

Nghiên cứu ảnh hưởng của lưới địa kỹ thuật tới hiệu quả giảm độ lún khi kết hợp với cọc đất gia cố xi măng trong xử lý nền đất yếu

■ **TS. NGUYỄN THÁI LINH; PGS. TS. NGUYỄN ĐỨC MẠNH; PGS. TS. PHẠM HOÀNG KIÊN**
Trường Đại học Giao thông vận tải

TÓM TẮT: Hệ cọc đất xi măng (ĐXM) kết hợp lưới địa kỹ thuật (ĐKT) ngày càng được sử dụng phổ biến để xử lý nền đất yếu trong xây dựng công trình giao thông. Mặc dù có nhiều nghiên cứu tại Việt Nam và trên thế giới về hiệu ứng vòm trong nền đắp và hiệu ứng màng xảy ra trong lớp lưới ĐKT khi kết hợp cọc ĐXM, các nghiên cứu còn hạn chế khi chưa xem xét đến ảnh hưởng của cường độ lưới ĐKT.

Với nội dung nghiên cứu, bài báo sẽ thực hiện thí nghiệm cường độ và biến dạng của lưới ĐKT và mô phỏng bằng phương pháp số. Từ đó, đánh giá ảnh hưởng của lưới ĐKT khi kết hợp trụ ĐXM trong xử lý nền đất yếu.

TỪ KHÓA: Cọc đất xi măng, lưới địa kỹ thuật, độ lún, đất yếu.

ABSTRACT: The system of soil-cement columns combined with geogrid is increasingly commonly used to treat soft ground in traffic construction. Although there are many studies in Vietnam and around the world on the arching effect in the embankment and the membrane effect occurring in the geogrid layer when combining soil-cement columns, the research is still limited when not considering influence of geogrid strength.

With the research content, the article will perform the strength and deformation experiments of the geogrid. From the experimental results, numerical simulation to evaluate the influence of geogrid when combining soil-cement columns in soft ground treatment.

KEYWORDS: Soil cement piles, geogrids, settlement, soft soil.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cọc ĐXM ngày càng được sử dụng rộng rãi trong xử lý nền đất yếu với các ưu điểm là khả năng xử lý sâu (có thể đến 50 m), thích hợp với các loại đất yếu (từ cát thô đến bùn yếu), thi công cả trong điều kiện ngập sâu trong nước. Tuy nhiên, một vấn đề lớn khi xử lý nền đất yếu bằng cọc ĐXM là hiện tượng lún lệch lớn giữa cọc và nền đất xung quanh khi khoảng cách các cọc lớn [1, 2, 3]. Để giải quyết vấn đề trên, giải pháp cọc ĐXM kết hợp với lưới ĐKT, còn được gọi là hệ nền cọc GRPS (Geosynthetics Reinforced

Pile Supported) được đề xuất. Nhờ khả năng chịu kéo lớn, lưới ĐKT cường độ cao khi trải trên đỉnh cọc tạo thành lớp truyền tải mềm, làm gia tăng tải trọng truyền vào cọc, giảm một phần áp lực truyền xuống đất yếu giữa các cọc, nhờ đó giảm được độ lún lệch giữa cọc với phần đất xung quanh. Qua thực tế chứng minh giải pháp trên hiệu quả về giảm chi phí xây dựng và thời gian thi công đáng kể [5].

Các nghiên cứu về hệ GRPS cũng được chú ý từ khá sớm, bao gồm cả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm về sự làm việc độc lập hay kết hợp giữa cọc bê tông cốt thép hoặc ĐXM với lưới ĐKT như cơ chế truyền tải trọng, sự phân bố lực kéo trên lưới, hiệu ứng vòm... cũng được quan tâm khá nhiều, đặc biệt trong các tiêu chuẩn của Anh (BS 8006), Đức (EBGEO), Mỹ (FHWA), Nhật Bản. Tuy nhiên, hầu hết tính toán trong các tiêu chuẩn đều chưa đề cập đến hiệu quả giảm lún của lớp lưới ĐKT. Trong nghiên cứu này sẽ đề cập đến hiệu quả giảm lún của lớp lưới ĐKT khi kết hợp hệ cọc ĐXM thông qua thử nghiệm xác định độ cứng của lưới ĐKT và phân tích số bằng Plaxis 3D trong xử lý nền đất yếu trong xây dựng giao thông.

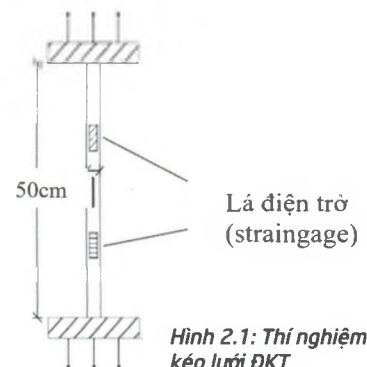
2. THÍ NGHIỆM LỰC KÉO - BIẾN DẠNG CỦA LƯỚI ĐKT

Các thông số quan trọng của lưới ĐKT trong việc phân tích hệ nền cọc GRPS bao gồm mô-đun độ cứng (J) và lực kéo lưới (T). Mối quan hệ giữa hai đại lượng trên:

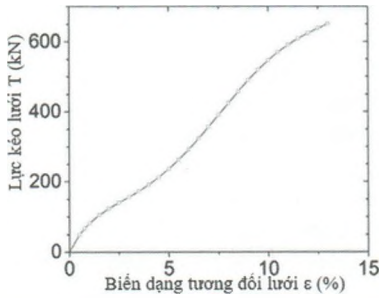
$$T = J \cdot \varepsilon \quad (1)$$

Trong đó: J - mô-đun độ cứng của lưới ĐKT; ε - Biến dạng dài tương đối của lưới.

Nghiên cứu thí nghiệm thực nghiệm kéo lưới ĐKT dạng dài với các loại cường độ chịu kéo phổ biến từ 200 kN/m đến 800 kN/m. Biến dạng lưới được đo bằng straingage chuyên dụng, kết quả thu được được thể hiện trong biểu đồ Hình 2.1 và Bảng 2.1.



Hình 2.1: Thí nghiệm kéo lưới ĐKT



Hình 2.2: Biểu đồ lực kéo - biến dạng lưới ĐKT

Từ kết quả thí nghiệm cường độ chịu kéo - biến dạng, xác định mô-đun độ cứng của lưới ĐKT trong bảng:

Bảng 2.1. Cường độ kéo và mô-đun độ cứng của lưới

Cường độ lưới T (kN/m)	200	300	500	600	800
Mô-đun độ cứng (kN/m)	2.000	4.000	7.000	8.000	10.000

3. PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA LƯỚI ĐKT ĐẾN HIỆU QUẢ GIẢM LÚN HỆ CỌC ĐXM

3.1. Các thông số đánh giá

Để đánh giá hiệu quả của hệ cọc ĐXM kết hợp lưới ĐKT, các thông số đánh giá đưa ra [4, 5]:

1) Lực kéo lưới T trong hệ cọc là thông số đánh giá hiệu quả của hiệu ứng màng.

2) Hệ số tập trung ứng suất n.

Han và Gabr (2002) [5] đưa ra khái niệm hệ số tập trung ứng suất để xác định mức độ truyền tải vào cọc so với truyền tải vào đất yếu:

$$n = \frac{p_c}{\sigma'_s} \quad (2)$$

Trong đó: p'_c - Ứng suất thẳng đứng trên đỉnh cọc; σ'_s - Áp lực truyền vào đất nền giữa các cọc.

3) Độ lún của nền đất yếu S thể hiện mức độ truyền tải vào đất yếu gây ra độ lún.

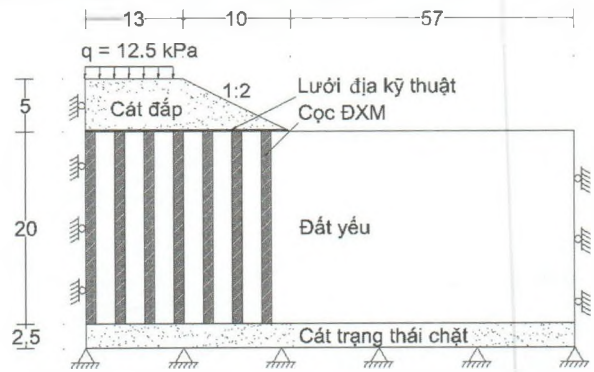
3.2. Phân tích số ảnh hưởng của lưới ĐKT đến hiệu quả làm việc hệ cọc ĐXM

Để phân tích hiệu quả giảm lún của độ cứng lưới ĐKT trong hệ cọc ĐXM trong xử lý nền đất yếu, phân tích số được kiến nghị áp dụng [1, 3, 5]. Bài toán phân tích cho nền một nửa nền đường đắp đối xứng được mô phỏng số 3D bằng phần mềm Plaxis3D với kích thước như Hình 3.1. Mô hình số 3D với 21.650 phần tử, 28.105 điểm nút và chiều dày 6 m để mô phỏng hai hàng cọc ĐXM.

Mô phỏng số 3D cho nửa đường đắp đối xứng với góc dốc 1:2, chiều cao 5 m được đắp bằng cát có trọng lượng thể tích $\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$, phía trên có tải trọng xe quy đổi $q = 12,5 \text{ kPa}$. Nền đất yếu được gia cố bằng hệ hai hàng cọc ĐXM đường kính $D = 1 \text{ m}$, chiều dài cọc 20 m (Hình 3.1). Phía dưới là lớp đất chịu lực, lớp cát ở trạng thái chặt. Từ kết quả phân tích số cho thấy, điều kiện biên khi chuyển vị ngang xấp xỉ bằng không, được xác định từ chân nền đường đắp mở rộng sang 57 m.

Các thông số về vật liệu được sử dụng cho phân tích số được thể hiện như trong Bảng 3.1. Nghiên cứu sử dụng mô hình vật liệu Mohr - Coulomb (MC) để mô phỏng đất đắp,

đất yếu và cọc ĐXM. Các nghiên cứu điển hình đã chứng minh được mô hình đàn hồi - thuần dẻo Mohr - Coulomb có thể phân tích hiệu quả truyền tải cọc và lực kéo lưới ĐKT một cách hợp lý. Phần tử lưới được mô phỏng bằng phần tử Geogrid, dựa trên mô hình đàn hồi tuyến tính - Linear Elastic (LE). Hệ số tiếp xúc giữa cọc ĐXM và đất nền, lưới ĐKT và cát đắp được lấy bằng 1. Mô-đun đàn hồi của cọc ĐXM được xác định $E_c = 100q_u$ (với q_u là cường độ nén một trục nở hông của cọc ĐXM). Theo TCVN 9906:2014, kết quả nén một trục nở hông của các mẫu cọc ĐXM hiện trường dao động từ 500 kPa đến 2.500 kPa, trung bình q_u bằng 1.500 kPa. Quá trình xây dựng được mô phỏng bằng việc đắp cát thành từng lớp dày 1 m. Các thông số vật liệu của đất, cọc ĐXM và lưới ĐKT như Bảng 2.2. Việc lựa chọn mô hình vật liệu, mô-đun đàn hồi cọc và hệ số tiếp xúc phù hợp với các nghiên cứu đã công bố [6, 7, 8, 9, 10].



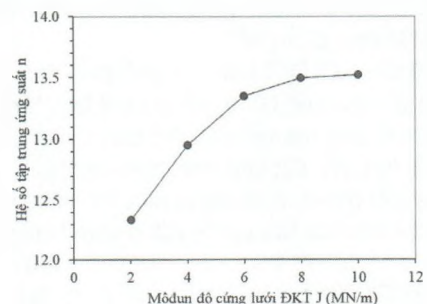
Hình 3.1: Mô hình bài toán hệ cọc ĐXM kết hợp lưới ĐKT trong xử lý nền đất yếu

Bảng 3.1. Cường độ kéo và mô-đun độ cứng của lưới

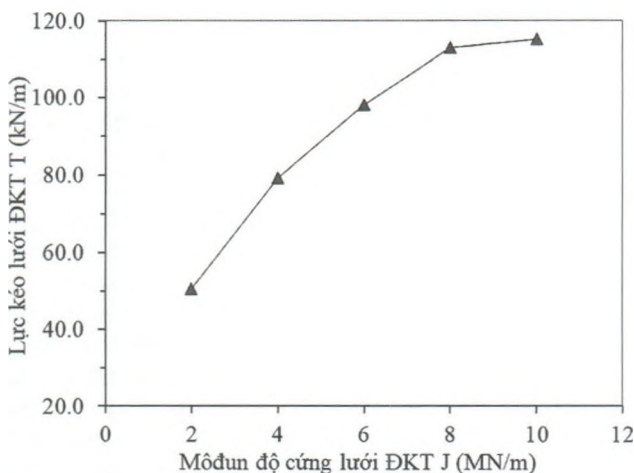
Vật liệu	Mô hình	Thông số vật liệu
Cát đắp	MC	$\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$; $\varphi = 35^\circ$; $c = 3 \text{ kPa}$; $E = 10 \text{ MPa}$; $n = 0,3$
Bùn sét	MC	$\gamma = 16,6 \text{ kN/m}^3$; $\varphi = 7^\circ$; $c = 8,5 \text{ kPa}$; $E = 1 \text{ MPa}$; $n = 0,35$
Cọc ĐXM	MC	$\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$; $\varphi = 0^\circ$; $c = 750 \text{ kPa}$; $E = 150 \text{ MPa}$; $n = 0,3$
Lưới ĐKT	LE	$J = 2.000 - 10.000 \text{ kN/m}$

Phân tích sự làm việc của cọc ĐXM kết hợp lưới ĐKT cường độ cao trong các trường hợp thay đổi các yếu tố ảnh hưởng:

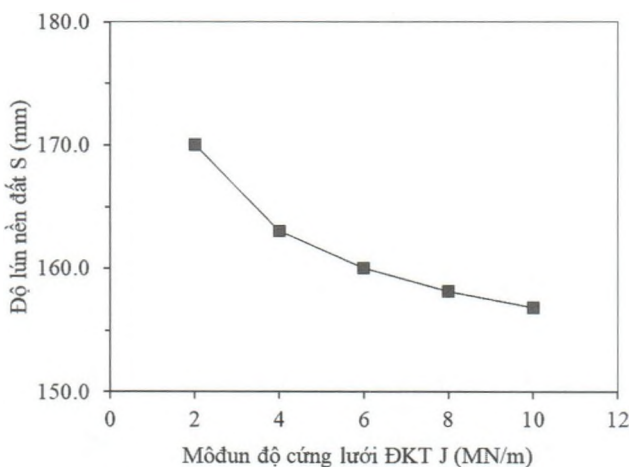
- Trường hợp 1: Thay đổi mô-đun độ cứng của lưới ĐKT J từ 2.000 kN/m đến 10.000 kN/m



Hình 3.2: Hệ số tập trung ứng suất do ảnh hưởng mô-đun độ cứng lưới ĐKT



Hình 3.3: Lực kéo lưới do ảnh hưởng mô-đun độ cứng lưới ĐKT



Hình 3.4: Độ lún nền đất yếu do ảnh hưởng mô-đun độ cứng lưới ĐKT

Từ biểu đồ Hình 3.2 - Hình 3.4, một số nhận xét được rút ra:

- Lưới ĐKT có tác dụng làm tăng hệ số ứng suất, tức là tăng khả năng truyền tải vào cọc ĐXM, giảm áp lực truyền vào nền đất yếu xung quanh cọc. Khi mô-đun độ cứng tăng thì hệ số tập trung ứng suất tăng từ 5 - 10%. Tuy nhiên, khi $J > 8.000 \text{ kN/m}$, độ cứng của lưới đủ lớn tạo thành lớp truyền tải mềm cố định, hệ số tập trung ứng suất ít thay đổi.

- Khi mô-đun độ cứng J tăng, lực kéo lưới ĐKT tăng đáng kể từ 60 - 130%. Điều này cho thấy, khi J càng lớn, hiệu ứng màng càng rõ rệt, phát huy lực kéo lưới càng cao. Đến khi $J > 8.000 \text{ kN/m}$, lưới đạt đến độ cứng ổn định thì lực kéo thay đổi không đáng kể.

- Hệ quả của lưới ĐKT khi tăng mô-đun độ cứng J , làm tăng truyền tải vào cọc ĐXM, đồng thời làm tăng lực kéo lưới - tạo ra hiệu ứng màng làm giảm truyền tải vào nền đất yếu, từ đó độ lún nền đất yếu giảm từ 4 - 8,5%.

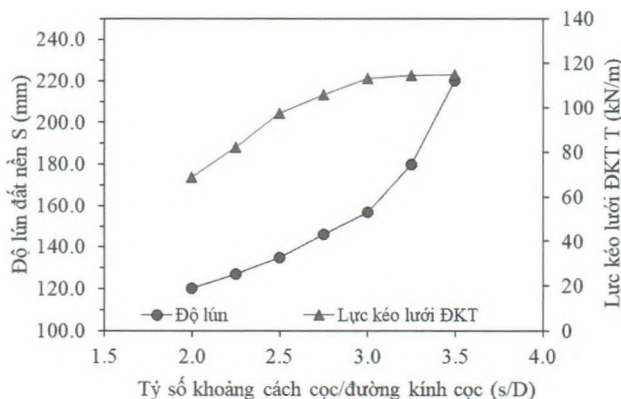
Như vậy, với mô-đun độ cứng lưới $J > 8.000 \text{ kN/m}$, lưới ĐKT đã đủ độ cứng để tạo ra hiệu ứng vòm trong khối đắp (thể hiện qua hệ số tập trung ứng suất) và hiệu ứng màng trong lớp lưới ĐKT (thể hiện qua lực kéo lưới) đã ổn định. Sử dụng kết quả $J = 8.000 \text{ kN/m}$ để nghiên cứu ảnh hưởng của việc thay đổi khoảng cách cọc.

- Trường hợp 2: Thay đổi tỷ số khoảng cách cọc/đường kính cọc (s/D) khi mô-đun độ cứng của lưới ĐKT $J = 8.000 \text{ kN/m}$

Sử dụng các thông số mô hình vật liệu như Bảng 2.1 với mô-đun độ cứng lưới không đổi $J = 8.000 \text{ kN/m}$, thay đổi tỷ số khoảng cách cọc/đường kính cọc (s/D) từ 2 lần đến 3,5 lần.

Từ biểu đồ Hình 3.5 cho thấy, tỷ số s/D ảnh hưởng nhiều đến hiệu quả lực kéo lưới ĐKT và độ lún đất nền. Khi s/D tăng từ 2 - 3 lần, lực kéo lưới tăng lên rõ rệt (tăng hiệu ứng màng trong lớp lưới ĐKT), trong khi độ lún đất nền tăng chậm.

Ngoài ra, khi tỷ số $s/D > 3$, lực kéo lưới ĐKT có xu hướng tăng không đáng kể do việc hình thành vòm đất ổn định, phù hợp với nghiên cứu [11]. Đồng thời, độ lún đất nền tăng nhanh khi khoảng cách giữa các cọc quá lớn, hiệu ứng màng không đủ lớn để hiệu quả giảm lún trong trường hợp này.



Hình 3.5: Độ lún nền đất và lực kéo lưới ĐKT do ảnh hưởng tỷ số khoảng cách cọc/đường kính cọc

4. KẾT LUẬN

Sau khi tiến hành thí nghiệm kéo lưới ĐKT, phân tích số mô hình hệ cọc đất ĐXM trong xử lý nền đất yếu do ảnh hưởng của mô-đun độ cứng lưới ĐKT cho thấy:

Ngoài ảnh hưởng của các yếu tố (chiều cao đất đắp, thông số đất đắp, loại cọc...) đã được nghiên cứu trong các lý thuyết, tiêu chuẩn, mô-đun độ cứng của lưới ĐKT cũng ảnh hưởng đến hiệu ứng vòm trong khối đắp và hiệu ứng màng trong lớp lưới ĐKT. Khi mô-đun độ cứng lưới ĐKT tăng, làm tăng hệ số tập trung ứng suất và lực kéo lưới ĐKT, giảm độ lún nền đất xung quanh cọc.

Với lưới ĐKT có mô-đun độ cứng đủ lớn $J > 8.000 \text{ kN/m}$, tỷ số khoảng cách cọc/đường kính cọc (s/D) bố trí hợp lý từ 2 - 3 lần để hạn chế độ lún đất nền trong xử lý nền đất yếu.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học GTVT trong Đề tài mã số T2021-CT-034.

Tài liệu tham khảo

[1]. Han J. (2000), *Pile-Soil-Geosynthetic Interactions in Geosynthetic Reinforced Platform/Piled Embankments over Soft Soil*, 79th Annual Transportation Research Board Meeting, no.000777, pp.1-25.

- [2]. Kempfert H. G. (2003), *Ground improvement methods with special emphasis on column-type techniques*, Workshop on Geotechnics of Soft Soils-Theory and Practice, pp.101-112.
- [3] . Yapage N.N.S., Liyanapathirana D.S., Poulos H.G., Kelly R.B., and Leo C.J. (2013), *Numerical modelling of geotextile reinforced embankments over deep cement mixed columns incorporating strain - softening behaviour of columns*, International Journal of Geomechanics, 7, pp.1-62
- [4]. Eekelen S. J. M. V., Bezuijen A. and Van Tol A. F. (2011), *Analysis and modification of the British Standard BS8006 for the design of piled embankment*, Geotextiles and Geomembranes, 29(3), pp.345-359.
- [5] . Han J. and Gabr M. A. (2002), *Numerical Analysis of Geosynthetic-Reinforced and Pile-Supported Earth Platforms over Soft Soil*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 128(1), pp.44-53
- [6]. Balasubramaniam K. M. (1995), *Overconsolidated Behavior of Cement Treated Soft Clay*, In Proceedings of the Tenth Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, (1), pp.1-10.
- [7] . Bergado D. T., Long P. V and Murthy B. R. S. (2002), *A case study of geotextile-reinforced embankment on soft ground*, Geotextiles and Geomembranes, (20), pp.343-365.
- [8] . Hello B. L. and Villard P. (2009), *Embankments reinforced by piles and geosynthetics - Numerical and experimental studies dealing with the transfer of load on the soil embankment*, Engineering Geology, 106(2), pp.78-91.
- [9]. Lorenzo D., Bergado D., and Soralump (2006), *New and Economical Mixing Method of Cement-Admixed Clay for DMM Application*, Geotechnical Testing Journal, 29 (1), pp.54-63.
- [10]. Shrestha S., Manandhar S., Hino T., and Chai J. C. (2019), *Behavior of reinforced embankment on CDM column improved soft clay deposit*, Lowland Technology International, 20(4), pp.455-468.
- [11]. Yapage N. N. S. (2013), *Numerical modelling of geosynthetic reinforced embankments over soft ground improved with deep cement mixed columns*, University of Western Sydney.

Ngày nhận bài: 09/01/2022

Ngày chấp nhận đăng: 12/02/2022

Người phản biện: TS. Nguyễn Công Định

TS. Nguyễn Xuân Tùng