

MỘT SỐ KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM XÂY DỰNG MÔ HÌNH THỦY ĐỘNG LỰC BA CHIỀU TÍNH TOÁN TRƯỜNG DÒNG CHẢY XUNG QUANH CÔNG TRÌNH CHỈNH TRỊ SÔNG

TS. **Nguyễn Kiên Dũng** - Trung tâm Ứng dụng công nghệ và Bồi dưỡng nghiệp vụ KTTV và MT
ThS. **Nguyễn Đức Hạnh** - Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

Mô hình toán hiện là một phương pháp quan trọng trong nghiên cứu trường thủy động lực xung quanh các công trình chỉnh trị sông. Bài báo này giới thiệu kết quả thử nghiệm mô hình với thí nghiệm vật lý đoạn sông thẳng có công trình nhằm cải tiến mô hình mô phỏng trường dòng chảy ba chiều xung quanh công trình chỉnh trị sông.

1. Đặt vấn đề

Để nghiên cứu, đánh giá được quá trình bồi xói xung quanh các công trình thủy lợi trên sông như trụ cầu, kè đập, mỏ hàn,... trước hết phải tính toán được trường dòng chảy xung quanh các công trình đó. Hiện nay, mô hình toán và vật lý là hai công cụ quan trọng trong nghiên cứu trường thủy động lực xung quanh các công trình thủy lợi.

Đối với phương pháp mô hình toán, để mô phỏng quá trình dòng chảy ba chiều (3D) rõ rệt, hệ phương trình Navier-Stokes viết dưới dạng trung bình Reynold (RANS - Reynold Avaraged Navier Stokes) ba chiều đầy đủ và phương trình liên tục trong hệ tọa độ khớp biên di động đã được sử dụng. Để khép kín hệ phương trình nói trên, cần phải thêm các phương trình mô tả ứng suất rối Reynold. Mô hình k- phi tuyến chứa các hàm thực nghiệm thường được sử dụng và cho thấy khả năng mô phỏng tương đối tốt.

Nhằm chứng tỏ tính ổn định và hợp lý của mô hình số một số mô phỏng trường dòng chảy ba chiều đã thực hiện và so sánh với các giá trị đo đạc trong phòng thí nghiệm. Mô hình của Kimura và Hosoda xây dựng với giả thiết độ nhớt rối được biến đổi bằng hàm tắt dần Isawa và Hosoda công bố (1990) và tốc độ tiêu tán ở mặt thoáng được xác định bằng công thức Siguyama và cộng sự đề xuất (1997) đã được kiểm định với thí nghiệm của Munita và Shimizu về dòng chảy xung quanh công trình kè mỏ hàn vuông góc. Nó đã tỏ rõ ưu thế trong việc mô tả trường dòng chảy ba chiều xung

quanh công trình chỉnh trị sông như kè mỏ hàn và hố xói quanh các trụ cầu. Tuy nhiên, do thuật toán nhận diện công trình phụ thuộc vào mực nước và từng lớp tọa độ theo phương thẳng đứng nên mô hình không áp dụng được cho các công trình kè hoàn lưu/tầm hướng dòng không liên khối và chảy ở trạng thái không ngập.

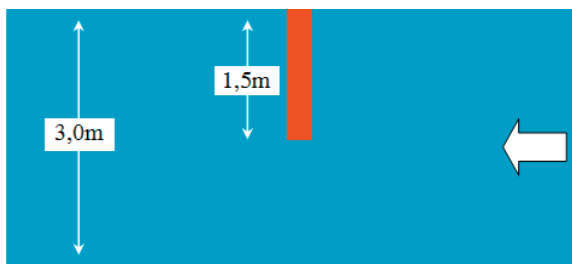
Với mục tiêu cải tiến mô hình nhằm mô phỏng trường dòng chảy ba chiều xung quanh công trình chỉnh trị sông, bài báo này đã tiến hành thử nghiệm mô hình với thí nghiệm vật lý cho đoạn sông thẳng có công trình.

2. Một số kết quả thử nghiệm xây dựng mô hình thủy động lực ba chiều tính toán trường dòng chảy xung quanh các công trình chỉnh trị sông

a. Kết quả thử nghiệm mô hình với thí nghiệm đoạn sông thẳng có công trình

Để chứng tỏ khả năng mô phỏng trường dòng chảy ba chiều xung quanh kè hoàn lưu, đặc biệt chú trọng đến các xoáy và dòng hoàn lưu thượng và hạ lưu kè cũng như các dòng chảy vòng xung quanh khu vực công trình, bài báo này đã thử nghiệm mô hình khi có công trình kè hoàn lưu vuông góc với bờ.

Thực nghiệm số được tiến hành với trường hợp kênh thẳng hình chữ nhật, dài 10 m, rộng 3 m (hình 1); trên đó thiết lập kè mỏ hàn có chiều dày nhỏ và xét các trường hợp: kè không ngập, chảy ngập và hoàn lưu.

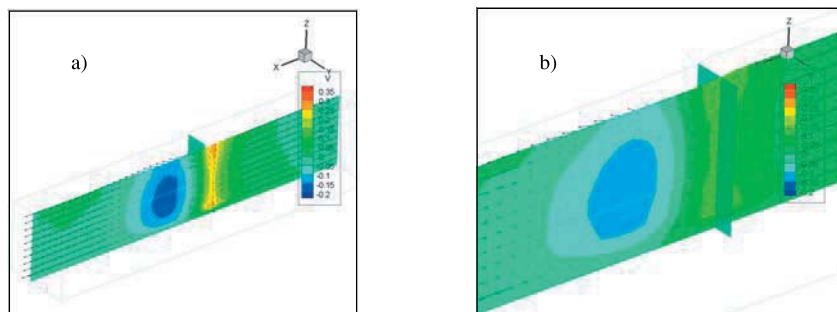


Hình 1. Sơ đồ mô tả kênh và công trình thực nghiệm số

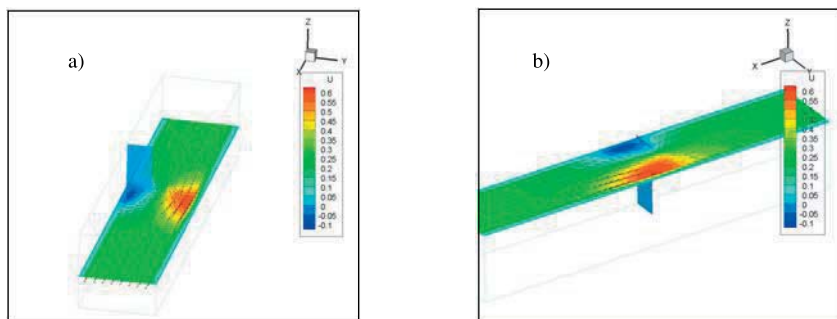
1) Trường hợp kè không ngập

Kết quả mô phỏng được trình bày trên các hình 2 và 3 cho thấy, khi dòng chảy gặp phải kè không ngập, tại mặt kè cả phía thượng và hạ lưu sẽ xuất hiện dòng đi xuống và do đó làm phát sinh xoáy, lõi

xoáy có vận tốc rất bé (giống như đã quan sát thấy trong thí nghiệm của Munita và Shimizu (1994). Mặt khác, trên mặt phẳng nằm ngang cũng quan sát thấy các xoáy ở chân kè phía hạ lưu, là nguyên nhân dẫn đến hiện tượng bồi tụ chân kè.



Hình 2. Véc tơ vận tốc trên mặt cắt dọc tại mũi kè (a) và tại thân kè (b)

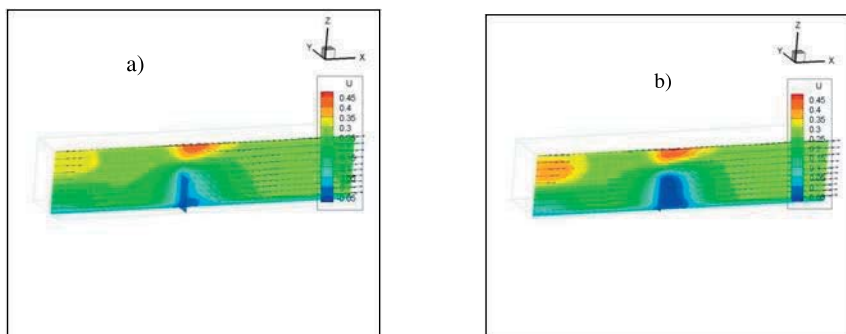


Hình 3. Véc tơ vận tốc trên mặt ngang tại độ sâu (a) giữa thân kè và (b) trên mặt nước

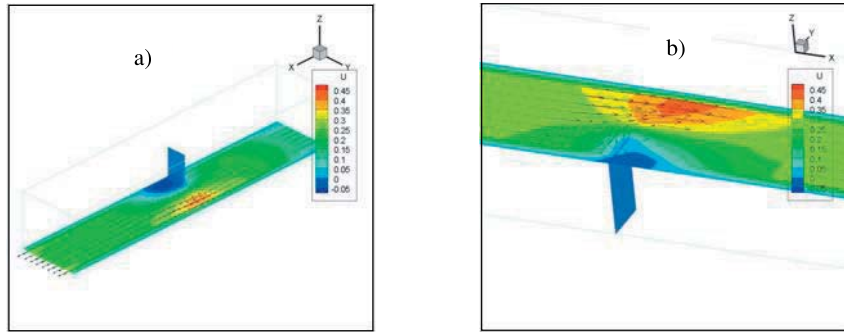
2) Trường hợp kè ngập

Trước khi mô phỏng kè chảy ngập, bài báo này

đã tăng lưu lượng và mực nước để trường hợp không ngập trở thành kè ngập.



Hình 4. Véc tơ vận tốc trên mặt cắt dọc tại (a) mũi kè và (b) giữa thân kè

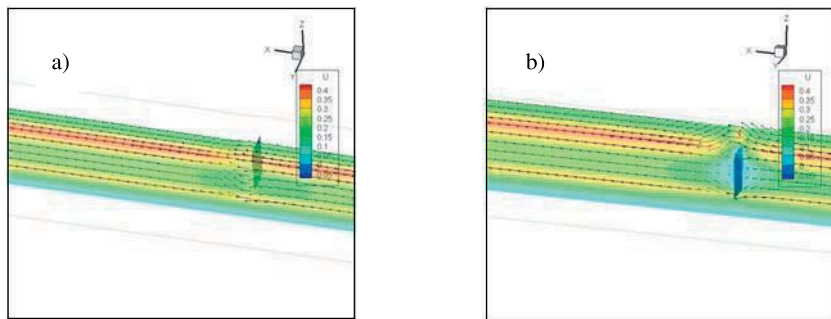


Hình 5. Véc tơ vận tốc trên mặt ngang tại độ sâu (a) giữa thân kè và (b) sát đỉnh kè

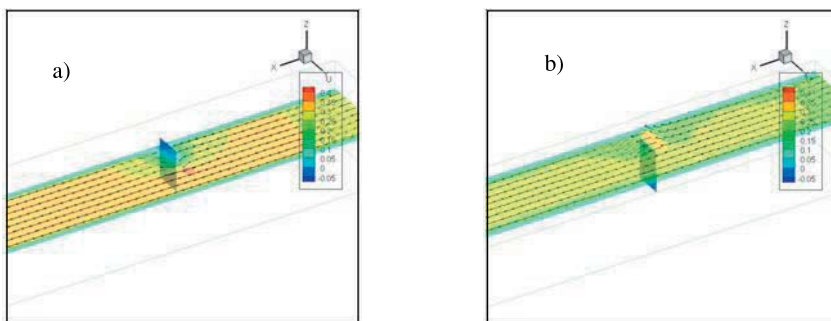
3) Trường hợp kè hoàn lưu

Kè mở hàn dạng hoàn lưu được nghiên cứu ở đây thuộc dạng đơn giản, chỉ có hướng vuông góc

với bờ trong kênh thẳng (trong khi thực tế là kè hoàn lưu hướng dòng chữ L, và gốc kè cũng không vuông góc với bờ).



Hình 6. Véc tơ vận tốc trên mặt cắt dọc tại mũi kè (a) và giữa thân kè (b)



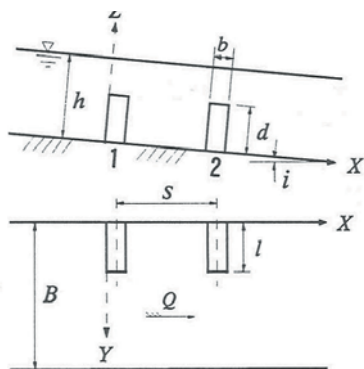
Hình 7. Véc tơ vận tốc trên mặt ngang tại độ sâu (a) giữa thân kè và (b) sát đỉnh kè

b. Kết quả thử nghiệm với thí nghiệm vật lý của Tominaga

1) Thí nghiệm vật lý của Tominaga

Mô hình vật lý dùng để kiểm chứng mô hình 3D ở đây là của Tominaga và các cộng sự (2000) xây dựng trong phòng thí nghiệm. Trong mô hình vật lý này (hình 8) có thiết đặt hai kè ở bờ trái của một kênh hở hình chữ nhật dài 8 m, rộng 0,3 m và độ

dốc đáy (i) bằng 1/2000. Độ dài phương ngang (l) của mỗi kè là 0,05 m; độ dày của mỗi kè (b) là 0,02 m; khoảng cách giữa chúng (S) là 0,1 m. Độ cao của các kè (d) là 0,02, 0,03, 0,04, 0,05, 0,06 m (trong các trường hợp chảy ngập) và 0,08 m (trong trường hợp chảy không ngập) tương ứng với các trường hợp SD2, SD3, SD4, SD5, SD6 và SD8. Lưu lượng đầu vào phía thượng lưu (Q) và độ sâu cột nước phía hạ lưu được giữ không đổi bằng 4,1 l/s và 0,08 m.

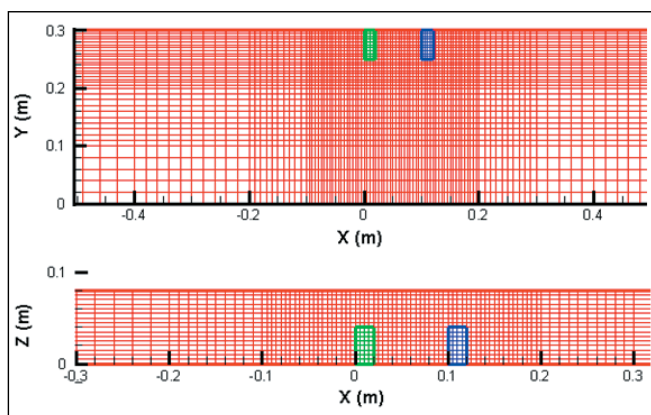


Hình 8. Các thiết đặt của mô hình thí nghiệm

2) Kết quả thử nghiệm mô hình vật lý của Tominaga

Tất cả các điều kiện thí nghiệm ở trên được mô phỏng sử dụng mô hình 3D đã xây dựng với một lưới gồm 320 x 60 x 16 phần tử tương ứng theo các phương dọc, ngang và thẳng đứng (hình 9) có độ phân giải cao hơn ở các ô lưới gần sát với các công trình.

Sau khi ứng dụng mô hình 3D đã xây dựng với lưới tính toán như trên cho các trường hợp thí nghiệm khác nhau của Tominaga chúng tôi thu được một số kết quả như sau:



Hình 9. Lưới tính toán: a) Nhìn theo mặt bằng (x - y) b) Nhìn theo mặt bên (x - z)

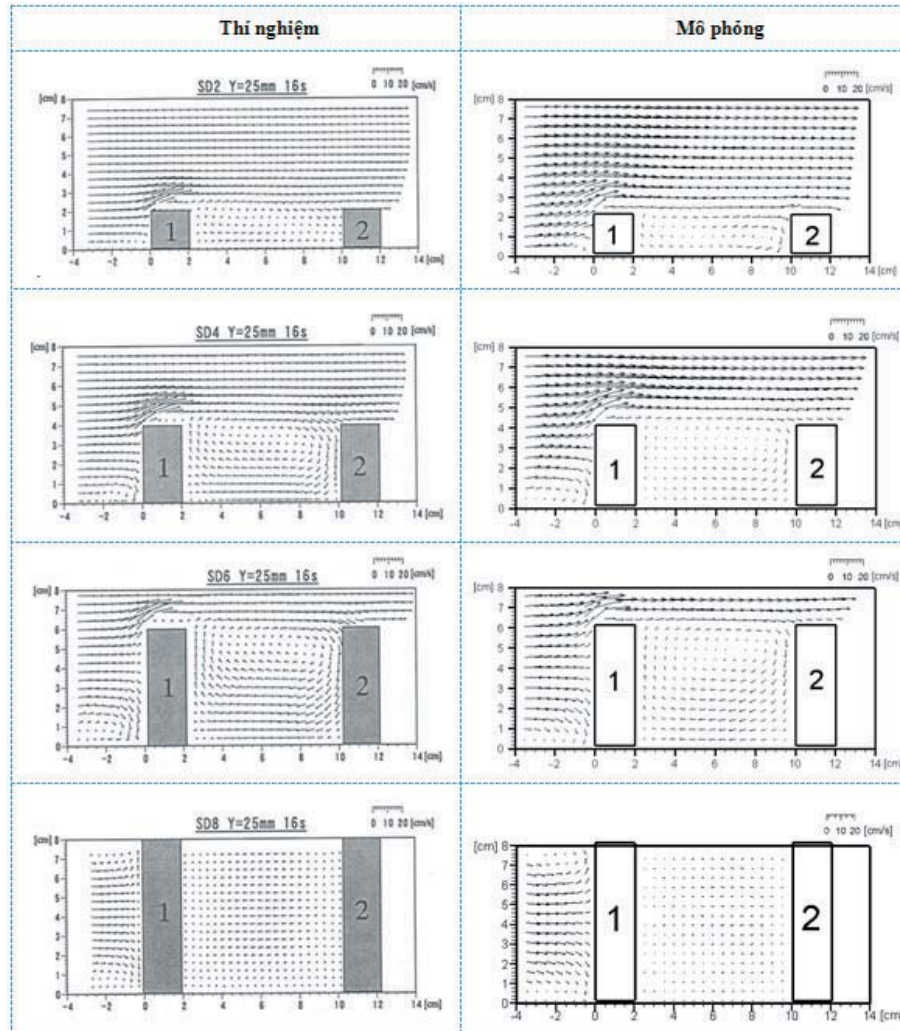
Hình 10 biểu thị hình ảnh các véc tơ vận tốc dòng chảy so sánh giữa thực đo và thí nghiệm tại khu vực giữa hai kè. Qua đó ta có thể thấy các xoáy quy mô lớn theo phương thẳng đứng giữa các kè đã được tái tạo lại bằng các mô phỏng rất tốt, kể cả những tác động của việc tăng độ cao của các kè, làm tăng kích thước của các xoáy, tăng vận tốc và chuyển dịch của các lõi xoáy về phía hạ lưu.

Các mô phỏng cũng đã tái hiện lại dòng chảy ở phía thượng lưu của kè đầu tiên, trong đó dòng chảy được tác thành hai phần: một phần hướng lên trên từ đỉnh kè và một phần hướng xuống dưới, hình thành nên xoáy hình móng ngựa và là nguyên nhân tiềm năng gây xói cục bộ. Những xoáy hướng lên này được gia tăng khi tăng chiều cao của kè nhưng gần như biến mất trong trường hợp chảy không ngập (SD8). Hiện tượng này không được quan trắc thấy ở phía trước của kè thứ hai.

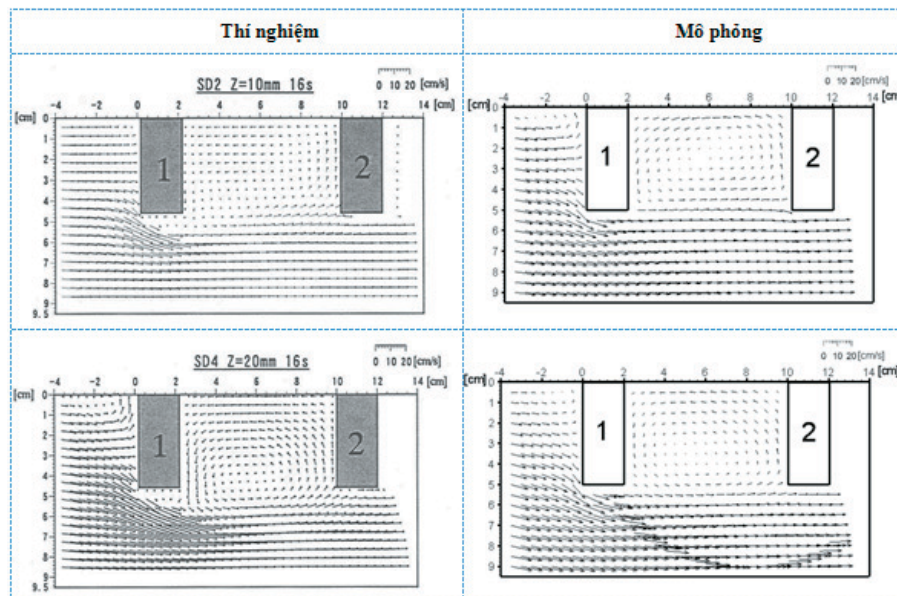
Các xoáy theo phương ngang cũng đã được tái tạo lại rất tốt bằng mô hình như ta có thể thấy trong hình 11, hình biểu thị trường vận tốc trên mặt bằng

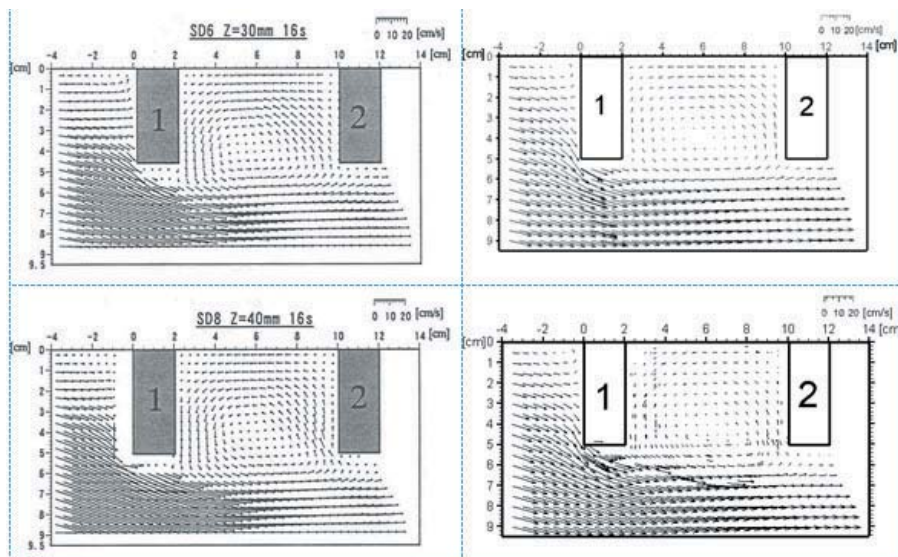
nằm ngang tại độ sâu bằng 1/2 chiều cao kè. Các xoáy theo phương ngang xuất hiện trong tất cả các trường hợp mô phỏng và mạnh hơn trong các trường hợp SD6 và SD8. Đây chính là nguyên nhân tiềm năng gây ra xói cục bộ nghiêm trọng hơn ở phía mũi kè.

Trường vận tốc trong hình 12 cho thấy dòng nghịch được sinh ra gần bờ kênh với dòng chảy tràn và các xoáy giữa hai kè khá mạnh (hình 12 - trên). Có thể đây là một nguyên nhân gây nên xói lở bờ gần chỗ tiếp giáp kè. Nhưng điều này không được quan sát thấy ở khu vực gần mũi kè (hình 12 - dưới). Tại cùng một thời điểm, một dòng xoáy hướng xuống được thể hiện ở phía trước của mũi kè thứ hai (hình 12). Điều này cũng có thể là nguyên nhân gây nên xói cục bộ tại mũi của kè thứ hai. Những đặc trưng này đã được khẳng định bằng việc xuất hiện một xoáy lớn gần tầng đáy như được chỉ ra trong hình 13. Hơn nữa, những sự tương đồng về phân bố vận tốc giữa các kết quả đo đạc và mô phỏng cũng được thể hiện trong hình 14 và hình 15.

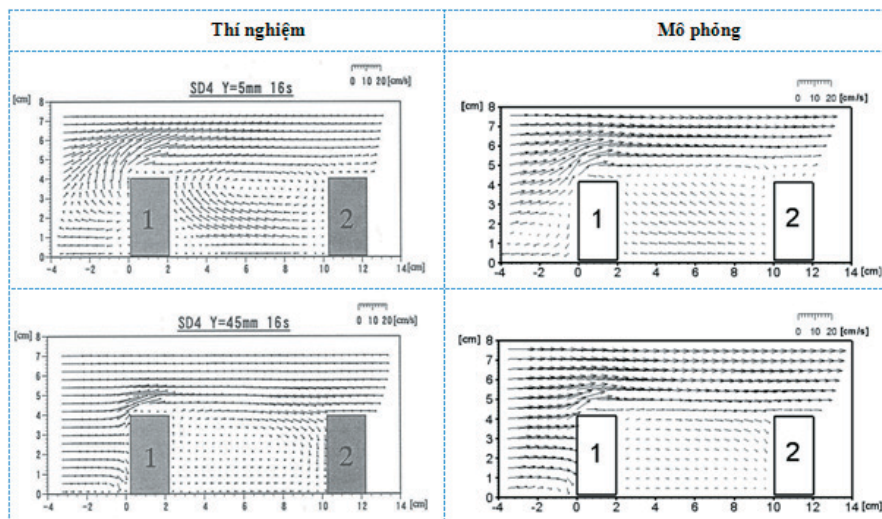


Hình 10. Trường véc tơ vận tốc trên mặt cắt Y.
(Các hình bên trái là kết quả đo đạc, bên phải là kết quả mô phỏng)

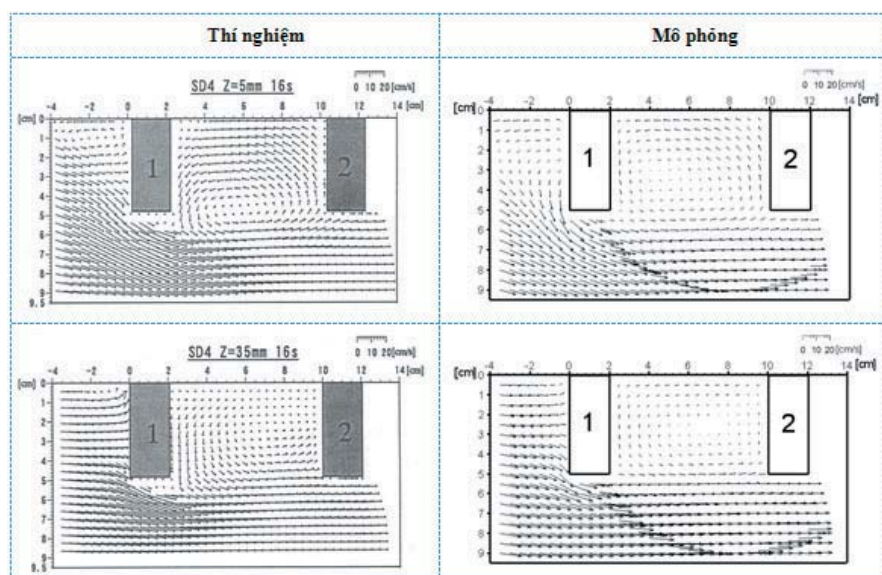




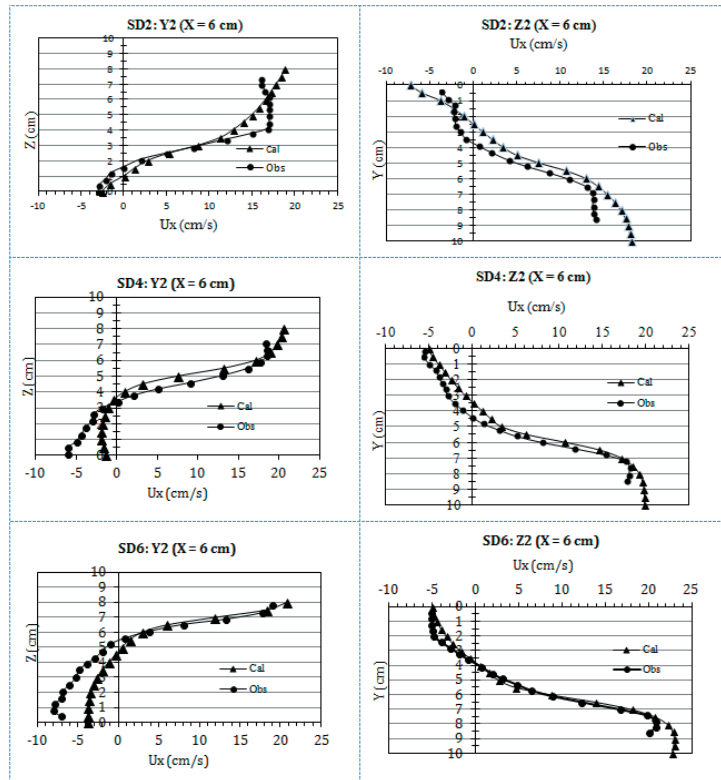
Hình 11. Trường véc tơ vận tốc trên mặt Z (Trái: các kết quả đo đạc; Phải: các kết quả mô phỏng)



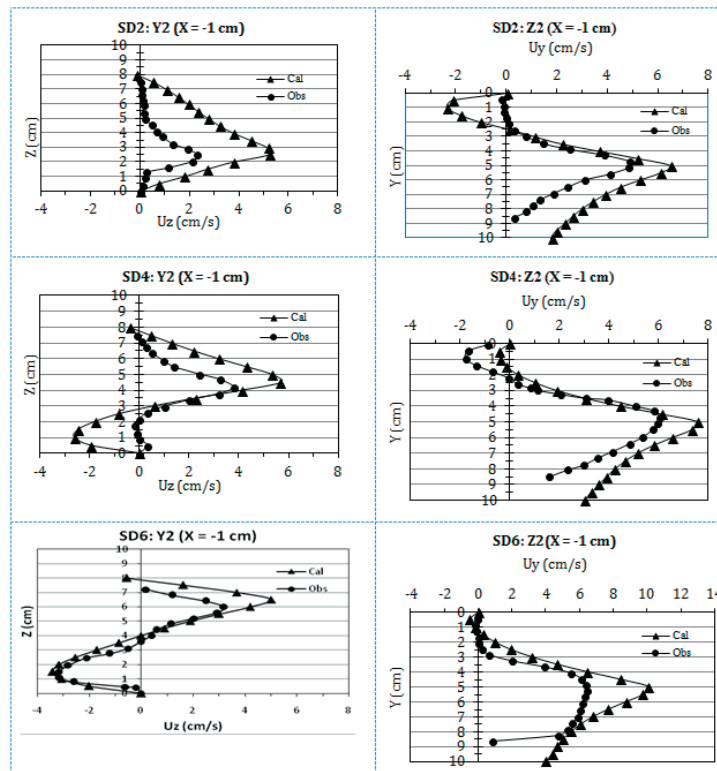
Hình 12. Trường véc tơ vận tốc trên mặt Y (Trái: các kết quả đo đạc; Phải: các kết quả mô phỏng)



Hình 13. Trường véc tơ vận tốc trên mặt Z (Trái: các kết quả đo đạc; Phải: các kết quả mô phỏng)



Hình 14. Phân bố vận tốc U_x . Trái: phân bố thẳng đứng tại $x=0,06$ m, $y=0,025$ m; Phải: phân bố hướng ngang tại $x=0,06$, $z=d/2$



Hình 15. Phân bố theo phương thẳng đứng của vận tốc U_z $x=-0,01$, $y=0,025$ (trái) và phân bố theo phương ngang của vận tốc U_y $x=-0,01$, $z=d/2$ (phải)

Tất cả những đặc trưng trên của cấu trúc dòng chảy đã được mô phỏng khá phù hợp với những kết quả đo đạc của Tominaga và các cộng sự (2000). Điều này khẳng định khả năng của mô hình số đã xây dựng trong mô phỏng đặc tính ba chiều của dòng chảy xung quanh các kè chảy ngập.

3. Kết luận và kiến nghị

Việc kiểm nghiệm mô hình 3D đã xây dựng với thí nghiệm trong đoạn sông thẳng có công trình kè hoàn lưu vuông góc với bờ và với thí nghiệm vật lý

của Tominaga cùng các cộng sự đối với hai kè (chảy ngập hoặc không ngập) bố trí liên tiếp nhau, kết quả cho thấy mô hình đã mô phỏng lại một cách khá phù hợp các đặc tính ba chiều của dòng chảy khi có tác động của các công trình.

Cần tiến hành các thí nghiệm vật lý, đo đạc trường dòng chảy 3D trong đoạn sông cong không có công trình và có bố trí các công trình hướng dòng để có số liệu tiếp tục xây dựng và kiểm nghiệm mô hình trường dòng chảy, bùn cát 3D xung quanh các công trình chỉnh trị sông.

Tài liệu tham khảo

1. Franke, R., and Rodi, W. (1993). "Calculation of vortex shedding past a square cylinder with various turbulence models." *Selected Papers from the 8th Int. Symp. on Turbulent Shear Flows, Munich, Germany, September 9–11, 1991*, F. Durst, et al., eds., Springer-Verlag, Berlin, pp. 189–204.
2. Hosoda, T., Sakurai, T., Kimura, I., and Muramoto, Y. (1999). "3-D computations of compound open channel flows with horizontal vortices and secondary currents by means of non-linear k-epsilon model." *J. Hydropower Hydr. Eng.*, 17(2), 87–96.
3. Kimura, I., and Hosoda, T. (2003). "A non-linear k-epsilon model with realizability for prediction of flows around bluff bodies." *Int. J. Numer. Methods Fluids*, 42, 813–837.
4. Kimura, I., Hosoda, T., Onda, S., and Tominaga, A. (2004). "3D numerical analysis of unsteady flow structures around inclined spur dikes by means of a non-linear k-epsilon model." *Shallow Flows, Jirka and Uijtewaald, eds., Selected Papers of the International Symposium on Shallow Flows, 16–18 June 2003, Delft, The Netherlands, Taylor & Francis Group, London*, 651–660.
5. Nagata N, Hosoda T, Nakato T và Muramoto Y (2005). "Three-dimensional numerical model for flow and bed deformation around river hydraulic structures." *J. of Hydraulic Engineering*, 131(12), 1074-1087.