

ẢNH HƯỞNG CỦA ÁP LỰC ARTESIAN ĐẾN ỨNG XỬ NỀN ĐƯỜNG TRÊN NỀN ĐẤT YẾU

NGUYỄN QUANG DŨNG, NGUYỄN BÁ PHÚ

*Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Công nghiệp thành phố Hồ Chí Minh
nguyenquangdung@iuh.edu.vn*

Tóm tắt. Áp lực artesian từ tầng chứa nước ảnh hưởng đáng kể đến ứng xử của lớp đất yếu như quá trình cố kết và sự ổn định trong nền. Việc sử dụng các lời giải giải tích để xem xét ảnh hưởng của áp lực artesian đến quá trình phân tích ổn định còn khó khăn trong thực tế. Do đó, bài báo này sử dụng phương pháp số để đánh giá ứng xử của nền đường trên đất yếu chịu áp lực artesian, trong đó ứng xử cố kết và ổn định của nền đường sẽ được tập trung để phân tích và đánh giá. Trường hợp nghiên cứu áp lực artesian pressure ở khu vực nền đường Yangsan sẽ được phân tích chi tiết. Kết quả phân tích số cho thấy rằng, áp lực artesian gây cản trở đáng kể đến quá trình cố kết và làm giảm sự ổn định của công trình đường trên nền đất yếu. Độ lún của nền đất yếu chịu áp lực artesian lớn hơn đáng kể so với trường hợp không xét artesian do ứng suất hữu hiệu ban đầu giảm đáng kể khi có áp lực artesian. Từ các kết quả đạt được, các tác giả đề nghị rằng cần xem xét sự hiện diện của áp lực artesian và mức độ ảnh hưởng của nó để dự báo lún, tốc độ cố kết và ổn định cho công trình đường trên nền đất yếu.

Từ khóa. Áp lực artesian, nền đất yếu, lún, cố kết, ổn định nền đường

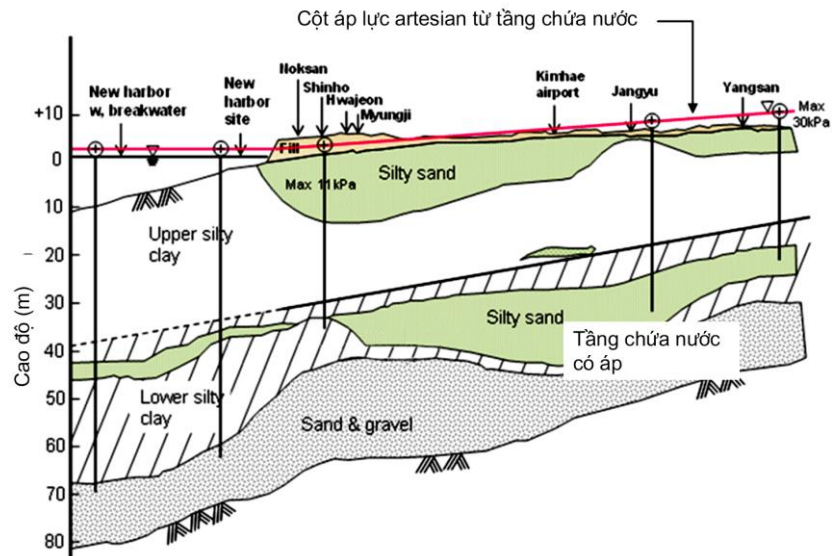
EFFECTS OF ARTESIAN PRESSURE ON BEHAVIOR OF EMBANKMENT ON SOFT SOIL

Abstract. Artesian pressure from aquifer layer affects significantly behavior of upper soft deposits in the consolidation process and soft ground stability. An analytical solution for the soft soil consolidation considering the artesian pressure is difficult in practice. Therefore, this paper uses numerical method to estimate the behavior of embankment on soft soil subjected to artesian pressure, in which consolidation behavior and stability of embankment are focused to investigate. The case study in Yangsan embankment with artesian pressure is chosen in a detail analysis. The results indicated that the artesian pressure make a delay of consolidation procedure and decrease the stability of embankment on soft soil. The settlement of soft ground subjected to artesian pressure is larger than that of without artesian pressure because of decreasing effective stress with artesian. Based on the obtained results, author recommend that the geotechnical engineer should consider artesian pressure existing in soft soil and its effects in settlement prediction and stability analysis.

Keywords. Artesian pressure, soft soil ground, settlement, consolidation, stability

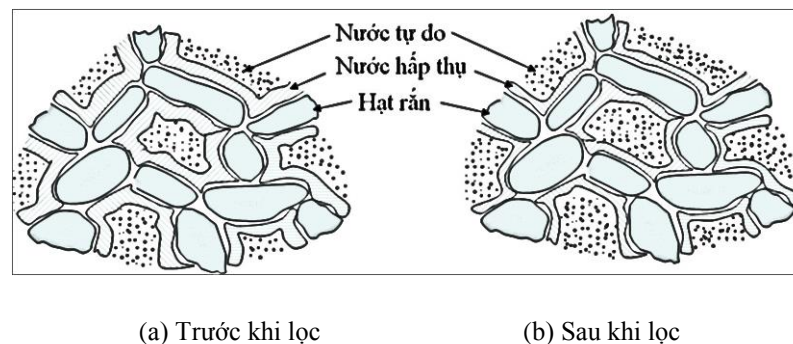
1 GIỚI THIỆU

Đối với các công trình đường đắp trên nền đất yếu, việc phân tích ứng xử của nền đất yếu là vấn đề quan trọng trong địa kỹ thuật, trong đó ứng xử cố kết và tính ổn định nền đường là hai vấn đề cần quan tâm nhất [1-3]. Các tầng chứa nước cũng là một yếu tố ảnh hưởng đáng kể đến ứng xử của lớp địa chất dưới nền đường, đặc biệt khi các tầng này có áp lực lớn từ phía có địa hình cao. Áp lực này thường gây ra áp lực phun từ phía dưới trong công tác khoan địa chất, hay còn gọi là áp lực artesian. Hình 1 minh họa tầng chứa nước có áp lực artesian, gây ảnh hưởng đến lớp đất yếu bên trên. Lớp đất yếu chịu ảnh hưởng của áp lực artesian thường chịu một áp lực hướng lên và có áp lực nước lỗ rỗng ban đầu ở trạng thái tĩnh lớn hơn so với các trường hợp bình thường.



Hình 1 Minh họa tầng áp lực artesian ở khu vực Busan [4]

Theo một số nghiên cứu trên thế giới [5-7], hàm lượng muối trong đất có thể bị giảm đi do các hiện tượng lọc tự nhiên khi chịu áp lực artesian với dòng thấm từ phía dưới lên. Điều này dẫn tới việc đất nhiễm mặn bị lọc tự nhiên sẽ làm thay đổi đặc trưng cơ lý của đất so với ban đầu, do đó sức chịu tải của nền đất cũng sẽ giảm đi rất nhanh. Cụ thể sức kháng cắt không thoát nước giảm đáng kể khi đất chịu áp lực artesian [7]. Áp lực nước lỗ rỗng thặng dư tiêu tán chậm cũng làm ảnh hưởng đến quá trình phát triển cường độ của loại đất này. Từ đó, gây nên những ảnh hưởng đáng kể đến sự ổn định của công trình xây dựng ở các khu vực đất nhiễm mặn. Hình 2 minh họa cho sự tác động của việc lọc muối do áp lực artesian, gây ra sự giảm bề dày của lớp nước hấp thụ.



Hình 2. Ảnh hưởng của việc lọc muối đến cấu trúc của đất sét nguyên dạng vùng biển [5]

Nhìn chung, áp lực artesian thường hiện diện trong lớp đất yếu ở các khu vực sông, thung lũng, ở các khu vực đồng bằng được bao quanh là địa hình cao như đất yếu Busan, Yangsan (Hàn Quốc). Một số nghiên cứu của Kim [8] cho thấy rằng áp lực artesian gây ra sự lọc muối ở khu vực gần biển dẫn đến tăng tính lún trong đất và do đó độ lún xảy ra lớn hơn so với dự đoán, ngoài ra do sự giảm các thông số cường độ của đất làm giảm tính ổn định của đất nền.

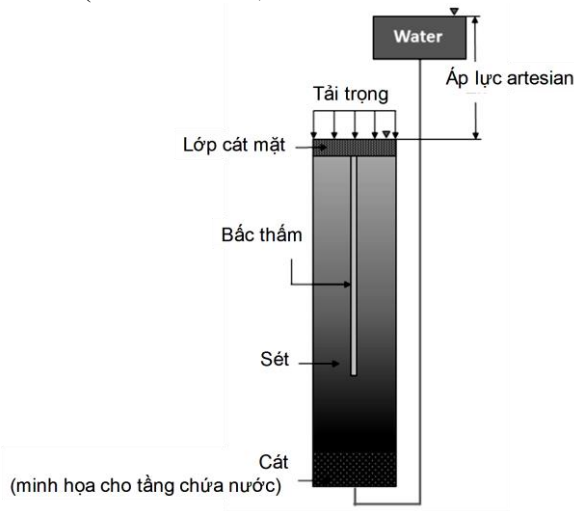
Gần đây, Kim và cộng sự [7] tiến hành khảo sát ảnh hưởng của áp lực artesian đối với ứng xử cổ kết qua các mô hình thí nghiệm trong phòng. Kết quả cho thấy rằng áp lực artesian gây cản trở việc phát triển cường độ của lớp đất yếu. Áp lực nước lỗ rỗng trong đất với áp lực artesian lớn hơn so với trường hợp đất không có áp lực artesian. Kết quả thí nghiệm của Kim và cộng sự [7] cho thấy rằng áp lực artesian ảnh hưởng đáng kể đến ứng xử của lớp đất yếu, tuy nhiên đến nay rất ít nghiên cứu về sự ảnh hưởng của áp lực artesian đến sự ổn định của nền đường. Một số phương pháp phân tích ổn định trước đây thường không xét sự hiện diện của áp lực này do đó có thể dẫn đến giảm tính an toàn trong thiết kế. Ngoài ra, các phương pháp phân tích cổ kết dựa vào lời giải thông thường của Tezaghi [9] thường không xét đến sự thay đổi ứng suất có

hiệu theo chiều sâu đất nền. Do đó việc đánh giá cố kết của lớp đất yếu với áp lực artesian là thách thức trong địa kỹ thuật. Do vậy, việc dùng phương pháp số để xét đến ảnh hưởng áp lực artesian là công cụ tốt trong kỹ thuật.

Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của áp lực artesian đến sự ổn định nền đường và ứng xử cố kết sẽ được đánh giá qua phương pháp phân tử hữu hạn. Kết quả thu được từ phân tích số có xem xét đến áp lực artesian được so sánh với kết quả quan trắc hiện trường cho nền đường đắp khu vực Yangsan (Hàn Quốc). Sự ảnh hưởng của độ lớn áp lực artesian cũng được khảo sát trong nghiên cứu này.

2 ẢNH HƯỞNG ÁP LỰC ARTESIAN ĐẾN ỨNG XỬ CỦA ĐẤT YẾU

Các khu vực đồng bằng thường được hình thành ở các thung lũng, nơi mà vị trí các khu vực đồng bằng này thường nằm bên cạnh sườn núi và dọc theo các nhánh sông lớn. Tầng chứa nước nằm dưới các lớp đất yếu thường chịu áp lực nước lớn hơn áp lực thủy tĩnh trong nền, điều này được giải thích do các tầng chứa nước này chịu áp lực nước từ các vùng núi bên trên [7, 10]. Áp lực này có thể tăng lên đáng kể vào mùa mưa khi lưu lượng nước lớn từ tầng chứa nước. Hình 3 mô tả rõ ràng hơn cho trường hợp áp lực artesian lên lớp đất yếu bên trên qua mô hình thí nghiệm của Kim và cộng sự [7]. Một số tác giả [11-13] cho thấy rằng các khu vực đồng bằng ở gần sông Nakdong (khu vực Busan) thường chịu áp lực artesian từ tầng chứa nước với cột nước đo được từ 1.11 m đến 5.0 m ($\Delta h = 1.1 \div 5.0$).



Hình 3 Minh họa áp lực artesian bằng mô hình thí nghiệm của Kim và cộng sự [7]

Bierrum [14] cũng báo cáo về ảnh hưởng áp lực artesian đến ứng xử của nền đất yếu cho các khu vực đồng bằng ở Na Uy. Áp lực artesian gây ra những thay đổi tính chất của đất liên quan đến cấu trúc đất, ứng xử cố kết, khả năng chịu tải của đất nền. Một số nghiên cứu [7, 8, 10, 14] cho rằng khi lớp đất yếu chịu áp lực artesian từ dưới lên, các lớp đất này có thể bị lọc muối, qua đó tính nén lún của đất này sẽ tăng lên. Do quá trình lọc muối do áp lực từ phía dưới, cường độ kháng cắt của đất sẽ bị suy giảm và hệ số OCR cũng giảm đáng kể. Tất cả những yếu tố này dẫn đến quá trình lún diễn ra lâu hơn và lớn hơn so với đất không chịu áp lực artesian. Tuy nhiên bài báo này chỉ tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của áp lực artesian đến quá trình cố kết và sự ổn định của công trình trên nền đất yếu. Trong nghiên cứu này, phương pháp phân tử hữu hạn được sử dụng để đánh giá ảnh hưởng của áp lực artesian đến ứng xử biến dạng và kháng cắt của đất nền. Nhìn chung, khi nền đất yếu chịu áp lực artesian, ứng suất có hiệu trong nền sẽ giảm do áp lực nước trong lỗ rỗng gia tăng. Điều này ảnh hưởng đáng kể đến ứng xử chịu tải và cố kết của nền đất yếu.

2.1 Ảnh hưởng áp lực artesian đến quá trình cố kết trong đất

Lu và cộng sự [15] phân tích quá trình cố kết xét đến ứng xử phi tuyến của đất. Kết quả cho thấy rằng ứng xử cố kết trong đất nền phụ thuộc nhiều yếu tố như: tính nén lún (chỉ số nén C_c , chỉ số nở C_r), mức độ giảm hệ số thấm theo thời gian (hệ số C_k), ứng suất có hiệu ban đầu trong đất (σ'_{vo}). Kim và cộng sự [7] thực hiện thí nghiệm cố kết trong phòng cho trụ đất chịu áp lực artesian. Kết quả cho thấy rằng khi chịu áp lực artesian, quá trình cố kết bị trì hoãn đáng kể so với trụ đất không chịu áp lực artesian. Jang và Kim [16] thực hiện mô phỏng số với Flow 3D model, kết quả cũng thể hiện đất yếu chịu áp lực artesian cố kết chậm hơn và độ lún lớn hơn so với trường hợp bình thường.

Nhìn chung, ảnh hưởng áp lực artesian trong quá trình cố kết phải được xem xét trong phân tích ứng xử cố kết. Tuy nhiên, theo hiểu biết của nhóm tác giả thì mức độ quan tâm xem xét áp lực artesian đến quá trình cố kết của đất còn hạn chế.

2.2 Ảnh hưởng áp lực artesian đến ổn định nền đường trên yếu

Theo Bjerrum [17], cường độ kháng cắt của nền đất yếu được tính toán theo công thức sau:

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi \quad (1)$$

trong đó τ_f là cường độ kháng cắt của đất nền; c' là lực dính của đất; ϕ là góc ma sát trong của đất; σ' là ứng suất có hiệu trong đất được tính toán theo ứng suất tổng như sau:

$$\sigma' = \sigma_{tot} - u_{tinh} - \Delta u \quad (2)$$

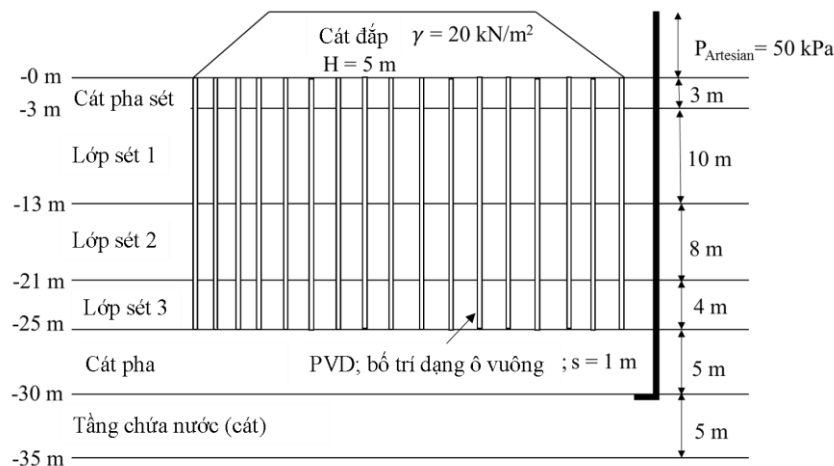
trong đó σ_{tot} là ứng suất tổng trong đất; u_{tinh} là áp lực nước lỗ rỗng ở trạng thái tĩnh; Δu là áp lực nước lỗ rỗng thặng dư, phát sinh trong quá trình chất tải, áp lực này sẽ tiêu tán theo thời gian.

Dựa vào nghiên cứu của Kim và cộng sự [7], các tác giả cho thấy rằng đối với đất sét yếu chịu áp lực artesian, áp lực nước lỗ rỗng thặng dư tiêu tán chậm hơn sau khi chất tải. Điều này có nghĩa là sự phát triển cường độ chậm hơn so với các loại đất thông thường không chịu áp lực artesian. Khi đó ứng suất có hiệu trong nền nhỏ hơn so với bình thường. Điều này ảnh hưởng đến sự ổn định trong nền đất yếu dưới tải trọng công trình.

Ở Việt Nam, các vùng đất ở khu vực Cần Giờ, Thành phố Hồ Chí Minh ngày càng bị xâm nhập mặn nhiều hơn. Hàm lượng muối trong đất tăng sẽ làm tăng sức chống cắt của đất. Tuy nhiên nếu vì một lý do nào đó như thấm nước mưa, dòng thấm làm cho hàm lượng muối giảm thì sức chống cắt cũng giảm theo rất nhanh [18]. Cơ chế lọc muối ở các khu vực này tương tự như hiện tượng lọc muối do áp lực artesian. Nói chung quá trình này làm giảm đáng kể hai thông số quan trọng liên quan đến cường độ đất nền như lực dính c và góc ma sát trong ϕ . Trong đó, ϕ giảm không đáng kể, nhưng lực dính c giảm từ 40% đến 50% so với mẫu ban đầu [18]. Sự giảm các thông số này làm giảm đáng kể sự ổn định của đất nền dưới công trình xây dựng.

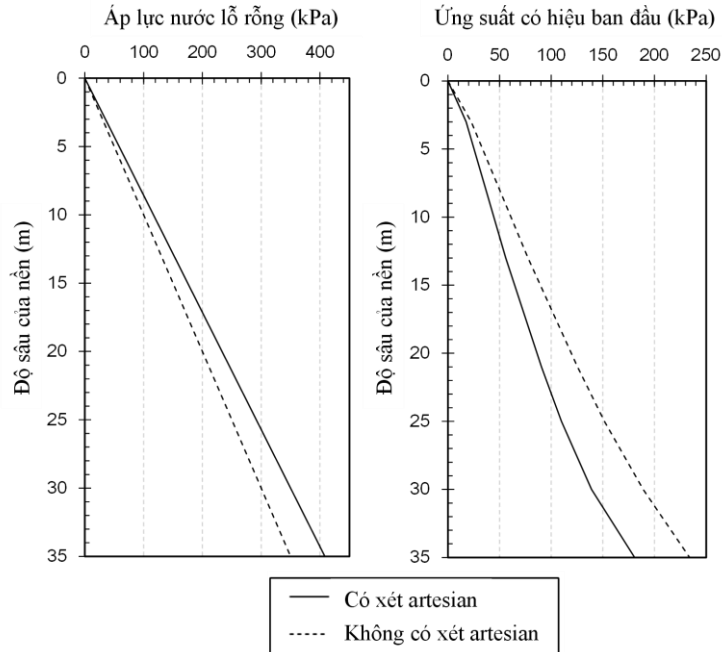
3 PHÂN TÍCH ỔN ĐỊNH VÀ ỨNG XỬ CỐ KẾT NỀN ĐƯỜNG TRÊN ĐẤT YẾU BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

Để phân tích ổn định và ứng xử cố kết nền đường trên đất yếu, nghiên cứu này sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn với công cụ Plaxis 2D, V8 [19] để phân tích ảnh hưởng của áp lực artesian đến ứng xử của đất. Jang và Kim [16] trình bày một trường hợp nghiên cứu cho nền đường xây dựng trên nền đất yếu chịu áp lực artesian với áp lực là 50 kPa (độ chênh cột áp lực artesian là 5 m). Nền đường được gia cố bậc thấm với khoảng cách là 1 m, bố trí dạng hình vuông. Đặc điểm địa chất được trình bày cụ thể trong nghiên cứu của Jang và Kim [16]. Bài báo này tóm tắt sơ lược như sau: lớp đầu là lớp cát pha dày 3 m; phía dưới là các lớp đất yếu gồm lớp sét 1 dày 10 m, lớp sét 2 dày 8 m, lớp sét 3 dày 4 m; dưới lớp sét là lớp cát pha dày 5 m; bên dưới là tầng chứa nước với lớp cát có áp lực 50 kPa (độ chênh cột nước là 5 m). Nền đường được đắp cao 5 m với dung trọng tự nhiên đất đắp là $\gamma_{dap} = 20 \text{ kN/m}^3$. Mặt cắt ngang nền đường Yangsan được thể hiện như Hình 4.



Hình 4 Mặt cắt ngang nền đường Yangsan [7]

Trong mô hình phẳng Plaxis 2D, ảnh hưởng của áp lực artesian được mô phỏng bằng áp lực nước lỗ rỗng và ứng suất có hiệu ban đầu trong đất nền. Đối với nền đường Yangsan chịu áp lực artesian 50 kPa, áp lực này xem như phân bố giảm tuyến tính đến mặt đất tự nhiên. Vì áp lực nước lỗ rỗng ban đầu trong trường hợp xem xét áp lực artesian lớn hơn, do đó ứng suất có hiệu ban đầu trong trường hợp này nhỏ hơn. Hình 5 thể hiện sự phân bố áp lực nước lỗ rỗng và ứng suất có hiệu ban đầu trong đất nền cho hai trường hợp xem xét và bỏ qua áp lực artesian.



Hình 5 Áp lực nước lỗ rỗng và ứng suất có hiệu ban đầu khi xét và không xét đến áp lực artesian

Chai và cộng sự [20] trình bày một phương pháp mô phỏng nền đường gia cố bắc thấm trong mô hình biến dạng phẳng với hệ số thấm theo phương đứng tương đương như sau:

$$k_{ve} = \left(1 + \frac{2.5H^2 k_h}{\mu D_e^2 k_v} \right) k_v \tag{3}$$

trong đó, k_v và k_h lần lượt là hệ số thấm của đất theo phương đứng và phương ngang của nền đất yếu; H là tổng chiều dài PVD được gia cố; D_e là đường kính của khối lăng trụ tương đương, được định nghĩa trong lời giải Hansbo (1981); μ là hệ số xét đến ảnh hưởng của các yếu tố liên quan đến đặc điểm của nền đất yếu có gia cố PVD, được tính toán theo công thức dưới đây:

$$\mu = \ln \frac{n}{s} + \frac{k_h}{k_s} \ln s - \frac{3}{4} + \frac{2\pi k_h H^2}{q_{wo}} \tag{4}$$

trong đó $n = D_e/D_w$, trong đó D_e được định nghĩa như trên và D_w là đường kính tương đương của bắc thấm. k_s là hệ số thấm theo phương ngang của đất trong phạm vi xáo trộn do thi công đóng bắc thấm. $s = D_s/D_w$, trong đó D_s là đường kính của lớp đất trong vùng xáo trộn; q_w là khả năng thoát nước của bắc thấm. Bảng 1 trình bày các thông số được sử dụng trong mô hình số để phân tích ứng xử của đất nền dưới công trình đường khu vực Yangsan. Các thông số liên quan đến bắc thấm và nền như sau: $D_e = 1.13$ m; $D_w = 0.03$ m; $D_s = 0.6$ m; $q_w = 100$ m³/năm. Ý nghĩa các thông số trên Bảng 1 như sau: SSM: mô hình Soft soil; MC: Mô hình Mohr – Coulomb; e_0 : hệ số rỗng ban đầu; C_k là chỉ số giảm hệ số thấm; OCR: là hệ số tiền cố kết; λ^* và κ^* là các giá trị chỉ số nén và nở trong mô hình Soft soil

Bảng 1: Các thông số trong mô hình số để phân tích ứng xử nền đường Yangsan

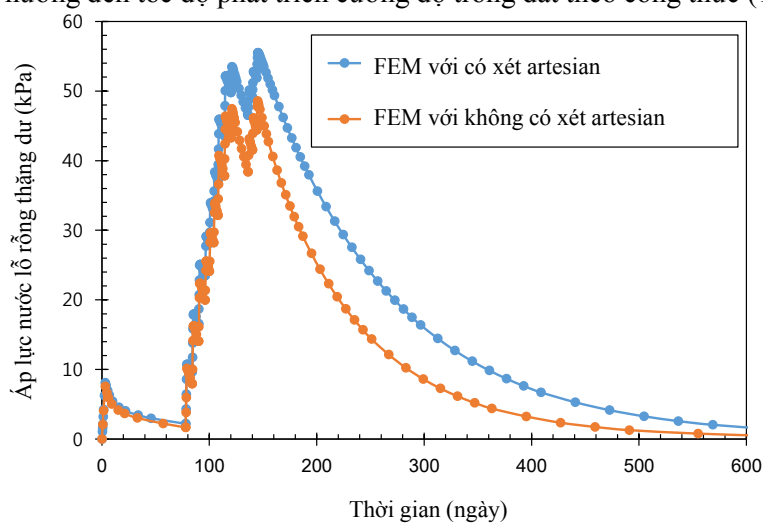
| Các lớp đất nền và thông số | Chiều sâu (m) | Mô hình | γ_{sat} (kN/m ³) | e_0 | C_k | λ^* | κ^* | OCR |
|-----------------------------|---------------|---------|-------------------------------------|-------|-------|-------------|------------|------|
| Cát pha sét | 3 | SSM | 17.5 | 1.2 | 0.6 | 0.04 | 0.01 | 2.00 |

| | | | | | | | | |
|-----------|----|-----|------|-----|------|-------|-------|------|
| Lớp sét 1 | 10 | SSM | 15.5 | 1.8 | 0.9 | 0.124 | 0.031 | 1.50 |
| Lớp sét 2 | 8 | SSM | 16 | 1.7 | 0.85 | 0.113 | 0.028 | 1.10 |
| Lớp sét 3 | 4 | SSM | 16.5 | 1.2 | 0.6 | 0.118 | 0.03 | 1.00 |
| Cát pha | 5 | SSM | 17.5 | 1 | 0.5 | 0.080 | 0.020 | 1.00 |
| Cát | 5 | MC | 19 | | - | | | |

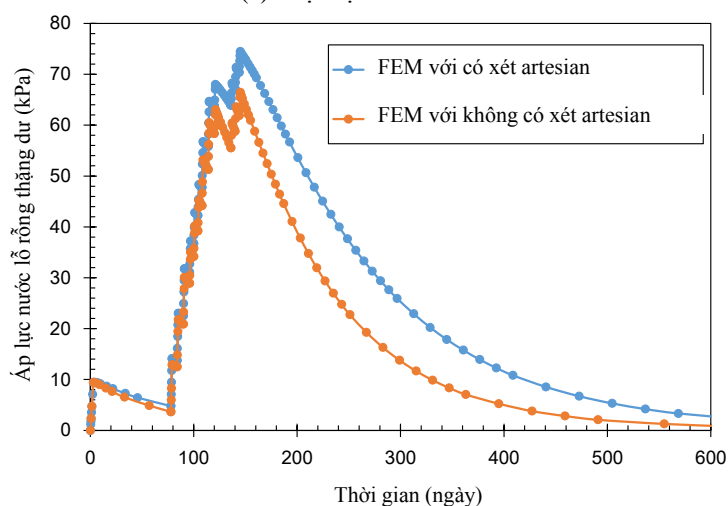
4 KẾT QUẢ PHÂN TÍCH

4.1 Kết quả ứng xử cổ kết của nền đường

Hình 6 trình bày sự so sánh sự tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng theo thời gian giữa các kết quả trong phân tích số cho hai trường hợp có xét đến áp lực artesian và không xét áp lực artesian. Kết quả cho thấy rằng theo chiều sâu, áp lực nước lỗ rỗng thặng dư trong trường hợp có áp lực artesian tiêu tán chậm hơn so với trường hợp không xét đến áp lực artesian. Kết quả này phù hợp với kết quả thí nghiệm trong phòng của Kim và cộng sự [7]. Các kết quả cũng thống nhất và cho rằng áp lực artesian làm chậm đáng kể quá trình cổ kết trong đất, do đó ảnh hưởng đến tốc độ phát triển cường độ trong đất theo công thức (1).



(a) Tại độ sâu 8 m



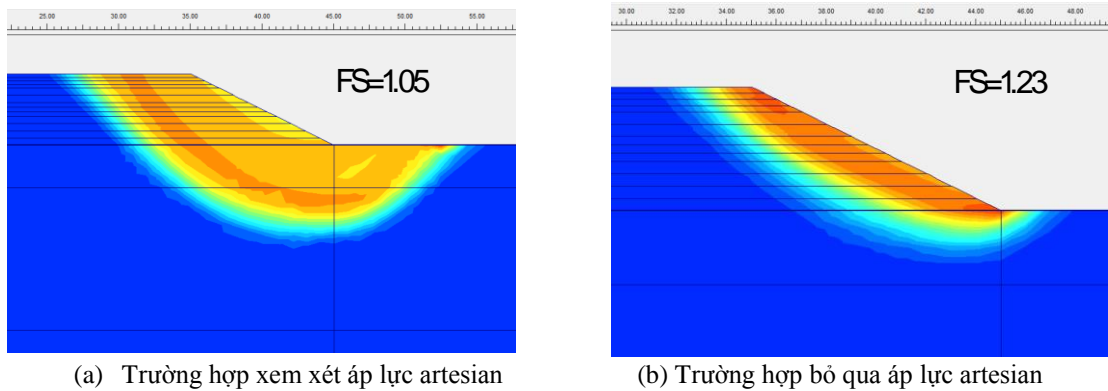
(b) Tại độ sâu 17 m

Hình 6. So sánh sự tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng theo thời gian giữa kết quả quan trắc và phân tích số cho hai trường hợp có và không có xem xét áp lực artesian (a) tại độ sâu 8 m; (b) tại độ sâu 10 m

4.2 Kết quả phân tích ổn định của nền đường

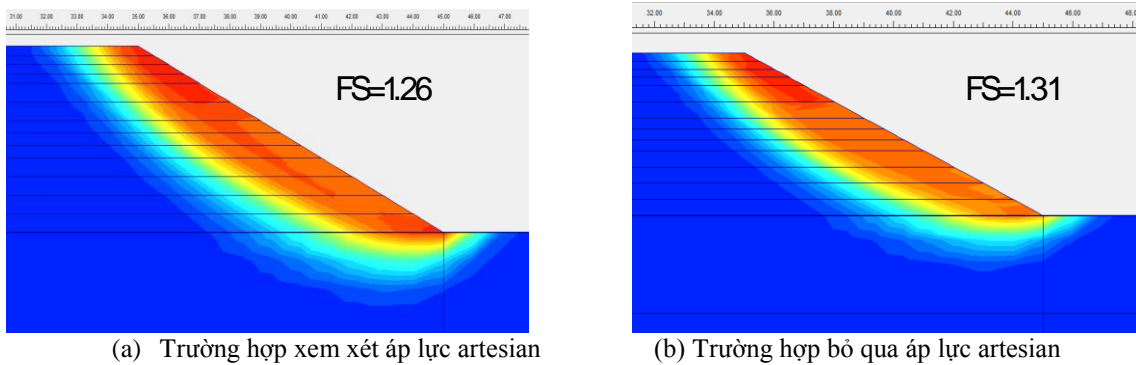
Hình 7 trình bày kết quả phân tích ổn định tại thời điểm khi thi công xong trong nền cho hai trường hợp có

và không có xem xét áp lực artesian. Kết quả cho thấy rằng tại thời điểm này, sự ổn định của nền đường chịu ảnh hưởng áp lực artesian khá đáng kể. Tỷ số hệ số ổn định trong hai trường hợp này là $1.23/1.05 = 1.17$



Hình 7 So sánh sự ổn định của nền đường tại thời điểm thi công xong cho hai trường hợp: (a) trường hợp có xem xét áp lực artesian; (b) trường hợp bỏ qua áp lực artesian

Hình 8 trình bày kết quả phân tích ổn định tại thời điểm khi nền đã cố kết xong (ở đây giả sử tại thời điểm 400 ngày sau khi thi công xong) cho hai trường hợp có và không có xem xét áp lực artesian. Tương tự, kết quả cho thấy rằng tại thời điểm này, sự ổn định của nền đường cũng chịu ảnh hưởng áp lực artesian. Tuy nhiên tại thời điểm này, sự ảnh hưởng của áp lực artesian đến độ ổn định ít đáng kể so với tại thời điểm thi công xong. Tỷ số hệ số ổn định trong hai trường hợp này là $1.31/1.26 = 1.03$. Kết quả này cho thấy rằng ứng xử của nền đường trong lâu dài sẽ ít chịu ảnh hưởng của áp lực artesian. Kết quả này cũng phù hợp với kết quả tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư, được thể hiện như Hình 6. Hình 6 cho thấy rằng sau thời điểm 400 ngày, áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư trong hai trường hợp khác nhau không đáng kể. Nói cách khác, mức độ ảnh hưởng của áp lực artesian đến quá trình cố kết có thể giảm dần theo quá trình cố kết.



Hình 8 So sánh sự ổn định của nền đường khi nền cố kết xong (giả sử sau 400 ngày sau khi thi công xong) cho hai trường hợp: (a) trường hợp có xem xét áp lực artesian; (b) trường hợp bỏ qua áp lực artesian

5 KẾT LUẬN

Bài báo này tiến hành sử dụng phương pháp phân tích số (phần tử hữu hạn) nhằm phân tích ảnh hưởng của áp lực artesian đến ứng xử nền đường xây dựng trên đất yếu. Qua kết quả phân tích thu được, bài báo có những kết luận như sau:

- Áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư dưới nền đường chịu áp lực artesian tiêu tán chậm hơn so với trường hợp nền đất yếu không chịu áp lực artesian;
- Sự trì hoãn trong quá trình cố kết do sự hiện diện áp lực artesian ảnh hưởng đáng kể đến sự ổn định nền đường, hệ số an toàn trong suốt quá trình cố kết đối với nền đất yếu chịu áp lực artesian luôn nhỏ hơn trường hợp không có xét áp lực này. Mức độ ảnh hưởng áp lực artesian giảm dần theo quá trình cố kết của nền đất yếu;
- Kết quả cho thấy sự ảnh hưởng đáng kể của áp lực artesian đến ứng xử của nền đất yếu, do đó các tác giả đề nghị cần phải xem xét áp lực này trong công tác thiết kế và xử lý nền đất yếu.

LỜI CẢM ƠN

Các tác giả xin cảm ơn Trường Đại học Công Nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh đã hỗ trợ kinh phí cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Chai, J. C., N. Miura, S. Sakajo, and D. T. Bergado. 1995. "Behavior of vertical drain improved subsoil under embankment loading." *Soils Found.* 35 (4): 49–61. https://doi.org/10.3208/sandf.35.4_49.
2. Hird, C. C., I. C. Pyrah, and D. Russell. 1992. "Finite element modelling of vertical drains beneath embankments on soft ground." *Géotechnique* 42 (3): 499–511. <https://doi.org/10.1680/geot.1992.42.3.499>.
3. Atkinson, M. S., and P. J. L. Eldred. 1981. "Consolidation of soil using vertical drains." *Géotechnique* 31 (1): 33–43. <https://doi.org/10.1680/geot.1981.31.1.33>.
4. Yun, Daeho, Nguyen, B-P., Kim J-H., Kim, Y-T. (2016). A Study of Consolidation Behavior of Clay Ground with Partially Penetrated PVD under Artesian Pressure. *J. Korean Geosynthetics Society* Vol.15 No.1 March. 2016 pp. 47 ~ 57.
5. Skempton, A.W. and Northey, R.D. (1952). The sensitivity of clays. *Géotechnique*, 3, No 1, 30-53.
6. Kim, Y.T. and Do, T.H. (2008). Compressibility characteristic of Busan leached clay. *Int. Sympo. on Lowland Technology, ISLT 2008, Busan, Korea*, pp. 393-398.
7. Kim, Y.T., Nguyen, B-P. and Yun, D.H. (2018). Effect of Artesian Pressure on Consolidation Behavior of Drainage-Installed Marine Clay Deposit. *J. Mater. Civ. Eng.*, 2018, 30(8): 04018156
8. Kim, S. K. 2008. "Characterization of deltaic deposits in the Nakdong River mouth, Busan. Keynote/theme notes." In *Proc., Int. Symp. on Geotechnical and Geophysical Site Characterization*. London: Taylor & Francis.
9. Terzaghi, K., and R. B. Peck. 1967. *Soil mechanics in engineering practice*. New York: Wiley
10. Kim, Y. T., and T. H. Do. 2010. "Effect of leaching on the compressibility of Busan clay." *Geotech. Eng. KSCE J. Civ. Eng.* 14 (3): 291–297. <https://doi.org/10.1007/s12205-010-0291-5>
11. Han, Y. C., and G. Y. Ryu. 1999. "A study on artesian pressure distribution in Yangsan-Mulgum area." [In Korean.] In *Proc., Korean Geotechnical Society*. Seoul: Korean Geotechnical Society
12. Huh, D. Y. 2003. "Research on geotechnical properties for Busan clay in the region of New Port." Ph.D. dissertation, Dong-A Univ.
13. Chung, S. G., S. H. Baek, C. K. Ryu, and S. W. Kim. 2003. "Geotechnical characterization of Pusan clay." In *Proc., Korea-Japan Joint Workshop*, 3–44. Busan, South Korea: ATC-7.
14. Bjerrum, L.(1967). Seventh Rankine Lecture. Engineering geology of Norwegian normally-consolidated marine clays as related to settlements of building. *Géotechnique* 17, No.2, 81-118.
15. Lu, M., Wang, S., Sloan, Scott W., Sheng, D.C., Xie, K.H., 2015. "Nonlinear consolidation of vertical drains with coupled radial-vertical flow considering well resistance. *Geotext. Geomembranes* 43 (2), 182–189
16. Jang, Y.-S., and Y. W. Kim. 2000. "A study of installation depth of vertical drain for weak clay soils with artesian pressure using 3-D numerical flow model." [In Korean.] *J. Geotech. Eng.* 20 (1): 39–46.
17. Leroueil, S., Magnan, J.-P., Tavenas, F., 1990. *Embankment on Soft Clays*. Ellis Horwood Limited, Chichester, UK.

18. Đỗ Thanh Hải và Huỳnh Tấn Phát. 2014. Ảnh hưởng của việc lọc muối đến đặc trưng cơ lý của đất nhiễm mặn ở cần giờ- tp.hcm. Khoa Kỹ Thuật Xây Dựng, Trường Đại học Bách Khoa Tp.HCM.
19. Brinkgreve, R. B. J., and P. A. Vermeer, eds. 1998. PLAXIS: Finite element code for soil and rock analyses. Rotterdam, Netherlands: A.A. Balkema.
20. Chai, J.C., Shen, S.L., Miura, N., Bergado, D.T., 2001. Simple method of modeling PVD improved subsoil. J. Geotech. Geoenviron. Eng. ASCE 127 (11), 965–972

Ngày nộp bài: 29/07/2020

Ngày chấp nhận đăng: 23/11/2020