

SỬ DỤNG MÔ HÌNH TOÁN VÀ MÔ HÌNH VẬT LÝ XÁC ĐỊNH HÌNH THỨC VÀ QUY MÔ HỢP LÝ CHO GIẢI PHÁP TIÊU NẮNG PHÒNG XÓI HẠ LƯU CHO CÔNG TRÌNH CỐNG THỦ BỘ

Vũ Hoàng Thái Dương¹
Phạm Văn Song²

Tóm tắt: Nghiên cứu này trình bày cách xác định quy mô, kích thước hợp lý của bề tiêu nắng công trình cống Thủ Bộ bằng mô hình toán (Flow 3D) kết hợp mô hình vật lý. Các kết quả thí nghiệm trên mô hình vật lý cho thấy sự phù hợp với kết quả mô hình toán. Công cụ mô hình toán cũng được sử dụng để mô phỏng dòng chảy qua cống trong những kịch bản khác nhau (không thể mô phỏng trên mô hình vật lý) để xác định được hình thức, quy mô tiêu nắng và phòng xói sau cống Thủ Bộ thuộc dự án thủy lợi chống ngập TPHCM.

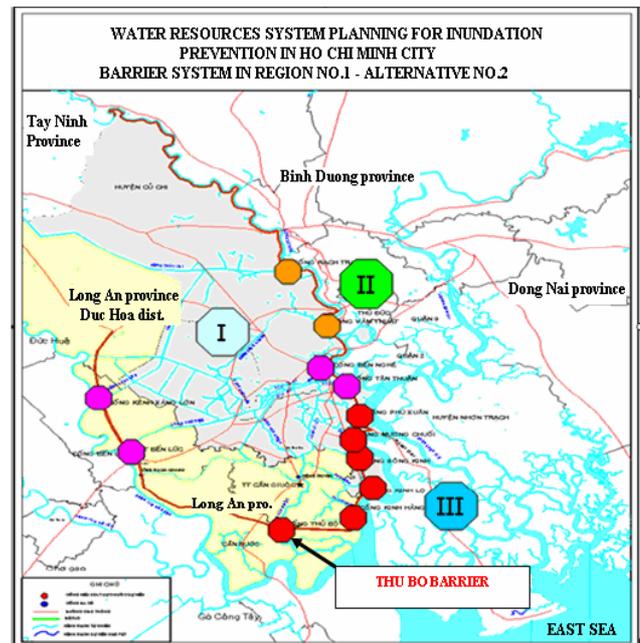
Các từ khóa: Bề tiêu nắng, mô hình vật lý, mô hình toán (Flow 3D).

1. Mở đầu

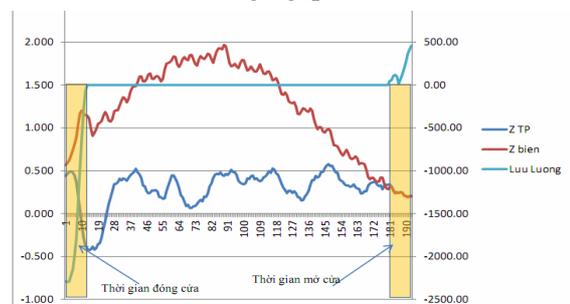
Công trình cống Thủ Bộ là 01 trong 12 công trình lớn thuộc hệ thống công trình thủy phục vụ chống ngập úng khu vực Thành phố Hồ Chí Minh (xem hình 1). Cùng với các công trình khác trong hệ thống cống Thủ Bộ có nhiệm vụ kiểm soát triều và lũ, chủ động điều tiết mực nước trên kênh rạch, tăng khả năng tiêu thoát cho hệ thống tiêu thoát nước đô thị, đảm bảo mực tiêu không cho ngập do triều và cải thiện điều kiện môi trường cho vùng I. Đảm bảo giao thông thủy qua cống và qua âu thuyền trong thời gian không ngăn triều, qua âu thuyền trong thời gian ngăn triều và kết hợp làm cầu giao thông bộ qua cống.

Cống Thủ Bộ bao gồm 04 khoang và 1 âu thuyền, mỗi khoang cống rộng 40m. Cao trình ngưỡng cống -6.5m, cửa van kiểu kéo thẳng đứng (lift gate) được vận hành đóng và mở bằng xi lanh thủy lực. Yêu cầu thiết kế cửa van phải được vận hành đóng trong thời gian 20 phút để cắt đỉnh triều trong các tháng triều cường.

Thiết kế tiêu nắng phòng xói hiện nay đối với các cống vùng triều ĐBSCL thường được căn cứ vào kết quả thí nghiệm trong phòng thí



Hình 1. Bản đồ bố trí hệ thống thủy lợi chống ngập TPHCM



Hình 2: Quá trình mực nước trước sau cửa van, tháng 10 cống Thủ Bộ (kết quả từ mô hình hệ thống 1D) [2]

¹ Viện Thủy lợi và Môi trường - Trường ĐHTL

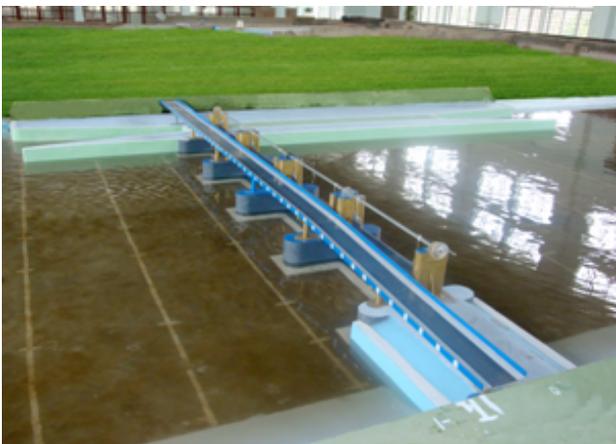
² Viện hoa học Thủy lợi Miền Nam

nghiệm bằng mô hình vật lý để xác định được hình thức, quy mô tiêu năng và phạm vi gia cố sau tiêu năng. Trong nhiều năm nay, các kết quả thí nghiệm trên mô hình vật lý đã hỗ trợ tích cực các nhà tư vấn trong việc thiết kế công trình. Các công trình đã được xây dựng trong những năm gần đây cũng đã chứng tỏ độ tin cậy của các kết quả thí nghiệm mô hình. Tuy nhiên, các thí nghiệm thủy lực hiện nay mới chỉ cho phép khảo sát công trình ứng với điều kiện thủy lực ổn định. Thường các kịch bản làm việc của công trình được đơn giản hóa bằng các tổ hợp mực nước thí nghiệm. Vì vậy thí nghiệm mô hình vật lý hiện nay chưa mô phỏng được quá trình đóng cửa cống trong thời gian thiết kế quy định (ví dụ 20 phút phải đóng xong cửa cống). Công cụ mô hình toán cho phép khảo sát dòng chảy qua công trình với điều kiện không ổn định, vì vậy có thể dùng mô hình toán để mô phỏng quá trình đóng cửa cống để khảo sát sự thay đổi dòng chảy hạ lưu công trình theo không gian và thời gian.

2. Sử dụng mô hình vật lý và mô hình toán để khảo sát chế độ dòng chảy sau cống Thủ Bộ

2.1 Mô hình vật lý

2.1.1 Giới thiệu về mô hình vật lý cống Thủ Bộ



Hình 3. Mô hình tổng thể (3D) cống Thủ Bộ [1]

Mô hình thủy lực của cống Thủ Bộ được xây dựng tại phòng thí nghiệm thủy lực của Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam bao gồm 02 mô hình: mô hình 2D (mô hình mặt cắt đặt trong máng kính) và mô hình 3D (mô hình tổng thể). Các thí nghiệm được tiến hành trên mô hình lòng cứng để xác định khả năng tháo, phân bố lưu tốc, trạng thái dòng chảy, chế độ thủy lực và

đường mặt nước dọc theo tuyến công trình.

Mô hình 2D (mô hình mặt cắt) được xây dựng với tỷ lệ $\lambda=1/20$, và mô hình tổng thể (3D) với tỷ lệ $\lambda=1/45$ [1].

2.1.2 Những nội dung khảo sát

Trên mô hình mặt cắt (2D): Thí nghiệm khảo sát chế độ thủy lực (i) khi cửa van đóng ở các mức độ khác nhau (đóng 50%, 75%, 90% tương ứng thời gian đóng cống là 10 phút, 15 phút và 18 phút); (ii) khi cửa van mở ở các mức độ tăng dần (mở 10%, 25%, 50% tương ứng thời gian mở là 2 phút, 5 phút và 10 phút) và (iii) khi cửa mở hoàn toàn (Q_{max} , Z_{max} , Z_{tpmin}) để xác định bất lợi về thủy lực. Số liệu về mực nước được khai thác từ kết quả của mô hình 1 chiều (hình 2).

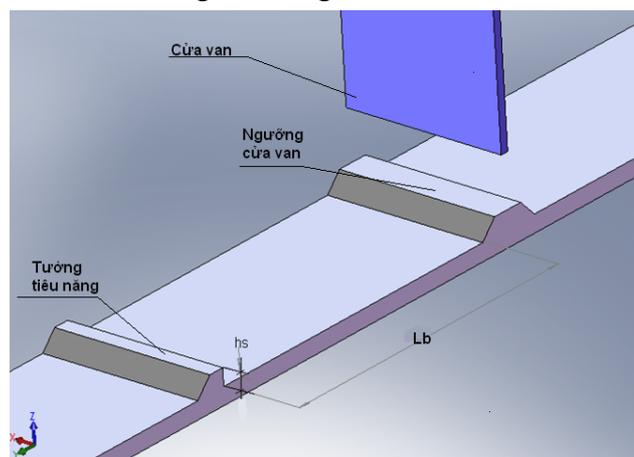
Trên mô hình tổng thể (3D): Dựa trên các kết quả thí nghiệm mô hình mặt cắt, thí nghiệm khảo sát trên mô hình tổng thể để xác định phương án chọn đối với các kết cấu tiêu năng phòng xói hạ lưu công trình.

2.2 Mô hình toán

2.2.1 Giới thiệu về mô hình

Mô hình toán được sử dụng là mô hình ba chiều Flow3D của Mỹ, cung cấp người sử dụng một cái nhìn sâu sắc về các diễn biến của dòng chảy với độ chính xác cao. Với các tính năng đặc biệt về khả năng dự báo một cách chính xác dòng chảy, Flow3D là một phần mềm lý tưởng để sử dụng trong các giai đoạn thiết kế và trong việc cải thiện quy trình sản xuất.

2.2.2 Những nội dung khảo sát



Hình 4. Mô hình mặt cắt 2D bể tiêu năng

Mô phỏng dòng chảy qua cống được thực hiện bằng công cụ mô hình FLOW-3D dạng 2D

và 3D với những kịch bản giống như mô hình vật lý. Trên mô hình dạng 2D cống được cắt ra 01 dải với bề rộng $B=10\text{m}$ với tổng chiều dài $L=200\text{m}$, tương tự như đã tiến hành trên mô hình vật lý (xem hình 4).

Việc lựa chọn chiều cao tường tiêu năng hợp lý về mặt thủy lực đã được tiến hành bằng cách so sánh kết quả mô phỏng dòng chảy với các phương án chiều cao tường tiêu năng h_s lần lượt là 0m , $0,5\text{m}$, $0,8\text{m}$, $1,0\text{m}$, $1,2\text{m}$. Các khảo sát được thực hiện với các trường hợp xảy ra trong quá trình đóng cửa cống tới 50% , 75% , và 90% (xem hình 8).

Việc lựa chọn chiều dài bể tiêu năng hợp lý về mặt thủy lực cũng được tiến hành bằng cách so sánh kết quả mô phỏng dòng chảy với các phương án chiều dài L_b lần lượt là $L_b= 14\text{m}$, 16m , 18m , 20m và tường tiêu năng $h_s= 1\text{m}$ (là kích thước tường đã được lựa chọn từ bước trước đó, xem hình 9).

Các mố nhám tiêu năng được thử nghiệm có dạng chữ V (đề xuất mới của PGS.TS. Trịnh Công Vần, chủ nhiệm thiết kế cống Thủ Bộ) với

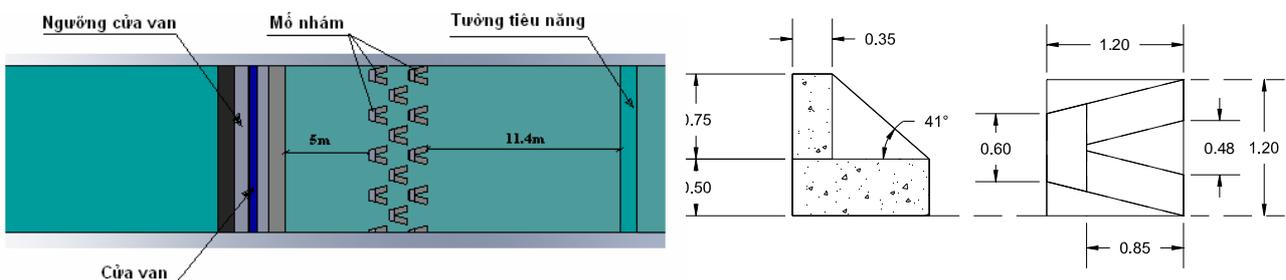
mong muốn kết cấu có hiệu quả tiêu năng cao và giảm khối lượng vật liệu xây dựng. Các mố nhám có hình chữ V được đặt vào lòng bể, và được xếp thành 3 hàng liên kế so le nhau; hàng mố nhám đầu cách chân ngưỡng cửa van 5m (xem hình 5). Hiệu quả tiêu năng của mố nhám được khảo sát với các lựa chọn khác nhau: (i) chỉ có tường tiêu năng không có mố nhám; (ii) có mố nhám nhưng không tường và trường hợp (iii) có cả tường tiêu năng và mố nhám.

2.3 Kết quả và thảo luận

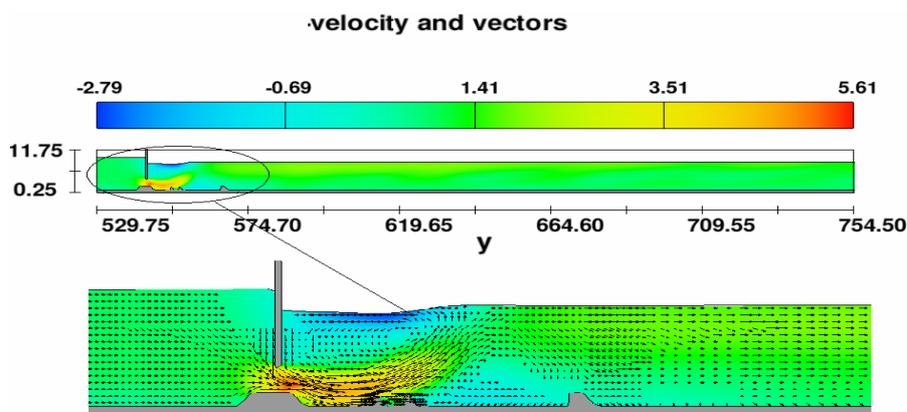
Phân bố vận tốc dòng chảy sau cống đo được trên mô hình vật lý và tính toán bằng mô hình toán cho sai khác không nhiều, vào khoảng từ $5.5\sim 11.2\%$ (xem hình 7 và bảng 1). Các kết cấu tiêu năng được lựa chọn sau cùng để thiết kế gồm:

- Tường tiêu năng hợp lý có chiều cao $1,00\text{m}$ đặt tại vị trí cách cửa van 20m .

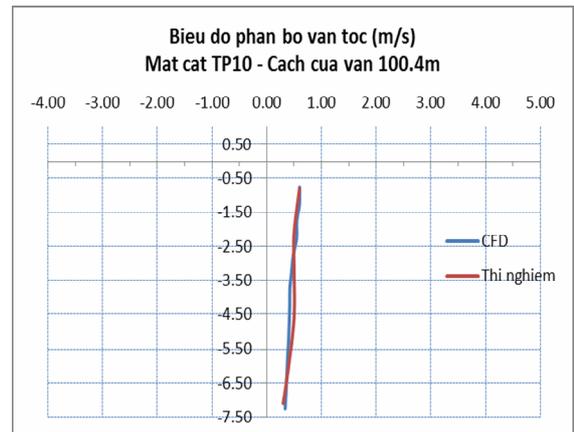
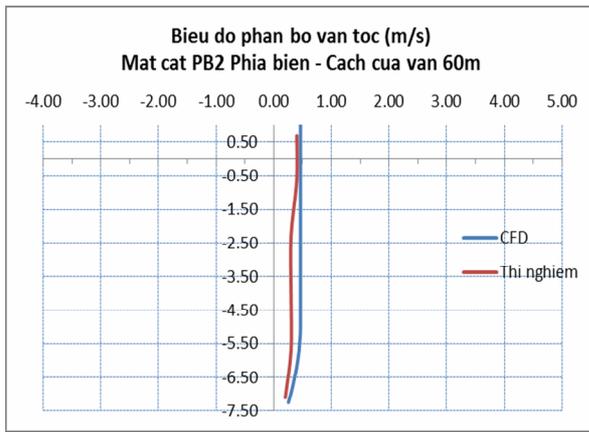
- Mố nhám chữ V có chiều cao $0,75\text{m}$, phân chân để mố nhám cao $0,5\text{m}$ đặt dưới lòng bể, 03 hàng mố nhám được đặt liên kế, so le; hàng thứ nhất cách ngưỡng cửa van cống $5,0\text{m}$.



Hình 5. Bố trí mố nhám tiêu năng, và kích thước mố nhám



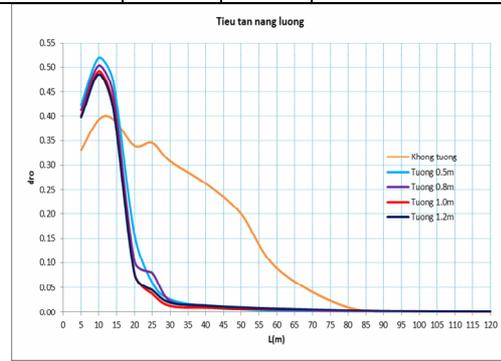
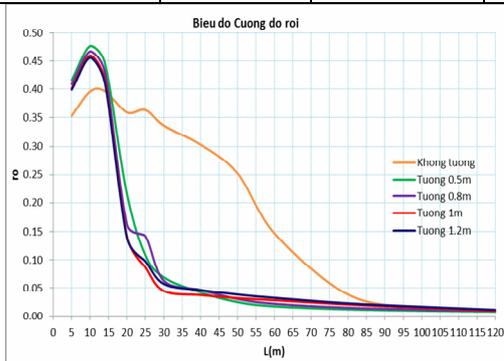
Hình 6. Trường vận tốc dòng chảy qua cống trên mô hình 2D - Trường hợp đóng cống 75% mực nước tháng 10.



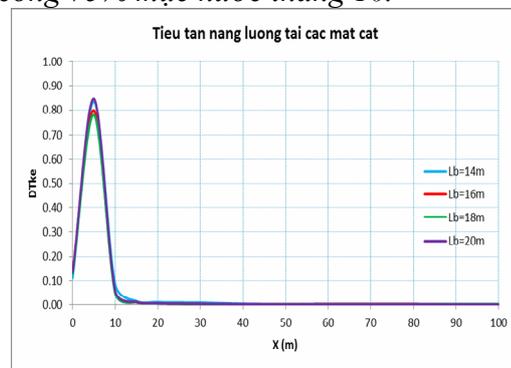
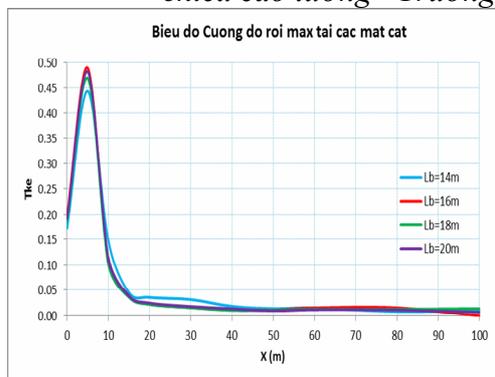
Hình 7. So sánh kết quả khảo sát trường vận tốc tại một số mặt cắt giữa mô hình vật lý và mô hình toán - Trường hợp đóng cống 75% mực nước tháng 10.

Bảng 1. So sánh kết quả khảo sát trường vận tốc tại một số mặt cắt giữa mô hình vật lý và mô hình toán.

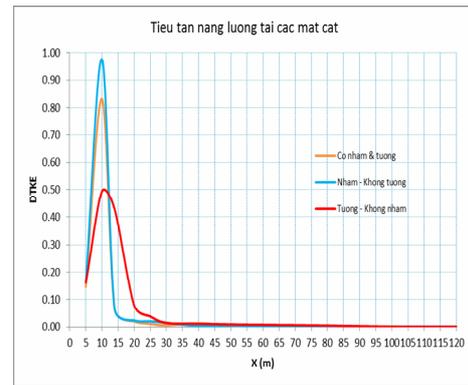
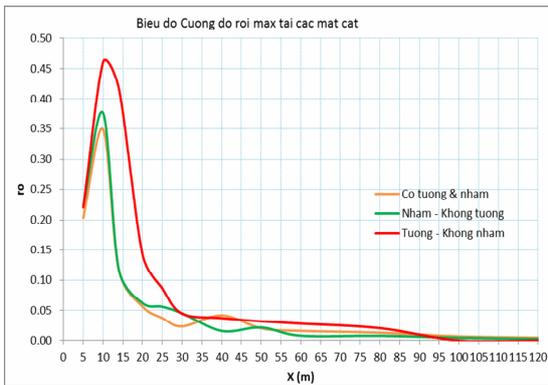
S T T	Tai mặt cắt PB2 phía thượng lưu cách cửa van 60m				Tai mặt cắt PTP10 phía hạ lưu cách cửa van 100m			
	Tại cao trình (m)	$V_{Flow\ 3D}$ (m/s)	V_{MHVL} (m/s)	chênh lệch (%)	Tại cao trình (m)	$V_{Flow\ 3D}$ (m/s)	V_{MHVL} (m/s)	chênh lệch (%)
1	-7.00	0.28	0.26	7.14%	-7.1	0.34	0.30	11.76%
2	-5.70	0.36	0.34	5.56%	-6.0	0.38	0.40	5.26%
3	-4.00	0.36	0.34	5.56%	-4.6	0.45	0.50	11.11%
4	-2.30	0.47	0.43	8.51%	-3.2	0.45	0.50	11.11%
5	-0.60	0.47	0.43	8.51%	-2.1	0.55	0.50	9.09%
6	0.70	0.47	0.43	8.51%	-0.8	0.6	0.60	0.00%



Hình 8. Kết quả mô phỏng về cường độ rói và tiêu tán năng lượng ứng với các trường hợp thay đổi chiều cao tường - Trường hợp đóng cống 75% mực nước tháng 10.



Hình 9. Kết quả mô phỏng về cường độ rói và tiêu tán năng lượng ứng với các trường hợp thay đổi chiều dài bệ - Trường hợp đóng cống 75% mực nước tháng 10.

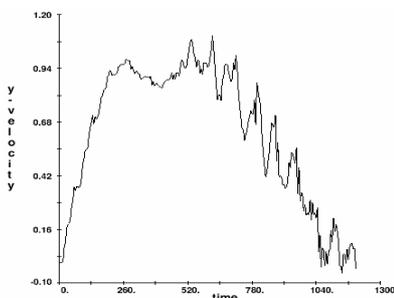


Hình 10. Kết quả mô phỏng về cường độ rối (ro) và hệ số tiêu tán năng lượng (dro) khi so sánh khả năng tiêu tán năng lượng của mỏ nhám

3. Sử dụng mô hình toán để lựa chọn chiều dài đoạn gia cố sau tiêu năng.

Như đã trình bày tại phần mở đầu, mô hình vật lý chỉ có thể mô phỏng công trình với điều kiện ổn định về thủy lực. Mô hình toán sau khi đã được kiểm nghiệm với mô hình vật lý trong những bài toán ổn định, được sử dụng để khảo sát sự thay đổi dòng chảy trong quá trình 20 phút đóng cửa công. Trong trường hợp này mô hình toán được sử dụng mô phỏng công trình 3 chiều (tổng thể). Kết quả mô hình cho phép xác định các yếu tố thủy lực theo không gian (tại điểm khảo sát bất kỳ hạ lưu công trình) và theo thời gian (biến đổi trong thời gian đóng cửa công).

Kết quả khảo sát cho thấy, nếu gia cố sau tiêu năng với chiều dài 100m, dòng chảy cơ bản đã trở lại bình thường. Vận tốc dòng chảy sát đáy tại điểm khảo sát tăng dần từ lúc đóng cửa công tới giá trị lớn nhất khi cửa đóng được 50% nhưng sau đó giảm nhanh xuống bằng không khi cửa công đóng hoàn toàn. Vận tốc này tác động vào vật liệu đáy lòng dẫn và gây xói sau đoạn gia cố.



Hình 11. Kết quả mô phỏng vận tốc thay đổi khi cửa vận hành đóng trong 20 phút tại 01 điểm cách tường tiêu năng 100m tại cao trình -7.0.

Ứng với mỗi chiều dài gia cố sau tiêu năng, chiều sâu hố xói dự kiến xảy ra được tính toán theo đề nghị của Trịnh Công Vần [3]. Trong trường hợp công Thủ Bộ, với khẩu diện lớn mức độ rối sau tiêu năng khá nhỏ, vì vậy công thức đề nghị trong [3] được điều chỉnh với sự suy giảm độ rối sau tiêu năng được xác định bằng mô hình toán 3D như sau:

$$h_m = \left(1 + 0.285 \left(\frac{L_{gc}}{h_h} \right)^{-0.83} \right) \frac{u_o h_h}{u_{kx}} - h_h \quad (1)$$

h_m : Chiều sâu hố xói dự kiến.

L_{gc} : Chiều dài đoạn gia cố sau bể tiêu năng

h_h : Chiều sâu nước phía hạ lưu

u_o : Lưu tốc trung bình dòng chảy sau sân tiêu năng tại điểm nghiên cứu

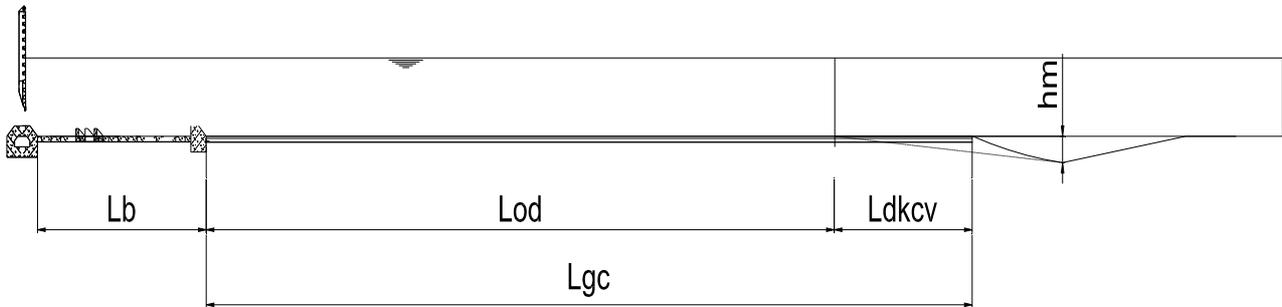
u_{kx} : Vận tốc khởi động xói của vật liệu lòng dẫn, lấy bằng 1.57 m/s (đất sét pha cát màu vàng, xám xanh, nâu đỏ, dẻo cứng, $C=0.203 \text{ kg/cm}^2$ [5] ứng với chiều sâu ngập nước 7.98m; tính toán theo Trịnh Công Vần [3] và TS.E. Mirskhulava [4].

Bảng 2. Kết quả dự tính chiều sâu hố xói ứng với mỗi phương án gia cố sau tiêu năng

STT	L_{gc} (m)	u_o	h_m (m)
1	40	2,40	4,95
2	60	2,33	4,35
3	80	2,30	4,05
4	100	2,26	3,79

Chiều dài yêu cầu của đoạn gia cố cần đảm bảo rằng nếu đoạn cuối của gia cố bị hạ xuống theo chiều sâu hố xói thì đoạn còn lại (ổn định/ L_{od}) đủ chiều dài đảm bảo an toàn cho công trình chính và được trình bày bởi công thức sau và minh họa tại hình 12.

$$L_{od} = L_{gc} - L_{dkcv} \quad (2)$$



Hình 12. Chiều dài ổn định của công trình

Trong đó:

L_{od} : Chiều dài ổn định công trình (m)

L_{gc} : Chiều dài gia cố sau tiêu năng (m)

L_{dkcv} : Chiều dài dự kiến chuyển vị (m);

$L_{dkcv} = mh_m$ ($m=10$)

h_m : Chiều sâu hố xói dự kiến.

Bảng 3. Các phương án chiều dài gia cố và dự tính đoạn gia cố ổn định sau tiêu năng.

STT	L_{gc} (m)	u_0	h_m (m)	L_{dkcv} (m)	L_{od}
1	40	2,40	4,95	49,5	-9,5
2	60	2,33	4,35	43,5	16,5
3	80	2,30	4,05	40,5	39,5
4	100	2,26	3,79	37,9	62,1

Càng kéo dài gia cố hạ lưu, công trình càng an toàn, tuy nhiên chi phí xây dựng cũng sẽ cao. Với kết quả tính toán trên, chúng tôi đã chọn chiều dài gia cố sau tiêu năng 100m với quan điểm rằng đoạn ổn định của phần gia cố có chiều dài trên 50m là đảm bảo an toàn.

4. Kết luận

- Việc xác định các kích thước hợp lý của bể tiêu năng cũng như phạm vi gia cố sau tiêu năng được thực hiện trên cơ sở phân tích kết quả mô phỏng dòng chảy qua cống Thủ Bộ bằng mô hình toán và mô hình vật lý.

- Các kết quả khảo sát bằng mô hình vật lý và mô hình toán với các yếu tố thủy lực ổn định cho thấy sự sai khác giữa 02 mô hình là không

nhiều, có thể dùng mô hình toán khảo sát nhiều kịch bản sau đó chọn một số kịch bản tương đối bất lợi với tiêu năng phòng xói để thực hiện trên mô hình vật lý nhằm giảm chi phí và thời gian thực hiện mô hình.

Mô hình toán Flow-3D có thể sử dụng để khảo sát dòng chảy trong điều kiện không ổn định mô phỏng quá trình đóng hoặc mở cửa cống với thời gian quy định của thiết kế, từ đó có thể xác định được những đặc trưng thủy lực theo thời gian và không gian làm cơ sở cho việc tính toán, thiết kế hình thức và quy mô phù hợp của các kết cấu tiêu năng và phòng xói sau công trình Thủ Bộ. Mô hình này cũng có thể ứng dụng phục vụ thiết kế thủy lực cho các cống vùng triều khu vực ĐBSCL.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Báo cáo kết quả thí nghiệm mô hình vật lý - Báo cáo giai đoạn - Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, tháng 10 năm 2011.
2. Báo cáo thủy văn công trình cống Thủ Bộ - Viện Thủy lợi và Môi trường, tháng 10 năm 2011.
3. Hồ xói sau công trình thủy lợi tại ĐBSCL - Luận án tiến sỹ, Trịnh Công Vấn, năm 2003.
4. Scouring by flowing water of cohesive and non-cohesive beds, T.S.E.Mirtskhoulava, Hydraulic Journal, 1991.
5. Báo cáo Địa chất công trình cống Thủ bộ - Viện Thủy lợi và Môi trường, tháng 10 năm 2011.

Abstract

DISSIPATOR DESIGN IN DOWNSTREAM OF THU BO BARRIER BY NUMERICAL AND PHYSICAL MODELS

The paper presents the measures of identification the reasonable scale and size of Thu Bo barrier's stilling basin based on numerical and physical models. The physical model results show the appropriate with numerical model results. The numerical model is also used to simulate the flow in variable scenarios (impossible to simulate the whole process in physical model) to identify the sizes of stilling basin and reasonable reinforced length and depth of scour holes of Thu Bo barrier.

Key words: *Stilling basin, physical model, numerical model (Flow 3D).*

Người phản biện: **GS.TS. Nguyễn Chiến**