

## **PHÂN TÍCH AN TOÀN HỆ THỐNG KÈ BẢO VỆ BỜ SÔNG THEO LÝ THUYẾT ĐỘ TIN CẬY**

**Nguyễn Lan Hương<sup>1</sup>, Nguyễn Quang Hùng<sup>1</sup>, Nguyễn Thanh Hằng<sup>1</sup>**

**Tóm tắt:** Hàng năm, Việt Nam phải đầu tư rất nhiều tiền để xây dựng các công trình bảo vệ bờ trên các hệ thống sông để giảm thiểu các thiệt hại về người và tài sản do xói lở bờ sông gây ra. Hiện trạng sạt lở bờ xảy ra thường xuyên trên các tuyến sông do nhiều nguyên nhân và sạt lở càng nghiêm trọng hơn trong các đợt mưa lũ kéo dài. Các giải pháp kè bảo vệ mái với nhiều thức kết cấu linh hoạt là các biện pháp hiệu quả để tăng cường ổn định cho bờ sông chống các tác hại xói lở bờ, giữ cho dòng chảy trong sông ổn định, kết hợp bảo vệ cầu, đường giao thông và đáp ứng yêu cầu cảnh quan đô thị. Với các số liệu thu thập được, nghiên cứu đã xây dựng bài toán tính xác suất an toàn cho hệ thống kè sông Lô đoạn qua thành phố Tuyên Quang theo lý thuyết độ tin cậy. Các tính toán đã chỉ ra rằng: hệ thống kè sông Lô đảm bảo an toàn phòng lũ với tần suất lũ thiết kế  $P = 5\%$  và an toàn theo độ tin cậy cho phép (tiêu chuẩn của Nga) khi không kể đến ảnh hưởng của độ dài tuyến kè và hệ thống kè có khả năng bị sự cố khi kể đến độ dài của 7 đoạn kè sông; khi cần thiết phải nâng cấp sửa chữa tuyến kè thì cần quan tâm nhiều nhất đến đoạn kè số 5 vì đây là đoạn có độ tin cậy thấp nhất và ảnh hưởng lớn nhất đến sự cố hệ thống.

**Từ khóa:** Sạt lở bờ sông, độ tin cậy, xác suất sự cố, kè sông, biến ngẫu nhiên, hàm tin cậy.

### **1. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Sạt lở bờ sông là một qui luật tự nhiên nhưng gây thiệt hại nặng nề cho các hoạt động dân sinh kinh tế vùng ven sông, là nguyên nhân chính làm mất đất sản xuất của người dân với diện tích rất lớn tập trung chủ yếu dọc bờ sông. Dòng chảy trên các hệ thống sông lớn miền Bắc như: sông Hồng, sông Thái Bình, sông Lô, sông Gâm thường mang nhiều bùn cát, hơn nữa nền sông là bồi tích nên rất dễ xói bồi. Xói lở và bồi lắng không chỉ diễn ra vào mùa lũ mà còn vào mùa kiệt, do đó việc xác định các nguyên nhân, cơ chế để tìm các giải pháp nhằm phòng, chống và hạn chế tác hại của quá trình sạt lở là việc làm có ý nghĩa rất lớn đối với sự an toàn của các khu dân cư, đô thị. Hàng năm, Việt Nam đã phải đầu tư hàng nghìn tỷ đồng để xây dựng các công trình bảo vệ bờ sông trên khắp cả nước để đối

phó với hiện tượng sạt lở bờ sông, và các hình thức kết cấu kè bảo vệ mái là một giải pháp được lựa chọn phổ biến để tăng cường ổn định cho bờ sông chống lại các nguy cơ xói lở bờ. Hiện nay, các công trình phòng lũ bảo vệ bờ của Việt Nam chủ yếu được thiết kế theo phương pháp tất định, trong đó các chỉ tiêu an toàn dùng để đánh giá là hệ số an toàn; các tính toán về ngẫu nhiên và độ tin cậy trong hệ thống thủy lợi đã được thực hiện trong các luận án, đề tài và nghiên cứu. Trong khi đó, các nước tiên tiến trên thế giới: Nga, Trung Quốc, Nhật Bản và một số nước Châu Âu đã sử dụng phương pháp thiết kế ngẫu nhiên và các tiêu chuẩn về độ tin cậy để đánh giá an toàn cho công trình.

Bài báo giới thiệu sơ bộ hiện trạng xói lở bờ sông ở các tỉnh miền Bắc Việt Nam, phân tích các hình thức kết cấu bảo vệ bờ sông và các nguyên nhân, sự cố làm ảnh hưởng đến độ tin cậy của hệ thống kè. Nghiên cứu đã ứng dụng lý

---

<sup>1</sup> Trường Đại học Thủy lợi

thuyết độ tin cậy để đánh giá an toàn cho hệ thống kè sông Lô đoạn qua thành phố Tuyên Quang có kể đến ảnh hưởng của chiều dài tuyến kè và các định hướng nâng cao độ tin cậy cho các đoạn kè khi có các yêu cầu về sửa chữa nâng cấp hệ thống kè.

## 2. HIỆN TRẠNG SẠT LỞ BỜ SÔNG VÀ CÁC HÌNH THỨC KẾT CẤU KÈ BẢO VỆ MÁI

### 2.1. Hiện trạng sạt lở bờ sông

Hiện tượng sạt lở bờ sông ngày càng gia tăng do nhiều nguyên nhân: Biến đổi khí hậu gây ra các đợt mưa lũ lớn và mưa trái mùa làm mực nước trên sông thay đổi; tình trạng khai thác cát sỏi trái phép làm lòng sông hạ thấp dẫn tới thay đổi chế độ dòng chảy; các tàu, thuyền tải trọng lớn di chuyển theo luồng sạt lở bờ sông tạo ra sóng, kết cấu địa chất bờ sông là đất pha cát bờ rời đã làm xói lở bờ sông; tác động của việc điều tiết dòng chảy trong việc xả lũ và tích nước của hệ thống các công trình thủy điện phía thượng nguồn gây ra; bờ sông thiếu các hệ thống kè bờ gia cố. Hiện trạng sạt lở xảy ra thường xuyên và ngày càng nghiêm trọng trong các đợt mưa lũ kéo dài, có thể kể đến một số sự cố sạt trượt điển hình đã xảy ra trên các hệ thống sông lớn ở miền Bắc trong những năm qua như:

- Sự cố sạt lở 500m bờ hữu sông Đà đoạn qua huyện Ba Vì năm 2020 do dòng chủ lưu áp sát chân kè làm cho chân kè Minh Quang bị sạt lở mạnh khoảng 30m, cung sạt sát vào chân đê



Hình 1. Sạt lở tại bờ bãi sông Hồng đoạn đi qua thôn Sơn Hô huyện Gia Lâm

do mái kè là mái đê đã ảnh hưởng trực tiếp đến an toàn của tuyến đê Khánh Minh và an toàn của trạm bơm Đồng Tiến (Báo điện tử kinh tế và đô thị, 2021).

- Sự cố sạt lở bờ bãi sông Hồng đoạn qua thôn Sơn Hô - huyện Gia Lâm sau những đợt mưa kéo dài năm 2021 có nguy cơ cuốn trôi nhiều diện tích đất canh tác nông nghiệp, diễn biến sạt lở phức tạp, ăn sâu vào bờ bãi làm cho chiều dài đoạn sạt lở tăng thêm, các cung trượt, sạt có xu hướng mở rộng trong trường hợp có mưa lớn (Báo điện tử kinh tế và đô thị, 2021).

- Sự cố sạt lở bờ sông Tả Hồng Hà huyện Tiên Hải - Thái Bình với chiều dài xói lở khoảng 30m năm 2021 do ảnh hưởng của mưa lớn kéo dài từ cơn bão số 7. Địa phương đã phải huy động hơn 50 nhân công, phương tiện, máy móc và hơn 125m<sup>3</sup> đất cát, 120 cây tre, 300 cọc tre, hàng trăm vỏ bao bì để kịp thời gia cố, bảo vệ đê (Báo điện tử tài nguyên và môi trường, 2022).

- Bờ sông Lục Nam - Bắc Giang tại khu vực thôn Đầm và thôn Hòa Mục bị sạt lở, nhiều bụi tre chắn sóng sụt xuống mép sông do khai thác cát sỏi trên sông, ảnh hưởng đến an toàn của dân cư ven bờ (Báo điện tử Bắc Giang, 2021).

Do đó, cần thiết phải có các hình thức bảo vệ bờ sông đảm bảo an toàn cho dân cư và các vùng kinh tế ven sông, và gia cố bờ sông bằng các hình thức kết cấu kè là một trong các giải pháp công trình được ứng dụng nhiều nhất trên các hệ thống sông.



Hình 2. Sạt lở mái đê phía trong đồng, đoạn đê cửa sông Tả Hồng Hà-Thái Bình

## 2.2. Một số hình thức kết cấu kè bảo vệ bờ sông

Kè là kết cấu gia cố, phòng chống xói lở, bảo vệ an toàn mái dốc bờ sông hoặc mái đê, giữ cho dòng chảy trong sông ổn định, có thể còn kết hợp bảo vệ cầu, đường giao thông và đáp ứng yêu cầu cảnh quan đô thị. Nhiều giải pháp công nghệ bảo vệ bờ sông chống xói lở đã được đưa ra và đạt được những hiệu quả nhất định, nhưng chưa có giải pháp nào có thể áp dụng chung cho tất cả các công trình. Nghiên cứu tìm kiếm các giải pháp công nghệ mới, cải tiến giải pháp công nghệ cũ nhằm nâng cao hơn nữa công tác bảo vệ bờ sông chống sạt lở, thân thiện với môi trường vẫn đang được tiếp tục. Các hệ thống kè cần đảm bảo các yêu cầu: ổn định, bền vững lâu dài, tôn tạo môi trường

sinh thái, hài hòa với cảnh quan tự nhiên, đô thị và đáp ứng các yêu cầu xã hội. Hiện trạng kè bảo vệ bờ sông ở miền Bắc khá phong phú và đa dạng, khi phân loại theo hình thức kết cấu, các kè được phân thành 3 nhóm (Phạm Văn Quốc và nnk, 2018):

- Kè mái nghiêng, các vật liệu làm kè như: đá đổ, đá xếp, đá xây có hoặc không có khung bê tông; kè bằng tấm bê tông; kè bằng mảng các cấu kiện bê tông. Kết cấu kè dựa trên mái nghiêng của vách bờ hoặc mái đê, đây là hình thức bảo vệ mái khá phổ biến và rất phong phú về thể loại trên các hệ thống sông như: kè đá xây trên sông Nậm Núa - Điện Biên, kè bằng đá xếp trong khung bê tông ở bờ sông Đông Đại - Thái Bình, kè bằng các tấm bê tông cốt thép trên sông Cầu - Thái Nguyên.



Hình 3. Kè bằng các tấm bê tông cốt thép trên sông Cầu – Thái Nguyên



Hình 4. Kè bê tông dự ứng lực trên kênh La Khê – Hà Đông



Hình 5. Thi công tường kè sườn chống bản góc BTCT bờ hữu sông Hồng - Thành phố Lào Cai

- Kè tường đứng, các dạng tường đứng được bố trí phổ biến trên các hệ thống kênh, sông như: tường kè bê tông dự ứng lực trên kênh La Khê - Hà Đông; tường kè sườn chống bản góc bê tông cốt thép ở bờ sông Thao - Lào Cai, tường kè sườn chống bản góc BTCT tại bờ hữu Sông Hồng đoạn qua Thành Phố Lào Cai.

- Hiện tại một số giải pháp kè sinh học đã được thí điểm ứng dụng cho công trình bảo vệ

mái dốc kè bờ sông khu vực miền núi phía Bắc: tỉnh Bắc Kạn, Sơn La và Thái Nguyên. Chân kè được gia cố bằng đá hộc; kết hợp gia cố bằng đá hộc và hom Si; gia cố bằng rọ đá hoặc gia cố bằng đá hộc kết hợp trồng cọc cây tươi. Mái kè gia cố: trồng bó hom, cây Pơng, cây Mây Chạy; trồng bó hom cây si xen chéo hom cây Pơng; rọ đá kèm cọc cây Mây Chạy; trồng cỏ Vetiver (Hoàng Tuấn, 2015).



Hình 6. Mô hình thí điểm kè sinh học xã Thanh Mai, tỉnh Bắc Kạn



Hình 7. Mô hình thí điểm kè sinh học xã Thôm Mòn, tỉnh Sơn La

### 3. ĐỘ TIN CẬY CỦA HỆ THỐNG KÈ BẢO VỆ BỜ SÔNG LÔ ĐOẠN QUA THÀNH PHỐ TUYỀN QUANG

#### 3.1. Hiện trạng hệ thống kè bảo vệ bờ sông Lô

Kè bảo vệ bờ phải sông Lô đoạn đi qua thành phố Tuyên Quang dài 2349m (đoạn AB và BC) là công trình cấp III với tần suất mực nước lũ thiết kế 5%, có nhiệm vụ sau: tăng cường khả

năng thoát lũ và chống sạt lở bờ sông Lô, khắc phục ảnh hưởng bất lợi do vận hành hồ thủy điện Tuyên Quang, đảm bảo an toàn tính mạng, tài sản cho dân cư và các công trình ven sông. Căn cứ vào điều kiện: địa hình, địa chất, các dạng hình thức kết cấu của mái kè, đoạn kè dài 2349m được chia thành 7 đoạn như sau (Công ty TNHH Tư vấn Trường Đại học Thủy lợi, 2009):

**Bảng 1. Thông số kỹ thuật của 7 đoạn kè có tổng chiều dài 2349m**

TT	Chiều dài đoạn kè	Cao trình đỉnh kè	Cao trình chân kè	Hệ số mái		Hình thức các đoạn kè
				$m_1$	$m_2$	
Đoạn 1	58,81	26.7	18.5	1.75		Đoạn kè 1 mái
Đoạn 2	250,72	26.7	14	1.75	1.75	Đoạn kè 2 mái
Đoạn 3	118,1	26.7	21.5	1.75		Đoạn kè 1 mái nối tiếp với bến khai thác cát
Đoạn 4	287,23	28.2	14	1.75	1.75	Đoạn kè 2 mái
Đoạn 5	816,5	25.2	14	1.75	1.75	Đoạn kè 2 mái
Đoạn 6	636,54	26.7	13	1.75	0.25	Đoạn kè bán nghiêng, tường kè BTCT có tường chống
Đoạn 7	181,1	26.7	14	1.75	1.75	Đoạn kè 2 mái

Kết cấu của các đoạn kè:

- Đỉnh kè: có hành lang đi lại rộng 3m, tường chắn đỉnh kè bằng đá xây M75 và bê tông M150. Trên đỉnh tường có lan can để đảm bảo an toàn và tạo cảnh quan dọc bờ sông.

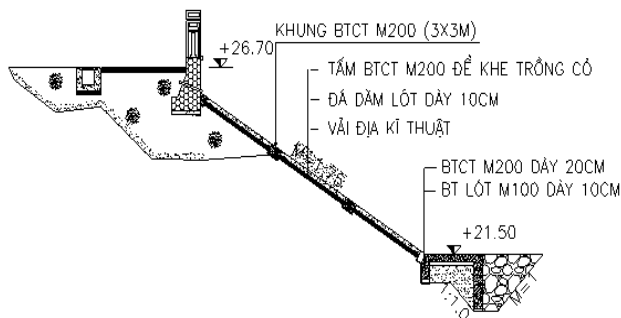
- Thân kè: Mái kè gia cố bằng khung BTCT kích thước (3.0x3.0) m bên trong lấp đặt các

tấm BTCT M200 kích thước (0.64x0.64) dày 12cm có lỗ rỗng kích thước (0.44x0.44) m để trồng cỏ. Phía dưới là lớp lọc gồm dăm lót dày 10cm và lớp vải địa kỹ thuật.

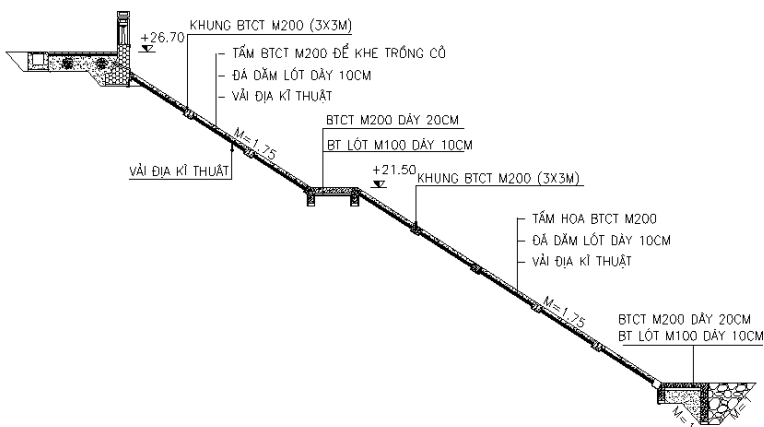
+ Đoạn kè bán nghiêng: tường kè bằng BTCT M200, cách 2,5m có một sườn chống dày 40cm. Chiều cao tường H=8.5m, chiều rộng bản

đáy 8m, hệ số biến đổi mái thượng lưu tường  $m=0.25$ , chiều rộng bản tường thay đổi từ 0.6m đến 0.35m.

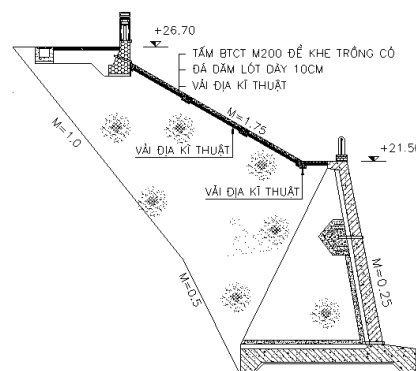
- Chân kè bằng BTCT M200 đổ liền khối, mỗi đoạn dài 5m bao gồm: dầm chặn mái kích thước (0.3x0.7)m; tường chân kè kích thước (0.3x1.5)m, kết hợp tạo cơ có chiều rộng  $B=2m$ , mặt cơ đổ BTCT M200 dày 20cm, 2 đầu có dầm ngang kích thước (0.3x0.4) m. Giữa các đoạn có khe co giãn bằng giấy dầu nhựa đường.



Hình 8. Mặt cắt ngang đoạn kè 1 mái



Hình 9. Mặt cắt ngang đoạn kè 2 mái



Hình 10. Mặt cắt ngang đoạn kè tường BTCT có tường chống.

### 3.2 Độ tin cậy của hệ thống kè sông Lô

#### 3.2.1 Sơ đồ cây sự cố

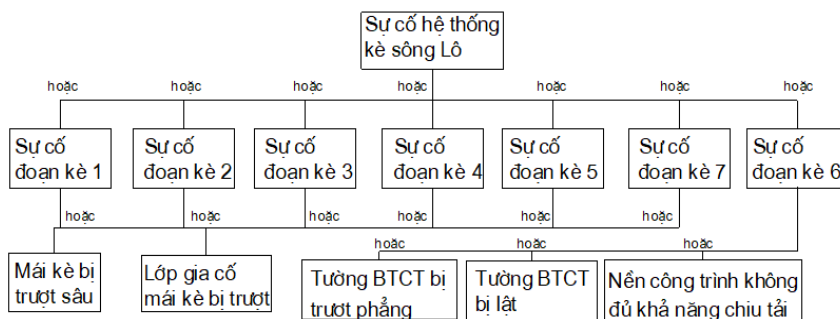
Thông qua đánh giá hiện trạng hệ thống, các tính toán kiểm tra với hệ thống kè sông Lô gồm:

- Kè mái nghiêng (các đoạn kè 1,2,3,4,5,7): thân kè có khả năng mất ổn định trượt sâu, lớp gia cố mái kè bị trượt dọc theo mái nghiêng.

- Đoạn kè bán nghiêng (đoạn 6) có khả năng mất ổn định: trượt phẳng, bị lật quanh chân hạ

lưu, sức chịu tải của nền không đảm bảo.

- Các cơ chế sự cố và các phần tử kè (mỗi phần tử là một đoạn kè, có 7 đoạn) được liên kết theo hình thức ghép nối tiếp như sơ đồ cây sự cố trên hình 11, vì chỉ cần một cơ chế sự cố xảy ra hoặc 1 phần tử công trình bị sự cố sẽ dẫn đến sự cố hệ thống kè. Chiều dài mỗi đoạn kè có ảnh hưởng đến độ tin cậy của hệ thống.



Hình 11. Sơ đồ cây sự cố hệ thống kè sông Lô

### 3.2.2 Hàm tin cậy của các cơ chế sự cố

a) Thân kè bị trượt sâu: Sử dụng phương pháp Bishop để thiết lập hàm tin cậy mất ổn định trượt sâu thân kè  $Z_1$ ,

$$Z_1 = \left( \frac{\sum_{i=1}^m (c.b_n + (W_n - u_n.b_n). \tan \varphi)}{\left(1 + \frac{\tan \alpha_n \cdot \tan \varphi}{K_{at}}\right) \cdot \cos \alpha_n} \right) - \left( \sum_{i=1}^m W_n \cdot \sin \alpha_n \right) \quad (1)$$

Trong đó:  $K_{at}, W_n, u_n, c, \varphi, \alpha_n, b_n$ : Lần lượt là hệ số an toàn mái dốc, trọng lượng thoi đất, áp lực nước lỗ rỗng, lực dính đơn vị, góc nội ma sát, góc theo phương ngang và phương cung trượt, bề rộng của thoi đất.

b) Lóp gia cố mái kè bị trượt dọc theo mái xuống chân kè với hàm tin cậy  $Z_2$  (Pham Quang Tu, 2014).

$$Z_2 = (G \cdot \cos \alpha \cdot \tan g\varphi + C.L) - G \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

Trong đó:  $G, \alpha, \varphi, C, L$  lần lượt là: trọng lượng lóp gia cố mái kè, góc nghiêng của mái kè, góc ma sát trong của đất dưới mái kè, lực dính đơn vị của đất và chiều dài mái kè.

c) Tường kè BTCT bị trượt phẳng tại mặt tiếp xúc giữa tường kè và nền, hàm tin cậy  $Z_3$

$$Z_3 = \left( \sum G - W_i \right) \cdot \tan g\varphi_n + C.A - \sum P \quad (3)$$

Trong đó: Lực ma sát  $(\sum G - W_i) \cdot \tan g\varphi$  và lực dính  $C.A$  trên mặt phá hoại là hàm sức chịu tải, lực gây trượt  $\sum P$  là hàm tải trọng; trọng lượng công trình  $(\sum G)$ , lực thấm  $(W_i)$ , góc ma sát trong của nền  $(\varphi_n)$ , lực dính đơn vị  $(C)$ . Các biến ngẫu nhiên để xác định các hàm tải trọng và hàm sức chịu tải được xác định từ các tài liệu khảo sát hiện trường tại thời điểm tính toán

d) Tường kè BTCT có khả năng bị lật quanh một trục ở chân kè khi tổng mô men chống lật  $\sum M_{cl}$  nhỏ hơn tổng mô men gây lật  $\sum M_{gl}$ , hàm tin cậy  $Z_4$ :  $Z_4 = \sum M_{cl} - \sum M_{gl}$  (4)

Trong đó:  $\sum M_{cl}$  là hàm sức chịu tải,  $\sum M_{gl}$  là hàm tải trọng. Các biến ngẫu nhiên để tính các giá trị mô men như: mực nước lưng tường,

trong đó tổng các mô men chống trượt được xem là hàm sức chịu tải, tổng mô men gây trượt là hàm tải trọng (Nguyễn Văn Mạo, nnk 2014).

mực nước trong sông; dung trọng của bê tông làm tường, kích thước của tường, các chỉ tiêu cơ lý của đất nền và lưng tường, được xác định từ các tài liệu quan trắc về công trình trong nhiều năm, tài liệu khảo sát và tài liệu đánh giá hiện trạng công trình ở thời điểm tính toán (Nguyễn Văn Mạo, nnk 2014).

e) Nền không đủ khả năng chịu tải

Khi ứng suất trung bình tại chân móng tường BTCT vượt quá khả năng chịu tải của nền thì nền bị phá hoại, hàm tin cậy  $Z_5$ :  $Z_5 = R^{TC} - \sigma_{TB}$  (5)

Trong đó:  $R^{TC}$ : sức chịu tải của đất nền;  $\sigma_{TB}$ : ứng suất trung bình của móng kè.  $R^{TC}$  và  $\sigma_{TB}$  là hàm của nhiều biến ngẫu nhiên như: mực nước ngầm ở lưng tường và ở trong sông; dung trọng của bê tông tường đứng, kích thước của tường, các chỉ tiêu cơ lý của nền, được xác định từ các tài liệu quan trắc về công trình trong nhiều năm, tài liệu khảo sát và tài liệu đánh giá hiện trạng công trình ở thời điểm tính toán

### 3.2.3 Độ tin cậy (ĐTC) của hệ thống kè

a). Độ tin cậy của mỗi cơ chế sự cố:  $P_{at}^i$

- Khi không xét đến ảnh hưởng của hiệu ứng độ dài (Pham Quang Tu, 2014):

+ Độ tin cậy (Xác suất an toàn) của cơ chế sự cố  $i$ :  $P_{at}^i = P_{at}^i (Z_i > 0) = \phi(\beta_i)$  (6)

Trong đó:  $\phi(\beta_i)$ : giá trị của hàm phân bố chuẩn;  $\beta_i$ : chỉ số tin cậy của cơ chế sự cố thứ  $i$   
+ Xác suất sự cố:  $P_{sc}^i = 1 - P_{at}^i$  (7)

- Khi xét đến ảnh hưởng của hiệu ứng độ dài (Pham Quang Tu, 2014):

+ Xác suất sự cố của cơ chế sự cố i:  $P_{sc}^i = P_{sc}^i \cdot f_L^i$  (8)

Trong đó:  $f_L^i$ : hệ số ảnh hưởng của chiều dài

$$f_L^i = \left(1 + \frac{L}{li}\right) = 1 + \frac{\beta_i \cdot L_i}{\sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{\left(\frac{\alpha_i}{d_i}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\alpha_n}{d_n}\right)^2} \quad (9)$$

$L_i$ : chiều dài đoạn kè tính toán;  $\alpha_i$ : hệ số ảnh hưởng;  $d_i$ : chiều dài tương quan.

b). Độ tin cậy của từng đoạn kè:  $P_{at}^{dk}$

Giả thiết có m cơ chế sự cố xảy ra với từng đoạn kè và các cơ chế sự cố xảy ra độc lập:

$$P_{at}^{dk} = 1 - \sum_{i=1}^m P_{sc}^i \quad (10);$$

Trong đó  $P_{sc}^i$ : tính theo (7) khi không xét ảnh hưởng của chiều dài;  $P_{sc}^i$  tính theo (8) khi xét đến ảnh hưởng của chiều dài đoạn kè.

c). Độ tin cậy của hệ thống kè:  $P_{at}^{HT}$

- Hệ thống kè được chia thành 7 đoạn và các đoạn làm việc theo mô hình ghép nối tiếp.

$$P_{at}^{HT} = \prod_{i=1}^7 P_{at}^{kdi} \quad (11);$$

Trong đó:  $P_{at}^{kdi}$  độ tin cậy của đoạn kè thứ i, được xác định như (10).

Hệ thống an toàn theo các tiêu chuẩn về độ tin cậy khi:  $P_{at}^{HT} \geq [P_{at}^{HT}]$

Trong đó:  $[P_{at}^{HT}]$ : độ tin cậy cho phép của hệ thống.

- Nghiên cứu sẽ sử dụng tần suất mực nước lũ thiết kế 5% và tiêu chuẩn độ tin cậy của Nga để đánh giá an toàn hệ thống. Trong đó, hệ thống kè được thiết kế với tần suất lũ mực nước lũ thiết kế 5% tức là xác suất sự cố cho phép có thể xảy ra với hệ thống kè là 0.05 hay mức đảm bảo (độ tin cậy) của hệ thống kè là 0.95.

### 3.2.4 Số liệu và các kết quả tính độ tin cậy hệ thống kè sông Lô

a) Các biến ngẫu nhiên trong hàm tin cậy (Công ty TNHH Tư vấn Trường Đại học Thủy lợi, 2009)

**Bảng 2. Các biến ngẫu nhiên phân bố chuẩn khi tính ĐTC của các đoạn kè mái nghiêng**

TT	Tên các BNN	Ký hiệu BNN	Kỳ vọng	Độ lệch chuẩn
1	Dung trọng của bê tông	$\gamma_{bt}$ (KN/m <sup>3</sup> )	25	1.25
2	Dung trọng của đất dưới lớp kè: lớp 1, 2, 3	$\gamma_{w1}$ (KN/m <sup>3</sup> )	19.6	1.96
		$\gamma_{bh2}$ (KN/m <sup>3</sup> )	19.3	1.93
		$\gamma_{bh3}$ (KN/m <sup>3</sup> )	20.1	2.01
3	Góc ma sát trong của đất dưới lớp kè	$\varphi_{w1}$	23	2
		$\varphi_{bh2}$	21	2
		$\varphi_{bh3}$	22	2
4	Lực dính đơn vị của đất dưới lớp kè	$C_{w1}$ (KN/m <sup>2</sup> )	35	5
		$C_{bh2}$ (KN/m <sup>2</sup> )	32	5
		$C_{bh3}$ (KN/m <sup>2</sup> )	30	5
5	Kích thước tấm bê tông trong khung kè	a (m)	0.64	0.01
		b (m)	0.64	0.01
		t (m)	0.12	0.02
6	Độ rỗng của đất nền	n	0.35	- (Tất định)

TT	Tên các BNN	Ký hiệu BNN	Kỳ vọng	Độ lệch chuẩn
7	Kích thước khung kè BTCT	d (m)	3	0.02
		l (m)	3	0.02
8	Cao độ mực nước phía sông	$Z_S$ (m)	17.5	0.17
9	Cao độ chân kè (Đoạn 2,4,5,7)	$Z_{chân}$	14	0.2
10	Cao độ chân kè (Đoạn 1,3)	$Z_{chânkè}$	18.5; 21.5	0.2
11	Dung trọng của đá chân tường	$\gamma_d$ (KN/m <sup>3</sup> )	24	1.2
12	Góc ma sát trong của đá	$\varphi_d$ ( độ)	35 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup>
13	Cao độ mực nước ngầm phía lưng kè	$Z_n$	25	0.3
14	Hệ số mái nghiêng của kè	$m_1, m_2$	1.75	- (Tất định)
15	Góc nghiêng của mái dốc so với phương ngang	$\varphi$ (độ)	30	- (Tất định)

**Bảng 3. Các biến ngẫu nhiên phân bố chuẩn khi tính ĐTC của các đoạn có kè tường bằng BTCT**

TT	Tên các BNN	Ký hiệu BNN	Kỳ vọng	Độ lệch chuẩn:
1	Dung trọng của bê tông xây tường	$\gamma_{bt}$ (KN/m <sup>3</sup> )	25	1.25
2	Lực dính đơn vị của đất dưới nền tường	$C_n$ (KN/m <sup>2</sup> )	90	5
3	Hệ số mái nghiêng của tường	m	0.25	- (Tất định)
4	Cao độ mực nước phía sông	$Z_S$ (m)	17.5	0.17
5	Cao độ mực nước ngầm phía lưng tường	$Z_n$ (m)	20	0.1
6	Cao độ đỉnh tường	$Z_d$ (m)	21.5	0.05
7	Cao độ chân tường (đoạn 6)	$Z_{ct}$	13	0.05
8	Dung trọng đất đắp phía lưng tường	$\gamma_d$ (KN/m <sup>3</sup> )	19.8	1.98
9	Hệ số rỗng của đất đắp lưng tường	n	0.3	- (Tất định)
10	Góc ma sát trong của đất đáy tường	$\varphi$ ( độ)	31 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup>
11	Chiều dài chân tường	$L_t$ (m)	8	0.05
12	Cường độ chịu nén của nền	R (KN/m <sup>3</sup> )	10	- (Tất định)

b) Độ tin cậy của hệ thống kè

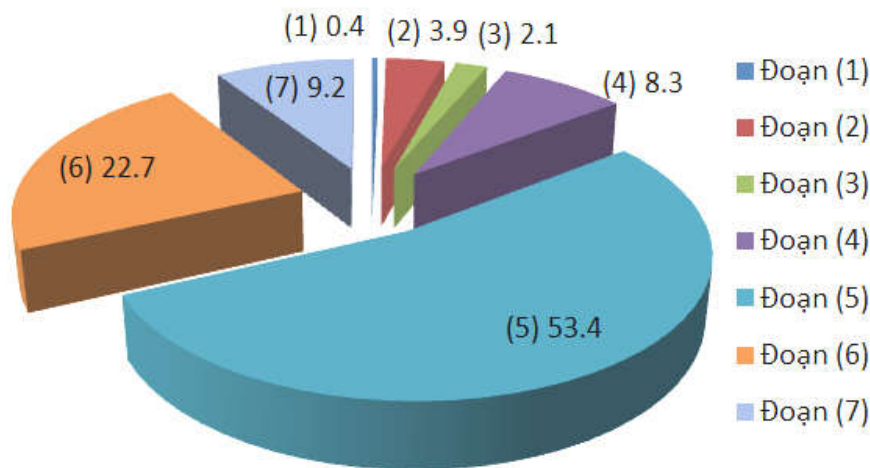


**Bảng 4. Kết quả tính độ tin cậy của hệ thống kè khi không kể đến chiều dài kè**

TT	Xác suất sự cố $P_{sc}^{HT}$						$P_{at}^{HT}$ Độ tin cậy
	$P_{sc}^1$ : Trượt sâu	$P_{sc}^2$ Trượt lớp gia cố mái kè.	$P_{sc}^3$ : Tường BTCT bị trượt phẳng	$P_{sc}^4$ : Tường BTCT bị lật	$P_{sc}^5$ : Sức chịu tải của nền tường BTCT	$P_{sc}^{HT}$ Xác suất sự cố	
Đoạn 1	0.00010	0.00010				0.00020	0.99980
Đoạn 2	0.00176	0.00015				0.00191	0.99809
Đoạn 3	0.00095	0.00014				0.00108	0.99892
Đoạn 4	0.00124	0.00273				0.00397	0.99603
Đoạn 5	0.02570	0.00013				0.02583	0.97418
Đoạn 6			0.00040	0.00487	0.00429	0.00956	0.99044
Đoạn 7	0.00460	0.00003				0.00463	0.99537
Hệ thống kè						0.04718	0.95353

**Bảng 5. Kết quả tính độ tin cậy của hệ thống kè khi xét đến độ dài 7 đoạn kè**

TT	Chiều dài (m)	Xác suất sự cố $P_{sc}^{HT}$										$P_{at}^{HT-L}$ Độ tin cậy	
		Trượt sâu		Trượt lớp gia cố		Tường kè bị trượt phẳng		Tường kè bị lật		Sức chịu tải của nền			Xác suất sự cố
		$f_L^{truotsau}$	$P_{sc}^{1L}$	$f_L^{truotgiaoco}$	$P_{sc}^{2L}$	$f_L^{tr}$	$P_{sc}^3$	$f_L^{lat}$	$P_{sc}^4$	$f_L^{nen}$	$P_{sc}^5$		
Đoạn 1	58.81	1.64	0.00016	1.71	0.00017							0.00034	0.99967
Đoạn 2	250.72	1.79	0.00315	1.59	0.00024							0.00340	0.99660
Đoạn 3	118.1	1.70	0.00161	1.72	0.00023							0.00184	0.99816
Đoạn 4	287.23	1.70	0.00211	1.89	0.00516							0.00727	0.99273
Đoạn 5	816.5	1.81	0.04652	1.52	0.00019							0.04671	0.95329
Đoạn 6	636.54					1.90	0.00076	2.2	0.01071	1.95	0.00837	0.01984	0.98016
Đoạn 7	181.1	1.73	0.00796	1.69	0.00006							0.00802	0.99198
Hệ thống kè	2349											0.08740	0.91504



Hình 12. Mức độ ảnh hưởng của các đoạn đến sự cố hệ thống khi kể đến độ dài

- Theo hiện trạng thiết kế, hệ thống kè sông Lô có mức đảm bảo mực nước lũ thiết kế là 5%, như vậy quy đổi về xác suất sự cố cho phép của hệ thống là  $[P_{sc}^{HT}] = 0.05$  hay độ tin cậy của toàn bộ hệ thống kè  $[P_{at}^{HT}] = 0.95$

- Hiện tại, Việt Nam chưa có các quy định cụ thể về độ tin cậy cho phép cho từng loại công trình nên nghiên cứu sẽ sử dụng tiêu chuẩn về độ tin cậy của Nga: độ tin cậy của từng đoạn kè  $[P_{at}] = 0.98$ ;  $[P_{at}]$  hệ thống kè  $[P_{at}^{HT}] = 0.95$ .

- Hệ thống kè đảm bảo độ tin cậy theo yêu cầu khi:  $P_{at}^{HT} \geq [P_{at}^{HT}]$

*Trường hợp chưa kể đến độ dài các đoạn kè như bảng 3:* Khi xác suất sự cố của đoạn kè đã được xác định với giả thiết cả đoạn kè là đồng nhất và sự biến đổi của các biến ngẫu nhiên đầu vào tại mọi điểm trên đoạn đều tuân theo quy luật ngẫu nhiên nhất định. Xác suất sự cố của hệ thống  $P_{sc}^{HT} = 0.04718$  hay độ tin cậy của hệ thống  $P_{at}^{HT} = 0.95353 > [P_{at}^{HT}] = 0.95$  hệ thống kè làm việc an toàn với mức đảm bảo mực nước lũ thiết kế  $P = 5\%$  và an toàn theo tiêu chuẩn về độ tin cậy cho phép của Nga (PД 31-31-35-85, 1986). 6 đoạn kè 1,2,3,4,6,7 làm việc với độ tin cậy thay đổi từ  $P_{at} = 0.9904$  đến  $P_{at} = 0.9998$ , đảm bảo thỏa mãn điều kiện về độ tin cậy cho

phép:  $P_{at}^{dk} \geq [P_{at}] = 0.98$ . Đoạn kè số 5 có độ tin cậy thấp nhất trong hệ thống  $P_{at}^{dk} = 0.97418 \leq [P_{at}] = 0.98$  không thỏa mãn theo tiêu chuẩn độ tin cậy của Nga.

*Trường hợp kể đến độ dài của các đoạn kè như bảng 4:* độ tin cậy của hệ thống kè  $P_{at}^{HT-L} = 0.91504 < [P_{at}^{HT}] = 0.95$ , không đảm bảo các yêu cầu về chống lũ tần suất  $P = 5\%$  và độ tin cậy cho phép. Hệ thống kè có khả năng bị sự cố, và nguyên nhân dẫn đến sự cố hệ thống là do đoạn kè số 5 có độ tin cậy thấp hơn so với tiêu chuẩn  $P_{at}^{SL} = 0.95329 < [P_{at}] = 0.98$ , 6 đoạn còn lại an toàn theo tiêu chuẩn về độ tin cậy.

- Biểu đồ hình 12 cho thấy: đoạn số 5 có ảnh hưởng lớn nhất 53.4% đến an toàn hệ thống kè và đây cũng là đoạn kè 2 mái dài nhất trong hệ thống (816.5m); đoạn số 6 (đoạn kè tường bằng BTCT) có ảnh hưởng đáng kể đến sự cố hệ thống 22.7%; 5 đoạn còn lại: 1,2,3,4,7 có ảnh hưởng nhỏ an toàn hệ thống kè. Như vậy, trong hệ thống có 7 đoạn kè thì: đoạn 1 là phần tử có độ tin cậy cao nhất và sự cố có khả năng nhất sẽ xảy ra trong đoạn 5. Do đó, khi cần nâng cao độ tin cậy của hệ thống kè để đáp ứng các yêu cầu về chống lũ và theo tiêu chuẩn về độ tin cậy, cần thiết nâng cao độ tin cậy cho phần tử yếu nhất trong hệ thống là đoạn 5.

- Với các số liệu thu thập được từ hiện trạng công trình, các kết quả tính toán về độ tin cậy cho đoạn kè số 3 đảm bảo các yêu cầu về an toàn. Tuy nhiên trong quá trình vận hành lâu dài của hệ thống kè sông, cần có các giải pháp đảm bảo an toàn cho đoạn 3 vì nằm gần bãi khai thác cát trên sông Lô.

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã đề cập đến các nguyên nhân chính và hiện trạng sạt lở trên một số con sông ở miền Bắc trong những năm gần đây, là cơ sở để đề xuất các giải pháp gia cố chống xói lở bờ và cho thấy tầm quan trọng của các kết cấu bảo vệ bờ sông. Thông qua các hệ thống kè đã bố trí trên các tuyến sông, các tác giả đã giới thiệu một cách phân loại kè sông theo hình thức kết cấu gồm 3 loại: kè mái nghiêng, kè tường đứng và kè sinh học. Với các số liệu thu thập được từ

việc đánh giá hiện trạng 2349m kè bảo vệ bờ phải sông Lô đoạn đi qua thành phố Tuyên Quang, nghiên cứu đã xây dựng bài toán phân tích độ tin cậy của hệ thống kè sông Lô và có các nhận định về an toàn hệ thống: hệ thống đảm bảo an toàn phòng lũ với tần suất lũ thiết kế  $P=5\%$  và theo tiêu chuẩn về độ tin cậy cho phép (tiêu chuẩn của Nga) khi không xét đến độ dài tuyến kè; hệ thống có khả năng bị sự cố khi kể đến độ dài của 7 đoạn kè. Từ việc phân tích độ tin cậy của hệ thống và mức ảnh hưởng của các đoạn kè đã xác định được đoạn kè số 5 có độ tin cậy thấp nhất trên toàn tuyến kè, nên cần có các giải pháp hợp lý cho đoạn 5 khi có dự án nâng cấp tu sửa tuyến kè. Nội dung bài báo là tài liệu tham khảo thiết thực cho công tác thiết kế và quản lý an toàn hệ thống bảo vệ bờ sông ở Việt Nam.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Báo điện tử Kinh tế và đô thị, (2021), *Hà Nội: Sạt lở nghiêm trọng bờ bãi sông Hồng tại huyện Gia Lâm*
- Báo điện tử Tài nguyên và môi trường, (2022), *Thái Bình: Huy động hơn 50 nhân công xử lý sự cố sạt lở đê*
- Báo điện tử Bắc Giang (2021), *Khai thác cát sỏi trái phép gây sạt lở bờ sông Lục Nam*
- Phạm Văn Quốc và Nguyễn Chiến, (2018), *Thiết kế đê và công trình bảo vệ bờ sông*, Nhà xuất bản Bách Khoa Hà Nội.
- Hoàng Tuấn (2015), *Triển khai nghiên cứu ứng dụng giải pháp công nghệ sinh học cho kết cấu công trình bảo vệ mái dốc kè bờ sông và đường giao thông khu vực miền núi phía bắc*, Web Bộ NN và PTNT.
- Nguyễn Văn Mạo, Nguyễn Hữu Bảo, Nguyễn Lan Hương, (2014) *Cơ sở tính độ tin cậy an toàn đập*, Nhà xuất bản Xây Dựng.
- Công ty TNHH Tư vấn Trường Đại học Thủy lợi, (2009), *Báo cáo chính Kè bảo vệ bờ sông Lô thuộc đoạn AB và BC bờ phải thị xã Tuyên Quang*.
- Pham Quang Tu, (2014), *Reliability analysis of the Red River Dike system in Viet Nam*, in Hydraulic Engineering. TU Delft: Delft, 2014, pp.215
- РД 31-31-35-85, 1986, *Основные положения расчета причальных сооружений на надежность*, М. В/О “Мортехинформреклама”.

**Abstract:**  
**SAFETY ANALYSIS OF RIVERSIDE PROTECTION SYSTEM  
BY RELIABILITY THEORY**

*A large part of Vietnam's annual investment has been allocated in bank protection works to mitigate life and property damages and losses caused by bank erosion and landslides. The current situation of bank erosion occurs frequently on river routes due to many causes and the erosion is more serious during prolonged rains and floods. The roof protection embankment solutions with flexible structures are effective measures to strengthen the stability of the riverbank against the harmful effects of bank erosion, keep the river flow stable, and combine with bridge protection, roads and meet urban landscape requirements. With the collected data, the study has built a problem to calculate the probability of safety for the Lo river embankment system passing through Tuyen Quang city according to the reliability theory. Calculations have shown that: Lo river embankment system ensures flood prevention safety with design flood frequency  $P = 5\%$  and safety according to allowable reliability (Russian standard) when excluding the influence of the length of the embankment and the embankment system is likely to have problems when considering the length of 7 river embankments; when it is necessary to upgrade and repair the embankment, the most attention should be paid to embankment section 5 because this is the section with the lowest reliability and the greatest impact on system failures.*

**Keywords:** River erosion, confidence, problem probability, river revetment, random variables, confidence function

---

*Ngày nhận bài: 20/8/2022*

*Ngày chấp nhận đăng: 27/9/2022*