

Phân tích ổn định tường chắn đất có cốt trên mô hình thực nghiệm và mô hình số Flac 2D

■ **ThS. NCS. NGUYỄN THU HÀ; PGS. TS. CHÂU TRƯỜNG LINH
KS. NGUYỄN VĂN HÙNG; KS. HOÀNG TÙNG DƯƠNG**

Trường Đại học Bách khoa Đà Nẵng

■ **GS. TS. VŨ ĐÌNH PHỤNG**

Trường Đại học Thủy lợi

TÓM TẮT: Bài báo tập trung phân tích ổn định tường chắn đất có cốt trên mô hình thực nghiệm trong phòng và mô hình số Flac 2D. Mô hình thực nghiệm được xây dựng theo tỉ lệ thực 1/1 và mô phỏng số mô hình đúng với kích thước thật của kết cấu tường chắn đất có cốt. Các kết quả đo chuyển vị của tường, lực kéo trên cốt trong mô hình thực nghiệm thông qua các thiết bị đo chuyên dụng như TDS 303, LDVT hoàn toàn phù hợp với kết quả nghiên cứu lý thuyết và các nghiên cứu trước. Ngoài ra, kết quả phân tích ổn định khi mô phỏng số Flac 2D cũng xuất ra các giá trị rất sát với giá trị đo được ở trong phòng thí nghiệm. Phân tích ổn định tường chắn đất có cốt bằng mô hình số cho kết quả chính xác, đáng tin cậy. Vì vậy, sử dụng phần mềm Flac 2D mô phỏng và phân tích là cơ sở để thực hiện các thí nghiệm trong phòng hoặc hiện trường.

TỪ KHÓA: Mô hình thực nghiệm, mô hình số, Flac 2D, tường chắn đất có cốt, chuyển vị ngang của tường, lực kéo trên cốt.

ABSTRACT: The article focuses on analyzing the stability of mechanically stabilized earth wall on experimental models and Flac 2D numerical models. The experimental model is built on a real scale of 1/1 and simulates the number of models according to the real size of the MSE walls structure. The results of measuring wall displacement and tensile force in the experimental model through specialized measuring devices such as TDS-303, LDVT are completely consistent with the results of theoretical research and previous studies. In addition, stable analytical results when simulating Flac 2D numbers also output values very close to those measured in the laboratory. Stability analysis of MSE walls by numerical model has accurate and reliable results. Therefore, using Flac 2D simulation and analysis software as the basis for performing experiments in the room or in the field is essential.

KEYWORDS: Experimental model, number model,

Flac 2D, mechanically stabilized earth wall, horizontal displacement of the wall, tensile force in the reinforcement.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tường chắn đất có cốt được ứng dụng nhiều trong xây dựng các công trình dân dụng và công nghiệp, GTVT và công trình thủy... bởi loại kết cấu này có nhiều ưu điểm về mặt kỹ thuật, kinh tế [1-3]. Ổn định ngoại bộ, nội bộ của tường ảnh hưởng đến ổn định tổng thể của kết cấu và toàn bộ công trình [4]. Trong quá trình thiết kế xây dựng cũng như khai thác, ổn định của tường có thể được tính toán kiểm tra theo quy trình, thực nghiệm bằng các thí nghiệm trên mô hình vật lý hoặc tính toán kiểm tra trên mô hình số bằng các lý thuyết cơ bản. Có nhiều lý thuyết khác nhau để tính toán kiểm tra ổn định nội bộ của tường. Hiện nay, có hai lý thuyết thường sử dụng là phương pháp sai phân hữu hạn (Finite Difference Method - FDM) và phương pháp phần tử hữu hạn (Finite Element Method - FEM) [5]. Phương pháp FDM có ưu điểm nổi trội là thuận tiện mô phỏng các bài toán biến dạng lớn [6]. Phần mềm Flac 2D/3D dựa trên lý thuyết FDM áp dụng cho môi trường liên tục nhằm mô phỏng các bài toán phẳng (hoặc bài toán không gian) về lĩnh vực địa kỹ thuật (môi trường đất/đá), có ưu điểm giải quyết nhanh, chính xác các bài toán có biến dạng lớn, ứng xử phi tuyến và là phần mềm mở, tích hợp sẵn 12 mô hình ứng xử vật liệu và các phần tử kết cấu dầm, neo, vò... [7, 8]. Nghiên cứu này lựa chọn phần mềm Flac 2D để mô phỏng tường chắn đất có cốt (viết tắt: MSEW) thực hiện trong mô hình vật lý với cốt tự chế tạo và vật liệu đắp địa phương.

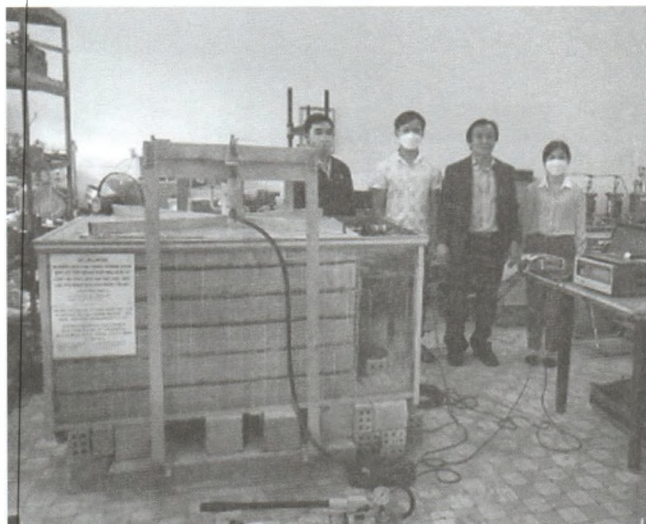
2. MÔ TẢ MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM TƯỜNG CHẮN ĐẤT CÓ CỐT VỚI CỐT TỰ CHẾ TẠO

Xây dựng mô hình thực nghiệm trong phòng với kích thước theo tỉ lệ thực 1:1 (Hình 2.1a). Hộp mô hình là khung kim loại hình chữ nhật có kích thước (dài x rộng x cao) là (150x75x75) cm. Các mặt xung quanh là kính cường lực dày 10 mm, dưới đáy khung lót tấm đá granite dày 3 cm có khả năng chịu nén đến 250 Mpa để có thể chịu được tải trọng thẳng đứng do trọng lượng bản thân của khối đất đắp và

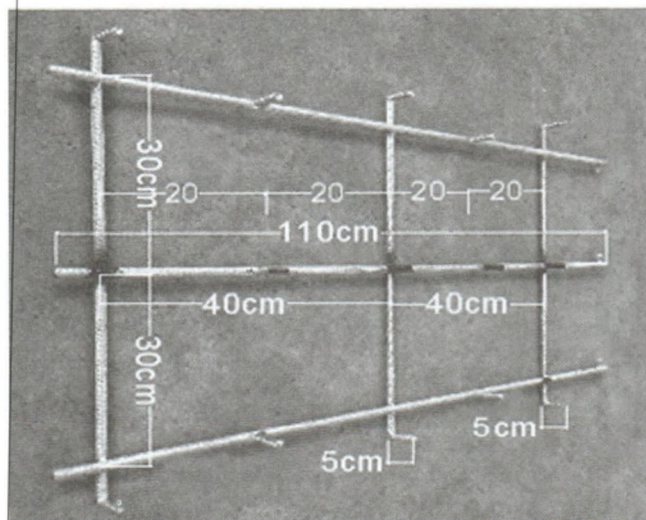
áp lực khi gia tải. Khung gia tải bằng thép được gắn chặt bằng bu-lông vào bệ móng bê tông cốt thép (BTCT) chôn sâu dưới đất; thực hiện gia tải bằng kích thủy lực lên bề mặt đỉnh tường thông qua tấm thông qua tấm thép cứng.

Sử dụng cát làm vật liệu đắp với các chỉ tiêu cơ lý được thí nghiệm trực tiếp trong phòng. Lưới cốt được sử dụng là cốt thép CT5 loại $\Phi 10$ có mô-đun đàn hồi $E = 210.000$ MPa, gồm 3 thanh cốt dọc chiều dài $L = 1,10$ m đặt song song cách nhau 30 cm và 3 thanh cốt ngang đặt cách nhau 40 cm, khoảng cách từ điểm neo vào tường đến thanh thép đầu tiên là 20 cm. Tại các vị trí giao nhau giữa thanh dọc và thanh ngang có bố trí ngạnh thép CT5, loại $\Phi 10$, chiều cao của ngạnh là 5 cm (Hình 2.1b). Các thanh cốt dọc liên kết với tấm gỗ cứng (giả định làm tấm tường) kích thước (75x75x5) cm (Hình 2.1c). Thông thường trong thực tế, các tấm tường là những tấm BTCT lắp ghép kích thước (1,5x1,5) m² thì bố trí 2 lớp cốt. Trong mô hình thí nghiệm này chỉ xét 1 lớp cốt nằm giữa 2 lớp đất, mỗi lớp đất dày 37,5 cm (xét với 1/2 tấm tường với vỏ mặt tường cao 75 cm).

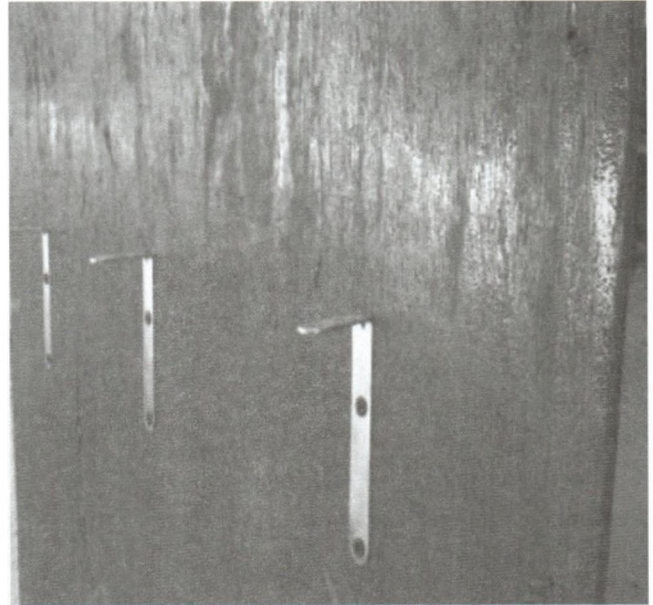
Tải trọng tác dụng lên tường tăng dần từng cấp tương ứng: 12,5, 25, 50, 75, 100, 125, 150 kN/m².



a) - MSE walls trong hộp mô hình đã thí công hoàn thiện



b) - Lưới cốt tự chế tạo



c) - Tấm tường

Hình 2.1: Mô hình vật lý trong phòng thí nghiệm

3. MÔ PHỎNG SỐ MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM MSE WALLS CÓ CỐT TỰ CHẾ TẠO BẰNG FLAC 2D

3.1. Các thông số ban đầu

Các thông số ban đầu khai báo vào phần mềm Bảng 3.1 - 3.4: Lớp móng coi như tuyệt đối cứng, đất đắp là đất cát, cốt $\Phi 10$ được qui đổi về tiết diện ngang hình chữ nhật, tấm tường coi như tấm cứng thông số độ cứng tương đương với tấm tường đang sử dụng. Hình ảnh mô phỏng khi khai báo mô hình được thể hiện như Hình 3.1.

Bảng 3.1. Khai báo chỉ tiêu cơ lý của của lớp móng và đất đắp

Chỉ tiêu cơ lý	Thuật ngữ trong Flac	Đơn vị	Lớp móng	Đất đắp
Khối lượng riêng	Mass-Density	Kg/m ³	2700	1900
Mô-đun khối	Bulk modul	Pa	4,39.10 ¹⁰	10 ⁷
Mô-đun cắt	Shear modul	Pa	3,02.10 ¹⁰	6.10 ⁶
Lực dính	Cohension	Pa	5,51.10 ⁷	1000
Góc nội ma sát	Friction angler	Độ	51	38

Bảng 3.2. Khai báo tấm tường

Thông số tấm tường	Thuật ngữ trong Flac	Đơn vị	Giá trị
Chiều cao	Height	cm	75
Bề dày	Width	cm	4
Chiều rộng	Zspacing	cm	75
Mô-đun đàn hồi	Young's modulus	Pa	24.10 ⁹

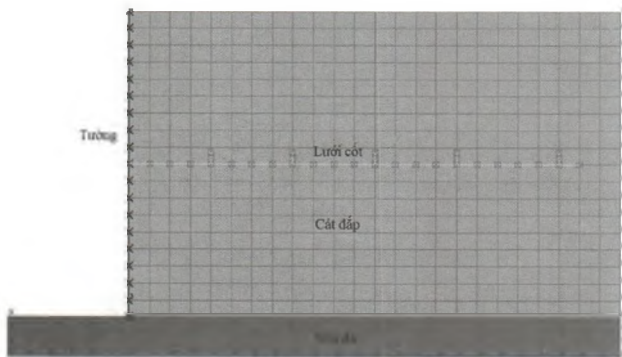
Bảng 3.3. Khai báo các thông số cốt

Thông số cốt	Thuật ngữ trong Flac	Đơn vị	Giá trị
Về mặt hình học	Geometric		
Chiều dài	Length	m	1,1

Thông số cốt	Thuật ngữ trong Flac	Đơn vị	Giá trị
VỀ MẶT HÌNH HỌC	Geometric		
Bề dày cốt	Strip thickness	m	0,015708
Bề rộng cốt	Strip width	m	0,005
Bề rộng tính toán	Calculation width	m	0,75
Số cốt trên mỗi bề rộng tính toán	Number of strips per calculation width	cốt	3
VỀ MẶT CƠ HỌC	Mechanical		
Mô-đun đàn hồi E	Young' Modul	Pa	2.10^{11}
Cường độ chịu kéo	Tensile Force	N/m	49000
Cường độ chịu nén	Compress Force	N/m	49000
Độ giãn dài lớn nhất	Tens fail strain	%	0,1898
Độ cứng chịu cắt	Shear stiffness	N/m ²	2.10^7
Lực dính	Cohension	N/m	1.10^5
Hệ số ma sát giữa đất và cốt	Initial apparent friction coef		0,899

Bảng 3.4. Mô phỏng giao diện đất/panel tường

Thông số	Thuật ngữ trong Flac	Đơn vị	Giá trị
Độ cứng thông thường	Normal stiffness	Pa/m	$2,4.10^6$
Độ cứng chịu cắt	Shear stiffness	Pa/m	$2,4.10^6$
Góc ma sát giữa đất và panel tường	Friction angle	Độ	26

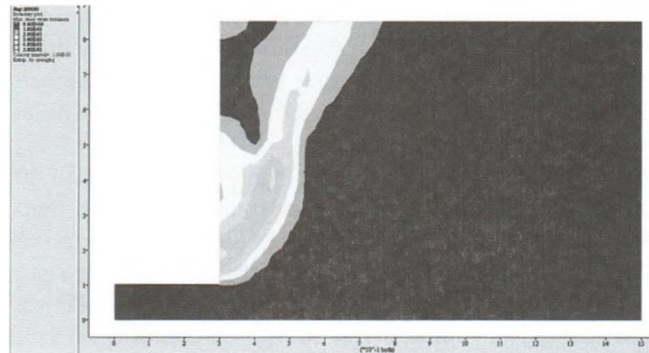


Hình 3.1: Hình ảnh mô phỏng khi khai báo mô hình

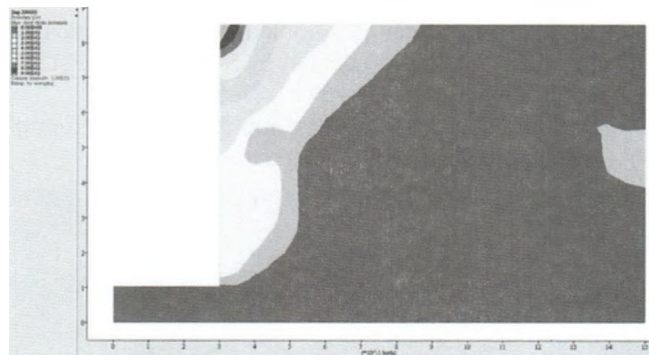
3.2. Kết quả phân tích ổn định nội bộ MSE walls bằng Flac 2D

Sau khi xây dựng (chưa gia tải), tường chắn và khối đất đắp chịu tác dụng của trọng lượng bản thân gây ra ứng suất trong nền đắp, tường chắn cũng có chuyển vị do tác dụng của trọng lượng bản thân và áp lực ngang của khối đắp, lực kéo xuất hiện trong cốt và phân bố khác nhau tại các khoảng cách đến tường khác nhau. Khi gia tải, tường chắn và khối đất đắp chịu thêm áp lực do tải trọng ngoài gây ra, ứng suất trong đất có sự phân bố lại, biến dạng của

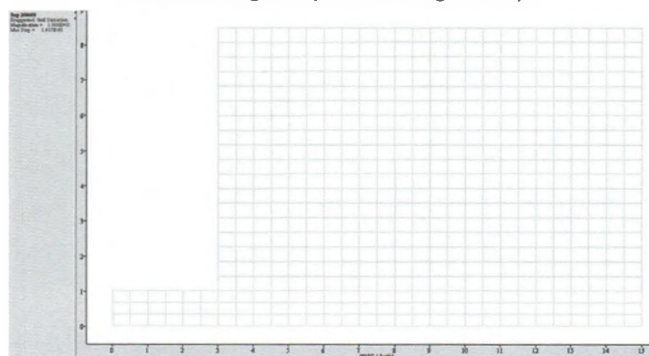
tường và phân bố lực kéo trên lưới cốt thay đổi như Hình 3.1 - 3.4 dưới đây thể hiện dạng biểu đồ phân bố các ứng lực nêu trên.



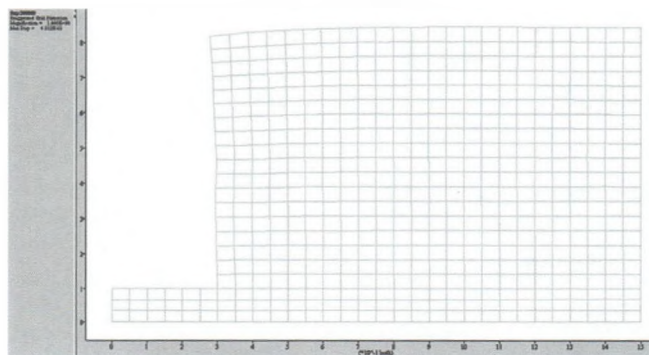
a) - Sau khi xây dựng



b) - Khi tải trọng tác dụng 150 kN/m^2
Hình 3.2: Ứng suất phân bố trong nền đắp



a) - Sau khi xây dựng

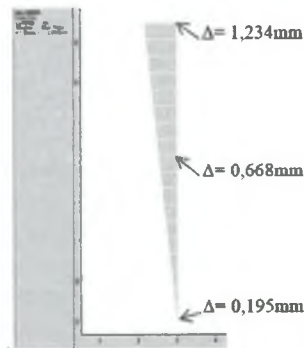


b) - Khi tải trọng tác dụng 150 kN/m^2

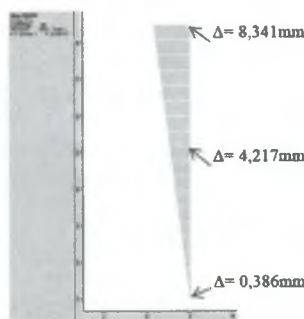
Hình 3.3: Biến dạng của lưới phần tử trong Flac

Hình 3.2 cho thấy phổ phân bố ứng suất trong khối đắp có sự thay đổi tính từ đỉnh tường xuống đến chân tường

tạo lăng thể trượt tương tự nghiên cứu của F.Schlosser và H.Vidal (1969) [11], nghiên cứu của Laréal.P và Bacot.J (1973) [12]. Khi gia tải, cung trượt rõ ràng hơn so với chưa gia tải. Các cung trượt nhỏ xuất hiện gần với đỉnh tường, càng ra xa đỉnh tường, các cung trượt phát triển rộng và sâu xuống chân tường. Tuy nhiên, ở các cấp tải trọng nhỏ, cung trượt chưa xuất hiện rõ ràng, tường vẫn còn ổn định. Hình 3.3 nhận thấy, khi gia tải lưới phần tử khai báo trong Flac có biến dạng rõ rệt, trong khi đó chưa gia tải chỉ chịu áp lực bản thân thì lưới phần tử chưa có biến dạng.

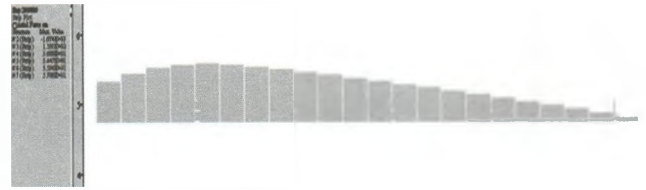


a) - Sau khi xây dựng

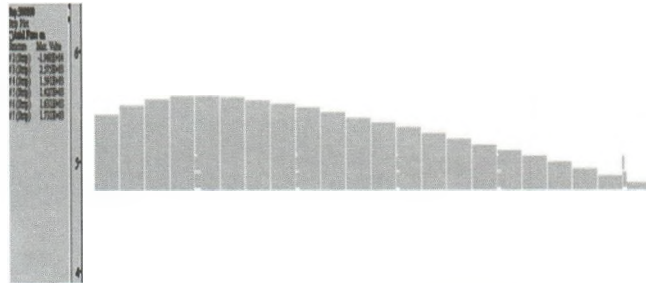


b) - Khi tải trọng tác dụng 150 kN/m²

Hình 3.4: Dạng biểu đồ chuyển vị của tường



a) - Sau khi xây dựng



b) - Khi tải trọng tác dụng 150 kN/m²

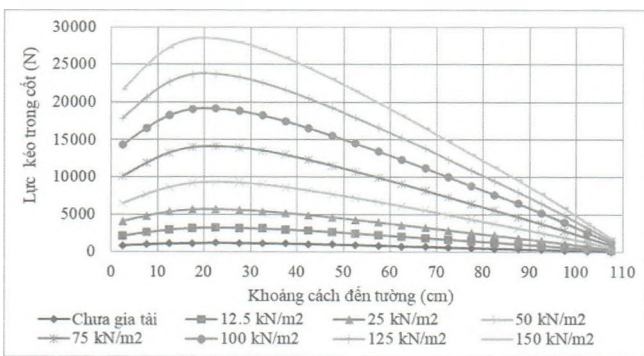
Hình 3.5: Dạng biểu đồ phân bố lực kéo trên cốt

Chuyển vị của tường ở Hình 3.4 tăng dần từ chân tường lên đỉnh tường, khi gia tải 150 kN/m² thì chuyển vị ngang tại đỉnh tường là 8,2 mm > chiều cao tường/100 (= 7,5 mm), nên theo [2, 4] thì chuyển vị ngang của tường lớn hơn giới hạn cho phép. Vì vậy, khối đất chuyển dịch tạo ra cung trượt như Hình 3.2b và tường mất ổn định ngoại bộ. Tuy nhiên, với các trường hợp gia tải từ 125 kN/m² trở xuống thì tường vẫn đảm bảo ổn định. Dạng biểu đồ phân bố lực kéo trong cốt ở Hình 3.5 cũng phù hợp với dạng biểu đồ phân bố lực kéo trong cốt Murray cùng công sự (1988) [13] và giống với dạng biểu đồ theo nghiên cứu của Châu (2016) [14]. Kết quả phân bố lực kéo trên cốt trong các trường hợp: sau khi xây dựng (chưa gia tải) và gia tải với các cấp tải 12,5, 25, 50, 75, 100, 125, 150 kN/m² như Bảng 3.5 và Hình 3.6.

Bảng 3.5. Phân bố lực kéo trong cốt đối với các cấp áp lực

Khoảng cách đến tường (cm)	Chưa gia tải	12.5 kN/m ²	25 kN/m ²	50 kN/m ²	75 kN/m ²	100 kN/m ²	125 kN/m ²	150 kN/m ²
	Lực kéo trong cốt (N)							
2,5	867,8	2160	4105	6487	10140	14370	17910	21690
7,5	1020	2604	4802	7704	11900	16570	20640	24890
12,5	1116	2954	5341	8642	13260	18250	22710	27280
17,5	1177	3178	5653	9220	14030	19100	23730	28440
22,5	1204	3230	5686	9341	14150	19150	23760	28440
27,5	1187	3197	5601	9259	13980	18850	23360	27970
32,5	1148	3110	5420	9013	13570	18250	22590	27070
37,5	1103	2985	5180	8648	12990	17470	21610	25910
42,5	1054	2838	4912	8212	12310	16560	20480	24570
47,5	993,4	2663	4611	7732	11570	15570	19270	23110
52,5	921,7	2468	4282	7211	10760	14510	17970	21540
57,5	846,5	2267	3940	6663	9913	13420	16620	19910
62,5	772,3	2071	3601	6109	9071	12330	15260	18280
67,5	697,4	1873	3253	5531	8200	11190	13860	16600

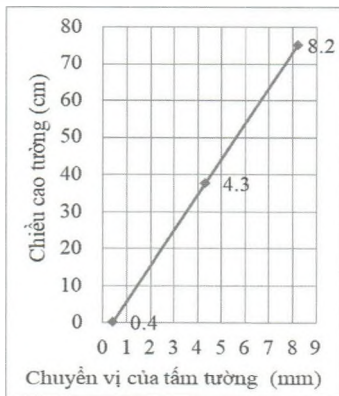
Khoảng cách đến tường (cm)	Chưa gia tải	12.5 kN/m ²	25 kN/m ²	50 kN/m ²	75 kN/m ²	100 kN/m ²	125 kN/m ²	150 kN/m ²
72,5	620,7	1670	2894	4930	7295	9998	12370	14830
77,5	543,6	1466	2537	4330	6391	8793	10880	13050
82,5	468,6	1270	2200	3756	5537	7634	9454	11340
87,5	394,2	1072	1859	3174	4673	6452	7993	9585
92,5	318,8	866,7	1504	2565	3776	5216	6461	7750
97,5	242,4	654,7	1135	1930	2845	3928	4867	5836
102,5	165	436,1	753,4	1275	1885	2592	3214	3846
107,5	80,82	207,2	359,9	609,4	912,3	1232	1528	1831



Hình 3.6: Biểu đồ phân bố lực kéo trong cốt đối với các cấp áp lực

4. KẾT QUẢ ĐO TRỰC TIẾP TỪ MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM TRONG PHÒNG

Đo chuyển vị của tường bằng các đầu đo chuyển vị LVDT (linear variable differential transformer - LVDT) kết nối TDS 303, kết quả chuyển vị ngang của tường tại chân tường, tim tường và đỉnh tường ở Hình 4.1 cũng có giá trị gần sát với kết quả phân tích bằng mô hình số Flac 2D. Giá trị đo được lớn hơn giới hạn cho phép chuyển vị ngang tường nên tường mất ổn định ngoại bộ [2, 4]. Như vậy, mô hình số Flac 2D cho kết quả tương đối sát (phù hợp) với kết quả đo thực nghiệm trong phòng.



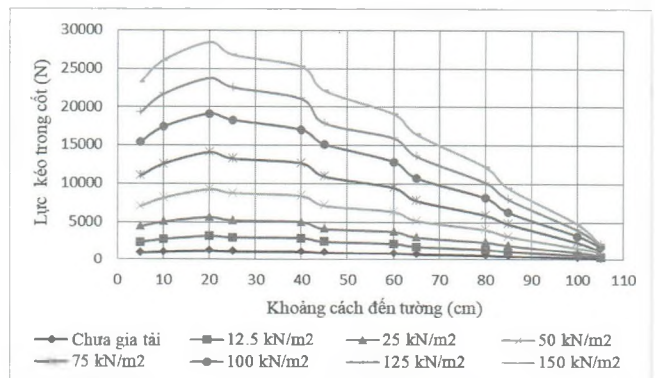
Hình 4.1: Chuyển vị của tường từ kết quả đo trên mô hình thực nghiệm ứng với cấp tải 150 kN/m²

So sánh kết quả phân tích từ mô hình số Flac 2D ở trên với kết quả đo trong phòng bằng máy TDS 303 (thông qua cảm biến điện trở) ở Bảng 4.1 thấy rằng, giá trị lực kéo trên

cốt từ mô phỏng số Flac và giá trị đo gần sát với nhau. Các kết quả đo này cũng tương đồng với kết quả nghiên cứu trong phòng của Long (2016) [15] khi Long làm thí nghiệm tương tự với vật liệu đắp là đất đồi. Tuy nhiên, ở kết quả đo trong phòng thấy tại các vị trí bố trí ngạnh liên kết thì lực kéo có bước nhảy rõ ràng như Hình 4.2, chứng tỏ ngạnh có tác dụng làm tăng lực kéo trong cốt. Flac 2D chưa thể hiện được rõ tác dụng của việc bố trí ngạnh trong cốt. Ngoài ra, với cấp tải tác dụng lớn nhất (150 kN/m²) thì giá trị lực kéo trong cốt đều nhỏ hơn 30.000 N < (khả năng chịu kéo của cốt là 49.000 N), cốt vẫn còn khả năng chịu kéo nên tường ổn định nội bộ.

Bảng 4.1. Phân bố lực kéo trong cốt đối với từng cấp áp lực theo kết quả đo trên mô hình thực nghiệm

Khoảng cách đến tường (cm)	Chưa gia tải	12.5 kN/m ²	25 kN/m ²	50 kN/m ²	75 kN/m ²	100 kN/m ²	125 kN/m ²	150 kN/m ²
5	943	2382	4453	7095	11020	15470	19275	23290
10	1065	2770	5060	8168	12570	17402	21671	26076
20	1196	3210	5665	9285	14087	19130	23748	28650
25	1108	3013	5244	8794	13259	18300	22557	26801
40	1075	2914	5038	8425	12658	17010	21042	25243
45	926	2445	4155	7176	10947	15170	17877	22137
60	810	2160	3772	6380	9498	12878	15935	19090
65	685	1774	3030	5222	7830	10756	13555	16444
80	503	1370	2362	4036	5958	8209	10160	12195
85	394	1063	1931	3160	4809	6346	8019	9460
100	200	543	940	1597	2361	3264	4040	4847
105	105	295	536	904	1193	1810	2071	2140



Hình 4.2: Biểu đồ phân bố lực kéo trong cốt đối với các cấp áp lực từ kết quả đo trên mô hình thực nghiệm

5. KẾT LUẬN

Mô hình thực nghiệm về tường MSE walls với cốt tự chế tạo đã được nhóm tác giả xây dựng trong phòng thí nghiệm, đo được lực kéo trên cốt bằng thiết bị TDS 303 và đo biến dạng của tường thông qua LVDT kết nối với TDS 303. Các kết quả đo khá sát với kết quả của các nghiên cứu tương tự trước đó.

Kết quả đo và phân tích Flac 2D thấy rằng, ở cấp tải tải: dụng lớn nhất là 150 kN/m², tường chuyển vị là 8,2 mm (mô hình thực nghiệm) và 8,341 mm (mô hình số), các giá trị chuyển vị này vượt quá giới hạn cho phép, cung trượt xuất hiện theo cung tròn dạng parabol, tường mất ổn định ngoại bộ. Bên cạnh đó, cốt vẫn còn khả năng làm việc trong giới hạn cho phép (chưa xảy ra hiện tượng tuột cốt hay đứt cốt) do lực kéo lớn nhất trong cốt đạt được là 28.650 N (đo từ mô hình thực nghiệm) và 28.440 N (tính từ mô hình số) nên tường ổn định nội bộ.

Mô hình số MSE walls bằng Flac 2D cho kết quả phù hợp với lý thuyết và sát với sự làm việc của kết cấu trong thực tế. Ngoài ra, kết quả xuất ra từ mô hình số đáng tin cậy phù hợp với kết quả đo trong phòng thí nghiệm bằng các thiết bị thương mại chuyên dụng có độ chính xác cao.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ kinh phí 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.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Dương Học Hải (2012), *Thiết kế và thi công tường chắn đất có cốt*, NXB. Xây dựng, Hà Nội.
- [2]. Department of Transportation Federal Highway Administration, FHWA-NHI-00-043 (2001), *Mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes design & construction guidelines*.
- [3]. AFNOR EN P94-270 (2020), *Calcul géotechnique Ouvrages de soutènement*,
- [4]. BS 8006-1:2010 (2010), *Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills*, ISBN 978 0 580 53842 1.
- [5]. J. Jaśkowiec, S. Milewski (2016), *Coupling finite element method with meshless finite difference method in problems*, Computers & Mathematics with Applications, vol.72, Issue 9, pp.2259-2279, ISSN 0898-1221, <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2016.08.020>.
- [6]. Abdelhay El Omari, Mimoun Chourak, Seif-Eddine Cherif, Carlos Navarro Ugena, El Mehdi Echebba, Mohamed Rougui, Aboubakr Chaaoui (2021), *Numerical modeling of twin tunnels under seismic loading using the Finite Difference Method and Finite Element Method*, Materials Today: Proceedings, vol.45, Part 8, pp.7566-7570, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.519>.
- [7]. Derghoum, R., Meksaouine (2021), *M. Numerical study for optimal design of soil nailed embankment slopes*, Geo-Engineering 12, 15, <https://doi.org/10.1186/s40703-021-00144-5>.

- [8]. Abdelhay El Omari, Mimoun Chourak, El Mehdi Echebba, Seif-Eddine Cherif, Carlos Navarro Ugena, Mohamed Rougui, Fadi Hage Chehade, Francisco Lamas Fernandez and Aboubakr Chaaoui (2021), *Numerical Analysis of Twin Tunnels Lining under Different Seismic Conditions*, Infrastructures, 6, 29, <https://doi.org/10.3390/infrastructures6020029>.

- [9]. Bộ Xây dựng, TCVN 11823-11:2017 (2017), *Thiết kế cầu đường bộ - phần 11: Mố, trụ và tường chắn*.

- [10]. Mehari T. Weldu (2015), *Pullout Resistance of MSE Wall Steel Strip Reinforcement in Uniform Aggregate*, University of Kansas.

- [11]. F. Schlosser and H. Vidal (1969), *La terre armée*, *Bulletin de liaison des laboratoires routiers*, pp.101-144.

- [12]. Laréal P. and Bacot J. (1973), *Etude sur modèles réduits tridimensionnels de la rupture de massifs en terre armée*, Travaux publics, pp.46-52.

- [13]. Murray, R. T., Farrar, D. M., (1988), *Temperature distributions in reinforced soil retaining walls*. Geotext tiles and Geomembranes, 7(1-2):33-50, [https://doi.org/10.1016/0266-1144\(88\)90017-9](https://doi.org/10.1016/0266-1144(88)90017-9).

- [14]. T-L Chau, A. Corfdir, E. Bourgeois (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 (Soustitre: Scénarios de corrosion des armatures métalliques et les dégradations du mur en terre armée)*, ISBN 978-3-8417-2710-7, Éditions Universitaires Européennes (EUE).

- [15]. Lê Hồng Long (2016), *Nghiên cứu ảnh hưởng của cấp phối thiên nhiên tại TP. Đà Nẵng đến tương tác đất - cốt trong tường chắn đất có cốt*, Luận văn cao học, Đại học Bách khoa - Đà Nẵng.

Ngày nhận bài: 15/4/2022

Ngày chấp nhận đăng: 11/5/2022

**Người phản biện: TS. Trần Đình Quảng
TS. Trần Trung Việt**