

# LỜI GIẢI GIẢI TÍCH CHO QUÁ TRÌNH CỔ KẾT THEO PHƯƠNG NGANG CỦA LỚP ĐẤT SÉT YẾU GIA CỔ BẮC THẨM TRÊN TẦNG CHỨA NƯỚC HẠN CHẾ

NGUYỄN BÁ PHÚ\*, NGUYỄN THỊ PHƯƠNG LINH

*Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh*

*\*Tác giả liên hệ: [nguyenbaphu@iuh.edu.vn](mailto:nguyenbaphu@iuh.edu.vn)*

*DOIs: <https://doi.org/10.46242/jstih.v57i03.4396>*

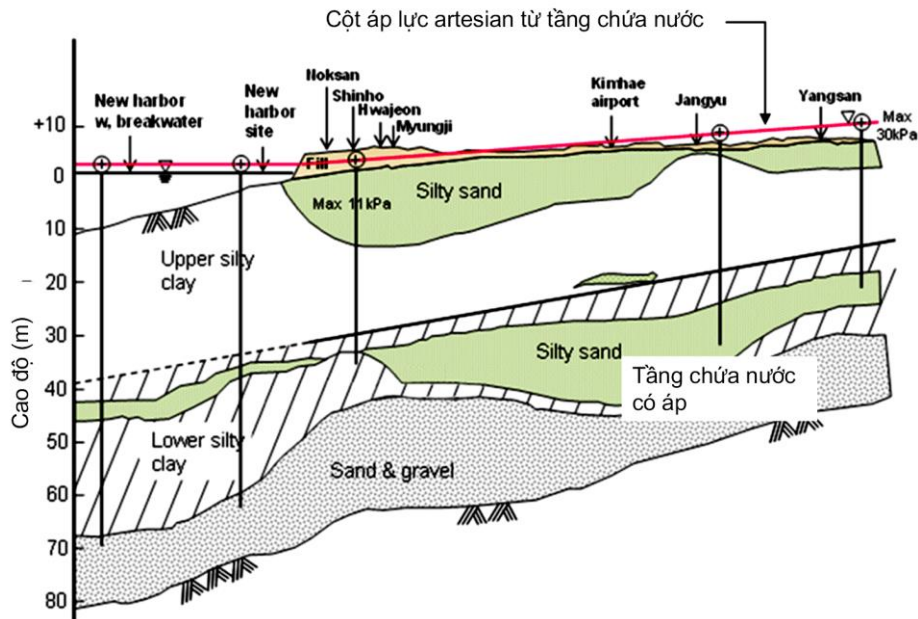
**Tóm tắt.** Tầng chứa nước hạn chế được xem như là tầng nước ngầm nằm phía dưới mực nước ngầm tự do. Tầng chứa nước hạn chế này được tích tụ trong lớp cát, đá hoặc lớp sỏi sạn có tính thấm lớn, thường nằm giữa hai hoặc nhiều lớp không thấm như lớp đất sét, sét yếu. Vì tầng nước hạn chế có áp suất lớn hơn áp suất khí quyển, nên khi tiến hành một lỗ xuống lớp này từ mặt đất, nước có thể bị đẩy lên trên mặt đất (artesian pressure) qua lỗ khoan đó. Có thể thấy rằng lớp đất không thấm (sét, sét yếu) chịu một áp lực đi lên từ tầng nước hạn chế (áp lực artesian). Hiện tượng địa chất này thường được tìm thấy ở các khu vực đồng bằng hay đô thị nằm ở các vùng thung lũng, được bao quanh bởi đồi núi hay khu vực địa hình cao hơn. Việc khảo sát đặc điểm cường độ và ứng xử cổ kết của lớp đất yếu nằm trên tầng chứa nước hạn chế này là cần thiết trong địa kỹ thuật. Nhìn chung các nghiên cứu trước đây chưa đề cập đến vấn đề phức tạp này. Bài báo này tiến hành một lời giải phân tích đặc điểm cổ kết theo phương ngang cho lớp đất sét được gia cố bởi bắc thẩm và chịu áp lực từ dưới lên của tầng chứa nước hạn chế. Kết quả cho thấy tốc độ cổ kết diễn ra chậm hơn so với quá trình cổ kết trong trường hợp của lớp đất yếu không có tầng áp lực nước hạn chế. Lời giải có thể vận dụng cho vấn đề xử lý nền trong trường hợp các lớp đất yếu chịu áp lực từ tầng nước hạn chế.

**Từ khóa.** Tầng chứa nước hạn chế, đất yếu, cường độ, độ ẩm, cổ kết, sét.

## 1. GIỚI THIỆU

Đối với các công trình đường đắp trên nền đất yếu, việc phân tích ứng xử cổ kết của nền đất yếu luôn là vấn đề quan trọng và phức tạp trong địa kỹ thuật. Các đặc điểm của ứng xử cổ kết là vấn đề cần được khảo sát qua các thông số như nước lỗ rỗng ban đầu, tính nén lún, lịch sử quá trình chịu tải. 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. Các tầng chứa nước này thường được gọi là “tầng chứa nước hạn chế” hay tầng chứa nước có áp (tầng áp lực artesian). Tầng chứa nước hạn chế được xem như là tầng nước ngầm nằm phía dưới mực nước ngầm tự do. Tầng chứa nước hạn chế này được tích tụ trong lớp cát, đá hoặc lớp sỏi sạn có tính thấm lớn. Tầng nước hạn chế này thường nằm giữa hai hoặc nhiều lớp không thấm như lớp đất sét, sét yếu. Vì tầng nước hạn chế có áp suất lớn hơn áp suất khí quyển, nên khi tiến hành một lỗ khoan xuống lớp này từ mặt đất, nước có thể bị đẩy lên trên mặt đất (artesian) qua lỗ khoan đó. Có thể thấy rằng lớp đất không thấm (sét, sét yếu) chịu một áp lực đi lên từ tầng nước hạn chế (áp lực artesian). Hiện tượng địa chất này thường được tìm thấy ở các khu vực đồng bằng hay đô thị nằm ở các vùng thung lũng, được bao quanh bởi đồi núi hay khu vực địa hình cao hơn [1].

Hình 1 minh họa tầng chứa nước hạn chế 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: Tầng chứa nước hạn chế ở các khu vực đồng bằng ở Busan [1]

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 Yangsan (Hàn Quốc). Một số nghiên cứu trước đây cho thấy rằng áp lực từ tầng chứa nước hạn chế 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 [1-4]. Gần đây, Kim và cộng sự [2] tiến hành khảo sát ảnh hưởng của áp lực từ tầng chứa nước hạn chế đối với ứng xử cố kết qua các mô hình thí nghiệm trong phòng. Kết quả cho thấy rằng áp lực từ tầng chứa nước hạn chế gây cản trở việc phát triển cường độ của lớp đất yếu. Áp lực nước lỗ rỗng trong đất với áp lực từ tầng chứa nước hạn chế lớn hơn so với trường hợp đất không có áp lực từ tầng chứa nước hạn chế.

Theo một số nghiên cứu trên thế giới [4-5], áp lực từ tầng chứa nước hạn chế có thể tạo ra do thấm nước mưa, dâng hạ mực nước ngầm hoặc các yếu tố khác, từ đó xuất hiện dòng thấm đi xuyên qua các lớp đất, dẫn tới việc làm thay đổi đặc điểm áp lực nước lỗ rỗng ban đầu. Khi chịu tải trọng công trình, áp lực nước lỗ rỗng thặng dư tiêu tán chậm cũng làm ảnh hưởng đến quá trình phát triển cường độ cho lớp đất chịu áp lực từ tầng chứa nước hạn chế.

Việc khảo sát đặc điểm và ứng xử cố kết của lớp đất yếu nằm trên tầng chứa nước hạn chế này là cần thiết trong địa kỹ thuật [3]. Nhìn chung các nghiên cứu trước đây chưa đề cập đến vấn đề phức tạp này. Bài báo này tiến hành một lời giải phân tích đặc điểm cố kết theo phương ngang cho lớp đất sét được gia cố bởi bác thấm và chịu áp lực từ dưới lên của tầng chứa nước hạn chế.

## 2 MÔ HÌNH TOÁN

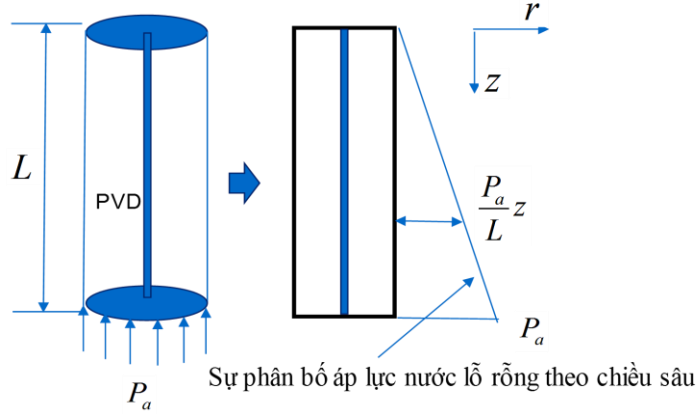
Trong nghiên cứu này, lời giải giải tích sẽ được phát triển cho quá trình cố kết của nền đất yếu được gia cố bác thấm (PVD) trong mô hình đối xứng trục (unit cell), có xem xét ảnh hưởng của áp lực nước từ tầng chứa nước hạn chế. Để phát triển lời giải, một số giả định sau được sử dụng:

- (1) Lời giải giải tích được xây dựng dựa trên mô hình vùng ảnh hưởng như Hình 2;
- (2) Một số giả định từ lời giải giải tích của Hansbo [6] được sử dụng;
- (3) Lời giải được tiến hành với giả thiết biến dạng ( $\varepsilon_v$ ) là một chiều theo phương thẳng đứng (1-D);
- (4) Tải trọng tác dụng lên mô hình unit cell được xem như là tức thời với giá trị  $U_0$
- (5) Bỏ qua ảnh hưởng của sự xáo trộn đất trong quá trình cắm bác thấm;
- (6) Áp lực từ tầng chứa nước xảy ra trong suốt quá trình cố kết với giá trị áp lực là  $P_a$ ;
- (7) Bỏ qua sự thấm từ dưới lên của áp lực  $P_a$ , chỉ xét ảnh hưởng áp lực  $P_a$  thay đổi tuyến tính theo chiều sâu lớp đất theo quy luật áp lực nước thủy tĩnh;

LỜI GIẢI GIẢI TÍCH CHO QUÁ TRÌNH CỐ KẾT...

- (8) Áp lực  $P_a$  là áp lực ngược từ tầng chứa nước hạn chế, sẽ làm trì hoãn quá trình cố kết của đất. Nếu gọi  $u_w$  là áp lực nước lỗ rỗng tại bán kính  $r_w$ , các điều kiện sau có thể sử dụng:

$$\begin{aligned} z=0; u_w &= 0 \\ z=L; \frac{\partial u_w}{\partial z} &= \frac{P_a}{L} \end{aligned} \quad (1)$$



Hình 2: Vùng ảnh hưởng của trụ đất chịu ảnh hưởng áp lực nước từ tầng hạn chế

Dựa vào lời giải của Hansbo [6], lời giải được phát triển với áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư trung bình trong vùng ảnh hưởng như sau:

$$\bar{u} = \frac{P_a}{L} z + \frac{\gamma_w}{2} \frac{\partial \varepsilon_v}{\partial t} \frac{R^2}{k_h} \mu \quad (2)$$

trong đó

$$\mu = \frac{\ln n}{1 - \frac{1}{n^2}} - \frac{1}{4} \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right) + \pi z (2L - z) \frac{k_h}{q_{wa}} \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right)$$

ở đây  $n=R/r_w$ , với  $R$  là bán kính vùng ảnh hưởng,  $r_w$  là bán kính của bấc thấm,  $\partial \varepsilon_v$  là độ biến dạng một chiều theo phương thẳng đứng trong khoảng thời gian  $\partial t$ ,  $z$  là chiều sâu,  $L$  là chiều dày lớp đất,  $q_{wa}$  là khả năng thoát nước của bấc thấm;  $k_h$  là hệ số thấm theo phương ngang của đất tự nhiên. Giả sử độ biến dạng theo phương thẳng đứng có mối quan hệ như sau:

$$\frac{\partial \varepsilon_v}{\partial t} = m_v \frac{\partial \bar{\sigma}'}{\partial t} = -m_v \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} \quad (3)$$

ở đây  $m_v$  là hệ số nén thể tích,  $\frac{\partial \bar{\sigma}'}{\partial t}$  và  $\frac{\partial \bar{u}}{\partial t}$  lần lượt là sự thay đổi ứng suất có hiệu và áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư trong nền suốt quá trình cố kết. Khi đó, từ Phương trình (2), có thể suy ra công thức tính áp lực nước lỗ rỗng trong suốt quá trình cố kết như sau:

$$\bar{u} = \left( U_o - \frac{P_a}{L} z \right) e^{-\frac{8T_h}{\mu}} + \frac{P_a}{L} z \quad (4)$$

trong đó nhân tố thời gian cố kết theo phương ngang  $T_h$  được tính theo công thức sau:

$$T_h = \frac{k_h t}{4m_v \gamma_w R^2} \quad (5)$$

Có thể thấy rằng áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư trong vùng ảnh hưởng với áp lực từ tầng chứa nước hạn chế luôn lớn hơn trường hợp bình thường một giá trị  $P_a z/L$  kPa. Từ đó có thể thấy rằng quá trình cố kết của đất chịu áp lực từ tầng chứa nước hạn chế luôn xảy ra chậm hơn so với bình thường.

### 3 PHÂN TÍCH CỐ KẾT NỀN ĐẤT CHỊU ÁP LỰC TỪ TẦNG CHỨA NƯỚC

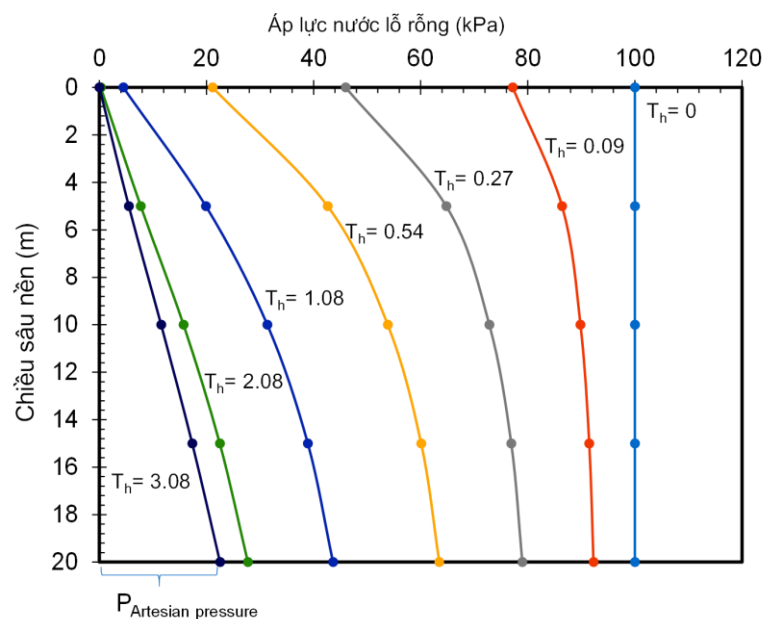
Để phân tích ứng xử cố kết một nền đất yếu gia cố PVD chịu áp lực từ tầng chứa nước hạn chế, đặc điểm địa kỹ thuật liên quan đến bậc thấm sau có thể lấy ví dụ để sử dụng phân tích ứng xử cố kết của đất nền (như Bảng 1). Trong phân tích này bỏ qua các ảnh hưởng của sự xáo trộn trong đất do quá trình cắm bậc thấm, bỏ qua ảnh hưởng độ cản thấm do sự biến dạng của bậc thấm. Nền chịu tải trọng phân bố đều với tải trọng  $U_0 = 100$  kPa. Giả sử tải được tác dụng lên nền đất dạng tải tức thời.

Để thấy được ứng xử cố kết nền đất chịu áp lực ngược từ tầng chứa nước có sự khác biệt với trường hợp không có áp lực nước, lời giải Hansbo [6] cũng sẽ được tiến hành áp dụng phân tích và sau đó sẽ so sánh kết quả ứng xử cố kết với trường hợp nghiên cứu.

Bảng 1: Đặc điểm nền đất yếu gia cố PVD chịu áp lực nước từ tầng chứa nước hạn chế

Thông số	Giá trị	Đơn vị
$R$	0.525	m
$r_w$	0.025	m
$n=R_e/r_w$	21	-
$q_{wa}$	0.5	m <sup>3</sup> /day
$L$	20	m
$C_h$	0.1	m <sup>2</sup> /day
$k_h$	0.00173	m/day
$P_a$	20	kPa
$U_0$	100	kPa

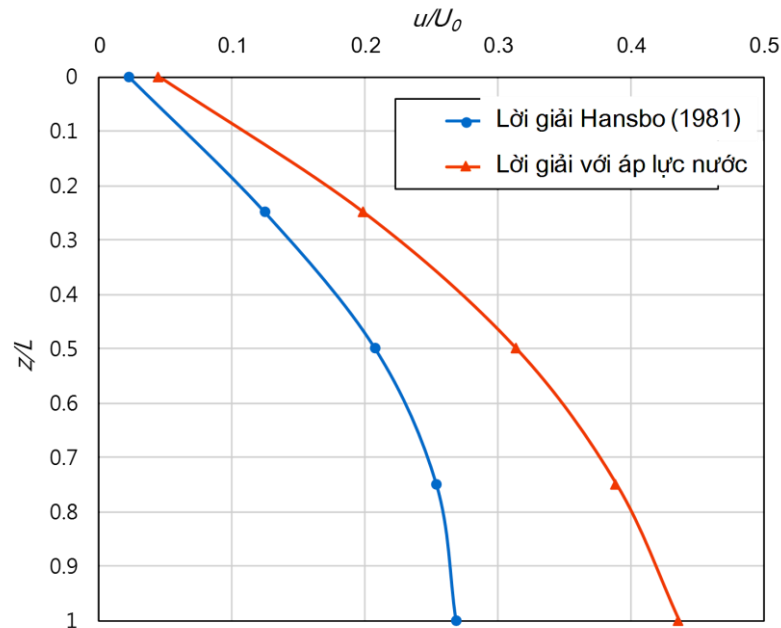
Hình 3 thể hiện kết quả quá trình tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư trong nền theo thời gian với các giá trị nhân tố thời gian khác nhau. Kết quả cho thấy áp lực nước lỗ rỗng tiêu tán theo thời gian, giống như trường hợp thông thường (không có áp lực).



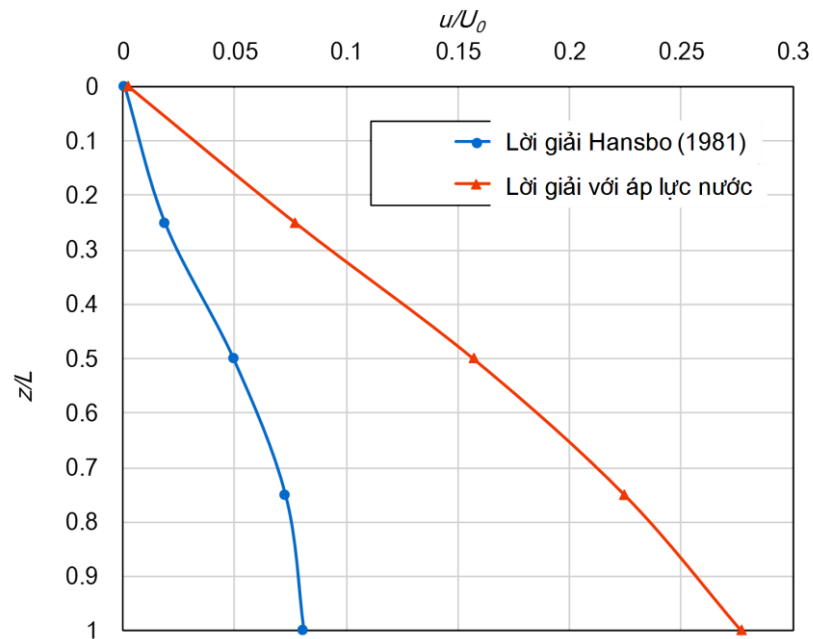
Hình 3: Quá trình tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư trong nền theo thời gian

## LỜI GIẢI GIẢI TÍCH CHO QUÁ TRÌNH CỐ KẾT...

Hình 4 thể hiện áp lực nước lỗ rỗng dư trung bình trên một mặt cắt ngang của vùng ảnh hưởng và phân bố đều theo chiều sâu lớp đất. Kết quả thể hiện tại hai thời điểm tương ứng với nhân tố thời gian  $T_h=1$  và  $T_h=2$ . Kết quả cho thấy quá trình cố kết đều xảy ra cho hai trường hợp có và không có áp lực nước từ tầng chứa nước hạn chế. Theo thời gian, áp lực nước lỗ rỗng dư đều giảm. Trong đó áp lực nước lỗ rỗng trong trường hợp chịu áp lực nước từ tầng chứa nước hạn chế tiêu tán chậm hơn so với trường hợp không có áp lực nước  $P_a$ . Do đó có thể thấy rằng áp lực nước từ tầng chứa nước có khả năng làm chậm quá trình cố kết trong đất. Nhìn chung, kết quả này phù hợp với nghiên cứu trước đây của Kim và cộng sự [2]. Kết quả thí nghiệm lún cố kết của Kim và cộng sự [2] cho thấy quá trình cố kết và phát triển cường độ của đất chịu áp lực nước từ tầng chứa nước hạn chế xảy ra chậm hơn đáng kể so với trường hợp thông thường.



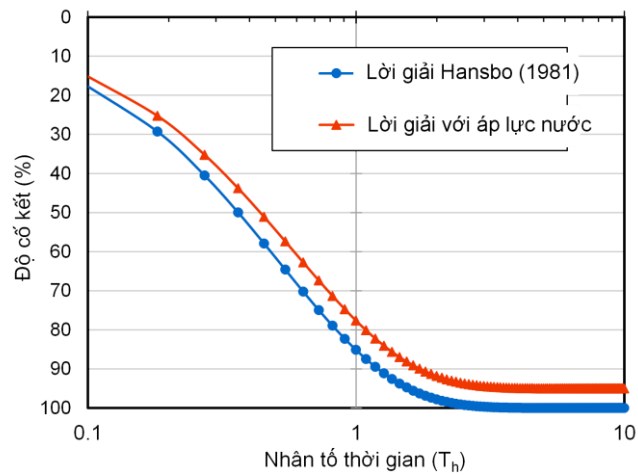
(a) Nhân tố  $T_h = 1$



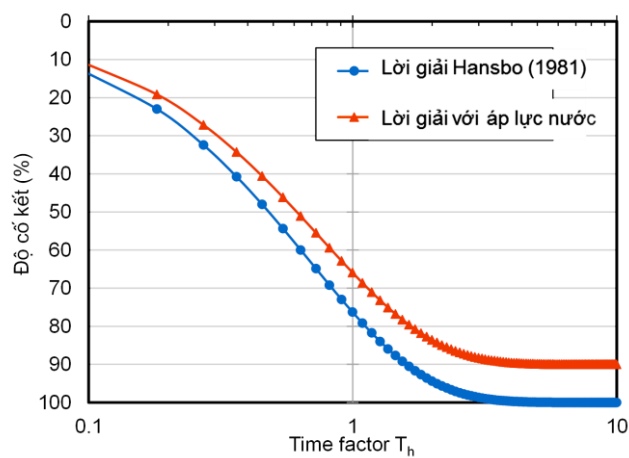
(b) Nhân tố  $T_h = 2$

Hình 4: Sự phân bố áp lực nước lỗ rỗng dư trong suốt quá trình cố kết theo chiều sâu lớp đất

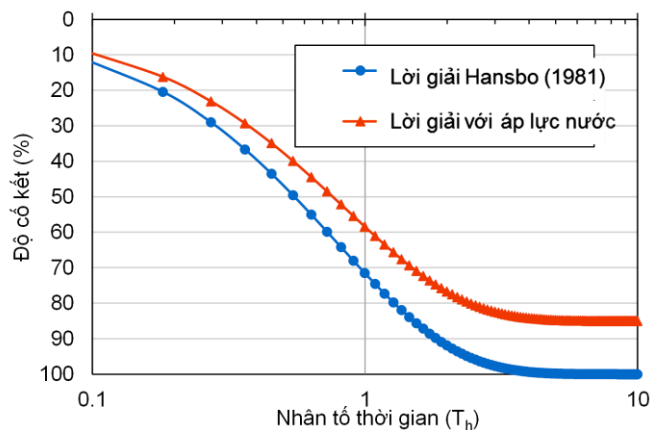
Hình 5 thể hiện độ cố kết theo chiều sâu lớp đất chịu áp lực nước từ tầng chứa nước hạn chế. Kết quả cho thấy quá trình độ cố kết đều tăng theo thời gian cho hai trường hợp có và không có áp lực nước từ tầng chứa nước hạn chế. Tuy nhiên, tốc độ cố kết trong nền trong trường hợp nền chịu áp lực nước từ tầng chứa nước hạn chế luôn nhỏ hơn so với trường hợp không có áp lực nước. Do đó có thể thấy rằng áp lực nước từ tầng chứa nước có khả năng làm chậm quá trình cố kết trong đất. Kết quả cho thấy, khi độ sâu càng tăng, độ cố kết càng giảm. Tại độ sâu  $z = 20\text{m}$  (đáy lớp đất), độ cố kết chỉ dừng lại ở giá trị 80%. Kết quả này xảy ra vì sự hiện diện của áp lực nước từ tầng chứa nước hạn chế (có giá trị  $P_a = 20 \text{ kN/m}^2$ ). Kết quả thí nghiệm lún cố kết của Kim và cộng sự [2] cho thấy quá trình cố kết và phát triển cường độ của đất chịu áp lực nước từ tầng chứa nước hạn chế xảy ra chậm hơn đáng kể so với trường hợp thông thường.



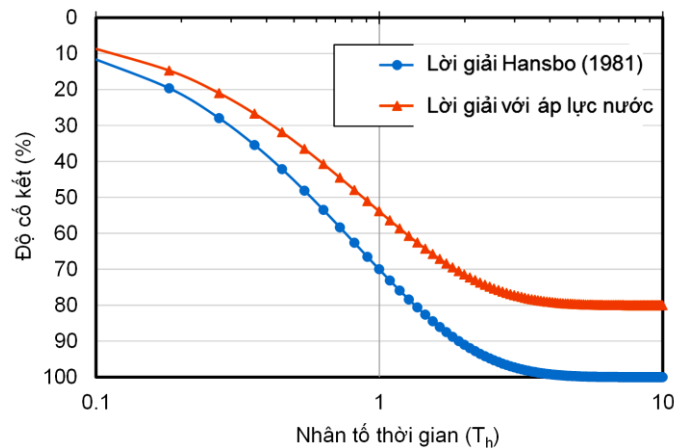
(a) Tại độ sâu  $z = 5\text{m}$



(b) Tại độ sâu  $z = 10\text{m}$



(c) Tại độ sâu  $z = 15\text{m}$



(d) Tại độ sâu  $z = 20\text{m}$

Hình 5: Tốc độ cố kết theo chiều sâu lớp đất chịu áp lực nước từ tầng chứa nước hạn chế

#### 4 KẾT LUẬN

Bài báo này tiến hành phát triển một lời giải giải tích để phân tích ứng xử cố kết theo phương ngang cho lớp đất sét được gia cố bởi bậc thấm và chịu áp lực từ dưới lên của tầng chứa nước hạn chế. Kết quả cho thấy tốc độ cố kết diễn ra chậm hơn theo chiều sâu so với quá trình cố kết trong trường hợp của lớp đất yếu không có tầng áp lực nước hạn chế. Nhìn chung, sự trì hoãn trong quá trình cố kết của lớp đất sét do áp lực từ tầng chứa nước phụ thuộc vào giá trị áp lực artesian hay chiều cao cột áp trong tầng này (giá trị  $P_a$  trong Phương trình 1). Tác giả trong bài báo kiến nghị lời giải đề xuất có thể vận dụng cho vấn đề tính toán thiết kế xử lý nền đất yếu với bậc thấm trong trường hợp các lớp đất yếu chịu áp lực từ tầng nước hạn chế.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S. K. Kim, "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, 2008.
- [2] Y.T. Kim, B-P. Nguyen and D.H. Yun, "Effect of Artesian Pressure on Consolidation Behavior of Drainage-Installed Marine Clay Deposit". *J. Mater. Civ. Eng.*, 30, 8, 04018156, 2018. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002344.
- [3] A.W. Skempton and R.D. Northey, "The sensitivity of clays." *Géotechnique*, 3, 1, 30-53. 1952. DOI: 10.1680/geot.1952.3.1.30.
- [4] Y.T. Kim and T.H. Do, "Compressibility characteristic of Busan leached clay." *Int. Sympo. on Lowland Technology, ISLT 2008*, Busan, Korea, 2008, 393-398.
- [5] Y. T. Kim and T. H. Do, "Effect of leaching on the compressibility of Busan clay." *Geotech. Eng. KSCE J. Civ. Eng.* 14, 3, 291-297, 2010. DOI: 10.1007/s12205-010-0291-5.
- [6] S. Hansbo. "Consolidation of fine-grained soils by prefabricated drains." *10<sup>th</sup> ICSMFE*, Anonymous, ed., A.A. Balkema, Rotterdam-Boston, 1981, 677-682.

### ANALYTICAL SOLUTION OF LATERAL CONSOLIDATION OF VERTICAL DRAIN-IMPROVED SOFT SOIL SUBJECTED TO CONFINED WATER PRESSURE

NGUYEN BA PHU\*, NGUYEN THI PHUONG LINH

*Faculty of Civil Engineering, Industrial University of Ho Chi Minh City*

\* Corresponding: [nguyenbaphu@iuh.edu.vn](mailto:nguyenbaphu@iuh.edu.vn)

**Abstract.** A confined aquifer is seen as an aquifer that lies below the free groundwater level. This aquifer is accumulated in a permeable layer as sand, rock or gravel. The confined aquifer is usually located between

two or more impervious layers such as a soft clay or clay layer. Since the confined aquifer has a pressure greater than the atmospheric pressure; therefore, as a borehole down to the aquifer layer from the surface ground was carried out, the water can be pushed up above the ground (artesian pressure) through the borehole. It can be seen that the impervious soil layer (clay, weak clay) is subjected to an upward pressure from the confined aquifer. This geological phenomenon is usually found in plain or urban areas, which is often located in valley areas and surrounded by hills or higher terrain areas. The investigation of the strength characteristics and consolidation behavior of the soft soil layer located on these aquifers is necessary in geotechnical engineering. Generally, the previous studies have not considered this complicated problem. This paper develops an analytical solution of the lateral consolidation of a clay layer improved by vertical drain, and is subjected to pressure from the confined aquifer. The results show that the rate of consolidation takes place slower than the consolidation process in the case of the soft soil layer without the pressure from the confined aquifer. The solution can be applied to in the ground treatment in the case of soft soil layers subjected to pressure from limited aquifers.

**Keywords.** Confined water, soft soil, strength, water contents, consolidation, clay.

*Ngày gửi bài: 24/04/2021*

*Ngày chấp nhận đăng: 17/07/2021*