

Ứng Dụng lý thuyết độ tin cậy và phương pháp thiết kế ngẫu nhiên trong đánh giá an toàn ổn định đê kè biển

Th.s Mai Văn Công - Khoa kỹ thuật bờ biển – Trường ĐHTL

Giới thiệu

Ứng dụng lý thuyết độ tin cậy trong thiết kế công trình xây dựng nói chung (thiết kế theo phương pháp ngẫu nhiên) cũng như công trình thủy lợi nói riêng hiện đang phổ biến và là xu thế chung trên thế giới. Ở Việt Nam nghiên cứu ứng dụng lý thuyết này trong thiết kế công trình đang ở những bước đầu và sẽ phát triển rộng hơn trong những năm gần đây. Bài báo này trình bày phương pháp và những kết quả áp dụng lý thuyết độ tin cậy trong phân tích đánh giá an toàn đê biển ở Việt Nam. Phân tích đánh giá được thực hiện với bài toán mẫu, áp dụng cho đê biển dọc bờ biển Nam Định, với phương pháp tiếp cận theo cấp độ II.

1. Giới thiệu chung

Phương pháp thiết kế truyền thống được gọi là phương pháp tất định. Theo phương pháp này các giá trị thiết kế của tải trọng và các tham số độ bền được xem là xác định, tương ứng với trường hợp tính toán và tổ hợp thiết kế [6]. Ví dụ trong thiết kế công trình bảo vệ bờ biển, tương ứng với mỗi giá trị tần suất thiết kế, mực nước và chiều cao sóng được xác định và được coi là tải trọng thiết kế. Dựa vào tiêu chuẩn quy định thiết kế, hình dạng và các kích thước của công trình được xác định. Các tiêu chuẩn quy định này được xây dựng dựa trên các trạng thái giới hạn của các cơ chế phá hỏng, trong đó có kể đến số dư an toàn thông qua hệ số an toàn.

Theo phương pháp thiết kế tất định, công trình được coi là an toàn khi khoảng cách giữa tải và sức chịu tải đủ lớn để đảm bảo thỏa mãn từng trạng thái giới hạn của tất cả các thành phần công trình.

Một số hạn chế tiêu biểu của phương pháp thiết kế tất định theo [8] như sau:

- Trên thực tế, chưa xác định được xác suất phá hỏng của từng thành phần cũng như của toàn hệ thống.
- Chưa xét đến tính tổng thể của một hệ thống hoàn chỉnh.
- Trong thiết kế, chưa kể đến ảnh hưởng quy mô hệ thống (chiều dài tuyến đê...) của hệ thống. Đối với công trình phòng chống lũ và bảo vệ bờ, thiết kế hiện tại thường chỉ tính toán chi tiết tại một mặt cắt tiêu biểu và áp dụng tương tự cho toàn bộ chiều dài tuyến công trình (thiết kế đê sông, đê kè biển...). Tuy vậy, với cái nhìn trực quan chúng ta có thể nhận thấy rõ rằng xác suất xảy ra lũ sẽ tăng khi chiều dài hệ thống phòng chống lũ tăng.
- Không so sánh được độ bền của các mặt cắt khác nhau về hình dạng và vị trí.
- Không đưa ra được xác suất gây thiệt hại và mức độ thiệt hại của vùng được bảo vệ (xác suất xảy ra sự cố công trình, xác suất xảy ra ngập lụt...).

Sự khác nhau căn bản giữa thiết kế truyền thống và thiết kế ngẫu nhiên là ở chỗ, phương pháp thiết kế ngẫu nhiên dựa trên xác suất hoặc tần suất chấp nhận thiệt hại của vùng ảnh hưởng. Kết quả được đưa ra là xác suất hư hỏng của từng thành phần công trình và toàn bộ hệ thống. Vì vậy có thể nói thiết kế ngẫu nhiên là phương pháp thiết kế tổng hợp cho toàn hệ thống.

Xác suất chấp nhận thiệt hại của vùng ảnh hưởng phụ thuộc vào vị trí, mức độ quan trọng của khu vực, mức độ thiệt hại có thể và tiêu chuẩn an toàn của từng vùng, từng quốc gia. Vì lý do này, thay vì xác định xác suất chấp nhận thiệt hại bằng việc xác định mức độ chấp nhận rủi ro. Bởi vì mức độ rủi ro là hàm phụ thuộc giữa xác suất xảy ra thiệt hại và hậu quả thiệt hại, xem Hình 1.

Định nghĩa chung về mức độ rủi ro là tích số của xác suất xảy ra thiệt hại và hậu quả thiệt hại: *Mức độ rủi ro*.

$$= (\text{Xác suất xảy ra thiệt hại}) \times (\text{Hậu quả thiệt hại})^n.$$

Luỹ thừa n phụ thuộc vào tình trạng của đối tượng phân tích (hệ thống). Thông thường, lấy $n=1$.

2. Tóm tắt lý thuyết cơ bản

Việc tính toán xác suất phá hỏng của một thành phần dựa trên hàm độ tin cậy của từng cơ chế phá hỏng. Hàm độ tin cậy Z được thiết lập căn cứ vào trạng thái giới hạn tương ứng với cơ chế phá hỏng đang xem xét, và là hàm của nhiều biến và tham số ngẫu nhiên. Theo đó, $Z < 0$ được coi là có xảy ra hư hỏng và hư hỏng không xảy ra nếu Z nhận các giá trị còn lại, xem Hình 1. Do đó, xác suất phá hỏng được xác định là $P\{Z < 0\}$.

Bài báo này trình bày việc tính toán theo mức độ II⁽¹⁾, nhằm để xác định xác suất xảy ra phá hỏng của đê biển Nam Định. Hàm độ tin cậy thiết lập theo dạng chung $Z=R-S$. Trong đó R và S là hàm của độ bền và tải trọng, cả hai hàm này được giả thiết tuân theo luật phân phối chuẩn. Các đặc trưng thống kê của Z được xác định như sau:

$$\text{Kỳ vọng: } \mu(Z) = \mu(R) - \mu(S) \quad (1)$$

$$\text{Phương sai: } \sigma^2(Z) = \sigma^2(R) + \sigma^2(S) \quad (2)$$

Hàm mật độ xác suất của Z được xác định theo:

$$f(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(Z-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

Hàm phân phối xác suất của Z được xác định theo:

$$F_Z(a) = \int_{-\infty}^a f_z(X) dX = \Phi_N\left(\frac{a-\mu}{\sigma}\right) \quad (4)$$

Xác suất xảy ra sự cố của một thành phần (cơ chế phá hỏng) tương ứng với hàm độ tin cậy Z là $FZ(a=0)=P(Z < 0)$:

$$P\{Z < 0\} = \int_{-\infty}^0 f_z(X) dX = \Phi_N(-\beta) \quad (5)$$

Trong đó: β là chỉ số độ tin cậy; $\beta = \frac{\mu}{\sigma}$

$\Phi_N(-\beta)$ Giá trị phân phối chuẩn của biến ngẫu nhiên β

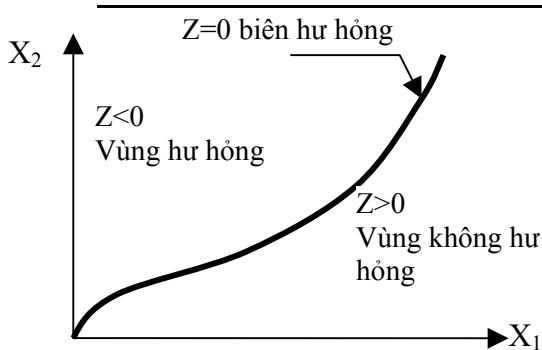
Thông thường Z là hàm của nhiều biến ngẫu nhiên (n), X_1, X_2, \dots, X_n , của cả tải S và sức chịu tải R . Để thực hiện tính toán mức độ II, các biến X_1, X_2, \dots, X_n được giả thiết là biến độc lập, tuân theo luật phân phối chuẩn và phải đảm bảo thỏa mãn điều kiện tuyến tính hoá hàm Z trong toàn miền tính toán.

Tuyến tính hoá hàm Z theo khai triển Taylor bậc nhất như sau:

$$Z_{lin} = Z(X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*) + \sum_{i=1}^n (X_i - X_i^*) * \left(\frac{\partial Z}{\partial X}\right)_{X_i=X_i^*} = 0 \quad (6)$$

Z_{lin} = Hàm tin cậy tuyến tính của Z trong không gian $\{X_i^*\}$.

⁽¹⁾ Mức độ II: Sử dụng một số phương pháp xấp xỉ và bài toán đạo hàm tuyến tính hoá, hàm mật độ xác suất của các biến ngẫu nhiên được thay bằng hàm mật độ tuân theo luật phân phối chuẩn. Ngoài mức độ II, tính toán có thể thực hiện ở mức độ I, III, xem [2].



Hình 1: Định nghĩa biên hư hỏng (sự cố) Z=0

$$\left(\frac{\partial Z}{\partial X}\right)_{X_i=X_i^*} = \text{đạo hàm từng phần của hàm } Z \text{ theo } X_i \text{ tại vị trí } X_i = X_i^*$$

Trị trung bình và độ lệch chuẩn của ZLin :

$$\mu(Z_{lin}) = Z(X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*) + \sum_{i=1}^n (\mu_{X_i} - X_i^*) * \left(\frac{\partial Z}{\partial X}\right)_{X_i=X_i^*} \quad (7)$$

$$\sigma_{(Z_{lin})}^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_{X_i}^2 * \left(\frac{\partial Z}{\partial X}\right)_{X_i=X_i^*}^2 \quad \dots \quad (8)$$

Xác suất xảy ra sự cố và chỉ số độ tin cậy được định nghĩa tại Hình 2, xác định theo:

$$P\{Z < 0\} = \int_{-\infty}^0 f_z(\xi) d\xi = \Phi_N(-\beta) \quad (9)$$

với $\beta = \frac{\mu(Z_{Lin})}{\sigma(Z_{Lin})}$ là chỉ số độ tin cậy.

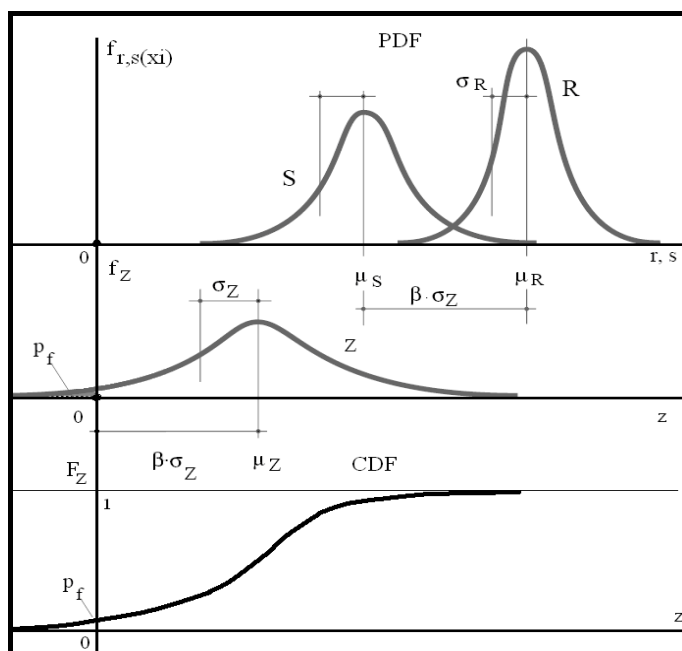
Nếu biên sự cố là phi tuyến, thực hiện tuyến tính hoá hàm độ tin cậy tại điểm thiết kế (Design Point) sẽ cho kết quả chấp nhận được. Điểm thiết kế được định nghĩa tại biên sự cố mà tại đó mật độ xác suất là lớn nhất.

Điểm thiết kế được xác định thông qua:

$$X_i^* = \mu_{X_i} - \alpha_i \cdot \beta \cdot \sigma_{X_i} \quad (10)$$

$$\alpha_i = \frac{\sigma(X_i)}{\sigma(Z_{Lin})} * \frac{\partial Z}{\partial X_i}$$

(Hệ số ảnh hưởng của biến ngẫu nhiên thứ i) (11)



Hình 2: Định nghĩa xác suất xảy ra sự cố và chỉ số độ tin cậy

3. Đặt vấn đề xây dựng bài toán mẫu

Các cơ chế phá hoại có thể xảy ra tại đê kè vùng bờ biển Nam Định là đa dạng và phức tạp, chi tiết xem thêm [5]. Trong khuôn khổ bài báo này, tác giả đề cập bốn cơ chế phá hỏng chính, bao gồm: Sóng tràn/chảy tràn qua đỉnh đê; Mất ổn định trượt của mái; Xói ngầm nền đê và đẩy trôi chân đê; và mất ổn định kết cấu bảo vệ mái đê. Bài toán được xây dựng cho đoạn đê đại diện nguy hiểm nhất dọc bờ biển Nam Định, tại vị trí Hải Triều.

Sự cố của toàn hệ thống đê không xảy ra nếu tất cả các đoạn đê thành phần không gặp hư hỏng. Với mỗi đoạn đê thành phần, sự cố có thể xảy ra nếu một trong các cơ chế phá hỏng xuất hiện. Trong trường hợp này, sơ đồ sự cố của hệ thống đê được trình bày theo sơ đồ Hình 3.

4. Xác định xác suất xảy ra sự cố, đánh giá an toàn đê kè biển Nam Định

4.1 Sóng tràn và chảy tràn đỉnh đê

Sóng tràn và chảy tràn đỉnh đê xảy ra khi mực nước biển có kể đến ảnh hưởng của sóng leo (Zmax) cao hơn cao trình đỉnh đê (Zc). Hàm độ tin cậy trong trường hợp này như sau:

$$Z = Zc - Zmax \quad (12)$$

Trong đó: Z_c là cao trình đỉnh đê; Z_{max} : Mức nước lớn nhất trước đê (bao gồm nước dâng do sóng leo và các yếu tố khác).

Cơ chế này xảy ra khi $Z < 0$, do đó xác suất xảy ra hiện tượng sóng tràn/chảy tràn đỉnh đê là $P(Z < 0)$.

Cao trình đỉnh đê: Giả thiết cao trình đỉnh đê tuân theo luật phân phối chuẩn. Trị trung bình lấy giá trị của đê hiện tại, độ lệch chuẩn lấy là 0.1m được coi là sai số trong quá trình thi công.

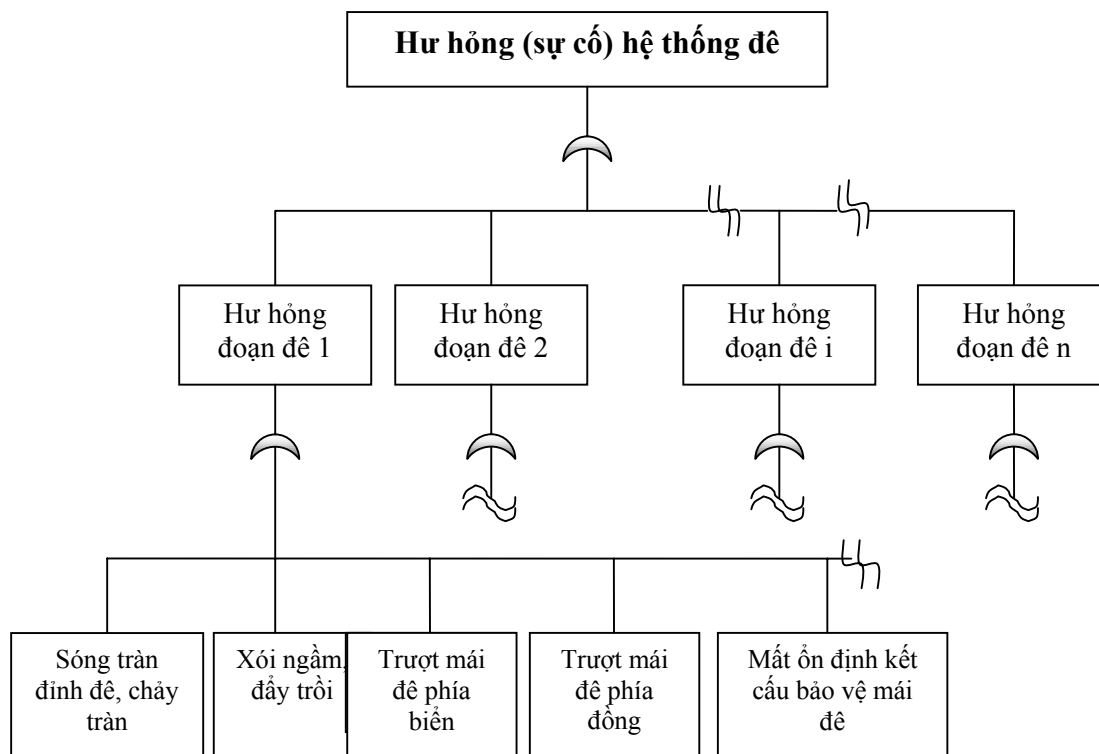
Mức nước biển lớn nhất: $Z_{max} = DWL + Run_{-up\ level}$ (13)

$DWL = MHWL(MSL + High\ tide) + Surge + Sea\ level\ rise$.

Trong đó:

- MHWL: Mức nước biển trung bình nhiều năm tính toán trong thời kỳ triều cường, xác định căn cứ vào số liệu thực đo. MHWL tuân theo phân bố chuẩn $N(2.29; 0,071)$.
- Surge: Độ dềnh cao do gió (wind setup).
- MS. Rise: Mức nước dâng cao do hiệu ứng nhà kính.
- Run-up level: Nước dâng do sóng leo.

Chiều cao sóng và sóng leo xác định theo Bảng 1. Trong đó chiều cao sóng xác định theo phương pháp độ sâu giới hạn. Chiều cao sóng leo xác định theo [8].



Hình 3: Sơ đồ hư hỏng (sự cố) đê kè biển Nam Định [5]

Bảng 1

X	Mô tả biến ngẫu nhiên	Đơn vị	Luật phân phối	Đặc trưng thống kê	
				Kỳ vọng	Độ lệch
MHWL	MNBTB	m	Nor	2.29	0.071
Surge	Dềnh cao do gió bão	m	Nor	1.0	0.2
S.L rise	Dâng nước do hiệu ứng nhà kính	m	Nor	0.1	0.05

Zbed	Cao trình bãi tại chân đê	m	Nor	nom	0.2
a	Hệ số kinh nghiệm	-	Nor	0.5	0.05
d	Chiều sâu nước trước đê	m	= DWL-Zbed = (MHWL+Surge+S.L.Rise)-Zbed		
Hs	Chiều cao sóng thiết kế	m	= a*d = a*{(MHWL+Surge+S.L.Rise)-Zbed}		
K _Δ	ảnh hưởng do nhám của mái đê	m	Nor	Nom-	0.05
Kw	ảnh hưởng của gió	-	der	1	-
Kp	Hệ số quy đổi tần suất	m	der	1.65	-
m	Mái dốc đê phía biển	-	Nor	4	0.15
Tm	Chu kỳ sóng trung bình	s	Deter	nom (8.5)	

(Nom: Giá trị theo thiết kế tất định)

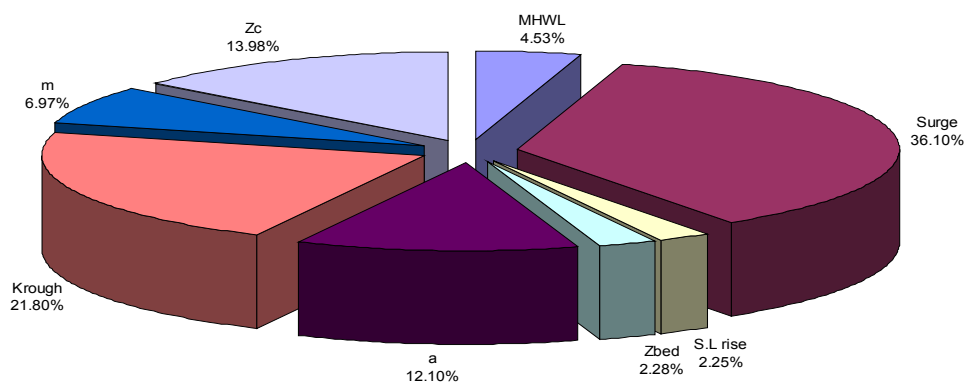
Hàm độ tin cậy trở thành: $Z_{ovetopping} = Z_c - Z_{max} = Z_c - (MHWL + Surge + S.L.Rise + Z_{2\%})$

Khi luật phân phối của các biến ngẫu nhiên thành phần đã được xác định, việc tính toán xác suất xảy ra sự cố dựa vào hàm độ tin cậy sẽ thực hiện được. Sử dụng mô hình VAP với phương pháp FORM (First Order Reliability Method) và thuật giải Monte – Carlo, kết quả tính toán thu được trình bày tại Bảng 3.

Bảng 2: Kết quả tính toán xác suất sự cố và độ tin cậy

Trường hợp	Thông số	Đơn vị	Đê hiện tại	Đê thiết kế mới theo phương pháp thiết kế tất định	
				T.C Việt Nam	T.C Hà Lan
Kè đá xếp	Cao trình đỉnh đê	m	5.50	6.60	7.60
	Xác suất hư hỏng	-	0.474	0.0474	0.0501
	Chỉ số tin cậy	-	0.0646	1.67	1.64
Cấu kiện B.T đúc sẵn	Cao trình đỉnh đê	m	5.50	7.60	8.75
	Xác suất hư hỏng	-	0.632	0.0464	0.0201
	Chỉ số tin cậy	-	-0.338	1.68	2.05

Phân tích ảnh hưởng của các biến ngẫu nhiên đến xác suất xảy ra sự cố (biểu thị bằng hệ số ảnh hưởng α_i) cho kết quả như Hình 4. Qua phân tích, (MHWL + Surge) có ảnh hưởng nhiều nhất đến hiện tượng sóng tràn/chảy tràn đỉnh đê (40%). Mặt khác, các thông số mô hình cũng có ảnh hưởng một lượng đáng kể đến kết quả tính toán.



Hình 4. ảnh hưởng của các biến đến cơ chế sóng tràn/chảy tràn đỉnh đê

4.2. Mật ổn định kết cấu bảo vệ mái.

Hàm độ tin cậy chung cho trường hợp này như sau:

$$Z = (H_s/\Delta D)_R - (H_s/\Delta D)_S \tag{17}$$

Trong đó: $(H_s/\Delta D)_R$ (1): Đặc trưng không thứ nguyên của sức chịu tải.

$(H_s/\Delta D)_S$ (2): Đặc trưng không thứ nguyên của tải.

với Δ là tỉ trọng của vật liệu kết cấu bảo vệ mái; D

là đường kính trung bình của viên đá (cấu kiện).

Báo cáo này trình bày việc áp dụng phương pháp kiểm tra ổn định cấu kiện bảo vệ mái của (1) Pilarczyk; (2) Jan Van der Meer; [7].

Xác định các biến ngẫu nhiên liên quan theo Bảng 3. Kết quả tính toán theo Bảng 4. Kết quả ảnh hưởng của các biến ngẫu nhiên đến P_y theo Bảng 5.

Bảng 3

Xi	Mô tả biến ngẫu nhiên	Đơn vị	Luật P.Phối	Đặc trưng thống kê	
				Kỳ vọng	Độ lệch
Hàm độ tin cậy theo Pilarczyk, áp dụng cho kết cấu bảo vệ mái bê tông $Z = \{\phi * \Delta * D\} - H_s * (\tan \alpha / \text{SQRT}(S_0))^b / \cos \alpha$					
Hs	Chiều cao sóng thiết kế	m	LogNor	Bảng 2	Bảng 2
$\tan \alpha$	Tg(Mái dốc đê phía biển)	-	Nor	0.25	0.018 (error 1°)
S_0	Đặc trưng sóng	-	Deter	0.02	
$\cos \alpha$	Cosin (mái dốc đê)	-	Nor	0.97	0.05 (error 1°)
Δ	Tỷ trọng của bê tông	-	Nor	1.4	0.05
ϕ	Hệ số kinh nghiệm	-	Nor	5	0.5
b	chỉ số mũ (kinh nghiệm)	-	Nor	0.65	0.15
D	Kích thước đá yêu cầu	m	Deter	nom	
Hàm độ tin cậy theo Van der Meer áp dụng cho kè đá xếp $Z = \{8.7 * P^{0.18} * (S/N^{0.5})^{0.2} * (\tan \alpha / \text{SQRT}(S_0))^{0.5}\} - \{H_s / \Delta D\}$					
N	Số cơn bão	-	Deter	7000	
P	Hệ số ảnh hưởng tính thấm	-	Nor	0.2	0.05
S	Trị số hư hỏng ban đầu	-	Deter	2	
Δ	Tỷ trọng của đá	-	Nor	1.6	0.1
8.7	Thông số mô hình	-	nor	8.7	$0.065 * 8.7 = 0.565$ 5

Bảng 4

Trường hợp	Thông số	Đơn vị	Đề hiện tại	Đề thiết kế mới theo T.K tất định	
				T.C Việt Nam	T.C Hà Lan
Kè đá xếp	Đường kính đá	m	0.45	0.89	0.86
	Xác suất hư hỏng	-	0.473	0.0157	0.0274
	Chỉ số tin cậy	-	0.0671	2.15	1.92
Cấu kiện B.T đúc sẵn	Đường kính đá	m	0.5	0.75	0.7
	Xác suất hư hỏng	-	0.132	0.0123	0.0288
	Chỉ số tin cậy	-	1.11	2.25	1.9

Kết quả phân tích cho thấy khả năng xảy ra hiện tượng mất ổn định kết cấu bảo vệ mái dốc là tương đối cao, ở mức 50% đối với đê đã xây dựng.

Phân tích tính nhạy cảm và tính ảnh hưởng của các đại lượng ngẫu nhiên cho thấy chiều cao sóng thiết kế gây ảnh hưởng chính đến cơ chế phá hỏng này. Bên cạnh đó các tham số mô hình và hệ số kinh nghiệm cũng có sự ảnh hưởng đáng kể.

Bảng 5. ảnh hưởng của các biến ngẫu nhiên đến cơ chế mất ổn định kết cấu bảo vệ mái.

Theo tiêu chuẩn Pilarczyk					Theo tiêu chuẩn Van der Meer				
No.	Xi	α_i	$(\alpha_i)^2$	% ảnh hưởng	No.	Xi	α_i	$(\alpha_i)^2$	% ảnh hưởng
1	Delta	-0.181	0.033	3.28	1	Delta	-0.2	0.040	4.00
2	Hs	0.646	0.417	41.73	2	Hs	0.824	0.679	67.90
3	Phi	-0.535	0.286	28.62	3	P	-0.231	0.053	5.34
4	b	0.445	0.198	19.80	4	mode l	-0.418	0.175	17.47
5	Slope	0.257	0.066	6.60	5	Slop e	0.23	0.053	5.29

4.3. Hiện tượng xói ngầm nền đê và đẩy trôi phía chân hạ lưu đê (Piping)

Hiện tượng này xảy ra khi đồng thời thoả mãn hai điều kiện [2]:

(1) Lớp sét nền đê bị chọc thủng.

(2) Xuất hiện dòng chảy vận chuyển cát ngầm dưới đê.

- Hàm độ tin cậy cho điều kiện 1:

$$Z_1 = \rho_c * g * d - \rho_w * g * \Delta H \quad (18)$$

- Hàm độ tin cậy cho điều kiện 2:

$$Z_2 = m * Lt / c - \Delta H \quad (19)$$

Trong đó: ρ_c : Khối lượng riêng của lớp sét.

ρ_w : Khối lượng riêng của nước.

ΔH : Chênh lệch mực nước.

Lt : Chiều dài tính toán đường viền thấm, xác định theo Bligh's.

C : Hệ số Bligh.

Xác định các biến ngẫu nhiên theo Bảng 6.

Bảng 6

Mô tả biến ngẫu nhiên	Kí hiệu	Đơn vị	Luật P.P	Kỳ vọng	Độ lệch
Khối lượng riêng đất nền	ρ_c	kG/m ³	Deter	1800	
Khối lượng riêng của nước	ρ_w	kG/m ³	Deter	1031	
Chiều dày lớp sét nền đê	d	m	Nor	3.5	0.2 (error =5% of thickness)
Thông số mô hình	m	-	Nor	1.67	0.33
Chiều dài đường viền thấm	Lk	m	Nor	48	5
Hệ số Bligh	cB	-	Deter	15	

Cột nước thấm	ΔH	m	$=DWL-Zinland=\{MHWL+Surge\}-Zinland$		
Mức nước triều cường	MHWL	m	Nor	2.29	0.071
Dềnh nước do gió bão	Surge	m	Nor	1.0	0.2
Mức nước phía đồng	Zinland	m	Nor	0	0.5

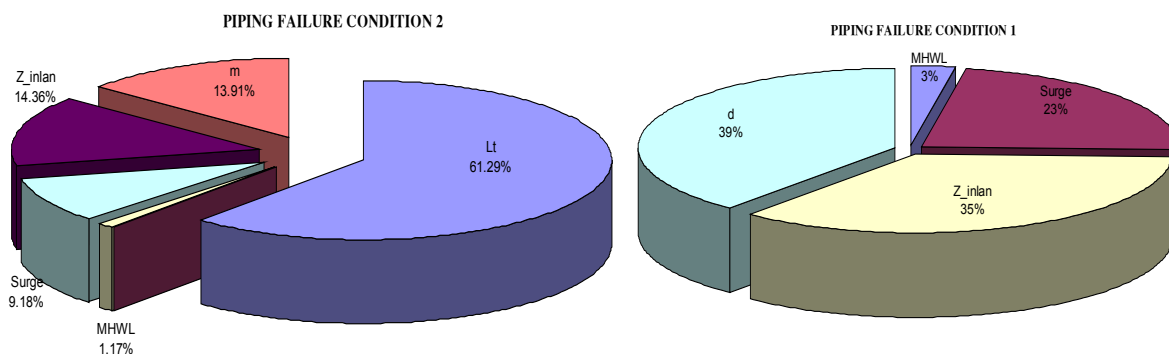
Xác suất xảy ra xói ngầm và đẩy trôi được tính toán bằng mô hình VAP. Kết quả tính toán ghi tại bảng 7. Hình 5 trình bày ảnh hưởng của các đại lượng ngẫu nhiên đến xác suất xảy ra hiện tượng piping.

Bảng 7

Xói ngầm và đẩy trôi điều kiện 2

Xói ngầm và đẩy trôi điều kiện 1

Hàm độ tin cậy Z_1	Hàm độ tin cậy Z_2
$\beta_1=6.72$	$\beta_2=3.21$
$P(Z_1<0)=9 \times 10^{-12}$	$P(Z_2<0)=6.57 \times 10^{-4}$



Hình 5. ảnh hưởng của các đại lượng ngẫu nhiên đến xác suất xảy ra hiện tượng đẩy trôi.

Hiện tượng xói ngầm và đẩy trôi xảy ra nếu (1) và (2) thỏa mãn [3]. Do đó xác suất phá hỏng do Piping là: $P_f = P\{Z=(Z_1<0 \text{ AND } Z_2<0)\} = P\{Z_1<0\} * P\{Z_2<0 | Z_1<0\}$.

Sử dụng phương pháp xấp xỉ Ditlevsen ta có:

$$P\{Z_2<0 | Z_1<0\} \geq \max \{ \Phi_N(-\beta_1) \times \Phi_N(-\beta_2^*); \Phi_N(-\beta_2) \times \Phi_N(-\beta_1^*) \} \quad (21)$$

$$\text{và } P\{Z_2<0 | Z_1<0\} \leq \Phi_N(-\beta_1) \times \Phi_N(-\beta_2^*) + \Phi_N(-\beta_2) \times \Phi_N(-\beta_1^*) \quad (22)$$

$$\beta^* = \frac{\beta_i - \rho \beta_j}{\sqrt{1 - \rho^2}} \quad (23)$$

$$\rho(Z_1, Z_2) = \sum_{i=1}^n \alpha_i^{(1)} \alpha_i^{(2)} \quad (24)$$

Với ρ là hệ số tương quan. Các tham số khác tương tự như trong mục 2.

áp dụng cho trường hợp này ta có $\rho=0.408$ và $\beta_1^*=5.93$; $\beta_2^*=0.51$

Xác suất xảy ra sự cố:

$$\max \{ \Phi_N(-6.72) \times \Phi_N(-0.51); \Phi_N(-3.21) \times \Phi_N(-5.93) \} \leq P\{Z_2<0 | Z_1<0\} \leq \{ \Phi_N(-6.72) \times \Phi_N(-0.51) + \Phi_N(-3.21) \times \Phi_N(-5.93) \};$$

$$\text{Biên trên: } P_{\text{(piping)}} = P\{Z_2 < 0 | Z_1 < 0\} = 3.1 \times 10^{-10}$$

$$\begin{aligned} \text{Biên dưới: } P_{\text{(piping)}} &= P\{Z_1 < 0\} * P\{Z_2 < 0 | Z_1 < 0\} = \\ &= 9 \times 10^{-12} * 3.1 \times 10^{-10} = 3 \times 10^{-22} \end{aligned}$$

Với kết quả này có thể kết luận rằng hiện tượng xói ngầm/đẩy trôi gần như không xảy ra. Chiều dài đường

viên thấm, chênh lệch mực nước (cột nước thấm) và chiều dày tầng sét có ảnh hưởng nhiều nhất đến kết quả phân tích.

4.4. Mát ổn định trượt mái đê

Phân tích ổn định mái dốc theo phương pháp ngẫu nhiên cho phép kể đến sự thay đổi của các thông số đầu vào của bài toán theo các luật phân phối xác suất và đưa ra xác suất phá hỏng mái dốc do trượt. Báo cáo này trình bày việc phân tích ổn định mái đê theo phương pháp Bishop, sử dụng chương trình SLOPE/W, thuật giải tính toán theo Monte Carlo. Các thông số chỉ tiêu của đất và lực tác dụng được coi là các biến ngẫu nhiên, tuân theo luật phân phối chuẩn [4].

Hàm độ tin cậy: $Z = SF$ (hệ số an toàn)

Do đó, xác suất phá hỏng được định nghĩa là xác suất để SF nhỏ hơn 1.0: $P_{\text{failure}} = P(Z < 1)$.

Danh sách các biến ngẫu nhiên trình bày trong Bảng 7. Kết quả tính toán ghi tại Bảng 8.

Bảng 7. Danh sách biến ngẫu nhiên đầu vào bài toán ổn định mái dốc

Mô tả biến ngẫu nhiên	Kí hiệu	Đơn vị	Luật P.P	Kỳ vọng	Độ lệch
Dung trọng tự nhiên của đất	γ_{unsat}	kN/m ³	Nor	nom	0.05*nom
Dung trọng bão hòa của đất	γ_{sat}	kN/m ³	Nor	nom	0.05*nom
Hệ số thấm	k	m/s	Deter.	nom	
Lực dính đơn vị của đất	C	kN/m ²	Nor	nom	0.05*nom
Góc ma sát trong của đất	φ	Độ	Nor	nom	2 ⁰
áp lực sóng lên mái đê	A	kN	Nor	nom	50
Tải trọng tại đỉnh đê (giao thông)	B	kN	Nor	100	10

Bảng 8. Tóm tắt kết quả phân tích ổn định mái đê

Thông số	Mái đê phía biển	Mái đê phía đồng
Trị trung bình hệ số ổn định	1.1538	1.2485
Chỉ số độ tin cậy	2.528	4
Độ lệch chuẩn	0.061	0.062
Min SF	0.98161	1.0545
Max SF	1.3416	1.4324
P(phá hỏng) (%)	0.00570860	0.00003130

Kết quả tính toán cho thấy, xác suất xảy ra mất ổn định trượt mái đê biển Nam Định là 0.6% đối với mái đê phía biển và 0.003% với mái đê phía đồng, chỉ số độ tin cậy là 2.5 và 4 tương ứng.

4.5. Tổng hợp xác suất phá hỏng đê biển Nam Định

Phân tích bài toán mẫu cho một đoạn đê biển đại diện tại vị trí Hải Triều kể đến bốn cơ chế hư hỏng chính như đã nêu ở trên. Tổng hợp xác suất xảy ra hư hỏng của đoạn đê đại diện được thực hiện theo sơ đồ sự cố của hệ thống như Hình 3. Xác suất tổng hợp xảy ra sự cố được xác định như sau:

$$P_{\text{dike failure}} = P(Z_1 < 0 \text{ OR } Z_2 < 0 \text{ OR } Z_3 < 0 \text{ OR } Z_{4-1} < 0 \text{ OR } Z_{4-2} < 0) \quad (25)$$

Trong đó $\{Z_1 < 0 \text{ OR } Z_2 < 0 \text{ OR } Z_3 < 0 \text{ OR } Z_{4-1} < 0 \text{ OR } Z_{4-2} < 0\}$ biểu thị rằng có ít nhất một trong bốn cơ chế hư hỏng xảy ra.

$Z_1 < 0$ biểu thị sự xảy ra hiện tượng sóng tràn/chảy tràn.

$Z_2 < 0$ biểu thị sự xảy ra hiện tượng hư hỏng kết cấu bảo vệ mái đê.

$Z_3 < 0$ biểu thị sự xảy ra hiện tượng xói ngầm, đẩy trôi (piping).

$Z_{4-1} < 0$ và $Z_{4-2} < 0$ biểu thị sự xảy ra hiện tượng hư hỏng do trượt mái đê phía biển và phía đồng tương ứng.

Xác suất sự cố tổng hợp được xác định nằm giữa hai biên giới hạn, biên giới hạn trên và biên giới hạn dưới i:

$$\max\{P(Z_i < 0)\} \leq P_{\text{dike failure}} \leq \sum_{i=1}^5 P_{Z_i} \{Z_i < 0\} \quad (26)$$

Trong đó xác suất hư hỏng theo cơ chế phá hỏng thứ i, $P(Z_i < 0)$, đã được xác định trong các mục trên. Kết quả tổng hợp áp dụng phương trình (26) ghi trong bảng 9.

Bảng 9: Xác suất sự cố tổng hợp của đê biển Nam Định

a. Đoạn đê được bảo vệ bằng kè đá xếp

Trường hợp	Sóng chảy tràn $P(Z_1 < 0)$	Hư hỏng kè $P(Z_2 < 0)$	Xói ngầm và đẩy trôi $P(Z_3 < 0)$	Trượt mái phía biển $P(Z_{4-1} < 0)$	Trượt mái phía đồng $P(Z_{4-2} < 0)$	Giới hạn dưới	Giới hạn trên
Đê hiện tại	0.4740	0.4730	3.0E-12	0.00003	0.0057	0.474	0.953
Đê thiết kế mới theo TCVN	0.0474	0.0157	3.0E-12	0.00003	0.0057	0.0474	0.069

b. Đoạn đê được bảo vệ bằng cầu kiên bê tông đúc sẵn

Trường hợp	Sóng chảy tràn $P(Z_1 < 0)$	Hư hỏng kè $P(Z_2 < 0)$	Xói ngầm và đẩy trôi $P(Z_3 < 0)$	Trượt mái phía biển $P(Z_{4-1} < 0)$	Trượt mái phía đồng $P(Z_{4-2} < 0)$	Giới hạn dưới	Giới hạn trên
Đê hiện tại	0.6320	0.1320	3.0E-12	0.00003	0.0057	0.632	0.77
Đê thiết kế mới theo TCVN	0.0464	0.0123	3.0E-12	0.00003	0.0057	0.0464	0.064

4.6. Kết luận

Kết quả phân tích cho thấy xác suất xảy ra sự cố của đê biển Nam Định tại vị trí nghiên cứu là rất cao, với biên dưới là 47.4% và biên trên là 95.3%. Dựa vào điều này có thể nói rằng đoạn đê thường xuyên xảy ra sự cố khi điều kiện biên thiết kế xuất hiện (ví dụ triều cường kết hợp bão thiết kế...).

Xác suất xảy ra hiện tượng sóng tràn và chảy tràn đỉnh đê là 47% cho loại đê có kè đá xếp và 63% cho loại đê có kết cấu bảo vệ mái bằng cấu kiện bê tông. Nguyên nhân của sự kém an toàn này là do cao trình thiết kế đỉnh đê không đủ tương ứng với điều kiện biên hiện tại. Mức độ an toàn này là quá thấp so với các tiêu chuẩn thiết kế hiện nay.

Tương tự đối với ổn định kết cấu bảo vệ mái đê, khả năng xảy ra sự cố là 50%. Điều này phản ánh rằng khả năng xuất hiện và không xuất hiện hư hỏng là như nhau, 50-50. Như vậy, có thể xem xét trạng thái làm việc của kết cấu bảo vệ mái đê đạt tới trạng thái giới hạn khi xảy ra bão thiết kế với hệ số an toàn SF=1.0 theo quan điểm thiết kế truyền thống.

Nguyên nhân hư hỏng chính của đê biển Nam Định qua phân tích là do khả năng xuất hiện sóng tràn/chảy tràn và mất ổn định kết cấu bảo vệ mái đê. Kết quả này rất phù hợp với những nghiên cứu đánh giá an toàn hệ thống đê theo phương pháp thiết kế truyền thống (xem Mai Van Cong, UNESCO-IHE, M.Sc thesis 2004-[5]). Đặc biệt, điều này cũng phù hợp với thực tế diễn biến hàng năm tại vùng bờ biển Nam Định.

5. Một vài kiến nghị

Đánh giá an toàn công trình theo phương pháp thiết kế ngẫu nhiên và lý thuyết độ tin cậy ngoài việc đưa ra kết quả “Công trình có an toàn hay không” còn trả lời được câu hỏi “Công trình an toàn ở mức độ nào?” và “khả năng bị phá hỏng là bao nhiêu?”. Đây là ưu điểm lớn nhất của phương pháp thiết kế này hiện đang được ứng dụng nhiều nơi trên thế giới.

Đánh giá an toàn đê biển thực hiện với bài toán mẫu trong bài báo này mới chỉ áp dụng tính toán ở mức độ tiếp cận II và cho một đoạn đê tiêu biểu nguy hiểm nhất. Để kết quả đánh giá chính xác và sát với thực tế hơn cần nghiên cứu phân tích cho toàn tuyến đê và tính toán thực hiện ở mức độ tiếp cận cấp III. Để thực hiện được điều này, cần thiết phải thu thập thêm nhiều số liệu, dữ liệu thực tế liên quan đến biên tải trọng và độ bền của toàn tuyến đê, ví dụ như các số liệu quan sát mực nước, triều, sóng, gió; mặt cắt đê hiện tại và các chỉ tiêu cơ lý của đất thân đê và nền đê.

Nghiên cứu áp dụng phương pháp thiết kế ngẫu nhiên và lý thuyết độ tin cậy trong tính toán các vấn đề liên quan đến các đại lượng ngẫu nhiên và trong thiết kế công trình cần được phát triển rộng rãi. Vấn đề này hiện đang là một xu thế nghiên cứu mới ở nước ta cũng như nhiều nơi trên thế giới.

Tài liệu tham khảo

- [1] Allsop N.W.H, 1998, Coastline, structures and breakwaters, Proceeding of international conference organized by Institution of Civil Engineers and held in London, 20 March 1998, Thomas Telford, 1998
- [2] CUR/TAW, 1990, Probabilistic design of flood defences, report 141, RWS/TAW, Gouda, The Netherlands 1990.
- [3] CUR/CIRIA, 1991, Manual on application of rock in shoreline and coastal engineering, CUR report 154, CIRIA special publication 83, Gouda/London, 1991.

- [4]** GEO-Slope, 2000, User's manual for slope stability analysis, SLOPE/W 5.12, GEO-Slope L.t.d, Canada, 2000
- [5]** Mai Văn Công, 2004, Safety assessment of sea dike in Vietnam, M.Sc thesis, Unesco-IHE, Delft, The Netherlands, June 2004.
- [6]** Nguyễn Văn Mạo, 2000, Lý thuyết độ tin cậy trong thiết kế công trình thủy công, Bài giảng cao học, Đại học Thủy lợi 2000.
- [7]** Pilarczyk, K.W., 1998, Dikes and revetments, Design, maintenance and safety assessment, Rijkswaterstaat, A.A.Balkema/Rotterdam/Brookfield, 1998.
- [8]** Vrijling J.K., van Gelder P.H.A.J.M, Probabilistic design in hydraulic engineering, Lecture notes, CT5310, TU-Delft, 2002.