

ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG XÂY RA XÓI NGẦM CÔNG TRÌNH CẢNG – ĐƯỜNG THỦY

ASSESSMENT OF THE POTENTIAL FOR INTERNAL EROSION IN PORT AND WATERWAY ENGINEERING

Nguyễn Đức Mạnh¹²

Tóm tắt: Xói ngầm là hiện tượng các hạt đất bị mang đi dưới ảnh hưởng của dòng thấm trong công trình. Quá trình hình thành và phát triển của xói ngầm là phức tạp. Việc dự báo và xác định xói ngầm trong công trình cũng còn gặp nhiều khó khăn. Xói ngầm là nguyên nhân gây ra nhiều sự cố trong công trình. Phần đầu của bài báo này sẽ trình bày chi tiết về cơ chế hình thành, cũng như các tiêu chí đánh giá xói ngầm của công trình. Phần sau bài báo sẽ phân tích đánh giá khả năng xói ngầm của một vài dạng công trình đặc trưng ngành công trình cảng đường thủy – kè gầm bến, ụ tàu. Các phân tích đánh giá được dựa trên việc tính toán các ngưỡng gây xói, kết hợp với việc mô hình hóa dòng thấm bằng phần tử hữu hạn thông qua phần mềm Geo-Studio.

Từ khóa: Xói ngầm, Cảng đường thủy, kè bến, ụ tàu, Geo-Studio

Abstract: Internal erosion is the displacement of the fine particles of a soil under the action of an internal flow. The mechanisms responsible for internal erosion are complex, evolutionary and depend on several parameters. This mechanism could be the origin of the damage on embankments. In the first part of the article gives an overview of internal erosion. The following part will assess the potential for internal erosion in port and waterway engineering. The assessment is based on the calculation the critical parameter to cause erosion, combined with seepage modeling using finite element method (FEM)

Keywords: Internal Erosion, Port and waterway, Revetment, Dry Dock, Geo-Studio

1. Đặt vấn đề

Xói ngầm là hiện tượng các hạt đất bị rửa trôi bởi tác dụng của dòng nước trong đất. Quá trình hình thành và phát triển của xói ngầm là phức tạp. Tồn tại bốn kiểu hình thành xói ngầm khác nhau : xói dạng ống, xói khuếch tán, xói ngược và xói tiếp xúc. Sự phát triển của xói ngầm theo thời gian thường diễn ra chậm, và ít có biểu hiện ra ngoài. Do đó việc dự báo và xác định xói ngầm trong công trình cũng còn gặp nhiều khó khăn. Hiện nay những nghiên cứu về xói ngầm vẫn đang được tiếp tục, để có thể tìm được phương pháp dự báo sớm và chính xác sự hình thành cũng như phát triển của xói ngầm.

Trong công trình cảng – đường thủy hiện nay, vấn đề xói ngầm mới chỉ được đề cập trong việc thiết kế và thi công lớp lọc cho các công trình bến, cho mái dốc kè, đê bảo vệ bờ ... Việc đánh giá khả năng xói ngầm của công trình chưa được đề cập đầy đủ, cũng như các nguyên nhân hình thành của vấn đề này chưa được chỉ ra cụ thể.

Bài báo này sẽ đề cập đến quá trình hình thành xói ngầm, tập trung vào việc đánh giá khả năng xảy ra xói ngầm của công trình cảng đường thủy. Hai kiểu công trình được sử dụng trong bài báo này là công trình kè gầm bến và ụ tàu. Kiểu công trình thứ nhất chịu ảnh hưởng của sự thay đổi mực nước thay thời gian, trong khi kiểu công trình thứ hai có sự chênh lệch cột nước lớn.

2. Cơ chế hình thành xói ngầm

2.1. Sự hình thành của xói ngầm

Đặc tính chung của các loại công trình thủy là sự tiếp xúc giữa đất và nước. Dưới ảnh hưởng của các lực do nước gây ra, các hạt đất sẽ bị lôi đi, khi đó quá trình xói sẽ diễn ra. Sự xuất hiện của xói ngầm sinh ra sự thay đổi các đặc tính cơ lý và thủy lực của đất, đặc biệt là hệ số thấm của đất. Bốn cơ chế hình thành xói ngầm được phân biệt :

- *Xói dạng ống (Concentrated leak erosion):* ống được hiểu ở đây là các vết nứt, hoặc lỗ trong đất. Tại những vị trí này dòng nước sẽ tập trung lại, lực tác dụng của nước sẽ tăng, gây nên xói các hạt ở thành của đường ống. Xói ngầm dạng ống thường chỉ phát triển đối với các loại đất dính, đôi khi gặp trong đất rời không bão hòa.

- *Xói khuếch tán (Suffusion):* xuất hiện khi các hạt đất nhỏ bị tách ra và di chuyển trong không gian lỗ rỗng giữa các hạt đất lớn hơn. Quá trình xói khuếch tán sẽ phân bố lại các hạt đất, làm thay đổi lỗ rỗng và các đặc tính thủy lực của đất. Sự hình thành xói ngầm khuếch tán chỉ xảy ra nếu một vài điều kiện liên quan

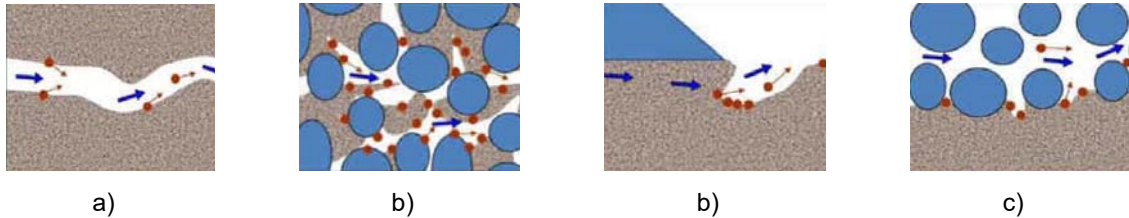
¹ Bộ môn Cảng-đường thủy Trường Đại học Xây Dựng. Email: manhd@nuce.edu.vn

² Công ty Cổ phần tư vấn thiết kế Cảng-Kỹ thuật biển

kích thước hạt đạt được, hoặc liên quan đến gradient thủy lực trong đất. Vấn đề xói ngầm này thường diễn ra chậm. Trong suốt quá trình xói, thể tích tổng thể của đất hầu như không thay đổi, tuy nhiên hệ số thấm của đất tăng do mất các hạt đất nhỏ. Hiện tượng xói ngầm khuếch tán chỉ phát triển trong đất rời, đặc biệt trong trường hợp đất cát pha phù sa.

- **Xói ngược (Backward erosion piping):** xuất hiện ở vị trí mà dòng thấm đi ra khỏi công trình. Lực tác dụng lên các hạt đất là cân bằng giữa lực đẩy của nước và trọng lượng riêng của hạt. Khi đó các hạt đất bị tách ra và bị kéo đi bởi dòng nước. Quá trình này sẽ làm giảm đường thấm, tương ứng với sự tăng lên của gradient thủy lực. Hiện tượng này thường chỉ xuất hiện đối với đất rời.

- **Xói tiếp xúc (Contact erosion):** là hiện tượng tách các hạt đất ở lớp tiếp xúc giữa hai loại đất khác nhau dưới ảnh hưởng của dòng thấm song song với bề mặt tiếp xúc. Ví dụ trong trường hợp một lớp sỏi/đá dăm tiếp xúc với một lớp đất nhỏ, các hạt đất nhỏ ở lớp tiếp xúc có thể bị tách ra, và di chuyển theo dòng nước trong không gian lỗ rỗng của các hạt sỏi/đá dăm. Quá trình này có thể phát triển rất nhanh.



Hình 1. Các cơ chế của xói ngầm (Mériaux, 2013)
a) Xói dạng ống; b) xói khuếch tán; c) xói ngược; d) xói tiếp xúc

2.2. Các tiêu chí đánh giá xói ngầm

Hai điều kiện cần phải đạt được đối với vấn đề xói ngầm: sự tách rời các hạt đất, và sự vận chuyển của các hạt đất. Hai điều kiện này tương ứng với hai quá trình khác nhau. Sự tách rời các hạt đất liên quan đến sự mất cân bằng giữa ba lực: lực thủy động; ứng suất hữu hiệu; lực bề mặt. Sự vận chuyển các hạt đất liên quan đến lực thủy động và không gian lỗ rỗng giữa các hạt đất.

Khả năng xảy ra xói ngầm của đất tương ứng với điều kiện tách rời các hạt đất. Đã có nhiều tiêu chí khác nhau được phát triển để đánh giá khả năng xói ngầm của đất. Trong giới hạn của bài báo này chỉ đề cập đến việc đánh giá khả năng xói ngầm khuếch tán và xói ngầm tiếp xúc của công trình.

• **Xói tiếp xúc:** Để đánh giá khả năng xói tiếp xúc, vận tốc dòng thấm được sử dụng. Trong trường hợp lớp tiếp xúc giữa cát và hạt lớn hơn, Brauns (1985) đã đề xuất công thức tính vận tốc gây xói như sau:

$$V_{cr} = 0.7n_D \sqrt{\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right)gd_{50}} \quad (1)$$

Trong đó ρ_s và ρ_w lần lượt là trọng lượng riêng của hạt bị xói và nước (kg/m^3), n_D là hệ số rỗng của đất có đường kính lớn hơn, g gia tốc trọng trường (m/s).

• **Xói khuếch tán:** Xói ngầm khuếch tán chỉ xảy ra đối với đất rời, khi mà các hạt đất nhỏ có thể di chuyển trong không gian các hạt đất lớn hơn. Liên quan đến xói ngầm khuếch tán, người ta đã phân biệt hai loại cấu trúc của đất: (i) cấu trúc chính được cấu tạo bởi các hạt đất lớn; (ii) cấu trúc phụ được cấu tạo bởi các hạt nhỏ, các hạt này có khả năng di chuyển qua kích thước lỗ rỗng của cấu trúc chính. Xói khuếch tán chỉ xảy ra nếu cả hai điều kiện sau đảm bảo:

- Điều kiện thứ nhất liên quan đến sự phân bố kích thước hạt của đất: lỗ rỗng của các phần tử đất lớn hơn phải đủ lớn để các hạt nhỏ hơn có thể di chuyển. Theo Kenney và Lau (1985), nếu ta gọi $F(\%)$ là phần trăm các hạt đất có đường kính nhỏ hơn d , $H(\%)$ là phần trăm các hạt đất có đường kính nằm giữa d và $4d$, khi đó đất có khả năng bị xói nếu $F > H$.

- Điều kiện thứ hai là điều kiện thủy lực liên quan đến quá trình tách các hạt đất. Theo Li (2008), tồn tại một giá trị gradient thủy lực i_c có thể gây nên sự di chuyển của các hạt đất. Giá trị gradient này tỉ lệ với gradient gây xói của Terzaghi i_T và ứng suất hữu hiệu trong đất σ'_{vm} :

$$i_c = \frac{\alpha}{1-0.5\alpha} \left(\sigma'_{vm} + \frac{0.5\gamma'}{\gamma_w} \right) \quad (2)$$

$$\alpha = 1 - \frac{(0.42 - d'_{85}/O_{50})}{0.26} \quad (3)$$

$$O_{50} = 4 \frac{n_c}{1-n_c} \frac{d_H}{\alpha_d} \quad (4)$$

$$n_c = n + F_n(1-n) \quad (5)$$

$$d_H = \left(\sum_{j=1}^m \frac{F_j}{d_j} \right)^{-1} \quad (6)$$

Trong các công thức trên, γ' là dung trọng đẩy nổi của đất, γ_w là dung trọng nước, d_n là đường kính hạt phân chia giữa hạt to và hạt nhỏ (d_n tương ứng với giá trị H/F là nhỏ nhất theo Kenney et Lau-đường kính hạt đất có khả năng bị xói), F_n là phần trăm khối lượng tương ứng với đường kính d_n , d'_{85} là đường kính hạt tương ứng với 85% hạt qua sàng (trong tổng số các hạt nhỏ hơn d_n); n_c là hệ số rỗng của các hạt to (các hạt lớn hơn d_n), n là hệ số rỗng của đất ban đầu, O_{50} là đường kính trung bình lỗ rỗng giữa các hạt đất lớn hơn d_n , d_H là đường kính hữu hiệu của đất hạt lớn hơn d_n , F_j là khối lượng (kg) của đường hạt có đường kính d_j , α_d là hệ số hình dạng của hạt (lấy bằng 6 với hạt tròn, bằng 7÷9 với hạt khác).

3. Dòng thấm trong đất

Dòng thấm trong đất bão hòa và không bão hòa được mô tả theo định luật Darcy :

$$v = k \times i \quad (7)$$

Trong đó v là vận tốc Darcy của dòng thấm (m/s), k là hệ số thấm của đất (m/s), và i là gradient thủy lực của dòng thấm. Hệ số thấm của đất bão hòa là một hệ số không đổi, trong khi đó đối với đất không bão hòa, hệ thấm thay đổi như một hàm của độ ẩm và áp lực nước lỗ rỗng (Fredlund & Morgenstern, 1977).

Phương trình cân bằng khối lượng như sau :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (8)$$

Với H là chiều cao cột nước (m), k_x hệ số thấm theo phương x (m/s), k_y hệ số thấm theo phương y (m/s), Q lưu lượng tính toán (m^3/s), θ hàm lượng nước thể tích trong đất (m^3), t là thời gian (s).

Phương trình (8) được gọi là phương trình Richard, chỉ ra sự chênh lệch giữa dòng chảy vào và ra của một khối phần tử đất ở một thời điểm nào đó. Sự chênh lệch này cân bằng với sự thay đổi thể tích nước trong đất theo thời gian.

Sự thay đổi thể tích nước phụ thuộc vào thay đổi trạng thái ứng suất và các tính chất của đất. Trạng thái ứng suất cho cả hai trường hợp bão hòa và không bão hòa có thể mô tả bởi 2 biến trạng thái ứng suất ($\sigma - u_a$) và $(u_a - u_w)$ với u_a là áp lực không khí, u_w là áp lực nước lỗ rỗng.

Vì áp lực không khí không đổi ở áp suất khí quyển, do đó giá trị $(\sigma - u_a)$ không đổi và không có ảnh hưởng đến sự thay đổi thể tích nước trong đất. Thay đổi hàm lượng thể tích nước chỉ phụ thuộc vào thay đổi của biến trạng thái ứng suất $(u_a - u_w)$ và với u_a không đổi, sự thay đổi thể tích nước dẫn đến sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng. Kết quả được thể hiện qua phương trình:

$$\partial \theta = m_w \partial u_w \quad (9)$$

Với m_w là độ dốc của đường cong lưu trữ;

Khi đó độ cao cột nước được tính theo công thức :

$$H = \frac{u_w}{\gamma_w} + y \quad (10)$$

$$u_w = \gamma_w (H - y) \quad (11)$$

$$\partial\theta = m_w \gamma_w \partial(H - y) \quad (12)$$

Công thức (8) được viết lại như sau :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(Kx \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(Ky \frac{\partial}{\partial y} \right) + Q = m_w \gamma_w \frac{\partial(H - y)}{\partial t} \quad (13)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(Kx \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(Ky \frac{\partial}{\partial y} \right) + Q = m_w \gamma_w \frac{\partial H}{\partial t} \quad (14)$$

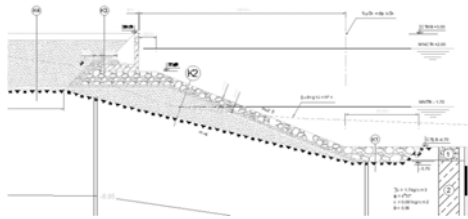
Lời giải của chương trình, cho phép ta tính toán được đường thấm trong đất, cũng như tính toán được đặc trưng thủy lực của mọi điểm trong đất (bao gồm chiều cao cột nước, áp lực nước lỗ rỗng, gradient thủy lực, trường vận tốc).

4. Đánh giá khả năng xói ngầm của công trình

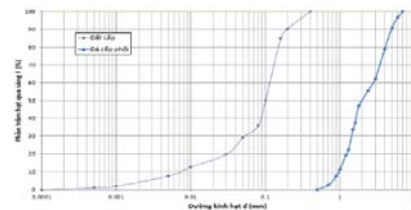
Để đánh giá khả năng xảy ra xói ngầm của công trình, ban đầu phải xuất phát từ tính chất của đất công trình để xác định giá trị ngưỡng gây xói của các thông số: gradient thủy lực, vận tốc dòng thấm. Phần mềm Geo/Seep được sử dụng để xác định các yếu tố của dòng thấm thực tế của công trình. Cuối cùng giá trị tính toán thực tế sẽ được so sánh với giá trị ngưỡng, từ đó có thể kết luận khả năng xói ngầm của công trình.

4.1. Kè gằm bên

Bài toán đặt ra trong bài báo này là đánh giá khả năng xói ngầm của kè gằm bên. Số liệu được sử dụng trong bài toán là kè gằm bên nhập liệu Kinh Môn, Hải Dương (Hình 3). Mái kè được gia cố bằng đá hộc, kết hợp tầng lọc ngược để bảo vệ cho lớp đất lấp phía trong.



Hình 2. Mặt cắt ngang bến



Hình 3. Đường kính thước hạt

Dựa trên tính chất đường kích thước hạt của đất (Hình 4), có thể đánh giá được khả năng xảy ra xói ngầm của từng loại đất của kè. Như đã đề cập ở trên, xói ngầm khuếch tán chỉ xảy ra đối với đất rời, do đó trong trường hợp này, chỉ có đất lấp sau bến là có khả năng xảy ra xói ngầm kiểu khuếch tán. Áp dụng tiêu chí đánh giá xói ngầm của Kenney và Lau (1985), đất lấp được xác định là có khả năng xói ngầm theo tiêu chí đường kích thước hạt (bảng 1).

Bảng 1. Thông số các lớp đất của kè

Stt	Loại đất	Hệ số thấm K (m/s)	Khả năng xói khuếch tán
1	Đất san lấp (cát pha)	5×10^{-3}	Có
2	Lớp 1 - Bùn sét pha	2×10^{-6}	không
3	Lớp 2 - Sét pha cát	6×10^{-4}	không
4	Lớp 3 - Sét pha	1×10^{-5}	không

Đặc trưng của kè gằm bên trong trường hợp tính toán là chịu ảnh hưởng của sự thay đổi mực nước trong ngày. Biên độ dao động mực nước lớn nhất trong ngày là 3.3m. Bài toán được xét đến ở đây, trong trường hợp cực đoan khi mà trời mưa, hệ thống thoát nước hoạt động không hiệu quả, mực nước ngầm trong bãi tăng cao hơn mực nước cao nhất trong sông, bằng cao độ dưới của lớp kết cấu bãi. Khi đó sự chênh lệch mực nước cao nhất có thể lên đến 4m. Giả thiết trên mặt bãi không có hàng hóa thiết bị.

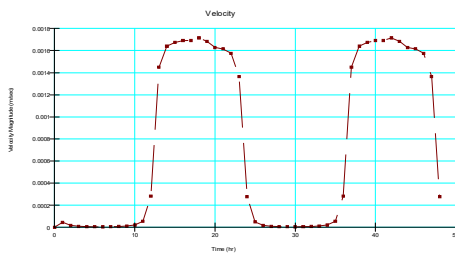
Sử dụng phần mềm Geo-Studio, mô đun Seep kết hợp Sigma cho phép mô tả dòng thấm, cũng như trạng thái ứng suất tại mọi điểm của công trình. Kết quả tính toán chỉ ra rằng, dòng thấm tập trung tại vị trí gần chân tường chắn, vị trí tiếp giáp giữa đất lấp và lớp lọc (điểm A), ngoài ra dòng thấm tập trung dọc theo lớp tiếp giáp giữa đất lấp và lớp lọc (Hình 7). Sự thay đổi mực nước theo thời gian kéo theo sự thay đổi của gradient

thủy lực tại điểm A (Hình 5), và vận tốc dòng thấm tại điểm B (Hình 6). Các giá trị này tăng giảm tuần hoàn theo chu kỳ lên xuống của mực nước.

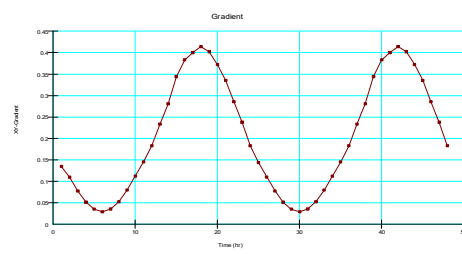
- Dọc theo lớp tiếp xúc giữa đất lấp và tầng lọc ngược, do sự khác nhau về kích thước hạt và hệ số thấm, do đó dòng nước có khả năng tập trung tại vị trí này, vận tốc thấm lớn nhất là $V_{max}=0.0017m/s$. Tuy nhiên giá trị này vẫn nhỏ hơn rất nhiều giá trị vận tốc xói tiếp xúc giữa hai loại đất $V_{ix}=0.214m/s$. Do đó không xảy ra xói ngàm tiếp xúc giữa hai lớp đất này.

- Tại vị trí điểm A, sử dụng công thức (2) xác định được giá trị gradient ngưỡng gây xói khuyếch tán là $I_{ck}=0.39$. Giá trị này là nhỏ hơn giá trị gradient tính toán được $I_{max}=0.42$. Do đó, tại vị trí A, đất bị xói ngàm. Vấn đề xói ngàm của đất tại vị trí này là cục bộ, và nó xảy theo tính tuần hoàn, và thời gian đất bị xói ngàm là không dài (Hình 7). Tuy nhiên, dọc theo lớp tiếp xúc đất lấp và lớp lọc, một kênh dẫn nước có thể hình thành tại vị trí này, do đó xói ngàm kết hợp với kênh dẫn nước sẽ tạo điều kiện thuận lợi để mang hạt di chuyển trong thân công trình, thậm trí có thể bị mang ra khỏi công trình. Sự di chuyển của các hạt đất kéo theo sự thay đổi độ rỗng và hệ số thấm tại các vị trí khác nhau trong công trình. Quá trình này tiếp tục có thể hình thành những vùng tập trung nước trong thân công trình, đó là những vị trí khuyết tật cục bộ, nguy cơ xảy ra xói ngàm tại những vị trí đó là cao hơn.

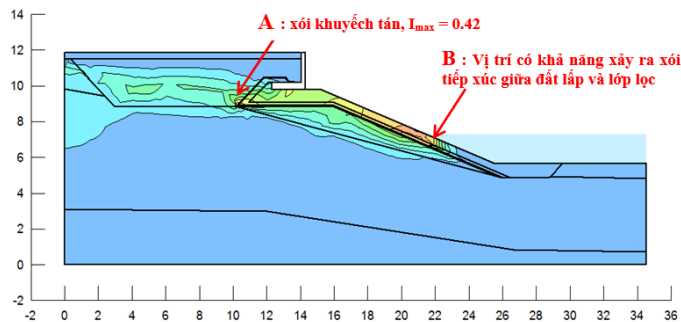
- Kết quả của việc hình thành những khuyết tật cục bộ trong công trình là có thể dẫn đến công trình bị sụt lún cục bộ, có thể gây sạt trượt của mái kè, phá hoại công trình.



Hình 4 Vận tốc thấm tại vị trí B



Hình 5. Gradient thủy lực tại vị trí A



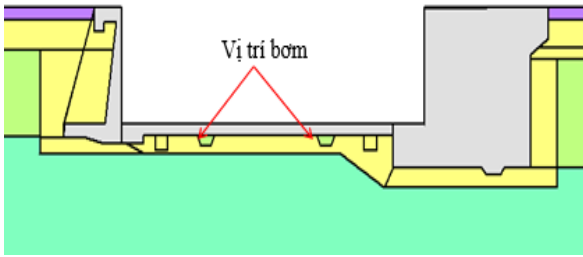
Hình 6. Trường vận tốc dòng thấm, khi mực nước trong sông là thấp nhất

4.2. Công trình Ụ tàu

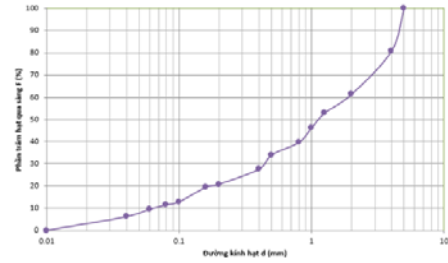
Trong bài toán này sẽ tính toán khả năng xảy ra xói ngàm của một Ụ tàu (Hải Phòng). Cao độ mực nước ngàm tương đương mực nước trong sông, cao nhất là 3.26m, nằm trong tầng đất đắp. Sự chênh mực nước lớn nhất khi ụ khô là 8m. Để đánh giá khả năng xói ngàm xảy ra, xét trường hợp mực nước trong sông cao nhất - tương ứng với mực nước ngàm cao nhất, và khi phải bơm hút khô đáy ụ.

Bảng 2. Thông số đầu vào

Stt	Loại đất	Hệ số thấm K (m/s)	Khả năng xói khuyếch tán
1	Đất lấp	1.2×10^{-4}	Có
2	Lớp 1 - Bùn sét	2.1×10^{-7}	không
3	Lớp 2 – Sét dẻo mềm	3.0×10^{-6}	không
4	Lớp 3 – Sét dẻo chảy	1.5×10^{-6}	không

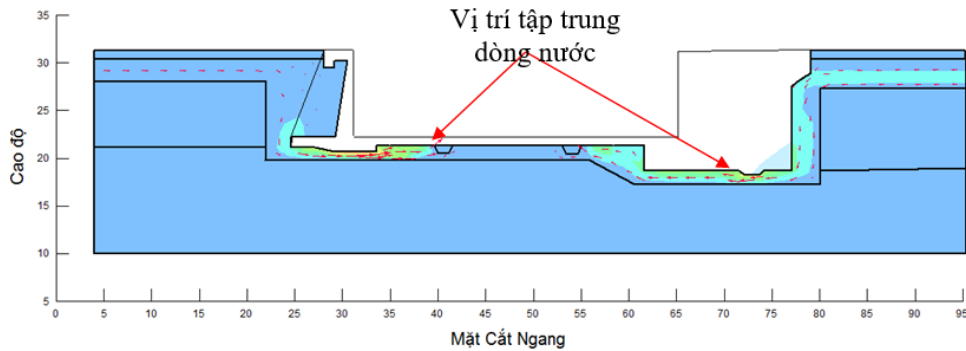


Hình 7. Mặt cắt ngang ụ tàu



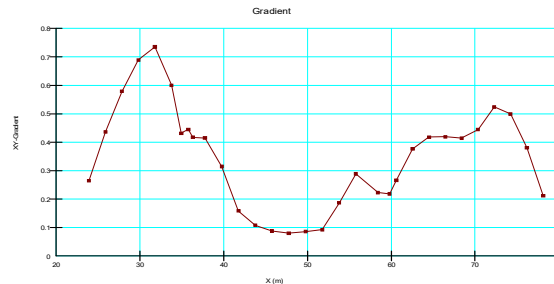
Hình 8. Đường kích thước hạt đất lấp

- Sử dụng phương pháp Kenney và Lau (1985) xác định được đất lấp có khả năng xảy ra xói ngầm. Do lớp 1 và lớp 2, 3 là những lớp bùn, sét là những loại đất không thấm nước, do đó khi bơm, nước di chuyển chủ yếu trong lớp đất san lấp. Từ kết quả tính mô hình nhận thấy rõ dòng nước chảy tập trung trong lớp đất san lấp, dọc theo kết cấu ụ (Hình 10). Tại vị trí tiếp xúc đất-kết cấu, do sự tập trung dòng nước, nên khả năng xảy ra xói ngầm ở những vị trí này là rất cao.



Hình 9. Vận tốc và đường dòng thấm

- Kết quả tính toán cho thấy giá trị gradient xói ngầm là $I_{xk}=0.45$. Giá trị này nhỏ hơn một vài giá trị gradient thủy lực tại vị trí dưới đáy ụ (Hình 11). Vận tốc dòng thấm lớn tập trung ở đáy ụ, gần vị trí bơm hút nước, hoặc ở vị trí có sự thay đổi của kết cấu ụ. Do đó khả năng xói ngầm có thể xảy ra tại vị trí đáy ụ là lớn hơn vị trí khác. Khi quá trình xói xảy ra, sự di chuyển các hạt đất làm thay đổi hệ số rỗng của đất, có những vị trí đất trở nên rỗng hơn, những vị trí khác đất chặt hơn. Vị trí đất bị xói có thể xảy ra lún cục bộ, làm ảnh hưởng kết cấu bãi ở phía trên. Ngoài ra xói ngầm có thể làm tập trung các hạt đất ở gần khu vực thu nước, dẫn đến bồi tắc, làm giảm khả năng bơm thoát nước buồng ụ, ảnh hưởng đến hoạt động công trình.



Hình 10. Gradient thủy lực dòng thấm tại vị trí dưới đáy ụ

5. Kết luận

Trong bài báo này, hai cơ chế hình thành xói ngầm là xói tiếp xúc và xói khuếch tán được sử dụng để đánh giá khả năng xói của công trình. Việc đánh giá được thực hiện khi xem xét các thông số khác nhau của đất. Kết quả mô hình hóa đã cho phép chỉ ra những vị trí mà có khả năng xảy ra xói, cũng như các cơ chế hình thành xói ngầm khác nhau. Một vài kết quả cụ thể thu được liên quan đến nguyên nhân chính sinh ra xói ngầm :

- Xói ngầm có thể phát triển dọc theo lớp tiếp xúc giữa đất - kết cấu. Đây là vị trí tập trung dòng nước, có vận tốc dòng thấm lớn hơn những vị trí khác. Trong trường hợp lớp đất tiếp xúc kết cấu không được xử lý tốt (do quá trình thi công - đầm nén), xói ngầm dễ xảy ra.

- Tại những vị trí tiếp xúc giữa hai lớp đất khác nhau, có khả năng xảy ra xói tiếp xúc. Xói tiếp xúc có thể kết hợp với xói khuyếch tán làm cho quá trình xói ngầm phát triển nhanh hơn.

- Đối với xói ngầm khuyếch tán, cần đặc biệt chú đến các loại đất rời, mà có đường kích thước hạt phân bố đều trên một dải rộng.

- Trong trường hợp mực nước thay đổi, sẽ tạo ra sự thay đổi tính chất dòng thấm theo thời gian. Xói ngầm xảy ra kết hợp với sự thay đổi đường mực nước bão hòa trong đất là nguyên nhân làm tăng nguy cơ mất ổn định công trình (sụt lún, sạt trượt công trình).

Tài liệu tham khảo

- 1) Bonelli, S. (2012) *Erosion in geomaterials*, Hermes: London - ISTE Wiley
- 2) Fell, R. et Fry, J.J. (2007) *Internal Erosion of Dams and Their Foundations*, Taylor & Francis Publishers.
- 3) Kenney, T.C. et Lau, D. (1985) « Internal stability of granular filters ». *Canadian Geotechnical Journal*, 22(2), pp.215–225.
- 4) Li. M., (2008) *Seepage induced instability in widely graded soils*. The university of British Columbia, Vancouver, Canada.
- 5) Mériaux, P. (2013) Introduction. In *Méthodologie de reconnaissance et de diagnostic de l'érosion interne des ouvrages hydrauliques en remblai - Projet National ERINOH - Thème H : « Recommandations »*. pp. 14–18.
- 6) Nguyen D. M. (2013) *Méthode Hydro-Géomécanique de caractérisation de la susceptibilité des sols à l'érosion interne*. Université de Grenoble, France.
- 7) Phạm Văn Giáp, Nguyễn Hữu Đầu, Nguyễn Ngọc Huệ (1998) *Công trình bến cảng*. Nhà xuất bản Xây dựng.
- 8) Phạm Văn Giáp, Bùi Việt Đông (2006) *Bến cảng trên nền đất yếu*. Nhà xuất bản Xây dựng
- 9) Terzaghi, K. (1939) « Soil mechanics: a new chapter in engineering science » *Journal, Institution of Civil Engineers*, 12, pp.106 – 141.