



# Nghiên cứu mô hình số 2D và 3D mô phỏng giải pháp vật liệu địa kỹ thuật liên kết cọc để gia cố khối đắp trên nền đất yếu

Phạm Minh Tuấn\*, Vũ Duy Liêm



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

Bộ môn Địa kỹ thuật, Khoa Kỹ thuật Địa chất và Dầu khí, Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, 268 Lý Thường Kiệt, Phường 14, Quận 10, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

**Liên hệ**

**Phạm Minh Tuấn**, Bộ môn Địa kỹ thuật, Khoa Kỹ thuật Địa chất và Dầu khí, Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, 268 Lý Thường Kiệt, Phường 14, Quận 10, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: pmtuan@hcmu.edu.vn

**Lịch sử**

- Ngày nhận: 30-9-2023
- Ngày chấp nhận: 22-12-2023
- Ngày đăng:

**DOI:**



**Bản quyền**

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



**TÓM TẮT**

Giải pháp vật liệu địa kỹ thuật (lưới địa kỹ thuật hoặc vải địa kỹ thuật gia cường) kết hợp nhóm cọc gia cố khối đắp trên nền đất yếu là một giải pháp nhanh chóng và hiệu quả cho các công trình đặt trên các khối đắp vật liệu rời. Tuy nhiên, sự phức tạp của cơ chế hoạt động của giải pháp này gây ảnh hưởng tới hiệu quả của việc áp dụng giải pháp trong các điều kiện thực tế khác nhau. Thật vậy, việc chuyển hóa tải trọng là một cơ chế phức tạp và phụ thuộc vào sự tương tác giữa các yếu tố liên kết, như cọc, đất, và vật liệu địa kỹ thuật. Trong nghiên cứu này, một mô hình số được xây dựng dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn, sử dụng cả mô hình 2 chiều và 3 chiều, để mô phỏng một thử nghiệm được thực hiện bởi Liu và cộng sự. Trong đó một trường hợp điển hình của nền đường được gia cố bằng lưới địa kỹ thuật và được hỗ trợ bằng cọc với tỷ lệ cải thiện diện tích nhỏ. Nghiên cứu tập trung vào việc đánh giá lún bề mặt, ứng suất phân phối trên nền đất yếu và hiệu quả của việc chuyển hóa tải trọng trong khối đắp được gia cố bằng hệ thống cọc liên kết với vật liệu địa kỹ thuật và đất nền yếu. Kết quả của nghiên cứu đã cho thấy rằng cả mô hình 2 chiều và 3 chiều đều phản ánh đúng ứng xử của cọc, nhưng có sự khác biệt trong việc mô phỏng ứng suất trên nền đất yếu và chuyển hóa tải trọng trong khối đắp. Mô hình 2 chiều đã phù hợp hơn trong việc mô phỏng ứng suất trên bề mặt đất yếu, trong khi mô hình 3 chiều đã đạt được độ chính xác rất cao (1% sai lệch so với kết quả quan trắc) trong việc mô phỏng sự chuyển hóa tải trọng trong khối đắp.

**Từ khoá:** Vật liệu địa kỹ thuật, cọc, hiệu ứng vòm, chuyển hóa tải trọng, phương pháp phần tử hữu hạn

**1 ĐẶT VẤN ĐỀ**

2 Khi xây dựng khối đắp trên nền đất yếu cho các công  
 3 trình đường cao tốc hay nền nhà xưởng có thể tạo ra  
 4 một tải trọng đáng kể trên một diện tích lớn. Các loại  
 5 đất yếu sẽ bị lún và biến dạng đáng kể khi chịu những  
 6 tải trọng này. Nhiều giải pháp có thể được sử dụng để  
 7 giải quyết vấn đề này, ví dụ sử dụng vật liệu đắp có tỷ  
 8 trọng nhỏ, gia tải trước hoặc các nhóm giải pháp thoát  
 9 nước thẳng đứng nhằm đẩy nhanh quá trình cố kết  
 10 của nền đất. Được sử dụng rộng rãi trên thế giới, giải  
 11 pháp vật liệu địa kỹ thuật liên kết cọc để gia cố khối  
 12 đắp trên nền đất yếu có những ưu điểm nổi trội là thời  
 13 gian thi công ngắn, hiệu quả giảm lún cao và phù hợp  
 14 với nhiều loại đất nền khác nhau. Các giải pháp thiết  
 15 kế đang tồn tại hiện nay đều dựa trên các giả thuyết  
 16 được đơn giản hóa, và việc này gây ảnh hưởng tới hiệu  
 17 quả khi áp dụng giải pháp trong thực tế. Cơ chế hoạt  
 18 động của giải pháp này vẫn đang còn nhiều vấn đề  
 19 cần tìm hiểu và làm rõ. Nghiên cứu này sử dụng phần  
 20 mềm Plaxis dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn  
 21 để mô phỏng một nghiên cứu có giá trị tham khảo  
 22 cao, được thực hiện bởi Liu và cộng sự<sup>1</sup>. Nghiên cứu  
 23 xây dựng mô hình hoạt động của cọc kết hợp với vật

liệu địa kỹ thuật để gia cố cho khối đắp trên nền gồm  
 nhiều lớp đất yếu. Kết quả lún, ứng suất và mức độ  
 chuyển hóa tải trọng trong khối đắp sẽ được phân tích  
 và đánh giá.

**VẬT LIỆU ĐỊA KỸ THUẬT GIA CỐ HỆ CỌC TRÊN NỀN ĐẤT YẾU**

Việc sử dụng cọc được sử dụng như là một giải pháp  
 hiệu quả cho việc xây dựng khối đắp trên nền đất  
 yếu (Hình 1). Bằng việc sử dụng giải pháp này, công  
 trình có thể được xây dựng trong một giai đoạn thay  
 vì tách thành nhiều giai đoạn với thời gian dài chờ đợi  
 như các giải pháp gia tải trước hoặc thoát nước thẳng  
 đứng. Giải pháp này đặc biệt hiệu quả trong việc giảm  
 lún, bao gồm cả lún bề mặt và lún lệch. Vì chức năng  
 của cọc trong việc chịu tải đóng vai trò quan trọng  
 nhất trong giải pháp này, đặc điểm cơ học của đất nền  
 không cần được xác định quá chính xác. Đặc biệt,  
 trong trường hợp nền đất bị ô nhiễm và có khả năng  
 lan truyền từ các nguồn nước dưới đất, giải pháp này  
 là lựa chọn an toàn hơn hẳn các giải pháp gia cố đất  
 theo phương pháp cổ kết.

**Trích dẫn bài báo này:** Tuấn P M, Liêm V D. **Nghiên cứu mô hình số 2D và 3D mô phỏng giải pháp vật liệu địa kỹ thuật liên kết cọc để gia cố khối đắp trên nền đất yếu.** *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.* 2024; ():1-9.

Hiện nay, giải pháp cọc chịu tải thường được trải thêm một hoặc nhiều lớp vật liệu địa kỹ thuật để tăng khả năng chuyển hóa tải trọng và giảm diện tích cần thay thế (tỷ số giữa tiết diện cọc và diện tích khu vực cần gia cố). Giải pháp sử dụng vật liệu địa kỹ thuật liên kết phía trên cọc, tiếng Anh là geosynthetic-reinforced piled embankment (GRPS) thường được sử dụng phổ biến trong việc xây dựng đường dẫn đầu cầu, nền bồn chứa nhiên liệu, công tác mở rộng đường hiện hữu, tường chắn mái dốc và các khối đắp lớn.

Để đánh giá hiệu quả chuyển hóa tải trọng của giải pháp GRPS, nhiều phương pháp tính toán đã được nghiên cứu và phát triển. Hầu hết các giải pháp được phát triển dựa trên giả thuyết về hiện tượng vòm trong đất, khái niệm được phát triển bởi Terzaghi<sup>2</sup>. Guido và cộng sự<sup>3</sup> đề xuất một phương pháp thiết kế dựa trên thử nghiệm mô hình trên cát trong một hộp cứng với nhiều lớp vải địa kỹ thuật. Hewlett và Randolph<sup>4</sup> trình bày mô hình cầu hình bán cầu để mô tả cơ chế chuyển tải tải trọng dựa trên thử nghiệm mô hình của họ. Phát triển mạnh mẽ trong khoảng 20 năm trở lại đây, vật liệu địa kỹ thuật được sử dụng như một giải pháp hỗ trợ quan trọng cho hệ cọc. Các tiêu chuẩn thiết kế của Đức<sup>5</sup>, Anh<sup>6</sup> hay Hà Lan<sup>7</sup> được phát triển giúp việc ứng dụng giải pháp GRPS trong thực tế trở nên dễ dàng hơn.

Trong vài thập kỷ qua, đã có rất nhiều các nghiên cứu bằng phương pháp thực nghiệm<sup>1,9</sup> và phương pháp số dựa trên mô hình đầy đủ<sup>8</sup> và mô hình đơn vị<sup>10-12</sup> được tiến hành về GRPS nhằm xác định hiệu quả hoạt động của vật liệu địa kỹ thuật. Đặc biệt, mô hình cọc đơn vị trong không gian 3 chiều<sup>11,12</sup> cũng được sử dụng phổ biến và mô tả thành công các nghiên cứu thực nghiệm. Mặc dù vậy, cơ chế hoạt động của GRPS vẫn cần tiếp tục được nghiên cứu, tìm hiểu bởi vì hiệu quả chuyển hóa tải trọng của giải pháp này có thể bị ảnh hưởng bởi rất nhiều yếu tố, liên quan đến đặc tính của vật liệu đắp, đất yếu, sức chịu tải của cọc hay đặc điểm của vật liệu địa kỹ thuật.

Do sự khác biệt về độ cứng giữa cọc và đất yếu, thường xảy ra hiện tượng lún lệch, và sau đó, hiện tượng vòm (arching) xuất hiện trong khối đắp vật liệu rời. Giải pháp cọc kết hợp vật liệu địa kỹ thuật gia cố khối đắp trên nền đất yếu hoạt động dựa trên hiện tượng chuyển hóa tải trọng của khối đắp về cọc. Hiệu quả của việc chuyển hóa tải trọng được sử dụng để đánh giá mức độ hiệu quả của giải pháp này. Công thức 1 được dùng để xác định giá trị của độ hiệu quả của việc chuyển hóa tải trọng.

$$E = \frac{P}{(\gamma H + q) \times A} \times 100\% \quad (1)$$

Trong đó, E là mức độ hiệu quả chuyển hóa tải trọng, P là tổng tải truyền xuống cọc, H là chiều cao khối

đắp,  $\gamma$  là dung trọng của vật liệu đắp, A là diện tích khu vực hoạt động của cọc.

## NGHIÊN CỨU VỀ GPRS CỦA LIU VÀ CỘNG SỰ<sup>1</sup>

Vấn đề khối đắp trên nền đất yếu được gia cố bằng giải pháp kết hợp giữa cọc và vật liệu địa kỹ thuật được thực hiện trong một nghiên cứu có nhiều kết quả giá trị được thực hiện bởi Liu và cộng sự<sup>1</sup>. Công trình được đề cập trong nghiên cứu này nằm ở ngoại ô phía bắc Thượng Hải, Trung Quốc. Công trình là một khối đắp tỷ lệ 1:1.5, có chiều cao là 5.6 m, dài 120 m, rộng 35 m được xây dựng trên một khu vực với 25 mét bề dày của đất yếu (Hình 2). Vật liệu đắp được sử dụng chủ yếu là bột tro bay, có độ kết dính 10 kPa, góc ma sát là 30°, và trọng lượng đơn vị trung bình là 18,5 kN/m<sup>3</sup>.

Khối đắp được xây dựng trên một nền đất yếu được gia cố các cọc bê tông đúc sẵn. Các cọc bê tông này có chiều dài 16 m và đầu cọc cắm vào một lớp đất cứng. Đường kính ngoài của mỗi cọc là 1 m. Các cọc bê tông này được bố trí theo dạng hình vuông với khoảng cách từ trung tâm cọc này đến trung tâm cọc khác là ba lần đường kính cọc (3 m). Tỷ lệ diện tích thay thế (IAR) là 8,6%, được định nghĩa là phần trăm diện tích thay thế của tiết diện cọc so với tổng diện tích nền. Phía trên đầu cọc, một lớp vật liệu địa kỹ thuật chịu kéo hai chiều được sử dụng giữa hai lớp đá dày 0.25 m để tạo thành một lớp chịu tải dày 0,5 m. Độ cứng của vải địa kỹ thuật là 1180 kN/m.

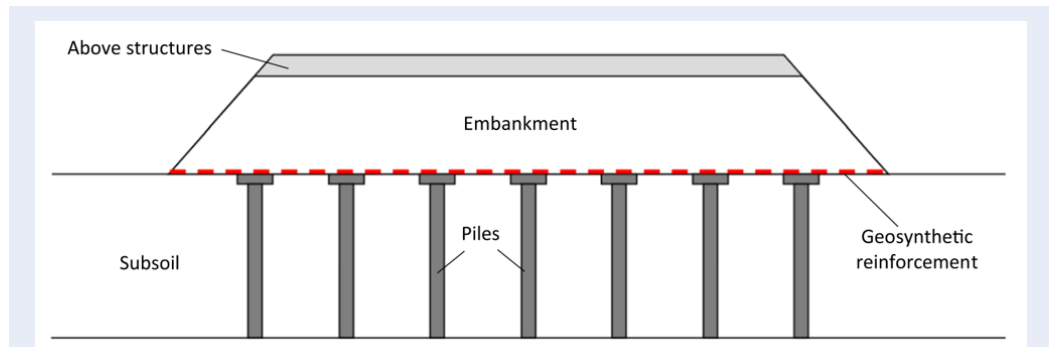
Một số thiết bị quan trắc được bố trí trong công trình bao gồm thiết bị đo ứng suất trong đất, đo nghiêng, lún bề mặt và đo áp lực nước lỗ rỗng. Khối đắp được xây dựng lên đến độ cao 5.6 m trong khoảng thời gian khoảng 55 ngày. Quá trình quan trắc hiện trường được thực hiện tới thời điểm 180 ngày sau khi bắt đầu xây dựng hoặc 125 ngày sau khi hoàn thành việc đắp vật liệu.

## PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

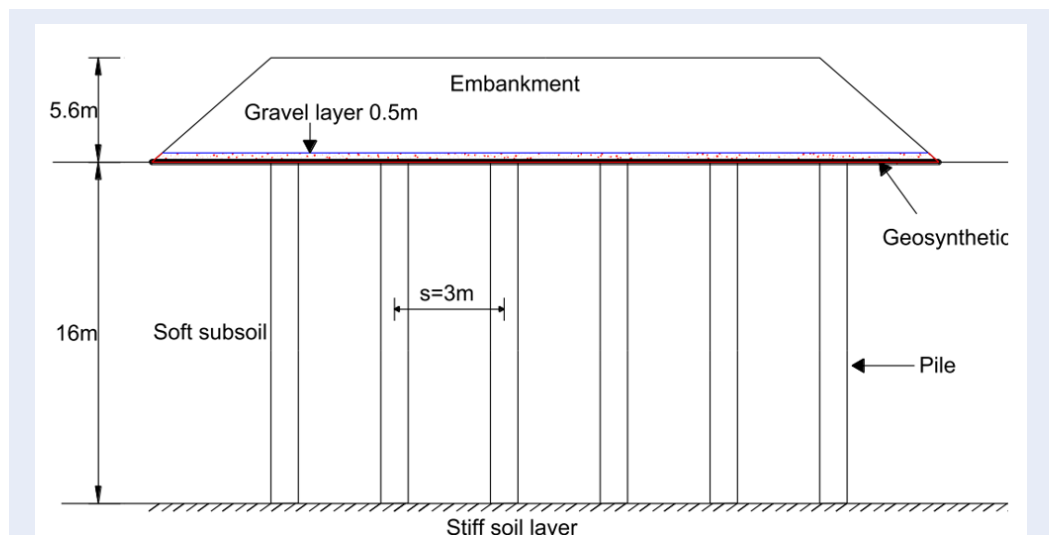
### Mô hình phần tử hữu hạn

Dựa trên các nghiên cứu có liên quan với lựa chọn sử dụng mô hình cọc đơn vị (unit cell) trong mô hình cọc đơn vị<sup>11,12</sup>, và để tiết kiệm tài nguyên nghiên cứu, mô hình cọc đơn vị được lựa chọn cho mô hình phần tử hữu hạn trong nghiên cứu này.

Vì tính đối xứng của bài toán, trong mô hình số 2 chiều, cọc đơn vị được mô phỏng với chiều dài là 16m và khối đắp cao 5.6m. Mô hình có chiều ngang (theo phương x) là 1.5m và chiều dài (theo phương y) được tính từ đỉnh của khối đắp đến phía dưới của lớp sét



**Hình 1:** Giải pháp cọc kết hợp vải gia cố khối đắp trên nền đất yếu<sup>8</sup>. Trong đó: Above structures là các cấu trúc bên trên; embankment là khối đắp; geosynthetic reinforcement là vật liệu địa kỹ thuật; piles là cọc và subsoil là nền đất yếu



**Hình 2:** Mặt cắt công trình khối đắp trên nền đất yếu theo Liu và cộng sự<sup>1</sup> được trình bày bởi Phạm và Dias<sup>12</sup>

145 pha bụi cứng với tổng chiều dài là 30.6m. Mô hình  
 146 phần tử hữu hạn 2 chiều được thể hiện ở Hình 3a.  
 147 Ở mô hình 3 chiều, cọc phần tử được mô phỏng như  
 148 phần tử cọc và các lớp đất yếu cũng với chiều dài cọc  
 149 là 16m và khối đắp cao 5.6m. Với 3 chiều, mô hình có  
 150 chiều ngang (theo phương x và y) là 1.5m và chiều dài  
 151 (theo phương z) giống mô hình 2 chiều là 30.6m. Bên  
 152 cạnh đó, vật liệu cọc bán kính là 0.5m. Mô hình phần  
 153 tử hữu hạn 3 chiều được thể hiện ở Hình 3b.

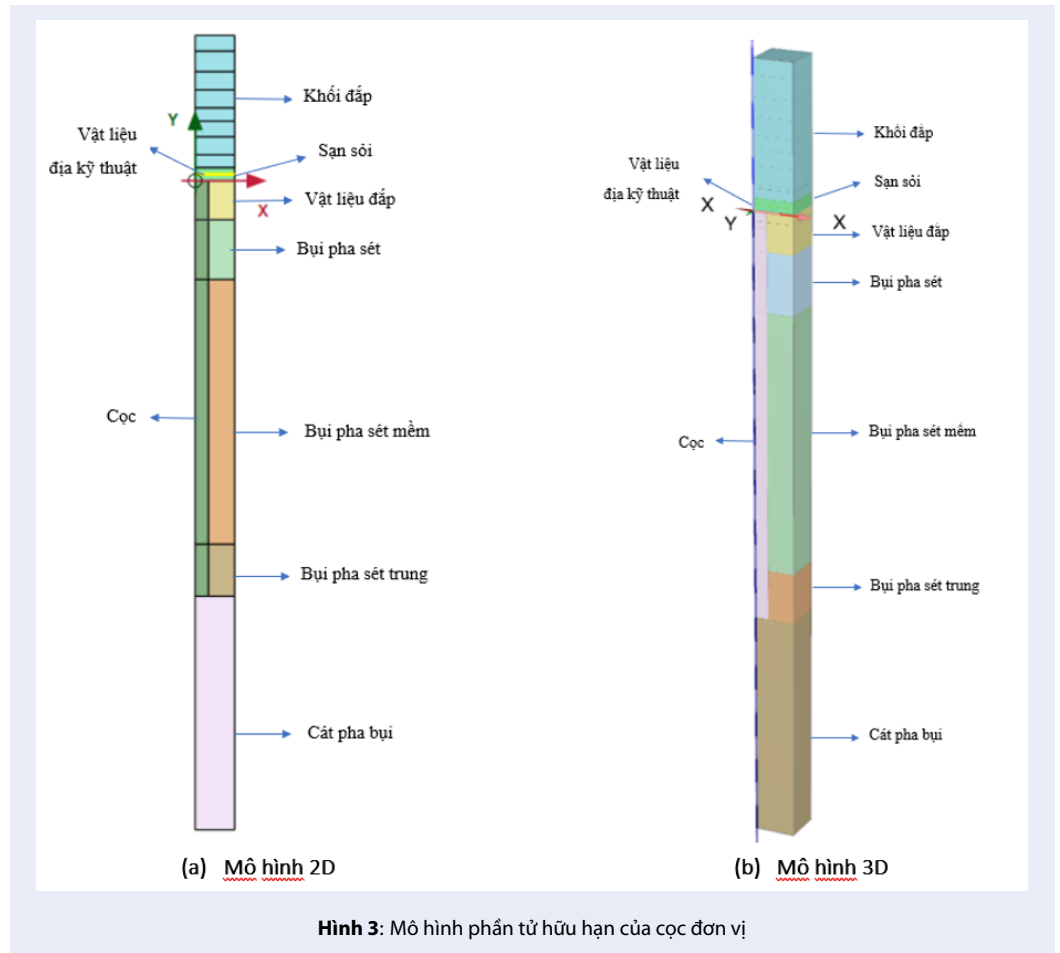
154 **Thông số thiết lập mô hình**

155 Các đặc tính của vật liệu trong mô hình tuân theo  
 156 theo nghiên cứu của Liu và các cộng sự (2007). Hai  
 157 loại mô hình được sử dụng để xác định loại đất -  
 158 mô hình Mohr-Coulomb (MC) và mô hình Modified  
 159 Cam Clay (MCC). Mô hình MC được sử dụng để xác  
 160 định khối đắp, lớp sạn sỏi và lớp phủ nền, trong khi

mô hình MCC được sử dụng cho bốn lớp đất nền. 161  
 Mô hình Mohr-Coulomb là một mô hình đàn hồi 162  
 tuyến tính đơn giản, có thể được sử dụng như một 163  
 công cụ để mô phỏng về hành vi ứng xử đơn giản 164  
 của đất. Phần đàn hồi tuyến tính của mô hình Mohr- 165  
 Coulomb dựa trên định luật Hooke. Trong khi đó mô 166  
 hình Modified Cam-Clay (MCC) được sử dụng để mô 167  
 phỏng các loại đất yếu. Trong thực tế, những loại đất 168  
 này chủ yếu là đất sét và đất bùn. Các thông số thiết 169  
 lập của mô hình phần tử hữu hạn được trình bày trong 170  
 Bảng 1. 171

172 **Bề mặt tương tác trong mô hình số**

Sự tương tác giữa các vật liệu khác nhau trong mô 173  
 hình số ảnh hưởng lớn tới tính chính xác của việc tính 174  
 toán số. Do đó, trong cả mô hình số 2 chiều và 3 chiều 175  
 các bề mặt tương tác (interface) được thiết lập và sử 176  
 177



**Bảng 1:** Thông số vật liệu sử dụng trong mô hình phần tử hữu hạn

Vật liệu	Mô hình	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$c'$ kPa	$\varphi'$ (độ)	E MPa	$\nu$	$\lambda$	$\kappa$	M	$e_1$
Khối đắp	MC	18.5	10	30	20	0.3	-	-	-	-
Sạn sỏi	MC	18.5	10	40	20	0.3	-	-	-	-
Phù nền	MC	20	15	28	7	0.3	-	-	-	-
Sét pha	MCC	20	-	-	-	0.35	0.06	0.012	1.20	0.87
Sét mềm	MCC	17	-	-	-	0.40	0.15	0.03	0.95	1.79
Sét pha nửa cứng	MCC	20	-	-	-	0.35	0.05	0.01	1.10	0.88
Nền cát cứng	MCC	20	-	-	-	0.35	0.03	0.005	0.28	0.97

177 dụng trong mô hình tại các bề mặt tương tác của các  
 178 vật liệu khác nhau. Đầu tiên là sự tương tác giữa vật  
 179 liệu địa kỹ thuật và lớp sạn sỏi, bao gồm 2 loại phần  
 180 tử tương tác: ở phía trên và phần phía dưới bề mặt  
 181 vật liệu địa kỹ thuật. Cả 2 phần tử này đều được định  
 182 nghĩa dựa trên đặc tính của vật liệu của lớp sạn sỏi với  
 183 giá trị góc ma sát trong của phần tử tương tác được  
 184 hiệu chỉnh bằng 80% giá trị góc ma sát trong của lớp  
 185 sạn sỏi. Ngoài ra, còn có sự tương tác giữa cọc và lớp  
 186 sạn sỏi và sự tương tác này sử dụng vật liệu của cọc để  
 187 mô phỏng. Cuối cùng là sự tương tác giữa lớp vật liệu  
 188 đắp và lớp sạn sỏi với đặc tính của phần tử được định  
 189 nghĩa theo vật liệu đắp. Cả 4 sự tương tác này đều  
 190 được kích hoạt khi chạy mô hình và được sử dụng để  
 191 phân tích kết quả từ mô hình số.

### 192 Quy trình tính toán

193 Mô hình số học đã tuân theo bốn bước tính toán. Đầu  
 194 tiên, các lớp đất nền được kích hoạt. Bước tiếp theo,  
 195 cọc được sử dụng. Một lớp đệm có độ dày 0.5 m được  
 196 đặt lên đỉnh của cọc. Lớp vật liệu địa kỹ thuật được  
 197 đặt ở giữa lớp đệm, cách đỉnh đầu cọc 0.25 m. Cuối  
 198 cùng, khối đắp được xây dựng lên đến độ cao 5.6 m.

## 199 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 200 Lún bề mặt

201 Hình 4 trình bày kết quả tính toán độ lún bề mặt đất  
 202 theo mô hình số 2D và 3D. Kết quả từ mô hình số  
 203 được so sánh với số liệu quan trắc, được ghi nhận tại  
 204 nghiên cứu của Liu và cộng sự (2007). Kết quả cho  
 205 thấy diễn biến độ lún được mô phỏng tốt bởi mô hình  
 206 số, đặc biệt độ lún tăng mạnh trong giai đoạn đắp đất.  
 207 Từ thời gian bắt đầu xây dựng khối đắp, độ lún tính  
 208 toán từ mô hình số lớn hơn đáng kể so với kết quả  
 209 quan trắc. Ở giai đoạn 110 – 120 ngày, kết quả lún  
 210 theo quan trắc và tính toán mô hình số là tương đồng  
 211 với nhau. Sau giai đoạn này, kết quả từ mô hình số có  
 212 giá trị nhỏ hơn kết quả được ghi nhận bởi quá trình  
 213 quan trắc. Trong giai đoạn đắp đất, kết quả dự đoán  
 214 lún từ mô hình 2D và 3D là tương đồng. Đối với quá  
 215 trình cố kết (từ khoảng thời gian 55 ngày trở đi), kết  
 216 quả từ mô hình 3D lớn hơn kết quả từ mô hình 2D,  
 217 tuy nhiên sự khác biệt là không quá lớn.

218 Hình 5 trình bày kết quả biến dạng trong cọc đơn vị  
 219 trong mô hình 2D và 3D. Biến dạng lớn nhất được ghi  
 220 nhận tại khu vực khối đắp và bề mặt đất yếu. Cọc có  
 221 giá trị biến dạng nhỏ hơn và nền đất cứng hơn ở mũi  
 222 cọc có giá trị biến dạng là nhỏ nhất. Giá trị biến dạng  
 223 trong toàn bộ chiều dài cọc là giống nhau. Kết quả  
 224 này cho thấy cọc trong mô hình số đã làm việc đúng  
 225 theo chức năng trong việc giảm biến dạng bề mặt đất  
 226 yếu.

### Ứng suất

227 Hình 6 trình bày kết quả tính toán ứng suất trên nền  
 228 đất yếu giữa mô hình 2 chiều và 3 chiều. Kết quả từ mô  
 229 hình số cũng được so sánh với kết quả quan trắc, ghi  
 230 nhận từ nghiên cứu của Liu và cộng sự<sup>1</sup>. Xu hướng  
 231 tăng ứng suất được ghi nhận từ mô hình số 2 chiều và  
 232 3 chiều là phù hợp với sự thay đổi kết quả quan trắc.  
 233 Thật vậy, ứng suất trên nền đất tăng mạnh trong quá  
 234 trình đắp đất (giai đoạn từ 0 ngày đến 55 ngày). Trong  
 235 giai đoạn cố kết, sau 55 ngày, ứng suất trên nền đất là  
 236 không đổi do đã hoàn thành việc tăng tải từ khối đắp.  
 237 Mô hình 2 chiều cho kết quả phù hợp hơn mô hình 3  
 238 chiều khi so sánh với kết quả quan trắc, khi sự khác  
 239 biệt chỉ là khoảng 5%. Trong khi đó ứng suất tính toán  
 240 từ mô hình 3 chiều là nhỏ hơn đáng kể (17%) so với  
 241 kết quả quan trắc.

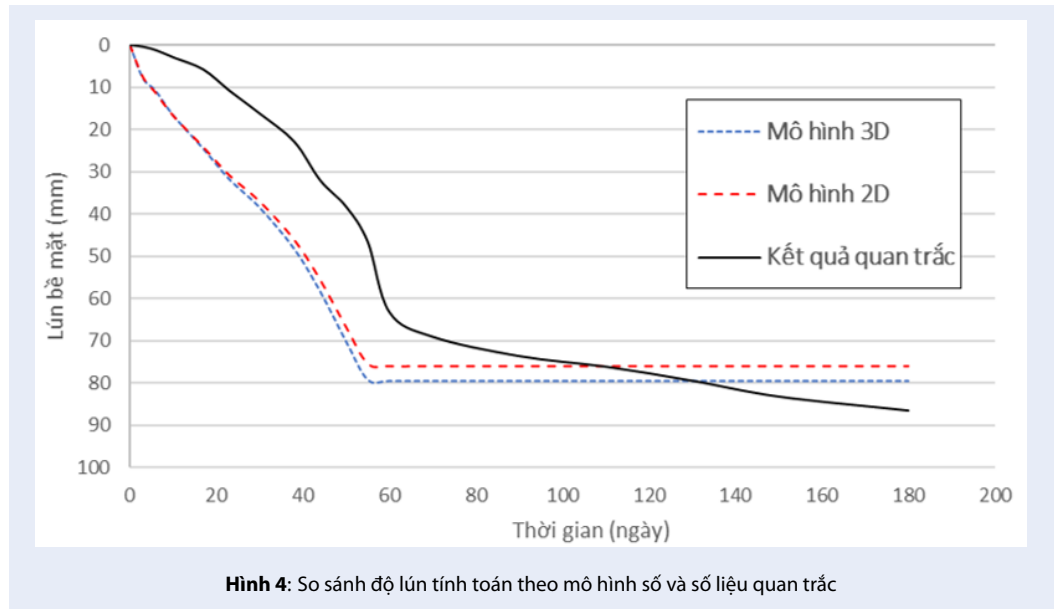
242 Hình 7 trình bày kết quả phân phối ứng suất tính toán  
 243 theo mô hình số trong khối đắp phía trên đất yếu. Kết  
 244 quả cho thấy ứng suất trong cọc lớn hơn đáng kể so  
 245 với tại nền đất yếu. Kết quả này, cũng như kết quả  
 246 được trình bày tại Hình 5 cho thấy ứng xử của cọc  
 247 trong mô hình 2 chiều và 3 chiều được mô phỏng phù  
 248 hợp với thực tế. Ứng suất tập trung tới cọc và được  
 249 chuyển xuống dưới mũi cọc, tới nền đất cứng hơn.  
 250

### Chuyển hóa ứng suất

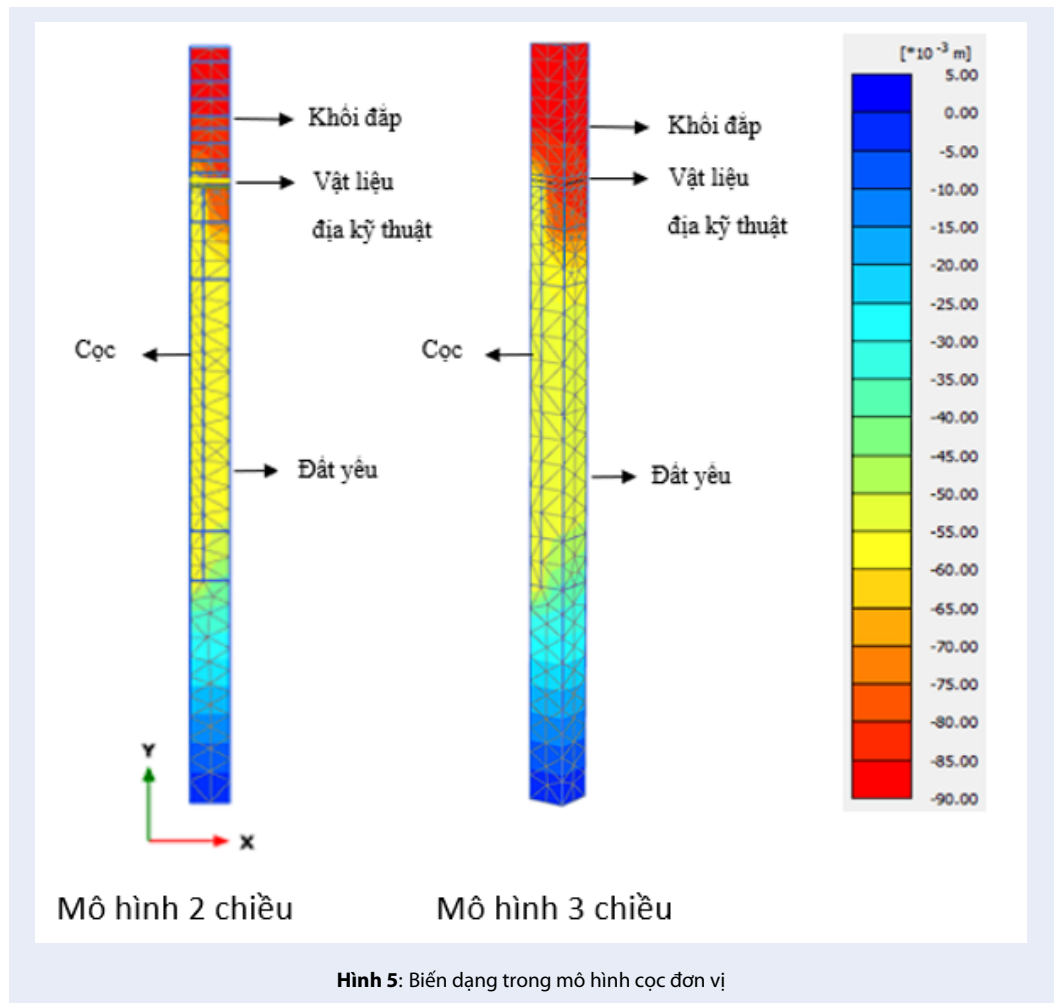
251 Hiệu quả của việc chuyển hóa ứng suất trong khối đắp  
 252 được trình bày tại Hình 8. Kết quả của mô hình 2  
 253 chiều và 3 chiều được so sánh với kết quả quan trắc,  
 254 được trình bày trong nghiên cứu của Liu và cộng sự<sup>1</sup>.  
 255 Cả ba kết quả đều được tính toán dựa theo định nghĩa  
 256 của hiệu quả chuyển hóa ứng suất theo công thức (1).  
 257 Nhìn từ Hình 8, kết quả từ mô hình 2 chiều nhỏ hơn  
 258 kết quả quan trắc với độ khác biệt là rất đáng kể. Trong  
 259 khi kết quả tính toán hiệu quả của việc chuyển hóa tải  
 260 trọng tính theo mô hình 3 chiều là rất phù hợp với kết  
 261 quả tính từ số liệu quan trắc, sự khác biệt chỉ là dưới  
 262 1%.  
 263

## KẾT LUẬN

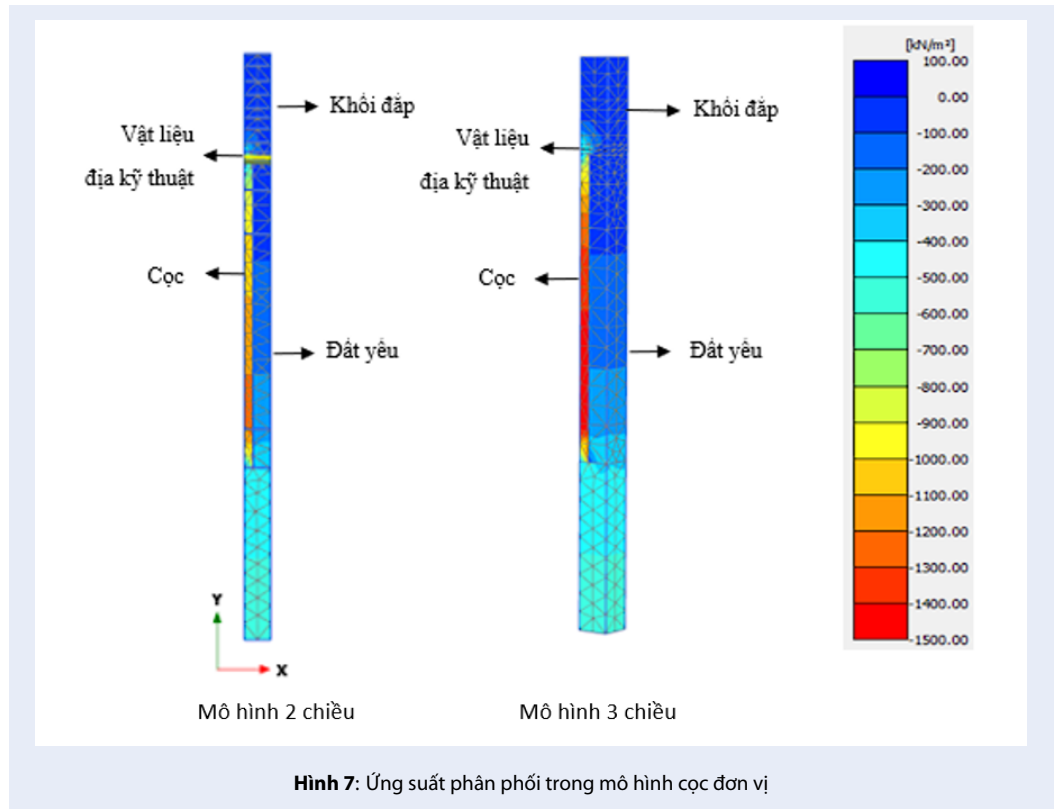
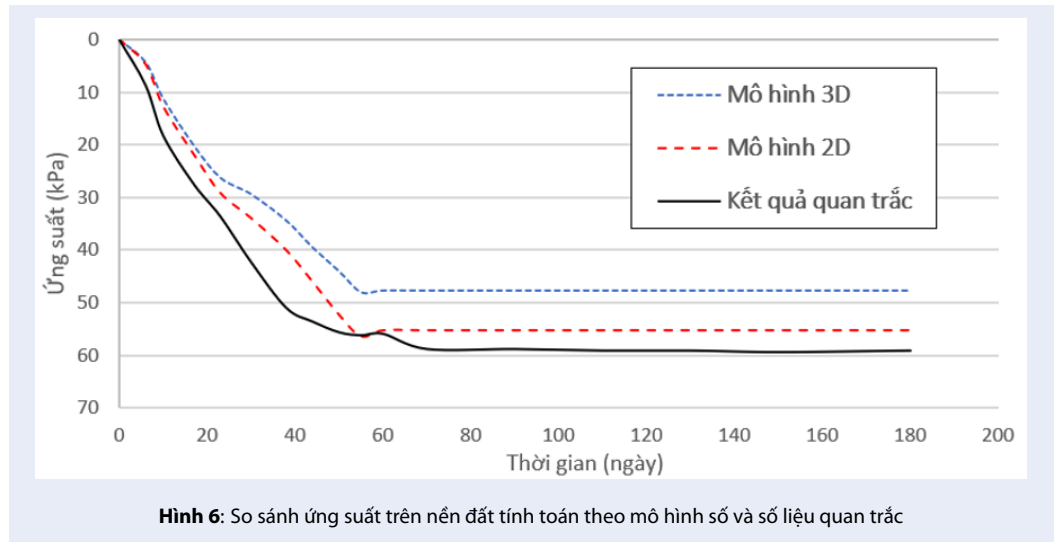
264 Trong nghiên cứu này, mô hình số dựa trên phương  
 265 pháp phần tử hữu hạn được xây dựng theo mô hình  
 266 2 chiều và 3 chiều để mô phỏng một nghiên cứu thực  
 267 nghiệm được thực hiện bởi Liu và cộng sự<sup>1</sup>. Nghiên  
 268 cứu đã thực hiện đánh giá lún bề mặt, ứng suất phân  
 269 phối trên nền đất yếu và đánh giá hiệu quả của việc  
 270 chuyển hóa tải trọng trong khối đắp được gia cố bằng  
 271 hệ thống cọc có liên kết bởi vật liệu địa kỹ thuật và  
 272 các lớp đất nền yếu. Kết quả cho thấy mô hình đã mô  
 273 phỏng phù hợp ứng xử của cọc bằng mô hình 2 chiều  
 274 và 3 chiều. Đặc biệt trong việc mô phỏng ứng suất tác  
 275 dụng trên nền đất yếu, mô hình 2 chiều đã cho thấy  
 276

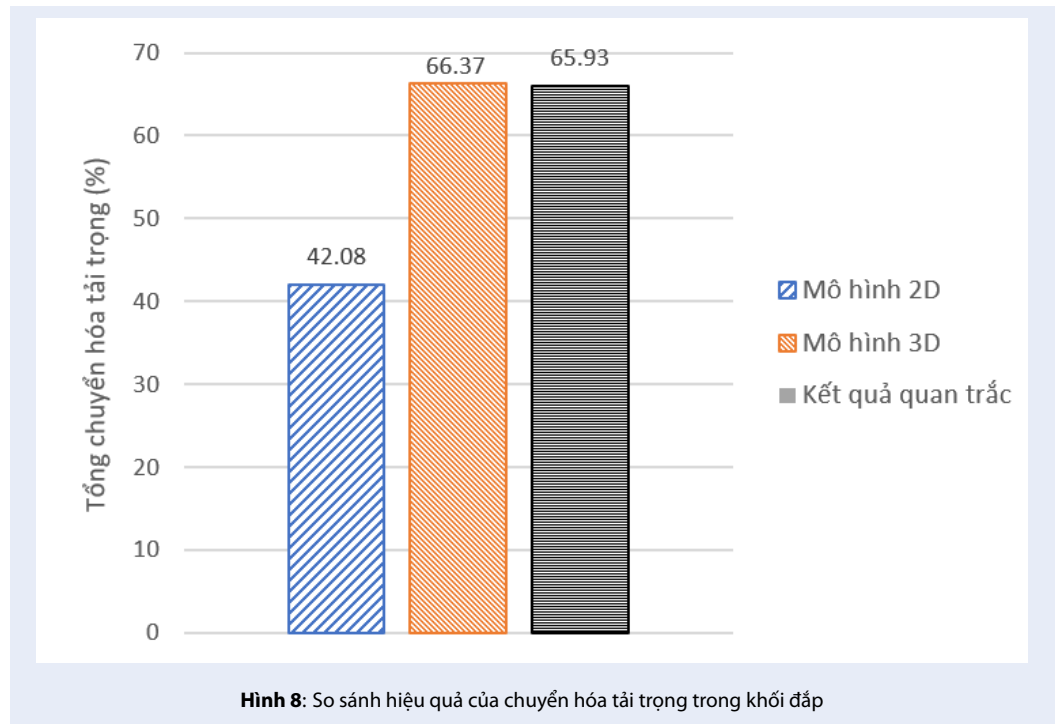


Hình 4: So sánh độ lún tính toán theo mô hình số và số liệu quan trắc



Hình 5: Biến dạng trong mô hình cọc đơn vị





277 kết quả phù hợp hơn với số liệu quan trắc. Tuy nhiên  
 278 khi đánh giá việc chuyển hóa tải trọng trong khối đắp,  
 279 mô hình 3 chiều đã đạt được giá trị mô phỏng có độ  
 280 chính xác rất cao khi so sánh với kết quả quan trắc.

281 Từ kết quả của nghiên cứu này, các mô hình số có thể  
 282 được phát triển để nghiên cứu về cơ chế chuyển hóa  
 283 tải trọng với nhiều loại cọc khác, ví dụ cọc xi măng  
 284 đất hoặc cọc bọc vải. Để phát triển kết quả này, các  
 285 điều kiện biên cần được phân tích và thay đổi để mô  
 286 hình số đưa ra các kết quả phù hợp hơn.

### 287 LỜI CẢM ƠN

288 Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa  
 289 Thành phố Hồ Chí Minh (HCMUT), VNU-HCM,  
 290 quỹ Murata Science Foundation (mã số 23VH07) đã  
 291 hỗ trợ về thời gian và cơ sở vật chất cho nghiên cứu  
 292 này theo đề tài.

### 293 XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

294 Các tác giả tuyên bố rằng không có xung đột lợi ích  
 295 liên quan đến việc xuất bản bài viết này.

### 296 ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

297 Các tác giả xác nhận đóng góp cho bài báo như sau: ý  
 298 tưởng và thiết kế nghiên cứu: Phạm Minh Tuấn, Vũ  
 299 Duy Liêm; xây dựng mô hình: Vũ Duy Liêm; phân  
 300 tích và giải thích kết quả: Vũ Duy Liêm, Phạm Minh  
 301 Tuấn; soạn thảo bản thảo: Phạm Minh Tuấn. Tất cả

302 các tác giả đã xem xét kết quả và phê duyệt phiên bản  
 303 cuối cùng của bản thảo.

### 304 TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 305 1. Liu HL, Ng CW, Fei K. Performance of a geogrid-  
 306 reinforced and pile-supported highway embank-  
 307 ment over soft clay: case study. *J Geotech Geoen-*  
 308 *viron Eng.* 2007;133(12):1483-1493;Available from:  
 309 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2007\)133:12\(1483\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2007)133:12(1483)).
- 310 2. Terzaghi K. *Theoretical soil mechanics.* John Wiley & Sons;  
 311 1943. p. 11-15;Available from: [https://doi.org/10.1002/](https://doi.org/10.1002/9780470172766)  
 312 [9780470172766](https://doi.org/10.1002/9780470172766).
- 313 3. Guido VA, Kneuppel JD, Sweeney MA. Plate loading tests on  
 314 geogrid-reinforced earth slab. In: *Geosynthetic' 87 Conf. St.*  
 315 *Paul, MN: Industrial Fabrics Association International; 1987. p.*  
 316 *216-225;*
- 317 4. Hewlett WJ, Randolph MF. Analysis of piled embankments.  
 318 *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr.* 1988;25(6):297-  
 319 298;Available from: [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(88\)](https://doi.org/10.1016/0148-9062(88)91283-1)  
 320 [91283-1](https://doi.org/10.1016/0148-9062(88)91283-1).
- 321 5. EBGeo. *Recommendations for design and analysis of earth*  
 322 *structures using geosynthetic reinforcements-EBGeo. Digital*  
 323 *in English.* German geotechnical society; 2011. ISBN: 978-3-  
 324 433-60093-1;
- 325 6. BS 8006. *Code of Practice for Strengthened/reinforced Soils*  
 326 *and Other Fills.* British Standards Institution BSI, London, UK;  
 327 2010. ISBN 978-0-580-53842-1;
- 328 7. CUR 226. *Design guideline basal reinforced piled embank-*  
 329 *ments.* CRC Press, Taylor & Francis Group; 2016.
- 330 8. Vo DN, Pham MT, Le VA, To VN. Load Transfer Acting in  
 331 Basal Reinforced Piled Embankments: a Numerical Approach.  
 332 *Transp Infrastruct Geotech.* 2022;Available from: [https://doi.](https://doi.org/10.1007/s40515-022-00271-1)  
 333 [org/10.1007/s40515-022-00271-1](https://doi.org/10.1007/s40515-022-00271-1).
- 334 9. Low BK, Tang SK, Choa V. Arching in piled embankments. *J*  
 335 *Geotech Eng.* 1994;120(11):1917-1938;Available from: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1994\)120:11\(1917\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1994)120:11(1917)).  
 336 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1994\)120:11\(1917\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1994)120:11(1917)).
- 337 10. Han J, Gabr MA. Numerical analysis of geosynthetic-reinforced



- 338 and pile-supported earth platforms over soft soil. *J Geotech*  
339 *Geoenviron Eng.* 2002;128(1):44-53; Available from: [https://](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2002)128:1(44))  
340 [doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2002\)128:1\(44\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2002)128:1(44)).
- 341 11. Girout R, Blanc M, Dias D, Thorel L. Numerical analysis of a  
342 geosynthetic-reinforced piled load transfer platform - Validation  
343 on centrifuge test. *Geotext Geomembr.* 2014;42(5):525-  
344 539;.
- 345 12. Pham AT, Dias D. 3D numerical study of the performance of  
346 geosynthetic-reinforced and pile-supported embankments.  
347 *Soils Found.* 2021;61(5):1319-1342; Available from: [https://doi.](https://doi.org/10.1016/j.sandf.2021.07.002)  
348 [org/10.1016/j.sandf.2021.07.002](https://doi.org/10.1016/j.sandf.2021.07.002).

# 2D and 3D numerical investigation on geosynthetic-Reinforced piled-Embankment over soft ground

Minh Tuan Pham\*, Duy Liem Vu



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

---

Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Geology and Petroleum Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam; Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam.

## Correspondence

**Minh Tuan Pham**, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Geology and Petroleum Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam; Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam.

Email: pmtuan@hcmu.edu.vn

## History

- Received: 30-9-2023
- Accepted: 22-12-2023
- Published Online:

DOI :



## ABSTRACT

The geosynthetic reinforcement solution, whether in the form of geogrids or geotextile reinforcement, combined with a group of reinforced piles in an embankment on soft ground, proves to be a rapid and effective approach for projects situated on granular embankments. However, the complexity of working mechanisms is a challenge for engineers as it can impact the performance of solution under different real-world conditions. Indeed, load transfer is a complex mechanism conditional upon the interaction among connecting elements, such as piles, soil, and geosynthetics. In this study, a numerical model was constructed using the finite element method, incorporating both 2D and 3D models to simulate an experiment conducted by Liu et al. This paper described a case history of a geogrid-reinforced and pile-supported highway embankment with a low area improvement ratio. The present study focused on evaluating surface settlement, stress distribution on soft ground, and the effectiveness of load transfer within a reinforced embankment through a system of interconnected piles with geosynthetics and subsoil. The results of the study indicated that both 2D and 3D models accurately reflected the behavior of the piles, but there were differences in simulating stress on soft ground and load transfer within the embankment. The 2D model proved more suitable for simulating stress on the soft ground surface, while the 3D model achieved a high level of accuracy (1% deviation from observational results) in simulating the load transfer within the embankment. These findings highlight the complex nature of load transfer mechanisms and highlight the importance of considering both 2D and 3D modeling approaches when assessing the performance of a geogrid-reinforced and pile-supported highway embankment over soft clay under various conditions.

**Key words:** Geosynthetic reinforcement, piled embankment, soil arching, load transfer mechanisms, finite element method

**Cite this article :** Pham M T, Vu D L. **2D and 3D numerical investigation on geosynthetic-Reinforced piled-Embankment over soft ground.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology* 2024; ():1-1.