

XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH MÔ PHÒNG DÒNG CHẢY MẶT THOÁNG HAI CHIỀU TỔNG QUÁT PHẦN II: CÁC KẾT QUẢ TÍNH TOÁN KIỂM NGHIỆM VÀ SO SÁNH

ThS. Nguyễn Tất Thắng

Viện Cơ học

Chương trình tính toán được xây dựng trên cơ sở mô hình số đã được nêu trong bài báo trình bày Phần I của nghiên cứu này. Ngôn ngữ lập trình Compaq Fortran đã được sử dụng để cài đặt chương trình. Chương trình tính toán và mô hình số được kiểm nghiệm qua ba bài toán sau đây: I. Bài toán cơ sở về tính toán dòng chảy mặt thoáng trong kênh hở, các kết quả tính toán được so sánh với các kết quả tính toán của chương trình thủy lực một chiều DUFLOW (chương trình thương mại của Hà Lan); II. Bài toán vỡ đập trong kênh có hạ lưu bất đối xứng (bài toán kiểm nghiệm của CADAM), các kết quả tính toán được so sánh với kết quả thí nghiệm vật lý; III. Bài toán tính toán dòng chảy trong sông có địa hình phức tạp, có công trình, các kết quả tính toán được so sánh với các kết quả tính toán của chương trình thủy lực hai chiều TELEMAC-2D (chương trình thương mại của Pháp sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn trên lưới tam giác tính toán các dòng chảy hai chiều, ba chiều tổng quát). Các kết quả so sánh cho thấy sự phù hợp tốt giữa các kết quả tính toán sử dụng chương trình được phát triển trong nghiên cứu này với các số liệu thí nghiệm vật lý cũng như với các kết quả tính toán của các chương trình thương mại DUFLOW và TELEMAC-2D. Chương trình có triển vọng phát triển thành một chương trình tính toán chuyên dụng.

1. Giới thiệu

Việc phát triển, xây dựng các chương trình tính toán mô phỏng dòng chảy mặt thoáng từ lâu đã được thế giới quan tâm phát triển. Các chương trình này có nhiều ứng dụng quan trọng trong việc nghiên cứu các dòng chảy sông, biển hay các dòng chảy lũ lụt nhằm phục vụ cuộc sống con người và phát triển kinh tế, xã hội. Ban đầu phương pháp số được phát triển và ứng dụng rộng rãi là phương pháp sai phân trên lưới vuông. Nhiều phần mềm tính toán sử dụng phương pháp này đã cho kết quả tốt. Tuy nhiên, phương pháp sai phân gặp sai số lớn trong các bài toán dòng chảy có gián đoạn. Bên cạnh đó lưới vuông có nhược điểm là không thể hiện tốt miền tính toán có hình dạng phức tạp. Phương pháp phần tử hữu hạn sử dụng lưới không cấu trúc khắc phục được nhược điểm này. Tuy nhiên phương pháp phần tử hữu hạn cũng gặp phải các vấn đề khi tính toán dòng chảy có các bước nhảy hoặc có gián đoạn. Cùng với sự phát triển của máy tính và sự phát triển của các ngành toán học, cơ học..., các chương trình tính toán trên máy tính ngày càng được hoàn thiện và cải tiến. Gần đây phương pháp thể tích hữu hạn sử dụng lưới không cấu trúc phát

triển mạnh và có triển vọng giải quyết được các vấn đề còn tồn tại. Phương pháp này kết hợp với một số kỹ thuật tính toán khác được áp dụng trong nghiên cứu này và đã được trình bày trong bài báo giới thiệu Phần 1: mô hình số (Tạp chí KTTV số 7/2010).

Ở Việt Nam các nghiên cứu, tự phát triển các chương trình tính toán cũng đã được quan tâm phát triển. Do các chương trình tính toán được các nước xây dựng đều là các chương trình có bản quyền, trong điều kiện hội nhập hiện nay chúng ta cần mua bản quyền sử dụng các phần mềm nếu muốn sử dụng chúng một cách rộng rãi. Một số phần mềm thương mại có chi phí bản quyền rất cao, không phù hợp với điều kiện thực tế của Việt Nam. Ngoài ra, các chương trình đều là chương trình đóng gói, người sử dụng không thể can thiệp vào mã nguồn chương trình nên khả năng làm chủ chương trình bị hạn chế. Từ thực tế đó, các nhóm nghiên cứu ở Việt Nam đã tìm hiểu và xây dựng các phần mềm tính toán của riêng mình. Nghiên cứu này đã được khởi nguồn từ khá lâu bắt đầu từ quá trình tiếp cận các mô hình số đang được thế giới quan tâm phát triển, đến việc xây dựng chương trình tính toán mô phỏng,

và tính toán kiểm nghiệm mô hình, áp dụng mô hình trong nghiên cứu và trong các bài toán thực tế.

Trong Phần II này, chương trình đã được xây dựng sẽ được sử dụng để tính toán, mô phỏng dòng chảy trong một số điều kiện khác nhau. Ba bài toán đã được đưa vào tính toán so sánh: I. Bài toán dòng chảy không dừng trong kênh chữ nhật (có thể xấp xỉ bằng bài toán một chiều); II. Bài toán dòng chảy lũ lụt do vỡ đập; III. Bài toán dòng chảy không dừng trong miền địa hình phức tạp có các công trình. Các kết quả tính toán được so sánh với các kết quả tính toán của các chương trình thương mại khác và số liệu thí nghiệm đo đạc. Các kết quả so sánh cho thấy mô hình đã được phát triển đã tính toán tốt ba bài toán này. Bên cạnh các tính toán kiểm nghiệm ở đây, chương trình cũng đã được áp dụng cho tính toán mô phỏng quá trình lan truyền triều vùng vịnh Bắc Bộ, Việt Nam với kết quả rất khả quan. Các kết quả tính toán so sánh với số liệu đo đạc thực tế mực nước triều tại các cửa sông cho thấy sự phù hợp tốt [1].

Bài báo gồm bốn phần. Phần I trình bày giới thiệu chung. Phần II trình bày sơ đồ khối của chương trình đã được xây dựng trong nghiên cứu này. Bên cạnh đó phần này còn trình bày sơ lược về các chương trình thương mại DUFLOW và TELEMAT, và về thí nghiệm CADAM. Phần III trình bày các bài toán được sử dụng để tính toán so sánh và các kết quả so sánh. Phần IV gồm một số nhận xét và kết luận. Cuối cùng là danh sách Tài liệu tham khảo.

2. Các chương trình tính toán

a. Chương trình tính toán được phát triển trong nghiên cứu này

Để thuận tiện trong so sánh kết quả tính toán

trong phần III của bài báo này, chương trình được phát triển trong nghiên cứu này sẽ được gọi tắt là chương trình GOD.

Chương trình GOD được viết bằng ngôn ngữ Compaq Fortran trên cơ sở các hệ phương trình sai phân và kỹ thuật phân rã đã được nêu trong bài báo trình bày Phần I của nghiên cứu này. Chương trình tính toán sử dụng lưới không cấu trúc với các phần tử của lưới là các đa giác lõm với số cạnh tùy ý (thông thường là tam giác). Lưới tính toán không cấu trúc có tính mềm dẻo cao với ưu điểm là các dạng miền tính phức tạp có thể được mô tả rất chi tiết. Tuy nhiên việc chia lưới thông thường phức tạp hơn so với việc chia lưới có cấu trúc và thường cần sử dụng các phần mềm chia lưới chuyên dụng để tạo lưới.

Điều kiện biên và điều kiện ban đầu

Các điều kiện biên áp dụng được phân chia tương ứng theo biên cứng hay biên mềm. Với biên cứng điều kiện biên dạng phản xạ được sử dụng [2]. Với các biên mềm một dạng điều kiện biên trong đó các công thức thực nghiệm được sử dụng. Với biên mềm là biên tràn tự do công thức thực nghiệm cho dòng chảy tràn được sử dụng để xác định vận tốc tại biên [3, 4]. Với biên mềm là các biên mở (open boundary) các bất biến Riemann được sử dụng trong việc thiết lập điều kiện biên [5].

Một cách chi tiết, các công thức cho các điều kiện bên đã được sử dụng như sau:

- Biên tràn tự do: công thức thực nghiệm có dạng $q = (2/3)^{3/2} h \sqrt{gh}$ (ở đây q là lưu lượng đơn vị theo chiều rộng theo phương pháp tuyến qua giao diện giữa các phần tử) [3, 4]

- Biên mở: với các biên mở, dạng cụ thể của các công thức được trình bày dưới đây [5]

Biên vào với giả thiết dòng chảy êm	Biên ra với giả thiết dòng chảy êm
$h_R = h_B$	$h_R = h_B$
$u_R = u_L + \sqrt{g}(\sqrt{h_L} - \sqrt{h_R})$	$u_R = u_L + \sqrt{g}(\sqrt{h_L} - \sqrt{h_R})$
$v_R = 0$	$v_R = v_L$
Biên vào với giả thiết dòng chảy xiết	Biên ra với giả thiết dòng chảy xiết
$h_R = h_B$	$h_R = h_L$
$u_R = u_B$	$u_R = u_L$
$v_R = 0$	$v_R = v_L$

Ký hiệu B chỉ các giá trị cho trước. Giá trị địa phương tại mọi thời điểm của số Froude tại vị trí biên được sử dụng để quyết định loại điều kiện biên sẽ được sử dụng tại đó.

Các thủ tục tính toán chính

Khởi tính toán khi bắt đầu chương trình (Block Start): khối này gọi các thủ tục chính sau

- Subroutine Read_grid: đọc file số liệu lưới tính toán

- Subroutine Read_topo: đọc file số liệu địa hình

- Subroutine Read_bound: đọc các file điều kiện biên

- Subroutine Initialize01: khởi tạo điều kiện đầu, khởi tạo các biến

- Subroutine Initialize02: thực hiện các xử lý cần thiết bắt đầu chương trình tính (tính toán độ dài các cạnh phần tử, diện tích các phần tử, các thành phần vectơ pháp tuyến đơn vị trên mỗi cạnh...).

Các thủ tục chính trong vòng lặp:

- Thủ tục tính toán giá trị các biến tại các biên (Subroutine Bound_calculation): tính toán giá trị của

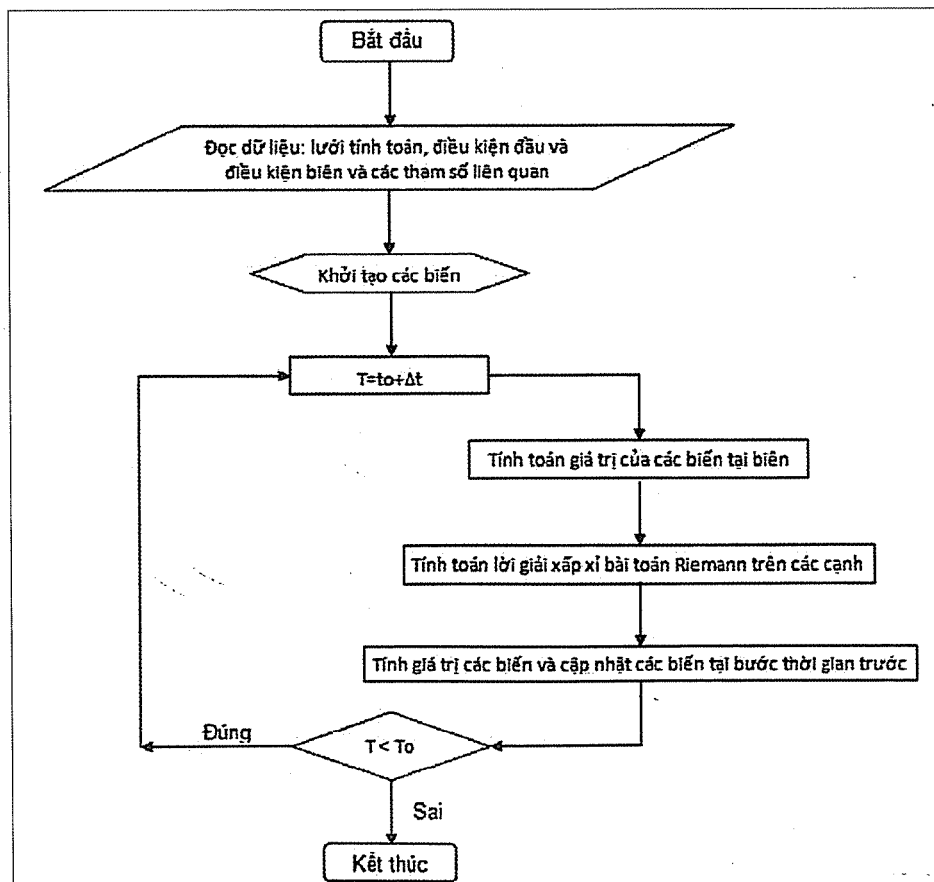
các biến tại các biên theo điều kiện biên vào và biên ra thông qua các số liệu và dạng điều kiện biên đã cho (tính toán số Froude tại các biên mở).

- Thủ tục tính toán lời giải xấp xỉ của bài toán Riemann (Subroutine Appr_Riemann): giải số hệ phương trình nước nông hai chiều tổng quát dạng tích phân có xét đến các gián đoạn bằng phương pháp thể tích hữu hạn và phương pháp Godunov với xấp xỉ Roe cho hàm dòng trên cạnh theo cơ sở lý thuyết đã trình bày ở Phần I.

- Thủ tục cập nhật giá trị mới tính cho các biến (Subroutine Update): cập nhật và trao đổi giá trị các biến, các giá trị đã tính toán được ở bước thời gian trước được thay thế bằng các giá trị mới tính.

Ngoài ra chương trình còn có các thủ tục và các hàm khác thực hiện các chức năng cụ thể hỗ trợ tính toán, hiển thị kết quả đồ họa và quản lý chương trình.

Sơ đồ khối của chương trình tính toán được trình bày trong hình sau:



Hình 1. Sơ đồ khối của chương trình tính toán

b. Chương trình DUFLOW

Chương trình DUFLOW đã được phát triển từ lâu và được cải tiến rất nhiều qua các phiên bản nâng cấp bởi các nhà khoa học Hà Lan, những người có rất nhiều kinh nghiệm trong việc tính toán dòng chảy trong hệ thống kênh tưới tiêu, thoát nước dày đặc ở đất nước Hà Lan nơi có nền nông nghiệp phát triển cao. Tên chương trình được viết tắt của các từ tiếng Anh là Dutch Flow [6].

DUFLOW được xây dựng để mô phỏng dòng chảy không dừng một chiều tổng quát trong các hệ thống kênh hở. Chương trình được thiết kế chuyên biệt cho các hệ thống mạng kênh trong đó có xử lý cụ thể nhiều dạng công trình khác nhau như kè, đập, trạm bơm v.v. Cao trình mặt nước và tốc độ dòng chảy được tính toán bằng việc giải số hệ phương trình Saint Venant một chiều gồm các phương trình liên tục và phương trình bảo toàn động lượng. Phương pháp giải số hệ phương trình sử dụng sơ đồ Preissmann. Ngoài ra, chương trình còn có các modul có khả năng tính toán chất lượng nước và tính toán nước ngầm. DUFLOW có giao diện Windows rất thuận tiện trong việc mô hình hóa hệ thống mạng kênh, các công trình, nhập các số liệu đầu vào, theo dõi quá trình tính toán và hiển thị các số liệu đầu ra. Mô hình hệ thống mạng kênh được xây dựng hoàn toàn trên cơ sở là các đối tượng đã được xây dựng trước. Tùy theo bài toán của mình, người sử dụng sẽ lựa chọn các đối tượng phù hợp, cung cấp các thông số cần thiết, kết nối chúng lại thành mạng lưới tính toán cho bài toán của mình. Giao diện của chương trình đã được cải tiến rất nhiều qua các phiên bản nâng cấp và trở nên rất tiện dụng. Tuy là chương trình thương mại, DUFLOW được phổ biến rộng rãi với mức chi phí không đáng kể [7, 8].

DUFLOW đã được sử dụng nhiều trong các nghiên cứu, dự án liên quan đến nguồn nước tại Châu Âu và tại nhiều nước khác trên thế giới. Chương trình này từ lâu cũng đã được sử dụng như là một trong số các công cụ chuẩn tính toán dòng chảy và chất lượng nước trong các nghiên cứu tại Viện Cơ học, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

c. Chương trình TELEMAT-2D

TELEMAT-2D là một phần trong hệ chương trình chia lưới và tính toán dòng chảy mặt thoáng, chất lượng nước, sóng mòn lòng dẫn, vận chuyển bùn cát ba chiều tổng quát TELEMAT được phát triển và bảo trợ bởi Công ty Điện lực Pháp EDF [9].

TELEMAT-2D là chương trình tính toán dòng chảy nước nông hai chiều tổng quát theo phương ngang. Chương trình có các tùy chọn tính toán sử dụng các phương pháp Phần tử hữu hạn (FEM), Thể tích hữu hạn (FVM) hay Xấp xỉ Boussinesq. Phương pháp tính sử dụng lưới tính toán dạng phần tử hữu hạn là rất hiệu quả và phù hợp nhất cho các mô phỏng dòng chảy trong các miền tính toán lớn (sông, biển, các cửa sông có liên quan đến tính toán triều...). Dạng phương trình nước nông tổng quát sử dụng trong phương trình cho phép các mô phỏng có tốc độ đặc biệt nhanh nhờ việc giải các phương trình dạng sóng cho mực nước ở bước thời gian trước và bước tiếp theo là tính toán vận tốc. Tùy chọn tính toán theo dạng thể tích hữu hạn có khả năng bắt sóng gián đoạn tốt và phù hợp hơn cho tính toán lũ trong các miền lớn với các miền khô, ướt tồn tại song song, hay trong các trường hợp có các bước nhảy thủy lực, các sóng triều trong bài toán cần mô phỏng. Mô hình sử dụng hệ phương trình dạng Boussinesq có các số hạng lan truyền sóng có khả năng mô phỏng các sóng ngắn hơn các sóng nước nông và do vậy động học sóng phi tuyến đã được xét đến đầy đủ trong TELEMAT-2D [10, 11].

Chương trình TELEMAT-2D là một bộ chương trình thương mại lớn có chi phí cao, tuy nhiên do khả năng tính toán rất mạnh của nó, nhiều cơ sở nghiên cứu lớn trên thế giới đã sử dụng chương trình này. Tại Viện Cơ học, dưới sự tài trợ của phía Pháp, phần mềm này đã được chuyển giao sử dụng có thời hạn trong một số tính toán nghiên cứu.

d. Thí nghiệm CADAM

Dự án CADAM được thực hiện trong vòng hai năm từ 1998 đến 2000 dưới sự tài trợ của Cộng đồng chung Châu Âu. Trong khuôn khổ chương trình này, các thí nghiệm vật lý mô phỏng lũ do vỡ đập được thực hiện bởi các nhóm làm thí

nghiệm tại một số cơ sở nghiên cứu của Châu Âu. Các số liệu dòng chảy, quá trình ngập lụt, vận tải bùn cát, đất đá đã được đo đạc. Các nhóm nghiên cứu khác sẽ xây dựng các chương trình mô phỏng trên máy tính trên cơ sở các mô hình toán học và thực hiện các mô phỏng cho các thí nghiệm đã được các nhóm làm thí nghiệm thực hiện. Sau đó số liệu tính toán và số liệu thí nghiệm được so sánh với nhau. Các số liệu thí nghiệm cũng được công bố rộng rãi thông qua các hội nghị tới cộng đồng khoa học quốc tế. Các thí nghiệm vật lý và mô phỏng số giúp nâng cao nhận thức và hiểu biết về quản trị rủi ro và thiên tai [12, 13].

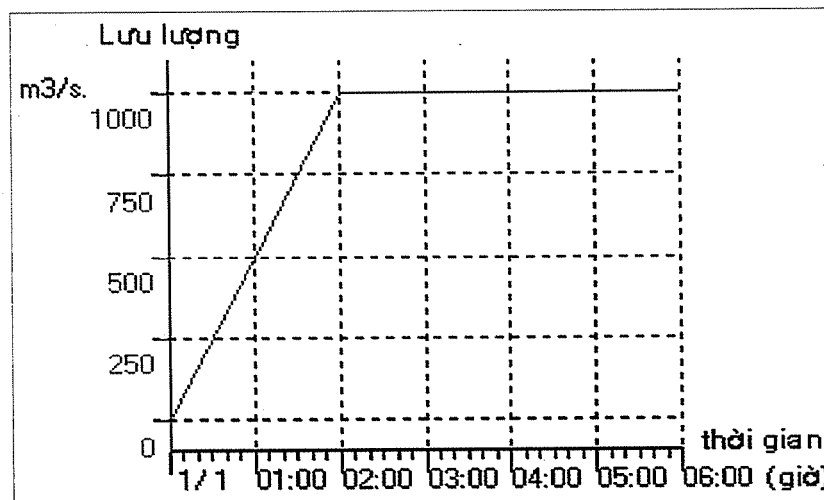
3. Kết quả tính toán so sánh

a. Bài toán dòng chảy trong kênh hở

Bài toán tính toán mô phỏng dòng chảy không dừng trong kênh hở là một bài toán cơ sở được áp dụng đầu tiên để so sánh kết quả tính toán của chương trình GOD với kết quả tính toán bởi phần mềm DUFLOW (gọi tắt là mô hình DUF trong bài báo này). Bài toán được mô tả như sau: miền tính toán là một đoạn kênh hình chữ nhật có kích thước các chiều rộng và dài tương ứng là 400m và 4500m, đáy phẳng, thành đứng. Điều kiện ban đầu là nước tĩnh, vận tốc đồng nhất bằng 0, độ sâu cột nước là 5m tại mọi điểm trong kênh. Các điều kiện biên vào và ra được cho như sau:

- Biên ra cho mực nước cố định bằng hằng số 5 m

- Biên vào cho biểu đồ lưu lượng như hình 2.



Hình 2. Biểu đồ lưu lượng biên vào

Biên cứng									
6	22	17	14	21	24	13	23	5	3
18	41	31	30	48	39	45	44	50	7
16	38	27	28	43	29	32	40	37	11
1	49	36	35	47	34	46	33	42	25
8	4	9	15	10	12	19	20	26	2
Biên cứng									
Biên ra									

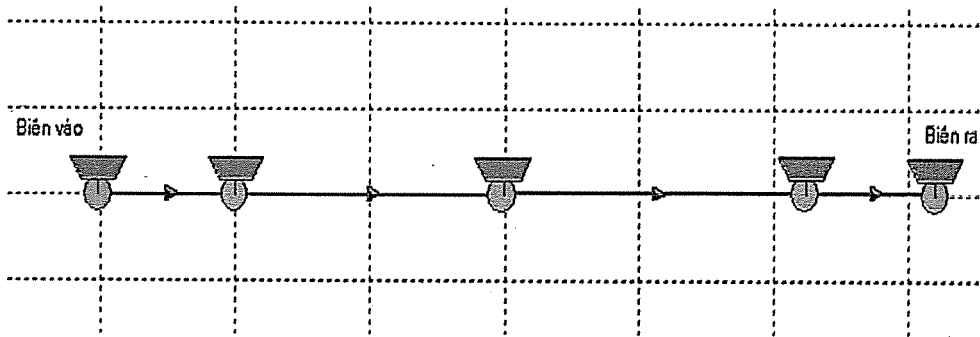
Hình 3. Lưới tính toán không cấu trúc của mô hình GOD

Điều kiện tại biên cứng: điều kiện biên trượt được áp dụng (các thành phần vận tốc tại biên cứng được cho bằng 0).

Mô hình DUFLOW một chiều được sử dụng ở đây vì về mặt thực tế vật lý bài toán hoàn toàn có thể xem là bài toán một chiều. Hơn thế nữa mô hình DUFLOW là một mô hình tốt tính toán dòng chảy một chiều đã được kiểm chứng rộng rãi.

Mô hình GOD sử dụng lưới tính toán không cấu trúc như hình 3.

Lưới tính toán không cấu trúc gồm 72 phần tử tam giác và 50 nút lưới. Các kết quả tính toán mực nước và vận tốc sẽ được so sánh tại 3 nút lưới gồm các nút số 38, 43 và 37. Trên cơ sở đó mạng tính toán một chiều của mô hình DUF được xây dựng gồm 5 nút tính toán gồm 4 đoạn sông liên kết với nhau (Hình 4). Cụ thể là: 5 nút tính toán này tương ứng với vị trí của 5 nút 16, 38, 43, 37 và 11 trên lưới không cấu trúc (Hình 3); 4 đoạn sông 1 chiều tương ứng với 4 cạnh 16-38, 38-43, 43-37, 37-11 của lưới không cấu trúc (Hình 3).



Hình 4. Mạng tính toán một chiều của mô hình DUFLOW

6	22	17	14	21	24	13	23	5	3
18	41	31	30	48	39	45	44	50	7
16	38	27	28	43	29	32	40	37	11
1	49	36	35	47	34	46	33	42	25
8	4	9	15	10	12	19	20	26	2

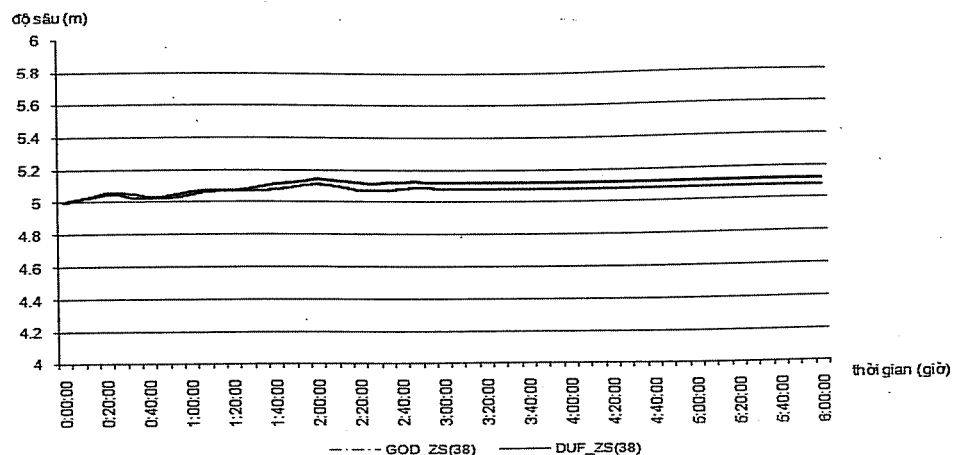
● Các vị trí so sánh kết quả tính toán của 3 mô hình

Hình 5. Vị trí các nút dùng để so sánh kết quả tính toán độ sâu cột nước và vận tốc tính toán bởi hai mô hình

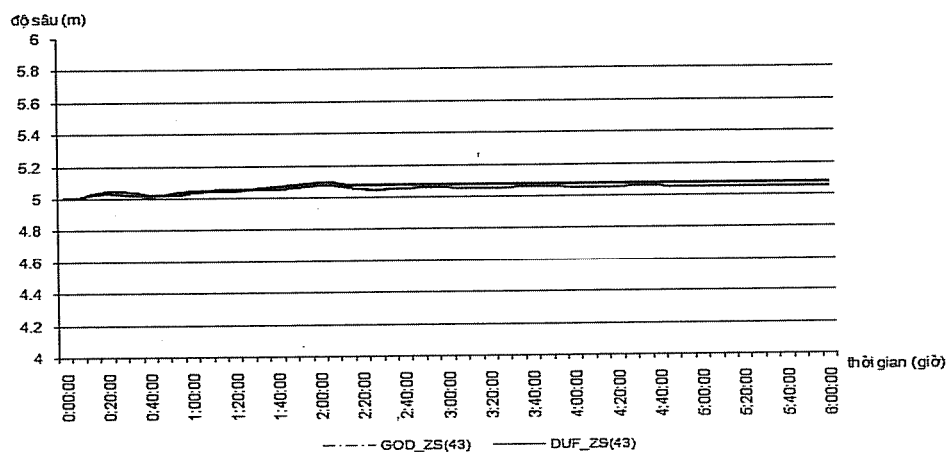
Tại mỗi nút tính toán của mạng tính toán một chiều DUFLOW một mặt cắt hình chữ nhật có chiều rộng bằng đúng chiều rộng kênh (400m) được sử dụng, chiều cao thành kênh được khai báo tùy ý (10m). Các điều kiện biên, điều kiện ban đầu của hai mô hình được cho như nhau. Thời gian mô phỏng là 6 giờ (bắt đầu từ 00:00:00 đến 06:00:00), bước thời gian tính toán là 1s.

Kết quả tính toán độ sâu cột nước và vận tốc bởi hai mô hình được so sánh tại 3 nút 38, 43 và 37 như hình vẽ dưới đây.

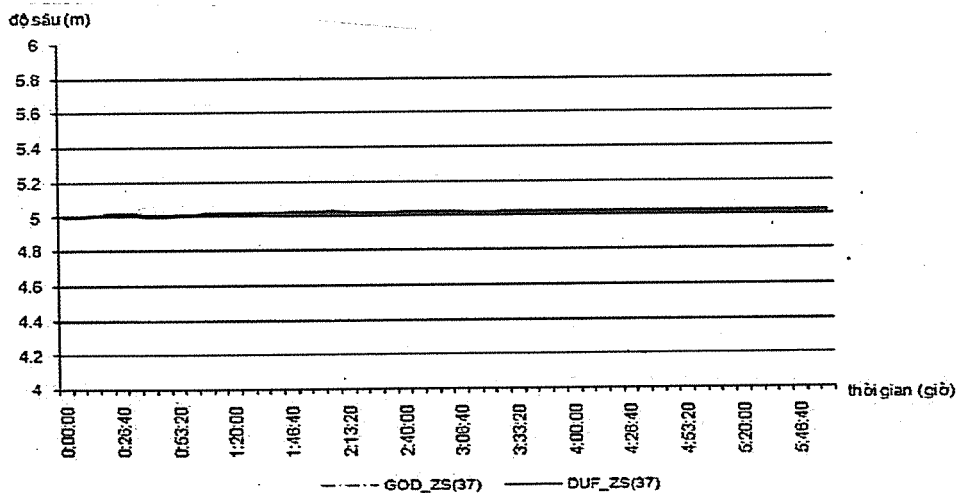
Các hình từ hình 6 đến hình 11 biểu diễn độ sâu cột nước và vận tốc tại từng điểm trong thời gian 6h. Có thể thấy sau khoảng 3h thì các kết quả tính toán đạt đến giá trị dừng.



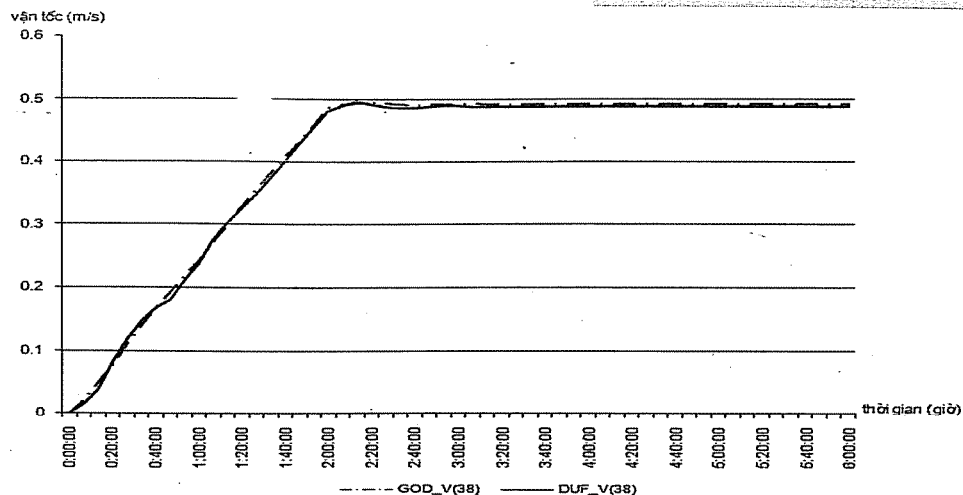
Hình 6. Kết quả tính toán so sánh độ sâu cột nước tại nút 38



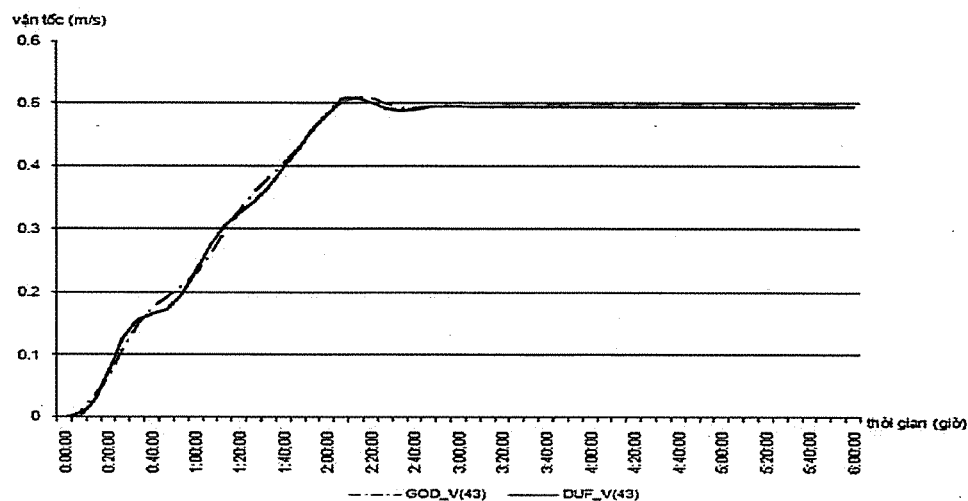
Hình 7. Kết quả tính toán so sánh độ sâu cột nước tại nút 43



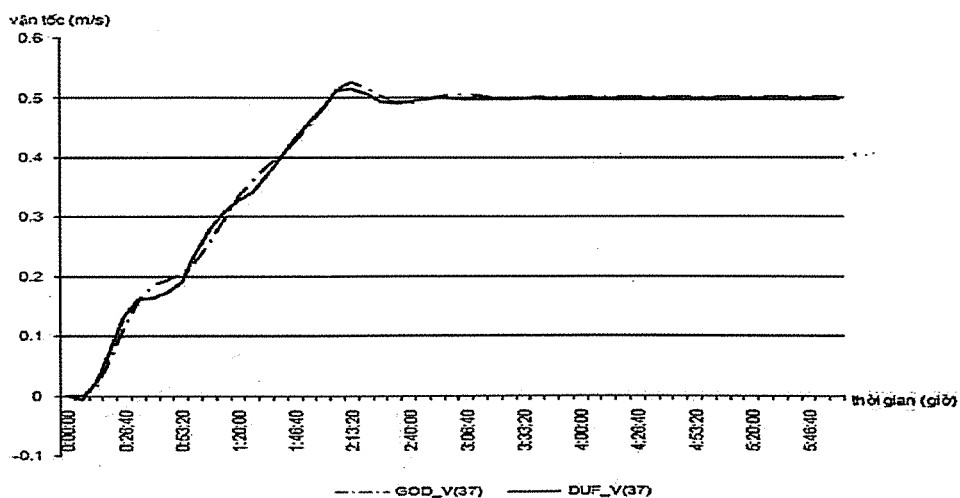
Hình 8. Kết quả tính toán so sánh độ sâu cột nước tại nút 37



Hình 9. Kết quả tính toán so sánh vận tốc tại nút 38



Hình 10. Kết quả tính toán so sánh vận tốc tại nút 43



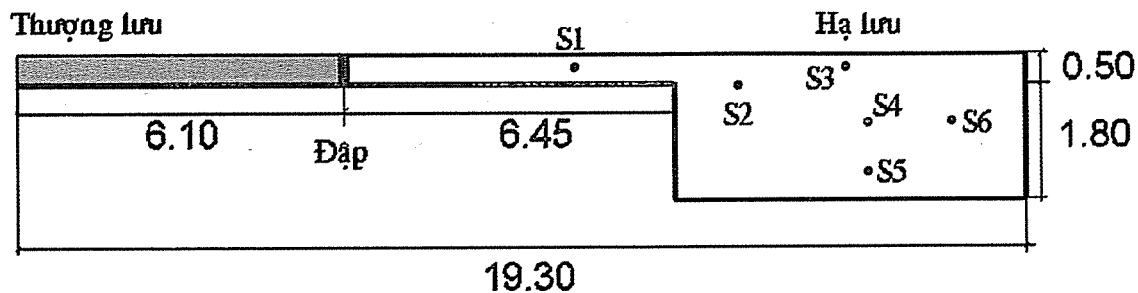
Hình 11. Kết quả tính toán so sánh vận tốc tại nút 37

Nhận xét:

- Các kết quả tính toán của 2 mô hình là phù hợp tốt với nhau.
- Đây là bài toán một chiều cơ sở rất phù hợp để tính toán với mô hình DUFLOW. Do vậy các kết quả tính toán của mô hình DUFLOW là đáng tin cậy. Kết quả so sánh cho thấy mô hình GOD cho kết quả tốt.

b. Thí nghiệm vỡ đập của CADAM

Trong thí nghiệm này đập được cho vỡ đột ngột, nước chảy qua một đoạn kênh vào vùng hạ lưu hình chữ nhật (Hình 12). Điều kiện ban đầu mực nước trong ô chứa trước đập là 0.504 (m), mực nước hạ lưu là 0.003 (m), đáy phẳng.

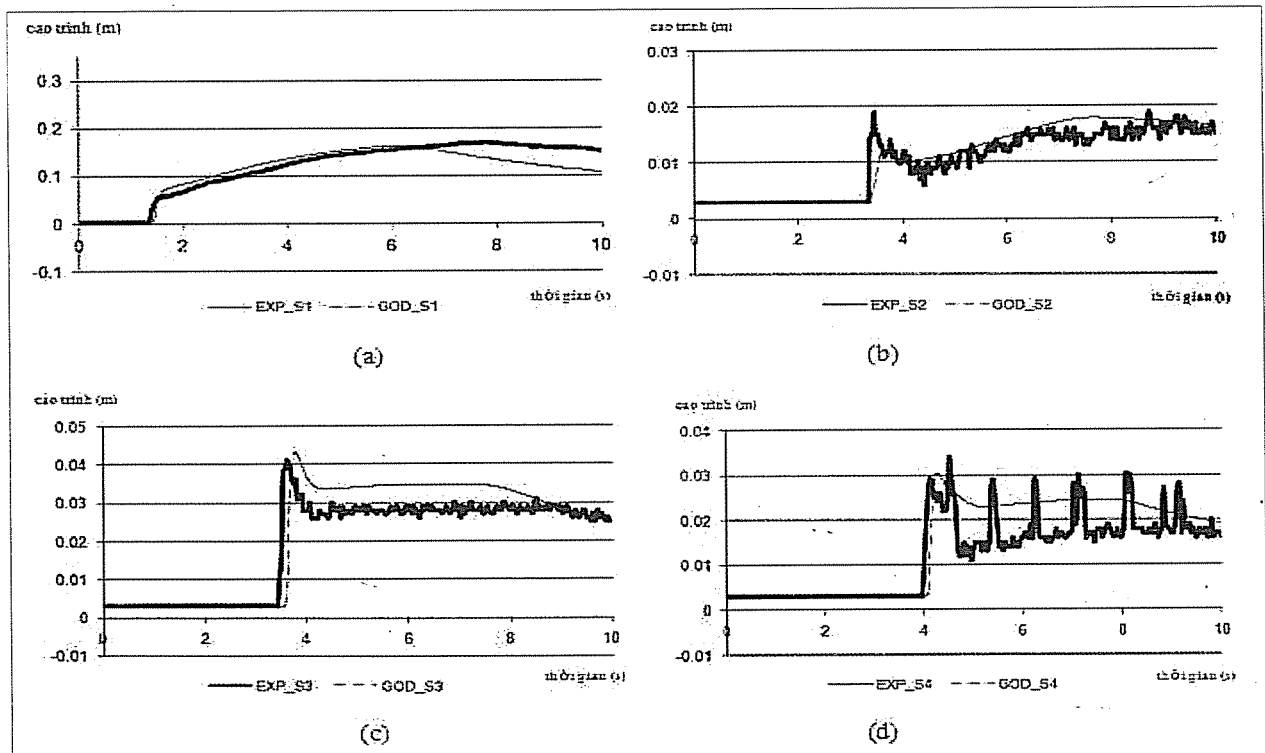


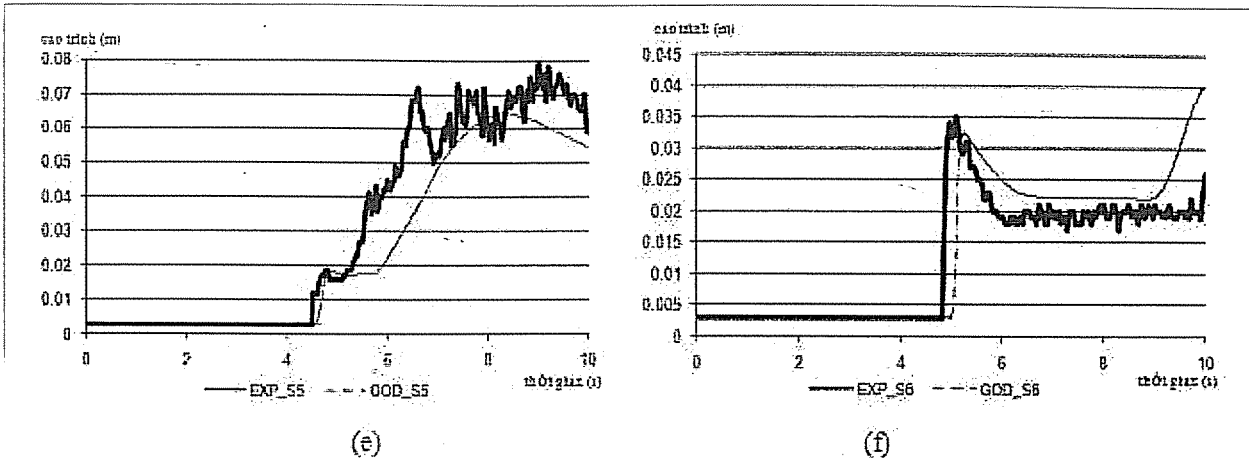
Hình 12. Sơ đồ thí nghiệm vỡ đập với hạ lưu không đối xứng

Các biên là thành cứng cố định trừ biên ra là biên chảy tự do vào máng thu hồi. Hệ số nhám Manning được xác định theo thực nghiệm bằng 0.01. Cao trình mặt nước được đo tại 6 điểm từ S1 đến S6 (Hình 12). Đây là thí nghiệm chuẩn của CADAM kiểm tra lời giải phương trình nước nông hai chiều có gián đoạn (Bento A. và các cộng sự, Tuyển tập

các công trình của các hội nghị của CADAM).

Miền nghiên cứu được chia thành lưới tính toán không cấu trúc gồm 8720 phần tử hình vuông kích cỡ 5x5cm và 9153 nút lưới. Bước thời gian $\Delta t = 0.001s$. Thời gian mô phỏng là 10s. Dưới đây là một số kết quả tính toán:





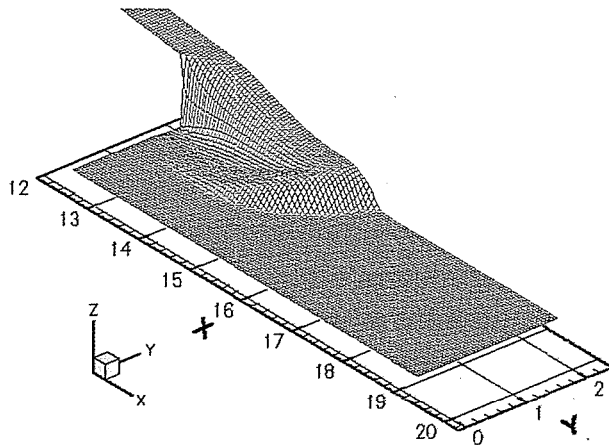
Hình 13. a, b, c, d, e, f tương ứng là kết quả tính toán so sánh cao trình mặt nước tại 6 điểm từ S1 đến S6 (Hình 12).

Nhận xét:

- Do chỉ có số liệu đo đạc cao trình mặt nước được cung cấp nên các so sánh chỉ được tiến hành với các số liệu đó, không có so sánh vận tốc.
- Các kết quả tính toán so sánh cao trình mặt nước tại một số điểm cho thấy nhìn chung kết quả tính toán là khá phù hợp với số liệu thí nghiệm.
- Tính chất gián đoạn của dòng chảy do vỡ đập đã được thể hiện rõ trong nghiệm số với sơ đồ tính toán thể tích hữu hạn kiểu Godunov với xấp xỉ hàm

dòng kiểu Roe. Đó chính là khả năng “bắt” gián đoạn của sơ đồ.

- Tại một số điểm có những sai lệch giữa số liệu thí nghiệm và kết quả tính toán. Điều này cho thấy còn cần rất nhiều các tính toán so sánh, chuẩn hóa chương trình tính nâng cao độ chính xác của mô hình. Nghiên cứu cụ thể nâng cao độ chính xác trong bài toán mô phỏng thí nghiệm vỡ đập, đặt là một chủ đề nghiên cứu còn đang rất cần được tiếp tục quan tâm phát triển.

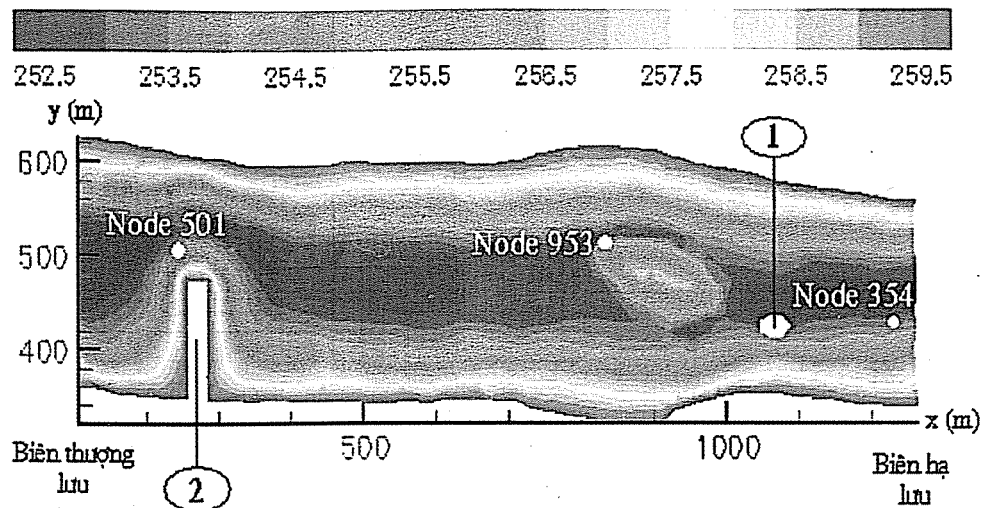


Hình 14. Cao trình mặt nước và trường vận tốc tại thời điểm $t=3.6s$

c. Bài toán dòng chảy trong sông có địa hình và miền hình học phức tạp

Đây là bài toán mẫu của chương trình TELEMAC-2D. Do chương trình TELEMAC-2D sử

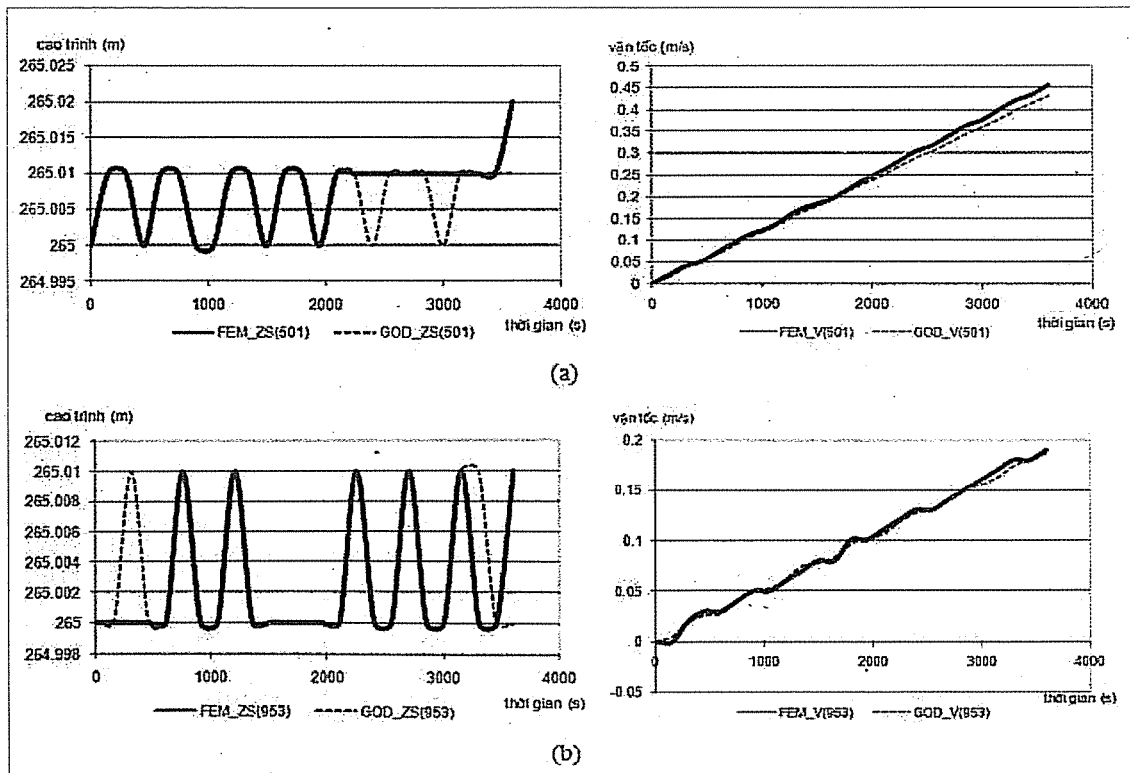
dụng phương pháp phần tử hữu hạn nên để tiện theo dõi và so sánh, trong bài báo này ta sẽ gọi chương trình này là mô hình FEM.

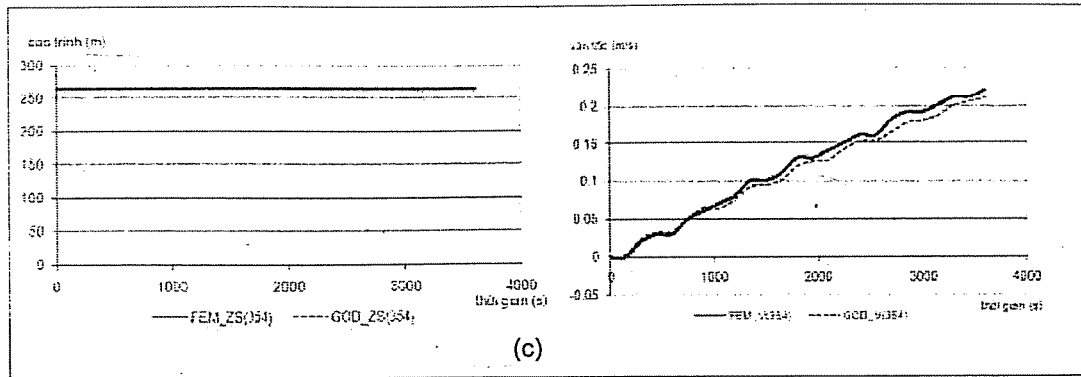


Hình 15. Miền tính toán, cao trình đáy, các công trình (1 và 2) trong bài toán mẫu

Các tính toán so sánh với kết quả của chương trình TELEMAC-2D đã được thực hiện. Bài toán này cho phép kiểm tra khả năng xử lý của chương trình với các miền địa hình và hình học phức tạp, độ dốc đáy biến đổi nhanh, tính không đồng nhất cao, sự có mặt của các công trình trong miền tính và đó chính là kiểm tra khả năng xử lý số hạng nguồn của mô hình số. Các kết quả tính toán của bộ chương

trình TELEMAC-2D là những số liệu quan trọng để kiểm tra các kết quả của chương trình GOD được phát triển ở đây. Các so sánh được thực hiện tại 3 điểm là các nút lưới 501, 953 và 354 của lưới tính toán (Hình 15). Lưới tính toán không cấu trúc gồm 1871 phần tử tam giác và 1038 nút lưới. Bước thời gian $\Delta t = 0.3$ s. Thời gian mô phỏng là 3600 s.



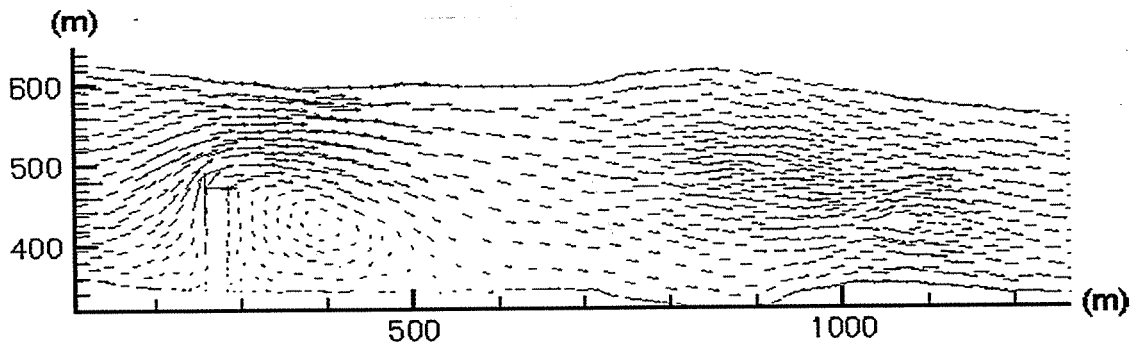


Hình 16. a, b, c tương ứng là các kết quả tính toán so sánh cao trình mặt nước và độ lớn vận tốc tại 3 điểm như trong hình 15.

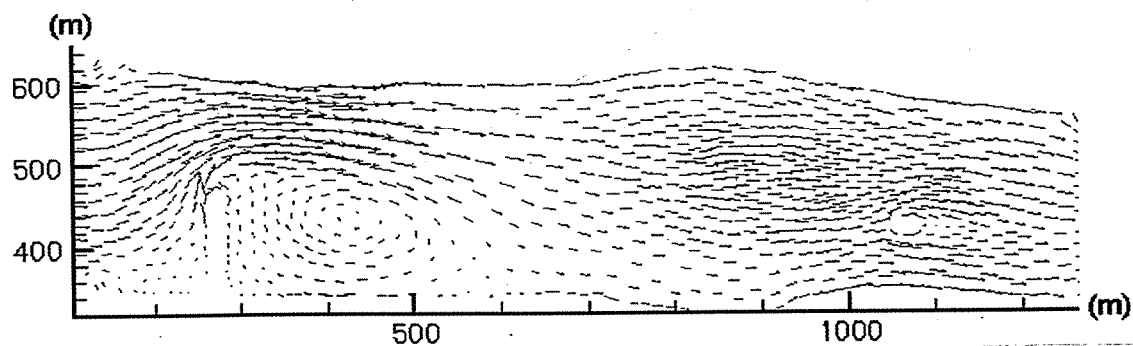
Nhận xét:

- Kết quả tính toán của hai mô hình phù hợp khá tốt với nhau, các so sánh cho thấy sự khác biệt là nhỏ và có thể chấp nhận được.
- Một điều cần được lưu ý là mô hình GOD dựa trên các phần tử lưới tính toán nghĩa là các số liệu đầu vào và kết quả tính toán của từng phần tử đều quy về tâm của mỗi ô lưới. Với phương pháp phần

tử hữu hạn trong TELEMAC-2D, các số liệu đầu vào và giá trị tính toán của các biến được đưa ra tại các nút lưới (các đỉnh của đa giác phần tử tính toán). Một số khác biệt giữa kết quả tính toán của hai mô hình có thể do việc quy đổi kết quả tính tại các nút từ kết quả tính ở các phần tử xung quanh trong mô hình GOD để có thể so sánh với kết quả của chương trình TELEMAC-2D chỉ có tại các điểm nút lưới.



(a) Trường vận tốc (kết quả của sơ đồ số kiểu Godunov với xấp xỉ hàm dòng kiểu Roe)



(b) Trường vận tốc (kết quả của chương trình TELEMAC-2D dùng phương pháp phần tử hữu hạn)

Hình 17. Kết quả tính toán trường vận tốc của 2 mô hình tại thời điểm $t=3600s$

4. Một số nhận xét và kết luận

Chương trình tính toán đã được xây dựng trên cơ sở lý thuyết đã được thế giới phát triển, kiểm nghiệm và sử dụng ngôn ngữ lập trình Compaq Fortran. Chương trình này vẫn đang cần tiếp tục được phát triển và hoàn thiện. Khi so sánh với các chương trình tính toán thông dụng khác các hạn chế dễ nhận thấy là chương trình chưa có khả năng tạo lưới tính toán (một điều không thể thiếu để tiến hành các tính toán mô phỏng), các kiểm nghiệm thực tế chưa nhiều (bài toán thực tế bước đầu mới là tính toán lan truyền triều trong vịnh Bắc Bộ [1]) và cuối cùng là giao diện đồ họa của chương trình cũng được viết bằng ngôn ngữ Fortran với rất nhiều hạn chế.

Các kết quả tính toán so sánh bước đầu cho thấy

mô hình số và chương trình tính toán đã phát triển rất có triển vọng áp dụng vào tính toán, mô phỏng các bài toán thực tế. Một trong số các bài toán thời sự hiện nay là tính toán mô phỏng dòng chảy vỡ đê, đập hay lũ quét trong đó yếu tố gián đoạn của dòng chảy cũng như tính phức tạp của miền tính phải được thể hiện chi tiết trong mô hình. Ưu điểm nổi bật khi áp dụng mô hình GOD chính là khả năng giải quyết được các vấn đề đặt ra: xử lý tốt các gián đoạn và có thể mô tả chi tiết các dạng địa hình và miền hình học phức tạp. Tuy nhiên sơ đồ cũng có một hạn chế rất cần cải tiến và khắc phục đó là sơ đồ là hiện hoàn toàn, bước thời gian tính toán nhỏ và thời gian tính toán lớn.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyen Tat Thang and Nguyen The Hung (2009), "Application of a Godunov type numerical scheme and a domain decomposition technique to the parallel computation of tidal propagation", *VNU Journal of Science, Earth Sciences*, Vol. 25, No. 2, pp.104-115.
2. Hirsch, C. (1988), *Numerical Computation of Internal and External Flows. Vol. 1: Fundamentals of Numerical Discretization*, Wiley. Chichester. England.
3. Kenji Kawaike, Kazuya Inoue and Keiichi Toda (2000), *Inundation flow modeling in urban area based on the unstructured meshes*, *Hydrosoft 2000, Hydraulic Engineering Software, VIII*, WIT Press, pp.457-466.
4. Nguyen Tat Thang, Kazuya Inoue, Keiichi Toda and Kenji Kawaike (2004), "Flood inundation analysis based on unstructured meshes for the Hanoi central area", *Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE*, Vol. 48, pp.601-606.
5. Anastasiou, K. và Chan, C.T. (1997), "Solution of the 2D shallow water equations using the finite volume method on unstructured triangular meshes", *International Journal for Numerical Method in Fluids*, Vol. 24, pp. 1225-1245.
6. www.duflow.nl
7. Clemmens A.J., Holly F.M.Jr., and Schuurmans W. (1993), "Description and Evaluation of Program: Duflow," *J. Irrig. and Drain. Engrg.* Volume 119, Issue 4, pp. 724-734
8. *Duflow user manual*
9. <http://TELEMACsystem.com>
10. Malcherek, A. (2000), "Application of TELEMAC-2D in a narrow estuarine tributary", *Hydrological Processes*, Vol. 14, Issue 13, pp.2293-2300
11. *TELEMAC-2D user manual*
12. Morris, M.W. (2000), *CADAM Concerted Action on Dambreak Modelling, Final Report SR 571*
13. Bento Franco A., Betâmio de Almeida A. và Viseu T. (1997), *Tuyển tập các công trình của các hội nghị của CADAM, WGDM Belgium Meeting*.