

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT

VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM

BÙI VĂN HỮU

NGHIÊN CỨU CÁC ĐẶC TRƯNG SÓNG GIÁN ĐOẠN
KHI VỠ ĐẬP BÊ TÔNG

Ngành: **Kỹ thuật xây dựng công trình thủy**

Mã số : **9 58 02 02**

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI - 2024

Công trình được hoàn thành tại: Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Người hướng dẫn khoa học 1: GS.TS. Lê Văn Nghi

Người hướng dẫn khoa học 2: PGS.TS. Nguyễn Nghĩa Hùng

Phản biện 1: GS. TS Phạm Ngọc Quý

Phản biện 2: GS. TS Nguyễn Quang Hùng

Phản biện 3: PGS.TS Trần Ngọc Anh

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp Viện họp tại:

Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

.....

Vào lúc giờ ngày ...tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại các thư viện:

- Thư viện Quốc Gia
- Thư viện Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết

Đập là công trình ngăn và giữ nước được xây dựng từ hàng nghìn năm trước. Khi đập xảy ra sự cố vỡ, sẽ gây ra những thiệt hại to lớn về người, tài sản và hệ thống cơ sở hạ tầng. Theo Tạp chí Sông suối Quốc tế (International Rivers), tính đến 2021, thế giới có trên 57.000 đập chiều cao lớn hơn 15,0m, trên 2.000 sự cố vỡ đập, gây thiệt hại hơn 8.000 người chết và rất nhiều về tài sản.

Vấn đề vỡ đập đã được các nhà nghiên cứu quan tâm từ sớm nhằm xác định nguyên nhân gây ra sự cố, các đặc trưng của dòng lũ, đặc trưng của sóng gián đoạn khi vỡ đập bằng nhiều phương pháp khác nhau từ lý thuyết, mô hình thực nghiệm, mô hình bán thực nghiệm, mô hình số đến quan trắc đến đo đạc thực tế. Các nghiên cứu không ngừng kế thừa, đi sâu mô phỏng chi tiết, mở rộng điều kiện biên, nhằm cung cấp các lượng hóa các đặc trưng về vỡ đập.

Các mô hình vật lý và mô hình số đã có nghiên cứu về về vỡ đập nhưng chưa xét đến yếu tố kích thước vết vỡ, tương quan giữa hình dạng, kích thước vết vỡ với mực nước thượng lưu, hạ lưu và bề rộng lòng dẫn hạ lưu công trình. Các nghiên cứu trên mô hình 2D giới hạn về không gian mô phỏng, kích thước vết vỡ, chưa xét đến các trường hợp đập vỡ một phần chiều cao. Thiết bị mô phỏng vỡ đập đã có được bố trí di chuyển từ dưới lên bằng hệ thống ray và ròng rọc, còn ảnh hưởng đến dòng chảy ban đầu khi vỡ đập. Các nghiên cứu chưa đề cập đến sóng gián đoạn xuất hiện tại thượng lưu khi vỡ đập.

Kết hợp giữa nghiên cứu lý thuyết, thực nghiệm trên mô hình vật lý và mô hình toán bằng phần mềm Flow-3D, luận án tập trung nghiên cứu bổ sung, tiếp cận cụ thể hơn về các đặc trưng của sóng gián đoạn khi vỡ đập bê tông có kể tới sự thay đổi kích thước vết vỡ; sự biến đổi mực nước thượng, hạ lưu trong không gian ba chiều. Làm rõ hơn đặc điểm, mối tương quan giữa các đặc trưng, góp phần về ý nghĩa trong khoa học cũng như giúp các nhà quản lý chủ động ước định phạm vi, mức độ ảnh hưởng khi xảy ra sự cố vỡ đập, hỗ trợ ra quyết định nhằm giảm thiểu tối đa ảnh hưởng đến hạ du. Do đó đề tài *Nghiên cứu đặc trưng sóng gián đoạn khi vỡ đập bê tông là cần thiết và có tính khoa học, thực tiễn.*

2. Mục đích nghiên cứu

- Phân tích, mô tả hình dạng, sự lan truyền và phạm vi ảnh hưởng của sóng gián đoạn tại thượng lưu vết vỡ (hồ chứa); chế độ dòng chảy, hình dạng, sự lan truyền sóng gián đoạn tại hạ lưu vết vỡ (lòng dẫn hạ lưu);

- Xây dựng mối quan hệ giữa chiều cao sóng ban đầu với kích thước vết vỡ và mực nước thượng lưu, hạ lưu khi vỡ đập;

- Xây dựng mối tương quan, xác định hệ số lưu lượng của dòng chảy qua vết vỡ m_f theo các kích bản kích thước vết vỡ khác nhau.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng: dòng chảy khi vỡ đập bê tông.

Phạm vi nghiên cứu: Bài toán không gian; Không xét đến sự biến hình lòng dẫn; Kênh hạ lưu đáy bằng, hệ số mái kênh $m=1$.

4. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu áp dụng trong luận án gồm: Phương pháp nghiên cứu tổng quan; Phương pháp thực nghiệm trên mô hình vật lý và mô hình toán 3D (phần mềm Flow-3D); Phương pháp phân tích số liệu thực nghiệm; Phương pháp chuyên gia; Phương pháp phân tích thứ nguyên: ứng dụng phương pháp Buckingham để xác định các số ri thí nghiệm, thiết lập các quan hệ thực nghiệm.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Ý nghĩa khoa học: Luận án đã làm sáng tỏ thêm quy luật của dòng chảy khi vỡ đập bê tông; đã xác định, lượng hóa được ảnh hưởng của kích thước vết vỡ, chiều rộng lòng dẫn, mực nước hạ lưu tới khả năng thoát lũ qua vết vỡ và chiều cao ban đầu của sóng gián đoạn khi vỡ đập. Kết quả của luận án, góp phần hoàn thiện và làm phong phú hơn các hiểu biết về sóng gián đoạn sinh ra khi vỡ đập bê tông; là cơ sở để tiếp tục nghiên cứu các vấn đề khác có liên quan đến sự cố vỡ đập.

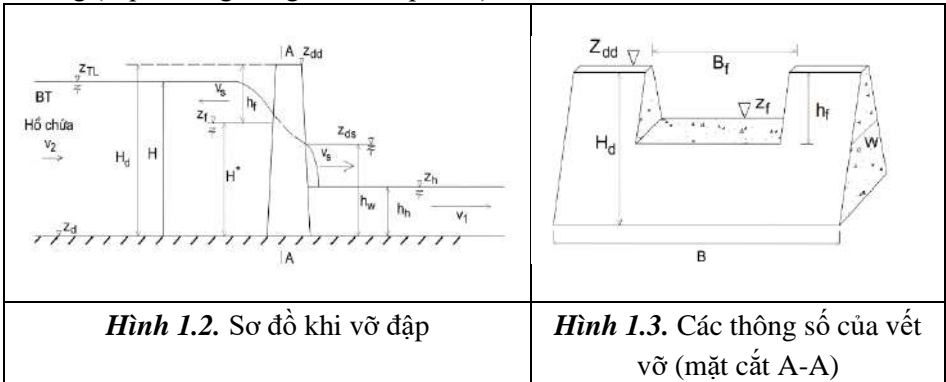
Ý nghĩa thực tiễn: Kết quả nghiên cứu của luận án đã cụ thể hóa được hình dạng, các đặc trưng sóng gián đoạn tại thượng, hạ lưu công trình và sự truyền sóng vỡ đập một cách trực quan. Các công thức, đồ thị, sơ đồ xác định được hệ số lưu lượng qua vết vỡ, chiều cao ban đầu, phạm vi lan truyền của sóng gián đoạn khi vỡ đập, giúp các đơn vị tư vấn, các cơ quan quản lý thuận lợi trong tính toán, xác định phạm vi ảnh hưởng lớn nhất khi xảy ra sự cố, có kế hoạch ứng phó, hành động phù hợp, đảm bảo an toàn về người và tài sản, giúp giảm thiểu rủi ro trong công tác quản lý, vận hành, khi công trình xảy ra sự cố.

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU VỀ SỰ CỐ VỠ ĐẬP VÀ SÓNG GIÁN ĐOẠN

1.1. Định nghĩa và phân loại

Đập là công trình được xây dựng để dâng nước hoặc cùng các công trình có liên quan tạo hồ chứa nước. Đập bê tông là loại đập mà vật liệu xây dựng đập là bê tông. Có nhiều cách phân loại đập, một số cách phân loại thông dụng như: theo chế độ thủy lực (đập cho nước tràn qua, đập không cho nước tràn qua), theo vật liệu xây dựng đập (vật liệu sỏi được – đập vật liệu địa phương, vật liệu không sỏi được – đập bê tông, thép, composit...), theo cách sử dụng đập (đập giữ nước, đập chuyển hướng) và theo cấu trúc đập. Đập bê tông được phân thành các loại: Đập bê tông trọng lực, đập bê tông vòm, đập bê tông bản chống...

Vỡ đập là hiện tượng một con đập mất khả năng kiểm soát và giải phóng một lượng nước “không thể chủ động kiểm soát được” hay một con đập bị phá hủy, giải phóng đột ngột, nhanh chóng một khối lượng nước lớn xuống hạ du. Theo vật liệu xây dựng đập: vỡ đập vật liệu địa phương (đập đất, đập đá) và vỡ đập bê tông (đập bê tông trọng lực và đập vòm).



Sóng gián đoạn là sự chuyển động không ổn định có tính chất thay đổi nhanh và xuất hiện điểm “đứt gãy” trên hình dạng sóng. Sóng thuận là sóng truyền đi cùng chiều với chiều dòng chảy. Sóng nghịch là sóng truyền đi ngược chiều với chiều dòng chảy. Sóng dương là sóng truyền đi làm tăng cao độ mực nước dòng chảy. Sóng âm là sóng truyền đi làm giảm cao độ mực nước dòng chảy. Sóng thuận – dương là sóng truyền đi cùng chiều với chiều dòng chảy và làm tăng cao độ mực nước dòng chảy. Sóng thuận – âm là sóng truyền đi cùng chiều với chiều dòng chảy và làm giảm cao độ mực nước dòng chảy. Sóng nghịch – dương là sóng truyền đi ngược chiều với chiều dòng chảy và làm tăng cao độ mực nước

dòng chảy. Sóng nghịch – âm là sóng truyền đi ngược chiều với chiều dòng chảy và làm giảm cao độ mực nước dòng chảy. Sóng đầu bẹt là sóng do vỡ đập sinh ra trong trường hợp hạ lưu không có nước (hạ lưu khô). Các nhà nghiên cứu dựa theo chiều di chuyển và tác động làm tăng hay giảm mực nước dòng chảy ban đầu để phân loại sóng gián đoạn. Theo đó sóng gián đoạn được chia thành 4 loại: Sóng thuận - dương; Sóng nghịch - dương; Sóng thuận - âm; Sóng nghịch – âm.

1.2. Sự cố vỡ đập và nguyên nhân gây vỡ đập

Từ thời điểm có số liệu thống kê cho thấy tỉ lệ vỡ đập trên thế giới giảm qua các thời kỳ. Tỉ lệ đập gặp sự cố cao nhất: theo tuổi thọ - đập dưới 5 tuổi, theo chiều cao - đập có chiều cao nhỏ hơn 15,0m, theo dung tích hồ chứa - dung tích nhỏ hơn 100 triệu m³, theo khoảng thời gian xảy ra sự cố - từ 1900 đến 1929. Tính đến năm 2022, Việt Nam chưa ghi nhận sự cố vỡ đập bê tông, một số sự cố đập vật liệu địa phương (đập đất, đập đá đổ...) như: đập xây dở Cửa Đạt – Thanh Hóa (2007); đập Đầm Hà Động- Quảng Ninh (2014)...

Các nguyên nhân gây ra sự cố vỡ đập có thể do: Lũ vượt thiết kế (nguyên nhân chính, chiếm 1/3 số sự cố); Địa chất yếu; Suy giảm chất lượng công trình (tuổi thọ công trình tăng); Vấn đề thi công; Yếu tố con người: sai sót trong thiết kế, xây dựng công trình, sai sót trong vận hành, do chiến tranh hoặc phá có chủ đích của con người; Một số nguyên nhân khác như động đất, trượt đất đá, băng tan, lở tuyết, dòng thấm.... Đối với đập bê tông, nguyên nhân chính chiếm 73,2% sự cố là do chất lượng xây dựng công trình và lũ vượt khả năng xả.

1.3. Nghiên cứu về hình dạng vết vỡ đập bê tông

Mỗi loại vật liệu, kiểu đập sẽ có hình dạng và kích thước vết vỡ khác nhau khi xảy ra sự cố. Với đập đất: dạng vết vỡ có thể là hình thang, hình tam giác. Với đập bê tông: là dạng hình chữ nhật và vỡ thành nhiều khối, vị trí vỡ đập thường xảy ra ở giữa (chiếm tỉ lệ 30%). Do đó, khi mô phỏng sự cố vỡ đập bê tông, luận án lựa chọn vết vỡ hình chữ nhật, dạng nhiều khối.

1.4. Nghiên cứu về vỡ đập và sóng gián đoạn

Vấn đề thủy lực dòng chảy không ổn định, biến đổi gấp trên lòng dẫn hở (vỡ đập) là một vấn đề khó, phức tạp. Hiện tượng vỡ đập và các đặc trưng sóng gián đoạn được các nhà nghiên cứu quan tâm từ cuối thế kỷ thứ 19, các nghiên cứu điển hình có thể kể đến: Ritter (1892) nghiên cứu thực nghiệm trên kênh lăng trụ hình chữ nhật có đáy bằng, hạ lưu không có nước (hạ lưu không có vật cản). Stoker (1957), phát triển, mở rộng điều kiện biên ảnh hưởng đến đặc trưng dòng

chảy vỡ đập khi xét đến yếu tố mực nước tại hạ lưu. Nghiên cứu bằng lý thuyết hệ phương trình Navier- Stokes viết cho dòng chảy tầng có bổ sung hệ số rối có Ritter (1892); Whitham (1955), Stoker (1957), Hubert (1984, 1989)...ở Việt Nam có các nghiên cứu của Nguyễn Cảnh Cầm (2006), Lê Thị Thu Hiền (2015) ... sử dụng giải tích đơn giản, đường đặc trưng hay sơ đồ sai phân ẩn để giải bài toán vỡ đập. Công bố một số công thức xác định lưu lượng thoát qua lỗ vỡ, chiều cao ban đầu sóng gián đoạn theo đại lượng cột nước thượng lưu H . Nghiên cứu trên mô hình thực nghiệm chủ yếu tiến hành trên máng kính (mô hình 2D) như của Chen Yang et al (2010); Hatice Ozmen-Cagatay et al (2010, 2012 và 2020), Hubert Chanson (2008), Hunt,B(1987), Ritter, A. (1892), Stoker, J. J. (1957) và Wenjun Liu et al... Các nghiên cứu Việt Nam tập trung vết vỡ cho đê, đập được xây dựng bằng vật liệu địa phương như Nguyễn Tuấn Anh, Lưu Như Phú (2003), Nguyễn Doanh Oanh và cs (2006), Phạm Ngọc Rư và cs (2011), Lê Văn Nghi, Bùi Văn Hữu và cs (2015); Phạm Thu Hương (2018). Mô hình số đã thu được nhiều kết quả tích đột phá về xác định đặc tính hình dạng sóng gián đoạn.

1.5. Lưu lượng tức thời lớn nhất thoát qua vết vỡ

Các nghiên cứu đã có cho thấy lưu lượng tức thời lớn nhất qua vết vỡ (Q_p) phụ thuộc vào các yếu tố như: loại đập, loại vật liệu đắp đập, thời gian vỡ đập (t_f), mực nước trong hồ chứa và nhiều thông số khác. Do đó để đơn giản hóa, các nghiên cứu chỉ xét đến một số yếu tố chính như chiều cao đập (H_d), chiều cao cột nước hồ trước khi vỡ và thể tích khối nước trên vết vỡ (H và V_f).

1.6. Kết luận chương 1

Luận án đã tổng quan các nghiên cứu và sự cố vỡ đập lớn xảy ra trên thế giới và ở Việt Nam, khái quát được quá trình xảy ra sự cố, nguyên nhân gây ra sự cố, các thiệt hại do sự cố gây ra, từ đó phân tích, tổng hợp các nguyên nhân gây ra vỡ đập nói chung và đập bê tông nói riêng.

Tổng quan được phương pháp nghiên cứu các trung đặc dòng chảy khi vỡ đập bê tông của các nghiên cứu đã có như nghiên cứu bằng lý thuyết, nghiên cứu bằng thực nghiệm, bán thực nghiệm và nghiên cứu trên mô hình số - CFD.

Tổng quan, phân tích được các thành tựu, hạn chế, đặc tính hình dạng sóng gián đoạn thuận dương, yếu tố chính ảnh hưởng tới lưu lượng tức thời lớn nhất qua vết vỡ và chiều cao sóng gián đoạn của các nghiên cứu đã có. Từ đó đề ra hướng sẽ tập trung đi sâu nghiên cứu của luận án.

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ KHOA HỌC XÁC ĐỊNH CÁC ĐẶC TRƯNG SÓNG GIÁN ĐOẠN KHI VỠ ĐẬP BÊ TÔNG

2.1. Cơ sở lý thuyết tính toán lưu lượng thoát qua vết vỡ

Với mỗi loại vật liệu, kiểu đập vết vỡ sẽ có hình dạng, kích thước, vị trí vết khác nhau. Với đập vật liệu địa phương vết vỡ thường có dạng hình thang, hình tam giác.... Với đập bê tông - đối tượng nghiên cứu của luận án - vết vỡ có dạng hình chữ nhật, nhiều khối và vị trí vết vỡ thường xảy ra ở giữa. Dòng chảy qua vết vỡ có đặc điểm tương tự với dòng chảy qua đập tràn thực dụng mặt cắt dạng đa giác. Trường hợp chiều cao vết vỡ nhỏ (nhỏ hơn $0,1H$), dòng chảy qua vết vỡ bám sát mái hạ lưu đập, chảy xuống chân đập, chảy về hạ lưu, dòng chảy không tồn tại không khí dưới lớp nước – trạng thái dòng chảy không chân không. Trường hợp chiều cao vết vỡ tăng lên ($0,1H < h_r < 0,75H$), dòng chảy qua vết vỡ có bề rộng lớn, tương tự dòng chảy qua đập tràn đỉnh rộng, dòng chảy ra khỏi phạm vi vết vỡ tách khỏi mặt đập hạ lưu, đổ xuống lòng dẫn hạ lưu, dưới lớp nước chảy qua vết vỡ có tồn tại không khí (trạng thái dòng chảy có chân không).

Coi dòng chảy qua vết vỡ như qua tràn truyền thống. Dạng công thức xác định lưu lượng thoát qua vết vỡ như (2.2). Khi dòng chảy qua vết vỡ là chảy tự do thì $\sigma_n = 1,0$.

$$Q_n = \sigma_n m_f B_f \sqrt{2gH}^{3/2} \quad (2.2)$$

2.2. Lập phương trình nghiên cứu thực nghiệm

Xây dựng phương trình nghiên cứu thực nghiệm nhằm xác định các đại lượng độc lập và đại lượng phụ thuộc. Các số liệu thực nghiệm được tổng hợp, tìm mối tương quan chặt chẽ giữa các đại lượng: **Đại lượng vào** → **Quan hệ phụ thuộc (phương trình hồi quy thực nghiệm)** → **Đại lượng ra**.

Các yếu tố liên quan, ảnh hưởng tới khả năng thoát lũ qua vết vỡ, đặc trưng sóng gián đoạn, bao gồm yếu tố công trình và yếu tố dòng chảy trong đó chia thành nhóm dữ liệu đầu vào và đầu ra.

Dữ liệu đầu vào là các đại lượng chủ động điều khiển được theo ý định thí nghiệm gồm: các thông số của đập, thông số vết vỡ và lưu lượng đưa vào mô hình, độ sâu mực nước hạ lưu. Dữ liệu đầu ra là lưu lượng thoát qua vết vỡ, chiều cao ban đầu sóng gián đoạn, chiều dài sóng ngang ở thượng lưu, chiều dài sóng dọc ở thượng lưu.

Sử dụng phương trình Buckingham biểu thị các đại lượng biến đổi để mô tả hiện tượng thủy động lực học cần nghiên cứu trong một phiếm hàm. Từ các đại lượng (12 đại lượng biến đổi độc lập), chọn 3 thứ nguyên cơ bản là thời gian [T], độ dài [L], khối lượng [M]. Các đại lượng biến đổi độc lập còn lại ($n-3 = 12-3=9$) được biến đổi thành dạng quan hệ không thứ nguyên, dạng hàm Pi. Được phiếm hàm $f(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots) = 0$ (2.10).

Phương trình tổng quát xét cho đặc trưng dòng chảy qua vỡ đập:

$$f \left[\frac{h_f}{H}; \frac{B_f}{H}; \frac{h_h}{H}; \frac{h_w}{H}; \frac{L_{sn}}{H}; \frac{L_{sd}}{H}; \frac{H^5 g}{Q_p^2}; \frac{\mu H}{Q_p \rho}; \frac{B_{ld}}{H} \right] = 0 \quad (2.15)$$

Phương trình biến đổi theo Q_p :

$$f \left[\frac{h_f}{H}; \frac{B_f}{H}; \frac{h_h}{H}; \frac{h_w}{H}; \frac{L_{sn}}{H}; \frac{L_{sd}}{H}; \frac{Q_p}{B_f \sqrt{2gH^{3/2}}}; \frac{B_{ld}}{H} \right] = 0 \quad (2.16)$$

Do lưu lượng thoát qua vết vỡ sinh ra sóng ở hồ chứa thượng lưu và lòng dẫn hạ lưu; trong trường hợp chảy tự do bề rộng lòng dẫn, và mực nước hạ lưu không ảnh hưởng đến hệ số lưu lượng, nên (2.16) được viết lại thành:

$$f \left[\frac{h_f}{H}; \frac{B_f}{H}; \frac{Q_p}{B_f \sqrt{2gH^{3/2}}} \right] = 0 \quad (2.17)$$

$$\text{Nên } m_f = \frac{Q_p}{B_f \sqrt{2gH^{3/2}}} = f \left[\frac{h_f}{H}; \frac{B_f}{H} \right] \quad (2.18)$$

+ Xác định chiều cao ban đầu của sóng:

$$\text{Các thông số } \frac{L_{sn}}{H}; \frac{L_{sd}}{H} \text{ tại thượng lưu; hệ số số lưu lượng } m_f = \frac{Q_p}{B_f \sqrt{2gH^{3/2}}},$$

là độc lập với các yếu tố sóng tại hạ lưu, nên (2.16) được viết lại thành

$$f \left[\frac{h_f}{H}; \frac{B_f}{H}; \frac{h_h}{H}; \frac{h_w}{H}; \frac{B_{ld}}{H} \right] = 0$$

Lấy $\frac{\pi_2}{\pi_9} = \frac{B_f}{B_{ld}}$, ta được phương trình (2.19), biến đổi ta được (2.20).

$$f \left[\frac{h_f}{H}; \frac{B_f}{B_{ld}}; \frac{h_h}{H}; \frac{h_w}{H} \right] = 0 \quad (2.19)$$

$$\frac{h_w}{H} = f \left[\frac{h_f}{H}; \frac{B_f}{B_{ld}}; \frac{h_h}{H} \right] \quad (2.20)$$

+ Xét sự truyền sóng trên hồ chứa thượng lưu:

Sự lan truyền sóng tại hồ chứa thượng lưu phụ thuộc vào khả năng thoát lũ qua vết vỡ và thời gian xảy ra sự cố. Lưu lượng qua vết vỡ được tính thông qua bề rộng vết vỡ và mực nước H (khi kể đến lưu tốc tới gần), mực nước hạ lưu (h_n), chiều cao sóng ban đầu ở hạ lưu (h_w), vận tốc truyền sóng (v_s) và bề rộng lòng dẫn hạ lưu không tác động đến sự truyền sóng ở thượng lưu nên (2.16) được viết lại thành:

$$f \left[\frac{h_f}{H}; \frac{B_f}{H}; \frac{L_{sn}}{H}; \frac{L_{sd}}{H} \right] = 0 \quad (2.21)$$

Nếu coi sự truyền sóng theo 2 phương là độc lập với nhau ta có:

$$L_{sn} = f \left[\frac{h_f}{H}(t); \frac{B_f}{H}(t) \right] \quad (2.22)$$

$$L_{sd} = f \left[\frac{h_f}{H}(t); \frac{B_f}{H}(t) \right] \quad (2.23)$$

Trên cơ sở các quan hệ (2.18); (2.20); (2.22) và (2.23), luận án thiết lập các tổ hợp và trường hợp thí nghiệm, tính toán để tiến hành phân tích, đánh giá, xây dựng công thức.

2.3. Mô hình nghiên cứu

2.3.1. Mô hình vật lý

Mô hình vật lý được xây dựng, thí nghiệm theo Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 8214-2009 về thí nghiệm mô hình thủy lực công trình thủy lợi, thủy điện.

Thiết kế, xây dựng đảm bảo tương tự cơ học giữa công trình thực tế và mô hình gồm tương tự hình học, tương tự động học và tương tự động lực học. Dòng chảy qua vết vỡ là dòng chảy hở, lực tác dụng vào dòng chảy có trọng lực đóng vai trò chủ yếu nên mô hình chọn tiêu chuẩn tương tự trọng lực, hay tiêu chuẩn Froude.

Mô hình dạng chính thái, tổng thể, lòng cứng (mô hình 3D - Hình 2.3). Tỷ lệ mô hình $\lambda_l = 125$. Kích thước mô hình dài 20,0m; rộng hồ chứa 12,0m, chiều rộng lòng dẫn 8,0m; cao 1,6m; tương đương kích thước thực tế là dài 2.500,0m; chiều rộng hồ chứa 1.500,0m, chiều rộng lòng dẫn hạ lưu 800,0m; cao 200,0m (phần lòng dẫn cao 150,0m). Đầu mối, lòng dẫn thượng hạ lưu dùng vữa xi măng trát đảm bảo tương tự nhám với thực tế cần mô phỏng.

Phương pháp mô phỏng vết vỡ trong quá trình vỡ đập sử dụng hệ thống Thiết bị mô phỏng quá trình vỡ đập bê tông. Hệ thống đã được Cục sở hữu trí tuệ cấp

bằng độc quyền Giải pháp hữu ích số 2043: Thiết bị mô phỏng quá trình vỡ đập bê tông theo quyết định số 35545/QĐ-SHTT ngày 09/05/2019. (Hình 2.7.b).

Bố trí thiết bị đo đạc; Đánh giá sai số mô hình; Đánh giá sự phù hợp của số liệu thực nghiệm. Tín hiệu sóng gián được thu thập bằng hệ thống đầu đo điện tử Duck, đặt trên lòng dẫn mô hình. Hệ thống đầu đo được gắn với máy tính và bộ thu thập dữ liệu chuyên dụng, trong các phép đo mỗi giây lấy 10 tín hiệu, thời gian đo tối đa 180 giây.

Xác định lưu lượng qua vết vỡ trên mô hình bằng việc bố trí 01 máng hứng hình thang đặt tại cửa ra (cuối mô hình) cách vị trí vết vỡ 8,0m, tương đương thực tế cách vết vỡ 1000m, đoạn lòng dẫn có địa hình tương đối phẳng, độ dốc nhỏ <1,0%.



Hình 2.3. Mô hình vật lý vỡ đập bê tông



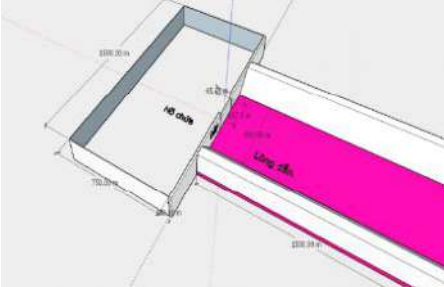
Hình 2.7.b. Thiết bị mô phỏng vỡ đập lắp trên mô hình

2.3.2. Mô hình số CFD

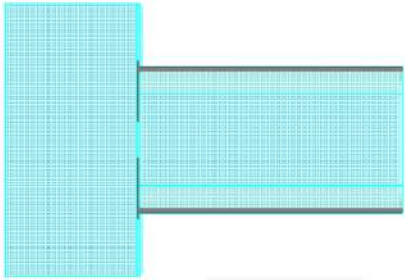
Để bổ sung nhiều hơn các trường hợp, kịch bản thí nghiệm cho MHVL, luận án mô phỏng mô hình vỡ đập trên mô hình toán 3 chiều bằng phần mềm Flow 3D. Mô hình được thiết lập bao gồm 3 khu vực mô phỏng gồm khu vực 1- hồ chứa thượng lưu, khu vực 2: đập + vết vỡ và khu vực 3: lòng dẫn hạ lưu (Với nguyên mẫu là đập Sơn La).

Lưới tính toán cho mô hình được chia theo dạng khối lưới hình hộp chữ nhật trực giao bước lưới đồng nhất: $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 5,0m$ (Hình 2.15). Kiểm tra sự phù hợp và chất lượng lưới chia bằng cách dùng công cụ Simulation Pre - check trong Flow-3D để kiểm tra mức độ sự phù hợp của lưới chia (Mesh Quality). Các bước lưới được thực hiện nhiều lần để tìm ra kích thước lưới chia cho kết quả phù hợp giữa mô hình vật lý và mô hình Flow-3D và đảm bảo thời gian chạy mô hình không quá dài cho một kịch bản tính toán.

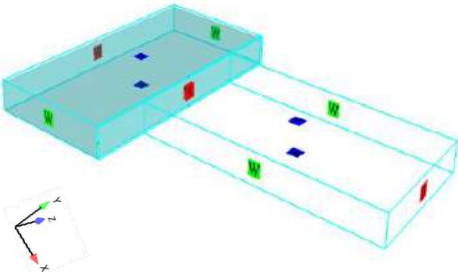
Từ các nghiên cứu đã có về phương pháp mô phỏng dòng rối, luận án lựa chọn phương pháp giải mô hình RNG k- ϵ để mô phỏng bài toán vỡ đập. Mô hình được kiểm nghiệm và hiệu chỉnh bằng số liệu thu được từ mô hình vật lý cho trường hợp mực nước thượng lưu là 217,83m, kích thước bề rộng vết vỡ (B_f) là 187,5m và chiều cao vết vỡ (h_f) là 45,0m.



Hình 2.12. Các khu vực mô phỏng



Hình 2.15. Mặt bằng lưới tính toán



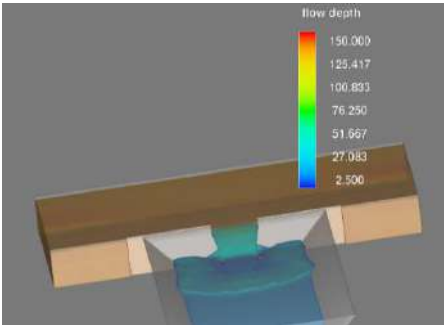
Hình 2.16. Điều kiện biên của mô hình



Hình 2.17. Vị trí xác định trên mô hình vật lý (MHVL) tại $x=400m$

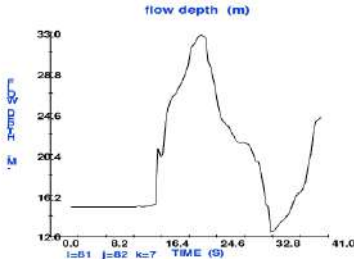


a. Hình dạng sóng trên mô hình vật lý

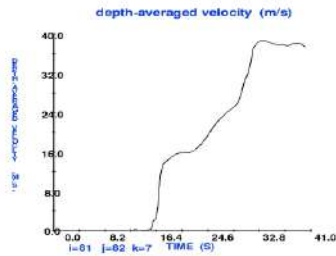


b. Hình dạng sóng trên mô hình Flow-3D

Hình 2.18. Hình dạng sóng gián đoạn tại hạ lưu trên MHVL và Flow-3D



Độ sâu dòng chảy



Lưu tốc dòng chảy

Hình 2.19. Độ sâu và lưu tốc dòng chảy tại điểm $x=400m$

Vị trí so sánh kết quả tại điểm đo cách chân đập 400m, giữa lòng dẫn hạ lưu. Kết quả cho thấy khác biệt giữa mô hình vật lý và mô hình Flow -3D là hơn 6,0%.

Do đó, mô hình Flow-3D thiết lập cho bài toán nghiên cứu đảm bảo độ tin cậy để tính toán các kịch bản khác nhau của luận án.

2.3.3. Sự kết hợp giữa mô hình vật lý và mô hình số CFD

Các kết quả trên Mô hình vật lý và mô hình số có sự hỗ trợ và tương hỗ cho nhau. Mô hình số sử dụng 01 bộ số liệu trên mô hình vật lý dùng làm bộ số liệu kiểm định mô hình toán, ngược lại với 80 kịch bản trên mô hình số làm rõ hơn các đặc trưng dòng chảy khi vỡ đập khi đó là hạn chế của mô hình vật lý.

2.4. Kết luận chương 2

Trên cơ sở lý thuyết tương tự, mô hình hóa, quy hoạch thực nghiệm xác định được các đại lượng chủ yếu ảnh hưởng đến lưu lượng thoát qua vết vỡ và các đặc trưng ban đầu của sóng gián đoạn là kích thước vết vỡ, mực nước thượng, hạ lưu công trình và chiều rộng lòng dẫn hạ lưu.

Luận án sử dụng phương pháp nghiên cứu kết hợp giữa mô hình thực nghiệm và mô hình số (Flow-3D). Mô hình thực nghiệm được xây dựng đảm bảo các điều kiện tương tự (nguyên mẫu mô hình đập Sơn La, tỷ lệ $\lambda_1=125$). Hệ thống thiết bị mô phỏng vết vỡ trên mô hình vật lý cho phép mô phỏng gần đúng thực tế hiện tượng vỡ đập, tạo ra sóng gián đoạn tại hồ chứa thượng lưu, lòng dẫn hạ lưu và được Cục sở hữu trí tuệ cấp bằng độc quyền giải pháp hữu ích.

Mô hình số được thiết lập và xây dựng bằng phần mềm Flow-3D cho miền tính toán tương tự mô hình thực nghiệm, sử dụng kiểu mô hình RNG k- ϵ , được hiệu chỉnh, kiểm định bằng bộ số liệu thực nghiệm trên mô hình vật lý 3D, đảm bảo độ chính xác và tin cậy (với sai số <6%) để triển khai, thiết lập các tổ hợp kịch bản tính toán cho các bước nghiên cứu tiếp theo.

CHƯƠNG 3: XÁC ĐỊNH CÁC ĐẶC TRƯNG CỦA SÓNG GIÁN ĐOẠN

3.1. Các kịch bản nghiên cứu tính toán

Trong mỗi kịch bản tính toán, thí nghiệm các thông số được xác định bao gồm: Lưu lượng dòng chảy qua vết vỡ (Q_p); Chiều cao lớn nhất của sóng gián đoạn tại hạ lưu (h_w); Chiều dài sóng ngang ở thượng lưu (L_{sn}); Chiều dài sóng dọc ở thượng lưu (L_{sd}).

Số kịch bản thí nghiệm tối thiểu được xác định theo công thức 2^m [10], theo đó số lượng thí nghiệm, tính toán tối thiểu cần thực hiện là $N=2^4=16$ thí nghiệm.

Để đảm bảo tính đại diện trong biểu thị tương quan giữa các đại lượng, sử dụng các biến không thứ nguyên để xây dựng công thức xác định hệ số lưu lượng thoát qua vết vỡ (m_f), Chiều cao lớn nhất của sóng gián đoạn tại hạ lưu (h_w), đặt:

$$\alpha_B = \frac{B_f}{B_{ld}}; \alpha_{h_f} = \frac{h_f}{H}; \alpha_{h_h} = \frac{h_h}{H}; \alpha_{h_w} = \frac{h_w}{H} \text{ và } T = t \cdot \sqrt{\frac{g}{H}}$$

Trong đó: α_B - Hệ số chiều rộng tương đối của vết vỡ; α_{h_f} - Hệ số chiều cao tương đối của vết vỡ; α_{h_h} - Hệ số chiều sâu tương đối của mực nước hạ lưu; α_{h_w} - Hệ số chiều rộng tương đối của sóng gián đoạn. T- Hệ số thời gian tương đối của quá trình vỡ đập (α : đọc là Alpha)

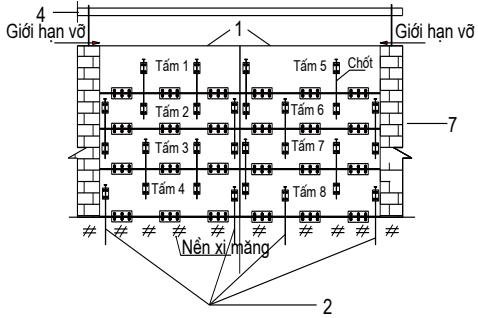
Trên mô hình vật lý, luận án thực hiện các nghiên cứu với phạm vi $\alpha_{h_f}= 0,25$; $\alpha_{h_f}= 0,35$; $\alpha_{h_f}= 0,5$ và $\alpha_{h_f}= 0,75$; $\alpha_B= 0,2$; $\alpha_B= 0,4$ và $\alpha_{h_h}=0,1$. Mực nước thượng lưu không chế với 02 trường hợp: nhau bằng đỉnh đập và cao hơn đỉnh đập $0,1.H$ với tổng cộng 18 kịch bản;

Trên mô hình Flow 3D - Luận án thiết hành thiết lập và tính toán mô phỏng 80 kịch bản trong đó: Bề rộng vết vỡ đảm bảo $0 < B_f < B_{ld}$; $\alpha_B= 0,125 \div 1,0$; Chiều cao vết vỡ h_f đảm bảo $0 < h_f < H$; $\alpha_{h_f}= 0,25 \div 0,75$; Chiều cao mực nước hạ lưu luôn là $0 \leq h_h < H$, với $\alpha_{h_h} = 0 \div 0,3$. Khi hạ lưu không có nước $\alpha_{h_h} = 0$ (hay $h_h=0$ - hạ lưu khô); khi hạ lưu có nước $0,1 \leq \alpha_{h_h} \leq 0,3$ (hạ lưu ướt).

3.2. Quá trình nghiên cứu và phát triển phương pháp mô phỏng vỡ đập bê tông trên mô hình vật lý

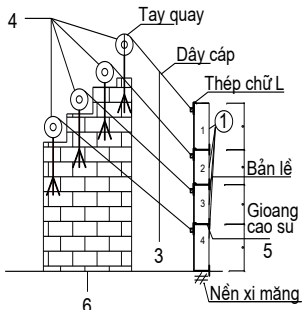
Quá trình phát triển phương pháp mô phỏng vết vỡ được nghiên cứu sinh phát triển qua nhiều lần nghiên cứu. Kích thước vết vỡ được giả định. Lần thứ nhất vết vỡ được mô phỏng bằng các khối tự vỡ, lần thứ 2 được nghiên cứu sinh mô phỏng bằng các tấm mở về một phía (một bên là chốt hãm, một bên là bản lề), tuy nhiên cả 2 lần đó đều không mô phỏng được sự cố vỡ đập sát với thực tế.

Để giải quyết vấn đề các vấn đề còn tồn tại, nghiên cứu sinh cùng thầy hướng dẫn tiếp tục phát triển và mô phỏng lỗ vỡ bằng các tấm lật được liên kết với nhau bằng bản lề, cố định bằng các chốt hãm tại các tay quay. Kết quả đã mô phỏng khá chính xác hiện tượng vỡ đập bằng bê tông. Kết cấu mô phỏng vết vỡ khi mô phỏng vỡ đập bê tông như thể hiện trên Hình 3.6.

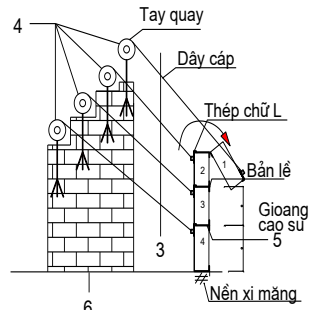


- 1 - Các tấm lật;
- 2 - Các chốt khóa;
- 3 - Dây cáp;
- 4 - Tay quay;
- 5 - Tấm cao su kín nước;
- 6 - Trụ đỡ tay quay;
- 7 - Hệ thống cửa

a. Mặt đứng kết cấu



b. Khi chưa hình thành vết vỡ



c. Khi hình thành vết vỡ

Hình 3.6. Kết cấu tạo vết vỡ khi mô phỏng vỡ đập bê tông

3.3. Đặc trưng sóng gián đoạn tại thượng lưu

Khi một con đập bị vỡ, sóng gián đoạn xuất hiện tại hồ chứa thượng lưu và lòng dẫn hạ lưu. Sóng gián đoạn tại thượng lưu ít được quan tâm nghiên cứu trên lý thuyết cũng như các tài thực tế do sóng ở thượng lưu ít gây ra các ảnh hưởng với đời sống con người và cơ sở hạ tầng. Với 80 kịch bản nghiên cứu trên mô hình Flow- 3D, trong đó có 20 kịch bản mô phỏng các trường hợp liên quan đến sóng tại thượng lưu (4 giá trị α_{hf} và 5 giá trị α_B).

1. Hình dạng, sự lan truyền sóng tại thượng lưu

Tại thời điểm ban đầu khi đập bắt đầu bị vỡ, khối nước từ thượng lưu di chuyển đột ngột xuống hạ lưu. Tại hồ chứa thượng lưu hình thành 1 vùng lõm trước vết vỡ, khi lưu lượng từ thượng lưu tiếp tục qua vết vỡ xuống hạ lưu, vùng lõm được mở rộng. Dòng chảy từ xung quanh chuyển về vùng lõm, mực nước vùng xung quanh vùng lõm có xu hướng giảm, đồng thời lưu lượng dồn về vùng lõm tăng. Đến một thời điểm lưu lượng dồn về lớn hơn khả năng tháo lũ của vết vỡ gây nên hiện tượng dồn ứ lưu lượng trước vết vỡ, làm tăng chiều cao cột nước trước vết vỡ. Cứ như vậy, trên hồ chứa thượng lưu tồn tại một cặp sóng nghịch - âm và nghịch - dương di chuyển cùng nhau tạo thành sự lan truyền sóng. Trong quá trình di chuyển và truyền sóng mực nước hồ chứa thượng lưu giảm dần.

Quá trình hình thành và phát triển hình dạng sóng gián đoạn được chia thành hai giai đoạn. Giai đoạn 1: Khi sóng gián đoạn chưa chạm bờ hai bên hồ chứa, trên mặt bằng sóng gián đoạn có dạng $\frac{1}{2}$ hình Oval. Giai đoạn 2: Khi sóng gián đoạn chạm bờ hai bên, đỉnh sóng nằm trên đường thẳng, vùng ảnh hưởng của sóng có dạng chữ nhật với biên bề rộng là bờ 2 bên và biên chiều dài từ mép thượng lưu vết vỡ đến đỉnh sóng thứ nhất (Xem chi tiết tại hình 3.8 và hình 3.9).

2. Mối liên hệ giữa chiều dài và chiều rộng sóng gián đoạn

Gọi góc tạo bởi ranh giới giữa vùng một và vùng hai tạo với phương ngang của vết vỡ 1 góc là β (Xem chi tiết tại sơ đồ hình 3.11).

Xét tại một giá trị T xác định, mối quan hệ giữa chiều dài sóng L_{sdT} và bề rộng sóng L_{snT} được xác định (3.1)

$$L_{snT} = \frac{B_f}{2} + \frac{L_{sdT}}{\cos(90^\circ - \beta)} \tag{3.1}$$

Trong các trường hợp tính toán góc $\beta \cong 65^\circ$; công thức (3.2) trở thành:

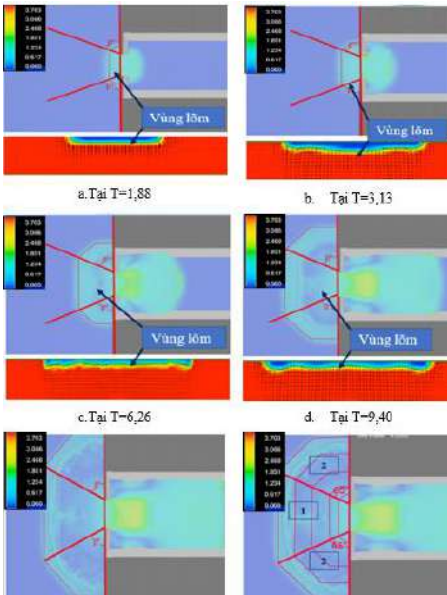
$$L_{snT} = 0,5 * B_f + 1,22 * L_{sdT} \tag{3.2}$$

3.4. Đặc trưng sóng gián đoạn tại hạ lưu

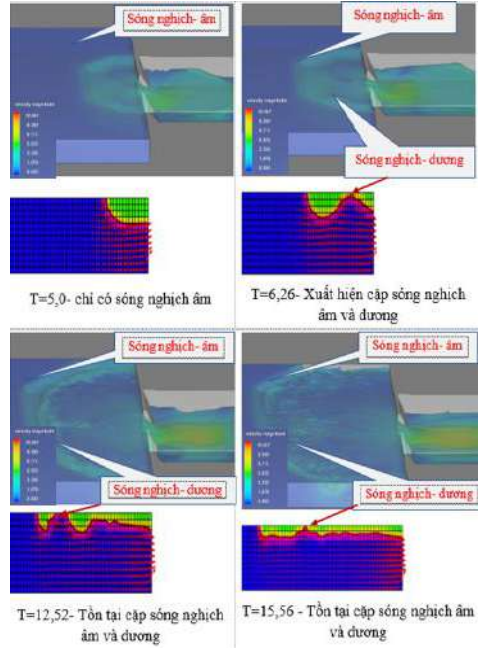
1. Chế độ dòng chảy

a. Khi hạ lưu không có nước

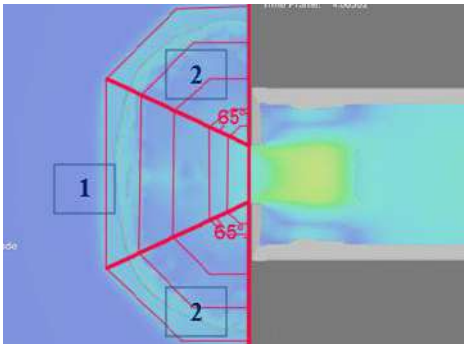
Trường hợp $\alpha_{hf} < 0,67$, tức là đập chi vỡ 1 phần theo chiều cao, dòng chảy tại hạ lưu do khối nước sinh ra không ảnh hưởng đến dòng chảy qua vết vỡ, do đó dòng chảy qua vết vỡ là dòng chảy tự do.



Hình 3.8. Hình dạng sóng ở thượng lưu với $\alpha_B=0,5$ và $\alpha_{hf} \leq 0,9$



Hình 3.9. Sự lan truyền sóng gián đoạn tại thượng lưu



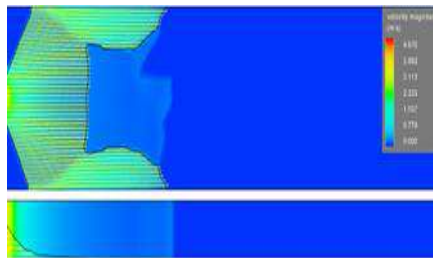
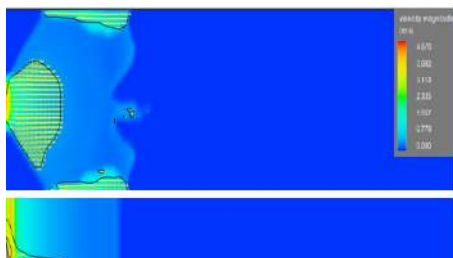
Hình 3.11. Sơ đồ tính chiều dài sóng dọc (L_{sd}) và sóng ngang (L_{sn})

Trường hợp $0,67 < \alpha_{hf} \leq 0,9$, tức là đập vỡ toàn bộ theo chiều cao, dòng chảy ở hạ lưu ảnh hưởng đến dòng chảy tại thượng lưu; nối tiếp thượng, hạ lưu vết vỡ bằng dòng chảy ngập, có độ dốc lớn, xiết và không sinh đứt gãy trên đường truyền sóng, sóng sinh ra trong trường hợp này gọi là sóng đầu bệt (bảng 3.4)

Bảng 3.4. Phân định chế độ chảy qua vết vỡ trường hợp $\alpha_{hh}=0$

Khi $\alpha_B=0,25, \alpha_{hf} = 0,60$

Khi $\alpha_B=0,25, \alpha_{hf} = 0,90$



Trường hợp $\alpha_{hf} < 0,67$

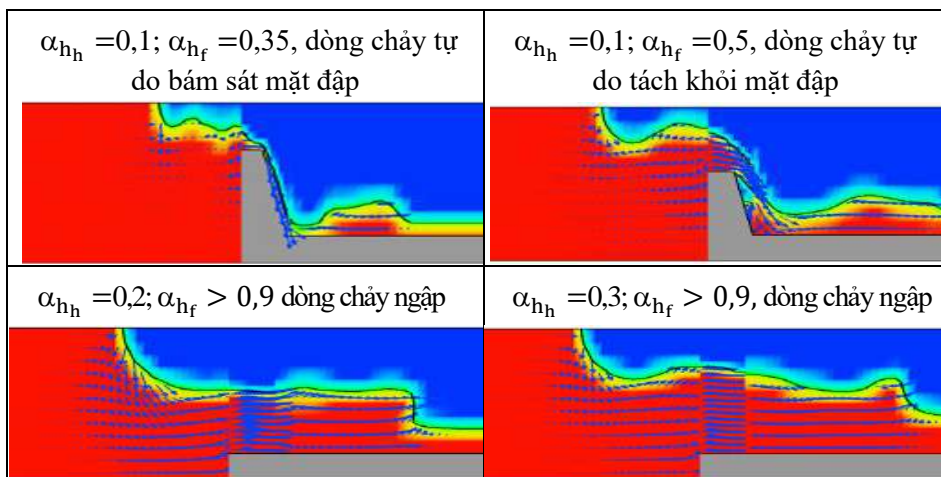
Trường hợp $0,67 < \alpha_{hf} \leq 0,9$

b. Khi hạ lưu có nước

Trường hợp là $\alpha_{hf} < 0,67$, tức đập chỉ vỡ một phần độ cao tức. Khi $\alpha_{hf} < 0,35$, dòng chảy qua vết vỡ là dòng chảy tự do, dòng chảy từ vết vỡ bám sát mặt đập phía hạ lưu đổ xuống lòng dẫn. Khi $0,5 < \alpha_{hf} < 0,67$, dòng chảy qua vết vỡ là dòng chảy tự do, dòng chảy tách khỏi mặt đập hạ lưu đổ xuống lòng dẫn (Bảng 3.5).

- Trường hợp $0,67 < \alpha_{hf} < 0,9$, tức là đập bị vỡ toàn bộ theo chiều cao. mực nước hạ lưu và mức nước thượng lưu có ảnh hưởng qua lại, dòng chảy qua vết vỡ là dòng chảy ngập.

Bảng 3.5. Phân định chế độ chảy qua vết vỡ trường hợp $\alpha_{hh} > 0$



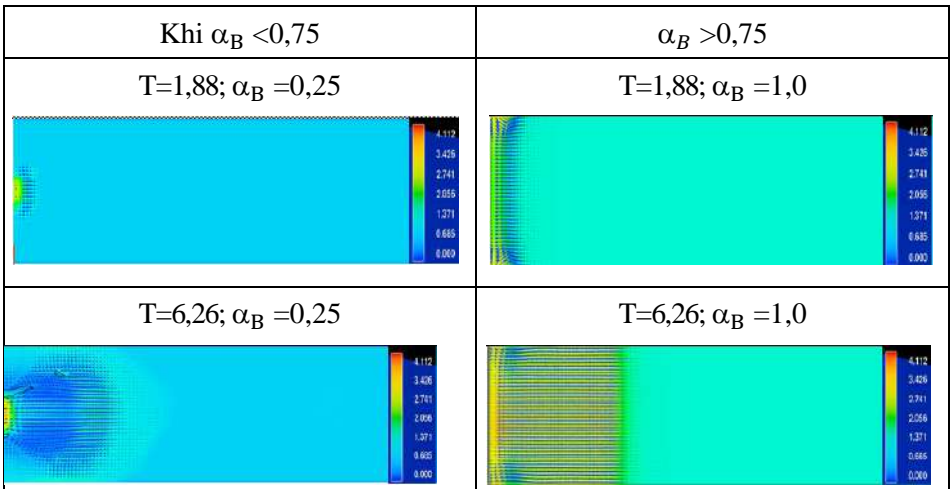
2. Hình dạng sóng tại hạ lưu

Hình dạng sóng gián đoạn tại hạ lưu phụ thuộc nhiều vào bề rộng vết vỡ và kích thước lòng dẫn (tức là phụ thuộc vào α_B).

Khi $\alpha_B < 0,75$, sau khi hình thành hình dạng đầu sóng phát triển theo chiều ngang và chiều dọc. Tại thời điểm ban đầu của sóng gián đoạn có dạng hình bán nguyệt, khi thời gian tăng lên đỉnh sóng gián đoạn di chuyển về trên cùng tọa độ x. Kết quả tính toán và mô phỏng được thể hiện tại Bảng 3.6.

Khi $\alpha_B > 0,75$, sau khi hình thành hình dạng đầu sóng chỉ phát triển theo chiều dọc. Tại thời điểm ban đầu khi dòng chảy qua vết vỡ đổ xuống hạ lưu tạo ra sóng gián đoạn, đỉnh sóng gián đoạn nằm trên cùng một tọa độ x ngay từ thời điểm xuất hiện. Kết quả tính toán và mô phỏng được thể hiện tại Bảng 3.6.

Bảng 3.6. Hình dạng sóng gián đoạn tại hạ lưu

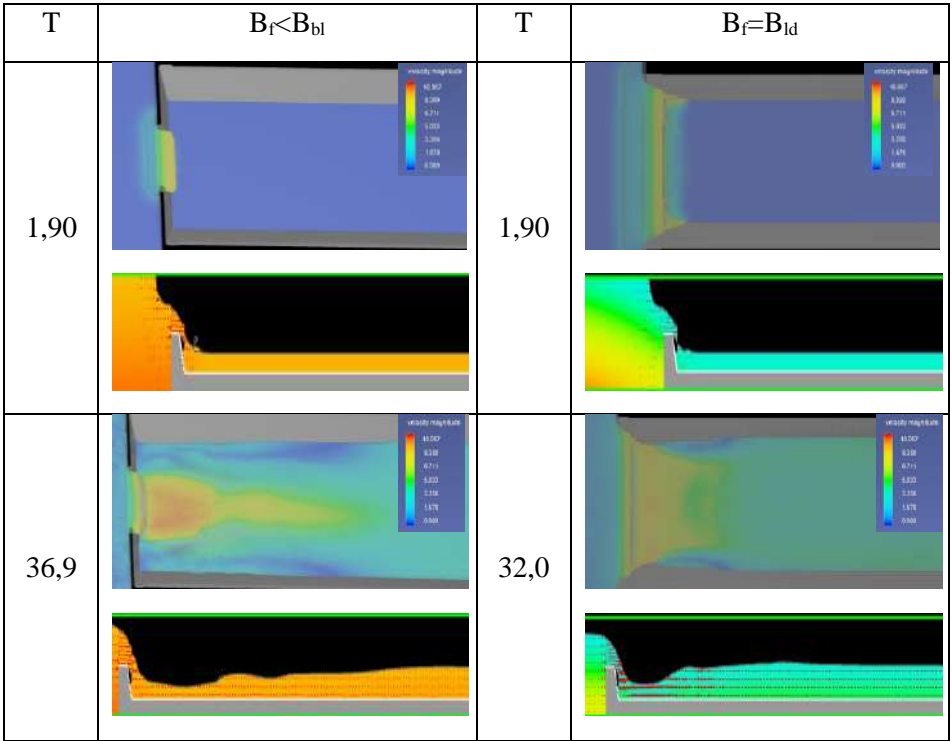


3. Sự lan truyền sóng tại hạ lưu

Khi bề rộng vết vỡ nhỏ hơn bề rộng lòng dẫn hạ lưu ($B_f < B_{ld}$): Thời điểm ban đầu dòng chảy từ khối nước phân tán sang 2 bên, đầu sóng có hình bán nguyệt sau đó đỉnh sóng gần như nằm trên cùng một tọa độ x (thời điểm T=36,9). Kết quả tính toán và mô phỏng được thể hiện tại Hình 3.13.

Khi bề rộng vết vỡ bằng bề rộng lòng dẫn hạ lưu ($B_f = B_{ld}$): Tại thời điểm ban đầu phần dòng chảy từ 2 bên khối nước men theo bờ, chảy nhanh hơn về hạ lưu, đầu sóng dạng hình “trăng khuyết”, khi lượng nước đổ về hạ lưu tăng lên, hình

dạng khối nước do vỡ đập gây ra lớn dần và đỉnh sóng gần như nằm trên cùng một tọa độ x, chảy xuống hạ lưu (T=32), được thể hiện tại Hình 3.13.



Hình 3.13. Quá trình truyền sóng vỡ đập tại hạ lưu

3.5. Thiết lập tương quan, công thức xác định các yếu tố đặc trưng của sóng gián đoạn

Để xây dựng và thiết lập công thức, luận án sử dụng mô hình phân tích hồi quy (Analyze) trong phần mềm phân tích số liệu thực nghiệm SPSS.

Bộ số liệu dùng để xây dựng, thiết lập mối tương quan các yếu tố đặc trưng của sóng gián đoạn gồm 2 bộ số liệu từ mô hình vật lý và mô hình Flow 3D.

1. Bộ số liệu thứ nhất gồm 15 số liệu trên mô hình vật lý, được kế thừa từ bộ số liệu gốc đề tài KC08.22/11-15, được dùng để thiết lập công thức xác định hệ số lưu lượng theo công thức (3.3)

$$Q_P = m_f \cdot B_f \cdot \sqrt{2gh_f^{3/2}} \tag{3.3}$$

+ Khi đại lượng m_f chỉ phụ thuộc vào α_{h_f} tức là biến phụ thuộc là m_f và biến độc lập là α_{h_f} . Khi đó hệ số lưu lượng xác định theo công thức (3.5)

$$m_f = 0,498 - 0,283 \frac{h_f}{H} \quad (3.5)$$

+ Khi đại lượng m_f phụ thuộc vào α_{h_f} và α_B , tức là biến phụ thuộc là m_f và biến độc lập là α_{h_f} và α_B . Khi đó hệ số lưu lượng xác định theo công thức (3.7)

$$m_f = 0,560 - 0,278 \frac{h_f}{H} - 0,199 \frac{B_f}{H} \quad (3.7)$$

2. Bộ số liệu thứ 2 gồm 80 số liệu thu được từ 80 kịch bản tính toán trên mô hình Flow -3D dùng để thiết lập công thức xác định chiều cao lớn nhất sóng gián đoạn tại hạ lưu.

+ Khi dòng chảy qua vết vỡ là dòng chảy tự do $\alpha_{h_f} \leq 0,67$, tức là đập chỉ vỡ một phần chiều cao ($\alpha_{h_f} = 0,35$; $\alpha_{h_f} = 0,50$; $\alpha_{h_f} = 0,60$), hạ lưu có nước; với 42/45 số liệu thu được từ 45 kịch. Khi đó chiều cao sóng gián đoạn xác định theo công thức (3.10) và (3.11).

- Dạng tuyến tính: $h_w = h_h + 0,167H$ (3.10)

- Dạng đa thức : $\frac{h_w}{H} = -0,017 + \frac{h_h}{H} + 0,171 \frac{B_f}{B_{ld}} + 0,200 \frac{h_f}{H}$ (3.11)

Phạm vi áp dụng công thức: $0,1 \leq \alpha_{h_h} \leq 0,3$; $\alpha_{h_f} \leq 0,67$ và $\alpha_B = 0,125 \div 1,00$.

- Khi dòng chảy qua vết vỡ là dòng chảy ngập: $0,67 < \alpha_{h_f} < 0,9$, tức là đập vỡ hoàn toàn theo chiều cao của đập, hạ lưu có nước; với 15/15 số liệu thu được từ 15 kịch bản. Chiều cao sóng gián đoạn xác định theo công thức (3.13) và (3.14).

- Dạng tuyến tính: $h_w = 0,6h_h + 0,393H$ (3.13)

- Dạng đa thức : $\frac{h_w}{H} = 0,318 + 0,6 \frac{h_h}{H} + 0,145 \frac{B_f}{B_{ld}}$ (3.14)

Phạm vi áp dụng công thức: $0,1 \leq \alpha_{h_h} \leq 0,3$; $0,67 \leq \alpha_{h_f} < 0,9$ và $\alpha_B = 0,125 \div 1,0$.

3.6. Kiểm tra sự phù hợp công thức qua sự cố thực tế

Để kiểm tra sự phù hợp công thức, luận án dùng bộ số liệu từ sự cố vỡ đập Gleno, Italia và số liệu từ nghiên cứu của Marco Pilotti và cs [58] để tính thử.

Đập Gleno, Italia được xây dựng và hoàn thành ngày 22/10/1923, đập chính là dạng đập bê tông dạng liên vòm, chiều cao 46,0m, chiều dài đỉnh đập 220m.

Sự cố xảy ra ngày 1/12/1923, sau 40 ngày tích nước. Chiều rộng vết vỡ lớn nhất 80,0m. Sự cố vỡ đập Gleno được Marco Pilotti và cộng sự [58], mô phỏng lại bằng mô hình toán một chiều (1D) kết hợp mô hình hai chiều (2D). Mô hình được hiệu chỉnh bằng cách thay đổi độ nhám để đưa dòng chảy về gần sát với các vết lũ điều tra trên thực tế tại vách đá.

Để bộ số liệu kiểm tra đảm bảo độ chính xác luận án tiến hành tính chuyển từ số liệu thực tế về vị trí tương ứng trong kết quả tính toán của luận án. Về lưu lượng, tính chuyển về vị trí $= 187,5\text{m}$, $Q_P=21\ 310\ (\text{m}^3/\text{s})$. Về chiều cao sóng tính chuyển tính về vị trí cách đập $L=1,731\text{km}$, $h_s=14,51\div 15,45\text{m}$.

Kết quả kiểm tra: (1) công thức lưu lượng thoát qua vết vỡ cho sai số 16,2% với công thức hàm tuyến tính CT (3.5) và 16,0% khi sử dụng hàm đa thức CT (3.7). (2) Công thức xác định chiều cao lớn nhất sóng gián đoạn cho sai số từ 3,5%÷9,1% khi sử dụng hàm tuyến tính (CT 3.13) và sai số 9,3%÷14,6% khi sử dụng hàm đa thức CT (3.14)

3.7. Kết luận chương 3

1. Luận án đã phân tích, thiết lập phương trình thực nghiệm và các đại lượng ảnh hưởng tới lưu lượng thoát qua vết vỡ, các đặc trưng sóng gián đoạn do vỡ đập; đã thiết lập 18 kịch bản trên mô hình vật lý, 80 kịch bản trên mô hình số Flow-3D với các yếu tố kích thước vết vỡ, mực nước hạ lưu thay đổi. Phân tích tương quan theo các đại lượng không thứ nguyên $0,0 \leq \alpha_{hh} \leq 0,3$; $0,125 \leq \alpha_{hf} \leq 0,9$ và $\alpha_B=0,125 \div 1,0$.

2. Đã phát hiện, mô tả và phân tích được các đặc trưng thủy động lực học của sóng gián đoạn tại hồ chứa thượng lưu. Xác định được phạm vi ảnh hưởng của sóng tại thượng lưu theo công thức (3.1).

3. Luận án đã mô tả, phân tích các đặc trưng thủy động lực học của sóng gián đoạn sau vết vỡ (tại lòng dẫn hạ lưu) như chế độ dòng chảy, hình dạng sóng gián đoạn, sự lan truyền sóng trong các trường hợp đập chỉ vỡ 1 phần chiều cao ($\alpha_{hf} \leq 0,67$), đập bị vỡ hoàn toàn theo chiều cao ($\alpha_{hf} > 0,67$), khi hạ lưu có nước $0,1 \leq \alpha_{hh} \leq 0,3$ và khi hạ lưu khô $\alpha_{hh} = 0$.

4. Xây dựng được mối tương quan dưới dạng biểu đồ biểu thị giữa các đại lượng. Thiết lập được công thức xác định hệ số lưu lượng thoát qua vết vỡ (m_f) theo công thức (3.5); (3.7) và công thức thực nghiệm xác định chiều cao ban đầu sóng gián đoạn theo công thức (3.10), (3.11) cho dòng chảy tự do và công thức

(3.13), (3.14) cho dòng chảy ngập. Để tính nhanh các đặc trưng dòng chảy qua vết vỡ sử dụng công thức dạng tuyến tính cho kết quả đảm bảo có độ tin cậy.

5. Kết quả tính toán lưu lượng lớn nhất thoát qua vết vỡ tính theo công thức luận án thiết lập có sai số từ $16\% \div 16,2\%$. Kết quả tính toán chiều cao lớn nhất sóng gián đoạn hạ lưu vết vỡ đập bê tông có sai số đạt $3,5\% \div 9,1\%$ với công thức dạng hàm tuyến tính và đạt $9,3\% \div 14,6\%$ với công thức dạng đa thức. Các giá trị sai số đều nhỏ hơn sai số các công thức đã công bố.

CHƯƠNG 4: ÁP DỤNG TÍNH TOÁN CHO CÔNG TRÌNH THỰC TẾ

Công trình hồ chứa nước sông Chò 1, là dự án cho nghiên cứu sinh là chủ nhiệm hạng mục thí nghiệm mô hình thủy lực, đập chính là đập bê tông trọng lực phù hợp với đối tượng nghiên cứu của luận án. Do đó, luận án lựa chọn công trình hồ chứa nước sông Chò 1, tỉnh Khánh Hòa để tính thử

4.1. Giới thiệu về công trình hồ chứa nước sông Chò 1

Đập được xây dựng tại xã Khánh Bình, huyện Khánh Vĩnh, tỉnh Khánh Hòa, tại tọa độ địa lý tại $12^{\circ}26'34,8''$ vĩ độ Bắc và $108^{\circ}54'38,7''$ kinh độ Đông. Các thông số của đập sông Chò 1 được lấy theo tài liệu [27], từ bảng thông số luận án tính toán, lựa chọn và đưa ra được các thông số làm số liệu đầu vào.

4.2. Các thông số biên đầu vào dùng để tính toán

Để tính toán, luận án giả định các thông số vết vỡ: $\alpha_B=0,1 \div 1,0$; $\alpha_{hf}=0,10 \div 0,90$, cho hồ chứa có mực nước thiết kế $Z_{TL}=+119,49\text{m}$; Chiều cao mực nước trước khi vỡ $H=57,1\text{m}$ và Chiều sâu dòng chảy hạ lưu $h_h=10,49\text{m}$.

4.3. Kết quả tính toán đặc trưng chiều cao sóng khi xảy ra sự cố

Từ các thông số đầu vào của đập sông Chò 1 như Bảng 4.3 và Bảng 4.4, với trường hợp đập vỡ hoàn toàn, hạ lưu có nước khi áp dụng CT (1.1), chiều cao sóng lớn nhất là $25,4\text{m}$; Khi áp dụng công thức CT (1.3), chiều cao sóng lớn nhất là $22,9\text{m}$; Còn khi áp dụng công thức (1.4) chiều cao sóng lớn nhất là $28,0\text{m}$.

Khi sử dụng công thức do luận án đề xuất trong Trường hợp chảy tự do, đập vỡ một phần chiều cao đập: chiều cao sóng lớn nhất là $h_w=20,23\text{m}$ (CT 3.10- công thức hàm tuyến tính) và $h_w=12,50\text{m} \div 21,75\text{m}$ (CT 3.11 theo công thức hàm đa thức).

Trường hợp chảy ngập, đập vỡ toàn bộ chiều cao đập: Chiều cao sóng lớn nhất là $h_w=28,73\text{m}$ (CT3.13 - công thức hàm tuyến tính) và giá trị $h_w=25,28\text{m} \div 32,73\text{m}$ (CT 3.14 - theo công thức hàm đa thức).

Như vậy, khi sử dụng hàm tuyến tính kết quả giá trị chiều cao sóng lớn nhất khi xảy ra sự cố đập sông Chò 1, tính theo công thức của các tác giả khác và theo công thức do luận án thiết lập có sự tương đồng.

4.4. Kết luận chương 4

Áp dụng các công thức thiết lập trong luận án (3.10), (3.11) và công thức (3.13), (3.14) tính toán giả định sự cố vỡ đập cho công trình Sông Chò 1, tỉnh Khánh Hòa, cho thấy chiều cao sóng lớn nhất có thể xuất hiện đạt tới 32,73m khi đập vỡ hoàn toàn và là 12,50m ÷ 21,75m khi vỡ đập một phần chiều cao.

Kết quả tính toán chiều cao sóng lớn nhất theo hàm tuyến tính công thức do luận án đề xuất có độ tin cậy và tương đồng khi sử dụng các công thức tính của các tác giả Huber và M.P. Pyanzin.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

I. KẾT LUẬN

1. Các kết quả đã đạt được của luận án

+ Luận án đã tổng quan nghiên cứu các sự cố vỡ đập lớn xảy ra trên thế giới và ở Việt Nam. Phân tích, tổng hợp các nguyên nhân gây ra vỡ đập nói chung và đập bê tông nói riêng. Xác định được phương pháp nghiên cứu các đặc dòng chảy khi vỡ đập bê tông: bằng lý thuyết, bằng thực nghiệm, bán thực nghiệm hay mô hình số - CFD. Các nghiên cứu với bài toán thiết lập cho dạng vết vỡ mặt cắt hình chữ nhật, vỡ toàn bộ đập...

+Luận án sử dụng kết hợp giữa mô hình thực nghiệm và mô hình số (Flow-3D). Mô hình thực nghiệm được xây dựng đảm bảo các điều kiện tương tự (nguyên mẫu mô hình đập Sơn La, tỷ lệ $\lambda_l=125$). Vết vỡ được mô phỏng bằng Hệ thống thiết bị mô phỏng vết vỡ cho phép mô phỏng gần đúng thực tế hiện tượng vỡ đập, tạo ra sóng gián đoạn tại hồ chứa thượng lưu, lòng dẫn hạ lưu. Mô hình Flow-3D sử dụng mô hình RNG k- ϵ , được hiệu chỉnh, kiểm định bằng bộ số liệu thực nghiệm trên mô hình vật lý 3D, đảm bảo độ chính xác và tin cậy (với sai số <6%). Luận án đã thiết lập 18 kịch bản trên mô hình vật lý và 80 kịch bản trên mô hình số Flow-3D với phạm vi nghiên cứu là $0,0 \leq \alpha_{h_n} \leq 0,3$; $0,125 \leq \alpha_{h_f} \leq 0,9$ và $\alpha_B=0,125 \div 1,0$.

+ Luận án đã phát hiện, mô tả và phân tích được các đặc trưng thủy động lực học của sóng gián đoạn tại hồ chứa thượng lưu; sóng được hình thành và mở rộng dần theo phương dọc và phương vuông góc dòng chảy, ngược chiều dòng chảy; quá trình hình thành và lan truyền sóng nghịch âm và nghịch dương tại hồ chứa.

+ Luận án đã mô tả, phân tích các đặc trưng thủy động lực học của sóng gián đoạn sau vết vỡ như chế độ dòng chảy, hình dạng sóng gián đoạn, sự lan truyền sóng trong các trường hợp đập chỉ vỡ 1 phần chiều cao ($\alpha_{hf} \leq 0,67$), đập bị vỡ hoàn toàn theo chiều cao ($\alpha_{hf} > 0,67$), khi hạ lưu có nước và không có nước.

+ Luận án đã thiết lập được công thức xác định hệ số lưu lượng thoát qua vết vỡ (m_f) theo (3.5); (3.7); công thức xác định chiều cao lớn nhất sóng gián đoạn cho dòng chảy qua vết vỡ là dòng chảy tự do theo công thức (3.10), (3.11) và cho dòng chảy qua vết vỡ là dòng chảy ngập theo công thức (3.13), (3.14). Để tính nhanh các đặc trưng dòng chảy qua vết vỡ có thể sử dụng công thức dạng tuyến tính cho kết quả đảm bảo có độ tin cậy.

+ Kiểm tra sự phù hợp của các công thức do luận án thiết với số liệu thực tế sự cố vỡ đập Gleno-Italia: Với công thức xác định lưu lượng lớn nhất thoát qua vết vỡ sai số từ 16% ÷ 16,2%; kết quả tính toán chiều cao lớn nhất sóng gián đoạn hạ lưu vết vỡ sai số đạt 3,5% ÷ 9,1% với công thức dạng hàm tuyến tính và đạt 9,3% ÷ 14,6% với công thức dạng đa thức.

+ Sử dụng các công thức do luận án thiết lập, tính giả định sự cố vỡ đập cho công trình Sông Chè 1, tỉnh Khánh Hòa theo công thức do luận án thiết lập và công thức của các tác giả khác, kết quả tính toán theo công thức do luận án đề xuất tương đồng với kết quả tính toán theo công thức của các tác giả Huber và M.P. Pyanzin. Khi tính theo công thức của luận án, cao chiều cao sóng lớn nhất có thể xuất hiện đạt tới 32,73m khi đập vỡ hoàn toàn và 12,50m ÷ 21,75m khi vỡ đập một phần chiều cao.

2. Các đóng góp mới của luận án

(1) Luận án đã phát hiện, mô tả được đặc tính của sóng nghịch dương phía thượng lưu vết vỡ.

(2) Luận án đã thiết lập được công thức xác định các đặc trưng sóng gián đoạn tại hạ lưu khi vỡ đập bê tông: hệ số lưu lượng (m_f) theo công thức (3.5), (3.7); Chiều cao lớn nhất của sóng gián đoạn khi chảy tự do theo công thức (3.10)

, (3.11) và chảy ngập qua vết vỡ đập bê tông theo công thức (3.13), (3.14).

(3) Đề xuất phương pháp mô phỏng vỡ đập bê tông bằng “Hệ thống thiết bị mô phỏng quá trình vỡ đập bê tông”.

II. TỒN TẠI VÀ HẠN CHẾ

Nghiên cứu được thực hiện trên mô hình lòng cứng, chưa xét đến sự biến đổi lòng dẫn khi có dòng chảy do vỡ đập;

Trên mô hình vật lý việc thu thập đo đạc hình ảnh và các thông số đặc trưng của sóng gián đoạn thu được còn hạn chế. Mô hình Flow- 3D cần rất nhiều tài nguyên máy móc và hạn chế trong chạy trong thời gian dài.

Các thông số vết vỡ với một số lượng nhất định nên việc xây dựng các biểu đồ tương quan còn mang tính định tính. Để xây dựng các biểu đồ tương quan có tính định lượng cần phát triển và nghiên cứu sâu hơn.

III. KIẾN NGHỊ

Kết quả của luận án có thể dùng tham khảo trong nghiên cứu và thực tiễn:

1. Khi xảy ra sự cố vỡ đập bê tông sẽ xuất hiện sóng gián đoạn tại hồ chứa thượng lưu và lòng dẫn hạ lưu; sóng gián đoạn có sức tàn phá lớn do đó cần chuẩn bị các kế hoạch chi tiết, cụ thể để giảm thiểu thiệt hại về người và tài sản.

2. Sơ bộ có thể xác định: lưu lượng thoát qua vết vỡ theo công thức (3.3), hệ số tháo m_f theo công thức (3.5); (3.7) và chiều cao sóng gián đoạn theo công thức (3.10), (3.11) cho dòng chảy tự do, công thức (3.13), (3.14) cho dòng chảy ngập.

3. Có thể tham khảo sử dụng kết quả tính toán từ các công thức (3.5); (3.7) và (3.10), (3.11), công thức (3.13), (3.14) để làm đầu vào cho các nghiên cứu có điều kiện tương tự.

IV. HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

1. Tiếp tục hoàn thiện các công thức thực nghiệm tính m_f theo công thức (3.5); (3.7) và tính h_w theo công thức (3.10), (3.11), công thức (3.13), (3.14) với các hình thái lòng dẫn và bề rộng lòng dẫn khác nhau.

2. Tiếp tục hoàn thiện hệ thống mô phỏng vỡ đập bê tông từ bán tự động thành tự động để áp dụng vào các nghiên cứu tiếp.

3. Tiếp tục phát triển nghiên cứu với thông số vết vỡ rộng và chi tiết hơn nữa để xây dựng các biểu đồ tương quan xác định được mối quan hệ định lượng.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. **Huu Bui Van, Nghi Le Van**, Several features of dam break wave dynamics at the reservoir upstream in case of a concrete dam breaks, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, Tiếng Anh*, ISBN:1859-4255, số 3 (tháng 10/2023), Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam;
2. **Huu Bui Van, Nghi Le Van**, Method of simulation of dam model, *Journal of Water Resources science and technology, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, Tiếng Anh*, ISBN:1859-4255, số 3 (tháng 10/2023), Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
3. **Lê Văn Nghị, Bùi Văn Hữu**, Một số đặc trưng dòng chảy hạ lưu sau vết vỡ đập bê tông, *Tuyển tập Hội thảo cơ học thủy khí toàn quốc 2017*, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Thành Phố Hồ Chí Minh.
4. **Lê Văn Nghị, Bùi Văn Hữu và cs**, Bằng độc quyền Giải pháp hữu ích số 2043: Thiết bị mô phỏng quá trình vỡ đập bê tông, *Cục sở hữu trí tuệ*, QĐ số 35545/QĐ-SHTT ngày 09/05/2019.
5. **Lê Văn Nghị, Bùi Văn Hữu, Hoàng Nam Bình**, Mô hình vật lý vỡ đập, *Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật*, ISBN: 978-604-67-1188-9, 2019.