

PHÂN TÍCH MỘT SỐ YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN MỨC ĐỘ CỐ KẾT KHI XỬ LÝ NỀN BẰNG GIẾNG CÁT KẾT HỢP VỚI GIA TẢI TRƯỚC

Đặng Công Danh⁹

Tóm tắt: Bài báo này trình bày ứng dụng giải pháp xử lý nền đất yếu bằng giếng cát kết hợp gia tải trước để tính toán, dự báo lún cho nền đất yếu. Trong quá trình nghiên cứu, tác giả đã sử dụng phương pháp giải tích, phần mềm Plaxis 2D v8.5 (Hardening Soil) và so sánh với kết quả quan trắc thực tế để kiểm chứng phương pháp tính toán nào gần với thực tế nhất. Ngoài ra, tác giả còn phân tích sự ảnh hưởng của khoảng cách, chiều sâu và đường kính giếng cát, để đưa ra giải pháp thiết kế tối ưu về kỹ thuật xử lý đất yếu.

Từ khóa: Xử lý nền bằng giếng cát kết hợp với gia tải trước.

Abstract: This paper presents the solution for soft soil improvement using sand well combined with surcharge preloading to calculate and estimate the settlement of soft ground. During the study process, the analytical method and Plaxis 2D v8.5 software (Hardening Soil) are used. The findings of calculations are compared with the monitored actual settlement in situ to verify which calculation method is more exact. In addition, the effects of distances, lengths and diameters of sand well are examined to determine the corresponding consolidation rate of soft soil. This is a reference basis to provide optimal design solution of weak soil treatment techniques.

Keywords: Treatment of foundation by sand well combined with preloading

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay có nhiều giải pháp để xử lý đất yếu: Giải pháp giếng cát kết hợp với gia tải trước; giải pháp bác thấm kết hợp với gia tải trước... Các giải pháp này đã qua thử nghiệm và đã có kết quả làm tăng nhanh quá trình cố kết của nền đất yếu, làm cho hệ số rỗng giảm lại giúp cho nền cố kết, làm tăng tốc độ lún so với nền thiên nhiên. Trong các giải pháp trên thì giải pháp xử lý đất yếu bằng giếng cát kết hợp với gia tải trước được dùng phổ biến bởi nó nhiều ưu điểm như: (1) tốc độ cố kết nhanh hơn bác thấm nên thời gian chờ lún cố kết và độ lún dư sau khi xử lý nhỏ. (2) sử dụng trong vùng có chiều dày lớp đất yếu lớn, chiều sâu xử lý lớn hơn 20m. (3) khả năng chống mất ổn định trượt sâu cao hơn bác thấm do ngoài tác dụng chính là thoát nước để cố kết đất, còn tác dụng cải thiện nền đất yếu ngay trong quá trình thi công giếng cát. (4) mức độ rủi ro thấp, diễn biến lún không phức tạp.

⁹ Thạc sĩ Trường Đại học Nam Cần Thơ

Tuy nhiên việc sử dụng giải pháp xử lý đất yếu bằng giếng cát kết hợp với gia tải trước còn một số vấn đề tồn tại như: (1) cát có hệ số thấm cao dễ lấp giếng cát. (2) có thể xảy ra hiện tượng cát nhồi bị ngất quãng trong giếng, khi đó tác dụng thoát nước bị giảm. (3) chỉ phát huy hiệu quả cao nếu đất yếu có hàm lượng hữu cơ không lớn (thường <10%) và tải trọng đắp lớn hơn áp lực tiền cố kết của đất yếu. (4) khi sử dụng giếng cát gia cố nền đất yếu cần đảm bảo được độ đồng đều của cát trong suốt chiều dài giếng cát, tránh hiện tượng đứt đầu giếng cát dưới tác dụng của các loại tải trọng.

2. TỔNG QUAN VỀ GIẾNG CÁT

Giếng cát là một cột cát liên tục có tiết diện ngang hình tròn, đường kính không đổi được hình thành sau quá trình đưa một lượng cát chọn lọc vào trong tầng đất yếu qua ống vách bằng phương pháp ấn và rút ống vách. Giếng cát được dùng để dẫn nước từ dưới nền đất yếu lên lớp đệm cát phía trên và thoát ra ngoài, nhờ đó tăng tốc độ cố kết, tăng nhanh sức chịu tải do thay đổi một số chỉ tiêu cơ lý cơ học về sức kháng cắt của bản thân đất yếu.

Giếng cát là một trong những biện pháp gia tải trước được sử dụng đối với các loại đất bùn, than bùn cũng như các loại đất dính bão hòa nước có tính biến dạng lớn... Ứng dụng khi xây dựng công trình có kích thước và tải trọng lớn thay đổi theo thời gian như nền đường, sân bay, bản đáy công trình thủy lợi....

3. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Phương trình cố kết tổng quát xét đến cố kết theo hai phương đứng và ngang được Biot (1941) đề xuất dựa trên lý thuyết cố kết đơn giản theo hai phương thẳng đứng của Terzaghi (1925) và Rendulic (1937).

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_{vz} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + C_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} \right) \quad (1)$$

Trong đó:

$u = u(r, z, t)$ – Áp lực nước lỗ rỗng;

C_v, C_h – hệ số cố kết đứng, ngang;

z – Chiều sâu theo phương đứng;

r – Khoảng cách hướng tâm của điểm đang xét, từ tâm của trụ đất tiêu nước;

t – Thời gian;

Phương trình trên có thể được phân thành hai thành phần:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_{vr} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right); \text{ Phần thấm xuyên tâm và,}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_{vz} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}; \text{ Phần thấm thẳng đứng;}$$

Nếu bài toán thấm xem xét trong điều kiện chỉ có thấm thẳng đứng, phương trình thấm một chiều có dạng:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_{vz} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2)$$

Phương trình (2) là phương trình vi phân cổ kết thấm một chiều theo lý thuyết cổ kết của Terzaghi (1943).

Dạng lời giải của phương trình này tùy thuộc vào điều kiện ban đầu và điều kiện biên thoát nước của lớp đất cổ kết.

Trong sơ đồ cổ kết có các điều kiện sau:

- Tải phân bố đều kín khắp gia tăng ứng suất không đổi theo chiều sâu;
- Áp lực nước lỗ rỗng thặng dư ban đầu tại mọi điểm trong lớp đất bằng với gia tăng ứng suất ngoài lên lớp đất;

Khi giải phương trình (2) ta sẽ được giá trị áp lực lỗ rỗng thặng dư tại thời điểm t ở độ sâu z là:

$$u_{(z,t)} = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{2u_i}{M} \sin \frac{M_z}{H} x \exp(-M^2 T_v) \quad (3)$$

$$\text{Với } M = \frac{\pi}{2}(2m+1) \quad (4)$$

$$\text{Và nhân tố thời gian: } T_v = \frac{C_v t}{H^2}; \quad (5)$$

Trong đó H : là chiều dài đường thoát nước;

Độ cổ kết ở thời điểm t của cả bề dày lớp cổ kết là:

$$U = \frac{S_t}{S_\infty} \approx 1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-\frac{\pi^2}{4} T_v} \quad (6)$$

Ta nhận thấy: $U_v = f(T_v)$, (Casagrande, 1939 và Taylor, 1948) đưa ra một lời giải gần đúng có dạng:

$$\text{Khi } U_v < 60\% \rightarrow T_v = \frac{\pi}{4} \left(\frac{U_v}{100}\right)^2$$

$$\text{Khi } U_v > 60\% \rightarrow T_v = 1.781 - 0.933 \log(100 - U_v)$$

4. MÔ PHỎNG BÀI TOÁN XỬ LÝ NỀN BẰNG GIẾNG CÁT KẾT HỢP GIA TẢI TRƯỚC ĐỂ XỬ LÝ NỀN ĐẤT YẾU DƯỚI ĐOẠN ĐƯỜNG DẪN VÀO CẦU VƯỢT IC3 - DỰ ÁN XÂY DỰNG CẦU CẦN THƠ - TP. CẦN THƠ.

4.1. Giới thiệu công trình

- Tên dự án: Xây dựng cầu Cửu Long (Cần Thơ), Gói 2 Nút giao IC3 giai đoạn 2;
- Địa điểm xây dựng: Quận Cái Răng, Thành phố Cần Thơ;
- Loại đường cao tốc, bề rộng nền đường $B = 24,1\text{m}$, đắp gia tải: $3,0\text{m}$;
- Để tiết kiệm chi phí đầu tư của dự án, việc thi công được chia thành hai giai đoạn (Giai đoạn 1: xây dựng nút giao thông đồng mức, Giai đoạn 2: xây dựng nút giao thông khác mức bằng cầu vượt).

4.2. Đặc điểm địa chất

Bảng 1: Bảng chỉ tiêu cơ lý của đất

Tên lớp đất		Lớp 1: Cát đắp	Lớp 2: Bùn sét	Lớp 3: Sét béo	
Thông số	Tên	Đơn vị	Chọn	Chọn	Chọn
Chiều dày lớp đất		m	5,5	14,5	13,0
Dạng vật liệu	Model	-	HS	HS	HS
Ứng xử của nền đất	Type	-	Draind	Undrain	Undrain
Trọng lượng riêng tự nhiên	γ_{unsat}	kN/m^3	19,3	16,26	19,10
Trọng lượng riêng đất no nước	γ_{sat}	kN/m^3	20,0	16,46	19,40
Hệ số thấm ngang	k_x	m/day	1,368	4,72E-08	1,05E-05
Hệ số thấm thẳng đứng	k_y	m/day	0,684	2,36E-08	5,27E-06
Mô đun đàn hồi	E_{ref}	kN/m^2	14.500	1,06E+03	8.339
Mô đun đàn hồi tiếp tuyến	$E_{\text{eod}}^{\text{ref}}$	kN/m^2	14.500	1,06E+03	8.339
Mô đun đàn hồi dờ tải	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	kN/m^2	43.500	3,17E+03	25.017
Hệ số Poisson	Theo Worth (1975)	ν	0,31	0,27	0,29
Lực dính đơn vị	C_{ref}	kN/m^2	4,5	11,53	20,63
Góc nội ma sát	φ	độ	26,6	20,22	22,44
Góc nở	ψ	độ	0	0	0

Tên lớp đất			Lớp 1: Cát đắp	Lớp 2: Bùn sét	Lớp 3: Sét béo
Độ ẩm tự nhiên	W	%	21,3	56,18	28,80
Hệ số rỗng	e_0	-	0,672	1,517	0,83
Giới hạn chảy	W_L	%	0	58	65,5
Giới hạn dẻo	W_p	%	0	28,56	29,8
Chỉ số dẻo	I_p	%	0	29,44	35,7
Độ sệt	B	-	0	0,938	0
Tỷ trọng hạt	G	-	2,66	2,61	2,72
Độ bão hòa	S_r	%	84,1	96,64	94,3
Chỉ số nén	C_c	-	0,151	0,57	0,386
Chỉ số nén lại	C_r	-	0,011	0,096	0,086
Áp lực tiền cố kết	P_c	kN/m ²	26,50	70,00	90,00

Chiều cao nền đắp gia tải của công trình là 3,0m. Số lớp đất đắp là 4 lớp. Tiến hành mô phỏng theo 9 giai đoạn và giếng cát đã được thi công trước khi gia tải.

- Giai đoạn 1: thi công giếng cát kết hợp với thi công lớp cát đệm thoát nước trong thời gian 1 ngày;

- Giai đoạn 2: Đắp lớp 1 từ mặt đất tự nhiên ứng với cao độ $\pm 0.000\text{m}$ lên $+0,4\text{m}$ trong thời gian 3 ngày;

- Giai đoạn 3: Cố kết lớp 1 trong thời gian 8 ngày;

- Giai đoạn 4: Đắp lớp 2 từ cao độ $+0,400\text{m}$ lên $+1,3\text{m}$ trong thời gian 6 ngày;

- Giai đoạn 5: Cố kết lớp 2 trong thời gian 8 ngày;

- Giai đoạn 6: Đắp lớp 3 từ cao độ $+1,3$ lên $+1,6\text{m}$ trong thời gian 1 ngày;

- Giai đoạn 7: Cố kết lớp 3 trong thời gian 9 ngày;

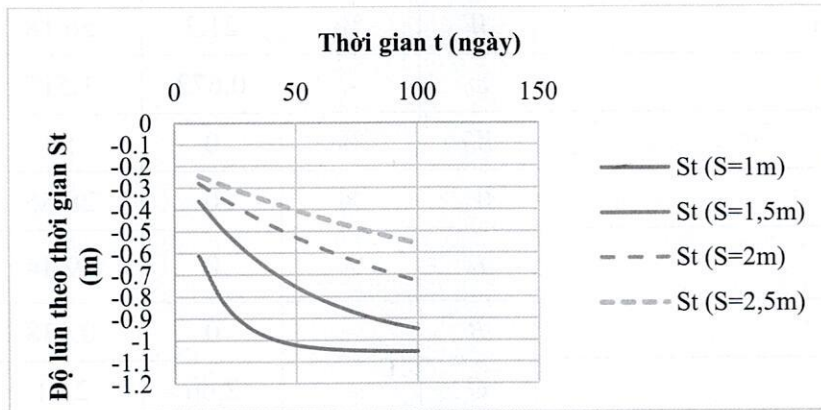
- Giai đoạn 8: Đắp lớp 4 từ cao độ $+1,6$ lên $+3,0\text{m}$ trong thời gian 11 ngày;

- Giai đoạn 9: Cố kết lớp 4 trong thời gian 52 ngày;

Tổng thời gian xử lý nền : **99 ngày**;

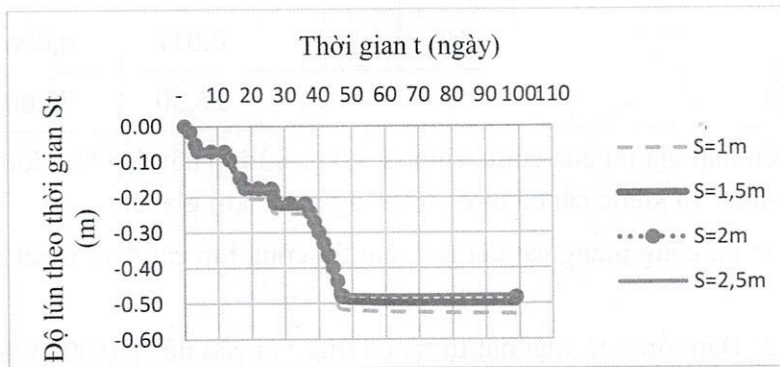
4.3. Kết quả tính toán $L=18m$, $d_w=0,4m$ và thay đổi khoảng cách S

4.3.1. Phương pháp giải tích



Hình 1. Biểu đồ S_t-t khi thay đổi khoảng cách (PP giải tích)

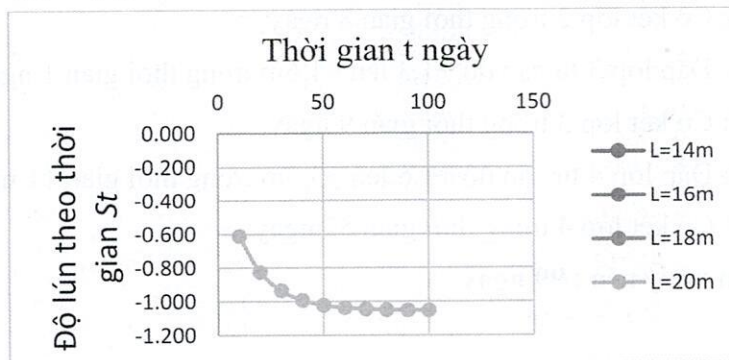
4.3.2. Phương pháp Plaxis 2D (Hardening Soil)



Hình 2. Biểu đồ S_t-t khi thay đổi khoảng cách (PP Plaxis)

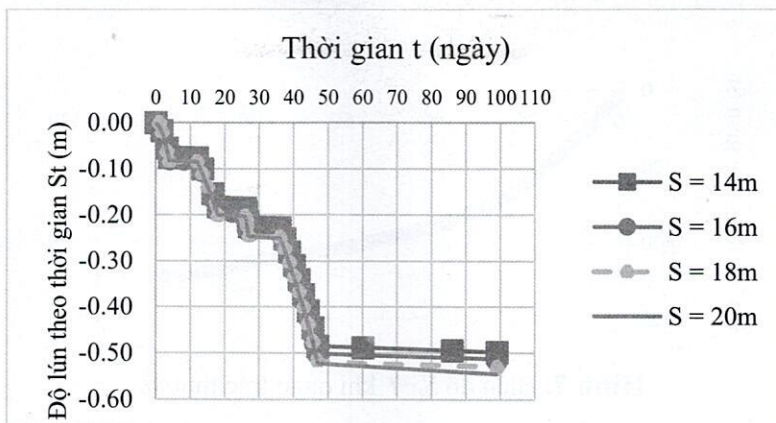
4.4. Kết quả tính toán $d_w=0,4m$, $S = 1m$ và thay đổi chiều sâu L

4.4.1. Phương pháp giải tích



Hình 3. Biểu đồ S_t-t khi thay đổi chiều sâu (PP giải tích)

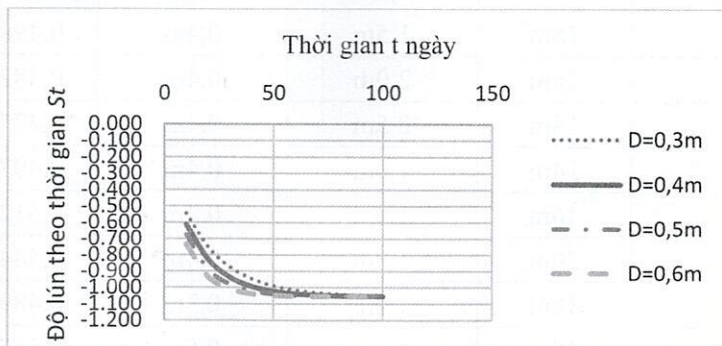
4.4.2. Phương pháp Plaxis 2D (Hardening Soil)



Hình 4. Biểu đồ S_t-t khi thay đổi chiều sâu (PP Plaxis)

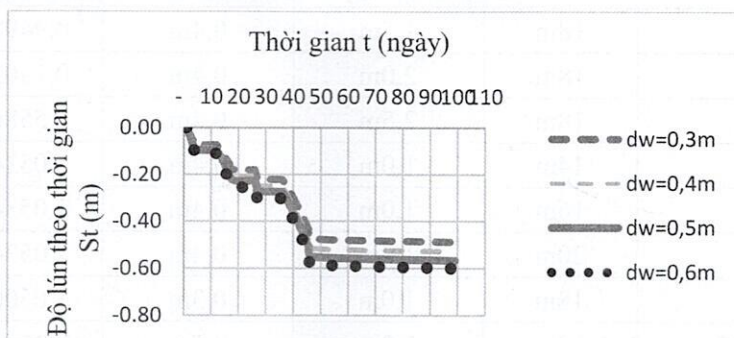
4.5. Kết quả tính toán $S = 1m, L=18m$ và thay đổi đường kính d_w

4.5.1. Phương pháp giải tích



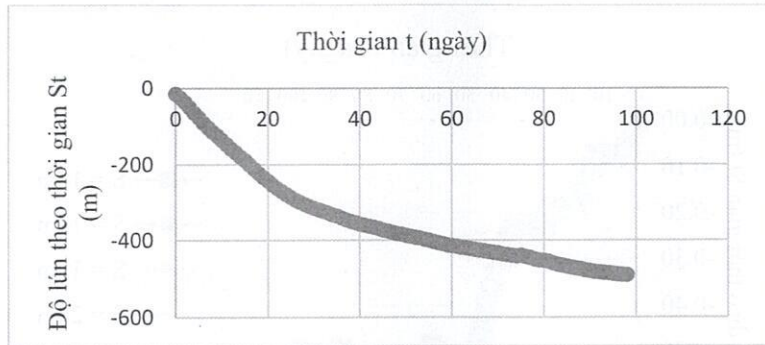
Hình 5. Biểu đồ S_t-t khi thay đổi đường kính (PP giải tích)

4.5.2. Phương pháp Plaxis 2D (Hardening Soil)



Hình 6. Biểu đồ S_t-t khi thay đổi đường kính (PP Plaxis)

5. KẾT QUẢ QUAN TRẮC LÚN CÔNG TRÌNH



Hình 7. Biểu đồ S_t-t khi quan trắc thực tế

6. KẾT QUẢ TỔNG HỢP

Bảng 2: Tổng hợp kết quả lún của các phương pháp tính khác nhau.

Phương pháp tính	Chiều sâu	Khoảng cách	Đường kính	Độ lún	Thời gian
Plaxis 2D (HS)	18m	1,0m	0,4m	0,5293m	99 ngày
Plaxis 2D (HS)	18m	1,5m	0,4m	0,4986m	99 ngày
Plaxis 2D (HS)	18m	2,0m	0,4m	0,4827m	99 ngày
Plaxis 2D (HS)	18m	2,5m	0,4m	0,4772m	99 ngày
Plaxis 2D (HS)	14m	1,0m	0,4m	0,4978m	99 ngày
Plaxis 2D (HS)	16m	1,0m	0,4m	0,5129m	99 ngày
Plaxis 2D (HS)	20m	1,0m	0,4m	0,5448m	99 ngày
Plaxis 2D (HS)	18m	1,0m	0,3m	0,4890m	99 ngày
Plaxis 2D (HS)	18m	1,0m	0,5m	0,5672m	99 ngày
Plaxis 2D (HS)	18m	1,0m	0,6m	0,6000m	99 ngày
TCVN: 9355-2012	18m	1,0m	0,4m	1,0534m	99 ngày
TCVN: 9355-2012	18m	1,5m	0,4m	0,9498m	99 ngày
TCVN: 9355-2012	18m	2,0m	0,4m	0,7305m	99 ngày
TCVN: 9355-2012	18m	2,5m	0,4m	0,5586m	99 ngày
TCVN: 9355-2012	14m	1,0m	0,4m	1,0534m	99 ngày
TCVN: 9355-2012	16m	1,0m	0,4m	1,0534m	99 ngày
TCVN: 9355-2012	20m	1,0m	0,4m	1,0534m	99 ngày
TCVN: 9355-2012	18m	1,0m	0,3m	1,0500m	99 ngày
TCVN: 9355-2012	18m	1,0m	0,5m	1,0543m	99 ngày
TCVN: 9355-2012	18m	1,0m	0,6m	1,0545m	99 ngày
K.Q Quan Trắc	18m	1,0m	0,4m	0,490m	99 ngày

6. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

6.1. Kết Luận

1. Giải pháp xử lý nền đất yếu bằng giếng cát kết hợp gia tải trước làm tăng nhanh mức độ cố kết, và ổn định tổng thể của nền đường dẫn vào cầu vượt IC3, thời gian cố kết rút ngắn còn 99 ngày khi có xử lý bằng giếng cát so với 18,16 năm khi chưa xử lý.

2. Nghiên cứu ảnh hưởng của các tham số như khoảng cách, chiều sâu, đường kính giếng cát cho các kết quả khác nhau như sau:

+ Khi thay đổi khoảng cách giếng cát từ 1,0m đến 2,5m thì thời gian cố kết là tương đương nhau gần 48 ngày. Do đó, khi áp dụng cho các công trình tương tự nên xem xét tăng khoảng cách giếng cát đến mức hợp lý để giảm chi phí công trình.

+ Khi thay đổi chiều sâu giếng cát từ 14m đến 20m thì kết quả mức độ cố kết tính toán bằng phương pháp giải tích không thay đổi. Tuy nhiên, khi tính toán bằng phương pháp PTHH với mô hình Hardening Soil thì mức độ cố kết của đất yếu tăng lên nhưng không đáng kể ($L=14m$ tương đương $S_t=0,4978m$ và $L=20m$ tương đương $S_t=0,5448m$). Do đó cần lựa chọn chiều sâu giếng dựa vào chiều sâu chịu ảnh hưởng bởi tải trọng đắp H_a .

+ Khi thay đổi đường kính giếng cát thì gây ra ảnh hưởng lớn đến mức độ cố kết của nền đất yếu ở cả hai phương pháp tính toán. Phương pháp PTHH với $d_w=0,3m$ cho $S_t=0,48m$ trong thời gian 47 ngày so với $d_w=0,6m$ cho kết quả $S_t=0,59m$ trong thời gian 47 ngày. Do đó để đẩy nhanh thời gian xử lý nền đất yếu khi thiết kế cần xem xét tăng đường kính giếng cát.

6.2. Kiến nghị

1. Vì còn hạn chế về thời gian nghiên cứu nên tác giả chưa khai thác và phân tích các kết quả trong bài toán giếng cát kết hợp với gia tải trước một cách chi tiết và khái quát, nên kết quả nghiên cứu chỉ trong khu vực đường dẫn vào cầu vượt IC3 - Tp. Cần Thơ.

2. Hướng nghiên cứu tiếp theo của đề tài này, tác giả sẽ xem xét thêm về sức cản của giếng cát F_r , do trong quá trình thi công làm xáo trộn đất yếu dưới nền gây gia tăng sức cản thấm của giếng cát.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. TCVN 9355:2012 Gia cố nền đất yếu bằng bác thấm thoát nước - Ground improvement by pretabricated vertical drain (PVD);
- [2]. TCVN 9362:2012 Tiêu chuẩn thiết kế nền nhà và công trình - Specifications for design of foundation for buildings and structures;
- [3]. TCVN 11713-2017 “Gia cố nền đất yếu bằng giếng cát - thi công và nghiệm thu”;
- [4]. Võ Phán, Phan Lư Minh Phượng - “Cơ học đất”, Đại học Bách khoa TP HCM (2010), pp30;

- [5]. Võ Phan: “Kỹ thuật nền móng”, Tp HCM 2010;
- [6]. Bộ Giao thông Vận tải (2000), Quy trình Khảo sát Thiết kế Nền đường ô tô đắp trên đất yếu, 22TCN-262-2000, pp. 151-193;
- [7]. Trần Quang Hộ - “Công trình trên nền đất yếu”, Đại học Quốc gia TPHCM (2004);
- [8]. Trần Văn Việt. Cẩm nang dùng cho kỹ sư Địa kỹ thuật. Nhà xuất bản Xây dựng Hà Nội, 2010;
- [9]. GS. TS Dương Ngọc Hải, ThS Nguyễn Đức Nghiêm (2011), Xác định chiều sâu vùng hoạt động cố kết theo thời gian trong đất yếu dưới tác dụng của tải trọng nền đắp và ứng dụng.
- [10]. GS.TS Dương Ngọc Hải, ThS Nguyễn Đức Nghiêm (2011), Xác định chiều sâu vùng hoạt động cố kết theo thời gian trong đất yếu dưới tác dụng của tải trọng nền đắp và ứng dụng.
- [11]. Holtz, R. D., Jamiolkowski, M. B., Lancellotta, R., and Pedroni, R. (1991), “Prefabricated vertical drains: design and performance”, CIRIA Ground Engineering report: Ground improvement, Butterworth - Heinemann Ltd., London, PP'. 13;
- [12]. Carrilo, N. (1942) “Simple two and three dimensional cases in the theory of consolidation of soils”. J.Math. Phys., 32, 1-5;
- [13]. Bo, M.W., Chu, J., Low, B.K., and Chao, V. (2003), “Soil Improvement: Prefabricated Vertical drain techniques”, Thompson, Singapore, pp. 144;
- [14]. Rixner, J.J., Kraemer, S.R., and Smith, A.D. (1986): Prefabricated vertical drains, Technical report, Vol. I: Engineering guidelines, Federal Highway Administration Report FHWA/RD-86/168;
- [15]. Hansbo, S. (1981). Consolidation of fine-grained soils by prefabricated drain. Proc. 10th Int. Conf. Soil Mech., Stockholm, Vol. 3, Paper 12/22. Pp. 677-682;
- [16]. Indraratna, B., and Redana, I. W. (1997). Plane strain modeling of smear effects associated with vertical drains. J. Geotech. Eng., ASCE, 123(5), pp.474-478.
- [17]. Indraratna, B. and Redna, I. W. (2000), “Numerical modeling of vertical drains with smear zone and well resistance installed in soft clay”, Canadian;
- [18]. Hirk, C. C., Pyrah, I. C., Russell, D. (1992). Finite element modeling of vertical drains beneath embankments on soft ground. Geotechnique, 42 (3), Pp. 499-511;
- [19]. Brinkgreve, R. B. J. (2002). Plaxis 2D-Version 8 Manual, Balkema;
- [20]. Biot, M. A (1941). General theory of three dimensional consolidation. J. Appl. Phys., 12, 155-164.