

SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP CÂN BẰNG NĂNG LƯỢNG ĐỂ XÂY DỰNG CÔNG THỨC LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN CHIỀU SÂU XÓI CỤC BỘ TẠI TRỤ CẦU

ThS. ĐẶNG VIỆT DŨNG - Sở GTVT Đà Nẵng

GS.TSKH. NGUYỄN XUÂN TRỰC - Trường Đại học Xây dựng

GS.TS. NGUYỄN THẾ HÙNG - Trường Đại học Bách khoa Đà Nẵng

Tóm tắt. Những hư hỏng tại trụ cầu do xói cục bộ gây ra đã được đặt vấn đề nghiên cứu từ khá sớm (1873) nhưng cho đến nay hầu hết các phương pháp tính đều chủ yếu dựa trên các công thức thực nghiệm hoặc bán thực nghiệm. Vì vậy đã có sự sai khác khá nhiều giữa các kết quả tính toán của các phương pháp khác nhau, giữa kết quả tính toán với giá trị đo thực tế. Trên cơ sở các nghiên cứu hiện nay về xói cục bộ của trụ cầu, bài báo sẽ đi sâu phân tích cơ chế thủy lực của dòng chảy khi gặp trụ cầu, xác định điều kiện cân bằng năng lượng để đưa hạt vật liệu di chuyển khỏi hố xói và đề xuất công thức tính xói cục bộ theo lý thuyết tại trụ cầu.

1. Giới thiệu:

Xói cục bộ hình thành và phát triển dưới chân trụ cầu là do trụ cản dòng chảy tạo ra hệ thống dòng chảy mới quanh trụ. Trong đó dòng chảy xuống dọc theo thân trụ nằm phía trước trụ (dòng tia) là dòng chảy chính thực hiện giải phóng liên kết giữa các hạt vật liệu nằm dưới đáy hố xói, và dòng cuộn xoáy dưới chân trụ có nhiệm vụ đẩy hạt vật liệu ra khỏi hố xói. Khi năng lượng của dòng chảy xuống cân bằng với năng lượng để đưa hạt vật liệu lên miệng hố xói thì chiều sâu xói không phát triển nữa, quá trình xói dừng lại và đạt đến trạng thái cân bằng.

Bài báo trình bày một cách tiếp cận mới để xây dựng công thức lý thuyết xác định chiều sâu xói cục bộ tại trụ cầu thông qua việc cân bằng năng lượng của dòng chảy xuống với năng lượng đưa hạt vật liệu ra khỏi hố xói.

2. Công thức tổng quát xác định chiều sâu xói cục bộ:

Kết quả phân tích sự hình thành và phát triển của hố xói cho thấy chiều sâu xói cục bộ tại trụ cầu phụ thuộc vào đặc tính của chất lỏng, đặc trưng bùn cát đáy, thuộc tính của dòng chảy, hình dạng cản dòng chảy của trụ cầu, và thời gian xói phát triển có thể biểu diễn bằng hàm tổng quát như sau:

$$h_{cb} = f[\text{chất lỏng } (\rho, \nu, g), \text{bùn cát đáy } (d_{50}, \sigma_g, \phi, \rho_s, U_c), \text{dòng chảy } (y, U), \text{hình dạng trụ } (B, S, \theta, A), \text{thời gian } (t, t_{e})] \quad (1)$$

Vì xói bao gồm ba thứ nguyên cơ bản: khối lượng, chiều dài, thời gian. Các biến phụ thuộc của (1) có thể giản lược thành 10 tham số không thứ nguyên. Nếu ρ, U, B được xem là các biến tuần hoàn thì (1) có thể được viết thành:

$$\frac{h_{cb}}{B} = f\left(\frac{U}{U_c}, \frac{U^2}{gB}, \frac{y}{B}, \frac{B}{d_{50}}, \frac{\rho UB}{\mu}, \sigma_g, S, A, \theta, \frac{t}{t_c}\right) \quad (2)$$

Công thức (2) là công thức tổng quát xác định

chiều sâu xói cục bộ tại trụ cầu.

3. Cơ chế thủy lực của dòng chảy khi gặp trụ cầu:

Xét khối chất lỏng chuyển động trong khu vực lân cận trụ cầu (xem Hình 1). Phương trình Bernoulli viết cho hai điểm nằm trên dòng nguyên tố số 2 (trên mặt thoáng) đi qua mặt cắt 1 và 2 như sau:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 U_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 U_2^2}{2g} + h_w \quad (3)$$

Trong đó : - Z_i : cao độ đường mặt nước tại mặt cắt i ;

- P_i : áp suất tại mặt cắt i ;

- U_i : tốc độ dòng nguyên tố (hoặc toàn bộ dòng chảy) tại mặt cắt i ;

- α_i : Hệ số Kôriôlic, xét sự phân bố tốc độ không đều theo chiều rộng dòng chảy ($\alpha = 1 \div 1,1$), đối với dòng nguyên tố ($\alpha = 1$)

- h_w : tổn thất do ma sát;

Các ký hiệu trong hình vẽ được giải thích như sau:

- 0-0: mặt phẳng gốc so sánh;

- 1: đường mặt nước lúc tự nhiên khi không bị dâng cao do trụ cầu cản dòng chảy;

- 2: đường mặt nước khi trụ cầu cản dòng chảy;

- 3: đường đáy sông khi chưa phát sinh xói cục bộ;

- 4: đường đáy sông khi phát sinh xói cục bộ max;

- 5: cột áp thủy động H_{dt} ;

- 6: như (5) có xét tới tổn thất do ma sát h_w ;

- l : độ dốc đáy sông đoạn S khi chưa phát sinh xói cục bộ;

- l_w : độ dốc ma sát tại mặt cắt i ;

- mặt cắt (1): mặt cắt ở đó mặt nước bắt đầu được dâng cao so với lúc tự nhiên khi không có trụ cầu và các điểm trên mặt cắt đủ xa trụ để dòng chảy không bị nhiễu loạn bởi sự có mặt của trụ;

- mặt cắt (2): mặt cắt ở sát tường trụ cầu tại đó có độ cao nước dâng ΔZ lớn nhất.

- S : khoảng cách từ mặt cắt (1) đến mặt cắt (2).

Tiếp theo viết phương trình Bernoulli cho hai điểm nằm trên dòng nguyên tố số 3 (sát đáy) đi qua mặt cắt 1 và 2 như sau :

$$Z_1' + \frac{P_1'}{\gamma} + \frac{\alpha_1 U_1'^2}{2g} = Z_2' + \frac{P_2'}{\gamma} + \frac{\alpha_2 U_2'^2}{2g} + h_w \quad (4)$$

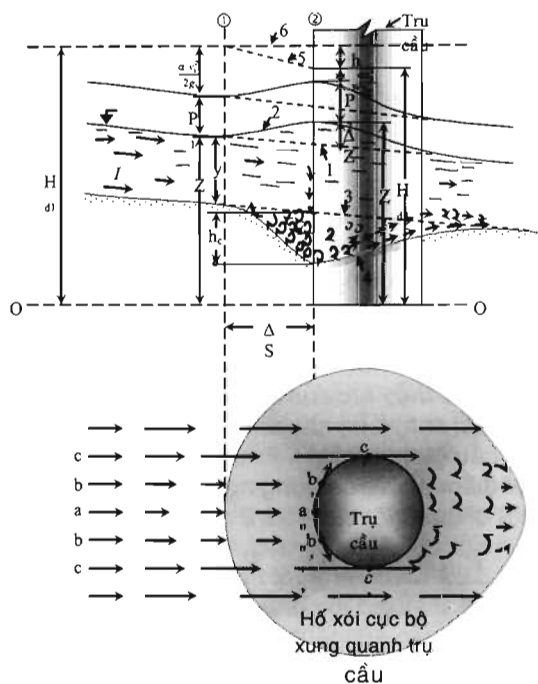
Trong đó : - Z_i' : cao độ đường mặt nước tại mặt cắt i ;

- P_i' : áp suất tại mặt cắt i ;

- U_i' : tốc độ dòng nguyên tố (hoặc toàn bộ dòng chảy) tại mặt cắt i ;

Trừ vế đối vế (3) và (4), ta được:

$$Z_1 - Z_1' + \frac{P_1 - P_1'}{\gamma} + \frac{\alpha_1 (U_1^2 - U_1'^2)}{2g} = Z_2 - Z_2' + \frac{P_2 - P_2'}{\gamma} + \frac{\alpha_2 (U_2^2 - U_2'^2)}{2g} \quad (5)$$



Hình 1.

Cơ chế thủy lực của dòng chảy quanh trụ cầu

$$V_1 \frac{P_1 - P'_1}{\gamma} = \frac{P_2 - P'_2}{\gamma} = y \text{ và chuyển vế cho (5)}$$

sẽ có :

$$(Z_2 - Z_1) - (Z'_2 - Z'_1) = \frac{\alpha_1 (U_1^2 - U_1'^2)}{2g} - \frac{\alpha_2 (U_2^2 - U_2'^2)}{2g} \quad (6)$$

Thay $Z_1 = Z_2 - \Delta Z + l \cdot \Delta S$ và $Z'_1 = Z'_2 + l \cdot \Delta S$ vào (6) ta được:

$$(Z_2 - Z_2 + \Delta Z - l \cdot \Delta S) - (Z'_2 - Z'_2 - l \cdot \Delta S) = \frac{\alpha_1 U_1^2 - \alpha_1 U_1'^2}{2g} - \frac{\alpha_2 U_2^2 - \alpha_2 U_2'^2}{2g} \quad (7)$$

$$\text{Hay: } \Delta Z = \frac{\alpha_1 U_1^2 - \alpha_2 U_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 U_1'^2 - \alpha_2 U_2'^2}{2g} \quad (8)$$

Xét cho dòng nguyên tố (a-a') chứa điểm tính toán nằm trong mặt phẳng thẳng góc với đáy sông và đi qua mũi trụ, ta có: $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$, $U_2 = U_2' = 0$ (Điểm dừng) ΔZ đạt giá trị cực đại), phương trình (8) trở về phương trình:

$$\Delta Z_{\max} = \frac{U_1^2 - U_1'^2}{2g} \quad (9)$$

Thay ($U_1 = U_{\max}$, $U_1' = U_{\text{đáy}}$), ta có:

$$\Delta Z_{\max} = \frac{U_{\max}^2 - U_{\text{đáy}}^2}{2g} \quad (10)$$

Dòng tia sinh ra do sự chênh áp giữa điểm trên mặt thoáng và điểm dưới đáy sông nằm trong mặt phẳng đi qua mũi trụ sẽ tác động trực tiếp lên hạt bùn cát đáy. Giả sử hạt bùn cát đáy có dạng hình cầu, đường kính là d (mm), nằm độc lập không tồn tại liên kết với các hạt bùn cát khác, năng lượng E của dòng tia trong phạm vi của đường kính hạt bùn cát được xác định theo công thức: $E = y \cdot d \cdot \gamma \cdot \Delta Z_{\max}$ (11)

$$\text{Hay } E = y \cdot d \cdot \gamma \cdot \left(\frac{U_{\max}^2 - U_{\text{đáy}}^2}{2g} \right) \quad (12)$$

Trong đó: - γ : Chiều sâu dòng chảy tới tại điểm cách thượng lưu mũi trụ một khoảng sao cho dòng chảy không bị nhiễu loạn bởi sự có mặt của trụ (m).

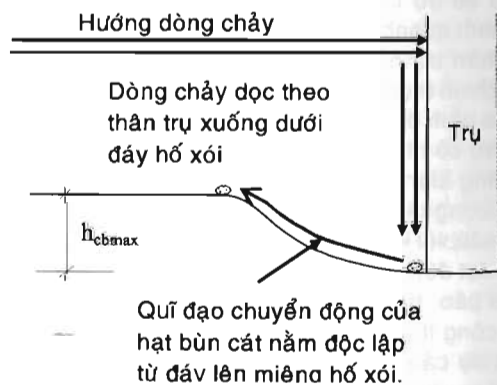
- γ : Trọng lượng thể tích của nước (N/m^3)

Khi hố xói hình thành và chiều sâu hố xói đạt đến giá trị cân bằng lớn nhất là $h_{cb\max}$, hạt bùn cát nằm dưới đáy hố xói, năng lượng E_1 của dòng chảy xuống tác động lên hạt vật liệu được xác định theo công thức:

$$E_1 = (y + h_{cb\max}) \cdot d \cdot \gamma \cdot \Delta Z_{\max} = (y + h_{cb\max}) \cdot \left(\frac{U_{\max}^2 - U_{\text{đáy}}^2}{2g} \right) \cdot \gamma \cdot d \cdot y \quad (13)$$

4. Xác định điều kiện cân bằng năng lượng và để xây dựng công thức tính xói cục bộ tại trụ cầu:

Dòng tia sau khi tác động trực tiếp lên các hạt vật liệu sẽ hình thành các vòng xoáy có trục nằm ngang và đưa hạt vật liệu lên miệng hố xói theo hướng tiếp tuyến với các vòng xoáy (Hình 2). Hố xói sẽ dừng phát triển khi điều kiện cân bằng năng lượng được xác lập: Năng lượng của dòng tia tác động lên hạt vật liệu cân bằng với năng lượng của dòng xoáy còn đủ khả năng đẩy các hạt bùn cát ra ngoài hố xói về phía hạ lưu trụ cầu. Năng lượng E_2 để đưa hạt bùn cát hình cầu, đường kính là d nằm độc lập trên đáy phẳng lên miệng hố xói được xác định theo công thức:



Hình 2:

Sơ đồ xác định điều kiện cân bằng năng lượng

$$E_2 = mgh = mgh_{cb\max} = W_g h_{cb\max} \quad (14)$$

Trong đó: W_g - Trọng lượng riêng đẩy nổi hạt vật liệu được xác định theo công thức:

$$W_g = \frac{\pi d^3}{6} (\gamma_s - \gamma) \quad (15)$$

γ_s - Trọng lượng thể tích của hạt vật liệu (N/m^3)

$h_{cb\max}$ - Chiều sâu lớn nhất tại hố xói (m)

Cân bằng (13) và (14), tính cho hạt cát độc lập, ta có: $E_2 = E_1$ (16)

$$W_g \cdot h_{cb\max} = d \cdot y \cdot \gamma \cdot \left[\frac{U_{\max}^2 - U_{\text{đáy}}^2}{2g} \right] (y + h_{cb\max}) \quad (17)$$

$$\frac{\pi d^3}{6} (\gamma_s - \gamma) h_{cb\max} = d \cdot y \cdot \gamma \cdot \left[\frac{U_{\max}^2 - U_{\text{đáy}}^2}{2g} \right] (h_{cb\max} + y) \quad (18)$$

(Xem tiếp trang 92)