

# Nghiên cứu ứng xử của nền đường đầu cầu được gia cường bằng trụ xi măng đất kết hợp với lưới địa kỹ thuật

Behavioral analysis of the approach embankment reinforced by soil cement column combined with geogrids

> THS NGÔ BÌNH GIANG, PGS.TS ĐỖ THẮNG\*, GS.TS TRỊNH MINH THỤ

Trường Đại học Thủy lợi; \*Email: dothang@tlu.edu.vn

## TÓM TẮT

Lún lệch tại chỗ tiếp giáp giữa đường và cầu là vấn đề luôn được mọi người tham gia giao thông quan tâm, do nó gây ra sự khó chịu và có nguy cơ mất an toàn giao thông. Bài báo trình bày nghiên cứu ứng xử của nền đường đầu cầu được gia cường bằng trụ xi măng đất kết hợp với lưới địa kỹ thuật thông qua phân tích số với mô hình cọc treo và kiểm chứng với kết quả thí nghiệm hiện trường. Kết quả nghiên cứu có thể là tài liệu tham khảo cho các công trình có tính chất tương tự.

**Từ khóa:** Đường đầu cầu; trụ xi măng đất; lưới địa kỹ thuật; cọc treo.

## ABSTRACT

The differential settlement at the contiguous area between the road and bridge is a problem that concerns all traffic participants due to its potential to cause discomfort and unsafe traffic conditions. This paper presents a study that analyzes the behavior of an approach embankment reinforced by soil-cement columns and geogrids through numerical analysis using a skin friction pile model, and verified the results with field tests. The research findings can serve as a reference for similar works.

**Keyword:** Approach embankment; soil-cement column; geogrids; skin friction pile.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

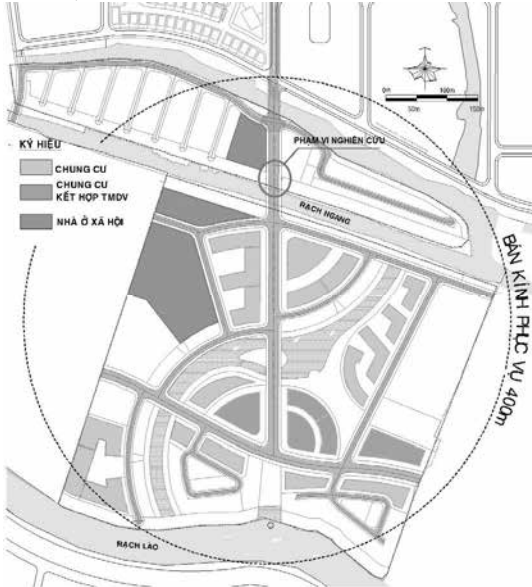
Trước thực trạng nhiều tuyến đường xảy ra tình trạng lún lệch tại chỗ tiếp giáp giữa đường và cầu, cống, Bộ Giao thông vận tải đã ban hành Quy định tạm thời về các giải pháp kỹ thuật công nghệ đối với đoạn chuyển tiếp giữa đường và cầu (cống) trên đường ô tô kèm theo Quyết định 3095/QĐ-BGTVT năm 2013 [1]. Quy định này đã được Tổng cục Đường bộ Việt Nam (nay là Cục Đường bộ Việt Nam) cập nhật vào phụ lục E của Tiêu chuẩn khảo sát, thiết kế nền ô tô trên nền đất yếu TCCS 41:2022/TCĐBVN [2]. Nội dung của phụ lục E đề cập các yêu cầu kỹ thuật, công nghệ về thiết kế, thi công, bảo dưỡng và sửa chữa để đoạn chuyển tiếp giữa đường và cầu (cống) đảm bảo êm thuận. Giải pháp kỹ thuật công nghệ cho đoạn đường chuyển tiếp giữa đường và cầu có thể là: tăng chiều dài cầu để hạ thấp chiều cao đất đắp sau mố cầu; làm sàn giảm tải (trên hệ móng cọc); cống hộp dọc thay thế nền đắp; xử lý nền đất yếu dưới nền đắp; hoặc kết hợp các xử lý nền đất yếu với các phương án trên. Trong nhóm các giải pháp xử lý nền đất yếu, khi các giải pháp tăng nhanh độ cố kết của đất yếu không khả thi thì trụ xi măng đất (XMĐ) có thể là một giải pháp gia cường nền đất yếu cần được ưu tiên xem xét. Để tăng hiệu quả của giải pháp trụ XMĐ, trên đỉnh trụ thường bố trí lớp truyền tải nhằm tăng tải trọng truyền vào trụ và giảm tải trọng truyền xuống đất yếu giữa các cọc.

Lớp truyền tải này trước đây thường sử dụng cát vàng gia cố xi măng 6 - 8% dày từ 0.7 - 1m. Tuy nhiên, thời gian thi công kéo dài do phải chờ lớp này hình thành cường độ rồi mới tiến hành đắp các lớp bên trên. Ngoài ra, cường độ chịu kéo uốn của cát gia cố xi măng nhỏ nên khả năng bị nứt tách khá cao khi chịu tải trọng lớn dẫn đến giảm hiệu quả truyền tải. Gần đây, việc sử dụng lớp truyền tải mềm bằng lưới địa kỹ thuật (ĐKT) kết hợp với cát, đá dăm hoặc cấp phối đá dăm... được sử dụng khá phổ biến. Việc kết hợp lớp truyền tải mềm bằng lưới ĐKT với trụ XMĐ còn được gọi là hệ nền cọc GRPS (Geosynthetics Reinforced Pile Supported). Ưu điểm của giải pháp công nghệ này là đơn giản, tốc độ thi công nhanh, đảm bảo ổn định tốt và thân thiện với môi trường. Trên thế giới, các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm hệ GRPS đã được quan tâm thể hiện qua các công bố quốc tế và việc tiêu chuẩn hóa để áp dụng rộng rãi như tiêu chuẩn Anh BS8006 [3], Đức EBGE0 [4], ... Ở Việt Nam, nghiên cứu về vấn đề này gần đây cũng được chú ý [5-8] và thu được các kết quả có ý nghĩa khoa học và thực tiễn. Tuy nhiên, các kết quả nghiên cứu mới dừng lại ở nghiên cứu lý thuyết, hoặc mô hình vật lý thu nhỏ trong phòng thí nghiệm. Trụ XMĐ trong các mô hình số và mô hình vật lý mới chỉ xét ở dạng cọc chống, chưa xét tới bài toán với mô hình cọc treo (cọc ma sát). Vì vậy, trong bài báo này, tác giả nghiên cứu ứng xử của nền đường

đầu cầu được gia cường bằng trụ XMD kết hợp với lưới ĐKT thông qua phân tích số với mô hình cọc treo và kiểm chứng với kết quả thí nghiệm hiện trường.

## 2. GIỚI THIỆU CÔNG TRÌNH

Phạm vi nghiên cứu thuộc vùng 4, đường đầu cầu số 2 (bên mố M1), khu đô thị Mizuki Park tại xã Bình Hưng, huyện Bình Chánh, TP.HCM có quy mô 37,4 ha (hình 1).



Hình 1. Vị trí công trình

Công trình trên tuyến chính D1, kết nối với đường Nguyễn Văn Linh. Bề rộng đường 25m bao gồm 4 làn xe chạy, mỗi làn 3.5m; dải phân cách giữa rộng 2m, vỉa hè mỗi bên 4.5m.

Địa tầng tại vị trí hố khoan sâu 57m trong khu vực nghiên cứu theo báo cáo khảo sát địa chất gồm các lớp đất theo thứ tự từ trên xuống như sau:

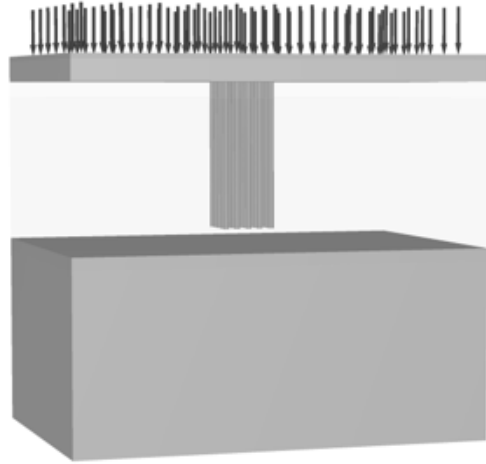
- Lớp 1: Đất san lấp, chiều dày 3,3m, SPT từ 6 - 7 (trung bình là 6);
- Lớp 2: Bùn sét, màu xám xanh, trạng thái chảy, độ sâu từ 3,3m - 31,5m, chiều dày trung bình 29,05m, SPT từ 1 - 6 (trung bình là 3);
- Lớp 3: Sét, sét pha, màu xám xanh, xám nâu, trạng thái dẻo mềm đến dẻo cứng, độ sâu từ 31,5 - 39,0m, chiều dày 7,5m; SPT từ 4 - 12 (trung bình là 8);
- Lớp 4: Sét pha kẹp cát, màu xám xanh, trạng thái dẻo cứng, độ sâu từ 39,0m - 43,6m, chiều dày 4,6m, SPT là 9;
- Lớp 5: Không xuất hiện trong hố khoan tại vị trí khảo sát;
- Lớp 6: Sét, sét pha, màu nâu đỏ loang xám trắng, trạng thái nửa cứng đến cứng, độ sâu từ 43,6m - 56,6m, chiều dày 13,0m, STP từ 15 - 43 (trung bình là 32);
- Lớp 7: Cát pha, hạt mịn, xám xanh, xám nâu, trạng thái chặt, độ sâu từ 56,6m - 60,0m (vị trí kết thúc khoan), chiều dày 3,4m, SPT từ 30 - 36 (trung bình là 32).

Gia cường nền đất yếu đường đầu cầu bằng trụ XMD đường kính D1000, dài 25m, khoảng cách giữa các trụ bằng 2m. Chiều sâu xử lý chưa hết chiều dày lớp đất yếu (lớp 2 - bùn sét), chân trụ còn cách lớp 3 một khoảng bằng 4m. Đỉnh trụ rải 2 lớp lưới ĐKT cường độ cao Paralink loại 600L ( $R_k=600\text{kN/m}$ ) trực giao. Chiều cao đắp tính từ mặt lớp lưới ĐKT khoảng 3.5-4m.

## 3. PHÂN TÍCH SỐ BÀI TOÁN

### 3.1. Mô hình hóa và điều kiện biên

Sử dụng phần mềm Plaxis 3D để mô phỏng số bài toán. Mô hình nền đường đầu cầu được thể hiện trên hình 2.



Hình 2. Mô hình số 3D bài toán

Đất đắp và các lớp đất nền tự nhiên sử dụng mô hình vật liệu Mohr - Coulomb (đàn hồi - dẻo lý tưởng). Trụ XMD sử dụng mô hình đàn hồi tuyến tính. Lưới ĐKT được mô phỏng bằng phần tử Geogrid. Các thông số chính được sử dụng trong mô hình tính toán được thể hiện ở bảng 1.

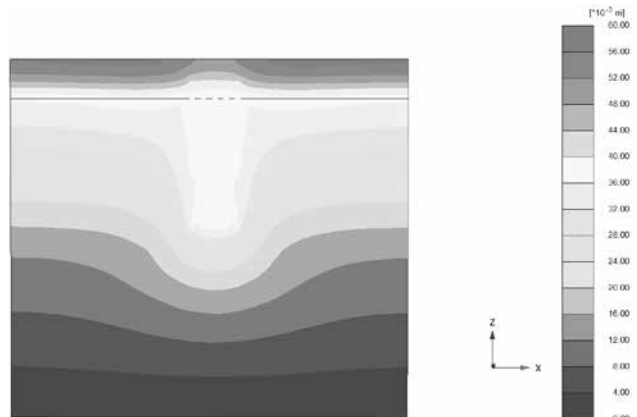
Bảng 1. Thông số đầu vào mô hình

Tên lớp	$\gamma_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (độ)	C (kPa)	E (kPa)	$\nu$	J (EA) kN/m
Đất đắp	18	30	1	20000	0.3	
Lớp 2	15.1	2.68	15	3250	0.4	
Lớp 3	16.1	5.36	20	6000	0.35	
Trụ XMD	21			250000	0.3	
Lưới ĐKT						8000

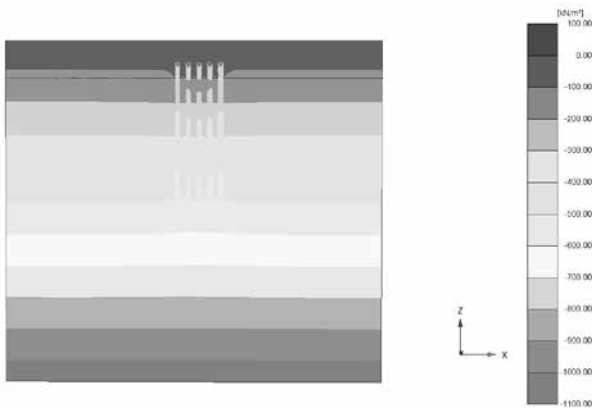
Gia tải từng bước tương ứng với chiều cao đắp mỗi giai đoạn là 1m để khảo sát sự thay đổi trạng thái ứng suất biến dạng của nền đường được gia cường bằng hệ GRPS.

### 3.2. Kết quả và bàn luận

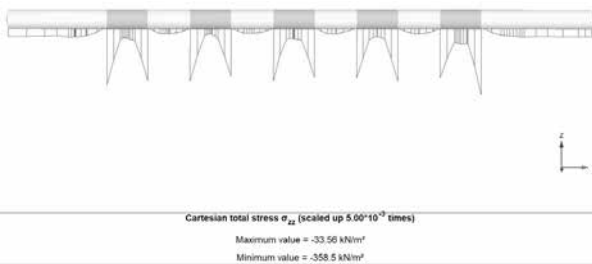
Kết quả tính toán được thể hiện trên hình 3 đến hình 6 và bảng 2.



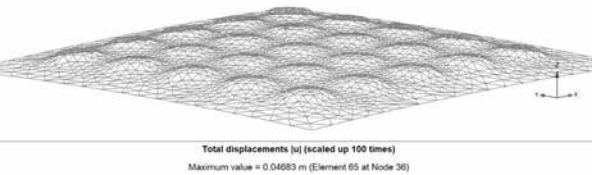
Hình 3. Chuyển vị nền đường đầu cầu



Hình 4. Phân bố ứng suất thẳng đứng



Hình 5. Biểu đồ phân bố ứng suất đỉnh trụ XMĐ và nền



Hình 6. Lưới phân bố biến dạng lưới ĐKT

Bảng 2. Hệ số tập trung ứng suất và lực kéo lưới ĐKT

Chiều cao đắp (m)	Ứng suất đỉnh trụ XMĐ $p'_c$ (kPa)	Ứng suất đất nền giữa các trụ XMĐ $\sigma'_s$ (kPa)	Hệ số tập trung ứng suất ( $n=p'_c/\sigma'_s$ )	Lực kéo trong lưới ĐKT (kN/m)
1	33.06	15.29	2.16	0.75
2	64.60	26.08	2.48	1.47
3	90.22	34.87	2.59	2.07
4	116.27	43.80	2.65	2.65
4+q	183.49	66.82	2.75	3.99

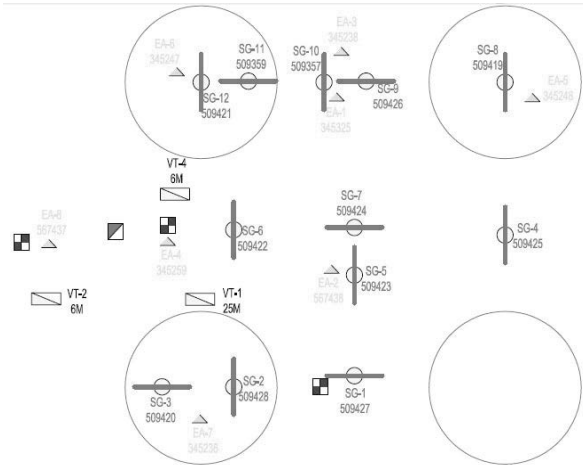
(q là tải trọng xe quy đổi tính theo TCCS41:2022,  $q=16\text{kPa}$ )

Từ hình 4 và hình 5 cho thấy ứng suất tại phạm vi trụ XMĐ lớn hơn nhiều so với đất nền xung quanh trụ, đặc biệt tại mép trụ (vị trí tiếp xúc giữa trụ XMĐ và đất nền). Để đánh giá khả năng truyền tải trọng vào trụ XMĐ, sử dụng tham số hệ số tập trung ứng suất. Tham số này bằng tỷ số giữa ứng suất tại đỉnh trụ và ứng suất trong đất nền nằm giữa các trụ. Do sự phân bố ứng suất không đều trên tiết diện đỉnh trụ XMĐ cũng như đất nền nên tác giả sử dụng giá trị trung bình để tính toán. Hệ số tập trung ứng suất tăng dần theo từng bước gia tải và tương ứng lực kéo trong lưới ĐKT cũng tăng lên (bảng 2). Lớp lưới ĐKT có tác dụng phân bố áp lực lên đỉnh trụ XMĐ, giảm áp lực truyền xuống đất nền dẫn đến giảm lún lệch trong phạm vi nền gia cường (hình 3 và hình 6).

#### 4. THÍ NGHIỆM HIỆN TRƯỜNG

##### 4.1. Vị trí lắp đặt thiết bị quan trắc

Sơ đồ lắp đặt thiết bị quan trắc áp lực đất, biến dạng của lưới địa kỹ thuật, áp lực nước lỗ rỗng và độ lún theo chiều sâu tại các vị trí như hình 7. Trong đó, thiết bị đo áp lực đất EA1 và EA8 đặt dưới lớp lưới ĐKT, các thiết bị đo áp lực đất còn lại đặt trên lưới.



- Đo ứng suất vải địa (strain gage)
- ▲ Đo áp lực đất (Earth pressure)
- Đo áp lực nước lỗ rỗng (Piezometer)
- ⊗ Đo nghiêng (Inclinometer)
- ▭ Đo lún sâu (Extensionmeter)
- ⊠ Quan trắc lún mặt (Surface settlement)

Hình 7. Mặt bằng bố trí thiết bị quan trắc

Một số hình ảnh lắp đặt thiết bị quan trắc đường đầu cầu số 2 được thể hiện trên hình 8.





**Hình 8.** Hình ảnh lắp đặt thiết bị

Việc thu thập dữ liệu được tiến hành thường xuyên theo chu kỳ 2 lần/ngày trong quá trình đắp và 3 ngày/lần khi đắp đến cao độ thiết kế (hình 9).



**Hình 9.** Thu thập dữ liệu quan trắc

#### 4.2. Kết quả quan trắc

Kết quả quan trắc tại hiện trường sau khi xử lý số liệu được tổng hợp lại như ở bảng 3.

**Bảng 3.** Kết quả quan trắc tại hiện trường

Chiều cao đắp (m)	Áp lực đất đỉnh trụ XMĐ (kPa)	Áp lực đất giữa các trụ trên lưới ĐKT (kPa)	Áp lực đất giữa các trụ dưới lưới ĐKT (kPa)	Độ lún đỉnh trụ XMĐ (cm)	Độ lún giữa các trụ XMĐ (cm)	Độ giãn dài lưới ĐKT (mm)
1	29.84	17.32	16.57	0.99	1.35	1.30
2	57.99	31.35	17.53	2.35	3.01	1.47
3	80.94	42.64	18.48	2.93	3.60	1.53
4	104.31	54.04	18.95	3.75	4.46	1.62
4+q	164.78	83.54	20.76	5.99	6.95	1.83

Từ bảng 3, ta thấy có sự tập trung ứng suất tại đỉnh trụ XMĐ như nhận xét đã nêu trong phần phân tích số. Áp lực đất giữa các trụ XMĐ dưới lớp lưới ĐKT thay đổi không nhiều theo từng bước gia tải và nhỏ

hơn áp lực phía trên lưới với chênh lệch ngày càng tăng. Điều này làm sáng tỏ vai trò của lớp lưới ĐKT trong việc giảm áp lực truyền xuống đất nền. Khi tăng tải, độ lún của đỉnh trụ XMĐ cũng như đất nền xung quanh đều tăng, tuy nhiên độ lún lệch nhỏ. Độ giãn dài của lưới ĐKT tăng, tức là có sự gia tăng lực kéo trong lưới.

#### 4.3. So sánh kết quả phân tích số và quan trắc tại hiện trường

Từ bảng 2 và bảng 3, ta thấy ứng suất đỉnh trụ XMĐ theo dữ liệu quan trắc tại hiện trường nhỏ hơn so với phân tích số dẫn đến hệ số tập trung ứng suất nhỏ hơn. Điều này có thể lý giải được do điểm đặt đầu đo áp lực đất đặt tại tim trụ XMĐ, trong khi ứng suất phân bố không đều trên đỉnh trụ (mép lớn hơn ở giữa - hình 5) và bảng 2 ghi giá trị ứng suất trung bình.

Độ lún nền đường đầu cầu sai khác không đáng kể giữa mô hình số và quan trắc thực tế, độ lún lệch giữa trụ và nền đất cũng nhỏ (hình 3 & bảng 3).

Độ giãn dài của lưới ĐKT tăng theo cấp tải trọng, tuy nhiên mức tăng không nhiều so với sự gia tăng lực kéo lưới trong phân tích số. Nguyên nhân của vấn đề này là do lưới ĐKT có biến dạng ban đầu khá lớn, việc khử biến dạng này trong quá trình lắp đặt thiết bị đo khá khó khăn.

#### 5. KẾT LUẬN

Từ kết quả nghiên cứu cho công trình thực tế trên, có thể thấy trụ XMĐ kết hợp với lưới địa kỹ thuật là giải pháp xử lý nền đất yếu hiệu quả, phù hợp với đoạn đường đầu cầu.

Chiều sâu xử lý chưa hết chiều dày lớp đất yếu, trụ XMĐ được mô hình dưới dạng cọc treo (cọc ma sát) nhưng hiệu quả truyền tải trọng vẫn rất tốt (hệ số tập trung ứng suất  $n > 2$  và lún lệch nhỏ).

Nước ta hiện vẫn chưa có tiêu chuẩn về tính toán trụ XMĐ kết hợp với lưới địa kỹ thuật nên việc tính toán thiết kế và thi công nghiệm thu còn chưa thống nhất. Việc lựa chọn mô hình tính toán cần được nghiên cứu một cách toàn diện và kiểm chứng với nhiều công trình thực tế đã thi công để hiệu chỉnh cho phù hợp.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Quyết định 3095/QĐ-BGTVT, Quy định tạm thời về các giải pháp kỹ thuật công nghệ đối với đoạn chuyển tiếp giữa đường và cầu (cống) trên đường ô tô, Bộ Giao thông vận tải, 2013.
- [2]. TCCS 41:2022/TCBĐVN - Tiêu chuẩn khảo sát, thiết kế nền ô tô trên nền đất yếu, Tổng cục Đường bộ Việt Nam, 2022.
- [3]. BS 8006-1:2010 - Code of practice for strengthened/ reinforced soils and other fills, British Standard Institution, 2010.
- [4]. EBGeo, Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen, German Geotechnical Society, 2010
- [5]. Nguyễn Thị Loan, Luận án tiến sĩ kỹ thuật "Nghiên cứu tính toán lớp cốt địa kỹ thuật kết hợp cọc chống sử dụng trong nền đắp trên đất yếu", Trường Đại học Giao thông Vận tải, 2016.
- [6]. Nguyễn Thái Linh, Luận án tiến sĩ kỹ thuật "Nghiên cứu sự làm việc của cọc đất xi măng kết hợp lưới địa kỹ thuật cường độ cao trong xử lý nền đất yếu cho xây dựng giao thông", Trường Đại học Giao thông vận tải, 2021.
- [7]. Tuan A. Pham, Pascal Villard, Daniel Dias, A review of available design techniques and numerical analysis of piled embankment with geosynthetic, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, 60 (3/2018), tr.132-140.
- [8]. Phạm Anh Tuấn, Đỗ Hữu Đạo, Nghiên cứu sơ đồ hợp lý cho hệ cọc đất xi măng có gia cường vải địa kỹ thuật dưới nền đường đắp cao, Hội nghị Cơ học kỹ thuật toàn quốc, Đà Nẵng, 2015.
- [9]. TCVN 9403:2012 - Gia cố đất nền yếu - Phương pháp trụ đất xi măng, Bộ Khoa học và Công nghệ, 2012.