

Nghiên cứu xác định trạng thái ứng suất - độ bền của nền đất gia cố cọc xi măng đất

Research to determine the stress-strain state - strength of the soil reinforced with cement soil piles

TS. Lê Bảo Quốc^{1,*}, ThS. Ngô Trung Chánh¹

¹ Khoa Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Miền Tây

*Email: lebaoquoc@mtu.edu.vn

■ Nhận bài: 15/04/2024 ■ Sửa bài: 11/05/2024 ■ Duyệt đăng: 16/06/2024

TÓM TẮT

Cọc xi măng đất hiện nay đa phần tính toán dựa theo thực nghiệm, hoặc công thức kinh nghiệm của các nước. Việc nghiên cứu cơ sở lý thuyết nhằm tìm đường diễn biến sự thay đổi ứng suất nhằm có được cách tính toán xác định giản đơn. Dựa trên cơ sở lý thuyết cơ học đất, toán học ứng dụng và lý thuyết tối ưu, bài báo trình bày cách xác định trạng thái ứng suất, độ bền của nền đất tự nhiên trước khi được gia cố bằng giải pháp cọc xi măng đất theo điều kiện đất nền. Đồng thời góp phần tính toán thiết kế xử lý đất yếu bằng cọc xi măng đất đảm bảo độ bền trượt và biến dạng, cải thiện quy trình thiết kế và thi công, đảm bảo an toàn và bền vững cho các công trình xây dựng trên nền đất yếu.

Từ khóa: Cọc xi măng đất, nền đất yếu, độ bền trượt, trạng thái ứng suất.

ABSTRACT

Cement-soil piles are predominantly designed based on empirical data or empirical formulas from various countries. Researching theoretical foundations aims to establish stress-strain relationships for a simpler calculation approach. Drawing upon soil mechanics theory, applied mathematics, and optimization theory, the paper presents methods to determine stress states and stability of natural soil before reinforcement with cement-soil pile solutions under specific soil conditions. Additionally, it contributes to calculating the design for treating weak soil using cement-soil piles to ensure shear strength and deformation resistance, thus enhancing the design and construction processes, ensuring safety, and sustainability of constructions on soft soil.

Keywords: Cement-soil pile, soft soil, Shear strength, Stress state

1. GIỚI THIỆU

Cải thiện đất yếu hiện nay có nhiều giải pháp xử lý được áp dụng, như bắc thấm, vải địa kỹ thuật, đệm cát, cọc vật liệu rời,...v.v. Những năm gần đây, xử lý nền đất yếu bằng công nghệ cọc đất xi măng ngày được các nhà khoa học nghiên cứu ứng dụng nhưng còn hạn chế, chủ yếu theo các tài liệu nước ngoài như của các nước Châu Âu, Nhật Bản, Trung Quốc,...v.v..Quan niệm tính toán cọc đất xi măng, đa phần quan tâm về đánh giá sức chịu tải và độ lún của nền đất khi được gia

cố với nhiều phương pháp khác nhau như tính toán điển hình cho trường hợp gia cố cụ thể, áp dụng cho một loại đất yếu nhất định ở một khu vực nghiên cứu; và thông qua thí nghiệm, thực nghiệm để xác định các giá trị giới hạn từ kết quả nghiên cứu. Cường độ kháng cắt của cọc đất xi măng được xác định thông qua thí nghiệm nén ngang thành hố khoan, Sức chịu tải cực hạn được xác định từ thí nghiệm nén tĩnh cọc đơn khi độ lún lớn nhất đạt 10% đường kính cọc hoặc thông qua tải trọng tổ hợp cọc [1]. Sức chịu tải thiết kế chọn giá trị

nhỏ nhất của sức chịu tải cực hạn chia cho hệ số an toàn (FS). Qua đây cho thấy, các tính toán thiết kế tham khảo các chỉ dẫn thiết kế của nước ngoài và dựa vào thực nghiệm, kinh nghiệm. Nên, khi áp dụng các công thức thực nghiệm để tính toán xử lý nền đất yếu ở nước ta vướn một số khó khăn, hạn chế: Điều kiện thí nghiệm khó xác định như nén ngang thành hố khoan, thí nghiệm xuyên...v.v, thực trạng đa phần thí nghiệm nén dọc trục (trong phòng thí nghiệm, hiện trường) để xác định giá trị sức chịu tải cực hạn. Trong khi thực tế thí nghiệm hiện trường phụ thuộc theo khu vực, nên giá trị cũng khó hội tụ, dễ phân tán. Đồng thời sự phân bố ứng suất trong cọc và đất yếu xung quanh cọc theo tải trọng thiết kế, chỉ xác định được ứng suất trung bình với công thức quy đổi bằng cách đưa hệ nền đất - cọc xi măng đất về nền đồng nhất, chưa phân tích được cơ chế thay đổi ứng suất. Mặt khác, theo Viện Khoa học Thủy lợi khi áp dụng công thức xác định sức chịu tải của Trung Quốc trong điều kiện xử lý nền đất yếu của Việt Nam cho kết quả có sai số rất lớn so với kết quả hiện trường [2], điều này cho thấy vì mỗi khu vực nghiên cứu khác nhau nên có đặc trưng nền đất khác nhau là mô đun biến dạng của vật liệu trong tính toán chuyển vị, nên không thể lấy công thức thực nghiệm của nước ngoài áp dụng vào Việt Nam. Nhìn chung, tính toán gia cố nền đất yếu bằng cọc đất xi măng hiện nay tại Việt Nam đa phần còn tham khảo tài liệu, các công thức kinh nghiệm nước ngoài và dựa vào thực nghiệm nên bài báo trình bày nghiên cứu lý thuyết đánh giá sự thay đổi ứng suất, độ bền đến giới hạn của nền đất gia cố bằng cọc đất xi măng.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Một số giải pháp xử lý nền đất yếu

Phụ thuộc đối tượng chịu tác động ta có thể khái quát là giải pháp đắp gia tải trước nhằm tăng độ cố kết, tăng tốc độ lún, vãi địa kỹ thuật hoặc lưới địa kỹ thuật hay giải pháp thay toàn bộ đất yếu bằng vật liệu có mô đun đàn hồi tốt hơn, giải pháp thoát nước đứng, tăng nhanh độ cố kết của đất yếu bằng công nghệ điện thấm, hút chân không; sử dụng cọc đóng trong đất yếu; sử dụng cọc đất xi măng, ...v.v. Đa phần

các giải pháp gia cố có tác dụng tăng sức chịu tải, ổn định và giảm độ lún của nền đất. Tùy giải pháp được áp dụng xử lý phù hợp như các yếu tố phụ thuộc: chiều dày lớp đất yếu, loại đất dễ thấm nước. Khi gặp đất yếu khó thấm nước như sét mềm yếu, bùn sét,...v.v. có thể sử dụng giải pháp gia cố bằng cọc đất xi măng được cho là có hiệu quả, kinh tế kỹ thuật hơn giải pháp gia cố khác, vì hệ số thấm của đất sét gia cố có thể tăng từ 400 ÷ 800 lần so với đất sét chưa được gia cố [6]. Giải pháp cọc xi măng đất thấy linh hoạt, mềm dẻo, tiết kiệm, tận dụng nguyên vật liệu đất tại chỗ; bên cạnh cũng có thể sử dụng kết hợp với giải pháp xử lý nền đất yếu khác.

2.2. Tính toán gia cố nền giải pháp cọc xi măng đất

Mục tiêu xác định các chỉ tiêu cơ học của toàn hệ nền - cọc xi măng đất, kích thước hình học cọc trong hệ, sức chịu tải cực hạn, biến dạng nền (độ lún cho phép) của hệ nền gia cố bằng cọc xi măng đất. Nên có thể quan niệm về độ cứng của cọc, tương quan chịu tải biến dạng của cọc và nền đất xung quanh,...v.v., hình thành nhiều phương pháp, quan điểm tính toán cọc đất xi măng: Phương pháp tính như cọc cứng; phương pháp tính nền gia cố (nền đất đồng nhất); và phương pháp tính kết hợp hệ nền - cọc làm việc đồng thời.

Giải pháp gia cố nền đất bằng cọc đất xi măng là quá trình lý hóa phức tạp và phụ thuộc vào nhiều yếu tố, có tính chất cơ lý và cường độ phân tán. Trong tính toán hiện nay thường phải làm thực nghiệm, hoặc áp dụng công thức kinh nghiệm đi kèm theo là nhiều quan điểm tính khác nhau. Điều này cho thấy phương pháp tính kết hợp nền - cọc làm việc đồng thời phản ánh gần đúng với hệ nền - cọc thực tế. Bên cạnh phương pháp chưa đánh giá sự phân bố ứng suất - độ bền khi đến giới hạn, mà chỉ giả định các mặt trượt đơn giản hóa (trượt đất xung quanh cọc, trượt trụ tròn, ...v.v) để xác định sức chịu tải, vì vậy có nhiều công thức thực nghiệm khác nhau. Tính dự đoán lún của hệ nền - cọc được tính toán quy đổi tương đương về nền đồng nhất.

2.3. Cơ sở lý thuyết

Theo N.I. Bêdukhop, phương trình cân bằng ứng suất theo phương x, y có dạng [4].

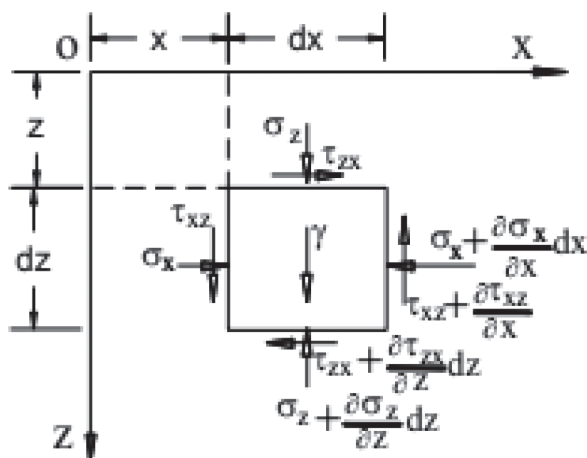
$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} = 0 \\ \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} - \gamma = 0 \end{cases} \quad (1)$$

với: $\sigma_x, \sigma_z, \tau_{xz}$ – thành phần ứng suất tại một điểm;

γ - trọng lượng riêng của đất nền tại vị trí khảo sát.

Do đất là vật liệu đàn hồi, trạng thái ứng suất tại một điểm được viết tương thích biên dạng:

$$\left(\frac{\partial^2 (\sigma_x + \sigma_z)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 (\sigma_x + \sigma_z)}{\partial z^2} \right) \cdot (\sigma_x + \sigma_z) = 0 \quad (2)$$



Hình 1. Các thành phần ứng suất của phân tố đất [3].

Flamant sử dụng kết quả xác định ứng suất lực tập trung thẳng đứng đặt trên nửa không gian đàn hồi đồng nhất của Boussinesq, để xác định. Bài toán thực tế là khá phức tạp, do đó việc tìm lời giải chính xác rất khó thông thường sử dụng phương pháp giải gần đúng, bằng cách làm giảm điều kiện biên tương ứng cả tĩnh học và động học, và điều kiện liên tục ...v.v. phương pháp năng lượng được ứng dụng cho giải bài toán này, trực tiếp từ nguyên lý biến phân, cân bằng thực của vật thể khác với dạng khả dĩ, năng lượng toàn phần của hệ có giá trị cực tiểu, theo nguyên lý

Castigliano [7], [8],. Trạng thái ứng suất thực tại một điểm của vật liệu đàn hồi được xác định từ các phương trình (1) và (2).

$$\frac{1}{E} \int \left(\frac{\sigma_x^2}{2} + \frac{\sigma_z^2}{2} - \nu \cdot \sigma_x \cdot \sigma_z + (1 + \nu) \cdot \tau_{xz}^2 \right) \cdot d\Omega \rightarrow \min \quad (3)$$

với: ν – hệ số poisson;

E – mô đun đàn hồi;

Ω - miền lấy tích phân của nền đất.

Xác định ứng suất của hệ cọc xi măng đất - nền đất sử dụng điều kiện cực tiểu của ứng suất tiếp lớn nhất ($\tau_{\max}$). Từ hệ phương trình (1) xác định được trạng thái ứng suất của nền đất được gia cố cọc xi măng đất.

$$\begin{cases} \tau_{\max} = \frac{\sigma_x - \sigma_z}{2} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2} \right)^2 + \tau_{xz}^2} \\ \sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} \end{cases} \quad (4)$$

Trạng thái ứng suất tại 1 điểm được xác định:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_x - \sigma_z}{2} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2} \right)^2 + \tau_{xz}^2} \rightarrow \min$$

Hàm mục tiêu của trạng thái ứng suất của hệ cọc xi măng đất - nền đất:

$$Z = \frac{1}{G} \int \tau_{\max}^2 \cdot d\Omega \rightarrow \min \quad (5)$$

Hay

$$\begin{aligned} Z &= \frac{1}{G_p} \int_{G_p} \left\{ \left(\frac{\sigma_{x,p} - \sigma_{z,p}}{2} \right)^2 + \tau_{xz,p}^2 \right\} \cdot d\Omega \\ &+ \frac{1}{G_s} \int_{G_s} \left\{ \left(\frac{\sigma_{x,s} - \sigma_{z,s}}{2} \right)^2 + \tau_{xz,s}^2 \right\} \cdot d\Omega \rightarrow \min \end{aligned} \quad (6)$$

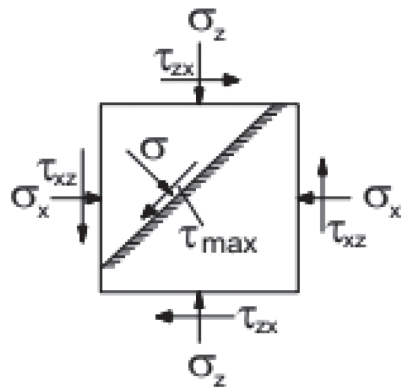
thỏa mãn điều kiện bền Mohr - Coulomb:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2} \right)^2 + \tau_{xz}^2} = c \cdot \cos \varphi + \left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2} \right) \cdot \sin \varphi \quad (7)$$

với:

Các chỉ số (p) là cọc; (s) là đất nền;

G – mô đun trượt của hệ cọc xi măng đất - nền.



Hình 2.Thành phần tác dụng ứng suất của phân tố đất [3]

Phương trình (7) điều kiện bền Mohr – Coulomb được viết lại dạng tổng quát, và là bất đẳng thức phi tuyến phụ thuộc vào trường ứng suất, độ bền cắt của vật liệu tại điểm khảo sát:

$$f = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2} - c \cdot \cos \varphi - \left(\frac{\sigma_x + \sigma_z}{2}\right) \cdot \sin \varphi \leq 0 \quad (8)$$

Ta quan điểm cả hệ cọc xi măng đất - nền đất vật liệu đàn hồi chịu nén, điều kiện $\tau_{\max} \rightarrow \min$ với điều kiện cân bằng ứng suất, điều kiện bền Mohr – Coulomb để xác định trạng thái ứng suất, độ bền của cả hệ đất nền được gia cố cọc xi măng đất. Hàm mục tiêu (6) bài toán quy hoạch phi tuyến có ràng buộc nên sử dụng Matlab để giải [5].

2.4. Bài toán, ứng suất của giải pháp gia cố nền bằng cọc xi măng đất

Đất nền khu vực nghiên cứu có các đặc trưng cơ lý theo Bảng 1, được khảo sát với mức tải trọng phân bố bên trên $p = 20 \text{ kN/m}^2$, tương ứng 2 trường hợp trước và sau khi được gia cố cọc xi măng đất.

Bảng 1: Các đặc trưng cơ lý của đất nền

TT	Mô tả	Kí hiệu	Đơn vị	Giá trị
1	Trọng lượng riêng	γ	kN/m^3	16,15
2	Lực dính đơn vị	c	kPa	6,97
3	Góc nội ma sát	ϕ	độ	6,18

Cọc xi măng đất có kích thước hình học và các đại lượng đặc trưng trình bày Bảng 2.

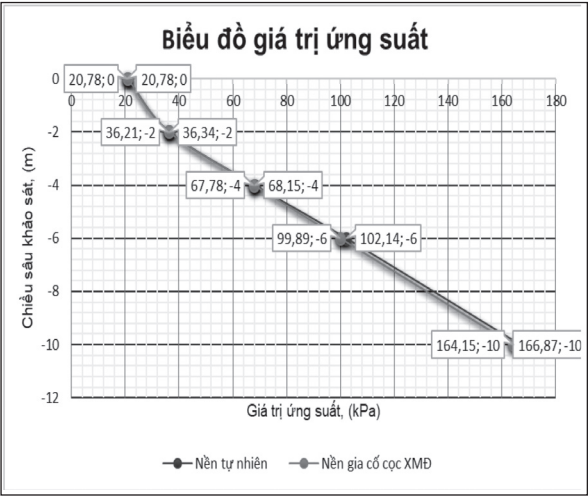
Bảng 2: Kích thước hình học cọc xi măng đất

Kích thước	Kí hiệu	Đơn vị	Giá trị
Chiều dài	l_p	m	6,0
Đường kính	D_p	m	0,8
Trọng lượng riêng	γ_p	kN/m^3	18,1
Góc ma sát	φ_p	độ	23,6
Lực dính	c_p	kPa	39,0

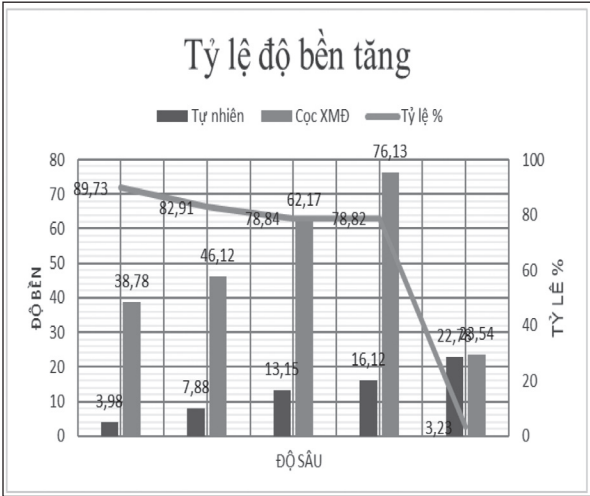
Kết quả tính toán được trình bày Bảng 3.

Bảng 3: Kết quả ứng suất - độ bền tại trục tim

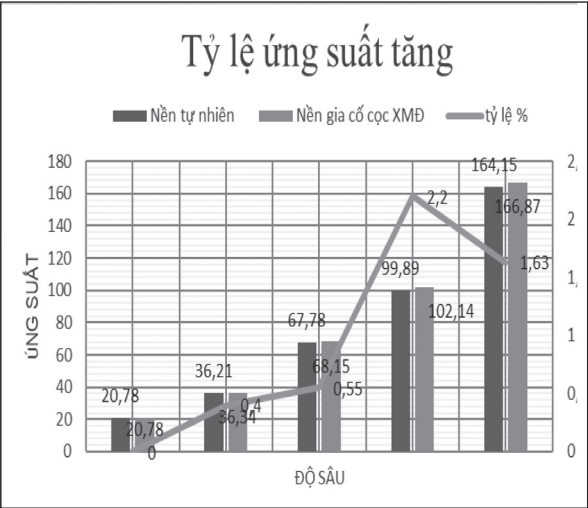
Chiều sâu khảo sát	Ứng suất tại trục tim			Độ bền tại trục tim (7)		
	Nền đất tự nhiên, $\int_z$ (kPa)	Nền đất gia cố cọc XMD, $\int_z$ (kPa)	tỷ lệ (%)	Nền đất tự nhiên	Nền đất gia cố cọc XMD	tỷ lệ (%)
0,0	20,78	20,78	0,0	-3,98	-38,78	89,73
2,0	36,21	36,34	0,4	-7,88	-46,12	82,91
4,0	67,78	68,15	0,55	-13,15	-62,17	78,84
6,0	99,89	102,14	2,2	-16,12	-76,13	78,82
10,0	164,15	166,87	1,63	-22,78	-23,54	3,23



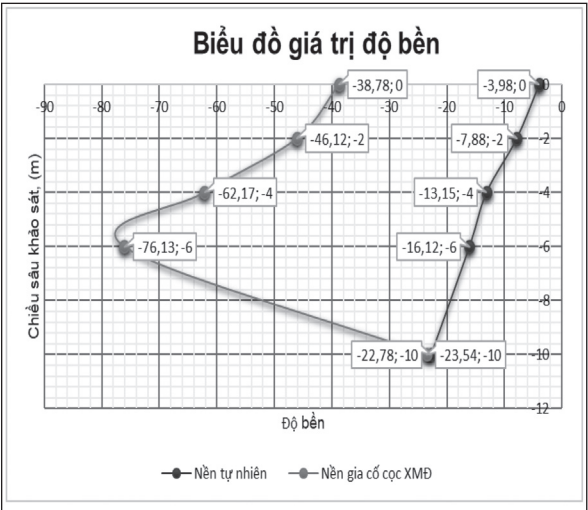
Hình 3. Giá trị thành phần ứng suất của trục tim khảo sát trước và sau khi gia cố cọc xi măng đất.



Hình 6. Tỷ lệ phần trăm tăng theo giá trị độ bền trước và sau khi gia cố cọc xi măng đất.



Hình 4. Tỷ lệ phần trăm (%) tăng tương ứng độ sâu trước và sau khi gia cố cọc xi măng đất.



Hình 5. Giá trị độ bền theo trục tim khảo sát trước và sau khi gia cố cọc xi măng đất.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả nghiên cứu

Những kết quả tính toán từ Bảng 3 cho thấy độ bền tăng nhiều trong đoạn chiều dài cọc xi măng đất được gia cố ($z \leq l_p$), tỷ lệ tăng tương đương 78,82% - 89,73% và giảm sau khi chiều sâu qua khỏi đoạn cọc được gia cố ($z > l_p$). Trong khi ứng suất chịu nén (σ_z) theo chiều sâu vẫn tăng. Nhìn chung, nền đất được gia cố cọc xi măng đất tăng khả năng chịu nén và tăng dần độ bền theo phạm vi chiều cọc được gia cố.

3.2. Thảo luận

So sánh với kết quả của các nhà khoa học nghiên cứu trước thấy phù hợp. Bài báo trình bày một dạng đất nền đồng nhất, cần phát triển với đất nền nhiều lớp, có đặc trưng cơ lý đa dạng về dẻo, rời. Đồng thời nghiên cứu phát triển với nền đất được gia cố cọc xi măng đất xét đến sự làm việc nhóm cọc.

4. KẾT LUẬN

Bài toán được xác định trạng thái ứng suất của đất nền với nghiệm độ bền phương trình (6) < 0 ; Khảo sát phân tích diễn biến thay đổi ứng suất và độ bền của đất nền trước và sau khi được gia cố cọc xi măng đất trong phạm vi $z \leq l_p$.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- (Người dịch : Phan Ngọc Châu), Hà Nội, 1978.
- [1] Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN9403-2012, *Gia cố nền đất yếu – Phương pháp trụ đất xi măng*, Hà Nội, 2012.
- [2] Công ty Tư vấn Xây dựng và Môi trường, *Hồ sơ thiết kế xử lý bồn chứa xăng dầu khu công nghiệp Trà Nóc- Cần Thơ*, Cần Thơ, 2000.
- [3] Karl Terzaghi, *Theoretical soil mechanics*, Wiley New york, 1943.
- [4] N.I.Bêdukhốp, *Cơ sở lý thuyết đàn hồi, lý thuyết dẻo, lý thuyết từ biến, tập 1*, NXB Đại học và Trung học chuyên nghiệp.
- [5] Nguyễn Hoàng Hải, Nguyễn Việt Anh, *Lập trình matlab và ứng dụng*, NXB Khoa học Kỹ thuật, 2020.
- [6] Nguyễn Ngọc Bích, *Các phương pháp cải tạo đất yếu trong xây dựng*, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2011.
- [7] Nguyễn Trâm, *Phương pháp số*, Tủ sách sau đại học, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 1996.
- [8] Tạ Văn Đĩnh, *Phương pháp sai phân và phương pháp phần tử hữu hạn*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2002.