

TRẦN ĐÌNH NGHIÊN

XÓI LỎ? Ở CÔNG TRÌNH CẦU



NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG



TRẦN ĐÌNH NGHIÊN

XÓI LỎ Ở CÔNG TRÌNH CẦU

**NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
HÀ NỘI - 2008**

LỜI GIỚI THIỆU

*Cuốn sách **Xói lở ở công trình cầu** có thể coi như sách giáo khoa với những thông tin cơ bản và cập nhật nhằm đáp ứng nhu cầu của sinh viên, các kỹ sư, học viên cao học và bậc học cao hơn trong lĩnh vực xây dựng công trình cầu, đường nói riêng và cơ sở hạ tầng nói chung khi giải quyết vấn đề tác động tương hỗ giữa công trình và dòng sông. Các kỹ sư thực hành có thể coi cuốn sách này như một tài liệu cập nhật các kiến thức thủy lực, động lực học dòng sông và thủy lực công trình cầu cống trên đường để có cơ sở lý thuyết rõ ràng và chắc chắn đủ giải quyết có hiệu quả vấn đề gặp phải trong thực tế xây dựng cầu đường vượt sông.*

Sách gồm sáu chương: Chương 1. Giới thiệu chung về động lực học dòng sông và xói ở công trình cầu. Chương 2. Nêu vấn đề cốt lõi về lý thuyết dòng chảy trong sông có lớp biên biến dạng, dòng sông có tải bùn cát trong thể thống nhất. Dự đoán biến dạng dòng sông tự nhiên được giải quyết ở chương 3. Vấn đề cốt lõi về lý thuyết và thực hành thiết kế, đánh giá xói lở tại công trình cầu lớn, cầu nhỏ và cống được tập trung giải quyết ở các chương 4, 5 và 6. Các kiến thức cơ bản và cập nhật mới nhất cùng với một số thí dụ làm sáng tỏ vấn đề lý thuyết được trình bày chi tiết giúp người đọc từng bước hiểu rõ và làm chủ được các nguyên lý tính xói khác nhau cũng như trình tự trong thực hành tính toán. Người đọc cũng tìm thấy 14 công thức tính xói cục bộ tại trụ cầu đang được thực hành ở các nước khác nhau trên thế giới.

Tác giả cảm ơn Viện đường quốc gia Mỹ NHI và các tác giả của các bài báo thuộc ASCE đã cho phép sao chụp lại trên mạng lưới thông tin khoa học quốc tế. Lời cảm ơn cũng xin gửi tới tập thể những người tham gia của Nhà xuất bản Xây dựng và bộ môn Thủy lực - Thủy văn Trường đại học Giao thông Vận tải để cuốn sách đến tay bạn đọc. Trong quá trình biên soạn không tránh khỏi sai sót, rất mong nhận được sự góp ý của bạn đọc. Góp ý xin gửi về Bộ môn Thủy lực - Thủy văn Trường đại học Giao thông Vận tải - Hà Nội.

Tác giả

Chương 1

GIỚI THIỆU CHUNG

1.1. DÒNG SÔNG VÀ CÔNG TRÌNH

Cuốn sách nhằm tập hợp và giải thích những vấn đề do nhu cầu về sự an toàn và kinh tế trong xây dựng dân dụng và công nghiệp liên quan đến dòng sông và kênh đào có địa chất dễ bị xói. Những công trình như cây cầu bắc qua sông, cống thoát nước ngang đường trong giao thông và thủy lợi, hệ thống đập chắn ngang dòng chảy hay đập bèn... tác động tương hỗ với dòng chảy làm nảy sinh vấn đề xói lở trong dòng chảy và ở ngay chân những công trình này. Thực chất vấn đề xói mòn là một hiện tượng tự nhiên của dòng chảy trong sông thiên nhiên và kênh đào cũng như các khe lạch có lớp đất dễ bị xói, kể cả đá bị phong hóa trong những hoàn cảnh cụ thể. Dòng chảy trong sông và kênh đào thực chất là dòng chảy trong lớp biên dễ bị xói, lớp biên di động, ở đó có sự tác động tương hỗ giữa dòng nước và bùn cát trong một thể cơ học thống nhất, song rất phức tạp. Hiện tượng xói lở và bồi lắng trong tự nhiên luôn xảy ra khi lượng bùn cát mất cân bằng, và là một phần của sự thay đổi hình thái hay diễn biến lòng sông; ngoài ra còn phải kể đến tác động của các công trình đến dòng sông do con người tạo ra. Con người vì sự mưu sinh đã xây dựng nhiều công trình như đập thủy điện, hồ chứa..., ngăn sông, lấn biển làm thay đổi nhiều dòng sông, làm mất cân bằng sinh thái dòng sông và cả bầu khí quyển. Các kết quả nghiên cứu trong phòng thí nghiệm, số liệu đo thực tế và kinh nghiệm xây dựng các công trình trong sông cho thấy các nhà khoa học và các kỹ sư đã cố gắng tìm mọi cách kiểm soát quá trình xói lở, làm giảm thiểu rủi ro và giảm sự sụp đổ các công trình; thất bại không ít và thành công thật lớn lao, song hình như để kiểm soát hoàn toàn xói lở là vấn đề không thể. Kết quả của các nghiên cứu khác nhau thường đưa lại các khuynh hướng khác nhau, chưa thống nhất và vì vậy mà các nguyên lý phân tích xói lở chưa thiết lập được rõ ràng; nói đúng ra là chưa hiểu được đầy đủ quá trình tự nhiên của dòng sông và tác động giữa dòng sông và công trình. Do vậy, các chương sau đây chỉ nêu ra các hướng dẫn đối với vấn đề vốn phức tạp này hơn là nêu ra các giải thích mô tả chính xác vấn đề phải thiết lập xác định cụ thể xói bồi. Các nhà khoa học và các kỹ sư phải tìm kiếm để hiểu được quá trình diễn biến lòng sông, quá trình xói ở công trình, tác động của công trình đến quá trình hình thái lòng sông, các biện pháp giảm thiểu xói đến mức nhỏ nhất, tạo ra sự hài hòa của công trình với dòng sông.

Xói lở trước hết phải do dòng nước, là kết quả cụ thể của quá trình thủy văn, của sự thay đổi khí hậu với nhiều trận lũ lớn xảy ra thường xuyên hơn, khốc liệt hơn trên phạm vi toàn cầu, làm phá hủy nhiều công trình, thay đổi nhiều dòng sông, chứa đựng nhiều yếu tố ngẫu nhiên và rủi ro làm cho vấn đề xói lở càng thêm phức tạp. Các lũ lớn luôn là một thử thách đối với các kỹ sư xây dựng công trình thủy; lũ gây xói tự nhiên làm thay đổi lớn mặt bằng, mặt cắt ngang và cao độ đáy kể cả vị trí cục bộ các dòng sông và dòng chảy tự nhiên, công trình cầu không còn vượt qua dòng chảy vì dòng chảy đã thay đổi.

Mùa lũ dòng chảy xói sâu hơn, làm sông vốn đã cong lại cong hơn; tạo ra nhiều lòng lạch, song mùa cạn bùn cát lại bồi lắng tụ lại thành nhiều cồn cát, bãi nổi... Dòng sông có địa chất là cát sẽ tạo ra một hệ thống phức tạp về hình dạng đáy dọc chiều dòng chảy với các mức độ cong lượn cục bộ khác nhau tạo ra quá trình diễn biến lòng sông rất phức tạp. Diễn biến dòng sông có thể có ba loại chính song cũng có thể phân làm sáu hay bảy loại với những xói lở và bồi lắng khác nhau.

Một dòng sông cũng có thể chứa các loại diễn biến khác nhau khi đi vào các vùng đất có địa chất khác nhau ở hai bên bờ sông và đáy sông. Sự xói lở bờ có thể làm cho dòng chảy càng bị cong thành các vòng dây sau đó nối thẳng tạo dòng mới để lại khúc sông chết thành hồ đối với kiểu dòng sông uốn lượn "meander". Đối với các dòng sông có cuốn theo nhiều bùn cát thô - dòng sông di động, vào mùa cạn chỉ có một vài lạch sâu có nước chảy len lỏi giữa các bãi nổi, cù lao, song mùa hè nước chảy tràn lan với hướng chảy khác với mùa cạn, làm thay đổi hẳn các lạch sâu tạo ra nhiều lạch mới. Tất cả chỉ là một vài ví dụ về hình thái lòng sông do xói bồi tạo ra, tác động tương hỗ giữa dòng nước và bùn cát. Do vậy người kỹ sư công trình thủy, cầu đường... trước hết phải hiểu và kiểm soát được hai loại vấn đề trực tiếp liên quan đến ổn định công trình.

Một là phải lựa chọn được vị trí sông, ổn định vị trí của nó sao cho nó hoạt động, diễn biến đúng với ý định của người thiết kế, chống lại sự diễn biến cong tự nhiên của dòng sông. Hai là bản thân công trình luôn tác động tương hỗ với dòng chảy làm tăng khuynh hướng xói lở nhất là xói cục bộ, do vậy phải có biện pháp chống xói ngầm gây nguy hiểm cho công trình. Cho tới nay người thiết kế chưa thể dự đoán chính xác đủ độ tin cậy cao các chiều sâu xói và vị trí xói lớn nhất xảy ra tại chân trụ, móng cầu, sau cống, sau đập tràn, ở chân kè bờ, kè chắn dòng hay chân các công trình khác xây dựng trong sông. Liên quan trực tiếp tới vấn đề này là hai hiện tượng rất phức tạp song liên quan mật thiết với nhau và với quá trình xói mà người thiết kế phải hiểu được để có lời giải chính xác.

(1) Tính rối của dòng chảy - một vấn đề rất phức tạp và luôn biến đổi.

(2) Vận tải bùn cát phụ thuộc chủ yếu vào quan hệ tương hỗ phức tạp với dòng chảy rối.

Cả hai vấn đề này trong thể cơ học thống nhất "dòng nước bùn cát" ngày càng đạt được nhiều tiến bộ thật khích lệ nhờ vào công nghệ hiện đại và năng lực vô biên của con người. Người thiết kế và thi công, khai thác công trình đòi hỏi phải có kiến thức đầy đủ,

kinh nghiệm tốt nhất và phải gắn kết chặt chẽ ở mức độ nhuần nhuyễn kiến thức và kinh nghiệm của các vấn đề khác nhau để ứng dụng, giải quyết vấn đề được đặt ra cho hiệu quả nhất. Đây là quá trình thực sự khó khăn đòi hỏi sức lực của nhiều nhà khoa học, kĩ sư, người thiết kế, quản lí ở nhiều lĩnh vực có liên quan vì một mục tiêu hiệu được diễn biến lòng sông, an toàn và hiệu quả cho các công trình trong quan hệ công trình dòng sông sinh thái.

1.2. ĐỊNH NGHĨA

Để hiểu được các vấn đề về xói, trước hết cần đưa ra các định nghĩa về xói tại công trình cầu. Xói ở công trình cầu đường có thể được chia làm ba loại:

(1) Xói do diễn biến tự nhiên của lòng sông hay biến dạng lòng sông tự nhiên là loại xói không liên quan đến công trình xây dựng trong sông.

(2) Xói chung hay xói thu hẹp là xói do công trình cầu làm thu hẹp dòng lũ tự nhiên tạo ra.

(3) Xói cục bộ là xói ngay tại chân trụ, mố cầu hay kè... do chính trụ và mố cầu và kè... tạo ra khi tác động tương hỗ với dòng chảy, làm thay đổi cấu trúc cục bộ dòng chảy; loại xói này phụ thuộc vào loại công trình và được chống lên xói chung và xói tự nhiên.

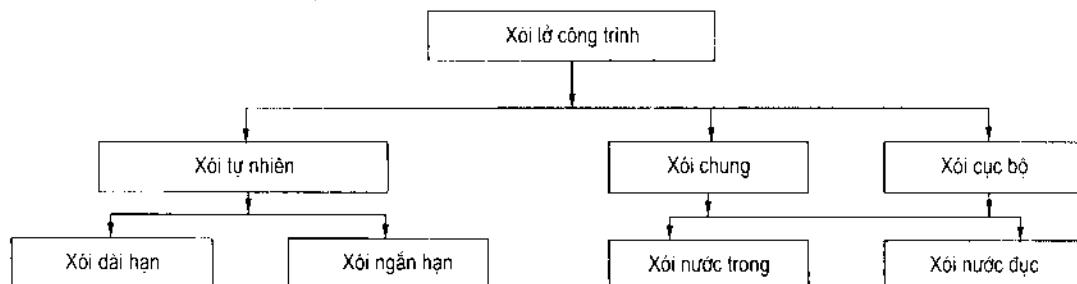
Nguy hiểm nhất là trường hợp cả ba loại xói này đồng thời cùng xảy ra và cùng đạt giá trị lớn nhất.

Xói còn được chia làm xói nước trong và xói nước đục liên quan trực tiếp đến điều kiện khác nhau của tải bùn cát.

(1) Xói nước trong là xói khi mà vật liệu đáy ở dòng chảy tự nhiên trước vùng bị xói ở trạng thái nghỉ. Ứng suất tiếp hay tốc độ dòng chảy tại đáy ở một khoảng cách nào đó xa chân công trình còn nhỏ hơn giá trị của nó làm hạt bắt đầu chuyển động hay sự khởi động của hạt.

(2) Xói nước đục là xói xảy ra với đáy cát di chuyển liên tục, là xói mà ứng suất tiếp hay tốc độ dòng chảy ở đáy luôn luôn lớn hơn giá trị tới hạn của nó làm vật liệu đáy di chuyển. Xói ngừng khi lượng bùn cát xói đi từ hố xói do dòng chảy gây ra cân bằng với lượng bùn cát bổ sung vào hố xói do dòng chảy thượng lưu mang tới.

Tóm lại, xói tại vị trí cầu hay công trình nói chung có thể theo sơ đồ sau:



1.3. MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU XÓI

Hiện nay, tồn tại hai mô hình nghiên cứu xói là mô hình vật lí với thí nghiệm trong phòng và hiện trường và mô hình số; cả hai mô hình này hỗ trợ cho nhau. Trước hết, xem xét mô hình vật lí các hiện tượng thủy lực của lòng xói. Các hiện tượng thủy lực trong tự nhiên (nguyên hình) được thể hiện lại trên mô hình thí nghiệm với quy mô nhỏ theo một tỉ lệ nào đó. Kết quả thí nghiệm mô hình kết hợp với lí thuyết và thực tế giúp hiệu chỉnh lại công thức lí thuyết, xác lập quan hệ thực nghiệm giữa các yếu tố thủy lực riêng biệt của hiện tượng thủy lực. Ngoài ra mô hình còn kiểm tra lại các giả thiết tính và phát hiện thêm nhiều điều mới. Trong mô hình có mô hình không biến dạng và biến dạng; mô hình lòng cứng và lòng xói; mô hình chỉnh thể, bán chỉnh thể, mô hình cục bộ và mô hình mặt cắt... Để tiến hành nghiên cứu mô hình, các hiện tượng thủy lực phải tuân theo các tiêu chuẩn tương tự.

Hai dòng chất lỏng đồng thời thỏa mãn các điều kiện tương tự về hình học, động học và động lực học được coi là tương tự về thủy động lực học. Trong tự nhiên chất lỏng chuyển động dưới tác động của các lực khác nhau như trọng lực, áp lực, lực ma sát, lực đàn hồi; ảnh hưởng của các lực đối với hiện tượng thủy lực cũng khác nhau. Đối với lòng xói lở của mô hình xói ở cầu thì vai trò của trọng lực là chủ yếu - tiêu chuẩn Froude (1869). Từ tiêu chuẩn Froude, tốc độ dòng chảy trong mô hình cần phải lớn hơn tốc độ khởi động hay không xói của hạt. Muốn đảm bảo tương tự động lực học thì kích thước hạt bùn cát phải nhỏ đi một số lần tương tự như chiều sâu và chiều rộng dòng chảy, song thực tế hạt bùn cát trong tự nhiên có kích cỡ nhỏ và rất nhỏ, nên rút tỉ lệ thật khó về kĩ thuật và cả nguyên lí vì lực dính kết, khác hẳn với hạt ở nguyên hình là hạt rời chịu quy luật khác. Do vậy, đã đưa vào tiêu chuẩn bổ sung xét biến dạng lòng và tải bùn cát.

$$\frac{u_*^2}{\Delta g d} = Fr_{*d}^2 \quad (1-1)$$

trong đó: $\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$ - với ρ_s và ρ - khối lượng riêng của hạt và nước;

u_* - tốc độ động lực do ứng suất tiếp gây ra;

$$u_* = \sqrt{\tau / \rho}$$

Fr_{*d} - thông số Froude động lực của hạt;

d - đường kính của hạt bùn cát di động.

Hai hiện tượng thủy lực sẽ tương tự thủy động lực học nếu $Fr_{*n} = Fr_{*m}$:

$$\frac{U_{*n}}{\sqrt{\Delta_n g d_n}} = \frac{U_{*m}}{\sqrt{\Delta_m g d_m}} \quad (1-2)$$

Chỉ số n và m chỉ nguyên hình (thực tế) và mô hình thí nghiệm.

Thay $u_*^2 = gRS \approx g\bar{h}S$, đơn giản cho g và sắp xếp lại ta được:

$$\frac{\bar{h}_n S_n}{\bar{h}_m S_m} = \frac{\Delta_n d_n}{\Delta_m d_m} \text{ hay } \lambda_h \lambda_s = \lambda_\Delta \lambda_d = \frac{\lambda_h^2}{\lambda_l} \quad (1-3)$$

trong đó: λ_h , λ_s , λ_Δ và λ_d - tỉ lệ giữa nguyên hình và mô hình đối với chiều sâu trung bình, độ dốc năng lượng, mật độ tương đối bùn cát và đường kính hạt. Biết $\lambda_s = \lambda_l/\lambda_h$; $\lambda_v = \lambda_c \lambda_h^{0.5} \lambda_s^{0.5}$ (công thức Sêdy) sẽ rút ra được λ_c :

Sử dụng: $C = C_0 \left(\frac{\bar{h}}{d} \right)^y$ với C_0 là thông số có thứ nguyên của C , số mũ y xác định phụ thuộc vào nhám (n) và chiều sâu trung bình $\bar{h}$; trong đó λ_v , λ_c là tỉ lệ tốc độ và tỉ lệ hệ số Sêdy sẽ rút ra được λ_c , từ đó sẽ có:

$$\lambda_d = \left(\frac{\lambda_h^{0.5+y}}{\lambda_l^{0.5}} \right)^{1/y}$$

cuối cùng ta có công thức xác định tỉ lệ tương đối của khối lượng riêng của bùn cát:

$$\lambda_\Delta = \frac{\lambda_h^2}{\lambda_l} \left(\frac{\lambda_l^{0.5}}{\lambda_h^{0.5+y}} \right)^{1/y} \quad (1-4)$$

trong đó: λ_l - tỉ lệ theo chiều dài.

Thay (1-4) vào (1-3), cho vế trái bằng vế phải sẽ có nhiều biện pháp khác nhau trong thí nghiệm mô hình. Tỉ lệ lưu lượng nước:

$$\lambda_Q = \lambda_h^{1.5} \lambda_l \quad (1-5)$$

Đối với mô hình thủy lực khẩu độ thoát nước của cầu có hai điểm đặc biệt về chuyển động của dòng chảy.

(1) Dòng chảy trong phạm vi khẩu độ cầu có tính không gian, thu hẹp vào cầu, mở rộng sau khi ra khỏi cầu với biến dạng lòng sông không ổn định.

(2) Khu vực dòng chảy bao trụ cầu làm xuất hiện bài toán thủy động lực của vùng dòng chảy bị ảnh hưởng của trụ và không còn ảnh hưởng của trụ cầu; bài toán của toàn dòng chảy là bài toán bên trong song lại chảy bao trụ cầu là bài toán ngoài đồng thời cùng xuất hiện và rất phức tạp vì xói chung làm ảnh hưởng đến xói cục bộ dòng chảy khi chảy bao.

Hai đặc điểm này kết hợp với điều kiện của phòng thí nghiệm phải chọn tỉ lệ hình học khác nhau cho kích thước dọc, ngang và đứng, thay đổi độ dốc, chọn thành phần bùn cát thích hợp đưa ta đến mô hình biến dạng hình học song phải đảm bảo tiêu chuẩn đã nêu

phản ánh được bản chất dòng chảy và vấn đề nghiên cứu xói ở cầu. Đối với dòng chảy bao quanh trụ cầu ở số Froude thấp, Kolkman (1982) nêu ra kĩ thuật thú vị làm thay đổi số Froude song vẫn đảm bảo tương tự về tải cát. Trước hết, mặt nước được đo đúng tỉ lệ Froude, sau đó thay đổi độ dốc phù hợp do vậy thí nghiệm xói được tiến hành ở tốc độ cao. Thí nghiệm chỉ ra tốc độ có thể tăng gấp đôi; do vậy tương tự hình học được bảo toàn cùng với tiềm năng xói lớn trong mô hình. Độc giả có thể đọc chi tiết trong các nghiên cứu của Johnson (1977), Gerodetti (1979), Yalin (1971), Kobus (1980), Novak và Cábelka (1981), Jelezoniakov (1989)...

Chương 2

NHẬN THỨC CƠ BẢN VỀ CƠ SỞ VẬT LÝ VÀ CƠ HỌC CHẤT LỎNG CỦA LÝ THUYẾT DÒNG CHẢY TRONG SÔNG BIẾN DẠNG - XÓI MÒN VÀ TẢI BÙN CÁT

Dòng chảy trong lòng sông biến dạng có vận tải bùn cát là một dòng hai pha gồm pha lỏng và bùn cát trong một lớp biên di động, luôn có sự tác động qua lại giữa chất lỏng (nước) với hỗn hợp vật liệu hạt bùn cát ở trong dòng chảy làm hình thành một số loại biên ở lớp biên di động, lớp biên này lại thay đổi cùng với sự thay đổi của các điều kiện chảy. Dòng chảy và bùn cát phải được xem xét trong một thể thống nhất không thể tách rời làm cho vấn đề ngày càng phức tạp hơn, nảy sinh nhiều bài toán chưa được giải quyết, đặc biệt trong lĩnh vực dòng rối, dòng chảy lớp biên, chuyển động của sóng, sóng đồng thời với dòng chảy, sự khuếch tán, xói lở tại chân công trình khi có tương tác giữa công trình và dòng chảy; xói trong đất dính; tất cả đều gắn liền với vấn đề rối và vận tải bùn cát. Vấn đề cơ học của sự tương tác này đã được đặt ra từ lâu và đạt được những thành tựu đáng kể trong lý thuyết và thực hành như đã được trình bày trong các sách của các tác giả Raudkivi (1967, 76, 82, 90), Graf (1971), Bogardi (1974), Yalin (1972), Simons và Sentürk (1976), Garde và Ranga Raju (1977, 1985), Leopold và các cộng sự (CCC) (1964), Richard (1982), Vanoni (1975), Velikanov (1954, 58), Goncharov (1962), Grishanin (1979, 90), Popov (1960, 63, 69, 74, 88), Baryshnikov (1988), Rjanitsur (1985) về chế độ dòng chảy trong sông và Sleath (1984), Nielsen (1992), Fredsø & Deigaard (1992), Soulsby (1997) và Van Rijn (1993, 2007) cho chế độ chảy vùng cửa sông ven biển và bờ biển.

2.1. CÁC TÍNH CHẤT CƠ BẢN CỦA BÙN CÁT

Các tính chất của bùn cát như trọng lượng riêng, kích cỡ, hình dạng... có vai trò quyết định trong các giai đoạn khác nhau của chuyển động và tải bùn cát. Các tính chất này phụ thuộc chủ yếu vào nguồn gốc và quá trình hình thành bùn cát. Bùn cát tạo thành lớp biên của dòng chảy có thể chia làm hai loại là bùn cát rời rạc và dính kết. Tuy nhiên, các tính chất của bùn cát trong sông tự nhiên thay đổi rất mạnh tùy thuộc vào hàm lượng sét trong đất.

Đối với đất dính tương tác điện hoá, quá trình sinh học là quan trọng hơn cả, kích cỡ và trọng lượng riêng của từng hạt đóng vai trò thứ yếu, đất dính thường tạo ra các khối dính kết có thể đạt đến kích cỡ tối đa 4mm (Mirtskhulava) khi bị xói bật ra.

Đối với bùn cát rời rạc cần phải biết các tính chất của từng hạt và nhóm hạt (lưu lượng bùn cát) đó là: cỡ hạt, hình dạng, độ thô thuỷ lực của hạt, thành phần hoá học, sự lắng đọng trong quá trình rơi và ở đáy đối với từng hạt cũng như phân phối cỡ hạt, độ rỗng, góc nội ma sát hay góc phơi đối với nhóm hạt.

2.1.1. Cỡ hạt

Cỡ hạt có thể được coi như yếu tố quan trọng nhất, thường được xác định nhờ vào thể tích của hạt và tốc độ rơi của hạt biểu thị qua đường kính hình cầu tương đương, ngoài ra còn sử dụng cỡ mắt sàng. Đường kính của hạt bùn cát là đường kính của hình cầu có cùng trọng lượng riêng, cùng tốc độ rơi trong nước tĩnh và ở cùng nhiệt độ như môi trường tự nhiên. Đường kính tương đương của hạt là đường kính của hình cầu có cùng thể tích với hạt, không thể hiện được tính vật lí của hạt. $d_{td} = (6V / \pi)^{1/3}$ (mm). Đường kính mắt sàng d của hạt là cỡ mắt sàng hạt lọt qua, thường thì $d < d_{td}$ và $d \approx 0,9d_{td}$ của hạt trong tự nhiên.

Đất được phân loại phù hợp với cỡ hạt, sau đây là thí dụ về tiêu chuẩn hạt được các kĩ sư thuỷ lực sử dụng rộng rãi, làm tài liệu tham khảo.

Tiêu chuẩn Anh BS 1377 (1975) tương tự như tiêu chuẩn thuật ngữ bùn cát của Mĩ (Vanoni, 1975, trang 20, bảng 2.1).

Bảng 2.1. Phân loại đất theo cỡ hạt

Tên đất	Cỡ hạt (μm)	Tên đất	Cỡ hạt (mm)
Sét rất mịn	0,24 - 0,5	Sỏi rất mịn	2 - 4
Sét mịn	0,5 - 1,0	Sỏi mịn	4 - 8
Sét trung	1 - 2	Sỏi trung	8 - 16
Sét thô	2 - 4	Sỏi thô	16 - 32
Bùn rất mịn	4 - 8	Sỏi rất thô	32 - 64
Bùn mịn	8 - 16	Cuội nhỏ	64 - 128
Bùn trung	16 - 31	Cuội lớn	128 - 256
Bùn thô	31 - 62	Đá tảng nhỏ	256 - 512
Cát rất mịn	62 - 125	Đá tảng trung	512 - 1024
Cát mịn	125 - 250	Đá tảng lớn	1024 - 2048
Cát trung	250 - 500	Đá tảng rất lớn	2048 - 4096
Cát thô	0,5 - 1mm		
Cát rất thô	1 - 2mm		

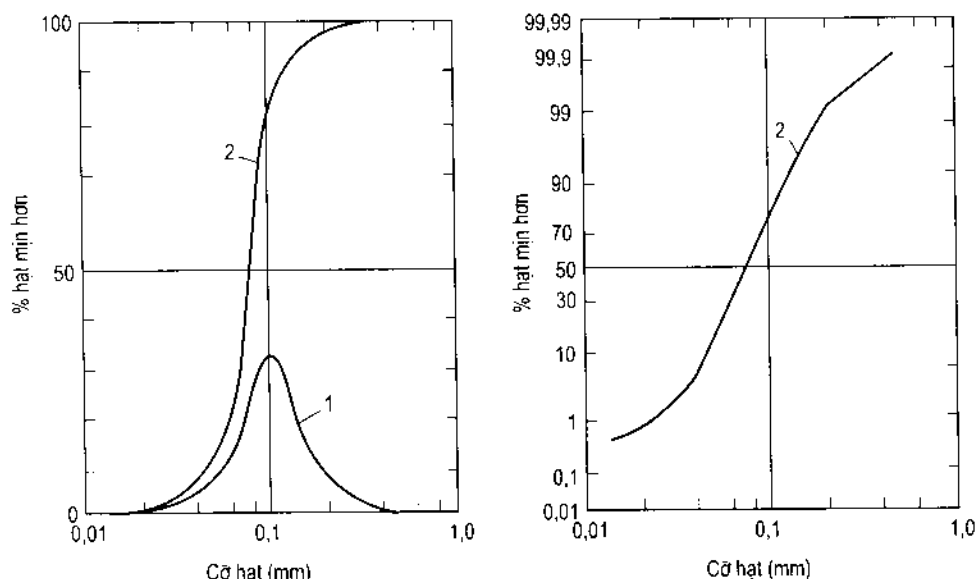
2.1.2. Hình dạng hạt

Hình dạng hạt chuyển động ở đáy dòng chảy ảnh hưởng đến tốc độ đáy và tốc độ trung bình dòng chảy, ảnh hưởng đến tốc độ rơi của hạt, độ ổn định của đoạn sông, khả năng tải cát đáy, độ rỗng của đất, tính thấm, sự dính kết của đất. Hạt trong tự nhiên có hình dạng muôn hình muôn vẻ: hình khối, cầu, trụ, nón, elíp tròn xoay..., song có thể gộp lại thành ba loại chủ yếu:

- (1) Dựa vào thể tích hạt;
- (2) Dựa vào hình chiếu của hạt;
- (3) Dựa vào 3 trục của hạt tương ứng vuông góc với nhau a, b, c trong đó c là trục ngắn nhất.

Hệ số hình dạng $C_{sh} = \frac{c}{\sqrt{ab}}$ là hệ số thích hợp nhất để nghiên cứu ảnh hưởng của hình dạng hạt đến tốc độ rơi của hạt. Tốc độ rơi của hạt lại là thông số quan trọng trong tải bùn cát, thể hiện sự ổn định của hạt.

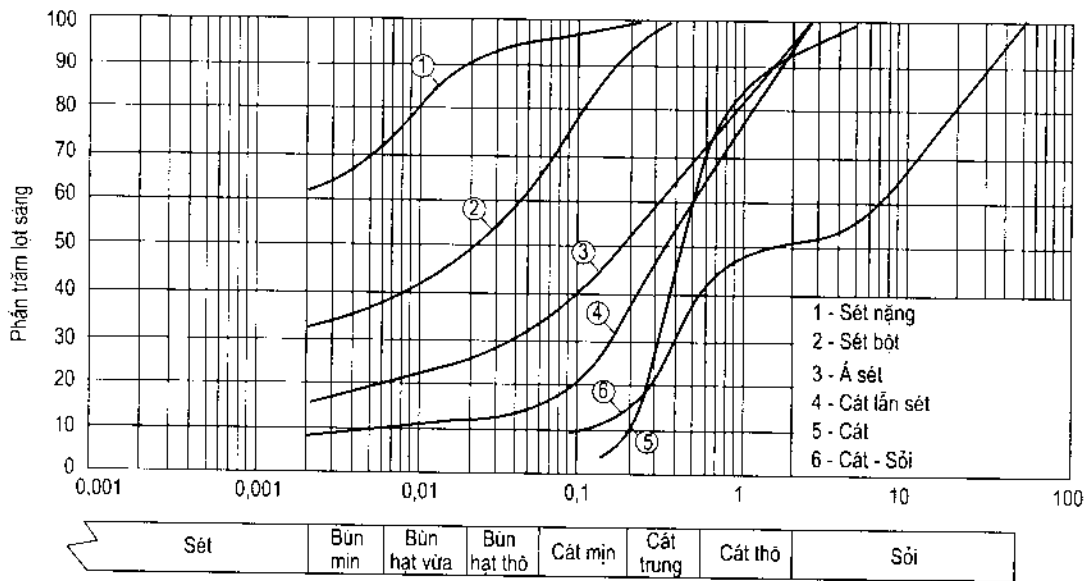
2.1.3. Cấp phối hạt



Hình 2.1a:

1. Đường cong phân phối; 2. Đường cong tích lũy.

Bùn cát thường có quy luật phân phối cỡ hạt và có thể dùng cỡ sàng để phân tích cỡ hạt và thu được cỡ hạt còn lại trên sàng đối với các cỡ mắt sàng khác nhau. Việc phân tích thường được thể hiện bằng biểu đồ đường cong phân phối và đường cong lũy tích cỡ hạt trong toạ độ logarit chuẩn hay logarit xác suất như hình 2.1a và hình 2.1b. 50% đường kính trên lưới toạ độ logarit xác suất gọi là đường kính hình học hay đường kính giữa của hạt d_g hay d_{50} và độ lệch tiêu chuẩn của nó xác định theo công thức:



Hình 2.1b: Đường cong cấp phối hạt tiêu biểu đối với các loại đất

$$\sigma_g = \left(\frac{d_{84,1}}{d_{15,9}} \right)^{0,5} \quad \text{hay} \quad \sigma_g = \frac{d_{84,1}}{d_{50}} = \frac{d_{50}}{d_{15,9}} \quad (2-1)$$

Đường kính trung bình $\bar{d}$ là giá trị trung bình của phân phối cỡ hạt:

$$\bar{d} = \frac{\sum \bar{d}_i p_i}{\sum p_i} = \sum \bar{d}_i f_i; \quad \bar{d}_i = \frac{1}{2} (d_i + d_{i+1}) \quad (2-2)$$

trong đó: p_i - phần trăm trọng lượng cỡ hạt có đường kính d_i .

$$f_i = \frac{p_i}{\sum p_i}.$$

Quan hệ giữa $\bar{d}$ và d_g thông qua biểu thức:

$$\bar{d} = d_g \exp \left[0,5 \ln^2 \sigma_g \right] \quad (2-3)$$

Ngoài ra còn có cỡ hạt hiệu quả d_e :

$$d_e = (d_{10} + d_{20} + \dots + d_{90}) / 9 \quad (2-4)$$

Đường cong lũy tích có tung độ thể hiện phần trăm hạt mịn hơn (hay thô hơn) so với cỡ hạt đã cho, còn trục hoành là các cỡ hạt. Trên giấy xác suất thường là phân phối chuẩn đối với hạt đã qua một quá trình vận động ở dạng bùn cát đáy di chuyển đủ xa nguồn tạo ra nó.

$$f(d) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(d - \bar{d})^2}{2\sigma^2}} \quad (2-5)$$

trong đó: d , $\bar{d}$ - lần lượt là đường kính hạt đang xét và đường kính trung bình của cả mẫu (2-2);

$$\sigma - \text{độ lệch tiêu chuẩn, } \sigma = \sqrt{\sum(d_i - \bar{d})^2 f_i} ;$$

f_i - tần suất của cỡ hạt d_i .

Hạt đều hay không đều được xác định nhờ vào hai tiêu chuẩn (1) $d_{95}/d_5 < 4$ hay 5 thì bùn cát xem như đều hạt, tương tự như (2-1) $\sigma_g < 1,35$. Nếu hỗn hợp bùn cát không đạt hai tiêu chuẩn này sẽ là bùn cát không đều hạt hay không đồng nhất về kích cỡ. Bùn cát không đều hạt sẽ có hạt thô làm thô hoá mặt đáy cát, giảm nhám hiệu quả trong quá trình dòng chảy. Đáy cát không đều hạt sẽ bị thấp xuống, phẳng ra do hiện tượng thô hoá cũng tạo ra giảm nhám so với đáy đều hạt. Vậy là hạt thô vừa giảm nhám hạt vừa giảm nhám do hình dạng đáy, làm giảm khả năng tải cát, thay đổi khả năng tải cát theo thời gian khi lưu lượng dòng chảy không đổi. Vấn đề xói mòn bùn cát không đều rất phức tạp, quá trình xói phụ thuộc vào phân phối cỡ hạt ở lớp mặt và nhiều yếu tố khác làm ảnh hưởng tới cả chế độ chảy của sông, song lại có khả năng làm giảm xói trong tính xói chung và cục bộ ở trụ, mố cầu... (sẽ được trình bày sau). Nhìn chung, hạt bùn cát trung bình ở đáy sông giảm và tính đồng đều của hạt tăng khi sông có độ dốc giảm. Hạt bùn cát ở vùng quạt bồi ở chân đồi núi có hạt cỡ nhỏ nhất của dòng bùn cát, không thể di chuyển trên đoạn đường dài.

2.1.4. Độ rỗng

Độ rỗng là tỉ lệ phần trăm thể tích rỗng đối với thể tích của cả mẫu.

$$P = \frac{\text{Thể tích mẫu} - \text{Thể tích hạt}}{\text{Thể tích mẫu}} \times 100 (\%) \quad (2-6)$$

Độ rỗng phụ thuộc vào: cấp phối hạt, hình dạng, trạng thái và cách lắng đọng, lèn chặt của hạt. Nhìn chung hạt mịn có độ rỗng lớn hơn hạt thô. Quan hệ giữa độ rỗng có hiệu và cỡ hạt cho ở bảng 2.2 để tham khảo.

Bảng 2.2. Các loại cát và độ rỗng, P%

Loại cát	% rỗng	Loại cát	% rỗng
Cát thô	39 - 41	Cát mịn	44 - 49
Cát vừa	41 - 48	Cát rất mịn	50 - 54

2.1.5. Góc nghỉ và lực dính kết

Giá trị các góc nội ma sát phụ thuộc vào cỡ và hình dạng hạt. Giá trị này xấp xỉ với giá trị góc phơi của hạt, đó là góc hình thành giữa đồng vật liệu với phương ngang trong tự nhiên.

Bảng 2.3. Góc nghỉ φ_0 của hạt theo Simons

d_{50} (mm)	Đá nghiền	Rất góc cạnh	Rất tròn, trơn nhẵn
0,254	32	31,4	29,2
1,27	34,5	32,9	29,5
2,54	36,6	33,8	29,9
12,70	40,0	37,5	32,5
25,40	40,8	39,1	34,8
127,0	42,0	41,2	38,3
254,00	42,2	41,5	39,2

Giá trị lực dính kết C của đất dính (kN/m^2) cho trong bảng 2.4.

Bảng 2.4. Giá trị lực dính kết C (Escarameia và Thomas Telford Ltd, 1998)

Loại đất dính, C (kN/m^2)		Loại đất dính, C (kN/m^2)	
Sét		Sét	
Rất cứng, hay rắn	> 150	Đẻo tới cứng	40 - 50
Cứng	100 - 150	Đẻo	20 - 40
Chặt tới cứng	75 - 100	Rất dẻo, mềm	< 20
Chặt	50 - 75	Cát bụi	

2.1.6. Độ thô thuỷ lực bùn cát ω

Độ thô thuỷ lực bùn cát ω là tốc độ rơi đều của hạt trong nước tĩnh. ω là thông số quan trọng nhất mô tả quan hệ của hạt với chất lỏng. Khi dòng bao hạt là dòng chảy tầng ta có định luật Stokes rút ra từ phương trình Navier - Stokes khi bỏ qua lực quán tính, chỉ còn sự cân bằng giữa lực cản nhớt và trọng lực của hạt ở trong nước:

$$3\pi d\mu\omega_0 = g(\rho_s - \rho)\pi d^3/6$$

$$\text{rút ra:} \quad \omega_0 = \frac{1}{18} \frac{\Delta g d^2}{\nu} \quad (2-7)$$

trong đó: ω_0 - độ thô thuỷ lực của hạt dạng hình cầu:

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho};$$

ρ_s và ρ - khối lượng riêng của hạt và của nước;

$\mu = \nu\rho$, μ và ν - hệ số nhớt động lực và hệ số nhớt động của nước.

Công thức (2-7) áp dụng cho hạt có $d \leq 0,1\text{mm}$ và $(0,1 < Re \leq 1)$ với $Re = \frac{\omega_0 d}{\nu}$.

Nhìn chung, khi hạt hình cầu rơi trong nước có thể sử dụng sự cân bằng giữa trọng lượng hạt trong nước với sức cản quán tính Niuton.

$$C_D \frac{\pi d^2}{4} \rho \frac{\omega_0^2}{2} = g(\rho_s - \rho) \frac{\pi}{6} d^3$$

rút ra:
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{1}{C_D} \Delta g d} \quad (2-8)$$

hay hệ số áp lực mặt:
$$C_D = \frac{4}{3} \frac{\Delta g d}{\omega_0^2} \quad (2-9)$$

Trong phạm vi Stokes thì lực cản nhớt bằng lực quán tính, do đó:

$$C_D = \frac{24}{Re} \quad (2-10)$$

Với $Re = \frac{\omega_0 d}{\nu}$ là số Reynolds của hạt d tính với ω_0 .

Goncharov (1962) kiến nghị công thức tính ω_0 cho ba trường hợp riêng biệt phụ thuộc vào chế độ chảy bao hạt thông qua đường kính hạt d và nhiệt độ:

$$\omega_0 = \frac{1}{24} \frac{\Delta g d^2}{\nu} \quad \text{cho } d < 0,015\text{cm} \quad (2-11a)$$

$$\omega_0 = 1,068 \sqrt{\Delta g d} \quad \text{cho } d > 0,15\text{cm} \quad (2-11b)$$

và
$$\omega = 67,6 \Delta d + 0,52 \Delta \left(\frac{T^\circ\text{C}}{26} - 1 \right) \quad \text{cho } d = 0,015 \div 0,15\text{cm} \quad (2-11c)$$

trong (2-11c): đơn vị của ω_0 là cm/s; của d là cm.

Zhang (1989) kiến nghị:

$$\omega_0 = \sqrt{\left(13,95 \frac{\nu}{d} \right)^2 + 1,09 \Delta g d} - 13,95 \frac{\nu}{d} \quad (2-12)$$

Van Rijn (1989) kiến nghị:

$$\omega_0 = \frac{1}{18} \frac{\Delta g d^2}{\nu} \quad \text{cho } d < 0,01\text{cm} \quad (2-13a)$$

$$\omega_0 = 1,1 \sqrt{\Delta g d} \quad \text{cho } d > 0,01\text{cm} \quad (2-13b)$$

$$\omega_0 = 10 \frac{v}{d} (\sqrt{1 + 0,01d_*^3} - 1) \quad \text{cho } d = (0,01 \div 0,1)\text{cm} \quad (2-13c)$$

trong đó:
$$d_* = \sqrt[3]{\frac{\Delta g d^3}{v^2}} \quad (2-14)$$

Độ thô thủy lực của hạt ω_0 phụ thuộc vào số Reynolds, đường kính hạt, nhiệt độ nước, hình dạng hạt, tương hỗ giữa các hạt, điều kiện biên của dòng chảy bao hạt là tầng, rối hay quá độ. Các yếu tố này tác động đồng thời. Đối với dòng chảy trong sông thiên nhiên, còn phải bổ sung thêm các ảnh hưởng khác làm thay đổi độ thô thủy lực của hạt như: phân phối tốc độ dòng chảy, hàm lượng hạt lơ lửng cùng với tính không đều và sự phân phối của chúng cùng với nhiệt độ nước thay đổi. Thí nghiệm chỉ ra đối với hạt hình cầu hệ số $C_D = 0,4$ khi $Re \approx 10^3 \sim 10^5$, còn đối với hạt trong tự nhiên có hệ số hình dạng hạt = 0,7 thì $C_D = (1,0 \div 1,2)$. Thí nghiệm chỉ ra giá trị trung bình của cát thạch anh ở nhiệt độ 20°C có thể sử dụng công thức đơn giản:

$$\omega \text{ (mm/s)} \approx 663d^2 \text{ (mm)} \quad \text{cho } d < 0,15\text{mm} \quad (2-15a)$$

$$\omega \text{ (mm/s)} \approx 134,5d^{0,52} \text{ (mm)} \quad \text{cho } d > 1,5\text{mm} \quad (2-15b)$$

và phạm vi giữa $0,15 \leq d \leq 1,5\text{mm}$

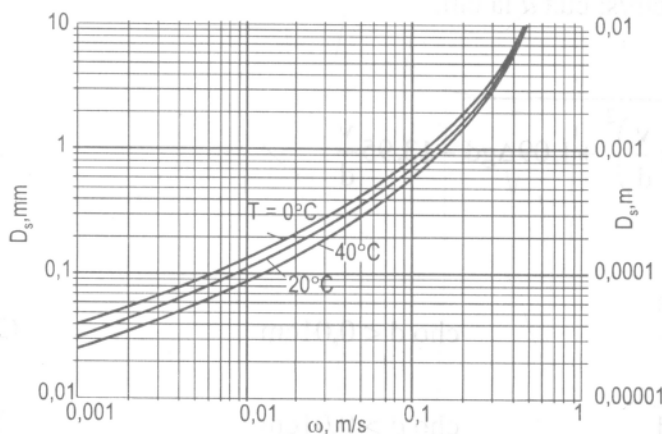
d (mm)	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5
ω (mm/s)	14,8	21,1	36,1	50,0	64,0	76,4	88,6	99,0	110,0	121,0	137,3	166,0

trong đó: d - đường kính tương đương.

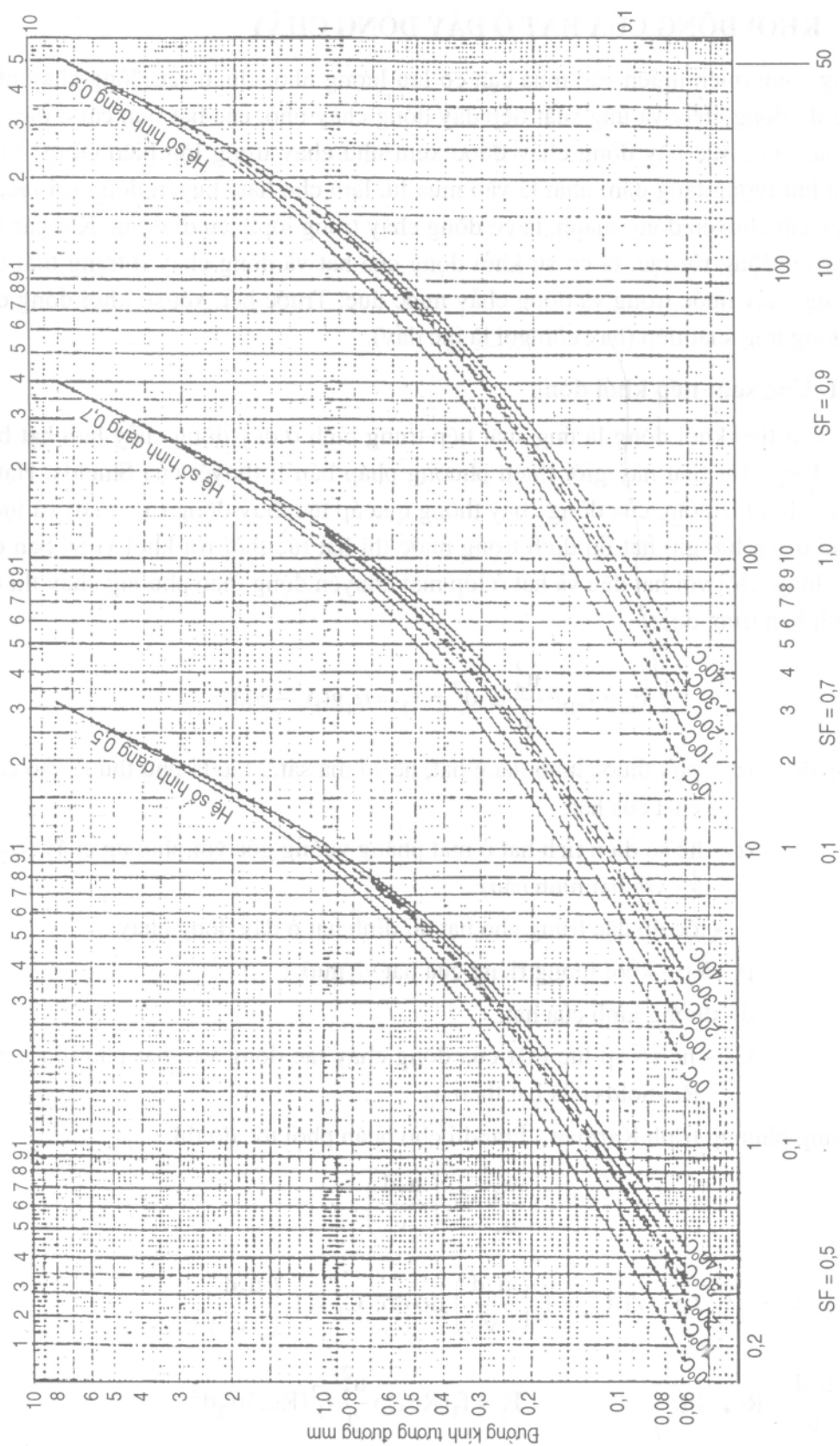
Tốc độ rơi của cả nhóm hạt:
$$\omega = \frac{\sum p_i \omega_i}{\sum p_i} \quad (2-16)$$

trong đó: p_i và ω_i - trọng lượng và độ thô thủy lực của hạt d_i .

Ngoài ra có thể xác định ω theo biểu đồ thí nghiệm cho hạt có hình dạng khác nhau ($SF = 0,5 \div 0,9$), trong đó đơn vị của d tương đương là mm và ω là cm/s ở hình 2.2.



Hình 2.2: Độ thô thủy lực ω (m/s)



Hình 2.3: Độ thô thủy lực ω (m/s) (tiếp)

2.3. SỰ KHỞI ĐỘNG CỦA HẠT Ở ĐÁY DÒNG CHẢY

Dòng sông thiên nhiên vào mùa cạn có lưu lượng nhỏ, chiều sâu dòng chảy nhỏ làm cho tốc độ dòng chảy và ứng suất tiếp đáy dòng chảy nhỏ, các hạt bùn cát ở đáy sông ở trạng thái nghỉ, lúc này dòng chảy được xem như chảy trong lớp biên cứng. Khi mực nước và lưu lượng tăng dần, nhất là vào mùa lũ, làm cho hạt chuyển động rời rạc, rồi cả khối bùn cát chuyển động mạnh, ta có dòng chảy trong lớp biên di động. Khi các hạt bắt đầu chuyển động rời rạc, ta có sự khởi động của hạt và dòng chảy ở trạng thái tới hạn giữa dòng chảy nước trong và dòng chảy nước đục. Trước hết, xét sự khởi động của hạt theo hướng ứng suất tiếp (hay còn gọi là lực đẩy).

2.3.1. Ứng suất tiếp khởi động

Ứng suất tiếp khởi động là ứng suất tiếp trung bình ở đáy dòng chảy làm hạt bắt đầu chuyển động. Tài liệu này giới thiệu phương pháp bán lý thuyết của Shields. Hạt đất ở đáy sông chịu tác động của dòng chảy thông qua áp lực thủy động (lực mặt) và lực nâng vượt qua trọng lực giữ hạt ổn định trong nước thì hạt tức thời rời khỏi vị trí ban đầu để chuyển động. Đối với hạt đều và hạt ở lớp mặt chuyển động theo phương chảy thì có cân bằng giới hạn trượt dọc:

$$F_x = C_D \rho \frac{u_d^2}{2} \alpha_2 d^2 = F_l = \alpha_1 g (\rho_s - \rho) d^3 \quad (a)$$

trong đó: α_1 - phụ thuộc hình dạng hạt, hệ số ma sát... tức là phụ thuộc vào các tính chất của hạt;

α_2 - hệ số diện tích hạt ở mặt phẳng vuông góc với phương chảy ($\alpha_2 = \pi/4$ đối với hạt hình cầu);

u_d - tốc độ đặc trưng cho hạt tại đỉnh hạt ở đáy dòng chảy;

ρ_s và ρ - khối lượng riêng của hạt và nước;

d - đường kính của hạt;

C_D - hệ số áp lực mặt của dòng chảy tác động vào hạt phụ thuộc vào số Reynolds của hạt theo u_d .

Sử dụng phương trình Karman - Prandtl cho phân phối tốc độ thì:

$$\frac{u_d}{u_*} = f_1 \left(\frac{u_* d}{\nu} \right) \quad (b)$$

trong đó: $u_* = \sqrt{\tau_0 / \rho}$. Vì $C_b = f_2 \left(\frac{u_d d}{\nu} \right)$ do đó: $C_b = f_3 \left(\frac{u_* d}{\nu} \right)$.

$$\text{Đặt } \frac{u_* d}{\nu} = Re_* \text{ thì: } F_l = f_3(Re_*) \rho \frac{u_*^2}{2} f_1^2(Re_*) \alpha_2 d^2 \quad (c)$$

Thay F_l ở (c) vào (a) rút ra quan hệ của ứng suất tiếp không đơn vị trong điều kiện tới hạn (chỉ số c) phụ thuộc số Re_{*c} .

$$f_3(Re_{*c})\rho \frac{u_{*c}^2}{2} f_1^2(Re_{*c})\alpha_2 d^2 = \alpha_1 g(\rho_s - \rho)d^3$$

do đó:
$$\frac{u_{*c}^2}{\Delta g d} = \frac{2\alpha_1}{\alpha_2} f(Re_{*c}) = f(Re_{*c}) \quad (2-17)$$

trong đó:
$$\Delta = \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho};$$

$$Re_{*c} = \frac{u_{*c} d}{\nu};$$

u_{*c} - tốc độ động lực khởi động của hạt.

Vì $\rho u_{*c}^2 = \tau_{0c}$ nên (2-17) có dạng:

$$\frac{\tau_{0c}}{g(\rho_s - \rho)d} = f(Re_{*c}) \quad (2-18)$$

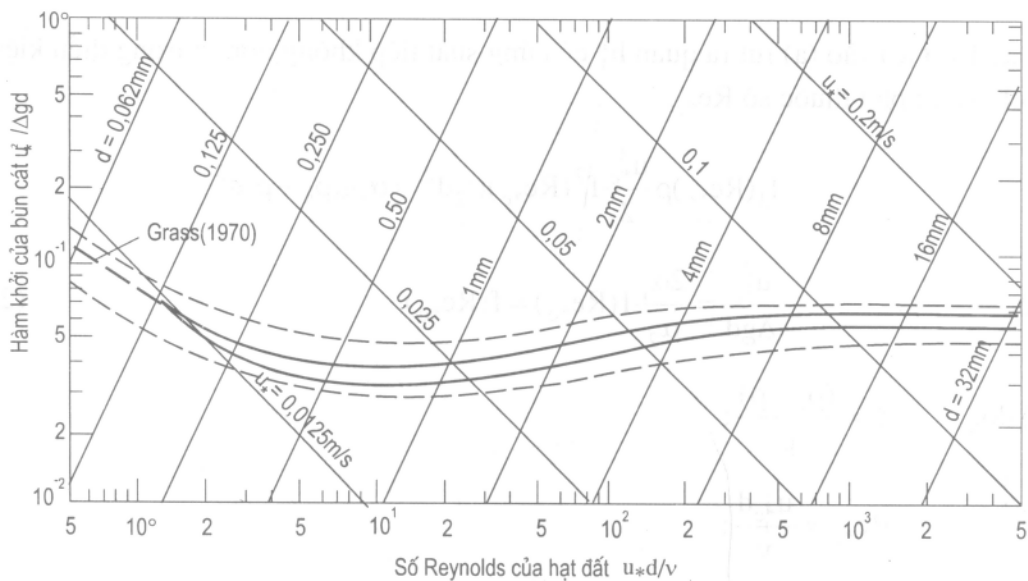
Biết rằng $\tau_{0c} = \rho g R S$ và gọi $\frac{u_{*c}^2}{\Delta g d} = Fr_{dc}^2$ là thông số Froude của hạt đối với u_{*c} thì điều kiện khởi động của hạt có thể được viết ở dạng đã chứa cả (2-17) và (2-18):

$$\theta_c = \frac{\tau_{0c}}{\rho g \Delta d} = \frac{u_{*c}^2}{\Delta g d} = \frac{RS}{\Delta d} = Fr_{dc}^2 = f(Re_{*c}) \quad (2-19)$$

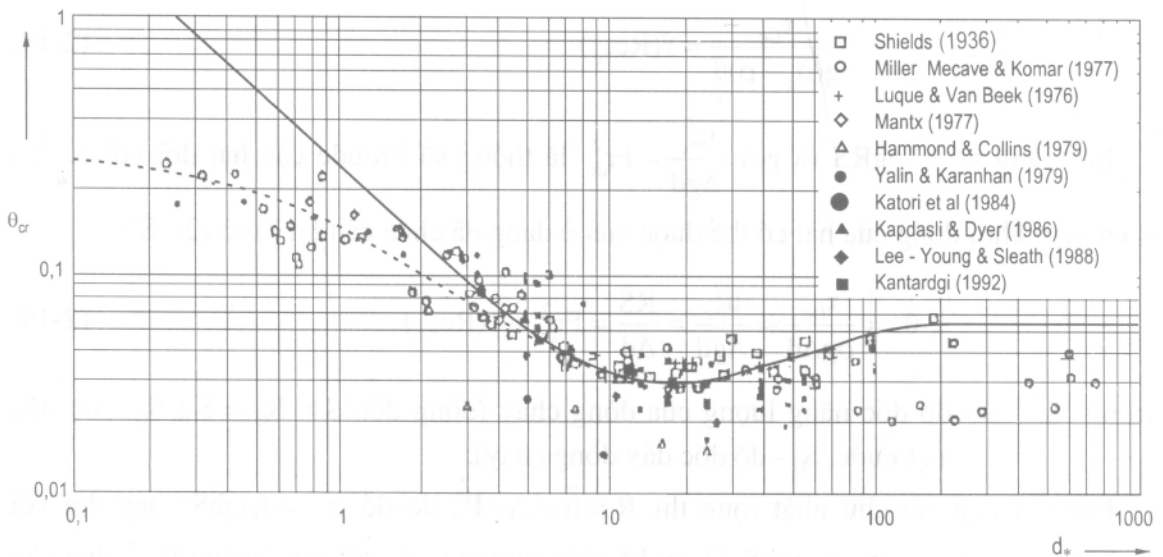
trong đó: S - độ dốc năng lượng của dòng chảy (dòng đều $S = S_w = S_0$; S_w - độ dốc mặt nước, S_0 - độ dốc đáy dòng chảy).

Đối với mặt cát chữ nhật rộng thì $R = \bar{h} = A/P$, do đó $\tau_{0c} = (\rho g \bar{h} S)$ hay đối với đường độ sâu bất kì $\tau_{0c} = \rho g h S$. Quan hệ giữa trục tung θ_c với trục hoành Re_{*c} dựa vào kết quả thí nghiệm trong máng khi dòng rối đã phát triển đầy đủ trên nền cát có $d = (0,4 \div 3,4)mm$ là một dải cong hẹp trong tọa độ logarit như hình 2.3.

Điều kiện khởi động tương ứng với lưu lượng bùn cát đáy tiến đến không: Để tránh phải thử dần tìm điều kiện khởi động của hạt ta sử dụng kết quả thí nghiệm của Shields và của 9 tác giả khác được Soulsby và Whitehouse (1997) cho trong hình 2.4, đối với đáy phẳng giữa $\theta_c \sim d_*$. Phân tích số liệu chỉ ra hạt chuyển động rời rạc có thể khi $\theta_c = 0,03$ tương ứng với $Re_{*c} = 10$. Đối với dòng hoàn toàn rối trên đáy cát ($Re_{*c} > 400$ và $d > \approx 4mm$) thì tiêu chuẩn Shields (hình 2.3) có $\theta_c = 0,056$ sẽ làm cho toàn bộ đáy cát chuyển động.



Hình 2.3: Điều kiện khởi động của hạt là hàm của số Reynolds hạt - Biểu đồ Shields



Hình 2.4: Sự khởi động của hạt là hàm của đường kính hạt không đơn vị \(d_*

Trong thực hành thường sử dụng trực tiếp biểu đồ Shields cải tiến ở dạng hình 2.4 bằng cách tính $d_* = \sqrt[3]{\frac{\Delta g d^3}{\nu^2}}$ là đường kính hạt không đơn vị, tra biểu đồ cho θ_c tương ứng, được $\tau_{*c} = \rho \Delta g d \theta_c$ là ứng suất tiếp khởi động của hạt tương ứng với đường kính hạt d ở nhiệt độ nhất định. Cũng có thể sử dụng phương trình xuất phát từ số liệu gốc của Shields:

$$\theta_c = \frac{0,24}{d_*} + 0,055 [1 - \exp(-0,02d_*)] \quad (2-20)$$

hay phương trình thỏa mãn các kết quả thí nghiệm hiện tại (10 tác giả kể cả Shields):

$$\theta_c = \frac{0,3}{1 + 1,2d_*} + 0,055[1 - \exp(-0,02d_*)] \quad (2-21)$$

Cả hai phương trình (2-20) và (2-21) áp dụng cho $0,1 \leq d_* \leq 10^3$ và thậm chí $> 10^3$. Ngoài ra (2-21) còn áp dụng cho dòng chảy kết hợp với sóng hay chỉ do sóng tác động.

Công thức phân đoạn dựa vào số liệu thí nghiệm hiện tại theo đề nghị của Hager và Giudice (7-2001):

$$\theta_c = 0,12d_*^{-0,5} \quad \text{cho } d_* < 15 \quad (2-21a)$$

$$\theta_c = 0,02d_*^{1/6} \quad \text{cho } 15 < d_* < 150 \quad (2-21b)$$

$$\theta_c = 0,052 \quad \text{cho } d_* > 150 \quad (2-21c)$$

Ngoài ra có thể tích d_* theo Re_* theo Raudkivi (1991)

$$d_* = 2,15Re_* \quad \text{cho } Re_* < 1 \quad (2-22a)$$

$$d_* = 2,5Re_*^{4/5} \quad \text{cho } 1 < Re_* < 10 \quad (2-22b)$$

$$d_* = 3,8Re_*^{5/8} \quad \text{cho } Re_* > 10 \quad (2-22c)$$

Độ dốc dọc dòng chảy làm ảnh hưởng đến sự khởi động của hạt có thể được xác định theo biểu thức (Soulsby, Soulsby & Whitehouse - (1997); Damgaard (2000), Whitehouse & Hardisty (1998)).

$$\frac{\theta_{c\alpha}}{\theta_c} = \frac{\sin(\phi - \alpha)}{\sin \phi} \quad (2-23)$$

trong đó:

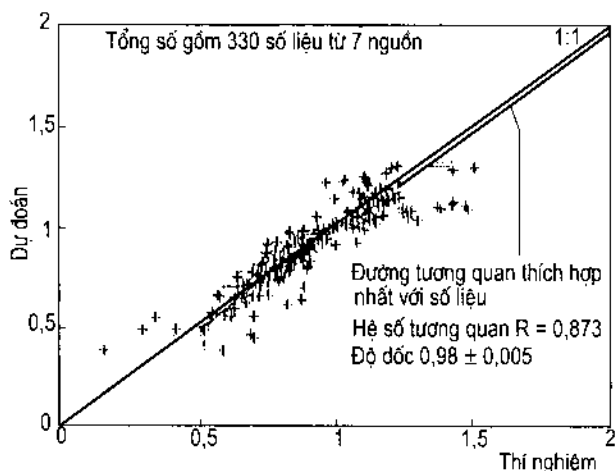
$\theta_{c\alpha}$ và θ_c phù hợp với góc dốc α và đáy bằng.

ϕ - góc nội ma sát;

α - góc dốc đáy dòng chảy.

Quan hệ giữa $\sqrt{\frac{\theta_{c\alpha}}{\theta_c}} \equiv \frac{u_{c\alpha}}{u_c} \equiv \frac{u_{*c\alpha}}{u_{*c}}$ dựa vào 330 kết quả của 7 nguồn thí nghiệm cho

trong hình 2.5 với hệ số tương quan $R = 0,873$ đủ chính xác trong thực hành.

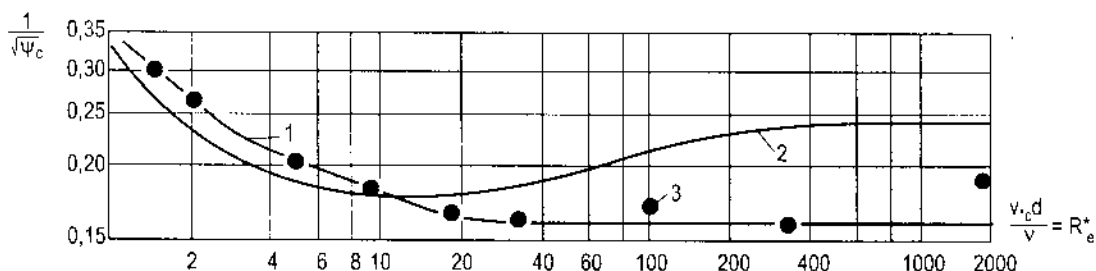


Hình 2.5: Biểu đồ so sánh kết quả thí nghiệm về sự khởi động của hạt ở đáy dốc với công thức (2-23)

Năm 1958 V. S. Knorov tiến hành nghiên cứu thí nghiệm chi tiết cho từng hạt khởi động và tất cả các hạt cùng khởi động, sau đó xác định giới hạn của hai trường hợp mà không cần tới điều kiện lưu lượng bùn cát đáy giảm đến không. Đồ thị đường trọng tâm các điểm thí nghiệm của Knorov và đường cong Shields cho trong hình 2.6 có trục tung là $\sqrt{\theta_c}$, trục hoành là $Re_{*c} = \frac{u_{*c}d}{\nu}$. Đường nối trọng tâm các điểm thí nghiệm gồm 3

đoạn thẳng, đoạn một ở phía trái thể hiện đáy phẳng, đoạn hai ở giữa là đáy quá độ và đoạn 3 ở phía phải là khu vực cân bằng phương. Trong vùng thành phẳng hai đường rất gần nhau, cắt nhau tại khu vực quá độ tại $Re_* = 10$, sau đó hai đường hoàn toàn khác biệt nhau ở khu vực cân bằng phương.

Trong biểu đồ Shields, tại $Re_* = 10$ đáy ổn định nhất, điểm này không xuất hiện ở đồ thị Knorov. Trong đồ thị Knorov trị số $\sqrt{\theta_c}$ giảm khi Re_{*c} tăng trong suốt khu vực thành phẳng và quá độ, rồi chuyển sang khu vực cân bằng phương tại $Re_{*c} \approx 25$, còn trên biểu đồ Shields giá trị này $Re_{*c} = 500$. Trong khu vực cân bằng phương tương ứng với cả đáy cát chuyển động theo Knorov thì $\sqrt{\theta_c} = 0,162$ còn theo Shields thì $\sqrt{\theta_c} = 0,245$. Thí nghiệm cho $u_{*c} = 0,02$ m/s đối với $d_{50} = 0,44$ mm; $u_{*c} = (0,015 \div 0,025)$ m/s đối với $d = (0,1 \div 1,0)$ mm.



Hình 2.6: Biểu đồ ứng suất tiếp đáy tới hạn không đơn vị
1. Theo thí nghiệm của Knorov; 2. Theo thí nghiệm của Shields;
3. Trọng tâm điểm thí nghiệm của Knorov.

Bùn cát cuốn theo trong sóng hầu hết đều có cấp phối hạt rộng với $\sigma_g \approx 4,0$, trừ cát hạt mịn, do vậy trong quá trình xói thường tạo ra lớp thô hoá bề mặt ngăn cản xói. Gọi d_{50a} là đường kính lớp thô hoá thì đường kính này tăng khi τ tăng, song đạt đến giá trị giới hạn thấp nhất $\frac{d_{\max}}{d_{50a}} \approx 1,8$ (Chen 1985). Các giá trị giới hạn đạt được khi $u_*/u_{*ac} \geq 0,9$, trong đó u_{*ac} là tốc độ động lực tới hạn của lớp thô hoá. Nghiên cứu của White và Day (1982) cho quan hệ:

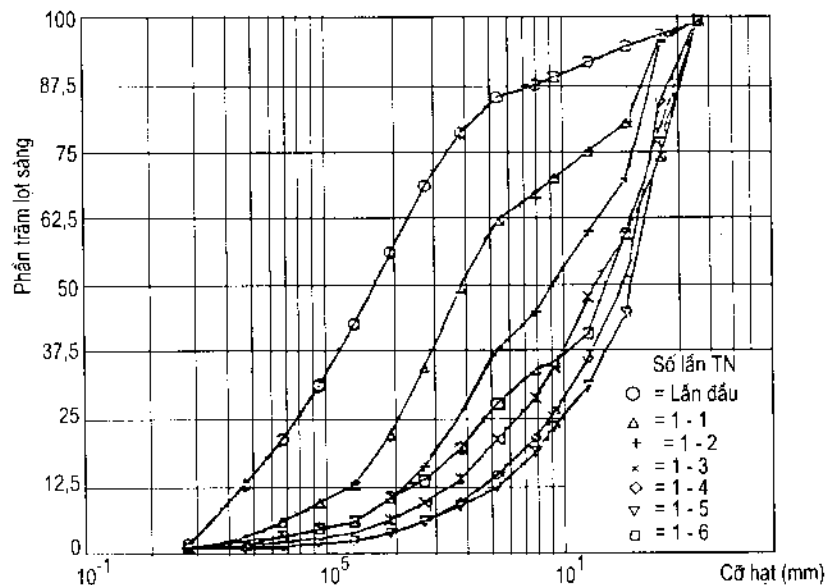
$$\frac{\theta_{ca}}{\theta_c} \left\{ 0,4 \left[\frac{(d_{50a})_{\max}}{d_{50}} \right]^{-0,5} + 0,6 \right\}^2 \quad (2-24)$$

trong đó vật liệu đáy ban đầu đặc trưng bởi d_{50} có $\theta_c \approx 0,05$.

Ngoài ra $\frac{d_{\max}}{d_{50a}} \approx 1,8$ ngụ ý nói $d_{84}/d_{50} \approx 1,5$ hay cấp phối gần như đều của hạt thô.

Tác dụng của lớp thô hoá ở chỗ, khi tất cả ứng suất tiếp $\tau_0 < \tau_{ca}$ của lớp thô hoá, tốc độ tải cát giảm theo thời gian t trong lúc lớp thô hoá lại phát triển. Thường thì lớp thô hoá tụ lại và ngừng phát triển làm cho xói cục bộ đáy tăng lên cho đến khi tạo được lớp thô hoá mới, duy trì tốc độ tải cát đáy ổn định ở mức độ trung bình, song nếu lưu lượng dòng chảy giảm thì tốc độ tải cát thực tế có thể giảm tới không. Hiển nhiên lớp thô hoá và quá trình thô hoá do các hạt thô nhất d_{90} hay lớn kiểm soát. Vận tải bùn cát lại tiếp tục chỉ khi $\tau_0 > \tau_{ca}$ của lớp thô hoá.

Sự khởi động của hạt chịu ảnh hưởng rất lớn vào vị trí của hạt trong lớp mặt và các lớp kế tiếp. Một hạt chỉ cần nhô cao hơn cao độ đáy chừng một nửa chiều cao của hạt đã giảm điều kiện khởi động tới 6 lần so với hạt ở cùng mặt phẳng. Hạt nổi trên mặt có thể bị cuốn trôi ngay khi $\tau_0 \leq \tau_c$ chung cho vật liệu đáy không chỉ đối với hạt mịn hơn mà ngay cả đối với hạt thô hơn. Một thí dụ để tham khảo, d_{50a} tăng tỉ lệ với u_* đối với hạt: $d_{50a} = 4,2; 9,5; 14,5; 19,0; 20,5$ và $16,0\text{mm}$ tương ứng với $u_* = 41; 53; 66; 76; 85$ và 95 mm/s .



Hình 2.7: Thay đổi cỡ hạt của lớp thô hóa theo mức độ tăng tốc độ động lực

2.3.2. Tốc độ khởi động của hạt

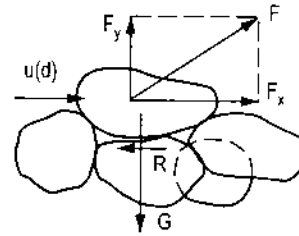
Tốc độ khởi động đáy u_c hay tốc độ khởi động trung bình thủy trực V_{hc} hay tốc độ khởi động trung bình mặt cát V_c là tốc độ đáy hay trung bình làm hạt sẵn sàng tức thời rời khỏi vị trí ban đầu đối với hạt có trọng lượng nhất định. Trong dòng chảy ổn định đều có độ dốc đáy rất nhỏ ta xét hạt nằm ở đáy dòng chảy trong hình 2.8 chịu tác dụng của ba lực gồm: lực giữ hạt ổn định là trọng lượng hạt trong nước:

$$G = g(\rho_s - \rho) \frac{\pi}{6} d^3 \quad (a)$$

Áp lực thủy động do dòng chảy chảy bao quanh hạt tạo ra theo phương chảy F_x , lực nâng theo phương vuông góc với phương chảy F_y .

$$F_x = C_{Dx} \frac{\pi d^2}{4} \frac{u_d^2}{2} \quad (b)$$

$$F_y = C_{Dy} \frac{\pi d^2}{4} \frac{u_d^2}{2} \quad (c)$$



Hình 2.8: Sơ đồ lực tác động vào hạt ở đáy dòng chảy

trong đó: C_{Dx} và C_{Dy} - hệ số áp lực mật theo phương chảy x và phương y .

Hạt có $d > 1,5\text{mm}$ thì C_{Dx} và C_{Dy} phụ thuộc vào hình dạng hạt và vị trí của hạt tương đối so với các hạt khác; hạt nhỏ sẽ chịu ảnh hưởng của lực nhớt là chủ yếu. Điều kiện ổn định của hạt theo phương chảy sẽ cho tốc độ khởi động trượt trong trạng thái cân bằng tới hạn:

$$F_x - \text{tg}\phi(G - F_y) = 0 \quad (2-25)$$

Tốc độ khởi động bật hạt khỏi đáy (hạt không có dòng chảy tác dụng trực tiếp):

$$F_y - G = 0 \quad (2-26)$$

Có trường hợp cả hai điều kiện trượt và nâng tác động đồng thời.

Thay (a), (b), (c) vào (2-25) rút ra:

$$\frac{u_{dc}^2}{\Delta g d} = \frac{4}{3} \frac{\text{tg}\phi}{C_{Dx} + \text{tg}\phi C_{Dy}} \quad (2-27)$$

$$\text{Tương tự từ (2-26) rút ra: } \frac{u_{dc}^2}{\Delta g d} = \frac{4}{3} \frac{1}{C_{Dy}} \quad (2-28)$$

$$\text{trong đó: } \Delta = \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho}$$

Goncharov cho rằng dưới tác dụng của các lực thì hạt sẽ khởi động quay, do đó sử dụng phương trình cân bằng mômen tới hạn tìm tốc độ khởi động của hạt:

$$F_x l_x + F_y l_y = G l \quad (2-29)$$

Đặt $\frac{\pi d^2}{4}$ theo phương x là $\alpha_x d^2$, theo phương y là $\alpha_y d^2$, cánh tay đòn của các lực tỉ lệ với đường kính hạt: phương x là $l_x = \alpha_2 d$, phương y là $l_y = \alpha_3 d$ và của trọng lực là $l = \alpha_4 d$; thay các giá trị này vào (2-9) ta có:

$$C_{Dx} \alpha_x d^2 \rho \frac{u_{dc}^2}{2} \alpha_2 d + C_{Dy} \alpha_y d^2 \rho \frac{u_{dc}^2}{2} \alpha_3 d = \alpha_1 g (\rho_s - \rho) d^3 \alpha_4 d \quad (2-30)$$

Giải (2-10) với việc đặt $\alpha_0 = \frac{\alpha_x \alpha_2 C_{Dx} + \alpha_y \alpha_3 C_{Dy}}{\alpha_1 \alpha_4}$, rút ra:

$$\alpha_0 \frac{u_{dc}^2}{2} = \Delta g d \quad (2-31)$$

Chuyển tốc độ tới hạn đáy U_{dc} ra tốc độ trung bình thông qua quan hệ:

$$u_{dc} = V_c \frac{\lg 17,7}{\lg \frac{6,15h}{d}} = \frac{1,25 V_c}{\lg \frac{6,15h}{d}} \quad (2-32)$$

rút ra tốc độ tới hạn trung bình dòng chảy V_c tương ứng với chiều sâu trung bình dòng chảy $\bar{h}$.

$$V_c = \sqrt{\frac{2\Delta g d}{\alpha}} \lg \frac{6,15\bar{h}}{d} \quad (2-33)$$

α xác định theo số liệu thí nghiệm và đo đạc hiện trường.

Goncharov chia V_c thành hai loại tốc độ giới hạn dưới và trên:

(1) Tốc độ lắng hay tốc độ không di động hạt, là tốc độ tương ứng với trạng thái hạt ở đáy dòng chảy chuẩn bị tách khỏi đáy, nhưng cuối cùng vẫn lại nằm lại ở đáy, đó là trị số mạch động lớn nhất của lực nâng không vượt quá trọng lượng hạt trong nước.

(2) Tốc độ xói hay tốc độ tới hạn tách hạt, là giới hạn trên của tốc độ tới hạn, khi tốc độ dòng chảy vượt quá tốc độ này thì xói lở lòng sông diễn ra mạnh mẽ, các hạt đất và khối bùn cát chuyển động, là giá trị trung bình mạch động của lực nâng bằng trọng lượng hạt trong nước. Goncharov nhận được tốc độ trung bình mà hạt không di động đối với hạt không đều ($d = 0,7d_5$ và $\alpha = 3,5$) là:

$$V_l = 0,76 \sqrt{\Delta g d} \lg \frac{8,8\bar{h}}{d_5} \quad (2-34)$$

Tốc độ tách hạt (xói) có $\alpha = 1,75$.

$$V_c = 1,07 \sqrt{\Delta g d} \lg \frac{8,8\bar{h}}{d_5} \quad (2-35)$$

Kết quả thí nghiệm của Knorov cho tốc độ u_{*c} ở khu vực cân bằng phương:

$$u_{*c} = 0,16 \sqrt{\Delta g d} \quad (2-36)$$

Nếu tính tốc độ theo Sedy thì:

$$V_c = \frac{c}{\sqrt{g}} u_{*c} \quad (2-37)$$

Zegjda (1957) kiến nghị:

$$V_c = 0,9\sqrt{\Delta g d} \lg \frac{12\bar{h}}{d_{90}} \quad (2-38)$$

Địa chất không đều hạt thì (2-38) cần nhân thêm $\left(\frac{d_{50}}{d_{90}}\right)^{0,1}$ làm giảm tốc độ không xói;

(2-38) phù hợp cho khu vực cân bằng phương có $Re_{*c} > 25$ tương ứng với $d_{50} > (1 \div 1,55)\text{mm}$.
Trong phạm vi quá độ ($0,25 < d < 1,0\text{mm}$) Knorov kiến nghị:

$$V_c = 32d^{0,25} \left(\lg \frac{7,5\bar{h}}{d} - 5,5dq \right) \quad (2-39)$$

trong đó: $\bar{h}$ và d có đơn vị là cm;

V_c có đơn vị là cm/s;

hằng số 32 và 5,5 có đơn vị.

Mirstkhulava (1957 - 1980) đề nghị công thức V_c cho đất dính:

$$V_c = \sqrt{\frac{2}{2,6\rho\eta} [(\rho_s - \rho)gd + 1,25C_1]} \lg \frac{8,8\bar{h}}{d} \quad (2-40)$$

trong đó: C_1 - lực dính tính toán; $C_1 = 0,035C_0$ (C_0 tương ứng với tải trọng tĩnh)

$\eta > 1$ thể hiện vai trò lực kháng của đất đối với τ_0 .

Khi $\frac{\omega d}{v} > 20$ kết quả số liệu nhiều thí nghiệm cho:

$$\frac{V_c}{\omega} = \left(\frac{\bar{h}}{d} \right)^{0,24} \quad (2-41)$$

Khi tính (2-37) thì $\frac{C}{\sqrt{g}}$ được xác định theo Zegjda (1957):

$$\frac{C}{\sqrt{g}} = 5,66 \lg \frac{\bar{h}}{\Delta} + 6,0 \quad (2-42)$$

trong đó $\Delta = 1,6d_{50}$ cho cát; $\Delta = 1,3d_{50}$ cho sỏi loại trung và $\Delta = d_{50}$ cho sỏi thô.

Công thức chung cho d_{50} :

$$\frac{C}{\sqrt{g}} = 5,75 \lg \frac{\bar{h}}{2d} + 6 \quad (2-43)$$

hay công thức Strickler - Manning:

$$\frac{C}{\sqrt{g}} = 6,67 \left(\frac{\bar{h}}{d} \right)^{1/6} \quad (2-44)$$

Công thức (2-42) và (2-44) sai khác nhau $\pm 10\%$ đối với $(500 < \frac{\bar{h}}{d_{50}} < 10000)$.

Ngoài ra tốc độ xói tại điểm bất kì có độ sâu y theo quy luật logarit:

$$u_c = 5,75 u_{*c} \lg \frac{y}{y'} \quad (2-45)$$

trong đó: y' là cao độ tại đó phân phối tốc độ theo quy luật có $u_{y'} = 0$. Đối với địa chất là sỏi sạn Neil (1957, 68) đề nghị:

$$V_c = \sqrt{2\Delta g d} \left(\frac{\bar{h}}{d} \right)^{1/6} \quad (2-46)$$

$\Delta \approx 1,65$; xác định u_{*c} theo công thức:

$$u_{*c} = \sqrt{\Delta g d \theta_c} \quad (2-47)$$

θ_c xác định trực tiếp theo biểu đồ hình 2.4 hay công thức (2-20) ÷ (2-22c).

2.4. SỨC CẢN VÀ PHÂN PHỐI TỐC ĐỘ TRONG SÔNG

Trong dòng chảy đều ổn định có lớp biên cứng của lòng dẫn hở cũng như lớp biên di động luôn tồn tại quan hệ gọi là phương trình sức cản thực hiện quan hệ xác định giữa tốc độ trung bình mặt cắt V , bán kính thủy lực R , độ dốc mặt nước S và đặc trưng của lớp biên. Trong kênh thẳng có lớp biên cố định, sức cản dòng chảy quan hệ với nhám của lớp biên thường thông qua công thức Sedy - Manning và độc lập đối với dòng chảy. Nhám trong lớp biên di động thay đổi theo dòng chảy và quan hệ không trực tiếp với cỡ hạt và phân phối hạt của lớp biên, thật khó có phương pháp cho phép tính nhám và tổn thất năng lượng đáng tin cậy trong lớp biên di động vì trước hết, hình dạng đáy thay đổi cùng với sự thay đổi điều kiện chảy; tiếp theo là trong các hoàn cảnh cụ thể bùn cát đáy chuyển sang dạng lơ lửng, làm thay đổi dòng chảy, tính chất của chất lỏng và làm ảnh hưởng đáng kể đến phân phối tốc độ, tốc độ trung bình.

2.4.1. Sức cản trong lớp biên cố định

Đối với lớp biên cố định trong dòng chảy rối ta có quy luật tốc độ rút ra từ phương trình ứng suất tiếp rối của Prandtl - Karman.

$$\frac{u}{u_*} = 5,75 \lg \left(\frac{u_* y}{\nu} \right) + 5,5 \text{ cho thành trơn thuỷ lực} \quad (2-48a)$$

$$\frac{u}{u_*} = 5,75 \lg \left(\frac{y}{k_s} \right) + 8,5 \text{ cho thành nhám thuỷ lực} \quad (2-48b)$$

Từ phương trình (2-48b) cho $u = V$ tại nơi y cách đáy bằng $0,4$ chiều sâu h .
 trong đó k_s là nhám hạt tương đương của lớp biên. Tích phân hai phương trình trên cơ sở số liệu thí nghiệm của Bazin, Keulegan (1938) cho quan hệ tốc độ trung bình mặt cắt hay quan hệ lực kháng logarit:

$$\frac{V}{u_*} = 5,75 \lg \left(\frac{u_* R}{\nu} \right) + 3,25 \text{ cho thành trơn thuỷ lực} \quad (2-49a)$$

$$\frac{V}{u_*} = 5,75 \lg \left(\frac{R}{k_s} \right) + 6,25 \text{ cho thành nhám thuỷ lực} \quad (2-49b)$$

Công thức thực nghiệm Sedy - Manning:

$$V = C \sqrt{R.S} \quad (2-50a)$$

với: $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$ do đó:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (2-50b)$$

hay có thể sử dụng: $C = \frac{1}{n} + 17,72 \lg R \quad (2-51)$

trong đó: n - hệ số nhám;

R - bán kính thuỷ lực.

Cũng có thể xác định:

$$C = 18 \lg \left(\frac{11,1R}{k_s} \right) \quad (2-52)$$

Công thức Manning cho:

$$\frac{V}{u_*} = 7,66 \left(\frac{R}{d} \right)^{1/6} \quad (2-53)$$

Tương tự với công thức dạng logarit thông qua $\bar{h}$:

$$\frac{V}{u_*} = 5,75 \lg \left(\frac{\bar{h}}{k_s} \right) + 6 \quad (2-54)$$

trong đó k_s thường lấy bằng $2d_{50}$ được chỉ ra ở (2-43).

2.4.2. Sức cản trong lớp biên di động

Trong dòng chảy có lớp biên di động, khi bùn cát di chuyển đáy sẽ biến dạng từ đáy phẳng sang sóng cát, cồn cát... . Sự không đều của đáy ảnh hưởng lớn đến sức cản; sức cản sẽ gồm hai phần là sức cản hạt và sức cản hình dạng đáy cộng với bùn cát lơ lửng làm cho việc đánh giá sức cản gặp rất nhiều khó khăn. Rõ ràng nhám phụ thuộc vào hai yếu tố:

(1) Bản chất của vật liệu đáy, hình dạng, cấp phối và tính chất cũng như sự phân bố theo chiều dài và rộng sông.

(2) Chiều sâu dòng chảy và tốc độ hay ứng suất tiếp xác định bản chất của đáy đối với một loại vật liệu nhất định.

Chính khó khăn đã tạo ra phương pháp mới xác định sức cản.

Meyer - Peter và Müller (1948) đã chia độ dốc thủy lực của đáy di động thành hai phần:

$$S_f = S_d + S_w \quad (2-55)$$

trong đó: S_d và S_w - độ dốc tương ứng với hạt và hình dạng đáy.

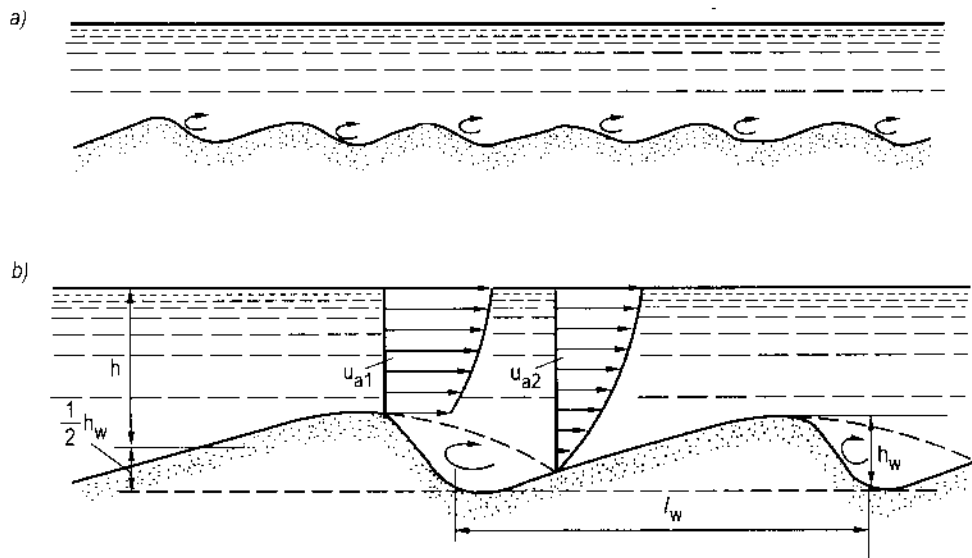
Từ (2-55) rút ra:
$$\frac{1}{C^2} = \frac{1}{C_d^2} + \frac{1}{C_w^2} \quad (2-56)$$

và:
$$f = f_d + f_w \quad (2-57)$$

trong đó: C, C_d, C_w - hệ số Sedy chung, riêng cho hạt và hình dạng đáy;

f, f_d, f_w - hệ số ma sát dọc đường chung, riêng cho hạt và hình dạng đáy.

Các thành phần này có thể được minh họa bằng hình ảnh sóng cát đáy và cồn cát trong hình 2.9.



Hình 2.9: Mặt cắt dọc đáy
a) Sóng cát; b) Cồn cát

Sóng cát phát triển khi ứng suất tiếp đáy hay tốc độ dòng chảy chỉ vừa mới vượt quá giá trị tới hạn tương ứng với một loại hạt nhất định (thường là d_{50}) hay ở giá trị thấp của θ/θ_c tại $Re_* = \frac{u_* d}{\nu} < (22 \div 27)$, tương ứng với cát hạt mịn có $d < (0,7 \div 0,9)\text{mm}$. Kích thước của sóng cát coi như độc lập với chiều sâu dòng chảy, chiều dài thường từ $(10^2 \div 10^3)d$ và chiều cao bằng $(1/5 \div 1/10)$ chiều dài.

Cồn cát phát triển khi ứng suất tiếp đáy hay tốc độ dòng chảy vượt lên nhiều so với giá trị tới hạn, có chiều dài từ $(5 \div 10)$ chiều cao, đôi khi tới 50 lần chiều cao và chiều cao từ $(0,1 \div 0,3)$ chiều sâu dòng chảy.

Cồn cát là kết quả tác động tương hỗ của lớp biên với chiều sâu dòng chảy trong sông có địa chất là cát, sỏi, cuội. Tốc độ dịch chuyển xuôi dòng của sóng và cồn cát thường chỉ bằng $(1/4 \div 1/3)$ tốc độ dòng chảy.

Khi ứng suất tiếp đáy tiếp tục tăng thì cồn cát sẽ dài ra và bẹt xuống thành mặt đáy không bằng phẳng tạo cơ hội để làm phẳng lại đáy trước khi trở thành sóng cát ngược khi mà ứng suất đáy tiếp tục vượt lên hơn nữa; đồng thời sóng cát ngược gắn liền với sóng mặt nước, song sóng cát ngược không phải là hiện tượng chung của đáy cát trong tự nhiên. Chi tiết độc giả có thể đọc tài liệu của Yalin (1972), Graf (1971), Raudikivi (1976, 1982, 1990), Kenedy (1969), Engelund (1970), Richards (1980), Fredsoe (1982), Grishanin (1979, 1982, 1990); Velikanov (1958), Goncharov (1962), Znamenskaia (1977); Rossinskii & Debonskii (1980), Baryshnikov & Popov (1988).

Gần đáy sức cản hình dạng đáy có dạng cồn cát có thể được xác định theo nguyên lý thủy lực đối với xoáy nước trước cồn cát. Gọi tốc độ trung bình ở đỉnh cồn cát là V_1 , và ở cuối xoáy là V_2 thì tổn thất cục bộ do xoáy là:

$$h_c = \frac{1}{2g} (V_1^2 - V_2^2) = \frac{q^2}{2g} \left(\frac{1}{h - h_w / 2} - \frac{1}{h + h_w / 2} \right)^2 \quad (2-58)$$

Cho rằng $\left(\frac{h_w}{h} \right)^2 \ll 1$ thì gần đúng có:

$$h_c = \frac{V^2}{2g} \left(\frac{h_w}{h} \right)^2 \quad (2-59)$$

Chia cả hai vế của (2-59) cho chiều dài sóng λ_w sẽ được độ dốc sóng S_w , đưa S_w vào công thức Sedy sẽ cho thành phần cản hình dạng lòng sông:

$$\frac{C_w}{\sqrt{g}} = \sqrt{2} \sqrt{\frac{\lambda_w}{h_w} \frac{h}{h_w}} \quad (2-60)$$

Sử dụng kết quả thí nghiệm của Knoroz (1959) thì:

$$\frac{C_w}{\sqrt{g}} = 3,16 \left(\frac{\lambda_w}{h_w} \right)^{1/2} \left(\frac{h}{h_w} \right)^{1/8} \quad (2-61)$$

Cả hai công thức (2-60) và (2-61) đều cho giá trị lớn hơn số liệu đo trong sông. Snishenko (1964) tập hợp số liệu trong sông cho:

$$\frac{C_w}{\sqrt{g}} = \sqrt{2} \sqrt{\frac{8,7\lambda_w}{h_w + 0,033\lambda_w}} \quad (2-62)$$

Thực tế dòng chảy có địa hình đáy rất phức tạp, có tính không gian, làm tăng chuyển động xoáy và tăng nhanh tổn thất năng lượng. Do đó, cần tìm quan hệ trực tiếp giữa C_w hay λ_w với các yếu tố của dòng chảy. Einstein (1952) chia $\tau_0 = \tau_d + \tau_b$ để giải quyết bài toán. Trong đó τ_d và τ_b là ứng suất tiếp do hạt và hình dạng hạt đáy. Ứng suất tiếp đáy tăng làm hình dạng đáy thay đổi, đáy bị mất ổn định, do đó có thể sử dụng giá trị nghịch đảo của tiêu chuẩn Shields làm thông số ổn định hạt ở đáy.

$$\psi = \frac{1}{\theta_c} = \frac{\Delta g d}{u_{*c}^2} \quad (2-63)$$

Sử dụng số liệu đo trong phòng thí nghiệm và thực tế Einstein xây dựng đồ thị quan hệ:

$$\sqrt{\frac{2}{\lambda_w}} = \frac{C_w}{\sqrt{g}} = f(\psi)$$

và được viết ở dạng:

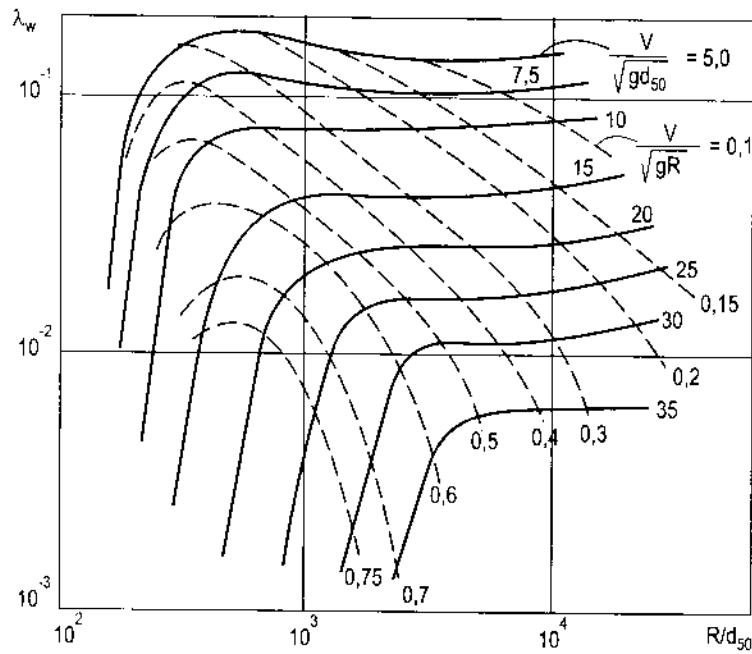
$$\frac{C_w}{\sqrt{g}} = f\left(\frac{\Delta d C_d^2}{V^2}\right); \quad \Delta = \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho}$$

Song các điểm trên đồ thị khá phân tán, đòi hỏi phải nghiên cứu bổ sung cho ψ hay tìm biến mới. Alam - Kennedy (1969) phân chia độ dốc năng lượng thành hai thành phần như (2-55):

$$S_f = S_d + S_w \text{ do đó } f = f_d + f_w \text{ với } f_w = \frac{8gRS_w}{V^2}$$

Kĩ thuật phân chia này đã được Meyer - Peter và Müller (1948) sử dụng. Hai tác giả cho rằng f_w là hàm của $\frac{V}{\sqrt{gd_{50}}}$ và $\frac{R}{d_{50}}$, trong đó $\frac{\sqrt{gd_{50}}}{V}$ là hệ số ổn định của hạt ở đáy của Velikanov. Sử dụng kết quả trong phòng thí nghiệm và trong kênh để thành lập họ đường cong như hình 2.9.

$$f_w = \frac{2g}{C_w^2} = f\left(\frac{V}{\sqrt{gd_{50}}}, \frac{R}{d_{50}}\right)$$



Hình 2.10: Biểu đồ xác định hệ số ma sát của cón cát theo Alam và Kennedy (1969)

Hình gồm hai họ đường có $\frac{V}{\sqrt{gd_{50}}} = (5 \div 35)$ (đường liền) và họ đường $Fr = \frac{V}{\sqrt{gR}} = (0,1 \div 0,75)$ (đường đứt). Đồ thị chỉ ra f_w ít phụ thuộc vào R/d tại $R/d \approx 3000$, chỉ phụ thuộc vào $\frac{V}{\sqrt{gd_{50}}}$ vì dòng chảy tự nhiên có R/d lớn, song lại không phù hợp với số liệu trong phòng thí nghiệm. Từ đồ thị có thể rút ra biểu thức:

$$\frac{C_w}{\sqrt{g}} = 2,1 \left(\frac{V}{\sqrt{gd_{50}}} \right)^{3/4} \quad (2-64)$$

song thật đáng tiếc biểu thức cũng không phù hợp với số liệu thực đo của nhiều sông, thuộc Liên Xô cũ và cũng chưa phải là cách giải quyết vấn đề. Để tìm hệ số C chung Grishanin (1979) và sau đó là Snishenko (1982) giải quyết vấn đề về khoảng cách giữa các xoáy lớn trong dòng rối phẳng $\lambda_{xoáy} = h \left(\frac{C^2}{g} \right)^{1/3}$ và khi $\lambda_{xoáy} = \lambda_w$ thì:

$$\frac{C}{\sqrt{g}} = \left(\frac{\lambda_w}{h} \right)^{3/2} \quad (2-65)$$

Để quan hệ giữa C và V có tính chất chung cần phải thiết lập dạng không đơn vị. Biết rằng ω_0 , $\sqrt{gd}$ và u_{*d} có quan hệ với d nên không sử dụng các thông số này, sử

dùng ba tỉ lệ $\sqrt{gh}$, $\sqrt{gB}$ và $\sqrt[3]{gv}$ sẽ cho ta tốc độ không đơn vị không phụ thuộc vào $B/\bar{h}$, do đó:

$$\frac{C}{\sqrt{g}} = f\left(\frac{V}{\sqrt[3]{gv}}, \frac{B}{h}\right)$$

Thông số: $\frac{V}{\sqrt[3]{gv}} = \sqrt[3]{Re Fr^2}$ với $Re = \frac{V\bar{h}}{v}$; $Fr^2 = \frac{V^2}{gh}$

Do đó:
$$\frac{C}{\sqrt{g}} = f\left(Re, Fr^2, \frac{B}{h}\right)$$

Sử dụng quan hệ tìm được chỉnh lí số liệu đo trong sông có đáy cát, lấy $v = 1,15 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ($t^\circ = 5^\circ \div 25^\circ$, trung bình là 15°); 791 giá trị đo ở 10 trạm thủy văn của 7 sông ở Liên Xô cũ cho công thức:

$$\frac{C}{\sqrt{g}} = 5,25 \left(\frac{V}{\sqrt[3]{gv}} \right)^{1/2} \left(\frac{\bar{h}}{B} \right)^{1/6} \quad (2-66)$$

Juravlev (1987) sử dụng số liệu đo ở sông cong có bán kính cong so với chiều rộng từ $1,5 \div 10,2$ đã cho quan hệ:

$$\frac{C}{\sqrt{g}} = 1,12 \left(\frac{V}{\sqrt[3]{gv}} \right)^{1/2} \left(\frac{r_a}{h_a} \right) \quad (2-67)$$

trong đó r_a và $\bar{h}_a$ là bán kính trục cong và chiều sâu trung bình của nó.

2.4.3. Chuyển động không ổn định ở lạch sâu

Đối với chuyển động không ổn định có gia tốc cục bộ nhỏ ở sông đồng bằng khi có quan hệ đồng nhất giữa lưu lượng và mực nước thì:

$$Q = Q(l, A) \text{ và } \frac{\partial Q}{\partial l} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (2-68)$$

Đạo hàm Q theo A và nhân vào hai vế của (2-68) sẽ được:

$$\frac{\partial Q}{\partial l} \frac{\partial Q}{\partial A} + \frac{\partial Q}{\partial t} = 0$$

Đối với một lưu lượng xác định thì:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\partial Q}{\partial l} \frac{dl}{dt} + \frac{\partial Q}{\partial t} = 0 \quad (2-69)$$

Gọi $\frac{dl}{dt} = C_Q$ là tốc độ truyền lưu lượng (truyền lũ) dọc sông, so sánh (2-69) và (2-68) rút ra:

$$C_Q = \frac{\partial Q}{\partial A} = V + A \frac{\partial V}{\partial A} \quad (2-70)$$

Vì $\frac{\partial V}{\partial A} > 0$ nên tốc độ truyền lưu lượng lớn hơn tốc độ dòng chảy. Phần tử nước trong thời gian lũ trong kênh lắng trụ, lạch sâu đạt được tốc độ đều thì chuyển động thỏa mãn hai phương trình:

$$\beta V \frac{\partial V}{\partial l} + \frac{\partial V}{\partial t} = 0 \quad (2-71)$$

$$\frac{\partial V}{\partial l} = -\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial l} \quad (2-72)$$

Dòng lũ tựa đều này có độ dốc mặt nước bằng độ dốc ma sát.

Sử dụng (2-68) thì (2-72) được viết lại:

$$\frac{\partial V}{\partial l} = -\frac{1}{A} \frac{\partial A}{\partial t} \quad (2-73)$$

Thay (2-73) vào (2-71) và lấy $\beta = 1,0$ thì:

$$\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{1}{A} \frac{\partial A}{\partial t} \quad (2-74)$$

Do đó: $A = \beta_* V$; β_* thay đổi theo chiều dài dòng chảy l và có đơn vị là LT (độ dài và thời gian). Đối với lạch sâu thì: $\frac{1}{B} \frac{\partial B}{\partial Z} \ll \frac{1}{h} \frac{\partial \bar{h}}{\partial Z}$, do đó có thể coi $B = \text{const}$. Sử dụng nguyên lý thứ nguyên ta có:

$$\beta_* = M^2 \frac{B^2}{(gB)^{1/2}} \quad (2-75)$$

M - hàm không đơn vị của (l/B) .

Thay (2-75) vào quan hệ $A = \beta_* V$, nhớ rằng $A = B\bar{h}$ thì:

$$\bar{h} = M \frac{Q^{1/2}}{(gB)^{1/4}} \quad (2-76)$$

và:
$$V = \frac{1}{M} \left(\frac{g}{B} \right)^{1/4} \left(\frac{Q}{B} \right)^{1/2} \quad (2-77)$$

Kết quả đo trong sông vào mùa lũ ở lạch sâu chỉ ra $M = 0,92 \pm 0,12$ với nhám tương đối $(d_{50}/h) \geq 0,005$.

Quy luật gần đúng của $M(l/B)$ là:

$$M = 0,15 \lg \frac{10^3 \bar{h}}{d_{50}} \quad (2-78)$$

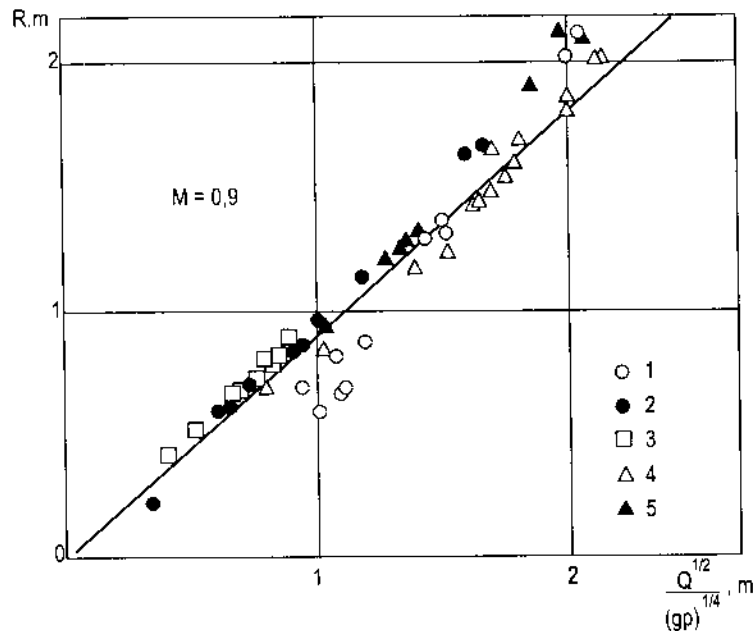
Thay (2-77) vào công thức Sedy thì:

$$CS^{1/2} = \frac{1}{M^{3/2}} \frac{g^{3/8}}{B^{5/8}} Q^{1/4} \quad (2-79)$$

Ở lạch sâu có đáy cát, việc lưu lượng tăng kéo theo giảm nhám hình dạng đáy, độ dốc ma sát ít thay đổi; nếu gần đúng cho rằng nó là hằng số thì từ (2-77) và (2-79) rút ra:

$$C \sim \frac{V^{1/2}}{B^{1/4}} \quad (2-80)$$

(2-80) rất gần với công thức Sedy.



Hình 2.11: Biểu đồ của quan hệ (2-76) theo số liệu đo đoạn kênh ổn định vùng Trung Á
1. Panvan; 2. Gazavat; 3. Kaisar Saka; 4. Shavat 1; 5. Shavat 2.

2.4.4. Đáy sông là sỏi sạn, cuội

Đối với dòng chảy trong sông, suối có đáy là sỏi, sạn, cuội thì do các hạt có dạng tròn, trơn cạnh nên sức cản hình dạng hạt thường nhỏ, chỉ phí năng lượng nhỏ hơn so với tổn thất của sức cản mặt và dòng thứ cấp. Tuy nhiên, khi chiều sâu dòng chảy nhỏ, dòng chảy thường có rất nhiều lạch, chảy xoắn vào nhau... tất cả đều tiêu tốn nhiều năng lượng dòng chảy làm cho việc xác định nhám gặp không ít khó khăn. Hey (1979) kiến

ngợi biểu thức cho dòng chảy sỏi sạn đã kể đến ảnh hưởng của hình dạng mặt cắt ngang, nhám thành ... cho trường hợp $h/d_{84} > 6$ và $S_0 < 1\%$.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2,03 \lg \frac{11,75R}{3,5d_{84}}$$

hay

$$\sqrt{\frac{8}{f}} = 5,62 \lg \frac{aR}{3,5d_{84}} \quad (2-81)$$

Giá trị a thay đổi theo độ dốc ($11,1 < a < 13,46$)

Đối với dòng chảy hẹp và nông trên nền sỏi sạn Bathurst (1978) đề nghị công thức rút ra từ số liệu hiện trường:

$$\sqrt{\frac{8}{g}} = \left(\frac{R}{0,365d_{84}} \right)^{2,34} \left(\frac{B}{h} \right)^{7(\lambda-0,08)} \quad (2-82)$$

trong đó: B và $\bar{h}$ - chiều rộng và sâu dòng chảy;

$$\lambda = 0,139 \lg \left(\frac{1,91d_{84}}{R} \right)$$

Đối với dòng chảy vùng núi có độ dốc lớn Thompson và Campbell (1979) đề nghị:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \left(1 - \frac{bk}{R} \right) \lg \frac{12R}{k} \quad (2-83)$$

trong đó kết quả đo thực tế cho $b = 0,1$; $k = 4,5d_{50}$.

2.5. LƯU LƯỢNG BÙN CÁT

Khi tốc độ trung bình dòng chảy hay ứng suất tiếp đáy trung bình vượt quá giá trị tới hạn đối với vật liệu đáy, các hạt ở đáy có thể bắt đầu chuyển động theo phương chảy, như đã biết ở mục 2.3. Các hạt chuyển động theo các cách khác nhau tùy thuộc vào các điều kiện của dòng chảy, khối lượng tương đối của hạt so với nước và kích cỡ hạt. Đối với hạt chuyển động quay và trượt thì các hạt không chuyển động liên tục mà quay hay trượt, nghỉ song lại tiếp tục quay hay trượt và cứ tiếp tục như vậy suốt hành trình của các hạt tạo ra loại bùn cát tiếp xúc đáy dòng chảy. Hình thức chuyển động thứ hai của hạt là hạt chuyển động kiểu nhảy cóc, không thường xuyên tiếp xúc với đáy tạo ra loại bùn cát tan trong dòng chảy song ở khu vực sát đáy, loại chuyển động này là hình thức chủ yếu đối với cát hạt rời có tốc độ rơi tương đối lớn. Hình thức chuyển động lơ lửng trong chất lỏng là kiểu thứ ba và tạo ra bùn cát lơ lửng, loại chuyển động này được duy trì do sự dao động rối của dòng chảy. Thực tế, hai hình thức chuyển động đầu tiên thường tập hợp lại và tạo ra bùn cát đáy; vậy bùn cát đáy là loại bùn cát chuyển động trên mặt đáy hay

sát đáy dòng chảy. Nghiên cứu chỉ ra ba hình thức chuyển động của bùn cát liên quan đến độ thô thủy lực ω và tốc độ dòng lực u_* :

$$2 < \frac{\omega}{u_*} < 6 \text{ chuyển động tiếp xúc với đáy;}$$

$$0,7 < \frac{\omega}{u_*} < 2 \text{ chuyển động sát đáy;}$$

$$0 < \frac{\omega}{u_*} < 0,7 \text{ chuyển động lơ lửng.}$$

Tuy nhiên, khi chuyển động lơ lửng và bùn cát lơ lửng phát triển thì việc phân chia trên không còn ý nghĩa vật lý.

Ngoài ra còn có bùn cát rửa trôi, thường là sét và đất bột do dòng nước xói mòn mặt lưu vực và bờ sông cũng như sự mài mòn của sỏi sạn trong quá trình chuyển động tạo ra, không thuộc vào bùn cát tạo lòng và không đưa vào trong tính toán vì nó không liên quan đến các thông số thủy lực cục bộ của dòng chảy. Nghiên cứu hiện thời có thể chia phương pháp xác định lưu lượng bùn cát thành bốn nhóm tùy thuộc vào cách tiếp cận vấn đề. Phương pháp đầu tiên và là xa xưa nhất liên quan đến $(\tau_0 - \tau_c)$ hay $(\theta_0 - \theta_c)$ mà đại biểu là Du Boys (1879); phương pháp dựa vào lý thuyết xác suất tách hạt và nguyên lý của cơ học chất lỏng (Einstein, Chien (1942, 1950); phương pháp dựa vào công do năng lượng dòng chảy tạo ra (Bagnold, P. A, 1966 v.v...); phương pháp phân tích thứ nguyên dùng máy tính tối ưu các số liệu đo thí nghiệm và thực tế.

Thật khó có thể xác định công thức và phương pháp nào cho kết quả phù hợp thực tế, do vậy hiện nay có tới gần 200 công thức xác định lưu lượng bùn cát đáy, vì rằng xác định chính xác lưu lượng bùn cát trong thực tế là điều chưa có thể hiện nay. Vậy, lưu lượng bùn cát là khối lượng hay thể tích bùn cát thông qua mặt cắt ngang dòng chảy trong một đơn vị thời gian, đơn vị là kg/s hay m³/s. Lưu lượng bùn cát trung bình trong thời gian T là của toàn dòng chảy.

$$Q_s = \frac{1}{T} \int_{t-T/2}^{t+T/2} \int_B g_s(b, t) db dt$$

$$\text{Lưu lượng bùn cát đơn vị trung bình } q_s = \frac{Q_s}{B}.$$

2.5.1. Bùn cát đáy

Trước hết phải nói đến công thức thực nghiệm được sử dụng rộng rãi nhất do Meyer - Peter và Müller (1948) giới thiệu. Độ dốc năng lượng S được chia làm hai phần song chỉ có một phần (μS) dùng để tải bùn cát, vượt qua sức cản của hạt. μ phụ thuộc hình dạng đáy:

$$\mu = (C_{\text{kênh}}/C_{\text{hạt}})^{1,5} \quad (2-84)$$

$$\text{Hệ số Sedy: } C = 18 \lg(12R/k_s) \quad (2-85)$$

trong đó tính $C_{\text{hạt}}$ thì lấy $k_s = d_{50}$; tính $C_{\text{kênh}}$ thì k_s là chiều cao sóng cát hay cồn cát; ảnh hưởng của hình dạng đáy thay đổi từ (0,5 ÷ 1,0) tương ứng với điều kiện từ cồn cát tới đáy phẳng.

Lưu lượng bùn cát đáy đơn vị áp dụng cho $d = (0,4 \div 30,0)\text{mm}$ và độ dốc $S = 0,02 \div 0,0004$ là:

$$q_b = 8\sqrt{\Delta g d^3} [(\mu R S / \Delta d) - 0,047]^{3/2} \quad (\text{m}^3/\text{s.m}) \quad (2-86a)$$

Dạng thức của biểu thức (2-86a) liên quan đến u_* và u_{*c} do Grishanin biến đổi:

$$q_b = \frac{8}{\Delta g} (u_*^2 - u_{*c}^2)^{1,5}$$

trong đó: $u_{*c} = 0,22\sqrt{\Delta g d}$;

$\Delta = 1,65$ cho (2-86);

u_* - xác định theo quan hệ $u_* = \frac{V}{(C/\sqrt{g})}$ với $C/\sqrt{g}$ xác định theo (2-42)

hay (2-43) hoặc có thể xác định theo biểu thức khác.

Sử dụng hai thông số ϕ và ψ của Einstein thì (2-86a) có dạng:

$$\phi = [4/\psi - 0,188]^{1,5} \quad (2-86c)$$

Einstein xuất phát từ quan điểm xác suất chuyển động của hạt để nghị quan hệ thực nghiệm:

$$\phi = f(\psi) \quad (2-87a)$$

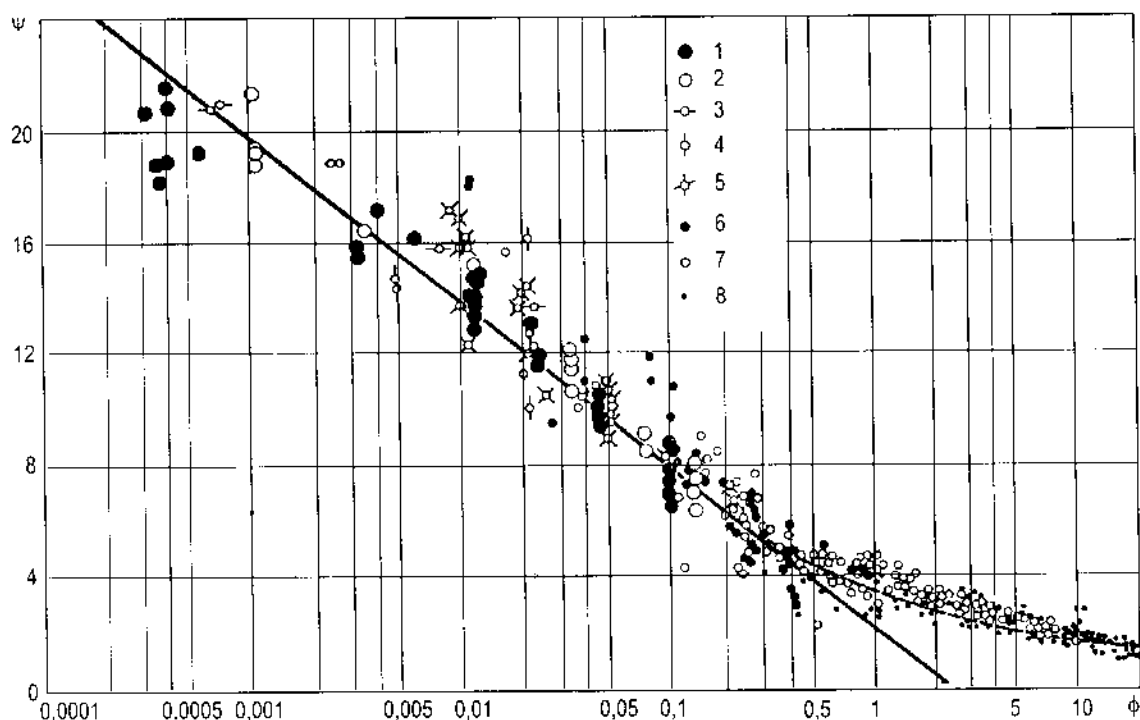
trong đó: ψ - thông số dòng chảy hay cường độ ứng suất tiếp, là giá trị nghịch đảo thông số shields:

$$\psi = \frac{\Delta d}{\mu R S} = \frac{1}{Fr_d^2} \quad (2-87b)$$

ϕ - thông số tải cát:

$$\phi = \frac{q_b}{\sqrt{\Delta g d^3}} \quad (2-87c)$$

Quan hệ giữa lưu lượng bùn cát không đơn vị và thông số ổn định đáy theo thí nghiệm cho trong hình 2.11. Bazilevich V - A (1989) chỉ ra khi $\psi > 20$ (điều kiện tới hạn là $\psi \approx 20$) thì $\phi = 6,56 \times 10^{18}/\psi^{16}$ (Paintal, 1971, JHR, pp 91-113).



Hình 2.12: Quan hệ giữa thông số ϕ và ψ theo thí nghiệm

1. $d = 28,6\text{mm}$; 2. $d = 5,21\text{mm}$; 3. $d = 5,21\text{mm}$ (barits); 4. $d = 5,21\text{mm}$ (than); 5. $d = 7,02\text{mm}$; 6. $d = 1,72\text{mm}$; 7. $d = 0,79\text{mm}$; 8. $d = 0,375\text{mm}$ và $0,315\text{mm}$; (1, 2, 5, 6 - sỏi; 7, 8 - cát)

Van Rijn (1993) chỉnh lí công thức đề nghị (1984) sau khi sử dụng số liệu tải cát đáy trong sông ở Hà Lan và Ai Cập (sông Nile) có $d_{50} = 1.050 \div 530\mu\text{m}$ và $(600 \div 200)\mu\text{m}$; $d_{90} = (1.270 \times 900)\mu\text{m}$ và $(1.600 \div 300)\mu\text{m}$; chiều sâu h (m) = $4,5 \div 9,8$ và $4 \div 6$; tốc độ (m/s); $V_h = 0,45 \div 1,55$ và $0,33 \div 0,83$; và q_b (kg/s.m) = $0,002 \div 0,18$; và $0,0005 \div 0,023$, với đáy chủ yếu là cồn cát đã cho:

$$q_b = 0,015\rho_s V_h h \left(\frac{d_{50}}{h} \right)^{1,2} \left(\frac{V_h - V_{hc}}{\sqrt{\Delta g d_{50}}} \right)^{1,5} \quad (2-88)$$

Sử dụng phương pháp Soulsby (1997), Van Rijn (6-2007) viết lại (2-88) để áp dụng cho cả dòng chảy có sóng chảy ổn định:

$$q_b = 0,0150\rho_s V_h \left(\frac{d_{50}}{h} \right)^{1,2} Me^{1,5} \quad (2-89)$$

trong đó: $Me = \left(\frac{V_c - V_c}{\sqrt{\Delta g d}} \right)^{0,5}$ - thông số di động;

$V_c = V_h + \gamma U_w$ - tốc độ có hiệu quả, với $\gamma = 0,8$ cho sóng đều và $\gamma = 0,4$ cho sóng không đều;

$U_w = \pi H_s / [T_p \sin(kh)]$ - tốc độ quỹ đạo sóng tại đỉnh sóng (dựa vào lý thuyết sóng tuyến tính (H_s - chiều cao sóng; T_p - chu kỳ đỉnh sóng);

$$V_c = \beta V_{c,c} + (1 - \beta) V_{c,w} \text{ (với } \beta = \frac{V}{V + U_w} \text{; } V_{c,c} \text{ - tốc độ tới hạn của dòng}$$

chảy lấy theo biểu đồ Shields; $V_{c,w}$ - tốc độ tới hạn đối với sóng theo Komar và Miller (1975).

Tính $V_{c,c}$ và $V_{c,w}$, Van Rijn (1993) đề nghị công thức đơn giản:

$$V_{c,c} = 0,19 d_{50}^{0,4} \lg(12h / 3d_{90}) \text{ cho } 0,00005 < d_{30} < 0,0005m \quad (2-90a)$$

$$V_{c,c} = 8,5 d_{50}^{0,6} \lg(12h / 3d_{90}) \text{ cho } 0,0005 < d_{30} < 0,002m \quad (2-90b)$$

$$V_{c,w} = 0,24(\Delta g)^{0,66} d_{50}^{0,43} T_p^{0,33} \text{ cho } 0,00005 < d_{30} < 0,0005m \quad (2-90c)$$

$$V_{c,w} = 0,95(\Delta g)^{0,57} d_{50}^{0,43} T_p^{0,14} \text{ cho } 0,0005 < d_{30} < 0,002m \quad (2-90d)$$

Nghiên cứu của Shuliak (1971), Snishenko (1978, 1982, 1983) cho thấy tốc độ dịch chuyển sóng và cồn cát đáy ở dòng chảy tựa ổn định:

$$C_w = 0,019 v Fr^{2,9} \quad (2-91)$$

trong đó: $Fr = V / \sqrt{gh}$.

Biến đổi (2-91) để tính lưu lượng bùn cát nếu biết chiều cao sóng hay cồn cát h_w ; và áp dụng cho sóng vùng đồng bằng (theo Bazilevich, 1989):

$$q_b = 0,0076 h_w \frac{V_h^{3,9}}{(gh)^{1,45}} \quad (2-92)$$

trong đó:

$$\frac{h_w}{R} = 3,5 \frac{(1 - V_c / V)^{2/3}}{\left(\lg \frac{R}{d_{50}} + 6 \right)} \quad (2-93)$$

R - bán kính thủy lực; hay $h < 1m$ thì $h_w = 0,25h$

$h > 1m$ thì $h_w = 0,1h + 0,2$

2.5.2. Lưu lượng bùn cát lơ lửng

Bùn cát lơ lửng tồn tại trong dòng chảy khi dòng chảy có cường độ rối cao và điều kiện gần đúng là thành phần đứng của tốc độ mạnh động xấp xỉ tốc độ động lực, là:

$$u_* > \omega_0 \quad (2-94)$$

Dòng bùn cát lơ lửng khoảng 90 - 95% dòng chảy chứa bùn cát của sông đồng bằng, có hạt $< 0,05mm$, có vai trò to lớn trong diễn biến lòng sông. Phương trình khuếch tán rối là cơ sở của lý thuyết bùn cát lơ lửng.

Phương trình khuếch tán rối dọc theo dòng chảy:

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + V \frac{\partial \bar{C}}{\partial l} - D_l \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial l^2} \quad (2-95)$$

trong đó: $\bar{C}$ - hàm lượng bùn cát trung bình;

D_l - hệ số khuếch tán rối dọc theo chiều dài dòng chảy l ;

V - tốc độ trung bình song song với phương l .

Năm 1988 một nhóm các nhà nghiên cứu Ấn Độ đề nghị sử dụng D_l cho sông thiên nhiên:

$$D_l = 339 u_* h \left(\frac{\sqrt{g}}{C} \right)^{0,632} \quad (2-96)$$

Đối với dòng chảy ổn định phương trình khuếch tán theo chiều sâu dòng chảy:

$$\omega_0 \frac{dc}{dy} + \frac{d}{dy} \left(\epsilon_s \frac{dc}{dy} \right) = 0 \quad (2-97)$$

trong đó: ϵ_s - hệ số khuếch tán bùn cát ($\epsilon_s = D_l$).

Tích phân (2-97) cho:
$$\omega_0 C + \epsilon_s \frac{dC}{dy} + A = 0 \quad (2-98)$$

trong đó hằng số tích phân $A = 0$ với giả thiết hàm lượng bùn cát gần mặt nước bằng không. Giải (2-98) cần biết quy luật phân phối tốc độ và ứng suất tiếp để đánh giá ϵ_s .

Lưu lượng bùn cát lơ lửng:

$$q_{ss} = \int_{y=d}^h cudy \quad (2-99)$$

Engelund đề nghị:
$$q_{ss} = 0,5q \left(\frac{u_*}{\omega_0} \right)^4.$$

2.5.3. Tổng lưu lượng bùn cát

Laursen (1958) tổng lượng bùn cát phụ thuộc vào thông số chính là: $\frac{u_*}{\omega_0}$, $\frac{d_i}{h}$ và $\bar{C}$

theo trọng lượng, $\frac{\tau_{di}}{\tau_{0c}}$ đối với một loại hạt nhất định, do đó:

$$\frac{\bar{C}}{\Sigma i \left(\frac{d_i}{h} \right)^{7/6} \left(\frac{\tau_{do}}{\tau_{0ci}} - 1 \right)} = f \left(\frac{u_*}{\omega_i} \right) \quad (2-100a)$$

trong đó ứng suất tiếp đối với hạt:

$$\tau_{di} = \rho \frac{V^2}{7,66^2} \left(\frac{d_i}{h} \right)^{1/3} \approx \rho \frac{V^2}{58} \left(\frac{d_i}{h} \right)^{1/3}$$

$$\tau_{ci} = \theta_c (\rho \Delta g d_i)$$

lưu lượng bùn cát theo trọng lượng $g_t = \bar{C} S_s q$, (kg/sm).

trong đó: $S_s = 2,65$;

q - lưu lượng nước (m^3/sm).

Khi $d < 0,2mm$ thì: $q_t = \frac{\bar{C} q}{160}$ (2-100b)

Ackers và White (1973) đề nghị:

$$\left(\frac{q_t}{vd} \right) \left(\frac{u_*}{V} \right)^n = C \left[(F_{gr} / A) - 1 \right]^m \quad (2-100c)$$

$$F_{gr} = \frac{u_*^n}{\sqrt{\Delta g d}} \left(\frac{V}{5,66 \lg 10h / d} \right)^{1-n} \quad \text{với } d \text{ là } d_{35} \quad (2-101)$$

trong đó: A , C , m và n xác định theo thí nghiệm liên quan đến d_* và $\Delta = \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)$;

$$d_* = \sqrt[3]{\frac{\Delta g d^3}{v^2}} \quad \text{và } d \text{ là } d_{35}.$$

(a) Hạt thô $d_* > 60$; $n = 0$; $A = 0,17$; $m = 1,5$ và $C = 0,025$.

(b) Vùng chuyển tiếp $1 < d_* < 60$ thì:

$$n = 1,00 - 0,56 \lg d_*$$

$$m = (9,66/d_*) + 1,34$$

$$A = (0,23/\sqrt{d_*}) + 0,14$$

$$C = 10^{[2,86(\lg d_*) - (\lg d_*)^2 - 3,53]}$$

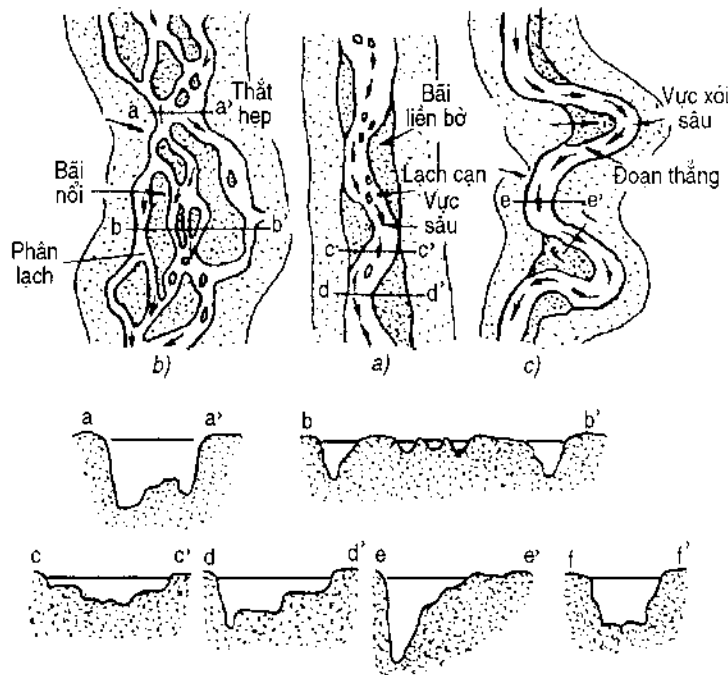
Giá trị A thể hiện giá trị tới hạn của số di động hạt F_{gr} , điều kiện tới hạn $\sqrt{\theta_c}$. Kết quả rút ra từ thí nghiệm có $0,04 < d$ (mm) $< 4,0$ và $Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}} < 0,8$ và 68% số liệu (1000 trong phòng và 260 hiện trường) cho $0,5 < (q_{tính}/q_{đo}) < 2,0$ phù hợp hơn so với công thức của nhiều tác giả khác.

Chương 3

DỰ ĐOÁN BIẾN DẠNG LÒNG SÔNG THIÊN NHIÊN

3.1. KHÁI NIỆM VỀ CÁC DẠNG DIỄN BIẾN LÒNG SÔNG

Các dòng chảy trong tự nhiên có đáy và bờ, thành là loại vật liệu dễ bị xói như cát, sỏi sạn, sét, đất bột và các hình thức hỗn hợp khác nhau của chúng tạo thành lớp biên di động, chịu tác động xói bồi thường xuyên của dòng nước, tạo ra sự mất ổn định tự nhiên, thay đổi liên tục hình dạng đáy, hình thành và mất đi các đảo nổi, các lòng lạch, tạo ra dạng các vòng dây trên mặt bằng, để lại các khúc sông chết... Mức độ mất ổn định luôn thay đổi cùng với các hiện tượng thủy văn (mưa, lũ, bão...), sự mất ổn



Hình 3.1: Ba hình dạng chính của dòng sông
a) Dòng chảy thẳng; b) Dòng chảy xoắn; c) Dòng uốn lượn

định của đáy sông và bờ sông, các loại thực vật và phạm vi phát triển của chúng ở bờ và bãi sông cũng như mức độ khai thác bãi sông của con người. Biến dạng lòng sông có thể thuộc loại luân phiên hay không luân phiên (không đổi chỗ cho nhau). Sự biến dạng không luân phiên tiêu biểu nhất là do lực quay của trái đất (lực coriolit). Đa số các biến dạng tự nhiên của lòng sông thuộc loại luân phiên nhau tạo ra sự ổn định có tính thống kê theo thời gian, quan hệ với cấu trúc lòng sông. Dòng chảy và sự biến dạng của lòng sông tự nhiên có ba dạng biến dạng cơ bản nhất là: chuyển động của các bãi liên bờ, biến dạng theo mùa của các lạch cạn và sự hình thành lại các biến dạng cong kiểu "meander". Dòng sông thiên nhiên thường chia thành ba loại như hình 3.1.

Trong nghề giao thông còn phân chia dòng sông thành dòng sông có bãi và không có bãi sông. Bãi sông không phải là kết quả thường xuyên của lũ lớn mà là kết quả của dịch chuyển ngang dòng chảy từ bờ này sang bờ kia theo thời gian, là kết quả của đào sâu lạch sâu và bồi đắp bãi cát phía trong dòng sông. Nhìn chung, các bãi sông thường bị ngập trong mùa lũ, nhất là lũ cao.

Nghiên cứu chỉ ra sông thẳng nếu chiều dài lạch sâu so với chiều dài thung lũng sông nhỏ hơn 1,5. Vào mùa cạn lạch sâu dao động ngang trong phạm vi lòng sông mùa cạn, dòng chảy hướng từ bờ này sang bờ đối diện tạo ra bãi cát liền bờ. Loại biến dạng này chỉ có tính tạm thời.

Loại sông có nhiều lạch len lỏi giữa các đảo nổi là loại sông mà dòng chảy mang nhiều bùn cát hạt thô vượt quá khả năng tải cát của dòng chảy. Lưu lượng bùn cát đáy đọng lại làm đáy nâng cao ở phần trên trong lúc đoạn kênh phía dưới có độ dốc lớn hơn làm tăng tốc độ trong mùa cạn. Mùa lũ dòng chảy tràn qua các đảo nổi, cồn cát làm xói mòn, thay đổi vị trí của chúng cũng như các lạch sâu tạo ra một mặt bằng mới. Loại sông này có mức độ ổn định kém, thay đổi hướng chảy mạnh, chịu tác động lớn của nâng cao, hạ thấp đáy sông, có chiều rộng dòng chảy lớn và nông, đồng thời rất khó dự đoán.

Loại sông cong "meander" thường có dạng chữ S luôn biến động theo chiều dài và chiều ngang với việc hình thành và mất đi các khúc lượn. Dòng sông loại này luôn chuyển động dọc theo đường có sức cản ít nhất, mức độ cong phát triển không đều phụ thuộc vào khả năng xói bờ và phạm vi bãi sông. Sau khi tạo và cắt vòng dây để nối thẳng, đoạn thẳng mới có độ dốc lớn và tự điều chỉnh dòng thượng và hạ lưu (ở sông cũ) để hình thành đoạn cong mới.

3.2. PHƯƠNG TRÌNH ĐỘNG LỰC CỦA DÒNG CHẢY MỘT CHIỀU

Mô hình một chiều là mô hình trục lòng sông, sử dụng rộng rãi trong thực hành xây dựng công trình thủy. Trong phần này sử dụng phương trình động lượng (định luật II Niuton) mang tên phương trình [Saint Venant (1871)] cho dòng chảy ổn định đổi dần.

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\beta}{2} \frac{\partial v^2}{\partial l} = g(S_w - S_f) \quad (3-1a)$$

Thay $S_w = -\frac{\partial y}{\partial l} = S_0 - \frac{\partial h}{\partial l}$ và chia cả hai vế (3-1a) cho g ta có:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\beta}{g} \frac{v \partial v}{\partial l} = (S_0 - S_f) = \left(S_0 - \frac{v^2}{C^2 h} \right) \quad (3-1b)$$

trong đó: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$;

S_f, S_w, S_0 - lần lượt là độ dốc năng lượng, độ dốc mặt nước và độ dốc đáy dòng chảy;

β - hệ số sửa chữa động lượng, thường $\beta = 1,0$ trong thực hành;

$\bar{h}$ - chiều sâu trung bình của mặt cắt, ($\bar{h} = \frac{A}{B}$ với A và B là diện tích mặt cắt và chiều rộng mặt nước).

Trường hợp thay $S_f = \frac{Q^2}{A^2 C^2 R}$ hay $S_f = \frac{v^2}{C^2 \bar{h}}$ phù hợp với điều kiện thông số không ổn định của dòng chảy là $\frac{h}{v^2} \frac{\partial v}{\partial t} < 0,5$, khi đó tổn thất cột nước dọc theo chiều dài dòng chảy tại mỗi mặt cắt và tại từng thời điểm được xác định như dòng đều.

Giải (3-1) đồng thời với phương trình liên tục:

$$\frac{\partial Q}{\partial l} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (3-2)$$

Nếu dòng ổn định thì thành phần $\frac{\partial v}{\partial t} = 0$ ở (3-1) và $\frac{\partial A}{\partial t} = 0$ ở (3-2), khi đó (3-2) sẽ cho $Q = Av = \text{const}$ dọc theo chiều dài dòng chảy.

Dòng chảy ở đoạn sông cong, chảy trên lạch cạn (hay bãi vát) là dòng chảy không đổi dần, do đó $\frac{\partial v^2}{\partial l} > 0$ hay $\frac{\partial v^2}{\partial l} < 0$. Khi gia tốc của chuyển động không đều là dương ($\frac{\partial v^2}{\partial l} > 0$) thì lực cản của chuyển động này được tính như dòng đều. Trong dòng không đổi dần cần thay $\beta = (1 - \xi)$ do đó (3-1a) sẽ là:

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial l} + \frac{(1-\xi)}{2} \frac{\partial v^2}{\partial l} &= g(S_0 - S_f) \\ \text{hay} \quad \frac{\partial v}{\partial l} + \frac{(1-\xi)}{2} \frac{\partial v^2}{\partial l} &= gS_0 - \frac{g}{C^2} \frac{v^2}{\bar{h}} \end{aligned} \quad (3-3)$$

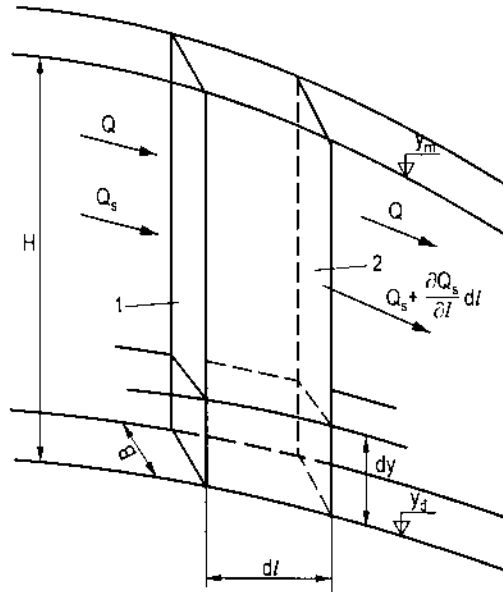
Khi dòng chảy mở rộng không tách khỏi bờ thì $\xi = (0,1 - 0,3)$, tách khỏi bờ thì $\xi = 0,5$; còn khi $\frac{\partial^2 v}{\partial l} > 0$ thì $\xi = 0$.

Hệ số Sedy C nên xác định đối với trường hợp có kể đến hình dạng đáy và có thể theo (2-66) và (2-67). Ngoài ra đối với dòng chảy hai chiều (tại vùng cửa sông ra biển) thì $v^2 / C^2 \bar{h}$ thay bằng $\frac{v |v|}{C^2 \bar{h}}$.

3.3. PHƯƠNG TRÌNH BIẾN DẠNG CỦA DÒNG CHẢY MỘT CHIỀU

Xét một đoạn lòng sông có chiều dài rất nhỏ dl giới hạn bởi hai mặt cắt 1-1 và 2-2. Tổng lượng bùn cát vào qua 1-1: Q_{st} . Do lượng bùn cát thay đổi trong dl , nên tổng lượng bùn cát ra khỏi 2-2 là:

$$Q_{st} + \frac{\partial Q_{st}}{\partial l} dl$$



Hình 3.2: Sơ đồ rút ra phương trình vi phân biến dạng lòng sông (cân bằng bùn cát)

Gọi lưu lượng bùn cát bổ sung trên một đơn vị chiều dài dọc theo dòng chảy là q'_s thì độ chênh giữa tổng lượng bùn cát vào và ra khỏi dl trong thời gian dt là:

$$dV_1 = \left[(Q_{st} + q'_s dl) - \left(Q_{st} + \frac{\partial Q_{st}}{\partial l} dl \right) \right] dt = \left(q'_s - \frac{\partial Q_{st}}{\partial l} \right) dl dt \quad (a)$$

Trong thời gian dt thể tích bùn cát ở đáy, bờ sông và toàn mặt cắt ngang có sự thay đổi trong dl là:

$$dV_2 = (1 - \varepsilon) B \frac{\partial \bar{y}_0}{\partial t} dt dl \quad (b)$$

Sự thay đổi của bùn cát lơ lửng:

$$dV_3 = \frac{\partial (AC)}{\partial t} dt dl \quad (c)$$

Quy luật bảo toàn vật chất cho phép viết (a) = (b) + (c):

$$dV_1 = dV_2 + dV_3 \quad (3-4a)$$

$$\text{hay: } \frac{\partial Q_{st}}{\partial l} + (1 - \varepsilon)B \frac{\partial \bar{y}_0}{\partial t} + \frac{\partial(AC)}{\partial t} - q'_s = 0 \quad (3-4b)$$

Phương trình (3-4b) là phương trình biến dạng lòng sông, trong đó:

ε - hệ số rỗng của bùn cát đáy lắng đọng;

B - chiều rộng lòng sông;

$\bar{y}_0$ - cao độ đáy trung bình của mặt cắt ngang.

Khi lưu lượng bùn cát lơ lửng không lớn thì (3-4b) sẽ là:

$$\frac{\partial Q_{st}}{\partial l} + (1 - \varepsilon)B \frac{\partial \bar{y}_0}{\partial t} - q'_s = 0 \quad (3-4c)$$

Nếu không có bùn cát bổ sung dọc đường thì $q'_s = 0$ và ta có:

$$\frac{\partial Q_{st}}{\partial l} + (1 - \varepsilon)B \frac{\partial \bar{y}_0}{\partial t} = 0 \quad (3-4d)$$

Lưu lượng bùn cát liên quan trực tiếp đến tốc độ dòng chảy, do đó ở đoạn dòng chảy nào có tốc độ vượt quá tốc độ khởi động bùn cát thì ở đó xảy ra xói và ngược lại tốc độ nhỏ hơn sẽ xảy ra bồi. Hệ thống ba phương trình cơ bản (3-1), (3-2) và (3-4) đủ giải quyết cho mô hình dòng một chiều của diễn biến lòng sông. Để giải cần thêm hai phương trình bổ sung của quan hệ lực cản, tức là công thức xác định hệ số Sedy:

$$C = C(g, \rho, \mu, d, Q, A, B) \quad (3-5)$$

và lưu lượng bùn cát:

$$Q_{st} = Q_{st}(g, \rho, \rho_s, \mu, d, Q, A, B) \quad (3-6)$$

trong đó: g , ρ và ρ_s coi như hằng số vật lí; μ theo nhiệt độ nước và gắn với đường kính hạt d .

Hàm $Q(l, t)$, $B(l, t)$, $q'_s(l, t)$ là điều kiện đã cho của bài toán, cao độ mặt nước $y = h + \bar{y}_0$. Đối với bài toán cụ thể cần biết điều kiện ban đầu và điều kiện biên tại $t = 0$ đối với B và $\bar{y}_0$ là $B = B(l, 0)$ và $\bar{y}_0 = \bar{y}_0(l, t)$.

Điều kiện biên trên của đoạn sông: $Q = Q(0, t)$; $Q_{st} = Q_{st}(0, t)$ và $\bar{y}_0 = \bar{y}_0(0, t)$ thể hiện quá trình thay đổi theo thời gian của lưu lượng, lưu lượng bùn cát và cao độ đáy. Điều kiện biên dưới của đoạn l là: $y = y(l, t)$ và $Q = Q(l, t)$. Mức độ chính xác của lời giải phụ thuộc vào độ chính xác của công thức xác định lực cản thủy lực và lưu lượng bùn cát.

Tiêu chuẩn tương tự cho phép viết:

$$\frac{C}{\sqrt{g}} = f\left(\text{Re}, \frac{k_s}{h}, \frac{B}{h}\right) \quad (3-7)$$

và quan hệ này được xác định bằng thực nghiệm đã biết ở chương 2, song cần nhớ rằng năng lượng cơ học tiêu tốn cho một đơn vị khối lượng chất lỏng trên một đơn vị, chiều dài dòng chảy có giá trị bằng lực ma sát:

$$gS_f = \frac{g}{C^2} \frac{v^2}{h} = \frac{u_*^2}{h^2}$$

Mặt khác, năng lượng tiêu tốn cho một đơn vị khối lượng trong một đơn vị thời gian, là tốc độ khuếch tán năng lượng được trung bình hóa cho toàn mặt cắt ngang, bằng công suất của lực ma sát:

$$\varepsilon_A = gS_f V = \frac{\bar{V}}{h} u_*^2$$

3.4. DỰ ĐOÁN DIỄN BIẾN LÒNG SÔNG THEO PHƯƠNG PHÁP CÂN BẰNG BÙN CÁT - BÀI TOÁN MỘT CHIỀU

Để giải bài toán ta đưa vào một số giả thiết:

(1) Chiều rộng lòng sông B là hàm của chiều dài dòng chảy l và cao độ mặt nước y , $B = B(l, y)$ không thay đổi trong quá trình tính;

(2) Trong phạm vi tính dòng chảy coi như ổn định: $\frac{\partial v}{\partial t} = 0$ và $\frac{\partial Q}{\partial l} = 0$.

(3) Cao độ mặt nước bằng cao độ trung bình đáy cộng với chiều sâu trung bình của mặt cắt ngang: $y = y_0 + \bar{h}$, do đó (3-1b) sẽ là:

$$\frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial l} + \frac{\partial y_0}{\partial l} + \frac{\partial \bar{h}}{\partial l} + \frac{v^2}{C^2 \bar{h}} = 0 \quad (3-8)$$

Từ phương trình liên tục $Q = vB\bar{h}$ rút ra $v = Q / B\bar{h}$ và thay vào (3-8), sau một vài sắp xếp ta có:

$$\left(1 - \frac{Q^2}{gB^2 \bar{h}^3}\right) \frac{\partial \bar{h}}{\partial l} + \frac{\partial y_0}{\partial l} - \frac{Q^2}{gB^3 \bar{h}^2} \frac{\partial B}{\partial l} + \frac{g}{C^2} \frac{Q^2}{gB^2 \bar{h}^3} \quad (3-9)$$

Biết rằng: $\frac{Q^2}{gB^2 \bar{h}^3} = Fr^2$; $\frac{Q^2}{gB^3 \bar{h}^2} = Fr^2 \frac{\bar{h}}{B}$, do đó (3-9) được viết lại:

$$(1 - Fr^2) \frac{\partial \bar{h}}{\partial l} + \frac{\partial y_0}{\partial l} - Fr^2 \frac{\bar{h}}{B} \frac{\partial B}{\partial l} + \frac{g}{C^2} Fr^2 = 0 \quad (3-10)$$

Trong sông rộng vùng đồng bằng trị số Fr và $\frac{\bar{h}}{B}$ khá bé nên $\frac{\partial B}{\partial l}$ được bỏ qua; đồng thời không xét tới ghềnh cạn và bùn cát bổ sung dọc đường q'_s (Việc xác định q'_s rất phức tạp vì phụ thuộc vào tính chất của đất ở mái dốc, chiều cao và độ dốc của mái dốc cũng như thực vật phát triển ở bờ sông) thì phương trình biến dạng sẽ là:

$$\frac{\partial Q_{st}}{\partial l} + (1 - \varepsilon)B \frac{\partial y_0}{\partial t} = 0 \quad (3-11)$$

Hệ thống phương trình (3-9), (3-11) có bốn ẩn là $\bar{h}$, y_0 , Q_{st} và C , đồng thời hàm $B(l, y)$ tại mỗi mặt cắt phụ thuộc vào B và cao độ mặt nước, $Q(t)$ phải cho trước các điều kiện ban đầu và điều kiện biên. Để giải cần phải thêm hai phương trình xác định C và Q_{st} nhưng không được thêm biến mới.

Hiện nay có một số phương pháp giải hệ thống phương trình trên, mức độ chính xác phụ thuộc vào việc xác định C , lưu lượng bùn cát Q_{st} và phương pháp giải. Bùn cát không cùng loại, trong quá trình xói sẽ xảy ra hiện tượng thô hóa cũng làm cho lời giải thiếu độ chính xác vì sẽ làm chậm lại hay ngừng vận tải bùn cát. Nếu tốc độ vượt lên lại làm tăng lượng bùn cát...

3.5. MỘT SỐ CÔNG THỨC XÁC ĐỊNH XÓI TỰ NHIÊN (HẠ THẤP CAO ĐỘ ĐÁY SÔNG)

Xói tự nhiên phụ thuộc vào loại sông, chế độ chảy của sông, chế độ bùn cát và chế độ thủy văn của sông, do vậy xói này rất phức tạp, chưa có sự thống nhất chung không chỉ về ý nghĩa vật lí mà cả về mô hình toán. Sau đây là một số công thức gợi ý:

+ Công thức Lacey (1930):

$$h_{xtn} = 0,47 \left(\frac{Q}{f} \right)^{1/3} \quad (3-12)$$

trong đó: $f = 1,76d_{50}^{0,5}$ cho $d_{50} < 1,3\text{mm}$, đơn vị của h_{xtn} , Q và d lần lượt là m, m^3/s và mm. Công thức này cho độ dự trữ lớn khi lưu lượng bùn cát lớn.

+ Công thức Blench (1969) cho cát có $0,06 < d_{50} \leq 2,0\text{mm}$:

$$h_{xtn} = 1,2 \left(\frac{q^{2/3}}{d_{50}^{1/6}} \right) \quad (3-13a)$$

và cho sỏi sạn có $\left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) = \Delta = 1,65$ và $d_{50} > 2,0\text{mm}$:

$$h_{xtn} = 1,23 \left(\frac{q^{2/3}}{d_{50}^{1/12}} \right) \quad (3-13b)$$

Đơn vị của h_{xin} , q và d_{50} là m, $\text{m}^3/\text{s.m}$ và mm.

+ Công thức Maza Alvarez và Echavarria Alfaro (1973) cho $d_{75} < 6\text{mm}$ (cho sỏi sạn):

$$h_{\text{xin}} = 0,365 \left(\frac{Q^{0,784}}{B^{0,784} d_{50}^{0,157}} \right) \quad (3-14)$$

Trong các công thức (3-12) ÷ (3-14), h_{xin} là chiều sâu tính từ cao độ mặt nước đến cao độ trung bình đáy.

Đối với đoạn sông cong có thể sử dụng công thức (ASCE, 1994):

$$h_{\text{max}} = \bar{h} \left[3,37 - 0,66 \ln \left(\frac{R}{B} \right) \right] \quad (3-15)$$

hay công thức S. T. Maynard (1996):

$$h_{\text{max}} = \bar{h} \left[1,8 - 0,051 \left(\frac{R}{B} \right) + 0,0084 \left(\frac{B}{\bar{h}} \right) \right] \quad (3-16a)$$

cho sông có $\frac{R}{B} = 1,5 \div 10$; $\frac{B}{h} = 20 \div 125$ và $\frac{\bar{h}_{\text{bãi}}}{h_{\text{lòng}}} \leq 0,2$.

trong đó: $\bar{h}$ - chiều sâu trung bình mặt cắt trước đoạn sông cong;

R và B - lần lượt là bán kính trục lòng sông và chiều rộng lòng sông.

Để an toàn nên tăng chiều sâu tính lên 1,2 lần.

+ Công thức Thorne (1988) áp dụng cho $R/B < 2$ và $B/\bar{h} < 20$.

$$h_{\text{max}} = \bar{h} \left[2,07 - 0,19 \ln \left(\frac{R}{B} - 2 \right) \right] \quad (3-16b)$$

Hai công thức (3-16) và (3-17) nên áp dụng cho trường hợp $Q_{\text{bãi}} < 20\% Q_{\text{lòng}}$.

+ Công thức Znamenskaia N. S đối với sông có đáy cát ở dạng sóng cát, bãi liên bờ hay cồn cát.

Đối với đoạn sông thẳng:

$$h_{\text{max}} = \bar{h}_{p\%} (1 + 0,05k_p) \quad (3-17a)$$

Đối với đoạn sông cong:

$$h_{\text{max}} = \bar{h}_{p\%} (1 + k_p) \quad (3-17b)$$

trong đó: $\bar{h}_{p\%}$ - chiều sâu trung bình mặt cắt tương ứng với lũ tính $p\%$ có đơn vị là mét, k_p phụ thuộc vào tần suất vượt lũ $p\%$ cho trong bảng 3.1.

Bảng 3.1. Bảng hệ số kp

d (mm)	$k_p/d_{50} > 1000$	$h_p/d_{50} = 300 \div 1000$	$h_p/d_{50} = 100 \div 300$
0,00 - 0,25	0,35	0,45	0,5
0,25 - 0,50	0,30	0,40	0,45
0,50 - 1,00	0,25	0,35	0,40
1,0 - 5,0	0,20	0,30	0,35
> 5,0	0,15	0,25	0,3

Chiều sâu xói lớn nhất ở nơi hợp dòng (ngã ba sông) được dự đoán theo công thức Ashmore & Parke (1983); Klaassen và Vermeer (1988).

$$\frac{h_{\max}}{\bar{h}} = 2,24 + 0,031\alpha \text{ cho sông có sỏi sạn, cát: } \alpha = 30 \div 90^\circ \quad (3-18a)$$

$$\frac{h_{\max}}{\bar{h}} = 1,01 + 0,03\alpha \text{ cho đất dính} \quad (3-18b)$$

$$\frac{h_{\max}}{\bar{h}} = 1,29 + 0,037\alpha \text{ cho } 0,6 < \frac{Q_s}{Q_{p\%}} < 1 \text{ và cát đều hạt } 0,15 < d_{50} \text{ (mm)} < 0,25 \quad (3-18c)$$

trong đó $\bar{h}$ là chiều sâu trung bình của sông trước khi hợp dòng.

3.6. XÓI Ở ĐOẠN SÔNG THU HẸP TRONG PHẠM VI DÀI DÒNG CHẢY

3.6.1. Xói nước trong

Xét đoạn sông mặt cắt chữ nhật thu hẹp dài như hình 3.3.

Đoạn sông thu hẹp dài là đoạn sông có $L/b_1 \geq 1$ (được Raika, 2004 đo kiểm tra). Áp dụng phương trình năng lượng cho hai mặt cắt 1-1 và 2-2 trong điều kiện cân bằng xói:

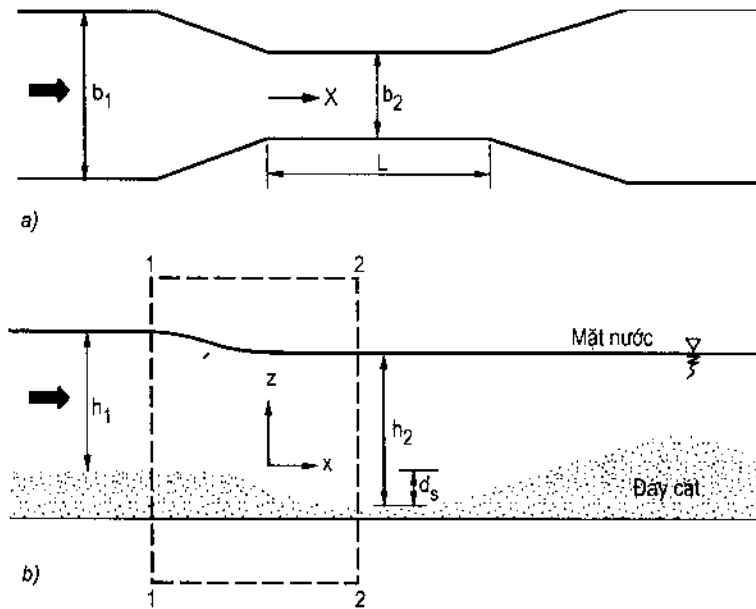
$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} - d_s + h_f \quad (3-19)$$

Trong đoạn thu hẹp dài, dòng chảy đổi dần do đó h_f (hay h_p) có thể bỏ qua (Graf, 2003). Phương trình liên tục giữa hai mặt cắt là:

$$V_1 h_1 b_1 = V_2 h_2 b_2 \quad (3-20a)$$

Trong điều kiện xói nước trong $V_2 = V_c$ đối với hạt bùn cát nhất định thì:

$$V_c = u_{*c} \sqrt{\frac{8}{f_b}} \quad (a)$$



Hình 3.3: Sơ đồ đoạn dòng chảy mặt cắt chữ nhật thu hẹp dài khi xói cân bằng
a) Mặt bằng; b) Mặt cắt dọc.

với f_b là hệ số ma sát đáy theo Colebrook - White:

$$\frac{1}{f_b} = -0,86 \ln \left(\frac{k_s p_b}{14,8 A_b} + \frac{2,51}{Re_b \sqrt{f_b}} \right) \quad (b)$$

trong đó: $k_s = 2d_{50}$;

A_b - diện tích mặt cát đối với đáy;

Re_b - số Reynold đối với đáy: $Re_b = \frac{4V_c A_b}{\nu P_b}$;

Để hiệu chỉnh ảnh hưởng của thành bên thì nên tính f_b theo công thức:

$$f_b = 0,316 Re_b \left(\frac{4V_c \times h_2 b_2}{\nu \times 2h_2} - \frac{Re_b P_b}{2h_2} \right) \quad (3-21)$$

và:

$$\frac{1}{\sqrt{f_b}} = -0,86 \ln \left(\frac{2d_{50} V_c}{3,7 \nu Re_b} + \frac{2,51}{Re_b \sqrt{f_b}} \right) \quad (3-22)$$

Khi xói cân bằng thì (3-20a) sẽ là:

$$V_1 h_1 b_1 = V_c h_2 b_2 \quad (3-20b)$$

Biết V_1 , h_1 , b_1 , b_2 và d_{50} sẽ tìm được V_c tại mặt cắt 2-2, h_2 và Re_b thông qua phương trình (a) và (3-21), (3-22) và (3-20b). Sau đó từ (3-19) rút ra:

$$d_s = h_2 + \frac{V_c^2}{2g} - h_1 - \frac{V_1^2}{2g} \quad (3-23)$$

Phương trình được kiểm tra bằng thí nghiệm của Dey và Raikar (ASCE 12/2005) ở máng dài 12m, rộng 0,6m, sâu 0,7m; 0,3m cát cho cát đều hạt có $\sigma_g < 1,4$ và cát không đều hạt $\sigma_g > 1,4$ (1,27 và 1,342) đối với cát có $d_{50} = 0,81\text{mm}$ và cát thô, sỏi sạn ($d_{50} = 1,86; 2,54; 4,1; 5,53; 7,15; 10,25; 14,25\text{mm}$); $\tilde{b} = \frac{b_2}{b_1} = 0,7; 0,6; 0,5; 0,4$ tương ứng với $0,9 < V_1/V_c < 0,98$ hay $u_{*1c}/u_{*c} < 1$. Hệ số tương quan R giữa kết quả tính và thí nghiệm là $R = 0,94$.

Trường hợp không hiệu chỉnh ảnh hưởng của thành bên thì:

$$V_2 = V_c = u_{*c} \times 5,571g \frac{h_2}{2d_{50}} + 6 \quad (3-24)$$

Kết hợp (3-24) với (3-20b) sẽ tìm được d_s theo (3-23), kết quả giữa d_s theo lý thuyết và thực nghiệm cho $R = 0,96$. Kết quả thí nghiệm chỉ ra nên sử dụng kết quả không có hiệu chỉnh thành bên.

Nghiên cứu thực nghiệm cũng chỉ ra có tới 10 thông số ảnh hưởng tới chiều sâu xói ở mặt cắt co hẹp d_s :

$$d_s = f_1(V_1, h_1, \rho, \rho_s, g, \nu, d_{50}, b_1, b_2, \sigma_g) \quad (3-25)$$

Trong đó: ρ_s và ρ - khối lượng riêng của hạt nước;

$$\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s};$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2.$$

Các kí hiệu khác như hình 3.3.

$$\text{Đặt } \tilde{d}_s = \frac{d_s}{b_1}; \tilde{d} = \frac{d_{50}}{b_1}; \tilde{h} = \frac{h_1}{b_1}; \tilde{b} = \frac{b_2}{b_1} \text{ và } \Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}.$$

Sử dụng lý thuyết π . Buckingham thông qua V_1 và b_1 sẽ có dạng không đơn vị của xói:

$$\tilde{d}_s = f_2(\tilde{d}, Fd, \tilde{h}, \tilde{b}, \sigma_g) \quad (3-26)$$

trong đó: $Fd = \frac{V_1}{\sqrt{\Delta g d_{50}}}$ - thông số Froude của hạt phản ánh ảnh hưởng của hạt bùn cát đến xói.

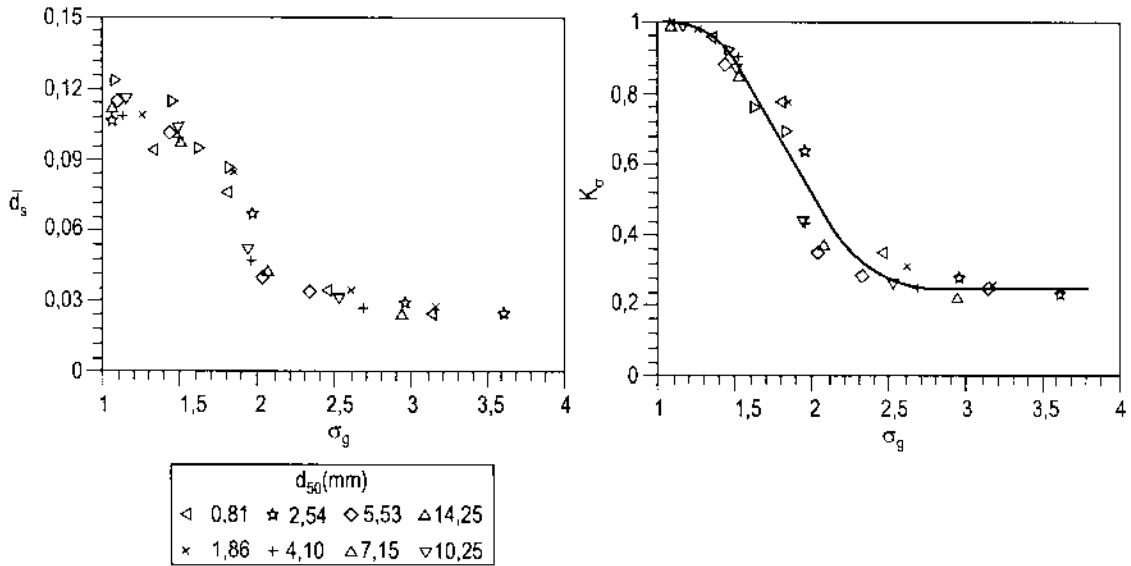
Kết quả thí nghiệm cho chiều sâu xói cân bằng lớn nhất:

$$\tilde{d}_{s\max} = f_3(F_1e, d, \tilde{b}) = 0,368F_{1ec}^{0,55}\tilde{d}^{-0,19}\tilde{b}^{-1,26} \quad (3-27)$$

có hệ số tương quan $R = 0,95$.

trong đó: $F_{lec} = \frac{v_{lec}}{\sqrt{\Delta g h_l}}$; $v_{lec} = V_1|_{V_1=V_c} - V_1|_{V_2=V_c}^{ds=0}$; $\hat{d}_{smax} = \frac{d_{smax}}{h_l}$.

Đối với cát không đều hạt $\sigma_g > 1,4$ thì $\tilde{d}_s$ phải nhân với K_σ với K_σ phụ thuộc σ_g lấy theo đồ thị ở hình 3.4 do ảnh hưởng của thô hóa làm giảm xói; Thí nghiệm chỉ ra xói giảm 25% so với cát đều hạt, tuy nhiên khi $\sigma_g > 3$ thì giảm xói không còn bị ảnh hưởng của cấp phối hạt. Phương trình (3-27) áp dụng cho $0,26 \leq F_{lec} \leq 0,66$; $0,0095 \leq \hat{d} \leq 0,16$ và $0,4 \leq \tilde{b} \leq 0,7$ và $0,9 \leq v_l/V_c \leq 1$.



Hình 3.4: Hệ số K_σ là hàm của σ_g khi $0,9 < V_l/V_c < 0,98$

Kết quả so sánh với công thức của:

Laursen (1963): $\tilde{d}_{smax} + 1 = \tilde{b}^{-0,857}$;

Komura (1966): $\hat{d}_{smax} + 1 = 1,6 Fr_c^{0,2} \tilde{b}^{-0,67} \sigma_g^{-0,5}$ với $Fr_c = \frac{v_l}{\sqrt{g h_l}}$ (khi $V_l = V_c$);

Gill (1981): $\hat{d}_{smax} + 1 = 1,58 \tilde{b}^{-0,857}$

Lim (1993): $\hat{d}_{smax} + 1 = 1,854 F_d^{0,75} \tilde{b}^{-0,75} \hat{d}^{0,25}$

cho thấy phương trình của Komura (1966) và của Lim (1993) cho kết quả sát với thí nghiệm hơn.

Để xác định F_{lec} cần phải thực hiện các bước sau:

(1) Bỏ qua h_f và $d_s = 0$ khi $V_2 = V_c$ thì:

$$h_l + \frac{v_1^2|_{V_2=V_c}}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2|_{V_2=V_c}}{2g} \quad (3-28)$$

Phương trình liên tục giữa mặt cắt 1-1 và 2-2:

$$b_1 h_1 v_1 \Big|_{v_2=v_c} = b_2 h_2 v_2 \Big|_{v_2=v_c} \quad (3-29)$$

Điều kiện tới hạn tại mặt cắt 2-2 là:

$$v_2 \Big|_{v_2=v_c} = u_{*c} \times 5,75 \lg \left(\frac{h_2}{2d_{50}} \right) + 6 \quad (3-30)$$

(2) Biết h_1 , b_1 , b_2 và d_{50} , u_{*c} (biểu đồ Shield) thì $V_1 \Big|_{v_2=v_c}$ để bùn cát ở phạm vi co hẹp khởi động và xói sẽ được xác định thông qua phương trình (3-28 ÷ 3-30).

Thí nghiệm của Dey và Raikar cho thấy: xói thu hẹp tăng khi độ thô bùn cát tăng (sỏi sạn); tăng F_d thì xói giảm dần đối với thu hẹp nhỏ song ngược lại khi thu hẹp lớn; xói tăng khi v_1 tăng đối với chiều sâu h_1 nhỏ, song không bị ảnh hưởng bởi h_1 lớn. Trong xói thu hẹp chiều sâu sỏi thường được viết ở dạng h_x là chiều sâu tính từ mặt nước tới đáy sau xói ở mặt cắt, do vậy (3-27) được viết lại.

Công thức Dey và Raikar (2005):

$$h_{x \max} = h_1 + d_{s \max} = h_1 + 0,368 h_1 \left(\frac{V_{lec}}{\sqrt{\Delta g h_1}} \right)^{0,55} \left(\frac{h_1}{d_{50}} \right)^{0,19} \left(\frac{b_1}{b_2} \right)^{1,26} \quad (3-31a)$$

hay:

$$h_{x \max} = h_1 \left[1 + 0,368 \left(\frac{V_{lec}}{\sqrt{\Delta g h_1}} \right)^{0,55} \left(\frac{h_1}{d_{50}} \right)^{0,19} \left(\frac{b_1}{b_2} \right)^{1,26} \right] \quad (3-31b)$$

Công thức Laursen (1963):

$$h_{x \max} = h_1 \left(\frac{b_2}{b_1} \right)^{0,857} \quad (3-32)$$

Công thức Komura (1966) (cho $d_{50} = 0,35\text{mm}$ và $0,55\text{mm}$):

$$h_{x \max} = h_1 \times 1,6 \left(\frac{V_c}{\sqrt{g h_1}} \right)^{0,2} \left(\frac{b_1}{b_2} \right)^{0,67} \sigma_g^{-0,5} \text{ khi } (V_1 = V_c) \quad (3-33)$$

Công thức Gill (1981):

$$h_{x \max} = h_1 \times 1,58 \left(\frac{b_1}{b_2} \right)^{0,857} \quad (3-34)$$

Công thức Lim (1993) ($d_{50} = 0,47\text{mm}$):

$$h_{x\max} = h_1 \times 1,584 \left(\frac{V_1}{\sqrt{gd_{50}}} \right)^{0,75} \left(\frac{b_1}{b_2} \right)^{0,75} \left(\frac{d_{50}}{h_1} \right)^{0,25} \quad (3-35)$$

Công thức của Gill khác công thức Laursen, hệ số 1,58 có thể do sự khác nhau về đường kính hạt và tỉ số $\tilde{b}$ (Gill thí nghiệm với đáy cát có $d_{50} = 0,92\text{mm}$ và $1,53\text{mm}$).

Xói thu hẹp trong tự nhiên xảy ra khi dòng chảy chảy vào vùng thu hẹp của các núi đá song đáy là cát, qua vùng dòng chảy được gia cố bờ chống xói, vùng kênh hóa.

3.6.2. Phương trình đối với đáy cát di chuyển - xói nước đục

Để giải quyết vấn đề ta sử dụng giả thiết:

- (1) Dòng chảy ổn định;
- (2) Kênh có mặt cắt chữ nhật như hình 3.3;
- (3) Quy luật tải cát có thể ở dạng phụ thuộc vào ứng suất tiếp đáy.

$$\frac{q_{st}}{g\rho_s u_* d_{50}} = f(\tau_*) = C(\tau_*)^N \quad (3-36)$$

Theo Garde (1968) và Garde và Dattatri (1963) thì $C = 16$ và $N = 4,0$.

Cho $d = (0,011 \div 0,93)\text{mm}$.

- (4) Quy luật lực cản:

$$\frac{V}{\sqrt{\Delta g d}} = K \left(\frac{R}{d} \right)^{2/3} \left(\frac{S}{\Delta} \right)^{1/2} \quad (3-37a)$$

đối với kênh chữ nhật rộng, thay $R = \bar{h}$ thì (3-37a) được viết là:

$$v = m d^{-1/6} \bar{h}^{-2/3} S^{1/2} \quad (3-37b)$$

trong đó: $m = K\sqrt{g}$; $K = 3,2$ cho sóng cát đáy và cồn cát đáy, $K = 6,0$ đáy phẳng, quá độ và sóng cát ngược (Garde và Raju (1966)).

Xét đoạn kênh như hình 3.3 ta có:

Phương trình liên tục:

$$v_1 b_1 h_1 = v_2 b_2 h_2 = v_x b_x h_x \quad (3-20a)$$

Phương trình tổng bùn cát cho toàn mặt cắt:

$$q_{st1} b_1 = q_{st2} b_2 \quad (3-38)$$

và phương trình tốc độ:

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= m_1 d_1^{-1/6} h_1^{2/3} S_1^{1/2} \\ v_2 &= m_2 d_2^{-1/6} h_x^{2/3} S_2^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad (3-39)$$

Thay (3-39) vào (3-20a) ta có:

$$\left(\frac{S_2}{S_1}\right)^{1/2} = \frac{b_1 m_1}{b_2 m_2} \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^{-1/6} \left(\frac{h_1}{h_x}\right)^{5/3} \quad (3-40)$$

Kết hợp (3-36) và (3-38) ta có:

$$\left(\frac{S_2}{S_1}\right)^{1/2} = \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^{1/(1+2N)} \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^{\frac{1-N}{1+2N}} \left(\frac{h_1}{h_x}\right)^{1/2} \quad (3-41)$$

Cân bằng (3-40) và (3-41) rút ra:

$$\frac{h_x}{h_1} = \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^{12N/7(1+2N)} \left(\frac{m_1}{m_2}\right)^{b/7} \left(\frac{d_1}{d_x}\right)^{(4N-7)/7(1+2N)} \quad (3-42)$$

Giả thiết $d_1 = d_2$ và $m_1 = m_2$, nghĩa là cỡ hạt và chế độ chảy ở thượng lưu và đoạn thu hẹp như nhau thì:

$$\frac{h_x}{h_1} = \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^{12N/7(1+2N)} \quad (3-43)$$

Lấy $N = 2$ thì Komura (1966) cho $\frac{h_x}{h_1} = \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^{0,686}$.

$N = 4$ (Garde) thì: $\frac{h_x}{h_1} = \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^{0,76}$.

Kết quả đo một số sông trong thực tế (Griffith) cho số mũ bằng 0,637.

Các nghiên cứu chỉ ra mức độ chính xác của lời giải, giá trị của số mũ phụ thuộc vào lựa chọn công thức xác định lưu lượng bùn cát, công thức xác định nhám hay quy luật lực cản phù hợp với quy luật diễn biến lòng sông nơi nghiên cứu. Tóm lại sự tăng chiều sâu dòng chảy tại vùng bị thu hẹp dài có thể được xác định thông qua các phương trình liên tục đối với nước và bùn cát. Phương trình lưu lượng nước được tính thông qua phương trình Sedy, phương trình bùn cát thông qua tốc độ dòng chảy hay ứng suất tiếp dòng chảy.

Lưu lượng nước: $Q_{p\%} = Q_l + Q_b = \text{const} \quad (3-44)$

Lưu lượng bùn cát nếu theo tốc độ thì:

$$Q_{st} = bq_{st} = b(av_1^M) = \text{const} \quad (3-45)$$

trong đó: Q_l và Q_b - lần lượt là lưu lượng nước ở lòng và bãi sông;

Q_{st} - tổng lượng bùn cát;

b - chiều rộng lòng sông;

v_l - tốc độ trung bình của lòng sông;

a - hệ số.

Đối với dòng chảy không có bãi hay bỏ qua lưu lượng dòng chảy bãi khi lưu lượng bãi khá bé thì:

$$\frac{h_x}{h_l} = \left(\frac{b_l}{b_2} \right)^\alpha \quad \text{với } \alpha = 0,67 \div 0,8 \quad (3-46)$$

Giá trị $\alpha = 0,67$ tương ứng với phương pháp chế độ chảy, Vanoni (1975) và Laursen (1960) cho $\alpha = 0,64$. Khi dòng chảy tràn bãi và lưu lượng bãi đáng kể thì:

$$\frac{h_x}{h_l} = \left(\frac{b_l}{b_2} \right)^\alpha \left(\frac{Q_{p\%}}{Q_{p\%} - Q_b} \right) \quad (3-47)$$

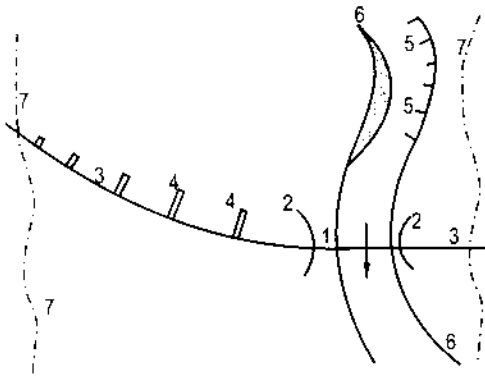
Nhận xét này là những gợi ý ban đầu cho người thiết kế có khái quát trước khi đi vào tính chi tiết.

Chương 4

XÓI CHUNG DƯỚI CẦU

4.1. GIỚI THIỆU CHUNG

Cầu là một công trình vượt sông trên đường ô tô, đường sắt; là một phần quan trọng của đường, đặc biệt đối với dòng nước lớn, hẻm núi sâu, các eo biển; là công trình thủy lực đắt tiền, song lại dễ mất ổn định dưới tác động của dòng lũ, đặc biệt là lũ lớn và lũ lịch sử. Do vậy, để giảm thiểu tối đa rủi ro, bài toán xói ở cầu phải được đặt ra đầu tiên trong mọi khâu của quá trình thiết kế. Cầu là một công trình tổng hợp gồm kết cấu nhịp cầu, móng trụ cầu, đường đầu cầu ở vùng bãi sông, kè hướng dòng, kè bảo vệ và công trình gia cố phòng xói cho cầu, đường và bờ sông trong vùng ảnh hưởng của cầu như hình 4.1. Để đảm bảo các bộ phận khác nhau của công trình cầu làm việc bình thường trong mùa lũ như thiết kế, các công trình này phải được tính xói và phòng xói đầy đủ. Xói tại mặt cắt dưới cầu và trong vùng ảnh hưởng của cầu bao gồm:



Hình 4.1: Sơ đồ khẩu độ cầu

1. Phân khẩu độ thoát nước;
2. Kè hướng dòng; 3. Đường;
4. Kè bảo vệ đường; 5. Kè bờ lòng sông;
6. Mép lòng sông; 7. Mép lũ thiết kế.

(1) Xói do diễn biến tự nhiên của dòng chảy là xói xảy ra do sự thay đổi hình dạng và cao độ đáy dòng chảy, thay đổi lạch sâu, xói tại khúc cong của sông, nơi dòng chảy bị thu hẹp. Xói tự nhiên do tính chất tự nhiên của dòng sông quyết định, không liên quan đến có hay không xây dựng cầu, đã được giới thiệu ở chương 3.

(2) Xói chung hay xói do thất hẹp dòng chảy do làm cầu có khẩu độ thoát nước nhỏ hơn chiều rộng ngập lũ tính toán, là xói xảy ra dọc theo đường đáy của mặt cắt ngang dưới cầu và cả trong khu vực ảnh hưởng của cầu, là kết quả của tăng tốc độ dòng chảy dưới cầu và vùng dòng chảy bị thu hẹp, kết quả của phân phối lại lưu lượng nước và lưu lượng bùn cát tại mặt cắt bị thu hẹp dưới cầu.

(3) Xói cục bộ là xói xảy ra tập trung tại chân trụ, mố cầu, chân kè hướng dòng, kè ngang bảo vệ, là kết quả của sự thay đổi cục bộ dòng chảy tạo ra các hệ thống xoáy khác nhau gây xói tại chân các công trình này.

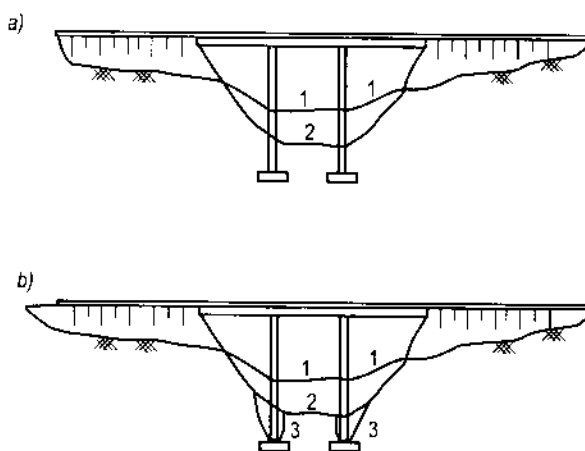
Theo nguyên lí cộng tác dụng, nếu ba loại xói đã nêu xảy ra đồng thời tại chân trụ thì chiều sâu sau xói tại trụ tính từ mực nước thiết kế là:

$$h_{xtr} = h_{xtn} + \Delta h_x + h_c \quad (4-1)$$

trong đó: h_{xtr} , h_{xtn} , Δh_x và h_c - chiều sâu xói tại trụ cầu, xói tự nhiên, gia số xói chung và chiều sâu xói cục bộ tính từ cao độ đáy xói chung:

$$\Delta h_x = h_x - h_{xtn}$$

Xói tự nhiên ảnh hưởng tới xói chung và xói chung ảnh hưởng tới xói cục bộ như hình 4.2.



Hình 4.2

*a) Sơ đồ xói chung; b) Xói chung kết hợp xói cục bộ.
1. Đường đáy trước xói; 2. Đường xói chung; 3. Xói cục bộ.*

4.2. XÓI CHUNG

Chiều sâu và diện tích xói chung tại mặt cắt dòng chảy dưới cầu có thể bị ảnh hưởng bởi một, một số hay tất cả các yếu tố sau:

- Độ dốc, tuyến sông tự nhiên và sự dịch chuyển của lòng sông.
- Thành phần và lưu lượng bùn cát.
- Thời gian xảy ra lũ.
- Vật trôi trong mùa lũ và sự tích đọng của chúng.
- Sự thu hẹp dòng chảy hay thay đổi lại tuyến chảy do làm cầu.
- Sự bố trí và kích thước công trình chỉnh trị sông.

- Kích thước, hình dạng và nơi đặt trụ cầu.
- Cấu tạo và sắp xếp các loại địa tầng đáy sông, bờ sông.
- Ảnh hưởng của biện pháp phòng xói (phương pháp bỏ đá...).
- Thay đổi tự nhiên hay nhân tạo chế độ chảy và chế độ bùn cát của đoạn sông.
- Sạt lở bờ sông gần công trình.
- Ảnh hưởng thủy triều (sông vùng triều).

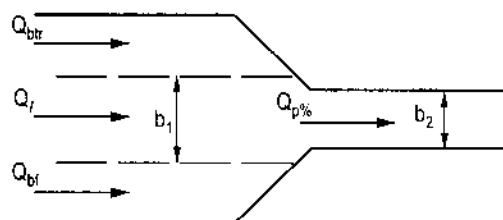
Xói lở dưới cầu liên tục xảy ra khi lượng bùn cát bị tải đi dưới cầu lớn hơn lượng bùn cát từ thượng lưu chuyển đến cầu; xói ngừng khi hai lượng này cân bằng (cân bằng động).

4.2.1. Phương pháp Laursen (1960)

Để giải quyết vấn đề các giả thiết sau được áp dụng:

(1) Dòng chảy đỉnh kế $Q_{p\%}$ thiết kế coi như ổn định.

(2) Mặt cắt cầu ở cuối đoạn dòng chảy thu hẹp dài và từ từ, đồng thời lưu lượng bùn cát ở dòng bãi bằng không như sơ đồ ở hình 4.3.



Hình 4.3: Sơ đồ xác định xói chung theo Laursen

Lưu lượng nước:

$$Q_{p\%tk} = Q_l + Q_b = \frac{1}{n_2} b_2 h_2^{7/6} \sqrt{h_2 S_2} \quad (4-2)$$

Lưu lượng bùn cát: $Q_{s1} = Q_{s2}$

và

$$Q_s \sim \bar{C}_1 Q_l = \bar{C}_2 Q_{p\%} \quad (4-3)$$

trong đó: Q_l , Q_b và $Q_{p\%}$ - lưu lượng chảy ở lòng sông, bãi sông và tổng lưu lượng thiết kế có tần suất vượt lũ $p\%$.

Q_{s1} và Q_{s2} - lưu lượng bùn cát ở mặt cắt 1-1 và 2-2;

$\bar{C}_1$ và $\bar{C}_2$ - hàm lượng bùn cát trung bình hay độ đục trung bình ở lòng sông của mặt cắt 1-1 và ở mặt cắt 2-2.

Lưu lượng Q_l và $Q_{p\%}$ được xác định theo công thức Sedy - Manning.

Giá trị $\bar{C}$ (trung bình theo trọng lượng) do Laursen đề nghị ở (2-99a), trong đó đối với dòng lũ lấy xấp xỉ:

$$\left(\frac{\tau_{do}}{\tau_c} - 1 \right) \approx \frac{\tau_{do}}{\tau_c} = \frac{V^2}{36 d^{2/3} h_1^{1/3}}$$

$f\left(\frac{u_*}{\omega}\right)$ được thay bằng $K\left(\frac{u_*}{\omega}\right)^a$ với $u_* = \sqrt{ghS}$ và bằng $\frac{nQ\sqrt{g}}{bh^{7/6}}$.

ω là độ thô thủy lực của bùn cát đáy sông.

a thuộc U_*/ω theo bảng 4.1

Bảng 4.1

(u_*/ω)	$\leq 1/2$	$= 1$	≥ 2
a	$1/4$	1	$9/4$

Thay giá trị $\bar{C}$ vào (4-3), sau khi sắp xếp lại ta có:

$$\frac{h_2}{h_1} = \left(\frac{Q_{p\%}}{Q_l}\right)^{6,7} \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^{\frac{6(2+a)}{7(3+a)}} \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^{\frac{6a}{7(3+a)}} \quad (4-4a)$$

trong (4-4a) đặt $\frac{6}{7}\left(\frac{2+a}{3+a}\right) = k_1$ và $\frac{6}{7}\left(\frac{a}{3+a}\right) = k_2$ thì (4-4a) được viết lại:

$$\frac{h_2}{h_1} = \left(\frac{Q_{p\%}}{Q_l}\right)^{6,7} \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^{k_1} \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^{k_2} \quad (4-4b)$$

k_1 và k_2 thuộc u_*/ω cho trong bảng 4.2.

Bảng 4.2

u_*/ω	k_1	k_2	Kiểu tải bùn cát
$< 0,5$	0,59	0,066	Hầu hết là bùn cát đáy
$0,5 - 2,0$	0,64	0,4	Một phần là bùn cát lơ lửng
$> 2,0$	0,69	0,37	Hầu hết là bùn cát lơ lửng

Cho rằng hệ số nhám $n_2 = n_1$ và số mũ $< 0,37$; gọi h_2 là h_x chiều sâu sau xói chung dưới cầu, b_1 là chiều rộng lòng sông ($b_1 = B_l$), b_2 là chiều dài thoát nước dưới cầu ($b_2 = L_{oc}$) thì:

$$\frac{h_x}{h_l} = \left(\frac{Q_{p\%}}{Q_l}\right)^{6,7} \left(\frac{B_l}{L_{oc}}\right)^m \quad (4-5)$$

trong đó: $m = 0,59; 0,64; 0,69$ khi $\frac{u_*}{\omega} = \frac{1}{2};$ bằng 1 và > 2 .

Giả thiết (2) rút ra biểu thức (4-3) ngụ ý nói dòng chảy dưới cầu không phân chia lòng sông và bãi sông, nói khác đi là dòng chảy dưới cầu chỉ có lòng sông hay sau xói chung

lòng sông mở rộng ra toàn cầu. Biểu thức (4-5) chỉ ra mặt cắt lòng sông và dưới cầu sau xói có dạng chữ nhật đồng thời h_x và h_l là chiều sâu trung bình của mặt cắt dưới cầu sau xói và của lòng sông lúc tự nhiên (chưa xói chung). Khi thiết kế cầu có $L_{oc} > B_l$ thì (4-5) sẽ cho (4-6) vì các điều kiện của lòng sông không bị ảnh hưởng của tỉ số (B_l/L_{oc}).

$$\frac{h_x}{h_l} = \left(\frac{Q_{p\%}}{Q_l} \right)^{0,86} \quad (4-6)$$

L_{oc} - chiều dài thoát nước dưới cầu không kể chiều rộng trực và hệ số thắt hẹp chung toàn cầu nếu coi mặt cắt sau xói có dạng chữ nhật.

Nếu mặt cắt không phải dạng chữ nhật, là hình thang chẳng hạn thì B_l và L_{oc} phải thay bằng chiều rộng đáy dòng chảy.

Tuy nhiên việc xác định chiều rộng mặt nước hay đáy đều rất phức tạp, do đó B_l hay L_{oc} sẽ là giá trị trung bình của chiều rộng mặt nước và chiều rộng đáy.

Ngoài ra, trong trường hợp chiều dài thoát nước L_{oc} vượt quá chiều rộng lòng sông ($L_{oc} > b_l$), song sau khi xói lòng sông không mở rộng ra toàn cầu thì lưu lượng $Q_{p\%}$ thiết kế sẽ gồm cả phần lòng sông và bãi sông dưới cầu, do đó phải tính xói cho lòng riêng và cho bãi riêng, công thức xói sẽ có dạng:

$$\frac{h_x}{h_l} = \left(\frac{Q_{lcầu}}{Q_l} \right)^{6/7} \left(\frac{B_l}{B_{0lcầu}} \right)^{k_1} \left(\frac{n_l}{n_{lcầu}} \right)^{k_2} \quad (4-4c)$$

trong đó:

Theo nghiên cứu N^o18 (5/2001) thì khi làm cầu cũng có ba khả năng xảy ra:

- (1) Cầu làm thu hẹp lòng sông $L_{cmép mố} < B_l$.
- (2) Cầu làm vừa bằng chiều rộng lòng sông $L_{cmép mố} = B_l$.

Cả hai trường hợp này lưu lượng dưới cầu đều là $Q_{p\%}$ thiết kế và bùn cát thông qua suốt chiều rộng lòng sông dưới cầu.

- (3) Cầu làm rộng hơn lòng sông $L_{cmép mố} > B_l$.

Trường hợp này có thể lòng sông dưới cầu sau xói có mở rộng song không bằng chiều dài cầu giữa hai mép mố ($L_{cmép mố}$), đây là trường hợp phức tạp, tính xói nên theo (4-4c).

Trường hợp xói nước trong khi mà $\tau_0 \leq \tau_c$ thì sử dụng phương trình liên tục đối với dòng nước:

$$Q = v_1 b_1 h_1 = v_2 b_2 h_2$$

Và phương trình năng lượng (Bernouli) khi giả thiết độ dốc ở mặt cắt 1-1 và 2-2 như nhau thì chiều sâu xói d_x trong sơ đồ hình 4.4 là:

$$d_s = (h_2 - h_l) + (1 + K) \left(\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

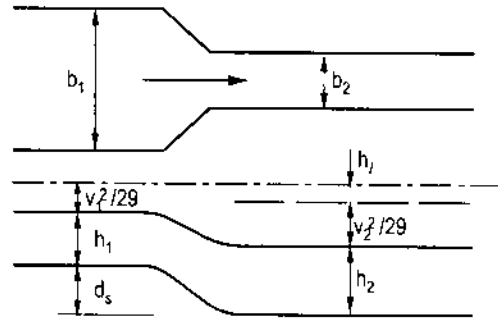
hay:
$$\frac{d_s}{h_l} = \frac{h_2}{h_l} - 1 + \frac{1+K}{2} Fr_l^2 \left[\left(\frac{b_l}{b_2} \right)^2 \left(\frac{h_l}{h_2} \right)^2 - 1 \right] \quad (4-7)$$

trong đó tổn thất năng lượng $h_l = K \left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right)$; hệ số sửa chữa động năng $\alpha_1 = \alpha_2 = 1,0$.

Giả thiết trong dòng lũ $\frac{\tau_{do}}{\tau_c} = \frac{V_l^2}{36d^2 h_l^{1/3}}$,
do đó quan hệ giữa ứng suất tiếp đáy trong
mật cắt thu hẹp và thượng lưu là:

$$\frac{\tau_{do}}{\tau_c} = \left(\frac{V_l}{V_2} \right)^2 \left(\frac{h_2}{h_l} \right)^{1/3} \quad (4-8)$$

Sử dụng phương trình liên tục để khử tốc
độ dòng chảy thì (4-8) cho:



Hình 4.4: Sơ đồ xói nước trong

$$\left(\frac{h_2}{h_l} \right) = \left(\frac{\tau_{do}}{\tau_c} \right)^{3/7} \left(\frac{b_l}{b_2} \right)^{6/7} \quad (4-9)$$

do đó (4-7) được viết khi không kể đến sự khác biệt của cột nước tốc độ và bỏ qua tổn thất:

$$\frac{d_s}{h_l} = \left(\frac{\tau_{do}}{\tau_c} \right)^{3/7} \left(\frac{b_l}{b_2} \right)^{6/7} - 1 \quad (4-10)$$

trong đó:

τ_{do} - ứng suất tiếp chỉ riêng cho hạt gây ra;

τ_c - ứng suất tiếp tới hạn đối với một loại hạt cụ thể xác định theo biểu đồ Shields hay Shields cải tiến.

Như vậy nếu bỏ qua tổn thất và sự khác biệt của cột nước tốc độ thì trong (4-9) ta thay $h_2 = h_x$, $h_l = l_{\text{lòng}} (h_l)$, $b_l = b_{\text{lòng}} (B_l)$ và $b_2 = L_{oc}$ thì:

$$\frac{h_x}{h_l} = \left(\frac{\tau_{do}}{\tau_c} \right)^{3/7} \left(\frac{b_l}{L_{oc}} \right)^{6/7} \quad (4-11a)$$

và gia số xói chung:

$$\frac{d_s}{h_f} = \left(\frac{\tau_{do}}{\tau_c} \right)^{3/7} \left(\frac{b_f}{L_{oc}} \right)^{6/7} - 1 \quad (4-11b)$$

hay:

$$\frac{d_s}{h_f} = 0,6 \left(\frac{Q}{\bar{d}^{-1/3} h_f^{7/6} L_{oc}} \right)^{6/7} - 1 \quad (4-11c)$$

trong đó $\bar{d}$ là đường kính trung bình của đáy sông.

Nếu $\bar{d}$, h_f , L_{oc} có đơn vị là ft và Q là ft^3/s thì:

$$\frac{d_s}{h_f} = 0,13 \left(\frac{Q}{\bar{d}^{-1/3} h_f^{7/6} L_{oc}} \right)^{6/7} - 1 \quad (4-11d)$$

(Richardson, Simons và Julien, 1990 - FHWA-HI-90-016)

Chiều sâu xói $h_x = h_f + d_s$. Khi xác định dòng chảy là nước trong hay đục có thể sử dụng cả hai công thức sau để xác định tốc độ tới hạn gây xói V_c . Công thức của Neil, C. R (1968) áp dụng cho địa chất là hạt thô:

$$V_c \text{ (m/s)} = 6,35 h^{1/6} d_{50}^{1/3} \quad (4-11e)$$

hay:

$$V_c \text{ (ft/s)} = 11,52 h^{1/6} d_{50}^{1/3} \quad (4-11f)$$

Công thức Laursen, E. M (1960) cho hạt có $d = (0,011 \div 4,08)\text{mm}$ trong thí nghiệm:

$$V_c \text{ (m/s)} = 6,19 h^{1/6} d_{50}^{1/3} \quad (4-11g)$$

hay:

$$V_c \text{ (ft/s)} = 10,95 h^{1/6} d_{50}^{1/3} \quad (4-11h)$$

Trong công thức (4-11e) và (4.11g) h và d_{50} có đơn vị là mét. Tốc độ dòng chảy lũ $V < V_c$ thì dòng chảy là nước trong và $V > V_c$ thì dòng chảy là nước đục. Phương trình (4-11g) rút ra từ điều kiện $\theta_c = 0,039$; $S_s = 2,65$ hay $\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} = 1,65$ và $n = 0,041 d_{50}^{1/6}$.

Công thức xác định xói nước trong theo đề nghị của Laursen được hiểu là trong điều kiện cân bằng của vùng thu hẹp thì $\tau_0 = \tau_c$:

$$\tau_0 = \gamma h S_f = \frac{\rho g n^2 v^2}{h^{1/3}} \quad (*)$$

Đối với đất không dính theo tiêu chuẩn Shields tìm $\tau_c = \theta_c (\rho_s - \rho) g d_{50}$.

Khi $\tau_0 = \tau_c$ thì: $\frac{\rho g n^2 v^2}{h^{1/3}} = \theta_c (\rho_s - \rho) g d_{50}$ rút ra:

$$h_x = \left[\frac{n^2 v^2}{\theta_c (S_s - 1) d_{50}} \right]_{(**)}^3 = \left[\frac{n^2 Q_{p\%}^2}{\theta_c (S_s - 1) d_{50} L_{oc}} \right]^{3/7} \quad (***)$$

trong đó: $S_s = \rho_s / \rho = 2,65$.

Thí nghiệm và đo đạc trong sông chỉ ra $\theta_c = 0,01 \div 0,25$ tùy theo loại vật liệu đáy. Đối với dòng chảy có $Fr < 0,8$ thì $\theta_c = 0,047$ cho cát có $d_{50} = (0,065 \div 2,0)\text{mm}$; $\theta_c = 0,03$ cho hạt $d_{50} = (2 \div 40)\text{mm}$; $\theta_c = 0,02$ cho hạt $d_{50} > 40\text{mm}$. Theo Laursen thì $n = 0,041 d_{50}^{1/6}$. Tuy nhiên, FHWA NHI-01-004 (2001) đề nghị sử dụng d_m thay cho d_{50} với $d_m = 1,25 d_{50}$ thì $n = 0,040 d_m^{1/6}$. Thay $\theta_c = 0,039$ vào (**) và sử dụng d_m thì:

$$h_x = \left[\frac{v^2}{40 d_m^{2/3}} \right]^3 \quad (4*)$$

hay:

$$h_x = \left[\frac{Q_{p\%}^2}{40 d_m^{2/3} L_{oc}^2} \right]^{3/7} \quad (5*)$$

trong đó: d_{50} hay d_m có đơn vị là mét; lưu lượng Q có đơn vị là (m^3/s); h và L_{oc} có đơn vị là mét.

Các phương trình tính xói nêu trên cho giá trị xói trung bình mặt cắt, không cho phân phối xói dọc theo chu vi ướit, đồng thời xác định xói với địa chất cùng loại. Nếu mặt cắt sông đủ rộng, bãi sông lớn thì phải biết quy luật phân phối tốc độ và địa chất đáy sông trước khi áp dụng các phương trình đã nêu.

4.2.2. Phương pháp O. V. Andreev (1953 - 1955)

O. V. Andreev xuất phát từ phương trình cân bằng bùn cát dọc sông:

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \frac{\partial Q_{st}}{\partial l} \quad (4-12a)$$

nghĩa là tốc độ của gia số diện tích mặt cắt ngang dòng chảy theo thời gian bằng gradien thay đổi lưu lượng bùn cát tạo lòng theo chiều dài. Thực hành thường viết ở dạng sai phân hữu hạn:

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{Q_{s2} - Q_{s1}}{\Delta l} \quad (4-12b)$$

Thay $\Delta A = B_l \Delta h$; $B_l \Delta l$ = diện tích đáy sông bị xói trong đoạn Δl rút ra tốc độ hạ thấp đáy sông (xói):

$$\frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{Q_{s2} - Q_{s1}}{B_l \Delta l} \quad (4-13)$$

Thể tích bị xói đi trong thời gian Δt là $\Delta h B_l \Delta l$.

Vậy là xói ngừng khi tốc độ xác định theo (4-12) và (4-13) bằng không. Do chế độ thủy động của lòng sông khác bãi sông nên cần tính ngừng xói riêng cho lòng và cho bãi sông.

Biểu thức (4-12a) chỉ ra xói ngừng khi tốc độ xói bằng không: $\frac{\partial A}{\partial t} = 0$ làm cho

$$\frac{\partial Q_s}{\partial l} = 0 \text{ hay } Q_s = \text{const}, \text{ nghĩa là:}$$

$$Q_{sl} = Q_{sca} \quad (4-14)$$

trong đó: Q_{sl} và Q_{sca} - tổng lưu lượng bùn cát (bùn cát đáy và lơ lửng) ở lòng sông trong trạng thái tự nhiên và tổng lưu lượng bùn cát kể cả phần bị xói ở mặt cắt dưới cầu. Tác giả sử dụng công thức bán thực nghiệm tổng quát chung phù hợp với nhiều tác giả:

$$Q_s = K \frac{B_l V^m}{h^k} \left(1 - \frac{V_c}{V} \right) \quad (4-15)$$

trong đó:

K - hàm của độ thô bùn cát, phụ thuộc vào từng tác giả nghiên cứu và chưa có sự thống nhất chung;

m và k - số mũ ít thay đổi giữa các tác giả;

V - tốc độ trung bình ở lòng sông;

V_c - tốc độ không xói ở lòng sông;

h - chiều sâu bình của lòng sông;

B_l - chiều rộng lòng sông.

Gọi chỉ số 1 là lòng sông lúc tự nhiên và 2 là lòng sông dưới cầu sau xói chung kết thúc đồng thời thay giá trị của Q_s theo (4-15) vào (4-14) ta được (4-16) với giả thiết bùn cát trước và sau xói giống nhau, đều là bùn cát tạo lòng.

$$\begin{aligned} \frac{V_1^m B_1}{h_1^k} \left(1 - \frac{V_{c1}}{V_1} \right) &= \frac{V_2^m B_2}{h_2^k} \left(1 - \frac{V_{c2}}{V_2} \right) \\ \text{hay: } V_2 &= V_1 \left(\frac{B_1}{B_2} \right)^{1/m} \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{k/m} \left(\frac{1 - \frac{V_{c1}}{V_1}}{1 - \frac{V_{c2}}{V_2}} \right)^{1/m} \end{aligned} \quad (4-16)$$

Biết rằng $BhV = Q$ do đó ta cũng có biểu thức chiều sâu trung bình của lòng sông sau xói chung ($h_2 = h_x$ là chiều sâu sau xói chung):

$$\frac{h_x}{h_1} = \left(\frac{B_l}{B_2} \right)^{\frac{m-1}{m+k}} \left(\frac{Q_2}{Q_l} \right)^{\frac{m}{m+k}} \left(\frac{1 - \frac{V_{c2}}{v_2}}{1 - \frac{V_{c1}}{v_l}} \right)^{\frac{1}{m+k}} \quad (4-17)$$

Giá trị trung bình của số mũ là: $m = 4$ và $k = 0,4 \div 0,5$.

Do xói sâu mà V_{c2} tăng lên cùng với V_2 do đó cho rằng:

$$\frac{V_{c2}}{V_2} \approx \frac{V_{c1}}{V_l}$$

Ngoài ra số mũ $\frac{1}{m+k} = 0,25 \div 0,2$ nếu tính đủ sẽ làm sai khác (4-16) và (4-17) $\approx 3\%$,

do vậy có thể bỏ qua thành phần thứ ba trong ngoặc đơn ở (4-16) và (4-17); cuối cùng ta có công thức xác định tốc độ trung bình mặt cắt ở lòng sông dưới cầu sau xói chung và chiều sâu trung bình của lòng sông dưới cầu sau xói chung:

$$V_2 = V_l \left(\frac{B_l}{B_2} \right)^{1/4} \left(\frac{h_2}{h_l} \right)^{1/8} \quad (4-18)$$

$$h_2 = h_l \left(\frac{Q_2}{Q_l} \right)^{8/9} \left(\frac{B_l}{B_2} \right)^{2/3} \quad (4-19)$$

Trong đó B_2 là chiều rộng lòng sông dưới cầu sau xói chung không kể chiều rộng trụ (chiều rộng thoát nước của lòng sông dưới cầu sau xói).

Biểu thức (4-19) chỉ ra khi tăng chiều rộng lòng sông dưới cầu thì chiều sâu xói chung giảm đi, song việc tăng lưu lượng và mở rộng lòng cần theo bất đẳng thức (4-20b) để giảm chiều sâu hợp lý mặc dù xói tự mở rộng lòng có thể là:

$$\frac{B_2}{h_2} = \beta_{lm} \frac{0,4B_l}{h_l} \quad (4-20a)$$

$$\frac{\beta_l Q_l + \beta_b q_b (B_2 - B_l)}{\beta_l Q_l} < \left(\frac{B_2}{B_l} \right)^{3/4} \quad (4-20b)$$

trong đó:

β_l và β_b - hệ số tăng cường lưu lượng lòng sông và bãi sông;

q_b - lưu lượng đơn vị (qua một mét chiều rộng bãi) của bãi sông lúc tự nhiên tương ứng với lũ thiết kế;

$(B_2 - B_l)$ - phần chiều rộng lòng sông mở rộng vào bãi sông.

Ngoài ra, số liệu thực tế của 12 cầu có: $L_c = (164 \div 700)\text{m}$ với $Q_{1\%}$ là chủ yếu $(1300 \div 11300) \text{ m}^3/\text{s}$ với $B_l = (48 \div 700)\text{m}$ và đường kính hạt $d = (0,5 \div 45)\text{mm}$ chủ yếu là $(0,5 \div 2,5)$ đã xác định được chiều rộng lòng mở rộng sau xói:

$$B_2 = B_1 \left[1 + P \left(1 - \frac{Q_I}{Q_{p\%}} \right) \right]^{-0.43} \quad (4-20c)$$

(B. A. Kostelianets và L. L. Lishtvan, 1986).

Nhìn chung hình dạng mặt cắt lòng sông dưới cầu sau xói vẫn tương tự như lòng sông lúc tự nhiên, nên có thể xác định được chiều sâu lớn nhất để đặt trụ nhờ biểu thức:

$$\frac{h_{x \max}}{h_x} = \frac{h_{l \max}}{h_l} \quad (4-4a)$$

hay:

$$h_{x\max} = h_x \times \frac{h_{l\max}}{h_l} \quad (4-21b)$$

trong đó: h_x xác định theo (4-19).

Tuy nhiên thực tế có thể sai lệch, có khi lệch tới 25% do vậy các nghiên cứu của Glagoleva T. N; G. A. Phedotov (1968, 69, 77) chỉ ra việc tính xói nên theo ba nhóm:

- (1) Nhóm thứ nhất có $\beta \leq 1,4$, xác định xói chung theo (4-19);

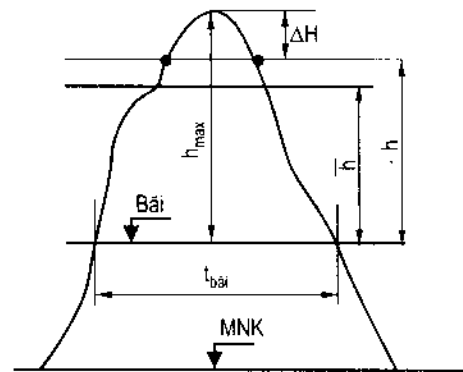
- (2) Nhóm thứ hai có $\beta = 1,4 \div 2,0$ tính xói chung theo (4-19) song xói kết thúc tại nhánh lũ hạ có cao độ thấp hơn đỉnh lũ ΔH .

$$\Delta H = h_{\max}(1 - K_h^{1/3}) \quad (4-22)$$

trong đó: $K_h = \bar{h}/h_{\max}$ với $\bar{h}$ và $h_{\max}$ là chiều sâu trung bình và lớn nhất của lũ thiết kế so với cao độ bãi như hình 4.5. $K_h = (0,3 \div 0,9)$ thì $(1 - K_h^{1/3}) = (0,33 \div 0,04)$.

Xói do hàng loạt lũ giống nhau tính theo (4-19), song mực nước lũ tương ứng với $(h_{\max} - \Delta H)$ được gọi là xói lở giới hạn giả thiết.

- (3) Nhóm thứ ba có $\beta > 2$, nhất thiết phải tính xói chi tiết theo đường quá trình lũ và theo công thức (4-13) và theo hàng loạt lũ thực tế.



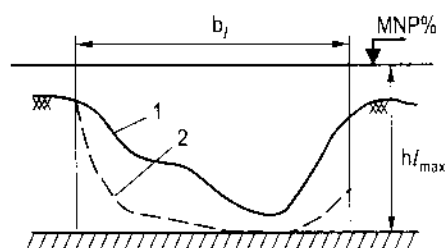
Hình 4.5: Sơ đồ xác định ΔH

Để vận sử dụng định lý Phedotov giới thiệu công thức:

$$h_x = h_l \left[(\beta_l^{8/9} - 1) K_h^{1/2} + 1 \right] \left(\frac{B_l}{B_2} \right)^{2/3} \quad (4.23)$$

Andreev (1980) cho biết hầu hết các cầu đang khai thác cho xói chung gần với tính theo (4-19), một vài trường hợp vượt lên song không quá 9% (1,2m) nếu xói không bị giới hạn theo điều kiện địa chất.

Dọc theo chiều rộng đáy sông địa chất không giống nhau, nơi nào thuận lợi cho xói phát triển, xói xảy ra; nơi nào địa chất khó xói (gặp tầng đá gốc, đất có hạt rất thô như sỏi cuội loại lớn, đá tảng...) sẽ ngừng xói: Xói hạn chế theo điều kiện địa chất thường chỉ xảy ra ở vùng có chiều sâu lớn nhất như hình 4.6. Bị hạn chế xói theo địa chất ở vùng có chiều sâu lớn nhất, diện tích mặt cắt dưới cầu sẽ mở rộng hoặc do xói đáy sông ở tất cả mặt cắt, hoặc xói bờ lòng sông (mở rộng lòng) hoặc cả hai (vừa xói đáy vừa mở rộng lòng), nghĩa là xói ở nơi nào địa chất mềm yếu thuận lợi cho xói phát triển. Xói làm tăng diện tích mặt cắt ngang lòng sông sẽ ngừng khi tốc độ dòng chảy ở lòng sông giảm xuống đến giá trị tốc độ không xói đối với hạt địa chất ở đáy.



Hình 4.6: Thay đổi hình dạng mặt cắt ngang lòng sông khi xói bị hạn chế theo điều kiện địa chất

$$V_c = u_{cd} \left(\frac{h_x}{d_{50}} \right)^{1/6} \quad (4-24)$$

trong đó: u_{cd} - tốc độ không xói tại đáy dòng chảy theo d_{50} .

Trường hợp này quan hệ giữa $(h_{x_{max}}/\bar{h})$ sau xói chung không phù hợp với tỉ số trên trong điều kiện tự nhiên mà bị giảm đi. Rõ ràng xói bị hạn chế theo điều kiện địa chất làm cho xói từ điều kiện cân bằng giới hạn lưu lượng bùn cát không phát triển đầy đủ thông qua tính toán và xói giới hạn trên của xói là không cần thiết. Nhớ rằng $h_{x_{địa chất}} < h_x$ theo cân bằng giới hạn lưu lượng bùn cát.

Bảng 4.3. Tốc độ không xói đáy phù hợp với d_{50} (mm)

Loại đất	Phân loại	d_{50} (mm)	u_{cd} (m/s)
1	2	3	4
Cát	Hạt nhỏ	0,05 - 0,25	0,2
	Trung	0,25 - 1,00	0,2
	Thô	1,00 - 2,500	0,2 - 0,25
Sỏi	Hạt nhỏ	2,50 - 5,0	0,25 - 0,35
	Trung	5 - 10	0,35 - 0,50
	Thô	10 - 15	0,5 - 0,6

Bảng 4.3 (tiếp theo)

1	2	3	4
Cuội	Hạt nhỏ	15 - 25	0,6 - 0,8
	Trung	25 - 40	0,8 - 1,0
	Thô	40 - 75	1,0 - 1,35
Cuội lớn	Nhỏ	75 - 100	1,35 - 1,60
	Trung	100 - 150	1,60 - 1,95
	Thô	150 - 200	1,95 - 2,25
Đá tảng	Nhỏ	200 - 300	2,25 - 2,75
	Trung	300 - 400	2,75 - 3,15
	Thô	> 400	> 3,15

Ngoài ra, địa chất không đều hạt sẽ hình thành hiện tượng thô hóa bề mặt đáy trong quá trình xói làm giảm xói hay ngừng xói như hình 4.7.



Hình 4.7: Sơ đồ chiều sâu xói của lớp địa chất không đều hạt tạo ra sự thô hóa

Đường kính của lớp thô hóa xác định từ điều kiện tốc độ lòng sông dưới cầu sau xói chung bằng tốc độ không xói đối với lớp thô hóa: $V_2 = V_{cdamax} \cdot d_{amax}$ là đường kính hạt thô nhất rút ra từ đường cong cấp phối hạt. Chiều dày đất bị xói đi $d_s = 200\bar{d}_{amax}/(p\%)$; $p\%$ là phần trăm theo trọng lượng của hạt d_{amax} trong đường cong cấp phối hạt. Để tìm d_{amax} cần tìm đường kính hạt nhỏ nhất không bị xói: $d_{amin} = \frac{u_{amin}^2}{2,56g} = \frac{V_2^2}{5,25g} \cdot u_{amin}$ là độ không xói đáy $\approx 0,7V_2$ sau xói chung. Có d_{amin} và $p\%$ theo trọng lượng những hạt thô hơn d_{amin} sẽ xác định được d_s .

Để tính xói chung h_x dưới cầu tương ứng với chiều dài cầu đã chọn, quy trình Nga hiện thời quy định tính chi tiết theo 4 nhóm phụ thuộc vào tỉ số thời gian lũ tính toán (t_l) với thời gian xói giới hạn (t_{xgh}) quan hệ với $1/K_h^{1,3\beta}$, trong đó K_h là hệ số đẩy lũ trong (4-22); β là hệ số tăng cường lưu lượng chung toàn cầu hay mức độ thắt hẹp dòng lũ do cầu.

$$(1) \text{ Nhóm 1: } V_l > V_{cl}; \frac{t_h}{t_{xgh}} \geq \frac{1}{K_h^{1,3\beta}}$$

trong đó: V_l - tốc độ dòng chảy ở lòng sông chưa thu hẹp tương ứng với lũ thiết kế (m/s);

V_{cl} - tốc độ không xói đối với đất ở đáy sông (m/s).

Công thức xác định chiều sâu xói h_x :

$$h_x = h_l \beta^{0,89} \left(\frac{B_l}{B_{olc}} \right)^{0,67} \quad (4-25a)$$

$$B_{olc} = B_{lc}(1 - \lambda) \text{ với } \lambda = \frac{\Sigma b_{tru}}{L_{\text{cầu mép mố}}}$$

trong đó: B_{olc} - chiều rộng thoát nước của lòng sông dưới cầu sau xói chung không kể chiều rộng tất cả các trụ choán dòng chảy; .

Chiều sâu xói này là do lũ tính toán không đổi tác dụng lâu dài vào đáy sông, là chiều sâu xói giới hạn dưới.

(2) Nhóm 2: $V_l > V_{cl}$; $1 \leq \frac{t_h}{t_{xgh}} \leq \frac{1}{K_h^{1,3\beta}}$; và h_x tính theo công thức:

$$h_x = h_l \left[\left(\beta^{0,89} - 1 \right) K_h^{0,5} K_t + 1 \right] \left[\frac{B_l}{B_{lc}(1 - \lambda)} \right]^{0,67} \quad (4-25b)$$

Nhóm hai tương ứng với lũ tính toán thông qua khi đáy chưa bị xói gọi là xói giới hạn trên.

(3) Nhóm 3: $V_l > V_{cl}$; $0,15 < \frac{t_h}{t_{xgh}} < 1$;

$$h_x = h_l \left[\left(\beta^{0,89} - 1 \right) K_h^{0,5} + 1 \right] \left[\frac{B_l}{B_{lc}(1 - \lambda)} \right]^{0,67} \quad (4-25c)$$

Xói gây ra do hàng loạt lũ tính toán nối tiếp nhau gọi là xói lở giả thiết..

(4) Nhóm 4: $V_l > V_{cl}$; $\frac{t_h}{t_{xgh}} < 0,15$; xói h_x do hàng loạt lũ xác định trên máy tính

hay có thể tính theo nhóm 3 với độ dự trữ nhất định.

Ngoài ra nếu $V_l < V_{cl}$ (xói nước trong) thì:

$$h_x = \frac{h_l \beta V_l B_l}{V_c B_{olc}} \quad (4-26)$$

Thời gian lũ tính toán xác định theo biểu đồ lũ tại trạm đo thủy văn khi chiều cao lũ vượt quá cao độ bãi trung bình. Thời gian xói giới hạn t_{xgh} (ngày đêm) xác định theo:

$$t_{xgh} = \frac{l_{th} h_l (K_f + 2\lambda_k)}{172800 q_s} \quad (4-27)$$

trong đó: l_{th} - chiều dài vùng thu hẹp dòng chảy dưới cầu.

$$l_{th} = \frac{B_0 - L_{cm}}{1 + B_{bn} / B_{bl}} \quad (1^*)$$

B_0 và L_{cm} - chiều rộng ngập lũ tính toán và chiều dài cầu giữa hai mép
mổ dọc theo đường mặt nước tương ứng với lũ thiết kế;

B_{bn}, B_{bl} - chiều rộng bãi nhỏ và bãi lớn;

K_f - hệ số tính đến hình dạng phễu rót nước vào cầu.

$$K_f = 0,4 \left(\frac{B_{bn}}{B_{bl}} - 0,5 \right)^2 + 0,8 \quad (2^*)$$

λ_k - chiều dài tương đối của kè hướng dòng:

$$\lambda_b = \frac{l_{kth}}{l_{th}}$$

(l_{kth} và l_{th} - chiều dài kè ở thượng lưu chiếu lên trục dòng chảy và
chiều dài thu hẹp dòng chảy dưới cầu).

q_s - lưu lượng bùn cát đơn vị:

$$q_s = \left(\frac{Aq}{h_l^{0,25}} + A_B \right) V_l^4 \left(1 - \frac{V_c}{V_l} \right) \quad (3^*)$$

(A_q và Q_B đặc trưng cho lưu lượng bùn cát và bùn cát lơ lửng).

K_t - hệ số ảnh hưởng thời gian lũ:

$$K_t = \left(1 + \frac{0,53}{\beta} \right) \left(\frac{t_{lt}}{t_{xgh}} \right)^{\frac{0,75}{\beta}} \quad \text{khi } K_t < 0,8 \quad (4^*)$$

$$K_t = \left(\frac{t_{lt}}{t_{xgh}} \right)^{\frac{0,35}{\beta}} \quad \text{khi } K_t \geq 0,8 \quad (5^*)$$

4.2.3. Xói ở bãi sông dưới cầu

Bãi sông được coi như dòng nước trong không tải bùn cát, do vậy xói ngừng không phải do điều kiện cân bằng bùn cát dọc sông mà do điều kiện địa chất. Bãi sông dưới cầu bị xói khi tốc độ trung bình dòng bãi dưới cầu lớn hơn tốc độ không xói đối với hạt ở bãi $V'_{bca} > V_{ch}$; xói ngừng khi $V'_{bca} \leq V_{cb}$ (trong đó: V'_{bca} , V_{cb} - tốc độ trung bình của dòng bãi dưới cầu và tốc độ không xói ở bãi cầu tương ứng với địa chất ở bãi).

$$V'_{bca} = \frac{Q_{bca}}{B_b h_b} \quad (4-27)$$

trong đó: Q_{bca} và Q_b - lưu lượng dòng chảy ở bãi sông dưới cầu và trong điều kiện tự nhiên; $Q_{bca} = Q_b \beta_b$;

h_b - chiều sâu trung bình dòng chảy qua bãi cầu lúc tự nhiên (chưa làm cầu):

$$h_b = \frac{A_b}{B_b}$$

(A_b - diện tích phần bãi sông dưới cầu lúc tự nhiên).

Xói ở bãi ngừng khi chiều sâu ở bãi cầu h_b tăng thành h_{xb} là chiều sâu xói ở bãi sông dưới cầu tương ứng với tốc độ ở bãi cầu bằng tốc độ không xói bãi $V_{bca} = V_{cb}$, nghĩa là:

$$h_{xb} = \frac{\beta_b Q_b}{B_b V_{cb}} \quad (4-28a)$$

Biết $Q_b = B_b V_b h_b$, do đó (4-26a) được viết lại:

$$h_{xb} = h_b \left(\beta_b \frac{V_b}{V_{cb}} \right) = \frac{\beta_b q_b}{V_{cb}} \quad (4-28b)$$

trong đó: q_b là lưu lượng thủy trực ở bãi cầu lúc tự nhiên (m^2/s) (4-26b) chỉ ra xói ở phần bãi sông do thu hẹp dòng chảy sẽ không xảy ra khi $\beta_b \frac{V_b}{V_{cb}} \leq 1$; V_{cb} là tốc độ không xói

đối với hạt (d_{50}) của lớp đất ở mặt bãi sông dưới cầu. Khi $\beta_b \frac{V_b}{V_{cb}} > 1$ thì xói xảy ra,

song tốc độ không xói V_{cb} phụ thuộc vào loại địa chất và chiều sâu dòng chảy, tại chiều sâu xói h_{xb} có tốc độ không xói tương ứng:

$$V_{cb} = u_{cd} \left(\frac{h_{xb}}{d} \right)^{1/6} \quad (*)$$

Thay (*) vào (4-26b) rút ra:

$$h_{xb} = \left(\beta_b V_b h_b \frac{d^{1/6}}{u_{cd}} \right)^{6/7} \quad (4-29)$$

trong đó: $d = d_{50}$ và u_{cd} theo bảng 4.3.

Đối với đất dính xác định xói bãi theo (4-26b), trong đó V_{cb} có thể lấy theo bảng 4.4 mặc dù dòng lũ luôn có chiều sâu lớn hơn 3m.

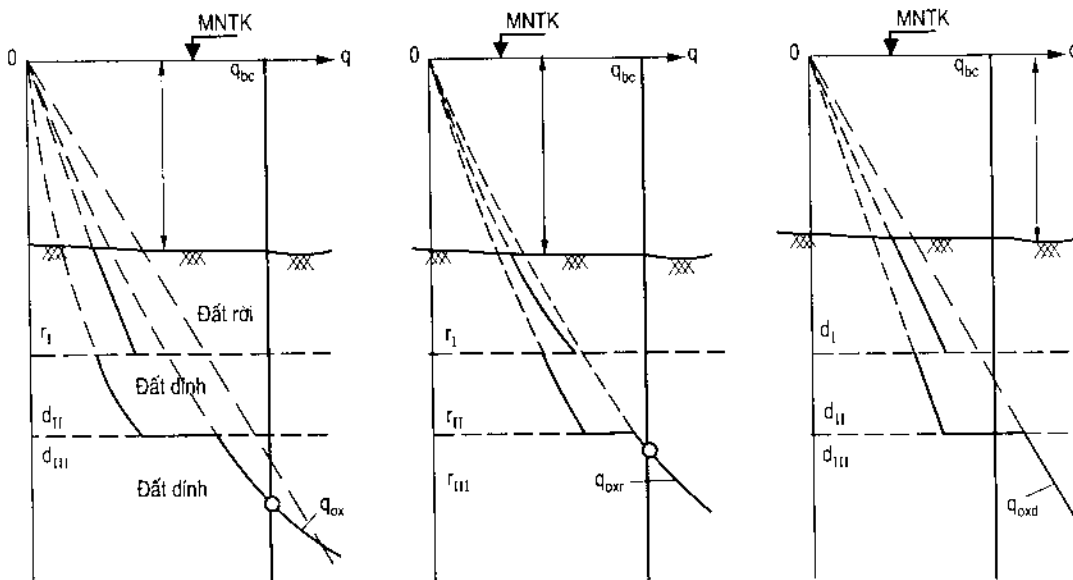
Bảng 4.4. Tốc độ xói đối với đất dính

Đất	Phân loại	Trọng lượng thể tích (T/m^3)	Tốc độ xói trung bình m/s khi chiều sâu (m)			
			0,4	1	2	≥ 3
Sét và á sét nặng	Không chặt	1,2	0,35	0,40	0,45	0,50
	Trung bình	1,2 - 1,65	0,70	0,85	0,95	1,10
	Chặt	1,65 - 2,05	1,00	1,20	1,40	1,50
	Rất chặt	2,05 - 2,15	1,40	1,70	1,90	2,10
Đất bột	Trung bình	1,2 - 1,65	0,6	0,7	0,80	0,85
	Chặt	1,65 - 2,05	0,8	1,0	1,20	1,30
	Rất chặt	2,05 - 2,15	1,0	1,3	1,50	1,70

Do địa chất đáy sông thường có nhiều lớp khác nhau và tính xói phục vụ cho xác định cao độ trụ và móng nên thường xác định xói bãi theo phương pháp biểu đồ dựa vào sự cân bằng giữa lưu lượng thủy trực gây xói q_x với lưu lượng không xói của từng lớp địa chất q_d ; nghĩa là xói dừng tại lớp địa chất nào mà ở đó có $q_x = q_d$.

$$h_{xb} V_{cb} = \beta_b h_b V_b \quad (4-30)$$

Sơ đồ tính chỉ ra ở hình 4.8, trong đó chỉ số r là đất rời, d là đất dính.



Hình 4.8: Sơ đồ xác định số h_{bxc} bằng biểu đồ
 r - đất rời; d - đất dính.

Trong hình 4.8 trục hoành trùng với đường mặt nước lũ thiết kế là trục lưu lượng có giá trị lưu lượng gây xói q_x , đường liên phát triển theo chiều sâu là đường lưu lượng không xói ở các lớp địa chất khác nhau. Giao điểm đường có giá trị q_x song song với

trục chiều sâu h với đường liền là điểm ngừng xói và chiều sâu của điểm là chiều sâu ngừng xói h_{xb} ở bãi cầu.

Khi chiều sâu xói bãi cầu xấp xỉ bằng chiều sâu trung bình của lòng sông $h_{xb} \approx (\bar{h}_l)$ thì bãi được nối vào lòng sông hình thành lòng sông mở rộng và bùn cát chuyển động trong lòng sông mới $B_2 = B_l + B_b$.

4.2.4. Xác định chiều sâu xói chung theo mức độ mở rộng lòng sông dưới cầu

a) Xói chung khi chiều dài cầu chỉ vượt qua chiều rộng lòng sông tự nhiên B_l được chỉ ra ở hình 4.9.

Thay $L_{oc} = B_2 = B_l(1 - \lambda)$ thì (4-19) cho:

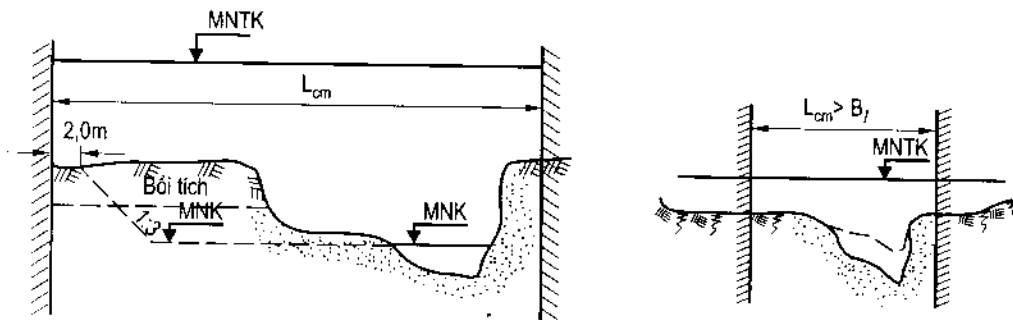
$$h_{x \max} = h_{l \max} \left(\frac{Q_{p\%}}{Q_l} \right)^{8/9} \left[\frac{B_l}{B_l(1 - \lambda)} \right]^{2/3} \quad (4-31a)$$

hay:

$$h_{x \max} = h_{l \max} \left(\frac{Q_{p\%}}{Q_l} \right)^{0.89} \left(\frac{1}{(1 - \lambda)} \right)^{0.67} \quad (4-31b)$$

trong đó: λ - tổng chiều rộng trụ ($\Sigma b_{trụ}$) chia cho tổng chiều rộng nhịp cầu ($\Sigma l_{nhịp}$) phần chiều rộng λL_{cm} sẽ chặn không cho lưu lượng nước và bùn cát chảy qua, sẽ không được tính vào chiều dài thoát nước.

b) Xói chung khi chiều rộng lòng sông không mở rộng như hình 4.10.



Hình 4.10

Trường hợp này xảy ra khi bãi sông không bị ngập thường xuyên có nhiều cây to phát triển, địa chất bãi là loại khó xói, xói ở lòng sông dưới cầu lớn:

$$h_{x \max} = h_{l \max} \beta_l^{8/9} \frac{1}{(1 - \lambda)^{2/3}} \quad (4-31c)$$

c) Xói chung khi chiều rộng lòng sông mở rộng ra toàn cầu

Trường hợp này xảy ra đối với bãi sông thường xuyên bị ngập lũ, địa chất bãi dễ bị xói và ta có: $B_2 = L_{oc}$; dòng chảy dưới cầu không phân chia lòng sông và bãi sông (chỉ có lòng sông). Chiều sâu xói sẽ là:

$$h_{x\max} = h_{l\max} \left(\frac{Q_{p\%}}{Q_l} \right)^{8/9} \left(\frac{B_l}{L_{oc}} \right)^{2/3} \quad (4-31d)$$

d) Xác định xói sâu nhất cho phép theo tầng đá gốc ở đáy sông và loại hình trụ

Nếu chiều sâu đặt móng trụ mố được quyết định theo chiều sâu của tầng đá gốc thì chiều sâu xói theo phép lớn nhất có thể theo đồ trụ ở hình 4.11.

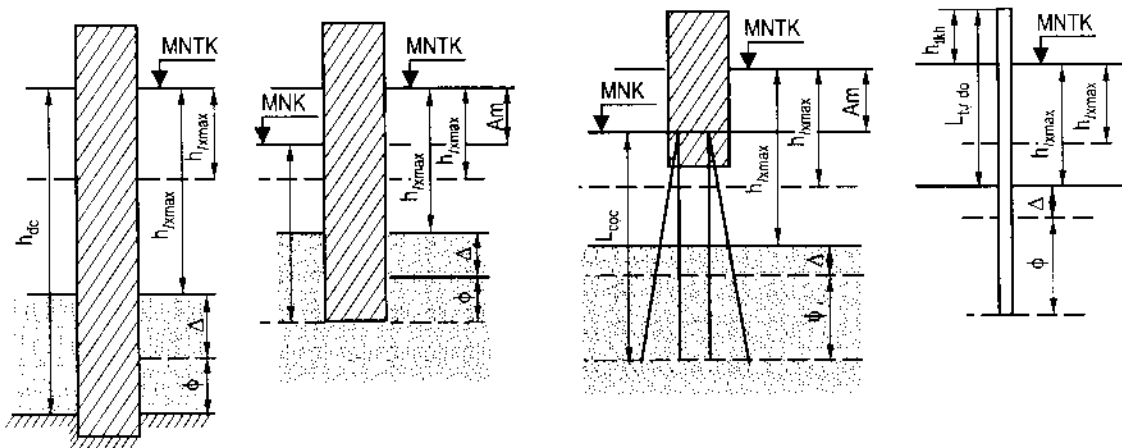
(1) Trụ đặt vào tầng đá gốc (hình 4.11a):

$$h_{l\max} = h_d - \phi - \Delta = \frac{h_d - \phi}{1 + \Delta / h_{l\max}} \quad (4-32a)$$

trong đó: h_d - chiều sâu tầng đá gốc tính từ mực nước thiết kế (MNTK);

Δ - sai số xác định $h_{l\max}$;

ϕ - chiều sâu móng ngàm vào trong đất theo tính toán và phải lớn hơn chiều sâu xói cục bộ tại móng $\phi \geq h_c$.



Hình 4.11: Sơ đồ xác định chiều sâu xói cho phép

Khi thiết kế nếu chỉ dựa vào hình thái đoạn sông thì $\Delta = 0,15h_{l\max}$; song nếu có đo thủy văn thì $\Delta = 0$.

(2) Nếu xây dựng trụ trong vòng vây hố móng (hình 4.11b) thì:

$$h_{l\max} = \frac{h_{hm} + A_m - \phi}{1 + \Delta / h_{l\max}} \quad (4-32b)$$

trong đó: h_{hm} - chiều hố móng tính từ mực nước kiệt (MNK);

A_m - biên độ thay đổi mực nước từ MNTK đến MNK.

(3) Trụ trên cọc (hình 4.11c) thì h_{lmax} được xác định theo chiều dài cọc tính toán:

$$h_{lmax} = \frac{l_{cọc} + A_m - \phi}{1 + \Delta / h_{lmax}} \quad (4-32c)$$

4.25. Hạn chế xói lòng theo điều kiện địa chất

Đối với địa chất không đều hạt, trong quá trình xói sẽ xảy ra sự thô hóa bề mặt làm giảm xói. Địa chất đáy lòng sông đồng nhất khi $\frac{d_{95}}{d_5} < 4 \div 5$ tương ứng với $\sigma_g < 1,35$;

$\sigma_g = \frac{d_{84,1}}{d_{15,9}} = \frac{d_{50}}{d_{5,9}}$. Khi hạt cùng loại, đường kính hạt bị xói thường nhỏ hơn đường kính d_{50} từ 2 ÷ 2,2 lần. Song cấp phối hạt trong sông thường có $\sigma_g \approx 4$, do vậy gọi đường kính hạt thô hóa là d_a thì lớp thô hóa hình thành khi $\frac{d_{84}}{d_{50}} > 2$ hay $\sigma_g > 2$ và ổn định với

chiều dày δ_a của nó là: $\delta_a \approx 3d_a$ hay $\frac{d_{100}}{d_{50}} \approx 1,8$ (Chin 1985). Chin, Melville và Raudkivi

(ASCE, 8/1994) bằng nghiên cứu của mình kết hợp với kết quả các nghiên cứu trước chỉ ra:

$$\theta_{Ca} = \frac{u_{*ca}^2}{\Delta g (d_{50a})_{max}} = f \left[\frac{(d_{50a})_{max}}{d_{50}} \right] \quad (4-33)$$

và:
$$\frac{\theta_{ca}}{\theta_c} = \frac{\theta_{ca}}{0,05} = (0,4T^{-0,5} + 0,6)^2 \quad (4-34)$$

trong đó: $(d_{50a})_{max}/d_{50}$ gọi là T.

Biểu thức (4-34) tương đương như (2-24) vì $\frac{d_{max}}{(d_{50a})_{max}} = 1,8$ nên $T = \frac{d_{max}}{1,8d_{50}}$.

Đối với một cấp phối bùn cát nhất định sẽ có một phạm vi ứng suất tiếp để cho lớp thô hóa phát triển. Giới hạn dưới của $u_{*a}/u_{*ca} \approx 0,4$; khi ứng suất tiếp tăng, các hạt phân tách, tuyển chọn hạt to nhỏ tăng rất nhanh và d_{max}/d_{50} tiến tới 1,8 gần tới giới hạn. Vậy có thể đưa ra khái niệm lớp thô hóa tới hạn hay lớp thô nhất có thể là lớp do ứng suất tiếp tới hạn hay ứng suất tiếp giới hạn trên tạo ra, ngoài phạm vi này lớp thô hóa không tác dụng và tất cả các hạt của bề mặt đáy lại chuyển động. θ_{ca} giảm khi phạm vi các hạt ở đáy tăng lên. Tỷ số d_{max}/d_{50a} trong lớp thô hóa giảm đồng thời với tăng ứng suất tiếp tới điều kiện thô hóa tới hạn (1,8).

Giá trị $d_{84a}/d_{50a} = 1,5$ là điều kiện biên trên của cát đều hạt. Lớp thô hóa tới hạn thể hiện giới hạn dưới của cát không đều hạt, nghĩa là cát đều hạt thì không có thô hóa.

Có thể hiểu quá trình thô hóa của bùn cát đáy sông đơn giản là: cát hạt to không chuyển động, tách khỏi hạt nhỏ chìm xuống đáy, các hạt nhỏ hơn ở dưới thoát lên và bị cuốn trôi, cứ như vậy hạt thô ngày càng nhiều lên, xít lại gần nhau tạo ra lớp thô hóa ở bề mặt đáy ngăn cản không cho cao độ đáy tiếp tục hạ xuống (bị xói) - đây là lớp thô hóa tĩnh (Sutherland, 1987). Chiều dày của lớp đất bị xói đi để tạo thô hóa theo Strand và Pemberton (1982) là: $d_s = \delta_a \left(\frac{1}{p_a} - 1 \right)$; trong đó δ_a - chiều dày lớp thô hóa; p_a - phần

trăm trọng lượng của hạt thô vượt quá hạt nhỏ nhất không chuyển động. Chiều dày lớp đất bị xói đi cũng được xác định bằng: $d_s = 200 \bar{d}_{\max} / p\%$ (mục 4.2.2).

4.2.6. Xói chung dưới cầu đối với dòng nước trong

Nếu dòng chảy từ thượng lưu về cầu không cuốn theo bùn cát hay có lượng bùn cát nhỏ không đáng kể thì dòng chảy tới cầu và dưới cầu là dòng nước trong. Dòng chảy bị thu hẹp dưới cầu sẽ bị xói tới khi ứng suất tiếp đáy dòng chảy không đủ khả năng đẩy hạt khỏi đáy sông và cuốn theo dòng chảy, lúc này đáy sông không còn mất hạt bùn cát, không bị xói sâu hay ngừng xói, nghĩa là ứng suất tiếp đáy dòng chảy cân bằng với ứng suất tiếp nhỏ nhất của hạt ở đáy dòng chảy, $\tau_0 = \tau_c$.

Biết τ_{*c} hay $\theta_c = \tau_c / \rho \Delta g d = f(Re_*)$ với $Re_* = \frac{u_* d}{\nu}$.

Lí thuyết và thực nghiệm chỉ ra có thể lấy $\theta_c = 0,04$ cho hạt thô để tính xói nước trong ở dòng chảy dưới cầu là chảy êm. Cho $\tau_0 = \gamma R S_f$ cân bằng với τ_c khi $\theta_c = 0,04$ rút ra RS_f trong điều kiện tới hạn:

$$RS_f = 0,04 \Delta d \quad (a)$$

Lưu lượng thiết kế chảy dưới cầu:

$$Q_{p\%} = \frac{1}{n} A R^y \sqrt{RS_f} \quad (b)$$

Thay (a) vào (b) rút ra:
$$R = \left(\frac{n Q_{p\%}}{A \sqrt{0,04 \Delta d}} \right)^{1/y} \quad (c)$$

Khi chiều dài thoát nước dưới cầu $L_{oc} > 10h$ - chiều sâu xói trung bình của dòng chảy thì (c) được viết lại khi thay $R = h_{tb} = A/L_{oc}$ và $A = L_{oc} h_{tb}$, ta có:

$$h_x = \left(\frac{n Q_{p\%}}{L_{oc} \sqrt{0,04 \Delta d}} \right)^{1/(1+y)} \quad (d)$$

Sử dụng công thức Manning Sedy: $y = \frac{1}{6}$; $\Delta = 1,65 = \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)$; $n = \frac{d^{1/6}}{21,1}$ (Strickler)

thì (d) sẽ là:

$$h_x = \left(\frac{Q_{p\%}}{5,42L_{oc}d^{1/3}} \right)^{6/7} \quad (4-35)$$

Gọi lưu lượng thiết kế tại đường thủy trực bất kì là $q_{ip\%}$ thì chiều sâu xói tương ứng với $q_{ip\%}$ là h_{xi} :

$$h_{xi} = \left(\frac{q_{ip\%}}{5,42d_{50}^{1/3}} \right)^{6/7} \quad (4-36a)$$

Lưu lượng $q_{ip\%}$ thông qua lưu lượng đơn vị trung bình $\left(\bar{q} = \frac{Q_{p\%}}{L_{oc}} \right)$:

$$q_{ip\%} = \bar{q} \left(\frac{h_i}{h_{tb}} \right)^{5/3} \quad (e)$$

Thay (e) vào (4-36a) ta có:

$$h_{xi} = \left[\frac{\bar{q} (h_i / h)^{5/3}}{5,42d^{1/3}} \right]^{6/7} \quad (4-36b)$$

Gia số xói chung $d_s = h_x - h_{tb}$ với h_{tb} là chiều sâu trung bình của mặt cắt dưới cầu lúc chưa xói. Trường hợp địa chất là đất không đều hạt thì xác định d_s theo quan hệ:

$$d_s = 200\bar{d}_{a\max}/p\% \text{ hay } d_s = \delta_a \left(\frac{1}{p_a} - 1 \right) \quad (4-38)$$

được nêu ở (4-22) và (4-25).

Để xác định dòng chảy là nước trong có thể sử dụng các công thức xác định V_c đã biết hay sử dụng công thức:

$$\frac{V_c}{\sqrt{\Delta g d}} = 1,35 \left(\frac{R}{d} \right)^{1/6} \text{ hay } V_c \approx 5,42R^{1/6}d^{1/3} \quad (4-39)$$

nếu tốc độ dòng chảy lũ $V = \frac{Q_{p\%}}{A} < V_c$ thì dòng chảy là dòng nước trong, ngược lại là nước đục. Trong các công thức $d = d_{50}$ trong đường cong cấp phối hạt.

Giả thiết đối với dòng chảy lũ mặt cắt dưới cầu có thể coi như kênh mặt cắt chữ nhật rộng, ứng suất tiếp đáy trung bình xác định theo phương trình Manning:

$$\tau_0 = \rho \frac{gn^2}{h_{tb}^{1/3}} v^2 \quad (4-39)$$

Trong quá trình xói d_a tăng dần về kích thước và số lượng đến lúc ngăn cản hoàn toàn xói (thô hóa toàn mặt đáy), lúc này sẽ có hàm không đơn vị của ứng suất tiếp tương ứng với d_a được xác định theo (4-33) và (4-34), ta sẽ xác định được gia số xói vào lớp bùn cát không đều hạt của dòng nước trong khi $\tau_0 = \tau_{ca}$.

$$d_s = \left(\frac{nQ}{\sqrt{\theta_{ca} \Delta d_a} L_{oc}} \right)^{6/7} - h_{tb} \quad (4-40)$$

trong đó: h_{tb} - chiều sâu trung bình dòng chảy lúc chưa thu hẹp;

n - được xác định theo Strickler (1923); Hey (1979) hay đối với dòng chảy có đáy là sỏi sạn $n = 0,0474d_{50}$ (d_{50} có đơn vị là mét);

Giá trị nhỏ nhất của $\theta_{ca} = 0,02$ (Andrew, 1983).

Đối với đất đồng nhất biểu thức xác định chiều sâu xói h_x tổng quát khi bỏ qua tổn thất và sự khác biệt về cột nước tốc độ sẽ có dạng:

$$h_x = \left(\frac{nQ_{p\%}}{L_{oc} \sqrt{\theta_c \Delta d}} \right)^{1/1+y} \quad (4-41a)$$

Biểu thức (d) đã nêu là trường hợp riêng khi $\theta_c = 0,04$.

Chiều sâu xói cũng có thể được xác định theo công thức:

$$h_x = \frac{Q_{p\%}}{V_c L_{oc}}$$

trong đó: $V_c = 5,75u_*c \lg \left(5,53 \frac{h_x}{d_{50}} \right); u_*c = \sqrt{\theta_c \Delta g d_{50}} \quad (4-41b)$

Tùy theo địa chất và nghiên cứu xói ở vùng làm cầu sẽ quyết định giá trị θ_c sau đó tính u_*c , V_c và h_x bằng cách đúng dần.

4.2.7. Xác định hệ số tăng cường lưu lượng lòng sông dưới cầu

Chiều dài thoát nước dưới cầu L_{oc} thường lớn hơn chiều rộng lòng sông B_l song lại nhỏ hơn chiều rộng ngập lũ thiết kế B_0 ($B_l < L_{oc} < B_0$). Chiều dài thoát nước gồm: $L_{oc} = B_l + B_{bca}$ và lưu lượng tương ứng trong điều kiện tự nhiên nhỏ hơn lưu lượng thiết kế:

$$Q_{Loc \text{ tự nhiên}} = (Q_l + Q_{bca})_{\text{tự nhiên}} < Q_{p\%}$$

Khi làm cầu lưu lượng qua phần bãi bị chặn lại bởi đường đầu cầu không ngập chảy vào cầu làm tăng tốc độ, lưu lượng và phân phối lại tốc độ và lưu lượng ở lòng và bãi sông dưới cầu, ngoài ra vì dòng bãi là nước trong nên làm tăng thêm khả năng tải cát của lòng sông, tạo ra sự cân bằng bùn cát mới ở mặt cắt dưới cầu và ở cả đoạn sông bị ảnh hưởng bởi cầu. Gọi β_l và β_b là hệ số tăng cường lưu lượng lòng sông và bãi sông dưới cầu so với lúc chưa làm cầu thì:

$$\beta_l = \frac{Q_{lc}}{Q_l} \quad \text{và} \quad \beta_b = \frac{Q_{bc}}{Q_b}$$

β_l và β_b rút ra từ việc áp dụng phương trình Bernoulli viết riêng cho dòng chảy lòng sông, bãi sông khi chưa làm cầu và làm cầu đối với hai mặt cắt là mặt cắt có nước dâng cao nhất trước cầu và mặt cắt dưới cầu với giả thiết:

- + Đáy chưa bị xói (nước dâng cao nhất) sẽ cho β_{lmax} và β_{bmax} .
- + Độ chênh nước dâng tại mặt cắt có nước dâng cao nhất trước cầu với nước dâng dưới cầu là như nhau đối với dòng chảy ở lòng và ở bãi.
- + Độ dốc mặt nước lòng và bãi như nhau.
- + Tốc độ dưới cầu tăng lên so với bình thường giá trị β :

$$V_{lc} = \beta_l V_l \quad \text{và} \quad V_{bc} = \beta_b V_b$$

+ Sự thay đổi của môđun lưu lượng $K = AC\sqrt{R}$ sau khi làm cầu không đáng kể so với trước khi làm cầu, rút ra:

$$J_C = \left(\frac{Q_C}{Q} \right)^2 J = \beta_*^2 J$$

trong đó: Q_C và Q - lưu lượng qua cầu và lưu lượng tự nhiên;

J_C và J - độ dốc năng lượng sau khi làm cầu và trước khi làm cầu.

Kết quả phân tích lí thuyết và thí nghiệm (43 thí nghiệm) đối với dòng chảy một bãi có kè hướng dòng sai khác với trường hợp không có kè là 5% (Andreev, 1980) nên có thể áp dụng công thức cho trường hợp không có kè. Theo O. V. Andreev thì β_l và β_b phụ thuộc lẫn nhau và được xác định theo:

$$\beta_b = \sqrt{\beta_l^2 + (\beta_l^2 - 1)F(\eta, a)} \quad (4-42)$$

$$\beta_l = \beta_b - \frac{1}{\tau} \left(\frac{\beta_b}{\beta} - 1 \right) \quad (4-43)$$

trong đó: $\tau = \frac{Q_l}{Q_{p\%}}$;

$$\beta = \frac{Q_{p\%}}{(Q_l + Q_{bc})_{\text{tự nhiên}}} = \frac{\beta_b}{1 + \tau(\beta_b - \beta_l)};$$

$$\eta = \left(\frac{V_l}{V_b} \right)_{\text{tự nhiên}};$$

$$a = \frac{1,1V_l^2}{gJl_f};$$

$$F(\eta, a) = \frac{a(\eta^2 - 1)}{a + \eta^2} \quad (4-44)$$

l_f là chiều dài phễu rót nước vào cầu.

$l_f = B_0 - L_{oc}$ đối với sông một bãi;

$l_f = \frac{1}{2}(B_0 - L_{oc})$ đối với sông hai bãi đều nhau.

$l_f = \frac{B_0 - L_{oc}}{1 + \frac{B_{b \text{ nhỏ}}}{B_{b \text{ lớn}}}}$ đối với sông hai bãi không đều.

Trình tự xác định β_l và β_b .

1. Tính hệ số tăng cường lưu lượng chung $\beta = \frac{Q_{p\%}}{(Q_l + Q_{bc})_{\text{tự nhiên}}}$.

2. Cho $\beta_{l1} = \beta$ và tính β_{b1} theo (4-42).

3. Tính β_{l2} theo (4-43).

4. Tính β_{b2} sau khi thay β_{l2} vào (4-42).

5. So sánh β_{b2} với β_{b1} theo mức độ chính xác đã chọn, nếu chưa thỏa mãn sẽ lặp lại quá trình tính đến khi đạt yêu cầu.

Trường hợp xác định β_b và β_l có xét tới xói đáy có thể tham khảo tài liệu "Công trình vượt sông" của GS. TSKH. Nguyễn Xuân Trục. Nhà xuất bản Xây dựng, 1984. Đối với trường hợp dòng sông dưới cầu bị xói mạnh thì hệ số tăng cường lưu lượng thực tế rất gần nhau do đó nên lấy $\beta_l \approx \beta_b = \beta$ để tính.

4.2.8. Tính xói đối với cầu bị ảnh hưởng nước dâng từ sông khác.

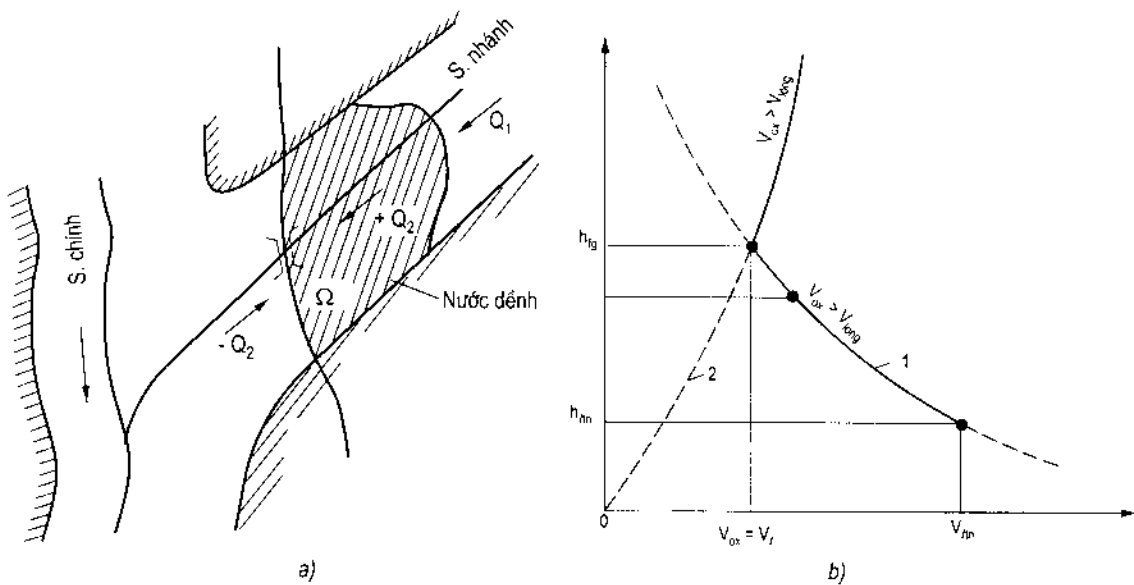
Cầu bị ảnh hưởng của nước dâng từ sông lớn vào sông nhánh (hình 4.12) là vấn đề rất phức tạp, phải thông qua quá trình quan trắc nhiều năm về lưu lượng, mực nước dâng, rút và sự thay đổi tốc độ lòng sông, tốc độ không xói và lưu lượng bùn cát tương ứng. Nước dâng làm thay đổi chế độ nước và bùn cát của sông nhánh song nếu biến dạng lòng sông ở cầu trong vùng nước dâng vẫn tuân theo quy luật chuyển động bùn cát

thông thường của bùn cát tạo lòng (cân bằng lưu lượng bùn cát dọc sông) thì chuyển động bùn cát vẫn tồn tại nếu tốc độ thực tế của dòng chảy trong lòng tương ứng với mực nước cao nhất lớn hơn tốc độ không xói. Trường hợp này chiều sâu lớn nhất sau xói ở mặt cắt ngang dòng chảy dưới cầu được xác định theo công thức:

$$h_{x\max}^{\text{dâng}} = h_{\max}^{\text{dâng}} \left(\frac{Q_{lc}}{Q_l} \right)^{8/9} \left(\frac{B_l}{L_{oc}} \right)^{2/3} \quad (4-45)$$

hay gia số xói ở lòng:

$$d_s^{\text{dâng}} = h_{\max}^{\text{dâng}} \left[\left(\frac{Q_{lc}}{Q_l} \right)^{8/9} \left(\frac{B_l}{L_{oc}} \right)^{2/3} - 1 \right] \quad (4-46)$$



Hình 4.12:

- a) Nước dâng từ sông lớn vào sông nhánh;
 b) Biểu đồ thay đổi tốc độ ở lòng sông khi nước dâng (1) và tốc độ không xói (2).
 Q_1 - Lưu lượng mùa kiệt ở sông nhánh; Q_2 - Lưu lượng dâng trước cầu.

Quan hệ $\left(\frac{Q_{lc}}{Q_l} \right)$ phụ thuộc vào vùng nước dâng trước cầu có thể được xác định (không phân biệt sự sai khác β_l với β) thông qua môđun lưu lượng:

$$\left(\frac{Q_{lc}}{Q_l} \right) = \frac{\Sigma K}{K} \quad (4-47)$$

trong đó: ΣK - tổng môđun lưu lượng của mặt cắt ngang ở vùng nước dâng trước cầu;
 K - môđun lưu lượng tại mặt cắt dòng chảy dưới cầu.

Sự khác biệt của phương pháp là trị số xói lở cuối cùng không phụ thuộc vào khối lượng tuyệt đối của bùn cát, mà là do sự tăng tương đối vận chuyển bùn cát ở mặt cắt thu hẹp dưới cầu.

4.2.9. Mở rộng nhân tạo lòng sông dưới cầu

Mở rộng nhân tạo hay xói rộng nhân tạo lòng sông dưới cầu là hình thức điều chỉnh nhân tạo, làm hài hòa lại phân phối tốc độ, lưu lượng nước và bùn cát ở lòng sông dưới cầu, làm giảm xói sâu ở lòng sông và hài hòa hơn quá trình diễn biến lòng sông dưới cầu và đoạn sông bị ảnh hưởng bởi khẩu độ cầu. Mở rộng nhân tạo chỉ có ý nghĩa khi hệ số

tăng cường lưu lượng chung toàn cầu $\beta = \frac{Q_{1\%}}{(Q_l + Q_{bc})_{\text{tự nhiên}}} \geq 1,7$ và tần suất ngập bãi

sông dưới cầu thỏa mãn bất đẳng thức (Glagoleva T. N, 1969 và Phedotov G. A. 1974, 1975 và 1979).

$$0,4\beta_{1\%} \left(\frac{p_{bãi\%}}{100} + 0,5 \right) \geq 1 \quad (4-48)$$

Mức độ mở rộng nhân tạo ổn định và không gây tác hại bất lợi đến xói sâu hay quá trình diễn biến lòng sông dưới cầu phải đảm bảo quan hệ hệ số xói mở rộng lòng của nguyên lí cân bằng bùn cát:

$$p_b = \frac{B_{lc}}{B_l} = (\beta_{1\%}^{0,93} - 1)K_{dl}K_{pb\%} + 1 \quad (4-49)$$

trong đó: B_{lc} và B_l - chiều rộng lòng sông dưới cầu đã tính mở rộng và lúc tự nhiên;

$\beta_{1\%}$ - mức độ thất hẹp dòng lũ có tần suất vượt lũ là 1%;

K_{dl} - hệ số đẩy lũ tính toán;

$K_{pb\%}$ - hệ số tần suất ngập bãi.

$$\beta_{1\%} = \frac{Q_{1\%}}{Q_{l1\%} + q_b(L_{oc} - B_{lc})} \quad (4-50)$$

$$q_b = \frac{Q_{1\%} - Q_{l1\%}}{B_0 - B_l} \quad (4-51)$$

$$K_{dl} = \left(\frac{7,7}{\beta_{1\%}} - 1 \right) \left(\frac{K_h}{2} \right)^{(3,8 - 0,85\beta_{1\%})} \quad (4-52)$$

khi $\beta_{1\%} < 4,5$ và tần suất ngập bãi $p_{bãi} \leq 95\%$.

$K_{dl} = 0,7$ khi $\beta_{1\%} \geq 4,5$ và tần suất ngập bãi $p_{bãi} \leq 95\%$

$K_{dl} = 0,79K_h^{0,5}$ khi tần suất ngập bãi $p_{bãi} > 95\%$

$K_h = \frac{\bar{h}}{h_{\max}}$ là tỉ số giữa chiều sâu trung bình với chiều sâu lớn nhất so với cao độ trung bình, thể hiện mức độ đầy lũ.

$$K_{pb\%} = \left(\frac{p_{b\bar{a}i}}{100} \right)^{(0,5+2,5/\beta_{1\%})} \quad \text{khi } p_{b\bar{a}i} \leq 95\% \quad (4-53)$$

$$K_{pb\%} = 1 \quad \text{khi } p_{b\bar{a}i} > 95\%$$

Mức độ mở rộng không được vượt quá bất đẳng thức sau:

$$P_b = \frac{B_{lc}}{B_l} \leq \left(\frac{q_l}{q_b} - 1 \right) \quad (4-54)$$

trong đó: $Q_{1\%}$ và $Q_{l1\%}$ - lưu lượng toàn phần và lưu lượng lòng sông có tần suất vượt 1%;

B_0 và B_l - chiều rộng ngập lũ và chiều rộng lòng sông tương ứng với mực nước lũ 1%;

$p_{b\bar{a}i} \%$ - tần suất ngập bãi có đơn vị là %.

Việc mở rộng có thể về một phía hay cả hai phía của lòng sông, tùy thuộc vào địa hình và địa chất cụ thể nơi đặt cầu. Nếu mở rộng hai phía thì chiều rộng mở rộng tỉ lệ với lưu lượng chảy dưới bãi cầu. Xác định gần đúng lần đầu thì chiều rộng cần mở rộng có thể theo quan hệ:

$$B_{lc} = \beta_{lm} B_l$$

$$\text{và cao độ đáy trung bình } \bar{V} = \bar{V}_{b\bar{a}i} - h_l \beta_{lm}^{2/9} \quad (4-55)$$

$\bar{V}_b$ là cao độ trung bình bãi sông dưới cầu xói mở rộng;

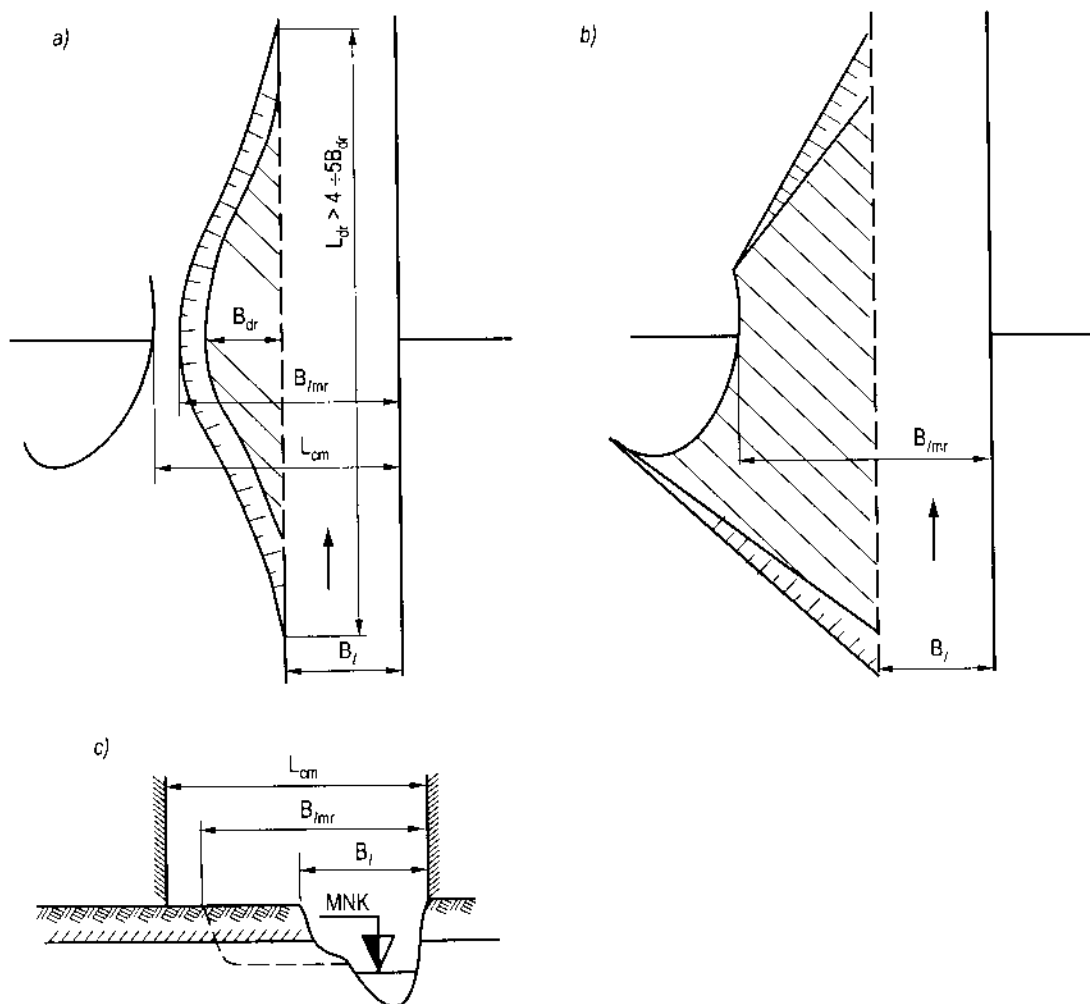
β_{lm} - hệ số tăng cường lưu lượng lòng sông đã tính mở rộng lòng.

Mặt bằng phạm vi mở rộng: chiều dài từ (4 ÷ 6) chiều rộng và phải êm thuận để lưu lượng nước và bùn cát ra vào được thuận lợi. Mở rộng lòng sông không nên áp dụng đối với sông di động, sông có bãi cát liên bờ, sông có nhiều đảo nổi.

Sau đây là một số chú ý khi đào rộng lòng sông:

- (1) Phần bãi sẽ đào để mở rộng lòng phải có tần suất ngập bãi $P_{b\bar{a}i} \geq 50 - 70\%$.
- (2) Tốc độ dòng chảy ở phần đào rộng khi mực nước bắt đầu ngập bãi phải lớn hơn tốc độ không xói.
- (3) Diện tích đào rộng không nên vượt quá 25% diện tích dưới cầu sau xói.
- (4) Tổng diện tích đào và xói thường không nên vượt quá 50% đối với sông không thông thuyền và 35% đối với sông thông thuyền.

- (5) Đào mở rộng lòng phải kết hợp với phương án sử dụng đất đào, nếu không cần nghĩ tới giảm diện tích đào, mở rộng chiều dài thoát nước hay cho phép xói sâu hơn.
- (6) Đối với sông thẳng nên mở rộng về cả hai phía bờ sông nếu có bãi đủ mở rộng.
- (7) Sông cong nên mở rộng phía bờ lõm.
- (8) Độ dốc phần đào rộng bằng độ dốc lòng sông dưới cầu.
- (9) Cao độ đáy phần mở rộng xấp xỉ song không nhỏ thua mực nước kiệt.
- (10) Độ dốc phần đào vuốt êm thuận với đáy dòng chảy tự nhiên áp dụng $1/5 \div 1/10$ đối với thượng lưu và $1/10 \div 1/20$ cho hạ lưu.



Hình 4.13: Sơ đồ mở rộng lòng sông dưới cầu

a) Mở rộng hợp lí và đúng; b) Mở rộng sai; c) Mặt cắt ngang tại vị trí trục cầu.

Chương 5

XÓI CỤC BỘ TRỤ CẦU VÀ MỐ CẦU

Dự đoán xói cục bộ trụ và mố cầu rất cần thiết đối với kỹ sư giao thông nói riêng và kỹ sư xây dựng dân dụng nói chung, vì xói này bổ sung vào xói do diễn biến tự nhiên của dòng chảy và xói chung do làm cầu thắt hẹp dòng chảy lũ nhằm tìm ra chiều sâu xói lớn nhất để xác định và thiết kế trụ và mố cầu. Khi nghiên cứu về xói cục bộ cần phân biệt xói nước trong và xói nước đục vì cả hai loại xói này đều thay đổi theo thời gian, song mức độ và diễn biến khác nhau và vì trụ có thể đặt ở lòng và bãi sông (bãi sông giả thiết là nước trong); xói với đất rời rạc và xói đối với đất dính; xói cho trụ đơn và xói cho trụ trên hệ thống cọc cũng như các yếu tố khác nhau ảnh hưởng tới xói cục bộ. Xói cục bộ tại chân trụ, mố cầu là sự hạ thấp cục bộ cao độ đáy sông quanh mố trụ tính từ đường xói chung và do trụ hay mố làm thay đổi cấu trúc cục bộ dòng chảy ở xung quanh trụ hay mố so với dòng chảy bình thường tạo ra tương ứng với lũ thiết kế.

5.1. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN XÓI CỤC BỘ Ở TRỤ CẦU

Các yếu tố này có thể phân thành 4 nhóm chính:

1. Các yếu tố thể hiện chất lỏng

g - gia tốc trọng lực = $9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$

ρ - khối lượng riêng của nước;

ν - hệ số nhớt động của nước.

2. Các yếu tố thể hiện vật liệu đáy sông

ρ_s - khối lượng riêng của hạt bùn cát.

Phân bố cỡ hạt

Hình dạng hạt và mức độ dính kết của địa chất đáy sông.

3. Các yếu tố thể hiện dòng chảy

h_x - chiều sâu dòng chảy trước trụ sau xói chung.

V_c - tốc độ trung bình của dòng chảy trước trụ sau xói chung.

k_x - hệ số nhám của dòng chảy trước trụ; hướng dòng chảy đến trụ; biểu đồ lũ và thời gian lũ.

4. Các yếu tố thể hiện cho trụ cầu

Hình dạng trụ

Kích thước trụ.

Điều kiện bề mặt trụ và hình thức cản xói bảo vệ trụ phòng ngừa xói nếu có.

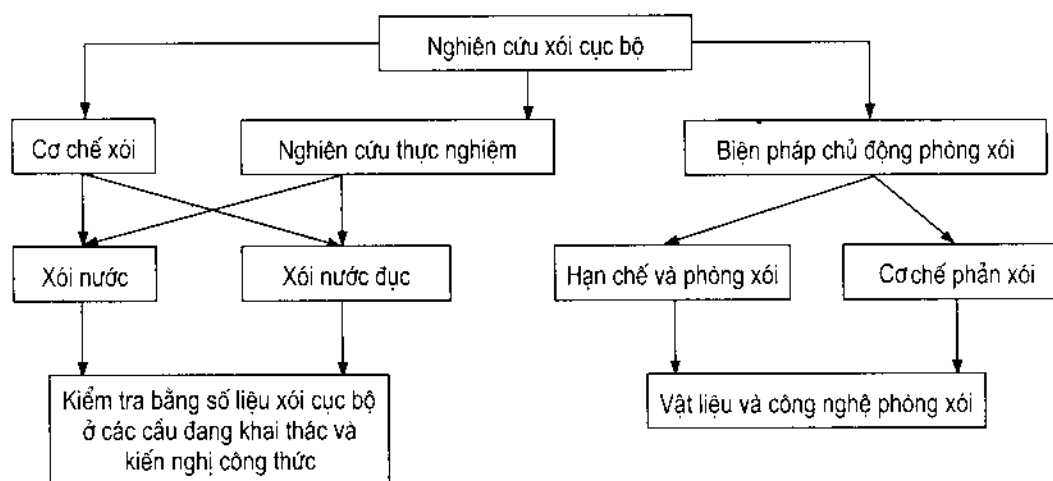
Các yếu tố ảnh hưởng đến xói cục bộ khá nhiều, có yếu tố là độc lập, có yếu tố là phụ thuộc, nhiều yếu tố không dễ dàng định lượng chẳng hạn như phân phối cỡ hạt, hình dạng hạt, mức độ dính kết và kết tụ của vật liệu. Do đó, nếu chỉ xét địa chất là đất rời rạc, xem tốc độ dòng chảy phụ thuộc vào mức độ thất hẹp và chỉ xét đỉnh lũ thì xói cục bộ chỉ có thể là hàm của 8 yếu tố:

$$h_c = f(\rho, v, g, d, p_s, h_x, v_c, b)$$

trong đó yếu tố cơ bản là đường kính hay chiều rộng trụ b , chiều sâu dòng chảy sau xói chung h_x , cỡ hạt ở đáy sông d .

Để nghiên cứu người ta thường tiến hành theo 3 hướng để rút ra công thức xác định xói cục bộ h_c .

1. Sử dụng lí thuyết nguyên thứ nguyên để phân tích ý nghĩa vật lí của xói và phân tích số liệu thí nghiệm trong phòng và số liệu đo xói cục bộ ở các cầu đang khai thác.
2. Nghiên cứu cơ chế hình thành xói cục bộ trong phòng thí nghiệm kết hợp với số liệu thí nghiệm và số liệu đo xói thực tế.
3. Nghiên cứu các biện pháp chủ động phòng xói nhằm giảm tối đa xói cục bộ hình thành ở chân trụ cầu. Như vậy, nghiên cứu xói cục bộ có thể theo sơ đồ khái quát:

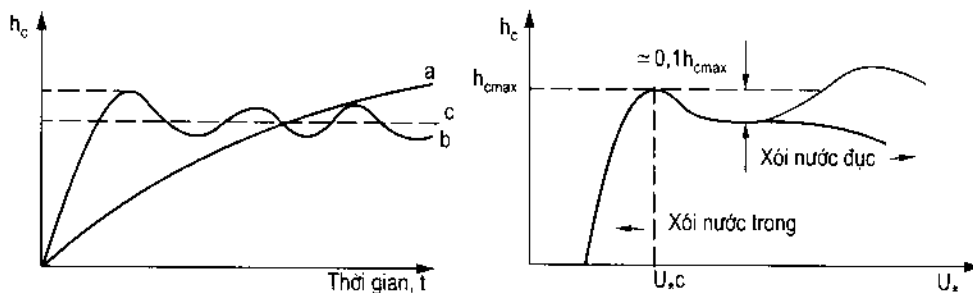


5.2. PHÂN LOẠI XÓI CỤC BỘ

Xói cục bộ ở chân trụ được chia thành xói nước trong và xói nước đục.

1. Xói nước trong là xói xảy ra khi vật liệu đáy ngay phía trước vùng xói chân trụ ở trạng thái nghỉ không chuyển động, ứng suất tiếp hay tốc độ của dòng chảy ở vùng xói nhỏ thua hay đúng bằng ứng suất tiếp phân giới hay tốc độ phân giới của hạt - đó là trạng thái hạt bắt đầu khởi động song chưa chuyển động. Khi xói độ sâu xói cục bộ tăng gần như tuyến tính với tốc độ sau xói chung.

2. Xói nước đục xảy ra khi tốc độ sau xói chung lớn hơn tốc độ phân giới của hạt ở đáy sông, bùn cát ở thượng lưu luôn được dòng chảy cấp cho hố xói, xói cân bằng đạt được khi lượng bùn cát từ thượng lưu cấp cho hố xói bằng lượng bùn cát bị xói chuyển đi từ hố xói. Xói này gắn liền với quá trình di chuyển bùn cát đáy sông, độ sâu xói không tăng theo độ sâu dòng chảy, không phụ thuộc vào độ lớn của lượng bùn cát mà dao động theo thời gian phù hợp với hình dạng đáy cát di chuyển. Cả hai loại xói có mức độ phụ thuộc thời gian hay thay đổi theo thời gian khác nhau.



Hình 5.1: Xói cục bộ thay đổi theo thời gian
a) Xói nước trong; b) Xói nước đục; c) Xói cân bằng.

Gọi V_c là tốc độ phân giới của hạt đất đáy sông trước trụ; V - là tốc độ dòng chảy dưới cầu sau xói thì:

$$\frac{V}{V_c} \leq 0,5 \quad \text{không có xói cục bộ.}$$

$$0,5 < \frac{V}{V_c} < 1,0 \quad \text{xói nước trong.}$$

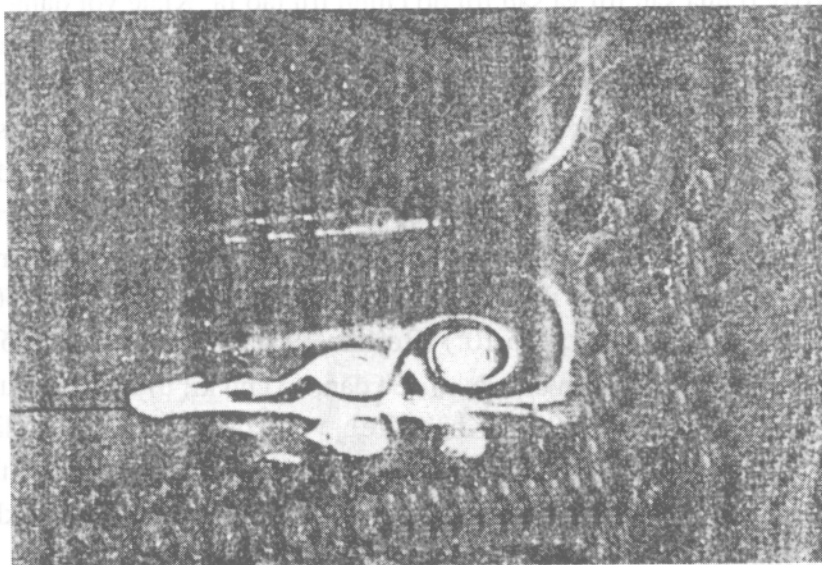
$$\frac{V}{V_c} > 1,0 \quad \text{xói nước đục.}$$

5.3. MÔI TRƯỜNG THỦY LỰC CỤC BỘ TẠI TRỤ CẦU

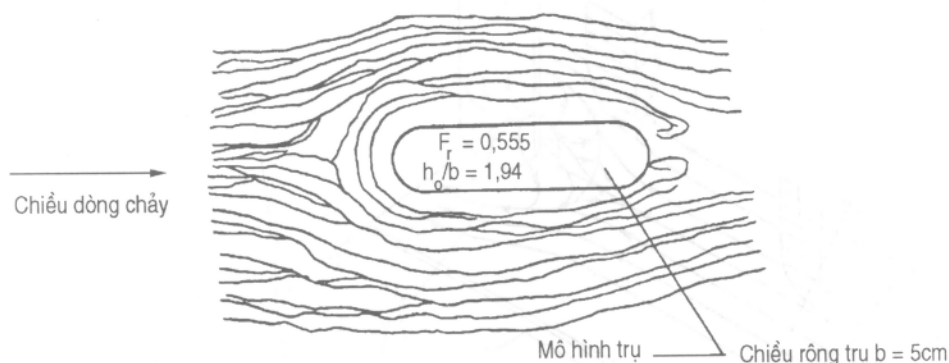
Hình ảnh thủy lực tiêu biểu của dòng chảy tại trụ cầu là môi trường thủy lực có cấu trúc xoáy hoặc hệ thống xoáy phát triển bao quanh trụ. Hệ thống xoáy này là cơ chế cơ bản của xói cục bộ. Đối với trụ không bị ngập, tùy thuộc vào loại trụ và điều kiện dòng chảy đến trụ, dòng chảy có cấu trúc xoáy có thể là một hay tất cả, hoặc không có xoáy nào trong hai hệ thống xoáy cơ bản.

1. Hệ thống xoáy có dạng hình móng ngựa tại mặt đáy của dòng chảy bao trụ (xem hình 5.2 và 5.3).

2. Hệ thống xoáy trục đứng ở nửa sau trụ và sau trụ theo phương chảy.



Hình 5.2: Dòng xoáy trước trụ (E. P. Sutton 1960)

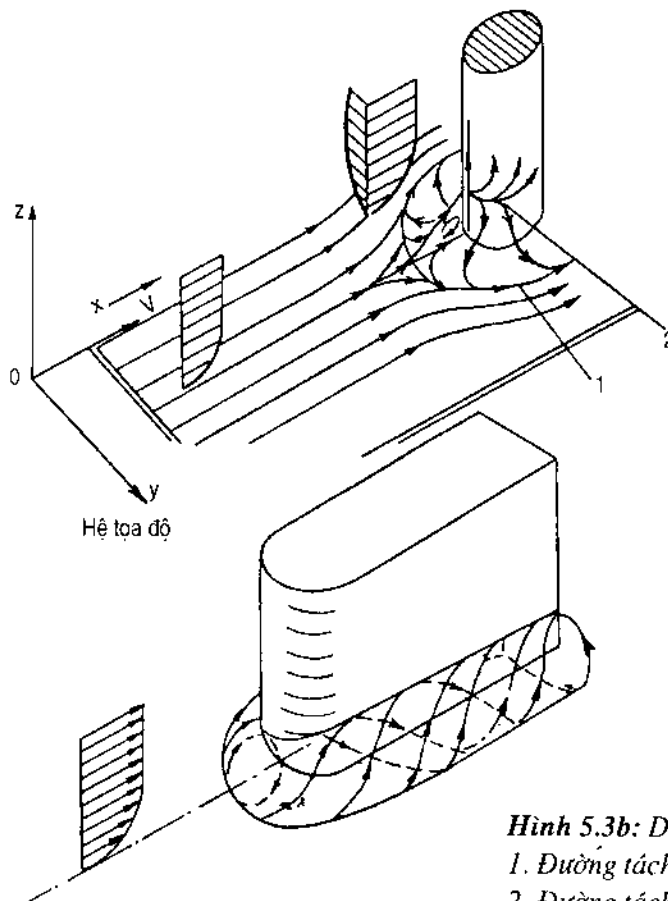


Hình 5.3a: Đường dòng bao trụ trên mặt bằng (T. Đ. Nghiên. 1987)

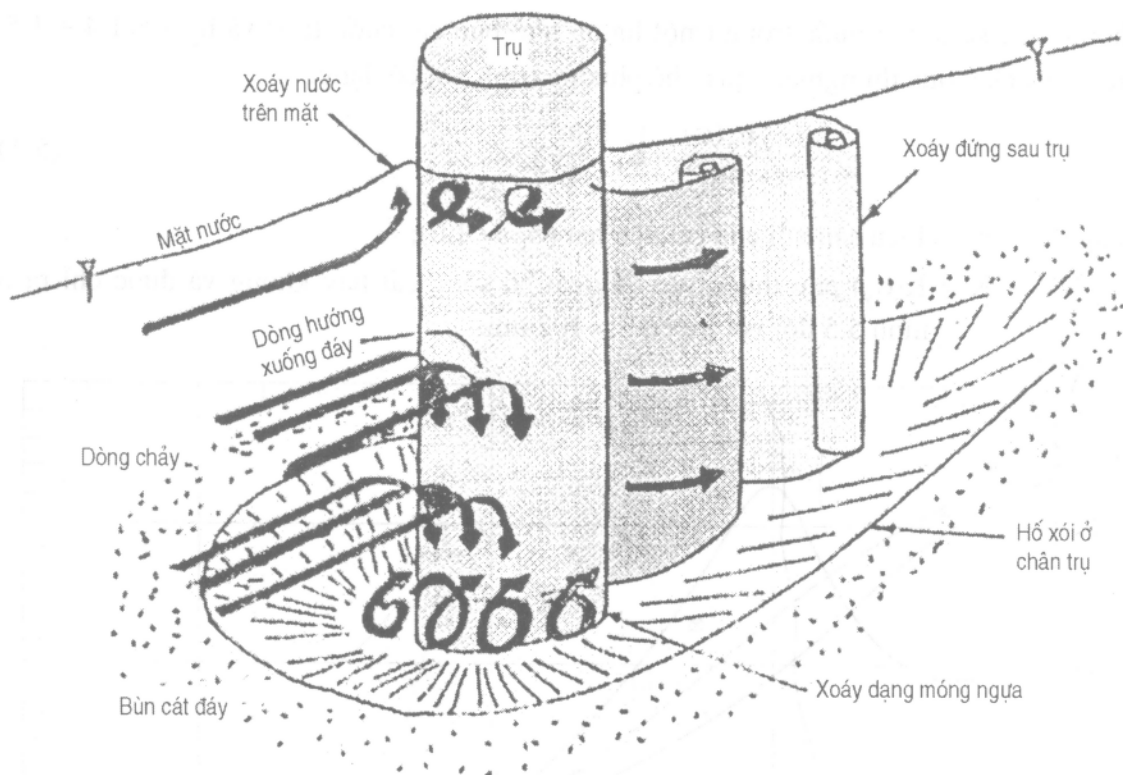
Trong dòng chảy, trụ tròn hay trụ đầu tròn tương tự như một tâm thu, thu hút các sợi xoáy nhỏ vốn có trong dòng chảy hai chiều để hình thành hệ thống xoáy có dạng móng ngựa bao trụ trên mặt bằng. Chính trụ cầu là một vật cản tự tạo ra xung quanh trụ một vùng có áp suất thay đổi khác biệt với dòng chảy bình thường khi không có trụ. Nếu áp suất trong vùng này đủ mạnh sẽ làm cho dòng chảy tách khỏi trụ ngay phía trước chân trụ theo 3 chiều: dọc thân trụ, vuông góc với hướng chảy và dọc theo dòng chảy, cuộn lại phía trước trụ hình thành hệ thống xoáy có hình móng ngựa trên mặt bằng. Đối với trụ đầu tròn các sợi xoáy hình thành xoáy dạng móng ngựa tác dụng thẳng xuống đáy dòng chảy, tăng tốc độ quay ở tâm xoáy phù hợp với quy luật động của đặc tính xoáy,

do đó kích thước trụ đóng vai trò quan trọng để xác định cường độ xoáy dạng móng ngựa, dù rằng hệ thống xoáy này không phải lúc nào cũng hình thành trong tất cả các điều kiện của dòng chảy.

Hệ thống xoáy ở nửa sau trụ và sau trụ do chính trụ tạo ra. Khác với dạng móng ngựa, loại xoáy này hình thành là do lớp chất lỏng trên mặt trụ không ổn định cuộn lại và tách khỏi bề mặt trụ để hình thành vùng xoáy trực đứng sau trụ, khi số Raynôn trụ thấp ($3 \div 5 < Re_{trụ} < 50$) những xoáy này ổn định và tạo ra hệ thống xoáy đứng sát ngay sau trụ, đối với số Raynôn thường gặp trong thực tế, hệ thống xoáy này không ổn định và xoáy tách khỏi trụ tạo ra hai dãy xoáy so le nhau dọc theo trục dòng chảy qua tim trụ ở phía sau trụ. Cường độ của loại xoáy này thay đổi nhiều phụ thuộc vào hình dáng trụ và tốc độ dòng chảy. Xoáy ổn định thường thấy ở xoáy Karman ($80 \div 90 < Re_{trụ} < 150 \div 300$) tới trạng thái thực tế hay gặp ($Re_{trụ} > 3,5 \cdot 10^6$) (Roshko 1961). Phụ thuộc vào số $Re_{trụ}$, xoáy này được chia thành 3 chế độ phân biệt là: a) đều đặn, có chu kỳ; b) Không đều đặn; c) quá độ (Roshko 1992 và Williamson 1994). Khi số $Re_{trụ} > 10^5$ dòng chảy mặt trụ là dòng chảy rối. Khi hệ thống xoáy dạng móng ngựa không hình thành hay bị hạn chế thì hệ thống xoáy trực đứng sau trụ tác dụng giống như máy hút chân không, tách hạt đất khỏi chân trụ và mang chúng chảy xuôi dòng tạo ra hố xói cục bộ lớn sau trụ.



Hình 5.3b: Dòng xoáy quanh chân trụ dẫu tròn
1. Đường tách dòng tại mặt đáy;
2. Đường tách dòng tại mặt trụ.



Hình 5.3c: Sơ đồ dòng chảy và hố xói tại trụ tròn trong đáy cột

5.4. MỘT SỐ YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN XÓI CỤC BỘ

5.4.1. Ảnh hưởng của cỡ hạt đến xói

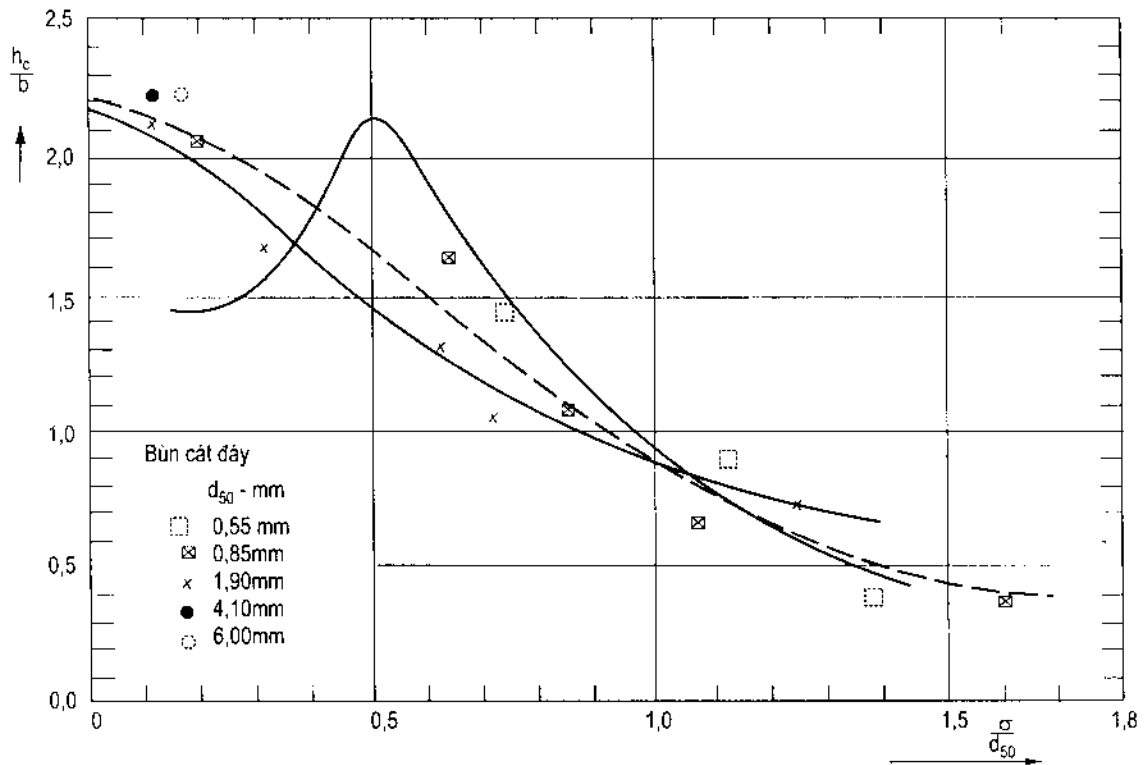
Chabert & Engeldinger (1956) làm thí nghiệm cho trụ tròn đối với hạt có $d = (0,26; 0,52; 1,5 \text{ và } 3,0)\text{mm}$ cho thấy cỡ hạt ít ảnh hưởng đến xói. Laursen & Toch (1950, 1953) thấy ảnh hưởng của cỡ hạt chưa có tính hệ thống trong điều kiện thí nghiệm đối với $d = (0,5 \div 5)\text{mm}$. Hancu (1965) bằng thí nghiệm với $d_{50} = (0,5; 2 \text{ và } 5)\text{mm}$ cho thấy chiều sâu xói cục bộ (h_c) tăng cùng với cỡ hạt. Shen và các cộng sự (1966) cho thấy ảnh hưởng của cỡ hạt có thể bỏ qua khi hạt có $d_{50} < 0,5\text{mm}$. Thí nghiệm của Nicollet (1971 a, b) với hạt có $d = (0,94; 1,93 \text{ và } 3)\text{mm}$ cho kết luận tương tự như Hancu, song chỉ tăng tới $d = 2\text{mm}$ khi chiều sâu không thay đổi. Bonasounds (1973) cho biết một số kết quả thí nghiệm có chiều sâu xói tăng cùng với tăng cỡ hạt trong phạm vi $(0,6 - 3,3)\text{mm}$. Ettma (1976) chỉ ra khi $V/V_c \approx 1,0$ thì h_c tăng cùng với cỡ hạt đều tới $d = 4,0\text{mm}$. Raudkivi và Ettema (1977 a, b) làm thí nghiệm đối với trụ có đường kính 120mm trong máng rộng $1,5\text{m}$ trong trường hợp xói nước trong ở đáy cát có $d_{50} = (0,55; 0,85; 1,90; 4,10; 6,00)\text{mm}$. Kết quả thí nghiệm chỉ ra trong hình 5.4 có trục tung là h_c/b và trục hoành σ/d_{50} . Đối với hạt thô, đều hạt ($d > 0,7\text{mm}$) thì $h_c/b \approx 2,1 \div 2,3$ và không phụ thuộc cỡ hạt, song khi $d < 0,7\text{mm}$ thì đáy không còn phẳng, sóng cát nhỏ hình thành khi ứng suất tiếp đáy $\tau_0 \approx \tau_c$, dòng chảy

không thực sự là xói nước trong (một lượng nhỏ bùn cát cuốn trôi) và $h_c/b \approx 1,4 \div 1,5$. Trên cơ sở kết quả thí nghiệm quan hệ phương trình xói có dạng:

$$\frac{h_c(\sigma)}{b} = K_\sigma \left(\frac{h_c}{b} \right) \quad (5-1)$$

trong đó: h_c - chiều sâu xói cho cát đều hạt ($\sigma_g = 1,0$);

$K = K(\sigma_g)$ phụ thuộc vào đáy cát có sóng cát hay không và được chỉ ra ở hình 5.5 đối với trụ có $b = 102\text{mm}$.

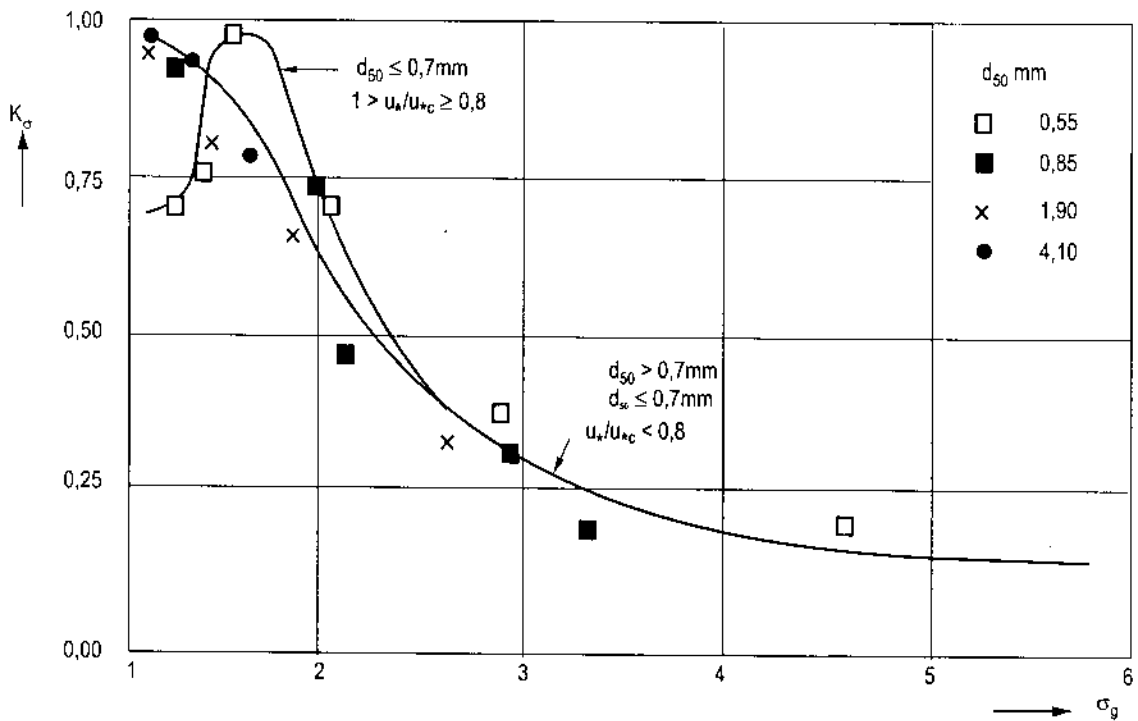


Hình 5.4: Xói cục bộ đối là hàm của cỡ hạt khi $u_* = u_{*c}$ ($h_c/b \sim \sigma d_{50}$ khi $u_* \approx u_{*c}$)

Khi $u_*/u_{*c} < 0,8$ xuất hiện thô hoá đối với cát không đều hạt trên mặt sóng cát ngăn cản xói phát triển và xói lúc này tương tự như đối với đáy không có sóng cát.

Đối với trường hợp xói nước đục cấp phối hạt và cỡ hạt ảnh hưởng đến hình dạng đáy và chiều cao sóng cát, do đó ảnh hưởng đến xói; cấp phối hạt ảnh hưởng đến quá trình thô hoá, đặc biệt đối với các hạt lớn có $\tau_c \approx \tau_0$. Độ thô tương đối của hạt so với trụ tăng sẽ giảm xói, song có sự khác biệt giữa $d \leq 0,7\text{mm}$ và $d > 0,7\text{mm}$.

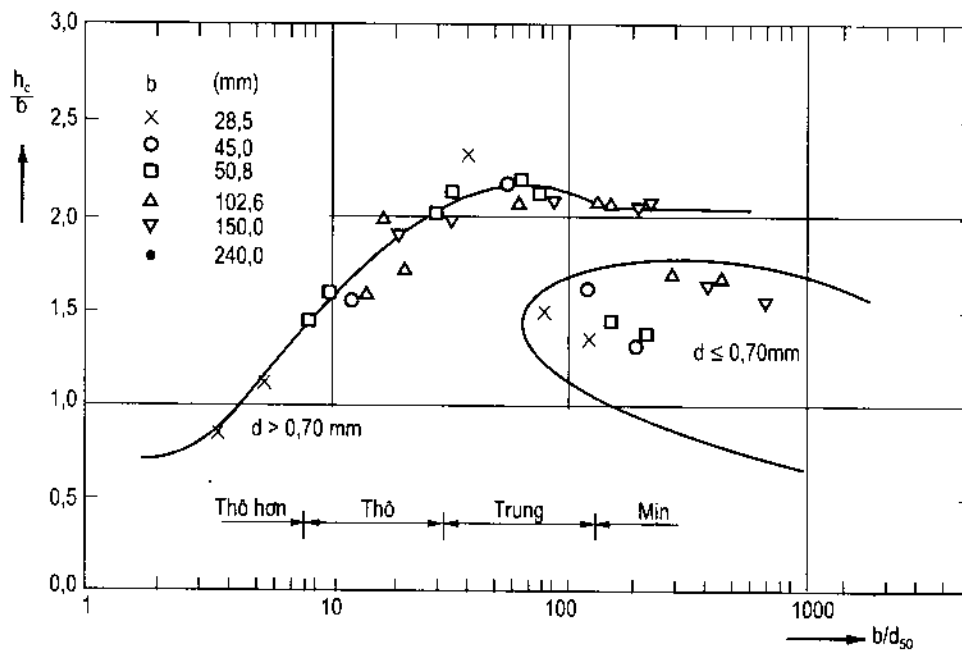
Chang, F. M., 1987 trong nghiên cứu chỉ ra $h_c/b \approx 2,3$. Jain, S. C. và R. E. Fisher, 1979 chỉ ra $\left(\frac{h_c}{b} \right)_{\max} = 2,5$ cho $Fr = 1,2$; còn đối với dốc nước và vực thì $\frac{h_c}{b} \approx 3,0$ khi $Fr = 1,5$.



Hình 5.5: Hệ số K_σ là hàm của độ lệch tiêu chuẩn của hạt bùn cát σ_g ($K_{*s} \sim \sigma_g$ cấp phối hạt)

5.4.2. Ảnh hưởng của chiều rộng trụ và cỡ hạt

Kết quả thí nghiệm của Ettma (1980) đối với 6 cỡ trụ khác nhau $b = (28,5; 45,0; 50,8; 101,6; 150,0; 140,0) \text{ mm}$ trong đáy cát có $d_{50} = (0,24 \div 7,80) \text{ mm}$ cho trong hình 5.6.



Hình 5.6: $h_c/b \sim b/d_{50}$

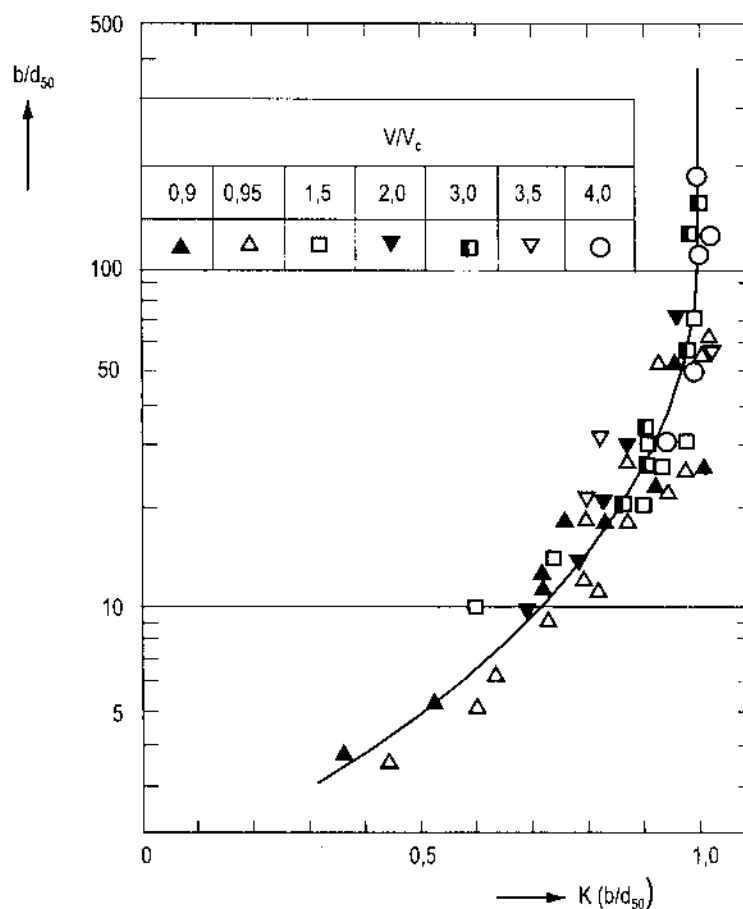
Hình chỉ ra $\left(\frac{h_c}{b}\right)_{\max}$ đối với xói nước trong, không bị ảnh hưởng bởi cỡ hạt khi

$\frac{b}{d_{50}} > 25$; xói đạt giá trị lớn nhất khi $b/d_{50} \approx 50$. Chee (1982) ghi lại kết quả $h_c/b \approx 2,3$

đối với $\frac{b}{d_{50}} \approx 100$. Chiew (1984) làm thí nghiệm cho kết quả giới hạn giữa nước trong và

đục vào khoảng $\frac{b}{d_{50}} \approx 50$.

5.4.3. Ảnh hưởng của chiều rộng trụ



Hình 5.7a: Hệ số giảm xói $K \sim \frac{b}{d_{50}}$ khi $U_*/U_{*c} \approx 0,9$

Vai trò riêng biệt của chiều rộng trụ đến xói có thể thấy thông qua công thức của:

- (1) $h_c = 1,05b^{0,75}$ (Larras, 1963);
- (2) $h_c \sim b^{0,619}$ khi $V = \text{const}$ (Shen, 1969a);

(3) $h_c = 1,4b$ (trụ tròn) (Breusers, 1965);

(4) $h_c = 0,558b^{0,586}$ (trụ chữ nhật) (Barak 1975);

(5) $h_c = 3b^{0,8}$ (Norman, 1975) rút ra từ số liệu đo 11 cầu tại Mỹ (có 2 cầu xói tới 4m).

Thể tích đất bị xói đi trong hố xói ở nửa trước trụ tròn tỉ lệ bậc ba với đường kính trụ (hay với chiều rộng trụ đối với trụ tròn đầu). Trụ càng rộng thể tích xói càng lớn và thời gian xói càng dài đối với một điều kiện dòng chảy nhất định. Kết quả thí nghiệm đối với trụ có $b \approx (50, 100; 150 \text{ và } 240)\text{mm}$ trong cát đều hạt cho quan hệ xói với thời gian t qua phương trình:

$$\frac{h_c}{b} = A \ln \left[\left(\frac{d_{50} v}{b^3} \right) t \right] + B \quad (5-2)$$

trong đó: A, B - hằng số.

Thí nghiệm đối với 5 trường hợp:

(1) $h/b = 4$ và $d = 0,24\text{mm}$;

(2) $h/b = 2$ và $d = 0,24\text{mm}$;

(3) $h/b = 1$ và $d = 0,24\text{mm}$;

(4) $h/b = 1,5$ và $d = 5\text{mm}$;

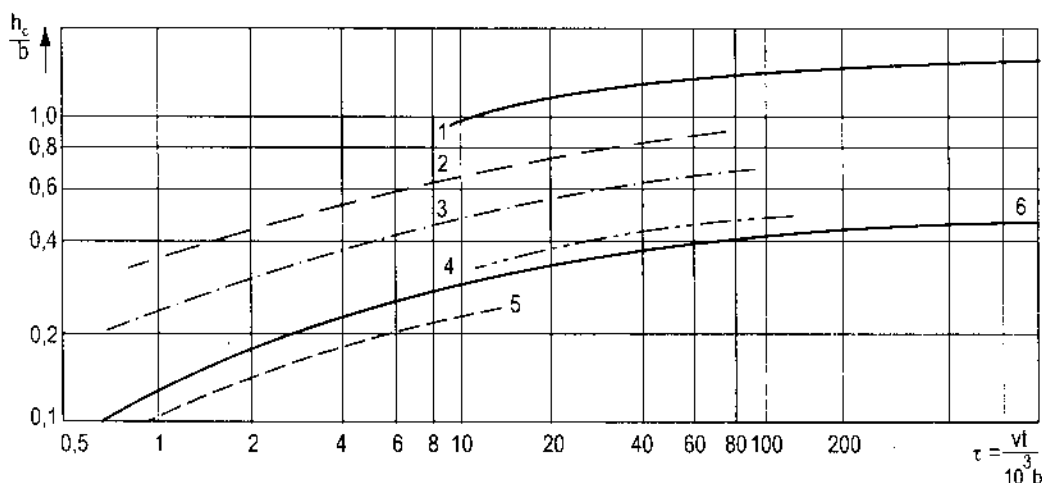
(5) $h/b = 0,33$ và $d = 0,24\text{mm}$ cho quan hệ:

$$h_c = h_{c0} (1 - 10^{-0,35\tau^{0,3}})^2 \quad (5-3)$$

và được chỉ ra trong hình 5.7b.

trong đó: h_{c0} - chiều sâu xói phân chia xói nước trong và nước đục ($V \approx V_c$):

$$\tau = \frac{vt}{10^3 b} \quad (5-4)$$



Hình 5.7b: Xói cục bộ tương đối phụ thuộc vào thông số thời gian
6 - đường cong chung thể hiện quan hệ (5-3)

Nghiên cứu chỉ ra xói nước trong thời gian thí nghiệm từ ba đến bốn ngày để đạt điều kiện cân bằng tương ứng với $u/u_{*c} \approx 0,9 \div 0,95$. Xói nước được phát triển rất nhanh chỉ trong vòng vài phút khi $u_* \gg u_{*c}$ (lượng bùn cát và tốc độ di chuyển bùn cát lớn). Thí nghiệm chỉ ra xói ở hai bên trụ lớn hơn ở trước trụ và khi hình thành lớp thô hoá trong hố xói thì lớp này ở phía trước trụ (T. Đ. Nghiên 1985 - 1987).

5.4.4. Ảnh hưởng của chiều sâu dòng chảy

Thí nghiệm của T. Đ. Nghiên (1986, 1987) và nhiều tác giả khác trước và sau thời gian trên chỉ ra đối với nước nông chiều sâu xói ảnh hưởng trực tiếp của chiều sâu dòng chảy, song nước sâu lại ít ảnh hưởng đến xói hay độc lập với xói, nghĩa là khi u_*/u_{*c} hay V/V_c cố định thì tỉ số $h/b > 2 \div 3$ sẽ ít ảnh hưởng đến xói. Neil (1964) phân tích số liệu của Laursen và Toch khi $Q = \text{const}$ chỉ ra h_c là hàm của chiều sâu dòng chảy (phạm vi giữa xói nước trong và xói nước đục)

$$\frac{h_c}{h} = 1,5 \left(\frac{b}{h} \right)^{0,7} \quad (5-5)$$

Trụ tròn và trụ đầu tròn đặt trong dòng chảy sẽ tạo ra xoáy mặt nước ngược chiều dòng chảy ở mặt trước trụ, tạo ra xoáy trục ngang của hệ thống xoáy dạng móng ngựa ở trước chân trụ. Khi chiều sâu dòng chảy giảm đi, xoáy mặt nước sẽ giữ vai trò chính, làm suy yếu xoáy móng ngựa do làm lệch hướng dòng chảy dọc thân trụ xuống đáy (T. Đ. Nghiên 1986, 1987). Ảnh hưởng của chiều sâu thường thông qua quan hệ h/b nghĩa là $h_c/b \sim h/b$, song yếu tố này tỏ ra không thống nhất giữa các tác giả. Laursen và Toch (1956), Neil (1965) đề nghị:

$$\frac{h_c}{b} = 1,5 \left(\frac{h}{b} \right)^{0,3} \quad (5-6a)$$

cho trụ chữ nhật.

Veiga da Cunha (1970) đề nghị:

$$\frac{h_c}{b} = 1,35 \left(\frac{h}{b} \right)^{0,3} \quad (5-6b)$$

cho trụ tròn

Hincu (1971) đề nghị:

$$\frac{h_c}{b} = 3,3 \left(\frac{d}{b} \right)^{0,2} \left(\frac{h}{b} \right)^{0,13} \quad (5-6c)$$

Breusers, Nicollet và Shen (1977) đề nghị công thức; tương tự công thức Baker (1980):

$$\frac{h_c}{b} = f(V/V_c, h/b, \text{ hình dạng và góc nghiêng của dòng chảy tới trụ})$$

$$\frac{h_c}{b} = f_c \left(\frac{V}{V_c} \right) \left[2,0 \tanh \left(\frac{h}{b} \right) \right] f_2 (\text{hình dạng}), f_3 \left(\alpha, \frac{l}{b} \right) \quad (5-7)$$

trong đó: $f_c \left(\frac{V}{V_c} \right) = 0$ khi $\frac{V}{V_c} \leq 0,5$ (không xói);

$$= \left(\frac{2V}{V_c} - 1 \right) \text{ cho } 0,5 \leq \frac{V}{V_c} \leq 1,0 \text{ (xói nước trong)}$$

$$= 1 \text{ cho } \frac{V}{V_c} \geq 1,0 \quad (\text{xói nước đục})$$

f_2 (hình dạng trụ) = 1,0 cho trụ tròn

= 0,75 cho trụ dạng đường dòng

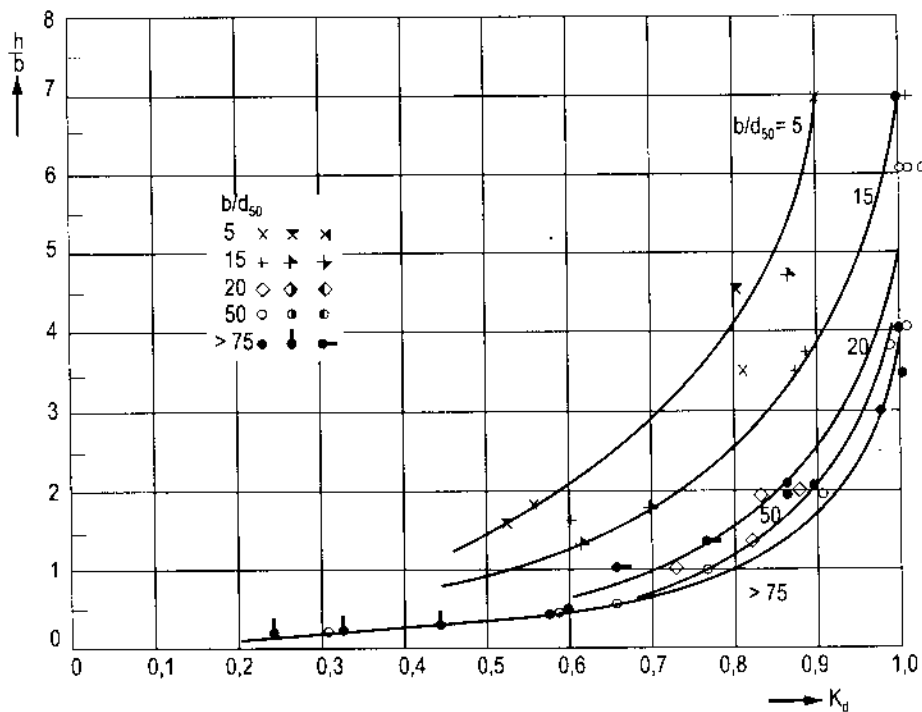
= 1,3 cho trụ chữ nhật

$f_3 \left(\alpha, \frac{l}{b} \right)$ với α là góc nghiêng của dòng chảy tới trụ;

l - chiều dài trụ theo phương chảy;

b - chiều rộng trụ;

V - tốc độ dòng chảy dưới cầu sau xói chung.



Hình 5.7c: Chiều sâu xói thay đổi theo chiều sâu tương đối, h/b với cỡ hạt tương đối b/d_{50} làm thông số theo kết quả thí nghiệm của Ettema (1980); Chiew (1984) và Chee (1982)

Chiều sâu xói giảm cùng cỡ hạt khi cùng u_*/u_{*c} và h_0/b cho trong hình 5.7c là kết quả của Ettema (1980), Chiew (1984) và Chee (1982).

5.4.5. Ảnh hưởng của thông số Phorut (Froude) của trụ $Fr_b = V/\sqrt{gb}$

Shen, Schneider và Karaki (1969) đề nghị biểu thức cho xói nước trong tương tự như Maza và Sanchez. Đối với hạt $d_{50} < 0,52\text{mm}$ và $Fr_b < 0,2$ thì:

$$\frac{h_c}{b} = 11,0Fr_b^2, \text{ và } \frac{h_c}{b} = 3,4Fr_b^{0,67} \quad (5-8)$$

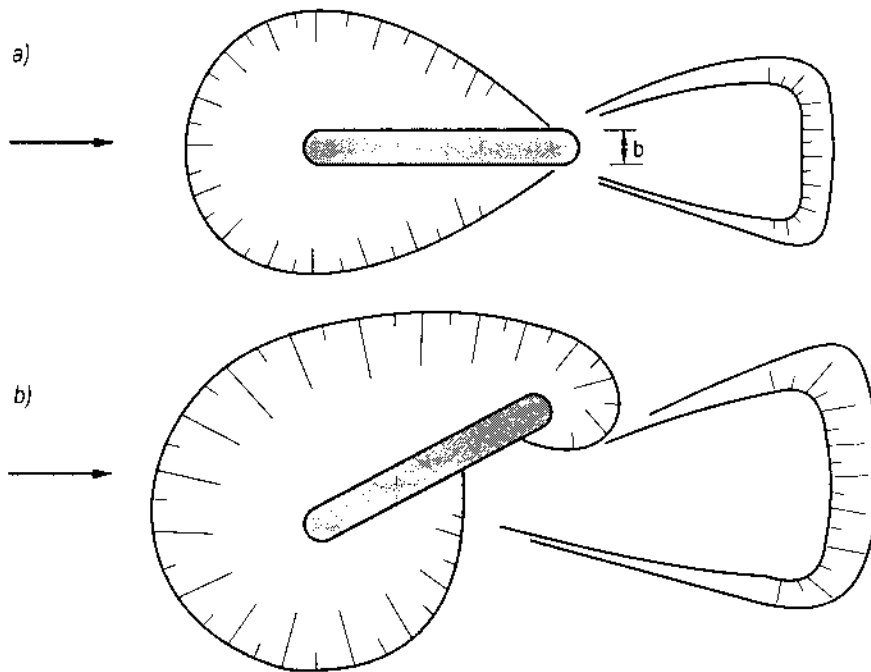
Jain (1980) đề nghị biểu thức tính $h_{c\max}$ cho xói nước trong:

$$\frac{h_c}{b} = 1,84\left(\frac{h}{b}\right)^{0,3} Fr_c^{0,25} \quad (5-9)$$

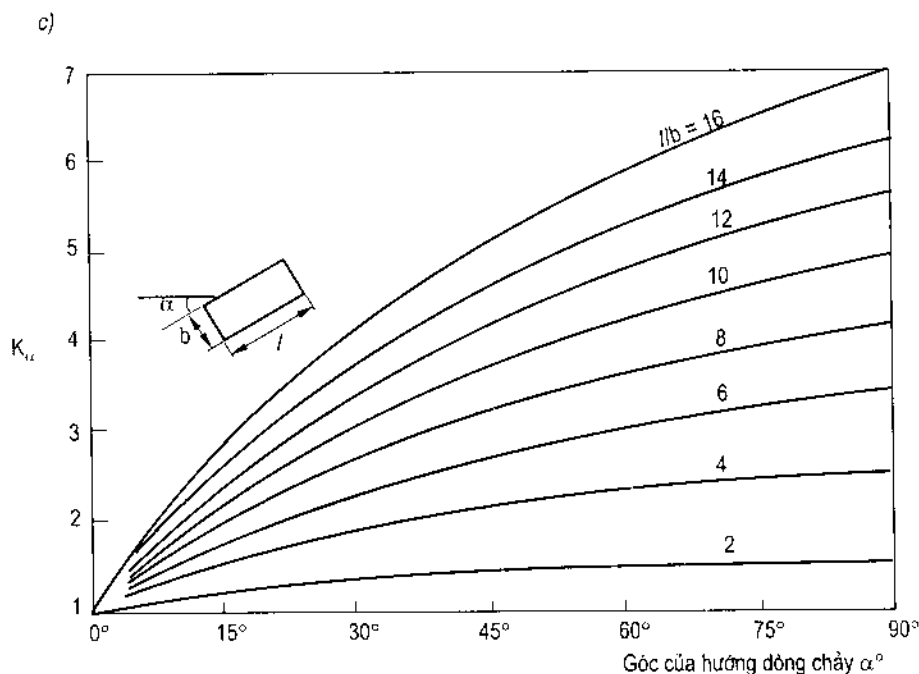
là sự kết hợp của Fr_c và h/b ; trong đó $Fr_c = \frac{V_c}{\sqrt{gh}}$.

5.4.6. Ảnh hưởng của góc nghiêng của dòng chảy tới trụ α và l/b

Chiều sâu h_c , trụ trụ tròn, đều chịu ảnh hưởng rất lớn của hướng dòng chảy đến trụ, h_c là hàm của hình chiếu chiều rộng trụ lên phương vuông góc với dòng chảy. Góc nghiêng của dòng chảy so với trục dọc qua tim trụ càng lớn thì $h_{c\max}$ càng dịch lùi về phía cuối trụ ở hạ lưu. Hình chỉ ra hệ số K_α làm cho $h_{c\max}$ dịch về cuối trụ phụ thuộc vào l/b và α° .



Hình 5.8: Giá trị $K_\alpha(\alpha, l/b)$ α là góc tính bằng độ (Laursen và Toch, 1956)



Hình 5.8: Giá trị $K_\alpha(\alpha, l/b)$ α là góc tính bằng độ
(Laursen và Toch, 1956) (tiếp theo)

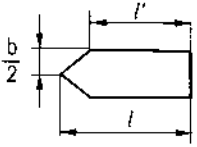
5.4.7. Ảnh hưởng của hình dạng trụ

Hình dạng trụ có dạng đường dòng sẽ làm giảm áp lực mặt của dòng chảy tác động vào trụ, giảm xoáy và cường độ gây xói vào đáy cát, tuy nhiên dạng đường dòng chỉ có ý nghĩa trong phạm vi hẹp của các thông số thủy lực. Bảng hệ số ảnh hưởng của hình dạng trụ khi trụ thẳng hàng với dòng chảy K_s được Dietz (1972) giới thiệu:

Bảng 5.1

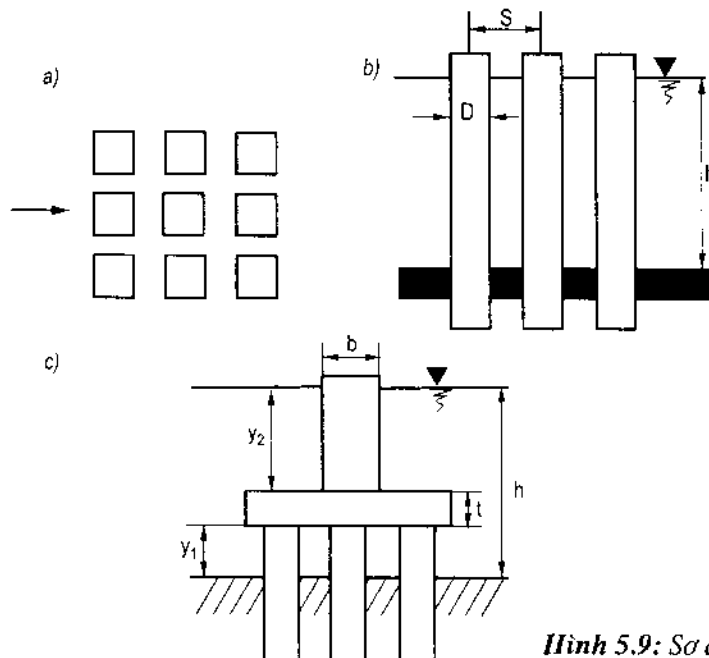
Hình dạng trụ	b/l	$\frac{b/2}{l'}$	K_s
l	2	3	4
Trụ tròn			1,0
Chữ nhật	1 : 1		1,22
	1 : 3		1,08
	1 : 5		0,99
Tròn đầu	1 : 3		0,90
Đầu tròn, đuôi dạng hình nêm	1 : 5		0,86
Chữ nhật vê tròn cạnh	1 : 4		1,01

Bảng 5.1 (tiếp theo)

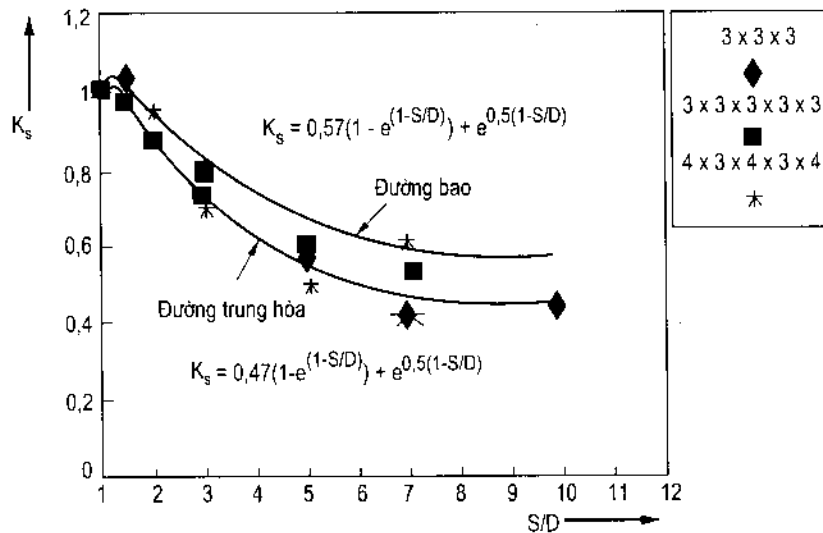
1	2	3	4
Đầu hình nêm 	1 : 3	1 : 2 1 : 4	0,76 0,65
Elip 	1 : 2 1 : 3 1 : 5		0,83 0,80 0,61
Hạt đậu 	1 : 2 1 : 3		0,80 0,70
Dạng cánh máy bay 	1 : 3,5		0,80

5.4.8. Ảnh hưởng của khoảng cách các cọc trong nhóm cọc, góc nghiêng dòng chảy và mũi cọc đến xói

Thí nghiệm của Salim và Jones (6/1996) đối với cọc hình vuông như hình 5.9 trong đáy cát có $d = 0,28\text{mm}$, chiều sâu dòng chảy là $0,27\text{m}$ với thời gian chủ yếu là 4 giờ song có một vài thí nghiệm tới 24 giờ để xét yếu tố thời gian, trong máng rộng $1,8\text{m}$; dài $21,3\text{m}$ tại phòng thí nghiệm thủy lực Mclean, Virginia. Kết quả thí nghiệm cho trong hình 5.10.



Hình 5.9: Sơ đồ nhóm cọc



Hình 5.10: Hệ số ảnh hưởng của khoảng trống ở nhóm cọc

Đồ thị rút ra hệ số điều chỉnh do các khoảng trống giữa các cọc là:

$$K_s = A \left[1 - e^{-(1-S/D)} \right] + e^{0,5(1-S/D)} \quad (5-10)$$

trong đó: $A = 0,47$ cho đường hồi quy trung tâm kết quả thí nghiệm; $A = 0,57$ cho đường bao kết quả của thí nghiệm;

S - khoảng cách tim hai cọc;

D - đường kính hay chiều rộng cọc;

$e = 2,71828$

$$\text{hay} \quad K_s = 1 + 0,85 \left[\frac{m-1}{1 + \left(\frac{S}{D} \right)^2} \right] \quad (5-11)$$

trong đó: m - số hàng cọc vuông góc với dòng chảy;

S và D đã giải thích ở công thức (5-10).

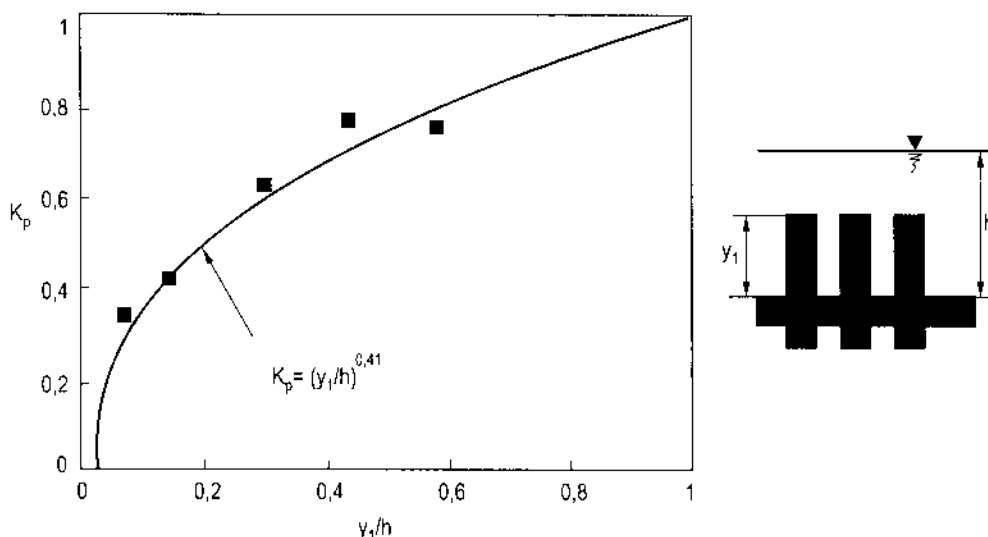
Chiều sâu xói h_c giảm khi khoảng cách hay khoảng trống giữa các cọc tăng lên và ngược lại là do tác động tương hỗ giữa các cọc giảm đi hay tăng lên thông qua hai quá trình: một là sự tương tác giữa các xoáy hình thành bởi các cọc giảm đi khi khoảng cách tăng lên và tăng lên khi khoảng cách này giảm; hai là sự thay đổi tốc độ tùy theo mức độ dẫn ra hay thu lại giữa các cọc. Thí nghiệm chỉ ra các cọc không ảnh hưởng lẫn nhau khi $\frac{S}{D} \geq 9$.

Bộ cọc có ảnh hưởng nhất định đến xói. Thí nghiệm chỉ ra khi mũ cọc hay bộ cọc không ngập trong nước thì hệ số K_p của nhóm cọc là:

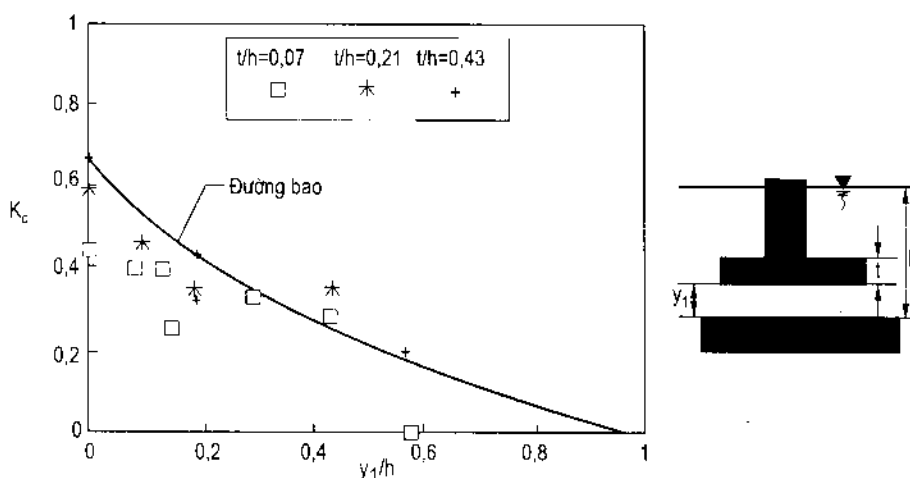
$$K_p = \left(\frac{y_1}{h} \right)^{0,41} \quad (5-12)$$

Tùy theo mức độ ngập bề cọc y_1 mà hệ số ảnh hưởng $K_c \sim \left(\frac{y_1}{h} \right)$ cho trong hình

5.11a, b. Các thí nghiệm này giúp hiểu rõ hơn ảnh hưởng của nhóm cọc khi sử dụng các công thức của quy trình quy phạm.



Hình 5.11a: Hệ số ảnh hưởng mức độ ngập của cọc



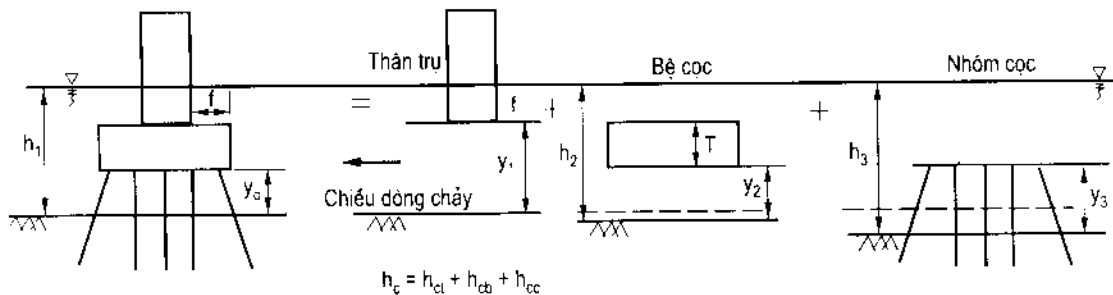
Hình 5.11b: Hệ số ảnh hưởng mức độ ngập mũi hay bề cọc

5.4.9. Ảnh hưởng của các thành phần của trụ cọc đến xói cục bộ

Trụ trên cọc được chia làm ba phần gồm thân trụ, bề cọc và cọc. Giả thiết mỗi phần ảnh hưởng đến xói cục bộ ở mức độ khác nhau, theo phương pháp cộng tác dụng xói cục bộ đối với trụ bề cọc sẽ là tổng của ba chiều sâu xói thành phần, do đó ta có:

$$h_c = h_{ct} + h_{cb} + h_{cc} \quad (5-13)$$

trong đó: h_c , h_{ct} , h_{cb} , h_{cc} lần lượt là tổng xói cục bộ, xói cục bộ do thân trụ, xói cục bộ do bệ cọc và xói cục bộ do cọc gây ra như sơ đồ ở hình 5.12a (Jones, J. S và D. M. Sheppard 2000).



Hình 5.12a: Sơ đồ xác định thành phần của trụ bệ cọc

Kí hiệu trong hình 5.12a là:

f - khoảng cách giữa mép trước bệ cọc và mép trước thân trụ (m);

y_0 - chiều cao của đáy bệ cọc so với đáy trước tính xói (m);

$y_1 = y_0 + T$ - chiều cao của đáy thân trụ (hay đỉnh hệ cọc) so với đáy trước tính xói (m);

$y_2 = y_0 + 1/2h_{ct}$ - chiều cao của đỉnh bệ cọc so với đáy xói do thân trụ gây ra (m);

$y_3 = y_0 + 1/2h_{ct} + 1/2h_{cb}$ - chiều cao của nhóm cọc so với đáy xói do thân trụ và bệ cọc gây ra (m);

S - khoảng cách giữa các hàng cọc dọc phương chảy (m);

T - chiều dày của bệ cọc (m);

h_1 - chiều sâu dòng chảy trước tính xói cục bộ (m);

$h_2 = h_1 + 1/2h_{ct}$ - chiều sâu dòng chảy để tính xói bệ cọc (m);

$h_3 = h_1 + 1/2h_{ct} + 1/2h_{cb}$ - chiều sâu dòng chảy để tính xói nhóm cọc (m);

V_1 - tốc độ dòng chảy để bắt đầu tính xói cục bộ (m/s);

$V_2 = V_1(h_1/h_2)$ - tốc độ dòng chảy để tính xói bệ cọc (m/s);

$V_3 = V_1(h_1/h_3)$ - tốc độ dòng chảy để tính xói nhóm cọc (m/s).

a) Xác định xói cục bộ do thân trụ gây ra, h_{ct}

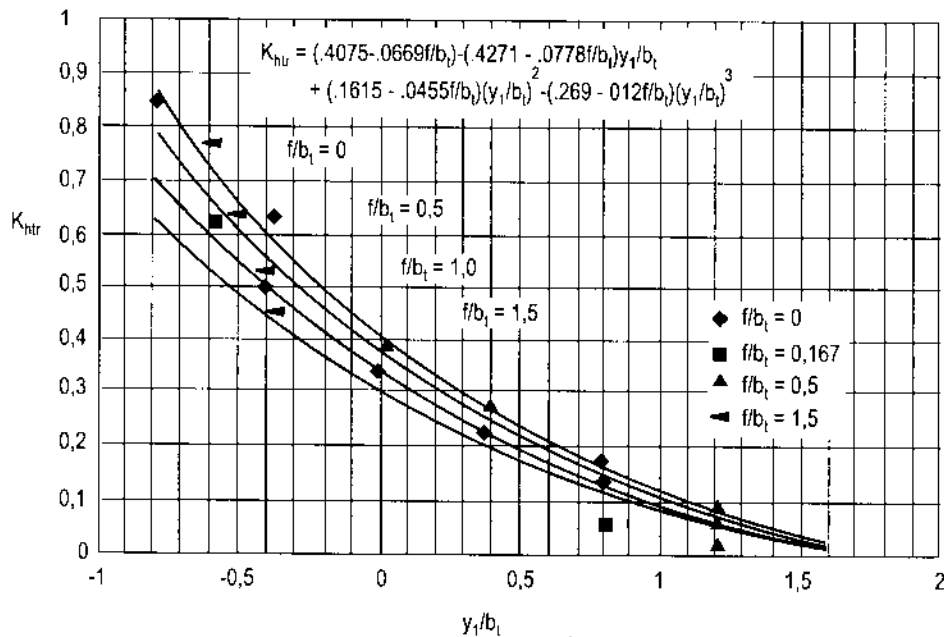
Công thức ban đầu để xác định h_{ct} và hệ số xói xuất phát từ công thức Richardson, E. V, D. B. Simons và P. F. Lagasse, 2001.

$$\frac{h_c}{h_1} = 2,0K_1K_2K_3K_4 \left(\frac{b}{h_1} \right)^{0,65} Fr_1^{0,43} \quad (5-14)$$

do đó:

$$\frac{h_{ct}}{h_1} = K_{ht} \left[2K_1 K_2 K_3 K_4 \left(\frac{b}{h_1} \right)^{0,65} \left(\frac{V_1}{\sqrt{gh_1}} \right)^{0,43} \right] \quad (5-15a)$$

trong đó: K_{ht} - hệ số tính xói do chiều sâu thân trụ phía trên đáy và ảnh hưởng của độ nhô ra của bệ cọc so với mặt trước thân trụ (f) ở hình 5.12b) J. S. Jones và Sheppard, D. M. 2000).



Hình 5.12b: Tỉ số xói đối với thân trụ

b) Xác định chiều sâu xói do bệ cọc gây ra, h_{cb}

1. Trường hợp 1:

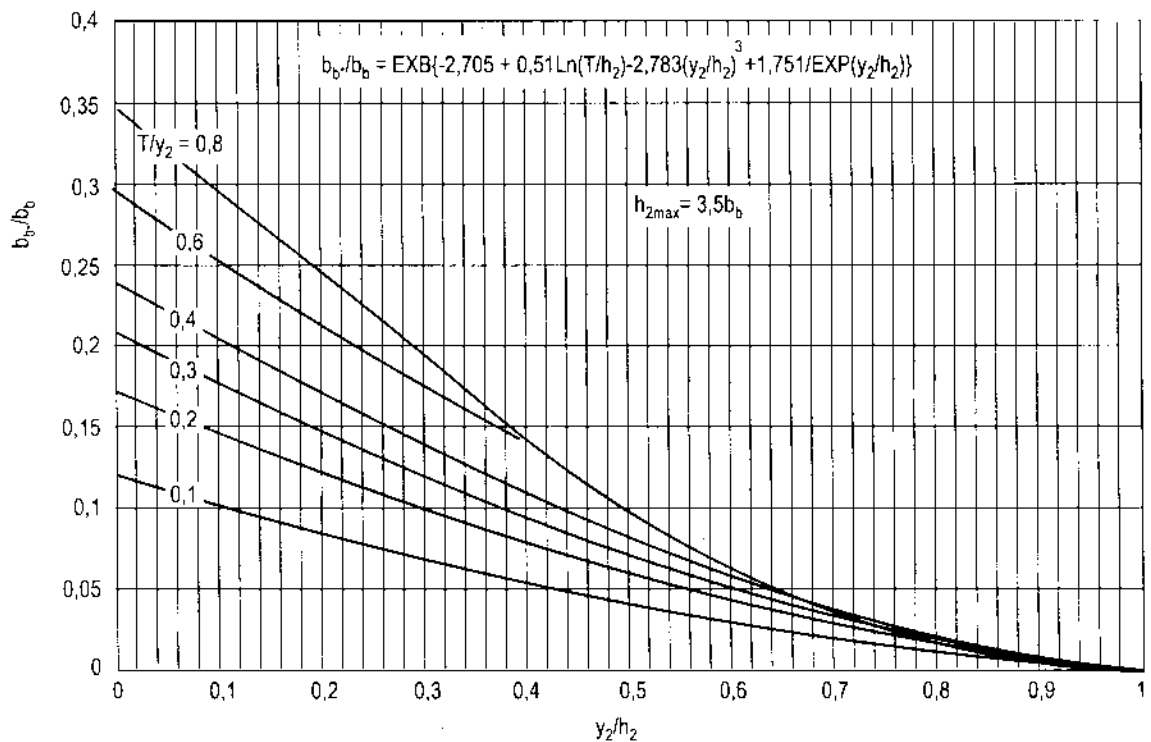
Đáy bệ cọc cao hơn đáy trước xói hay đáy xói do thân trụ gây ra. Trường hợp này thay chiều rộng bệ cọc b_b bằng chiều rộng trụ tương đương b_{b*} cho trong hình 5.12c.

Trình tự tính h_{cb_1} :

- Trước hết xác định chiều rộng tương đương của bệ trụ b_{b*} từ hình 5.12c:

$$b_{b*} = b_b \left(\frac{b_{b*}}{b_b} \right)$$

trong đó tỉ số $\left(\frac{b_{b*}}{b_b} \right)$ trong 5.12c phụ thuộc vào y_2/h_2 và T/h_2 (nhớ rằng $h_{2max} = 3,5b_b$).



Hình 5.12c: Chiều rộng tương đương của bệ cọc

- Áp dụng (5-14) tính h_{cb} :

$$\frac{h_{cb1}}{h_2} = 2K_1K_2K_3K_4K_w \left(\frac{b_{b*}}{h_2} \right)^{0,65} \left(\frac{V_2}{\sqrt{gh_2}} \right)^{0,43} \quad (5-15b)$$

trong đó hệ số điều chỉnh cho trụ kích thước lớn K_w được đưa vào nếu:

(1) Tổng số chiều sâu $h_2 < 0,8b_{b*}$;

(2) Số $Fr = \frac{V_2}{\sqrt{gh_2}} < 1$;

(3) $b_{b*} > 50d_{50}$

Nếu dòng chảy không thẳng hàng với trụ thì tỉ số l/b của bệ trụ vẫn giữ nguyên, không thay đổi trong tính xói cho bệ trụ.

2. Trường hợp 2: Đáy bệ trụ trùng với hay dưới cao độ đáy.

Hình 5.12c không bao gồm trường hợp này (y_2 có giá trị âm), do vậy phải cải biến cách tính dựa vào kết quả thí nghiệm:

- Xác định tốc độ trung bình trong phạm vi chiều dày bệ trụ V_f :

$$\frac{V_f}{V_2} = \frac{\ln\left(10,93 \frac{h_f}{k_s} + 1\right)}{\ln\left(10,93 \frac{h_2}{k_s} + 1\right)} \quad (5-15c)$$

trong đó:

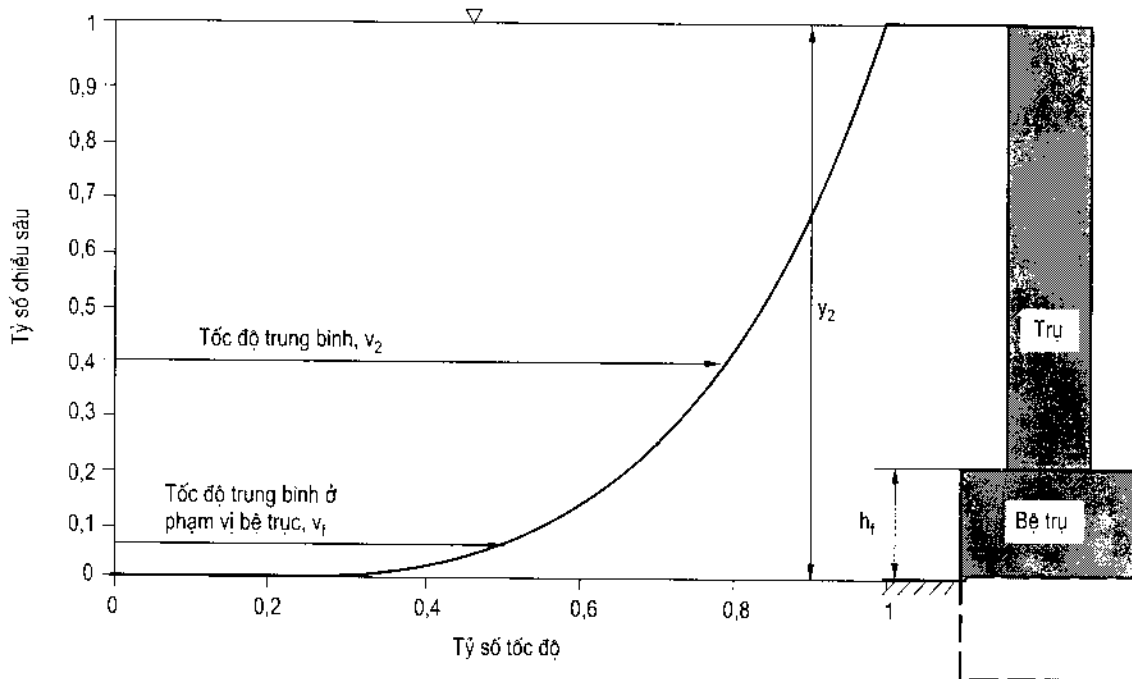
V_f - tốc độ trung bình trong phạm vi từ đỉnh bệ móng tới đáy vì bệ cọc tiếp xúc với đáy hay ngập vào đáy được coi là móng (m/s);

V_2 - tốc độ trung bình theo chiều sâu trước tính xói cho bệ tương ứng với h_2 (m/s); và $h_2 = h_1 + h_{ct}/2$ (m); $V_2 = V_1(h_1/h_2)$ (m/s);

$h_f = y_1 + \frac{h_{ct}}{2}$ - khoảng cách từ đỉnh bệ tới đáy (do xói tự nhiên, do xói chung hay do xói chỉ riêng thân trụ gây ra);

k_s - nhám của hạt đất đáy sông (thường $k_s = d_{84}$ đối với cát; $= 3,5d_{84}$ đối với sỏi sạn hay địa chất là hạt thô).

Tất cả các kí hiệu để tính xói cho bệ trong trường hợp này được chỉ ra ở hình 5.12d.



Hình 5.12d: Sơ đồ xác định tốc độ và chiều sâu đối với chân bệ nhô cao hơn đáy

Tính h_{cb2} theo công thức (5-14):

$$\frac{h_{cb2}}{h_f} = 2K_1 K_2 K_3 K_4 K_w \left(\frac{b_b}{h_f}\right)^{0,65} \left(\frac{V_f}{\sqrt{gh_f}}\right)^{0,43} \quad (5-15d)$$

trong đó hệ số điều chỉnh K_w được đưa vào nếu:

$$(1) h_2 < 0,8b_b;$$

$$(2) Fr = \frac{V_2}{\sqrt{gh_2}} < 1$$

$$(3) b_b > 50d_{50}$$

Sử dụng $\frac{h_2}{b_b}$ để tính K_w (theo kết quả thí nghiệm của Johnson và Torrico, 1994):

$$K_w = 2,58 \left(\frac{h}{b} \right)^{0,34} Fr^{0,65} \text{ cho } V < V_c \quad (5-15e)$$

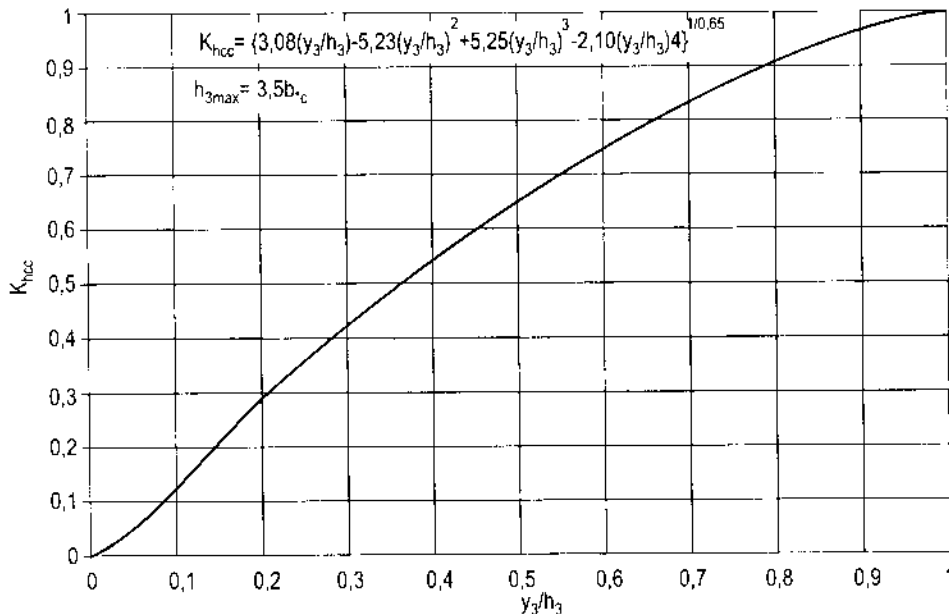
$$K_w = \left(\frac{h}{b} \right)^{0,13} Fr^{0,25} \text{ cho } V \geq V_c \quad (5-15f)$$

K_w - hệ số điều chỉnh xói do trụ có kích thước lớn trong dòng chảy êm.

Trong công thức (5-15e, f) các kí hiệu h , b và Fr cần được thay tương ứng phù hợp với trường hợp 1 và 2 khi tính xói do bệ gây ra. Trường hợp 2 xói do bệ bao gồm cả xói do thân trụ, do đó tổng xói là:

$$h_c = h_{ct} + h_{cb} \quad (5-15g)$$

c) Xác định xói thành phần do nhóm cọc h_{cc}



Hình 5.12e: Hệ số điều chỉnh chiều cao nhóm cọc (Sheppard, 2001)

Sử dụng kết quả nghiên cứu của Salim và Jones (1995, 1996, 1999, 1989) và của Smith, W. L. (1999):

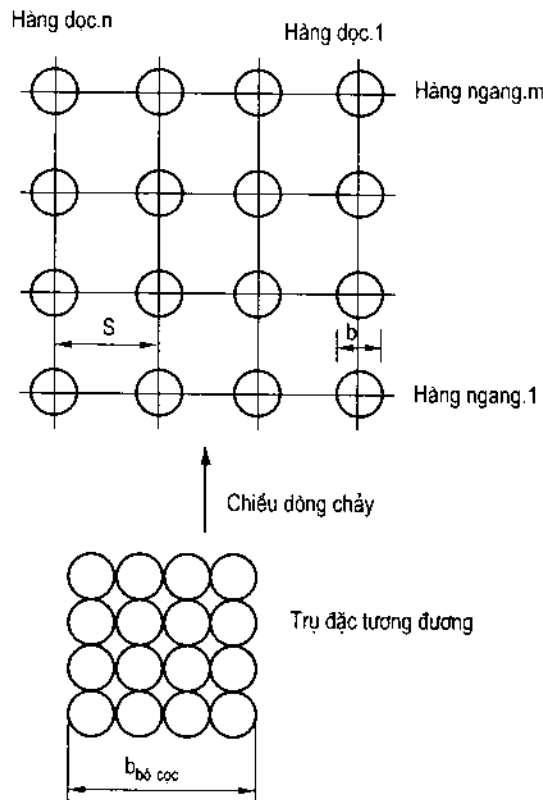
$$\frac{h_{cc}}{h_3} = K_{hcc} \left[2K_1 K_3 K_4 \left(\frac{b_{*c}}{h_3} \right)^{0,65} \left(\frac{V_3}{\sqrt{gh_3}} \right)^{0,43} \right] \quad (5-15h)$$

trong đó:

K_{hcc} - hệ số điều chỉnh chiều cao của nhóm cọc là hàm của y_3/h_3 (nhớ rằng $h_{3max} = 3,5b_{*c}$) cho trong hình 5.12e (Sheppard, 2001);

$y_3 = y_0 + \frac{1}{2}h_{ct} + \frac{1}{2}h_{cb}$ - chiều cao của nhóm cọc so với đáy xói do thân trụ và bệ cọc gây ra;

$$V_3 = V_1 \left(\frac{h_1}{h_3} \right), \text{ m/s.}$$



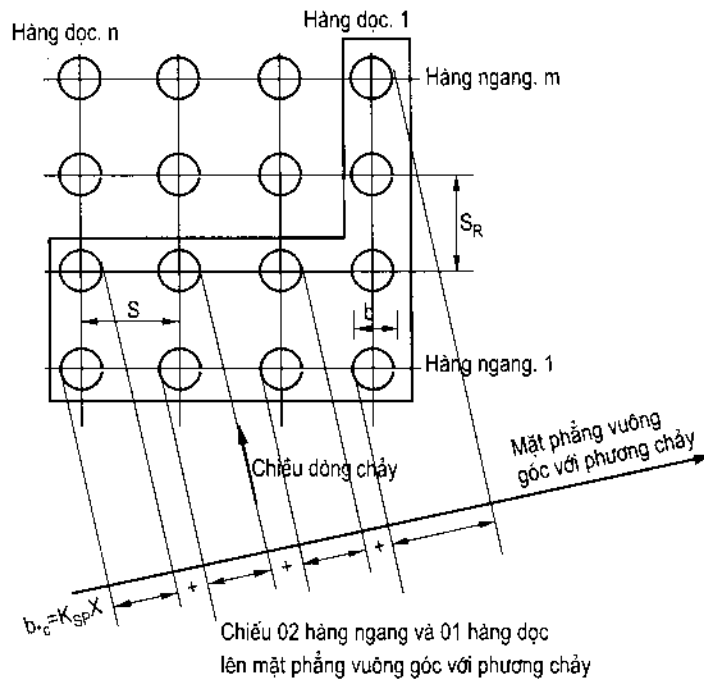
Hình 5.12f: Chiều rộng hình chiếu các cọc khi cọc thẳng hàng với dòng chảy

$$b_{*c} = b_{tc} K_{sp} K_m \quad (5-15i)$$

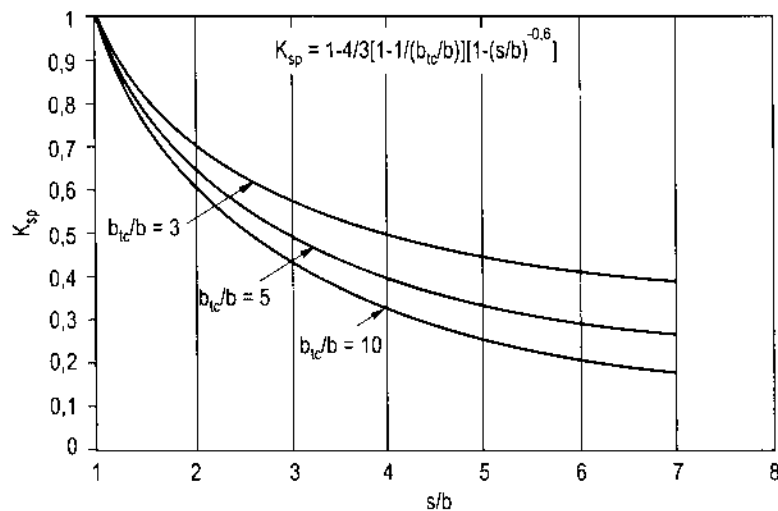
trong đó:

b_{tc} - tổng hình chiếu chiều rộng các trụ được bó lại sát nhau coi như trụ đặc như hình 5.12g và 5.12h.

K_{sp} - hệ số phản ánh khoảng cách các cọc cho ở hình 5.12h.



Hình 5.12g: Chiều rộng hình chiếu các cọc khi trụ không thẳng hàng với dòng chảy

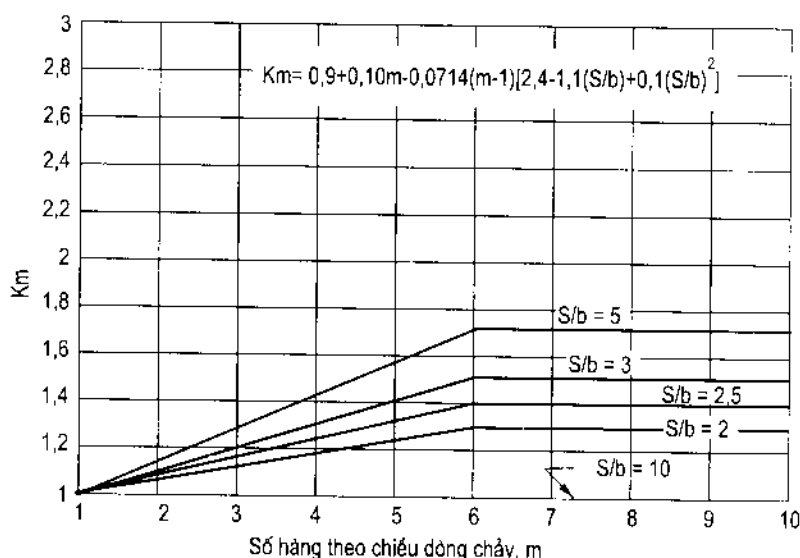


Hình 5.12h: Hệ số khoảng cách các cọc (Sheppard, 2001)

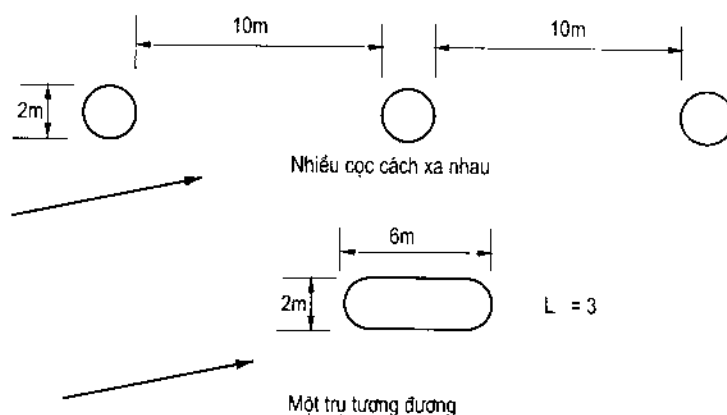
K_m - hệ số số hàng ngang cọc, m ở hình 5.12i. K_m là hằng số đối với tất cả S/b khi số hàng $m > 6$ hàng.

$K_m = 1$ cho nhóm cọc nghiêng hay chéo nhau.

Sau khi tính được xói thành phần của các thành phần của trụ trên cọc gây ra ta sẽ được tổng xói cục bộ tại trụ trên cọc theo (5-13). Nếu nhiều cọc cách xa nhau và nghiêng với phương chảy thì có thể tính theo trụ tương đương như hình 5.12k.



Hình 5.12i: Hệ số điều chỉnh số hàng ngang cọc



Hình 5.12k

5.4.10. Ảnh hưởng của độ thô của hạt tạo ra lớp chống xói trong hố xói - K_4

Khi hạt có $d_{50} > 2,0\text{mm}$ và $d_{95} \geq 200\text{mm}$ thì thô hoá làm giảm xói. Nghiên cứu gần đây của Molinas và Mueller chỉ ra khi tốc độ dòng chảy đến trụ $V_1 < V_{c90}$ (tốc độ tới hạn tương ứng với d_{90}) thì d_{90} sẽ giới hạn chiều sâu xói cục bộ. Mueller và Jones (1999) sau khi nghiên cứu 384 số liệu đo hiện trường của 56 cầu đã đưa ra hệ số điều chỉnh K_4 .

+ Nếu $d_{50} < 2\text{mm}$ hay $d_{95} < 20\text{mm}$ thì: $K_4 = 1$

+ Nếu $d_{50} \geq 2\text{mm}$ và $d_{95} \geq 20\text{mm}$ thì K_4 là:

$$K_4 = 0,4(V_R)^{0,15} \quad (5-16)$$

trong đó:

$$V_R = \frac{V_1 - V_{icd_{50}}}{V_{cd_{50}} - V_{icd_{50}}} > 0$$

V_{icdx} - tốc độ dòng chảy tới trụ làm xói trụ có hạt d_x (m);

$$V_{icdx} = 0,645 \left(\frac{d_x}{b} \right)^{0,053} V_{cdx} \quad (5-17)$$

V_{cdx} - tốc độ tới hạn (m/s) hay tốc độ khởi động của hạt có đường kính d_x (m)

$$V_{cdx} = 6,19 h_1^{1/6} d_x^{1/3} \quad (5-18)$$

trong đó: h_1 - chiều sâu dòng chảy trước trụ đã kể xói chung;

V_1 - tốc độ dòng chảy đến trụ trước tính xói cục bộ (m/s);

d_x = cỡ hạt có x phần trăm lọt sàng theo trọng lượng (m);

Giá trị nhỏ nhất của K_4 là 0,4.

Đối với trụ đặc, ảnh hưởng của độ nghiêng của mặt trước trụ đến xói đã được nghiên cứu nhiều từ 1953 (Ianoslastsev)..., 1986 (Klimov) phân tích của Juravlev (tạp chí Công trình thuỷ công 3/1991) trên cơ sở nghiên cứu của Altunin và CCS (1953); Begam và Tsy-pin (1984); Juravlev (1984) và hướng dẫn tính xói của Soiuzdornii (1988) đã cho hệ số ảnh hưởng của độ nghiêng mặt trước trụ đến xói cục bộ trụ để tham khảo.

$$K_m = \frac{1}{(1 + m^2)^{1/6}} \quad (5-19)$$

trong đó: $m = \cot \theta$; θ - góc nghiêng của mặt trước trụ so với phương ngang. Giá trị K_m theo m cho trong bảng 5.2.

Bảng 5.2

m	K_m	m	K_m
0,5	0,96	2,0	0,76
1,0	0,89	2,5	0,72
1,5	0,82	3,0	0,63

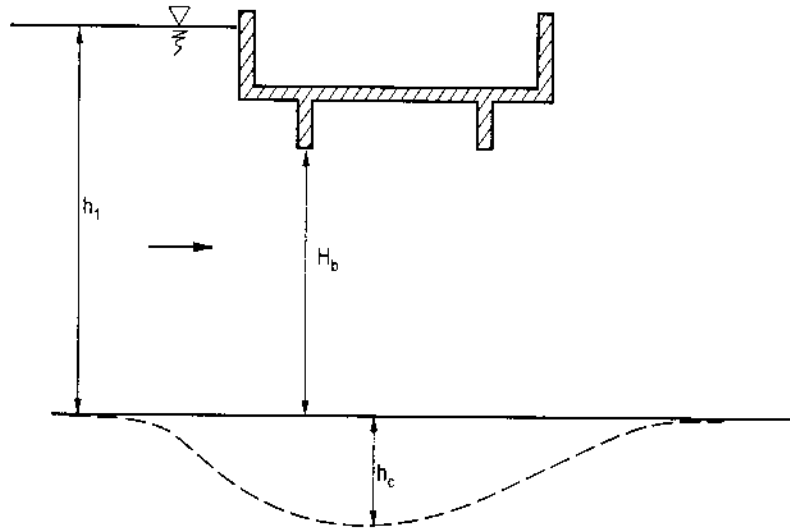
5.4.11. Xói do dòng lũ làm ngập kết cấu nhịp cầu

Sơ đồ dòng lũ tác động vào kết cấu nhịp cầu như hình 5.13.

Sơ đồ chỉ ra dòng chảy dưới cầu coi như dòng chảy qua lỗ, là dòng chảy có áp, tạo ra co hẹp theo phương đứng, làm tăng dòng xuống đáy đồng thời tăng cường độ xoáy dạng móng ngựa, kết quả là tăng xói cục bộ ở trụ. Song khi dòng lũ làm ngập cầu; sẽ làm ngập đường đầu cầu, gây dâng nước trước cầu làm cho lưu lượng giảm, lưu tốc giảm và dòng chảy được coi như dòng chảy qua lỗ và dòng chảy qua đập tràn, một bài toán kết hợp phức tạp đối với đáy xói còn chưa được nghiên cứu nhiều. Nghiên cứu trong phòng thí nghiệm của đại học bang Colorado và trung tâm nghiên cứu về đường của FHWA cho thấy xói ở trụ có thể tăng từ 200 đến 300% do dòng chảy có áp (hình 5.13) (Abed,

1991), Abed, Richardson và CCS (1991), Jones và CCS (1993). Song thí nghiệm của Arneson và CCS (1999) và phòng thí nghiệm của FHWA lại cho kết quả:

- (1) Xói do dòng chảy có áp là sự kết hợp của xói co hẹp theo phương đứng và xói cục bộ;
- (2) Thành phần xói cục bộ tương tự như dòng chảy không áp trong cùng một điều kiện dòng chảy đến trụ.
- (3) Xói do co hẹp đứng và xói cục bộ là hai thành phần phụ cần bổ sung vào xói tại trụ cầu.



Hình 5.13: Sơ đồ xói do dòng lũ làm ngập nhịp cầu

Phân tích kết quả thí nghiệm và dùng quan hệ hồi quy tuyến tính đa biến Arneson cho phương trình xói co hẹp phương đứng:

$$\frac{h_{cd}}{h_1} = -5,08 + 1,27 \left(\frac{h_1}{H_b} \right) + 4,44 \left(\frac{H_b}{h_1} \right) + 0,19 \left(\frac{V_a}{V_c} \right) \quad (5-20)$$

trong đó: h_{cd} - xói co hẹp đứng so với đáy trung bình (m);

h_1 - chiều sâu dòng chảy ngay trước trụ (m);

H_b - chiều sâu từ đáy cầu đến đáy trung bình trước xói (m);

V_a và V_c - tốc độ trung bình dưới cầu trước xói và tốc độ tới hạn xói tương ứng với d_{50} (m/s).

Sử dụng h_{cd} để tính xói cục bộ bổ sung vào xói ở trụ.

5.4.12. Xói cục bộ do vật trôi trong sông vướng vào trụ

Các vật trôi trong sông vướng vào trụ làm tăng chiều rộng trụ như hình 5.14; làm trệch phương dòng chảy xuống đáy dòng chảy, làm tăng lượng bùn cát rời khỏi hố xói,

làm tăng xói cục bộ ở trụ. Song nếu dòng chảy khá sâu thì xói này có thể bỏ qua (Lagasse, Schall và Richardson, 2001). Thực ra vấn đề này còn ít được nghiên cứu, do vậy công thức dưới đây có tính tham khảo để tính xói cục bộ cho trụ theo HEC-18 với trình tự sau:

1. Lấy K_1 và $K_2 = 1,0$.

2. Xác định $L' = L$ hay $= 12b_{\text{trụ}}$.

Chiều rộng hình chiếu của trụ:

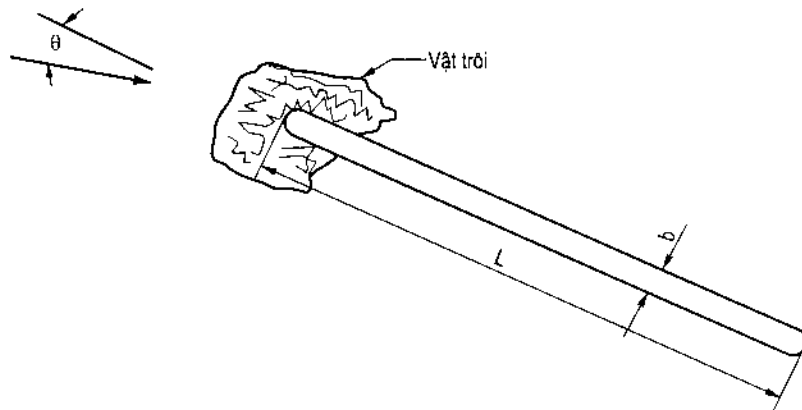
$$B_{h/\text{chiếu}} = 2W + b\cos\theta$$

hay
$$B_{h/\text{chiếu}} = W + b\cos\theta + L'\sin\theta$$

3. Dự đoán xói theo HEC-18

$$\frac{h_c}{h_1} = 2,0 \times 1,0 \times 1,0 \times K_3 \times K_4 \left(\frac{b_{h/\text{chiếu}}}{h_1} \right)^{0,65} Fr_1^{0,43} \quad (5-21)$$

trong đó: W - chiều rộng vật trôi vuông vào trụ cầu (m).



Hình 5.14: Sơ đồ vật trôi trên sông vuông vào trụ

Thí dụ 5.1: Cho trụ đơn tròn đầu có chiều rộng $b = 1,22\text{m}$; $l = 18\text{m}$; chiều sâu sau xói chung $h_1 = 3,12\text{m}$; tốc độ dòng chảy đến trụ sao xói chung $V_x = 3,36 \text{ m/s}$; địa chất đáy sông có $d_{50} = 0,32\text{mm}$ và $d_{95} = 7,3\text{mm}$; đáy phẳng và dòng chảy thẳng hàng với trụ. Yêu cầu dự toán xói cục bộ ở trụ h_c ?

Lời giải:

Áp dụng phương trình (5-14):

$$\frac{h_c}{h_x} = 2,0 K_1 K_2 K_3 K_4 \left(\frac{b}{h_x} \right)^{0,65} Fr_1^{0,43}$$

trong đó:
$$Fr_1 = \frac{V_x}{\sqrt{gh_x}} = \frac{3,36}{\sqrt{9,81 \times 3,12}} = 0,61$$

$$K_1 = 1,0; K_2 = 1,0; K_3 = 1,1 \text{ (đáy phẳng)}; K_4 = 1,0.$$

Thay số vào ta có h_c :

$$\begin{aligned} h_c &= [2,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,1 \times 1,0 \times (1,22/3,12)^{0,65} \times (0,61)^{0,43}] \times 3,12 \\ &= 0,97 \times 3,12 = 3,03\text{m} \end{aligned}$$

Thí dụ 5.2: Số liệu về trụ, dòng chảy và đáy như thí dụ 5.1, song dòng chảy nghiêng với trụ một góc $= 20^\circ$. Yêu cầu dự đoán xói cục bộ h_c .

Lời giải:

Từ (5-24) xác định:

$$K_2 = (\cos \theta + L / b \sin \theta)^{0,65} = (\cos 20^\circ + 12 \sin 20^\circ)^{0,65} = 2,86$$

trong đó: $l/b > 12$ lấy bằng 12 là giá trị lớn nhất, do đó:

$$h_c = 3,03 \times 2,86 = 8,7\text{m}.$$

Thí dụ 5.3: Điều kiện về trụ và dòng chảy như thí dụ 5.1, song đáy là hạt thô hơn: $d_{50} = 17,8\text{mm}$; $d_{95} = 96,3\text{mm}$ và đáy vẫn là đáy phẳng.

Lời giải: Do hạt thô nên xói giảm và K_4 được xác định theo điều kiện ở mục 5.4.10 là:

$$K_4 = 0,4(V_R)^{0,15}$$

$$V_R = \frac{V_1 - V_{icd_{50}}}{V_{cd_{50}} - V_{icd_{50}}} > 0$$

trong đó: $V_{icd_{50}} = 0,645 \left(\frac{d_x}{b} \right)^{0,053} V_{cd_x}$

$$V_{cd_x} = 0,19h_1^{1/6} d_x^{1/3}$$

Thay số vào ta có:

$$V_{cd_{50}} = 6,19(3,12)^{1/6} \times (0,0178)^{1/3} = 1,95 \text{ m/s}$$

$$V_{cd_{95}} = 6,19(3,12)^{1/6} \times (0,0963)^{1/3} = 3,43 \text{ m/s}$$

$$V_{icd_{50}} = 0,645(0,0178 / 1,22)^{0,053} \times 1,95 = 1,01 \text{ m/s}$$

$$V_{icd_{95}} = 0,645(0,0963 / 1,22)^{0,053} \times 3,43 = 1,93 \text{ m/s}$$

$$V_R = \frac{3,36 - 1,01}{1,95 - 1,93} = 117,5$$

$$K_4 = 0,4(117,5)^{0,15} = 0,82$$

$$h_c = 0,82 \times 3,03 = 2,48\text{m}$$

Thí dụ 5.4: Trụ trên bê cọc

Trụ ở thí dụ 5.1 đặt trên bệ cọc có chiều cao 1,6m; rộng 2,44m; dài 19,81m; bệ trụ nhô ra so với mặt trước trụ $f = 0,76\text{m}$ và nhô lên cao hơn đáy do xói trong thời gian dài (xói tự nhiên) là 1,5m. Yêu cầu dự đoán xói cục bộ cho trụ trên bệ cọc đã nêu.

Lời giải:

Dòng chảy trước xói cục bộ có:

$$h_x = 3,12\text{m}, V_1 = 3,36 \text{ m/s}, \alpha^0 = 0,$$

$$Fr = \frac{3,36}{(9,81 \times 3,12)^{0,5}} = 0,61,$$

$d_{50} = 0,32\text{mm}$; $d_{84} = 7,3\text{mm}$ và đáy phẳng như hình thí dụ 5.4.

* Thành phần xói do thân trụ

$f = 0,76,$

$$y_1 = y_0 + T = -0,10 + 1,60 = 1,50\text{m}$$

$$K_{ht} = f(y_l/b_{tru}, f/b_{tru}) = 0,06 \text{ (hình 5.12b)}$$

trong đó: $y_1/b_{tru} = 1,50/1,22 = 1,23$;

$$f/b_{\text{tru}} = 0,76/1,22 = 0,62$$

Thay số vào (5-15a) ta được:

$$\frac{h_{cl}}{h_l} = 0,06 \left[2,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,1 \times 1,0 \times \left(\frac{1,22}{3,12} \right)^{0,65} \times \left(\frac{3,36}{9,81 \times 3,12} \right)^{0,43} \right]$$

do đó: $h_{ct} = 0,06 \times (0,97) \times 3,12 = 0,18m$

* Thành phần xói do bê trự

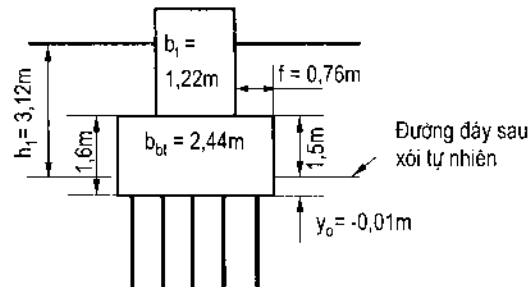
Giả thử đáy ở quanh tru bị thấp xuống bằng một nửa chiều sâu xói do thân tru:

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{et}}{2} = 3,12 + \frac{0,18}{2} = 3,21m$$

$$V_2 = V_1 \left(\frac{h_1}{h_2} \right) = 3,36 \left(\frac{3,12}{3,21} \right) = 3,26 \text{ m/s}$$

$$y_2 = y_0 + \frac{h_{ct}}{2} = -0,10 + 0,09 = -0,01$$

Đáy bê tru ở trong đất do đó áp dụng trường hợp 2 để tính:



Hình thí dụ 5.4

$$h_f = y_1 + \frac{h_{ct}}{2} = 1,50 + 0,09 = 1,59\text{m}$$

Tốc độ dòng chảy trong phạm vi chân bệ trụ là:

$$\frac{V_f}{V_2} = \frac{\ln\left(10,93 \frac{1,59}{0,0073} + 1\right)}{\ln\left(10,73 \frac{3,21}{0,0073} + 1\right)} = 0,92$$

Giả thiết $K_s = d_{84} = 7,3\text{mm}$ thì $V_f = 0,92V_2 = 0,92 \times 3,26 = 2,99\text{ m/s}$

Áp dụng (5-15d) thì:

$$\frac{h_{cb_2}}{h_f} = 2,0 \times 1,1 \times 1,0 \times 1,1 \times 1,0 \times 1,0 \times \left(\frac{2,44}{1,59}\right)^{0,65} \left(\frac{2,99}{\sqrt{9,81 \times 1,59}}\right)^{0,43} = 2,83\text{m}$$

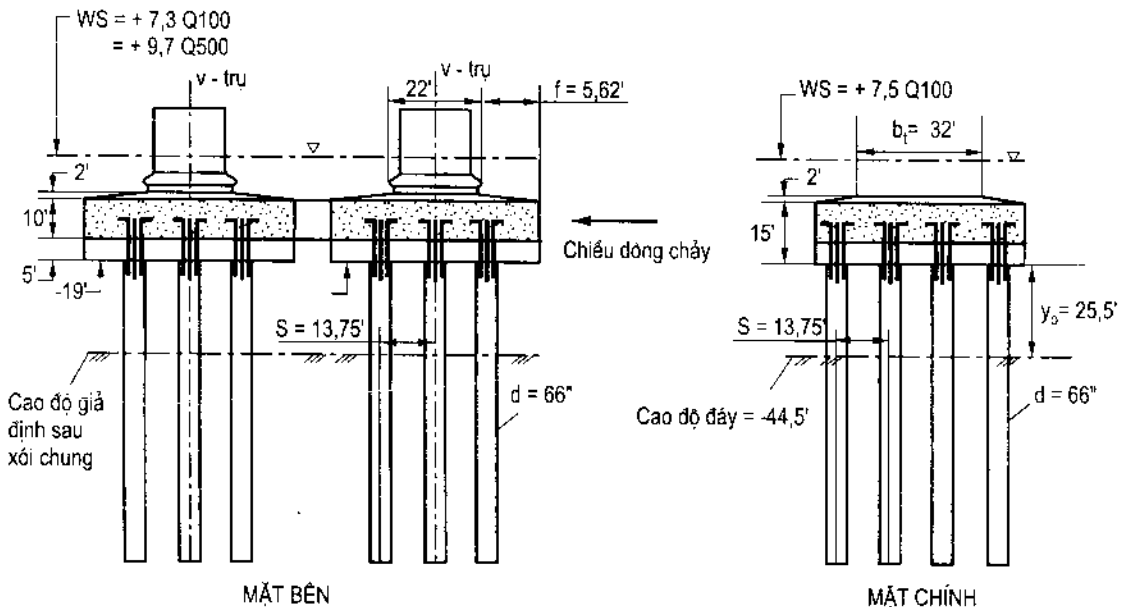
Biết $\frac{h_2}{b_b} = 1,31 (> 0,8)$ do đó $K_w = 1,0$.

Cuối cùng: $h_{cb_2} = 2,83h_f = 2,83 \times 1,59 = 4,50\text{m}$

Tổng số xói cục bộ dự đoán là: $h_c = h_{ct} + h_{cb_2} = 0,18 + 4,50 = 4,68\text{m}$

Thí dụ 5.5:

Trụ cầu qua sông Potomac cho trong hình thí dụ 5.5, có cao độ lũ Q_{100} và Q_{500} là + 2,23 và + 2,96m với tốc độ lũ tương ứng là 3,41 m/s và 4,27 m/s.



Hình thí dụ 5.5: Mô hình trụ trên bệ cọc của cầu Woodrow Wilson qua sông Potomac (Mĩ)

Thông số dòng chảy và trụ đã cho là: $h_1 = 15,79\text{m}$, $V_1 = 3,41 \text{ m/s}$, $b_{\text{trụ}} = 9,754\text{m}$, chiều rộng bệ trụ $b_b = 16,23\text{m}$, $y_0 = 7,77\text{m}$, $y_1 = y_0 + T = 12,65\text{m}$, $S = 4,19\text{m}$ là khoảng cách giữa hai tâm cọc, $T = 4,88\text{m}$, $f = 2,627\text{m}$, $\alpha^\circ = 0$.

Yêu cầu dự đoán xói cục bộ h_c .

Lời giải:

a) Xói thành phần do thân trụ h_{ct}

$$\frac{f}{b_{\text{trụ}}} = \frac{2,627}{9,754} = 0,27$$

$$\frac{y_1}{b_{\text{trụ}}} = \frac{12,65}{9,754} = 1,30$$

$$K_{\text{ht}} = 0,062 \text{ (hình 5.12b)}$$

$$\frac{h_{\text{ct}}}{h_1} = 0,062 \left[2,0 \times 1,1 \times 1,0 \times 1,1 \times 1,0 \times \left(\frac{9,754}{15,79} \right)^{0,65} \left(\frac{3,41}{\sqrt{9,81 \times 15,79}} \right)^{0,43} \right] = 0,0627$$

$$h_{\text{ct}} = 0,0627 \times 15,79 = 0,99\text{m}$$

b) Xói thành phần do bệ trụ

$$y_2 = y_0 + \frac{h_{\text{ct}}}{2} = 7,77 + 0,495 = 8,27\text{m}$$

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{\text{ct}}}{2} = 15,79 + 0,495 = 16,28\text{m}$$

$$V_2 = V_1 \times \frac{h_1}{h_2} = 3,41 \times \left(\frac{15,79}{16,28} \right) = 3,31 \text{ m/s}$$

Theo hình 5.12c thì $h_2 = 3,5b_b = 56,81 > 16,28$, do đó: $h_2 = 16,28\text{m}$ và $\frac{y_2}{h_2} = 0,51$,

$$\frac{T}{h_2} = \frac{4,88}{16,28} = 0,3, \quad \frac{b_{b*}}{b_b} = 0,07, \quad b_{b*} = 0,07 \times 16,23 = 1,10\text{m}.$$

$$\frac{h_{\text{cb}}}{h_2} = 2,0 \times 1,1 \times 1,0 \times 1,1 \times 1,0 \times 1,0 \times \left(\frac{1,10}{16,28} \right)^{0,65} \left(\frac{3,31}{\sqrt{9,81 \times 16,28}} \right)^{0,43} = 0,236$$

Biết rằng $\frac{h_2}{b_{b*}} = 14,8 (> 0,8)$ nên $K_w = 1,0$, do đó:

$$h_{\text{cb}} = 0,236 \times 16,28 = 3,84\text{m}$$

c) Xói thành phần do nhóm cọc:

$$y_3 = y_0 + \frac{(h_{ct} + h_{cb})}{2} = 7,77 + \frac{(0,99 + 3,84)}{2} = 10,19\text{m}$$

$$h_3 = h_1 + \frac{(h_{ct} + h_{cb})}{2} = 15,79 + \frac{(0,99 + 3,84)}{2} = 18,20\text{m}$$

$$V_3 = V_1 \left(\frac{h_1}{h_3} \right) = 3,41 \times \left(\frac{15,79}{18,20} \right) = 2,95 \text{ m/s}$$

$$b_{h/\text{chiều}} = 4 \times 1,676 = 6,71\text{m}$$

$$\frac{b_{h/\text{chiều}}}{b} = \frac{6,71}{1,676} = 4,0$$

$$\frac{S}{b} = \frac{4,19}{1,676} = 2,5$$

$$K_{sp} = 0,58 \text{ (hình 5.12h)}$$

$$K_m = 1,16 \text{ (hình 5.12i đối với 3 hàng cọc)}$$

$$b_{b*} = K_{sp} \times K_m \times b_{h/\text{chiều}} = 0,58 \times 1,16 \times 6,71 = 4,51\text{m}$$

Từ hình 5.12e, $h_{3\max} = 3,5 b_{b*} = 15,79 < 18,2$; do đó $h_3 = 15,79\text{m}$

$$\frac{y_3}{h_3} = \frac{10,19}{15,79} = 0,65$$

$$K_{hc} = 0,79 \text{ (hình 5.12e)}$$

$$\frac{h_{cc}}{h_3} = 0,79 \left[2,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,1 \times 1,0 \times \left(\frac{4,51}{15,79} \right)^{0,65} \left(\frac{2,95}{\sqrt{9,81 \times 15,79}} \right)^{0,43} \right] = 0,41$$

$$h_{cc} = 0,41 \times 15,79 = 6,47\text{m}$$

Tổng xói cục bộ ở trụ bệ cọc là:

$$h_c = h_{ct} + h_{cb} + h_{cc} = 0,99 + 3,84 + 6,47 = 11,3\text{m}$$

Thí dụ 5.6:

Dự đoán xói cục bộ đối với trụ bệ cọc có 6 hàng cọc $6 \times 0,406\text{m}$ theo chiều dọc, có khoảng cách các hàng là $2,29\text{m}$, dòng chảy nghiêng với trục dọc 26° , song không có cây trôi, vật cản và phòng xói.

Tốc độ trước xói cục bộ: $V_1 = 3,4 \text{ m/s}$; chiều sâu $h_1 = 6,1\text{m}$; $S/b = 2,29/0,406 = 5,6$; ($S/b > 5,0$); giả thiết đáy phẳng do đó $K_3 = 1,1$.

Lời giải: Trong thí dụ này sử dụng ba phương pháp khác nhau để đánh giá so sánh.

a) Chiều sâu xói cục bộ theo Raudkivi (1986) bằng 1,2 lần chiều sâu xói cục bộ đối với trụ đơn:

$$\frac{h_c}{6,1} = 2,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,1 \times 1,0 \times \left(\frac{0,406}{6,1} \right)^{0,65} \left(\frac{3,4}{\sqrt{9,81 \times 6,1}} \right)^{0,43} = 0,266$$

do đó: $h_c = 0,266 \times 6,1 \times 1,2 = 1,95\text{m}$

b) Cọc được bó lại thành một khối như trụ đặc

Chiều rộng của bó cọc là $b_{lc} = 6 \times 0,406 = 2,44\text{m}$

Chiều rộng hình chiếu của bó cọc là:

$$b_{lc} = L \sin 26^\circ + b \cos 26^\circ = 2,44 \sin 26^\circ + 0,406 \cos 26^\circ = 1,44\text{m}$$

$$\frac{h_c}{6,1} = 2,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,1 \times 1,0 \times \left(\frac{1,44}{6,1} \right)^{0,65} \left(\frac{3,4}{\sqrt{9,81 \times 6,1}} \right)^{0,43} = 0,604$$

do đó:

$$h_c = 0,604 \times 6,1 = 3,68\text{m}$$

c) Tính xói cho nhóm cọc sử dụng K_2 theo (5-14):

$$K_2 = \left[\cos 26^\circ + \left(\frac{2,44}{0,406} \right) \sin 26^\circ \right]^{0,65} = 2,27$$

$$\frac{h_c}{6,1} = 2,0 \times 1,0 \times 2,27 \times 1,1 \times 1,0 \times \left(\frac{0,406}{6,1} \right)^{0,65} \left(\frac{3,4}{\sqrt{9,81 \times 6,1}} \right)^{0,43} = 0,603$$

do đó:

$$h_c = 0,603 \times 6,1 = 3,68\text{m}$$

Do $S/b = 5,6 (> 5)$ nên phương pháp (a) được sự lựa chọn, ngoài ra nghiên cứu mô hình cho $h_c = 1,95\text{m}$, do đó:

$$h_c = 6,1 \times 0,266 \times 1,2 = 1,95\text{m}$$

Thí dụ 5.7: Dòng lũ ngập hết lan can cầu và ngập đường, làm tăng không đáng kể chiều sâu dòng chảy với các số liệu như sau: chiều sâu dòng chảy trước xói: $h_1 = 9,75\text{m}$, tốc độ $V_1 = 2,93 \text{ m/s}$, lưu lượng $q_1 = 28,56 \text{ m}^3/\text{sm}$. Biết chiều rộng trụ $b = 0,914\text{m}$, tròn đầu, thẳng hàng với dòng chảy. Đáy cát có $d_{50} = 0,4\text{mm}$, $d_{84} = 0,9\text{mm}$. Khoảng cách từ đáy dầm cầu đến đáy sông là $H_b = 7,93\text{m}$. Yêu cầu dự đoán xói cục bộ ở trụ cầu.

Lời giải:

a) Xác định xói do thu hẹp đứng - công thức (5-20):

$$\frac{h_{cd}}{h_1} = -5,08 + 1,27 \left(\frac{h_1}{H_b} \right) + 4,44 \left(\frac{H_b}{h_1} \right) + 0,91 \left(\frac{V_a}{V_c} \right)$$

$$V_c = 6,19 h_1^{1/6} d_{50}^{1/3} = 6,19 (9,75)^{1/6} (0,0004)^{1/3} = 0,669 \text{ m/s}$$

$$V_a = \frac{q_1}{H_b} = \frac{28,56}{7,93} = 3,60 \text{ m/s}$$

Vậy:
$$\frac{h_{cd}}{9,75} = -5,08 + 1,27 \left(\frac{9,75}{7,93} \right) + 4,44 \left(\frac{7,93}{9,75} \right) + 0,19 \left(\frac{3,6}{0,669} \right)$$

$$h_{cd} = 9,75 \times 1,12 = 10,9\text{m}$$

b) Xói cục bộ ở trụ:

$$h_2 = H_b + H_{cd} = 7,93 + 10,92 = 18,85\text{m}$$

$$V_2 = V_a \left(\frac{H_b}{h_2} \right) = 3,60 \left(\frac{7,93}{18,85} \right) = 1,51 \text{ m/s}$$

$$\frac{h_c}{h_1} = 2,0 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \left(\frac{b}{h_1} \right)^{0,65} (Fr_1)^{0,43}$$

$$K_1 = K_2 = K_4 = 1,0; K_3 = 1,1; Fr_1 = \frac{1,52}{(9,81 \times 18,85)^{0,5}} = 0,11$$

$$\frac{h_c}{18,85} = 2,0 \times 1,1 \times \left(\frac{0,914}{18,85} \right)^{0,65} \times (0,11)^{0,43} = 0,12$$

Vậy:
$$h_c = 18,85 \times 0,12 = 2,26\text{m}$$

c) Tổng chiều sâu xói ở trụ:

$$h_x = 10,92 + 2,26 = 13,2\text{m}$$

Thí dụ 5.8: Vật trôi vướng vào trụ cầu có chiều rộng là $W = 0,61\text{m}$ ở phía trước và bao gồm đầu trụ như hình 5.14. Dòng lũ có $h_1 = 2,42\text{m}$, $V_1 = 3,60 \text{ m/s}$ và $Fr_1 = 0,74$. Trụ rộng $b = 0,46\text{m}$, $L = 12,62\text{m}$ nghiêng với phương chảy góc 15° . Yêu cầu tính xói cục bộ do vật trôi gây ra ?

Lời giải:

$$\frac{L}{b} = \frac{12,02}{0,46} = 27,4 > 12$$

hay:
$$L' = 12(0,46) = 5,52\text{m}$$

$$b_{h/\text{chiều}} = 1,22 + 0,46\cos 15^\circ = 1,66\text{m}$$

hay: $b_{h/\text{chiều}} = 0,61 + 0,46\cos 15^\circ + 5,52\sin 15^\circ = 2,48\text{m}$

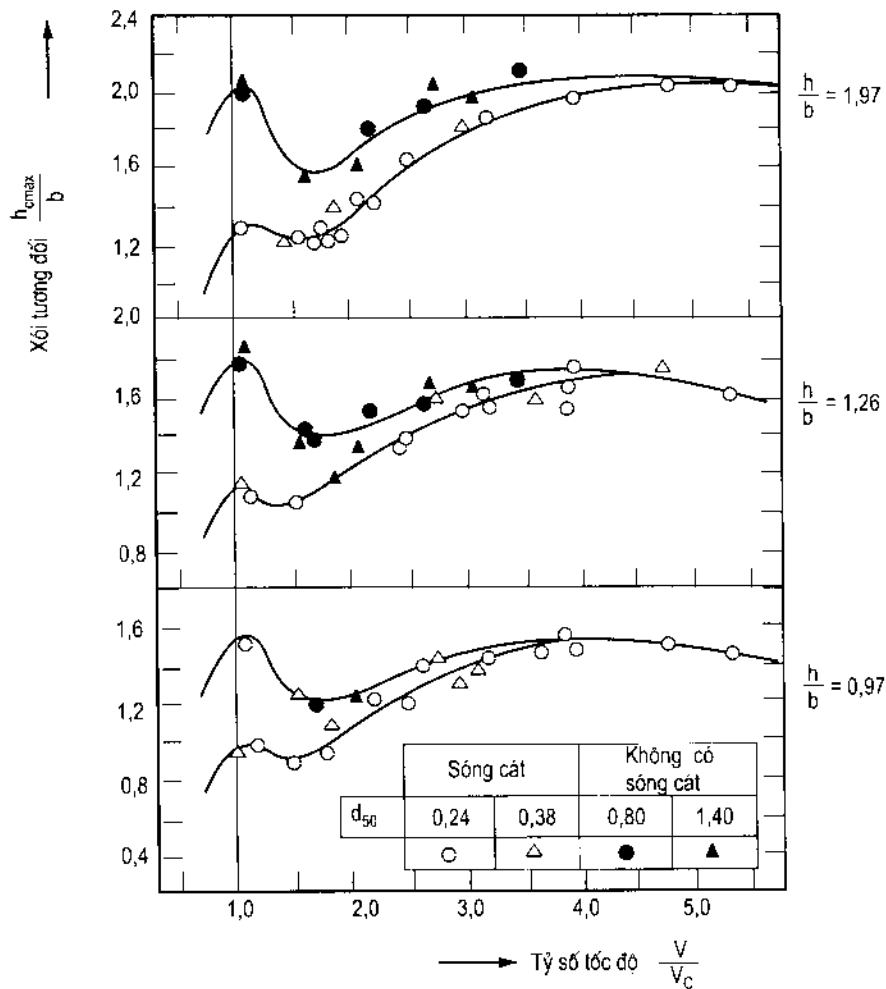
Sử dụng $b_{h/\text{chiều}} = 2,48\text{m}$ để tính xói h_c :

$$\frac{h_c}{2,42} = 2,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,1 \times 1,0 \times \left(\frac{2,48}{2,42}\right)^{0,65} (0,47)^{0,43} = 1,98$$

Vậy: $h_c = 2,42 \times 1,98 = 4,79\text{m}$.

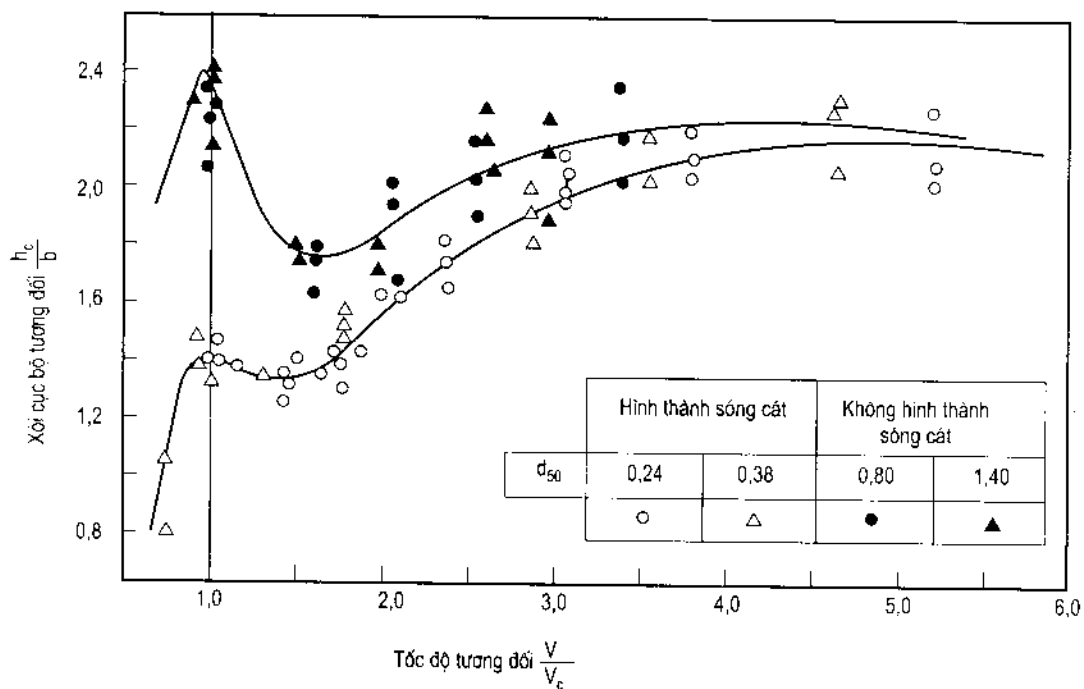
5.5. XÓI NƯỚC ĐỤC

Xói nước đục xảy ra khi tốc độ dòng chảy V lớn hơn tốc độ tới hạn V_c là tốc độ làm cho hạt bắt đầu chuyển động. Xói nước đục lúc đầu tăng rất nhanh, sau đó dao động xung quanh giá trị trung bình tương ứng với hình dạng đáy đi qua hố xói; chiều sâu xói lớn tương ứng với đáy sóng cát, còn chiều sâu xói nhỏ tương ứng với đỉnh sóng cát;



Hình 5.15a: Kết quả thí nghiệm $h_c/b \sim V/V_c$ cho trụ tròn (Chee, 1982)

chiều sâu xói cân bằng phụ thuộc vào cỡ hạt và hình dạng đáy. Bùn cát chuyển động thường gồm hai phần là bùn cát đáy và bùn cát lơ lửng, lượng bùn cát luân vào hố xói từ thượng lưu và ra khỏi hố xói về phía hạ lưu. Xói cân bằng khi lượng bùn cát ra vào như nhau. Kết quả thí nghiệm của Chee (1982) cho chiều sâu xói cân bằng lớn nhất đối với cát đều hạt có $d_{50} = (0,24; 0,38; 0,80, 1,40)\text{mm}$ tại trụ tròn có đường kính là 50,8; 79,5 và 101,6mm khi chiều sâu dòng chảy là 100mm. Sóng cát hình thành đối với hạt có $d_{50} = (0,24 \text{ và } 0,38)\text{mm}$; sóng cát không hình thành khi hạt có $d_{50} = (0,8 \text{ và } 1,4)\text{mm}$. Xói nước trong đạt giá trị lớn nhất khi $V/V_c = 1,0$ sau đó giảm tới giá trị nhỏ nhất tại $V/V_c = 1,5 \div 2$ tương ứng với đáy dốc, sau đó tốc độ tăng tiếp, đáy phẳng lại và chiều sâu xói có xu thế đạt đỉnh mới, lúc này năng lượng chỉ phí cho sức cản hình dạng tiến tới không, tức là năng lượng dòng chảy được tăng lên và lại gây xói tiếp do lượng bùn cát bị xói đi tăng lên. Thí nghiệm cho thấy độ chênh giữa xói lớn nhất và nhỏ nhất gần bằng chiều cao của sóng cát đáy trong các điều kiện dòng chảy đã cho, nghĩa là chiều sâu xói lớn nhất là tổng của chiều sâu xói cân bằng với một nửa chiều cao sóng cát hay cồn cát. Tương tự với hình kết quả thí nghiệm của Chee và kết quả thí nghiệm của Chiew (1984) đối với cát đều hạt song dòng chảy có chiều sâu là 170mm và đường kính trụ nhỏ đi là 32 và 45mm, tức là chiều sâu tương đối tăng lên. Trong thực tế, hình dạng đáy sông rất phức tạp, các sóng cát và cồn cát vận động theo quy luật phức tạp, là kết quả của sự tác động tương hỗ giữ dòng nước và bùn cát, đặc biệt là vấn đề rói của lớp sạt đáy. Ngoài ra còn phải kể đến sự dịch dòng, thay đổi lạch sâu... làm cho quá trình xói, vị trí xói và độ sâu xói lớn nhất không hoàn toàn giống như trong phòng thí nghiệm.



Hình 5.15b: Kết quả thí nghiệm $h_c/b \sim V/V_c$ cho trụ tròn (Chiew, 1984)

5.6. MỘT SỐ CÔNG THỨC XÓI CỤC BỘ TRỤ CẦU

5.6.1. Một số công thức

Công thức T. Đ. Nghiên. Cơ chế cơ bản của xói cục bộ tại chân trụ tròn và trụ tròn đầu là hệ thống xoáy có dạng hình móng ngựa với hai tay xoáy bao thân trụ trên mặt bằng. Năng lượng của xoáy này được rút ra từ sự chênh lệch công suất (năng lượng) của dòng chảy trong lớp biên và ngoài lớp biên bao trụ do chính trụ tạo ra - đó là chênh lệch động năng trong và ngoài lớp biên bao trụ.

$$\Delta E = \frac{1}{2} v^2 \rho b h v (k^2 - 1) = E_{xc} = \frac{1}{2} (k v) \rho \pi r_c^4 \omega_c^2 \quad (*)$$

Gọi $\omega_c r_c = V_{\theta c}$ và $\Gamma_c = 2\pi r_c v_{\theta c}$ là lưu số của xoáy cường bức thì từ (*) rút ra:

$$\Gamma_c = 3,545 \sqrt{\frac{k^2 - 1}{k}} \sqrt{b h v}$$

trong đó: ΔE - sự thay đổi động năng trong và ngoài lớp biên;

r_c và ω_c - bán kính của xoáy và tốc độ góc của xoáy cường bức dạng móng ngựa;

b và h - chiều rộng trụ và chiều sâu dòng chảy trước trụ trước xói cục bộ;

V - tốc độ trung bình của dòng chảy trước trụ trước xói;

k - hệ số tăng tốc độ trong lớp biên bao trụ.

Gặp lớp đất dễ xói các xoáy hình thành xoáy dạng móng ngựa tác dụng thẳng xuống đáy cát tạo ra hố xói phía dưới xoáy, xoáy đào sâu và mở rộng hố xói đồng thời chìm vào hố xói làm rộng và sâu diện tích mặt trụ bị xói; quá trình này làm tốc độ xoáy và tốc độ xói giảm. Giả thiết trong quá trình xói lưu số của xoáy cường bức không đổi vì bán kính xoáy tăng đồng thời với tốc độ xoáy giảm đến giá trị xói ổn định và xoáy chìm hẳn vào trong hố xói tức là có lưu số của xoáy ngừng xói:

$$\Gamma_{ng} = 2\pi R^2 \omega_{ng} = 4S_x \frac{V_{ng}}{h_c}$$

trong đó: $\pi R^2 = S_x$ - diện tích mặt cắt ngang của xoáy trong hố xói;

$$\omega_{ng} = \frac{V_{ng}}{R} \text{ và } R = \frac{h_c}{2} \text{ do đó } \omega_{ng} = \frac{2V_{ng}}{h_c};$$

V_{ng} - tốc độ ngừng xói trong hố xói.

Cân bằng lưu số gây xói Γ_c với lưu số ngừng xói Γ_{ng} rút ra chiều sâu xói tương đối với chiều rộng trụ:

$$\frac{h_c}{b} = 1,13 K_1 \sqrt{\frac{b}{h}} \frac{V}{V_{ng}}$$

trong đó: $K_1 = \sqrt{\frac{(k^2 - 1)}{k}}$ phụ thuộc thí nghiệm trên đáy không xói. Kết quả thí nghiệm chỉ ra trong đáy cát có $d_{50} = 0,155 \div 0,58\text{mm}$ sẽ có góc nghiêng của mái dốc hố xói so với đường nằm ngang thay đổi: $30^\circ \div 35^\circ$ do đó diện tích mặt cắt ngang thực tế trong hố xói là:

$$S_{tt} = \frac{h_c^2 \cot g\varphi}{2} = S_x \frac{2}{\pi} \cot g\varphi = 1,1 \div 0,92$$

Trung bình $\varphi = 32^\circ \div 33^\circ$ sẽ cho $S_{tt} = S_x$.

Tốc độ ngừng xói V_{ng} trong hố xói là hàm của trạng thái chuyển động của hạt bùn cát trong hố xói tương ứng với xói nước trong và xói nước đục.

$$V_{ng} = \sqrt[3]{gh\omega} \left(\frac{h}{d_{50}} \right)^{0,06} \quad (5-22)$$

trong đó: $\sqrt[3]{gh\omega}$ - tốc độ khuấy đục bùn cát trong hố xói;

ω - độ thô thủy lực của bùn cát.

Đặt $K = 1,13K_1$ và sử dụng 58 số liệu thí nghiệm trong phòng và trong sông; 143 số liệu đo xói ở các cầu đang khai thác cho công thức chung xác định chiều sâu xói cục bộ:

$$h_c = K \sqrt{bh} \left(\frac{V}{V_{ng}} \right)^n K_\alpha K_s \quad (5-23)$$

trong đó: $K = 1,24$; $n = 0,77$ khi $\frac{V}{V_{ng}} < 1$ (xói nước trong)

$K = 1,11$; $n = 1,0$ khi $\frac{V}{V_{ng}} \geq 1$ (xói nước đục)

V - tốc độ trung bình dòng chảy trước trụ trước xói cục bộ (m/s);

h - chiều sâu dòng chảy trước trụ trước xói cục bộ (m).

Công thức áp dụng cho trụ có chiều sâu từ $3\text{m} \div 18\text{m}$, chiều rộng trụ tới 6m , tốc độ dòng chảy trước xói tới $2,5 \text{ m/s}$ và địa chất hạt đến $1,53\text{mm}$ và lớn hơn. K_α lấy theo bảng 5.3; K_s có thể lấy theo bảng 5.1.

Công thức N. X. Trục và N. H. Khải.

Công thức được rút ra từ số liệu thực tế ở các cầu đang khai thác thông qua phép tính bình phương tối thiểu.

$$\frac{h_c}{b} = CK_d \left(\frac{h}{b} \right)^m \left(\frac{V}{V_c} \right)^n \quad (5-24)$$

trong đó: $K_d = 0,1K_\xi$ - hệ số ảnh hưởng của hình dạng trụ lấy theo tác giả Iaroslavl'tsev (K_ξ)

$C = 0,52$; $m = 0,12$; $n = 1,16$ cho $V \geq V_0$ (xói nước đục)

$C = 0,97$; $m = 0,17$; $n = 1,04$ cho $V < V_0$ (xói nước trong)

$V_0 = V_c = 3,6 \sqrt[4]{hd_{50}}$ - là tốc độ không xói đối với hạt ở đáy sông.

Công thức Richardson và các cộng sự - HEC-18

$$\frac{h_c}{b} = 2,0 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_1 \left(\frac{h}{b} \right)^{0,35} Fr^{0,43} \quad (5-25)$$

trong đó:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}}$$

K_1, K_2, K_3, K_4 lần lượt là hệ số ảnh hưởng của hình dạng trụ, góc nghiêng dòng chảy đến trụ, điều kiện đáy sông và sự thô hoá hay phương pháp phòng xói trụ;

b, h và V như đã giải thích.

$K_1 = 1$ - trụ tròn, trụ tròn đầu hay nhóm trụ tròn.

$K_1 = 0,9$ - trụ đầu nhọn;

$K_1 = 1,1$ - trụ vuông hay chữ nhật.

Hệ số ảnh hưởng của hướng dòng chảy K_2 phụ thuộc α° và l/b cho trong bảng 5.3 hay công thức:

$$K_2 = \left(\cos \alpha^\circ + \frac{l}{b} \sin \alpha^\circ \right)^{0,65} \quad (5-26)$$

trong đó: l, b - chiều dài và chiều rộng trụ.

Bảng 5.3

Góc α°	$\frac{l}{b} = 4$	$\frac{l}{b} = 8$	$\frac{l}{b} \geq 12$
0	1,0	1,0	1,0
15	1,5	2,0	2,5
30	2,0	2,75	3,5
45	2,3	3,30	4,3
90	2,5	3,90	5,0

Hệ số điều kiện đáy K_3 phụ thuộc vào chiều cao sóng cát cho trong bảng 5.4.

Bảng 5.4

Điều kiện đáy	Chiều cao sóng cát h_s (m)	K_3
Xói nước trong		1,1
Đáy phẳng, sóng cát ngược		1,1
Sóng cát	$0,61 \leq h_s < 3,0$	1,1
Cồn cát vừa	$3 \leq h_s < 9,15$	1,1 - 1,2
Cồn cát cao	$9,15 \leq h_s$	1,3

$$K_i = \left(1 - \frac{V_i}{V}\right)^{0,45} \quad \text{khi } V > V_i \quad (5-27)$$

Nếu $V < V_i$ thì $K_i = 0$.

V_i lấy theo (5-32); K_4 lấy theo (5-36); ψ lấy theo (5-28).

V_c lấy theo (5-30). Trong biểu thức (5-25) thì K_4 và K_i lấy theo (5-36) và (5-27) là theo đề nghị của T. Paul Teng (N. FHWA, 6/2003). T. Paul Teng, P. E. NoFHWA RD-03-083, 6-2003) dựa vào kết quả nghiên cứu tổng hợp về vai trò cấp phối hạt ảnh hưởng đến xói đối với hạt có $d_{50} = (0,1, 0,55, 0,78 \text{ và } 1,8)\text{mm}$, hạt mịn nhất có $d = 0,074\text{mm}$ và $\sigma_g = 1,38; 2,43 \text{ và } 3,4$ đã xác định quan hệ thực nghiệm về xói cục bộ $h_c \sim b^{0,6}$ và sử dụng thông số cường độ dòng chảy hay tốc độ vượt ψ .

$$\psi = \frac{V - V_i}{V_c - V_i} \quad 0 \leq \psi \leq 1 \quad (5-28)$$

trong đó: V_i - tốc độ bắt đầu xói từng hạt;

V_c - tốc độ mà cả khối bùn cát đáy chuyển động được rút ra từ điều kiện và tiêu chuẩn Shields.

$$\tau_c = 0,047\gamma'_s \bar{d}_a = \gamma RS \quad (*)$$

$$\text{Độ dốc thủy lực} \quad S = \frac{V_c^2 n^2}{R^{4/3}}; \quad n = \frac{\bar{d}_a}{26,1} \quad (**)$$

Thay vào (**) vào (*) rút ra:

$$V_c = 7,27 \bar{d}_a^{1/3} h^{1/6} \quad (5-29)$$

Tuy nhiên, kết quả thí nghiệm xác định hệ số 6,625 thay cho 7,27, vậy:

$$V_c = 6,625 \bar{d}_a^{1/3} h^{1/6} \quad (5-30)$$

trong đó: $\gamma'_s = 1,65\gamma$ với $\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$ là trọng lượng riêng của nước;

$$\bar{d}_a = \frac{d_{85} + 2d_{90} + 2d_{95} + d_{99}}{6} \quad (5-31)$$

d_{85} , d_{90} , d_{95} và d_{99} là đường kính hạt mà hạt mịn hơn chiếm 85, 90; 95 và 99% theo trọng lượng.

Tốc độ bắt đầu xói V_i được xác định theo d_{35} (Einstein và Chien; Acker và White), kết quả thí nghiệm cho:

$$V_i = 2,65d_{35}^{1/3}h^{1/6} \quad (5-32)$$

Kết quả thí nghiệm rút ra cho hạt đều: $\psi = 0,6$ thì chiều sâu xói:

$$h_c = 0,97b^{0,66}h^{0,17}\psi^{0,72} \quad \text{với } R^2 = 0,9 \quad (5-33)$$

Trong phạm vi $d_{50} = 0,75 \div 1,8$ và 17mm thì:

$$h_c = 0,99b^{0,66}h^{0,17}\psi^{0,55} \quad (0 \leq \psi \leq 1) \quad (5-34)$$

$\psi = 0,1 \div 0,3$ sẽ cho h_{cmax} do đó đề nghị công thức:

$$\frac{h_{cmax}}{b^{0,66}h^{0,17}} = K_u K_1 K_2 K_3 K_4 \psi^{0,55} \quad (0 \leq \psi \leq 1) \quad (5-35)$$

trong đó: $K_u = 0,99$;

K_1 , K_2 , K_3 đã nêu trong biểu thức (5-25);

$$K_4 = 1,25 + 3\sqrt{\frac{\bar{d}_a}{d_{50}}}\psi^{0,6} \ln(\psi + 0,5) \quad (5-36)$$

Với $0 \leq K_4 \leq 1$ và $0 \leq \psi \leq 1$.

Kết quả thí nghiệm chỉ ra:

(1) $\frac{\bar{d}_a}{d_{50}}$ tăng thì h_c giảm và K_4 giảm;

(2) Cường độ dòng chảy thấp $\psi \rightarrow 0$ thì $K_4 \rightarrow 1,0$ vì vai trò của hạt thô không còn ảnh hưởng đến xói.

(3) Cường độ dòng chảy cao $\psi \gg 1$ thì $K_4 \rightarrow 1,0$ vì cả đáy cát chuyển động nên không có vai trò hạt thô.

(4) Tồn tại một cường độ nào đó làm cho h_{cmin} .

5.6.2. Một số đánh giá các công thức hiện thời từ số liệu thực tế và số liệu thí nghiệm

Sử dụng 515 số liệu do xói thực tế ở cầu đang sử dụng của nước Mỹ và một số nước khác với đặc trưng cho trong bảng 5.5.

Bảng 5.5

Đại lượng	d_{50} (mm)	K_1 (hình dạng trụ)	b (m)	h (m)	V (m/s)	h_c
Trung bình	17,6	0,99	2,92	3,18	1,52	1,99
σ	31,8	0,07	2,28	3,46	0,77	1,70
C_v	1,8	0,07	0,78	1,09	0,51	0,85
max	150	1,20	19,50	19,50	4,70	10,61
min	0,008	0,90	0,20	0,11	0,15	0,10

σ - độ lệch tiêu chuẩn; C_v - hệ số biến sai.

Peggy A. Johson (J. Hydr. Engg. Vol 121.8.1995) đã so sánh, đánh giá các công thức (Công thức (1) ÷ (7) ở phụ lục 1; Melville và Sutherland (1988); Hincu 1971; Breuser et al (1977); Shen et al (1967); Lauren và Toch (1956); Jain và Fisher (1979)). Phân tích chỉ ra trong phạm vi thay đổi của h/b : ($< 0,5$; $0,5 \div 1,0$; $1,0 \div 1,5$; $1,5 \div 2,0$; $2,0 \div 3,0$ và $> 3,0$); $Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}}$: ($< 0,1$; $0,1 \div 0,25$; $0,25 \div 0,5$; $0,5 \div 0,8$; $0,8 \div 1,0$ và > 1) tỉ số tốc độ

$\frac{v}{v_c}$ ($< 0,7$; $0,7 \div 0,9$; $0,9 \div 1,1$; $1 \div 1,1$; $1,1 \div 1,2$; $1,2 \div 2,0$; $2 \div 3$ và > 3) chỉ ra: mỗi công thức chỉ dự đoán xói h_c trong một phạm vi nhất định khá hẹp của quan hệ $\left(\frac{h}{b}; Fr; \frac{v}{v_c}\right)$; không có công thức nào thỏa mãn trong dải rộng. Có 227 giá trị/515 giá trị

xói cục bộ rơi vào phạm vi $0,25 < Fr < 0,5$ cho thấy Fr ít quan hệ với h_c ; công thức (5-14) phù hợp với Fr khá bé.

Gọi $\beta = h_{ct}/h_{cd}$ là tỉ số giữa chiều sâu xói cục bộ đo tích theo các công thức và đo thực tế thì giá trị trung bình $\bar{\beta}$ thường vượt lên khá hơn, nghĩa là xói thực tế nhỏ hơn tính.

Giá trị $\bar{\beta}_{max}$ tương ứng với h/b cho trong bảng 5.6.

Bảng 5.6

$\frac{h}{b}$	$< 0,5$	$0,5 \div 1,0$	$1,0 \div 1,5$	$1,5 \div 2,0$	$2,0 \div 3,0$	≥ 3
$\bar{\beta}_{max}$	3,7	2,99	3,29	2,42	2,86	2,15

Công thức Hincu cho giá trị nhỏ nhất trong tất cả các trường hợp, bằng 0,85 (khi $1,5 \leq h/b \leq 2,5$) và bằng 2,11 (khi $h/b < 0,5$).

Đối với sự thay đổi của Fr thì $\bar{\beta}_{max}$ cho trong bảng 5.7.

Bảng 5.7

Fr	< 0,1	0,1 ÷ 0,25	0,25 ÷ 0,5	0,5 ÷ 0,8	0,8 ÷ 1,0	≥ 1
$\bar{\beta}_{\max}$	2,84	2,87	3,18	3,19	3,9	2,73

Công thức Breusers et al (1977) cho $\bar{\beta}$ nhỏ nhất và thay đổi từ 1,2 ($Fr \geq 1$) đến 2,26 ($Fr < 0,1$).

Đối với thay đổi của tốc độ v/v_c giá trị $\bar{\beta}_{\max}$ trong bảng 5.8.

Bảng 5.8

v/v_c	< 0,7	0,7 ÷ 0,9	0,9 ÷ 1,0	1,0 ÷ 1,1	1,1 ÷ 1,2	1,2 ÷ 2,0	2 ÷ 3	≥ 3
$\bar{\beta}_{\max}$	4,1	5,79	3,35	2,98	3,2	3,40	3,48	2,87

Giá trị $\bar{\beta}$ nhỏ nhất rơi vào công thức Breusers (1977) từ 0,09 ($v/v_c < 0,7$) đến 2,16 ($v/v_c = 1,2 \div 2,0$).

Sự thay đổi giá trị của $\bar{\beta}$ không thống nhất với sự thay đổi của ba thông số $\left(\frac{h}{b}; Fr \text{ và } \frac{v}{v_c}\right)$. Thí dụ công thức Laursen cho $\bar{\beta}_{\max} = 4,85 \left(\frac{v}{v_c} = 0,7 - 0,9\right); = 2,87$ ($0,8 \leq Fr < 1$); $= 2,91 \left(\frac{h}{b} < 0,5\right)$ hay $= 2,73$ đến $2,87$ ($1,0 \leq \frac{h}{b} \leq 1,5$).

Ngoài ra trên cơ sở 105 số liệu đo xói thực tế và 150 số liệu trong phòng thí nghiệm Belikov và Tsylin (1988) đã phân tích 6 công thức ở phụ lục 1 ((8) ÷ (13); Juravlev; Tsylin; Altunin; và công thức liên quan đến số Froude) đồng thời tính sai số tương đối.

$$\Delta = \frac{h_{cl} - h_{cd}}{h_{cd}} \text{ và } \delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum \Delta^2}$$

kết quả chỉ ra tất cả các công thức đều cho $\Delta_{\min} = (-50 \div -70)\%$; $\Delta_{\max} = (55 \div 120)\%$ và $\delta = (21 \div 33)\%$.

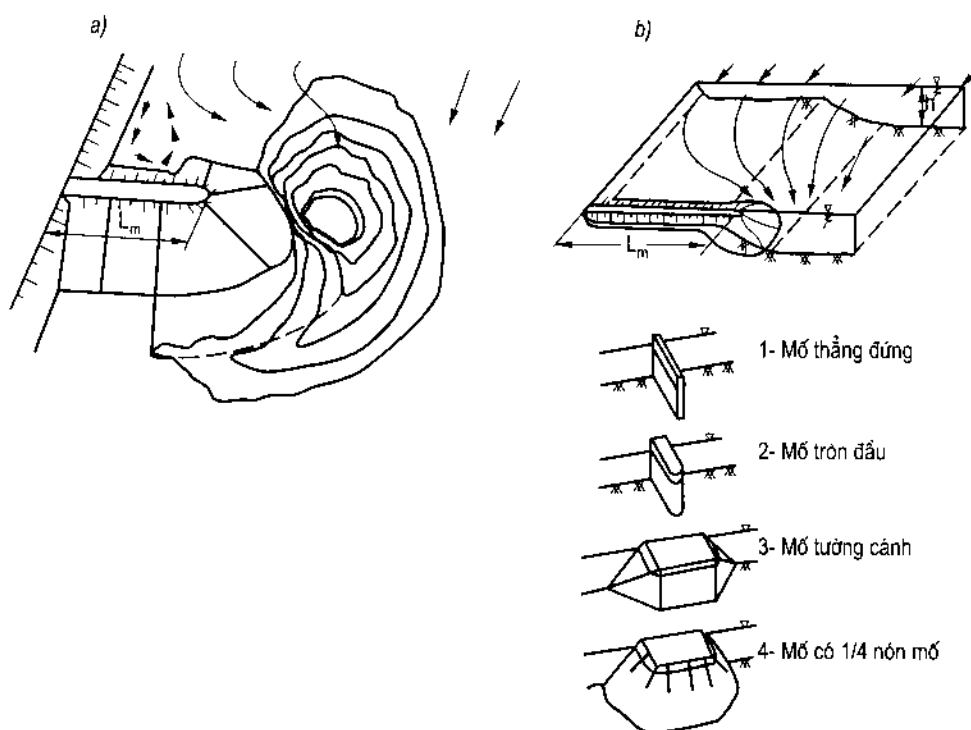
Tóm lại các phân tích chỉ ra không một công thức nào thoả mãn số liệu thực tế trong dài rộng bởi vì sự diễn biến dòng chảy tự nhiên quá phức tạp, diễn biến này phụ thuộc chủ yếu vào sự diễn biến lưu lượng $Q = Q(t)$; vào địa chất và khả năng cấp bùn cát của lưu vực; ngoài ra còn phải kể đến hoạt động của con người. Sự dự đoán biến dạng chung khi dòng chảy bị thu hẹp bởi cầu chưa phản ánh đầy đủ sự diễn biến của bùn cát trong khu vực ảnh hưởng của khẩu độ cầu. Sự dự đoán xói cục bộ phụ thuộc vào tốc độ dòng chảy, chiều rộng trụ, hình dạng trụ, chiều sâu dòng chảy, hướng dòng chảy, tính chất và kích cỡ vật liệu đáy sông đặc biệt đối với khu vực ảnh hưởng của trụ và chân trụ hình như chưa phát hiện chính xác quá trình xói và giá trị xói lớn nhất. Ngoài việc ba loại xói

tác động đồng thời mà trong tính hiện thời lại tách riêng còn phải kể đến các giả thiết đưa vào tính chưa phản ánh đúng điều kiện cụ thể của bài toán xói là diễn biến không gian. Hơn nữa, số liệu đo xói thực tế cũng chưa thể xác định chính xác và phản ánh đúng hoàn toàn thực tế diễn biến xói tại chân trụ cầu, do vậy bài toán này cần được tiếp tục nghiên cứu chi tiết và đầy đủ hơn sao cho phản ánh được đúng bản chất của xói (trụ cầu) trong tự nhiên nhằm giảm thiểu rủi ro có thể xảy ra song lại hiệu quả cao về kinh tế.

5.7. XÓI CỤC BỘ TẠI MỐ CẦU

5.7.1. Nhận xét chung

Cũng như trụ cầu, mố cầu là một vật cản cản trở, thu hẹp dòng chảy, thay đổi cấu trúc cục bộ dòng chảy xung quanh mố, làm biến dạng cục bộ địa hình đáy sông tại đầu mố, hình thành hố xói cục bộ, gây mất ổn định mố nếu mố không được đặt đủ sâu để phòng ngừa xói cục bộ. Dòng chảy đến mố, tăng tốc và tách khỏi mặt trước mố, tạo ra dòng xoáy xuôi dòng gần như vuông góc với mố, tạo ra hố xói ở đầu mố. Cơ chế xói để hình thành hố xói là hệ thống xoáy kết hợp với dòng chảy dọc mặt trụ xuống đáy, là kết quả của sự thay đổi áp suất, của sự tách dòng ở mặt trước trụ mà chủ yếu ở vùng sát đáy dòng chảy. Dòng đứng dọc theo mặt trụ tác dụng xuống đáy, xói các hạt bùn cát bật lên để dòng xoáy cuốn theo và đẩy xuôi dòng. Vậy nguyên nhân chủ yếu gây xói là sự thay đổi



Hình 5.16: Sơ đồ dòng chảy và đường cùng độ xói, 4 loại mố thông dụng

áp suất, mạch động áp suất, tốc độ, tính chất rối của dòng chảy (hình thành, phân tán và suy yếu), dòng đứng dọc theo mặt trụ xuống đáy và hệ thống xoáy ở mặt trước chân mố. Hố xói có dạng hình côn ngược ở đầu mố tương tự như đối với trụ và kê ngang. Xói cục bộ tại mố là một trong ba loại xói tại công trình cầu, có vai trò quan trọng khi xác định cao độ đặt móng mố, đặc biệt đối với vùng địa chất mềm yếu, dễ bị xói và có tầng đá gốc nằm sâu so với đáy dòng chảy. Xói mố cầu còn là một bài toán phức tạp với kỹ sư cầu mặc dù vấn đề đã được nghiên cứu khá lâu có thể từ những năm 1873 (Durand - Claye - người Pháp), các công thức chủ yếu rút ra từ số liệu trong phòng thí nghiệm và được kiểm tra lại thông qua một số ít số liệu đo xói hiện trường. Xói cục bộ chủ yếu là xói nước trong vì mố thường đặt ở bãi sông, song cũng có xói nước đục khi lòng sông mở rộng ra toàn cầu hay tốc độ dòng chảy đủ lớn luôn cuốn theo bùn cát đáy trong quá trình chuyển động. Nhìn chung xói cục bộ mố phụ thuộc vào mức độ thắt hẹp dòng chảy, bản chất của dòng chảy đến mố, đặc biệt là khu vực chịu ảnh hưởng của mố, thông số Froude của dòng chảy, hình dạng mố và chiều dài mố kéo dài, chiều sâu dòng chảy, cỡ hạt và thành phần hạt tính chất đất cấu tạo đáy dòng chảy cũng như sự tương tác của quá trình xói với ổn định mái dốc hố xói.

5.7.2. Một số công thức

a) T. Đ. Nghiên

Nghiên cứu chỉ ra xói cục bộ có thể bị ảnh hưởng của một số thông số như:

(1) Chất lỏng: ρ , ν , g trong đó ρ là khối lượng riêng của nước, kg/m^3 ; ν là hệ số nhớt động, tại $t^\circ = 20^\circ\text{C}$ thì $\nu \approx 1,01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; g là gia tốc trọng lực bằng $9,81 \text{ m/s}^2$.

(2) Địa chất đáy sông: ρ_s , d_{50} và cấp phối hạt, hình dạng hạt, mức độ dính kết của đất; trong đó khối lượng riêng $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$; d_{50} là đường kính hạt mà hạt có đường kính nhỏ hơn chiếm 50% trọng lượng.

(3) Mố cầu: Hình dạng mố, chiều dài mố kéo dài tới bờ sông L_m , góc nghiêng của đường đầu cầu so với hướng chảy của sông, điều kiện mặt mố và hình thức chống xói.

(4) Dòng chảy: h_{th} , V_l , n_l , hình dạng mặt cắt ngang; trong đó h_{th} là chiều sâu dòng chảy ở thượng lưu mố sau xói chung; V_l - tốc độ trung bình dòng chảy ở thượng lưu mố sau xói chung; n_l là độ nhám bãi sau xói chung. Đối với đáy phẳng, chiều sâu xói lớn nhất đối với xói nước trong và xói cân bằng đối với xói nước đục thì chiều sâu xói cục bộ h_c phụ thuộc vào 12 thông số:

$$h_c = f_1(\rho, \rho_s, V_l, \nu, g, h_{th}, d_{50}, \sigma_g, L_m, sh_d, sh_m, sh_a) \quad (5-37)$$

trong đó: sh_d , sh_m và sh_a - hệ số hình dạng của hạt, của mố và của mặt cắt ngang ở thượng lưu mố.

Tốc độ khởi động của hạt thông qua số Reynolds của hạt:

$$Re_{*c} = \frac{u_{*c} d_{50}}{\nu}$$

trong đó u_{*c} - tốc độ động lực tương ứng với trạng thái khởi động của hạt.

Tốc độ khởi động của hạt tại mỗi khi mặt cắt thượng lưu ổn định và hạt đồng nhất có thể ở dạng rút ra từ lý thuyết thứ nguyên và tương tự là:

$$Re_{*c} = f_2(Ar_d, Ga_L, \frac{L_m}{h_{th}}, \text{hình dạng mố}) \quad (5-38)$$

trong đó: $Ar_d = \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) g \frac{d_{50}^3}{\nu^2} = \frac{\Delta g d_{50}^3}{\nu^2}$ là tiêu chuẩn Acximet;

$$Ga_L = \frac{g L_m^3}{\nu^2} \text{ là tiêu chuẩn Galilê;}$$

$$\frac{L_m}{h_{th}} - \text{chiều dài tương đối của mố.}$$

Biểu thức (5-38) cho phép rút ra biểu thức hay biểu đồ đối với một số loại mố nhất định tương ứng với L_m/h_{th} , Ga_L và Ar_d . Đối với một loại mố nhất định, bỏ qua vai trò của nó trong khu vực tự động mô hình, kết hợp Ar_d với Re_*^2 thì (5-38) được viết là:

$$Re_{*c} = Ar_d^{0,5} f_3 \left(Ga_L, \frac{L_m}{h_{th}} \right) \quad (5-39)$$

Từ (5-39) cho phép tìm được u_{*c} đối với sự khởi động của hạt tại chân mố. Tốc độ khởi động của hạt có thể được xác định gần đúng bằng công thức theo quy luật logarit:

$$V_{cm} = 5,75 u_{*c} \lg \left(5,53 \frac{h_{th}}{d_{50}} \right) \quad (5-40)$$

Xói cục bộ đối với xói nước trong ($V_\infty \leq V_c$) và diễn biến xói nước đục ($V_\infty \geq V_c$); trong đó V_∞ là tốc độ dòng chảy ở vùng thượng lưu không bị ảnh hưởng của mố.

Hạt ổn định trong hố xói khi tốc độ dòng chảy đạt tới tốc độ không xói của hạt trong hố xói (xói nước trong); trong điều kiện lưu lượng không đổi ta có:

$$V_{cm} h_{th} + \frac{V_{cm} h_c}{k} = V_\infty h_{th} \quad (5-41)$$

trong đó:

V_{cm} - tốc độ ngừng xói trong hố xói;

h_c - chiều sâu xói cục bộ lớn nhất trong hố xói tính từ cao độ đáy sau xói chung;

k - hệ số tỉ lệ phụ thuộc vào tiêu chuẩn xác định xói.

Từ (5-41) cho phép viết:

$$\frac{h_c}{h_{th}} = k \left(\frac{V_\infty}{V_{cm}} - 1 \right) \quad (5-42)$$

Khi $\frac{V_\infty}{V_{cm}} \leq 1$ ta có xói nước trong và chiều sâu xói tương đối:

$$\frac{h_c}{h_{th}} = \varphi \left[\left(\frac{V_\infty}{V_{cm}} - 1 \right), Ar_d, Ga_L, \frac{L_m}{h_{th}}, \text{hình dạng mố} \right] \quad (5-43)$$

Xói nước trong đạt giá trị lớn nhất phù hợp với dòng chảy bắt đầu tải cát thì có $V_\infty = V_c \approx V_{cm}$. Xói nước đục khi $V_\infty > V_c$ và V_{cm} , biểu thức (5-43) phải kể đến các thông số đặc trưng cho kích thước và hình dạng sóng cát. Khi thiếu số liệu thí nghiệm thì có thể lấy $V_{cm} = V_c$.

Xói nước đục khi đạt được trạng thái cân bằng động của bùn cát trong hố xói thì biểu thức xói cục bộ tương đối là:

$$\frac{h_c}{h_{th}} = \varphi_1 \left(\frac{V_\infty}{V_{cm}}, Ar_d, Ga_L, \frac{L_m}{h_{th}}, \text{hình dạng mố} \right) \quad (5-44a)$$

$$\frac{h_c}{L_m} = \varphi_2 \left(\frac{V_\infty}{V_{cm}}, Ar_d, Ga_L, \frac{L_m}{h_{th}}, \text{hình dạng mố} \right) \quad (5-44b)$$

Phân tích số liệu thí nghiệm của 12 tác giả từ (1963 - 1994). T. Đ. Nghiên đã kiến nghị công thức rút ra từ số liệu thí nghiệm cho từng loại mố riêng biệt khi sử dụng biểu thức (5-43) là:

$$\frac{h_c}{h_{th}} = 1,38 \left(\frac{L_m}{h_{th}} \right)^{0,63} \quad \text{cho mố thẳng đứng vuông đầu} \quad (5-45)$$

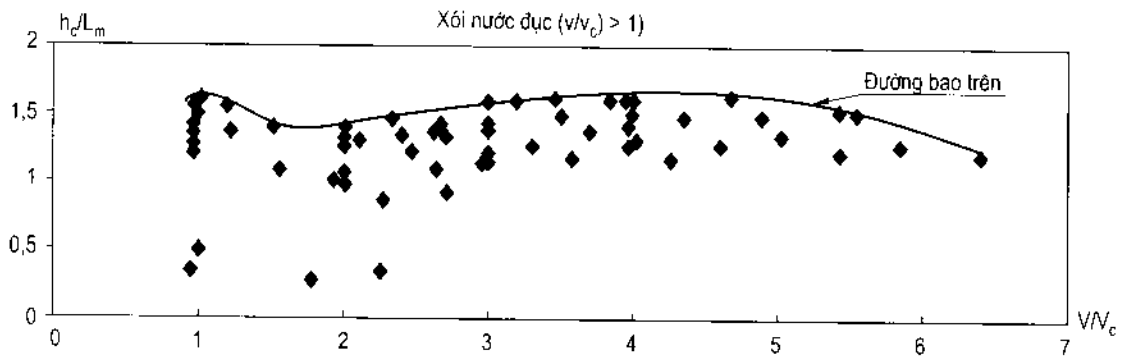
$$\frac{h_c}{h_{th}} = 1,18 \left(\frac{L_m}{h_{th}} \right)^{0,52} \quad \text{cho mố thẳng đứng tròn đầu} \quad (5-46)$$

$$\frac{h_c}{h_{th}} = 1,03 \left(\frac{L_m}{h_{th}} \right)^{0,59} \quad \text{cho mố tường cánh} \quad \frac{L_m}{h_{th}} \leq (0,75 \div 20,4) \quad (5-47a)$$

$$\frac{h_c}{h_{th}} = 0,078 \left(\frac{L_m}{h_{th}} \right) + 4,26 \quad \text{cho mố tường cánh có} \quad \frac{L_m}{h_{th}} = (19,6 \div 69) \quad (5-47b)$$

$$\frac{h_c}{h_{th}} = 0,25 \left(\frac{L_m}{h_{th}} \right) + 0,64 \quad \text{cho mố có 1/4 nón mố} \quad (5-48)$$

Xói nước đục diễn biến phức tạp, phụ thuộc vào hình dạng đáy. Nhìn chung xói giảm trong phạm vi $\frac{v}{v_c} \approx 1,6 \div 2,0$ và tăng xấp xỉ bằng h_{cmax} của xói nước trong khi $\frac{v}{v_c} \approx 3 \div 4,5$. Kết quả thí nghiệm chỉ ra trong đồ thị ở hình 5.17.



Hình 5.17: Thay đổi h_c/L_m theo v/v_c đối với mố tường cằng

b) Công thức Laursen (1960, 1963) cho xói nước trong (sau khi sử dụng xấp xỉ thông qua hàm nhệ thức):

$$h_c = 1,93\sqrt{h_{th}L_m} \quad (5-49a)$$

hay:
$$\frac{h_c}{h_{th}} = 1,93\left(\frac{L_m}{h_{th}}\right)^{0,5} \quad (5-49b)$$

và Laursen (1980) cho xói nước đục đối với mố thẳng đứng:

$$\frac{h_c}{h_{th}} = 1,5\left(\frac{L_m}{h_{th}}\right)^{0,48} \quad (5-49c)$$

Mố tường cánh 45° cần nhân với 0,9; mố có 1/4 nón cần nhân với 0,8 vào kết quả tính.

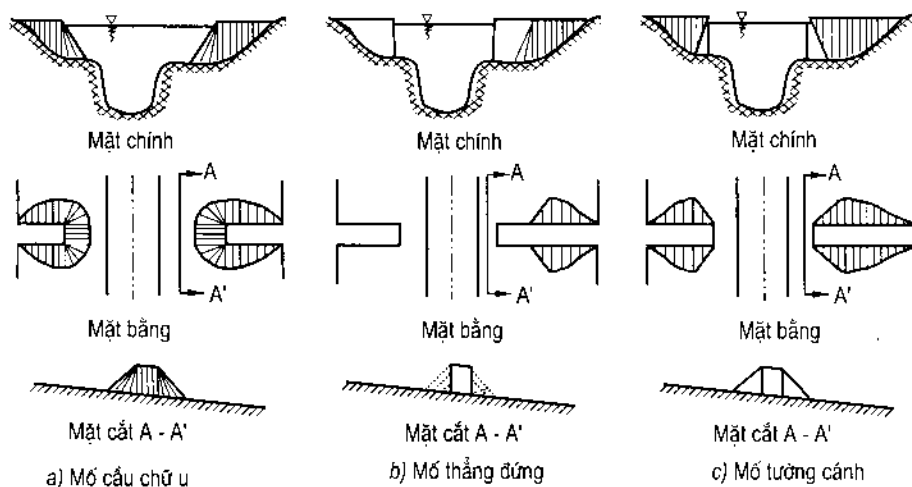
c) Công thức Froehlich (1989) từ 164 thí nghiệm của 11 nguồn khác nhau cho xói nước trong:

$$\frac{h_c}{h_{th}} = 0,78K_sK_\theta\left(\frac{L_m}{h_{th}}\right)^{0,63}F_{th}^{1,16}\left(\frac{h_{th}}{d_{50}}\right)^{0,43}\sigma_g^{-1,87}+1 \quad (5-50)$$

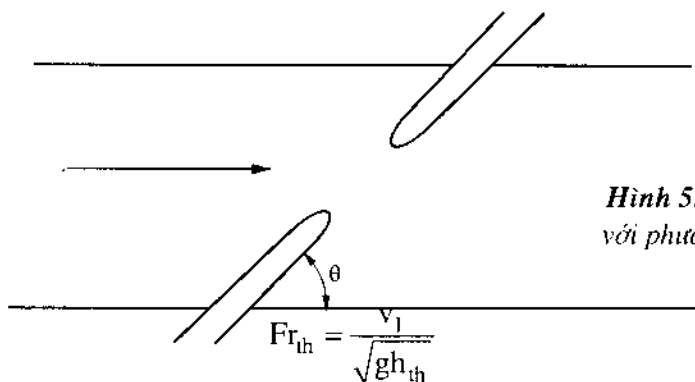
trong đó:

K_s - hệ số hình dạng mố và đường đầu cầu ($K_s = 1$ cho mố thẳng đứng; $K_s = 0,82$ cho mố tường cánh và $K_s = 0,55$ cho mố có 1/4 nón mố);

K_θ - hệ số nghiêng của đường đầu cầu, $K_\theta = \left(\frac{\theta}{90^\circ}\right)^{0,13}$; $0^\circ < 90^\circ$ khi đường đầu cầu nghiêng về hạ lưu; $\theta > 90^\circ$ khi nghiêng về thượng lưu.



Hình 5.18: Hình dạng mố cầu



Hình 5.19: Mố cầu nghiêng với phương chảy góc θ

Đối với xói nước đục Froehlich phân tích 170 số liệu đo xói trong phòng thí nghiệm đề nghị phương trình:

$$\frac{h_c}{h_{th}} = 2,27K_s K_0 \left(\frac{L'}{h_{th}} \right)^{0,43} Fr^{0,61} + 1 \quad (5-51)$$

trong đó:

L - hình chiếu của mố kéo dài lên mặt phẳng vuông góc với hướng dòng chảy;

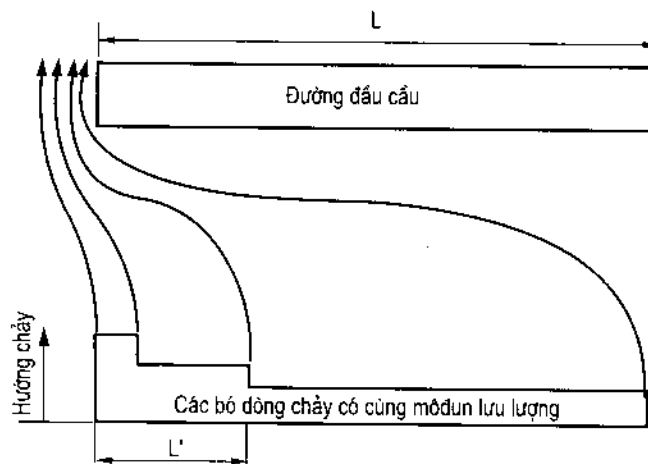
L' - chiều dài dòng chảy hiệu quả gây xói do L_m gây ra được xác định theo hình 5.20.

Ảnh hưởng của thành phần hạt đến xói đã được nêu trong báo cáo tổng hợp của T. Paul Teng, P. E (FHWA. 6.2003). Xét xói mố đã sử dụng chiều dài đặc trưng ảnh hưởng của toàn bộ khu vực chặn dòng ở thượng lưu mố.

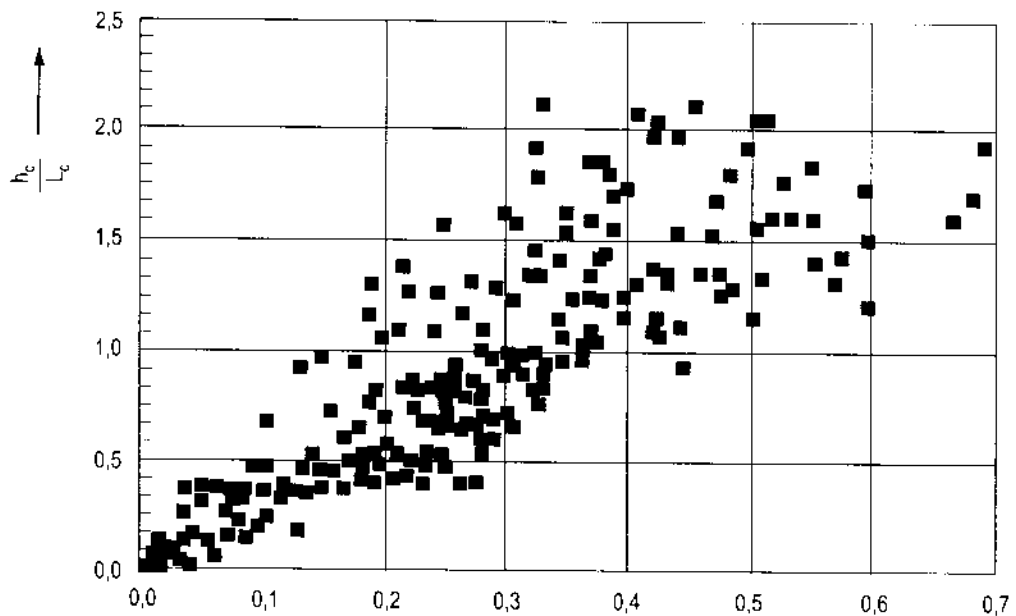
$$L_c = \sqrt{L_m \bar{h}} \quad (5-52)$$

trong đó: L_m - chiều dài mố kéo dài;

$\bar{h}$ - chiều sâu trung bình của dòng chảy ở thượng lưu mố tương ứng với L_m .



Hình 5.20: Sơ đồ định nghĩa chiều dài mở kéo dài để tính xói tại mố cầu



Hình 5.21: Sơ đồ thay đổi chiều sâu xói tương đối tại mố cầu phụ thuộc vào thông số ϕ_j của tốc độ

Cường độ dòng chảy:

$$\phi_j = \frac{V_j - V_i}{V_c} \quad (5-53)$$

trong đó: V_j - tốc độ trung bình của dòng chảy đến mố;

V_c - tốc độ tới hạn làm đáy chuyển động;

V_i - tốc độ khởi động của hạt ở đầu mố.

Tốc độ V_c xác định theo Neill:

$$V_c = 1,58 (\Delta g d_{50})^{1/2} \left(\frac{h_x}{d_{50}} \right)^{1/6} \quad (5-54)$$

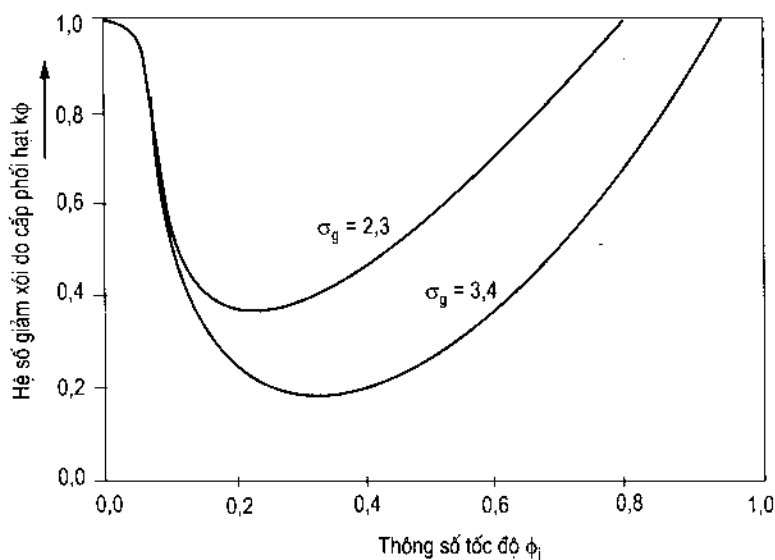
$$V_i = 0,4V_c; \quad \Delta = 1,65, \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2.$$

Đối với dòng chảy không đều hạt phải thay d_{50} bằng d_{90} (Abdou). Kết quả sau 7 năm nghiên cứu (1991 - 1996) với 384 trường hợp đã đề nghị biểu thức dự đoán xói với cát đều hạt cho xói nước trong:

$$\frac{h_c}{L_c} = K_\phi \phi_j \quad (5-55)$$

trong đó:
$$K_\phi = 3,75 - 0,41 \left(\frac{L_m}{h_x} \right). \quad (5-56)$$

Đối với cát không đều hạt ở xói nước trong cần bổ sung hệ số điều chỉnh K_s . Tập hợp các kết quả thí nghiệm đối với $d = 0,78\text{mm}$ và $1,8\text{mm}$ hình thành đường cong trơn cho trong hình:



Hình 5.22: Giảm xói do cấp phối hạt K_ϕ

Ảnh hưởng của cấp phối hạt đến xói thông qua K_{15} tương ứng với d_{15} . Những hạt thô nhất chiếm 15% trọng lượng có vai trò giảm xói rất lớn. Kết quả thí nghiệm cho phương trình:

$$\frac{h_c}{L_c} = K_n K_0 K_{15} K_\phi \phi_j \quad (5-57)$$

K_n - hệ số hình dạng mố ($K_n = 1,0$ cho mố thẳng đứng; $K_n = 0,82$ cho mố tường cánh; $K_n = 0,55$ cho mố có 1/4 nón mố).

$$K_{\theta} = \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0,13};$$

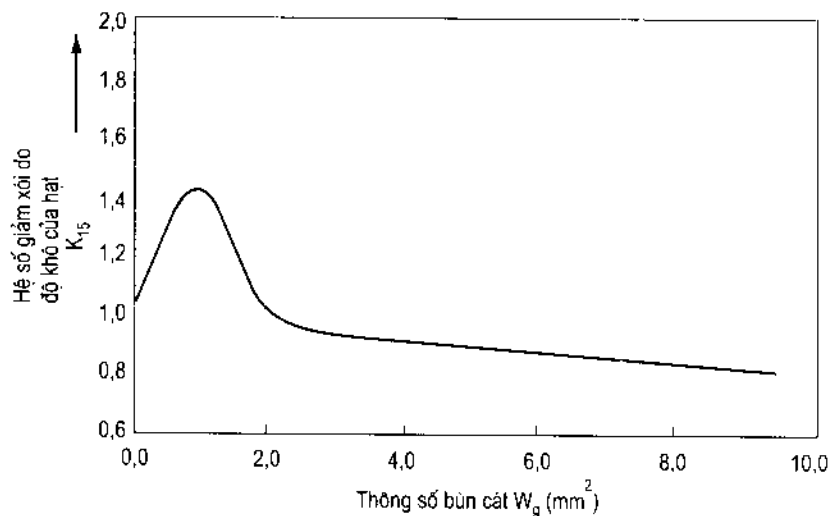
K_{ϕ} theo (5-56);

ϕ_j theo (5-53).

K_{15} theo đề nghị của Abdeldayem liên quan đến hệ số trọng lượng hạt W_g .

$$K_{15} = f(W_g); \quad W_g = \sum_{j=85}^{j=100} p_j (d_j)^2 \quad (5-58)$$

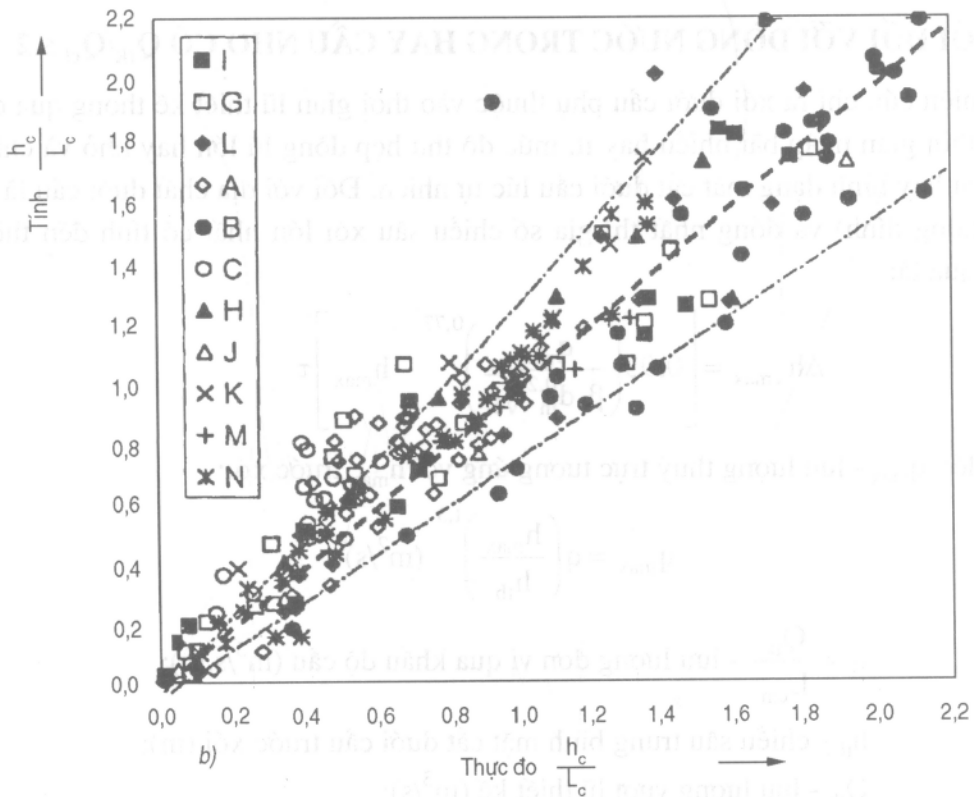
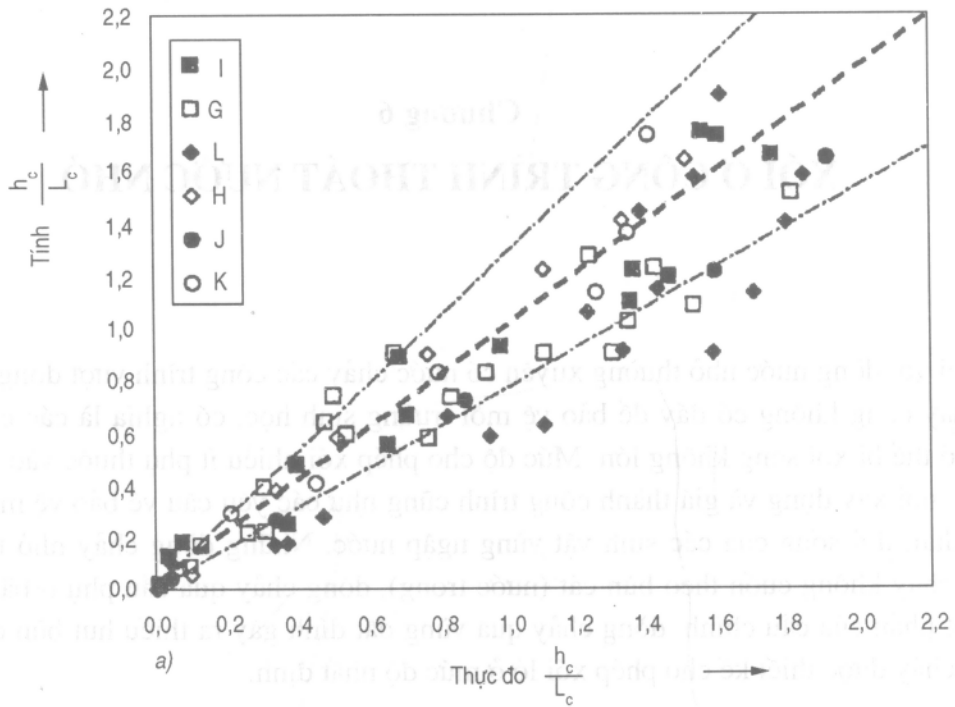
K_{15} xác định theo biểu đồ ở hình 5.23:



Hình 5.23: Giảm xói do hạt thô, K_{15}

Phân tích chỉ ra kết quả tính theo (5-55) và (5-57) khá phù hợp với kết quả thí nghiệm (hình 5.21a, b), đồng thời hai phương trình được áp dụng cho $0,3 < \frac{h_x}{L_m} < 3,0$, tức là chiều dài mố không dài.

Trong biểu thức (5-51) chiều dài mố kéo dài hiệu quả L' được rút ra từ thí nghiệm bằng 2/3 mô đun lưu lượng của phần dòng bãi bị đường đắp không ngập chặn lại. Giá trị của nó được xác định thông qua biểu đồ mô đun lưu lượng K với khoảng cách dọc theo đường mố kéo dài (hình 5.20).



Hình 5.24: So sánh xói tại mố theo công thức và thực đo trong máng thí nghiệm
a) Hỗn hợp cát đều hạt; b) Hỗn hợp cát không đều hạt.

Chương 6

XÓI Ở CÔNG TRÌNH THOÁT NƯỚC NHỎ

Đối với dòng nước nhỏ thường xuyên có nước chảy các công trình vượt dòng có thể là cầu hay cống không có đáy để bảo vệ môi trường sinh học, có nghĩa là các công trình này có thể bị xói song không lớn. Mức độ cho phép xói nhiều ít phụ thuộc vào điều kiện cụ thể nơi xây dựng và giá thành công trình cũng như các yêu cầu về bảo vệ môi trường sinh thái, đời sống của các sinh vật vùng ngập nước. Những dòng chảy nhỏ thường là dòng chảy không cuốn theo bùn cát (nước trong), dòng chảy qua cầu phụ ở bãi sông và là một phần của cầu chính, dòng chảy qua vùng đất dính gây ra thiếu hụt bùn cát là các dòng chảy được thiết kế cho phép xói lở ở mức độ nhất định.

6.1. XÓI ĐỐI VỚI DÒNG NƯỚC TRONG HAY CẦU NHỎ CÓ $Q_{tk}/Q_{ct} \leq 2$

Nghiên cứu chỉ ra xói dưới cầu phụ thuộc vào thời gian lũ thiết kế thông qua dài hay ngắn, thời gian ngập bãi nhiều hay ít, mức độ thu hẹp dòng lũ lớn hay nhỏ và chiều sâu lớn nhất hay hình dạng mặt cắt dưới cầu lúc tự nhiên. Đối với địa chất dưới cầu là hạt rời (đất không dính) và đồng nhất thì gia số chiều sâu xói lớn nhất có tính đến thời gian thông qua là:

$$\Delta h_{x\max} = \left[0,93 \left(\frac{q_{\max}}{\beta_* d_m^{0,2} \sqrt{g}} \right)^{0,77} - h_{\max} \right] \tau \quad (6-1)$$

trong đó: $q_{\max}$ - lưu lượng thủy trực tương ứng với $h_{\max}$ trước xói:

$$q_{\max} = q \left(\frac{h_{\max}}{h_{tb}} \right)^{1,3} \quad (m^2/s) \quad (6-2)$$

$q = \frac{Q_{tk}}{L_{cm}}$ - lưu lượng đơn vị qua khẩu độ cầu ($m^3/s.m$);

h_{tb} - chiều sâu trung bình mặt cắt dưới cầu trước xói (m);

Q_{tk} - lưu lượng vượt lũ thiết kế (m^3/s);

d_m - đường kính trung bình của hạt đất ở đáy lòng dẫn;

β_* - hệ số phụ thuộc vào xác suất vượt lũ p%; β_* cho trong bảng 6.1

Bảng 6.1

$p\%$	0,33	1,0	2,0	4,0	10	20
β_*	1,07	1,0	0,97	0,92	0,80	0,81

τ - hệ số tính đến thời gian lũ ngập bãi và mức độ thất hẹp dòng lũ do $L_{cm} < B_{lũ}$ (chiều rộng ngập lũ thiết kế) thông qua tỉ số Q_{tk}/Q_{ct} , Q_{ct} là lưu lượng dòng chảy qua cầu tương ứng với L_{cm} và mực nước lũ thiết kế (lưu lượng lũ ứng với chiều dài cầu giữa hai mép mố). τ được cho trong bảng 6.2.

Bảng 6.2

Q_{tk}/Q_{ct}	0,0835 (2h)	0,125 (3h)	0,25 (6h)	0,5 (12h)	1 (24h)	3 (72h)	10 (240h)	15 (360h)	30 (720h)	≥ 60 ($\geq 440h$)
1,2	0,86	0,87	0,79	0,90	0,91	0,93	0,95	0,96	0,98	1,0
1,5	0,72	0,74	0,76	0,78	0,81	0,85	0,90	0,93	0,97	1,0
1,8	0,59	0,61	0,64	0,68	0,72	0,79	0,87	0,90	0,96	1,0
2,1	0,49	0,51	0,56	0,60	0,66	0,74	0,84	0,88	0,95	1,0
2,5	0,45	0,47	0,52	0,56	0,62	0,71	0,82	0,87	0,94	1,0
3,0	0,38	0,41	0,46	0,49	0,55	0,65	0,79	0,84	0,92	0,99
5,0	0,23	0,27	0,32	0,35	0,42	0,52	0,71	0,77	0,88	0,97

6.2. DÒNG CHẢY DƯỚI CẦU BỊ THIẾU HỤT BÙN CÁT (ĐẤT DÍNH) HAY $Q_{tk}/Q_{ct} > 2,0$

Trường hợp này gia số chiều sâu xói lớn nhất được xác định theo công thức:

$$\Delta h_{x \max} = \Delta h \frac{h_{\max}}{h_{tb}} \quad (6-3)$$

trong đó: Δh - gia số xói chung dưới cầu có tính đến thời gian thông qua lũ. Đối với địa chất cùng loại, đồng nhất và không dính:

$$\Delta h = h_{tb} \left[1 + 1,88 \times 10^3 \left(\frac{d}{h_{tb}} \right)^{2/3} \left(\frac{V_{cl}}{V_0} \right)^3 (V_{cl} - V_0) \frac{T}{X_0}^{6/25} - 1 \right] \quad (6-4)$$

Đối với đất dính:

$$\Delta h = h_{tb} \left[\left(1 + 11 \frac{V_{cl}^3}{gh_{tb}^2} T \sqrt{1 - \frac{V_0}{V_{cl}}} \right)^{1/5} - 1 \right] \quad (6-5)$$

trong đó: L_0 - khoảng cách từ cầu đến vị trí nước dâng trước cầu:

$$L_0 = av \sqrt{\frac{L_{ng}}{gS_w}} \quad (6-6)$$

$$a = 1,15 \left(\frac{Q_{tk}}{Q_{ct}} \right)^{2/3} - 0,8 \left(\frac{Q_{tk}}{Q_{ct}} \right) \frac{v}{\sqrt{gL_{ng}S_w}} \quad (6-7)$$

trong đó: v - tốc độ trung bình mặt cắt tương ứng với lũ thiết kế trong điều kiện tự nhiên (chưa bị thu hẹp do làm cầu).

S_w - độ dốc mặt nước lũ tự nhiên.

Chiều rộng ngập lũ trước cầu L_{ng} :

$$L_{ng} = B_l + \left(1 + \sqrt{\frac{n_l}{n_b}} \right) B_b \left(\frac{Q_l}{Q_b} \right)^y \quad (6-8)$$

trong đó: B_l, B_b - chiều rộng lòng sông và bãi sông;

Q_l, Q_b - lưu lượng lòng sông và bãi sông;

n_l, n_b - hệ số nhám ở lòng và bãi sông

$$y = \frac{2n_l}{n_b}$$

T - thời gian ngập bãi tính theo ngày đêm.

h_{tb}, v_{cl} trong (6-4) và (6-5) là chiều sâu trung bình và tốc độ dòng chảy trung bình dưới cầu trước xói;

V_0 - tốc độ không xói của hạt đất.

Gia số xói xác định theo (6-4) và (6-5) không được vượt quá gia số xói giới hạn.

(1) Đối với đất không dính:

$$\Delta h_{xgh} = \frac{0,9}{d^{0,2}} \left(\frac{q_{\max}}{\sqrt{g}} \right)^{0,8} - h_{tb} \quad (6-9)$$

(2) Đối với đất dính:

$$\Delta h_{xgh} = \left(\frac{\varepsilon q_{\max}}{\sqrt{0,054 + 100C_p}} \right)^{6/7} - h_{tb} \quad (6-10)$$

trong đó: $\varepsilon = 1,0$ khi dòng chảy là nước trong;

$\varepsilon = 1,16$ khi dòng chảy có cuốn theo bùn cát (nước đục);

C_p - lực dính tính toán có đơn vị là MPa.

6.3. CẦU ĐẶT Ở BÃI SÔNG

Gia số xói chung dưới cầu xác định theo công thức (6-11) cho đất rời:

$$\Delta h = h_{tb} \left\{ \left[1 + 1,28 \cdot 10^3 \left(\frac{d}{h_{tb}} \right)^{2/3} \left(\frac{V_{\max}}{V_0} \right)^3 (V_{\max} - V_0) \frac{T}{X_0} \right]^{12/17} - 1 \right\} \quad (6-11)$$

Đối với đất dính:

$$\Delta h = h_{tb} \left[\left(1 + 4,3 \frac{V^3}{gh_{tb}^2} \sqrt{1 - \frac{V_0}{V_{\max}}} T \right)^{1/2} - 1 \right] \quad (6-12)$$

trong đó: $V_{\max}$ - tốc độ lớn nhất của dòng chảy dưới cầu tại đỉnh lũ;

V_0 - tốc độ không xói đối với hạt đất đáy sông;

$$V_{\max} = \varphi \sqrt{2g\Delta Z} \quad (6-13)$$

$\varphi = 0,75$; ΔZ - bậc nước ở thượng và hạ lưu cầu.

$$\Delta Z = \eta \frac{V_{ca*}^2}{2g} \quad (6-14)$$

$$\eta = 6,25 \lg \alpha + 0,25 \quad (6-15)$$

$$\alpha = 2g \frac{n_l^2}{h_{tbl}^{4/3}} L_{ng} \quad (6-16)$$

Khi giá trị $\alpha = 1,75$ thì lấy $\eta = 1,77$.

trong đó: h_{tbl} - chiều sâu trung bình ở lòng sông;

n_l - nhám lòng sông;

L_{ng} - chiều rộng ngập lũ.

V_{ca*} - tốc độ trung bình của dòng chảy dưới cầu có tính đến xói tại thời điểm nước dâng cao nhất, được xác định gần đúng theo (6-17):

$$V_{ca*} = \frac{Q_{lk}}{\omega_{ca} \left[1 - \left(\frac{h_{\max*}}{h_{\max}} - 1 \right) j \right]} \quad (6-17)$$

ω_{ca} - diện tích mặt cắt dòng chảy dưới cầu trước xói.

$h_{\max*}$, $h_{\max}$ - chiều sâu sau xói lớn nhất và trước xói lớn nhất ở dòng chảy dưới cầu.

j - hệ số tỉ lệ xói lấy bằng 0,25 khi thời gian ngập bãi $T \leq (10 \text{ ngày và bằng } 0,50 \text{ khi } T > 10 \text{ ngày})$.

Giá trị gia số xói lớn nhất tính theo (6-3).

6.4. XÓI CỤC BỘ TẠI MỐ CẦU CÓ 1/4 NÓN MỐ CHOÁN DÒNG CHẢY

Chiều sâu xói cục bộ tại mố tính từ cao độ sau xói chung:

$$h_c = \left(2 \frac{V_{th}}{V_0} - 0,8 \right) h_{th} k_m \quad (6-18)$$

trong đó: V_{th} - tốc độ dòng chảy tại thượng lưu mố trước khi tính:

$$V_{th} = C \sqrt{h_{th} \delta_d} \sqrt[4]{S_w S_{wc}} \quad (6-19)$$

$$C = \frac{1}{0,03} h_{th}^{1/6} \quad (\text{trong đó hệ số nhám } n = 0,03);$$

$$\delta_d = \frac{Q_{tk} - Q_{ct}}{Q_{tk}} \quad - \text{ hệ số thất hẹp lũ do đường đầu cầu.}$$

S_w, S_{wc} - độ dốc mặt nước lũ tự nhiên và trước cầu:

$$S_{wc} = \frac{\Delta Z}{L_0} \quad (6-20)$$

L_0 xác định theo (6-6);

Δz theo (6-14)

V_0 - tốc độ không xói phù hợp với nước dâng cao nhất ΔZ , tương ứng với chiều sâu h_{th} trước 1/4 nón mố.

K_m - hệ số giảm xói do mái dốc 1/4 nón mố, cho ở bảng 6.3.

Bảng 6.3

m	1,5	2,0	2,5
K_m	0,8	0,77	0,72

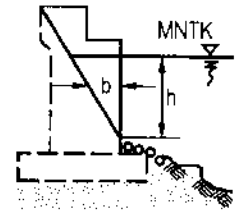
Tổng số xói tại chân 1/4 nón mố (giá số xói chung và xói cục bộ) có thể theo công thức:

$$\Sigma \Delta h = \left(2,4 \sqrt{\frac{0,9 V_{cl} - V_{ct}}{V_0}} - 0,8 \right) h_{th} \quad (6-21)$$

trong đó: V_{cl}, V_{ct} - tốc độ trung bình của dòng chảy dưới cầu trước xói và của dòng chảy tương ứng với khẩu độ cầu lúc tự nhiên. Nếu mố cầu không được phủ cả bằng 1/4 nón mố thì phần chiều rộng mố chắn dòng (hình 6.1) sẽ tạo ra xói và được xác định theo công thức:

(1) Khi $b/h_{\max} \geq 1$ thì:

$$\Delta h = \left[1,7 \left(\frac{b}{h} \right)^{1/6} \left(\frac{V_{ca}}{V_0} \right)^{2/3} - 1 \right] h_{\max} k_m \quad (6-22)$$



Hình 6.1

(2) Khi $b/h_{\max} < 1$ thì:

$$\Delta h = \left[1,7 \left(\frac{b}{h} \right)^{1/6} \left(\frac{V_{ca}}{V_0} \right)^{2/3} - 1 \right] b k_m \quad (6-23)$$

trong đó: b - chiều rộng trung bình dưới mực nước thiết kế của phần mố ngoài 1/4 nón mố.

6.5. BIẾN DẠNG DÒNG CHẢY SAU CỐNG

Cống thoát nước được sử dụng rất nhiều dạng khác nhau trong các hoàn cảnh khác nhau. Khi không có hệ thống phòng xói bảo vệ nền đất sau cống thì cống sẽ bị xói ngầm từ phía hạ lưu làm hỏng cống và ảnh hưởng đến sự ổn định của các công trình trên cống, đã được nhiều tác giả nghiên cứu: thí dụ như Bohan (1970) cho cống tròn có đường kính 68, 101 và 305mm; vật liệu đáy $d = 0,25\text{mm}$; chiều sâu hạ lưu h_h cho hai trường hợp là $\frac{h_h}{D} < 0,5$ và $\frac{h_h}{D} > 0,5$; dòng chảy đầy cống có $V = \frac{4Q}{\pi D^2}$ không có hệ thống phòng xói sau cống, kích thước hố xói tăng gần như là hàm của thời gian theo quan hệ $t^{0,1}$ (cho tới 5 giờ). Kích thước hố xói được xây dựng ở tọa độ log và ở dạng không đơn vị đối với:

$$\frac{h_x}{D} \sim \frac{V}{u_{*c}}; \quad \frac{B_x}{D} \sim \frac{V}{u_{*c}}; \quad \text{và} \quad \frac{L_x}{D} \sim \frac{V}{u_{*c}}$$

Ruff và các cộng sự (1982) thực hiện một tập các thí nghiệm trên máng rộng $(1,2 \div 6)\text{m}$ với vật liệu khác nhau từ cát đều hạt $d = 1,86\text{mm}$ đến cấp phối sỏi sạn ($d = 7,3\text{mm}$), cống có $D = (0,1 \div 0,44)\text{m}$ cho kết quả ít sai khác đối với chiều sâu xói lớn nhất khi $h_h < 0,45D$.

Abt và các cộng sự (1984) phân tích kết quả thí nghiệm của Ruff đối với $D = (0,102 \div 0,254)\text{m}$ và $h_h = 0,45D$; $d = (0,22 \div 7,30)\text{mm}$ cho hạt đều và cấp phối cho thấy:

$$Q^* = \frac{Q}{\sqrt{gD^5}} = \frac{\pi}{4} Fr$$

Trong phạm vi $0,27 < Fr < 2,7$ và $t = 5,3$ giờ thì các đại lượng không đơn vị của hố xói là hàm của Fr :

$$\frac{h_x}{D} = 1,52 Fr^{0,63}; \quad \frac{B_x}{D} = 7,44 Fr^{0,66}; \quad \frac{L_x}{D} = 15,6 Fr^{0,58} \quad (6-24)$$

Tính chất của đất không đều hạt ảnh hưởng đến xói thông qua σ_g , với phương trình rút ra từ số liệu thí nghiệm có hệ số tương quan $R = 0,83$ là:

$$\frac{h_x}{D} = 3,18 Fr^{0,57} \left(\frac{d_{50}}{D} \right)^{0,114} \sigma_g^{-0,4} \quad (6-25)$$

trong đó: $\sigma_g = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}}$

Theo Abt và cộng sự (1985) thì ảnh hưởng của độ dốc của cống (tối 10%) làm tăng chiều sâu xói lớn nhất đến 15% và chiều rộng, chiều dài xói là 25%. Để sử dụng trong thiết kế nên dùng công thức:

Chiều sâu xói tương đối:

$$\frac{h_x}{D} = 0,65 \left(\frac{V}{u_{*c}} \right)^{1/3} \quad (6-26)$$

Chiều rộng xói tương đối:

$$\frac{B_x}{D} = 7,5(Fr)^{2,3} \quad (6-27)$$

Chiều dài xói tương đối:

$$\frac{L_x}{D} = 15(Fr)^{2,3} \quad (6-28)$$

Sử dụng đường kính đá để phòng xói theo công thức Bohan:

$$\frac{d_s}{D} = 0,25Fr \text{ cho } \frac{h_h}{D} < 0,5 \quad (6-29)$$

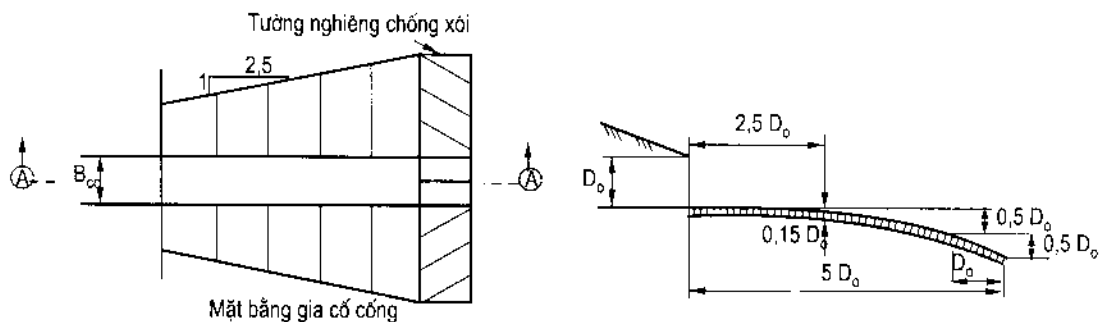
và
$$\frac{d_s}{D} = 0,25Fr - 0,15 \text{ cho } \frac{h_h}{D} > 0,5 \quad (6-30)$$

trong đó: d_s - đường kính đá gia cố.

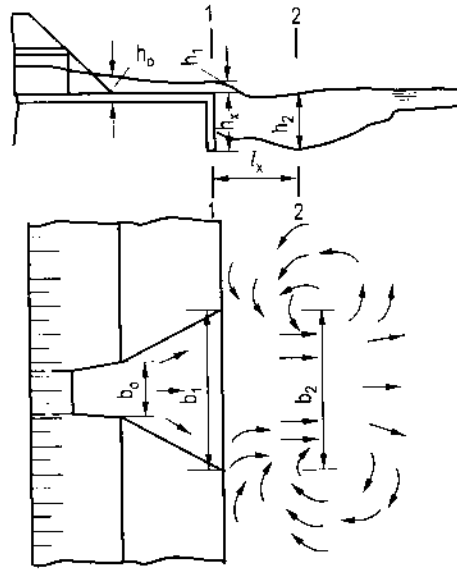
u_{*c} - rút ra từ biểu đồ Shields đối với vật liệu đáy dòng chảy sau cống.

Fletcher và Grace (1974) khuyên nên bảo vệ phòng xói sau cống suốt chiều dài cho trong hình 6.2.

Đối với cống qua đường nếu chiều dài gia cố không đủ sẽ xảy ra xói sau phần gia cố mà hố xói và cấu trúc dòng chảy được chỉ ra ở hình 6.3.



Hình 6.2: Gia cố sau cống theo chiều dài dòng chảy



Hình 6.3: Sơ đồ xói sau cống
(sau gia cố cứng)

Để tìm chiều sâu xói trung bình ở mặt cắt 2-2, áp dụng phương trình biến thiên động lượng cho thể tích kiểm tra giữa mặt cắt 1-1 và 2-2, ta có:

$$\rho Q_2 \beta_2 V_2 - \rho Q_1 \beta_1 V_1 = \frac{\gamma b_1 h_1^2}{2} + \frac{C_p \gamma b_2 h_x^2}{2} - \frac{\gamma b_2 h_2^2}{2} - T_f \quad (6-31)$$

trong đó: $Q_2 = V_2 b_2 h_2$;

$$Q_1 = V_1 b_1 h_1;$$

h_1, h_2 - chiều sâu dòng chảy ở cuối phần gia cố và trong hố xói;

C_p - hệ số giảm áp lực dưới dòng chảy so với áp lực thủy tĩnh từ phần gia cố vào hố xói.

T_f - lực ma sát của thể tích kiểm tra theo phương chảy:

$$T_f = \tau l_x b_2 = \frac{\gamma n^2 b_2 l_x V_2^2}{R^{1/3}}$$

trong đó: n - hệ số nhám;

$$R = h_2;$$

$$V_2 = \alpha_1 \alpha_2 u_{cb}.$$

Theo thí nghiệm chiều sâu dòng chảy tăng lên do xuất hiện 2 xoáy trục đứng, tạo ra hai hố xói có chiều sâu lớn hơn chiều sâu giữa hai hố xói, không phụ thuộc vào độ thô vật liệu đáy, hình dạng mặt cắt lòng dẫn và hình dạng cống. Khi chiều dài gia cố tăng thì sự khác biệt chiều sâu xói giảm đi. Do có xoáy bên nên lưu lượng $Q_2 > Q_1$ và bằng μQ_1 . Hệ số tăng lưu lượng μ xác định theo công thức thực nghiệm:

$$\mu = \sqrt[3]{\frac{h_2}{h_1} \sqrt{\frac{B}{b_1}}} \quad (6-32)$$

trong đó: $\left(\frac{B}{b_1}\right)_{\max} = 2$

Từ biểu thức (6-31) rút ra chiều sâu xói trung bình h_x tại mặt cắt 2-2 khi đã sử dụng kết quả thí nghiệm. $\alpha_1 = 1,5$ và $\alpha_2 = 1,0$ trong tính V_2 , vậy $V_2 = 1,5u_{cb}$, u_{cb} là tốc độ không xói đáy đối với hạt của lòng dẫn trong chuyển động đều.

$$b_1 = b_0 + 2l_{gc} \operatorname{tg} \alpha$$

trong đó:

b_0 - chiều rộng ở mặt cắt cuối cống (nơi giao cắt mái dốc taluy với đáy hạ lưu);

l_{gc} - chiều dài gia cố;

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{gh_0}}{V_0} \quad (\text{với } h_0 \text{ và } V_0 \text{ là chiều sâu và tốc độ tại mặt cắt cuối cống}).$$

$\beta_1 = 1,0$ và $\beta_2 = 1,5$; $C_p = 0,8$. Sau khi thay giá trị thí nghiệm ta được:

$$h_x = 1,12 \sqrt{\frac{2Q_1}{gb_2} \left(2,62\mu \cdot u_{cb} - \frac{Q_1}{b_1 h_1} \right) + h_2^2 - \frac{b_1}{b_2} h_1^2 + \frac{4,5n^2 l_x u_{cb}^2}{h_2^{1/3}}} \quad (6-33)$$

Trong (6-33) độ dài có đơn vị là mét; $n = 0,025$.

$$l_x = \sqrt{\frac{2h_x + h_1}{g}} = \frac{Q_1}{b_1 h_1} \sqrt{\frac{2h_x + h_1}{g}} \quad (6-34)$$

thí nghiệm cho $h_{x\max} > h_x$ trung bình là 30%.

Việc xác định h_x trong (6-33) theo phương pháp đúng dần.

6.6. ĐÁNH GIÁ XÓI SAU CỐNG (Phương pháp của Hội Cầu đường Mỹ - FHWA)

[30] của FHWA chỉ ra phương pháp đánh giá xói tại cửa ra sau cống căn cứ vào lưu lượng chảy trong cống, hình dạng cống, loại đất sau cống, thời gian lũ, độ dốc đặt cống, cao độ đáy cống so với đáy dòng chảy ở hạ lưu, chiều sâu dòng chảy ở hạ lưu cống. Ngoài ra còn phải kể đến mức độ hạ thấp tự nhiên của đáy dòng chảy hạ lưu, tuy nhiên các phương trình dưới đây không chứa lượng xói tự nhiên. Các phương trình rút ra từ số liệu thí nghiệm trong phòng với những điều kiện thủy lực nhất định của các thí nghiệm của Bohan (1970); Abt và các cộng sự (1987); Abt (1996); Doehring (1994); Donnell và Abt (1983); Ruff và các cộng sự (1982).

6.6.1. Đối với đất không dính - đất rời

Đối với đất rời rắc biểu thức chung xác định kích thước xói:

$$\left[\frac{h_c}{R_{co}}, \frac{b_x}{R_{co}}, \frac{L_x}{R_{co}}, \frac{V_x}{R_{co}} \right] = C_s C_h \left(\frac{\alpha}{\sigma_g^{1/3}} \right) \left(\frac{Q}{\sqrt{g} R_{co}^{2,5}} \right)^\beta \left(\frac{t}{316} \right)^\theta \quad (6-35)$$

trong đó: h_c - chiều sâu hố xói (m);

b_x - chiều rộng hố xói (m);

L_x - chiều dài hố xói (m);

V_x - thể tích hố xói (m³);

R_{co} - bán kính thủy lực tại cuối cống (giả thiết chảy đầy cống);

Q - lưu lượng chảy trong cống (m³/s);

g - gia tốc trọng lực bằng 9,81 m/s²;

t - thời gian lũ (phút);

$\sigma_g = (d_{84}/d_{16})^{0,5}$ - độ lệch tiêu chuẩn của hạt vật liệu lòng dẫn;

α , β và θ - hệ số và số mũ theo bảng 6.4;

C_h - hệ số tính đến chiều cao đáy cống so với đáy lòng dẫn hạ lưu (bảng 6.5)

C_s - hệ số tính đến độ dốc đáy cống - bảng 6.6.

Nếu $\sigma_g < 1,5$ thì vật liệu lòng dẫn coi như đồng nhất; còn $\sigma_g > 1,5$ thì vật liệu được coi là cấp phối. Giá trị tiêu biểu của sỏi sạn $\sigma_g = 2,10$ và của cát $\sigma_g = 1,87$.

Bảng 6.4. Bảng hệ số và số mũ tính xói cho đất rời rắc

Kích thước xói	α	β	θ
Chiều sâu h_c	2,27	0,39	0,06
Chiều rộng b_x	6,94	0,53	0,08
Chiều dài L_x	17,10	0,47	0,10
Thể tích V_x	127,08	1,24	0,18

Nếu không có thời gian lũ có thể lấy $t = 30$ phút vì thí nghiệm chỉ ra xói đạt xấp xỉ 2/3 - 3/4 chiều sâu xói lớn nhất trong vòng 30 phút. Công thức áp dụng cho trường hợp có và không có tường đầu ở hạ lưu cống.

Hình dạng hố xói phụ thuộc vào chiều cao nước rơi sau cống. Nếu chiều cao này càng cao (Doehring, 1994) thì hố xói càng sâu và càng rộng đồng thời thời gian đạt xói lớn nhất càng ngắn lại. Hệ số C_h phụ thuộc vào chiều cao nước rơi tương đối so với kích

thước cống: $H_d = \frac{\text{Chiều cao nước rơi}}{\text{Đường kính cống}}$.

Bảng 6.5. Hệ số C_h

H_d	Chiều sâu	Chiều rộng	Chiều dài	Thể tích
0	1,00	1,00	1,00	1,00
1	1,22	1,51	0,73	1,28
2	1,26	1,54	0,73	1,47
4	1,34	1,66	0,73	1,55

Bảng 6.6. Hệ số C_s

Độ dốc	Chiều sâu	Chiều rộng	Chiều dài	Thể tích
0	1,00	1,00	1,00	1,00
2	1,03	1,28	1,17	1,30
5	1,08	1,28	1,17	1,30
> 7	1,12	1,28	1,17	1,30

Trình tự xác định kích thước hố xói:

- (1) Xác định thời gian đỉnh lũ và giá trị đỉnh lũ.
- (2) Tính R_{co} (chảy đầy cống).
- (3) Xác định H_d .
- (4) Xác định α , β , và t , C_h và C_s (theo bảng 6.5 và 6.6).
- (5) Xác định $\sigma_g = (d_{84}/d_{16})^{0,5}$ theo đường cong phân tích hạt tại nơi đặt cống.
- (6) Xác định kích thước hố xói theo công thức (6-35).
- (7) Xác định vị trí có xói h_{cmax} tại nơi $L_m = 0,4L_x$.

Thí dụ 6.1: Xác định kích thước hố xói biết cống tròn có $D = 457\text{mm}$, $s = 2\%$, chiều cao nước rơi $0,914\text{m}$ so với đáy lòng dẫn: $Q = 0,764 \text{ m}^3/\text{s}$, $\sigma_g = 1,87$.

- (1) $Q = 0,764 \text{ m}^3/\text{s}$ và giả thiết $t = 30$ phút.

$$(2) \quad R_{co} = \frac{D}{4} = \frac{0,457}{4} = 0,114\text{m}$$

$$(3) \quad H_d = \frac{0,914}{0,457} = 2$$

- (4) Xác định α , β , θ , C_s và C_h theo bảng đã cho ta được kết quả ở bảng 6.7.

Bảng 6.7

Kích thước xói	α	β	θ	C_s	C_h
Chiều sâu	2,27	0,39	0,06	1,03	1,26
Chiều rộng	6,94	0,53	0,08	1,28	1,54
Chiều dài	17,10	0,47	0,10	1,17	0,73
Thể tích	127,08	1,24	0,18	1,30	1,47

(5) $\sigma = 1,87$

(6) Xác định kích thước hố xói theo phương trình (6-35);

$$\begin{aligned}
 h_c &= C_s C_h \left(\frac{\alpha}{1,87^{1/3}} \right) \left(\frac{Q}{\sqrt{g} R_{co}^{2,5}} \right)^\beta \left(\frac{30}{316} \right)^\theta R_{co} \\
 &= 1,03 \times 1,26 \times \left(\frac{2,27}{1,23} \right) \left(\frac{0,764}{\sqrt{9,81 \times (0,1143)^{2,5}}} \right)^{0,39} (0,095)^{0,06} \times 0,1142 = 1,14\text{m}
 \end{aligned}$$

Tương tự có:

$$b_x = 1,28 \times 1,54 \times \left(\frac{6,94}{1,23} \right) \left(\frac{0,764}{\sqrt{9,81 \times (0,1143)^{2,5}}} \right)^{0,53} (0,095)^{0,08} \times 0,1142 = 8,82\text{m}$$

$$L_x = 1,17 \times 0,73 \times \left(\frac{17,10}{1,23} \right) \left(\frac{0,764}{\sqrt{9,81 \times 0,1143^{2,5}}} \right)^{0,47} \times 0,095^{0,1} \times 0,1142 = 7,06\text{m}$$

$$\forall_x = 1,30 \times 1,47 \times \left(\frac{127,08}{1,23} \right) \left(\frac{0,764}{\sqrt{9,81 \times 0,1143^{2,5}}} \right)^{1,24} \times 0,095^{0,18} \times 0,1142 = 27,8\text{m}^3$$

(7) Vị trí có $h_{c\max}$: $L_m = 0,4L_x = 0,4 \times 7,06 = 2,82\text{m}$ cách mép cống hạ lưu.

6.6.2. Đối với đất dính

Đối với đất dính, kích thước của hố xói quan hệ với ứng suất cắt tối hạn của đất thông qua biểu thức đối với trường hợp á cát, trong đó cát chiếm 58%; sét 27%, đất bột 15% và chất hữu cơ chiếm 1%. Loại á cát này có $\bar{d} = 0,15\text{mm}$, chỉ số dẻo PI là 15. Nếu cống là cống tròn thì:

$$\left[\frac{h_c}{D}, \frac{b_x}{D}, \frac{L_x}{D}, \frac{\forall_x}{D^3} \right] = C_s C_h (\alpha) \left(\frac{\rho V^2}{\tau_c} \right)^\beta \left(\frac{t}{316} \right)^\theta \quad (6-36)$$

Cống có hình dạng không phải là cống tròn thì:

$$\left[\frac{h_c}{y_c}, \frac{b_x}{y_e}, \frac{L_x}{y_e}, \frac{\nabla_x}{y_e} \right] = C_s C_h (\alpha_c) \left(\frac{\rho V^2}{\tau_c} \right)^\beta \left(\frac{t}{316} \right)^\theta \quad (6-37)$$

trong đó: D - đường kính của cống (m);

$$y_e - \text{chiều sâu tương đương, } y_e = \left(\frac{A}{2} \right)^{0,5} \quad (\text{m});$$

A - diện tích mặt cắt ngang dòng chảy (m²);

V - tốc độ tại cửa ra của cống (m/s);

τ_c - ứng suất tiếp phân giới hay tới hạn (N/m²);

ρ - khối lượng riêng của nước, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$;

$\left(\frac{\rho V^2}{\tau_c} \right)$ - số ứng suất tiếp không đơn vị, $\alpha_c = \alpha/0,63$ đối với h_c, b_x, L_x và

$\alpha_c = \alpha/(0,63)^3$ đối với thể tích xói ∇_x .

α, β, θ và α_c lấy theo bảng 6.8.

Nếu không có thời gian lũ thì lấy $t = 30$ phút.

$$\tau_c = 0,001(S_v + \alpha_u) \tan(30 + 1,73\text{PI}) \quad (\text{theo Dunn, 1959 và Abt và ccs (1996)})$$

S_v - cường độ cắt bão hòa (N/m²);

α_u - hằng số chuyển đơn vị; Trong hệ SI thì $\alpha_u = 8630 \text{ (N/m}^2\text{)}$;

PI - chỉ số dẻo.

Hai công thức trên áp dụng cho $\text{PI} = 5 \div 16$.

Bảng 6.8. Hệ số đối với đất dính khi tính xói ở hạ lưu cống

Kích thước xói	α	β	θ	α_c
Chiều sâu	0,86	0,18	0,1	1,37
Chiều rộng	3,55	0,17	0,07	5,63
Chiều dài	2,82	0,33	0,09	4,48
Thể tích	0,62	0,93	0,23	2,48

Trình tự tính xói:

(1) Xác định đỉnh lũ và thời gian kéo dài đỉnh lũ (phút).

(2) Xác định tốc độ trung bình tại cửa ra của cống V (m/s).

(3) Lấy mẫu đất tại nơi dự định đặt cống.

(4) Xác định cường độ ứng suất tiếp tới hạn τ_c .

(5) Xác định số ứng suất tiếp không đơn vị $S_{nm} = \frac{\rho V^2}{\tau_c}$ và chiều cao nước rơi không

đơn vị H_d :

$$H_d = \frac{\text{Chiều cao từ đáy cống tới đáy lòng dẫn hạ lưu}}{\text{Đường kính cống}}$$

(6) Xác định các hệ số theo bảng 6.8.

(7) Xác định kích thước hố xói theo phương trình (6-36) hay (6-37).

(8) Xác định vị trí có chiều sâu xói lớn nhất là $L_m = 0,4L_x$.

Thí dụ 6.2: Xác định kích thước hố xói nếu biết $D = 610\text{mm}$, $S = \%$, chiều cao nước rơi = 0m , lưu lượng $Q = 1,133 \text{ m}^3/\text{s}$, chỉ số dẻo $PI = 12$ và $S_v = 23.970 \text{ N/m}^2$ đối với lòng dẫn hạ lưu.

Lời giải:

(1) $Q = 1,133 \text{ m}^3/\text{s}$, giả thiết $t = 30$ phút.

$$(2) \quad V = \frac{Q}{A} = \frac{1,133}{3,14 \times \frac{(0,61)^2}{4}} = 3,88 \text{ m/s.}$$

(3) Mẩu đất nơi dự định đặt cống cho $PI = 12$, $S_v = 23,970 \text{ N/m}^2$.

$$(4) \quad \tau_c = 0,001(23970 + 8630) \tan[30 + 1,73(12)] = 39,9 \text{ N/m}^2.$$

$$(5) \quad S_{nm} = \frac{\rho V^2}{\tau_c} = \frac{1000(3,88)^2}{39,9} = 377,3$$

(6) Xác định hệ số theo bảng 6.8 và theo đầu bài thì $C_h = 1$ và $C_s = 1$, có kết quả trong bảng 6.9.

Bảng 6.9

Kích thước hố xói	α	β	θ
h_c	0,86	0,18	0,1
b_x	3,55	0,17	0,07
L_x	2,82	0,33	0,09
∇_x	0,62	0,93	0,23

$$(7) \quad h_c = 1,0 \times 1,0 \times (\alpha)(377,3)^\beta \left(\frac{30}{316} \right)^\theta D = 1 \times 1 \times 0,86 \times 377,3^{0,18} 0,09^{0,1} \times 0,61 = 1,2\text{m}$$

$$\text{Tương tự cho:} \quad b_x = 1 \times 1 \times 3,55 \times 377,3^{0,17} \times 0,09^{0,07} \times 0,61 = 5,02\text{m}$$

$$L_x = 1 \times 1 \times 2,82 \times 377,3^{0,33} \times 0,09^{0,09} \times 0,61 = 9,81\text{m}$$

$$\nabla_x = 1 \times 1 \times 0,62 \times 377,3^{0,93} \times 0,09^{0,23} \times 0,61^3 = 20,15\text{m}^3$$

(8) Nơi có $h_{c\max}$ là $L_m = 0,4L_x = 0,4 \times 9,81 = 3,92\text{m}$ từ mép hạ lưu cống dọc theo dòng chảy.

PHỤ LỤC

1.1. Công thức mà Peggy A. Johnson sử dụng để đánh giá xói cục bộ (J. Hydr, Engg, Vol, 121. No. 8. 1995, ASCE).

(1) Công thức của trường đại học bang Colorado (CSU) giới thiệu trong thông tư Hydraulic Engineering Circular số 18 (HEC-18) (1993), là công thức (5-14) ở mục 5.4.9.

$$h_c = 2,0h_x K_1 K_2 K_3 \left(\frac{b}{h_x} \right)^{0,65} Fr^{0,43} \quad (1)$$

Công thức rút ra từ số liệu thí nghiệm trong phòng cho cả nước trong và nước đục.
Giới hạn của công thức: $\frac{h_c}{h_x} = 2,4$ cho $Fr \leq 0,8$ và $\frac{h_c}{h_x} = 3,0$ cho $Fr > 0,8$.

(2) Melville và Sutherland (1988) dựa vào kết quả thí nghiệm trong phòng:

$$h_c = K_i K_d K_h K_\alpha K_s b \quad (2)$$

trong đó: K_i - hệ số cường độ dòng chảy;

K_d - hệ số cỡ hạt;

K_h - hệ số chiều sâu dòng chảy;

K_α - hệ số hướng dòng chảy đến trụ;

K_s - hệ số hình dạng trụ.

(3) Hincu (1971)

$$h_c = 2,42b \left[2 \left(\frac{v}{v_c} \right) - 1 \right] \left(\frac{v_c^2}{gb} \right)^{1/3} \quad (3)$$

Cho $0,05 \leq \frac{v_c^2}{gb} \leq 0,6$.

$$v_c = 1,2 \sqrt{\Delta g d_{50}} \left(\frac{h}{d_{50}} \right)^{0,2}; \quad \Delta \approx 1,65 = \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)$$

Đối với nước trong $\left(\frac{2v}{v_c} - 1 \right) = 1$; phương trình không áp dụng cho $\frac{v}{v_c} \leq 0,5$.

(4) Laursen và Toch (1956) đề nghị đường cong tính xói, sau này được Neil viết lại thành biểu thức (1964)

$$h_c = 1,35b^{0,7}h_x^{0,3} \quad (4)$$

(5) Shen và các cộng sự (CCS) (1967) sử dụng kết quả thí nghiệm và một số ít số liệu xói thực tế đề nghị cho xói nước trong:

$$h_c = 0,00022 Re^{0,619} \quad (5a)$$

trong đó: $Re = \frac{v(b/2)}{\gamma}$, song năm 1971 Shen khuyên nên sử dụng công thức Larras (1963):

$$h_c = 1,05b^{0,75} \quad (5b)$$

(6) Breusers và CCS (1977) phát triển công thức tương tự như Hincu (1971):

$$h_c = bfK_1K_2 \left[2 \tanh \left(\frac{h_x}{b} \right) \right] \quad (6)$$

trong đó: $f = 0$ khi $\frac{v}{v_c} \leq 0$;

$$f = 2 \left(\frac{v}{v_c} \right) - 1 \text{ cho } 0,5 < \frac{v}{v_c} \leq 1$$

$$f = 1 \text{ cho } \frac{v}{v_c} > 1$$

K_1 và K_2 như đã nêu ở (HEC-18).

(7) Jain và Fischer (1979) dựa vào kết quả thí nghiệm đề nghị:

$$h_c = 2b(Fr - Fr_c)^{0,25} \left(\frac{h_x}{b} \right)^{0,5} \text{ cho } (Fr - Fr_c) > 0,2 \quad (7a)$$

trong đó: $Fr_c = \frac{v_c}{\sqrt{gh_x}}$ và $(Fr - Fr_c) < 0$ thì:

$$h_c = 1,85b(Fr_c)^{0,25} \left(\frac{h_x}{b} \right)^{0,5} \quad (7b)$$

Khi $0 < (Fr - Fr_c) < 0,2$ thì lấy giá trị lớn hơn tính theo hai trường hợp trên.

1.2. Công thức V. V. Belikov và V. Sh. Tsypin sử dụng để so sánh (1988).

(1) M. M Juravlev (1984)

$$h_c = 0,65b \left(\frac{h_x}{b} \right)^{0,5} \left(\frac{v}{\sqrt[3]{gh_x \omega}} \right)^n \left(\frac{d}{h_x} \right)^{0,03n} \quad (8)$$

$$n = 0,65 + 0,3 \frac{v}{\sqrt[3]{gh_x \omega}}$$

(2) V. Sh. Tsypin (1985)

$$h_c = 0,9b \left(\frac{h_x}{b} \right)^{0,4} \left(\frac{v}{\omega} \right)^{0,35} \left(\frac{d}{h_x} \right)^{0,16} \quad (9)$$

(3) V. S. Altunin (1972)

$$h_c = bFr^{0,15} \left(\frac{vh_x}{v_c b} \right)^{0,4} \left(\frac{d}{h_x} \right)^{0,02} \quad (10)$$

$$V_c = 1,14 \left(\frac{h_x}{d} \right)^{0,25} \sqrt{gd}$$

(4) Công thức cùng dạng với Juravlev song ở dạng đơn giản - Volchenkov & Belikov (1984):

$$h_c = 0,9b \left(\frac{h_x}{b} \right)^{0,4} \left(\frac{v}{\sqrt[3]{gh_x \omega}} \right)^{0,5} \left(\frac{d}{h_x} \right)^{0,02} \quad (11)$$

và theo số Fr là:

$$(5) \quad h_c = 0,9b \left(\frac{h_x}{b} \right)^{0,4} Fr^{0,4} \left(\frac{v}{\omega} \right)^{0,15} \quad (12)$$

và:

$$(6) \quad h_c = 0,2 \left\{ \left[1 + 0,4 \operatorname{tg} \varphi \frac{b}{h_x} \left(\frac{v}{\sqrt[3]{gh_x \omega}} \right)^{0,85} \right]^{0,5} - 1 \right\} \quad (13)$$

trong đó: nếu $h \gg b$ thì:

$$h_c \sim b \left(\frac{v}{\sqrt[3]{gh_x \omega}} \right)^{0,85}$$

(7) Belikov và Tsypin (1988) đề nghị công thức rút ra từ phân tích, so sánh số liệu thí nghiệm và thực tế (150 thí nghiệm và 105 thực tế).

$$h_c = 0,77b \left(\frac{h_x}{b} \right)^{0,4} \left(\frac{v}{\sqrt[3]{gh_x \omega}} \right)^{0,5} \quad (14)$$

Trong các công thức từ (8) ÷ (14) khi tính phải thêm hệ số hình dạng trụ, hướng dòng chảy hay hình dạng đáy tương ứng với điều kiện thực tế.

Trong các công thức đã nêu:

ω - độ thô thủy lực của bùn cát;

b - chiều rộng trụ;

h_x - chiều sâu sau xói chung ngay trước trụ;

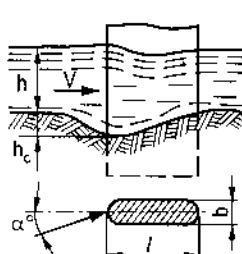
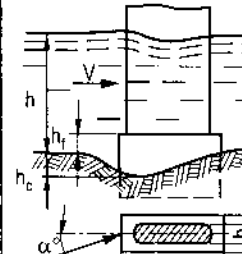
v - tốc độ trung bình dòng chảy sau xói chung;

d - đường kính hạt, thường lấy là d_{50} ;

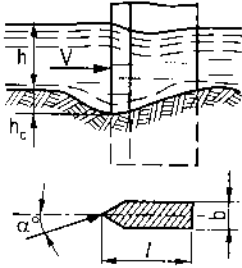
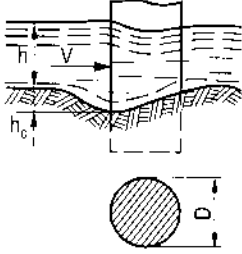
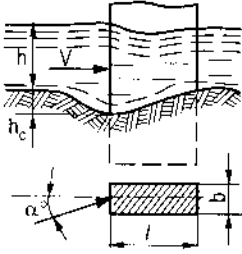
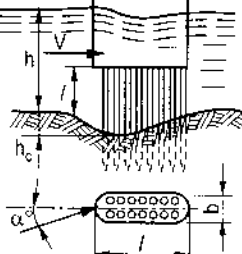
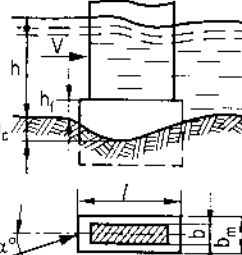
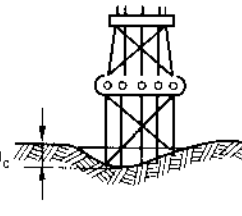
φ - góc nội ma sát của hạt ở trong nước.

h_x và V còn được hiểu là chiều sâu và dòng chảy trước trụ trước khi tính xói cục bộ.

1.3. Bảng hệ số hình dạng trụ K_α ($\alpha^0 = 0^0$) để tính xói ở công thức (8 ÷ 14) của phụ lục 1.

Thứ tự kiểu trụ	Hình dạng trụ	Hệ số hình dạng trụ, khi hướng dòng chảy thẳng hàng với trụ ($\alpha^0 = 0^0$)	Thứ tự kiểu trụ	Hình dạng trụ	Hệ số hình dạng trụ, khi hướng dòng chảy thẳng hàng với trụ ($\alpha^0 = 0^0$)
1	2	3	1	2	3
1		0,85	2		

Bảng tiếp theo

1	2	3	1	2	3
3		1,00	6		1,00
4		1,25	7		0,70
5		1,25	8		0,65

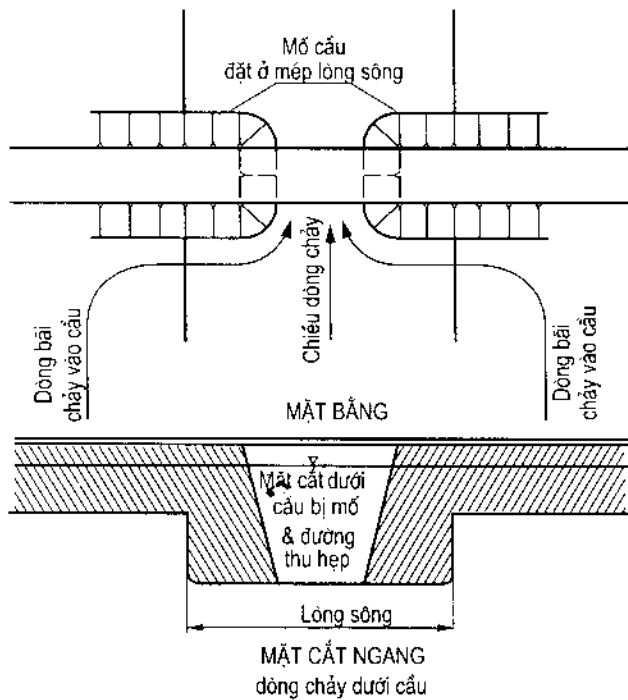
Khi dòng chảy nghiêng góc α° thì chiều rộng trụ tăng lên và được xác định theo quan hệ:

$$b_{tt} = l \sin \alpha + b \cos \alpha$$

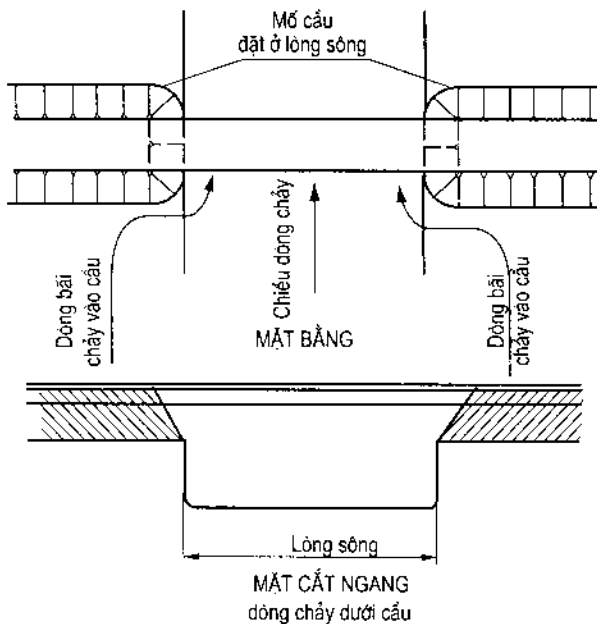
b_{tt} - chiều rộng trụ tính toán.

Phụ lục 2

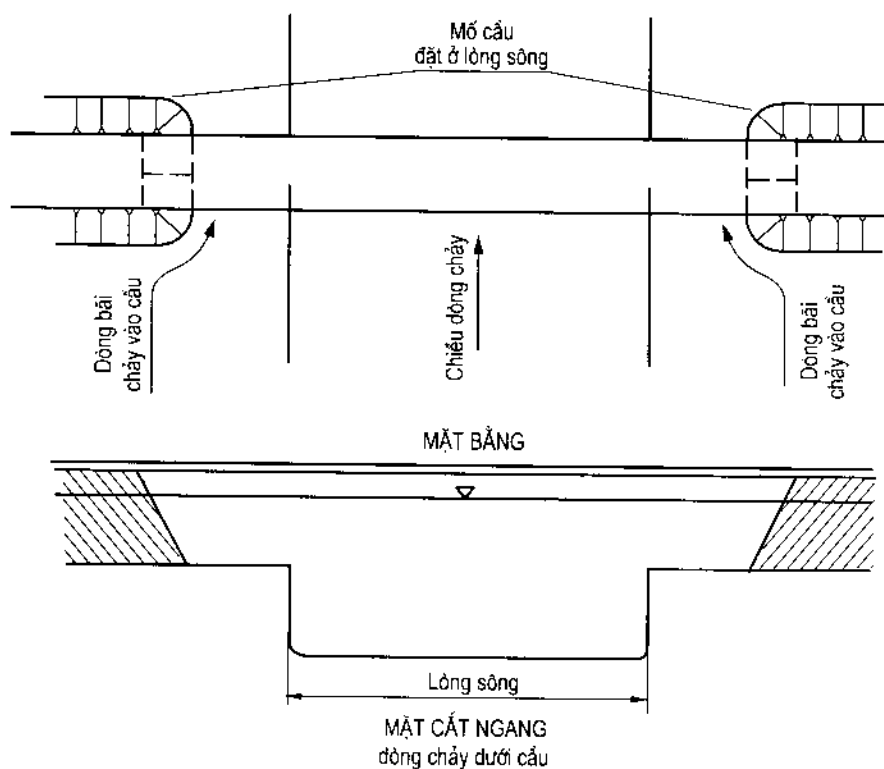
XÓI Ở MỐ CẦU PHỤ THUỘC VỊ TRÍ MỐ CẦU TRONG SÔNG



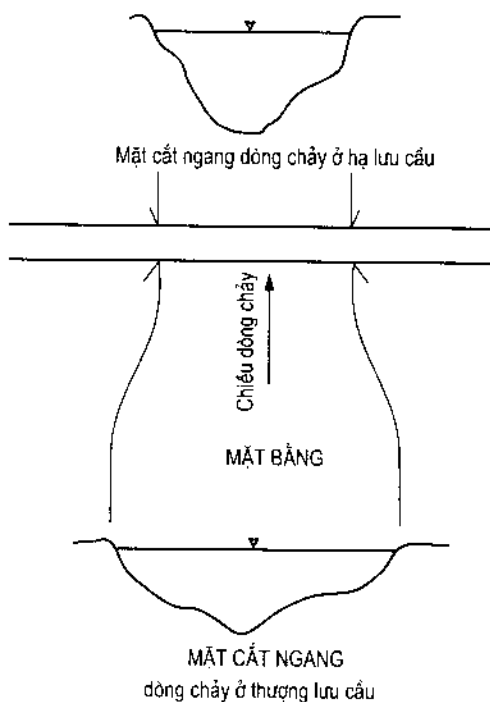
Hình 1. Trường hợp chiều rộng thoát nước dưới cầu L_{oc} nhỏ hơn chiều rộng lòng sông B_l ($L_{oc} < B_l$)



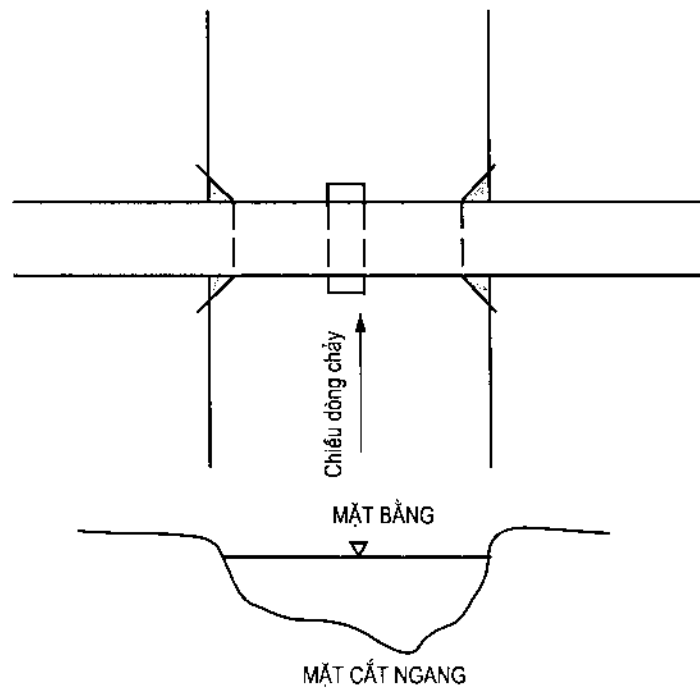
Hình 2: Trường hợp mố cầu đặt tại mép lòng sông, chiều rộng thoát nước dưới cầu bằng chiều rộng lòng sông ($L_{oc} = B_l$)



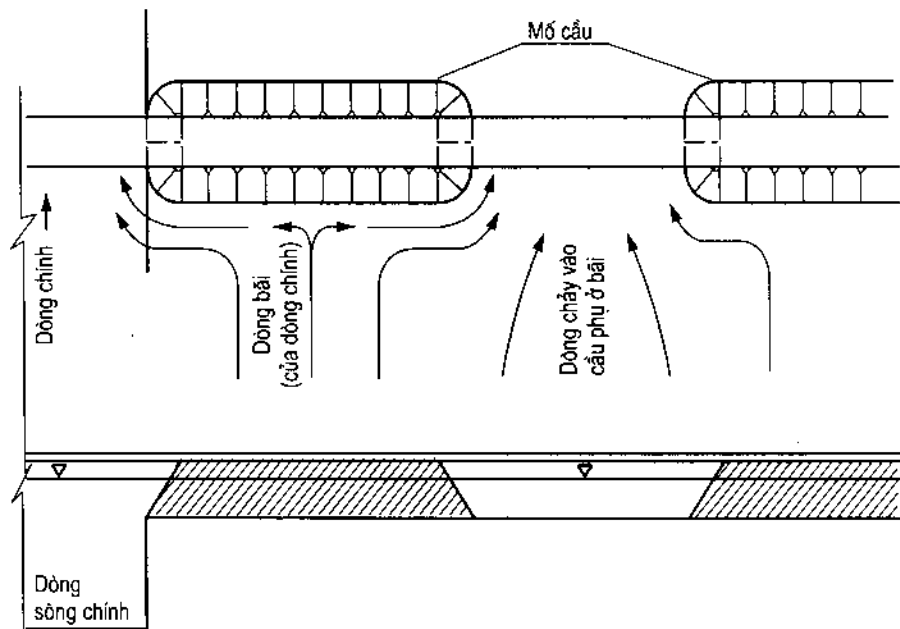
Hình 3. Trường hợp mố cầu đặt ở bãi sông, chiều dài thoát nước dưới cầu lớn hơn chiều rộng lòng sông ($L_{oc} > B_l$)



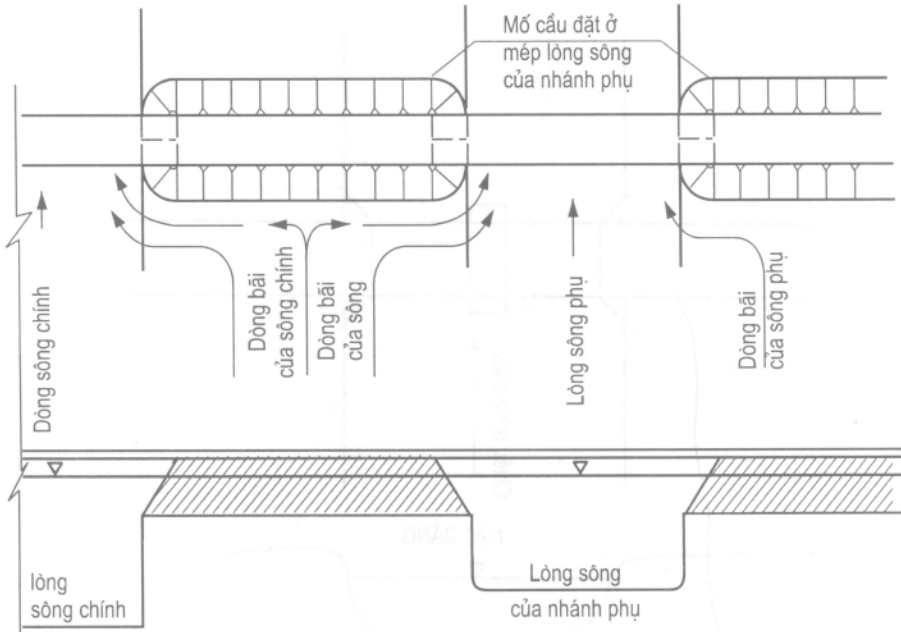
Hình 4. Trường hợp dòng chảy nhỏ



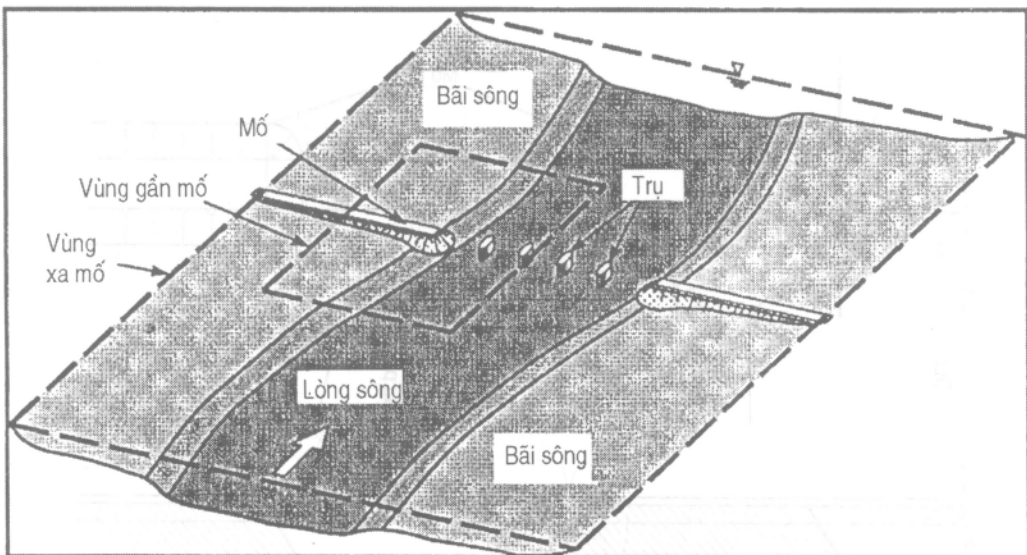
Hình 5. Mố và trụ cầu thất hẹp dòng chảy dưới cầu



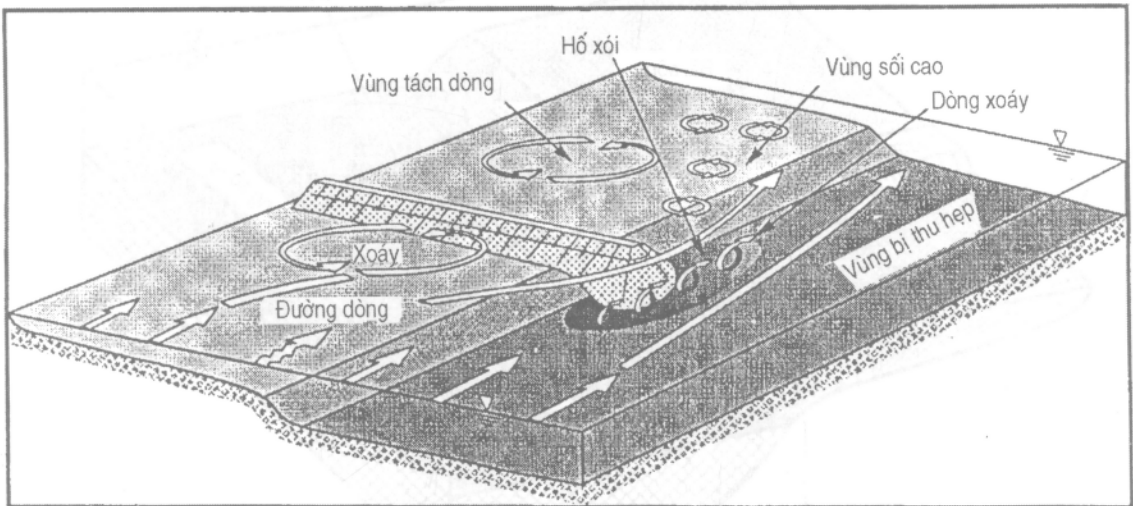
Hình 6. Trường hợp cầu phụ đặt ở bãi sông



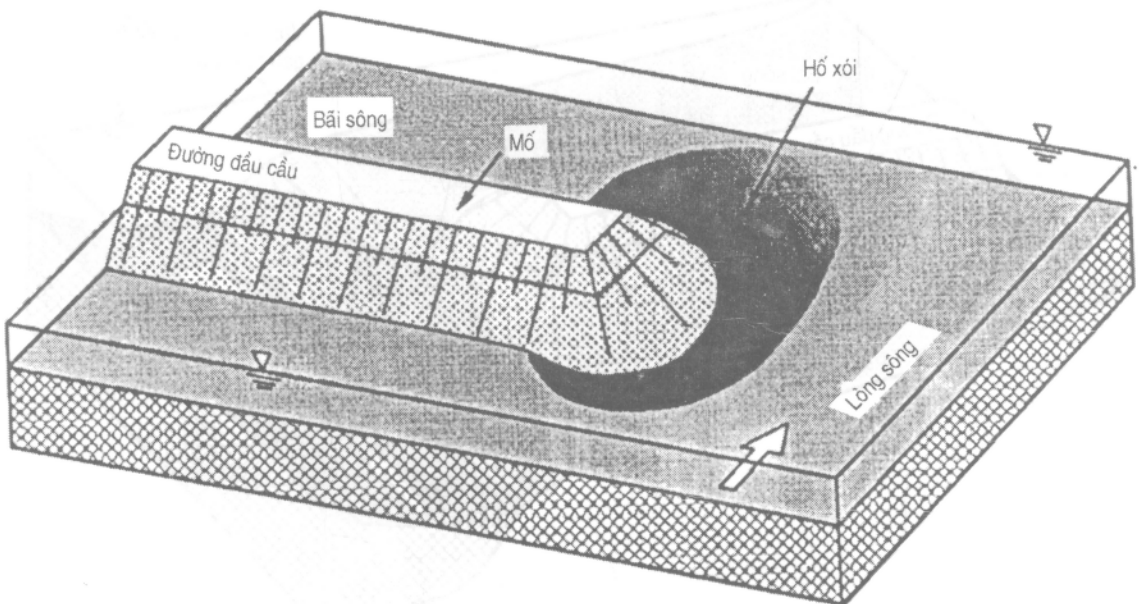
Hình 7. Trường hợp cầu đặt ở nhánh phụ



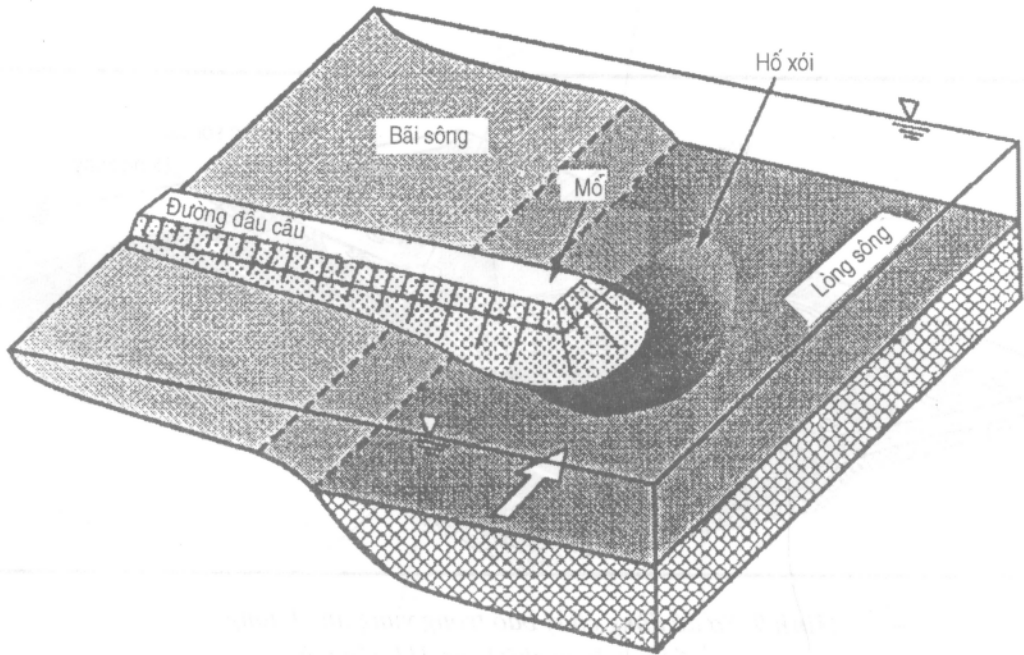
Hình 8. Đường đầu cầu, mố, trụ và vùng dòng chảy liên quan đến mố cầu



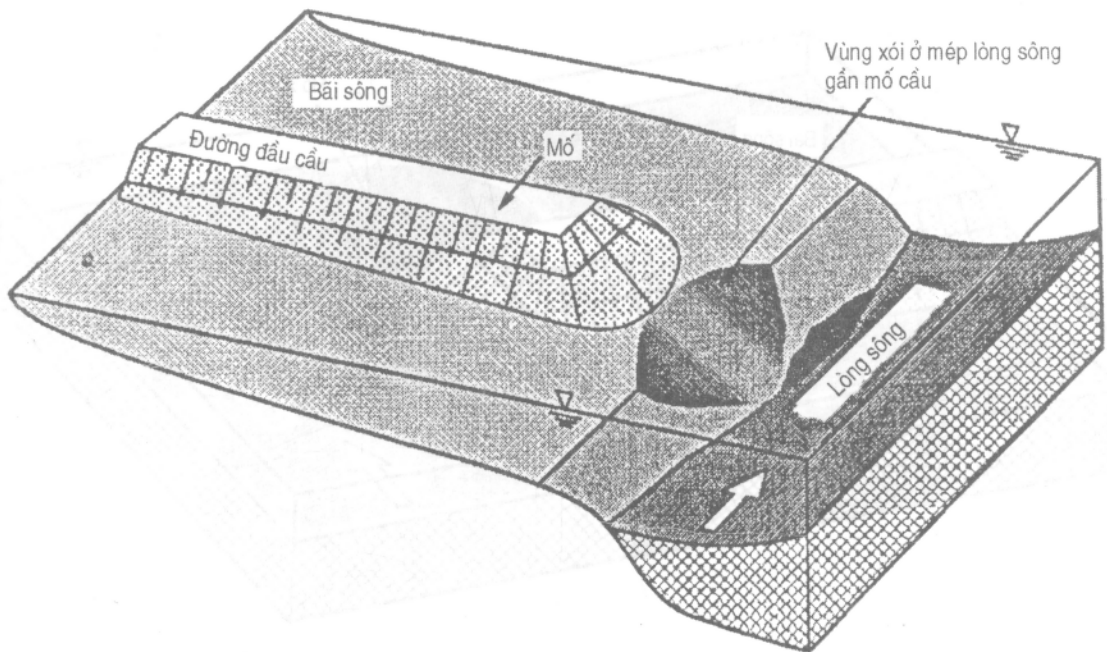
Hình 9. Sơ đồ dòng chảy bao trong vùng ảnh hưởng của mố hình dạng chữ U có 1/4 nón mố



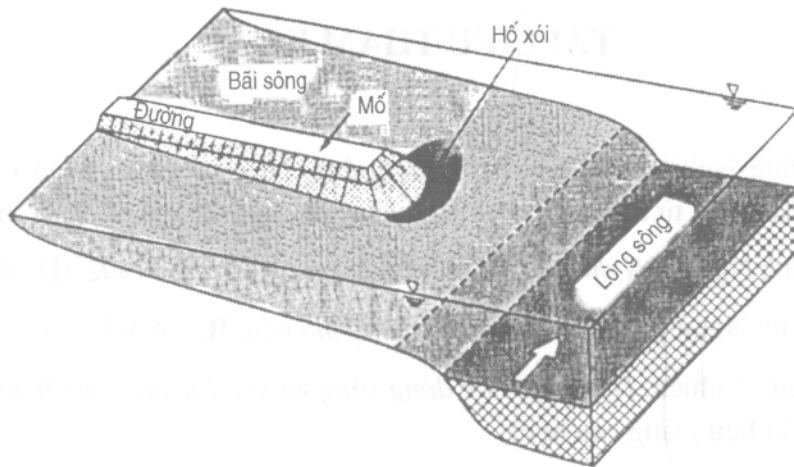
Hình 10. Trường hợp mố bị nguy hiểm do xói ở lòng sông



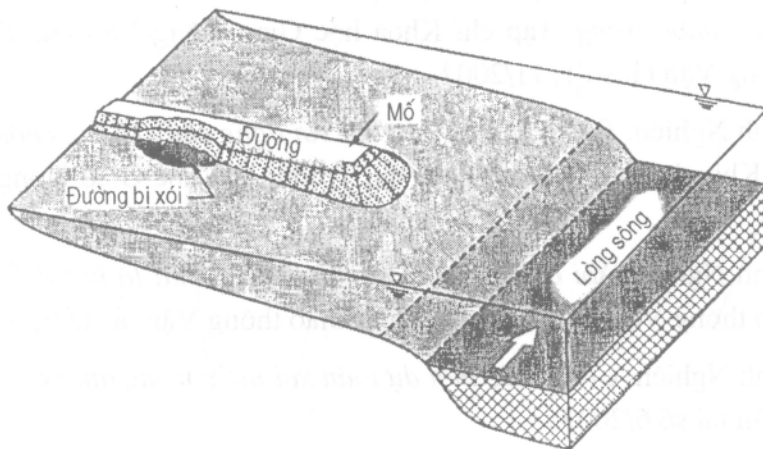
Hình 11. Mố bị nguy hiểm do xói ở lòng sông



Hình 12. Mố bị nguy hiểm do mép lòng sông bị xói lấn vào mố



Hình 13. Mố bị nguy hiểm do xói ở bãi sông



Hình 14. Mố bị nguy hiểm do đường đầu cầu bị xói lở

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Trần Đình Nghiên. *Thiết kế cầu vượt sông*. Nhà xuất bản Giao thông vận tải, 1985 (Bản dịch từ tiếng Nga của sách cùng tên của tác giả O. V. Andreev).
2. Trần Đình Nghiên. *Nghiên cứu lý thuyết xói cục bộ trụ cầu*. 1992. (Đề tài cấp Bộ).
3. Trần Đình Nghiên. *Nghiên cứu xói cục bộ mố cầu*. B. 2004-35-86.
4. Trần Đình Nghiên. *Động lực học dòng sông và xói đối với công trình giao thông*, 1996 (Tài liệu giảng cao học).
5. Trần Đình Nghiên. *Thiết kế thủy lực cho dự án cầu đường*. Nhà xuất bản Giao thông Vận tải, 2003.
6. Trần Đình Nghiên. *Xói cục bộ trụ cầu và vấn đề quan tâm*. Tạp chí Giao thông vận tải và BD, số 11, 1991, trang 32 - 34.
7. Trần Đình Nghiên. *Công thức xác định chiều sâu xói chung dưới cầu đối với dòng chảy nước trong*. Tạp chí Khoa học Giao thông Vận tải. Trường đại học Giao thông Vận tải số 1, 11/2002.
8. Trần Đình Nghiên. *Tính xói dưới cầu đối với dòng chảy không cuốn theo bùn cát*. Tạp chí Khoa học Giao thông Vận tải. Trường đại học Giao thông Vận tải số 5, 11/2003.
9. Trần Đình Nghiên. *Xói cục bộ trụ cầu đối với địa chất là hạt thổ*. Tạp chí Khoa học Giao thông Vận tải. Trường đại học Giao thông Vận tải số 6, 02/2004.
10. Trần Đình Nghiên. *Công thức mới dự toán xói nước trong dưới cầu*. Tạp chí Giao thông Vận tải số 6/2003.
11. Trần Đình Nghiên. *Tốc độ không xói ở bờ sông có xét độ tin cậy*. Tạp chí Cầu đường Việt Nam số 7/2007.
12. Trần Đình Nghiên. *Xói cục bộ ở kè hướng dòng*. Tạp chí Cầu đường Việt Nam số 9/2007.
13. Trần Đình Nghiên. *Nghiên cứu mới về xói cục bộ mố cầu*. Tạp chí Cầu đường Việt Nam số 8 và 9/2005.
14. B. A. Kostelianets and L. L. Lishtvan. *Mở rộng lòng sông khi xói chung*. Tạp chí Xây dựng giao thông, 10/1986 (tiếng Nga).

15. G. A. Phedotov. *Tính đào mở rộng lòng sông tại cầu*. Tạp chí Xây dựng ôtô, 8/1979 (tiếng Nga).
16. Bruce W. Melville. *Bridge Abutment scour in compound channels*. J. Hydr. Engrg. Vol. 121. N°12, December, 1995. ASCE.
17. Bruce W. Melville. *Local scour at Bridge Abutment*. J. Hydr. Engrg. Vol. 118; N°4, April, 1992. ASCE.
18. Bruce W. Melville. *Pier and Abutment scour: Intergrated Approach*. J. Hydr. Engrg. Vol. 123; N°2, February, 1997. ASCE.
19. D. Max Sheppard. *Final Report. Large scale and live bed local pier scour experiments*. U. of Florida. September, 2003.
20. Hydraulics Engineering. *Introduction: Bridge scour in nonuniform sediment mixtures in cohesive material*. FHWA. Kornel Kerenyi@fhwa.dot.gov.
21. J. Sterling Jones and D. Max Sheppard. *Local scour at complex pier geometries*. 2000.
22. Mohammad Salim, J. Sterling Jones. *Scour around exposed pile foundation*. Proceeding of ASCE. North A. W. and E. C, 96 in Anaheim, CA. June, 1996.
23. Qiping Yang. *Numerical investigations of scale effects on local scour around a bridge pier*. U. of Florida. October, 28, 2005.
24. Raudkivi J. A. and H. N. C. Breusers. *Scouring*. 1991. A. A. Balkema, Rotterdam, Netherland.
25. Robert Ettema, Tatsuaki Nakato and Marian Muste. *An overview of scour types and scour-estimation difficulties face at bridge abutments*. Proceeding of the 2003 Mid-cont T-R. Symposium, Ames, Iowa, August, 2003.
26. Siow - Yong Lim. *Equilibrium Clear-water scour around an Abutment*. J. Hydr. Engrg. Vol. 123. N°3. March, 1997. ASCE.
27. Terry W. Sturm and Nazar Sadiq Jangura. *Clear water scour around Abutments flood plains*. J. Hydr. Engrg, Vol, 120, N°8, August, 1994. ASCE.
28. Umesh C Kothiyari. *Indian practice on estimation of scour around bridge piers - A comment*. Sadhana Vol. 32, part 3, June 2007, pp. 187 - 197 in India.
29. U. S. Department of Transportation - FHWA. *Evaluating scour at bridges*. Fourth Edition. Pub. No. FHWA. NHI 01-001, May, 2001.
30. U. S. Department of Transportation - FHWA. *Hydraulic Engineering Circular*. Number 14, Third Edition. July 2006.

31. U. S. No FHWA - RD-99-156. *Enhanced Abutment Scour studies for compound channels*. August 2004.
32. U. S. No FHWA - NHI-01-020. *Hydraulic Design of Highway Culverts* (Revised May 2005).
33. Virgilio Fiorotto. *Local scour at bridge Abutments*. J. Hydr. Engrg. September, 1993. ASCE.

MỤC LỤC

	Trang
<i>Lời nói đầu</i>	3
Chương 1. Giới thiệu chung	
1.1. Dòng sông và công trình	5
1.2. Định nghĩa	7
1.3. Mô hình nghiên cứu xói	8
Chương 2. Nhận thức cơ bản về cơ sở vật lý và cơ học chất lỏng của lý thuyết dòng chảy trong sông biến dạng - xói mòn và tải bùn cát	
2.1. Các tính chất cơ bản của bùn cát	11
2.1.1. Cỡ hạt	12
2.1.2. Hình dạng hạt	13
2.1.3. Cấp phối hạt	13
2.1.4. Độ rỗng	15
2.1.5. Góc nghỉ và lực dính kết	15
2.1.6. Độ thô thủy lực bùn cát	16
2.3. Sự khởi động của hạt ở đáy dòng chảy	20
2.3.1. Ứng suất tiếp khởi động	20
2.3.2. Tốc độ khởi động của hạt	25
2.4. Sức cản và phân phối tốc độ trong sông	29
2.4.1. Sức cản trong lớp biên cố định	29
2.4.2. Sức cản trong lớp biên di động	31
2.4.3. Chuyển động không ổn định ở lạch sâu	35
2.4.4. Đáy sông là sỏi sạn, cuội	37
2.5. Lưu lượng bùn cát	38
2.5.1. Bùn cát đáy	39
2.5.2. Lưu lượng bùn cát lơ lửng	42
2.5.3. Tổng lưu lượng bùn cát	43
Chương 3. Dự đoán biến dạng lòng sông thiên nhiên	
3.1. Khái niệm về các dạng diễn biến lòng sông	45

3.2. Phương trình động lực của dòng chảy một chiều	46
3.3. Phương trình biến dạng của dòng chảy một chiều	48
3.4. Dự đoán diễn biến lòng sông theo phương pháp cân bằng bùn cát - bài toán một chiều	50
3.5. Một số công thức xác định xói tự nhiên (hạ thấp cao độ đáy sông)	51
3.6. Xói ở đoạn sông thu hẹp trong phạm vi dài dọc dòng chảy	53
3.6.1. Xói nước trong	53
3.6.2. Phương trình đối với đáy cát di chuyển - xói nước đục	58
Chương 4. Xói chung dưới cầu	
4.1. Giới thiệu chung	61
4.2. Xói chung	62
4.2.1. Phương pháp Laursen (1960)	63
4.2.2. Phương pháp O. V. Andreev (1953 - 1955)	68
4.2.3. Xói ở bãi sông dưới cầu	75
4.2.4. Xác định chiều sâu xói chung theo mức độ mở rộng lòng sông dưới cầu	78
4.2.5. Hạn chế xói lòng theo điều kiện địa chất	80
4.2.6. Xói chung dưới cầu đối với dòng nước trong	81
4.2.7. Xác định hệ số tăng cường lưu lượng lòng sông dưới cầu	83
4.2.8. Tính xói đối với cầu bị ảnh hưởng nước dâng từ sông khác	85
4.2.9. Mở rộng nhân tạo lòng sông dưới cầu	87
Chương 5. Xói cục bộ trụ cầu và móng cầu	
5.1. Các yếu tố ảnh hưởng đến xói cục bộ ở trụ cầu	90
5.2. Phân loại xói cục bộ	91
5.3. Môi trường thủy lực cục bộ tại trụ cầu	92
5.4. Một số yếu tố ảnh hưởng đến xói cục bộ	95
5.4.1. Ảnh hưởng của cỡ hạt đến xói	95
5.4.2. Ảnh hưởng của chiều rộng trụ và cỡ hạt	97
5.4.3. Ảnh hưởng của chiều rộng trụ	98
5.4.4. Ảnh hưởng của chiều sâu dòng chảy	100
5.4.5. Ảnh hưởng của thông số Phơut (Froude) của trụ $Fr_b = V / \sqrt{gb}$	102
5.4.6. Ảnh hưởng của góc nghiêng của dòng chảy tới trụ α và l/b	102

5.4.7. Ảnh hưởng của hình dạng trụ	103
5.4.8. Ảnh hưởng của khoảng cách các cọc trong nhóm cọc, góc nghiêng dòng chảy và mũi cọc đến xói	104
5.4.9. Ảnh hưởng của các thành phần của trụ cọc đến xói cục bộ	106
5.4.10. Ảnh hưởng của độ thô của hạt tạo ra lớp chống xói trong hố xói - K4	114
5.4.11. Xói do dòng lũ làm ngập kết cấu nhịp cầu	115
5.4.12. Xói cục bộ do vật trôi trong sông vướng vào trụ	116
5.5. Xói nước đục	125
5.6. Một số công thức xói cục bộ trụ cầu	127
5.6.1. Một số công thức	127
5.6.2. Một số đánh giá các công thức hiện thời từ số liệu thực tế và số liệu thí nghiệm	131
5.7. Xói cục bộ tại móng cầu	134
5.7.1. Nhận xét chung	134
5.7.2. Một số công thức	135
Chương 6. Xói ở công trình thoát nước nhỏ	
6.1. Xói đối với dòng nước trong hay cầu nhỏ có $Q_{tk}/Q_{cl} \leq 2$	144
6.2. Dòng chảy dưới cầu bị thiếu hụt bùn cát (đất dính) hay $Q_{tk}/Q_{cl} > 2,0$	145
6.3. Cầu đặt ở bãi sông	147
6.4. Xói cục bộ tại móng cầu có 1/4 nón móng choán dòng chảy	148
6.5. Biến dạng dòng chảy sau cống	149
6.6. Đánh giá xói sau cống (Phương pháp của Hội Cầu đường Mỹ - FHWA)	152
6.6.1. Đối với đất không dính - đất rời	153
6.6.2. Đối với đất dính	155
Phụ lục	158
Tài liệu tham khảo	162

XÓI LỖ Ở CÔNG TRÌNH CẦU

Chịu trách nhiệm xuất bản:

BÙI HỮU HẠNH

Biên tập: NGUYỄN THỊ BÌNH

Chế bản: TRẦN KIM ANH

Sửa bản in: NGUYỄN THỊ BÌNH

Trình bày bìa: VŨ BÌNH MINH

Xuất bản công trình này



1203090000021

43.000

6X8	156 - 2008
XD - 2008	

Giá : 43.000^d