

ĐO ĐẠC TÍNH TOÁN LƯU LƯỢNG DÒNG CHẢY BẰNG THIẾT BỊ SÓNG SIÊU ÂM THỦY LỰC KẾT HỢP MÔ HÌNH MÔ PHỎNG SỐ

Dương Văn Khánh

Trung tâm Mạng lưới khí tượng thủy văn và môi trường

Tóm tắt: *Tăng độ chính xác của đo đạc lưu lượng dòng chảy là vấn đề được rất nhiều nhà kỹ thuật thủy văn trên thế giới quan tâm nghiên cứu phát triển các công nghệ đo mới. Bài báo này, nhằm giới thiệu một phương pháp đo lưu lượng dòng chảy mới được nghiên cứu áp dụng ở Nhật Bản: xác định tốc độ dòng chảy trung bình mặt ngang bằng sử dụng sóng siêu âm thủy lực kết hợp với mô phỏng số sự phân bố tốc độ mặt ngang, gọi tắt là hệ thống ATENAS - hệ thống đo lưu lượng mới. Hệ thống ATENAS được nghiên cứu thử nghiệm, đo đạc liên tục, ổn định và kiểm chứng trên Sông Tone với độ rộng mặt ngang sông khoảng 500m, lưu lượng dòng chảy khoảng 4000m³/s trong mùa lũ (lưu lượng dòng chảy lớn, vận chuyển bùn cát đáy sông nhiều, gây sai số lớn trong xác định tốc độ dòng chảy phân bố tại mặt cắt ngang tuyến đo).*

Từ khóa: ATENAS, sông Tone, lưu lượng dòng chảy.

1. Đặt vấn đề

Nhằm tăng cường độ chính xác của giá trị đo và khả năng áp dụng cho những sông lớn, một số phương pháp đo đạc mới đã được phát triển, trong đó có phương pháp kỹ thuật kết hợp giữa mô phỏng số của phân bố lưu tốc dòng chảy với đo đạc lưu tốc trung bình dòng chảy theo mặt ngang tuyến đo lưu lượng, đó là Hệ thống đo lưu lượng ATENAS (Advanced Technology of Numerical simulation of velocity distribution and hydroAcoustics - Công nghệ phát triển mô phỏng số sự phân bố tốc độ và siêu âm thủy văn). Hệ thống này được lắp đặt đo đạc, kiểm chứng ở hạ lưu của sông Tone (có mặt cắt ngang tuyến đo lớn). Đo liên tục lưu lượng dòng chảy trong năm từ mùa khô sang mùa lũ (mực nước thấp nhất đến mực nước lũ). Độ chính xác được kiểm tra, xem xét ở các cấp mực nước khác nhau, áp dụng đo lưu lượng dòng chảy bằng phương pháp này đồng thời với đo bằng phương pháp truyền thống.

2. Một số tồn tại trong đo đạc dòng chảy hiện nay

Thông thường, đo dòng chảy rời rạc, không liên tục, giá trị lưu lượng dòng chảy được xác định bằng tổng các giá trị lưu lượng bộ phận mặt

ngang.

$$Q = \sum k_i V_i A_i \quad (1)$$

Trong đó: V_i Tốc độ dòng chảy bộ phận; k_i hệ số kiểm chứng, A_i diện tích bộ phận.

Khi đo lưu lượng bằng phương pháp đo phao nổi, kết quả đo đạc sẽ không cao do bị ảnh hưởng của dòng chảy rối (gây ra bởi địa hình đáy sông, công trình trên sông khác) và các yếu tố ảnh hưởng khác.

Nếu đo tốc độ dòng chảy mặt (bằng sóng radio, sóng siêu âm hoặc bằng thiết bị camera sử dụng để theo dõi sự di chuyển của phao) sẽ gặp khó khăn trong các điều kiện sau: Gió mạnh, mưa to hoặc có tuyết, sương mù; Tốc độ dòng chảy nhỏ.

Thêm vào nữa, các nhân tố kiểm chứng lại mang tính tương đối và không xác định được trong điều kiện hiện nay (Nhân tố kiểm chứng thay đổi phụ thuộc vào sự phân bố tốc độ tại mỗi vị trí đo và thay đổi theo các lớp dòng chảy), đặc biệt rất khó xác định tại các vị trí đo không thường xuyên hoặc khi gặp lũ lớn, hoặc bị ảnh hưởng thủy triều và địa hình đáy sông tại mặt cắt đo không đối xứng, thay đổi mạnh,....

Đo lưu lượng dòng chảy theo nguyên lý siêu âm Doppler bị hạn chế khi đo ở các sông có tốc

độ dòng chảy nhỏ và thực tế rất khó giám sát liên tục lưu lượng dòng chảy.

Đo lưu lượng dòng chảy bằng thiết bị đo HADCP (6), kết quả đo không cao do một số hạn chế kỹ thuật:

+) Xác định tốc độ ở những vị trí không đo đạc được trực tiếp;

+) Hạn chế của độ rộng sông (sông quá rộng đo đạc không đảm bảo chính xác);

+) Những vị trí có hiện tượng chảy rối, quản cục bộ kết quả đo không chính.

Một số vấn đề kỹ thuật đo đạc lưu lượng dòng chảy hiện nay cần đạt được:

- Đo liên tục tốc độ dòng chảy cục bộ với độ chính xác cao độc lập với các điều kiện tình trạng xung quanh vị trí đo;

- Phải xác định được nhân tố kiểm định tối ưu phản ánh được sự phân bố tốc độ tại các vị trí đo độc lập riêng rẽ.

3. Đo lưu lượng dòng chảy bằng công nghệ ATENAS

3.1. Đặc tính của kỹ thuật đo lưu lượng dòng chảy ATENAS

Để giải quyết 2 vấn đề trên và tăng độ chính xác trong đo lưu lượng dòng chảy, kỹ thuật ATENAS được sử dụng: đo tốc độ dòng chảy liên tục với độ chính xác cao, thậm chí ở những sông có mặt cắt ngang lớn, không phụ thuộc vào các điều kiện hiện trạng xung quanh vị trí đo tác động và “hệ số điều chỉnh tối ưu” được xác định bằng kỹ thuật số.

a) Đo lưu lượng dòng chảy ở sông lớn

Phương pháp này, tốc độ dòng chảy trung bình mặt ngang sông được xác định từ những sự khác nhau (sai phân hóa) của thời gian truyền sóng âm di chuyển theo các hướng siêng ngang qua mặt cắt ở thượng và hạ lưu mặt cắt tuyến đo phù hợp với phân bố tốc độ dòng chảy (Tốc độ dòng chảy không bị ảnh hưởng của nhiệt độ nước, độ mặn - nhân tố làm thay đổi tốc độ truyền của âm thanh trong nước).

Nhân tố chính hấp thụ và làm tổn thất, suy giảm các sóng âm truyền trong nước từ đầu dò phát ra là phù sa, chất lơ lửng. Để làm giảm tổn thất này, tần số sóng âm phải thấp. Đầu dò sóng

âm tần số 28 kHz cho kết quả đo tốt hơn (sự suy giảm tín hiệu của sóng âm tần số 28 kHz sẽ giảm đi 1/3 so với thiết bị sóng âm tần số 20 kHz, khi phù sa lơ lửng chất rắn có kích thước tới 20 μm) được sử dụng để thay thế các thiết bị tần số thông thường khoảng từ 100 - 20 kHz. Sự hấp thụ của các sóng siêu âm tần số thấp là rất nhỏ không đáng kể trong khoảng cách dưới 1000 m.

b) Xác định hệ số hiệu chỉnh tối ưu bằng kỹ thuật mô phỏng số

Phương pháp kiểm chứng SIMK sử dụng phương trình Reynolds đối với chất lỏng không nén được, phương pháp sai phân phù hợp linh hoạt cho các lớp nút lưới tính toán sông ngòi.

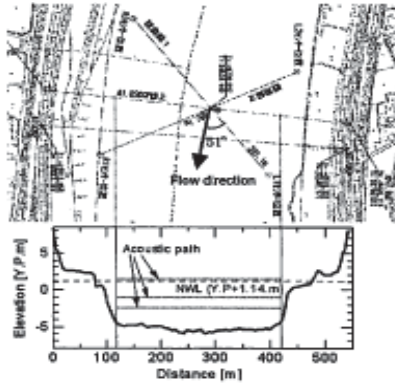
Yếu tố hiệu chuẩn (SIMK) là sự mô phỏng chế độ dòng chảy ở các mực nước khác nhau, có độ chính xác $\pm 3\%$ [5]. Yếu tố hiệu chuẩn là một hàm của mực nước (w), và chiều cao của đường âm (d); $k(d, w)$.

3.2. Kiểm chứng hiện trường độ chính xác của phép đo lưu lượng cho sông lớn

Sử dụng ATENAS để kiểm chứng đo dòng chảy từ dòng chảy nhỏ tới dòng chảy lũ lớn (ngập lụt), ở Sawara dọc theo hạ lưu sông Tone (lưu vực sông rộng 41 km tính từ cửa sông). Các đầu dò siêu âm được gắn kết bằng các cọc PHC đặt gần hai bờ sông. Chiều dài đường âm là 381 m. Các lớp đường sóng siêu âm được minh họa trong hình 1. Vận tốc dòng chảy được đo 10 giây/lần và lưu lượng được xuất 5 phút/lần, đo trong khu vực về phía hạ lưu 1 km và thượng nguồn 2 km tính từ vị trí đo, theo đường đi chuyển tính trung bình.

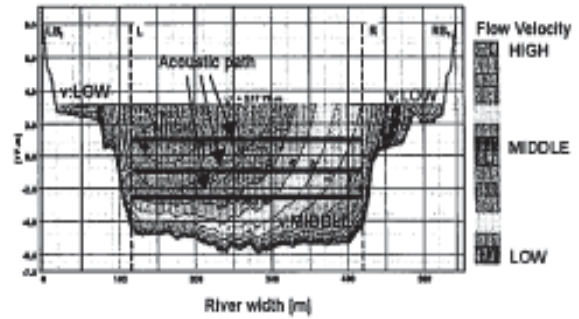
Yếu tố hiệu chuẩn là một hàm của mực nước được xác định theo phương pháp hiệu chuẩn SIMK trước khi cài đặt. Trong đó vận tốc dòng chảy được mô phỏng chi tiết trong hình 2. Hệ số nhám của lòng sông theo chiều cao kênh nước được lựa chọn dựa trên giá trị tham khảo của Cơ quan khảo sát địa chất Hoa Kỳ.

Quan trắc bằng cách di chuyển thiết bị đo ngang sông (thiết bị đặt trên tàu) để thu được vận tốc dòng chảy trung bình đo dọc theo đường sóng siêu âm và yếu tố hiệu chuẩn. Các thông số của thiết bị đo được chỉ ra trong bảng 1.



Hình 1. Lớp thẳng đứng và nằm ngang của đường sóng siêu âm ở trạm Sawara trên sông Tone, Nhật Bản.

Vận tốc dòng chảy tương đối được đo ở lớp chủ lưu phân bố tốc độ. Độ lớn vận tốc dòng chảy được hiệu chỉnh bởi tốc độ dịch chuyển tàu

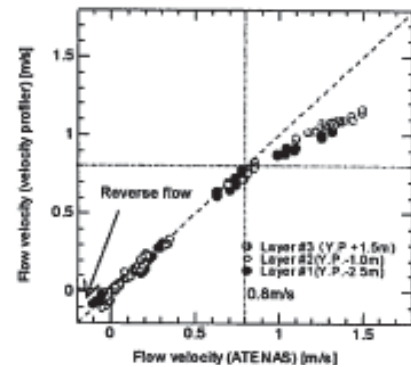


Hình 2. Mô phỏng sự phân bố tốc độ dòng chảy mặt ngang của Sông Tone (Nhật Bản) xác định bởi phương pháp kiểm chứng SIMK

theo bởi các vết sóng siêu âm ở dưới đáy tàu trên cơ sở giả định rằng lòng sông đứng yên (tính dừng).

Bảng 1. Đặc trưng của lớp tốc độ

Loại	Đặc trưng	
Dạng	Workhorse (RD Instruments) ADCP	RioGrand - RD Instruments) ADCP
Tần số	1200kHz	
Độ rộng Cell	50cm	20cm
Sự hiệu chuẩn tốc độ thuyền	Bottom tracking Các dấu vết siêu âm ở đáy	
Phần mềm	Winriver	
Giới hạn tốc độ dòng chảy	Thấp và trung bình	Cao



Hình 3. So sánh giữa trị số tốc độ do ATENAS tính ra và tốc độ dòng chảy trong lớp phân bố tại mỗi độ cao đo đạc dòng chảy

3.3 Vận tốc dòng chảy trung bình dọc theo đường sóng siêu âm qua mặt cắt ngang sông

a) So sánh với sự phân bố vận tốc dòng chảy tại mặt ngang

So sánh vận tốc dòng chảy trung bình mặt ngang sông ở độ cao đo khác nhau đo bằng ATENAS và sự phân bố vận tốc dòng chảy tại mỗi điểm đo trên mặt ngang được minh họa tại hình 3. Các giá trị được cho là tốt trong phạm vi đo từ -0,1 (dòng chảy ngược) - 0,8 m/s.

ATENAS thông qua siêu âm tần số thấp và xử lý tín hiệu cho các tín hiệu bước sóng dài có thể đo vận tốc dòng chảy tương tự hoặc ở mức

độ chính xác cao hơn so với những quan trắc sự dịch chuyển của sự phân bố vận tốc dòng chảy tại mặt ngang. Tuy nhiên, Kết quả sẽ thiên thấp trong khoảng phân bố vận tốc dòng chảy tại mặt ngang nằm trong phạm vi lớn hơn 0,8 m/s (theo Kimizu và các cộng sự [4]).

b) Xem xét việc ước lượng thấp của sự phân bố vận tốc dòng chảy tại mặt ngang

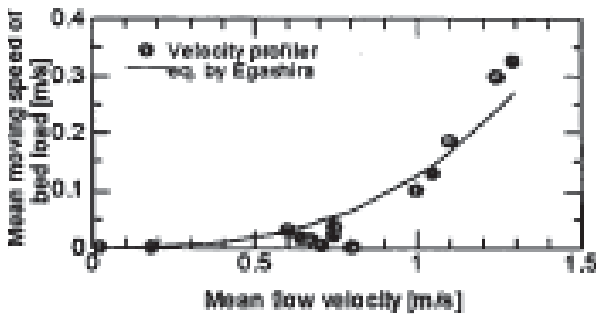
Nguyên nhân ước lượng thấp tốc độ chuyển động của bùn cát đáy là do số liệu của lớp phân bố vận tốc dòng chảy tại mặt ngang đo được.

Véc tơ vận tốc tàu ngược hướng véc tơ dòng chảy (giả định tương ứng với tốc độ di chuyển

của bùn cát đáy). Tốc độ di chuyển trung bình của của bùn cát đáy được ước tính bằng trung bình thành phần vận tốc tàu dọc theo đường dịch chuyển. Các giá trị tốc độ bùn cát đáy ước tính được so sánh với tốc độ dòng chảy trung bình.

Kết quả tính toán dựa vào quan hệ giữa tốc độ dòng chảy trung bình với tốc độ trung bình chuyển động bùn cát đáy tại hình 4. Phân bố lớp tốc độ dòng chảy lớn trong sông thường bị ảnh hưởng đáng kể bởi sự di chuyển của bùn cát đáy. Trường hợp này, sai số đo có thể khắc phục bằng sử dụng một GPS để xác định chuyển động bùn cát đáy để hiệu chỉnh vận tốc thuyền đo.

ATENAS không bị ảnh hưởng bởi chuyển động bùn cát đáy, độ lệch vận tốc dòng chảy hiển thị ảnh hưởng trên những quan trắc di chuyển thiết bị đo trên mặt ngang của vận tốc gây ra bởi chuyển động bùn cát đáy. Tốc độ di chuyển trung bình của tải trọng đáy có thể dễ dàng ước tính nếu ATENAS được kết hợp với một profile vận tốc đường đi dưới đáy.



Hình 4. Tốc độ di chuyển bùn cát đáy được xác định dựa vào sự phân bố tốc độ

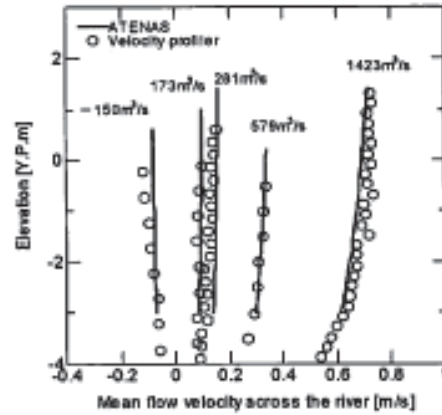
Kiểm tra tính phù hợp của yếu tố hiệu chuẩn được xác định dựa vào sự phân bố lớp vận tốc thẳng đứng của các phép đo mô phỏng và thực tế đo (profile thẳng đứng của vận tốc dòng chảy, $V(d)$, được xác định dựa vào công thức

$$V(d) = \frac{Q}{k(d, w) \cdot A} \quad (2)$$

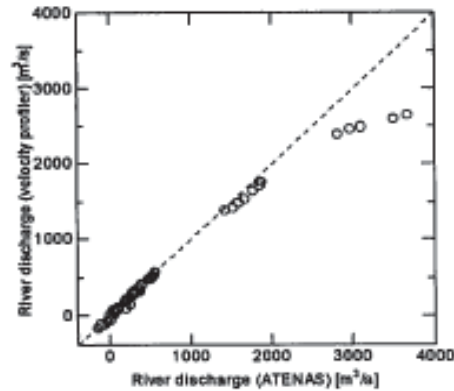
Với $k(d,w)$ là phân bố thẳng đứng của yếu tố hiệu chuẩn được xác định bằng phương pháp hiệu chuẩn SIMK; Q là lưu lượng đo bằng ATENAS và A là diện tích mặt cắt ngang.

Hình 5, chỉ ra sự phân bố lớp vận tốc thẳng

đứng tương đối tốt trong thực tế với lưu lượng từ -150 - 1400 m^3/s , không bị ảnh hưởng bởi sự di chuyển của bùn cát đáy (SIMK đã được dùng để mô phỏng sự phân bố vận tốc dòng chảy trong kênh sông với độ chính xác cao).



Hình 5. Sự phân bố tốc độ dòng chảy thẳng đứng theo mặt cắt ngang tuyến đo tại sông Tone



Hình 6. So sánh đo lưu lượng dòng chảy bằng phương pháp ATENAS và phương đo bằng sự phân bố vận tốc (profile) trên mặt ngang.

3.4. Sai số phép đo lưu lượng của ATENAS

Trong các phép đo thu được sự phân bố lớp vận tốc thẳng đứng (phương pháp đo kéo thuyền mang thiết bị đo qua sông), các vận tốc dòng chảy tại những khu vực không đo được lớp sát mặt nước, dưới lòng sông và cả hai bờ sông được ước tính bằng phương pháp ngoại suy.

Đo lưu lượng bằng ATENAS, các trường vận tốc của ATENAS gần như chính xác giống như trường phân bố vận tốc tại mặt ngang (phương pháp đo kéo thuyền mang thiết bị đo qua sông) độc lập với hướng dòng chảy (Hình 6).

Đó đó, bằng cách kết hợp siêu âm tần số thấp, xử lý tín hiệu thích hợp cho các tín hiệu bước

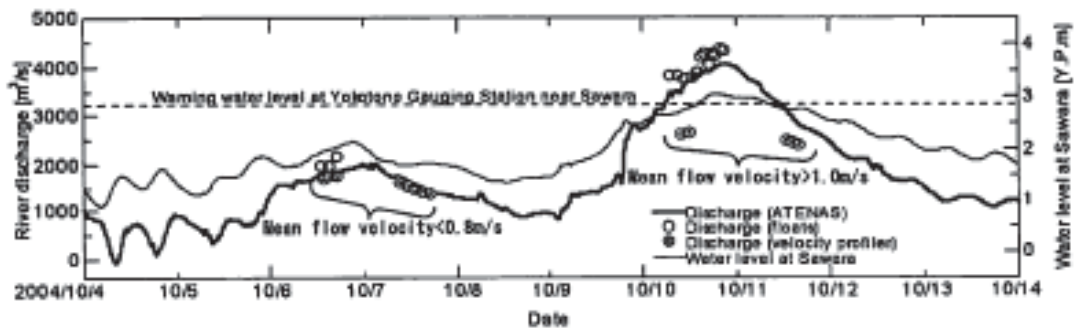
sóng dài và mô phỏng số phân bố vận tốc dòng chảy, lưu lượng sông có thể được đo liên tục dòng chảy với mức độ chính xác cao ngay cả trong các sông lớn.

Sai số phép đo lưu lượng ước tính cho ATENAS cho vận tốc dòng chảy là +/- 0.6%. Sự sai lệch tương đối tương đối trong việc xác định yếu tố hiệu chuẩn là khoảng +/- 3%, dựa trên các kết quả của phương pháp hiệu chuẩn SIMK trong quá khứ. Sự sai lệch tương đối trong tính

toán lưu lượng dòng chảy mặt cắt ngang là khoảng +/- 1% dựa trên độ chính xác khảo sát thực tế ngoài sông.

4. Kiểm chứng thực tế đo lưu lượng mùa lũ ở Sawara trên sông Tone vào thời gian mưa rất lớn chịu ảnh hưởng của cơn bão số 22

Các kết quả đo lưu lượng tự động liên tục bằng ATENAS trong giai đoạn này cho thấy ATENAS đã đo lưu lượng liên tục từ gần 0 đến hơn 4000 m³/s mà không có hỏng hóc (Hình 7).



Hình 7. Mức nước và lưu lượng dòng chảy đo được bằng ATENAS tại Sawara trên sông Tone trong điều kiện mưa lớn ảnh hưởng của cơn bão ngày 22 tháng 10 năm 2004.

5. Kết luận

Đo lưu lượng bằng công nghệ ATENAS (kết hợp một mô phỏng số của phân bố vận tốc dòng chảy và phép đo vận tốc dòng chảy sử dụng sóng siêu âm tần số thấp) là giải pháp đo có độ chính xác cao.

Sử dụng siêu âm tần số thấp trong phương pháp thời gian truyền siêu âm đã cải thiện hiệu suất truyền ở các sông có độ đục lớn (nhiều phù sa) và sử dụng thuật toán xử lý tín hiệu bổ sung cho siêu âm bước sóng dài cũng giúp cải thiện tính chính xác của phép đo thời gian truyền vận tốc. Vận tốc dòng chảy có thể được đo liên tục với độ chính xác cao hơn so với đo vận tốc dòng

chảy bằng phương pháp truyền thống (phương pháp đo ngang qua sông);

Hệ thống đo lưu lượng ATENAS đã được thử nghiệm thực tế trong một sông lớn trong điều kiện lũ và dòng chảy bình thường; đo được lưu lượng dòng chảy ở sông có dòng chảy ngược và lưu lượng lớn đến 4000 m³/s trong một sông lớn rộng khoảng 500 m. Độ chính xác của phép đo được đánh giá là tương tự hoặc cao hơn so với các công nghệ đo lưu lượng khác hiện nay;

Trong tương lai, cần nghiên cứu tiếp sử dụng ATENAS đo ở các sông có độ đục cao cũng như đo lưu lượng dòng chảy ở vùng cửa sông có sự xâm nhập mặn, ảnh hưởng triều mạnh.

Tài liệu tham khảo

1. Fukami, K., Amou, J., Ohte, M., and Yoshitani J. (2003), *Technical subjects and new developments toward accuracy improvement of river discharge observations*, Civil Engineering Journal, Vol.45, No.2, pp.22-29.
2. H. Nakagawa, M. On, M. Oda and S. Nishijima, river & Channel Flow Measurement Div., JFE Advantech Co., Ltd., Hyogo, Japan (2007), *Development of a discharge measure technique combined with measurement of mean flow velocity and numerical simulation of cross-sectional velocity distribution; field verification in a large river*, Journal of Hydro-science and Hydraulic Engi-

neering, Vol.25, No.1, May, 77-88.

3. ISO 6416 (2004), *Hydrometer - Measurement of discharge by the ultrasonic (acoustic) method*, Geneva, Switzerland.

4. Kimizu, A., Nihei, Y., and Mochizuki, K. (2005), *Comparison of flood discharge between measurements by floats and ADCP*, 60th JSCE Ann. Mtg., 2-257, pp.513-514. (in Japanese)

5. Kolling, C. (2004), *SIMK - Calibration of stream flow - Gauging stations in rivers and canals*, 5th Int. Conf. Innovation in Hydraulic Efficiency' Measurement (Lucerne), No. 11

6. Okada, S., Mori, A., Umino, S., Kon, T., and Yainada, T. (2005), *Discharge Observation at Turumi River Using H-ADCP Auto Scanning System*, *Advances in River Engineering*, Vol. 11, pp.243-248.

7. Simpson, M.R. (2001), *Discharge measurement using a broad-band acoustic Doppler current profiler*, United States Geological Survey Open-File Report 01-1, Denver, USA.

DETERMINING CROSS-SECTIONAL MEAN FLOW VELOCITY BY HYDROACOUSTICAL MEASUREMENT OF LOCAL VELOCITY IN CONJUNCTION WITH NUMERICAL SIMULATION OF VELOCITY DISTRIBUTION

Duong Van Khanh - Center for Meteorology, Hydrology and Environment

Abstract: *River discharge is a principal, and a significant hydrological quantity for river planning, management, and environmental conservation. To obtain precise measurements of discharge, techniques were developed for determining cross-sectional mean flow velocity by hydroacoustical measurement of local velocity in conjunction with numerical simulation of velocity distribution. This new discharge measurement system "ATENAS" was installed in the Tone River, and its measurement performance for a river 500m wide verified. The accuracy obtained is comparable to or better than that of the commonly used velocity profiler. Reverse flow discharge to 4.000 m³/s was continuously and stably measured by ATENAS, whereas estimated discharge obtained by floats was unstable during flooding. In the case of a high volume of discharge, the velocity profiler underestimated flow velocity. This was thought to be due to bed load motion.*

Key words: *ATENAS, Tone River, flow discharge.*

Ban Biên tập nhận bài: 17/04/2017

Ngày phản biện xong: 09/05/2017