

KẾT QUẢ BƯỚC ĐẦU NGHIÊN CỨU XÓI NGÂM, CÁT CHẢY NỀN ĐÊ SÔNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM HIỆN TRƯỜNG

Bùi Văn Trường¹

Tóm tắt: Xói ngầm, cát chảy là những hình thức biến dạng thấm tiêu biểu xảy ra ở vùng “cửa thoát” nơi có dòng thấm đi ra khi gradien áp lực thấm vượt quá gradien áp lực thấm giới hạn của đất. Để dự báo nguy cơ phát sinh biến dạng thấm gây mất ổn định công trình đê điều cần xác định chính xác gradien áp lực thấm giới hạn gây xói ngầm (I_{gh}^x) và gradien áp lực thấm giới hạn gây cát chảy (I_{gh}^c). Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu, xác định các đặc trưng biến dạng thấm (I_{gh}^x và I_{gh}^c) cho các lớp đất cát hạt bụi, cát hạt nhỏ của hệ tầng Thái Bình và hệ tầng Hải Hưng phân bố ở nền đê sông Hồng bằng phương pháp thí nghiệm tại hiện trường.

Từ khóa: Nền đê, xói ngầm, cát chảy, thí nghiệm hiện trường.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong xây dựng các công trình thủy lợi, thủy điện và các công trình ngầm,..., xói ngầm, cát chảy là những quá trình địa chất động lực hết sức nguy hiểm, xảy ra rất phổ biến. Nó có thể là nguyên nhân trực tiếp hoặc là tiền đề dẫn đến sự cố các công trình (Phạm Văn Ty, 1986). Khả năng phát sinh, phát triển những quá trình này phụ thuộc chủ yếu vào điều kiện thủy động lực của dòng thấm và tính chất của đất, đặc biệt là thành phần hạt và cấu trúc của đất (Mironenko V.A. và Sextakov V.M., 1982; Tô Xuân Vu, 2002).

Quan sát thực tế biến dạng thấm (BDT) xảy ra ở nền đê cho thấy, dưới áp lực của cột nước trong tầng cát (tầng chứa nước - TCN) nằm dưới do mực nước sông dâng cao trong mùa lũ, tầng phủ bị phá vỡ tại những điểm yếu (khuyết tật) tạo “cửa thoát”, từ đó nước trào lên dưới dạng mạch đùn (grifon), bãi đùn. Để làm sáng tỏ quá trình BDT và dự báo nguy cơ phát sinh BDT ở nền đê, cần nghiên cứu quá trình phát triển xói ngầm, cát chảy, xác định gradien áp lực thấm (ALT) giới hạn gây BDT ở tầng cát.

Hiện nay có nhiều phương pháp (PP) xác định gradien ALT giới hạn gây xói ngầm, cát

chảy như tính toán lý thuyết, thí nghiệm trong phòng,... Tuy nhiên, PP tính toán lý thuyết còn có những hạn chế vì chưa xét tới một loạt yếu tố thuộc về bản chất của đất như thành phần, tính chất, trạng thái của đất,... PP thí nghiệm trong phòng có ưu điểm là khá đơn giản, dễ thực hiện và ít tốn kém nhưng có những hạn chế về kích thước và tính nguyên trạng của mẫu thí nghiệm (Bùi Văn Trường, 2004). Do đó gradien ALT giới hạn xác định được là không hoàn toàn tin cậy. Để khắc phục những nhược điểm nêu trên, tác giả sử dụng PP thí nghiệm hiện trường để xác định các đặc trưng BDT của cát ở vùng cửa thoát của đất nền đê. Mục đích của thí nghiệm là xác định cơ chế, hình thức BDT và I_{gh}^x và I_{gh}^c của cát ở nền đê và trong điều kiện tự nhiên.

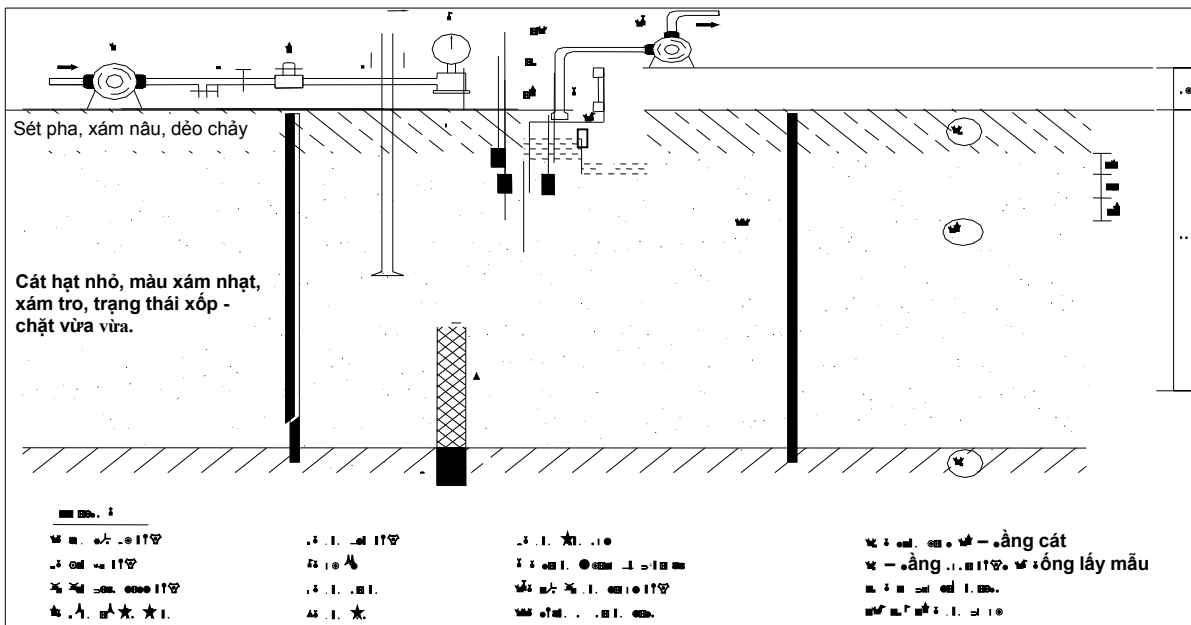
2. THÍ NGHIỆM XÓI NGÂM, CÁT CHẢY TẠI HIỆN TRƯỜNG

2.1. Mô hình thí nghiệm

Thí nghiệm xói ngầm, cát chảy (BDT của cát ở vùng cửa thoát) tại hiện trường được tiến hành bằng phương pháp ép nước vào giếng khoan qua ống lọc, sơ đồ thí nghiệm được trình bày cụ thể ở hình 01, việc bố trí, lắp đặt hệ thống thiết bị được minh họa ở ảnh 01.

Trong đó, Máy bơm 1 có nhiệm vụ ép nước vào giếng khoan để gia tăng áp lực thấm trong tầng cát.

¹ Đại học Thủy lợi.



Hình 1. Sơ đồ mô hình thí nghiệm xói ngầm, cát chảy ở nền đê



Ảnh 1. Thí nghiệm xói ngầm, cát chảy bằng phương pháp ép nước vào giếng khoan

Hố đào HD có kích thước 0.5x0.7m được đào sâu bóc bỏ hoàn toàn tầng phủ; Các ống đo áp H1, H2 & H3 lắp đặt ở độ sâu 0.5m, 1.0m và 1.50m ngay dưới đáy hố đào để quan trắc biến đổi cột nước áp lực ở vùng cửa thoát; thùng, phao (9) và máy bơm (10) có nhiệm vụ định hướng, chứa nước và bơm nước thoát ra từ cửa thoát khi thí nghiệm.

1.2. Quy trình thí nghiệm

Cột nước áp lực H_0 trong giếng được tăng theo từng cấp 0.2, 0.4, 0.6m ..., cho đến khi BDT trong cát phát triển mạnh, môi trường thấm bị phá hoại hoàn toàn. Mỗi cấp áp lực tiến hành quan trắc biến đổi cột nước áp lực trong các ống đo áp H1, H2&H3; quan trắc quá trình phát triển BDT và đo lưu lượng (Q) thoát ra ở vùng cửa thoát.

3. VỊ TRÍ THÍ NGHIỆM VÀ CÁC LOẠI ĐẤT THÍ NGHIỆM

Thí nghiệm xói ngầm, cát chảy được lựa chọn tại 4 vị trí thuộc hệ thống đê sông (bảng 01). Đây là những nơi có tính đại diện về thành phần, tính chất của tầng đất cát ở nền đê và thuận lợi cho việc thực hiện thí nghiệm. Tại mỗi vị trí có mặt một loại cát thí nghiệm (bảng 02).

Bảng 1. Các khu thí nghiệm

Số TT	Tuyến đê	Vị trí	Lớp đất thí nghiệm
1	Tả Trà Lý	K6.7	12
2	Hữu Trà Lý	K30.5	14
3	Hữu Luộc	K8.9	23
4	Hữu Luộc	K20.5	24

Đất nền đề tại các khu vực thí nghiệm gồm cát hạt bụi, cát hạt nhỏ của hệ tầng Thái Bình (lớp 12&14) và hệ tầng Hải Hưng (lớp 23&24).

Đặc trưng cơ lý của các lớp đất nền đề được trình bày ở bảng 02 (Bùi Văn Trường, 2004; Bùi Văn Trường, Phạm Văn Ty, 2008).

Bảng 2. Đặc trưng cơ lý các lớp cát nền đề tại vị trí thí nghiệm

Vị trí thí nghiệm	Loại đất theo TCVN 9362-2012 (lớp đất)	Hàm lượng các nhóm hạt (%),							Hệ số không đều hạt η	Khối lượng riêng ρ_s	Góc nghi ướt α_w	Góc nghi khô α_d	Hệ số rỗng lớn nhất e_{max}	Hệ số rỗng nhỏ nhất e_{min}	Hệ số thấm $K \times 10^{-3}$	Tuổi, nguồn gốc
		Cát				Bụi		Sét								
		2.0-0.5	0.5-0.25	0.25-0.10	0.10-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	< 0.005								
Tả Trà Lý K6.7	Cát bụi (12)	2.1	11.3	38.6	35.0	9.1	2.0	1.9	3.6	2.67	22.5	30.6	1.177	0.536	2.20	amQ ₂ ³ tb ₂
Hữu Trà Lý K30.5	Cát nhỏ (14)	1.2	6.5	77.3	7.2	3.5	1.7	2.6	2.83	2.66	24.0	33.0	1.215	0.573	3.90	
Hữu Luộc K8.9	Cát bụi (23)	2.3	12.4	35.9	30.0	12.3	4.2	2.9	8.44	2.65	22.1	29.7	1.156	0.553	1.20	mbQ ₂ ¹⁻² hh ₁
Hữu Luộc K20.5	Cát nhỏ (24)	0.7	11.2	63.3	10.5	8.7	3.4	2.2	6.8	2.67	24.3	32.8	1.135	0.537	1.90	

4. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

Kết quả thí nghiệm được trình bày cụ thể trong bảng 03 & bảng 04.

Gradien áp lực thấm của cát ở vùng cửa thoát

(I_r) xác định theo công thức: $I_r = \frac{H_1 - H_3}{L}$

Trong đó:

H_1 - Mức nước đo áp tại ống đo áp H_1 ;

H_3 - Mức nước đo áp tại ống đo áp H_3 ;

L - Chiều dài đường thấm, khoảng cách từ đáy ống đo áp H_1 đến đáy ống đo áp H_3 .

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm các lớp cát của hệ tầng Thái Bình(Q₂³tb)

Vị trí	Hệ tầng	Loại đất thí nghiệm	H_1 (m)	H_2 (m)	H_3 (m)	I_r	Q (cm ³ /s)	Diễn biến vùng cửa thoát
Đề Tả Trà Lý K6.7	Thái Bình	Cát hạt bụi (lớp 12 - Q ₂ ³ tb)	0.193	0.106	0.019	0.174	1.34	Nước thoát ra trong
			0.337	0.223	0.108	0.229	1.77	
			0.486	0.341	0.196	0.290	2.23	
			0.622	0.449	0.275	0.347	2.67	
			0.752	0.545	0.337	0.415	3.20	Nước thoát ra đục, thành phần gồm : hạt sét, bụi màu nâu, xám, vật chất hữu cơ.
			0.896	0.640	0.420	0.476	3.78	
			1.022	0.724	0.501	0.521	4.16	
			1.158	0.814	0.595	0.563	4.73	
			1.284	0.901	0.672	0.612	5.58	
			1.399	0.976	0.742	0.657	6.32	
			1.523	1.019	0.788	0.735	7.97	
			1.670	1.063	0.801	0.869	11.98	
			1.826	1.092	0.815	1.011	17.84	Cát đùn mạnh
			Đề Hữu Trà Lý K30.5		Cát hạt nhỏ (lớp 14 - Q ₂ ³ tb)	0.207	0.117	0.027
0.359	0.239	0.120				0.239	3.26	
0.509	0.362	0.216				0.293	3.99	
0.638	0.461	0.283				0.355	4.85	
0.776	0.568	0.361				0.414	5.66	Nước thoát ra đục, thành phần gồm : hạt sét, bụi màu nâu, xám, vật chất hữu cơ.
0.885	0.662	0.438				0.447	6.10	
1.019	0.759	0.509				0.510	7.14	
1.144	0.840	0.593				0.551	8.01	
1.279	0.924	0.663				0.616	9.49	
1.397	0.995	0.741				0.656	10.56	
1.530	1.071	0.810				0.720	13.10	
1.660	1.118	0.839				0.821	21.27	
1.796	1.155	0.855				0.941	31.30	Cát đùn mạnh

Bảng 4. Kết quả thí nghiệm các lớp cát của hệ tầng Hải Hưng ($Q_2^{1-2}hh$)

Vị trí	Hệ tầng	Loại đất thí nghiệm	H_1 (m)	H_2 (m)	H_3 (m)	I_r	Q (cm^3/s)	Diễn biến vùng cửa thoát
Đề Hữu Luộc KS.9	Hải Hưng	Cát hạt bụi (lớp 23 - $Q_2^{1-2}hh$)	0.209	0.110	0.012	0.197	0.83	Nước thoát ra trong
			0.378	0.253	0.129	0.249	1.04	
			0.542	0.413	0.284	0.258	1.08	
			0.684	0.524	0.364	0.320	1.34	
			0.827	0.639	0.452	0.375	1.57	
			0.960	0.734	0.527	0.433	1.85	Nước thoát ra đục, thành phần gồm : hạt sét, bụi màu nâu, xám, vật chất hữu cơ.
			1.107	0.812	0.591	0.516	2.30	
			1.240	0.892	0.663	0.576	2.66	
			1.382	0.990	0.743	0.639	3.24	
			1.513	1.093	0.841	0.672	3.53	
1.646	1.152	0.904	0.742	4.41	Cát đùn mạnh			
1.814	1.193	0.927	0.887	7.29				
1.988	1.232	0.932	1.056	11.27				
Đề Hữu Luộc K20.5	Hải Hưng	Cát hạt nhỏ (lớp 24 - $Q_2^{1-2}hh$)	0.230	0.132	0.034	0.196	1.30	Nước thoát ra trong
			0.388	0.267	0.146	0.242	1.61	
			0.517	0.371	0.224	0.293	1.95	
			0.659	0.486	0.312	0.347	2.31	
			0.798	0.600	0.402	0.396	2.63	
			0.947	0.705	0.494	0.453	3.17	Nước thoát ra đục, thành phần gồm : hạt sét, bụi màu nâu, xám, vật chất hữu cơ.
			1.059	0.776	0.563	0.496	3.56	
			1.190	0.845	0.616	0.575	4.22	
			1.310	0.937	0.694	0.616	4.63	
			1.430	1.026	0.768	0.662	5.56	
1.550	1.105	0.841	0.709	6.70	Cát đùn mạnh			
1.682	1.155	0.874	0.808	10.19				
1.828	1.194	0.893	0.935	15.14				

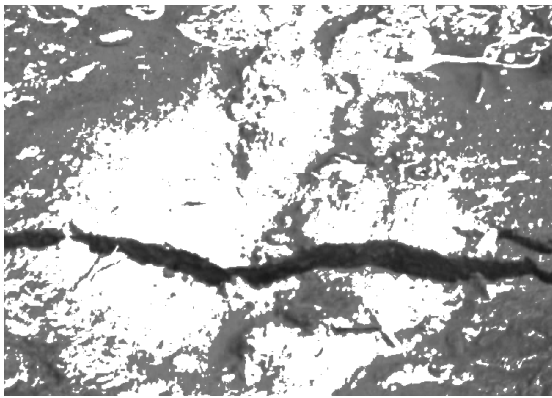
5. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

Từ kết quả thí nghiệm cho thấy, ở giai đoạn đầu khi áp lực thấm (ALT) trong tầng cát còn nhỏ, nước từ tầng cát thoát ra trong, không mang theo các hạt bụi, sét. Ở giai đoạn tiếp theo, khi ALT trong tầng cát tăng lên đến một giá trị nhất định, nước thoát ra mang theo các hạt sét, có màu nâu nhạt. Tiếp tục tăng ALT, nước thoát ra đục hơn và chuyển dần từ màu nâu nhạt sang màu nâu sẫm, mang theo các hạt sét, hạt bụi và vẩn hữu cơ nhưng với hàm lượng không nhiều (bảng 03 & 04). Điều đó chứng tỏ trong cát có phát triển xói ngầm nhưng độ yếu. Khi gradien ALT tăng lên tới 0.8÷1.0 thì kể cả cát hạt nhỏ và cát hạt bụi trong tầng cát thuộc hệ tầng Hải Hưng (qh_1) và Thái Bình (qh_2) đều xuất hiện đùn cát. Ban đầu các hạt cát ở bề mặt bị nơi lỏng, bị đẩy lên, chìm xuống lơ lửng ở trong nước. Khi ALT tăng, các hạt cát càng bị tung cao lên dần. Đến một giới hạn nhất định, lượng nước thoát ra nhiều, các hạt cát, bụi, sét, mùn hữu cơ và vẩn

mica đều bị dòng thấm đẩy ra khỏi bề mặt. Khi mới xuất hiện mạch đùn, lượng cát đùn lên chưa nhiều, tốc độ và phạm vi còn nhỏ. Nhưng chỉ sau một khoảng thời gian nhất định, số lượng mạch đùn xuất hiện nhiều, kích thước mạch đùn được mở rộng nhanh chóng, cát trong tầng cát bị đẩy ục lên bề mặt với khối lượng ngày càng lớn mang theo cả tạp chất hữu cơ, vẩy mica, thậm chí cả vỏ sò hến chứa trong cát, môi trường thấm bị phá vỡ hoàn toàn (ảnh 02). Tại một số vị trí thí nghiệm, trong tầng cát có kẹp các lớp mỏng sét pha, khi mạch đùn cát phát triển mạnh mang theo cả những mảng nhỏ bùn sét. Độ rỗng và hệ số thấm của cát ở vùng cửa thoát tăng nhanh. Cát ở trong phạm vi hố thí nghiệm đùn lên mạnh, còn cát ở xung quanh bị sập lở vào, đáy tầng phủ hình thành các khoảng rỗng phát triển dần. Hệ thống khe nứt ở tầng phủ phát triển mạnh và ăn sâu vào tầng phủ (ảnh 03), làm sập đổ tầng phủ xung quanh hố đào thí nghiệm, cấu trúc nền bị phá vỡ.



Ảnh 2. Đùn cát ở vùng cửa thoát



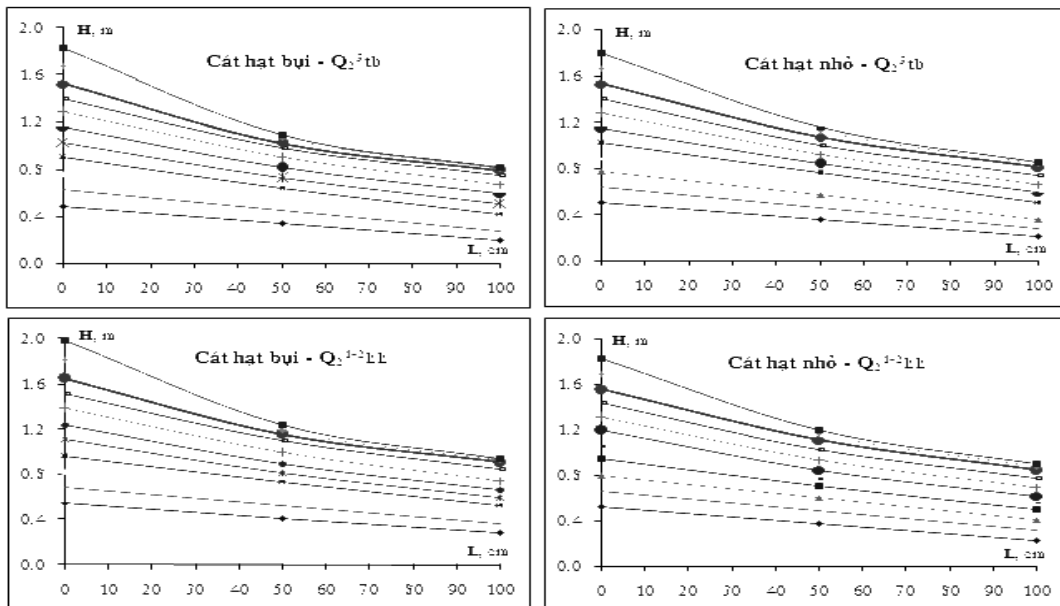
Ảnh 3. Khe nứt phát triển vào tầng phủ

Nếu lấy gradient áp lực thấm (ALT) tương ứng với cấp áp lực trước khi phát sinh xói ngầm là gradient giới hạn gây xói ngầm (I_{gh}^x) và

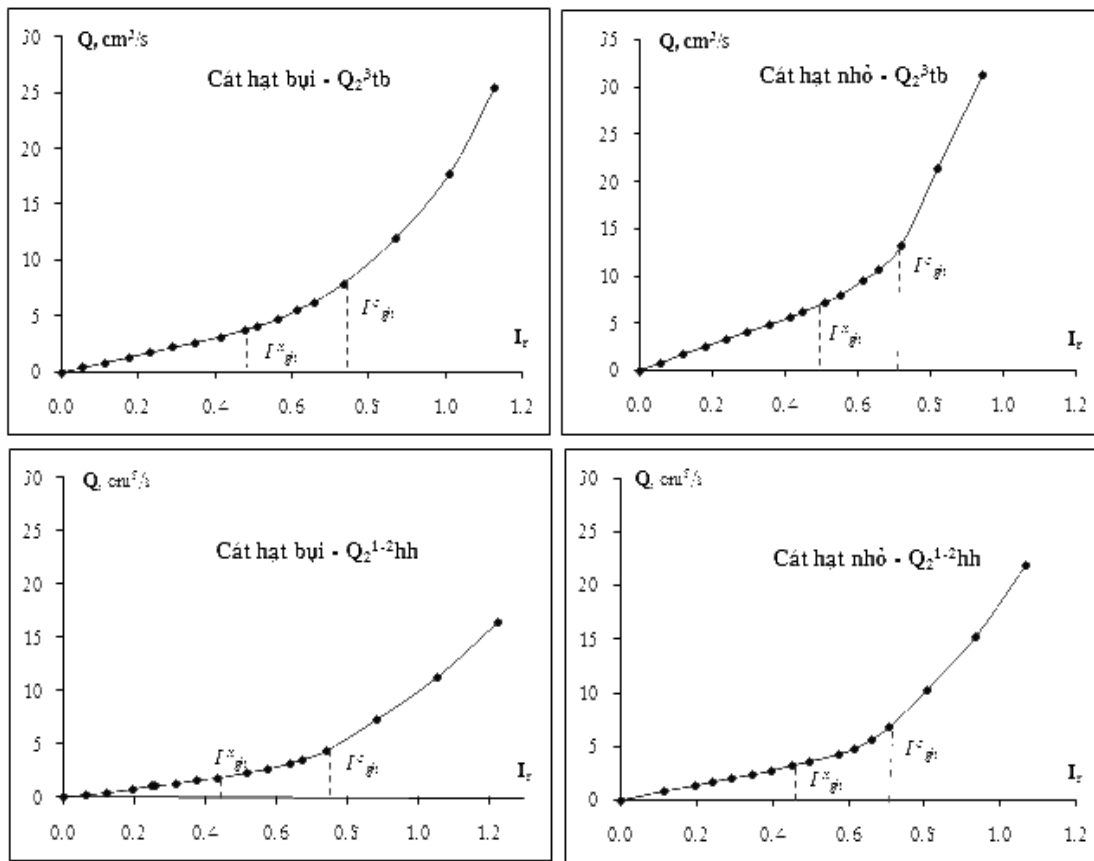
gradient ALT tương ứng với cấp áp lực trước khi phát sinh cát chảy là gradient giới hạn gây cát chảy (I_{gh}^c) thì có thể xác định được gradient giới hạn gây BDT của các lớp cát ở nền đê như sau :

- Cát hệ tầng Thái Bình (Q_2^3tb):
 - + Cát hạt bụi: $I_{gh}^x = 0.476$; $I_{gh}^c = 0.735$
 - + Cát hạt nhỏ: $I_{gh}^x = 0.510$; $I_{gh}^c = 0.720$
- Cát hệ tầng Hải Hưng ($Q_2^{1-2}hh$):
 - + Cát hạt bụi: $I_{gh}^x = 0.433$; $I_{gh}^c = 0.742$
 - + Cát hạt nhỏ: $I_{gh}^x = 0.453$; $I_{gh}^c = 0.709$

Phân tích biến đổi ALT theo chiều dài dòng thấm và biến đổi lưu lượng nước thoát ra theo gradient ALT (hình 02 & 03) cho thấy, ở giai đoạn đầu, khi nước thoát ra còn trong, xói ngầm chưa xuất hiện, các quan hệ này gần như tuyến tính, tổn thất áp lực theo chiều dài dòng thấm tương đối đều, dòng thấm vận động ở chế độ ổn định, thể hiện quy luật thấm chảy tầng theo định luật thấm Darcy. Khi gradient ALT lớn hơn I_{gh}^x , xói ngầm xuất hiện trong cát, các đường quan hệ chuyển dần thành đường cong, môi trường thấm trong cát biến đổi, độ rỗng và độ thấm của cát tăng dần ở vùng cửa thoát, vận động của dòng thấm chuyển sang chế độ không ổn định. Khi gradient ALT lớn hơn I_{gh}^c , độ dốc của các đường quan hệ tăng đột biến, khi đó không chỉ cát mà cả các tạp chất trong cát đều bị dòng thấm cuốn theo, môi trường thấm bị phá hủy hoàn toàn.



Hình 2. Biến đổi cột nước áp lực theo chiều dài dòng thấm



Hình 3. Quan hệ giữa lưu lượng thoát với gradient áp lực thấm

Kết quả thí nghiệm chứng tỏ, cát chảy là hình thức biến dạng thấm nguy hiểm, quyết định khả năng ổn định thấm ở nền đê, còn xói ngầm chỉ phát triển ở giai đoạn đầu, các hạt bị xói ngầm chủ yếu là hạt sét, hạt bụi lẫn trong cát. Kết quả đó phù hợp với kết quả nghiên cứu của Ixtômina, phù hợp với đặc tính tương đối đồng nhất về thành phần hạt của các loại cát thí nghiệm (hệ số không đều hạt $\eta < 10$). Gradient giới hạn xác định được ở hiện trường ($I_{gh}^c = 0.71 \div 0.74$) có giá trị nhỏ hơn so với tính toán theo lý thuyết ($I_{gh}^{LT} = 0.83 \div 0.90$). Đó là do sự có mặt của các tạp chất hữu cơ trong cát. Chúng tồn tại ở dạng mùn, vụn và các mảnh vụn, do có khối lượng thể tích khô nhỏ hơn nhiều so với cát nên dưới tác dụng của dòng thấm, chúng bị đẩy nổi ở áp lực thấm thấp hơn. Sau khi các mảnh vụn, mùn hữu cơ bị đẩy lên, cát xung quanh bị sắp xếp lại, độ rỗng của cát tăng và bị biến dạng thấm ở gradient áp lực thấm (I_{gh}) thấp hơn.

6. KẾT LUẬN

- Cát chảy xảy ra ở cửa thoát khi gradient ALT vượt quá gradient ALT giới hạn của cát $I_{gh}^c = 0.709 \div 0.742$. Cát chảy là hình thức BDT nguy hiểm, quyết định khả năng ổn định thấm ở nền đê.

- Xói ngầm chỉ phát triển ở giai đoạn đầu, xảy ra khi gradient ALT vượt quá $I_{gh}^x = 0.433 \div 0.510$, các hạt bị xói ngầm là hạt sét, hạt bụi nhỏ, mùn thực vật.

- Có thể tham khảo kết quả thí nghiệm hiện trường cho tính toán, xử lý chống xói ngầm, đất chảy ở vùng chân đê, xử lý cát chảy cho các hố móng khi thi công công trình thủy lợi và tham khảo để tính toán, dự báo khả năng phát sinh BDT ở nền đê có nền là cát hạt nhỏ, cát hạt bụi tương tự.

Điều kiện giới hạn của thí nghiệm: thí nghiệm cho cát nền đê đã lộ thiên (bóc bỏ tầng phủ) với cột nước áp lực H1 nhỏ hơn 2m.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Phạm Văn Quốc (2001), *Nghiên cứu dòng thấm không ổn định và tác động của nó đến ổn định công trình đê có nền cát thông nước với sông*, Luận án tiến sỹ kỹ thuật, Hà Nội.
- Phạm Văn Ty (1986), *Một số ý kiến về nguyên nhân biến dạng và những kiến nghị về nghiên cứu DCCT ở nền đê*, Báo cáo Hội thảo về chất lượng nền đê, Hà Nội, tr62.
- Bùi Văn Trường (2004), *Nghiên cứu, đánh giá khả năng ổn định thấm nền đê sông tỉnh Thái Bình*, Báo cáo đề tài khoa học cấp tỉnh, Thái Bình, tr32-35.
- Bùi Văn Trường, Phạm Văn Ty (2008), *Biến dạng thấm nền đê sông tỉnh Thái Bình và một số kết quả nghiên cứu*, Báo cáo tuyển tập công trình khoa học, Hội thảo khoa toàn quốc Tai biến địa chất và giải pháp phòng chống, Hà Nội, tr56-59.
- Tô Xuân Vu (2002), *Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng đặc tính biến dạng thấm của một số trầm tích đến ổn định nền đê*, Luận án tiến sỹ địa chất, Hà Nội, tr19.
- Mironenko V.A. và Sextakov V.M.. (1982), *Cơ sở thủy địa cơ*. Nxb KHKT, Hà Nội, tr 47.
- Technical Advisory Committee on Water Defences (1991), *Guide for the design of river dikes*, Netherlands.
- Vietnamese Ministry of Agriculture and Rural Development (1996), *Hanoi Subproject, Dyke Safety and Relief Wells*, ADB Loan No. 1259 VIE (SF), tr26-28.

Abstract:

INITIAL RESULTS RESEARCHED THE SUFFUSION AND QUICKSAND IN RIVER DYKE FOUNDATION BY IN-SITU TESTING METHOD

The suffusion and quicksand are the typical permeable deformation forms occurred on “discharge opening” areas where underground seepage flows infiltrate through with the permeable pressure gradient overs limited permeable pressure gradient of soil. In order to forecasting the danger of permeable deformation for dyke ground foundation, it needs to be exactly determined the limited permeable pressure gradient caused suffusion (I_{gh}^x) and the limited permeable pressure gradient caused quicksand (I_{gh}^c).

In the paper, the researched results for determining the permeable deformation characteristics (I_{gh}^x & I_{gh}^c) of the fine - silt sand layers belong to Thai Binh and Hai Hung formations distribute on Red river dyke ground foundation by in-situ test.

Keywords: Dyke ground foundation, suffusion, quicksand or running sand, in-situ test.

BBT nhận bài: 12/7/2015

Phản biện xong: 06/10/2015