

ĐÁNH GIÁ TƯỜNG CHẮN ĐẤT CÓ CỐT DÙNG CỐT MẠ KẼM TỰ CHẾ TẠO BẰNG MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM VÀ MÔ PHỎNG CÓ XEM XÉT VẬT LIỆU ĐẮP TẠI MIỀN TRUNG VIỆT NAM

Châu Trường Linh^a, Nguyễn Thu Hà^{a,*}, Vũ Đình Phụng^b

^aKhoa Xây dựng Cầu đường, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng,
54 đường Nguyễn Lương Bằng, quận Liên Chiểu, Đà Nẵng, Việt Nam

^bKhoa Công trình, Trường Đại học Thủy Lợi, 175 đường Tây Sơn, quận Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 23/9/2021, Sửa xong 18/11/2021, Chấp nhận đăng 19/11/2021

Tóm tắt

Hiện nay, khi xây dựng tường chắn đất có cốt ở Việt Nam thì đều phải sử dụng các loại cốt nhập từ các hãng của nước ngoài. Bài báo đề xuất sử dụng cốt thép thương mại mạ kẽm dùng cho tường chắn đất có cốt. Nghiên cứu chỉ ra rằng ổn định nội bộ của tường chắn đất có cốt phụ thuộc nhiều vào tương tác đất-cốt và môi trường. Tương tác đất-cốt phụ thuộc chủ yếu vào tính chất cơ-lý (độ ẩm, thành phần hạt) và hình dạng của cốt, tuổi thọ của cốt phụ thuộc chủ yếu vào hóa tính (trở kháng, pH, Cl^- , SO_4^{2-}) của vật liệu đắp và môi trường. Các yếu tố cơ-lý-hóa chính của vật liệu đắp của 75 mỏ thu thập tại Miền Trung và cốt được thí nghiệm theo các tiêu chuẩn hiện hành để lựa chọn ra mỏ vật liệu đắp phù hợp cho tường chắn đất sử dụng cốt thép mạ kẽm. Mô hình thực nghiệm tỉ lệ 1/1 mô phỏng ứng xử của tường và từ đó dự báo thời gian phục vụ của tường chắn dưới tác động xâm thực của môi trường.

Từ khoá: tường chắn đất có cốt; vật liệu đắp; chỉ tiêu cơ-lý-hóa; mô hình thực nghiệm; cốt mạ kẽm tự chế tạo; tương tác đất-cốt.

ASSESSMENT OF MECHANICALLY STABILIZED EARTH WALLS USING SELF-MADE GALVANIZED STEEL STRIPS BY EXPERIMENTAL MODEL AND CONSIDERING BACKFILL MATERIALS IN THE CENTRAL REGION-VIETNAM

Abstract

Currently, all kinds of steel strips used for Vietnam retaining wall construction have been imported at a very high cost which leads to an increase in construction expenses. We have made a proposal to use galvanized commercial reinforced steel for mechanically stabilized earth walls (MSE walls). This research has shown that the internal stability of this type of wall mainly depends on the soil-reinforcement interaction and the environment. Soil-reinforcement interaction significantly depends on mechanical properties (humidity, grain composition, etc.) and reinforcement shape, whereas the reinforcement service life depends mainly on chemical properties of backfill materials (soil impedance, pH, Cl^- , SO_4^{2-}) and the environment. The main mechanical-physical-chemical elements of backfill materials of 75 mines collected in the Central region-Vietnam and steel strips have been tested following the current standards to select appropriate backfill mines for MSE walls using self-made galvanized steel strips (SGSS). An experimental model with a scale of 1/1 has simulated the behaviors of retaining walls and predicted the service life of them under the aggression effects of environmental factors.

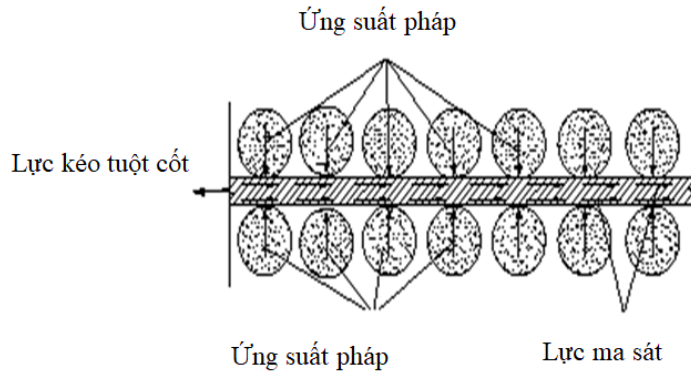
Keywords: mechanically stabilized earth walls (MSE walls); backfill materials; mechanical-physical-chemical properties; experimental models; self-made galvanized steel strips (SGSS); soil-reinforcement interaction.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2021-15\(7V\)-09](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2021-15(7V)-09) © 2021 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: ntha@dut.udn.vn (Hà, N. T.)

1. Đặt vấn đề

Tường chắn đất có cốt làm việc ổn định chủ yếu là nhờ sự huy động ứng suất kéo trong cốt thông qua ma sát giữa đất-cốt. Các cốt kim loại dạng dải có bề rộng hẹp, tác dụng tương hỗ giữa cốt-đất chỉ thuần túy dựa vào ma sát (sự neo bám) [1]. Vì vậy, thành phần hạt, độ ẩm của đất, cấu tạo và hình dạng của cốt ảnh hưởng rất lớn đến sự neo bám này. Lực chống kéo tuột cốt (Hình 1) phụ thuộc vào sức kháng cắt của đất, độ nhám và diện tích bề mặt cốt [2, 3].



Hình 1. Cơ chế tương tác giữa cốt kim loại (dạng dải) với vật liệu đắp

Tuổi thọ của tường chắn đất có cốt luôn được xét đến trong thiết kế. Trong phần lớn các ứng dụng, tuổi thọ thiết kế lựa chọn cho đơn nguyên cốt thường bằng tuổi thọ làm việc của công trình [4]. Khi sử dụng cốt kim loại, sự ăn mòn điện hóa làm giảm tuổi thọ của cốt theo thời gian (Hình 2). Các nhân tố chính ảnh hưởng đến sự ăn mòn này là các chỉ tiêu hóa đất như trở kháng, pH, Cl^- , SO_4^{2-} và các tác nhân môi trường [5–7].



Hình 2. Cốt trong tường chắn đất có cốt bị ăn mòn

Hiện nay, các kết cấu công trình sử dụng tường chắn đất có cốt đều được tính toán thiết kế và thi công theo tiêu chuẩn Anh BS 8006-1 (2010), tiêu chuẩn Mỹ FHWA-NHI-00-043 (2001), qui trình Pháp-Châu Âu NF EN P94-270 (2009) và tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 11823-11 (2017). Các tiêu chuẩn này đều có qui định chặt chẽ về vật liệu đắp và cốt dùng cho tường chắn đất có cốt sử dụng cốt kim loại dạng dải. Bài báo tập trung nghiên cứu lựa chọn ra loại đất thuộc các mỏ đất đồi trong khu vực Miền Trung đạt các yêu cầu về tính chất cơ-lý-hóa để sử dụng làm vật liệu đắp cho tường chắn có cốt, từ đó tiến hành mô phỏng thực nghiệm tường chắn có cốt sử dụng 1 loại vật liệu đắp được lựa chọn ở trên và cốt thép tự chế tạo. Nội dung nghiên cứu này là tiền đề cho nghiên cứu ứng dụng trong thực tế nhằm hướng đến giảm giá thành xây dựng và tận dụng năng lực sản xuất của các doanh nghiệp trong nước.

2. Yêu cầu về vật liệu đắp - cốt và kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ - lý - hóa

2.1. Yêu cầu về vật liệu đắp - cốt

Theo [4, 8–10], vật liệu đất đắp cho tường chắn đất có cốt khi dùng cốt kim loại là đất rời, ít dính thuộc các nhóm đất A-1-a, A-1-b, A-3, A-2-4, A-2-5 theo [11]; Góc nội ma sát cao (đất rời $\phi \geq 320$, đất dính $\phi \geq 280$ theo [12] hoặc [13]), khi bão hòa nước $\phi \geq 250$; Mẫu thí nghiệm được đầm chặt đến K98 theo [14] (phương pháp C hoặc D) và độ ẩm tốt nhất sai số trong khoảng $\pm 2\%$; Lượng chứa hữu cơ không vượt quá 1% theo trọng lượng [15]; Cỡ hạt lớn nhất không được vượt quá 125 mm với tỉ lệ tối đa có mặt trong đất là 25%, lượng lọt qua sàng 0,015 mm không được vượt quá 10%. Với nhóm đất A-1-a theo thì tỉ lệ lọt sàng 0,074 mm không được vượt quá 15%; sàng 0,425 mm không vượt quá 30%; sàng 2 mm không vượt quá 50% [11]; Chỉ số dẻo $IP \leq 6$, chỉ số nhóm $GI = 0$ [11]; Các tính chất điện hóa của đất phải thỏa mãn các yêu cầu như Bảng 1.

Bảng 1. Các đặc trưng hóa học của vật liệu đắp khi dùng cốt kim loại [4, 8–10]

Các đặc trưng điện hóa		Thép không mạ và thép mạ	
		Tường ngập nước	Tường không ngập nước
pH	min max	5 10	5 10
Hàm lượng Ion Cl^- tối đa		100 ppm; (0,1 mg/g)	100 ppm; (0,1 mg/g)
Hàm lượng Ion SO_4^{2-} tối đa		200 ppm; (0,2 mg/g)	200 ppm; (0,2 mg/g)
Điện trở suất tối thiểu ($\Omega.cm$)		3000	1000

Vật liệu dùng làm cốt kim loại phải có khả năng chịu được lực kéo, khả năng chống lại ảnh hưởng của biến dạng trong khối đắp và có sức chống ăn mòn nhất định [2, 4]. Bảng 2 nêu các đặc trưng tối thiểu của vật liệu dùng làm cốt kim loại.

Bảng 2. Đặc trưng của vật liệu dùng làm cốt kim loại theo [4, 16, 17]

Loại thép cacbon dùng làm cốt theo	Chiều dày tối đa chịu ứng suất tác dụng (mm)	Cường độ chịu kéo tối thiểu (N/mm^2)	Cường độ kháng cắt tối thiểu (N/mm^2)	Cường độ chịu nén tối thiểu (N/mm^2)
BS EN 10025-2:2004, S 235 JR	16	360	215	360
BS EN 10025-2:2004, S 275 JR	16	410	245	410
BS EN 10025-2:2004, S 355 JR	10	470	280	470
BS 4449:2005, BS EN 10080:2005	40	525	315	525

Cốt kim loại trong tường chắn đất có cốt bị ăn mòn điện hóa (chủ yếu là ăn mòn cục bộ) theo thời gian, làm cho cốt bị giảm diện tích tiết diện và giảm độ bền chịu kéo. Thực tế thì cốt sẽ bị ăn mòn tại những vị trí nhất định tùy vào điều kiện môi trường xung quanh [5, 6]. Vì vậy, tiêu chuẩn qui định chiều dày dự phòng cho phép (chiều dày hy sinh) không tính vào kết cấu trên mỗi bề mặt tiếp xúc với môi trường ăn mòn của cốt khi vùi trong vật liệu đắp như Bảng 3.

Bảng 3. Chiều dày thí bỏ trên mỗi bề mặt tiếp xúc với môi trường ăn mòn [4, 16]

Tuổi thọ thiết kế của kết cấu dùng cốt thép mạ (năm)	Chiều dày hy sinh (mm)	
	Kết cấu tiếp xúc với nước ngọt	Kết cấu đặt trong đất (ngoài vùng nước)
5	0	0
10	0	0
50	0,3	0,55
60	0,38	0,63
70	0,45	0,7
120	0,75	1,0

2.2. Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ - lý - hóa của vật liệu đắp

Theo Quyết định qui hoạch đất đồi sử dụng làm vật liệu san lấp giai đoạn 2020-2025, định hướng đến 2030 [18], trong khu vực Miền Trung có 579 mỏ đất với diện tích là 10.980,58 ha và trữ lượng là 466.959.485 m³. Trong 579 mỏ trên, có 75 mỏ có diện tích và trữ lượng đất lớn nên được chọn để thí nghiệm. Các thí nghiệm tính chất cơ - lý - hóa của các mẫu đất được nhóm tác giả thực hiện tại phòng thí nghiệm Cầu đường thuộc trường Đại học Bách khoa-Đại học Đà Nẵng và Trung tâm Kỹ thuật Đường bộ 3 (phòng thí nghiệm_LAS XD 73). Dưới đây là kết quả thí nghiệm của 7 mỏ đất trên địa bàn thành phố Đà Nẵng.

Bảng 4. Tổng hợp kết quả thí nghiệm các mẫu đất đồi tại thành phố Đà Nẵng

TT	Địa bàn mỏ	$\gamma_{k \max}$ kN/m ³	W_0 (%)	Chỉ số đẻo IP	c (kN/m ²)	ϕ (độ)	Điện trở suất (Ω .cm)	Độ pH	Ion Cl ⁻ (mg/g)	Ion SO ₄ ²⁻ (mg/g)
1	Sơn Phước	18,25	12,0	8,76	4,2	32,5	8245	5,7	0,093	0,465
2	Đèo ông gấm	19,01	12,6	8,11	6,0	30,6	10643	6,0	0,089	0,471
3	Xuân Phú	18,16	12,5	8,55	5,1	34,3	11270	5,9	0,094	0,497
4	Hòa Nhơn	19,08	13,5	15,05	5,5	28,1	8918	5,5	0,141	0,781
5	Hòa Cẩm	19,08	15,0	13,68	7,3	30,3	10290	6,0	0,071	0,161
6	Hòa Sơn	19,10	13,4	15,84	4,6	33,2	5880	7,5	0,068	0,345
7	Mỏ 532	19,02	12,1	7,98	6,2	35,7	8330	5,3	0,101	0,523

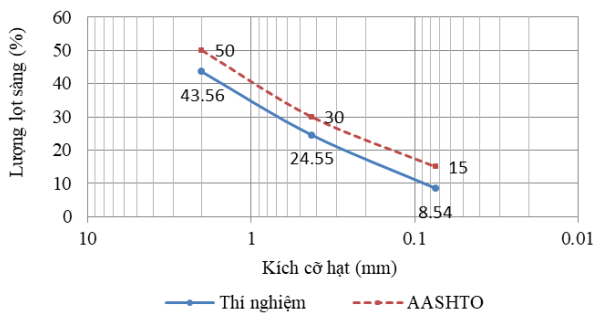
Bảng 4 cho thấy, chỉ số dẻo của các mỏ đất đều vượt quá giới hạn cho phép (đều có IP > 6), có 4 mỏ có IP dao động từ 7.98 đến 8.76 nên xem xét có thể sử dụng được. Mặt khác, cũng có 4 mỏ có góc nội ma sát $\phi > 320$ là đạt yêu cầu về góc nội ma sát lớn. Độ pH của các mẫu đều khá nhỏ, đều đạt yêu cầu nằm trong giới hạn cho phép. Mỏ đất đồi Hòa Nhơn và 532 có hàm lượng Cl⁻ và cả SO₄²⁻ khá lớn, vượt xa giới hạn cho phép nêu trong Bảng 1 theo [19, 20]. Điện trở suất được xác định theo [21], cả 7 mỏ đất đều thỏa mãn yêu cầu về điện trở suất. Trong đó, điện trở suất mỏ Đèo Ông Gấm, Xuân Phú và Hòa Cẩm rất lớn (> 10 000 Ω .cm, nên gây ra mức độ ăn mòn không đáng kể theo [21]. Các mẫu đất còn lại có điện trở suất từ 5880 đến 8918 Ω .cm nằm trong phạm vi 2000 đến 10000 Ω .cm nên gây ra mức độ ăn mòn nhẹ.

Bảng 5 cho thấy trong 7 mỏ đất trên, có 5 mỏ có thành phần hạt đạt yêu cầu theo [11] là mỏ Xuân Phú, Hòa Nhơn, Hòa Cẩm, Hòa Sơn, 532. Hình 3(a) biểu diễn thành phần hạt của mẫu đất đồi thí nghiệm với đường thành phần hạt giới hạn lọt sàng lớn nhất của nhóm đất A-1-a [11]. Đầm nén mẫu

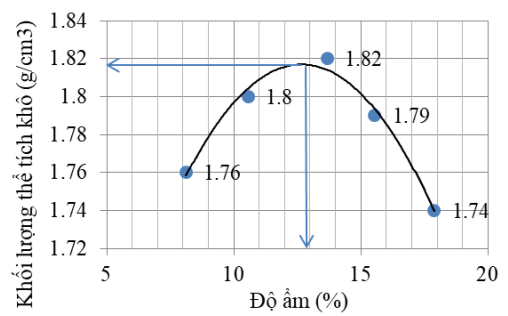
đất theo [14, 22]. Kết quả thí nghiệm vẽ được các biểu đồ quan hệ giữa độ ẩm và khối lượng thể tích khô lớn nhất như Hình 3(b) và các giá trị cụ thể cho từng mẫu đất được nêu trong Bảng 4. Độ ẩm tốt nhất của các mẫu đất dao động từ 12 đến 15%.

Bảng 5. Kết quả thí nghiệm thành phần hạt của các mẫu đất đồi tại thành phố Đà Nẵng

Cỡ sàng (mm)		2	0,425	0,074
Giới hạn lớn nhất lượng lọt qua sàng giới hạn của nhóm đất A-1-a theo [11]		50	30	15
Lượng lọt qua sàng	Mỏ Sơn Phước	60,70	47,50	19,30
	Mỏ Đèo ông Gấm	54,46	38,12	17,81
	Mỏ Xuân Phú	43,56	24,55	8,54
	Mỏ Hòa Nhơn	45,67	25,65	12,27
	Mỏ Hòa Cầm	38,34	19,23	9,12
	Mỏ Hòa Sơn	42,38	22,34	9,07
	Mỏ 532	44,68	21,9	8,79



(a) Biểu đồ thành phần hạt



(b) Đường cong đầm nén tiêu chuẩn

Hình 3. Kết quả thí nghiệm mẫu đất đồi mỏ Xuân Phú - Hòa Ninh

Bảng 6. Mức độ đạt yêu cầu cho các chỉ tiêu cơ - lý - hóa của đất đồi Đà Nẵng dùng làm vật liệu đắp cho tường chắn đất có cốt dùng cốt thép mạ [4, 8–10]

Chỉ tiêu đánh giá	Đánh giá mức độ đạt yêu cầu						
	Sơn Phước	Đèo Ông Gấm	Xuân Phú	Hòa Nhơn	Hòa Cầm	Hòa Sơn	532
Thành phần hạt	-	-	++	++	++	++	++
Chỉ số dẻo IP	+	+	+	-	-	-	+
Góc nội ma sát	++	-	++	-	-	++	++
Điện trở suất	++	+++	+++	++	+++	++	++
Độ pH	++	++	++	++	++	++	++
Hàm lượng Cl ⁻	++	++	++	-	++	++	++
Hàm lượng SO ₄ ²⁻	-	-	-	-	++	-	-

(“-”: không đạt; “+”: gần đạt; “++”: đạt; “+++”: đạt tốt)

Trong 75 mỏ đất thí nghiệm, không có mỏ đất nào đạt yêu cầu tuyệt đối, với 1 mỏ đất thì có những chỉ tiêu đạt và có chỉ tiêu không đạt tương tự như Bảng 6 ở trên. Cũng từ Bảng 6 cho thấy mỏ đất

Xuân Phú và mỏ 532 phù hợp cho vật liệu đắp tường chắn đất có cốt sử dụng cốt kim loại nhất. Kết quả thí nghiệm đã lựa chọn được 24 mỏ đất có chỉ tiêu cơ-lý-hóa được xem là phù hợp sử dụng làm vật liệu đắp cho tường chắn đất có cốt như Bảng 7 dưới đây. Nếu trường hợp tường không bị ngập nước và có biện pháp bảo vệ chống thấm từ mặt đường xuống nền tốt thì có thể sử dụng các mỏ đất còn lại và trộn thêm cát với tỉ lệ cho đạt yêu cầu để làm vật liệu đắp.

Bảng 7. Chi tiết các chỉ tiêu cơ-lý-hóa của 24 mẫu đất được lựa chọn

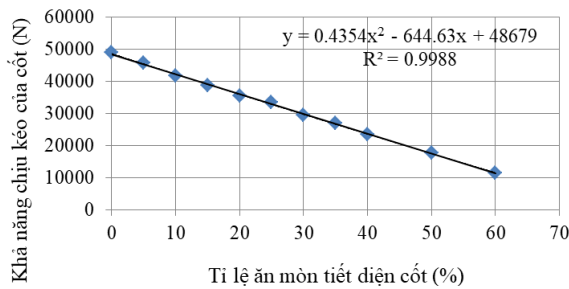
TT	Địa bàn mỏ	$\gamma_{k\max}$ kN/m ³	W_0 (%)	Chỉ số đẻo IP	c (kN/m ²)	φ (độ)	Trở kháng (Ω .cm)	pH	Ion Cl ⁻ (mg/g)	Ion SO ₄ ²⁻ (mg/g)
1	Minh Hóa	19,4	15,73	9,01	4,6	34,1	11398	6,7	0,079	0,164
2	Phú Thủy	19,34	15,63	8,92	6,0	29,7	7342	5,7	0,075	0,183
3	Đồng Sơn	19,2	14,57	9,61	4,1	30,1	8372	5,6	0,092	0,172
4	TX Nghĩa Ninh	19,2	15,39	8,95	5,4	28,3	7946	6,1	0,11	0,157
5	Gio An 1	18,58	13,2	8,33	4,9	31,7	8267	6,3	0,072	0,156
6	Giang Xuân Hải	19,99	12,5	7,97	3,7	29,8	9128	5,3	0,08	0,174
7	Vùng Chòi	19,32	12,48	8,37	5,5	32,5	10104	7,1	0,087	0,211
8	Kiên Kiên	18,58	13,79	6,75	5,9	34,1	7629	6,1	0,096	0,217
9	Đồi Động Thanh	18,68	12,54	7,52	6,3	33,7	10472	5,8	0,112	0,223
10	Đèo Ông Gấm	19,01	12,6	8,11	6,0	30,6	10643	6,0	0,089	0,471
11	Xuân Phú - H.Ninh	18,16	12,5	8,55	5,1	34,3	11270	5,9	0,094	0,497
12	Mỏ 532	19,02	12,1	7,98	6,2	35,7	8330	5,3	0,101	0,523
13	Hồ Hữu, Quế Hiệp	18,2	17,3	8,33	5,4	30,1	10207	6,9	0,102	0,247
14	Tam Hiệp	18,83	16,21	7,05	6,3	34,6	8278	6,4	0,086	0,173
15	Duy Trung	20,12	11,6	7,56	5,7	33,2	9452	5,7	0,073	0,164
16	Núi Hòn 1	18,76	14,07	8,36	5,4	33,7	7532	5,6	0,201	0,281
17	Núi Lệ Thủy	18,48	12,08	7,26	5,1	31,8	9513	6,7	0,085	0,187
18	Gò đồi vườn sung	19,67	14,95	6,88	3,8	35,7	11048	7,2	0,118	0,207
19	Núi Diệp	18,84	13,15	7,12	4,2	31,6	9074	5,9	0,072	0,174
20	Núi I, xã Cát Hanh	18,6	12,86	8,34	4,2	30,2	6137	5,3	0,085	0,203
21	Long Mỹ- Ph.Mỹ	18,8	12,87	8,71	4,6	33,4	8436	6,8	0,103	0,201
22	Núi Hòn Lập	19,14	17,73	7,64	4,8	33,8	7829	5,4	0,095	0,186
23	Núi hòn 1-Thọ Vực	19,3	11,35	9,56	6,1	30,3	8727	5,8	0,135	0,318
24	Mỏ đồi Tổng Đạo	19,2	13,29	9,3	5,7	28,4	6539	5,6	0,103	0,275

2.3. Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ - lý của cốt

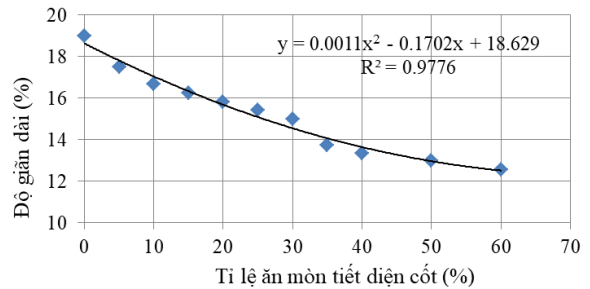
Thí nghiệm kéo thép tuân theo [23]. Xác định độ giãn dài sau khi đứt, chiều dài ban đầu của mẫu phải bằng 5 lần đường kính danh nghĩa. Xác định độ giãn dài tại lực lớn nhất phải đánh dấu các khoảng cách bằng nhau trên chiều dài bất kỳ của mẫu thử. Khoảng cách của các dấu là 20 mm, 10 mm, 5 mm tùy thuộc vào đường kính thanh thép. Xác định tính chịu kéo phải sử dụng diện tích danh nghĩa mặt cắt ngang của thanh thép. Các công trình tường chắn đất có cốt trong thực tế có cốt kim loại bị ăn mòn thì hầu hết là ăn mòn điện hóa dưới 2 dạng: ăn mòn cục bộ và ăn mòn đều [5, 6]. Trong hai dạng này, ăn mòn cục bộ xảy ra phổ biến hơn. Do vậy, nghiên cứu này thí nghiệm mô phỏng ăn mòn cục bộ trên cốt để đề xuất các tỉ lệ ăn mòn hợp lý trong mô hình thực. Thí nghiệm cơ lý các mẫu thép có gờ $\Phi 10$ bị ăn mòn bằng cách giảm tiết diện cốt theo tỉ lệ ăn mòn 0-5-10-15-20-25-30-35-40-50-60% [24]. Để tạo ăn mòn cốt (giảm diện tích tiết diện) thì nghiên cứu này dùng mũi khoan thép $\Phi 5$ và $\Phi 7$ để khoan vào thanh thép với các chiều sâu mũi khoan như Bảng 8.

Bảng 8. Chỉ tiêu cơ lý của mẫu thép thí nghiệm

Tỉ lệ ăn mòn (%)	Mũi khoan (mm)	Chiều sâu mũi khoan (mm)	Môđun đàn hồi (N/mm ²)	Khả năng chịu kéo (N)	Độ giãn dài (%)
0	5	0	200000	49000	18,98
5	5	1,75	200000	45700	17,50
10	5	2,53	200000	41700	16,67
15	5	3,32	200000	38700	16,25
20	5	4,10	200000	35600	15,83
25	5	4,88	200000	33600	15,43
30	5	5,66	200000	29600	15,00
35	5	6,45	200000	27000	13,75
40	5	7,23	200000	23400	13,33
50	7	5,73	200000	17700	13,00
60	7	6,85	200000	11400	12,56



(a) Khả năng chịu kéo với tỉ lệ ăn mòn



(b) Độ giãn dài với tỉ lệ ăn mòn

Hình 4. Đồ thị biểu diễn kết quả thí nghiệm kéo cốt thép

Tỉ lệ ăn mòn cốt và khả năng chịu kéo có quan hệ bậc nhất [9]

$$\Delta R/R_0 = k(\Delta e/e_0) \quad (1)$$

trong đó: R_0 , ΔR lần lượt là lực kéo ban đầu và tổn thất lực kéo trong cốt, e_0 , Δe lần lượt là bề dày ban đầu và bề dày tổn thất trung bình trên một mặt cốt, $k = 1,8$ theo [9] và $k = 2$ theo [5]. Hình 4(a) cho thấy, tỉ lệ ăn mòn cốt và khả năng chịu kéo là quan hệ gần đúng bậc nhất (phù hợp với (1)). Phương trình hồi qui gần đúng, hệ số xác định R^2 và hệ số tương quan R ở Hình 4(a) và Hình 4(b) dùng để tính toán tuổi thọ của tường theo thời gian bằng phương pháp số.

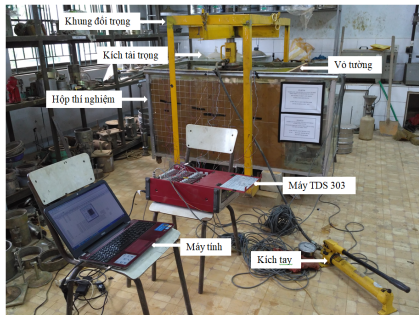
2.4. Đề xuất loại vật liệu đắp và cốt sử dụng cho mô hình thực nghiệm

Vật liệu đắp sử dụng đất đồi mỏ Xuân Phú, xã Hòa Ninh, huyện Hòa Vang, thành phố Đà Nẵng. Cốt thép xây dựng hiện nay phổ biến gồm thép thanh tròn trơn và thép thanh vằn. Các loại thép CT5 (thép có gờ) có các tính chất cơ lý được quy định theo [23] hoàn toàn đáp ứng được các điều kiện về cường độ, độ giãn dài để sử dụng cho tường chắn đất theo [4]. Thép có gờ này sẽ tăng cường ma sát giữa đất-cốt, giảm khả năng kéo tuột cốt. Ngoài ra, để tăng khả năng chống ăn mòn cốt, đề xuất mạ kẽm cho cốt với chiều dày 70-100 μm [25, 26].

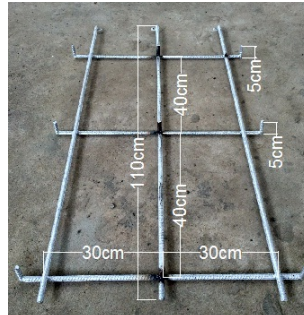
3. Mô hình thực nghiệm tường chắn đất có cốt sử dụng cốt mạ kẽm tự chế tạo

3.1. Xây dựng mô hình thực nghiệm

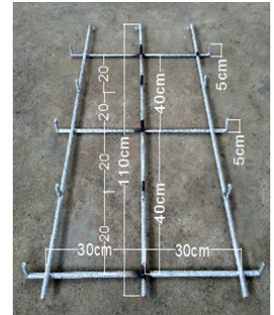
Tiến hành xây dựng mô hình vật lý trong phòng thí nghiệm với tỉ lệ 1/1 như Hình 5(a). Thông thường, đối với các tấm bê tông cốt thép lắp ghép kích thước $1,5 \times 1,5$ (m²) thì bố trí 2 lớp cốt. Trong phạm vi mô hình thí nghiệm này, chỉ xét với 1 lớp cốt nằm giữa 2 lớp đất, mỗi lớp đất dày 37,5 cm (xét với 1/2 tấm tường bê tông cốt thép làm vỏ mặt tường cao 75 cm).



(a) Mô hình thí nghiệm



(b) “cốt 2”



(c) “cốt 3”

Hình 5. Mô hình thí nghiệm tường chắn đất có cốt và hình dạng lưới cốt tự chế
 (“cốt 1”: cốt $\Phi 10$ không ngạnh; “cốt 2”: cốt $\Phi 10$ có 3 ngạnh; “cốt 3”: cốt $\Phi 10$ có 5 ngạnh)

Hộp mô hình được chế tạo với kích thước (dài \times rộng \times cao) = (150 \times 75 \times 75) cm, trong đó khối đất sau lưng tường được mô phỏng với kích thước (120 \times 75 \times 75) cm. Lắp đặt khung thép bên ngoài để làm đối trọng trong quá trình gia tải bằng hệ kích thủy lực.

Cốt được sử dụng là cốt thép CT5 loại $\Phi 10$ Modul đàn hồi $E = 210000$ MPa, gồm 3 thanh cốt dọc $L = 110$ cm song cách nhau 30 cm, 3 thanh cốt ngang cách nhau 40 cm, khoảng cách từ điểm neo vào tường đến thanh cốt ngang đầu tiên là 20 cm. Tại các vị trí giao nhau của cốt bố trí ngạnh thép CT5 loại $\Phi 10$, chiều cao của ngạnh là 5 cm (Hình 5(b) và 5(c)). Các thanh cốt dọc liên kết với một tấm gỗ cứng (giả định làm tường chắn) kích thước (75 \times 75 \times 5) cm (Hình 6(a)). Các cảm biến đo biến dạng bố trí trên cốt và trên mặt nền đất (dưới cốt) như Hình 6(b) và Bảng 9 (với các thông số kỹ thuật của cảm biến: cảm biến điện trở FLA-5-11 của Nhật sản xuất, điện trở $120 \pm 3 \Omega$, điện áp cung cấp 3 \div 10 V, kích thước cơ sở 11 \times 3,5 mm, hệ số nhạy 2,1 \pm 1%).

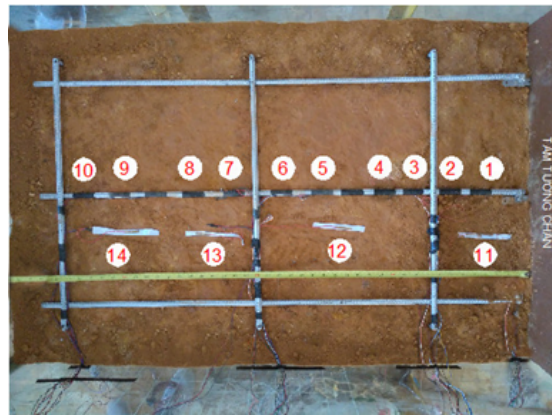
Bảng 9. Khoảng cách từ các ngạnh đến tường

Ký hiệu	Ngạnh	4	3	2	1	0
Cảm biến trên cốt	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10					
Cảm biến trong đất	11 12 13 14					
Khoảng cách ngạnh đến tường (cm)		20	40	60	80	100
Khoảng cách đến tường (cm)	Cảm biến trên cốt	10 15 25 35 45 55 65 75 85 95				
	Cảm biến trong đất	10 40 70 85				

Trình tự xây dựng mô hình như Hình 7: Lấy các mẫu đất tại mỏ đất Phú Xuân-Hòa Ninh; Thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của đất; Chế bị đất đắp đạt W_0 ; Đắp đất từng lớp, dùng đầm thủ công để đầm, mỗi lớp đất sau khi đầm chặt là 12,5 cm và độ chặt K95, sau mỗi lớp đầm dùng thí nghiệm rút



(a) Vỗ tường bố trí gờ liên kết cốt



(b) Lắp đặt "cốt 3" gắn sẵn cảm biến trên cốt và cảm biến trên mặt đất

Hình 6. Cấu tạo vỏ tường và lắp đặt cốt có bố trí cảm biến đo biến dạng

cát để kiểm tra độ chặt; Lắp đặt cốt thép (đã dán cảm biến đo biến dạng tại các vị trí như Hình 6(b)) sau khi đầm xong lớp đất thứ 3 (dày 37,5 cm); Liên kết chắc cốt vào tấm tường chắn bằng bu lông; Đắp tiếp các lớp đất đắp phía trên cốt đạt đến đỉnh tường chắn; Lắp đặt 3 đầu đo chuyển vị tường ở 3 vị trí chân, tim và đỉnh tường; Tiếp tục lắp đặt hệ thống kích thủy lực và tiến hành gia tải 4,5 kG/s và quan sát kết quả biến dạng và chuyển vị.



(a) Chế bị đất đắp đạt W_0 trước khi đắp vào hộp



(b) Đầm đất



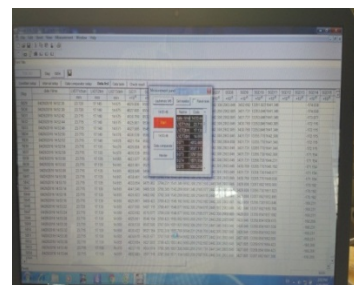
(c) Kiểm tra tín hiệu, kết nối cảm biến đo biến dạng với máy



(d) Kiểm tra độ chặt bằng phương pháp rót cát



(e) Lắp đặt thiết bị đo chuyển vị

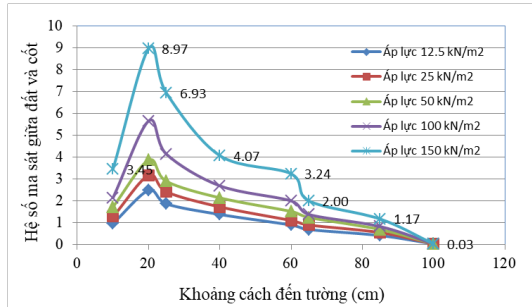


(f) Quan trắc biến dạng, chuyển vị trên máy tính

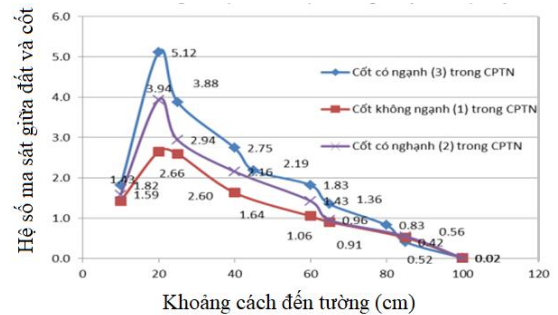
Hình 7. Quá trình xây dựng mô hình thực nghiệm

3.2. Các kết quả đạt được trên mô hình thực nghiệm

Tiến hành thí nghiệm với 3 loại cốt: “cốt 1”, “cốt 2”, “cốt 3”. Hệ số ma sát giữa đất và cốt thay đổi theo chiều dài cốt, áp lực càng tăng thì hệ số ma sát giữa đất và cốt càng giảm do lực kéo trong cốt tăng và sự dịch chuyển tương đối giữa đất và cốt tăng. Giá trị hệ số ma sát có bước nhảy tại các vị trí bố trí ngạnh, điều này chứng tỏ khi bố trí ngạnh làm tăng ma sát giữa đất và cốt (Hình 8(a)). Với cùng một cấp áp lực và cùng một vị trí của cốt trong tường thì “cốt 3” có ma sát giữa đất và cốt lớn nhất, “cốt 1” có ma sát giữa đất và cốt nhỏ nhất. Kết quả này thể hiện được hiệu quả của việc bố trí các ngạnh trong cốt (Hình 8(b)).



(a) Hệ số ma sát trong “cốt 3” dưới các cấp áp lực

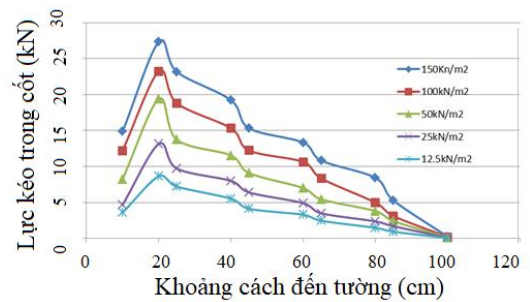


(b) Hệ số ma sát khi thay đổi cốt

Hình 8. Đồ thị biểu diễn hệ số ma sát trong cốt

Lực kéo trong cốt tương ứng với các cấp áp lực từ thí nghiệm như Hình 9. Dạng của biểu đồ phân bố lực kéo trong cốt từ kết quả nghiên cứu này tương tự dạng biểu đồ phân bố lực kéo theo nghiên cứu [5] và cũng phù hợp với dạng biểu đồ phân bố hệ số ma sát trong cốt dưới các cấp áp lực. Lực kéo trong cốt đạt cực đại ở vị trí cốt cách tường 20 cm và càng xa tường thì lực kéo càng giảm dần. Tại các vị trí bố trí ngạnh, lực kéo trong cốt có bước nhảy. Như vậy, có thể khẳng định việc bố trí ngạnh đã làm tăng ma sát giữa đất và cốt nên tăng khả năng neo bám của cốt.

Bảng 10 đánh giá sự tăng trưởng lực kéo trong cốt khi bố trí ngạnh. Ngạnh 0: không đánh giá do đây là ngạnh đầu tiên, ngạnh này có tác dụng là điểm bắt đầu huy động lực ma sát giữa đất với cốt và ma sát bị động của khối đất. Tỷ lệ tăng trưởng lực kéo trong thanh ở ngạnh 1 là lớn nhất sau đó giảm dần ở các ngạnh tiếp theo chứng tỏ ở những ngạnh đầu tiên giá trị lực kéo trong cốt tăng trưởng rất nhanh tuy nhiên diện tích giao diện giữa đất và cốt được huy động chưa nhiều. Càng về phía tường chắn, diện tích giao diện tương tác càng tăng, giá trị lực kéo trong cốt tăng, biến thiên bước nhảy của lực qua ngạnh là lớn nhưng tỷ lệ tăng trưởng giảm. Do vậy, các ngạnh đầu tiên (ngạnh 0) trong cốt có vai trò rất quan trọng trong việc huy động lực ma sát giữa đất và cốt và neo giữ thanh cốt chống lực kéo trượt của áp lực trong tường chắn có cốt.



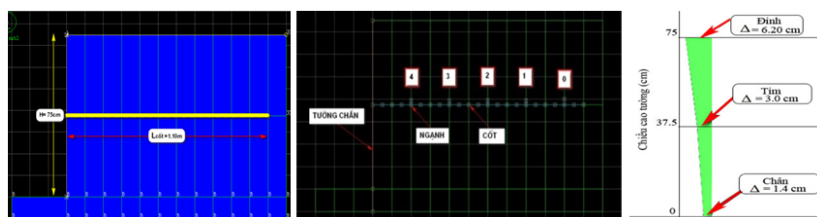
Hình 9. Biểu đồ phân bố lực kéo trong “cốt 3” dưới các cấp áp lực

Bảng 10. Giá trị lực kéo và sự tăng trưởng lực kéo ở các ngành đối với “cốt 3”

		Cấp áp lực (kN/m ²)				
Vị trí đo		12,5	25	50	100	150
Ngành 0		Ngành này không đánh giá				
Lực kéo (kN)	Ngành 1 Cảm biến 9	0,93	1,68	2,40	3,10	5,26
		1,45	2,48	3,79	5,12	8,00
	Tỷ lệ (%)	55,91	47,62	57,92	65,16	52,09
	Ngành 2 Cảm biến 7	2,45	3,49	5,43	8,34	10,83
		3,28	4,86	6,99	10,63	13,32
	Tỷ lệ (%)	33,88	39,26	28,73	27,46	22,99
	Ngành 3 Cảm biến 5	4,12	6,89	9,09	12,23	15,32
		5,54	8,67	11,54	15,31	19,22
	Tỷ lệ (%)	34,47	25,83	26,59	25,18	25,46
	Ngành 4 Cảm biến 3	7,21	9,71	13,72	18,81	23,17
		8,63	13,12	19,38	23,22	27,32
	Tỷ lệ (%)	19,69	35,12	31,25	23,44	17,91

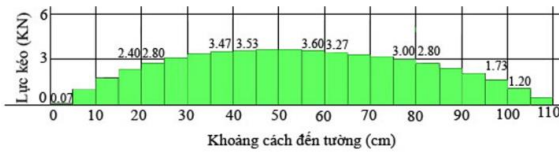
3.3. Mô phỏng số mô hình thực nghiệm

Song song với việc xây dựng mô hình thực nghiệm, tiến hành mô phỏng số trên phần mềm Flac 2D với cùng kích thước hình học và các chỉ tiêu cơ lý, đặc trưng vật liệu của đất và cốt như mô hình thực nghiệm (Hình 10). Việc mô phỏng này nhằm kiểm chứng độ chính xác các số liệu quan trắc được trên mô hình rút gọn. Kết quả của mô phỏng số sẽ xuất ra các giá trị về ứng suất, biến dạng, chuyển vị của khối đất và vỏ tường, biểu đồ phân bố lực kéo trong cốt. So sánh các giá trị kết quả của mô hình số với mô hình thực nghiệm để đưa ra nhận xét, đánh giá ảnh hưởng của ngành đến tương tác đất-cốt trong tường.

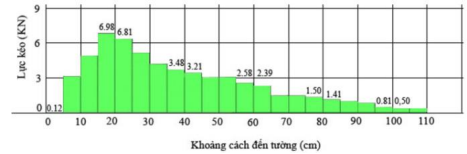


Hình 10. Mô phỏng tường chắn đất có cốt (“cốt 3”) và chuyển vị của tấm tường bằng phần mềm Flac 2D

Chuyển vị của tường (Hình 10) tăng dần từ chân tường đến đỉnh tường, phù hợp với kết quả nghiên cứu trên mô hình thí nghiệm. Dạng biểu đồ phân bố lực kéo trên cốt (Hình 11) cũng phù hợp với kết quả nghiên cứu trên mô hình thí nghiệm (Hình 9) và các kết quả nghiên cứu của Murray và Farrar [27], Chau [5].



(a) Cốt không bố trí ngạnh “cốt 1”



(b) Cốt bố trí ngạnh “cốt 3”

Hình 11. Biểu đồ phân bố ứng lực kéo trong cốt từ phần mềm Flac 2D tương ứng với áp lực 12,5 kN/m²

4. Mô phỏng hiệu ứng ăn mòn cốt

Tùy thuộc điều kiện tự nhiên, khí hậu và vị trí xây dựng, khai thác công trình, quá trình ăn mòn cốt trong kết cấu tường chắn đất có cốt xảy ra theo các kịch bản khác nhau. Tổn thất bề bầy cốt do ăn mòn theo thời gian tính theo công thức [8, 9]:

$$\Delta e = At^n \quad (2)$$

trong đó: Δe (μm) là bề dày tổn thất trung bình trên một mặt cốt tại thời điểm t , t (năm) là thời gian, A (μm) là sự mất mát trong năm đầu tiên, n là tham số đại diện cho sự giảm tốc độ ăn mòn theo thời gian $n < 1$. Giá trị A và n phụ thuộc vào môi trường và loại lớp phủ, được quy định theo [8, 9]. Bảng 11 dưới đây đề xuất các kịch bản ăn mòn gây phá hoại tường chắn đất có cốt và các giá trị A, n tương ứng cho từng kịch bản.

Bảng 11. Đề xuất các kịch bản ăn mòn gây phá hoại tường chắn đất có cốt [7–9]

Kịch bản	Mô tả	A (μm)	n
1	Ăn mòn đều trên toàn bộ cốt thép (cốt thép bị ăn mòn do tính chất cơ lý của vật liệu đắp, công trình khô ráo)	30	0,65
2	Một phần cốt thép có tốc độ ăn mòn lớn hơn		
	- Phần cốt bị xâm thực do thấm nước bề mặt	50	0,65
	- Phần cốt bị ăn mòn do xâm thực ẩm (vật liệu đắp bị xâm thực ẩm)	40	0,65
3	Các lớp cốt phía dưới có tốc độ ăn mòn lớn hơn		
	- Phần cốt bị xâm thực do tường ngập nước (vật liệu đắp bị xâm thực lâu dài, ngập trong nước ngọt)	50	0,65
4	Tốc độ ăn mòn cốt thép gần vỏ tường lớn hơn do tác động sóng biển đối với các công trình ven biển		
	- Phần cốt bị ăn mòn do công trình gần với biển	55	0,7
	- Phần cốt bị ăn mòn do tác động trực tiếp từ sóng biển	70	0,8

Cốt thép bị ăn mòn cả 4 mặt trên 1 cốt Φ10, (theo [24] quy đổi diện tích tiết diện ngang của cốt Φ10 ra diện tích tiết diện ngang hình vuông cạnh là 8,8476 mm). “Cốt 3” dạng lưới thép gồm 3 thanh thép Φ10 nên quy đổi ra hình chữ nhật cạnh là $a = 26,5428$ mm, $b = 8,8476$ mm. Cốt thép bị ăn mòn trên tất cả các mặt nên tổn thất diện tích cốt thép bị ăn mòn (ΔS) là:

$$\Delta S = \Delta e \cdot (2 \cdot 26,5428 + 2 \cdot 8,8476) \cdot 10^{-3} = 0,1062 \cdot \Delta e \text{ (mm}^2\text{)} \quad (3)$$

Tại vị trí ăn mòn lớn nhất thì tiết diện bị ăn mòn tăng lên K lần (K là hệ số phản ánh tính không đồng nhất của sự ăn mòn). Theo [9], ăn mòn đều trên suốt chiều dài cốt thì $K = 1$, ăn mòn cục bộ đối với cốt mạ kẽm thì $K = 2$.

Tổng diện tích ăn mòn ở năm thứ t là:

$$K.\Delta S = 0,1062.K.\Delta e \text{ (mm}^2\text{)} \quad (4)$$

Ngoài ra, Hình 4(a) biểu diễn mối tương quan giữa khả năng chịu kéo của cốt với tỉ lệ ăn mòn tiết diện, ăn mòn được mô phỏng mất mát lên đến 60% diện tích tiết diện cốt. Đường hồi qui và phương trình thu được trên Hình 4(a) và Hình 4(b).

$$y = 0,4354x^2 - 644,63x + 48679 \quad (5)$$

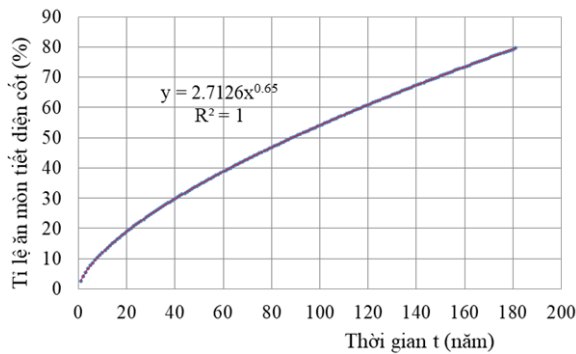
trong (5) y là lực kéo đứt còn lại của cốt, x là tỉ lệ % ăn mòn theo tiết diện ban đầu.

$$y = 0,0011x^2 - 0,1702x + 18,629 \quad (6)$$

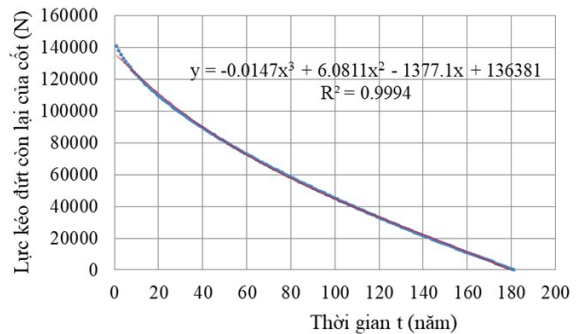
trong (6) y là độ giãn dài của cốt (%), x là tỉ lệ % ăn mòn theo tiết diện ban đầu.

Từ (2), (4), (5) và (6) cùng với việc mô phỏng ăn mòn đều (kịch bản 1) ảnh hưởng đến tuổi thọ của tường thu được các biểu đồ như Hình 12.

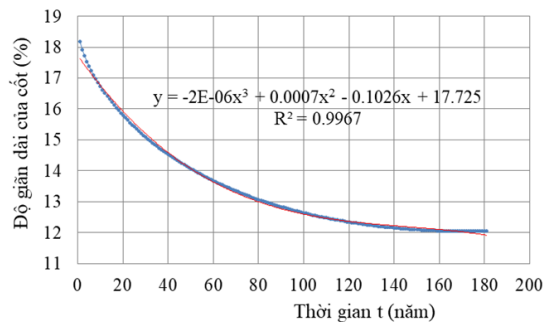
Từ các biểu đồ Hình 12, rút ra được phương trình biểu diễn mối quan hệ giữa thời gian với tỉ lệ ăn mòn, lực kéo còn lại trong cốt, độ giãn dài, chiều rộng và chiều dày của cốt. Kết quả này giúp người dùng xác định được mức độ ăn mòn cốt tại thời điểm t để đánh giá tuổi thọ của kết cấu tường chắn đất có cốt trong thời gian khai thác.



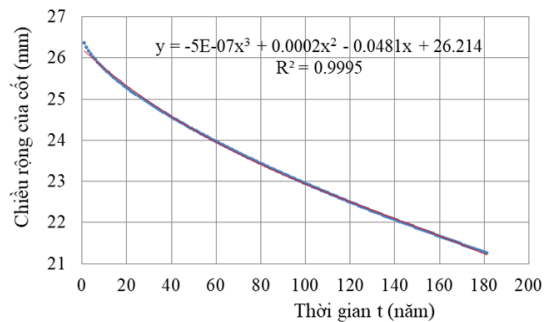
(a) Tỉ lệ ăn mòn tiết diện cốt với thời gian



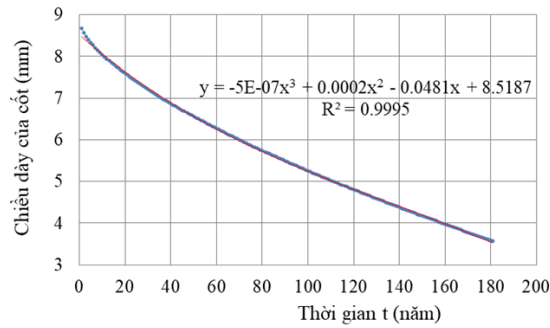
(b) Lực kéo đứt còn lại của cốt với thời gian



(c) Độ giãn dài của cốt với thời gian



(d) Chiều rộng của cốt với thời gian



(e) Chiều dày của cốt với thời gian

Hình 12. Biểu đồ biểu diễn ăn mòn cốt theo thời gian

5. Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu, lựa chọn ra được 24 mô đất đồi có các chỉ tiêu cơ-lý-hóa được xem là phù hợp khi sử dụng làm vật liệu đắp cho tường chắn đất có cốt dùng cốt kim loại. Thí nghiệm kéo thép đạt các yêu cầu theo tiêu chuẩn và đề xuất sử dụng thép có cỡ $\Phi 10$, có ngành, mạ kẽm để làm cốt cho mô hình vật lý trong phòng.

Trong nghiên cứu này, với “cốt 3” thì tại ngành 1 có sự gia tăng lực kéo lớn nhất (trong khoảng $47,62 \div 65,16\%$), nhưng giá trị lực kéo tại ngành này lại nhỏ nhất ($0,93 \div 5,26$ kN). Ở các ngành càng gần với vỏ tường thì sự gia tăng lực kéo càng giảm, nhưng giá trị lực kéo lại đạt lớn nhất. Tại ngành 4 (ngành cuối), sự gia tăng lực kéo là $17,91 \div 35,12\%$, giá trị lực kéo đạt được từ $7,21 \div 23,17$ kN. Vì vậy, sự tăng trưởng lực kéo tại các vị trí bố trí ngành hay sự suy giảm lực kéo lớn nhất trong cốt làm cho cốt không phát huy hết khả năng chịu kéo; suy giảm sức neo bám giữa cốt vào đất làm cho cốt dễ bị kéo tuột dẫn đến tình trạng cốt chưa đứt nhưng công trình đã bị phá hoại.

Từ biểu đồ quan hệ giữa số lượng ngành, cách bố trí ngành với hệ số ma sát giữa đất-cốt cho thấy: Với cùng cấp áp lực thì hệ số ma sát giữa đất và cốt của “cốt 3” lớn hơn so với “cốt 1” là $159,62 \div 192,48\%$, của “cốt 2” so với “cốt 1” là $107,69 \div 148,12\%$. Điều này chứng tỏ hiệu suất của việc lựa chọn số lượng ngành và cách bố trí ngành trong cốt ảnh hưởng lớn đến hệ số ma sát giữa đất - cốt.

Dùng cốt $\Phi 10$ và bố trí cấu tạo dạng “cốt 3”, công trình không ngập nước thì đến thời gian phục vụ tối thiểu 70 năm (công trình bình thường), 100 năm (công trình đặc biệt) tỉ lệ ăn mòn cốt khá lớn từ $42,92 \div 54,12\%$ diện tích tiết diện, lực kéo đứt cốt còn lại khá nhỏ và giảm từ $65433,47 \div 45194,45$ N ($< 50\%$ lực kéo ban đầu của cốt). Vì vậy, đề xuất mạ kẽm chống ăn mòn cốt, tăng tuổi thọ cho tường.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ về tài chính của Bộ Giáo dục và Đào tạo cho đề tài “Nghiên cứu ứng dụng tường chắn đất có cốt bằng thép mạ kẽm tự chế tạo phù hợp với vật liệu đắp địa phương khu vực miền Trung”, mã số: B2021-DNA-12. Nhóm tác giả cũng chân thành cảm ơn sự hỗ trợ về thiết bị thí nghiệm của Trường Đại học Bách khoa Đà Nẵng giúp nhóm tác giả hoàn thành các thí nghiệm trong quá trình nghiên cứu.

Tài liệu tham khảo

- [1] Morsy, A. M., Zornberg, J. G., Leshchinsky, D., Han, J. (2019). [Soil-Reinforcement Interaction: Effect of Reinforcement Spacing and Normal Stress](#). *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 145(12):04019115.

- [2] Weldu, M. T. (2015). *Pullout Resistance of MSE Wall Steel Strip Reinforcement in Uniform Aggregate*. Thesis Committee in the Department of Civil, Environmental, and Architectural Engineering and the Graduate Faculty of the University of Kansas.
- [3] Chau, T.-L., Nguyen, T.-H. (2019). Study the influence of adherence edge to steel strip and soil interaction in Mechanically Stabilized Earth Wall with a self-made strip. *Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer Singapore, 757–762.
- [4] BS 8006-1 (2010). *Code of practice for strengthened/ reinforced soils and other fills*.
- [5] Chau, T.-L., Corfdir, A., Bourgeois, E. (2016). *Corrosion des armatures sur le comportement des murs en terre armée - Effect of reinforcement corrosion on the behavior of earth walls reinforced by steel elements (Sous-titre: Scénarios de corrosion des armatures métalliques et les dégradations du mur en terre armée)*. Éditions Universitaires Européennes (EUE), OmniScriptum GmbH & Co. KG.
- [6] Klinesmith, D. E., McCuen, R. H., Albrecht, P. (2007). *Effect of Environmental Conditions on Corrosion Rates*. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19(2):121–129.
- [7] Chau Truong Linh, Nguyen Thu Ha, V. D. P. V. N. (2019). A study on the main factors affecting the reinforcement corrosion in mechanically stabilised earth walls and predict the service life of the wall. *The 3rd Int. Conf. on Transport Infrastructure & Sustainable Development (TISDIC 2019)*, 175–182.
- [8] FHWA-NHI-00-043 (2001). *Mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes design & construction guidelines*.
- [9] NF EN P94-270 (2009). *Calcul géotechnique Ouvrages de soutènement. Norme Française*.
- [10] TCVN 11823-11 (2017). *Thiết kế cầu đường bộ - Phần 11: Mố, Trụ và Tường chắn*.
- [11] AASHTO M 145-91 (2017). *Standard Specification for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes*.
- [12] AASHTO T-236 (2018). *Standard Method of Test for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*.
- [13] AASHTO T-234 (2018). *Standard Method Triaxial compression test for cohesive soil*.
- [14] AASHTO T-99 (2019). *Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils*.
- [15] AASHTO T-267 (2018). *Standard Method of Test for Determination of Organic Content in Soils by Loss of Ignition*.
- [16] Hải, D. H. (2012). *Thiết kế và thi công tường chắn đất có cốt*. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [17] Vũ Đ Phụng, V. Q. C. (2005). *Công nghệ và vật liệu mới trong xây dựng đường, tập 1*. Nhà xuất bản Xây dựng.
- [18] *Quyết định Quy hoạch mở đất làm vật liệu san lấp trên địa bàn các tỉnh Quảng Trị, Quảng Bình, Thừa Thiên Huế, Đà Nẵng, Quảng Nam, Quảng Ngãi, Bình Định, Phú Yên giai đoạn đến năm 2020, định hướng 2025 và 2030*.
- [19] AASHTO T-290 (2020). *Standard Method of Test for Determining Water-Soluble Sulfate Ion Content in Soil*.
- [20] AASHTO T-291 (2018). *Standard Method of Test for Determining Water-Soluble Chloride Ion Content in Soil*.
- [21] FN A05-250 (1990). *Corrosion par les sols - Évaluation de la corrosivité - Canalisations enterrées en matériaux ferreux non ou peu alliés*.
- [22] AASHTO T-180 (2020). *Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils*.
- [23] TCVN 1651-2:2018. *Thép cốt bê tông - Phần 2: Thanh thép vằn*.
- [24] Lim, P. V., Linh, C. T. (2014). Nghiên cứu ứng xử và tuổi thọ của Tường Chắn Đất Có Cốt qua các kịch bản ăn mòn cốt thép. *Tạp chí Giao thông Vận tải*, 12:36–39.
- [25] ASTM A123/A123M (2017). *Standard Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products*.
- [26] AS/NZS 4680 (2017). *Hot-dip galvanized (zinc) coatings on fabricated ferrous articles*.
- [27] Murray, R. T., Farrar, D. M. (1988). *Temperature distributions in reinforced soil retaining walls*. *Geotextiles and Geomembranes*, 7(1-2):33–50.