PHÂN TÍCH XÁC SUẤT CÁC THAM SỐ ĐẤT NỀN ĐỂ DỰ BÁO THỜI GIAN CỐ KẾT TRONG XỬ LÝ NỀN ĐẤT YẾU BẰNG BẤC THẤM

PHẠM QUANG TÚ*
NGUYỄN VĂN TUẤN**

Determining soil parameters by probability analysis for vertical drain design

Abstract: *The paper presents the probability analysis method of determining soil parameters for the purpose of vertical drain design and the results of application for soft soil treatment at Ca Mau Gas Processing Plant. The consolidation time from the probability analysis method is greater than from standard method, concretly 1.29 time for the calculated case. The parameter the most influent on the prediction results is vertical consolidation coefficient Cv.*

1. GIỚI THIỆU

Trong công tác xử lý nền đất yếu thì việc dự báo chính xác thời gian cố kết với độ cố kết yêu cầu là vô cùng quan trọng. Nếu thời gian cố kết thực tế thấp hơn dự báo thì việc xử lý nền là không cần thiết, lãng phí về kinh tế, ảnh hưởng đến tiến độ tổng thể của dự án. Sẽ có nhiều tình huống phiền phức nảy sinh khi thời gian cố kết dự báo thấp hơn thực tế như thêm biện pháp xử lý để đạt độ cố kết yêu cầu hoặc chấp nhận bị phạt khi không đạt thời gian hoàn thành. Do vậy vấn đề đặt ra là tìm cách tính toán thời gian cố kết sát với với thực tế nhất là hết sức cần thiết, có ý nghĩa thực tiễn và ý nghĩa khoa học.

Nhiều mô hình tính toán đã được đưa ra (Terzaghi ,1925 [13]; Barron,1948 [10]). Sự chính xác của kết quả tính toán phụ thuộc vào:

- Độ chính xác và độ tin cậy của các tham số đất nền thu được từ các thí nghiệm hiện trường và trong phòng;
- Sự đúng đắn của mô hình tính toán;
- Hiệu quả của biện pháp xử lý đất nền.

Các yếu tố nêu trên gọi là các yếu tố không chắc chắn (bất định). Những yếu tố bất định trong các bài toán địa kỹ thuật đã được nhiều tác giả trên thế giới đề cập như Terzaghi(1960); Peck (1969); Casagrande (1965); Whitman, 1984, 2000; Kulhawy, 1992; Paté-Cornell, 1996; Vrijling và van Gelder, 1998, 2005; van Gelder, 2000; Vrouwenvelder và Calle,2003; Baecher và Christian,2005; Fenton và Griffiths, 2008; Phoon, 2008; Kanning,2012;).

Ở nước ta, lý thuyết thiết kế ngẫu nhiên (các thông số đầu vào bất định) đã được các nhà khoa học tiếp thu từ các nước Liên Xô cũ và Đông Âu từ lâu nhưng cũng chỉ dừng lại ở lý thuyết và ứng dụng hẹp trong một số lĩnh vực. Khoảng 10 năm gần đây, các nhà nghiên cứu thuộc lĩnh vực tài nguyên nước, kỹ thuật biển,…đã phát triển mạnh lý thuyết và ứng dụng trong các lĩnh vực đó trên cơ sở hợp tác nghiên cứu, đào tạo với các nước Tây-Bắc Âu (Hà Lan, Đức, Anh, Na Uy,…) [3], [4]. Trong địa kỹ thuật các công trình nghiên cứu của tác giả Trịnh Minh Thụ, Phạm Quang Tú, 2010[5] và Phạm Quang Tú, 2014[6] đã ứng dụng lý thuyết này để giải quyết một số bài toán cụ thể. Tuy nhiên việc nghiên cứu và ứng dụng trong địa kỹ

* *Đại học Thủy lợi Hà Nội*
Email: phamquangtu@wru.vn
** *Đại học Công nghiệp Quảng Ninh*

thuật chưa nhiều. Trong bài báo này, tác giả tập trung so sánh ưu điểm của thiết kế theo lý thuyết ngẫu nhiên và truyền thống (phương pháp tất định) thông qua bài toán dự báo thời gian cố kết trong xử lý nền đất yếu bằng bấc thấm, đồng thời chỉ ra các tham số có ảnh hưởng lớn nhất tới kết quả tính toán.

2. LÝ THUYẾT CỐ KẾT THẤM

2.1. Lý thuyết cố kết thấm một hướng của Terzaghi

Lý thuyết cố kết thấm một hướng của Terzaghi, 1925 [13] là lý thuyết cơ bản của bài toán cố kết và đã được áp dụng rộng rãi để tính toán tốc độ nén của đất và tốc độ tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng cho loại đất có hệ số thấm nhỏ.

Phương trình cố kết thấm một hướng của Terzaghi:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \qquad (1)$$

Trong đó:

$$C_v = \frac{k(1+\varepsilon_0)}{a\gamma_n} \qquad (2)$$

C_v – hệ số cố kết theo phương đứng của đất yếu (m^2/ngày)

k_v – hệ số thấm theo phương đứng của đất yếu (m/ngày)

a – hệ số nén lún của đất yếu (m^2/kN)

ε_0 – hệ số rỗng tự nhiên

γ_n – trọng lượng riêng của nước (10kN/m^3)

Lời giải phương trình (1) viết thông qua độ cố kết trung bình thẳng đứng U_v của cả lớp đất là:

$$U_v = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} e^{-M^2.T_v} \qquad (3)$$

Trong đó:

$$M = \frac{\pi}{2}(2m+1) \qquad (4)$$

$$T_v = c_v t / H_{dr}^2 \qquad (5)$$

m – hệ số không thứ nguyên

C_v – hệ số cố kết theo phương đứng của đất yếu (m^2/ngày)

t – thời gian (ngày)

H_{dr} – chiều dài của đường thoát nước lớn nhất (m)

T_v – nhân tố thời gian, không thứ nguyên

Tính toán độ cố kết trung bình theo phương thẳng đứng của cả lớp đất với thời gian t theo công thức (3). Để tiện lợi hơn trong tính toán Casagrande,1938 và Taylor,1948 đã cung cấp cách tính toán gần đúng sau đây:

a) Khi U_v <60%

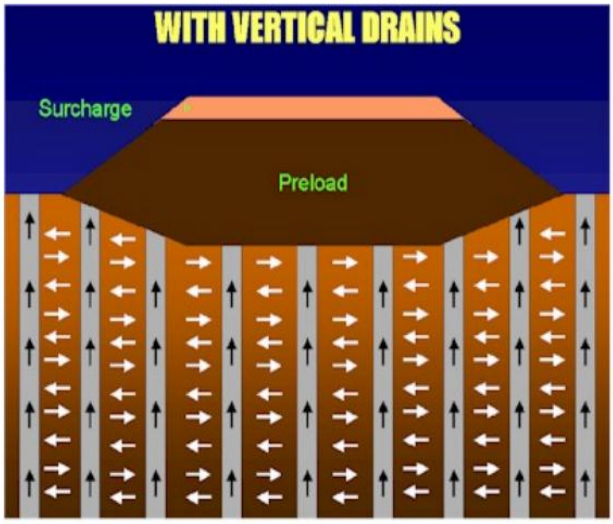
$$T_v = \frac{\pi}{4}\left(\frac{U_v}{100}\right)^2 \qquad (6)$$

b) Khi U_v >60%

$$T_v = 1.781 - 0.933\log(100 - U_v) \qquad (7)$$

2.2. Lý thuyết cố kết thấm ngang (xuyên tâm) của Barron (1948)

Để rút ngắn thời gian cố kết, một số biện pháp xử lý nền được áp dụng như xử lý bằng bấc thấm, cọc cát,…Trong đó, một hệ thống thoát nước thẳng đứng được tạo ra với nguyên lý là rút ngắn chiều dài đường thoát nước lỗ rỗng của lớp đất có hệ số thấm nhỏ tới bề mặt tự do (Hình 1)



Hình1. Vật thoát nước thẳng đứng và đường thoát nước ngang

Barron, 1948 [10] đã nghiên cứu bài toán cố kết trong trường hợp có vật thoát nước thẳng đứng . Ông giả thiết nếu chỉ có thoát nước ngang thì phương trình vi phân cố kết là:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_h\left(\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial^2 u}{\partial r^2}\right) \qquad (8)$$

Trong đó:

C_h – hệ số cố kết theo phương ngang của đất yếu (m^2/ngày)

u – áp lực nước lỗ rỗng trung bình tại một điểm bất kỳ với thời gian t (kN)

t – thời gian sau sự gia tăng tức thời của ứng suất tổng thẳng đứng (ngày)

r – bán kính khoảng cách từ điểm xét tới trung tâm trụ đất thoát nước (m)

Độ cố kết trung bình theo phương ngang của cả lớp đất với thời gian t được tính theo công thức sau (TCVN 9355, 2013) [2]:

$$U_h = 1 - \exp\left\{\frac{-8T_h}{F(n) + F_s + F_r}\right\} \qquad (9)$$

Trong đó:

T_h - nhân tố thời gian theo phương ngang

F(n) – nhân tố xét tới ảnh hưởng của khoảng cách bố trí bấc thấm

F_s – nhân tố xét đến ảnh hưởng của xáo động

F_r – nhân tố xét đến sức cản của bấc thấm

Nhân tố thời gian theo phương ngang theo công thức sau:

$$T_h = \frac{C_h}{D^2}t \qquad (10)$$

Trong đó:

D – là đường kính ảnh hưởng của bấc thấm (m)

Nếu bố trí bấc thấm theo kiểu ô vuông, D = 1,13L

Nếu bố trí bấc thấm theo kiểu tam giác, D = 1,05L

L là khoảng cách giữa tim các bấc thấm (m)

Nhân tố xét đến ảnh hưởng của khoảng cách bố trí bấc thấm xác định theo công thức sau:

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2-1}\ln(n) - \frac{3n^2-1}{4n^2} \qquad (11)$$

Ở đây:

$$n = \frac{D}{d_w} \qquad (12)$$

d_w – là đường kính tương đương của bấc thấm (m)

$$d_w = \frac{2(a+b)}{\pi} \qquad (13)$$

a, b – tương ứng là chiều dày và chiều rộng bấc thấm (m)

Nhân tố xét đến ảnh hưởng của xáo động đất nền khi đóng bấc thấm xác định theo công thức sau:

$$F_s = \left(\frac{k_h}{k_s} - 1\right)\ln\left(\frac{d_s}{d_w}\right) \qquad (14)$$

Trong đó:

k_h – hệ số thấm theo phương ngang của đất yếu khi chưa đóng bấc thấm (m/ngày)

k_s – hệ số thấm theo phương ngang của đất yếu sau khi đóng bấc thấm (m/ngày)

d_s – đường kính tương đương của vùng đất bị xáo động xung quanh của bấc thấm (m). Thực tế thường dùng:

$$d_s/d_w = 2 \div 3 \qquad (15)$$

Nhân tố xét đến sức cản của bấc thấm có thể tính toán qua công thức sau:

$$F_r = \frac{2}{3}\pi H^2 \frac{k_h}{q_w} \qquad (16)$$

Trong đó:

H – chiều dài tính toán của bấc thấm (m). Nếu chỉ có một mặt thoát nước phía trên thì H bằng chiều sâu đóng bấc thấm, nếu có hai mặt thoát nước (cả trên và dưới) thì lấy H bằng một nửa chiều sâu đóng bấc thấm

k_h – hệ số thấm của đất theo phương ngang của đất yếu khi chưa đóng bấc thấm (m/s)

q_w – khả năng thoát nước của bấc thấm tương đương với gradient thủy lực bằng 1, lấy

theo chứng chỉ xuất xưởng của bấc thấm, tính bằng m^3/s

Thực tế tính toán có thể lấy tỉ số k_h/q_w:

k_h/q_w = 0,000 01 ÷ 0,001m^{-2} đối với đất yếu loại sét hoặc sét pha

k_h/q_w = 0,001 ÷ 0,01m^{-2} đối với than bùn

k_h/q_w = 0,01 ÷ 0,1m^{-2} đối với bùn cát

2.3. Phương pháp Barron – Tezaghi

Carillo, 1942 [11] đã phát triển phương pháp kết hợp độ cố kết theo phương ngang và thẳng đứng để thu được độ cố kết tổng:

$$U=1-(1-U_v)(1-U_h) \qquad (17)$$

trong đó:

U – độ cố kết tổng trung bình của lớp đất yếu sau thời gian xử lý t

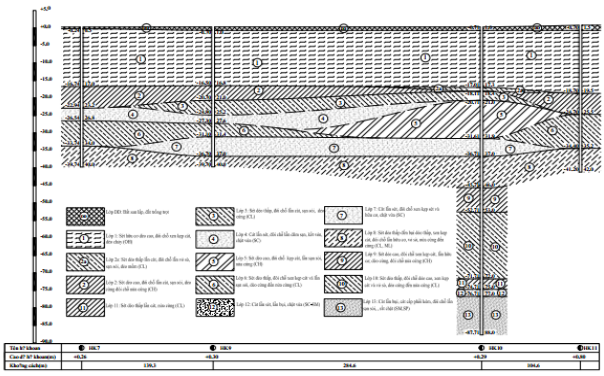
U_v - độ cố kết trung bình theo phương đứng của lớp đất yếu sau thời gian xử lý t

U_v - độ cố kết trung bình theo phương ngang của lớp đất yếu sau thời gian xử lý t

3. Tổng quan về Nhà máy xử lý Khí Cà Mau

3.1. Điều kiện địa chất

Mặt cắt địa chất điển hình trong khu vực được thể hiện trong hình 2.



Hình2. Mặt cắt địa chất điển hình trong khu vực nghiên cứu ([7])

Theo báo cáo khảo sát địa chất cho giai đoạn thiết kế cơ sở (BB.G -VSP-PVE-SV-60-PLREP-001) [7] và Báo cáo khảo sát địa hình và địa chất dự án nhà máy xử lý Khí Cà Mau do Tổng Công ty tư vấn thiết kế dầu khí thực hiện vào tháng 12/2014 trong giai đoạn thiết kế kỹ thuật [8], khu vực có mặt tầng đất yếu sét hữu cơ dẻo cao, đôi chỗ xen kẹp cát, màu xám nâu, xám xanh, xám đen, trạng thái dẻo chảy phân bố tới độ sâu từ 17-18m tính từ mặt đất tự nhiên, nền ở trạng thái cố kết thường

3.2. Yêu cầu kỹ thuật của công tác xử lý nền

Bảng 1. Yêu cầu kỹ thuật của công tác xử lý nền (theo [9])

STT	Thông số	Khu vực bồn bể và khu vực kỹ thuật trạm xử lý khí	Khu vực đường nội bộ	Các khu vực phụ trợ
1	Tiến độ xử lý nền (ngày)	180	180	180
2	Độ cố kết của nền dưới tải trọng khai thác (%)	> 90%	> 90%	> 90%

3.3. Khoảng cách và chiều sâu bấc thấm

Khoảng cách bấc thấm được thiết kế là 1,0mx1,0 m và bố trí theo lưới hình vuông.

Bấc thấm được thiết kế cắm hết lớp 1, chiều sâu từ mặt đất tự nhiên trung bình xấp xỉ là 17,0 m, và từ mặt đất sau khi san lấp là 19,0 m.

3.4. Tải trọng tính toán trong giai đoạn xử lý

Bảng 2. Bảng tải trọng tính toán trong giai đoạn xử lý (theo [9])

Số hiệu	Loại tải trọng	Chiều dày (m)	Dung trọng riêng γ (T/m^3)	Tải trọng (T/m^2)
(5)	Tải trọng cát san lấp	1.77	1,7	3,01
(6)	Tải trọng bù lún trong quá trình thi công san lấp	0.3785	1,7	0,64
(7)	Tải trọng lớp đệm cát	0.5	1,7	0,85
(8)	Áp lực gia tải chân không			7,0
(9)	Tổng tải trọng gia cố	= (5)+(6)+(7)+(8)		11,50

4. CÁC PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ

4.1. Phương pháp thiết kế truyền thống (theo tiêu chuẩn)

Theo các tiêu chuẩn thiết kế bấc thấm hiện hành TCVN 9355, 2013 [2], 22TCN 262, 2000 [1], thì việc tính toán được tiến hành theo các công thức từ (1) tới (17) như đã nêu ở mục 2, với các thông số đầu vào của nền đất yếu và bấc thấm (nền đất yếu: C_v, C_h, H_{dr}, k_h, k_v, k_s; bấc thấm: L, a, b, H, q_w, kiểu bố trí). Các thông số này được xem là hằng số (deterministic), chính vì vậy gọi phương pháp thiết kế theo tiêu chuẩn là phương pháp tất định.

4.2. Phương pháp thiết kế ngẫu nhiên (bất định)

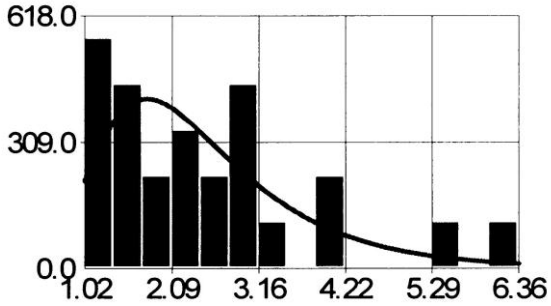
Là phương pháp mà các thông số đầu vào là các đại lượng biến đổi ngẫu nhiên. Trình tự tính toán thời gian cố kết theo phương pháp thiết kế ngẫu nhiên như sau:

❖ ***Bước 1: Xác định hàm phân phối của các tham số đất xử lý***

Phần mềm BestFit được sử dụng để tìm hàm phân phối phù hợp nhất cho các thông số bất định của đất nền C_v, k_h/k_s, C_h/C_v,..

- C_v (200kPa)

Hàm phân phối phù hợp cho tham số Cv là hàm lognormal có giá trị trung bình là 2.51e-3 m^2/ngày; độ lệch chuẩn σ = 1.28e-3 m^2/ngày (Hình 3).



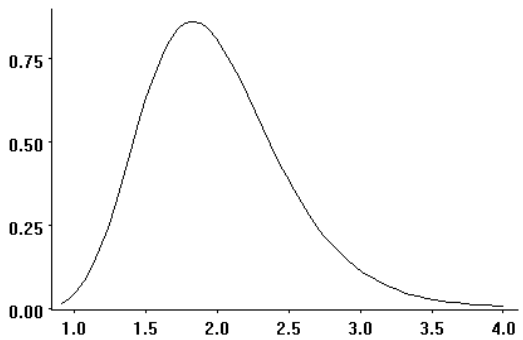
Hình 3. Hàm phân phối của Cv ở cấp áp lực 200kPa

- Tỉ số k_h/k_s

k_h – hệ số thấm theo phương ngang của đất yếu khi chưa đóng bấc thấm (m/ngày)

k_s – hệ số thấm theo phương ngang của đất yếu sau khi đóng bấc thấm (m/ngày)

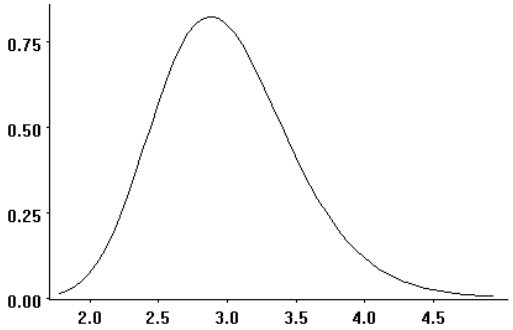
Theo Holtz ,1991[12] tỉ số k_h/k_s biến đổi từ 1,5 đến 2. Giả thiết hệ số k_h/k_s tuân theo luật phân phối lognormal với giá trị trung bình là 2,0 và độ lệch chuẩn σ = 0,5. Vậy k_h/k_s có hàm phân phối Lognormal(2.0, 0.5) (Hình 4)



Hình 4. Phân phối của tỉ số k_h/k_s

- Tỉ số A = C_h/C_v

Thông thường hệ số cố kết theo phương ngang C_h không được xác định trực tiếp bằng thí nghiệm mà được xác định thông qua tỉ số A(C_h = A* C_v). Tỉ số A được giả thiết tuân theo luật phân phối Lognormal(3.0, 0.5) (Hình 5)



Hình 5. Phân phối của tỉ số A = C_h/C_v

❖ ***Bước 2: Xác định các tham số tất định***

- D - Đường kính ảnh hưởng của bấc thấm D = 1,13*L = 1,13*1 = 1,13m
- d_w – là đường kính tương đương của bấc thấm

$$d_w = \frac{2(a+b)}{\pi} \qquad (13)$$

Với a = 4mm = 0,004m; b = 10cm = 0,1m nên d_w = 0,06624 m

- d_s/d_w = 2
- k_h/q_w = 0,000 01m^{-2}

❖ *Bước 3: Tính toán thời gian cố kết với thời gian là để đạt độ cố kết U>90%*

Sử dụng phần mềm VaP để tính toán

4.2. Kết quả tính toán

Việc tính toán thời gian cố kết được tiến hành theo các công thức từ (1) tới (17) như đã nêu ở mục 2.

Phương pháp thiết kế truyền thống sử dụng các tham số hoàn toàn là xác định.

Phương pháp thiết kế ngẫu nhiên sử dụng một vài tham số biến ngẫu nhiên với các phân phối tương ứng như ở mục 4.2. Các kịch bản khác nhau được áp dụng trong phương pháp thiết kế ngẫu nhiên để tìm ra được tham số đất nền có ảnh hưởng lớn nhất tới kết quả tính toán.

Bảng 3. Bảng kết quả tính toán theo phương pháp thiết kế tất định và ngẫu nhiên

Trường hợp tính toán	Tham số	Hàm	Gía trị	**Thời gian cố kết (ngày)**	**Độ cố kết(%)**
TH1: Các tham số là tất định (Phương pháp thiết kế truyền thống)	D (m)	Tất định	1,13	137	90,4
	d_w (m)		0.06624		
	d_s/d_w		2		
	k_h/q_w (m^{-2})		0,000 01		
	H (m)		19		
	H_{dr} (m)		17		
	k_h/k_s		2		
	C_v (m2/ngày)		2,51E-3		
	A		3		
TH2: Chỉ cho k_h/k_s biến đổi	D (m)	Tất định	1,13	137	90,4
	d_w (m)		0,06624		
	d_s/d_w		2		
	k_h/q_w (m^{-2})		0,000 01		
	H (m)		19		
	H_{dr} (m)		17		
	k_h/k_s	Lognormal	(2.0; 0.5)		
	C_v (m2/ngày)	Tất định	2.51E-3		
	A		3		
TH3: Chỉ cho A biến đổi	D (m)		1,13	141	90, 4
	d_w (m)		0.06624		
	d_s/d_w		2		
	k_h/q_w (m^{-2})		0,000 01		

Trường hợp tính toán	Tham số	Hàm	Gía trị	**Thời gian cố kết (ngày)**	**Độ cố kết(%)**
	H (m)	Tất định	19		
	H_{dr} (m)		17		
	k_h/k_s		2		
	C_v (m2/ngày)		2,51E-3		
	A	Lognormal	(3.0; 0.5)		
TH4: Cho A và k_h/k_s biến đổi	D (m)	Tất định	1,13	141	90, 4
	d_w (m)		0,06624		
	d_s/d_w		2		
	k_h/q_w (m^{-2})		0,000 01		
	H (m)		19		
	H_{dr} (m)		17		
	k_h/k_s	Lognormal	(2,0; 0,5)		
	C_v (m2/ngày)	Lognormal	2,51E-3		
	A	Lognormal	(3,0; 0,5)		
TH5: Chỉ cho C_v biến đổi	D (m)	Tất định	1,13	173	90, 44
	d_w (m)		0,06624		
	d_s/d_w		2		
	k_h/q_w (m^{-2})		0,000 01		
	H (m)		19		
	H_{dr} (m)		17		
	k_h/k_s		2		
	C_v (m2/ngày)	Lognormal	(2.51e-3; 1.28e-3)		
	A	Tất định	3		
TH6: Cho C_v và k_h/k_s biến đổi	D (m)	Tất định	1,13	173	90,44
	d_w (m)		0,06624		
	d_s/d_w		2		
	k_h/q_w (m^{-2})		0,000 01		
	H (m)		19		
	H_{dr} (m)		17		
	k_h/k_s	Lognormal	(2,0; 0,5)		
	C_v (m2/ngày)	Lognormal	(2.51e-3; 1.28e-3)		
	A	Tất định	3		
TH7: Cho C_v và A biến đổi	D (m)	Tất định	1,13	177	90,5
	d_w (m)		0,06624		
	d_s/d_w		2		
	k_h/q_w (m^{-2})		0,000 01		
	H (m)		19		
	H_{dr} (m)		17		
	k_h/k_s		2		
	C_v (m2/ngày)	Lognormal	(2,51e-3; 1.28e-3)		
	A	Lognormal	(3,0; 0,5)		
TH8: Cho C_v, k_h/k_s và A biến đổi	D (m)	Tất định	1,13	177	90,5
	d_w (m)		0,06624		
	d_s/d_w		2		
	k_h/q_w (m^{-2})		0,000 01		
	H (m)		19		

Trường hợp tính toán	Tham số	Hàm	Gía trị	**Thời gian cố kết (ngày)**	**Độ cố kết(%)**
	H_{dr} (m)		17		
	k_h/k_s	Lognormal	(2,0; 0,5)		
	C_v (m^2/ngày)	Lognormal	(2,51e-3; 1,28e-3)		
	A	Lognormal	(3,0; 0,5)		

5. THẢO LUẬN

Từ kết quả tính toán ở bảng 3 ta có nhận xét sau:

- Tính toán theo phương pháp truyền thống và ngẫu nhiên có kết quả chênh lệch nhau khá nhiều (137 ngày và 177 ngày). Thời gian cố kết theo phương pháp ngẫu nhiên gấp1,29 lần thời gian cố kết theo phương pháp tất định.
- Từ các kịch bản khác nhau (TH2 đến TH8) cho thấy tham số có ảnh hưởng nhất đến kết quả tính toán là hệ số cố kết theo phương thẳng đứng C_v, là nguyên nhân gây ra sự sai lệch giữa phương pháp truyền thống và tất định.
- Hệ số cố kết theo phương thẳng đứng C_v có độ lệch chuẩn càng cao thì sự sai khác này càng lớn.

Kiến nghị:

- Nên dùng phương pháp thiết kế ngẫu nhiên thay cho phương pháp truyền thống vì với phương pháp thiết kế ngẫu nhiên, các thông số đầu vào là các đại lượng biến đổi ngẫu nhiên, phản ánh đúng bản chất biến thiên của các tham số đầu vào từ đất nền.
- Lấy mẫu và thí nghiệm chỉ tiêu C_v cần hết sức lưu ý tránh sai sót.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bộ Giao thông vận tải (2000), *Tiêu chuẩn thiết kế đường ô tô 22TCN 263:2000*.

2. Bộ Khoa học và Công nghệ (2013), *Gia cố nền đất yếu bằng bấc thấm – thiết kế, thi công và nghiệm thu TCVN 9355:2013*.

3. Mai Văn Công (2006), *Thiết kế công trình theo lý thuyết ngẫu nhiên và phân tích độ tin cậy*, Trường Đại học Thủy lợi.

4. Nguyễn Văn Mạo, Nguyễn Hữu Bảo, Nguyễn Lan Hương (2014), *Cơ sở tính độ tin cậy an toàn đập*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.

5. Phạm Quang Tú, Trịnh Minh Thụ, P.H.A.M.J van Gelder, *Ứng dụng lý thuyết độ tin cậy phân tích ổn định sườn dốc, Tạp chí KHKT Thủy lợi &Môi trường*

6. Phạm Quang Tú (2014), *Reliability analysis of the Red River Dike system in Viet Nam* (PhD Thesis), TU Delft, Delft.

7. Tổng Công ty tư vấn thiết kế dầu khí – CTCP (2014), *Báo cáo khảo sát địa chất cho giai đoạn thiết kế cơ sở (BB.G-VSP-PVE-SV-60-PL-REP-001)*.

8. Tổng Công ty tư vấn thiết kế dầu khí – CTCP (2014), *Báo cáo khảo sát địa hình và địa chất dự án nhà máy xử lý khí Cà Mau*.

9. Tổng Công ty tư vấn thiết kế dầu khí – CTCP (2015), *Thuyết minh thiết kế xử lý nền (304119-PVE-FD-CI-RP-201)*.

10. Barron R.A.,*Consolidation of fine-grained soils by drain wells*, Trans., ASCE 2346, 1948.

11. Carillo N., *Simple two-and three dimensional cases in the theory of consolidation of soils*, Journal of Math. Phys.,21, 1942.

12. Holtz R.D. et al, *Prefabricated Vertical Drains, design and performance*, Butterworth Heinemann, ISBN 07506 10166, 1991.

13. Terzaghi, K., *Erdbaumechanik*, Franz Deuticke, Vienna, 1925

Người phản biện: PGS.TS ĐÀO VĂN TOẠI