

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

LƯƠNG THỊ BÍCH

NGHIÊN CỨU ỨNG XỬ THẨM CỦA DẤT TRỘN  
VỮA XI MĂNG TRONG PHÒNG

Ngành: Kỹ Thuật Xây Dựng Công Trình Giao Thông  
Mã số ngành: 9580205

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

TP. HỒ CHÍ MINH - NĂM 2023

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM**

Người hướng dẫn: **PGS. TS TRẦN NGUYỄN HOÀNG HÙNG**

Phản biện độc lập 1:

Phản biện độc lập 2:

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án họp tại Trường Đại học Bách Khoa – ĐH. Quốc Gia Tp. Hồ Chí Minh, vào lúc           giờ           ngày           tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM
- Thư viện Đại học Quốc gia Tp.HCM
- Thư viện Khoa học Tổng hợp Tp.HCM

## DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

### Tạp chí quốc tế

- [1]. B. T. Luong & H. H. Tran-Nguyen. “Strength, permeability, and microstructure of cement treated dredging sand,” *Geotechnical and Geological Engineering*, 2023. ISI (ESCI - Q1 theo SCimago, IF =1.7). <https://doi.org/10.1007/s10706-023-02600-8>. (Corresponding Author: B. T. Luong)
- [2]. H. H. Tran-Nguyen, B. T. Luong, & K. D. T. Nguyen. “Investigation of the Hydraulic Conductivity of Soilcrete Specimens Made by Soft Clays and Medium Clays Mixed with Cement” *Geotechnical and Geological Engineering*, 10/ 2022. ISI (ESCI - Q1 theo SCimago, IF =1.7). <https://doi.org/10.1007/s10706-022-02323-2>. (Corresponding Author: B. T. Luong)
- [3]. H. H. Tran-Nguyen, B. T. Luong, P. D. Nguyen, & K. D. T. Nguyen. “Hydraulic conductivity behavior of soilcrete specimens created from dredging sand, cement, and bentonite,” *Geotechnical Engineering Journal*, vol. 53(1), pp. 8-14, 3/2023. ISI (ESCI - Q4 theo Scimago).
- [4]. B. T. Luong & H. H. Tran-Nguyen. “Effectiveness of Soilcrete to Reinforce Earth Levees,” *Geotechnical Engineering Journal*, vol. 54(2), pp. 41-45, 6/2023. ISI (ESCI – Q4 theo SCimago)

### Tạp chí trong nước

- [1]. Lương Thị Bích và Trần Nguyễn Hoàng Hùng. “Nghiên cứu vi cấu trúc để lý giải sự giảm hệ số thấm của đất trộn xi măng,” *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, Tập 16, số 3V, trang 116 – 127, 2022.*
- [2]. Lương Thị Bích, Nguyễn Duy Phong, và Trần Nguyễn Hoàng Hùng. “Nghiên cứu hệ số thấm của đất cát san lấp trộn xi măng,” *Tạp chí Giao thông Vận tải, số 4, trang 46-50, 2021.*
- [3]. Lương Thị Bích, Nguyễn Duy Phong, Nguyễn Tuấn Duy Khánh, và Trần Nguyễn Hoàng Hùng. “Nghiên cứu ứng xử thấm của đất cát san lấp trộn xi măng – bentonite,” *Tạp chí Địa kỹ thuật, số 1, trang 34-44, 2021.*

### Kỷ yếu hội nghị quốc tế

- [1]. B. T. Luong and H. H. Tran – Nguyen. “Investigation of Microstructure of Dredging Sand Mixing Cement Specimens to Interpret Reduction of Permeability” in *Proceeding of Geo – Congress 2022: Soil improvement, Geosynthetics, and Innovative Geomaterials*, No. 331, pp. 157-166, North Carilona, America, published by the American Society of Civil Engineers (ASCE), ISSN: 08950563, Scopus.
- [2]. B. T. Luong, P. D. Nguyen, H. H. Tran – Nguyen, and K. T. D. Nguyen. “Investigation of Permeability of Dredging Sand Mixing Cement and Bentonite” in *Proceedings of the Second International Conference on Sustainable Civil Engineering*

*and Architecture*, ICSCEA 2021, Lecture Notes in Civil Engineering vol 268, pp. 621-631, 2022. Springer, Scopus. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-3303-5\\_55](https://doi.org/10.1007/978-981-19-3303-5_55)

[3]. B. T. Luong, H. H. Tran-Nguyen, P. D. Nguyen. “Investigation of Hydraulic Conductivity of Soilcrete Specimens Made from Dredging Sand and Cement.” in *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Geotechnics, Civil Engineering and Structures*, CIGOS 2021, Lecture Notes in Civil Engineering, vol 203, pp. 715–724, Springer, Scopus. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-7160-9\\_72](https://doi.org/10.1007/978-981-16-7160-9_72)

#### **Đề tài nghiên cứu khoa học**

[1]. Nghiên cứu bản chất thấm của đất trộn xi măng (soilcrete). Mã số đề tài: B2018-04-20/ĐHQG loại B. Thời gian thực hiện 2018 – 2022 (Tham gia, đã nghiệm thu)

## MỞ ĐẦU

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ số thấm của đất trộn xi măng (soilcrete) đã được một số tác giả trên thế giới nghiên cứu. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu hệ số thấm của soilcrete, đặc biệt đối với soilcrete được tạo từ đất hạt mịn vẫn chưa được đồng thuận. Một số nghiên cứu cho thấy hệ số thấm soilcrete cao hơn so với đất tự nhiên và tăng theo hàm lượng xi măng [14], [15], [23]. Một số khác cho kết quả ngược lại [24], [25], [26]. Ngoài ra, một số tác giả khác lại cho rằng hệ số thấm của soilcrete giảm khi tăng hàm lượng xi măng đến một giá trị nhất định sau đó tăng ngược trở lại nếu tiếp tục tăng xi măng [18], [20], [29]. Ở Việt Nam, công nghệ đất trộn xi măng ứng dụng chủ yếu cho mục đích xử lý đất yếu (TCVN 9403:2012 [33]). Các kết quả thí nghiệm trong phòng và hiện trường để xác định trực tiếp hệ số thấm soilcrete còn hạn chế. Hệ số thấm của soilcrete chưa được nghiên cứu toàn diện mà chỉ là một phần nhỏ trong nghiên cứu của một số tác giả. Hệ số thấm soilcrete trong nghiên cứu của các tác giả được xác định bằng thiết bị thấm thành cứng (dao vòng) theo tiêu chuẩn TCVN 8723:2012 [36], [37]. Hệ thống thiết bị này tiềm ẩn nguy cơ nước chảy dọc thành mẫu, đặc biệt đối với mẫu đất trộn xi măng bị co ngót trong quá trình ninh kết, có thể gây sai lệch đáng kể hệ số thấm.

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) là vùng đất được kiến tạo với lớp đất bùn sét yếu dày ở trạng thái dẻo mềm đến chảy với khả năng chịu tải rất thấp [38]. ĐBSCL còn có nguồn vật liệu cát san lấp dồi dào được bơm hút từ đáy các sông. Đất trộn xi măng cho giải pháp tường chống thấm được đề xuất. Hệ số thấm của soilcrete là một trong những yêu cầu chính khi thiết kế chống thấm. Hệ số thấm thấp của soilcrete tạo từ các loại đất ở ĐBSCL cần được minh chứng một cách khoa học. Đề tài này tập trung nghiên cứu ứng xử thấm của một số loại đất đặc trưng ở ĐBSCL trộn xi măng trong phòng. Thiết bị thấm thành mềm được chế tạo phục vụ cho các thí nghiệm thấm soilcrete. Phân tích ứng xử thấm soilcrete theo thời gian bảo dưỡng, loại và hàm lượng xi măng, loại đất, và phụ gia bentonite. Vi cấu trúc mẫu soilcrete theo thời gian bảo dưỡng, theo hàm lượng xi măng được khảo sát bằng kính hiển vi điện tử quét, phép phân tích tia X, và phân tích phổ tán sắc năng lượng tia X, để lý giải sự giảm hệ số thấm soilcrete.

### 2. ĐỘNG LỰC NGHIÊN CỨU

Hệ số thấm là một đặc trưng vật lý quan trọng của soilcrete, đã được một số tác giả trên thế giới nghiên cứu. Tuy nhiên, các nghiên cứu vẫn chưa có sự thống nhất về hệ số thấm soilcrete tăng hay giảm so với đất tự nhiên. Ở Việt Nam, soilcrete đã được ứng dụng nhưng chủ yếu gia cố đất nền. Các nghiên cứu về soilcrete phần lớn tập trung về cường độ, độ cứng, và biến dạng khi phá hoại. Hệ số thấm soilcrete chưa được nghiên cứu toàn diện và tin cậy ở Việt Nam do sự hạn chế về thiết bị thí nghiệm thấm. Bản chất thấm

của soilcrete cần được làm rõ. Vì vậy, đề tài này tập trung nghiên cứu chế tạo thiết bị thấm thành màng phù hợp cho vật liệu soilcrete, thực hiện thí nghiệm thấm, phân tích thành phần khoáng, và vi cấu trúc để nhằm đến sự hiểu biết toàn diện ứng xử thấm soilcrete.

### **3. MỤC TIÊU NGHIÊN CỨU**

**Mục tiêu tổng quát:** Nghiên cứu toàn diện ứng xử thấm của soilcrete tạo ra từ một số loại đất Tây Nam Bộ trộn với vữa xi măng trong phòng.

**Mục tiêu cụ thể hướng đến:** (1) chế tạo thiết bị thí nghiệm thấm soilcrete; (2) xây dựng quy trình hướng dẫn thí nghiệm thấm soilcrete trong phòng bằng thiết bị thấm thành màng; (3) phân tích ứng xử thấm soilcrete; (4) thiết lập mối tương quan giữa cường độ và hệ số thấm của soilcrete; (5) khảo sát vi cấu trúc và thành phần khoáng của soilcrete; (6) mô phỏng và phân tích khả năng sử dụng soilcrete làm tường ngăn thấm, tăng ổn định cho đường ven sông, đê bao ở ĐBSCL.

### **4. PHƯƠNG PHÁP LUẬN NGHIÊN CỨU**

Đề tài đã sử dụng các phương pháp gồm: phương pháp nghiên cứu tổng quan, phương pháp nghiên cứu thí nghiệm, và phương pháp nghiên cứu mô phỏng.

### **5. PHẠM VI NGHIÊN CỨU**

Đề tài giới hạn phạm vi nghiên cứu: Thí nghiệm thấm trong phòng cho 4 loại đất gồm bùn sét, sét dẻo mềm, sét dẻo cứng, và cát san lấp ở hai tỉnh Đồng Tháp và Hậu Giang. Tường soilcrete gia cố ngăn thấm cho các công trình vừa và nhỏ như đường giao thông nông thôn, đập đất, và đê bao chịu tác động dòng nước ngọt.

### **6. Ý NGHĨA KHOA HỌC VÀ THỰC TIỄN**

**Ý nghĩa khoa học:** Đề tài cung cấp một cơ sở dữ liệu về hệ số thấm của đất trộn xi măng và đưa ra quy trình hướng dẫn thí nghiệm thấm cho vật liệu soilcrete trong phòng thí nghiệm trên hệ thống thiết bị thành màng được chế tạo tuân thủ tiêu chuẩn của Mỹ có độ tin cậy cao và chi phí hợp lý hiện chưa có tại Việt Nam.

**Ý nghĩa thực tiễn:** Khả năng chống thấm tốt của soilcrete được khẳng định, hàng loạt các ứng dụng thực tiễn được đẩy nhanh dựa trên cơ sở khoa học này như tường vây chống thấm, chống thấm đáy hồ đào, chống thấm đê đập, ngăn rò rỉ các chất ô nhiễm vào nước ngầm trong bãi xử lý rác thải, v.v.

### **7. NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN**

- Chế tạo bộ thiết bị thí nghiệm thấm thành màng và đề xuất quy trình hướng dẫn thí nghiệm thấm soilcrete trên thiết bị thấm thành màng áp dụng tại Việt Nam.
- Làm sáng tỏ và khẳng định hệ số thấm giảm đáng kể của một số loại đất ĐBSCL trộn với xi măng và có hoặc không có bentonite.

- Đề xuất được hàm lượng xi măng hợp lý trộn với đất tự nhiên tại chỗ (đất sét, cát san lấp) để tạo vật liệu soilcrete có hệ số thấm nhỏ hơn  $10^{-9}$  m/s cho phép làm tường chống thấm cho công trình đê bao ở khu vực ĐBSCL.

## 8. TỔ CHỨC LUẬN ÁN

Luận án được tổ chức gồm 6 chương chính, ngoài phần mở đầu và kết luận - kiến nghị. Luận án được minh họa bởi 12 bảng biểu, 67 hình, 150 tài liệu tham khảo và các phần phụ lục.

## CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU VÀ CƠ SỞ LÝ THUYẾT

**1.1 GIỚI THIỆU CHUNG :** Chương 1 trình bày tóm tắt kết quả nghiên cứu tổng quan và cơ sở lý thuyết

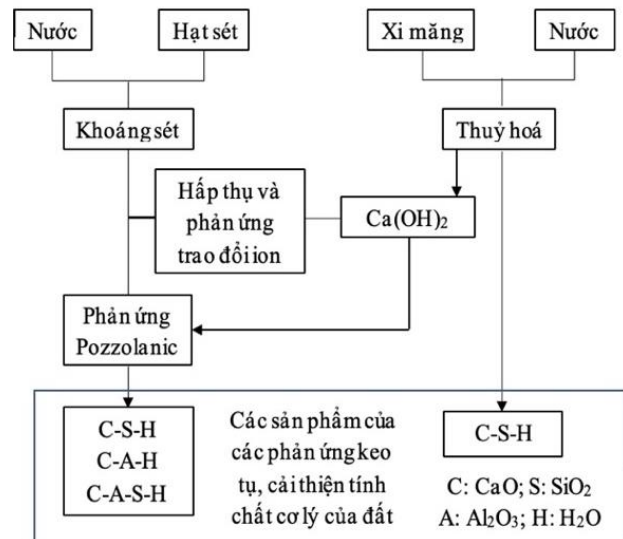
### 1.2 TÓM TẮT NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN

#### 1.2.1 Tổng quan về đất trộn xi măng (soilcrete)

##### 1.2.1.1 Cơ chế hình thành cường độ soilcrete

Cơ chế phản ứng hoá học giữa đất và xi măng được tóm tắt theo sơ đồ Hình 1.1

Hình 1.1. Phản ứng hoá học giữa đất, nước, và xi măng [42]



##### 1.2.1.2 Các tính chất cơ học của soilcrete

- Mô đun đàn hồi cát tuyến:  $E_{50}$ , của soilcrete tăng gần như tuyến tính với cường độ nén nở hông tự do,  $q_u$  [46], [47]. Tỉ số  $E_{50}/q_u$  dao động trong khoảng 50 -1000.
- Biến dạng lúc phá hoại:  $\varepsilon_f$ , của soilcrete giảm khi tăng hàm lượng xi măng [40].  $\varepsilon_f$  của soilcrete thường trong khoảng từ 1-3% [48].
- Hệ số poisson: Hệ số Poisson soilcrete có giá trị khoảng từ 0.28 đến 0.45 và không phụ thuộc vào cường độ nén nở hông tự do của đất gia cố [4].
- Cường độ kháng cắt không thoát nước:  $C_u$ , của soilcrete cao hơn so với đất không gia cố và tăng theo hàm lượng xi măng [4], [40], [49].

##### 1.2.2 Tổng quan về thấm của đất

Hệ số thấm ( $k$ ) của đất là thể tích nước trong đất chảy thấm xuyên qua một đơn vị diện tích của khối đất trong một đơn vị thời gian từ nơi có cột áp tổng cao đến nơi có cột áp

tổng thấp hơn (cm/s hoặc m/s) [51]. Hệ số thấm của đất phụ thuộc vào các đặc tính của đất và nước như thành phần hạt, hình dạng hạt, sự phân bố lỗ rỗng, độ rỗng, độ bão hòa và độ nhớt của nước.

#### *1.2.2.1 Phương pháp xác định hệ số thấm đất*

Hệ số thấm của đất được xác định bằng các phương pháp thí nghiệm trong phòng, hiện trường, hoặc xác định gián tiếp thông qua các công thức thực nghiệm. Hệ số thấm của đất cũng được xác định gián tiếp từ thí nghiệm nén cố kết. Một số phương pháp phổ biến đo trực tiếp hệ số thấm đất trong phòng thí nghiệm gồm: cột áp đầu vào không đổi - cột áp đầu ra không đổi phù hợp cho loại đất hạt thô có hệ số thấm cao ( $> 10^{-5}$  m/s); cột áp đầu vào hạ - cột áp đầu ra không đổi phù hợp cho loại đất hạt mịn có hệ số thấm thấp ( $< 10^{-5}$  m/s); cột áp đầu vào hạ - cột áp đầu ra dâng phù hợp cho loại đất hạt mịn có hệ số thấm rất thấp ( $< 10^{-7}$  m/s).

#### *1.2.2.2 Thiết bị thí nghiệm thấm đất trong phòng thí nghiệm*

Thiết bị đo trực tiếp hệ số thấm đất trong phòng thí nghiệm phổ biến hiện nay gồm thiết bị thấm thành cứng và thiết bị thấm thành mềm. Thiết bị thấm thành cứng thích hợp xác định hệ số thấm của mẫu đất dạng hạt theo phương pháp cột áp không đổi (ASTM D2434 [54]) và có thể áp dụng cho đất hạt mịn theo phương pháp cột áp không đổi hoặc phương pháp cột áp vào hạ (ASTM D5856 [55]). Thiết bị thấm thành mềm thích hợp đo thấm cho đất hạt mịn bằng phương pháp cột áp vào hạ (ASTM D5084 [41]). Ở Việt Nam, hệ số thấm của đất được xác định trực tiếp trong phòng thí nghiệm bằng phương pháp cột áp vào hạ - cột áp ra không đổi trên thiết bị kiểu hộp thấm hoặc phương pháp cột áp không đổi trên thiết bị kiểu ống mẫu thấm (TCVN 8723:2012 [56]).

### **1.2.3 Tổng quan về thấm của soilcrete**

#### *1.2.3.1 Nghiên cứu về thấm của soilcrete trên thế giới*

##### a. Ảnh hưởng của hàm lượng xi măng lên hệ số thấm soilcrete

Các kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng xi măng lên hệ số thấm soilcrete vẫn chưa được đồng thuận cao. Một số nghiên cứu cho thấy hệ số thấm soilcrete cao hơn so với đất tự nhiên [14], [15], [23]. Một số khác cho kết quả ngược lại [24], [25], [26], [27], [28]. Ngoài ra, một số tác giả khác lại cho rằng hệ số thấm của soilcrete giảm khi tăng hàm lượng xi măng đến một giá trị nhất định sau đó tăng ngược trở lại nếu tiếp tục tăng xi măng [18], [20], [29].

##### b. Ảnh hưởng của loại xi măng lên hệ số thấm soilcrete

Xi măng có độ mịn lớn hơn trộn với đất cho hệ số thấm thấp hơn [58], [59]. Hệ số thấm của soilcrete tạo từ xi măng portland cao hơn từ xi măng pozzolan [58].



c. Ảnh hưởng của thời gian bảo dưỡng lên hệ số thấm soilcrete

Hệ số thấm của soilcrete giảm theo thời gian bảo dưỡng [28], [29], [60], [61].

d. Ảnh hưởng hàm lượng bentonite lên hệ số thấm soilcrete

Hệ số thấm soilcrete giảm theo hàm lượng bentonite [30], [31].

e. Ảnh hưởng của tỉ lệ nước/xi măng ( $w/c$ ) lên hệ số thấm soilcrete

Hệ số thấm soilcrete tăng khi tăng tỉ lệ  $w/c$  [58], [61], [64].

f. Ảnh hưởng gradient thủy lực ( $i$ ) lên hệ số thấm một số vật liệu

Một số tác giả cho rằng  $i$  tăng dẫn đến  $k$  giảm do tăng áp lực thấm gây cố kết mẫu [65], [66]. Ngược lại, Tong & Shackelford (2016) [68] cho rằng  $k_s$  tăng khi tăng  $i$  trên mẫu cát - bentonite. Một số nghiên cứu khác kết luận  $i$  ảnh hưởng không đáng kể lên  $k_s$  của đất trộn xi măng và định luật Darcy là phù hợp [69], [70], [71].

#### *1.2.3.2 Nghiên cứu về thấm của soilcrete ở Việt Nam*

Mai Thị Hồng (2019) [36] đã nghiên cứu sử dụng xi măng và vôi làm giảm tính thấm của đất sét pha chứa nhiều dăm sạn để phục vụ nâng cấp hoặc xây dựng đập đất vùng Tây Nguyên. Nguyễn Hữu Năm (2021) [37] nghiên cứu cải tạo đất Bazan Tây Nguyên bằng puzolan tự nhiên, xi măng, và vôi làm tường nghiêng chống thấp đập đất vùng Tây Nguyên.

#### *1.2.4 Tổng quan về vi cấu trúc của soilcrete*

Cấu trúc của đất là thuật ngữ được sử dụng để chỉ sự sắp xếp hình học của các hạt rắn khác nhau và các lỗ rỗng trong một khối đất [73], [74]. Nghiên cứu vi cấu trúc của đất trước và sau khi được gia cố cho phép lý giải sự thay đổi các đặc tính kỹ thuật của chúng.

### **1.3 CƠ SỞ LÝ THUYẾT**

Các cơ sở lý thuyết phục vụ cho nghiên cứu gồm các phương pháp thí nghiệm thấm, lý thuyết tính toán khối lượng vật liệu chế tạo mẫu soilcrete, các phương pháp phân tích vi cấu trúc, lý thuyết phân tích dòng thấm và ổn định mái dốc.

## **CHƯƠNG 2 CHẾ TẠO THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM THẨM**

### **2.1 GIỚI THIỆU CHUNG**

Chương 2 trình bày quá trình chế tạo và lắp đặt hệ thống thiết bị thấm thành mềm và các thí nghiệm kiểm tra độ chính xác thiết bị.

### **2.2 LÝ DO CHẾ TẠO THIẾT BỊ THẨM THÀNH MỀM**

Ở Việt Nam, hệ số thấm đất được xác định trong phòng bằng thiết bị kiểu ống mẫu và kiểu hộp thấm tuân theo tiêu chuẩn TCVN 8723:2012. Hai loại thiết bị đo thấm này phải nhập khẩu. Kết quả thí nghiệm trên hai thiết bị phụ thuộc vào kinh nghiệm của người

làm thí nghiệm, độ bão hòa của mẫu khó được kiểm soát, có thể xảy ra hiện tượng nước chảy dọc thành mẫu. Đó đó, kết quả hệ số thấm không đạt độ tin cậy cao. Hai thiết bị này không phù hợp với vật liệu soilcrete vì soilcrete đóng rắn theo thời gian làm thay đổi đường kính mẫu, thời gian thí nghiệm thấm soilcrete kéo dài có thể lên đến vài tháng, lúc này việc lấy mẫu ra khỏi thiết bị gặp khó khăn có thể làm hỏng thiết bị. Thiết bị thành mềm hạn chế nước chảy dọc thành mẫu và mô phỏng gần đúng với trạng thái làm việc của đất.

### 2.3 THIẾT KẾ HỆ THỐNG THÍ NGHIỆM THẨM

Hệ thống thiết bị thí nghiệm thấm gồm hai bộ phận: Hệ thống thủy lực và buồng thiết bị chứa mẫu. Trong nghiên cứu chế tạo hai dạng hệ thống thiết bị: loại tạo áp bằng chiều cao cột nước và loại tạo áp bằng áp lực khí.

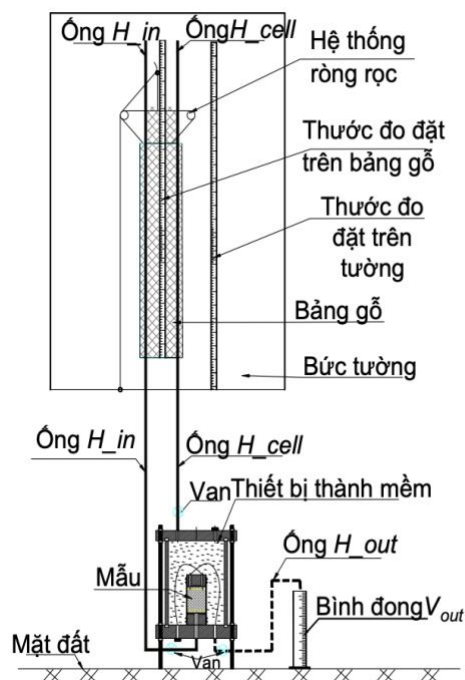
### 2.4 CHẾ TẠO VÀ LẮP ĐẶT HỆ THỐNG THIẾT BỊ

#### 2.4.1 Chế tạo lắp đặt thiết bị

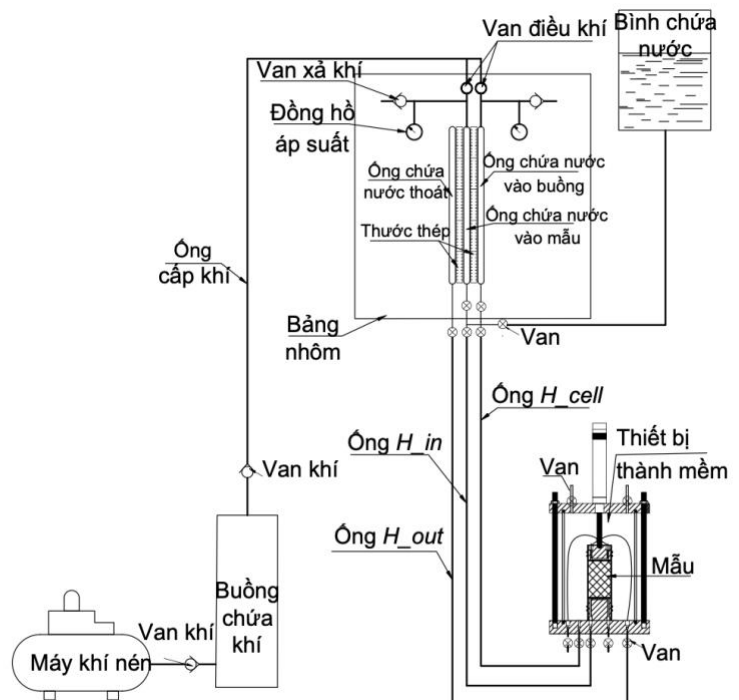
Các bộ phận thiết bị được chế tạo chính xác theo bản vẽ thiết kế tại xưởng cơ khí của trường Đại học Bách Khoa Thành phố Hồ Chí Minh.

#### 2.4.2 Chế tạo lắp đặt hệ thống thiết bị thí nghiệm thấm

Hệ thống thiết bị thí nghiệm thấm tạo áp bằng chiều cao cột nước và tạo áp bằng áp lực khí được lắp đặt lần lượt theo như sơ đồ Hình 2.4 và Hình 2.5.



Hình 2.4. Hệ thống thiết bị thí nghiệm thấm thành mềm theo phương pháp cột áp vào hạ - cột áp ra không đổi



Hình 2.5. Hệ thống thiết bị thí nghiệm thấm thành mềm theo phương pháp cột áp vào hạ - cột áp ra dâng

## 2.5 KIỂM TRA VÀ VẬN HÀNH THỬ NGHIỆM

Việc vận hành thử nghiệm và cân chỉnh hệ thống thiết bị được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM D5084. Phương pháp thực hiện được tiến hành: (1) kiểm tra sự rò rỉ của nước tạo áp lực buồng; (2) kiểm tra sự rò rỉ của nước thấm qua mẫu; (3) kiểm tra sự ổn định của các thiết bị và hệ thống trong quá trình thí nghiệm; (4) Kiểm định và hiệu chuẩn các bộ phận thiết bị thí nghiệm thấm.

## 2.6 SO SÁNH THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM THẨM ĐÃ CHẾ TẠO VỚI THIẾT BỊ HUMBOLDT - MỸ

Thiết bị đã chế tạo được so sánh với thiết bị Humboldt trình bày ở Bảng 2.1. Thiết bị thí nghiệm thấm được chế tạo dựa theo quy định của tiêu chuẩn ASTM D5084, với kiểu dáng khác và không sao chép từ thiết bị khác. Thiết bị chế tạo đã cải thiện gradient thủy lực lên đến 150, tiết kiệm được thời gian thí nghiệm và giúp tự chủ được công nghệ, không phải phụ thuộc vào thiết bị nhập khẩu.

Bảng 2.1. So sánh thiết bị thấm Humboldt và thiết bị chế tạo

Đặc điểm	Thiết bị Humboldt [94]	Thiết bị chế tạo
<b><i>Giống nhau:</i></b>		
- Đều là thiết bị thấm thành mềm hoạt động theo phương pháp cột áp vào hạ - cột áp ra dâng tuân thủ theo tiêu chuẩn ASTM D5084 của Mỹ		
- Áp lực thấm được tạo thành từ áp suất khí nén tác động lên cột nước thấm vào mẫu.		
- Nước thí nghiệm được khử khí trước bằng bơm hút chân không		
<b><i>Khác nhau:</i></b>		
- Đường kính các ống chứa nước gắn trên bảng điều khiển, mm	5.8	20
- Kích thước buồng, $D \times H$ , cm	22.2 × 34.9	20 × 30
- Đường kính mẫu, mm	35 - 100	62
- Phương pháp bão hoà mẫu	Áp lực ngược	Bơm hút chân không
- Gradient thủy lực	≤ 30	≤ 150
- Giá thành, triệu đồng	215	Khoảng 100
- Kiểu dáng buồng thiết bị		Trên mũ chụp có gắn trụ cylinder để cố định mẫu, buồng thiết bị được tăng cường ổn định bằng 3 vòng kẹp inox.

## 2.7 TÓM TẮT CHƯƠNG 2

Các hệ thống thiết bị thấm thành mềm đã được chế tạo dựa trên tiêu chuẩn ASTM 5084. Các thiết bị thí nghiệm theo phương pháp cột áp vào hạ phù hợp với vật liệu có hệ số thấm thấp như đất hạt mịn, soilcrete. Hệ thống thiết bị tạo áp bằng cột nước 4 m có kinh phí chế tạo rẻ hơn hệ thống thiết bị tạo áp bằng áp lực khí. Tuy nhiên, thiết bị tạo áp bằng cột nước 4 m giới hạn giá trị gradient thủy lực. Hệ thống thiết bị tạo áp bằng khí lên đến 150 kPa hoặc hơn, có thể thực hiện thí nghiệm trong phòng với không gian nhỏ gọn. Các thiết bị đã chế tạo được kiểm tra cẩn thận về mặt kỹ thuật đảm bảo sự vận hành ổn định. Các thiết bị được tự tin sử dụng xác định hệ số thấm các mẫu soilcrete trong nghiên cứu này.

## CHƯƠNG 3 XÂY DỰNG QUY TRÌNH THÍ NGHIỆM THẨM VẬT LIỆU ĐẤT TRỘN XI MĂNG TRONG PHÒNG

### 3.1 GIỚI THIỆU CHUNG

Chương 3 xây dựng một quy trình hướng dẫn thí nghiệm thấm vật liệu soilcrete trong phòng thí nghiệm trên thiết bị thấm thành mềm theo phương pháp cột áp vào hạ-cột áp ra không đổi và phương pháp cột áp vào hạ-cột áp ra dâng. Quy trình hướng dẫn chi tiết với các nội dung: (1) phạm vi áp dụng, (2) tài liệu viện dẫn, (3) định nghĩa thuật ngữ, đơn vị đo, (4) ý nghĩa và sử dụng, (5) dụng cụ và thiết bị đo, (6) nước thí nghiệm, (7) mẫu thí nghiệm, (8) quy trình thí nghiệm thấm, (9) phân tích kết quả, (10) báo cáo kết quả thí nghiệm, (11) các chú ý về sai số xảy ra trong quá trình thu thập và xử lý số liệu.

## CHƯƠNG 4 NGHIÊN CỨU ỨNG XỬ THẨM ĐẤT ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG TRỘN XI MĂNG

### 4.1 GIỚI THIỆU CHUNG

Chương 4 trình bày nội dung và phương pháp các thí nghiệm để nghiên cứu ứng xử thấm của một số loại đất ĐBSCL trộn xi măng với có hoặc không có bentonite.

### 4.2 VẬT LIỆU THÍ NGHIỆM

**4.2.1 Đất:** gồm: đất bùn sét, sét dẻo mềm, cát san lấp thu thập tại huyện Lấp Vò, tỉnh Đồng Tháp và đất sét dẻo cứng lấy ở huyện Long Mỹ, tỉnh Hậu Giang. Các mẫu đất sau khi thu thập được bảo quản trong bao nhựa. Một số chỉ tiêu cơ lý và đường cong phân bố cỡ hạt của các loại đất được xác định.

**4.2.2 Xi măng:** gồm xi măng Portland thông thường OPC40, xi măng Portland hỗn hợp PCB40, và xi măng Portland chứa 50% xỉ lò cao PCS.

**4.2.3 Bentonite:** Bentonite thu thập tại công trình xây dựng thuộc dự án khu đô thị Empire City Thủ Thiêm – Thành phố Hồ Chí Minh.

**4.2.4 Nước:** Sử dụng nước sạch sinh hoạt để tạo mẫu và thí nghiệm thấm

### 4.3 PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

#### 4.3.1 Chế tạo mẫu

Đất cát san lấp ở độ ẩm tốt nhất được tạo mẫu trong khuôn trụ tròn của thiết bị thám thành cứng Humboldt có kích thước  $D \times H = (62 \times 140)$  mm.

##### 4.3.1.1 Mẫu bùn sét, sét dẻo mềm nguyên trạng

Các mẫu đất sét nguyên trạng có kích thước  $D \times H = (62 \times 140)$  mm được lấy bằng cách ép và cắt lấy mẫu tại công trình ở độ sâu gần 2m.

##### 4.3.1.2 Mẫu soilcrete

a. Tỷ lệ nước/xi măng ( $w/c$ ): được chọn để tạo mẫu soilcrete là tùy theo loại đất: đất bùn sét (1.2/1), sét dẻo mềm (2/1), sét dẻo cứng (1.4/1), cát san lấp (0.7/1).

b. Hàm lượng xi măng ( $A_c$ ): từ 200 kg/m<sup>3</sup> đến 400 kg/m<sup>3</sup>

c. Đúc mẫu soilcrete: Các mẫu soilcrete được chế tạo trong phòng thí nghiệm bằng khuôn nhựa hình trụ tròn. Đối với mẫu thí nghiệm thám có  $H \times D = 65 \times 62$  mm (ASTM D5084). Đối với mẫu thí nghiệm cường độ có  $H \times D = 120 \times 55$  mm,  $H/D \geq 2$  (ASTM D2166). Các mẫu soilcrete được chế tạo lần lượt từ các loại đất bùn sét, sét dẻo mềm, sét dẻo cứng, và cát san lấp trộn lần lượt với xi măng OPC40, PCB40, PCS ở các hàm lượng 200, 250, 300, 350, 400 kg/m<sup>3</sup>. Mẫu cát trộn PCB40 hàm lượng 300 kg/m<sup>3</sup> được trộn thêm bentonite có hàm lượng 15, 25, 50, 75, và 100 kg/m<sup>3</sup>. Quy trình chế tạo mẫu được minh họa ở Hình 4.7.



a) Đất sét được cắt nhỏ



b) Tạo vữa xi măng



c) Trộn hỗn hợp bằng máy trộn



d) Trộn hỗn hợp bằng dụng cụ cầm tay



f) Đúc mẫu soilcrete





g) Ngâm bảo dưỡng mẫu trong nước      k) Bảo hòa mẫu bằng hút chân không

Hình 4.7. Quy trình chế tạo mẫu soilcrete

Bảng 4.3. Số lượng mẫu soilcrete được chế tạo

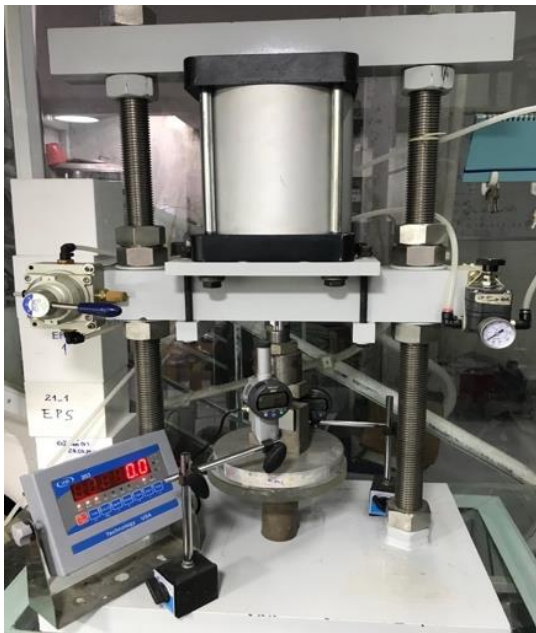
Loại đất	Ký hiệu mẫu	Loại xi măng	Hàm lượng xi măng (kg/m <sup>3</sup> )	Hàm lượng bentonite (kg/m <sup>3</sup> )	Tỷ lệ nước trên xi măng w/c	Số lượng mẫu	
						Thí nghiệm thấm	Thí nghiệm cường độ
Bùn sét	SC.200.B	PCB	200	-	1.2:1	2	6
	SC.250.B	PCB	250	-	1.2:1	2	6
	SC.300.B	PCB	300	-	1.2:1	3	6
	SC.350.B	PCB	350	-	1.2:1	2	6
	SC.400.B	PCB	400	-	1.2:1	2	6
Đất sét dẻo mềm	MC.300.B	PCB	300	-	2:1	2	6
Đất sét dẻo cứng	HC.300.B	PCB	300	-	1.4:1	2	6
Đất cát san lấp	S.200.O	OPC	200	-	0.7:1	2	3
	S.250.O	OPC	250	-	0.7:1	2	3
	S.300.O	OPC	300	-	0.7:1	3	3
	S.350.O	OPC	350	-	0.7:1	2	3
	S.400.O	OPC	400	-	0.7:1	2	3
	S.300.B	PCB	300	-	0.7:1	2	6
	S.300.S	PCS	300	-	0.7:1	2	3
	B15	PCB	300	15	0.7:1	1	2
	B25	PCB	300	25	0.7:1	2	2
	B50	PCB	300	50	0.7:1	2	2
	B75	PCB	300	75	0.7:1	2	2
B100	PCB	300	100	0.7:1	2	2	
<b>Tổng:</b>						<b>39</b>	<b>76</b>

#### 4.3.2 Thí nghiệm xác định cường độ

Cường độ chịu nén của các mẫu soilcrete được xác định tại 7 và 28 ngày tuổi bằng thiết bị nén một trục (Hình 4.8). Quy trình thí nghiệm nén mẫu tuân thủ tiêu chuẩn TCVN 9403-2012 [33], ASTM D2166 [95] và ASTM D1633 [108].

### 4.3.3 Thí nghiệm thấm

Hệ số thấm của các mẫu đất sét nguyên trạng và mẫu cát san lấp đầm chặt được xác định trên thiết bị thấm thành cứng theo phương pháp cột áp vào hạ - cột áp ra không đổi tuân thủ ASTM D5856. Đối với các mẫu soilcrete, hệ số thấm được xác định trên thiết bị thành mềm theo phương pháp cột áp vào hạ - cột áp ra không đổi (Hình 4.9) và phương pháp cột áp vào hạ - cột áp ra dâng tuân thủ tiêu chuẩn ASTM D5084. Quá trình đo thấm cho mỗi mẫu soilcrete được thực hiện đến 60 ngày, 90 ngày tuổi hoặc hơn. Kết quả hệ số thấm của tất cả các mẫu được tính toán tại nhiệt độ phòng, sau đó được quy đổi về hệ số thấm ở nhiệt độ 20°C.



Hình 4.8. Thiết bị nén một trục.



Hình 4.9. Hệ thống thiết bị thấm thành mềm

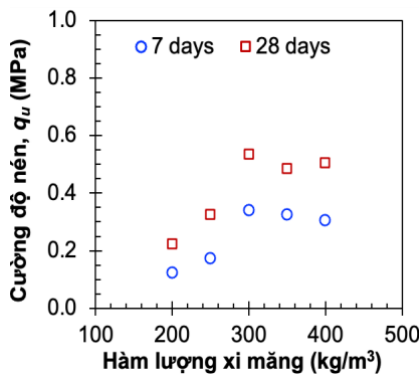
## 4.4 KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

Hơn 100 mẫu soilcrete đã được chế tạo, trong đó 39 mẫu có kích thước  $H = 65 \pm 1$  mm,  $D = 62 \pm 1$  mm được thực hiện thí nghiệm thấm và 76 mẫu soilcrete có kích thước  $H = 120 \pm 1$  mm,  $D = 55 \pm 1$  mm thực hiện thí nghiệm nén.

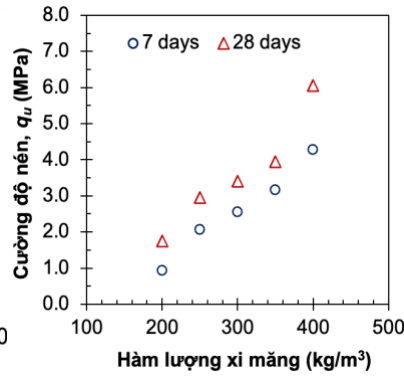
## 4.5 THẢO LUẬN KẾT QUẢ

### 4.5.1 Cường độ mẫu soilcrete

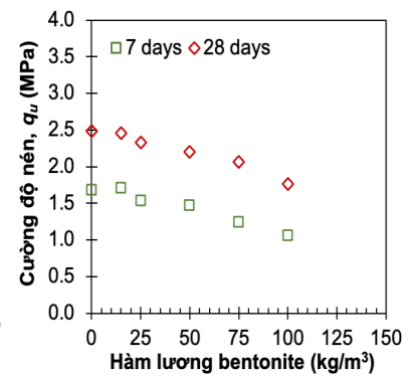
Cường độ tất cả các mẫu soilcrete tăng theo thời gian bảo dưỡng và hàm lượng xi măng (Hình 4.10, Hình 4.11, Hình 4.12).



Hình 4.10. Cường độ mẫu soilcrete bùn sét



Hình 4.11. Cường độ các mẫu soilcrete cát san lấp

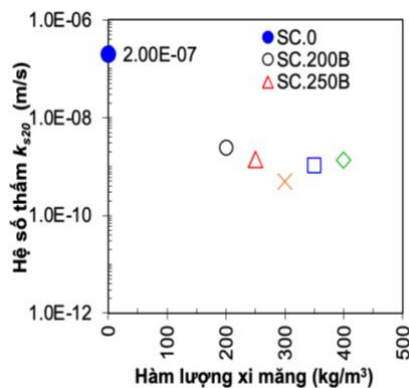


Hình 4.12. Cường độ các mẫu soilcrete bentonite

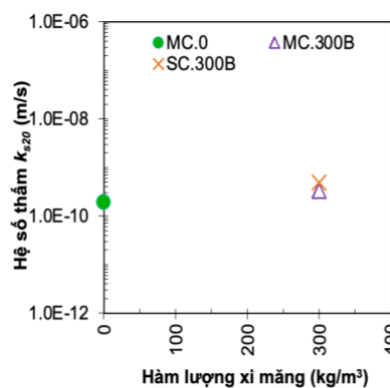
#### 4.5.2 Hệ số thấm mẫu soilcrete

##### 4.5.2.1 Ảnh hưởng của hàm lượng xi măng lên hệ số thấm soilcrete

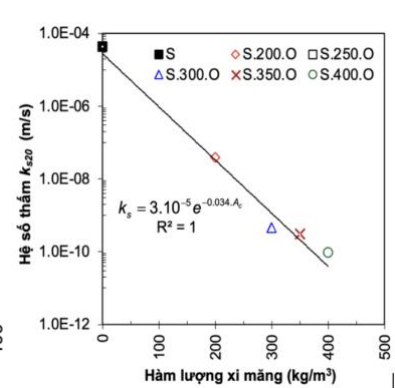
Mẫu bùn sét trộn xi măng có  $k_s$  thấp hơn 100 lần so với đất tự nhiên và giảm khi tăng hàm lượng xi măng đến 300  $\text{kg/m}^3$ , sau đó tăng ngược trở lại khi tăng hàm lượng xi măng đến 350, 400  $\text{kg/m}^3$  (Hình 4.13a). Đối với đất sét dẻo mềm trộn xi măng có  $k_s$  gần như tương đương với đất sét chưa xử lý (Hình 4.13b). Đối với đất cát trộn xi măng,  $k_s$  soilcrete giảm từ  $10^3$  đến  $10^5$  lần so với mẫu đất cát tự nhiên đầm chặt và giảm khi tăng hàm lượng xi măng (Hình 4.13c).



a) Đất bùn sét



b) Đất sét dẻo mềm



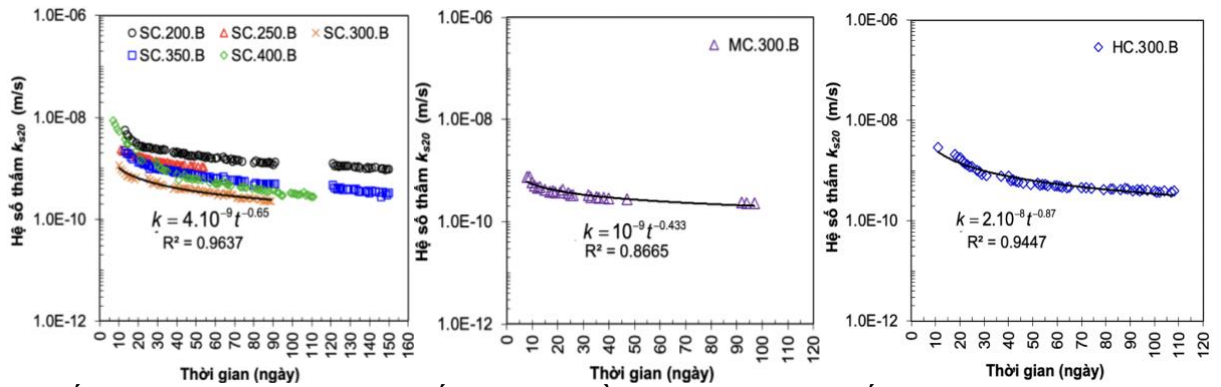
c) Đất cát san lấp

Hình 4.13. Hệ số thấm các mẫu đất tự nhiên và các mẫu soilcrete tạo từ các loại đất trộn các hàm lượng xi măng khác nhau ở 28 ngày tuổi

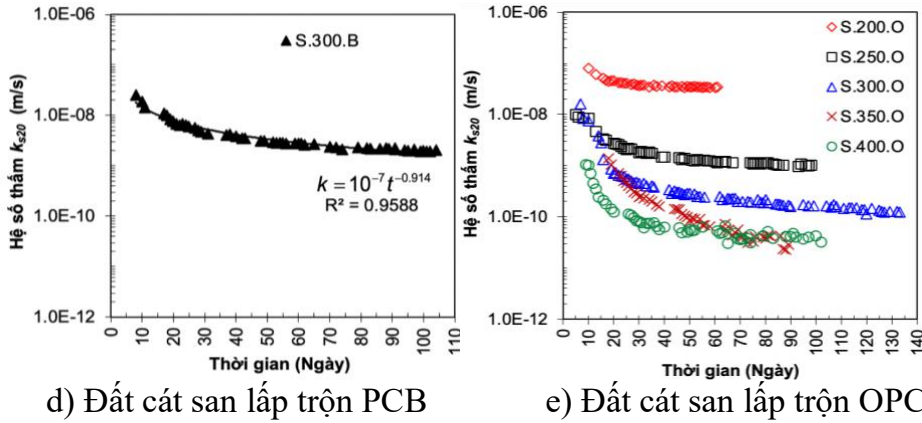
##### 4.5.2.2 Ảnh hưởng thời gian bảo dưỡng lên hệ số thấm soilcrete

Hệ số thấm của tất cả các mẫu soilcrete đều giảm theo thời gian bảo dưỡng.





a) Đất bùn sét trộn PCB . b) Đất sét dẻo mềm trộn PCB c) Đất sét dẻo cứng trộn PCB

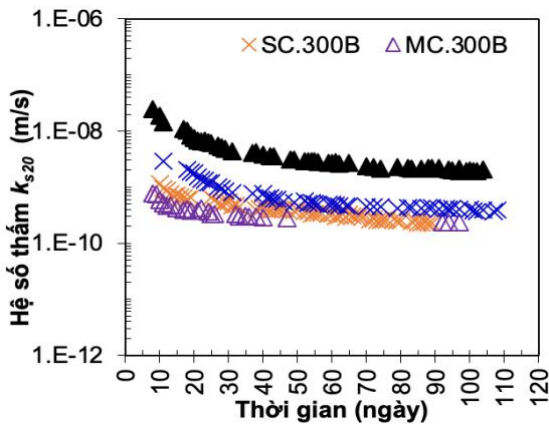


d) Đất cát san lấp trộn PCB

e) Đất cát san lấp trộn OPC

Hình 4.14. Hệ số thấm các mẫu soilcrete theo thời gian bảo dưỡng

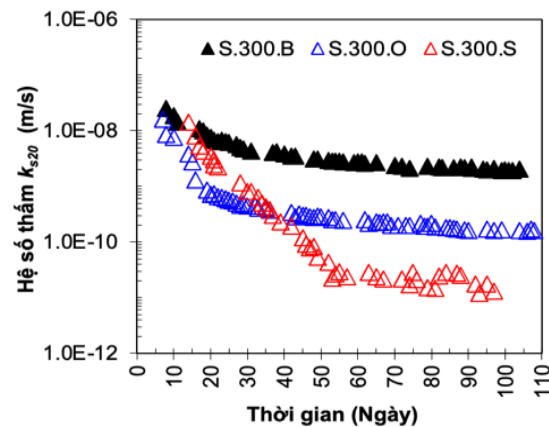
#### 4.5.2.3 Ảnh hưởng của loại đất lên hệ số thấm soilcrete



Hình 4.15.  $k_s$  các loại đất khác nhau trộn xi măng PCB hàm lượng 300  $\text{kg/m}^3$  theo thời gian bảo dưỡng.

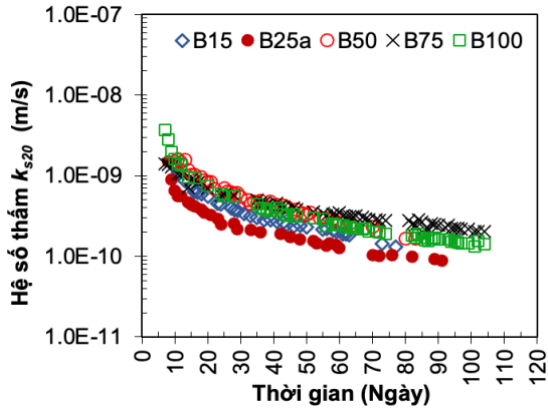
Các loại đất sét trộn xi măng có hệ số thấm thấp hơn đất cát trộn xi măng khoảng 10 lần (Hình 4.15)

#### 4.5.2.4 Ảnh hưởng của loại xi măng lên hệ số thấm



Hình 4.16. Hệ số thấm các mẫu đất cát san lấp trộn các loại xi măng khác nhau -  $k_s$  của mẫu cát trộn xi măng PCB40 cao hơn so với hai loại còn lại. Hệ số thấm của mẫu cát trộn xi măng OPC40 thấp hơn mẫu cát trộn PCS trong giai đoạn trước 35 ngày tuổi. Sau 35 ngày tuổi  $k_s$  của mẫu cát trộn PCS tiếp tục giảm mạnh và trở nên thấp hơn  $k_s$  của mẫu cát trộn OPC40.

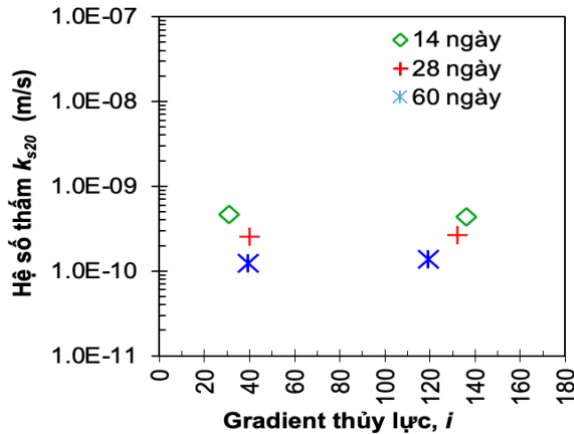
#### 4.5.2.5 Ảnh hưởng của hàm lượng bentonite lên hệ số thấm soilcrete



Hình 4.17.  $k_s$  các mẫu đất cát san lấp trộn xi măng PCB hàm lượng  $300 \text{ kg/m}^3$  và bentonite theo thời gian bảo dưỡng

-  $k_s$  của soilcrete giảm khi trộn thêm bentonite.  $k_s$  của soilcrete bentonite tại hàm lượng bentonite  $25 \text{ kg/m}^3$  là tối ưu nhất

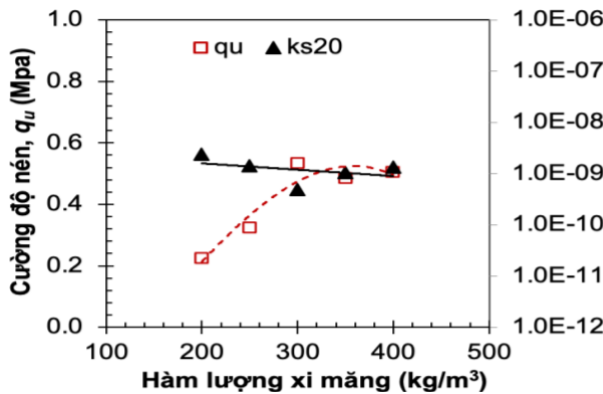
#### 4.5.2.6 Ảnh hưởng của gradient thủy lực lên hệ số thấm



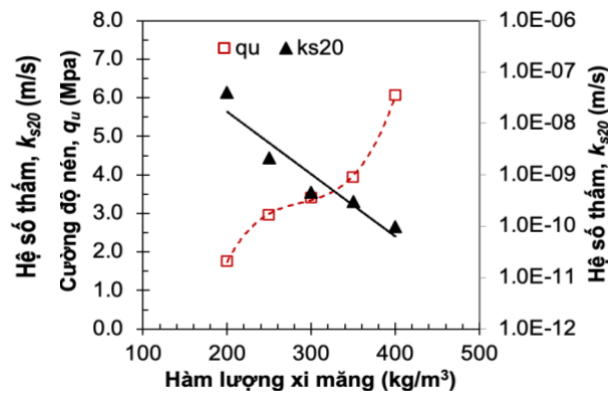
Hình 14.19. Hệ số thấm soilcrete theo gradient thủy lực

- Sự thay đổi hệ số thấm soilcrete theo gradient thủy lực là không đáng kể ( $<10\%$ ).

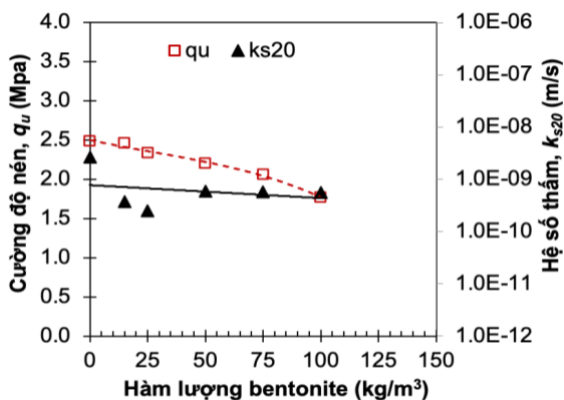
#### 4.5.3 Mối quan hệ giữa cường độ và hệ số thấm soilcrete



Hình 4.20.  $q_u$  và  $k_{s20}$  của các mẫu soilcrete tạo từ đất bùn sét



Hình 4.21.  $q_u$  và  $k_{s20}$  của các mẫu soilcrete tạo từ đất cát san



Hình 4.22.  $q_u$  và  $k_{s20}$  của các mẫu soilcrete bentonite

- Cường độ soilcrete tăng thì hệ số thấm giảm. Tuy nhiên, bentonite làm giảm cả cường độ và hệ số thấm soilcrete.

## 4.6 TÓM TẮT CHƯƠNG 4

Ứng xử thấm soilcrete được phân tích và rút ra các kết luận như sau: Hệ số thấm đất giảm đáng kể khi được trộn với xi măng.  $k_s$  đạt  $10^{-9}$  m/s hoặc thấp hơn.  $k_s$  giảm khi tăng hàm lượng xi măng và giảm theo thời gian bảo dưỡng.  $k_s$  từ đất sét trộn xi măng thấp hơn  $k_s$  từ đất cát trộn xi măng khi các loại đất được trộn cùng loại và hàm lượng xi măng. Xi măng PCS trộn đất cát san lấp cho hệ số thấm thấp hơn so với xi măng OPC và PCB. Đất cát san lấp trộn xi măng kết hợp bentonite cho hệ số thấm thấp hơn so với chỉ trộn xi măng. Tuy nhiên, ở cùng hàm lượng xi măng,  $k_s$  của soilcrete bentonite tăng khi tăng hàm bentonite. Gradient thủy lực trong khoảng (30 – 136) không làm ảnh hưởng đến hệ số thấm của mẫu soilcrete. Cường độ soilcrete càng tăng thì hệ số thấm càng giảm. Hàm lượng xi măng  $300 \text{ kg/m}^3$  được đề xuất trộn các loại đất để vừa đạt cường độ vừa đạt hệ số thấm yêu cầu ứng dụng làm đê bao kết hợp đường GTNT ở ĐBSCL

## CHƯƠNG 5 NGHIÊN CỨU VI CẤU TRÚC LÝ GIẢI SỰ GIẢM HỆ SỐ THẤM MẪU ĐẤT CÁT SAN LẤP TRỘN XI MĂNG

### 5.1. GIỚI THIỆU CHUNG

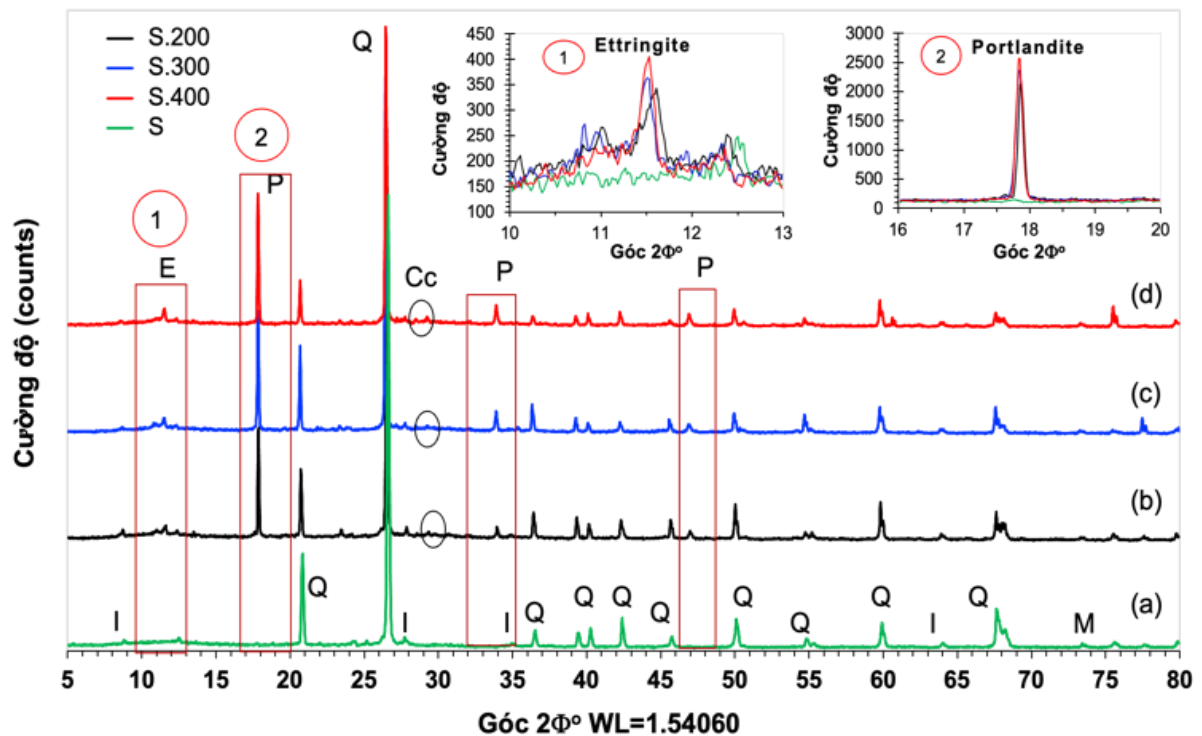
Chương 5 khảo sát sự thay đổi vi cấu trúc của mẫu đất cát san lấp trộn xi măng Portland thông thường theo thời gian bảo dưỡng và theo hàm lượng xi măng. Cấu trúc vi mô của mẫu soilcrete trong nghiên cứu được quan sát bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM), phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD), và phương pháp phân tích phổ tán sắc năng lượng tia X (EDS).

### 5.1 PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

- Mẫu đất cát tự nhiên: xác định thành phần khoáng và vi cấu trúc bằng thí nghiệm XRD và SEM.
- Mẫu soilcrete: chế tạo mẫu cát san lấp trộn xi măng OPC40 hàm lượng  $300 \text{ kg/m}^3$  (S.300.Oa) để phân tích vi cấu trúc theo thời gian bảo dưỡng. Mẫu được thí nghiệm SEM ở các ngày tuổi 4, 7, 10, 14, 37, 60, 90, và 120 ngày. Mẫu soilcrete để phân tích vi cấu trúc theo hàm lượng xi măng: sử dụng các mảnh vỡ của các mẫu soilcrete tại các hàm lượng xi măng  $200, 300, 400 \text{ kg/m}^3$  sau khi nén ở 28 ngày tuổi tiến hành thí nghiệm XRD, SEM, và EDS.

## 5.2 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 5.2.1 Phân tích XRD



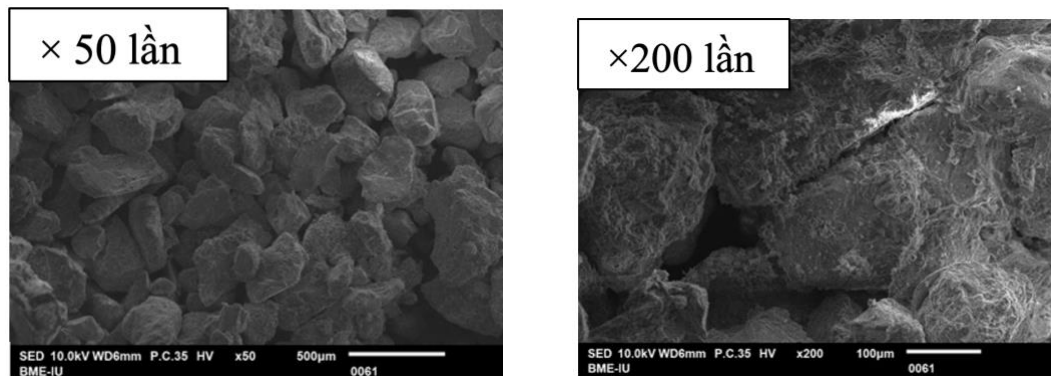
Q - Quartz (thạch anh), I - illite, Cc – canxit, P-Portlandite, E - Etringite.

Hình 5.5. Kết quả XRD của mẫu cát san lấp trước và sau khi trộn xi măng hàm lượng 200, 300, và 400  $\text{kg/m}^3$  tại 28 ngày tuổi

Phân tích XRD đã khẳng định sự hiện diện của các sản phẩm thủy hoá xi măng trong mẫu soilcrete so với mẫu cát tự nhiên và sự gia tăng các sản phẩm kết dính theo hàm lượng xi măng.

### 5.2.2 Phân tích SEM

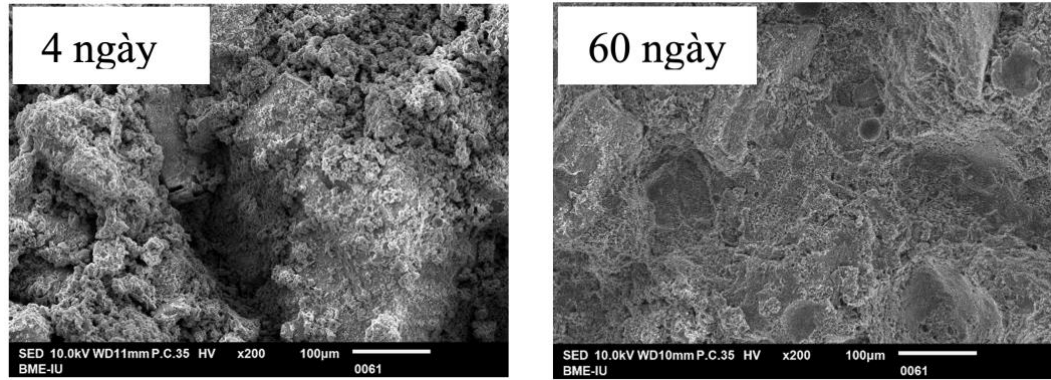
#### 5.2.2.1 Vi cấu trúc của mẫu đất cát đầm chặt ở các độ phóng đại khác nhau



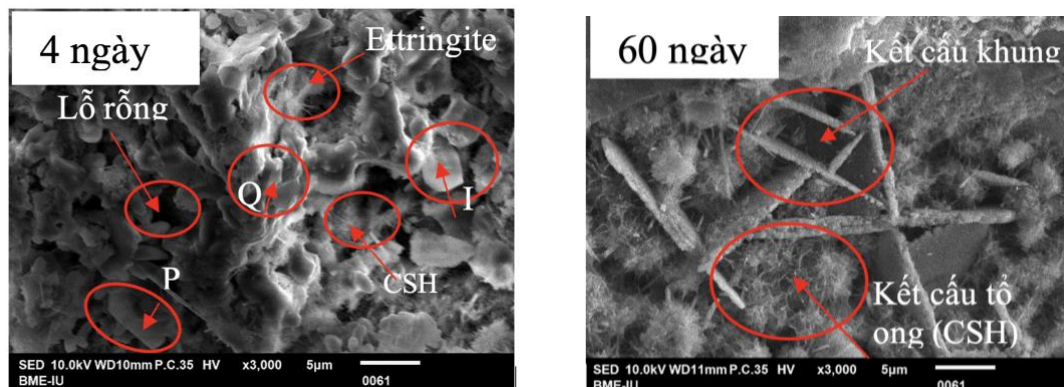
Hình 5.7. Hình ảnh SEM mẫu đất cát tự nhiên đầm chặt ở các độ phóng đại khác nhau



### 5.2.2.2 Vi cấu trúc của mẫu đất cát san lấp trộn xi măng theo thời gian bảo dưỡng



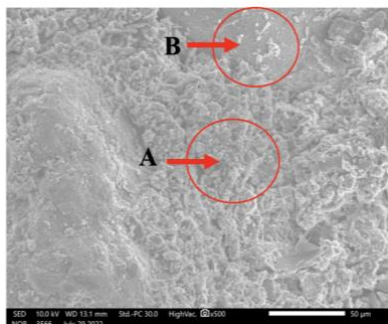
Hình 5.8. Hình ảnh SEM của mẫu soilcrete ở độ phóng đại  $\times 200$  lần theo các ngày tuổi khác nhau



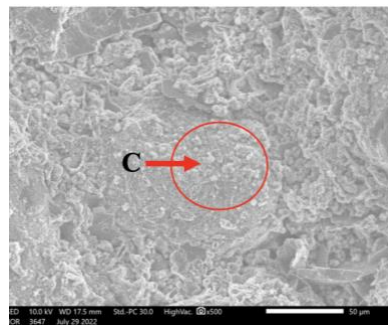
Hình 5.9. Hình ảnh SEM của mẫu soilcrete ở độ phóng đại  $\times 3000$  lần theo các ngày tuổi khác nhau

Hình ảnh SEM cho thấy cấu trúc mẫu soilcrete đặc chắc hơn mẫu cát đầm chặt và đặc chắc dần theo thời gian bảo dưỡng (Hình 5.8, Hình 5.9) đã lý giải cho xu hướng cường độ tăng và hệ số thấm giảm theo thời gian bảo dưỡng của soilcrete.

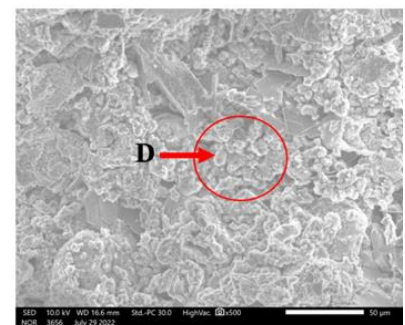
### 5.2.2.3 Vi cấu trúc của mẫu đất cát san lấp trộn xi măng theo hàm lượng xi măng



Hình 5.10a. Hình ảnh SEM của mẫu soilcrete hàm lượng  $200 \text{ kg/m}^3$  ở 28 ngày tuổi tại độ phóng đại  $\times 500$  lần



Hình 5.11a. Hình ảnh SEM của mẫu soilcrete hàm lượng  $300 \text{ kg/m}^3$  ở 28 ngày tuổi tại độ phóng đại  $\times 500$  lần



Hình 5.12a. Hình ảnh SEM của mẫu soilcrete hàm lượng  $400 \text{ kg/m}^3$  ở 28 ngày tuổi tại độ phóng đại  $\times 500$  lần

Ở hàm lượng xi măng thấp ( $200 \text{ kg/m}^3$ ), các sản phẩm CSH, ettringite sinh ra chèn lấp khoảng trống giữa các hạt cốt liệu (Hình 5.10a). Khi hàm lượng xi măng tăng lên ( $300, 400 \text{ kg/m}^3$ ), các sản phẩm CSH, CAH tăng lên rõ rệt lấp đầy lỗ rỗng và phủ kín bề mặt hạt cốt liệu (Hình 5.11a, Hình 5.12a). Các sản phẩm này tạo ra nhiều liên kết hơn, hình thành cấu trúc vững chắc góp phần cải thiện cường độ và hệ số thấm mẫu soilcrete.

### 5.2.3 Phân tích EDS

Nguyên tố	S.200.O.28	S.300.O.28	S.400.O.28
C	15.25	14.2	12.15
O	58.35	59.43	56.24
Mg	0.5	0.51	0.77
Al	1.73	2.05	2.17
Si	13.9	9.27	8.41
S	0.53	0.5	0.87
Ca	9.74	14.04	19.39

Bảng 5.1. Phần trăm các nguyên tố hoá học của các mẫu soilcrete bằng phân tích EDS

Phân tích EDS phát hiện những nguyên tố hoá học cấu thành các sản phẩm: thạch anh, CSH, ettringite, portlandite, và canxit phù hợp với các phát hiện ở XRD và SEM

## 5.3 TÓM TẮT CHƯƠNG 5

Vi cấu trúc của mẫu đất cát san lấp trước và sau khi trộn xi măng lần lượt được phân tích bằng XRD, SEM, và EDS. Các sản phẩm dạng gel CSH, ettringite, portlandite được nhìn thấy rõ ràng trên các hình ảnh SEM và được khẳng định thêm từ kết quả phân tích XRD và EDS. Các sản phẩm này tăng trưởng theo thời gian bảo dưỡng và theo hàm lượng xi măng, đan xen nhau tạo kết cấu khung và kết cấu tổ ong lấp đầy lỗ rỗng giữa các hạt cốt liệu tạo nên cấu trúc soilcrete vững chắc. Cấu trúc bề mặt mẫu soilcrete đặc chắc hơn so với mẫu đất tự nhiên. Độ đặc chắc mẫu soilcrete tăng theo thời gian bảo dưỡng và theo hàm lượng xi măng. Kết quả vi cấu trúc đã lý giải cho ứng xử thấm của soilcrete theo thời gian bảo dưỡng và theo hàm lượng xi măng.

## CHƯƠNG 6 PHÂN TÍCH HIỆU QUẢ SOILCRETE LÀM TƯỜNG NGĂN THẨM VÀ TĂNG ỔN ĐỊNH CHO ĐƯỜNG VEN SÔNG

### 6.1 GIỚI THIỆU CHUNG

Chương này sử dụng kết quả thí nghiệm về cường độ và hệ số thấm của các loại đất đặc trưng ĐBSCL gồm bùn sét, sét dẻo mềm, và sét dẻo cứng trộn xi măng PCB40 hàm lượng  $300 \text{ kg/m}^3$  ở Chương 4 để thiết kế tường soilcrete gia cố đê bao kết hợp đường GTNT ở hai tỉnh Đồng Tháp và An Giang.

### 6.2 PHƯƠNG PHÁP LUẬN

Hai phương án tường soilcrete được đề xuất gia cố đê bao gồm phương án một hàng cọc và phương án hai hàng cọc có chiều dày tương đương lần lượt  $0.4 \text{ m}$  và  $0.8 \text{ m}$ . Phần mềm SEEP/W và SLOPE/W được sử dụng mô phỏng phân tích thấm và ổn định mái dốc cho các công trình đê bao dưới điều kiện mực nước sông rút nhanh  $0.2 \text{ m/ngày}$ .

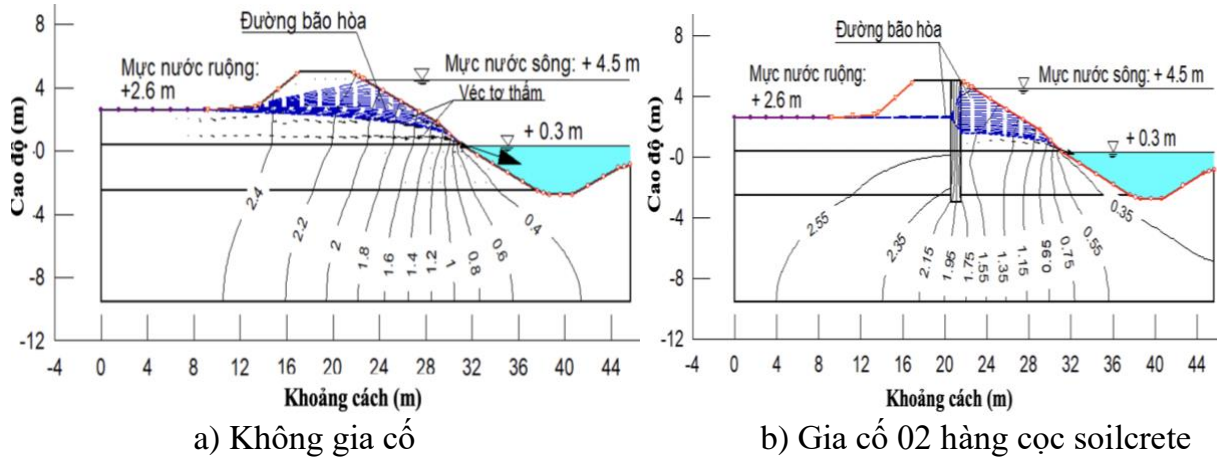
### 6.3 CÔNG TRÌNH NGHIÊN CỨU

#### 6.3.1 Đê kênh 2/9 thuộc tỉnh Đồng Tháp

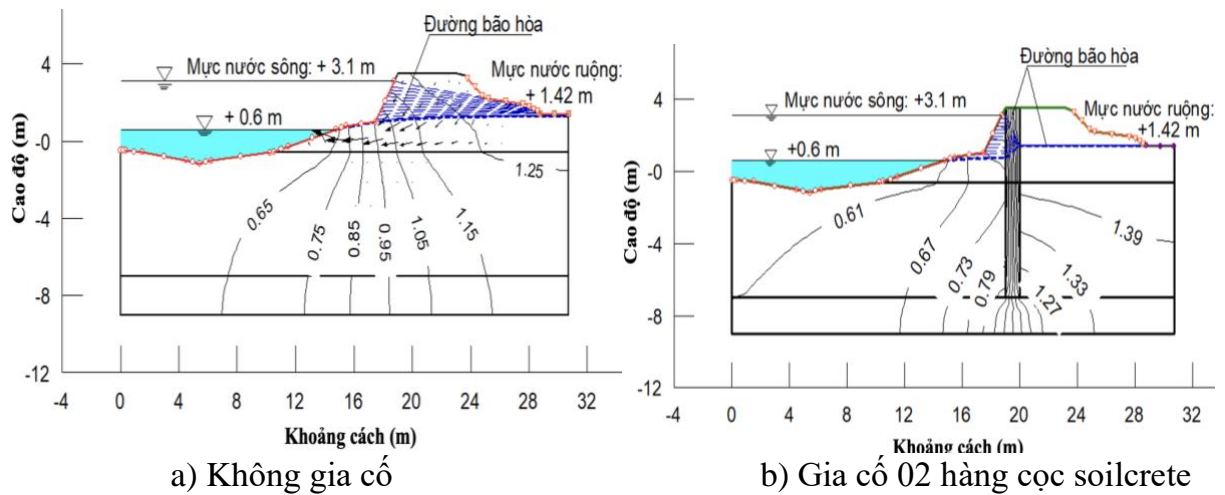
#### 6.3.2 Đê kênh Mười Cai thuộc tỉnh An Giang

### 6.4 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 6.4.1 Ảnh hưởng của tường soilcrete đến dòng thấm qua đê khi nước sông rút



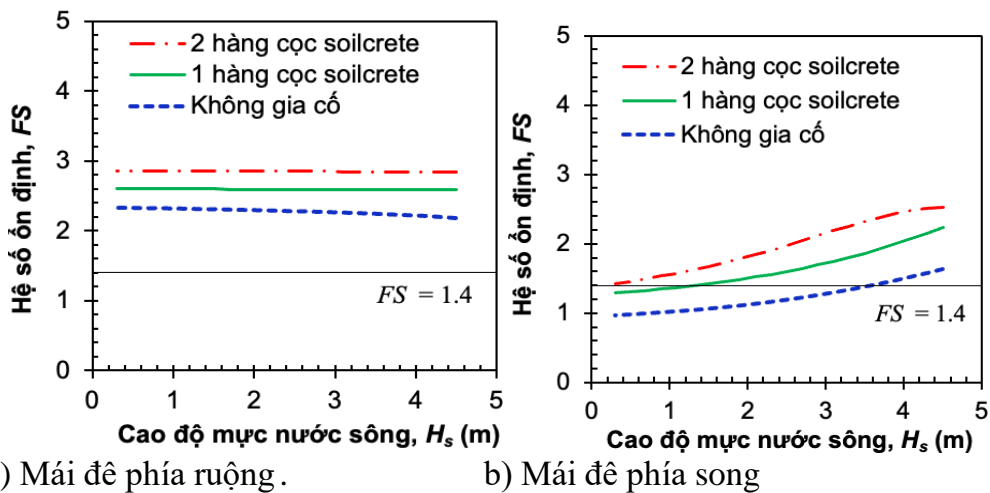
Hình 6.4. Đường bão hoà nước trong thân đê ứng với các mực nước rút tại đê kênh 2/9 - Đồng Tháp



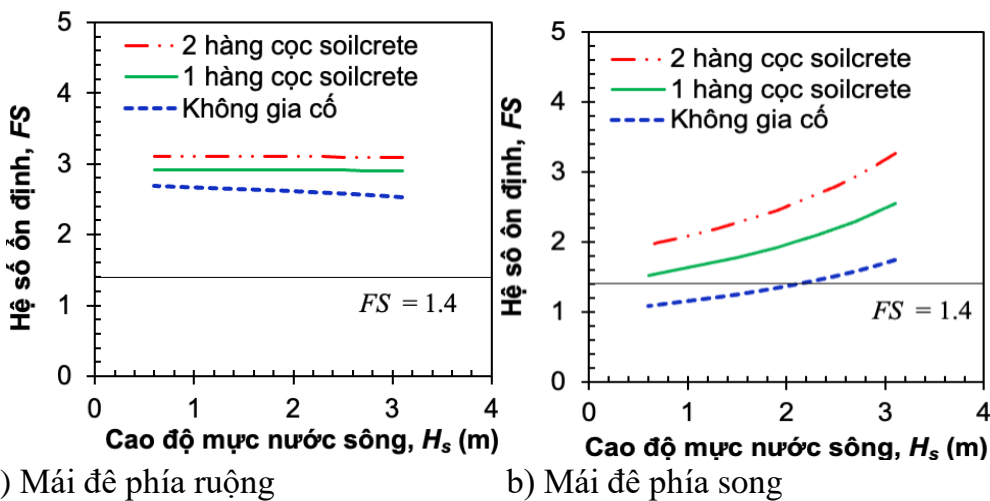
Hình 6.5. Đường bão hoà nước trong thân đê ứng với các mực nước rút tại đê kênh Mười Cai – An Giang

Khi các đê được gia cố tường soilcrete, đường bão hoà phía sông hạ thấp dần theo mực nước sông, đường bão hoà phía ruộng không đổi và bằng mực nước ruộng, cho thấy tường soilcrete đã ngăn chặn hiệu quả dòng thấm qua thân đê.

### 6.4.2 Ảnh hưởng của tường soilcrete đến độ ổn định mái đắp khi nước sông rút nhanh



Hình 6.6. Hệ số  $FS$  ứng với các mực nước sông khác nhau tại đê kênh 2/9 - Đồng Tháp



Hình 6.7. Hệ số  $FS$  ứng với các mực nước sông khác nhau tại đê kênh Mười Cai – An Giang

$FS$  phía ruộng hầu như không đổi,  $FS$  phía sông giảm sâu khoảng 40% cho cả hai đê khi mực nước rút và mất ổn định nếu không được gia cố. Khi các đê được gia cố tường soilcrete một hàng cọc hay hai hàng cọc  $FS$  phía sông tăng từ 35% đến 61% và 43% đến 83% đối với đê kênh 2/9 và đê Mười Cai lần lượt. Như vậy, tường soilcrete đã ngăn dòng thấm hiệu quả làm gia tăng độ ổn định đê bao.

## 6.5 TÓM TẮT CHƯƠNG 6

Kết quả thí nghiệm hệ số thấm và cường độ soilcrete trong phòng được sử dụng để thiết kế hai phương án tường soilcrete một hàng cọc và hai hàng cọc gia cố cho các đê đất tiêu biểu ở hai tỉnh đại diện là Đồng Tháp và An Giang. Phần mềm SEEP/W và SLOPE/W được sử dụng mô phỏng phân tích thấm và độ ổn định đê đất dưới điều kiện mực nước lũ rút nhanh. Kết quả cho thấy tường soilcrete tạo từ các loại đất bùn sét, sét dẻo mềm trộn xi măng PCB40 hàm lượng 300 kg/m<sup>3</sup> có hệ số thấm thấp lần lượt  $6.43 \times 10^{-10}$  m/s và  $4.34 \times 10^{-10}$  m/s đã ngăn thấm thành công và gia tăng độ ổn định cho



các đê đất. Tường soilcrete một hàng cọc dày 0.4 m nên gia cố cho các vị trí đê có nguy cơ sạt lở thấp. Tường soilcrete hai hàng cọc dày 0.8 m nên áp dụng cho các vị trí đê có nguy cơ sạt lở cao và đảm bảo ổn định trong suốt quá trình khai thác.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 1. KẾT LUẬN

10 bộ thiết bị thấm thành mềm được chế tạo, trong đó 7 bộ thiết bị thấm tạo áp bằng chiều cao cột nước 4 m và 3 bộ thiết bị thấm tạo áp bằng áp lực khí. Các hệ thống thiết bị thấm vận hành ổn định và an toàn. Hiện tượng nước chảy dọc thành mẫu, hoặc rò rỉ không xuất hiện trong suốt quá trình thí nghiệm. Hệ thống thiết bị thấm điều khiển bằng áp lực khí có thể tạo áp đến hơn 150 kPa và có thể thực hiện trong không gian nhỏ gọn. Một quy trình thí nghiệm thấm vật liệu soilcrete trong phòng bằng thiết bị thấm thành mềm được xây dựng dựa trên kết quả nghiên cứu tổng quan và kinh nghiệm đúc kết từ quá trình thực hành các thí nghiệm thấm trong nghiên cứu này. Hơn 100 mẫu soilcrete đã được chế tạo trong phòng thí nghiệm từ các loại đất phổ biến ở ĐBSCL gồm đất bùn sét, sét dẻo mềm, sét dẻo cứng, và cát san lấp trộn xi măng với các hàm lượng khác nhau lần lượt 200, 250, 300, 350, 400 kg/m<sup>3</sup>. Ngoài ra, đất cát san lấp trộn xi măng hàm lượng 300 kg/m<sup>3</sup> còn có bổ sung bentonite ở các hàm lượng lần lượt là 15, 25, 50, 75, 100 kg/m<sup>3</sup>. Cường độ chịu nén của các mẫu soilcrete đã được xác định tại 7 và 28 ngày tuổi thông qua thí nghiệm nén nở hông tự do (UCS) bằng thiết bị nén một trục tuân thủ tiêu chuẩn ASTM D2166. Hệ số thấm của các mẫu soilcrete được khảo sát bằng thí nghiệm thấm theo phương pháp cột áp vào giảm - cột áp ra không đổi hoặc cột áp vào giảm - cột áp ra dâng trên thiết bị thấm thành mềm. Các mẫu thí nghiệm thấm được thực hiện từ 7 ngày tuổi đến khi hệ số thấm ổn định 60 ngày, 90 ngày hoặc lâu hơn. Vi cấu trúc các mẫu soilcrete tạo từ đất cát san lấp cũng được phân tích bằng XRD, SEM, EDS để lý giải các kết quả thí nghiệm. Các kết luận được rút ra từ các thí nghiệm như sau: (1) Hệ số thấm của đất bùn sét trộn xi măng giảm ít nhất 100 lần so với đất tự nhiên; (2) Hệ số thấm của cát san lấp trộn xi măng giảm hơn 1000 lần so với đất cát đầm chặt; (3) Hệ số thấm soilcrete giảm theo thời gian bảo dưỡng; (4) Hệ số thấm soilcrete giảm khi tăng hàm lượng xi măng; (5) Đất sét trộn xi măng có hệ số thấm thấp hơn đất cát trộn xi măng ít nhất 10 lần; (6) Hệ số thấm đất cát trộn xi măng PCS thấp hơn so với trộn với xi măng OPC và PCB; (7) Bentonite làm giảm hệ số thấm của soilcrete. Khi hàm lượng bentonite vượt quá giá trị tối ưu, hệ số thấm soilcrete bentonite tăng nhẹ khi tăng hàm lượng bentonite; (8) Hệ số thấm soilcrete không phụ thuộc vào gradient thủy lực trong phạm vi từ 30 đến 136; (9) Hệ số thấm soilcrete càng giảm, cường độ càng tăng; (10) Cấu trúc mẫu soilcrete thay đổi theo thời gian tăng và theo hàm lượng xi măng tăng theo xu hướng đặc chắc dần, phù hợp với kết quả thí nghiệm thấm; (11) Hàm lượng xi măng để tạo cọc

soilcrete cho mục đích ngăn thấm đê bao được đề xuất: đối với các loại đất bùn sét, sét dẻo mềm, sét dẻo cứng trộn xi măng PCB40 thì  $A_c = 300 \text{ kg/m}^3$ ; đối với đất cát san lấp trộn xi măng OPC40 hoặc xi măng PCS  $A_c = 250 - 300 \text{ kg/m}^3$ , hoặc xi măng PCB40 hàm lượng  $300 \text{ kg/m}^3$  trộn thêm bentonite hàm lượng  $25 \text{ kg/m}^3$ .

Tường soilcrete tạo từ các loại đất bùn sét và sét dẻo mềm trộn xi măng hàm lượng  $300 \text{ kg/m}^3$  có thể ứng dụng trong gia cố đê đất ngăn thấm bảo vệ hoa màu một cách hiệu quả. Tường soilcrete một hàng cọc gia cố cho các vị trí đê có nguy cơ sạt lở thấp. Tường soilcrete hai hàng cọc nên áp dụng cho các vị trí đê có nguy cơ sạt lở cao và đảm bảo ổn định lâu dài.

## **2. KIẾN NGHỊ**

Từ kết quả nghiên cứu, một số kiến nghị được như sau:

- (1) Thí nghiệm thấm mẫu soilcrete hiện trường để đối chiếu kết quả thí nghiệm thấm trong phòng.
- (2) Nghiên cứu bổ sung hệ số thấm của các loại đất ở các vùng khác nhau.
- (3) Thiết kế tiêu chuẩn quốc gia xác định hệ số thấm mẫu đất trộn xi măng trong phòng thí nghiệm bằng thiết bị thấm thành mềm.
- (4) Ứng dụng vật liệu soilcrete vào mục đích chống thấm như vách hố đào, đáy hố đào, lõi đê, đập đất, hồ chứa rác thải.
- (5) Thị trường hóa thiết bị thí nghiệm thấm thành mềm được thiết kế trong nghiên cứu này, giúp giảm chi phí nhập thiết bị thí nghiệm thấm từ nước ngoài.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Portland Cement Association, Soil - cement construction handbook, EB003.10S, 1995.
- [2] I. Bellezza and E. Fratolocchi, "Effectiveness of cement on hydraulic conductivity of compacted soil-cement mixtures," *Ground Improvement*, vol. 2, pp. 77-90, 2006.
- [3] H. Sharafi & M. Shekarbeigi, "Experimental evaluation of the behavior of Sandy Soil-Cement Mixture," *Revista Ingeniería UC*, vol. 26, no. 3, pp. 258-272, 2019..
- [4] M. Kitazume and M. Terashi, *The Deep Mixing Method*, Netherlands: CRC Press, Balkema, 2013.
- [5] H. H. Tran-Nguyen, T. T. Le, and T. H. Ly, "Soilcrete characteristics created by a single Jet Grouting system in Ho Chi Minh City," in *Proceedings of the 2nd international conference on Geotechnics for sustainable development*, Hanoi, 2013.
- [6] H. H. Tran-Nguyen, M. Kitazume, B. T. Luong, and T. T. Bui, "Laboratory investigation on An Giang soil mixed with dry cement," *Malaysian Journal of Civil Engineering*, vol. 26(1), pp. 77-88, 2014.
- [7] H. H. Tran-Nguyen, M. Kitazume, H. Tanaka, K. B. Le, P. L. Le, T. M. C. Do, B. T. Nguyen, D. C. Truong, and A. P. Mai, "Laboratory investigation of soilcrete created from Mekong delta's soils mixed with cement," in *Proceedings of The Deep Mixing 2015 Conference*, San Francisco, USA, 2015.
- [8] H. H. Tran-Nguyen, "Applying Soil cement mixing technology to reinforce earth levees to protect rice fields against annual floods in the Mekong delta, Vietnam," 2015.
- [9] H. H. Tran-Nguyen, B. K. Le, and L. P. Long, "Behaviors of field soilcrete created by a light weight equipment system to reinforce an earth levee in Vietnam," *Malaysian Journal of Civil Engineering*, vol. 28(1), pp. 91-107, 2016.
- [10] H. H. Tran-Nguyen and C. H. Quach, "Mechanical behaviors of soilcrete created from soils of Tam Bang and Vam Dinh bridges simulating Jet Grouting technology," *Proceedings of the Grouting Hawaii 2017, Honolulu Hawaii, USA*, vol. 3, pp. 62-72, 2017.
- [11] J. Fan, D. Wang, and D. Qian, "Soil-cement mixture properties and design considerations for reinforced," *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol. 10, pp. 791-797, 2018.
- [12] Q. T. Truong, N. L. Nguyen, and T. Q. N. Nguyen, "Mechanical behavior of Vinh Long soil mixed with cement," *Materials Science and Engineering*, vol. 869, pp. 1-11. doi:10.1088/1757-899X/869/7/072004, 2020.
- [13] Y. Yuzhen, P. Jialiu, U. Keizo, and H. Takashi, "A study on permeability of soil - cement mixture," *Japanese geotechnical society*, vol. 39(5), pp. 145-149, 1999.
- [14] S. H. Chew, A. H. M. Kamruzzaman, and F. H. Lee, "Physicochemical and Engineering Behavior of Cement Treated Clays," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 130(7), pp. 696-706, 2004.
- [15] T. D. Tran, Y. J. Cui, A. M. Tang, M. Audiguier, and R. Cojean, "Effects of lime treatment on the microstructure and hydraulic conductivity of Héricourt clay," *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol. 6(5), pp. 399-404, 2014.
- [16] N. S. Ikhlef, M. Smaine, Ghembaza, and M. Dadouch, "Effect of Treatment with Cement on the Mechanical Characteristics of Silt from Telagh Region of Sidi Belabes, Algeria," *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 33, pp. 1067-1079, 2015.
- [17] Y. Deng, X. Yue, S. Liu, Y. Chen, and D. Zhang, "Hydraulic conductivity of cement-stabilized marine clay with metakaolin and its correlation with pore size distribution," *Engineering Geology*, vol. 193, pp. 146-152, 2015.

- [18] P. Govindasamy and M. R. Taha, "Hydraulic Conductivity of Residual Soil-Cement Mix," *Materials Science and Engineering*, vol. 136, pp. 1-6, 2016.
- [19] S. E. Mousavi and L. S. Wong, "Permeability Characteristics of Compacted and Stabilized Clay with Cement, Peat Ash and Silica Sand," *Civil Engineering Infrastructures Journal*, vol. 49, no. 1, pp. 149-164, 2016.
- [20] E. Mengue, H. Mroueh, L. Lancelot, and R. M. Eko, "Physicochemical and consolidation properties of compacted lateritic soil treated with cement," *Soils and Foundations*, vol. 57, pp. 60-79, 2017.
- [21] O. Helson, J. Eslami, A. Beaucour, A. Noumowe, and P. Gotteland, "Hydro-mechanical behaviour of soilcrete through a parametric laboratory study," *Construction and Building Materials*, vol. 166, pp. 657-667, 2018.
- [22] S. J. Abbey, S. Ngambi, A. O. Olubanwo, and F. K. Tetteh, "Strength and Hydraulic Conductivity of Cement and By – Product Cementitious Materials Improved Soil," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 13, pp. 8684-8694, 2018.
- [23] EuroSoilStab, "Development of Design and Construction Methods to Stabilise Soft Organic Soils- Design Guide Soft Soil Stabilisation," CT97-0351 Project No. BE 96-3177, 2002.
- [24] L. S. Wong, R. Hashim, and F. H. Ali, "Strength and permeability of stabilized peat soil," *Journal of applied sciences*, vol. 8, no. 21, pp. 3986-3990, 2008.
- [25] T. S. Amhadi and G. J. Assaf, "Strength and permeability potentials of cement modified desert sand for roads construction purpose," *Innovative Infrastructure Solutions*, vol. 5(79), 2020.
- [26] M. Keramatikerman, A. Chegenizadeh, and H. Nikraz, "Permeability of sand-lime-cement mixtures," *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, vol. 4(11), pp. 308-311, 2020.
- [27] F. H. Ali, W. L. Sing, and R. Hashim, "Engineering Properties of Improved Fibrous Peat," *Scientific Research and Essay*, vol. 5(2), pp. 154-169, 2010.
- [28] Z. A. Rahman, N. Sulaiman, S. A. Rahim, W. M. R. Idis, and T. Lihan, "Effect of Cement Additive and Curing Period on Some Engineering Properties of Treated Peat Soil," *Sains Malaysiana*, vol. 45(11), pp. 1679-1687, 2016.
- [29] M. M. Khin. Latt and P. H. Giao, "Prediction of Permeability of Cement-admixed Soft Clay using Resistivity and Time-domain IP Measurements," *Journal of Applied Geophysics*, pp. 1-35, 2016.
- [30] D. Alkaya and A. B. Esener, "Usability of sand-bentonite-cement mixture in the construction of unpermeable layer," *Scientific Research and Essays*, vol. 6, no. 21, pp. 4492-4503, 2011.
- [31] A. Irawania, "Hydro-Mechanical Properties of Compacted Sand-bentonite Mixtures Enhanced with Cement," Ph.D. thesis, Eastern Mediterranean University, 2015.
- [32] Nguyễn Việt Trung và Vũ Minh Tuấn, *Cọc đất xi măng - phương pháp gia cố nền đất yếu*, Hà Nội: NXB Xây dựng, 2010.
- [33] Bộ Khoa học và Công nghệ, *Gia cố nền đất yếu – Phương pháp trụ đất xi măng*, Việt Nam: TCVN 9403:2012, 2012.
- [34] Báo xây dựng, "Ứng dụng và phát triển công nghệ cọc xi măng đất ở Việt Nam," 04/09/2018. [Online]. Available: <http://www.baoxaydung.com.vn>.
- [35] Nguyễn Quốc Dũng, Nguyễn Quốc Huy, và Nguyễn Quý Anh, "Ứng dụng công nghệ Jet grouting để chống thấm cho công trình thủy lợi," *Viện Khoa học thủy lợi*, pp. 83-93, 2008.

- [36] Mai Thị Hồng, "Nghiên cứu xử lý vật liệu bồi tích trẻ để nâng cấp, xây dựng đập đất vùng Tây Nguyên," Luận án tiến sĩ, trường Đại học Thủy Lợi, 2019.
- [37] Nguyễn Hữu Năm, "Nghiên cứu cải tạo đất Bazan bằng hỗn hợp puzolan – xi măng – vôi làm tường nghiêng chống thấm đập đất vùng Tây Nguyên," Luận án Tiến sĩ, Viện khoa học thủy lợi Việt Nam, 2021.
- [38] Nguyễn Văn Thơ và Trần Thị Thanh, Xây dựng đê đập, đắp nền tuyến dân cư trên đất yếu ở Đồng bằng sông Cửu Long, Hồ Chí Minh: Nhà xuất bản Nông nghiệp, 2002, 173 pp.
- [39] H. H. Tran-Nguyen, P. L. Le, K. B. Le, and T. M. H. Ly, "Field trials on the soil cement technology to reinforce earth levees in the Mekong delta, Vietnam," *Asean Engineering Journal*, vol. 8(1), pp. 14-26, 2018.
- [40] A. H. M. Kamruzzaman, "Physico-Chemical and Engineering of cement treated Singapore marine clay," M.E. Thesis, National University of Singapore, Singapore, 2002.
- [41] American Society for Testing and Materials, Standard test method for measurement of hydraulic conductivity of saturated porous material using a flexible wall permeameter, USA: ASTM D5084, 2010.
- [42] S. Saitoh, Y. Suzuki, and K. Shirai, "Hardening of soil improvement by deep mixing method," in *the 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, San Francisco, 1985.
- [43] L. Wang, "Cementitious Stabilization of Soil in The Presence of Sulfate," Ph.D. thesis, Louisiana State University, United States, 2002.
- [44] S. Horpibulsuk, N. Miura, and T. S. Nagaraj, "Assessment of strength development in cement-admixture high water content clays with Abram's law a basis," *Geotechnique* 53, no. 4, pp. 439-444, 2003.
- [45] W. E. Tabet, "Characterization of cement - stabilized clay using experimental and analytical techniques," PhD. Thesis, University of Oklahoma, 2015.
- [46] G. A. Lorenzo and D. T. Bergado, "Fundamental Characteristics of Cement-Admixed Clay," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 18(2), pp. 161-174, 2006.
- [47] Lương Thị Bích và Trần Nguyễn Hoàng Hùng, "Nghiên cứu ứng xử đất An Giang trộn xi măng bằng công nghệ trộn khô - nông để xây dựng mặt đường giao thông nông thôn ở An Giang," in *13th Conference on Science and Technology - Geotechnical & Infrastructure Session 2013*, HCMUT, Việt Nam, 2013.
- [48] A. Porbaha, "State of the art in deep mixing technology: Part III: Geomaternal characterization," *Cround Improvement*, vol. 3, pp. 91-110, 2000.
- [49] M. S. Al-Zoubi, "Undrained Shear Strength and Swelling Characteristics of Cement Treated Soil," *Jordan Journal of Civil Engineering*, vol. 2(1), pp. 53-62, 2008.
- [50] M. E. C. Bruce, R. R. Berg, J. G. Collin, G. M. Filz, M. Terashi, D. S. Yang, "Deep Mixing for Embankment and Foundation Support," Federal Highway Administration Design Manual, Washington, USA, 2013.
- [51] B. M. Das, Principles of Geotechnical Engineering. 7th Edition, USA: Cengage Learning, 2010.
- [52] K. H. Head and R. J. Epps, "Volume II: Permeability, Shear Strength and Compressibility Test," in *Manual of Soil Laboratory Testing*, Scotland, Whittle Publishing, 2006.
- [53] D. Fratta, J. Aguetant, L. Roussel-Smith, "Engineering properties-hydraulic conductivity and consolidation," in *Introduction to soil mechanics laboratory testing*, New York, CRC Press, 2007, pp. 117-158.

- [54] American Society for Testing and Materials, Standard test method for permeability of granular soils, USA: ASTM D2434, 2000.
- [55] American Society for Testing and Materials, Standard test method for measurement of hydraulic conductivity of porous material using a rigid wall, compaction mold permeameter, USA: ASTM D5856, 1995.
- [56] Bộ Khoa học và Công nghệ, Đất xây dựng công trình thủy lợi - phương pháp xác định hệ số thấm của đất trong phòng thí nghiệm, Việt Nam: TCVN 8723:2012, 2012.
- [57] R. Bahar, M. Benazzoug, and S. Kenai, "Performance of compacted cement – stabilised soil," *Cement and concrete composites*, vol. 26, pp. 811-820, 2004.
- [58] I. N. Markou and A. I. Droudakis, "Factors Affecting Engineering Properties of Microfine Cement Grouted Sands," *Geotech Geology Engineering 2013*, vol. 31, pp. 1041-1058, 2013.
- [59] M. Mollamahmutoglu and E. Avci, "Effect of cement grain size on the geotechnical properties of stabilized clay," *Scientia Iranica, Transactions A: Civil Engineering* 26, pp. 3196-3206, 2018.
- [60] S. Bhattacharja and J. I. Bhatta, Comparative Performance of Portland Cement and Lime Stabilization of Moderate to High Plasticity Clay Soils, Skokie, Illinois, USA: Portland Cement Association, 2003.
- [61] S. Akbulut and A. Saglamer, "Modification of hydraulic conductivity on granular soils using waste materials," *Waste Management*, vol. 24, pp. 491-499, 2004.
- [62] E. Avci, "Silica Fume Effect on Engineering Properties of Superfine Cement–Grouted Sands," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 31(11), 2019.
- [63] T. G. S. Kumar, "A study on the engineering behavior of grouted loose sandy soils," PhD Thesis, Cochin university of science and technology, Kochi, 2010.
- [64] I. A. Pantazopoulos, D. K. Atmatzidis, V. G. Basas, and S. K. Papageorgopoulou, "Effect of Grout Bleed Capacity on the Engineering Properties of Cement Grouted Sands," in *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Paris, 2013.
- [65] C. Baxter, "Gradient Effects on Measured Hydraulic Conductivity," M.E. Thesis, Purdue University, 1994.
- [66] R. J. Dunn, "Laboratory Measurement of a Fine Grained Soil Fluid Conductivity," *Engineering Geology*, vol. 21, pp. 215-223, 1985.
- [67] R. J. Dunn and J. K. Mitchell, "Fluid Conductivity Testing of Fine-Grained Soil," *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 110, no. 13, pp. 1648-1665, 1984.
- [68] S. Tong and C. D. Shackelford, "Standardized Hydraulic Conductivity Testing of Compacted Sand-Bentonite Mixtures," *Geotechnical Testing Journal*, vol. 39, no. 6, pp. 1015-1029, 2016.
- [69] M. K. Gueddouda, M. Lamara, N. Abou-bekr, and S. Taibi, "Hydraulic behaviour of dune sand-bentonite mixtures under confining stress," *Geomechanics and Engineering*, vol. 2, no. 3, pp. 213-227, 2010.
- [70] V. Picandet, D. Rangeard, A. Perrot, and T. Lecompte, "Permeability measurement of fresh cement paste," *Cement and Concrete Research*, vol. 41, pp. 330-338, 2011.
- [71] J. J. Assaad and J. Harb, "Use of the Falling-Head Method to Assess Permeability of Freshly Mixed Cementitious-Based Materials," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 25, no. 5, pp. 580-288, 2013.
- [72] Bộ Khoa học và Công nghệ, Hỗn hợp bê tông thủy công và bê tông thủy công – Phương pháp thử, Việt Nam: TCVN 8219:2009, 2009.

- [73] J. A. Mckeague, C. Wang, and G. M. Coen, "Describing and interpreting the macrostructure of mineral soils - a preliminary report," Land Resource Research Institute, Cannada, 1986.
- [74] A. R. Estabragh, M. Khatibi, and A. A. Javadi, "Effect of Cement on Treatment of a Clay Soil Contaminated with Glycerol," *Journal of Materials in Civil Engineering*, pp. 1-10, 2015.
- [75] J. Trzciński and E. Wójcik, "Application of microstructure classification for the assessment of the variability of geological-engineering and pore space properties in clay soils," *Open Geosci*, vol. 11, pp. 236-248, 2019.
- [76] M. Choquette, B.M André, and J. Locat, "Mineralogical and Microtextural Changes Associated with Lime Stabilization of Marine Clays from Eastern Canada," *Applied Clay Science 2*, pp. 215-232, 1987.
- [77] K. Onitsuka, C. Modmoltin, M. Kouno, and T. Negami, "Effect of organic matter on lime and cement stabilized ariake clays," *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 729, 2003.
- [78] S. Nontananandh, T. Yoobanpot, and S. Boonyong, "Scanning electron microscopic investigation of cement stabilized soil," in *Proceedings of 10th National Conference on Civil Engineering*, Chonburi - ThaiLand, 2005.
- [79] S. Horpibulsuk, "Strength and Microstructure of Cement Stabilized Clay," in *Scanning Electron Microscopy, Dr. Viacheslav Kazmiruk (Ed.), ISBN: 978-953-51-0092-8*, 2012.
- [80] C. D. Sekhar and S. Nayak, "SEM and XRD investigations on lithomargic clay stabilized using granulated blast furnace slag and cement," *Int J. of Geotechnical Eng*, 2017.
- [81] A. J. Puppala, R. S. Madhyannapu, S. Nazarian, D. Yuan, and L. Hoyos, "Deep Soil Mixing Technology for Mitigation of Pavement Roughness," Texas Department of Transportation. Report no. FHWA/TX-08/0-5179-1, Austin, TX, USA, 2008.
- [82] J. I. Goldstein, D. E. Newbury, D. C. Joy, C. E. Lyman, P. Echlin, E. Lifshin, L. C. Sawyer, J. R. Michael, *Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis*, New York: Springer, 3rd ed, 2003.
- [83] B. E. Warren, "X-Ray Diffraction Methods", *Journal of Applied Physics*, vol. 12, pp. 375-383, 1941.
- [84] P. E. Stutzman, P. Feng, and J. W. Bullard, "Phase Analysis of Portland Cement by Combined Quantitative X-Ray Powder Diffraction and Scanning Electron Microscopy," *Journal of -Research of the National Institute of Standards and Technology*, vol. 121, pp. 47-107, 2016.
- [85] B. L. Dutrow, C. M. Clark, "X-ray Powder Diffraction (XRD)," *Geochemical Instrumentation and Analysis*, 2008.
- [86] Phan Trường Phiệt, *Cơ học đất ứng dụng và tính toán công trình trên nền đất theo trạng thái giới hạn*, Nhà xuất bản Xây dựng, 2010.
- [87] GEO-SLOPE International Ltd., *Seepage Modeling with SEEP/W*, 2012.
- [88] GEO-SLOPE International Ltd., *Stability of Modeling with SLOPE/W*, 2012.
- [89] D. G. Fredlund, J. Krahn, and D. E. Pufahl, "The Relationship between Limit Equilibrium Slope Stability Methods," in *Proceeding 10th Int. Conf. Soil Mech. Fndtn. Eng.*, Stockholm, 1981.
- [90] Bộ Giao Thông Vận tải, *Quy trình khảo sát nền đường ô tô đắp trên đất yếu*, Việt Nam: 22TCN262, 2000.

- [91] B. T. Luong, P. D. Nguyen, H. H. Tran-Nguyen, and K. T. D. Nguyen, "Investigation of Permeability of Dredging Sand Mixing Cement and Bentonite," in *ICSCEA 2021, Lecture Notes in Civil Engineering 268*, 2022.
- [92] Engineering ToolBox, 2004. [Online]. Available: Solubility of Air in Water. [https://www.engineeringtoolbox.com/air-solubility-water-d\\_639.html](https://www.engineeringtoolbox.com/air-solubility-water-d_639.html). [Accessed 19 5 2023].
- [93] B. T. Luong, H. H. Tran-Nguyen, P. D. Nguyen, "Investigation of Hydraulic Conductivity of Soilcrete Specimens Made from Dredging Sand and Cement," in *CIGOS 2021, Emerging Technologies and Applications for Green Infrastructure. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 203, pp. 715-724*, 2021.
- [94] Humboldt Manufacturing Company, [Online]. Available: [humboldtmg.com](http://humboldtmg.com). Soil testing equipment for laboratory analysis: Permeability testing. [Accessed 5 2023].
- [95] American Society for Testing and Materials, Standard test method for Unconfined Compressive strength of Cohesive Soil, USA: ASTM D2166, 2000.
- [96] Bộ Khoa học và Công nghệ, Chất lượng đất – Xác định hệ số thấm thủy lực của vật liệu xấp bão hoà sử dụng thiết bị đo độ thấm màng đàn hồi, Việt Nam: TCVN 12662:2019, 2019.
- [97] Bộ Khoa học và Công nghệ, Đất xây dựng - Phương pháp xác định khối lượng thể tích trong phòng thí nghiệm, Việt Nam: TCVN 4202:2012, 2012.
- [98] H. H. Tran-Nguyen, B. T. Luong, & K. D. T. Nguyen, "Investigation of the Hydraulic Conductivity of Soilcrete Specimens Made by Soft Clays and Medium Clays Mixed with Cement," *Geotechnical Geological Engineering*, 2022.
- [99] Bộ Khoa học và Công nghệ, Xi măng Poóc lăng – yêu cầu kỹ thuật, Việt Nam: TCVN 6282:2009, 2009.
- [100] Bộ Khoa học và Công nghệ, Xi măng Poóc lăng hỗn hợp – yêu cầu kỹ thuật, Việt Nam: TCVN 6260:2009, 2009.
- [101] Bộ Khoa học và Công nghệ, Xi măng Poóc lăng xi lò cao, Việt nam: TCVN 4316:2007, 2007.
- [102] Bộ Khoa học và Công nghệ, Nước cho bê tông và vữa – yêu cầu kỹ thuật, Việt Nam: TCVN 4506:2012, 2012.
- [103] American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort, USA: ASTM 698, 1998.
- [104] M. Topolnicki, "In situ soil mixing," *Ground improvement*, pp. 331-428, 2004.
- [105] D. A. Bruce, An introduction to the Deep Soil Mixing Methods as Used in Geotechnical Applications, Publication No. FHWRD-99-168, 2001.
- [106] Lê Khắc Bảo, "Nghiên cứu ứng xử của đất Đồng Tháp trộn với xi măng bằng công nghệ trộn ướt – sâu ứng dụng gia cố đường giao thông nông thôn kết hợp gia cố đê bao chống lũ ở Đồng Tháp," Luận văn thạc sĩ, trường Đại học Bách Khoa TP HCM, 2014.
- [107] Mai Anh Phương, "Nghiên cứu ứng xử của đất An Giang trộn với xi măng bằng công nghệ trộn ướt và sâu trong phòng đê gia cố đê bao kết hợp đường giao thông nông thôn ở An Giang," Luận văn thạc sĩ, trường Đại học Bách Khoa TP HCM, 2015.
- [108] American Society for Testing and Materials, Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil – cement cylinders, USA: ASTM D1633, 2017.
- [109] S. Karimi, H. F. Aghajani, "The strength and microstructure of cemented sand-gravel (CSG) mixture containing fine-grained particles," *International Journal Geotechnical Engineering*, vol. 14(5), pp. 1-31, 2023.
- [110] M. Janz and S. E. Johansson, "The Function of Different Binding Agents in Deep Stabilization," *Swedish Geotechnical Institute, SE-581 93 Linköping*, pp. 1-47, 2002.



- [111] Bộ Xây dựng, "Phụ gia khoáng trong công nghiệp sản xuất xi măng," 12/02/2009. [Online]. Available: <https://www.moc.gov.vn>.
- [112] W. V. Abeele, "The influence of bentonite on the permeability of sand silts," *Nuclear and chemical waste management*, vol. 6, pp. 81-88, 1986.
- [113] H. Ahnberg, "Measured permeabilities in stabilised Swedish soils," *Grouting and Grouting treatment*, pp. 622-633, 2003.
- [114] O. M. E. Taha and M. R. Taha., "Volume Change and Hydraulic Conductivity of Soil-Bentonite Mixture," *Jordan Journal of Civil Engineering*, vol. 9(1), pp. 43-58, 2007.
- [115] Bộ Khoa học và Công nghệ, Công trình thủy lợi - Thiết kế đập đầm nén, Việt Nam: TCVN 8216:2018, 2018.
- [116] S. L. Ho, K. Nakarai, M. Duc, A. L. Kouby, A. Maachi, T. Sasaki, "Analysis of strength development in cement-treated soils under different curing conditions through microstructural and chemical investigations," *Construction and Building Materials*, vol. 166, pp. 634-646, 2018.
- [117] S. Praveenkumar, G. Sankarasubramanian, S. Sindhu, "Strength, permeability and microstructure characterization of pulverized bagasse ash in cement mortars," *Construction and Building Materials*, vol. 238, 2020.
- [118] M. Amiri, M. Sanjari, F. Porhonar, "Microstructural evaluation of the cement stabilization of hematite-rich red soil," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 16, 2022.
- [119] S. Ahmad, O. S. P. Al-Amoudi, Y. M. H. Mustafa, M. Maslehuddin, M. H. Al-Malack, "Stabilization and Solidification of Oil-Contaminated Sandy Soil Using Portland Cement and Supplementary Cementitious Materials," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 32(8), 2020.
- [120] S. Vichan, R. Rachan, S. Horpibulsuk, "Strength and microstructure development in Bangkok clay stabilized with calcium carbide residue and biomass ash," *Science Asia*, vol. 39, pp. 186-193, 2013.
- [121] R. Weibel, M. T. Nielsen, J. Therkelsen, F. C. Jakobsen, M. Bjerager, F. Mørk, A. Mathiesen, J. Hovikoski, S. S. Pedersen, P. N. Johannessen, and K. Dybkjær, "Illite distribution and morphology explaining basal variations in reservoir properties of Upper Jurassic sandstones, Danish North Sea," *Marine and Petroleum Geology*, vol. 116, 2020.
- [122] W. Franus, R. Panek, and M. Wdowin, "SEM Investigation of Microstructures in Hydration Products of Portland Cement," *2nd International Multidisciplinary Microscopy and Microanalysis Congress, Springer Proceedings in Physics 164*, pp. 105-112, 2015.
- [123] Y. J. Du, N. J. Jiang, S. Y. Liu, F. Jin, D. N. Singh, and A. J. Puppala, "Engineering Properties and Microstructural Characteristics of Cement Stabilized Zinc-Contaminated Kaolin," *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 51, pp. 289-302, 2014.
- [124] B. T. Luong, H. H. Tran-Nguyen, "Investigation of Microstructure of Dredging Sand Mixing Cement Specimens to Interpret Reduction of Permeability," in *Geo-Congress 2022 GSP 331*, ASCE, America, 2022.
- [125] S. Q. Zhou, D. W. Zhou, Y. F. Zhang, W. J. Wang, "Study on Physical-Mechanical Properties and Microstructure of Expansive Soil Stabilized with Fly Ash and Lime," *Advances in Civil Engineering*, 2019.
- [126] American Society for Testing and Materials, Standard Guide for Quantitative Analysis by Energy-Dispersive Spectroscopy, USA: ASTM E1508, 2003.

- [127] S. Chaiyaput, N. Arwaedo, N. Kingnoi, T. N. Nguyen, J. Ayawanna, "Effect of curing conditions on the strength of soil cement," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 16, 2022.
- [128] Trần Nguyễn Hoàng Hùng , "Báo cáo tổng hợp kết quả nghiên cứu đề tài nghiên cứu ứng dụng công nghệ đất trộn xi măng nhỏ gọn gia cố đê bao chống lũ bảo vệ hoa màu ở An Giang," HCMUT, HCM, Việt Nam, Tech. Rep. 299/HĐ-KHCN-CCTL, 2015.
- [129] H. H. Tran-Nguyen, M. Kitazume, H. Tanaka, M. Kamimura, T. Kobayashi, K. T. Truong, B. K. Le, L. P. Le, "Effects of deep mixing method to reinforce earth levees in the Mekong delta, Vietnam," in *Proceedings Deep Mixing 2015 conference*, San Francisco, USA, 2015.
- [130] M. M. Berilgen, "Investigation of stability of slopes under drawdown conditions," *Computers and Geotechnics*, vol. 34, pp. 81-91, 2007.
- [131] M. Fredlund, H. Lu, T. Feng, "Combined Seepage and Slope Stability Analysis of Rapid Drawdown Scenarios for Levee Design," *Geo – Frontiers, ASCE*, pp. 595-1604, 2011.
- [132] S. Tung, G. N. Bhandari, S. P. Mukherjee, "Effect of seepage cut off below earthen dam under rapid drawdown," in *50th Indian Geotechnical Conference*, Maharashtra, India, 2015.
- [133] Z. Zieba, M. Molenda, K. Witek, "Earth structures stability under rapid drawdown conditions," *Architecture Civil Engineering Environment*, vol. 1, 2017.
- [134] Coastal Development Institute of Technology, *The Deep Mixing Method: Principle, Design, and Construction*, Balkema, Lisse, Netherlands, 2002.
- [135] Bộ Giao Thông Vận tải, *Đường Giao thông nông thôn – tiêu chuẩn thiết kế*, Việt Nam: 22TCN210, 1992.
- [136] N. F. M. Nordin, H. Mohamad, H. Alarifi, "Numerical modelling of seepage analysis using SEEP/W: A case study for the Kerian River Flood Mitigation Project (Phase 3) in Bandar Baharu, Kedah," in *The 13th International UNIMAS Engineering Conference*, 2020.
- [137] K. B. Andromalos, Y. A. Hegazy, and B. H. Jasperse, "Stabilization Of Soft Soils By Soil Mixing," in *Soft Ground Technology Conference, United Engineering Foundation and ASCE Geo-Institute*, Noorwijkeront, Netherlands, 2000.
- [138] D. T. Bergado, L. R. Anderson, N. Miura, A. S. Balasubramaniam, *Improvement of soft ground in lowland and other environments*, Reston: ASCE, 1996.
- [139] B. B. K. Huat, S. Maail, and T. A. Mohamed, "Effect of Chemical Admixtures on the Engineering Properties of Tropical Peat Soils," *American Journal of Applied Sciences*, vol. 7, pp. 1113-1120, 2005.
- [140] T. S. Tan, T. L. Goh, and K. Y. Yong, "Properties of Singapore Marine Clays Improved by Cement Mixing," *Geotechnical Testing Journal*, vol. 25(4), pp. 1-12, 2002.
- [141] J. R. Jacobson, G. M. Filz, and J. K. Michell, "Factors Affecting Strength of Lime-Cement Columns and Development of a Laboratory Testing Procedure," No. 57565 FHWA/VTRC 03-CR16, 2003.
- [142] Trần Nguyễn Hoàng Hùng, *Công nghệ Đất trộn xi măng (SCM) gia cố nền đất yếu*, Hồ Chí Minh: Đại học Quốc gia, 2019.
- [143] P. C. Carman, "Permeability of saturated sands, soils and clays," *Journal Agric. Sci.*, vol. 29, pp. 262-273, 1939.
- [144] H. G. Riveros and D. Riveros-Rosas, "Laminar and turbulent flow in water," *Physics Education*, vol. 45, no. 3, pp. 288-291, 2010.

- [145] S. Xu, Z. Wang, and Y. Zhang, "Study on the Hydraulic Conductivity of Sand-Bentonite mixtures used as Liner System of Waste Landfill," *Advanced Materials Research*, Vols. 194-196, pp. 909-912, 2011.
- [146] N. K. Ameta and A. S. Wayal. , "Effect of Bentonite on Permeability of Dune Sand," *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, Vols. 13, bund. A, 2008.
- [147] S. Kumar and W. L. Yong., "Effect of Bentonite on Compacted Clay Landfill Barriers," *Soil and Sediment Contamination*, vol. 11(1), pp. 71-89, 2002.
- [148] T. Kenney, W. A. van Veen, M. A. Swallow, and M, A Sungaila, "Hydraulic Conductivity of Compacted Bentonite-Sand Mixtures," *Can. Geotech. J.*, vol. 29(3), pp. 364-374, 1992.
- [149] J. W. Cowland and B. N. Leung, "A Field Trial of a Bentonite Landfill Liner," *Waste Management and Research*, vol. 9(1), pp. 277-291, 1991.
- [150] G. Sällfors and A. L. Öberg-Högsta, "Determination of Hydraulic Conductivity of Sand-Bentonite Mixtures for Engineering Purposes," *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 20(1), pp. 65-80, 2002.