

PHÂN TÍCH ĐỘ TIN CẬY ĐÊ HỮU HỒNG ĐOẠN QUA THÀNH PHỐ HÀ NỘI

Trần Quang Hoài¹, Mai Văn Công²

Tóm tắt: Theo đánh giá của các cơ quan quản lý về đê điều, các tuyến đê của Hà Nội hiện đủ cao trình để chống lũ. Tuy nhiên, nhiều năm qua, hầu hết các tuyến đê chưa có cơ hội để "thử thách" trước những trận lũ lớn. Thêm vào đó là tình trạng suy giảm độ bền của các tuyến đê liên quan đến thân và nền đê, và sự xuất hiện các đầm, hồ ao ven đê dẫn đến sự xuất hiện hiện tượng mạch dùn, mạch sủi ngà một phổ biến hơn, đe dọa đến an toàn hệ thống đê. Báo cáo này trình bày phương pháp phân tích an toàn của hệ thống đê theo lý thuyết độ tin cậy và ứng dụng cho đê Hữu Hồng đoạn qua thành phố Hà Nội. Kết quả phân tích của bài báo cũng chỉ ra rằng, hệ thống đê Hữu Hồng hiện nay cần thiết phải được nâng cấp để đảm bảo an toàn phòng lũ theo tiêu chuẩn hiện tại và phù hợp hơn với tình hình phát triển kinh tế, xã hội hiện tại.

Từ khóa: Độ tin cậy; an toàn đê; đê Hữu Hồng; tiêu chuẩn an toàn.

1. SƠ LƯỢC LÝ THUYẾT ĐỘ TIN CẬY TRONG PHẠM VI BÀI TOÁN

Để đánh giá an toàn của một hệ thống công trình phòng chống lũ cần đánh giá tất cả các cơ chế phá hỏng của thành phần hệ thống. Để đánh giá các cơ chế phá hỏng cần thành lập các hàm tin cậy (thường dùng các phương trình trạng thái giới hạn để xây dựng). Công thức tổng quát của một hàm tin cậy có dạng (Mai Văn Công, 2006):

$$Z=R-S \quad (1)$$

* Trong đó:

+ R: Độ bền hay khả năng kháng hư hỏng;

+ S: Tải trọng hay khả năng gây hư hỏng.

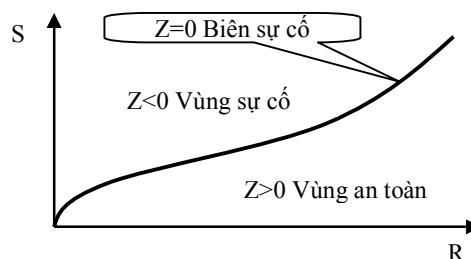
Hàm tin cậy Z được thiết lập căn cứ vào trạng thái giới hạn tương ứng với cơ chế phá hỏng đang xem xét và là hàm của nhiều biến và tham số ngẫu nhiên. Theo đó, $Z < 0$ được coi là có hư hỏng xảy ra và hư hỏng không xảy ra nếu Z nhận các giá trị còn lại ($Z \geq 0$). Trạng thái giới hạn là trạng thái mà tại đó $Z=0$ trong mặt phẳng RS (H.F. Burcharth, et al 1995); đây được coi là biên sự cố. Xác suất phá hỏng được xác định:

$$P_f = P(Z \leq 0) = P(S \geq R) \quad (2)$$

$$\text{Xác suất an toàn: } P(Z > 0) = 1 - P_f \quad (3)$$

Trường hợp đơn giản, hàm tin cậy tuyến tính với các biến ngẫu nhiên cơ bản phân bố chuẩn,

việc tính toán xác suất xảy ra sự cố thông qua hàm phân phối tiêu chuẩn $\Phi N(-\beta)$ bằng cách sử dụng các giá trị kỳ vọng μ_Z , độ lệch chuẩn σ_Z và chỉ số độ tin cậy $\beta = \mu_Z / \sigma_Z$ của hàm tin cậy.



Hình 1. Hàm tin cậy biểu diễn trong m/p RS

Hàm tin cậy biểu diễn trong mặt phẳng RS và xác suất xảy ra sự cố và chỉ số độ tin cậy được định nghĩa như Hình 1: Điểm nằm trong miền sự cố với mật độ xác suất lớn nhất được coi là điểm thiết kế. Thông thường điểm này nằm trên đường biên sự cố. Điểm thiết kế đóng vai trò quan trọng trong ước lượng xác suất xảy ra sự cố.

2. LÝ THUYẾT ĐỘ TIN CẬY TRONG PHÂN TÍCH AN TOÀN HỆ THỐNG PHÒNG CHỐNG LŨ

Các cơ chế xảy ra sự cố đối với hệ thống công trình phòng lũ nói chung là đa dạng và phức tạp. Trong khuôn khổ bài báo đề cập đến một số cơ chế phá hỏng chính với đê Hữu Hồng như sau:

¹ Tổng cục Thủy lợi, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn.

² Khoa Công trình, trường Đại học Thủy lợi.

2.1. Cơ chế Chảy tràn

Nguyên nhân gây ra cơ chế này là khi mực nước trước đê chảy tràn qua đỉnh đê và có hướng gió thổi từ sau đê ra ngoài, sóng có hướng đi ra xa bờ, trường hợp này yếu tố sóng được bỏ qua. Hàm tin cậy của cơ chế này được viết như công thức (4):

$$Z = H_k - H = Z = H_k - (MNL + \Delta h) \quad (4)$$

* Trong đó:

- H_k : Độ cao của đỉnh đê;
- H : Mực nước suất hiện trước đê = $MNL + \Delta h$
- MNL : Mực nước lũ
- Δh : Chiều cao nước dâng do gió gây ra;

2.2. Cơ chế mất ổn định cấu kiện bảo vệ mái

Hàm tin cậy chung cho trường hợp này được định nghĩa như sau:

* Đối với kết cấu bảo vệ mái đê là đá lát khan, hàm tin cậy được triển khai thành:

$$Z = t_R - K_1 \frac{\gamma}{\gamma_b - \gamma} \frac{H}{\sqrt{m}} \sqrt{\frac{L}{H}} \quad (5)$$

* Đối với kết cấu bảo vệ mái đê sông là tấm lát bê tông trên mái nghiêng, hàm tin cậy được triển khai thành:

$$Z = t_R - \eta H \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_b - \gamma} \frac{L}{Bm}} \quad (6)$$

Trong đó:

- t_R : Chiều dày của kết cấu mái bảo vệ đê sông;
- t_S : Chiều dày KCBV cần thiết đảm bảo điều kiện ổn định;
- K_1 : Hệ số, đá thường lấy bằng 0,266, đá vuông và đá cột (chê) lấy bằng 0,225;
- γ_b : Khối lượng riêng của đá; γ : Khối lượng riêng của nước;
- H : Chiều cao sóng tính toán; L : Chiều dài sóng, m;
- m : hệ số mái dốc; B : Chiều dài cạnh tấm bản theo hướng vuông góc với đường mép nước.

2.3. Cơ chế xói chân đê

Cơ chế này xảy ra khi chiều sâu hố xói trước chân đê lớn hơn chiều sâu bảo vệ của kết cấu chân đê. Hàm tin cậy của cơ chế này được viết như sau:

$$Z_3 = h_t - h_x \quad (7)$$

* Trong đó:

- h_t : Chiều sâu bảo vệ của kết cấu chân đê;
- h_x : Chiều sâu hố xói dự kiến trước chân đê.

❖ Hàm tin cậy trong trường hợp dòng chảy xiên góc với bờ và lòng dẫn có bãi được viết thành:

$$Z = h_t - \left(\frac{23 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{\sqrt{1+m^2} g} \times \frac{Q_1^2}{B_1^2 H_1^2} \frac{4\eta^2}{(1+\eta)^2} - 30d \right) \quad (8)$$

❖ Hàm tin cậy trong trường hợp dòng chảy xiên góc với bờ và lòng dẫn không có bãi được viết thành:

$$Z = h_t - \left(\frac{23 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{\sqrt{1+m^2} g} \times \frac{Q^2}{(W - W_p)^2} - 30d \right) \quad (9)$$

Trong đó:

- B_1 : Chiều rộng bãi, khoảng cách từ mép đến chân dốc (m); Q_1 : phần lưu lượng thiết kế thông qua bãi, (m³/s); H_1 : độ sâu trên bãi;
- η : hệ số phân bố không đều của lưu tốc;
- Δh_p : Độ sâu xói cục bộ tính từ đáy sông, m;
- α : Góc giữa lưu hướng dòng chảy ở mực nước lũ tính toán và mái bờ;
- m : Hệ số mái chân kè;
- d : đường kính hạt tính toán của đất đáy sông tại sát chân kè, cm;
- W : diện tích mặt cắt ngang dòng sông; W_p : Diện tích ngang lòng sông sau khi thu hẹp;

2.4. Cơ chế xói ngầm, đẩy trôi

Cơ chế xói ngầm xảy ra khi nó đồng thời thỏa mãn hai điều kiện:

- 1) Lớp sét nền đê bị chọc thủng;
- 2) Xuất hiện dòng chảy vận chuyển cát ngầm dưới đê.

Hàm tin cậy của từng cơ chế:

$$Z_4^{(1)} = \rho_c g d - \rho_w g \Delta H \quad \text{và} \quad Z_4^{(2)} = m \frac{L_t}{c} - \Delta H \quad (10)$$

* Trong đó:

- + ρ_c : Trọng lượng đơn vị bão hòa của lớp đất nền;
- + ρ_w : Trọng lượng đơn vị của nước;
- + g : Gia tốc trọng trường; d : Bề dày lớp đất sét tính từ chân đê đến lớp cát nền bên dưới;
- + $\Delta H = MNL + MNBD - MNHL$
- + $c = c_B$: Hằng số Blight, phụ thuộc vào loại đất;
- + m - Thông số mô hình, để tính toán sự phân tán theo kinh nghiệm khảo sát.

$$P_f = P(Z_4^1 \cap Z_4^2) = P(Z_4^1) P(Z_4^2 | Z_4^1) \quad (11)$$

2.5. Cơ chế mất ổn định trượt mái

Hàm tin cậy của cơ chế (Ghecxêvanôp):

$$Z_s = SF - [SF] = \sum_{i=1}^n (N_i - W_i) \operatorname{tg} \varphi_i + \sum_{i=1}^n C_i l_i - \sum_{i=1}^n T_i \quad (12)$$

* Trong đó:

+ SF – Hệ số an toàn ổn định trượt mái đê;
 + [SF] – Hệ số an toàn ổn định trượt mái đê cho phép. [SF] = 1.

+ $N_i = G_i \cdot \cos \alpha_i$; $T_i = G_i \cdot \sin \alpha_i$; $G_i = b_i \sum \gamma_i h_i$ - Trọng lượng của dải thứ i;

+ W_i – Áp lực thủy tĩnh dưới đáy dải thứ i; l_i – Chiều dài đáy dải thứ i; C_i , φ_i – Lực dính đơn vị và góc ma sát trong tại đáy dải thứ i.

3.6. Cơ chế mất ổn định do thấm

Hàm tin cậy trong trường hợp này có thể viết thành:

$$Z = [q] - q = [q] - q_D - k_0 \frac{(H_1 - H_2) \cdot T}{L + m_1 H_1 + 0,88T} \quad (13)$$

Trong đó:

- q_D : là lưu lượng thấm trên đơn vị chiều rộng tìm được của đê đất đồng chất, trên nền không thấm nước, có cùng hình thức tiêu nước, m^2/s ;

- T là chiều dày tầng thấm nước, m; k_0 là hệ số thấm của tầng thấm nước, m/s ;

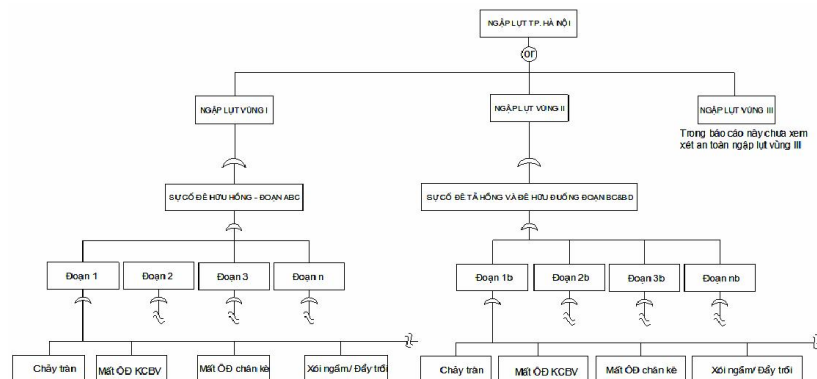
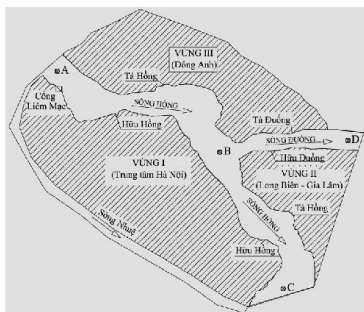
- q là lưu lượng thấm trên đơn vị chiều rộng, m^2/s ;

- H_1 là mực nước thượng lưu, (m); m_1 là hệ số mái dốc thượng lưu;

3. ỨNG DỤNG PHÂN TÍCH AN TOÀN CHO HỆ THỐNG PHÒNG CHỐNG LŨ ĐOẠN QUA THÀNH PHỐ HÀ NỘI

Hà Nội hiện có 20 tuyến đê chính dài khoảng 470km, trong đó có hơn 37km đê hữu Hồng là đê cấp đặc biệt, 211,5km đê cấp I; 67,4km đê cấp II, còn lại là đê cấp III và cấp IV.

Có thể mô tả hệ thống phòng chống lũ đoạn qua Hà Nội thành 03 khu vực, tuy nhiên để đơn giản trong tính toán, tác giả sẽ phân tích các cơ chế gây mất ổn định và tổng hợp xác suất xảy ra ngập lụt cho Vùng I – trung tâm thành phố Hà Nội và vùng II - khu vực các quận Gia Lâm, Long Biên; chưa xem xét các đê vùng III. Từ sơ đồ này, tác giả có thể đề xuất sơ đồ cây sự cố cho hệ thống phòng chống lũ đoạn qua Hà Nội như hình 02 dưới đây.

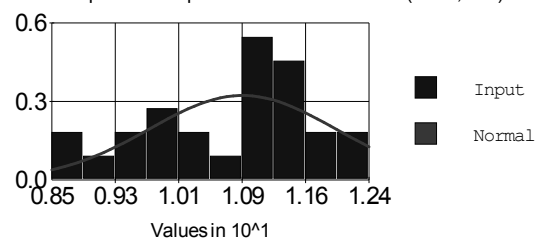


Hình 2. Sơ họa khu vực nghiên cứu & Sơ đồ cây sự cố

3.1. Danh sách các biến ngẫu nhiên

Đối với các biến ngẫu nhiên có số liệu thống kê, sử dụng phần mềm BESTFIT tìm hàm phân phối xác suất phù hợp nhất và các tham số thống kê của nó. Đối với các biến ngẫu nhiên không có số liệu thống kê, hàm phân phối lấy theo các hàm đặc trưng. Các biến ngẫu nhiên của mỗi cơ chế được tổng hợp trong các bảng 1 đến bảng 4

Comparison of Input Distribution and Normal(10.85, 1.15)



Hình 3. Phân tích mực nước lũ tại trạm Long Biên

Bảng 1. Danh sách biến ngẫu nhiên theo cơ chế chảy tràn đỉnh đê

BNN	Phân đoạn	Lý trình	Kí hiệu	Luật P.Phối	Đặc trưng (m)	
					Kỳ vọng μ	Độ lệch σ
CTDD	Đoạn 1	Hữu Hồng K31+100÷K47+980	ZĐ1	Nor	17.5	0.2
	Đoạn 2	Hữu Hồng K48+000÷K57+000	ZĐ2	Nor	14.67	0.2
	Đoạn 3	Hữu Hồng K57+000÷K80+340	ZĐ3	Nor	13	0.1
MNL	Đoạn 1	Hữu Hồng K31+100÷K47+980	MNL ₁	Nor	15.7	1.15
	Đoạn 2	Hữu Hồng K48+000÷K57+000	MNL ₂	Nor	13.6	1.15
	Đoạn 3	Hữu Hồng K57+000÷K80+340	MNL ₃	Norl	10.8	1.15

Bảng 2. Danh sách biến ngẫu nhiên theo cơ chế mất ổn định mái bảo vệ

Biến ngẫu nhiên	Kí hiệu	Đơn vị	Đặc trưng thống kê		
			Luật P.Phối	Kỳ vọng μ	Độ lệch σ
Chiều cao sóng trước đê	Hs	m	LogNor	0,42	0,063
Chiều dài sóng	L	m	Nor	10	1.5
Chiều dày lớp áo kè	t	m	Nor	0.2	0.01
Độ sâu nước trước chân kè	d	m	Nor	6	0.3
Khối lượng riêng của nước	γ	KN/m ³	Deter	1	0.05
Khối lượng riêng của đá	γ_b	KN/m ³	Nor	2.4	0.1
Hệ số mái dốc	m	-	Nor	5	0.2

Bảng 3. Danh sách biến ngẫu nhiên theo cơ chế xói chân đê

Biến ngẫu nhiên	Kí hiệu	Đơn vị	Đặc trưng thống kê		
			Luật P.Phối	Kỳ vọng μ	Độ lệch σ
Lưu lượng lũ sông	Q ₁	m ³ /s	Nor	18,000	100
Chiều rộng bãi, khoảng cách từ mép đến chân dốc	B ₁	m	Nor	500	10
Độ sâu trên bãi	H ₁	m	Nor	5	0.2
Hệ số phân bố không đều của lưu tốc	η	-	Deter	2	
Góc giữa lưu hướng dòng chảy ở mực nước lũ tính toán và mái bờ	α	rad	Nor	0.53	0.05
Hệ số mái chân kè	m	-	Nor	3	0.1
Đường kính hạt tính toán của đất đáy sông tại sát chân kè	d	m	Nor	0.01	0.0005
Chiều sâu bảo vệ của kết cấu chân đê	h _t	m	Nor	3	0.2

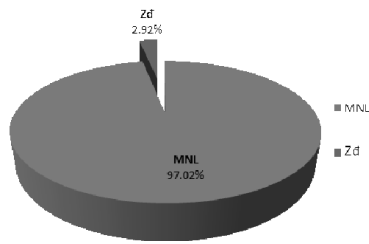
Bảng 4. Các biến ngẫu nhiên của cơ chế xói ngầm, đẩy trôi

Biến ngẫu nhiên	Kí hiệu	Đơn vị	Đặc trưng thống kê		
			Luật P.Phối	Kỳ vọng μ	Độ lệch σ
Dung trọng b.hòa đất nền	ρ_c	T/m ³	Nor	1.80	-
Dung trọng riêng của nước	ρ_w	T/m ³	Deter	1.00	-
Thông số mô hình	m	-	Nor	2.00	0.20
Chiều dài viên thấm	L _t	m	Nor	50	4.50
Hằng số Blight	C _B	-	Deter	15.00	-
Chiều dày lớp sét	d	m	Nor	2	0.4
Mực nước lũ sông	MNTL	m	Nor	17.5	0.4
Mực nước trong đồng	MNHL		Nor	13	0.3

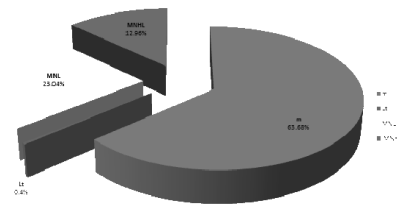
3.2. Xác suất xảy ra sự cố của từng cơ chế và các hệ số ảnh hưởng của các biến ngẫu nhiên

Bảng 5. Kết quả xác suất xảy ra sự cố đối với đê Hữu Hồng đoạn qua nội thành Hà Nội

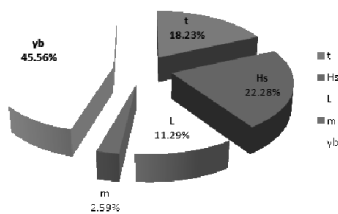
Cơ chế sự cố	Kí hiệu	Xác suất xảy ra sự cố
Sóng tràn/chảy tràn	$P(Z_1 < 0)$	0.06145
Mất ÔĐ KCBV	$P(Z_2 < 0)$	2.75×10^{-4}
Xói chân đê	$P(Z_3 < 0)$	0.175
Xói ngầm	$P(Z_4 < 0)$	0.114
Đẩy trôi	$P(Z_5 < 0)$	$2,79E-8$
Mất ổn định trượt mái	$P(Z_5 < 0)$	$2,79E-8$
TỔNG HỢP	P_{HT}	0.1802



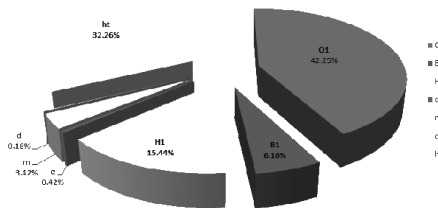
4a. Ảnh hưởng của các biến ngẫu nhiên đến cơ chế chảy tràn.



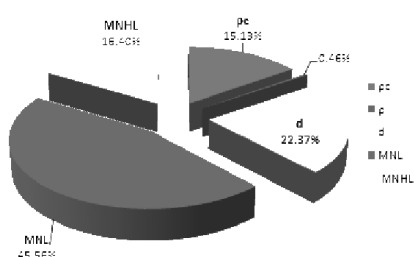
4e. Ảnh hưởng của các biến ngẫu nhiên đến cơ chế đẩy trôi của đê hữu Hồng.



4b. Ảnh hưởng của các biến ngẫu nhiên đến cơ chế mất ổn định KCBV mái.



4c. Ảnh hưởng của các biến ngẫu nhiên đến cơ chế xói chân.



4d. Ảnh hưởng của các biến ngẫu nhiên đến cơ chế xói ngầm.

3.3. Xác suất tổng hợp xảy ra sự cố

Phân tích bài toán mẫu cho một đoạn đê biển đại diện kể đến năm 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 2. Xác suất tổng hợp xảy ra sự cố được xác định như sau (Mai Văn Công, 2010):

$$P_{\text{vỡ đê}} = P(Z_1 < 0 \cup Z_2 < 0 \cup Z_{3-1} \cap Z_{3-2} < 0 \cup Z_{4-1} < 0 \cap Z_{4-2} < 0 \cup Z_5 < 0)$$

Trong đó:

- $Z_1 < 0$ 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;
- $Z_{4-1}; Z_{4-2}$ biểu thị sự xảy ra hiện tượng hư hỏng do trượt mái đê phía biển và phía đồng tương ứng;
- Z_5 biểu thị sự xảy ra hiện tượng phá hỏng do chiều sâu xói chân đê vượt quá chiều sâu bảo vệ.

4. NHẬN XÉT KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

Sử dụng phần mềm OpenFTA theo phương pháp Monte Carlo mô phỏng được tổ hợp xác suất xảy ra sự cố hệ thống phòng chống lũ nội thành Hà Nội với đê sông hiện tại cho kết quả

là: $P_2=0,04$ (1/ 25 năm) Tiêu chuẩn an toàn hiện tại: 1/500 (năm). Kết quả phân tích cũng chỉ ra rằng cơ chế nước tràn đỉnh đê ảnh hưởng nhiều nhất đến an toàn đê sông (86.83%). Dựa trên các xác suất gây hư hỏng tuyến đê biển, thì cũng có thể thấy nên tập trung nâng cao trình độ đỉnh đê và tăng kích thước (chiều dày) khối phủ bảo vệ đê. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy rằng, yếu tố sóng có mức độ ảnh hưởng lớn nhất đến cơ chế mất ổn định kết cấu bảo vệ mái. Như vậy ngoài việc tăng kích thước (chiều dày) của kết cấu bảo vệ mái, thì có thể xem xét đến các biện pháp như trồng rừng ngập mặn tại những vị trí thuận lợi, có bãi bồi trước đê cao để giảm ảnh hưởng các tác động của sóng lên mái đê và tăng tính ổn định của cấu kiện cũng như của toàn bộ hệ thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Burcharth, H.F., Sørensen, J.D. & Christiani, E. (1995). *Application of reliability analysis for optimal design of vertical wall breakwaters*. Proceedings of the International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries (COPEDEC)
- Mai Văn Công, (2006); *Thiết kế công trình theo lý thuyết ngẫu nhiên và phân tích độ tin cậy*; Bài giảng Khoa Kỹ Thuật Biển, Trường Đại học Thủy lợi
- Mai Văn Công, (2010); *Probabilistic design of coastal flood defences in Vietnam*; Luận án tiến sỹ, Trường Đại học Công nghệ Delft, Hà Lan.

Abstract:

RELIABILITY ANALYSIS OF HUU HONG LEVEE THROUGH INNER HANOI CITY

According to the department of dike management, the current dikes of Hanoi is high enough to prevent river floods. However, the dikes have not been "challenged" with the major floods. In addition, reduction of strengths of the dike body and its foundation and existence of meshes ponds along the dikes frequently leads to sand boiling and even piping occurs at many places, which threatening stability of the dike system. This paper presents reliability analysis of the dike system by application of reliability theory and probabilistic approach. Detailed analysis is performed for the case of Huu Hong dikes which protects central Hanoi. Research results show that Huu Hong dike system need to be upgraded in order to ensure flood safety by present standard and further more for the situation of present socio-economic development.

Keywords: Reliability; dike safety; river dikes; flood risk; flood safety.

BBT nhận bài: 25/1/2016

Phản biện xong: 11/3/2016