

Nghiên cứu ảnh hưởng của hệ số thấm đất cát đến hệ số an toàn chống cát sôi trong tường cừ và tường vây hố đào

The influence of permeability coefficient of sandy soil on the factor of safety against soil piping under sheet pile walls and diaphragm walls

> TS NGUYỄN MINH ĐỨC¹; THS LÊ ĐỨC LONG²

¹ GV Khoa Xây dựng, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM
Email: ducnm@hcmute.edu.vn

² HVCH Khoa Xây dựng, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM
Email: duclong.navicons@gmail.com

TÓM TẮT

Nghiên cứu đề xuất mô hình thí nghiệm khảo sát hệ số an toàn chống cát sôi (Fs) tường cừ và tường vây hố đào. Thông số mô hình thay đổi bao gồm (1) hệ số thấm; (2) độ chặt của đất cát; và (3) độ chênh cao cột nước. Hệ số an toàn Fs được kiểm nghiệm dựa theo các phương pháp giải tích kết hợp với kết quả thí nghiệm. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi hệ số thấm tăng lên 26.3% làm giảm khoảng 17.3% hệ số an toàn chống cát sôi Fs. Nghiên cứu đề xuất giá trị tối thiểu Fs từ 1.5-2.0 cho các phương pháp giải tích.

Từ khóa: Hệ số an toàn; tường cừ; hố đào; đất cát; cát sôi

ABSTRACT

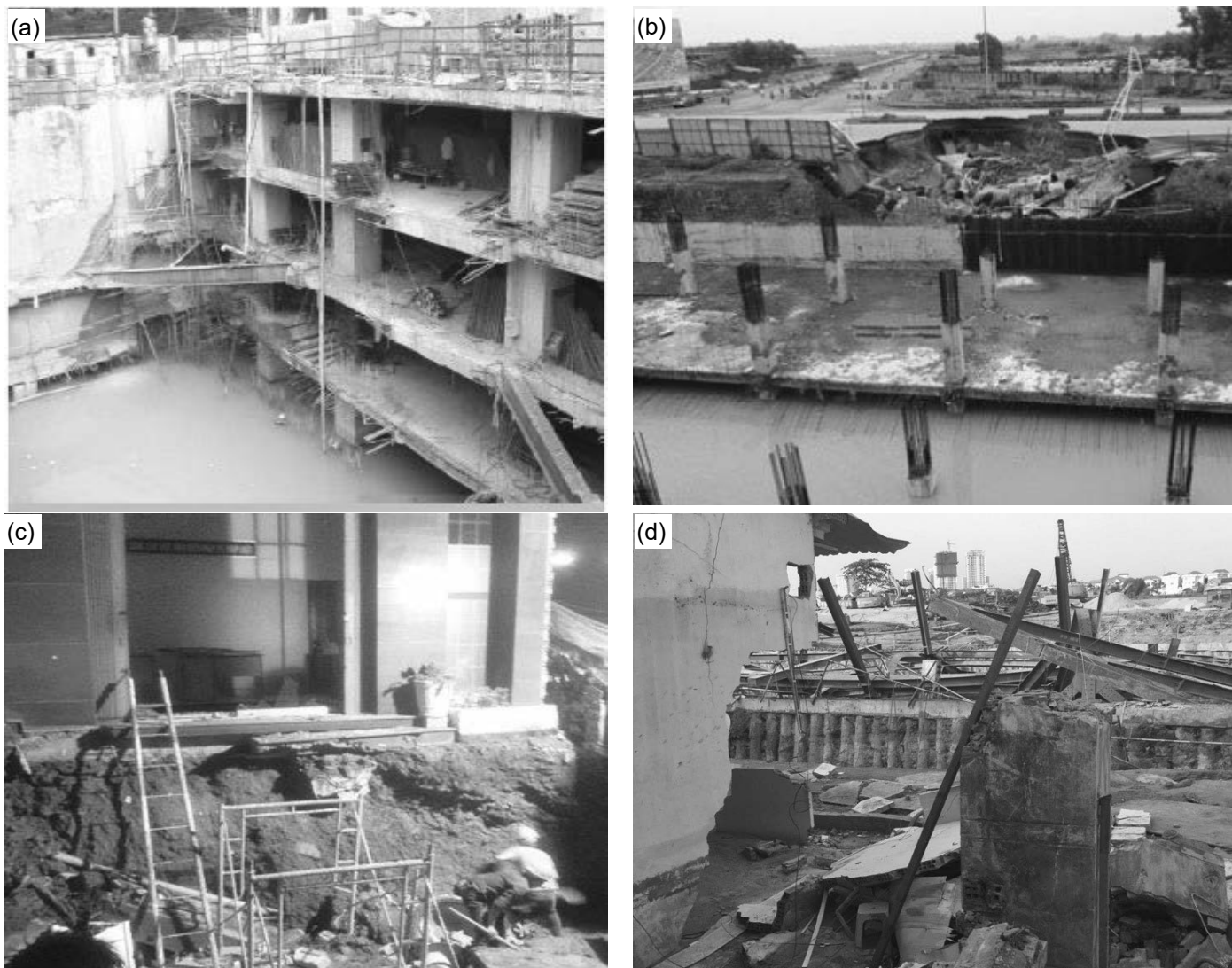
A laboratory model was developed to investigate the influence of the permeability coefficient of sandy soil on the factor of safety against sand boiling, Fs of diaphragm wall for deep excavation. The variation of the tests includes (1) permeability coefficient, (2) the density of sand and (3) the total head of water. The value of Fs was evaluated using several analytical methods combined with experimental results. The results revealed that 26.3% increment of the permeability coefficient of sand induced about 17.3% reduction in Fs. Last, the study also proposed a minimum Fs of 1.5-2.0 when using the current methods.

Keywords: Factor of safety; sand piping; excavation; diaphragm wall; sheet pile wall

1. GIỚI THIỆU

Hiện tượng cát sôi là hiện tượng các hạt cát đá nhỏ bị lôi cuốn khỏi vị trí ban đầu dưới tác dụng cơ học của dòng thấm dẫn đến trong đất đá hình thành các lỗ rỗng, khe rỗng, làm sụt lún mặt đất, gây ảnh hưởng nguy hiểm trong thi công xây dựng làm sụt trượt khi đào, biến dạng bề mặt công trình liền kề.

Trong những năm vừa qua, tại các thành phố lớn tại Việt Nam đã xảy ra nhiều sự cố trong thi công hố đào sâu gây ra sụt lún công trình lân cận. Năm 2007 xảy ra sự cố tòa nhà Pacific nằm tại số nhà 43-45-47 Nguyễn Thị Minh Khai, phường Bến Nghé, quận 1, TP.HCM khi công trình bắt đầu thi công sàn tầng hầm. Ngày 9/10/2007 khoảng 18 giờ 30 khi đang đào đất để chuẩn bị đổ bê tông móng thì vị trí tiếp giáp tường vây tại cao trình âm 21 mét so với cốt nền tầng trệt của công trình Pacific tường vây xuất hiện lỗ thủng rộng 30-35 cm, dài 168 cm. Do áp lực mạnh của nước ngầm tại vị trí lỗ thủng nên gây tràn nước và lõi đất phía ngoài tường vào trong tầng hầm, do đó 19 giờ thì dây nhà trụ sở Viện khoa học Xã hội vùng Nam Bộ gồm 1 trệt 2 lầu bất ngờ đổ sập, bị vùi sâu dưới lòng đất hơn 10 m, phần còn lại của khu nhà cũng có nguy cơ đổ sập (hình 1a). Một sự cố khác gây ra hố tử thần trên đường Lê Văn Lương kéo dài đoạn chạy qua khu đô thị mới Dương Nội, quận Hà Đông, Hà Nội năm 2012. Hiện tượng sụt lún bắt đầu diễn ra từ lúc 8h ngày 19/8/2012. Đến thời điểm 11h30 cùng ngày, “hố tử thần” mở rộng, kéo sập cả dải phân cách giữa 2 làn đường, “ăn” sang phần đường đối diện kéo sập một phần vỉa hè, bẻ gãy đường ống nước thoát nước mưa của thành phố, hàng ngàn mét khối nước tràn vào, nhấn chìm 2 tầng hầm của công trình xây dựng cạnh đó (hình 1b). Năm 2013, quá trình thi công hố đào công trình SaiGon Plaza đã gây ra sụt lún cho tòa án nhân dân TP.HCM nằm tại số 26 đường Lê Thánh Tôn, phường Bến Nghé, Quận 1, TP.HCM (hình 1c). Cũng tại địa bàn TP.HCM đã xảy ra sụt lún công trình xây dựng trên đường Ung Văn Khiêm quận Bình Thạnh do thi công hố đào công trình lân cận (hình 1d). Các sự cố nói trên đều có điểm chung đó là quá trình thi công hố đào xuất hiện dòng thấm cuốn đất cát vào hố đào gây ra sụt lún các công trình lân cận.



Hình 1- Hình ảnh sự cố sụt lún do thi công hố đào sâu gây sụt lún cho công trình lân cận

Đã có một số tiêu chuẩn Việt Nam được ban hành nhằm thiết kế, thi công các công trình ngầm, công trình thủy lợi, tường chắn bảo vệ khỏi hiện tượng xói ngầm. Theo tiêu chuẩn quốc gia TCVN 11823-11:2017 về Thiết kế cầu đường bộ, yêu cầu phải đánh giá sự thấm thấu, xói ngầm đất dưới móng khi thiết kế các tường xây dựng dọc theo sông và suối như quy định trong Điều 6.4.4.2 Phần 2 bộ tiêu chuẩn này. Trong đó gradient thủy lực không được vượt quá các giá trị: 0.2 với đất bùn và đất dính và 0.3 đối với các loại đất không dính khác. TCVN 8422:2010 công trình thủy lợi - thiết kế tầng lọc ngược công trình thủy công bảo vệ đất dính chống xói ngầm đối với các công trình thủy lợi. TCVN 4253:2012 về Công trình thủy lợi - Nền các công trình thủy công - Yêu cầu thiết kế đã chỉ dẫn yêu cầu giá trị tính toán của gradient tới hạn trung bình của cột nước đối với đất nền phải lấy theo bảng 1. Khi thiết kế sơ bộ và đối với công trình cấp III, IV tham khảo các giá trị ghi ở bảng 2. Đối với đất không xói ngầm, giá trị cho phép lấy không lớn hơn 0,3 còn khi có thiết bị tiêu nước không nhỏ hơn 0,6. Khi có nước dò dưới móng tường, phải xét đến các tác động của các lực đẩy nổi và các lực do dòng nước thấm. Đại đa số các tiêu chuẩn quy định tính toán thiết kế công trình chống xói ngầm đều dành cho các công trình thủy lợi, giao thông mà hầu như chưa có các tiêu chuẩn ban hành cho các công trình ngầm dân dụng và công nghiệp.

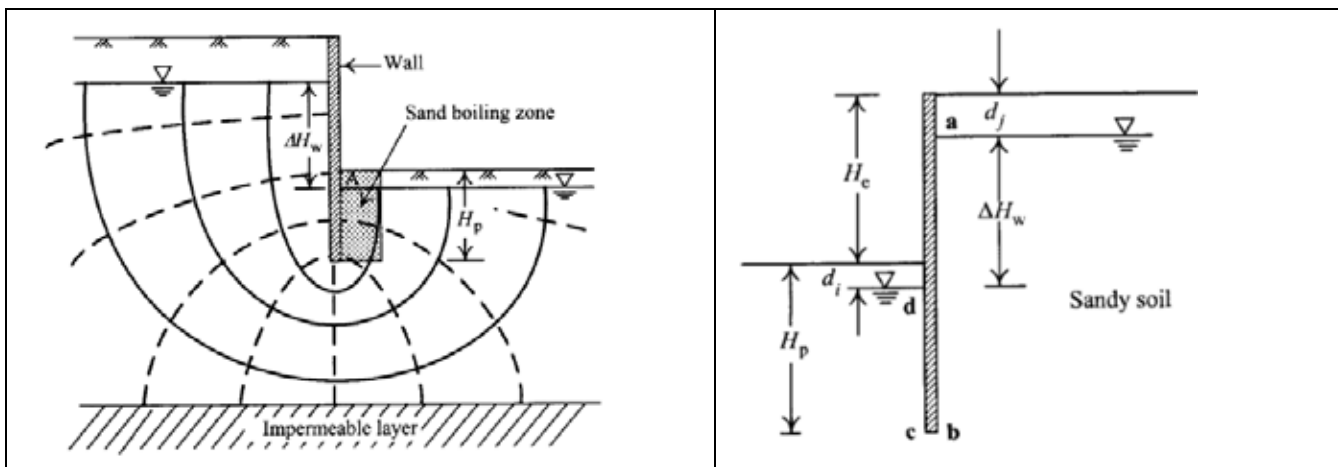
Bảng 1. Gradient tới hạn trung bình tính toán của cột nước (TCVN 4253-2012)

Loại đất nền		Gradient tới hạn trung bình tính toán của cột nước J_K^{tb}
Đất sét		1.35
Đất sét pha		0.80
Đất cát pha		0.60
Đất cát	Thô	0.48
	Vừa	0.42
	Nhỏ	0.32

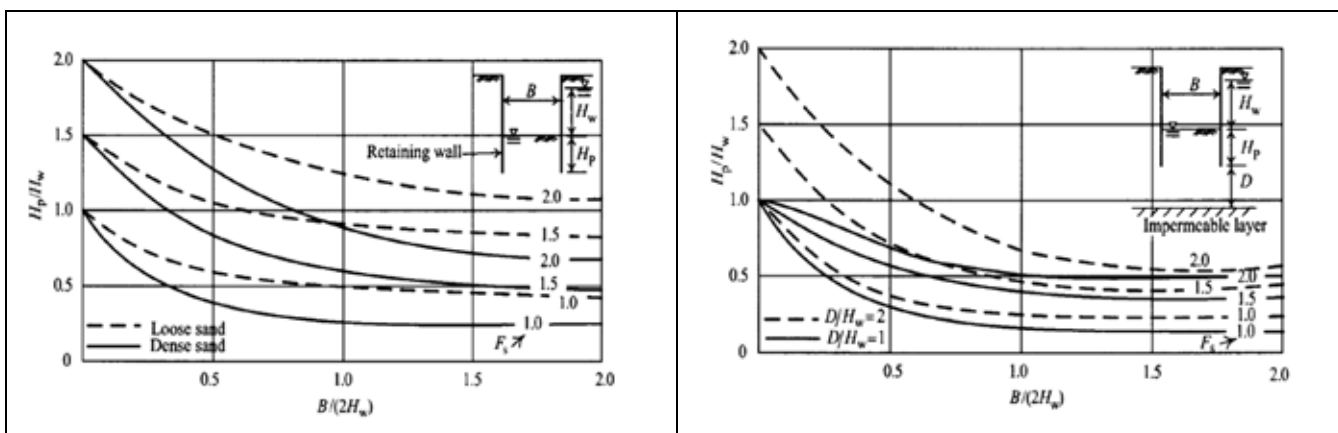
Bảng 2. Gradient tới hạn theo cấp công trình (TCVN 4253-2012)

Loại đất nền	J_K theo cấp công trình				
	Đặc biệt	I	II	III	IV
Đất sét		0.7	0.8	0.9	1.08
Đất á sét		0.35	0.4	0.45	0.54
Cát hạt lớn		0.32	0.35	0.4	0.48
Cát hạt trung bình		0.22	0.25	0.28	0.34
Cát hạt nhỏ		0.18	0.20	0.22	0.26

Chú thích: Công trình cấp đặc biệt phải thí nghiệm mô hình



Hình 2- Mô hình tính hệ số an toàn chống xói ngầm dựa theo đường dòng và khối cát sôi (sand boiling zone) (a) Terzaghi (1922); (b) Ou (1998)



Hình 3- Xác định hệ số an toàn chống xói ngầm đối với tường chắn trong đất (Marsland, 1953)

Nhiều nghiên cứu trong nước đánh giá ảnh hưởng của dòng thấm đến quá trình xói ngầm trong các loại đất khác nhau. Bùi Văn Trường (2015) trình bày kết quả nghiên cứu, xác định các đặc trưng biến dạng thấm bao gồm gradient áp lực thấm giới hạn gây xói ngầm và gradient áp lực thấm giới hạn gây cát chảy 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. Kết quả nghiên cứu cho thấy cát chảy xảy ra ở cửa thoát khi gradient vượt quá gradient giới hạn của cát tương ứng 0.709-0.742. Xói ngầm chỉ phát triển ở giai đoạn đầu, xảy ra khi gradient 0.433-0.510 đối với các hạt bị xói ngầm là hạt sét, hạt bụi nhỏ, mùn thực vật. Lê Văn Thảo và cộng sự (2018) đề xuất nghiên cứu đánh giá khả năng xói hạt mịn của một số đất đắp đập, dựa vào những tiêu chuẩn cỡ hạt. Nghiên cứu sử dụng chương trình Matlab để đánh giá khả năng xói hạt mịn của một số loại đất được lựa chọn từ các đập, đề cụ thể được đưa ra. Bài báo chỉ ra kết quả đánh giá khả năng xói hạt mịn cho một số loại đất đắp đập, đề từ Canada, Pháp và Việt Nam và một số loại đất rời thiết kế.

Nhiều nghiên cứu trong nước ngoài nghiên cứu về hệ số thấm của đất và các tính toán hệ số an toàn chống xói ngầm cho các tường chắn hố đào như Terzaghi (1922), Harza (1935), Marsland (1953), phương pháp dòng thấm đơn giản đề xuất bởi Ou (1998)

Harza (1935) đã định nghĩa hệ số an toàn chống lại hiện tượng xói ngầm dựa theo mô hình thí nghiệm dòng thấm chảy qua lớp đất bão hòa:

$$F_S = \frac{i_{cr}}{i_{max}} \quad (1)$$

với i_{cr} = gradient thủy lực cực hạn được tính toán từ tỷ trọng G_s và hệ số rỗng e của loại đất hạt rời theo công thức:

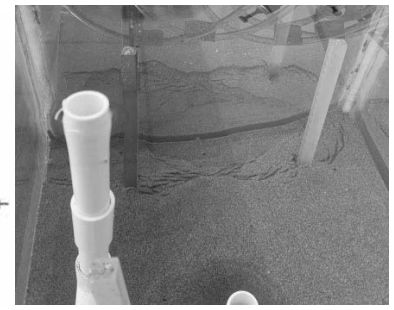
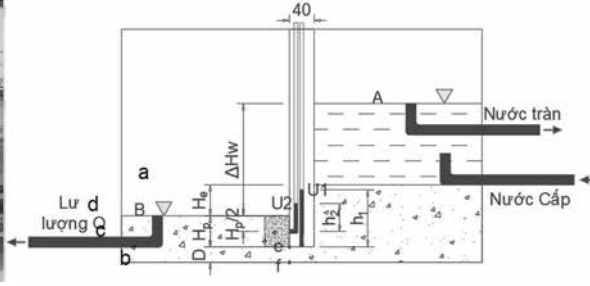
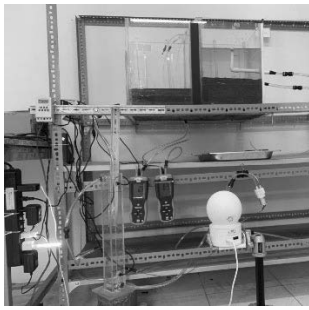
$$i_{cr} = \frac{G_s - 1}{e + 1} \quad (2)$$

i_{max} = gradient thủy lực lớn nhất của dòng thấm tại đường thoát (exit) của hố đào.

Terzaghi (1922) đề xuất phương pháp tính toán sự ổn định của tường chắn do dòng thấm đảm bảo sự ổn định chống hiện tượng trôi khối đất (heave zone). Terzaghi dựa theo nhiều mô hình thí nghiệm tường chắn, kết quả cho thấy hiện tượng xói ngầm được tìm thấy ở khoảng cách $H_p/2$ với H_p là chiều sâu của cọc ngầm vào đất (hình 2a).

Từ đó, hệ số an toàn theo Terzaghi (1922) được xác định theo công thức:

$$F_S = \frac{\gamma'}{i_{avg} \gamma_w} \quad (3)$$



Hình 4- Mô hình thí nghiệm thực tế và hình ảnh phá hoại bên trong hố đào do cát sỏi

Bảng 3. Thông số mô hình và kết quả thí nghiệm.

Độ chặt D_r (%)	ΔH_w (cm)	$H_p = H_e$ (cm)	D (cm)	q , cm^3/s	v_{ef} (cm/s)	h_1 , cm	h_2 , cm	i_{ef}	i_{ab}	i_{bc}	i_{cd}
70%	17.4	5	2.5	4.63	0.065	14.37	5.30	1.23	0.67	1.46	1.12
80%	17.7	5	2.5	3.55	0.050	13.76	5.40	1.11	0.74	1.30	1.16
90%	18	5	2.5	2.54	0.036	13.25	5.10	0.97	0.81	1.26	1.04

Trong đó γ' = trọng lượng riêng đẩy nổi của đất cát trong vùng cát sỏi

γ_w = trọng lượng riêng của nước

i_{avg} = gradient thủy lực trung bình trong khối cát sỏi (4)

Phương pháp lý thuyết thấm 1 chiều đơn giản do Ou (1998) đề xuất dựa theo mô hình thấm 1 chiều đơn giản (hình 2b) trong đó tính toán giá trị gradient thủy lực lớn nhất dựa theo dòng thấm nằm trong lớp cát sắt với tường chắn (abcd).

Hệ số an toàn chống xói ngầm được đề xuất tính theo công thức:

$$F_s = \frac{i_{cr}}{i_{avg}} = \frac{\gamma'(H_e + 2H_p - d_i - d_j)}{\gamma_w \Delta H_w} \geq 1.5 \quad (5)$$

Marsland (1953) đã thử nghiệm các mô hình để khám phá hiện tượng xói ngầm hố đào, sau đó thông qua NAVFAC DM7.1 (1982) công bố kết quả như hình 3. Dựa vào biểu đồ, hệ số an toàn chống xói ngầm đối với tường chắn trong đất cát có thể được xác định dựa theo điều kiện về độ chặt của đất cát, chiều sâu hố đào, độ ngậm và bề rộng của tường chắn. Nghiên cứu cũng phân rõ trường hợp có và không có lớp đất không thấm nằm trong chiều sâu hữu hạn của hố đào.

Ngoài các phương pháp kể trên, Mozó và cộng sự (2014) đã đánh giá độ ổn định thủy lực của tường chắn trong đất cát dưới ảnh hưởng của dòng thấm. Nghiên cứu ứng dụng GGU-SS-FLOW 2D (2008) tính toán các giá trị gradient thủy lực, tốc độ dòng chảy trong hố đào và áp lực nước thủy động xảy ra dưới tường chắn. Dựa vào giá trị hệ số an toàn chống xói ngầm $F_s = i_{cr}/i \geq 2$, nghiên cứu đề xuất giá trị chiều sâu hố đào tối đa và chiều sâu ngậm chân tường tối thiểu nhằm đảm bảo độ ổn định cho hố đào. Nghiên cứu cũng so sánh kết quả tính toán đối với hệ số thấm đẳng hướng và hệ số thấm không đẳng hướng của đất cát. Nghiên cứu cũng so sánh áp lực nước thủy động tác dụng lên tường với áp lực nước thủy tĩnh.

Aulbach và cộng sự (2013) đề xuất biểu đồ thiết kế và tính toán chiều sâu ngậm tường chắn chống lại đẩy trôi thủy lực do dòng thấm trong đất cát. Nghiên cứu sử dụng mô hình 3D của tường vây hố đào. Nghiên cứu dựa vào tính toán hệ số an toàn F_s trong đó có lực đẩy trôi thủy lực do dòng thấm phải nhỏ hơn trọng lượng của đất trong nước của khối đất được đề xuất trong mô hình Terzaghi (1922). Nghiên cứu áp dụng giá trị hệ số an toàn được đề xuất bởi các tiêu chuẩn của Đức và Áo (DIN 1054 và ÖNORM B 1997-1-1) từ

đó đưa ra các biểu đồ cho quá trình tính toán thiết kế độ ngậm yêu cầu của chân tường chắn đảm bảo ổn định chống đẩy trôi do dòng thấm gây ra.

Phân tích các nghiên cứu tính toán hệ số an toàn chống xói ngầm và đẩy trôi do dòng thấm dưới chân tường chắn cho thấy các nghiên cứu chủ yếu dựa vào gradient thủy lực của dòng thấm để tính toán hệ số an toàn. Phương pháp Harza (1935) dựa vào thí nghiệm trong đó dòng thấm đi qua lớp đất bão hòa là đều với gradient thủy lực là như nhau trong khối đất, từ đó đánh giá hệ số an toàn thông qua giá trị gradient thủy lực lớn nhất tại đường ra của dòng thấm. So sánh công thức (1) và công thức (3) và (5) của các phương pháp Harza (1935) và Terzaghi (1922) và Ou (1998) có thể thấy 3 phương pháp này lần lượt xét đến sự ổn định của từng hạt đất riêng rẽ (tính đến i_{max}) và của 1 khối đất cụ thể sau tường chắn (tính đến i_{avg} của khối đất). Bên cạnh đó, khi xét ổn định gây đẩy trôi của các hạt đất sắt tường chắn cũng như của khối đất, các nghiên cứu đều chưa nghiên cứu ảnh hưởng của hệ số thấm của đất cát đến độ ổn định của hố đào dưới tác dụng của dòng thấm do đó, hệ số an toàn trong các nghiên cứu trước cũng chưa được đánh giá chính xác.

Nghiên cứu phát triển mô hình thí nghiệm tường chắn hố đào trong phòng thí nghiệm khảo sát độ ổn định của đất cát trong hố đào dưới ảnh hưởng của các dòng thấm. Nghiên cứu thay đổi các thông số về tường chắn, loại cát có hệ số thấm và độ chặt khác nhau, từ đó xác định các thông số thí nghiệm như lưu lượng, chiều cao cột nước áp theo thời gian để đánh giá độ ổn định của hố đào. Nghiên cứu cũng đưa ra tính toán giải tích nhằm đánh giá các yếu tố về tốc độ dòng chảy, gradient thủy lực, từ đó đề xuất phương pháp xác định hệ số an toàn chống xói ngầm và đẩy trôi tin cậy cho tường chắn trong đất cát.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

2.1 Đất cát mịn

Đất cát sạch được sử dụng trong thí nghiệm có phần trăm hạt mịn 0.96% với biểu đồ phân bố thành phần hạt như hình dưới. Cát được xếp loại SP (cát sạch cấp phối kém) theo phân loại đất thống nhất USCS (Unified Soil Classification System) của Hoa Kỳ. Cát được xác định độ chặt lớn nhất và nhỏ nhất thông qua thí nghiệm xác định hệ số rỗng lớn nhất và nhỏ nhất lần lượt theo tiêu chuẩn ASTM D4253 và ASTM D4254. Tính chất của đất cát được thể hiện trong bảng 3

Bảng 4. Kết quả hệ số an toàn chống cát sồi của mô hình thí nghiệm.

Độ chặt, D_r (%)	ΔH_w (cm)	H_p (cm)	D (cm)	D/ H_w	Hệ số an toàn chống cát sồi, F_s			
					Terzaghi (1922)	Ou (1998)	Harza (1935), F_{s_bc}	Harza (1935), F_{s_cd}
70%	17.4	5.0	2.5	0.144	0.79	1.0	0.62	0.81
80%	17.7	5.0	2.5	0.141	0.79	1.0	0.71	0.79
90%	18.0	5.0	2.5	0.139	0.79	1.0	0.75	0.90

Bảng 5. Hệ số an toàn tối chống xói ngầm tối thiểu theo các phương pháp tính cho mô hình thí nghiệm để xuất

D_r	e	Hệ số an toàn tối thiểu để xuất			Hệ số an toàn tối thiểu để xuất			Hệ số an toàn tối thiểu để xuất		
		Harza (1935) kết hợp đo	Ou (1998)	Terzaghi (1922)	Harza (1935) kết hợp đo	Ou (1998)	Terzaghi (1922)	Harza (1935) kết hợp đo	Ou (1998)	Terzaghi (1922)
70%	0.86	1.10	1.75	1.38	1.20	1.91	1.51	1.50	2.39	1.89
80%	0.82	1.10	1.54	1.22	1.20	1.68	1.33	1.50	2.10	1.66
90%	0.79	1.10	1.46	1.15	1.20	1.59	1.26	1.50	1.99	1.57

Hệ số thấm của cát được thí nghiệm dựa theo tiêu chuẩn ASTM D2434 với mẫu trụ cao 500mm, đường kính 110mm. Mẫu đất cát được chuẩn bị tại 3 độ chặt 70%, 80%, 90, trong đó độ chặt tương đối được xác định theo công thức:

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (6)$$

Khối lượng riêng, ρ và hệ số rỗng, e tương ứng với độ chặt của cát được thể hiện trong bảng 4. Kết quả thí nghiệm cho thấy hệ số thấm giảm từ 0.0474 cm/s đến 0.0375 cm/s (khoảng 20%) khi gia tăng độ chặt của đất cát từ 70% đến 90% (bảng 4).

Bảng 6. Tính chất của đất cát

Tính chất	Giá trị
Phần trăm hạt thô (hạt cát) (%)	94.04
Phần trăm hạt mịn (%)	0.69
Khối lượng riêng khô lớn nhất, ρ_{d_max} (g/cm ³)	1.534
Khối lượng riêng khô nhỏ nhất, ρ_{d_min} (g/cm ³)	1.298
Hệ số rỗng lớn nhất, $e_{\max}$	1.041
Hệ số rỗng nhỏ nhất, $e_{\min}$	0.727
Tỷ trọng, G_s	2.65
Phân loại đất theo USCS	SP

Bảng 7. Tính chất và gradien thủy lực tới hạn tương ứng với các độ chặt của cát.

D_r (%)	e	ρ (g/cm ³)	k_{tb} (cm/s)	i_{cr}
70	0.822	1.455	0.0474	0.906
80	0.790	1.480	0.0447	0.922
90	0.759	1.507	0.0375	0.938

2.2 Mô hình và phương pháp thí nghiệm

Mô hình thí nghiệm được thiết kế với chiều sâu đất trong và ngoài hố đào $H_e = H_p = 5$ cm. Độ chênh cao cột nước được xác định với hệ số an toàn chống xói ngầm $F_s = 1$, trong đó F_s được tính toán theo phương pháp dòng thấm 1 chiều đơn giản do Ou (1998) đề xuất. Thí nghiệm được áp dụng với đất cát tại độ chặt từ $D_r = 70\%$ -90%. Chiều cao cột nước trước và sau tường chắn được tính toán dựa theo giá trị gradien thủy lực tới hạn (bảng 5).

Sau khi dòng thấm ổn định, áp lực nước U_1 và U_2 tại 2 vị trí trên tường vây hố đào được xác định từ mô hình thí nghiệm, trong đó U_1 là áp suất tại điểm chân tường chắn (điểm b) và U_2 là áp suất nước tại điểm phía sau tường chắn, nằm dưới mặt cát sau tường 2.5mm (điểm c).

3. KẾT QUẢ

Sau khi dòng thấm ổn định, lưu lượng và áp lực nước tại vị trí cần khảo sát trên tường vây hố đào được xác định từ mô hình thí nghiệm. Hình ảnh hố đào bị phá hoại do xói ngầm được thể hiện ở hình 4. Kết quả này cho thấy hệ số an toàn thực tế của mô hình phải nhỏ hơn 1 (hiện tượng xói ngầm đã xảy ra gây phá hoại hố đào).

3.1. Kết quả thông số mô hình thí nghiệm

Kết quả thí nghiệm từ mô hình bao gồm lưu lượng nước, chiều cao cột nước H_w và chiều cao cột nước tại vị trí đo U_1 , U_2 được thể hiện trong bảng 5. Từ đó dựa theo định luật thấm Darcy, các giá trị gradient thủy lực lớn nhất được tính toán với các dòng thấm chảy sát tường cừ (có chiều dài thấm nhỏ nhất). Các giá trị gradient thủy lực được tính bằng giá trị trung bình theo từng đoạn dòng thấm:

Gradient thủy lực dọc theo dòng thấm ab, i_{ab} được tính bằng:

$$i_{ab} = \frac{H_p + \Delta H_w - h_1}{H_e + H_p + 2} \quad (7)$$

Tương tự, gradien thủy lực theo dòng thấm bc, i_{bc} và dòng thấm cd, i_{cd} được tính theo công thức:

$$i_{bc} = \frac{h_1 - H_p / 2 - h_2}{H_p / 2 + 2} \quad (8)$$

$$i_{cd} = \frac{h_2 - H_p / 2}{H_p / 2} \quad (9)$$

Trong đó h_1, h_2 = chiều cao cột nước tương ứng với áp suất U_1 và U_2 lần lượt tại vị trí b và c trong mô hình thí nghiệm (hình 4). Các giá trị độ dài và chiều cao được tính theo đơn vị cm,

Bên cạnh đó, gradien thủy lực trung bình tại đáy tường chắn đi qua mặt cắt ef (hình 4) cũng được xác định dựa theo lưu lượng nước q thu được từ mô hình và diện tích mặt cắt A_{ef} :

$$\overline{i_{ef}} = \frac{v_{ef}}{K} = \frac{q}{A_{ef} K} \quad (10)$$

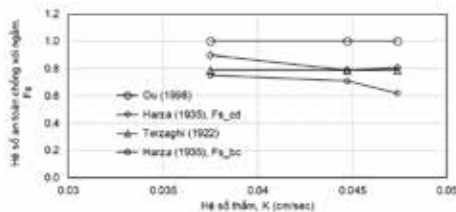
Kết quả tính toán cho thấy gradien thủy lực dọc theo dòng thấm sát hố đào là không đồng nhất. Gradient thủy lực nhỏ nhất đối với dòng thấm ab và tăng lên, đạt giá trị lớn nhất tại dòng thấm bc sau đó giảm dần tại dòng thấm cd. Có thể thấy, dưới ảnh hưởng bởi khe hẹp ef, làm gia tăng tốc độ dòng chảy, từ đó gia tăng gradien thủy lực. Kết quả tính gradien thủy lực tại khe hẹp ef là phù hợp với gradien thủy lực lớn nhất tại dòng thấm bc. So sánh với giá trị gradien thủy lực cực hạn trong bảng 4 cho thấy, các dòng thấm bc

và cd đã lớn hơn nhiều giá trị gradient thủy lực tới hạn. Điều này giải thích cho sự phá hoại của mô hình thấm như trong hình 4.

3.2. Hệ số an toàn chống cát sỏi

Dựa vào các thông số mô hình thực nghiệm, hệ số an toàn chống xói ngầm theo các phương pháp khác nhau được xác định tương ứng với các trường hợp thí nghiệm. Kết quả hệ số an toàn chống xói ngầm theo phương pháp Terzaghi (1922) được thể hiện trong bảng 6. Kết quả tính toán hệ số $F_s = 0.79 < 1$ phù hợp với điều kiện phá hoại thực tế của mô hình thí nghiệm (hình 4), tuy nhiên có thể thấy kết quả tính toán hệ số an toàn là không đổi khi thay đổi hệ số thấm của đất cát. Như vậy, phương pháp Terzaghi (1922) chưa phản ánh được sự phụ thuộc của hệ số thấm đối với hệ số an toàn chống cát sỏi. Nhận xét này cũng tương tự như phương pháp Ou (1998) như thể hiện trong bảng 6. Phương pháp Marsland (1953) không đưa ra giá trị hệ số an toàn với tỷ số $D/H_w < 1$, do đó, phương pháp Marsland (1953) không được áp dụng trong tính toán hệ số an toàn trong điều kiện của thí nghiệm.

Phương pháp Harza (1935) kết hợp với kết quả đo áp lực nước và chiều cao cột nước cho thấy hệ số an toàn chống xói ngầm giảm xuống khi gia tăng hệ số thấm của đất cát. Kết quả cũng cho thấy dòng thấm đi qua điểm b-c (từ chân tường chắn đến điểm giữa tường chắn bên trong hố đào) là khu vực nguy hiểm nhất cần được xét đến trong tính toán chống xói ngầm của hố đào sâu. Kết quả tính toán từ phương pháp Harza (1935) kết hợp với kết quả từ mô hình thí nghiệm được đánh giá là phù hợp với mô hình tính toán và ứng xử cát sỏi. Kết quả cho thấy khi gia tăng hệ số thấm từ 0.037 cm/s lên 0.047 cm/s (khoảng 26.3%), hệ số an toàn chống cát sỏi, $F_{s, bc}$ giảm xuống từ 0.75 đến 0.62 (17.4%) và $F_{s, cd}$ giảm từ 0.90 - 0.81 (10.0%)



Hình 5- Quan hệ giữa hệ số thấm và hệ số an toàn theo các phương pháp tính khác nhau

3.3 Hệ số an toàn chống xói ngầm tối thiểu để xuất

Dựa theo kết quả nghiên cứu có thể thấy đối với mỗi phương pháp tính toán hệ số chống xói ngầm của hố đào sâu cần có giá trị hệ số an toàn tối thiểu nhằm đảm bảo độ ổn định chống xói ngầm của hố đào. Hệ số này được tính toán nhằm đạt hệ số chống xói ngầm tại vị trí nguy hiểm nhất (dòng thấm bc) có $F_{s, bc}$ (hệ số an toàn nhỏ nhất dựa theo kết quả đo áp lực và phương pháp Harza) tối thiểu lần lượt là 1.1, 1.2 và 1.5. Kết quả được thể hiện trong bảng 7.

Như vậy hệ số thấm càng lớn, đất càng rỗng, hệ số an toàn tối thiểu đối với mỗi phương pháp càng lớn. Giá trị hệ số an toàn tối thiểu chống xói ngầm cho trong bảng 7 có thể được sử dụng để làm giá trị tham khảo cho các trường hợp trong thực tế trong đó vùng đất thấm đáy hố đào được giới hạn bởi vùng đất không thấm tương tự như mô hình thí nghiệm đã đề xuất trong nghiên cứu.

4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày nghiên cứu về ảnh hưởng của tính thấm của đất đến hệ số an toàn chống xói ngầm của đất cát trong hố đào sâu. Nghiên cứu đã phát triển mô hình thí nghiệm mô phỏng quá trình thấm của nước ngầm trong đất cát độ chặt khác nhau dưới tường chắn. Nghiên cứu cho thấy hệ số thấm của đất cát ảnh hưởng lớn đến độ an toàn chống xói ngầm của tường chắn. Một số kết luận cụ thể bao gồm:

- Dòng thấm có gradient thủy lực lớn nhất nằm sát tường hố đào. Gradient thủy lực này không đồng nhất, tăng dần đối với dòng thấm ab, đạt giá trị cực đại tại chân tường, giảm dần đối với dòng thấm cd.

- Hệ số an toàn chống xói ngầm dựa trên mô hình tính Terzaghi (1922) và Ou (1998) đều cho kết quả hệ số an toàn không phụ thuộc vào hệ số thấm của đất cát. Phương pháp Harza (1935) kết hợp với kết quả đo cho thấy hệ số an toàn chống xói ngầm giảm xuống khi gia tăng hệ số thấm của đất cát. Kết quả cũng cho thấy dòng thấm đi qua điểm b-c (từ chân tường chắn đến điểm giữa tường chắn bên trong hố đào) là khu vực nguy hiểm nhất cần được xét đến trong tính toán chống xói ngầm của hố đào sâu.

- Phương pháp tính toán Terzaghi (1922) tương đối tin cậy trong đó tính toán đến độ ổn định của khối đất sau tường chắn do xói ngầm. Tuy nhiên, phương pháp này chưa chỉ ra được vị trí nguy hiểm nhất do dòng chảy gây ra dọc theo tường chắn trong khu vực hố đào. Hệ số an toàn theo phương pháp Terzaghi nằm giữa hệ số an toàn tính theo phương pháp Harza theo dòng thấm bc, $F_{s, bc}$ và dòng thấm cd, $F_{s, cd}$.

- Hệ số thấm càng cao, vận tốc thấm chảy qua mặt cắt thấm đáy hố đào càng lớn, càng làm gia tăng gradient thủy lực. Khi hệ số thấm tăng lên 26.3% sẽ làm giảm tối đa 7.3% đối với hệ số an toàn, F_s .

- Nghiên cứu để xuất giá trị hệ số an toàn tối thiểu chống xói ngầm cho từng trường hợp về độ chặt và cao độ đất trong mô hình mô phỏng hố đào sâu. Các giá trị để xuất có thể được sử dụng để làm giá trị tham khảo cho các trường hợp trong thực tế trong đó vùng đất thấm đáy hố đào được giới hạn bởi vùng đất không thấm tương tự như mô hình thí nghiệm đã đề xuất trong nghiên cứu.

ACKNOWLEDGEMENT: This work belongs to the project grant No: T2021-115TĐ funded by Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Vietnam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- ASTM D2434, "Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Coarse-Grained Soils" ed: West Conshohocken PA, 2006.
- ASTM D4254, "Standard test methods for minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density," ed: West Conshohocken PA, 2006.
- ASTM. D4253, "Standard test methods for maximum index density and unit weight of soils using a vibratory table," ed, 2006.
- TCVN 11823-11:2017 về Thiết kế cầu đường bộ, 2017.
- TCVN 8422:2010 Công trình thủy lợi – thiết kế tầng lọc ngược công trình thủy công, 2010.
- TCVN 4253:2012 về Công trình thủy lợi - Nền các công trình thủy công - Yêu cầu thiết kế, 2012.
- Bùi Văn Trường (2015). Kết quả bước đầu nghiên cứu xói ngầm, cát chảy nền đê sông bằng phương pháp thí nghiệm hiện trường, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, vol. 50, pp. 133-139.
- Lê Văn Thảo và V. H. Công (2018). Đánh giá khả năng xói hạt mịn của một số đất đắp đập, đề xuất vào những tiêu chuẩn cơ hạt, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, vol. 60, pp. 27-32.
- NDM (1971). Design manual-Soil mechanics, foundations, and earth structures, ed. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C: Department of the Navy, Naval Facilities Engineering Command, Washington, DC, 1971.
- Harza, L. F. (1935). Uplift and seepage under dams on sand, Transactions of the American Society of Civil Engineers, ASCE, vol. 100, no. 1, pp. 1352-1385, 1935.
- Terzaghi, K. (1922). Der Grundbruch on Stauwerken und Seine Verhutung, Die Wasserkraft. 1922.
- Marsland, A. (1953). Model experiments to study the influence of seepage on the stability of a sheeted excavation in sand," Geotechnique, vol. 3, no. 6, pp. 223-241.
- Ou, C.Y. (1998). Deep excavation: Theory and practice. Crc Press, 2014.
- Mozó, D., Oróstegui, P. and Villalobos, F. (2014). Hydraulic stability evaluation of a diaphragm wall in granular soils recharged by an unconfined aquifer. Obras y Proyectos 15, 42-49
- Aulbach, B. and Ziegler, M. (2013). Simplified design of excavation support and shafts for safety against hydraulic heave. Geomechanics and Tunnelling 6(4), 362-374
- DIN 1054: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1. Berlin: Beuth, 2010.
- ÖNORM B 1997-1-1: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln; Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1997-1 und Nationale Ergänzungen. Wien, 2010.