

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH SỐ TRỊ ĐỘNG LỰC NGHIÊN CỨU NGUYÊN NHÂN BỒI LẮNG CỦA LẤY NƯỚC XUÂN QUAN

KS. Phạm Đức Thắng

Trường Trung học Thủy lợi 1

1. Mở đầu

Bồi lắng ở cửa lấy nước là một quá trình phức tạp không chỉ do các yếu tố tự nhiên: động lực dòng chảy, động lực lòng dẫn, sức tải cát . . . mà còn do cả các yếu tố con người thông qua qui trình lấy nước, thiết kế hình dạng và vị trí cửa lấy nước. Qua nhiều công trình nghiên cứu, các nhà khoa học kỹ thuật đang qui các yếu tố đa dạng trên về hai nguyên nhân tổng quát dưới đây:

- Do diễn biến lòng sông trước cửa lấy nước: bao gồm sự di chuyển của dòng chủ lưu, sự di chuyển của các bãi giữa dòng hoặc bãi bên sông án ngữ cửa lấy nước. Ví dụ như trường hợp bồi lắng trước cửa lấy nước của trạm bơm Ấp Bắc, trạm bơm Sơn Đà, Phong Vân, Hoàng Khánh, trạm bơm Nhà máy nước Hải Dương. Đối với những trường hợp này việc xử lý tương đối phức tạp phải kết hợp với biện pháp chỉnh trị sông bằng tường mỏ hàn lái dòng, công trình hướng dòng. Giá trị đầu tư cho các công trình này khá cao.

- Trường hợp thứ hai là do mất cân bằng về sức tải cát ở đoạn kênh dẫn nước vào (thường gọi là kênh ngoài), lưu tốc trong kênh thường nhỏ khi lấy nước, thậm chí lưu tốc bằng 0 khi đóng cống. Khi đó sức tải cát trên kênh thường nhỏ hơn sức tải cát của dòng sông trước cửa lấy nước rất nhiều dẫn đến sự mất cân bằng về sức tải cát khi dòng chảy từ sông vào kênh, gây ra bồi lắng. Trường hợp công trình không lấy nước, hiện tượng bồi lắng còn được giải thích theo quy luật độ thô thủy lực và hiện tượng dòng vật xuất hiện đầu kênh dẫn nước. Cơ chế của quá trình bồi lắng trong trường hợp thứ hai này rất đa dạng mà hiện tượng bồi lắng ở kênh ngoài cống Xuân Quan là một điển hình. Tại đây, khối lượng bồi lắng phụ thuộc vào các yếu tố thủy lực, chiều dài kênh dẫn, góc lấy nước giữa trục kênh và trục sông, chiều rộng đáy kênh, độ mở cống và thời gian đóng mở cống. Xử lý vấn đề bồi lắng trong trường hợp này thường phức tạp và khó khăn.

Theo các tài liệu nghiên cứu đã công bố, những năm trước đây đã có nhiều công trình nghiên cứu về nguyên nhân và biện pháp kiểm soát quá trình vận chuyển và lắng đọng bùn cát tại cửa lấy nước. Những nghiên cứu này chủ yếu sử dụng phương pháp thí nghiệm mô hình vật lý, phương pháp mô hình số chưa được sử dụng vì một số lý do khách quan, mà cơ bản lúc đó phương tiện tính toán còn hạn chế.

Việc sử dụng mô hình vật lý để nghiên cứu nguyên nhân và biện pháp giảm bồi lắng công trình lấy nước bên sông cho kết quả tin cậy, tuy nhiên có một số điểm hạn chế như: kinh phí chế tạo và nghiên cứu trên mô hình lớn, tính cơ động của mô hình đối với sự thay đổi về địa hình lòng dẫn không cao, số trường hợp và số lần thí nghiệm bị giới hạn, Việt Nam chưa có cơ sở nghiên cứu hệ thống tuần hoàn nước đục và hệ thống điều khiển quá trình lưu lượng theo dạng lũ Vì vậy, để diễn lại quá trình bồi lắng ở mô hình vật lý theo một con lũ hay cả mùa lũ là không thực hiện được mà hiện tượng bồi lắng của lấy nước lại chủ yếu xảy ra vào mùa lũ.

Phương pháp mô hình số dựa trên cơ sở mô hình dòng chảy trung bình theo chiều sâu và mô hình vận chuyển bùn cát có thể khắc phục những hạn chế trên của mô hình vật lý. Khi sử dụng mô hình số để nghiên cứu quá trình vận chuyển và lắng đọng bùn cát tại cửa lấy nước, mong muốn của chúng tôi là sẽ phát triển mô hình với nhiều

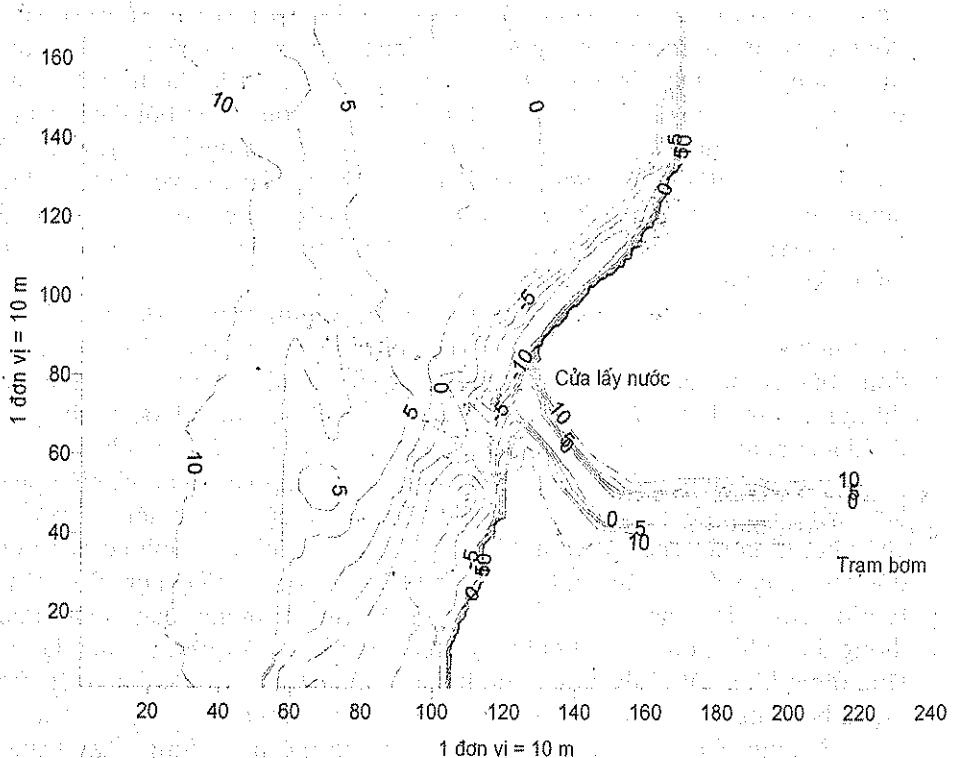
trường hợp trong điều kiện biến đổi về địa hình lòng dẫn, dòng chảy, hàm lượng bùn cát, nhằm tìm ra quy luật vận động và bồi lắng tại các cửa lấy nước cũng như vị trí hợp lý và kết cấu tối ưu cho công trình chắn cát chống bồi lắng. Tuy nhiên, để thực hiện được cần phải có quá trình bồi tính phức tạp của vấn đề. Với sai số tính toán của các mô hình bồi xói nhiều khi lên tới 300-400% tại vùng cửa sông ven biển thì ranh giới giữa định tính và định lượng cũng không còn rõ ràng. Trong khuôn khổ bài báo này, chúng tôi xin nêu các đánh giá định tính quá trình bồi xói cửa lấy nước thông qua việc mô phỏng trường dòng chảy.

2. Cơ sở lý thuyết mô hình số

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng môđun dòng chảy hai chiều trung bình theo độ sâu của [3] trong đó tác giả đã xây dựng bộ các mô hình dòng hai chiều, ba chiều, lan truyền ô nhiễm, xâm nhập mặn, năng lượng rối $k-\varepsilon$... Một cách vắn tắt, hệ phương trình thủy động nước nông được giải bằng phương pháp sai phân ẩn luân hướng (ADI) trên lưới sai phân xen kẽ và thỏa mãn điều kiện Courant để đảm bảo tính ổn định của sơ đồ tính:

$$\sqrt{\frac{gh}{\min(\Delta x, \Delta y)}} \Delta t < \beta.$$

Trong đó g - gia tốc trọng trường (m^2s^{-1}), h - độ sâu cực đại (m), $\Delta x, \Delta y$ - bước không gian (m) theo trục x và y , Δt - bước thời gian (s), β - giới hạn đặc tính thường được lấy bằng 1.

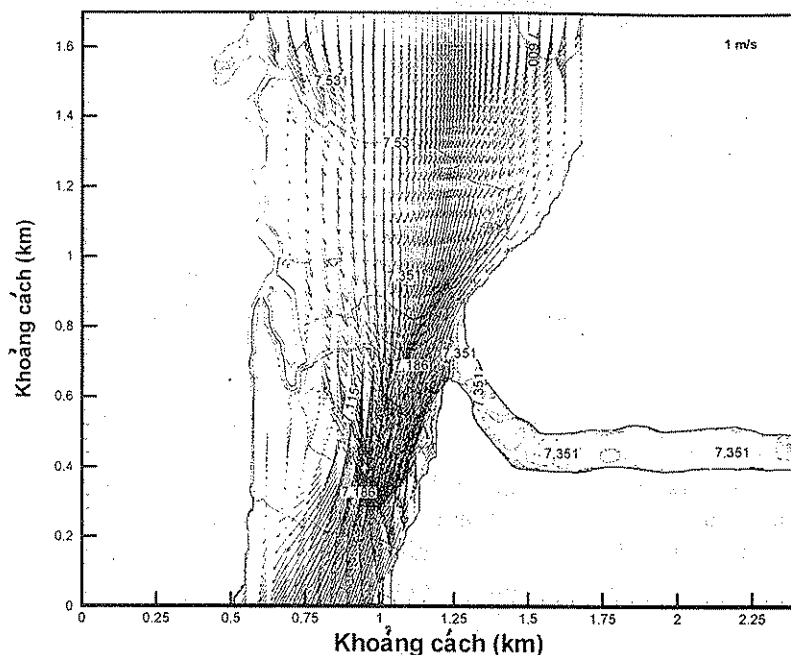


Hình1. Địa hình miền tính

Cơ sở lý thuyết, phương pháp sai phân và chương trình nguồn cũng đã được thuyết minh chi tiết trong [3] cũng như trong [1,2,4]. Bộ chương trình này đã được kiểm định và sử dụng để nghiên cứu chế độ thủy lực do lũ tại phá Tam Giang-Cầu Hai trong khuôn khổ đề tài độc lập cấp nhà nước “Nghiên cứu phương án phục hồi thích nghi cho vùng cửa sông ven biển Thuận An - Tư Hiền và đầm phá Tam Giang-Cầu Hai” [2].

3. Ứng dụng mô hình phân tích bồi lắng cửa lấy nước Xuân Quan

Trong phạm vi bài viết này chúng tôi trình bày một số kết quả ứng dụng bước đầu của mô hình dòng chảy đối với cửa lấy nước Xuân Quan. Do gặp khó khăn về số

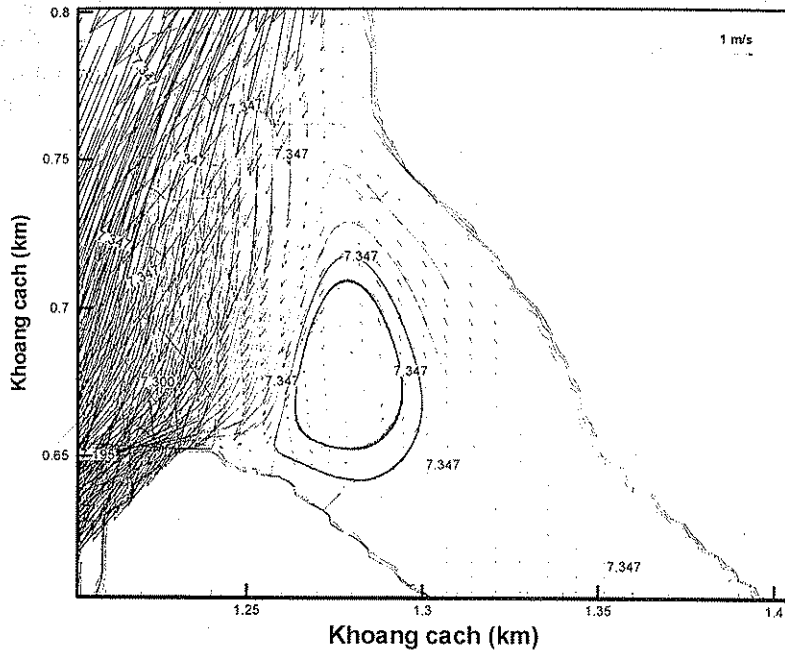


Hình 2. Trường hợp mực nước +7,2 m - Đóng cống Xuân Quan

liệu nồng độ bùn cát tại biên nên các tính toán nồng độ bùn cát tại cửa Xuân Quan chưa thực hiện được trong nghiên cứu này.

a. Miền tính

Việc xác định phạm vi của miền tính dựa trên cơ sở bình đồ khu vực cửa lấy nước Xuân Quan tỷ lệ 1:5000 (hình 1). Để chia lưới miền tính khu vực cửa lấy nước Xuân Quan, chúng tôi đặt hệ trục tọa độ XOY sao cho trục OX song song với đường bờ của kênh Xuân Quan. Chiều rộng miền tính theo trục OX bằng 2400 m gồm chiều dài của đoạn kênh ngoài Xuân Quan tính từ mép cửa lấy nước đến cửa cống (1250m) và chiều rộng đoạn sông Hồng từ cửa lấy nước Xuân Quan sang phía bãi Thanh Trì khoảng 1150 m. Chiều dài miền tính theo trục OY bằng 1700 m trong đó khoảng cách từ cửa lấy nước Xuân Quan đến biên trên của miền tính (phía thượng lưu sông Hồng) bằng 1000 m, khoảng cách từ cửa lấy nước Xuân Quan đến biên dưới (gốc tọa độ - phía hạ lưu sông Hồng) bằng 700 m.



Hình 3. Trường hợp mực nước +7,2 m - Đóng cống Xuân Quan
(Khu vật đầu cửa lấy nước)

Bước lưới cơ sở theo các trục OX, OY bằng nhau và bằng 10 m ($\Delta x = \Delta y = 10$ m). Khu vực cửa lấy nước Xuân Quan sau khi chia lưới ô vuông có được một miền lưới ô vuông với 170 dòng và 240 cột. Từ bước lưới cơ sở, bước lưới thực tế tính sẽ được điều chỉnh tùy theo gradien trường các yếu tố thủy lực. Trong quá trình tính toán, bước lưới được điều chỉnh nhiều lần và kết quả cuối cùng ứng với bước lưới 2m tại cửa lấy nước Xuân Quan và giảm dần theo các trục tọa độ với tổng số 41.636 điểm thuộc miền tính (kể cả những điểm nằm trên biên) còn lại những điểm từ cao trình + 10 trở lên không thuộc miền tính (hình 2).

Bước thời gian tính toán $\Delta t = 0,2$ giây.

b. Số liệu đầu vào

Mực nước tại biên hạ lưu của miền tính là các giá trị mực nước trong mùa lũ đã được sử dụng trong thí nghiệm mô hình vật lý ($\nabla+5,1$; $\nabla+7,2$; $\nabla+8,67$;...). Lưu lượng chảy qua cống Xuân Quan trong mô hình toán được lấy bằng $120 \text{ m}^3/\text{s}$ (ứng với lưu lượng lớn nhất qua cống Xuân Quan vào mùa lũ) và bằng $0 \text{ m}^3/\text{s}$ (ứng với trường hợp không bơm nước). Giá trị vận tốc đo bằng mô hình vật lý được sử dụng làm điều kiện biên tại thượng lưu của miền tính. Vì không có số liệu thực tế về biến thiên phân bố vận tốc dòng chảy theo thời gian nên cơ sở xem xét định tính quá trình bồi lắng trong nghiên cứu là các trường dòng chảy tựa dừng. Các tính toán được coi là kết thúc (khoảng 8 giờ thời gian thực) khi biến thiên của trường dòng chảy và mực nước nhỏ hơn một giá trị cho trước (1%).

c. Kết quả tính toán

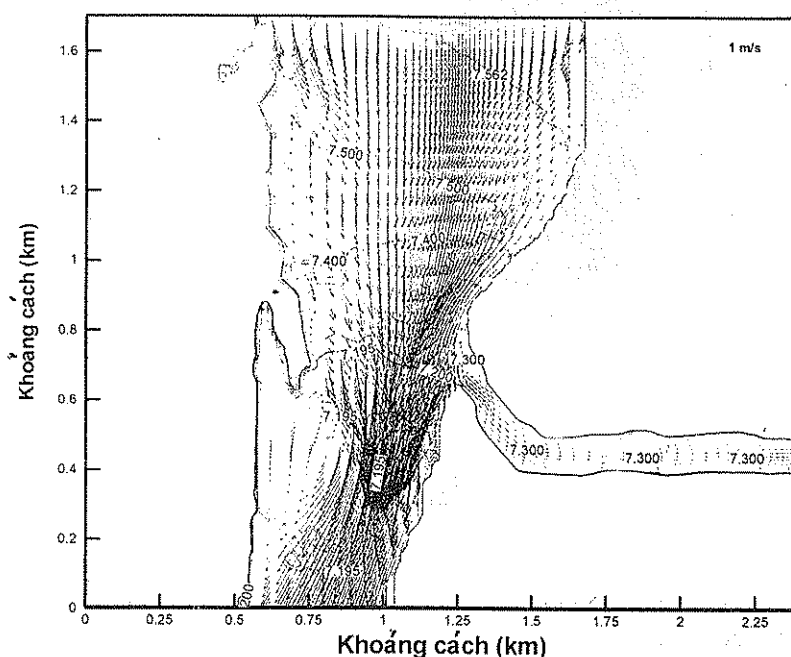
Các kết quả tính toán tương đối phù hợp với kết quả đo đạc trong mô hình vật lý [1]. Sự phân bố trường lưu hướng, lưu tốc dòng chảy ngoài sông thay đổi không đáng

kể khi cống Xuân Quan lấy nước so với khi không lấy nước (hình 2 và 4). Trên đoạn sông Hồng chảy qua cửa lấy nước Xuân Quan các bó dòng chính chủ yếu tập trung về phía cửa lấy nước và thưa dần về phía bãi Thanh Trì. Giá trị lưu tốc dòng chảy ngoài sông giảm dần từ phía cửa Xuân Quan sang bãi Thanh Trì. Như vậy, vị trí cửa lấy nước Xuân Quan rất thuận lợi cho việc đặt cống lấy nước tự chảy.

Trong trường hợp cống Xuân Quan không lấy nước, lưu tốc dòng chảy ngoài sông và trước cửa lấy nước bằng nhau. Khu vật được hình thành ngay cửa lấy nước, lưu tốc dòng chảy phía trong kênh từ sau khu nước vật đến sát cống rất nhỏ so với lưu tốc ngoài sông. Nếu dòng chảy có bùn cát, sức tải cát giảm theo sự giảm vận tốc, bùn cát sẽ lắng xuống. Sự phân bố vận tốc cũng như khu vật rất phù hợp với thực tiễn bồi lắng cả về quá trình bồi lắng và phân bố bùn cát bồi lắng.

Khác với thí nghiệm mô hình vật lý, việc khảo sát khu vật tại cửa lấy nước bằng mô hình toán rất thuận lợi vì nó mô tả diễn biến của khu nước vật trong một con lũ:

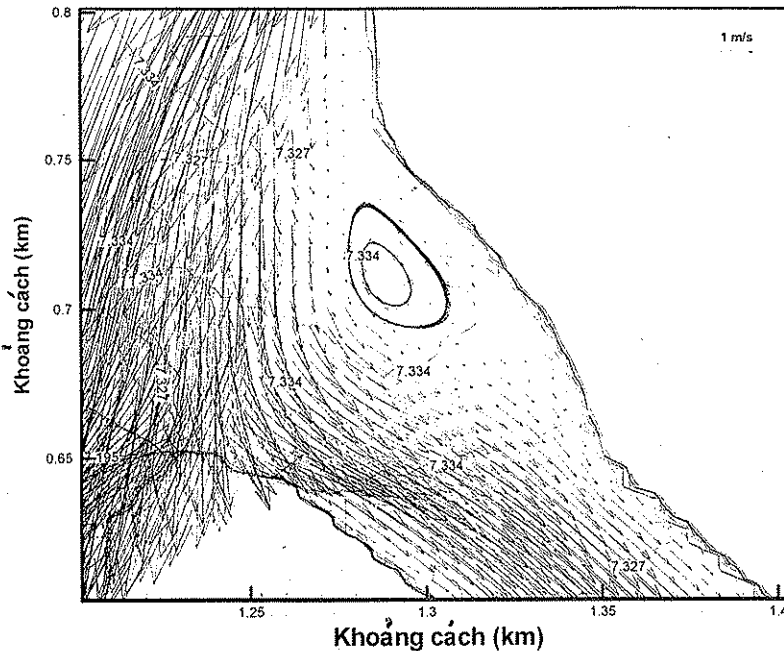
- Trong mùa lũ khi nước sông dâng cao dù đóng hay mở cống luôn luôn hình thành khu nước vật tại cửa lấy nước (hình 3 và 5). Dòng nước từ sông chảy quạt vào phía bờ hạ lưu và đi ra ở phía bờ thượng lưu.



Hình 4. Trường hợp mực nước +7,2 m - Mở cống Xuân Quan

- Diễn biến của khu nước vật rất phức tạp, khi nước lũ lên, lưu tốc dòng vào của khu vật tăng lên gần bằng lưu tốc ngoài sông và lớn hơn lưu tốc dòng ra của khu vật rất nhiều. Khi mực nước rút xuống, lưu tốc dòng vào của khu vật giảm xuống gần bằng lưu tốc dòng ra của khu vật, ở tâm của khu vật (tâm của vùng xoáy) giá trị lưu tốc rất nhỏ.

Từ những kết quả thu được bước đầu qua việc sử dụng mô hình số nghiên cứu nguyên nhân, diễn biến bồi lắng tại cửa lấy nước Xuân Quan cho thấy phương pháp mô hình số có rất nhiều ưu điểm so với phương pháp thí nghiệm mô hình vật lý đã sử dụng, bởi khảo sát được tình hình dòng chảy của cả đoạn sông trước và sau cửa lấy nước, mô tả được diễn biến tình hình thủy lực theo dạng lũ và tác động của khu vật tới hiện tượng bồi lắng. Tuy mới chỉ dừng lại ở việc khảo sát cơ chế trao đổi nước tại cửa Xuân Quan (chưa đưa hàm lượng bùn cát vào để tính), nhưng qua đó có thể giải thích hiện tượng bồi lắng tại cửa lấy nước Xuân Quan là do hiện tượng trao đổi nước giữa sông và kênh cùng với sự chênh lệch về sức tải bùn cát (tức chênh lệch về vận tốc



Hình 5 - Trường hợp mực nước +7,2 m - Mỏ cống Xuân Quan
(Khu vật đầu cửa lấy nước)

dòng chảy) khi trao đổi nước. Khi mực nước sông dâng cao trong mùa lũ, dòng chảy từ ngoài sông vào trong kênh có giá trị lưu tốc lớn nên sức tải bùn cát lớn đã đem theo bùn cát vào trong kênh, dòng ra từ khu vật có giá trị lưu tốc nhỏ, sức tải bùn cát kém, nên bùn cát lắng đọng tại cửa kênh và cao dần lên tại tâm của khu vật là nơi có giá trị lưu tốc rất nhỏ. Khi nước lũ rút, khu vật vẫn hình thành nhưng lúc này giá trị lưu tốc vào và ra xấp xỉ bằng nhau và rất nhỏ nên quá trình trao đổi bùn cát không xảy ra (bùn cát chủ yếu bồi lắng tại cửa lấy nước vào mùa lũ), điều này tương đối phù hợp với phân tích lý thuyết và thí nghiệm mô hình vật lý [1].

4. Kết luận

Kết quả của mô hình tương đối sát với kết quả phân tích lý thuyết, điều tra thực tế và thí nghiệm mô hình vật lý cho thấy hiện tượng bồi lắng tại cửa lấy nước Xuân Quan xảy ra hàng năm là tất yếu vì quá trình trao đổi nước giữa sông và kênh diễn ra thường xuyên, đặc biệt là vào mùa lũ khi mực nước sông dâng cao thì kèm theo nó là

sự chênh lệch hàm lượng bùn cát cũng như sức tải cát giữa dòng chảy ngoài sông và dòng chảy trong kênh, sự mất cân bằng về sức tải bùn cát giữa dòng vào và dòng ra của khu vật. Để chủ động giảm bồi lắng tại cửa lấy nước cũng như kênh dẫn nước, cần phải có giải pháp nhằm hạn chế hiện tượng truyền năng lượng từ ngoài sông vào kênh trong mùa lũ, từ đó sẽ giảm được quá trình trao đổi nước gây bồi lắng.

Nghiên cứu này chưa đưa ra được các kết quả định lượng quá trình bồi lắng do không có số liệu thực đo tại hiện trường để đối chiếu và như vậy chưa thể áp dụng để mô phỏng biến đổi lòng dẫn sông cũng như cửa lấy nước. Chúng tôi hy vọng rằng các khó khăn này sẽ được giải quyết trong các nghiên cứu tiếp theo (nghiên cứu tối ưu vị trí và cấu trúc công trình chắn cát cửa lấy nước bên sông).

Bài báo này được hoàn thiện với sự giúp đỡ của TS. Dương Hồng Sơn (Viện Khí tượng Thủy văn) và TS. Vũ Đình Hùng (Viện Khoa học Thủy lợi).

Tài liệu tham khảo

1. Phạm Đức Thắng (2002). Nghiên cứu giải pháp công trình chống bồi lắng cống lấy nước Xuân Quan.- Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Thủy lợi.
2. Trần Thực, Dương Hồng Sơn (2001). Tính toán trường yếu tố thủy lực cho đầm phá Tam Giang Cầu Hai.- Đề tài độc lập “Nghiên cứu phương án phục hồi thích nghi cho vùng cửa sông ven biển Thuận An - Tư Hiền và đầm phá Tam Giang Cầu Hai”
3. Duong Hong Son (1997). Hydrodynamic and water quality study of Arakawa river. Master thesis, Saitama University, Japan.
4. Koutitas, C.G. (1988). Mathematical models in coastal engineering. Pentech Press, London.