  $H$  bằng vật liệu rời (cát hạt thô, đá dăm) đóng vai trò là lớp đệm truyền lực (Hình 1.a). Trong trường hợp nền đất rất yếu, đáy khối đắp được tăng cường bằng một hoặc vài lớp vải địa kỹ thuật (ĐKT) (Hình 1.b), hoặc đầu cọc được mở rộng bằng mũ cọc.

Ở Việt Nam, các nghiên cứu về kỹ thuật khối đắp trên đất yếu gia cố bằng cọc cứng chỉ được bắt đầu trong khoảng 10 năm gần đây bởi một số tác giả Nguyễn Võ Ngọc Huy (2009); Nguyễn Quốc Dũng (2012); Nguyễn Tuấn Phương và nnk. (2013); Phạm Anh Tuấn và Đỗ Hữu Đạo (2016); Phạm Văn Hùng và Vũ Minh Ngạn (2018). Tuy nhiên, các nghiên cứu này vẫn còn khá hạn chế trong việc phân tích cơ chế truyền ứng suất bên trong khối đắp, độ lún của khối đắp, nền đất yếu và chuyển vị đầu cọc.

\* Tác giả liên hệ

E - mail: [phamvanhung@humg.edu.vn](mailto:phamvanhung@humg.edu.vn)  
DOI: 10.46326/JMES.HTCS2020.11



Hình 1. Sơ đồ gia cố nền đất yếu: a) Khối đắp trên đất yếu gia cố bằng cọc cứng không có lưới địa kỹ thuật; b) Khối đắp trên đất yếu gia cố bằng cọc cứng có lưới địa kỹ thuật.

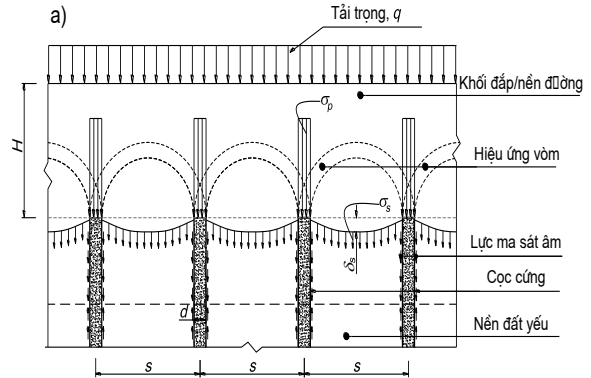
Bài báo sẽ tiến hành phân tích những ứng xử cơ học của khối đắp trên nền đất yếu gia cố bằng cọc cứng để làm rõ bản chất cơ chế làm việc của hệ. Bên cạnh đó, bài báo cũng tiến hành phân tích một số các phương pháp giải tích nhằm xác định hiệu ứng vòm bên trong khối đắp đang được sử dụng phổ biến trên thế giới.

**2. Cơ chế làm việc của khối đắp trên nền đất yếu gia cố bằng cọc cứng - Các thông số biểu diễn hiệu quả truyền lực trong khối đắp**

Cơ chế truyền lực của hệ khối đắp - đất yếu gia cố bằng cọc cứng dựa trên hai cơ chế chính, bao gồm cơ chế truyền lực bên trong khối đắp (hiệu ứng vòm) và lực ma sát âm của cọc. Hiệu ứng vòm là một hiện tượng phổ biến xảy ra trong các bài toán địa kỹ thuật khi có kết cấu độ cứng lớn (biên cứng) và đất cùng tham gia chịu lực, khi đó ứng suất được truyền từ phần đất chảy dẻo xuống các vùng biên cứng bên cạnh, hiện tượng này dẫn đến ứng suất bên trên sẽ truyền chủ yếu xuống vùng biên cứng và do đó giảm ứng suất truyền xuống vùng đất phía dưới. Trong bài toán khối đắp trên nền đất yếu gia cố bằng cọc cứng, do độ cứng của cọc lớn hơn nhiều so với nền đất yếu, nền đất yếu sẽ có xu hướng lún nhiều hơn so với cọc, phần khối đắp phía trên đất yếu cũng có xu hướng dịch chuyển cùng. Tuy nhiên, nhờ làm bằng vật liệu rời

với góc ma sát trong lớn (sức kháng cắt lớn), phần khối đắp phía trên đầu cọc cứng sẽ cản trở dịch chuyển của khối đất trên phía đất yếu, nhờ nhận thêm một phần lực ma sát từ khối bên cạnh truyền xuống, hiện tượng này là tăng ứng suất tác dụng xuống đầu cọc, và do đó giảm ứng suất tác dụng xuống nền đất yếu. Hiện tượng này được nhiều tác giả trên thế giới gọi là hiệu ứng vòm.

Bên cạnh đó, nền đất yếu phía dưới khối đắp có xu hướng lún nhiều hơn so với chuyển vị của đầu cọc, hiện tượng này làm phát sinh lực ma sát âm (hướng xuống dưới) tác dụng quanh thân cọc. Tải trọng tác dụng lên đầu cọc và lực ma sát âm sẽ được truyền dọc thân cọc xuống nền đất cứng phía dưới (Hình 2). Do đó, áp lực tác dụng lên đất yếu đã giảm đi rất nhiều và giảm nhanh theo chiều sâu, dẫn đến sự giảm đáng kể độ lún của nền đất yếu và khối đắp. Để đánh giá hiệu quả của phương pháp khối đắp trên đất yếu gia cố bằng cọc cứng, các nghiên cứu thường tập trung vào hiệu ứng vòm bên trong khối đắp và độ lún của khối đắp và đất yếu.



Hình 2. Các hiện tượng truyền tải trọng bên trong hệ khối đắp trên đất yếu gia cố bằng cọc cứng.

Ba thông số thường được sử dụng để đánh giá hiệu quả sự truyền ứng suất bên trong khối đắp (hiệu ứng vòm), bao gồm:

- Hệ số tập trung ứng suất, SCR hay n,

Hệ số tập trung ứng suất, n, được định nghĩa là tỷ lệ ứng suất thẳng đứng ở đỉnh cọc chia với ứng suất thẳng đứng ở đỉnh đất xung quanh.

$$SCR = \frac{\sigma_p}{\sigma_s} \tag{1}$$

- Hệ số giảm ứng suất, SRR,

Hệ số giảm ứng suất, SRR, là tỷ lệ ứng suất tác

dụng xuống đất yếu giữa các cọc,  $\sigma_s$ , với ứng suất trung bình tác dụng bởi tải trọng nền đắp với ứng suất bên trên nền đắp,  $\sigma$ :

$$SRR = \frac{\sigma_s}{\sigma} \quad (2)$$

Hệ số giảm ứng suất phản ánh mức độ của tải trọng truyền xuống nền đất yếu. Khi  $SRR = 0$ , ứng suất trên nền đất yếu bằng không. Nó có nghĩa là tất cả các tải được chuyển lên các cọc, hiệu ứng vòm hoàn toàn (full arching). Khi hệ số giảm ứng suất bằng  $SRR = 1,0$ , nghĩa là tất cả tải trọng được truyền xuống nền đất, không có hiệu ứng vòm (no arching). Trong bài toán gia cố bằng cọc cứng, hệ số giảm ứng suất nằm trong khoảng từ 0 ÷ 1. Để nâng cao hiệu quả hiệu quả truyền ứng suất (hay hiệu ứng vòm), hệ số giảm ứng suất càng nhỏ các tốt.

• *Hệ số hiệu quả của cọc, E*

Hệ số hiệu quả của cọc, theo định nghĩa của Hewlett và Randolph (1988) và Low và nnk. (1994), là phần trọng lượng của khối đắp và tải trọng bên trên được truyền cho các cọc cứng:

$$E = \frac{P}{s^2(\gamma H + q)} \quad (3)$$

Trong đó  $P$  - là tải trọng được mang bởi cọc và  $s$  là khoảng cách từ cọc tới cọc.

### 3. Các phương pháp giải tích nhằm xác định cơ chế truyền lực bên trong khối đắp nền đường

Các phương pháp giải tích được xây dựng chủ yếu dựa vào các hệ số giảm ứng suất và một số quan điểm trong tính toán khác nhau.

#### 3.1. Phương pháp BS 8006

Tiêu chuẩn Anh ban đầu xuất phát từ nghiên cứu của Jone và nnk. (1990), điểm khác biệt của Tiêu chuẩn Anh so với các phương pháp khác là tính ứng suất trung bình trên đỉnh cọc thay vì tính ứng suất trên khoảng đất nền không có cọc.

BS 8006 sử dụng công thức Marston để thiết lập tỉ số giữa ứng suất thẳng đứng tác dụng lên đỉnh cọc với ứng suất thẳng đứng trung bình tác dụng lên đáy móng khối đắp ( $\sigma_s = \gamma H$ ), sử dụng công thức thường dùng trong tính toán tải trọng suy giảm lên các cọc.

$$SRR = \frac{2.s}{(s+a)(s^2-a^2)} \left[ s^2 - a^2 \left( \frac{p'_c}{\gamma.H+q} \right) \right] \quad (4)$$

với  $H > 1,4(s-a)$  (4)

$$SRR = \frac{2,8.s.\gamma}{(s+a)^2(\gamma H+q)} \left[ s^2 - a^2 \left( \frac{p'_c}{\gamma.H+q} \right) \right] \quad (5)$$

với  $H \leq 1,4(s-a)$

Trong đó:  $a$  - kích thước của cọc;  $s$  - khoảng cách từ tim cọc đến tim cọc;  $H$  - Chiều cao khối đắp;  $\gamma$  - Trọng lượng thể tích của đất đắp;  $\gamma H$  - Ứng suất đáy móng;  $\sigma_c$  - Ứng suất lên đỉnh (mũ) cọc.

#### 3.2. Các phương pháp Terzaghi điều chỉnh

Phương pháp Terzaghi điều chỉnh 1

Russell và Pierpoint (1997) đã điều chỉnh lý thuyết vòm đất của Terzaghi để phát triển công thức tính hệ số giảm ứng suất có kể đến bố trí các cọc trong không gian ba chiều.

$$SRR_{3D} = \frac{(s^2 - a^2)}{4.H.a.K.tan\phi} \left[ 1 - \exp\left(\frac{-4.H.a.K.tan\phi}{s^2 - a^2}\right) \right] \quad (6)$$

Phương pháp Terzaghi điều chỉnh 2

Vài năm sau, Russell và nnk. (2003) đã trình bày một phiên bản sửa đổi của phương pháp Terzaghi. Russell và nnk. (2003) giả sử rằng phần của khối đắp được đặt dưới dạng hình chữ thập có chiều cao là  $n.H$ , và phần đắp được đặt bên trên hình chữ thập được coi là tải phân bố. Hệ số giảm ứng suất dựa trên phân tích của Russell và nnk. (2003), bằng:

$$SRR_{3D} = \frac{(s^2 - a^2).\gamma}{4.a.(\gamma.H+q).K.tan\phi} \left[ 1 - \exp\left(\frac{-4.a.H.K.tan\phi.n}{s^2 - a^2}\right) \right] + \frac{\gamma.(1-n).H+q}{(\gamma.H+q)} \cdot \exp\left(\frac{-4.a.H.K.tan\phi.n}{s^2 - a^2}\right) \quad (7)$$

Trong đó  $q$  = tải trọng phân bố,  $n = 1,0$  cho điều kiện trạng thái giới hạn cuối cùng và 0,8 cho điều kiện trạng thái giới hạn khả năng phục vụ và  $K$  = hệ số của áp lực ngang của đất, mà Russell và nnk. (2003) giả sử bằng 0,5.

**3.3. Phương pháp Hewlett và Randolph 1988**

Hewlett và Randolph (1988) đưa ra mô hình lý thuyết dựa vào các thí nghiệm trên đất hạt thô. Các phân tích của họ cố gắng giải thích hiệu ứng vòm trong thực tế sát đúng hơn giả thuyết lăng trụ thẳng đứng của Terzaghi. Các vòm tạo ra truyền phần lớn tải trọng của khối đắp xuống mũ cọc, còn đất giữa các cọc chỉ chịu tải trọng khối đất phía dưới vòm (Hình 3).

$$SRR = \frac{1}{\left(\frac{2K_p}{K_p+1}\right)\left[\left(1-\frac{a}{s}\right)^{(1-K_p)} - \left(1-\frac{a}{s}\right)\cdot\left(1+\frac{a}{s}\cdot K_p\right)\right] + \left(1-\frac{a^2}{s^2}\right)} \quad (8)$$

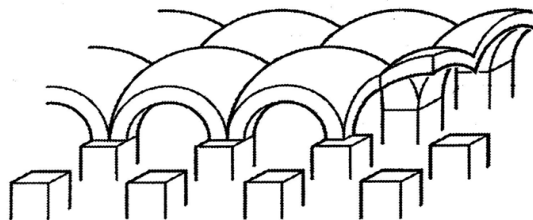
Trong đó  $K_p$  = hệ số Rankine của áp lực đất thụ động =  $(1 + \sin \phi') / (1 - \sin \phi')$ , với  $\phi'$  = góc ma sát của vật liệu đắp.

**3.4. Phương pháp của Đức (EBGEO 2004)**

Kempfert và nnk. (2004) trình bày bản bằng tiếng Anh phương pháp thiết kế trong EBGEO 2004 (German Recommendations for Geosynthetic Reinforced Earth Structures). Các khuyến nghị được cung cấp bởi Kempfert và nnk. (2004) đã được phát triển dựa trên lý thuyết dẻo, thí nghiệm mô hình và kết quả phân tích số. Tương tự Hewlett và Randolph (1998), Kempfert và nnk. (2004) xem xét mô hình vòm đất hình vòm cong (Hình 3). Hệ số giảm ứng suất được xác định như sau:

$$SRR = \frac{1}{(1+\lambda)\chi} + \frac{h_g}{H} \cdot \left[ \frac{1}{\left(1+\frac{\lambda}{4}\right)^\chi} - \frac{1}{(1+\lambda)\chi} \right] \quad (9)$$

Trong đó:  $\lambda = \frac{h_g^2 \cdot \lambda_2}{\lambda_1}$  ;  $\lambda_1 = \frac{1}{8} \cdot (s_g - d_c)^2$  ;  $\lambda_2 = \frac{s_g^2 + 2 \cdot d_c \cdot s_g - d_c^2}{2 \cdot s_g^2}$  ;  $K_c = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right)$  ;  $\chi = \frac{d_c \cdot (K_c - 1)}{\lambda_2 \cdot s_g}$  ; Với  $h_g = \frac{s_g}{2}$  nếu  $H \geq \frac{s_g}{2}$  ;  $h_g = H$  nếu  $H < \frac{s_g}{2}$  ;  $d_c$  = đường kính của các cọc.



Hình 3. Mô tả mô hình vòm đất của Hewlett và Randolph (1988).

**3.5. Phương pháp của Guido**

Trường hợp nền đường có tải trọng bên trên, hệ số giảm ứng suất được tính bằng:

$$SRR = \frac{(s - a) \cdot \gamma}{3\sqrt{2} \cdot (\gamma \cdot H + q)} \quad (10)$$

**3.6. Phương pháp của Thụy Điển**

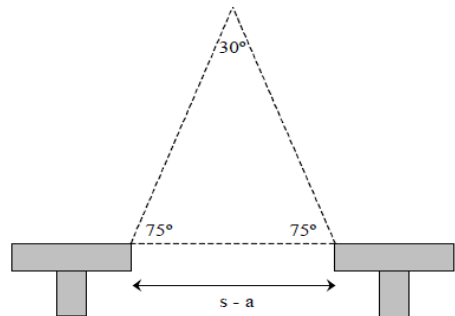
Tương tự như mô hình được đề xuất trong phương pháp Guido, mô hình vòm đất hình tam giác cũng được trình bày bởi Carlsson (1987). Tài liệu biên soạn của Carlsson (1987) là tiếng Thụy Điển, nhưng nó được thảo luận bằng tiếng Anh bởi Rogbeck và nnk. (1998); Horgan và Sarsby (2002). Trong không gian hai chiều, phương pháp Thụy Điển xem xét một cái nêm đất có diện tích mặt cắt ngang dưới đất hình vòng cung có diện tích được xấp xỉ bằng một cái nêm với một góc bên trong đỉnh của nêm bằng 30°, như trong Hình 4. Phương pháp Thụy Điển áp dụng cách tiếp cận chiều cao tới hạn sao cho phần tải trọng phân bố phía trên đỉnh của nêm được truyền trực tiếp vào các cọc. Do đó, chiều cao tới hạn là 1,87.(s-a).

Theo phương pháp này, hệ số suy giảm ứng suất được xác định bằng công thức.

$$SSR = \frac{(s - a) \cdot \gamma}{4 \cdot (\gamma \cdot H + q) \cdot \tan 15^\circ} \quad (11)$$

**3.7. So sánh các phương pháp giải tích**

Trong nghiên cứu, tác giả đi phân tích bài toán cụ thể với chiều cao nền đường  $H = 4$  m, đắp bằng vật liệu cát, có góc ma sát trong  $\phi = 35^\circ$ , cọc có đường kính khác nhau  $d_c = 0,5; 0,7$  và  $1,0$  m, khoảng cách giữa các cọc không đối bằng  $s = 2,0$  m, tương ứng ta có hệ số  $a/s = 0,25; 0,35$  và  $0,50$ . Hệ số giảm ứng suất ( $SRR$ ) được tính toán theo 7 phương pháp nêu trên. Các kết quả tính toán được



Hình 4. Mô hình vòm đất hình lăng trụ của phương pháp Thụy Điển.

thể hiện chi tiết trong Bảng 1. Có thể thấy rằng, các kết quả tính toán từ các phương pháp lý thuyết có sự khác nhau đáng kể, do các giả thuyết khác nhau khi xây dựng phương pháp. Thêm nữa, khi mật độ gia cố tăng thì hệ số giảm ứng suất giảm đi đáng kể trong tất cả các phương pháp.

#### 4. Kết luận

Nguyên lý lý thuyết, thực nghiệm để giải thích một số bài toán theo hiệu ứng vòm đã được phát triển từ rất sớm (Terzaghi, 1943). Tuy nhiên, hiện nay ở Việt Nam vẫn còn là vấn đề có tính mới. Nghiên cứu hiệu ứng vòm bên trong khối đắp trong bài báo góp phần làm sáng tỏ các lý thuyết, thực nghiệm và mô hình số trước đây của một số các tác giả trên thế giới.

Có một số phương pháp giải tích đã được xây dựng để đánh giá hiệu ứng vòm bên trong khối đắp thông qua một số các chỉ tiêu về hệ số tập trung ứng suất, hệ số giảm ứng suất, hệ số hiệu quả của cọc,... Tuy nhiên, các phương pháp này vẫn có những sai khác khá lớn.

Bảng 1. Giá trị SRR tính theo 7 phương pháp.

Phương pháp	SRR		
	$a/s = 0,25$	$a/s = 0,35$	$a/s = 0,50$
BS 8006	1,310	0,927	0,165
Terzaghi 1	0,704	0,602	0,453
Terzaghi 2	0,505	0,432	0,325
Hewlett và Randolph	0,481	0,282	0,115
EBGEO	0,386	0,282	0,084
Guido	0,063	0,055	0,042
Thụy Điển	1,000	0,870	0,669

#### Những đóng góp của tác giả

Lên ý tưởng: Tạ Đức Thịnh; Viết bản thảo bài báo: Phạm Văn Hùng; Đánh giá và chỉnh sửa: Hoàng Đình Phúc

#### Tài liệu tham khảo

- Carlsson, (1987). Reinforced Soil, Principles for Calculation. *Terratema AB*, Linköping (1987). (in Swedish).
- Hewlett, W. J., Randolph, M. F., (1988). Analysis of piled embankments. *Ground Engineering* 21(3): 12-18.
- Horgan, G. J., Sarsby, R. W., (2002). The arching

effect of soils over voids and piles incorporating geosynthetic reinforcement. *Geosynthetics - Seventh ICG - Delmas, Gourc and Girard (Eds.)*, Swets & Zeitlinger, Lisse ISBN 90 5809 523 1, pp. 373-378.

- Jones, C. J. F. P., Lawson, C. R., Ayres, D. J., (1990). Geotextile reinforced piled embankments, Geotextiles. *Geomembranes and Related Products*, Den Hoedt (ed.) © 1990 Balkema, Rotterdam, ISBN 90 6191 119 2, pp 155- 160
- Kempfert, H. G., Gobel, C., Alexiew, D., Heitz, C., (2004). German recommendations for Soil Reinforcement above Pile-Elements. *EUROGeo3, Third Geosynthetic Conference, Munchen*, 1: 279-283.
- Nguyễn Quốc Dũng, (2012). Một số vấn đề kỹ thuật trong thiết kế khối đắp trên nền cọc. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, số 11/2012.
- Nguyễn Tuấn Phương, Châu Ngọc Ân, Võ Phán, (2013). Phân tích ứng xử của lớp cát đệm kết hợp vải địa kỹ thuật trên đầu cọc trong nền nhà xưởng chịu tải phân bố đều. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, số 40 (2013).
- Nguyễn Võ Ngọc Huy, (2009). Nghiên cứu giải pháp cọc bê tông tiết diện nhỏ kết hợp vải địa kỹ thuật để xây dựng nhà kho, nhà xưởng trên nền đất yếu với diện tích lớn tại khu Hiệp Phước, Nhà Bè, Hồ Chí Minh. *Luận văn Thạc sỹ kỹ thuật*, Đại học Bách Khoa Tp Hồ Chí Minh.
- Phạm Văn Hùng, Vu Minh Ngan, (2018). Influence of embankment height and soil parameters on piled embankments by 3D numerical simulation. *In Proceedings of International conference VIETGEO 2018*, 21st and 22nd September, 2018 in Dong Hoi city, Quang Binh, Vietnam, pp.172-179.
- Phạm Anh Tuấn, Đỗ Hữu Đạo, (2016). Nghiên cứu một số hình thức phá hoại cho hệ cọc kết hợp gia cường lưới địa kỹ thuật trong gia cố nền đắp. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, số 55 (11/2016).
- Rogbeck, Y., Gustavsson, S., Södergren I., Lindquist, D., (1998). Reinforced piled embankments in Sweden - design aspects. *Proceedings of the Sixth International Conference on Geosynthetics*, pp. 755-762.

Russell D., Pierpoint N., (1997). An assessment of design methods for piled embankments. *Ground Engineering*, 39-44.

Russel D., Naughton P. J., Kempton G. T., (2003). A new design procedure for piled embankments.

*Proceeding of the 56th Annual Canadian Geotechnical Conference*, Winnipeg, September 29-October 1, Winnipeg, Canada.

Terzaghi, K., (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. John Wiley and Sons, New York.