

TÍNH TOÁN DÒNG Bùn CÁT VẬN CHUYỂN Dọc BỜ BIỂN

Đinh Văn Ưu, Trần Quang Tiến

Khoa Khí tượng Thủy văn & Hải dương học

Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐHQG Hà Nội

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Những mô hình tính toán dòng bùn cát vận chuyển dọc bờ hiện có đều được xây dựng theo hai hướng chính: dòng chảy và sóng. Mô hình dòng bùn cát do dòng chảy được sử dụng rộng rãi trong thủy văn lục địa, chủ yếu dựa trên quy luật phân bố dòng chảy hoặc ứng suất đáy. Mô hình tính dòng bùn cát do sóng dựa trên cơ sở sử dụng dòng năng lượng sóng tác động lên đới bờ theo các hướng khác nhau, chủ yếu theo hướng dọc bờ.

Những mô hình hiện đại tính dòng bùn cát được xây dựng trên cơ sở tổng hợp những ảnh hưởng của sóng và dòng chảy, trong đó phần lớn công thức tính vận chuyển bùn cát được phân tích thành dòng đáy (S_b) và dòng lơ lửng (S_s). Tuy nhiên trong các mô hình đã và đang sử dụng đều có những nhận tố quan trọng chưa được kể đến, hoặc chỉ mới đề cập tới một vài khía cạnh riêng của chúng.

Để lựa chọn một mô hình tính dòng bồi tích, ứng dụng cho các vùng ven bờ hiện nay, chúng tôi đã tiến hành phân tích lý thuyết và thử nghiệm áp dụng các mô hình thông dụng nhất ở nước ngoài, từ đó đề xuất một mô hình thích ứng vào điều kiện nước ta với các điều kiện gió, địa hình và chất đáy khác nhau sẽ cho phép đánh giá khả năng áp dụng của mô hình được lựa chọn.

II. MÔ HÌNH TÍNH TOÁN DÒNG BỒI TÍCH

Mô hình của Trung tâm kỹ thuật công trình bờ của Mỹ (CERC), được xây dựng trên cơ sở sử dụng năng lượng sóng [1]. Cũng như các phương pháp tương tự, dòng bùn cát vận chuyển dọc bờ được tính theo mối tương quan giữa chúng và năng lượng sóng.

$$I_1 = K_1 P_1 \quad (1)$$

K_1 là hệ số tỷ lệ phi thứ nguyên, giá trị của hệ số K_1 theo CERC có giá trị bằng 0.39 với giả định rằng P_1 tính theo độ cao sóng đặc trưng - P_1 không phải là năng lượng sóng mà tỷ lệ với năng lượng sóng mà thôi. Thông thường P_1 được tính theo năng lượng sóng tại đới sóng đổ:

$$P_1 = (EC_n)_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (2)$$

Trong đó $(EC_n)_b$ là dòng năng lượng sóng trong đới sóng đổ, α_b là góc sóng tại giới hạn ngoài đới sóng đổ.

Các công thức trên khá thuận lợi cho công việc tính toán, song cũng có những hạn chế. Trước hết, đây là dòng bùn cát trung bình nên không chỉ ra được sự phân bố theo thủy trực vuông góc với hướng bờ vì vậy khó sử dụng khi nghiên cứu tác động của dòng. Mặt khác, các công thức trên không kể đến tính chất của vật liệu đáy, như chính các tác giả đã nhận xét [2], chúng chỉ phù hợp cho các bãi cát có đường kính hạt cỡ từ 0,175 đến 1mm. Ngoài ra, độ dốc bờ và kích thước vùng sóng đổ không được

đưa vào tính toán. Các công thức trên sẽ khó hiệu nghiệm khi bên cạnh sóng còn có các lực tác động khác như dòng chảy gió, dòng triều, dòng sông có khả năng vận chuyển bùn cát.

Nghiên cứu cơ chế vận chuyển bùn cát cho thấy rằng các hạt vật chất sẽ ở nguyên vị trí nếu như tốc độ dòng sát đáy U_b (không phụ thuộc vào nguồn gốc) nhỏ hơn một giá trị tới hạn U_{bcr} : $U_b < U_{bcr}$. Các phân tử sẽ chuyển động với tốc độ U_b nếu như $U_b > U_{bcr}$. Về mặt ứng suất, tốc độ tới hạn U_{bcr} tương ứng với ứng suất tới hạn τ_{cr} . Như vậy dòng bùn cát vận chuyển phụ thuộc vào ứng suất dòng tác động lên đáy.

Công thức tính dòng bùn cát phụ thuộc vào ứng suất đáy đã được sử dụng từ lâu thông qua các công thức dạng Piter-Mayer và Kalinske-Frijnkink [2]:

$$Q_{sb} = \frac{8}{\sqrt{\rho}} (\tau_0 - \tau_{cr})^{3/2} \quad (3)$$

Để dẫn đến các công thức tính toán thực tế, các tác giả đều thống nhất cho rằng ứng suất đáy bao gồm hai thành phần: ứng suất sóng và ứng suất dòng. Theo Bijker thì ứng suất trung bình có thể tính theo công thức [2]:

$$\bar{\tau}_{cs} = \tau_c \left[1 + \frac{1}{2} \left(\xi \frac{\bar{U}_b}{V} \right)^2 \right] \quad (4)$$

trong đó: $\tau_c = \rho K^2 V_t^2 = \rho g \frac{V_t^2}{C^2}$, $\xi = \frac{\rho KC}{\sqrt{\rho}} = \frac{C \sqrt{f_s}}{\sqrt{2g}}$, f_s : hệ số ma sát sóng, C : hệ số Chezy, có thể tính thông qua ứng suất đáy và kích thước hạt, V : tốc độ trung bình, μ : nhân tố địa hình đáy, $\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$, ρ_s - mật độ của hạt, ρ - mật độ nước.

Trong công thức tính ứng suất sóng $\tau_s = \frac{1}{2} f_s U_b^2$, U_b tốc độ tức thời của dòng đáy.

$$\bar{U}_b = \frac{\gamma}{2} \sqrt{gh}, \gamma = \frac{H}{h}, H - \text{độ cao sóng và } h - \text{độ sâu.}$$

Sử dụng công thức (3), trong điều kiện thực tế tỷ số $(\tau_{cr} / \tau_0) \ll 1$, ta có:

$$Q_{sb} = \frac{k}{\sqrt{\rho}} \tau (\tau - \tau_{cr})^{1/2} \quad (5)$$

Từ công thức (4) ta có:

$$\tau = \tau_c + \frac{1}{2} \tau_c \frac{\xi^2 U_b^2}{V^2}$$

Với $\tau_c = \rho C_f V^2$, $\xi^2 = \frac{C^2 f_s}{2g}$ và $U_b^2 = \frac{\gamma^2}{4} gh$ ta có thể biến đổi về dạng

$$\tau = \rho C_f \left[V^2 + \frac{0,25 k_f}{4} \gamma^2 gh \right]$$

trong đó

$$K_f = \frac{f}{C_f}$$

Như vậy

$$\tau - \tau_{cr} = \rho C_f (V^2 - V_{cr}^2) \quad \text{và}$$

$$Q_{sb} = K\rho(C_f^{3/2}) \left[V^2 + \frac{K_f}{16} \gamma^2 gh \right] (V^2 - V_{cr}^2)^{1/2} \quad (6)$$

Trong khi tính toán đòi hỏi các giá trị hệ số ma sát C_f và vận tốc tới hạn V_{cr} . Để tính toán có thể sử dụng các công thức sau [4]:

$$\tau = \frac{\lambda}{8} \rho V^2 \text{ hệ số } \lambda \text{ có thể tính theo công thức Nicuratzte:}$$

$$\lambda = \frac{1}{\left(21g \frac{k}{k_s} + 1,74 \right)^2}$$

trong đó k và k_s có thứ nguyên độ dài, k tỷ lệ với độ cao của sóng đáy và k_s tỷ lệ với đường kính hạt D .

Vận tốc tới hạn V_{cr} xác định theo công thức Rance:

$$V_{cr} \begin{cases} 26,3 + 7,4D \dots D \geq 0,5mm \\ 14 + 32D \dots 0,5mm > D > 0,03mm \end{cases}$$

Để tính số Chezy, sử dụng trong công thức tính ứng suất và hệ số ma sát chúng ta áp dụng công thức của Bonnefille:

$$C = 21 \left(\frac{d}{D} \right)^{1/6} \text{ trong đó } d - \text{độ dày của lớp nước chuyển động, có thể lấy bằng độ}$$

dày của lớp biên đáy, D - đường kính hạt. Thông thường người ta lấy d bằng một nửa độ cao lớp sóng đáy: $d = (1/2)h$. Hệ số ma sát có dạng:

$$C_f = \frac{g}{(21)^2} \left(\frac{D}{d} \right)^{1/3}$$

Như vậy có thể cho phép tính toán dòng bồi tích đáy theo các đặc trưng sóng và dòng chảy trong đới ven bờ có tính đến cơ chế ứng suất và vận tốc tới hạn.

Việc sử dụng hiệu ứng suất đáy theo dạng Piter-Mayer đã góp phần khắc phục được các nhược điểm của những phương pháp tính dòng bồi tích hiện có, chúng cho phép đánh giá khả năng vận chuyển vật chất do hiệu ứng tổng của sóng và dòng chảy ven. Tuy vậy trong mô hình này dòng vật chất lơ lửng vẫn chưa được tính đến.

Để khắc phục nhược điểm của các mô hình nêu trên chúng tôi tiến hành kết hợp phần tính toán dòng vật chất lơ lửng trong mô hình của Bijker [2] và mô hình cải tiến (6), cho phép tính đến một cách đầy đủ và chính xác các thành phần của dòng bồi tích.

Theo Bijker thì tương quan giữa dòng vật chất vận chuyển sát đáy và dòng lơ lửng có dạng:

$$\frac{Q_{ss}}{Q_{sb}} = 1,83Q \quad (7)$$

trong đó: $Q = I_1 \ln \left(\frac{33h}{r} \right) + I_2$ với I_1 và I_2 là hàm của z_* và tỷ số A :

$$z_* = \frac{w}{\chi V_*}, w - \text{vận tốc rơi của hạt trong nước, } \chi = 0,4 \text{ hằng số Carman,}$$

$$V_* = \frac{V}{C} \sqrt{g} = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}, \quad A = \frac{r}{h}$$

Việc kết hợp này được tiến hành trên cơ sở cho rằng dòng bồi tích Q_{sb} tính theo công thức (6) chính là dòng bồi tích đáy, tỷ lệ giữa dòng đáy và dòng lơ lửng được tính theo công thức (7).

Dòng bồi tích tổng cộng sẽ là :

$$Q_t = Q_{sb}(1 + 1,83Q) \quad (8)$$

Dòng Q_{sb} này sẽ chính xác hơn dòng Q_{sb} được tính theo Bijker vì có kể đến ảnh hưởng của ứng suất tới hạn, mặt khác có thể sử dụng phân bố vận tốc dòng theo công thức chính xác hơn.

Nếu kể đến ảnh hưởng của chuyển động rối, sự phân bố vận tốc trong đối xứng đồ có thể tính được chính xác hơn theo công thức của Longuet-Higgins[3] phụ thuộc vào khoảng cách không thứ nguyên X:

$$V = (AX + B_1 X^{p_1}) V_0 \quad (9)$$

Trong đó A, B_1, p_1 - các hệ số phụ thuộc vào tỷ số giữa độ cao sóng và độ sâu: $\gamma = H_b / h_b$, góc sóng vào α_b , hệ số ma sát C_f và là độ dốc β .

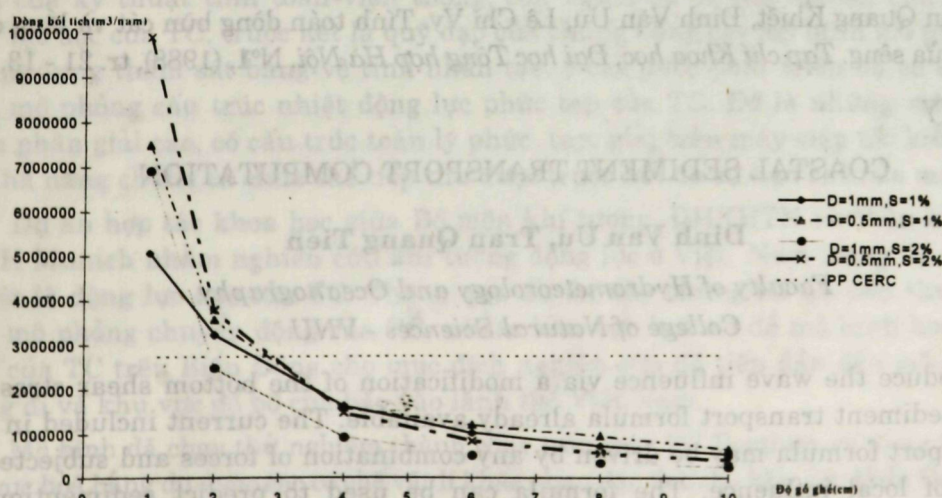
III. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

Để so sánh kết quả tính theo phương pháp ứng suất và phương pháp năng lượng, đánh giá các ảnh hưởng của độ dốc, độ gồ ghề và cấp hạt lên dòng bồi tích vận chuyển dọc bờ chúng tôi tiến hành thử nghiệm cho một hướng sóng. Các số liệu ban đầu của sóng được lấy theo 6 cấp độ cao tương ứng tần suất trình bày trong bảng 1.

Bảng 1: Tần suất độ cao sóng sử dụng trong tính toán

H(m)	0.75	1.50	2.50	3.50	5.00	6.00
P(%)	12.96	23.56	6.65	0.96	0.09	0.01

Kết quả tính toán theo mô hình trên với các đặc trưng cấp hạt, độ dốc bờ và độ gồ ghề khác nhau được thể hiện trên hình 1 và bảng 2. Hướng sóng lấy bằng 10° so với đường bờ.



Hình 1: So sánh kết quả tính theo phương pháp ứng suất và phương pháp năng lượng

Bảng 2: Kết quả tính dòng bồi tích ($m^3/năm$) theo độ gỗ ghề (r), đường kính hạt (D) và độ dốc bờ (S).

r (cm)	1	2	4	6	8	10
$D=1.0$ mm, $S=1\%$	5064047	3228219	1619220	1015115	0716749	0539490
$D=0.5$ mm, $S=1\%$	7487517	3565885	1568580	1190537	0940801	0648594
$D=1.0$ mm, $S=2\%$	6924632	2481266	0919322	0513566	0338683	0243551
$D=0.5$ mm, $S=2\%$	9914738	3785340	1462491	0828971	0550521	0397415
Phương pháp năng lượng CERC	2737000	2737000	2737000	2737000	2737000	2737000

So sánh các kết quả cho thấy rằng, phương pháp CERC cho ta các giá trị dòng bồi tích tương ứng với điều kiện độ gỗ ghề từ 2cm đến 3cm. Với độ gỗ ghề thấp hơn, lượng bồi tích vận chuyển tăng lên và độ gỗ ghề cao cho lượng bồi tích nhỏ. Cùng một độ dốc, lượng bùn cát vận chuyển nhiều khi kích thước hạt bé, điều này nói lên ảnh hưởng của dòng lơ lửng cũng như giá trị tới hạn của vận tốc và ứng suất khởi đầu. Khi độ gỗ ghề nhỏ, dòng bồi tích lớn khi độ dốc lớn. Ngược lại, khi độ gỗ ghề lớn thì dòng bồi tích lớn khi độ dốc nhỏ.

Bên cạnh dòng bồi tích vận chuyển trong đới sóng đổ, trị số dòng chảy sử dụng trong công thức (6) có thể do nhiều nguồn gốc khác nhau như sóng, triều, dòng sông... nên tính được các ảnh hưởng của điều kiện địa hình, trầm tích cụ thể. Như vậy, mô hình chúng tôi đưa ra mang tính tổng quát hơn, có thể sử dụng để tính dòng bồi tích vận chuyển tại các kênh, lạch, luồng tàu nơi không có hiện tượng sóng đổ và trong các tính toán biến đổi đường bờ nói chung.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Coastal Engineering Research Center. Shore Protection Manual. *US Army Corps of Engineers*, Vol I, IV ed., Washington, DC, 1984.
2. Harbor and beach problems. Coastal Engineering Group, *Delf University of Technology, Delf*, The Netherlands 1988.
3. P.D.Komar Beach sand transport. *Distribution an total drift. J. of Waterway, port, coastal and ocean division*, Vol 103, WW2, (1977), pp. 225 - 239.
4. Nguyễn Quang Khiết, Đinh Văn Ưu, Lê Chí Vy. Tính toán dòng bùn cát và lắng đọng vùng cửa sông. *Tạp chí Khoa học, Đại học Tổng hợp Hà Nội*, N°1, (1988), tr. 21 - 13.

Summary

COASTAL SEDIMENT TRANSPORT COMPUTATION

Đinh Văn Ưu, Trần Quang Tiến

Faculty of Hydrometeorology and Oceanography
College of Natural Sciences - VNU

Introduce the wave influence via a modification of the bottom shear stress in the total sediment transport formula already available. The current included in bed load transport formula may be driven by any combination of forces and subjected to all sorts of local influence. The formula can be used to predict sedimentation in shipping channel's in which there are no breaking waves.