



THÍ NGHIỆM XUYÊN TÍNH VÀ ỨNG DỤNG TRONG PHÂN TÍCH NỀN ĐẤT YẾU

Phan Huy Đông^{1*}

Tóm tắt: Thí nghiệm xuyên tĩnh (CPTu) đã và đang được sử dụng một cách có hiệu quả cho công tác khảo sát địa chất nói chung cũng như khảo sát phục vụ công tác thiết kế và thi công xử lý nền đất yếu nói riêng ở nhiều nơi trên thế giới. Trong hàng thập kỷ qua, rất nhiều các cải tiến đã được thực hiện nhằm nâng cao độ chính xác cũng như năng lực của máy xuyên. Bài báo này trình bày một số cải tiến của máy xuyên CPTu hiện nay và một số ứng dụng của thí nghiệm CPTu cho phân tích thiết kế xử lý nền đất yếu như: sức kháng cắt không thoát nước (S_u), hệ số thấm theo phương ngang (k_h) và độ cố kết của lớp đất ($U\%$).

Từ khóa: Máy xuyên tĩnh; nền đất yếu; sức kháng cắt không thoát nước; hệ số thấm ngang; áp lực nước lỗ rỗng.

Cone Penetration Test and Applications to soft soil analysis.

Abstract: The cone penetration test (CPT) has been effectively applied for geology investigation as well as for design and construction of soft soil improvement in over the world. Over the past decades, numerous innovations have been implemented in order to enhance the accuracy of measurement and capacity of penetration depth. This paper presents recent advances of CPT test for data deduction on soft soil improvement such as undrained shear strength (S_u), horizontal hydraulic conductivity (k_h) and consolidation degree of soil layers during soil improvement ($U\%$).

Keywords: Cone penetration test; soft soil; undrained shear strength; porewater pressure; horizontal hydraulic conductivity.

Nhận ngày 6/02/2017; sửa xong 10/3/2017; chấp nhận đăng 30/5/2017

Received: February 6, 2017; revised: March 10, 2017; accepted: May 30, 2017



1. Tổng quan

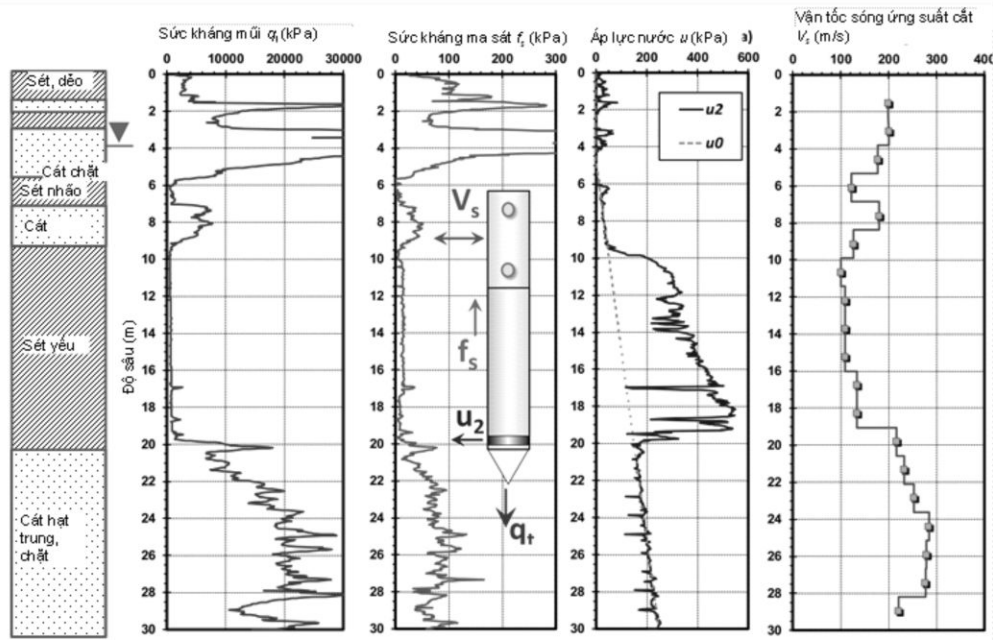
Thí nghiệm CPT (Cone penetration test), được phát triển đầu tiên vào những năm 1930, sau đó được ứng dụng rộng rãi trong công tác khảo sát địa chất ở Bắc Mỹ [1] và một số nước Châu Âu, như Hà Lan với nhiều hãng sản xuất thiết bị xuyên thương mại như Gouda, Defl, Vandenberg [2]... Ở Việt Nam, thiết bị CPT cũng đã được ứng dụng khá sớm với các thiết bị được sử dụng phổ biến như máy xuyên PAGANI, Geomil... Tiêu chuẩn về qui trình thí nghiệm CPT đầu tiên đã được ban hành là TCXD 174:2003, sau đó được thay thế bằng tiêu chuẩn TCVN 9352:2012 về thí nghiệm CPT nói chung và tiêu chuẩn TCVN 9846:2013 về thí nghiệm xuyên tĩnh kèm với đầu đo áp lực nước (CPTu).

Hiện nay, thí nghiệm CPT đã được tích hợp thêm phần điện tử và tự động hóa nên các thông số đo được nhiều hơn và chính xác hơn. Ví dụ, đầu đo nghiêng để cảnh báo khi độ nghiêng của cần xuyên vượt giá trị cho phép, đầu đo điện trở suất RCPTu [3] hay đầu đo sóng ứng suất cắt SCPTu [4]... Hình 1 trình bày kết quả điển hình của thí nghiệm xuyên tiên tiến có gắn thêm đầu đo sóng ứng suất. Chi tiết về thiết bị thí nghiệm, qui trình thí nghiệm và kiểm soát chất lượng có thể tham khảo tài liệu TCVN 9352:2012; TCVN 9846:2013, hoặc một số tài liệu chuyên môn khác như [5-7]...

Với mục đích trình bày một số cải tiến của thiết bị CPT và ứng dụng phân tích kết quả thí nghiệm phục vụ cho công tác thiết kế xử lý nền đất yếu, bài báo này sẽ trình bày tổng quan về thí nghiệm CPT và một số ví dụ phân tích kết quả thí nghiệm vào thiết kế xử lý nền.

¹ TS, Khoa Xây dựng Cầu đường, Trường Đại học Xây dựng.

*Tác giả chính. E-mail: dongph@nuce.edu.vn.



Hình 1. Kết quả thí nghiệm xuyên SCPT điển hình [8].



2. Phân tích kết quả thí nghiệm CPTu thực hiện trong nền đất yếu

2.1 Tương quan với sức kháng cắt không thoát nước, S_u

Sức kháng cắt không thoát nước (S_u) là một thông số rất quan trọng cho việc tính toán thiết kế công trình trên nền đất yếu. Ngoài các thí nghiệm xác định trực tiếp, S_u được xác định thông qua sức kháng xuyên q_t theo công thức sau:

$$S_u = \frac{q_t - \sigma_v}{N_k} \quad (1)$$

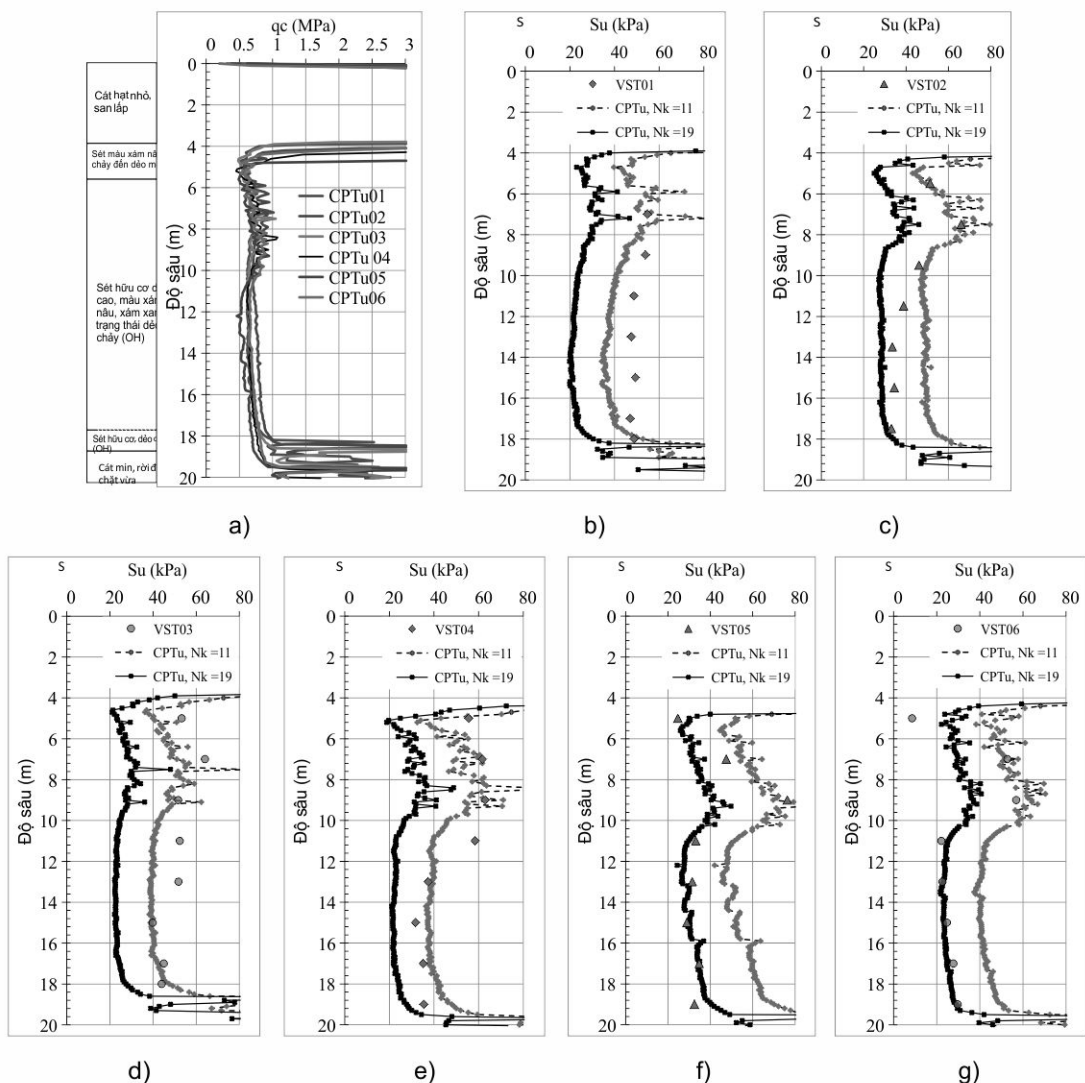
trong đó: q_t là sức kháng mũi xuyên tổng (sau khi đã hiệu chỉnh ảnh hưởng của áp lực nước đến sức kháng mũi xuyên, TCVN); σ_v là ứng suất tổng do trọng lượng bản thân của đất tại độ sâu thí nghiệm; N_k là hệ số hiệu chỉnh mũi xuyên. Giá trị N_k phụ thuộc vào một số yếu tố như điều kiện thí nghiệm, loại đất, tốc độ xuyên... Độ tin cậy của N_k quyết định đến độ chính xác của giá trị của S_u . Đã có rất nhiều nghiên cứu về mối tương quan S_u - q_t khi kết hợp với các thí nghiệm hiện trường hay thí nghiệm mẫu trong phòng xác định trực tiếp S_u . Bảng 1 tổng hợp một số giá trị N_k từ một số nghiên cứu tiêu biểu.

Bảng 1. Hệ số hiệu chỉnh mũi xuyên N_k

STT	Nguồn	Giá trị	STT	Nguồn	Giá trị
1	Terzaghi, [6]	9,3	5	Salgado, [11]	11-14
2	Meyerho, [8]	10,4	6	TCVN 9836:2013	11-19
3	Bemben and Myers, [9]	9,6	7	TCVN 9352: 2012	15-18
4	Konrad and Law, [10]	9,6			

Nhằm đánh giá độ tin cậy của giá trị S_u xác định từ thí nghiệm CPTu, bài báo này đã khảo sát mối tương quan giữa S_u xác định từ thí nghiệm CPTu với S_u xác định trực tiếp từ thí nghiệm cắt cánh tại hiện trường (VST-vane shear test) cho nền đất yếu ở hai Dự án 01 và Dự án 02 khác nhau tại khu vực Đồng bằng Sông Cửu Long (ĐBSCL).

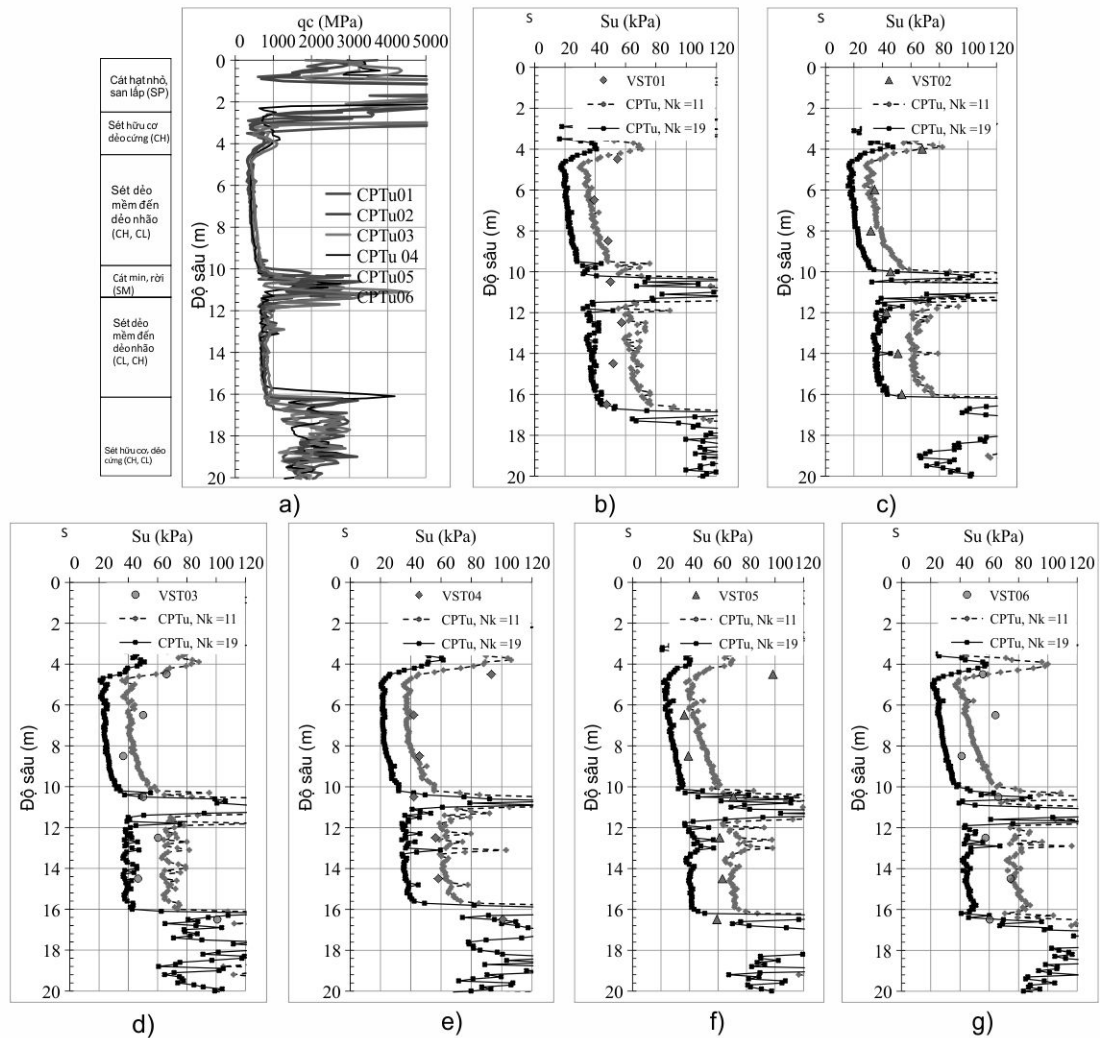
Dự án 01: Là dự án thuộc khu khí điện đậm Cà Mau. Nền đất yếu tương đối ổn định gồm các lớp sét, sét pha ở trạng thái dẻo nhão đến nhão, hàm lượng hữu cơ cao từ 10% đến 15%, chiều dày phân bố từ 18m đến 20m. Tại mỗi vị trí khảo sát địa chất, các thí nghiệm hiện trường khoan lấy mẫu kết hợp thí nghiệm VST và CPTu đã được thực hiện ở sát nhau (khoảng cách không quá 2m). Hình 2 lần lượt trình bày kết quả thí nghiệm CPTu tại 06 vị trí thí nghiệm khác nhau và so sánh kết quả S_u trực tiếp từ thí nghiệm VST và kết quả tính đổi từ thí nghiệm CPTu tại 06 vị trí tương ứng từ VST01 đến VST06. Trong đó, kết quả tính toán S_u với các trường hợp giá trị hiệu chỉnh N_k ở cận trên ($N_k=19$) và cận dưới ($N_k=11$).



Hình 2. Kết quả thí nghiệm xuyên và mối tương qua giữa giá trị S_u từ kết quả xuyên và từ thí nghiệm cắt cánh hiện trường tại Dự án 01

Dự án 02: Số liệu được tổng hợp tại khu vực trung tâm điện lực Sông Hậu, tỉnh Hậu Giang. Nền đất yếu có chiều dày phân bố từ 16m đến 21m, hàm lượng hữu cơ thấp dưới 5%. Trong đó, có lớp cát mịn xen kẽ ở độ sâu từ 10m đến 12m. Tương tự như trên, tại mỗi vị trí khảo sát địa chất, các thí nghiệm hiện trường khoan lấy mẫu kết hợp thí nghiệm VST và CPTu đã được thực hiện ở sát nhau. Hình 3 lần lượt trình bày kết quả thí nghiệm CPTu tại 06 vị trí thí nghiệm khác nhau và so sánh kết quả S_u thu được từ thí nghiệm cắt cánh VST và kết quả tính đổi từ thí nghiệm xuyên CPTu tại 06 vị trí tương ứng từ VST01 đến VST06.

Mặc dù, kết quả phân tích mối tương quan trên Hình 2 và Hình 3 vẫn chịu ảnh hưởng của một số điều kiện như: sự biến đổi địa tầng tại vị trí thí nghiệm CPTu với vị trí thí nghiệm VST và sai số do thí nghiệm và đo đạc..., kết quả so sánh cho thấy hầu hết giá trị S_u xác định từ thí nghiệm CPTu là khá tương đồng với giá trị S_u xác định trực tiếp từ thí nghiệm VST cả về mặt trị số và sự biến đổi theo địa tầng. Đa số kết quả cho thấy giá trị S_u xác định với N_k ở cận trên (gần phía $N_k = 19$) sát với giá trị S_u xác định trực tiếp từ thí nghiệm VST hơn. Ngoài ra, kết quả trên Hình 2 cho thấy mối tương quan của giá trị S_u xác định từ CPTu là khá phân tán hơn so với kết quả trên Hình 3, khi một số giá trị S_u từ thí nghiệm VST nằm ngoài khoảng giá trị xác định từ thí nghiệm CPTu. Điều này có thể giải thích là do nền đất tương ứng là nền sét có hàm lượng hữu cơ cao, kết quả xuyên cũng sẽ bị ảnh hưởng do khả năng bão hòa của đất hữu cơ. Nhìn chung, kết quả phân tích cho thấy mối tương quan giữa S_u từ CPTu và thí nghiệm VST là khá tin cậy và có thể sử dụng trong những trường hợp thiết kế sơ bộ khi chưa có kết quả thí nghiệm xác định S_u một cách trực tiếp.

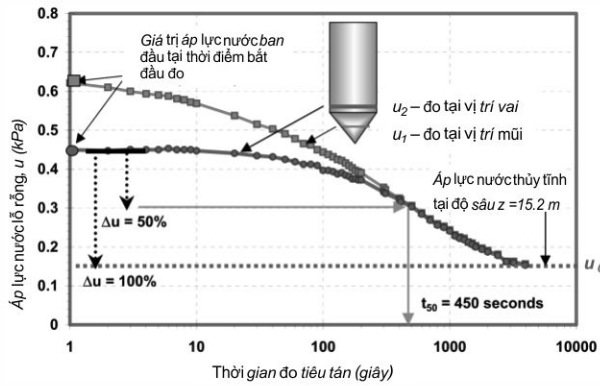


Hình 3. Kết quả thí nghiệm xuyên và mối tương qua giữa giá trị S_u từ kết quả xuyên và từ thí nghiệm cắt cánh hiện trường tại Dự án 02

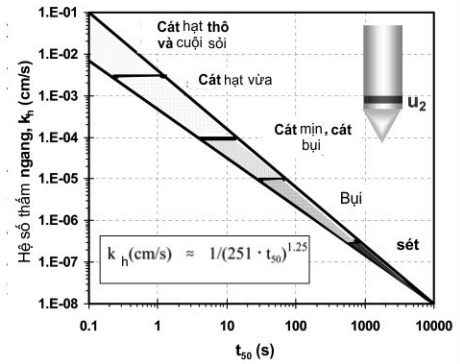
2.2 Xác định hệ số thẩm hiện trường từ kết quả xuyên CPTu

Một trong những ứng dụng khá phổ biến của thí nghiệm xuyên CPTu là nhằm gián tiếp xác định hệ số thấm của đất. Trong quá trình xuyên, tại vị trí đặt đầu đo áp lực nước (vị trí u_2), nền đất xung quanh sẽ bị nén, áp lực nước lỗ rỗng tăng lên, sau đó sẽ tiêu tán theo mọi phương và đạt giá trị cân bằng tới áp lực nước thủy tĩnh. Tốc độ tiêu tán áp lực nước đo được ở các đầu đo phụ thuộc vào hệ số thấm của đất xung quanh mũi xuyên (k). Đã có nhiều nghiên cứu thực nghiệm khác nhau để xác định mối tương quan giữa hệ số thấm với tốc độ tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng, trong đó tác giả "Parez and Fauriel" [12] đã tiến hành nhiều thí nghiệm đo tiêu tán với nhiều loại đất khác nhau ở các độ sâu khác và đưa ra quan hệ thực nghiệm giữa hệ số thấm theo phương ngang k_h của các loại đất khác nhau và thời gian cố kết t_{50} . Kết quả nghiên cứu này đã được kiểm chứng trong một số nghiên cứu khác nhau [5, 11, 13]... và đều cho kết luận về mức độ tin cậy nhất định. Phương pháp của "Parez and Fauriel" [12] được minh họa theo kết quả đo trên Hình 1. Trong đó, Hình 4.a trình bày phương pháp xác định t_{50} , là khoảng thời gian ứng với thời điểm áp lực nước sinh ra do ảnh hưởng mũi xuyên tiêu tán được 50% và Hình 4.b trình bày mối tương quan thực nghiệm giữa giá trị t_{50} với hệ số thấm theo phương ngang của đất.

Bài báo này trình bày kết quả thí nghiệm CPTu do chính tác giả chủ trì thực hiện tại dự án Nhà máy nhiệt Điện Sông Hậu 1. Khu vực dự án xem xét gồm các lớp đất yếu phân bố đến độ sâu trên 20 m, trong đó có một số lớp cát mịn xen kẽ (Hình 5.a). Thí nghiệm đo tiêu tán được thực hiện ở 03 vị trí khác nhau, mỗi vị trí thực hiện ở các độ sâu 8m, 11m, 15m và 19 m tương ứng với các lớp đất khác nhau. Mức nước ngầm ổn định được xác định là tại bề mặt lớp đất số 1 dưới nền cát san lấp. Tuy nhiên tại thời điểm thí nghiệm, do mực nước sông dâng cao kết hợp nước mưa nên mực nước tự do tồn tại trong lớp cát ở độ sâu xấp xỉ 1m từ cao độ hiện trạng.

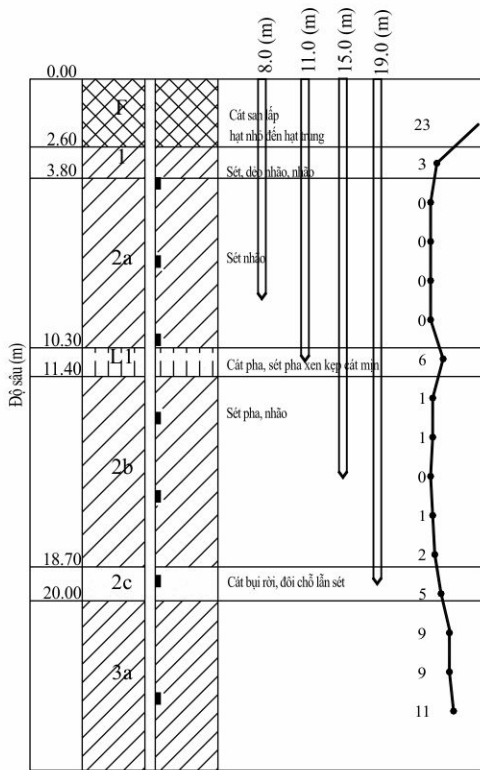


a)

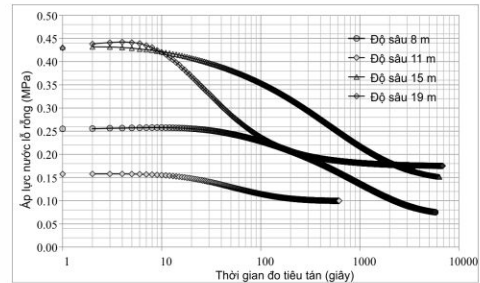


b)

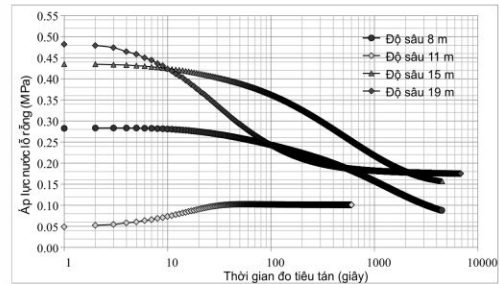
Hình 4.a. Biểu đồ xác định thời gian cố kết;
b. Hệ số thấm xác định từ kết quả đo thời gian tiêu tán áp lực nước, t_{50} [12]



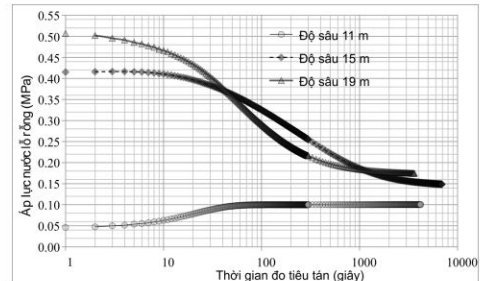
a)



b)



c)



d)

Hình 5. Thí nghiệm đo áp lực nước lỗ rỗng tiêu tán theo thời gian tại các độ sâu tương ứng.

Kết quả đo tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng tại 03 vị trí và ở các độ sâu khác nhau được trình bày trong các Hình 5.b, Hình 5.c và Hình 5.d. Có thể nhận thấy rằng, với các lớp đất sét (độ sâu 8m, 15m và 19m), tại thời điểm bắt đầu đo, giá trị áp lực nước tổng (áp lực nước thủy tĩnh u_{0z} và áp lực nước dư, Δu_z) sẽ tiêu tán và giảm dần về giá trị ổn định ở thời điểm cuối cùng của thí nghiệm đo. Tuy nhiên tại các lớp đất cát (độ sâu 11m, Hình 5.b và Hình 5.c), áp lực nước ban đầu đo được lại thấp hơn áp lực nước thủy tĩnh sau đó áp lực nước tăng dần và ổn định về giá trị áp lực nước thủy tĩnh.

Bảng 2. Phân tích kết quả thí nghiệm

Độ sâu	Áp lực nước tại thời điểm bắt đầu thí nghiệm tiêu tán	Áp lực nước tại thời điểm kết thúc thí nghiệm đo	Áp lực nước thủy tĩnh tại độ sâu thí nghiệm	Áp lực nước lỗ rỗng tại thời điểm cố kết 50% u_{50}	t_{50}	k_h (CPTu)	k^*_h	Sai số
m	MPa	MPa	MPa	MPa	s	cm/s	cm/s	%
8	0,25654	0,07571	0,07	0,16612	622,0	6,08192E-07	5,47E-07	11,2%
11	0,15668	0,09965	0,1	0,12816	58,0	1,1803E-05	1,08E-05	9,0%
15	0,42711	0,15204	0,14	0,28958	368,0	1,17211E-06	1,042E-6	12,5%
19	0,43102	0,17505	0,18	0,30304	38,0	2,00239E-05	2,145E-5	-6,6%

Bảng 2 phân tích kết quả thí nghiệm. Trong đó, giá trị k_h được tính toán từ giá trị trung bình ở mỗi độ sâu khác nhau. Thời gian t_{50} được xác định trực tiếp từ các biểu đồ tiêu tán áp lực nước theo thời gian trong Hình 5 theo phương pháp của Parez and Fauriel [12]. Ngoài ra, giá trị k^*_h là giá trị tham chiếu từ kết quả thí nghiệm nén cố kết một trục cho mẫu đất nguyên dạng. Kết quả so sánh cho thấy giá trị hệ số thấm được xác định từ thí nghiệm xuyên CPTu chênh lệch so với các kết quả thực nghiệm và kết quả thí nghiệm trong phòng là không quá 15%. Mặc dù có thể có sai số thí nghiệm nhất định khi so sánh kết quả thí nghiệm nén mẫu trong phòng và thí nghiệm hiện trường cũng như sai số do thực hiện thí nghiệm, kết quả này phản ánh được ứng dụng khá hữu ích của thí nghiệm CPT cho việc phân tích thiết kế xử lý nền đất yếu.

2.3 Đánh giá độ cố kết của lớp đất trong khi đang gia tải xử lý nền

Trong quá trình xuyên, áp lực nước xung quanh mũi xuyên sẽ tăng lên, khi dừng xuyên thì áp lực nước xung quanh mũi xuyên sẽ tiêu tán và giảm xuống. Thí nghiệm tiêu tán là thí nghiệm ghi lại sự giảm áp lực nước lỗ rỗng (dư) theo thời gian ở một độ sâu nhất định. Độ cố kết U (%) của lớp đất đang xét được xác định từ áp lực nước lỗ rỗng tại độ sâu tương ứng được xác định như sau:

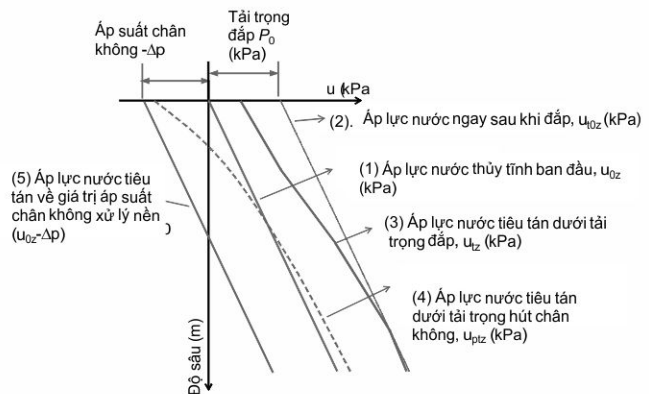
$$U_t = \left(1 - \frac{u_{tz} - u_{0z}}{u_{t0z} - u_{0z}}\right) 100\% \quad (2)$$

trong đó u_{tz} là áp lực nước tổng đo được tại thời điểm t , u_0 là áp lực nước thủy tĩnh so với mực nước ngầm tại độ sâu đo, u_{t0z} là áp lực nước tổng đo được tại thời điểm bắt đầu thí nghiệm tiêu tán. Trường hợp mở rộng, khi có thêm áp suất chân không độ cố kết của lớp đất dựa vào áp lực nước lỗ rỗng trong trường hợp trên được xác định như sau:

$$U_t = \left[1 - \frac{u_{ptz} - (u_{0z} - \Delta p)}{u_{t0z} - (u_{0z} - \Delta p)}\right] 100\% \quad (3)$$

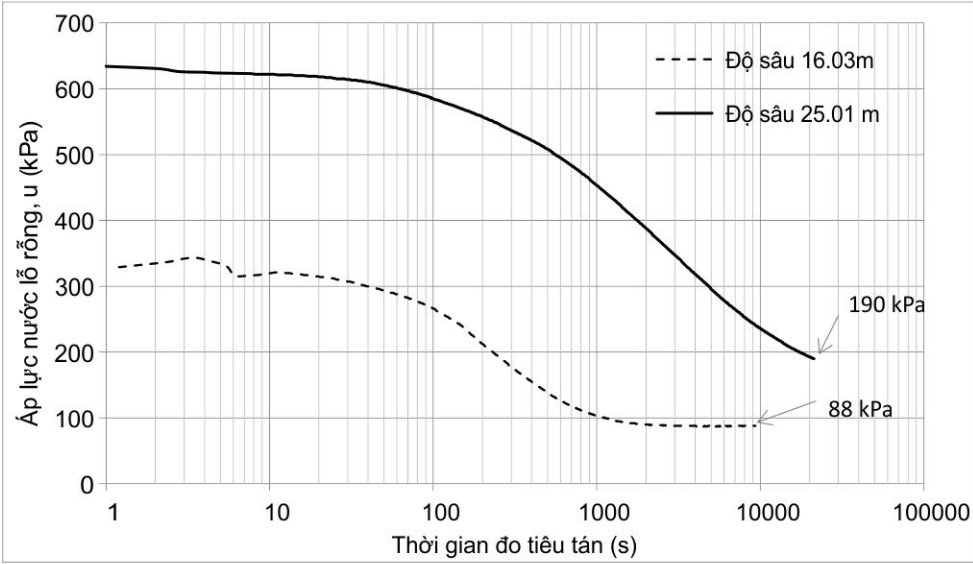
Thiết bị xuyên CPTu đã được sử dụng để đánh giá độ cố kết của một số lớp đất trong quá trình xử lý nền. Tại khu vực của dự án, nền đất bao gồm lớp đất san lấp dày 4,5m được thực hiện trước khi công tác xử lý nền được tiến hành, tiếp theo là các lớp đất yếu đất sét nhão, sét dẻo nhão, sét dẻo mềm phân bố đến độ sâu từ 4,5m đến khoảng 30m tính từ cao độ hiện trạng. Nền được xử lý bằng phương pháp hút chân không, trong đó bắc thăm được cắm đến độ sâu 25m. Thiết bị CPTu đã được lắp đặt và triển khai nhằm đảm bảo không làm ảnh hưởng đến hệ thống màng kín khí. Độ cố kết của lớp đất được phân tích dựa trên áp lực nước lỗ rỗng đo được ở các độ sâu khác nhau và được phân tích dưới dạng biểu đồ trình bày Hình 6. Quy trình biến đổi áp lực nước lỗ rỗng theo quá trình thí công như sau:

- Trạng thái ban đầu, áp lực nước thủy tĩnh do trọng lượng bản thân, u_{0z} ;
- Ngay sau khi đắp với tải trọng tương ứng P_0 , áp lực nước tăng lên một lượng: $u_{0z} = u_{0z} + P_0$
- Dưới tải trọng đắp, áp lực nước u_t tiêu tán dần từ u_{0z} về giá trị u_{0z}
- Trong quá trình hút chân không, áp lực nước u_{ptz} sẽ tiêu tán từ u_{tz} về giá trị $u_{0z} - \Delta p$.

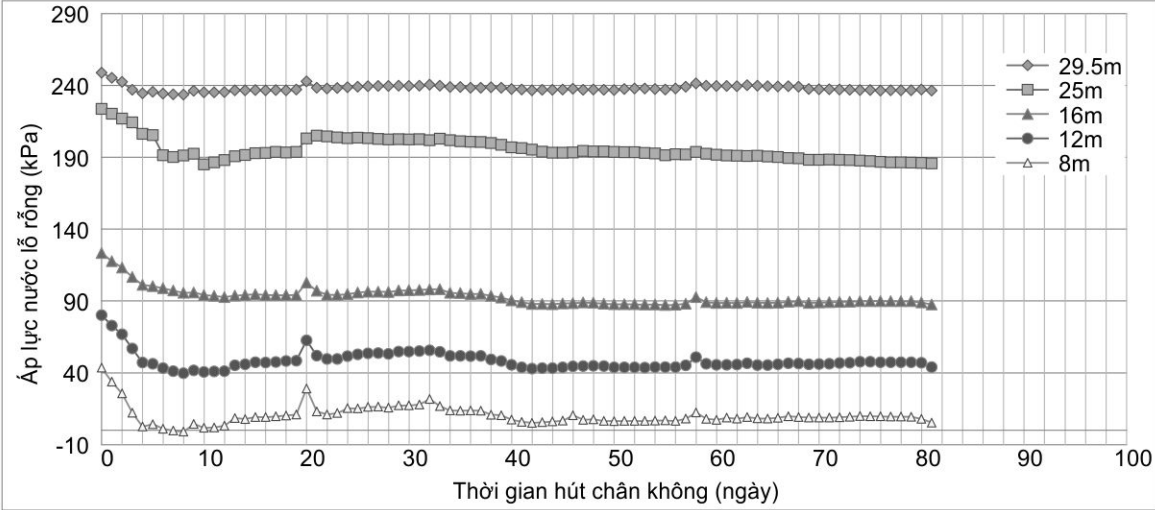


Hình 6. Quy trình biến đổi áp lực nước lỗ rỗng theo các bước thí công

Do thời gian được phép tiến hành thí nghiệm hạn chế cũng như điều kiện thí nghiệm phức tạp, tại dự án chỉ có hai số liệu đo tiêu tán tại các độ sâu 16m và 25m như trình bày Hình 7. Kết quả đo này đã được kiểm chứng khi so sánh với giá trị áp lực nước lỗ rỗng đo được bằng các đầu đo piezometers được lắp đặt trong nền và gần với vị trí thí nghiệm (Hình 8). Kết quả phân tích trong Bảng 3 cho thấy, chênh lệch giữa hai phép đo là dưới 10%. Mặc dù cần có thêm số liệu để khẳng định độ tin cậy của kết quả đo, tuy nhiên sai số trên là có thể chấp nhận được trong giai đoạn phân tích thiết kế.



Hình 7. Kết quả đo tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng bằng CPTu trong khi đang gia tải chân không.



Hình 8. Kết quả đo tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng tại một số độ sâu khác nhau bằng đầu đo piezometers.

Bảng 3. Kết quả phân tích độ cố kết của lớp đất tại các độ sâu

Độ sâu	Áp lực nước thủy tĩnh, u_{0z}	Kết quả từ đầu đo piezometers		Kết quả xác định từ thí nghiệm CPTu		Chênh lệch về độ cố kết giữa hai kết quả đo
		Áp lực nước, u_{ptz}	Độ cố kết tại độ sâu đo, U_t	Áp lực nước, u_{ptz}	Độ cố kết tại độ sâu đo, U_t	
m	kPa	kPa	%	kPa	%	
16,03	157,877	89,746	81,02	88,0	74,8	7,6%
25,010	215,037	186,295	75,40	190,0	71,7	4,9%



3. Kết luận

Bài báo này đã trình bày tổng quan về thí nghiệm CPT và nguyên lý áp dụng khi phân tích số liệu nền đất yếu. Mặc dù cần có thêm các kết quả kiểm chứng, các phân tích trong điều kiện địa chất ở khu vực ĐBSCL cho thấy ý nghĩa quan trọng của thí nghiệm CPT trong giai đoạn phân tích thiết kế và cả giai đoạn thi công xử lý nền đất yếu. Cụ thể như sau:

- Thí nghiệm CPT ngoài việc biết đến là một thí nghiệm cho kết quả xác định cấu tạo địa tầng một cách tin cậy, còn cho phép gián tiếp xác định các thông số sức kháng cắt, hệ số thấm của nền và độ cố kết của lớp đất tương ứng. Các kết quả phân tích trong bài báo cho thấy các mối tương quan từ kết quả xuyên và các thông số nói trên là khá tin cậy. Sức kháng cắt không thoát nước có thể xác định gián tiếp từ thí nghiệm CPTu với các thông số qui đổi N_k nằm phía cận trên ($N_k=19$) cho mối tương quan khá phù hợp với đất yếu. Tuy nhiên, mối tương quan dường như chỉ ổn định với nền đất dính có hàm lượng hữu cơ thấp.

- Thí nghiệm xuyên đo tiêu tán đo áp lực nước lỗ rỗng có thể sử dụng để xác định hệ số thấm ngang của nền với sai số dưới 15% so với kết quả thí nghiệm trong phòng.

- Thí nghiệm xuyên đo tiêu tán cũng có thể sử dụng trong trường hợp cần đánh giá sơ bộ độ cố kết của lớp đất đang trong quá trình gia tải xử lý nền trong trường hợp không có các kết quả đo trực tiếp từ các đầu đo piezometers với sai số dưới 10%.

Tài liệu tham khảo

1. Briaud J.L., and Miran J. (1992), "The Cone Penetrometer Test", *Report No. FHWA-SA-91-043*, Federal Highway Administration, Washington, D.C., 161.
2. Bembem S.M., Myers H.J. (1974), "The influence of rate of penetration on static cone resistance in Connecticut river valley varved clay", *Proceedings of the European Symposium on Penetration Testing*, ESOPT, Stockholm, 2.2:33-34.
3. Daniel C.R., Howie J.A., Campanella R.G., Giacheti H.L (1999), "The Resistivity Piezocone Penetration Test (RCPTu) for Quality Control of Geotechnical Ground Densification", *Proc. Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP)*, Oakland, California.
4. DeRuiter J. (1971), "Electric Penetrometer for Site Investigations", *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division (ASCE)*, 97:457-472.
5. Mayne P.W. (2007), "Cone penetration testing: A synthesis of highway practice", *National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Synthesis 368*, Washington, D.C.
6. Terzaghi K. (1943), *Theoretical Soil Mechanics*, Wiley, NY.
7. Vũ Công Ngữ, Nguyễn Thái (2006), *Thí nghiệm đất hiện trường và ứng dụng trong phân tích nền móng*, Nhà Xuất bản khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
8. Meyerhof G.G. (1951), "The Ultimate Bearing Capacity of Foundations", *Géotechnique*, 2:301-332.
9. Bembem S.M., Myers H.J. (1974), "The influence of rate of penetration on static cone resistance in Connecticut river valley varved clay", *Proceedings of the European Symposium on Penetration Testing*, ESOPT, Stockholm, 2.2:33-34.
10. Konrad J.M., Law K.T. (1987), "Undrained shear strength from piezocone tests", *Canadian Geotechnical Journal*, 24(3):392-405.
11. Salgado R., Lyamin A.V., Sloan S.W., Yu H.S. (2004), "Two- and three dimensional bearing capacity of foundations in clay", *Géotechnique*, 54(5):297-306
12. Perez and Fauriel (1988), "Relationship Between kh and t_{50} ", *Geotech.*, 44:13-27.
13. Kim K.K. (2006). "Interpretation of cone penetration tests in cohesive soils", *FHWA/IN/JTRP*, 22.