

**NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG QUÁ TRÌNH VỠ CỦA ĐẬP PHÂN LÂN 1 – VĨNH PHÚC DO LŨ TRÀN ĐỈNH**

**Đỗ Thị Thùy Dung<sup>1</sup>, Nguyễn Cảnh Thái<sup>2</sup>, Đinh Xuân Trọng<sup>1</sup>**

**Tóm tắt:** Lũ tràn đỉnh đập là một trong những nguyên nhân chính gây vỡ đập đối với các đập đất ở Việt Nam cũng như trên thế giới. Tình trạng hư hỏng, xuống cấp, không đảm bảo khả năng chống lũ, v.v... đã làm gia tăng nguy cơ tràn đỉnh cho các đập đất trước diễn biến bất thường của mưa lũ. Việc nghiên cứu cơ chế xói của đất dưới tác động của dòng chảy tràn đã và đang được các tổ chức, cá nhân quan tâm ở mọi cấp độ. Trong bài viết này, các tác giả đã mô phỏng lại sự cố vỡ đập Phân Lan 1 do nước tràn đỉnh trong trận lũ ngày 03/8/2013 thông qua tính toán khôi phục trận lũ, thí nghiệm xác định hệ số xói và ứng suất cắt tới hạn của đất đắp đập, phân tích diễn biến xói của đập bằng phần mềm EMBANK. Kết quả nghiên cứu có thể vận dụng để đưa ra các ứng xử kịp thời cho các đập có nguy cơ tràn đỉnh.

**Từ khóa:** Đập đất, lũ tràn đỉnh đập, xói mái đập, vỡ đập.

**1. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Với 6.648 hồ chứa thủy lợi (Tổng cục Thủy lợi, 2015) và phần lớn trong số đó là đập đất được xây dựng cách đây trên 20 năm, Việt Nam đang đứng trước thách thức lớn về an toàn cho các đập này bởi sự xuống cấp của công trình cũng như diễn biến bất thường của khí hậu. Cùng với các vấn đề về thấm, nền móng, v.v..., lũ tràn đỉnh đập do lũ vượt tần suất, tràn không đủ năng lực xả, sai sót trong thiết kế, vận hành là một trong những nguyên nhân chính gây ra sự cố đối với đập đất. Đã có nhiều sự cố đập do tràn đỉnh xảy ra trong vài năm gần đây như Đầm Hà Động (2014), Đăckrông 3, Đăck Mek 3, Phân Lan, Đồng Đáng, Thung Cối (2013).

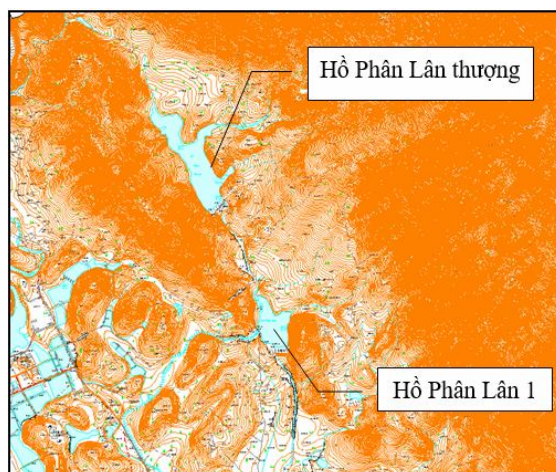
Dưới tác dụng của dòng chảy tràn, các hạt đất bị cuốn trôi khỏi kết cấu dẫn đến xói lở mái đập. Tốc độ xói phụ thuộc vào nhiều yếu tố: tính chất cơ lý của đất, tốc độ của dòng chảy và kích thước, hình dạng của các vật cản trên mái đập.

Trong bài viết này, các tác giả đã mô phỏng lại sự cố vỡ đập Phân Lan 1 do nước tràn đỉnh trong trận lũ ngày 03/8/2013 thông qua tính toán hoàn nguyên trận lũ, thí nghiệm xác định hệ số xói và ứng suất cắt tới hạn của đất đắp đập và

phân tích diễn biến xói của đập bằng phần mềm EMBANK.

**2. GIỚI THIỆU VỀ ĐẬP PHÂN LÂN – VĨNH PHÚC**

Hồ chứa nước Phân Lan 1 được xây dựng từ năm 1960 trên địa phận xã Đạo Trù, huyện Tam Đảo, tỉnh Vĩnh Phúc. Nằm ở hạ lưu đập Phân Lan Thượng, hồ Phân Lan 1 chịu ảnh hưởng trực tiếp khi hồ Phân Lan Thượng xả lũ. Diện tích lưu vực tính đến vị trí tuyến đập Phân Lan 1 là  $F = 5,0\text{km}^2$ ; trong đó, diện tích lưu vực hồ Phân Lan Thượng  $3,1\text{km}^2$ , diện tích khu giữa (từ đập Phân Lan Thượng đến đập Phân Lan 1) là  $1,9\text{km}^2$ .



Hình 1. Bản đồ lưu vực hồ Phân Lan 1

<sup>1</sup> Viện Thủy công – Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.

<sup>2</sup> Trường Đại học Thủy lợi.

Đập Phân Lân 1 có chiều dài 20,8m; chiều rộng đỉnh đập 4,25m; chiều cao đập lớn nhất 5,0m; cao trình đỉnh đập +56,0m; kết cấu đập đất đồng chất.

Ngày 03/8/2013 do ảnh hưởng của cơn bão số 5, tại địa bàn xã Đạo Trù đã xảy ra mưa lớn, lượng mưa đo được từ 8 giờ tới 16 giờ tại Vĩnh Thành là 235mm; lượng nước lũ tập trung nhanh, đổ dồn về đập Phân Lân 1. UBND xã Đạo Trù đã huy động lực lượng dùng bao tải đất đắp ngăn lũ, song do lũ về nhanh, lưu lượng lớn, nước đã tràn qua đỉnh đập gây xói lở và dẫn đến vỡ đập vào lúc 19 giờ. Hình 2 thể hiện hiện trạng đập Phân Lân sau sự cố vỡ đập ngày 03/8/2013.



Hình 2. Đập Phân Lân 1 sau sự cố vỡ đập

### 3. NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG QUÁ TRÌNH VỠ CỦA ĐẬP PHÂN LÂN – VĨNH PHÚC DO LŨ TRÀN ĐỈNH

#### 3.1. Cơ sở lý thuyết xói mặt đập dưới tác dụng của dòng chảy tràn

Vấn đề xói của mái đập phụ thuộc vào nhiều yếu tố: tính chất cơ lý của đất, tốc độ của dòng chảy và kích thước, hình dạng của các vật cản trên mái đập, v.v... Dưới tác dụng của dòng chảy, các hạt đất có thể bị cuốn trôi khỏi kết cấu tạo nên sự xói mòn. Tốc độ xói thường rất nhanh trong đất cát, chậm trong đất sét và cực chậm trong đá. Tốc độ xói cao trong cát là do liên kết rời rạc giữa các hạt nên hầu như không có lực nào làm chậm quá trình xói. Tốc độ xói xảy ra rất chậm trong đá bởi vì dòng chảy phải mất một lượng lớn năng lượng để thắng được liên kết giữa các tinh thể đá. Đối với đất sét, liên kết điện từ tạo ra bởi lực Van der Waals giữa các hạt cũng làm chậm tốc độ xói của đất.

Tốc độ xói của đất do dòng chảy đã được nhiều nhà khoa học trên thế giới nghiên cứu và đưa ra các công thức xác định. Các công thức này chủ yếu đưa ra mối liên hệ giữa tốc độ xói của đất với vận tốc dòng chảy và ứng suất cắt hiệu quả. Trong đó phải kể đến công thức xác định tốc độ xói của đất dính do phòng thí nghiệm nghiên cứu nông nghiệp Hoa Kỳ (Chen và Anderson, 1986):

$$E = \alpha(\tau - \tau_c)^\gamma \quad (1)$$

trong đó:

E: Tốc độ xói, m/s;

$\tau$ : Ứng suất cắt do dòng chảy, N/m<sup>2</sup>;

$\tau_c$ : Ứng suất cắt tới hạn của đất, N/m<sup>2</sup>;

$\alpha$ : Hệ số xói của vật liệu;

$\gamma$ : Số mũ thường lấy bằng 1.

Ứng suất cắt tới hạn  $\tau_c$  là ứng suất khi đất bắt đầu bị xói tương ứng với vận tốc dòng chảy tới hạn. Khi vận tốc dòng chảy trên bề mặt vượt quá vận tốc tới hạn, xói bắt đầu diễn ra và hạt đất sẽ bị cuốn trôi.

Ứng suất cắt trung bình trên bề mặt mẫu đất xác định theo công thức của Shaikh và các cộng sự (Hanson et al, 2005):

$$\tau = \rho g h \sqrt{S_{fx}^2 + S_{fy}^2} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (2)$$

trong đó:

$\rho$ : Khối lượng riêng của nước, kg/m<sup>3</sup>;

g: Gia tốc trọng trường, m/s<sup>2</sup>;

h: Chiều sâu nước, m;

$S_{fx}$ ,  $S_{fy}$ : Độ dốc thủy lực;

$$S_{fx} = \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}, S_{fy} = \frac{n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}$$

n: Hệ số nhám Manning;

u, v: Lưu tốc dòng chảy theo phương x và y, m/s.

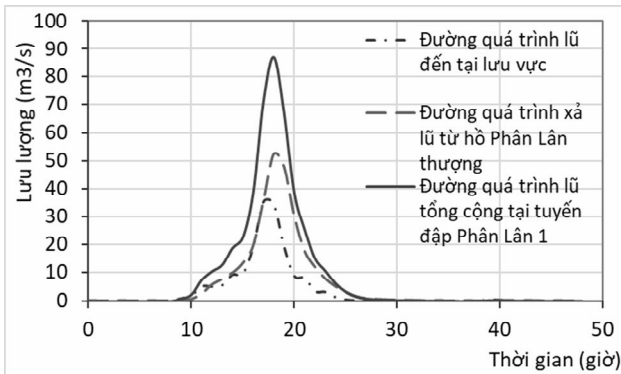
Hệ số xói của vật liệu phụ thuộc vào nhiều yếu tố như đường kính hạt đất, độ ẩm của đất khi đầm, nhiệt độ nước, độ đầm chặt và các chỉ tiêu cơ lý của đất ( $\gamma$ ,  $\phi$ , c), v.v... được xác định qua thực nghiệm.

#### 3.2. Tính toán lũ

##### 3.2.1. Hoàn nguyên trận lũ ngày 03/8/2013 trên lưu vực hồ Phân Lân

Dòng chảy lũ đến đập Phân Lân 1 được sinh ra bởi lũ tại lưu vực hồ Phân Lân 1 và lượng nước xả từ hồ Phân Lân thượng. Phương pháp

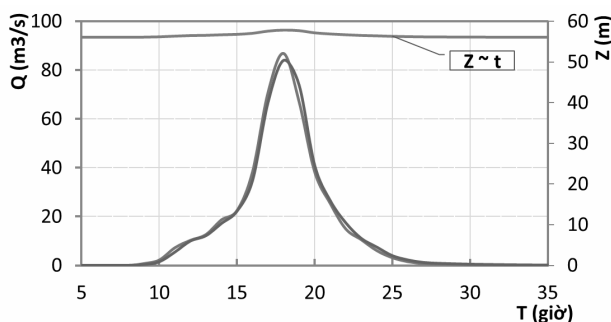
đường đơn vị và số liệu mưa giờ ngày 02-03/8/2013 của trạm Tam Đảo được sử dụng để tính toán hoàn nguyên lũ. Kết quả tính toán được trình bày trong Hình 3.



Hình 3. Đường quá trình lũ đến đập Phân Lân 1

### 3.2.2. Tính toán điều tiết lũ

Coi đập Phân Lân 1 như một tràn xả lũ có bề rộng tràn bằng chiều dài đập, ngưỡng đỉnh rộng, chảy tự do. Chiều rộng ngưỡng tràn  $B = 20,8\text{m}$ ; cao trình ngưỡng  $+56,0\text{m}$ ; mực nước trước lũ  $+56,0\text{m}$ . Kết quả tính toán thể hiện trong Hình 4.



Hình 4. Kết quả tính toán điều tiết lũ qua đập Phân Lân 1

### 3.3. Thí nghiệm xác định ứng suất cắt tới hạn $\tau_c$ và hệ số xói $\alpha$ của đất đắp đập Phân Lân 1

#### 3.3.1. Mô hình thí nghiệm

Xây dựng một máng thí nghiệm với kích thước rộng 30cm, dài 300cm và cao 40cm. Máng được làm bằng kính chịu lực trong suốt, trên thành máng bố trí các thước đo mực nước với cự li trung bình 50cm. Thượng lưu máng nối tiếp với một bể chứa nước có gắn máy bơm và có thể điều chỉnh lưu lượng bằng một van đĩa. Cuối máng khoét lỗ hình chữ nhật kích thước 20x30cm để đưa mẫu đất từ dưới lên bằng hệ thống vít me (tại mặt cắt MC V-V). Nối tiếp sau

máng là kênh xả và một đập tràn thành mỏng bố trí cuối đoạn kênh này để đo lưu lượng trong quá trình thí nghiệm. Một thước đo được gắn vào đầu vít me để đọc số liệu về chiều sâu bị xói của mẫu đất. Hình 5 mô tả mô hình thí nghiệm đã hoàn thiện.



Hình 5. Hình ảnh mô hình thí nghiệm

#### 3.3.2. Mẫu thí nghiệm

Đất thí nghiệm lấy từ đập Phân Lân 1 – Vĩnh Phúc và được đưa về phòng thí nghiệm để xác định một số chỉ tiêu cơ lý như dung trọng, độ ẩm tối ưu, độ lỗ rỗng, góc ma sát trong, lực dính cho các mẫu đất có độ đầm chặt thay đổi từ  $K = 0,90 \div 0,98$  theo các tiêu chuẩn thí nghiệm đất trong phòng (Bảng 1).

Bảng 1. Chỉ tiêu cơ lý của các mẫu đất tương ứng với độ đầm chặt

Thông số	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Mẫu 4	Mẫu 5
K	0,9	0,93	0,95	0,97	0,98
$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	1,56	1,61	1,79	1,68	1,7
$\varphi$ (độ)	17 <sup>0</sup> 38'	18 <sup>0</sup> 05'	19 <sup>0</sup> 56'	21 <sup>0</sup> 03'	21 <sup>0</sup> 48'
C (kg/cm <sup>2</sup> )	0,229	0,233	0,239	0,246	0,253
n (%)	32,52	31,29	30,09	29,34	28,7

#### 3.3.3. Phương pháp thí nghiệm

Mẫu đất được đầm chặt theo độ chặt yêu cầu và gắn vào đáy máng. Một tấm nhựa dẻo được đặt trên bề mặt mẫu để dòng chảy không ảnh hưởng đến mẫu đất trong quá trình điều chỉnh lưu lượng. Sau khi điều chỉnh lưu lượng về giá trị đã định (thông qua mực nước tại bể chứa), tiến hành mở tấm nhựa dẻo trên bề mặt mẫu để đo tốc độ xói của mẫu đất. Mẫu đất được đẩy lên bằng hệ thống vít me đảm bảo bề mặt mẫu luôn bằng bề mặt đáy máng. Tốc độ bào mòn mẫu  $\Delta z$  được ghi lại cùng với bước thời gian  $\Delta t$  qua số liệu về chiều cao còn lại của mẫu thí nghiệm.

### 3.3.4. Phân tích kết quả thí nghiệm

- Ứng suất cắt của dòng chảy  $\tau$

Từ kết quả đo mực nước, lưu tốc tại mặt cắt MC V-V tương ứng với các cấp lưu lượng, tính toán ứng suất cắt của dòng chảy  $\tau$  theo công thức (2). Kết quả trình bày trong Bảng 2.

**Bảng 2. Kết quả tính toán ứng suất  $\tau$  tại mặt cắt V-V theo các cấp lưu lượng**

Q (l/s)	H (cm)	V (m/s)	$\tau$ (N/m <sup>2</sup> )
7,50	0,8	4,46	8,065
12,22	1,1	5,13	9,502
17,74	1,5	5,63	10,417
21,94	1,7	6,03	11,368
26,61	2,0	6,34	11,979

- Xác định tốc độ xói E của mẫu đất

Tiến hành thí nghiệm cho 25 mẫu đất tương ứng với 05 độ đầm chặt (K=0,9; 0,93; 0,95; 0,97; 0,98) và 05 cấp lưu lượng (Q=7,5; 12,22; 17,74; 21,94; 26,61 l/s).

Từ kết quả quan trắc tốc độ mẫu đất  $\Delta z$  tương ứng với bước thời gian  $\Delta t$ , tính toán tốc độ xói của mẫu đất theo công thức:

$$E = \frac{\Delta z}{\Delta t}(1 - n) = \dot{z}(1 - n) \quad (3)$$

với n là độ rỗng của mẫu đất. Kết quả tính toán ghi trong Bảng 3.

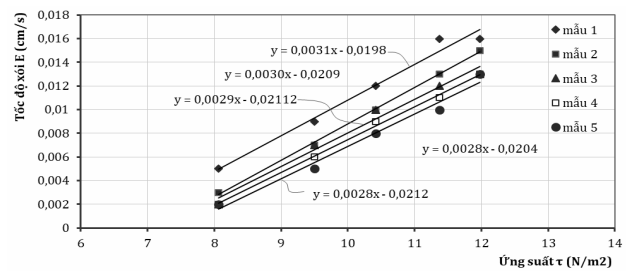
**Bảng 3. Kết quả tính tốc độ xói cho từng mẫu đất theo cấp lưu lượng**

Q (l/s)	E (cm/s)				
	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Mẫu 4	Mẫu 5
7,50	0,005	0,003	0,002	0,002	0,002
12,22	0,009	0,007	0,007	0,006	0,005
17,74	0,012	0,010	0,010	0,009	0,008
21,94	0,016	0,013	0,012	0,011	0,010
26,61	0,016	0,015	0,013	0,013	0,013

- Xác định ứng suất cắt tới hạn  $\tau_c$  và hệ số xói  $\alpha$ :

Để xác định  $\tau_c$  và  $\alpha$ , cần thiết lập mối quan hệ giữa tốc độ xói E đã tính toán từ kết quả thí nghiệm và ứng suất cắt  $\tau$  của dòng chảy cho

các mẫu đất tương ứng với các cấp lưu lượng (Hình 6).



**Hình 6. Biểu đồ quan hệ giữa ứng suất và tốc độ xói**

Từ công thức (1), nhận thấy rằng giá trị của ứng suất cắt tới hạn  $\tau_c$  chính là điểm giao của các đường thực nghiệm với trục hoành (khi đó tốc độ xói E = 0) và hệ số xói  $\alpha$  chính là gradient của đường trung bình thực nghiệm. Kết quả tính  $\tau_c$  và  $\alpha$  được trình bày trong Bảng 4.

**Bảng 4. Kết quả tính ứng suất cắt và hệ số xói cho mẫu đất với hệ số đầm chặt K**

K	0,90	0,93	0,95	0,97	0,98
$\tau_c$ (N/m <sup>2</sup> )	6,39	6,97	7,31	7,29	7,57
$\alpha$ (x10 <sup>-3</sup> )	3,1	3,0	2,9	2,8	2,8

### 3.4. Tính toán mô phỏng vỡ đập Phân Lân 1 do lũ tràn đỉnh bằng phần mềm EMBANK

#### 3.4.1. Giới thiệu về phần mềm EMBANK

EMBANK là chương trình tính toán khả năng xói gây vỡ đập vật liệu địa phương khi nước tràn qua đỉnh đập. Chương trình được Chen và Anderson lập dựa trên kết quả thí nghiệm (Chen và Anderson, 1986).

Số liệu đầu vào cho chương trình gồm: số lượng mặt cắt và tọa độ điểm khống chế; chiều dày của các lớp vật liệu trong từng mặt cắt; ứng suất cắt tới hạn, hệ số xói, hệ số nhám Manning's của các lớp vật liệu; cột nước thượng hạ lưu.

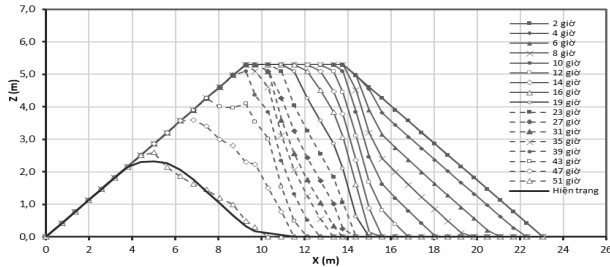
Một số kết quả tính toán chính của chương trình gồm: vận tốc dòng chảy, ứng suất cắt, tốc độ xói, chiều dày còn lại của các lớp vật liệu, v.v...

#### 3.4.2. Áp dụng tính toán cho đập Phân Lân 1

Chia mặt cắt đập Phân Lân 1 thành 39 mặt cắt. Hệ số hàm xói  $\alpha=0,0029$  và ứng suất cắt tới hạn của đất đắp đập Phân Lân 1 là  $\tau_c=7,31$  N/m<sup>2</sup>. Hệ số nhám Manning's của đất đắp đập là 0,015 và của lớp cỏ là 0,03 (Chen và Anderson,

1986). Cao trình mực nước thượng lưu và lưu lượng khi tràn đỉnh tương ứng với các bước thời gian tính toán được xác định dựa vào đường quá trình điều tiết lũ của đập Phân Lân 1.

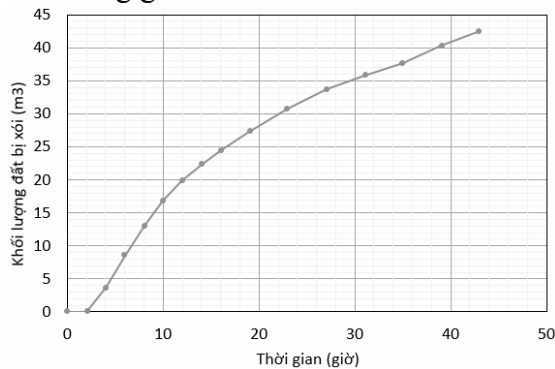
Kết quả tính toán mô phỏng quá trình xói mái hạ lưu đập Phân Lân 1 khi xảy ra sự cố được trình bày trong Hình 7.



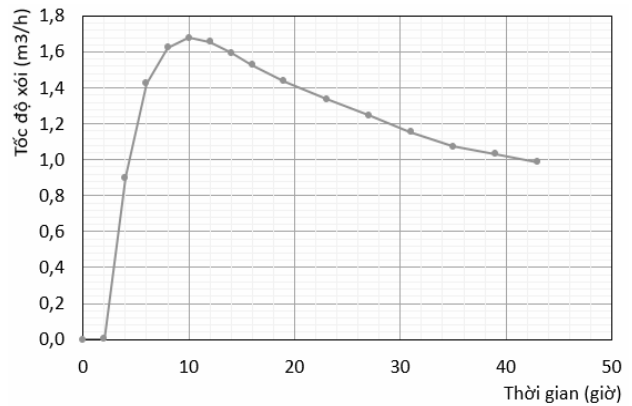
Hình 7. Mô phỏng quá trình xói mái hạ lưu đập Phân Lân khi xảy ra sự cố

Mối quan hệ giữa khối lượng đất bị xói, tốc độ xói theo thời gian được xây dựng trong các Hình 8 và Hình 9.

Kết quả phân tích diễn biến xói cho thấy: Trong 2 giờ đầu, do vận tốc dòng chảy tràn nhỏ, lớp bảo vệ mái chưa bị phá hủy nên đập không bị xói. Tốc độ xói tăng mạnh ở 6h tiếp theo tập trung ở phần chân và mái hạ lưu đập và tăng dần nhưng tốc độ chậm hơn đến giờ thứ 10 sau đó có xu hướng giảm dần.



Hình 8. Đường quan hệ giữa khối lượng đất bị xói và thời gian



Hình 9. Đường quan hệ giữa tốc độ xói và thời gian

#### 4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy, đối với đất đập đập Phân Lân 1, ứng suất cắt tới hạn của đất, tốc độ xói của đất thay đổi theo hệ số đầm chặt của đất. Khi hệ số đầm chặt càng cao thì ứng suất cắt tới hạn  $\tau_c$  càng cao, tốc độ xói của đất càng nhỏ. Hệ số xói  $\alpha$  thay đổi rất ít khi mức độ đầm chặt thay đổi.

Bài báo cũng đã mô phỏng lại diễn biến vỡ của đập Phân Lân ngày 03/8/2013. Tuy không thể đánh giá sự phù hợp của bề mặt vết vỡ tại các bước thời gian so với thực tế do không có số liệu quan trắc trong quá trình vỡ đập, nhưng bề mặt vết vỡ tại bước cuối cùng tương đối phù hợp với bề mặt hiện trạng đập sau khi vỡ. Thời gian xảy ra vỡ đập tại thực tế nhanh hơn so với tính toán do khi phân tích coi đập là đồng chất không có khuyết tật trong thân đập và bài toán sử dụng mô hình tính toán 2D không xét đến quá trình xói tại nền đập.

Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, sự tồn tại của lớp bảo vệ mái hạ lưu làm chậm lại quá trình vỡ đập.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Đỗ Thị Thùy Dung, 2017. *Nghiên cứu hiện tượng xói lở trên mái đập đất khi nước tràn qua, kiểm chứng cho đập Phân Lân – Vĩnh Phúc*, Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Thủy lợi.
- Tổng cục Thủy lợi, 2015. Báo cáo chương trình an toàn hồ chứa.
- Chen, Y. H. and Anderson, B. A., 1986. *Development of a methodology for estimating embankment damage due to flood overtopping*, Final Report, Simons, Li, and Assoc., Inc., Federal Highway

Administration and Forest Service, Contact No. DTFH61-82-C-00104, SLA Project No. DC-FHA-01.

Hanson, G. J., Cook, K. R. and Hunt, S. L., 2005. "Physical modeling of overtopping erosion and breach formation of cohesive embankments". Trans. ASAE, 48(5), 1783–1794.

**Abstract:**

**RESEARCH ON THE PROJECTION OF THE STAGE  
OF THE PHAN LAN 1 DAM - VINH PHUC PROVINCE**

*Overtopping is one of the major causes of the failure of earth dams in Vietnam and in the world. Dam degradation, failure, insufficient flood resilience have increases in the risk of unsafety to existing dams especially under the abnormal climate change. Research on the mechanism of soil erosion under the effects of overflow has been paying attention. In this article, the Phan Lan 1 dam incident due to overtopping in the flood on August 3, 2013 was simulated using EMBANK model. A series of experiment to determine the coefficient of erosion function and critical shear stress of soil was also performed. The results of the experiments were used as input data for EMBANK model. The results of this research can be applied to provide prompt responses for the dams with high risk of overtopping.*

**Keywords:** Earthfill dam, overtopping, external erosion, dam break.

---

*Ngày nhận bài: 04/11/2017*

*Ngày chấp nhận đăng: 08/12/2017*