

NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN SẠT LỞ BỜ SÔNG TIỀN ĐOẠN QUA HUYỆN LONG HỒ TỈNH VINH LONG BẰNG MÔ HÌNH TOÁN

Lưu Kiến Chính - Viện Khí tượng Thủy văn Hải văn và Môi trường Tp. HCM
Nguyễn Kỳ Phùng - Sở Khoa học và Công nghệ Tp. HCM

Bài báo trình bày một số kết quả nghiên cứu sạt lở bờ sông Tiền bằng mô hình toán. Trong nghiên cứu, các tác giả đã sử dụng mô hình tính toán diễn biến đáy hai chiều kết hợp với phần mềm Geo-Slope để tính toán độ ổn định của bờ sông Tiền, đoạn qua huyện Long Hồ tỉnh Vĩnh Long. Các kết quả đạt được trong nghiên cứu cho thấy bờ sông tại đoạn này có hệ số ổn định nhỏ và dễ xảy ra sạt lở. Mặc dù đây chỉ là bước đầu nghiên cứu, nhưng qua đó thấy được khả năng ứng dụng của phương pháp này vào công tác dự báo sạt lở bờ sông trên các sông khác ở Việt Nam.

1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, tình hình sạt lở bờ sông, bờ biển ở Đồng bằng sông Cửu Long đang có xu thế gia tăng gây ra những thiệt hại không nhỏ đến dân sinh, kinh tế. Trước thực tế đó, việc chủ động phòng chống và đưa ra được những giải pháp hữu hiệu để bảo vệ bờ sông, bờ biển thực sự cấp thiết. Theo đó, vấn đề nghiên cứu dự báo trên cơ sở ứng dụng những công nghệ mới, tiên tiến trên thế giới cần được đẩy mạnh.

Hiện nay, trên thế giới đang sử dụng bốn phương pháp chính để nghiên cứu diễn biến lòng sông, sạt lở bờ như: đo đạc hiện trường; mô hình vật lý; mô hình toán; viễn thám và GIS. Cả bốn phương pháp này là không thể thiếu và phải bổ trợ cho nhau nhằm đưa ra kết quả chính xác. Phương pháp hiện trường đòi hỏi nhiều năm quan trắc một cách hệ thống. Phương pháp mô hình vật lý là cơ sở để xây dựng các công thức kinh nghiệm, có khả năng mô phỏng chính xác nhất đoạn sông cần nghiên cứu, tuy nhiên đòi hỏi rất nhiều công sức và tiền của. Trong điều kiện của nước ta hiện nay, phương pháp mô hình toán kết hợp với đo đạc hiện trường một số điểm nhằm hiệu chỉnh và kiểm định là phù hợp nhất.

Vì vậy, nhóm tác giả đã thực hiện nghiên cứu này bằng cách sử dụng kết hợp mô hình Mike 21 và phần mềm Geo-Slope cùng với số liệu đo đạc thực tế để tính toán sạt lở bờ sông Tiền đoạn qua huyện Long Hồ, tỉnh Vĩnh Long.

2. Cơ sở lý thuyết

Trong mô hình Mike 21, tính toán dòng chảy và

chuyển tải phù sa dựa trên cơ sở của phương trình động lượng, liên tục và chuyển tải phù sa, có tính tới hàm số nguồn và diễn biến đáy nhờ gradient dòng bùn cát đáy và phương trình liên tục bùn cát đáy.

a. Lý thuyết dòng chảy 2 chiều

Hệ phương trình động lực học mô tả dòng chảy hai chiều đã được tích phân theo chiều sâu:

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS \quad (1)$$

Phương trình động lượng:

$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial y} = f\bar{u}h - gh\frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{hx}}{\rho_0} \quad (2)$$

$$- \frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{xy}) + h\bar{u}_s S$$

$$\frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} = f\bar{v}h - gh\frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{hy}}{\rho_0} \quad (3)$$

$$- \frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{yy}) + h\bar{v}_s S$$

Trong đó:

h: độ sâu dòng chảy [m] ($h = \eta + d$)

η : cao độ mực nước [m]

d: biến động của độ sâu theo thời gian [m]

$\bar{u}$, $\bar{v}$: vận tốc tại độ sâu trung bình theo phương x, y [m/s]

S: thông lượng nhập bên [$m^3/s/m^2$]

ρ : khối lượng riêng của nước [kg/m^3]

τ_{sx} , τ_{sy} : ứng suất ma sát bề mặt theo hai phương x, y [N/m^2]

τ_{bx} , τ_{by} : ứng suất ma sát đáy theo hai phương x, y [N/m^2]

Người đọc phản biện: TS. Nguyễn Kiên Dũng

f: thông số Coriolis

g: gia tốc trọng trường [m/s²]

A: hệ số nhớt rối theo phương ngang [m²/s]

Lý thuyết chuyển tải phù sa

Phương trình chuyển tải phù sa lơ lửng được mô tả như sau:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + u \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + v \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} = \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(h D_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(h D_y \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right) + Q_s C_s \frac{1}{h} + \frac{1}{h} \sum S \quad (4)$$

Trong đó:

$\bar{c}$: Nồng độ bùn cát trung bình theo chiều sâu [kg/m³].

u, v: Các vận tốc dòng chảy trung bình theo chiều sâu [m/s].

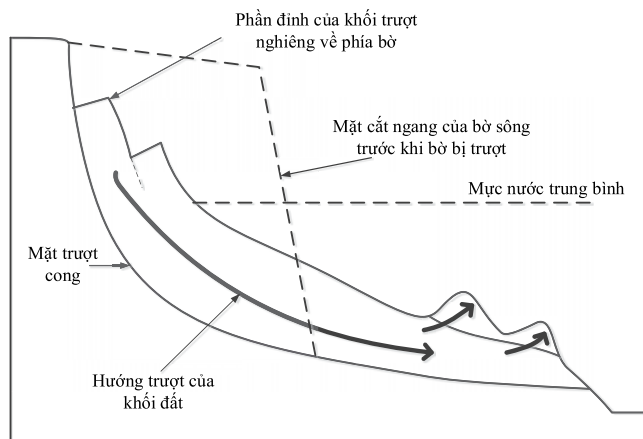
Dx, Dy: Hệ số khuếch tán theo phương x, y [m²/s].

h: Độ sâu của nước [m].

ΣS: Tổng lượng bồi xói [kg/m²/s].

QL: Lưu lượng nguồn trên mỗi đơn vị diện tích theo phương ngang [m³/s/m²].

CL: Nồng độ lưu lượng nguồn [kg/m³].



Hình 1. Cơ chế sạt lở trên cung trượt cong

Để tính toán sạt bờ, mô hình tiến hành tính toán độ ổn định của bờ theo hệ số an toàn FS (FS – Factor of Safety). Nếu FS < 1 thì bờ sông được đánh giá là mất ổn định và xảy ra sạt bờ, nếu FS ≥ 1 thì bờ sông ổn định và không xảy ra hiện tượng sạt bờ. FS tính theo công thức sau:

$$FS = \frac{\sum S_r}{\sum S_m} \quad (6)$$

Trong đó:

$\sum S_r$: tổng các lực(/moment) cản trở khối đất sụt xuống.

Bề dày của lớp đáy thứ j xác định theo công thức:

$$H_j^{new} = \frac{M_j}{\rho_{d,j}} = \frac{\sum_i m_{i,j}^{new}}{\rho_{d,j}} \quad (5)$$

H: Độ dày lớp đáy [m]

M: Tổng lượng trầm tích [kg/m²]

ρ_d : mật độ khô [kg/m³]

b. Lý thuyết tính toán sạt lở bờ

Trong phần mềm Geo-slope, độ ổn định của mái bờ và sự sụt bờ được tính toán dựa trên cơ chế trượt trên mặt cong. Vật liệu cấu trúc bờ di chuyển theo cả hai chiều: xuống dưới và hướng ra ngoài dọc theo mặt trượt cong, phổ biến cho những dạng bờ được cấu tạo bởi những vật liệu kết dính và mái bờ dốc tới 60° (so với mặt phẳng ngang). Sau khi trượt, phần đỉnh của khối trượt thường nghiêng hướng về phía bờ. Trượt xoay là kết quả của việc xói mòn chân bờ (xói đáy trong tính toán 2D) và khi áp suất nước trong đất bờ khá cao. Thường thường trượt xoay xảy ra vào khoảng thời gian lũ rút nhanh.

$\sum S_m$: tổng các lực(/moment) gây trượt tác dụng lên khối đất sắp bị trượt.

Hệ số ổn định của bờ được tính toán dựa trên cơ sở lý thuyết trạng thái cân bằng giới hạn theo cân bằng momen và cân bằng lực:

$$FS_m = \frac{\sum [c' \beta R + (N - u \beta) R \tan \phi']}{\sum Wx - \sum Nf + \sum kWe \pm \sum Dd \pm \sum Aa} \quad (7)$$

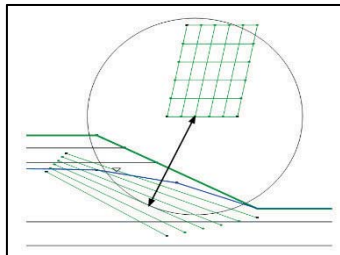
$$FS_f = \frac{\sum [c' \beta \cos \alpha + (N - u \beta) \tan \phi' \cos \alpha]}{\sum N \sin \alpha + \sum kW - \sum D \cos \omega \pm \sum A} \quad (8)$$

Trong đó:

FSm : hệ số ổn định theo cân bằng momen

FSf : hệ số ổn định theo cân bằng lực

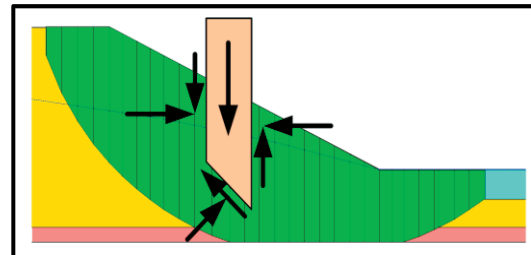
Ban đầu, phần mềm tiến hành tính một cung trượt bất kỳ ứng với một tâm trượt giả định (hình 2). Sau đó tiến hành chia cung trượt thành nhiều



Hình 2. Phần mềm xác định cung trượt bằng vị trí tâm và tiếp tuyến đi qua

phần nhỏ để phân tích lực tác dụng và khả năng cân bằng lực của các phần nhỏ đó.

Trên hình thể hiện các lực tác dụng lên một khối đất trong cung trượt tròn. Quá trình tính toán sẽ lặp lại cho đến khi chương trình tìm ra được cung trượt có hệ số an toàn thấp nhất.

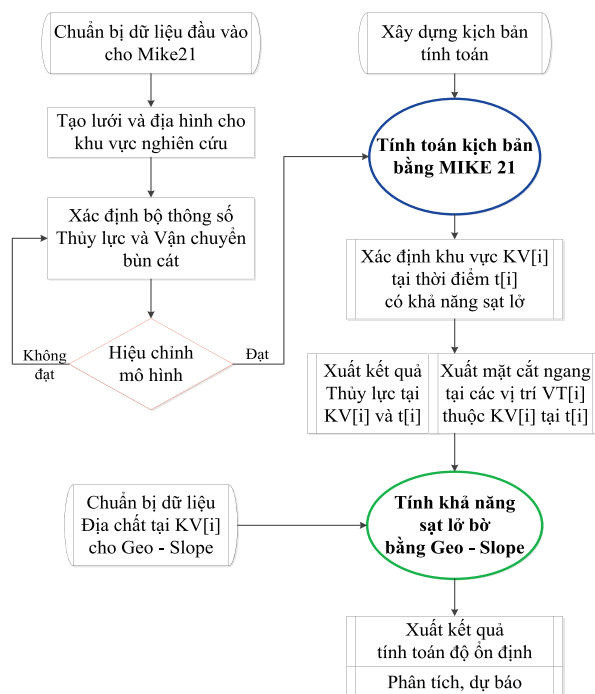


Hình 3. Sơ họa các lực tác dụng lên một phần nhỏ trong cung trượt

c. Trình tự tính toán sạt lở bờ sông

Nghiên cứu tính toán sạt lở bờ sông kết hợp hai

mô hình Mike 21 và phần mềm Geo-Slope được tiến hành theo quy trình như sơ đồ sau:

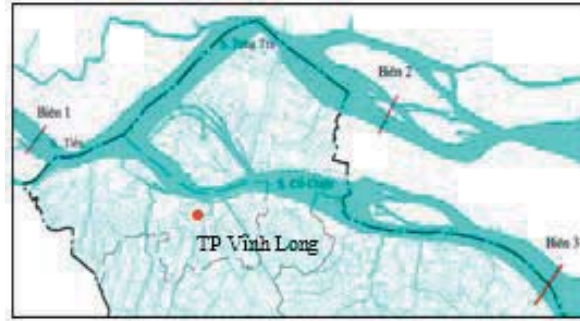


Hình 4. Sơ đồ tính toán sạt lở bờ sông bằng phương pháp kết hợp mô hình Mike21 và Geo-Slope

3. Tính toán sạt lở bờ sông Tiền đoạn qua huyện Long Hồ tỉnh Vĩnh Long

Khu vực nghiên cứu là đoạn sông Tiền thuộc

huyện Long Hồ, tỉnh Vĩnh Long với chiều dài 30 km được giới hạn bởi 3 biên hình 5.



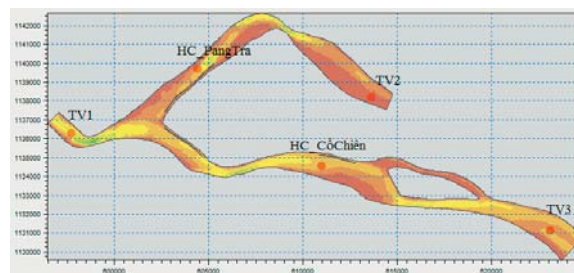
Hình 5. Giới hạn khu vực nghiên cứu

Lưới tính toán: Lưới tam giác phi cấu trúc gồm 26360 phần tử, 16171 nút, góc nhỏ nhất của các phần tử tam giác là 260, khoảng cách giữa các nút từ 5 m-20 m.

a. Hiệu chỉnh mô hình thủy lực và chuyển tải phù sa

Trước khi tiến hành mô phỏng, mô hình thủy lực

và chuyển tải phù sa đã được hiệu chỉnh kiểm tra từ ngày 29 - 31/12/2012. Các kết quả hiệu chỉnh và kiểm tra đạt được tương đối tốt và phù hợp với số liệu thực đo. Những vị trí được sử dụng để hiệu chỉnh kiểm tra được thể hiện trong “Error! Reference source not found”. và kết quả hiệu chỉnh kiểm tra được thể hiện trong bảng 1.



Hình 6. Bản đồ địa hình đáy vùng nghiên cứu và các vị trí được sử dụng để hiệu chỉnh kiểm tra mô hình

Bảng 1. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm tra tại 5 vị trí trong vùng tính

STT	Vị trí hiệu chỉnh	Kết quả hệ số NSE hiệu chỉnh		
		Mức nước	Lưu lượng	So sánh phù sa
1	TV1	0.99	0.92	0.81
2	TV2	0.95	0.83	0.90
3	TV3	0.98	0.89	0.76
4	HC_PangTra	0.95	0.83	0.82
5	HC_CoChien	0.93	0.85	0.8

b. Bộ dữ liệu tính toán

Thời gian mô phỏng: 3 tháng mùa lũ (từ 1/7/2010 – 1/10/2010) với bước thời gian 240s.

Hệ số nhám thay đổi tuyến tính theo độ sâu từ 0,012 – 0,055.

Điều kiện ban đầu: mực nước ban đầu: 0m, vận

tốc ban đầu: 0 m/s, nồng độ phù sa toàn miền theo 5 cấp hạt.

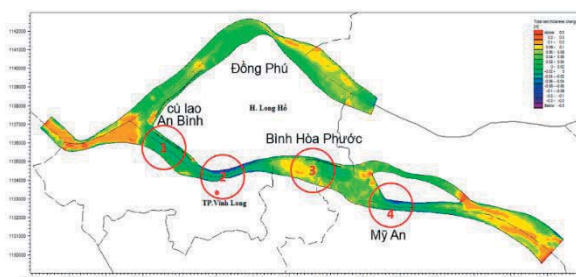
Điều kiện biên tính toán thủy lực và chuyển tải bùn cát: sử dụng số liệu dao động mực nước và số liệu nồng độ phù sa theo cấp phối hạt.

Dữ liệu phục vụ tính toán sạt bờ: các đặc tính địa chất tại vùng này được mô tả trong bảng 2.

Bảng 2. Mô tả địa chất các lớp đất

STT lớp	Chiều dày lớp (m)	Mô tả địa chất	Dung trọng γ (g/cm ³)	Lực kết dính C (kg/cm ²)	Góc ma sát trong φ (độ)	Độ rỗng e (%)
1	1.2	Cát lấp, trạng thái mềm bở	1.61	0.09	2°17	59.54
2	1	Bùn sét, màu xám đen, trạng thái chảy dẻo	1.58	0.05	1°08	63.63
3	8.3	Bùn sét màu xám xanh, xám đen đến màu đen. Trạng thái không dẻo	1.91	0.057	6°02	43.3
4	10.5	Cát hạt mịn màu xám đen, chứa ít sét, màu xám đen	1.65	0.067	1°43	60.36
5	24	Bùn sét, sét pha màu xám nâu đến màu đen	1.77	0.08	4°34	52.12

c. Kết quả và phân tích



Hình 7. Tốc độ bồi xói sau 3 tháng mùa lũ từ ngày 01/07/2010

Kết quả tính toán mô phỏng diễn biến lòng dẫn sau 3 tháng mùa lũ được thể hiện trong hình 7. Trong hình, thang màu có màu cam tương ứng với bồi khoảng 0,1 m sau 3 tháng, đến màu xanh lá ứng với bồi nhẹ 0,02m/sau 3 tháng, màu xanh dương là xói gần 0,08m/sau 3 tháng và đến màu tím là xói nhiều với mức xói trên 0, m/sau 3 tháng. Nhìn chung, các đoạn sông có lòng dẫn bị co hẹp đột ngột hầu hết đều bị xói (khoảng > 0,06m sau 3 tháng mùa lũ - tương ứng với màu xanh lá chuyển

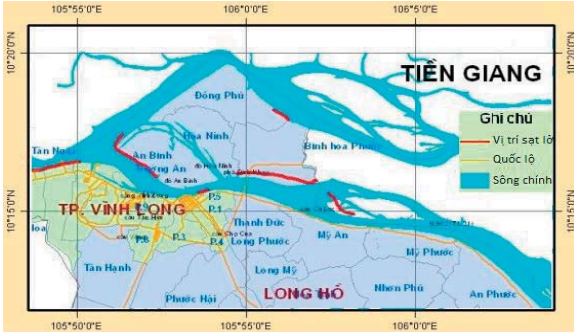
sang xanh dương trên hình, vùng khoanh tròn số 2 ngay tại thành phố Vĩnh Long và số 4 ngay tại xã Mỹ An). Vận tốc dòng chảy tại các vị trí này lớn do lòng dẫn bị co hẹp một cách đột ngột, đồng thời cấu tạo địa chất tại đây chủ yếu là những lớp đất yếu, nên hiện tượng xói lở xảy ra là hoàn toàn hợp lý, và cũng phù hợp với tình hình sạt lở thực tế ở đây. Mức độ bồi xói tại một số vị trí như trong hình 7 được thông kê trong bảng như sau.

Bảng 3. Thống kê mức độ xói lở tại 4 vị trí tiêu biểu sau 3 tháng mùa lũ

Vị trí trong hình 6	Mô tả vị trí	Tốc độ xói mùa lũ [m/sau 3 tháng]
1	Cù lao An Bình, huyện Long Hồ	0.04
2	Phường 1, Thành phố Vĩnh Long	0.1
3	Xã Bình Hòa Phước, huyện Long Hồ	0.04
4	Xã Mỹ An, huyện Mang Thít	0.06

So với kết quả điều tra thực địa sạt lở bờ sông (các vị trí được tô màu đỏ như trong “Error! Reference source not found”) thì các vị trí xói sâu tính được từ mô hình khá phù hợp. Tính toán độ ổn định

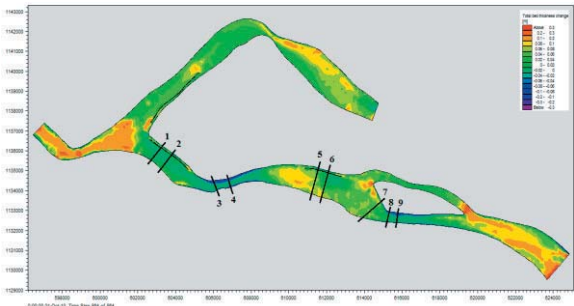
bờ sông tại những vị trí xói sâu này được tiến hành để kiểm tra xem các vị trí này có nguy cơ xảy ra sạt lở bờ hay không?



Hình 8. Vị trí các điểm sát lở khảo sát được ở ven sông Tiền huyện Long Hồ

Dựa vào các kết quả bồi xói sau 3 tháng mùa lũ, kết hợp với bản đồ các vị trí sạt lở bờ được khảo sát thực địa tiến hành xuất các mặt cắt ngang của địa hình đáy tại những vị trí bị xói sâu và có nguy cơ sạt bờ để thực hiện tính toán độ ổn định mái bờ tại các

vị trí đó. Tại mỗi vị trí xói sâu, chọn ra 2 đến 3 mặt cắt để tính toán độ ổn định của bờ. Ta chọn được 9 mặt cắt trên sông Cổ Chiên (hình 9) để tiến hành phân tích độ ổn định của bờ.



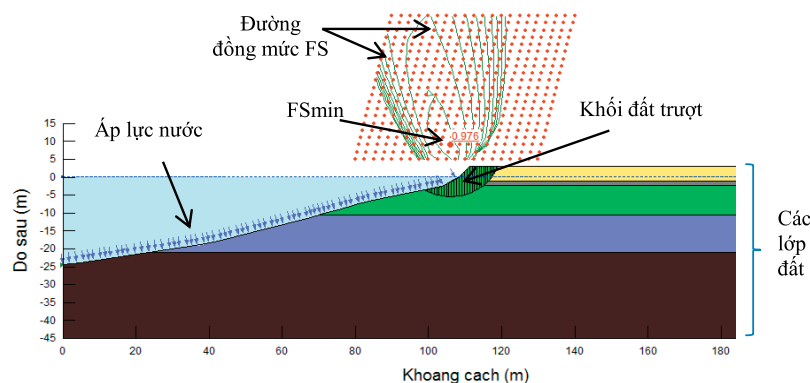
Hình 9. Vị trí các mặt cắt để tính toán độ ổn định mái bờ sông

Tiến hành phân tích độ ổn định của bờ sông cho 3 thời điểm như sau:

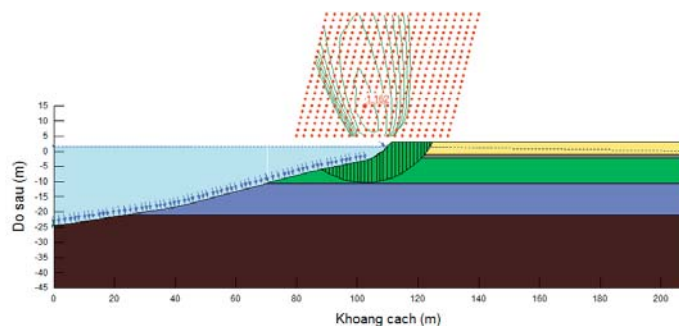
- Thời điểm ban đầu: kiểm tra độ an toàn của bờ với hệ số mái dốc ban đầu.
- Thời điểm đỉnh lũ: kiểm tra ảnh hưởng của lũ tới độ ổn định của bờ.

- Thời điểm sau 3 tháng mùa lũ: kiểm tra sự thay đổi độ ổn định của bờ theo mức độ xói sâu sau lũ.

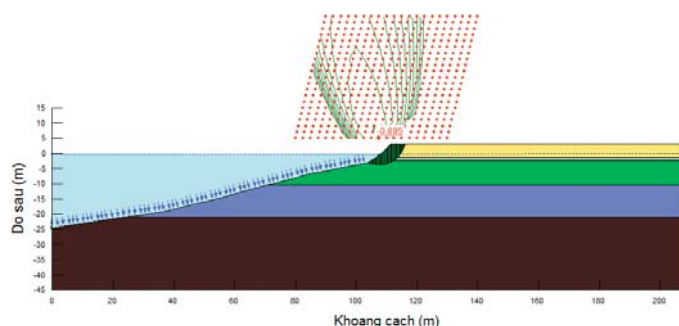
Hình 10, 11, 12 là kết quả tính toán độ ổn định bờ tại mặt cắt 4 (MC4) ứng với 3 thời điểm tại MC4 sau 3 tháng mùa lũ.



Hình 10. Kết quả tính toán độ ổn định của bờ tại MC4 ở thời điểm ban đầu



Hình 11. Kết quả tính toán độ ổn định của bờ tại MC4 ở thời điểm đỉnh lũ



Hình 12. Kết quả tính toán độ ổn định của bờ tại MC4 sau 3 tháng mùa lũ

Các kết quả phân tích độ ổn định của bờ sông tại tất cả các mặt cắt được thống kê trong bảng 4.

Bảng 4. Tổng hợp kết quả tính toán độ ổn định bờ sông tại các mặt cắt

MC	Hệ số ổn định FS			Độ trượt vào của bờ sau 3 tháng [m/ 3 tháng]	Tốc độ xói lở trung bình qua khảo sát thực tế [m/ năm] (nguồn [2])
	Ban đầu	Đỉnh lũ	Sau 3 tháng lũ		
1	1.004	1.229	0.975	5	8
2	1.082	1.353	1.045	-	
3	0.679	0.830	0.654	10	
4	0.976	1.162	0.895	7	15
5	1.032	1.264	1.063	-	
6	0.987	1.193	0.963	5	
7	1.066	1.244	1.039	-	10
8	1.006	1.316	0.962	6	
9	0.947	1.237	0.913	6	

Từ các kết quả tính toán trên, ta rút ra một số nhận xét như sau:

- Tại thời điểm ban đầu: địa hình ban đầu chưa chịu ảnh hưởng của xói đáy, nhưng đa số các mặt cắt đều có hệ số ổn định tương đối thấp. Cụ thể, MC1 và MC8 có hệ số ổn định FS đạt gần mức tới hạn ($FS = 1.006 \sim 1$) nên tại đây tiềm ẩn nguy cơ sạt bờ khi có tác động nhỏ của ngoại lực. Một số mặt cắt có hệ số ổn định $FS < 1$ thì dễ sạt như MC3; 4; 6; 9; các mặt cắt này có mái bờ tương đối dốc (độ dốc $> 35^\circ$). Các mặt cắt còn lại có hệ số ổn định $FS > 1$

thì an toàn.

- Tại thời điểm lũ đạt đỉnh: mặc dù lòng dẫn đã bị xói sâu, tuy nhiên hệ số ổn định FS tại tất cả các mặt cắt đều tăng lên do mực nước sông dâng cao, áp lực nước tác động lên mái bờ, giữ cho bờ sông đạt trạng thái cân bằng hơn, nên hầu hết các mặt cắt đều có hệ số ổn định $FS > 1$ nên bờ sông tại các vị trí này đều ở trạng thái ổn định, riêng chỉ có MC3 (phường 1, TP Vinh Long) với $FS < 1$, có thể giải thích trường hợp này như sau: MC3 tại vị trí đoạn sông cong và co hẹp, địa hình đáy khá sâu nên vận tốc

tại đây tương đối lớn, tại đoạn sông cong nên vận tốc lớn đập thẳng vào bờ gây xói đáy làm một phần địa hình bờ lõm quá dốc, vì vậy tính toán cho hệ số ổn định $FS < 1$ là phù hợp, bờ sông tại vị trí này vẫn có nguy cơ sạt lở mặc dù tại thời điểm đỉnh lũ mực nước dâng cao.

- Khi lũ rút, mực nước hạ thấp đột ngột gây mất cân bằng lực giữ mái bờ, mặt khác, lòng dẫn bị xói sâu sau 3 tháng mùa lũ, do đó các bờ sông đều xảy ra sạt lở, kết quả tính toán cho thấy hầu hết $FS < 1$, chỉ có MC2, MC5 và MC7 còn duy trì được trạng thái ổn định, tuy nhiên FS không cao, do đó, nếu tính toán trong thời gian dài thì những mặt cắt này cũng có khả năng bị sụt đất.

- Mức độ thụt vào của đường bờ sau 3 tháng mùa lũ được tính toán tại các vị trí mặt cắt có hệ số ổn định $FS < 1$ (lấy FS tại thời điểm sau lũ). Nhìn chung, bờ sông bị thụt vào khoảng 5 - 6 m sau 3 tháng, riêng vị trí mặt cắt 3 có đường bờ bị thụt vào khoảng 10 m sau 3 tháng. Theo số liệu khảo sát thực tế về tình hình xói lở tại các vị trí này, ta thấy kết quả tính toán mức độ sạt ở của bờ sông tương đối phù hợp với thực tế: cụ thể như mặt cắt 6 có kết quả tính toán sạt lở bờ sông là 5 m sau 3 tháng, trong khi đó mức độ sạt lở trung bình tại vị trí này theo số liệu đo đạc thực tế là khoảng 10 m/năm (các vị trí mặt cắt còn lại có thể xem một số vị trí tiêu biểu được thống kê lại trong bảng sau).

Bảng 5. Thống kê vị trí và mức độ thụt vào của bờ

	Vị trí sạt bờ	Mức độ thụt vào của bờ mùa lũ [m/3 tháng]
1	Cù lao An Bình, huyện Long Hồ	5
2	Phường 1, Thành phố Vĩnh Long	~ 8.5
3	Xã Bình Hòa Phước, huyện Long Hồ	5
4	Xã Mỹ An, huyện Măng Thít	6

- Ngoài ra, cấu tạo địa chất tại vùng chủ yếu là những lớp đất yếu, dễ chảy nhão khi bị ngâm nước. Đây cũng là nguyên nhân chủ yếu gây ra sụt lở bờ khi mực nước hạ thấp.

4. Kết luận

Tính toán được hệ số ổn định của bờ sông sẽ là cơ sở để đánh giá và dự báo được hiện tượng sạt lở bờ. Nhóm tác giả đã kết hợp giữa mô hình tính toán

thủy lực, bồi xói đáy với phần mềm Geo-slope để tính toán độ ổn định của bờ sông sau khi bị xói đáy. Mặc dù đây chỉ là các kết quả nghiên cứu cho một đoạn sông cụ thể, nhưng qua đó cho thấy được triển vọng của phương pháp nghiên cứu này có thể áp dụng hiệu quả cho việc dự báo diễn biến lòng sông, sạt lở bờ sông trên các hệ thống sông ngòi ở nước ta.

Tài liệu tham khảo

1. Báo cáo giữa kì đề tài "Nghiên cứu hiện tượng bồi lắng, sạt lở bờ sông, xác định nguyên nhân, đề xuất các giải pháp phòng chống, khắc phục ở tỉnh Vĩnh Long" (2013). Viện Khí tượng Thủy văn Hải văn và Môi trường.
2. Báo cáo thông tin "Kết quả khảo sát hiện trạng, phân tích đánh giá nguyên nhân và dự báo sạt lở bờ sông Tiền, sông Hậu tỉnh Vĩnh Long" (2001). Liên đoàn Bản đồ Địa chất miền Nam phối hợp với Sở Khoa học, công nghệ và Môi trường tỉnh Vĩnh Long.
3. Báo cáo tổng hợp đề tài "Xác định nguyên nhân sạt lở bờ sông Tiền ngày 29/10/2012 tại ấp An Long xã An Bình huyện Long Hồ tỉnh Vĩnh Long" (2013). Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam.
4. Đặng Hoàng Thanh (2011). "Kết quả tính toán dự báo sạt lở bờ sông bằng mô hình Mike 21C và phần mềm Geo - Slope (Áp dụng cho đoạn sông Đuống từ Đồng Viên đến Đông Đoài)". Tạp chí Thủy lợi, Số 3, trang 52 – 55.[5. Lê Văn Tuấn và nnk. Đánh giá ảnh hưởng của tải trọng đỉnh bờ và mực nước sông đến độ ổn định bờ sông khu vực Thanh Đa.