

Đồ án môn học
Mực nước - Dòng chảy

Khoa Kỹ thuật biển, trường Đại học thủy lợi

Ngày 5 tháng 8 năm 2020

Khoa Kỹ thuật biển: Tầng 3 nhà C1

Trường Đại học thủy lợi

Số 175 Tây Sơn, Đống Đa, Hà Nội

email: `ktb@tlu.edu.vn`

Biên soạn: GV Nguyễn Quang Chiến

Phụ trách môn học: GV Nguyễn Thị Phương Thảo

Sắp chữ điện tử bằng L^AT_EX

Yêu cầu đối với sinh viên

- Chuẩn bị máy tính laptop và cài đặt đầy đủ phần mềm theo hướng dẫn của GV trước khi đến lớp (vì một số phần mềm phải truy cập trên mạng). Liên hệ trước với GV nếu bạn không thể chuẩn bị được laptop.
- In ra quyển này và xem kỹ tất cả nội dung trong quyển. Tải về thêm một số tài liệu tham khảo [3, 7, 8, 14] (xem phần cuối quyển).
- Tích cực trao đổi thông tin, mở rộng vấn đề ở trên lớp (thời lượng khoảng 7 tiết), chuẩn bị trước và cập nhật nội dung báo cáo khi về nhà, kết hợp giữa đọc sách, điền các kết quả, và viết ra giấy (nếu viết tay báo cáo) hoặc gõ file báo cáo. *Đừng chép nguyên nội dung trong sách hướng dẫn!*
- Lấy đúng số liệu GV gửi cho mình. Trong trang đầu báo cáo, ghi rõ những thông tin sau: các loại bài toán được mô phỏng; loại mô hình toán được sử dụng; địa danh vùng nghiên cứu (nếu có), kèm theo kinh-vĩ độ, kích thước thủy vực và chế độ thủy triều của vùng nghiên cứu.
- Sử dụng PC để nhập số liệu, tính toán, lưu kết quả (hình & số). Trong báo cáo phải có phương pháp tính toán, trả lời các câu hỏi được đánh dấu ♦, biểu diễn kết quả tính toán (dưới dạng biểu đồ) và nhận xét.
- Nộp bài báo cáo đúng hạn. Báo cáo được viết tay hoặc in từ file. Trường hợp in từ file sẽ được kiểm tra rà soát kỹ hơn. In 2 mặt theo mẫu, không cần bìa: GV không thích xếp một chồng đồ án dày trên bàn làm việc! Ngoài ra, tất cả SV đều phải gửi file số liệu đầu vào và kết quả tính toán cho GV, và chuẩn bị có thể phải bảo vệ đồ án (vấn đáp).

Giới thiệu

Mực nước - Dòng chảy là môn học chuyên ngành quan trọng, gắn liền với việc nghiên cứu động thái của nước biển, cả những vùng biển mở lẫn nửa kín, cùng với thiết kế và thi công các công trình ven biển. Môn học có liên hệ mật thiết với kiến thức các môn khác giảng dạy tại Khoa Kỹ thuật Biển:

- Cơ sở kỹ thuật bờ biển → tổng quan về các quá trình tự nhiên ven bờ, trong đó đề cập tầm quan trọng của tính toán mực nước đến diễn biến bờ biển và thiết kế công trình cảng, công trình bảo vệ bờ.
- Sóng gió → Mực nước thủy triều làm thay đổi độ sâu nước và do đó ảnh hưởng đến chiều cao sóng gần bờ.

- Vận chuyển bùn cát → sự di động của trầm tích đáy biển, chịu ảnh hưởng đáng kể của dòng triều tại những vùng cửa sông, lạch triều.
- Hình thái bờ biển → Dòng triều, thông qua VCBC, gây ra sự thay đổi về vị trí và hình dáng của bờ biển trên *phạm vi lớn* trong *thời kì dài*.

Thủy động lực vùng biển ven bờ là vấn đề khó. Về lý thuyết, lĩnh vực này có liên quan đến những phương trình vi phân phi tuyến trong không gian 3 chiều và diễn biến theo thời gian. Về thực tiễn, khó khăn còn ở chỗ dữ liệu thu được vẫn ít và chưa đúng sai số. Có lẽ để thu được sản phẩm nghiên cứu thành công, cần phải kết hợp giữa lý thuyết với những kinh nghiệm cho từng địa phương. Tuy nhiên, mục đích môn học là để SV hiểu được bản chất vật lý của hiện tượng và những phương pháp tính toán (cụ thể là mô hình toán) để tìm được nghiệm số xấp xỉ cho bài toán. Quyển tài liệu này cũng giải thích thêm lý thuyết, nhằm thống nhất các mục 2.3.2, 2.4 và 7.4.1 trong sách GT [13] và mở rộng một trường hợp với vịnh biển.

Trong quyển này, bên cạnh những câu hỏi cơ bản gắn với lý thuyết, còn nhiều câu hỏi nâng cao đòi hỏi những kĩ năng nhất định về thao tác máy tính, và một số câu hỏi khó để thử khả năng của SV. Mặc dù những câu hỏi này đều không bắt buộc trong phạm vi môn học, nhưng sẽ rèn luyện cho SV những kĩ năng nhất định trong công việc chuyên môn. Để làm rõ toàn bộ các vấn đề trong quyển đồ án, SV sẽ phải dành thêm thời gian để tìm hiểu, thực hiện và diễn đạt lại kết quả thật tỉ mỉ. Một số ít SV có bài đồ án xuất sắc được cộng điểm quá trình và được GV hướng dẫn tham gia hoạt động nghiên cứu khoa học. Những SV hoàn thành cẩn thận các đồ án môn học sẽ có lợi vì đồ án tốt nghiệp thực ra chỉ là tập hợp có liên kết giữa các đồ án môn học mà thôi.

Một kĩ năng mà SV cần rèn luyện là thiết lập bài toán đơn giản. Số liệu trong thực tế thường rất đa dạng và phức tạp; nhưng cần hiểu rằng không phải lúc nào ta cũng cần đến mọi chi tiết của quá trình tự nhiên này; mà ta cần biết cách lược bớt để giữ lại những tham số nổi bật nhất. Trong đồ án này SV sẽ tập làm như vậy: gặp phải bài toán thực tế với điều kiện tự nhiên (địa hình, thủy hải văn, v.v.) phức tạp thì trước hết SV cần hình dung một số nét chính về diễn biến của dòng nước và làm đơn giản hóa địa hình lẫn điều kiện thủy hải văn để tính toán sơ bộ.

Mỗi SV nhận được một đề với số liệu riêng; các em cần ghi tóm tắt vào tờ đầu bài báo cáo thuyết minh. SV có thể sử dụng một loạt công cụ tính

toán sau đây:

- phần mềm bảng tính, chẳng hạn LibreOffice Calc, Microsoft Excel hay Google Sheet;
- chương trình phần mềm S-Flow¹ để tính toán sự biến đổi mực nước và dòng chảy của một thủy vực; trong file nén đã có chương trình phụ trợ để vẽ đồ thị kết quả. Hãy xem trước phần Phụ lục B để biết cách thao tác phần mềm.

1 Mở đầu

Bạn có nhiệm vụ nghiên cứu chế độ thủy động lực của một vùng biển ven bờ. Thông qua mục đích này, bạn cũng thực hiện mục tiêu thứ hai là tìm hiểu một chương trình phần mềm đơn giản có tên S-Flow.

So với đề án môn học Sóng gió thì lần này vùng biển nghiên cứu sẽ có dạng phức tạp một chút, bao gồm vịnh hoặc lạch triều, hoặc một khu nước cảng. Chính vì đặc điểm thủy vực như vậy, sự dao động mực nước triều ngoài khơi sẽ hình thành nên dòng triều ra vào thủy vực. Hình dạng mặt bằng thủy vực càng phức tạp thì dòng chảy cũng càng phức tạp. Bên cạnh đó, sự biến đổi của độ sâu đáy thủy vực cũng ảnh hưởng đến dòng chảy trong thủy vực.

1 ♦ Hãy viết một vài đoạn nêu quan điểm của bạn về tầm quan trọng của tính toán mực nước và dòng chảy biển, từ đó dẫn đến mục đích của đề án môn học này.² Đoạn thuyết minh có thể trình bày một số nội dung sau, cùng với những thông tin khác bạn tự chọn:

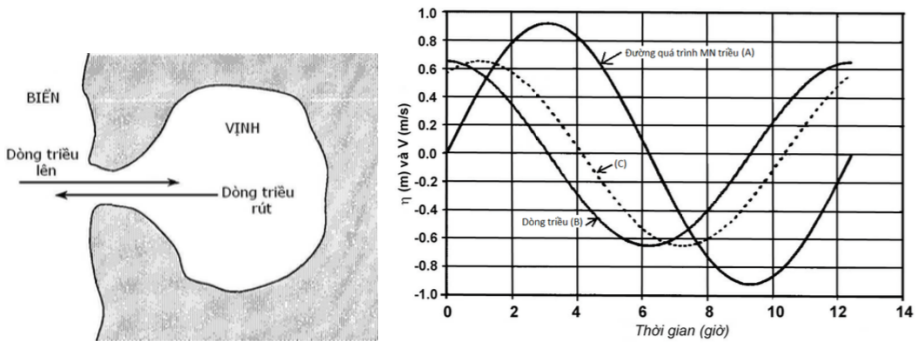
- Mực nước nâng/hạ sẽ ảnh hưởng thế nào đến đường bờ?
- Hiện nay, trong quy phạm thiết kế áp dụng cho đa số các công trình, mực nước thiết kế thường được chọn cố định? Điều này có thiếu sót gì trong việc phản ánh tính năng hoạt động của công trình không?

2 Những quan sát trực giác dòng triều ven biển

Trước khi đề cập đến công thức, ta cần hiểu được sự biến động mực nước và dòng chảy biển một cách trực quan. Sóng triều là loại sóng dài, với bước sóng

¹www.coastalstudy.info/S-Flow.zip

²Đây là phần đặt vấn đề, nhất thiết có trong các bản thuyết minh NCKH hoặc dự án kỹ thuật. Các báo cáo dù chứa đựng nội dung chuyên môn đến đâu, cũng thường bắt đầu bằng một đoạn dẫn dắt người đọc qua việc trình bày những thông tin tổng quan mang tính phổ thông, nhằm nêu bật ý nghĩa của công việc đang thực hiện.



Hình 1: Minh hoạ một vịnh triều; quá trình mực nước (A) và dòng triều: trong trường hợp cửa vịnh rộng (B), và cửa hẹp hoặc vịnh sâu (C).

hàng trăm km. Khi sóng này đi vào vùng thềm lục địa và ven bờ, quá trình lan truyền sẽ bị ảnh hưởng bởi độ sâu. Vùng bụng sóng bị chậm lại nhiều hơn so với vùng đỉnh sóng, do vùng bụng nông hơn nên bị ảnh hưởng bởi ma sát đáy nhiều hơn. Cần lưu ý hai mặt của thủy triều: thủy triều đứng là sự dao động mực nước, còn thủy triều ngang là các dòng chảy (dòng triều).

Nếu như bờ biển thẳng chạy dài thì sẽ chỉ có dao động mực nước mà không thể có được dòng triều đáng kể. Nếu bờ biển có lạch triều ăn sâu vào đất liền, hoặc đầm/phá thông với biển qua một cửa tương đối hẹp (gọi chung là *thủy vực*) thì sẽ hình thành dòng triều với vận tốc đáng kể; đây chính là trường hợp SV tìm hiểu bằng mô hình toán.

Xét một đầm thông với biển qua một lạch triều hẹp (hình 1). Ngoài biển, dao động mực nước được biểu diễn bởi đường quá trình A. Nếu cửa vịnh rộng, đường quá trình vận tốc dòng triều (B) sẽ sớm pha 90° với đường mực nước (A). Tuy nhiên với trường hợp cửa vịnh hẹp hoặc vịnh kéo dài, thì đỉnh mực nước trong vịnh sẽ xuất hiện muộn hơn so với ngoài biển, đồng nghĩa với việc dòng triều sẽ tiếp tục đi vào vịnh một thời gian sau đỉnh mực nước ngoài biển [5]. Trong trường hợp này, dòng triều sẽ sớm pha so với mực nước triều nhưng không tới 90° , như đường C.

Hơn nữa, nếu xét về độ dao động mực nước, thì một điểm trong vịnh sẽ có biên độ dao động nhỏ hơn điểm ngoài biển, do ma sát của đáy tác động lên dòng triều khiến năng lượng sóng dài bị tiêu hao. Điều này càng rõ rệt hơn ở các vùng biển có rạn san hô, nơi đáy biển có độ nhám rất lớn.

2 ♦ Vùng nghiên cứu là đầm Nước Ngọt (tỉnh Bình Định); đầm này thông

ra Biển Đông qua cửa Đê Gi.³ Hãy xác định vị trí trên Google Earth,⁴ và quan sát một số đặc điểm địa lý của vùng bờ. Hình vẽ trong link www.coastalstudy.info/ban-do-vd.png là một ví dụ bản đồ khu vực (quan sát cách trình bày, kẻ lưới tọa độ, ghi thang khoảng cách). Bạn hãy sơ hoạ một hình tương tự cho vùng nghiên cứu và nêu đặc điểm:

- hình dáng, số mặt giáp biển của thuỷ vực.
- ước lượng sơ bộ chiều rộng, chiều dài của thuỷ vực.
- độ sâu trung bình của thuỷ vực, bằng cách di con trỏ trong cửa sổ Google Earth; độ sâu này có biến đổi nhiều không?
- Thuỷ vực này có thông ra biển qua một đoạn cửa hẹp như hình 1 không? Nếu có, hãy xác định sơ bộ chiều dài, bề rộng, độ sâu của cửa.⁵

Ta sẽ mô phỏng thủy triều ở vịnh trong mục A, nhưng trước hết cần bổ sung lý thuyết (các mục 3, 4) và một số trường hợp mô phỏng đơn giản hơn (các mục 6, 7).

3 Nói thêm về sóng dài

Người làm trong ngành kỹ thuật biển đều phân biệt rõ sóng biển thành sóng ngắn và sóng dài. Dù không thể được quan sát trực tiếp bằng mắt thường, nhưng sóng dài vẫn có ảnh hưởng quan trọng tới giao thông thủy, một phần tác động đến công trình bảo vệ bờ, đến môi trường ven biển (lan truyền chất ô nhiễm, vận chuyển bùn cát và biến đổi hình thái bờ biển).

Trong khái niệm sóng dài (sóng với chiều dài $L > 20h$ hay $kh < \pi/10$), cần lưu ý độ dốc của con sóng rất nhỏ, chuyển động của các chất điểm nước là theo phương mặt ngang (coi như dòng chảy nông, và phân bố vận tốc là không đổi theo độ sâu). Riêng ở vùng biển sâu, những con sóng dài này có chiều cao rất nhỏ so với độ sâu nước.

Sóng dài xảy ra trong thực tế với nhiều hình thức [14]:

- Sóng thủy triều, dạng sóng tuần hoàn với chiều dài cỡ $L \sim 100$ km.
- Sóng lũ trong sông, một con sóng đơn với chiều dài cỡ $L \sim 10$ km.
- Sóng tịnh tiến, với như tsunami hay sóng “bore” ở cửa sông.

³Tham khảo báo cáo NCKH của SV Phạm Dạ Diệp, PGS Trần Thanh Tùng hướng dẫn: <http://bit.ly/2raIUVc>.

⁴www.earth.google.com

⁵Vì đoạn cửa tương đối nhỏ nên khó xác định độ sâu trên Google Earth. Bạn cần dùng thêm phương pháp khác để tính độ sâu, chẳng hạn dùng mối liên hệ thực nghiệm giữa diện tích mặt cắt cửa và thể tích lăng trụ triều, xem mục A, tr. 19.

- Sóng đứng, với biên độ sóng gấp đôi so với sóng lan truyền tự do.

Khác với các sóng gió (vốn rất ít bị phản xạ tại bờ biển⁶), các sóng dài thường bị phản xạ, thậm chí ở bờ biển tự nhiên. Với các khu nước khép kín như bến cảng, điều này dẫn đến khả năng cộng hưởng, gây khó khăn cho tàu thuyền di chuyển. Một đặc điểm nữa là phân bố áp suất dưới sóng dài có dạng thủy tĩnh, tại đáy $p = \rho gh$ (nhớ lại trong môn *Sóng gió*, các sóng ngắn có cả áp suất thủy động).

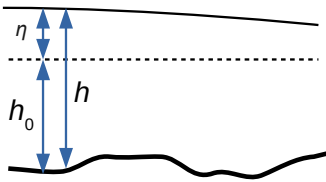
3 ♦ Ôn lại PT cơ bản cho sóng dài trong sách GT [13], §2.3.2:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} - g \frac{u\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 h} \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} - g \frac{v\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 h} \quad (3)$$

Hãy chỉ ra các đại lượng mực nước, độ sâu, vận tốc, thông số Coriolis, hệ số Chézy trong hệ phương trình trên. Đây là PT liên tục (mô tả liên hệ giữa biến đổi mực nước với dòng chảy), các PT chuyển động (gồm những lực tác dụng lên một đơn vị thể tích nước)?



Hình 2:

sát mặt biển (đường đứt nét trên hình 2), do vậy mực nước⁷ $\eta \ll h_0$, và $h = h_0 + \eta \approx h_0$. PT (1) được tuyến tính hóa:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + h_0 \frac{\partial u}{\partial x} + h_0 \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

Hệ phương trình vi phân riêng nêu trên là hệ phi tuyến, khá phức tạp. Tính chất phi tuyến thể hiện ở các đạo hàm như: $\frac{\partial(hu)}{\partial x}$, $\frac{\partial(hv)}{\partial y}$, $u \frac{\partial u}{\partial x}$, $v \frac{\partial u}{\partial y}$, $u \frac{\partial v}{\partial x}$, $v \frac{\partial v}{\partial y}$. Người ta có thể làm đơn giản bằng cách *tuyến tính hoá* PT (1). Xét vùng biển có độ sâu nước $h_0 = \text{const}$. Chọn mực chuẩn cao độ gần

⁶Chỉ phản xạ khi số Iribarren lớn hơn cỡ 4, tức là sóng kiểu ‘dềnh’ (surging)

⁷Chữ cái Hy Lạp η gọi là eta. Có tài liệu lại kí hiệu mực nước bằng chữ ζ (zeta).

Với sóng biên độ nhỏ trên đáy không ma sát, hai PT chuyển động là:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad \frac{\partial v}{\partial t} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} \quad (5)$$

Người ta đã chỉ ra rằng với PT loại này, vận tốc truyền sóng⁸ sẽ bằng $c = \sqrt{gh}$ và tốc độ dòng chảy theo phương truyền sóng là $u = \eta c/h$ ($u \ll c$). Với những sóng triều vùng nước nông, chịu ảnh hưởng của ma sát đáy, vận tốc truyền sóng c sẽ nhỏ hơn, thông thường $c = (0.2 \rightarrow 0.4)\sqrt{gh}$.

Sử dụng dạng PT tuyến tính hóa, ta có thể rút ra những PT mô tả các hiện tượng cộng hưởng, dao động *seiche*. (Hãy xem lại những nội dung này trong chương 2 sách GT.)

Năng lượng sóng dài được tính tương tự như sóng ngắn, $E = \frac{1}{8}\rho g H^2$ và năng thông của sóng (nước sâu) $\mathcal{F} = E\sqrt{gh}$. Bằng việc áp dụng định luật bảo toàn năng thông theo phương truyền sóng, người ta có thể rút ra biểu thức đường mặt nước dọc theo phương truyền sóng.⁹

Ở mỗi PT động lượng, có hai số hạng gia tốc:

- số hạng đầu tiên là “gia tốc địa phương”, gia tốc do những lực thay đổi theo thời gian;
- số hạng thứ hai là “gia tốc đối lưu”, gia tốc do những lực thay đổi theo các hướng không gian (trên mặt bằng); thành phần này thường được bỏ qua trong các mô hình triều đơn giản.

4 ♦ Ngoài ra, hãy gọi tên và chỉ ra trên các PT động lượng (tham khảo sách GT) những số hạng liên quan đến: độ dốc mặt nước, ảnh hưởng của độ nhám đáy biển, ảnh hưởng của hiện tượng Trái Đất tự quay quanh trục.

Các số hạng nêu trên tuy đều xuất hiện trong phương trình tổng quát nhưng tùy từng trường hợp cụ thể trong thực tế, độ lớn của một số hạng có thể nhỏ hơn hẳn các số hạng còn lại.¹⁰ Những số hạng nhỏ hơn hẳn sẽ được bỏ qua và PT được giản hoá. Cụ thể, thông qua tính toán so sánh về cỡ độ lớn [14], những số hạng được bỏ qua có thể là:

- gia tốc đối lưu, với trường hợp sóng triều trong cửa sông;
- cả hai thành phần gia tốc (địa phương và đối lưu), với sóng lũ sông;

⁸Lưu ý kí hiệu tốc độ truyền sóng $c \neq C$ số Chézy.

⁹Với sóng dài, vẫn có bài toán tính truyền sóng; song khác với sóng ngắn ở đó cần tính $H(x)$, trong sóng dài người ta trực tiếp tính $\eta(x)$.

¹⁰Người ta so sánh bằng “cỡ độ lớn”. Chẳng hạn, hai trị số 57 và 630 được nói rằng có cỡ độ lớn lần lượt là 10^2 và 10^3 . Số thứ hai vượt số thứ nhất một cỡ độ lớn.

- gia tốc đổi lưu và ma sát đáy, với sóng đứng trong cảng.

Bài toán xét riêng ma sát đáy. Đặc trưng cho ma sát đáy là đại lượng ứng suất tiếp trên đáy; đại lượng τ_b có bản chất phi tuyến, khó thao tác toán học nên người ta đã tìm cách làm tuyến tính hóa nó, theo cách đã nêu trong quyển GT, tr. 79. Chỉ giữ lại số hạng $u_{\max}^2 \cdot \frac{8}{3\pi} \sin \omega t$ trong khai triển chuỗi Fourier cho $u|u|$, thành phần ứng suất sẽ được biến đổi về dạng tuyến tính:

$$\tau_b = \underbrace{\frac{\rho g}{C^2} u|u|}_{\text{phi tuyến}} = \frac{8\rho g u_{\max}^2}{3\pi C^2} \cos \omega t = \underbrace{\frac{8\rho g u_{\max}}{3\pi C^2} u}_{\text{tuyến tính}} \quad (6)$$

Khi đó, PT chuyển động có thể viết thành:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - fv = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} - ru \quad (7)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + fu = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} - rv \quad (8)$$

với $r = \frac{8g u_{\max}}{3\pi C^2 h} \ll 1$ là “hệ số ma sát” (đơn vị s^{-1}).

Sau khi biến đổi, hệ PT cơ bản có thể được đưa về dạng một PT vi phân riêng bậc hai của mực nước η :

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} + r \frac{\partial \eta}{\partial t} = gh \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \quad (9)$$

Nghiệm giải tích của PT này, biểu thức $\eta(x, t)$, đã được xây dựng cho cả dạng sóng đứng và sóng lan truyền [1]. Với sóng đứng, biên độ sóng sẽ tắt dần theo thời gian do ma sát. Với sóng lan truyền, biên độ giảm dần dọc theo phương truyền sóng.

Bài toán xét riêng lực Coriolis. Lực Coriolis có tác dụng đẩy chiều dòng chảy về phía tay phải (đối với vùng ở Bắc bán cầu) và về phía trái (với Nam bán cầu). Nghiệm của sóng dài chịu tác dụng của lực Coriolis được gọi là “sóng Kelvin”. Nếu như sóng Kelvin lan truyền dọc bờ, hướng theo trục x (như hình www.coastalstudy.info/kelvin.png), thì biên độ sóng sẽ có sự thay đổi theo chiều trục y . PT của mực nước có dạng: $\eta = \frac{H}{2} \exp(-fy/c) \cos(kx - \omega t)$.

Sự khác biệt về biên độ triều hai bờ eo biển La Manche, với biên độ triều phía bờ Pháp cao gấp đôi phía bờ Anh, có thể được giải thích bằng hiện tượng truyền sóng Kelvin về phía Bắc [1]. Sóng Kelvin có biểu hiện bị “giam” [8] dọc theo bờ biển (vì thế có tên gọi ‘coastally trapped waves’).

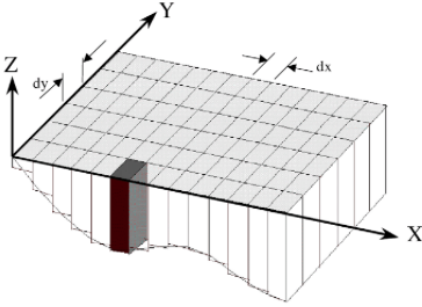
Xét dọc theo một dải ven bờ hẹp ($x \lesssim 0$), hàm chiết giảm sóng (exp) theo phương x được tuyến tính hóa, PT mực nước trở thành: $\eta = \frac{H}{2}(1 + fy/c) \cos(kx - \omega t)$. Ở các vịnh nhỏ cũng có thể coi mặt nước là “phẳng”, như hình 6.

Bài toán xét cả ma sát lẫn lực Coriolis. Trường hợp này không thể tìm được nghiệm giải tích. Một phương pháp giải đã được Hansen đề xuất [3], theo đó mực nước được biểu diễn bằng một hàm phức để mô tả dao động điều hoà: $\eta = \hat{\eta} \exp(-i\omega t)$ với $\hat{\eta}$ là biên độ dao động còn i là số ảo. Sau một loạt biến đổi Hansen đã đưa hệ PT cơ bản về dạng một PT vi phân riêng của $\hat{\eta}$. Như vậy cách này đã giản hoá các biến u, v trong hệ; biến số chỉ còn là biên độ mực nước theo không gian $\hat{\eta}(x, y)$ (chứ không phải là diễn biến theo thời gian). Ngoài việc phải tuyến tính hoá số hạng ma sát (đồng nghĩa với độ chính xác kém đi), phương pháp Hansen còn có nhược điểm nữa, đó là không tính được với trường hợp $f^2 + \delta^2 \approx 0$ trong đó $\delta = r - i\omega$.

Để giải PT trong thực tế, người ta thường áp dụng mô hình số trị. Mô hình số trị không chỉ giúp giải PT Hansen hoặc các trường hợp phức tạp hơn (như số hạng ma sát bậc hai, hoặc có nhớt rối), mà còn cho phép tính được trên miền có dạng đường biên bất kì (khác với phương pháp giải tích chỉ áp dụng được miền “hình chữ nhật”). Điều này là rất thực tế vì các thủy vực tự nhiên đều có bờ cong.

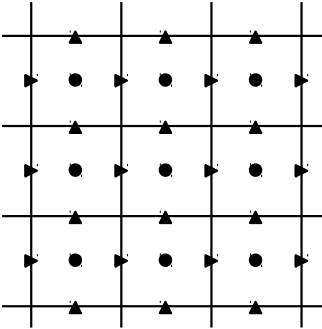
4 Một số nét về mô hình số trị

Nghiệm của hệ 3 PT cơ bản là sự thay đổi của ba đại lượng η, u, v theo không gian và thời gian. Trong mọi trường hợp thực tế, không thể tìm được biểu thức giải tích cho các đại lượng này. Thay vào đó, kết quả của bài toán sẽ được biểu diễn dưới dạng tập hợp các điểm giá trị trên một lưới bao trùm khu vực (thủy vực) nghiên cứu và tại nhiều thời điểm trong thời đoạn mô phỏng.



Hình 3: [5]

như vậy thì ta coi độ sâu lẫn mực nước đều không đổi. Trong nghiệm số, mỗi ô chỉ được có một giá trị η . Tuy vậy, mực nước có thể chênh nhau giữa các ô, giống như những viên gạch men lát sàn không kĩ.



Hình 4: Điểm mực nước •, các điểm vận tốc: u ► và v ▲

(tức là cao trình > 0) và đường bờ chạy theo cạnh ô lưới sao cho các vận tốc pháp tuyến dọc theo đường bờ này bằng 0. Chẳng hạn hình 5 có góc trái phía trên là đất liền (những ô sẫm màu). Các điểm độ sâu âm và vận tốc = 0 được dùng kí hiệu màu trắng thay vì kí hiệu đen. Để đơn giản, ta chỉ xét trường hợp miền tính toán và đường bờ là cố định trong quá trình mô phỏng, nghĩa là những ô nào trên đất liền ($h_0 < 0$) thì không bao giờ bị ngập; và ngược lại những ô ban đầu ngập nước thì luôn có $h_0 > 0$. Việc giữ

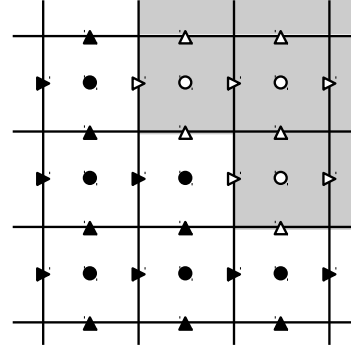
Mô hình số trị có thể coi là phương pháp giải hệ PT trên một lưới như vậy. Để hiểu rõ về mô hình số trị, SV cần học qua về *phương pháp số* (numerical methods). Để đơn giản, bây giờ ta chỉ cần hình dung rằng thủy vực được chia thành nhiều khối lăng trụ, mỗi khối có chiều cao bằng độ sâu nước, và chiều dài, chiều rộng kí hiệu là $\Delta x, \Delta y$ (hình 3). Trong mỗi khối lăng trụ

Về phần các thành phần vận tốc u, v , trong mô hình không ấn định các giá trị này tại tâm mỗi khối mà ở giữa các mặt tiếp giáp những khối trụ này. Trên mặt bằng, giá trị vận tốc nằm ở giữa cạnh những “viên gạch men”, như trên hình 4.

Như đã nói, sóng dài có tính phản xạ cao. Để đơn giản, trong đề án này ta coi bãi biển dốc và sóng dài phản xạ hoàn toàn. Điều đó dẫn đến việc sóng dài không thể truyền qua đường bờ để vào đất liền. Trong lưới tính toán tương ứng, các ô nào nằm ở vị trí đất liền phải được đặt độ sâu $h_0 < 0$

cho $h \neq 0$ rất quan trọng để giải các PT động lượng, (2) và (3).

Thông thường, phạm vi vùng tính toán được chọn sẽ có cả phần đường biên tiếp giáp đất (như nêu trên) và phần tiếp giáp với nước. Đối với loại thứ hai này, cần phải có một biểu thức khống chế chuyển động của nước tại biên. Đó là điều kiện biên mực nước. Trường hợp đơn giản nhất, có thể lấy độ dốc mặt nước tại biên bằng 0. Nếu có số liệu thực đo (quá trình mực nước) tại một vị trí, thì cần chọn phạm vi vùng tính cắt qua vị trí đó và dùng đường quá trình mực nước này làm điều kiện biên. Nếu không có



Hình 5:

số thực đo, có thể dựa vào những bản đồ hằng số điều hoà cho các địa phương rồi chọn giá trị phù hợp để xây dựng mực nước triều, rồi ấn định: $\eta = \eta_{\text{triều}}$.

Trình tự tính toán của mô hình như sau: Tại thời điểm ban đầu, $t = 0$, mực nước và vận tốc trong miền tính toán được cho trước. Thường chọn các điều kiện đầu là mực nước ngang mực nước trung bình và nước tĩnh ($\eta = 0, u = 0, v = 0$). Quá trình giải được tiến hành tại nhiều thời điểm: $t = \Delta t, 2\Delta t, \dots, n\Delta t$, gọi là các “lớp thời gian”. Một cách làm đơn giản là tính theo “sơ đồ hiện”, theo đó mỗi giá trị của η, u, v đều được tính dựa trên tất cả các đại lượng ở bước thời gian trước đó. Phương pháp này có điểm hạn chế là bước thời gian phải rất ngắn (đồng nghĩa với việc sẽ mất nhiều thời gian hơn chạy chương trình mô phỏng):

$$\Delta t \leq \frac{1}{\sqrt{g h_{\max} \left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right)}} \quad (10)$$

trong đó h_{\max} là chiều sâu nước lớn nhất trong miền tính toán. Điều kiện này có tên là CFL.

Sử dụng mô hình số cần linh hoạt và nhìn chung không có quy trình thống nhất, nhưng một số lưu ý như sau [10]:

- *Phạm vi miền tính*: Nếu mô hình được dùng để đánh giá hiệu quả của công trình (tức là có tác động của công trình đến dòng triều) thì biên phải đặt ở đủ xa, nơi mà những tác động công trình không ảnh hưởng

đến mực nước tại đó. Nếu bài toán có xét đến ảnh hưởng của gió thì biên nước sâu chỉ có các giá trị mực nước ước tính bằng cách dự tính thủy triều.

- *Kích cỡ ô lưới* được lựa chọn sao cho phù hợp với độ phân giải cần thiết, với dung lượng bộ nhớ (RAM) và dung lượng đĩa, và thời gian tính toán. (Nếu đồng thời giảm Δx và Δy đi hai lần (gấp đôi độ phân giải) thì thời gian tính toán sẽ lâu gấp tám lần, do Δt cũng phải giảm nửa theo điều kiện (10).)

5 Chọn các tham số cho mô hình

Trong chương trình, các tham số này được nhập trực tiếp bằng các lệnh gán; và có thể được chia thành hai nhóm chính sau:

- Tham số vật lý, tham gia vào các PT cơ bản chi phối chuyển động của sóng triều, bao gồm: ρ, g, C , vĩ độ ϕ (để tính thông số Coriolis f).
- Tham số số trị, vốn không thể đo đạc trên thực tế, ví dụ: kích thước ô lưới $\Delta x, \Delta y$, bước thời gian Δt ; độ sâu nhỏ nhất (h_{\min}) là ngưỡng tối thiểu của h để tính toán (tránh để $h \rightarrow 0$).

Đối với các tham số vật lý, có thể chọn một giá trị điển hình trong khoảng giá trị thường gặp trên thực tế. Chẳng hạn, tham số khối lượng riêng của nước biển điển hình vào khoảng 1025 kg/m^3 , dù rằng giá trị này vẫn có thay đổi theo nhiệt độ và độ muối. Giá trị của hệ số Chézy, C , phụ thuộc vào độ nhám ở đáy biển và phụ thuộc yếu vào độ sâu nước. Giá trị kinh nghiệm thường được chọn là $50 \text{ m}^{0.5} \text{ s}^{-1}$.

Tham số số trị ảnh hưởng đến kết quả theo cách phức tạp hơn và cần phải chọn lựa cẩn thận. Nếu chọn các ô lưới thô thì không những độ phân giải kém mà còn ảnh hưởng đến tính xoáy của trường dòng chảy. Chiều dài và chiều rộng ô lưới cũng không được quá chênh lệch. Bước thời gian tính toán phải đảm bảo đủ nhỏ để không xảy ra khuếch đại nhiễu động (điều kiện CFL, biểu thức (10)).

6 Bài toán cộng hưởng sóng ở vịnh biển

Trong mục này ta sẽ áp dụng mô hình triều không ma sát cho trường hợp vịnh biển có chiều dài l (hình 2-28, tr. 49, sách GT). Khi đó sóng triều bị phản xạ một phần ở cuối vịnh, và hình thành sóng đứng [9]. Gọi biên độ

sóng ở cửa vịnh bằng $\hat{\eta}_0$, biên độ sóng truyền đi là $\hat{\eta}$, của sóng phản xạ $\leq \hat{\eta}$. Nếu xét phản xạ toàn phần, biên độ sóng phản xạ bằng biên độ sóng truyền đi. Chọn trục x hướng dọc vịnh về phía đất liền, gốc tọa độ tại cửa vịnh. Có thể viết PT mực nước trong vịnh theo dạng tổng cộng hai sóng này: $\eta = 2\hat{\eta} \cos \omega t \cos kx$ (tr. 47, sách GT).

Lấy tỉ lệ giữa biên độ sóng triều tại cuối vịnh với biên độ sóng cửa vào vịnh ta được *hệ số khuếch đại*: $\text{HSKD} = \hat{\eta}_{x=l} / \hat{\eta}_0 = 1 / \cos kl$.

Cộng hưởng xảy ra khi chiều dài vịnh bằng một số lẻ lần $\frac{1}{4}L$ và chu kỳ dao động tự nhiên của sóng dài là $T = \frac{4l}{(2n+1)\sqrt{gh}}$ (tr. 50 sách GT), với n là số nguyên ≥ 0 . Khi đó $\text{HSKD} \rightarrow \infty$.

Ví dụ. Vịnh Fundy, Canada có dạng hình học như trên hình tr. 50, sách GT. Trong sách cũng đã cho thấy chiều dài sóng triều M_2 là $L \approx 1200$ km, gấp 4 lần chiều dài vịnh. Điều này gây ra cộng hưởng sóng đứng với biên độ đầu bị chặn cao gấp 4 lần biên độ triều ngoài biển. Ta sẽ dùng chương trình S-Flow để kiểm tra hiện tượng nêu trên.

Để đơn giản ta lập một vùng vịnh có hình chữ nhật với kích thước xấp xỉ như trong sách và với độ sâu đồng đều $h_0 = 75$ m, nhưng đầu bên trái của vịnh phải đặt biên mở. (Xem và thao tác giống như hướng dẫn ở phụ lục B.)

5 ♦ Hãy tự chọn giá trị phù hợp cho:

- kích thước ô lưới tính toán ($\Delta x \times \Delta y$) đảm bảo đủ phân giải được trường thủy động lực, chẳng hạn mỗi bước sóng cần được phân giải bởi tối thiểu khoảng 20 ô lưới;
- bước thời gian tính toán, Δt , thường chọn số ‘tròn’ thoả mãn điều kiện (10);
- thời gian mô phỏng: đủ dài để trạng thái dao động đạt được ổn định.

Chú ý quy định điều kiện biên phía W phù hợp (về biên độ, chu kỳ). Yêu cầu kết quả như sau:

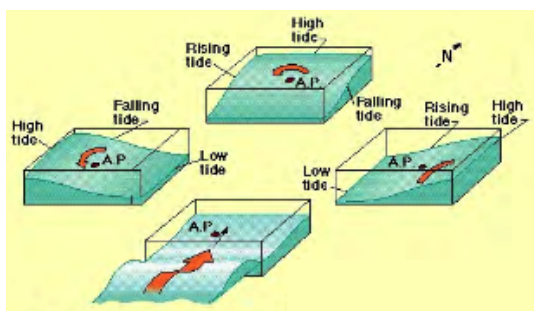
- trường mực nước (tức là phân bố mực nước hồ) tại ít nhất là hai thời điểm để nhận diện được các sóng trên mặt nước;
- chọn một mặt cắt dọc theo trục vịnh để trích lấy mặt nước;
- chọn ba điểm ở cửa vào, giữa và cuối vịnh để trích lấy các chuỗi số liệu theo thời gian: $\eta \sim t, v \sim t$.

Chạy chương trình, đảm bảo việc mô phỏng không có lỗi xảy ra. Sau đó, nhận xét kết quả biến trình mực nước qua việc so sánh với nghiệm giải tích, $\eta = 2\hat{\eta} \cos \omega t \cos kx$. Vẽ biểu đồ phân bố biên độ mực nước theo khoảng cách

đọc trực của vịnh.

6 ♦ Kiểm chứng “quy tắc lập phương” (tr. 14). Trước hết, hãy chọn số bước thời gian tính toán (nt) để chương trình thực hiện tính toán lâu khoảng 5 giây. Sau đó chạy lại chương trình với Δx và Δy cùng giảm đi một nửa. Thời gian chạy lần này là bao lâu? Từ đó, có thể rút ra kết luận gì về “giá phải trả” khi muốn tăng gấp đôi chất lượng phân giải của mô phỏng?

Đến giờ nảy sinh vấn đề sau: Ta sử dụng mô hình 2 chiều để tính nhưng chỉ trích xuất kết quả dọc trục x . Như vậy mô hình 2 chiều này có lợi gì khi tính toán sóng truyền vào vịnh? Xem tiếp đoạn dưới đây.



Lực Coriolis. Trong vùng vịnh, do ảnh hưởng của lực Coriolis mà sẽ xuất hiện chuyển động nước ngược chiều kim đồng hồ (với Bắc bán cầu) như hình 6, dòng chảy bị ép về phía phải và hình thành một điểm vô triều (AP) có mực nước η luôn = 0.

Hình 6: Nguồn www.geo.arizona.edu/geo4xx/geos412/0cSci07.Tides.pdf

7 ♦ Vẫn với miền tính toán như trên, với bề rộng trung bình của Vịnh Fundy là 70 km, hãy mô phỏng (chú ý bật số hạng Coriolis) và nhận xét kết quả thu được. Chỉ ra vị trí điểm vô triều (AP).

7 Bài toán truyền sóng triều vào cửa sông

Bài toán này dựa trên PT cơ bản là PT (9), tương đương với PT (7.3) tr. 203 sách GT. Để cụ thể, xét vùng cửa sông có độ sâu $h_0 = 5$ m, hệ số Chézy $C = 50 \text{ m}^{0.5}\text{s}^{-1}$, sóng triều M_2 có chu kỳ 12,5 giờ, biên độ $\hat{\eta}_o$. Điều kiện biên phía hạ lưu là mực nước dao động điều hòa, $\eta = \hat{\eta}_o \cos \omega t$.

8 ♦ Hãy thiết lập kịch bản (tự chọn kích thước và số lượng ô lưới). Phân tích kết quả để thấy tốc độ truyền sóng nhỏ hơn \sqrt{gh} . Thử xác định tốc độ truyền sóng dựa trên kết quả mô phỏng, giá trị này có bằng $0,54\sqrt{gh}$ (tr. 206 sách GT) không? (Lưu ý rằng trong mô phỏng không có sẵn giá trị tốc độ c ; SV cần dựa trên kết quả trường mực nước tại nhiều thời điểm xem đỉnh

sóng di chuyển theo thời gian ra sao, từ đó suy ra c .)

9 ♦ Sự tắt dần của sóng triều. Từ kết quả mô phỏng, hãy xác định biên độ của sóng triều tại các điểm trên thượng lưu, cách cửa sông lần lượt là 33 km, 67 km, 100 km, rồi so sánh với giá trị tính toán theo công thức (tr. 207 sách GT). (Biên độ này cũng không có kết quả sẵn; SV cần phải xuất đường quá trình mực nước tại các vị trí.)

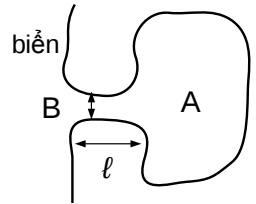
10 ♦ Sử dụng số liệu lưu lượng¹¹ của nước sông, $Q_0 = |u|h$ được GV cung cấp; điều kiện biên phía thượng lưu được thực hiện bằng việc ấn định vận tốc bằng u cho ô đầu miền tính toán. Hãy xuất ra quá trình mực nước và lưu lượng tại một điểm nào đó (tự chọn) trong sông. Nhận xét về pha giữa quá trình mực nước và lưu lượng; yếu tố ma sát đã làm ảnh hưởng đến đường quá trình như thế nào? (Đối chiếu với tr. 209 sách GT.)

11 ♦ Cửa sông hình loa. Nhiều nghiên cứu cho thấy các cửa sông có độ sâu h_0 gần như không đổi còn bề rộng B giảm dần theo luật hàm mũ, ví dụ cụ thể với h_0 và biểu thức B được GV cung cấp. Nếu coi như sóng triều lan truyền không bị phản xạ đáng kể bởi sự co hẹp mặt cắt sông thì từ PT bảo toàn năng thông sóng, $\frac{\partial}{\partial x}(\mathcal{F}B) = 0$, có thể rút ra kết luận rằng biên độ mực nước giảm dần có liên hệ nghịch biến với bề rộng và độ sâu [9], nhưng ảnh hưởng của bề rộng là mạnh hơn: $\eta \propto B^{-1/2}h^{-1/4}$. Hãy sử dụng hàm `make_estuary` để tạo miền cửa sông hình loa này (xem hướng dẫn trong file `S-Flow11.lua`), sau đó chạy chương trình và kiểm chứng nhận định trên.

8 Bài toán trao đổi nước ở vịnh

Cơ sở lý thuyết. Với vùng đầm phá, hay vịnh ngắn (so với chiều dài của sóng triều), có thể coi rằng mực nước η trên toàn thủy vực là nằm ngang [9]. Bỏ qua ma sát và biến đổi các PT cơ bản cho hệ thống ta được:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = \underbrace{\frac{B h^2 g h_1}{A r \ell}}_{\text{đặt bằng } \mu} (\eta_0 - \eta) \quad (11)$$



Hình 7:

trong đó l, B, h_1 là chiều dài, bề rộng và độ sâu của cửa vào vịnh (hình 7),

¹¹Xét trên một đơn vị bề rộng sông.

η_0 là mực nước ngoài biển, còn r là hệ số ma sát như ở các PT (7), (8).

Với giả thiết sóng triều ngoài biển có dạng tuần hoàn: $\eta_0 = \hat{\eta}_0 \cos \omega t$, mực nước trong vịnh cũng dao động tuần hoàn nhưng với biên độ nhỏ hơn và lệch pha so với ngoài biển:

$$\eta = \hat{\eta}_0 \frac{\mu}{\sqrt{\mu^2 + \omega^2}} \cos(\omega t - \arctan(\omega/\mu)) \quad (12)$$

12 ♦ Trở về trường hợp của đầm Nước Ngọt (tr. 2), với kích thước đầm như vậy, hãy làm giản hóa địa hình bằng cách coi đầm là một hình chữ nhật¹² có diện tích A bằng với thực tế. Tiếp theo, mô phỏng động thái mực nước của hệ thống với địa hình vừa lập.

13 ♦ Vận tốc dòng chảy qua cửa theo hướng vào vịnh được cho bởi [7]: $u = \frac{A}{Bh} \frac{d\eta}{dt}$. Xuất kết quả mô phỏng để kiểm chứng sự biến đổi vận tốc dòng chảy.

14 ♦ Người ta đề xuất thu hẹp diện tích đầm, giả sử bớt 50%. Hãy dùng công thức (12) để so sánh η của trường hợp này (diện tích đầm $\frac{1}{2}A$) so với trường hợp đầu (A). Tiếp theo, lập một kịch bản mô phỏng với đầm bị thu hẹp. Nếu thu hẹp theo chiều ngang và thu hẹp theo chiều đứng thì chế độ thủy động lực có gì khác nhau?

15 ♦ “*Bơm triều*”. Bản chất ma sát phi tuyến [7] khiến cho mực nước η trong vịnh dao động tuần hoàn nhưng không đối xứng, và mực nước trung bình dâng cao hơn so với mức 0. Hiện tượng này được gọi là bơm triều (tidal pumping). Hãy xuất kết quả mô hình ra và thấy có đúng không?

9 Phân kết

Trong đề án này, SV đã ôn lại lý thuyết cơ bản về sóng dài hai chiều – bắt đầu từ phương trình cơ bản và xét đặc điểm của nghiệm trong các trường hợp riêng. Đơn giản nhất là PT tuyến tính, không ma sát, tiếp theo là ma sát (đã tuyến tính hoá), lực Coriolis, và kết hợp hai yếu tố này (tr. 11). Bước tiếp theo là sử dụng mô hình số để giải các bài toán: cộng hưởng, khúc xạ, và dòng triều vào ra vịnh, cửa sông. Trong nhiều trường hợp, để tăng độ chính

¹²Cách giản hóa, lý tưởng hóa hay *tham số hóa* giúp người lập mô hình đảm bảo giữ được đặc trưng của hệ thống đồng thời dễ dàng tập hợp xử lý số liệu, thao tác mô hình hóa.

xác, cần xét đến các thành phần phi tuyến, gồm gia tốc đối lưu và ma sát như hàm bậc hai của vận tốc.

Mô hình có thể được mở rộng cho trường hợp xét đến gió trên mặt nước, và những xoáy nước (ảnh hưởng đến phân bố lưu tốc tại những chỗ dòng chảy thay đổi đột ngột): các số hạng (8) và (9) trong tr. 124–125 sách GT. Tuy nhiên mô hình 2 chiều sóng dài không thật sự thành công trong việc mô phỏng những trường hợp này. Đối với gió, phân bố vận tốc thay đổi mạnh theo độ sâu, ví dụ dòng Ekman (tr. 165 sách GT), hoặc hình thành dòng phản hồi ở dưới sâu khi có nước dâng do bão. Đối với rối, hệ số ε rất khó xác định đúng trong thực tế.

Một vấn đề khó nữa khi áp dụng mô hình 2 chiều là hiện tượng khô-ướt các vùng đất liên triều (tức là chỉ ngập khi triều cao, $h \approx 0$). Trong các bài tập đồ án này đã tránh điều đó bằng cách coi bờ thủy vực rất dốc (như “bể bơi”) và các ô tính toán luôn ngập nước.

Mô hình số là công cụ hữu ích; nó không chỉ giúp giải các bài toán phức tạp mà nhiều lúc còn để đối chứng, kiểm tra phương pháp giải tích, như đã thực hiện trong một số bài tập của quyển này.

A Hình thái lạch triều

Mối liên hệ thực nghiệm giữa diện tích mặt cắt cửa vào, A_c (m^2), và lãng trụ triều (tổng lượng nước triều không tính đến dòng chảy sông), P (m^3) có dạng tỉ lệ thuận: $A_c = \alpha P$, trong đó hệ số tỉ lệ α có giá trị $5,65 \times 10^{-5}$ đến $1,08 \times 10^{-4}$ trong một số nghiên cứu ở Hà Lan và Mỹ [11].

Với những vịnh thông với biển qua cửa hẹp, có thể tính lãng trụ triều = diện tích bề mặt vịnh (tại mực nước trung bình) $\times 2$ lần biên độ thủy triều. Mặt khác diện tích mặt cắt ngang $A_c =$ bề rộng cửa \times độ sâu cửa vào; từ đó độ sâu h_1 có thể ước tính ra.

B Hướng dẫn sử dụng phần mềm

Trong bài tập đồ án này, SV sử dụng mã lệnh chương trình phục vụ nghiên cứu chứ không sử dụng một gói phần mềm thương mại cụ thể. Điều này có thể giúp các bạn (nếu có khả năng) tìm hiểu được cách tính toán trong mã lệnh. Việc thao tác trực tiếp với mã lệnh cũng có ích, giúp bạn tạo được các

kịch bản theo ý muốn và linh hoạt hơn là sử dụng giao diện đồ hoạ (vốn chỉ tiện cho việc biên tập số liệu địa hình).

Mã lệnh chương trình được xây dựng trên các file lệnh mẫu được công bố trong các tài liệu [2, 4, 6, 12]; bằng cách này kiểm chứng được tính năng mã lệnh và có thể phát triển chương trình theo xu hướng chung của cộng đồng nghiên cứu.

Sau khi tải file nén theo đường link mà GV đã gửi, SV cần giải nén tất cả file vào cùng thư mục. Trên hệ điều hành Windows, thư mục này có một file hướng dẫn (`ReadMe.txt`), một file chạy chương trình (`S-Flow.bat`), file `lua52.exe`, các file mã lệnh (`*.lua`), file mã biên dịch `S-Flow`, thư viện chương trình (`*.dll`). Những file này đều quan trọng và phải được giữ nguyên, đầy đủ trong cùng thư mục.

Hơn nữa, với mỗi kịch bản thường có một số file dữ liệu đầu vào và kết quả đầu ra. Những file này để cùng trong một thư mục, không nhất thiết phải là thư mục chương trình nêu trên, song bạn phải biết rõ tên và vị trí của thư mục này trong máy để có thể truy cập chúng dễ dàng.

Trong đồ án có một số kịch bản mô phỏng. Để cho tiện, GV đã chuẩn bị sẵn các file kịch bản với tên `S-Flow05.lua`, `S-Flow06.lua`, v.v., trong đó hai chữ số tương ứng với thứ tự các bài tập. SV sẽ biên tập trực tiếp các file này, bằng chương trình chuyên dụng như Notepad++ hoặc SciTE.¹³

Biên tập số liệu. Trước hết, lưu ý trong file mã lệnh như sau:

- Mỗi lệnh gán trên 1 dòng, gồm tên bên lượng, dấu bằng, và trị số hoặc biểu thức. Bạn chỉ sửa phần con số, biểu thức ở bên phải dấu bằng trong lệnh gán. Đôi khi, nếu cần, có thể sửa phần chữ giữa dấu nháy chỉ tên file, như `'MN-xuat.txt'`. Đừng để lại bất kì dấu chấm, phẩy, v.v. nào cuối lệnh gán.
- Trong Notepad++ và SciTE, các chữ số, các chuỗi kí tự, và đoạn chữ ghi chú được tô các màu riêng. Hãy kiểm tra để chắc chắn rằng những yếu tố trên được ghi hợp lý. Để hiện chữ Việt trong SciTE, cần chọn File - Encoding - UTF-8.

Nếu thay vì gán một giá trị ta muốn viết biểu thức thì cần lưu ý:

- Các biểu thức được thực hiện theo thứ tự ưu tiên giống như số học, sử dụng cặp ngoặc tròn nếu cần, ví dụ

$$c = c0 * 2^{0.5} / (1 + (1 + mA^2 / \omega^2)^{0.5})^{0.5}$$

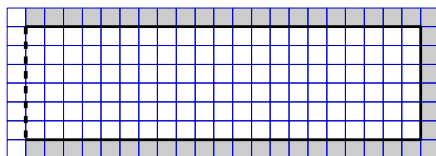
¹³ www.ebswift.com/scite-text-editor-installer.html

- Có thể dùng các hàm toán học như hàm căn bậc hai, ví dụ `sqrt(g*h1)`, hàm mũ `exp(lambda * x)`, hàm lượng giác `sin(rad(goc))`, và có thể viết các hàm lồng nhau. (Thử viết lại biểu thức tính c ở đoạn trên bằng hàm `sqrt`.)

Trong chương trình tính 2 chiều như S-Flow, các biến lượng như độ sâu h , mực nước η , vận tốc u, v đều được biểu diễn dưới dạng ma trận có số hàng là ny và số cột là nx . Từng thành phần của ma trận tên M sẽ có dạng $M[\text{cột}][\text{hàng}]$, tương tự như tọa độ Đề-các, chẳng hạn mực nước tại một điểm (hàng thứ 10) trên viền phía đông của miền tính toán $\eta[nx][10]$. Trong một ma trận, từ trái qua phải sẽ là thứ tự số liệu theo hướng tiến trục x còn từ trên xuống dưới là ngược chiều trục y , tức là về hướng ‘Nam’.

Các ma trận có thể được tính theo phép toán như số học, chẳng hạn $M*5$ cho ta ma trận mới với mỗi phần tử được nhân gấp 5 lần. Còn với h là ma trận độ sâu thì `sqrt(g*h)` sẽ cho một ma trận tốc độ truyền sóng c_0 .

Ví dụ. Xét trường hợp vịnh Fundy ở tr. 15 với địa hình được giản hóa. Miền tính toán có dạng chữ nhật, gồm các ô vuông giới hạn trong đường kẻ đậm, ba mặt là bờ và một mặt giáp biển. Cần bao quanh miền tính toán một viền ô nữa, do đó kích thước của ma trận sẽ là $nx+2 \times ny+2$. Việc viền thêm và đánh số ma trận (bắt đầu từ hàng 0, cột 0 được chương trình tự làm). Ở đây, coi như ta chọn (còn căn cứ cụ thể xem bài 5) $nx=100, dx=3000, dy=3000, dt=60$.



Hình 8: Miền tính toán

Đối với địa hình, có thể gán ma trận độ sâu đáy đồng đều: $h_0 = 5$, hoặc có độ sâu biến đổi theo một hàm phụ thuộc vị trí ô lưới:

`h0 = maketopo(|i,j| 5 + 0.1*sin(2*pi*j/100))` ; hoặc đọc từ file số liệu có sẵn bằng hàm `readmat` đã định nghĩa từ trước¹⁴:

`h0 = readmat('diahinh.txt', nx,ny)`, với tên file `diahinh.txt` trong đó số liệu xếp thành ny dòng, nx cột.

Các biên của mô hình mặc định là biên đóng kín (nét liền đậm trên Hình 8). Nếu muốn chỉ định biên giáp biển trên toàn cạnh phía Tây mô hình (gồm ny ô lưới), cần gán lệnh `bound.W = {1,ny}`

Biên mở có hai loại:

¹⁴trong file `pre.lua`

- thụ động, để sóng và dòng chảy tự do truyền qua; không cần cung cấp thông tin gì về biên loại này;
- được ấn định với giá trị cụ thể của mực nước hoặc lưu lượng; ví dụ biên Tây được chỉ định mực nước như một hàm theo thời gian $\text{bound.W.eta} = |t|0.2*\sin(t*2*pi/10)$

Mặc định chương trình sẽ xuất ra file kết quả ma trận chứa giá trị của mực nước η , các thành phần vận tốc u, v tại mọi điểm trên miền tính toán, tại các lớp thời gian cách nhau $nout$. Muốn yêu cầu kết quả trên một vùng nhỏ tại thời điểm bất kì, hoặc xem các đại lượng khác như độ dốc mặt nước I , ứng suất trượt trên đáy τ_b , cần viết thêm các lệnh gán, trong đó chỉ định tên đại lượng (hoặc biểu thức chứa các đại lượng), thời điểm và phạm vi cần trích số liệu. Thứ tự phạm vi trích số liệu là $x1, y1, x2, y2$, trong đó điểm 1 ở góc trái phía dưới còn điểm 2 ở góc phải phía trên. Nếu cần trích điểm, chỉ ghi tọa độ điểm đầu. Nếu lấy số liệu mặt cắt ngang hoặc dọc miền tính, chỉ cần cho hai giá trị tọa độ y giống nhau hoặc x giống nhau. Ví dụ:

```
output.do_sau = {h, 37, {1, 1, nx/2, ny}} -- thời điểm là 37*dt
output.toc_do = {sqrt(u^2 + v^2), 20, {}} -- phạm vi toàn miền
```

Sau khi chương trình chạy xong, kết quả này không được ghi ra file mà lưu vào các biến mà ta có thể trực tiếp truy cập (xem mục Biểu thị kết quả).

Chạy chương trình. Khi kiểm tra xong số liệu, (nhớ save file với đúng tên và thư mục). Chạy file `S-Flow.bat` trong Windows (`S-Flow.sh` trong Linux) và nhập vào (2 chữ số) thứ tự kịch bản.¹⁵ Quan sát kết quả in ra cửa sổ lệnh (màu đen) xem có lỗi không. Khi có vấn đề phát sinh, xem dòng thông báo lỗi đối chiếu với file mã lệnh để giải quyết. Sau khi sửa xong, có thể đóng cửa sổ dòng lệnh.

Biểu thị kết quả. Chương trình chạy kết thúc, một số file kết quả mới sẽ xuất hiện; các file này đều có dạng chữ (Unicode), xem được từ thư mục bằng cách kích phải chuột → **Open with Notepad++** hoặc **SciTE**. Ngoài ra, các kết quả theo yêu cầu cũng được lưu lại trong biến `output` đã đề cập ở trên, ta có thể truy cập bằng cách gõ tên biến từ dấu nhắc, chẳng hạn:
> `output.do_sau`

Để thể hiện rõ các số liệu này, ta sẽ biểu diễn bằng đồ họa. Chẳng hạn, sử dụng Nếu như miền tính rộng cỡ hàng trăm ô, ta nên dùng màu sắc để

¹⁵Lần đầu chạy, chữ Việt có thể bị lỗi font; bạn click góc cửa sổ lệnh đen để mở menu chọn **Properties > Font**, chọn cỡ 14, **Bold**, font **Consolas**.

biểu diễn: copy số liệu vào bảng tính sau đó chọn vùng ô (Shift Ctrl →↓). Chọn Conditional Formatting - Color Scale.

Một cách khác để biểu diễn trường đại lượng là dùng biểu đồ đồng mức kèm màu sắc, như câu lệnh `contour.plot(h)`

Thang màu và đường đồng mức cũng có thể dùng để biểu diễn tốc độ (hay độ lớn vận tốc). Nhưng muốn thể hiện trường dòng chảy thì nên dùng các mũi tên. Ở đây cần phải dùng cả hai thành phần của đại lượng vec tơ theo lệnh sau: `quiver(u,v)`

Ngoài ra, có thể hiển thị phân bố giá trị của đại lượng trên một mặt cắt, cũng như quá trình biến đổi của đại lượng tại một chỗ theo thời gian. Từ file bảng số liệu kết quả có thể vẽ đồ thị bằng phần mềm bảng tính.

Tài liệu

- [1] Dean, R.G., Dalrymple, R.A. (1991) *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*, World Scientific.
- [2] Hearn, C.J. (2008) *The Dynamics of Coastal Models*, Cambridge Univ. Press.
- [3] Phạm Văn Huấn (2002) *Động lực học biển: Phần 3 – Thủy triều*, NXB DH Quốc gia Hà Nội, có ở www.hmovnu.com/file.php?file_id=155
- [4] Kämpf, J. (2009) *Ocean Modelling for Beginners: Using Open-Source Software*, Springer.
- [5] Kamphuis, J.W. (2000) *Introduction to Coastal Engineering and Management*, World Scientific.
- [6] Koutitas, C.G., Scarlatos, P.D. (2015) *Computational Modelling in Hydraulic and Coastal Engineering*, CRC Press.
- [7] Nielsen, P. (2007) *Coastal and Estuarine Processes*, World Scientific; download chương sách <http://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/7114#t=suppl>
- [8] Rabinovich, A.B. (1993) ‘Các sóng dài trọng lực trong đại dương: hiện tượng bão sóng, cộng hưởng và phát xạ’, dịch bởi Phạm Văn Huấn, DH Khoa học Tự nhiên, www.hmovnu.com/file.php?file_id=132
- [9] Roelvink, D., Reniers, A. (2011) *A Guide to Modeling Coastal Morphology*, World Scientific.

- [10] Roos, A. (1997) *Tides and Tidal Currents*, Bài giảng, Viện Delft-IHE, Hà Lan.
- [11] Stive, M.J.F., Rakhorst, R.D. (2008) ‘Review of empirical relationships between inlet cross-section and tidal prism’, *Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, **23**, 89–95.
- [12] Tsanis, I., Wu, J., Shen, H., Valeo, C. (2008) *Hydrodynamic and Pollutant Transport Models of Lakes and Coastal Waters*, Elsevier.
- [13] Nguyễn Thị Phương Thảo, Nguyễn Văn Lai (2015) *Giáo trình Mực nước và Dòng chảy*, NXB Bách Khoa Hà Nội.
- [14] Van Rijn, L.C. (1989) *Principles of Fluid Flow and Surface Waves in Rivers, Estuaries, Seas and Oceans*, Aqua Publications, bản dịch “Các nguyên lý của dòng chảy chất lỏng và sóng mặt trong sông, cửa sông, biển và đại dương” bởi Nguyễn Thọ Sáo, ĐH Khoa học Tự nhiên, 2004, www.hmovnu.com/file.php?file_id=118
- [15] Yanagi, T. (1999) *Coastal Oceanography*, TerraPub/Kluwer.