

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

TRẦN VĂN THU

**NGHIÊN CỨU GIA CỐ CẤU TRÚC ĐẤT Bùn SÉT THEO CÔNG
NGHỆ GEOPOLYMER ĐỂ CẢI TẠO NỀN ĐẤT YẾU**

Chuyên ngành: KỸ THUẬT XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH NGẦM
Mã số chuyên ngành: 62.58.02.04

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

TP. HỒ CHÍ MINH NĂM 2021

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Bách khoa – Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh**

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS. TS. Châu Ngọc Ân

Người hướng dẫn khoa học 2: PGS. TS. Nguyễn Văn Chánh

Chuyên ngành: KỸ THUẬT XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH NGÂM

Mã số chuyên ngành: 62.58.02.04

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 chấm luận án họp tại.....vào lúc.....giờ.....ngàytháng.....năm.....

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Khoa học Tổng hợp Thành phố Hồ Chí Minh
- Thư viện Trường Đại học Bách khoa – Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

3. Trần Văn Thu, Nguyễn Văn Chánh. Tận dụng nguồn đất sét yếu tại chỗ và phế thải công nghiệp tro bay để xây dựng đường giao thông nông thôn theo công nghệ geopolimer. Hội thảo khoa học quốc gia Hạ tầng giao thông với phát triển bền vững. Đại học Bách Khoa - Đại học Đà Nẵng & Nhà xuất bản Xây dựng ISBN: 978-604-82-1809-6 trang 733-739, 9-2016.

4. Trần Văn Thu, Hoàng Quốc Tuấn. Tận dụng phế thải tro xi và đất sét tại chỗ để làm đường giao thông theo công nghệ geopolimer. Hội nghị khoa học công nghệ giao thông vận tải ISBN: 978-604-76-1578-0 trang 588-594, 5-2018.

C. Bài báo khoa học công bố trong kỷ yếu hội nghị/ hội thảo quốc tế

1. Trần Văn Thu, Nguyễn Văn Chánh. Study of geopolimer synthesized from fly ash to improve soft ground. The 3rd Int. Conf. on Transport Infrastructure & Sustainable Development (TISDIC 2019). Construction Publishing House. ISBN: 978-604-82-2893-4

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Đất yếu không thích hợp để sử dụng làm vật liệu đắp nền đường, nền kho bãi. Hơn nữa, nếu sử dụng đất rời phổ biến như ở nước ta hiện nay để đắp đường thì nguồn cát đắp này sẽ mau chóng cạn kiệt. Vì vậy, việc tìm giải pháp để cải thiện tính năng xây dựng của đất nền tự nhiên tại chỗ để đắp nền đường, bãi nhằm giảm chi phí xây dựng là hết sức cần thiết. Để cải thiện đặc tính địa kỹ thuật của đất yếu để sử dụng làm vật liệu đắp đường cao tốc đã có khá nhiều nghiên cứu sử dụng các chất ổn định như vôi, xi măng, tro bay đã cho một số kết quả khả quan ban đầu. Việc nghiên cứu sử dụng công nghệ geopolimer dựa trên tro bay để cải thiện đặc tính địa kỹ thuật của đất yếu một cách nhanh chóng và hiệu quả để làm nền đắp và gia cố nền thành công sẽ có ý nghĩa vô cùng quan trọng trong việc giảm thiểu ô nhiễm môi trường từ các nhà máy nhiệt điện đốt than, đồng thời đảm bảo phát triển hạ tầng một cách bền vững. Đây là vấn đề cần thiết, cấp bách, có ý nghĩa khoa học, thực tiễn cao.

2. Mục đích nghiên cứu, ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài

Mục tiêu của đề tài này là khảo sát tính chất xây dựng, tìm ra cấp phối hợp lý của geopolimer tổng hợp từ đất sét yếu tại chỗ và những phế thải công nghiệp tro bay dư thừa trong điều kiện nhiệt độ thường (xung quanh 28⁰C). Các nghiên cứu được tiến hành trong phòng thí nghiệm và ngoài hiện trường. Phân tích và đánh giá tiềm năng ứng dụng loại vật liệu geopolimer này để gia cố nền và làm vật liệu đắp nền đường bộ, bãi hàng hóa, trong xây dựng công trình ngầm... trên nền đất yếu với điều kiện cụ thể tại Việt Nam.

3. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu thực nghiệm phân tích các đặc trưng của nguyên liệu đầu vào (đất sét, tro bay, dung dịch hoạt hóa kiềm); tiến hành tổng hợp các geopolimer từ các cấp phối khác nhau của nguyên liệu đầu vào nêu trên. Trên cơ sở phân tích thành phần, cấu trúc, đặc trưng cơ học của các sản phẩm geopolimer thu được sẽ phân tích đánh giá các điều kiện phù hợp (về cấp phối, điều kiện dưỡng hộ) để có thể tổng hợp được các geopolimer đáp ứng được tốt nhất các yêu cầu đặt ra.

Nghiên cứu thí nghiệm tại hiện trường để đánh giá các chỉ tiêu cơ lý của vật liệu geopolimer với các thành phần hợp lý theo kết quả thí nghiệm trong phòng, để

làm rõ khả năng ứng dụng trong thực tế xây dựng của loại vật liệu geopolimer này.

Nghiên cứu thông qua mô hình toán để tìm phương án gia cố nền bằng vật liệu geopolimer tổng hợp từ tro bay và đất sét, một cách hợp lý: khảo sát với các phương án sử dụng đệm geopolimer, cột geopolimer từ đó phân tích, đánh giá hiệu quả của các phương án gia cố nền này.

4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Luận án thực hiện nghiên cứu, phân tích một số vấn đề sau:

- Phân tích đặc điểm, tính chất các nguồn vật liệu tro bay, đất sét chủ yếu của Việt Nam dưới góc độ là những nguồn vật liệu chủ yếu để tổng hợp vật liệu geopolimer;

- Tìm ra cấp phối phù hợp: tỷ lệ các thành phần vật liệu đầu vào bao gồm tro bay, đất sét, dung dịch hoạt hóa kiềm, để geopolimer tổng hợp được đạt cường độ cao trong điều kiện dưỡng hộ ở nhiệt độ thường, phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến tính chất cơ học của geopolimer;

- Đánh giá tiềm năng ứng dụng vật liệu geopolimer tổng hợp từ tro bay, đất sét để làm nền đắp và gia cố nền: làm đệm geopolimer và cột geopolimer thông qua mô phỏng bằng phương pháp phần tử hữu hạn;

- Đánh giá tiềm năng ứng dụng vật liệu geopolimer tổng hợp từ tro bay, đất sét để ứng dụng trong xây dựng công trình ngầm thông qua tính toán ứng dụng vật liệu geopolimer cho công trình hầm dẫn nút giao Mỹ Thủy, thành phố Hồ Chí Minh;

Giới hạn phạm vi nghiên cứu: Nghiên cứu này chỉ thực hiện với nguồn vật liệu đầu vào tro bay từ nhà máy nhiệt điện Vĩnh Tân ;

Nghiên cứu này chỉ quan tâm đến các tính chất xây dựng của vật liệu trước và sau khi tổng hợp geopolimer, đặc biệt là các tính chất phục vụ trực tiếp cho bài toán thiết kế và thi công nền đắp trên đất yếu.

Chỉ có một thí nghiệm hiện trường được tiến hành.

5. Nội dung luận án

giảm nội lực và chuyển vị của hầm. Ngoài ra, do vật liệu geopolimer chống thấm tốt, sẽ ngăn chặn nguy cơ xói ngầm đối với đất xung quanh công trình ngầm.

2 Kiến nghị

Thực hiện thí nghiệm hiện trường tỉ lệ thật 1:1, xây dựng một đoạn đường trên nền đất yếu khu vực thành phố Hồ Chí Minh hoặc đồng bằng sông Cửu Long, tiến hành thi công cột geopolimer và làm nền đắp bằng geopolimer tổng hợp từ đất tại chỗ, tro bay và dung dịch hoạt hóa kiềm theo cấp phối đã tìm được ở trên. Tiến hành các thí nghiệm để đánh giá chất lượng công trình theo các tiêu chuẩn hiện hành, từ đó có các khuyến nghị thêm để triển khai rộng rãi trong thực tế.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

A. Bài báo khoa học công bố trên tạp chí khoa học trong nước

1. Trần Văn Thu, Nguyễn Văn Chánh. Nghiên cứu công nghệ geopolimer và tiềm năng ứng dụng để gia cố nền đất yếu tại Việt Nam. Tạp chí Xây dựng ISSN-0866-0762 trang 120÷122 số 3-2016.

2. Trần Văn Thu, Châu Ngọc Ân. Đặc tính cơ học của lớp đệm địa kỹ thuật bằng vật liệu geopolimer tổng hợp từ nguồn đất sét tại chỗ và phế thải tro bay. Tạp chí Khoa học Công nghệ Giao thông Vận tải ISSN- 1859-4263 trang 103÷107 số 3-2020.

3. Trần Văn Thu. Đặc tính cơ học của vật liệu geopolimer tổng hợp từ đất bùn sét và phế thải tro bay. Tạp chí Khoa học Công nghệ Giao thông Vận tải ISSN- 1859-4263 trang 102÷107 số 5-2021.

B. Bài báo khoa học công bố trong kỷ yếu hội nghị/ hội thảo trong nước

1. Trần Văn Thu, Nguyễn Văn Chánh. Research geopolimer technology and potential applications for stabilization of soft ground in Viet nam. Hội thảo khoa học Những tiến bộ trong xây dựng và kiến trúc ACEA 2016, Trường Đại học Xây dựng Miền Trung.

2. Trần Văn Thu, Châu Ngọc Ân. Đặc tính cơ học của lớp đệm địa kỹ thuật bằng vật liệu geopolimer tổng hợp từ nguồn đất sét tại chỗ và phế thải tro bay. Hội thảo khoa học quốc gia Hạ tầng giao thông với phát triển bền vững. Đại học Bách Khoa - Đại học Đà Nẵng & Nhà xuất bản Xây dựng ISBN: 978-604-82-1809-6 trang 727-733, 9-2016.

2. Cường độ nén nở hông đạt được ngoài hiện trường $q_u = 34,7 \text{ daN/cm}^2$, ứng với hàm lượng tro bay sử dụng là 40%, tỷ lệ dung dịch chất hoạt hóa chiếm 40% khối lượng chất rắn và nồng độ dung dịch NaOH là 10 mol/l. Giá trị cường độ nén lớn nhất thu được lớn gấp 151 lần cường độ chịu nén ban đầu của đất khi chưa xử lý. Mô đun đàn hồi lớn nhất đạt được khi đó $E = 1663,5 \text{ daN/cm}^2 = 166,3 \text{ MPa}$ (trong điều kiện lấy mẫu hiện trường về dưỡng hộ khô). Khi sử dụng các phương tiện thi công sẵn có hiện nay để đào đất, trộn bê tông ... để thi công hỗn hợp geopolimer từ đất yếu tại chỗ, tro bay Vĩnh Tân, dưỡng hộ trong điều kiện tự nhiên với đất nền xung quanh có độ ẩm cao, mô đun đàn hồi của vật liệu geopolimer có thể đạt được $E = 637 \text{ daN/cm}^2 = 63,7 \text{ MPa}$.

3. Với kết quả thực nghiệm tại hiện trường đã đạt được, có thể khẳng định việc sử dụng đất yếu tại chỗ kết hợp với tro bay Việt Nam (một loại tro bay có phẩm cấp thấp, hàm lượng mất khi nung cao, không sử dụng trực tiếp được trong công nghệ bê tông thường) theo công nghệ geopolimer có thể ứng dụng tốt trong thực tiễn để gia cố nền, dùng làm vật liệu đắp nền đường ... với các phương tiện thiết bị thi công sẵn có trên công trường hiện nay.

4. Đối với việc ứng dụng geopolimer tổng hợp từ đất sét và tro bay cho công trình nền đắp và đường bộ: có thể thích hợp cho các loại đường giao thông cấp V và VI, tương ứng với các yêu cầu kỹ thuật của lớp mặt đối với đường giao thông nông thôn; đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật để làm lớp móng trên hoặc dưới cho mọi loại đường (cấp I, II, III ...); thích hợp làm lớp đáy móng đường.

5. Đối với việc ứng dụng geopolimer tổng hợp từ đất sét và tro bay để làm đệm geopolimer và cột geopolimer: việc sử dụng đệm bằng vật liệu geopolimer tổng hợp từ đất yếu và tro bay góp phần giảm đáng kể độ lún và chuyển vị ngang của nền đắp trên đất yếu. Khi chiều dày lớp đất yếu không quá lớn, việc sử dụng đệm vật liệu geopolimer để gia cố nền sẽ đạt hiệu quả cao. Việc sử dụng cột geopolimer tổng hợp từ đất yếu và tro bay góp phần giảm mạnh độ lún và chuyển vị ngang của nền đắp trên đất yếu. Việc sử dụng phương pháp gia cố nền bằng cột geopolimer hiệu quả hơn nhiều so với sử dụng đệm geopolimer khi chiều dày lớp đất yếu lớn.

6. Trong xây dựng công trình ngầm, việc ứng dụng geopolimer tổng hợp từ đất sét và tro bay thay thế phần đất xung quanh tường hầm có hiệu quả tốt trong việc

Cấu trúc Luận án gồm các phần: Mở đầu, 4 chương, kết luận và kiến nghị. Tổng cộng có 122 trang, trong đó có 67 hình vẽ và 24 bảng biểu và các công thức tính toán. Phần phụ lục có 16 trang.

6. Những đóng góp mới của luận án

Lần đầu tiên đã nghiên cứu gia cố đất sét yếu tại Việt Nam bằng công nghệ geopolimer dựa trên tro bay Vĩnh Tân để gia cường cấu trúc của đất dẫn đến tăng cường độ chịu nén của đất yếu lên hàng trăm lần (151 lần tại hiện trường), độ cứng cũng tăng hàng trăm lần (146 lần tại hiện trường). Với các chỉ tiêu cơ lý đạt được của đất yếu sau gia cố, có thể đáp ứng tốt yêu cầu để làm nền đắp và gia cố nền;

Đã xây dựng cơ sở khoa học làm nền tảng nghiên cứu về công nghệ geopolimer và áp dụng công nghệ này vào xử lý đất yếu;

Đã sử dụng phương pháp thực nghiệm trong phòng và ngoài hiện trường để xác định cấp phối hợp lý hỗn hợp hệ nguyên vật liệu, góp phần chứng minh tính khả thi của phương pháp gia cố nền đất yếu bằng công nghệ geopolimer sử dụng tro bay;

Đã ứng dụng vật liệu geopolimer tổng hợp từ tro bay và đất yếu trong các bài toán gia cố nền làm đệm geopolimer, làm cột geopolimer gia cố nền, làm lớp gia cố thành xung quanh công trình ngầm. Mô phỏng tính toán để đánh giá bước đầu hiệu quả của giải pháp này.

Đã mở ra hướng xử lý một lượng lớn phế thải tro bay bằng cách sử dụng để làm nền đắp và gia cố nền, làm giảm đáng kể nguy cơ ô nhiễm môi trường do loại phế thải này gây ra.

CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN VỀ CÁC GIẢI PHÁP GIA CỐ NỀN VÀ NHỮNG NGHIÊN CỨU VỀ GEOPOLYMER TỔNG HỢP TỪ TRO BAY VÀ ĐẤT SÉT

1.1 Tổng quan về đất yếu và các giải pháp gia cố nền

1.1.1 Mục tiêu của các công nghệ xử lý nền đất yếu

Tùy theo chiều dày của lớp đất yếu và vị trí phân bố của lớp đất yếu, cần có giải pháp xử lý lớp đất yếu này trước khi xây dựng công trình. Các mục tiêu xử lý nền đất yếu bao gồm:

Đảm bảo vấn đề ổn định của nền đắp;

Đảm bảo vấn đề biến dạng của đất yếu trong giới hạn cho phép;

Hạn chế ảnh hưởng đến các công trình lân cận;

1.1.2 Các công nghệ xử lý nền đất yếu

Hiện nay, có nhiều công nghệ xử lý nền đất yếu. Mỗi loại công nghệ có những ưu, nhược điểm riêng, phù hợp với từng điều kiện cụ thể. Dưới đây là một số công nghệ xử lý nền đất yếu điển hình:

- Thay toàn bộ hay một phần đất yếu bằng vật liệu đắp tốt như cát, cuội sỏi;
- Bố trí các phương tiện thoát nước thẳng đứng: giếng cát, bấc thấm ...
 - Bơm hút chân không
 - Cột đá dăm, cọc cát
- Giải pháp xử lý nền đất yếu bằng trụ đất gia cố xi măng;
- Sử dụng hệ cọc đóng vào trong lớp đất yếu;

1.2 Những nghiên cứu về geopolymer tổng hợp từ tro bay và đất sét sử dụng để làm nền đắp và gia cố nền

1.2.1 Khái quát về sự phát triển của vật liệu geopolymer

Vật liệu geopolymer là loại vật liệu không sử dụng chất kết dính xi măng pooc lăng thông thường mà là sản phẩm của phản ứng giữa dung dịch kiềm và các loại vật liệu có chứa hàm lượng lớn hợp chất silic và nhôm.

VI, tương ứng với các yêu cầu kỹ thuật của lớp mặt đối với đường giao thông nông thôn; đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật để làm lớp móng trên hoặc dưới cho mọi loại đường (cấp I, II, III ...); thích hợp làm lớp đáy móng đường.

Đối với việc ứng dụng geopolymer tổng hợp từ đất sét và tro bay để làm đệm geopolymer và cột geopolymer: việc sử dụng đệm geopolymer tổng hợp từ đất yếu và tro bay góp phần giảm đáng kể độ lún và chuyển vị ngang của nền đắp trên đất yếu. Khi chiều dày lớp đất yếu không quá lớn, việc sử dụng đệm vật liệu geopolymer để gia cố nền sẽ đạt hiệu quả cao. Việc sử dụng cột geopolymer tổng hợp từ đất yếu và tro bay góp phần giảm mạnh độ lún và chuyển vị ngang của nền đắp trên đất yếu. Việc sử dụng phương pháp gia cố nền bằng cột geopolymer hiệu quả hơn nhiều so với sử dụng đệm geopolymer khi chiều dày lớp đất yếu lớn.

Trong xây dựng công trình ngầm, việc ứng dụng geopolymer tổng hợp từ đất sét và tro bay thay thế phần đất xung quanh tường hầm có hiệu quả tốt trong việc giảm nội lực, chuyển vị của hầm và giảm nguy cơ xói ngầm đối với đất xung quanh công trình ngầm.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1 Kết luận

Trên cơ sở những nghiên cứu về đặc tính của vật liệu geopolymer tổng hợp từ tro bay và đất sét dựa trên công nghệ geopolymer trong điều kiện nhiệt độ môi trường bình thường trong điều kiện phòng thí nghiệm và ngoài hiện trường, kết hợp với các phân tích tính toán trong các bài toán cụ thể về gia cố nền và công trình ngầm, có thể rút ra một số kết luận sau:

1. Nền đất yếu được gia cố một cách hiệu quả bằng cách thay đổi cấu trúc của đất yếu dựa theo công nghệ geopolymer: trộn đều đất sét yếu với tro bay và dung dịch hoạt hóa kiềm, dưỡng hộ trong điều kiện nhiệt độ thường (xung quanh 28°C), cường độ hỗn hợp tăng dần theo thời gian và gần đạt giá trị lớn nhất sau 28 ngày. Cấp phối hợp lý dựa theo kết quả thí nghiệm trong phòng: hàm lượng tro bay sử dụng khoảng 40%, tỷ lệ dung dịch chất hoạt hóa chiếm 40% khối lượng chất rắn và nồng độ dung dịch NaOH là 10 mol/l. Cường độ chịu nén nở hông của đất gia cố theo công nghệ geopolymer ứng với cấp phối trên đạt được trong phòng thí nghiệm $q_u = 48,1 \text{ daN/cm}^2$. Mô đun đàn hồi đạt được khi đó $E = 3209 \text{ daN/cm}^2 = 320,9 \text{ MPa}$.

Nhận xét: Sau khi thay thế phần đất lấp rộng 1,5m dọc theo chiều cao tường hầm bằng vật liệu geopolimer kết quả đạt được như sau:

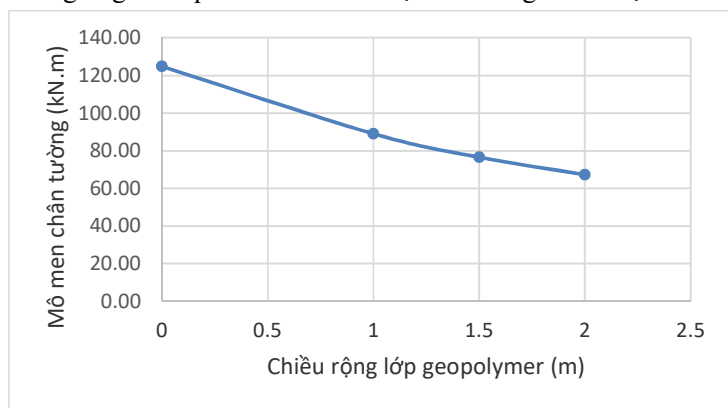
Chuyển vị ngang lớn nhất tại đỉnh tường hầm giảm từ giá trị 113,51mm về giá trị 8,99mm, tương ứng 1163%;

Mô men lớn nhất trên hầm giảm từ giá trị 271,34 kNm/m về giá trị 115,19 kNm/m, tương ứng 135,6%.

Rõ ràng, việc thay thế phần đất lấp sau lưng tường hầm có hiệu quả tốt trong việc giảm nội lực và chuyển vị của hầm. Ngoài ra, do vật liệu geopolimer chống thấm tốt, sẽ ngăn chặn nguy cơ xói ngầm đối với đất xung quanh công trình ngầm.

Sử dụng phương pháp giải tích đánh giá việc ứng dụng vật liệu geopolimer trong xây dựng công trình ngầm

Sử dụng bài toán khảo sát hầm dẫn giao thông đường bộ nêu trên, tiến hành khảo sát với bề rộng khối geopolimer khác nhau: 0m; 1m; 1,5m và 2m. Dựa vào phương pháp giải tích để tính toán, phân tích có thể đánh giá được ảnh hưởng của khối vật liệu sau lưng tường hầm dẫn đến áp lực đất tác dụng lên tường và nội lực tương ứng. Kết quả tính toán thể hiện trên bảng và đồ thị sau:



Hình 4.34: Ảnh hưởng của chiều rộng khối geopolimer đến mô men trên tường hầm dẫn theo phương pháp giải tích

4.6 Kết luận

Đối với việc ứng dụng geopolimer tổng hợp từ đất sét và tro bay cho công trình nền đắp và đường bộ: có thể thích hợp cho các loại đường giao thông cấp V và

1.2.2 Những nghiên cứu về geopolimer tổng hợp từ đất sét và tro bay

Nuno Cristelo và cộng sự (2011) [11] đã tiến hành nghiên cứu sử dụng tro bay và dung dịch hoạt hóa kiềm để gia cố nền đất yếu. Kết luận chính được đưa ra là việc gia cố nền đất bằng hỗn hợp vữa geopolimer từ tro bay và dung dịch hoạt hóa kiềm thông qua phương pháp khoan phụt có tiềm năng ứng dụng lớn.



Hình 1.1: Cột geopolimer được tạo bằng cách khoan phụt vữa geopolimer trong đất [11]

Jian He (2012)[12] đã tiến hành nghiên cứu đặc trưng của geopolimer tổng hợp từ bùn đỏ và tro bay; bùn đỏ, tro bay và metakaolin dưỡng hộ trong điều kiện nhiệt độ môi trường tự nhiên. Kết quả cho thấy rằng các tính chất cơ học của geopolimers chịu ảnh hưởng bởi thời gian dưỡng hộ, tỷ lệ bùn đỏ/tro bay, và hàm lượng chất độn cát thêm vào.

Noor Ul Amin và cộng sự (2014) [14], đã tiến hành nghiên cứu chất kết dính thay thế xi măng Portland bằng cách tổng hợp geopolimer từ đất sét kaoninite tại Pakistan với dung dịch NaOH. Các tham số khác nhau ảnh hưởng đến cường độ của geopolimer được nghiên cứu và tối ưu hóa. Kết quả nghiên cứu cho thấy hỗn hợp bảo dưỡng ở nhiệt độ 80°C trong 48 giờ, đạt cường độ chịu nén là 45MPa.

P. Sargent (2015)[15] đã tiến hành nghiên cứu xử lý đất bùn cát yếu Lanton, Vương quốc Anh, để làm nền đường sắt cao tốc.

Sara Rios và cộng sự (2017)[16]: Nghiên cứu đề cập đến một số lựa chọn để cải thiện động lực học phản ứng của chất kết dính tro bay canxi thấp hoạt hóa kiềm để ổn định đất trong nền đường.

Manuela Corrêa-Silva và cộng sự (2018)[19] tiến hành nghiên cứu cải tạo đất sét bằng tro bay và canxi hoạt tính thấp theo công nghệ geopolimer để ứng dụng trong công trình hạ tầng giao thông.

Hayder H. Abdullah và cộng sự (2018)[20], nghiên cứu tập trung vào việc gia cường đất sét cao lanh ở nhiệt độ môi trường bình thường bằng cách sử dụng geopolimer dựa trên tro bay kết hợp với xi lò cao.

Trịnh Sơn Hoàng, Bùi Thị Quỳnh Anh (2018) [21]. Trong nghiên cứu này, đất yếu được trộn với chất kết dính geopolimer từ tro bay để cải thiện cường độ.

Suraj D. Khadka và cộng sự (2018)[22]: Nghiên cứu thực nghiệm sử dụng geopolimer tổng hợp từ tro bay (FA) và metakaolin để gia cường đất sét có tính dẻo cao.

1.3 Nhận xét về những nghiên cứu trước, đề xuất hướng nghiên cứu của đề tài luận án

1.3.1 Nhận xét về những kết quả nghiên cứu đã công bố

Hầu hết các nghiên cứu tập trung vào các yếu tố ảnh hưởng đến cường độ chịu nén của geopolimer. Dựa vào quy trình này có thể ứng dụng để sản xuất gạch không nung với quy mô lớn.

Đã có những nghiên cứu về vật liệu geopolimer tổng hợp từ bùn đỏ và tro bay, bùn đỏ và mê ta cao lanh, bùn đỏ, tro trấu và đề xuất ứng dụng loại vật liệu này trong các công trình hạ tầng kỹ thuật.

Một số nghiên cứu tổng hợp geopolimer từ tro bay và ứng dụng kỹ thuật khoan phụt geopolimer tạo cọc geopolimer-đất tương tự cọc xi măng đất để gia cố nền. Tuy nhiên, chưa có công trình nghiên cứu nào về vấn đề sử dụng đất sét tại chỗ kết hợp với tro bay để làm nền đắp, cọc geopolimer-đất, gia cố nền và ứng dụng trong công trình ngầm.

1.3.2 Đề xuất hướng nghiên cứu của đề tài luận án

Trên cơ sở phân tích các nghiên cứu đã thực hiện, các nội dung nghiên cứu chính được tập trung trong đề tài gồm:

Nhận xét: Việc sử dụng cọc geopolimer tổng hợp từ đất yếu và tro bay góp phần giảm mạnh độ lún và chuyển vị ngang của nền đắp trên đất yếu.

Độ lún tại tim nền đắp giảm được khoảng $11 \div 15$ lần so với khi không gia cố;

Chuyển vị ngang tại chân taluy mái giảm được $18 \div 22$ lần so với khi không gia cố.

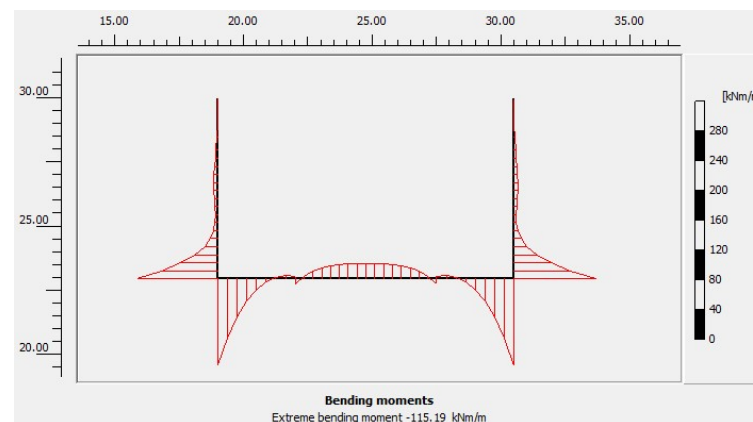
Như vậy, việc sử dụng phương pháp gia cố nền bằng cọc geopolimer hiệu quả hơn nhiều so với sử dụng đệm geopolimer khi chiều dày lớp đất yếu lớn.

Sử dụng phương pháp giải tích và phương pháp phần tử hữu hạn đánh giá việc ứng dụng vật liệu geopolimer trong xây dựng công trình ngầm

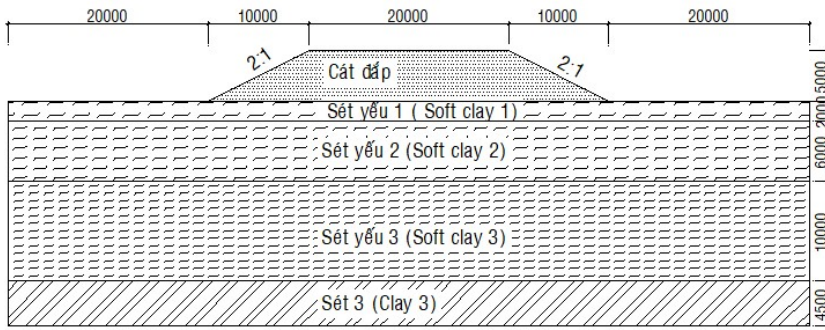
Để tiến hành đánh giá ảnh hưởng của việc sử dụng vật liệu geopolimer trong xây dựng công trình ngầm, tiến hành khảo sát việc thay thế một phần đất lấp hai bên tường hầm bằng vật liệu geopolimer tổng hợp từ đất sét và tro bay với các đặc tính theo kết quả thí nghiệm được đã trình bày ở trên, đến kết quả nội lực, chuyển vị của hầm. Công trình thực tế tiến hành khảo sát là công trình hầm đường bộ tại nút giao Mỹ Thủy, quận 2, thành phố Hồ Chí Minh [56].

Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn đánh giá việc ứng dụng vật liệu geopolimer trong xây dựng công trình ngầm

Mô men trên hầm:



Hình 4.29: Mô men trên hầm dẫn TH2



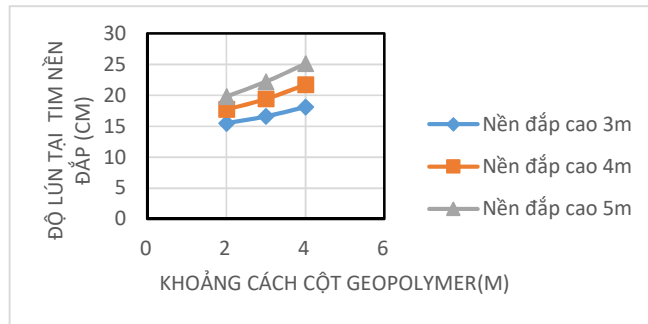
Hình 4.11: Sơ đồ nền đắp trên đất yếu

Sử dụng phần mềm Plaxis khảo sát ảnh hưởng của chiều dày lớp đệm geopolymer đến sự làm việc của nền đắp dẫn đến nhận xét sau: khi chiều dày lớp đất yếu không quá lớn, việc sử dụng đệm vật liệu geopolymer để gia cố nền sẽ đạt hiệu quả cao. Độ lún giảm được từ 52% đến 326% tùy theo chiều dày lớp đệm geopolymer từ 1m đến 3m.

Ảnh hưởng của việc sử dụng cột geopolymer đến sự làm việc của nền đắp:

Để đánh giá ảnh hưởng của việc gia cố nền đất yếu bằng các cột geopolymer đến sự làm việc của nền đắp trên đất yếu, tiến hành tính toán độ lún tại tim nền đắp và chuyên vị ngang tại chân taluy mái cho các trường hợp nền đắp cao lần lượt 3m; 4m và 5m, bố trí các cột geopolymer đường kính 1m, dài 18m, trên lớp đệm geopolymer dày 1m, khoảng cách giữa các cột geopolymer là 2m, 3m và 4m.

Kết quả tính toán được thể hiện trên các biểu đồ sau:



Hình 4.18: Quan hệ giữa độ lún tại tim nền đắp với khoảng cách giữa các cột geopolymer

Phân tích đặc điểm, tính chất các nguồn vật liệu tro bay, đất sét chủ yếu của Việt Nam dưới góc độ là những nguồn vật liệu chủ yếu để tổng hợp vật liệu geopolymer;

Tìm ra cấp phối phù hợp: tỷ lệ các thành phần vật liệu đầu vào bao gồm tro bay, đất sét, dung dịch hoạt hóa kiềm, để geopolymer tổng hợp được đạt cường độ cao trong điều kiện dưỡng hộ ở nhiệt độ thường, phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến tính chất cơ học của geopolymer;

Đánh giá tiềm năng ứng dụng vật liệu geopolymer tổng hợp từ tro bay, đất sét để làm nền đắp và gia cố nền: làm đệm geopolymer và cột geopolymer;

Đánh giá tiềm năng ứng dụng vật liệu geopolymer tổng hợp từ tro bay, đất sét để ứng dụng trong xây dựng công trình ngầm;

CHƯƠNG 2 CƠ SỞ KHOA HỌC CỦA CÔNG NGHỆ GEOPOLYMER ĐỂ CẢI THIỆN TÍNH CHẤT CƠ HỌC CỦA ĐẤT NỀN VÀ CƠ SỞ LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN GIA CỐ NỀN BẰNG ĐỆM VÀ CỘT GEOPOLYMER

2.1 Cơ sở khoa học của công nghệ geopolymer

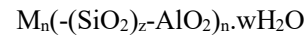
2.1.1 Khái niệm về công nghệ geopolymer

Geopolymer là khái niệm được sử dụng để chỉ các loại vật liệu tổng hợp từ vật liệu có nguồn gốc aluminosilicate.

2.1.2 Cấu trúc phân tử của geopolymer

Theo Palomo và cộng sự [25], khi sử dụng chất kích hoạt kiềm vật liệu aluminosilicate sẽ xảy ra sự tỏa nhiệt trong quá trình hòa tan, phân tách các liên kết cộng hóa trị Silic - Oxy - Nhôm tạo nên nhiều mạch không có hình dạng nhất định. Cấu trúc hóa học vô định hình của geopolymer cơ bản được tạo thành từ mạng lưới cấu trúc của những Alumino - Silico hay còn gọi là Poly - Sialate.

Công thức thực nghiệm của poly sialate [26]:

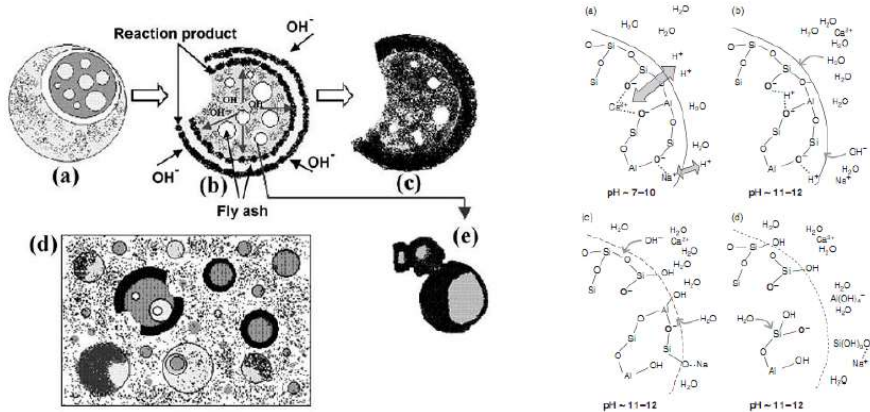


Trong đó: M - Các cation kim loại kiềm hay kiềm thổ

n - mức độ polymer hóa z = 1, 2, 3 ... cao nhất là 32.

2.1.3 Cơ chế hóa học của công nghệ geopolimer

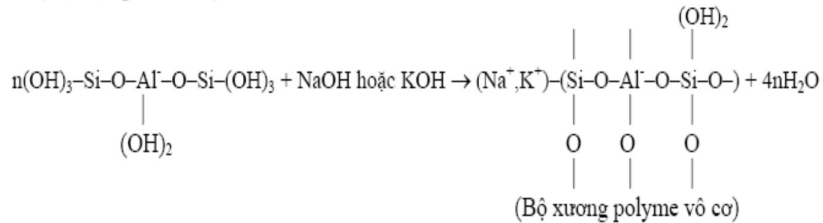
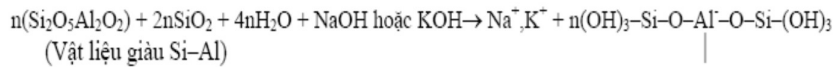
Geopolymer được tổng hợp bằng cách hòa tan các vật liệu aluminosilicat và silicat qua từng giai đoạn.



Hình 2.5: Mô hình quá trình hoạt hóa của dung dịch kiềm Alkali đối với tro bay [28]

2.1.4 Quá trình đóng rắn của Geopolymer

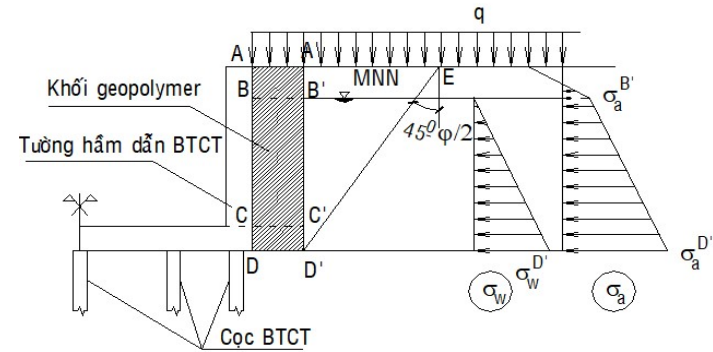
Sự tạo thành geopolimer có thể được diễn tả bằng hai phản ứng hóa học sau (theo van Jaarsveld và cộng sự năm 1997; Davidovits năm 1999) [1]:



Giai đoạn 1: Hòa tan Si và Al từ vật liệu aluminosilicat rắn trong dung dịch kiềm mạnh.

Giai đoạn 2: Sự tạo thành các monomer Si-Si hoặc Si-Al trong pha lỏng

Giả thiết khi đạt trạng thái trượt chủ động, khối geopolimer AA'D'D trượt cùng cố thể trượt theo lý thuyết Coulomb A'D'E.



Hình 4.9: Sơ đồ tính áp lực đất chủ động và áp lực nước lên tường hầm dẫn theo phương pháp giải tích

Khi có khối geopolimer sau tường, phát sinh lực ma sát của khối này trên mặt trượt DD', làm giảm áp lực chủ động tác dụng lên tường hầm dẫn tại mặt phẳng tính toán AD. Nếu giả sử rằng lực ma sát này phân bố đều theo chiều cao tường hầm dẫn, công thức tính áp lực chủ động của đất mở rộng từ công thức của Coulomb như sau:

$$\sigma_a = (\gamma \cdot z + q) \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} - \sigma_{ms} \quad (4.28)$$

Trong đó: σ_{ms} - cường độ lực ma sát phân bố đều theo chiều cao tường hầm dẫn, kN/m²;

4.5 Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để đánh giá hiệu quả của phương pháp gia cố nền sử dụng vật liệu geopolimer

Để khảo sát ảnh hưởng của vật liệu geopolimer trong việc ứng dụng làm đệm geopolimer và cột geopolimer để gia cố nền tiến hành mô phỏng nền đắp trước và sau khi được gia cố với vật liệu geopolimer với các tham số khác nhau Sơ đồ nền đắp như Hình 4.11:

4.2 Sử dụng vật liệu geopolymer tổng hợp từ đất tại chỗ và tro bay để làm lớp đệm geopolymer để gia cố nền

Việc tính toán thiết kế với loại đệm vật liệu geopolymer có thể thực hiện tương tự như tính toán thiết kế với đệm vật liệu rời.

4.3 Sử dụng vật liệu geopolymer tổng hợp từ đất tại chỗ và tro bay để làm cốt geopolymer để gia cố nền

Việc sử dụng cọc xi măng đất để gia cố nền hiện nay đã được sử dụng khá rộng rãi. Với tỷ lệ xi măng/đất thường sử dụng từ 5÷15%, cường độ nén nở hông của cọc xi măng đất qu đạt được ở thời điểm 28 ngày, khoảng 10÷85 daN/cm², [48]. Dựa trên kết quả thí nghiệm vật liệu geopolymer tổng hợp từ đất sét và tro bay có thể nhận thấy việc sử dụng loại vật liệu này để thay thế cọc xi măng đất là khả thi, đặc biệt ở những khu vực gần nguồn phế thải tro bay. Việc sử dụng loại vật liệu này thay thế xi măng có ý nghĩa lớn về môi trường và sự phát triển bền vững. Công nghệ thi công loại cọc vật liệu geopolymer tổng hợp từ đất sét và tro bay cũng tương tự như với cọc xi măng đất. Việc tính toán cốt geopolymer cũng thực hiện tương tự như tính toán cọc xi măng đất.

4.4 Sử dụng vật liệu geopolymer tổng hợp từ đất tại chỗ và tro bay trong xây dựng công trình ngầm

Vấn đề tính toán áp lực đất chủ động tác dụng lên công trình hầm đường bộ khi sử dụng vật liệu geopolymer lấp sau tường: Để giảm áp lực đất lên hầm, qua đó giảm nội lực trên hầm, bố trí một khối geopolymer ngay sau lưng tường hầm. Áp lực đất lên tường hầm trong trường hợp này có thể tính toán như sau:

Giai đoạn 3: Quá trình đa trùng ngưng các monomer tạo thành khung mạng aluminosilicat 3 chiều

Giai đoạn 4: Liên kết các hạt rắn vào mạng geopolymer và đóng rắn toàn bộ hệ thống trong cấu trúc polymer rắn cuối cùng.

2.2 Cơ sở khoa học của vấn đề cải thiện đặc tính xây dựng của đất nền

2.2.1 Đặc điểm và thành phần hóa học của đất yếu

Đất yếu là đất phải xử lý, gia cố mới có thể làm nền công trình được. Đất sét yếu khu vực Thành phố Hồ Chí Minh và Đồng bằng sông Cửu Long rất giàu SiO₂ và Al₂O₃. Đây là nguồn nguyên liệu đầu vào khá dễ để tổng hợp geopolymer.

2.2.2 Đặc điểm và thành phần hóa học của tro bay

Lượng tro bay và xỉ tạo ra từ ngành điện sau năm 2020 là rất lớn, gây ô nhiễm môi trường. Mặt khác, tro bay rất giàu SiO₂ và Al₂O₃ ở dạng vô định hình, đây là nguồn nguyên liệu quý để tổng hợp geopolymer. Việc nghiên cứu sử dụng tro bay và xỉ cho xây dựng công trình nói chung và đặc biệt là công trình giao thông là hết sức cấp thiết, góp phần bảo vệ môi trường và sự phát triển bền vững.

2.3 Kết luận chương

Dựa trên các cơ sở khoa học đã trình bày về công nghệ geopolymer và đặc điểm, thành phần hóa học của một số loại tro bay và đất sét ở Việt Nam, có thể nhận thấy tiềm năng của loại geopolymer tổng hợp từ các nguồn nguyên liệu này. Để có thể ứng dụng loại vật liệu này trong lĩnh vực xây dựng như nền đắp, gia cố nền, công trình ngầm, cần tiến hành nghiên cứu thực nghiệm. Ngoài thí nghiệm trong phòng trong các điều kiện tiêu chuẩn, như sấy khô, nghiền mịn, trộn đều, dưỡng hộ khô trong môi trường không khí, cần tiến hành thực nghiệm tại hiện trường trong các điều kiện thực tế tại Việt Nam, dưỡng hộ trong điều kiện xung quanh là đất có độ ẩm cao, nhiệt độ và áp suất bình thường. Kết quả nghiên cứu này sẽ là cơ sở để ứng dụng trong điều kiện thực tế như xây dựng nền đắp, gia cố nền, xây dựng công trình ngầm.

CHƯƠNG 3 NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM SỬ DỤNG VẬT LIỆU GEOPOLYMER TỔNG HỢP TỪ ĐẤT YẾU TẠI CHỖ KẾT HỢP VỚI TRO BAY ĐỂ LÀM VẬT LIỆU ĐẮP VÀ GIA CỐ NỀN

3.1 Nguyên liệu ban đầu để tổng hợp geopolymer

3.1.1 Tro bay

Nguồn tro bay sử dụng trong nghiên cứu này lấy từ nhà máy nhiệt điện Vĩnh Tân.

3.1.2 Đất sét

Nguồn đất sét sử dụng trong nghiên cứu này tại phường Long Phước, quận 9, thành phố Hồ Chí Minh .

3.1.3 Dung dịch chất hoạt hóa kiềm

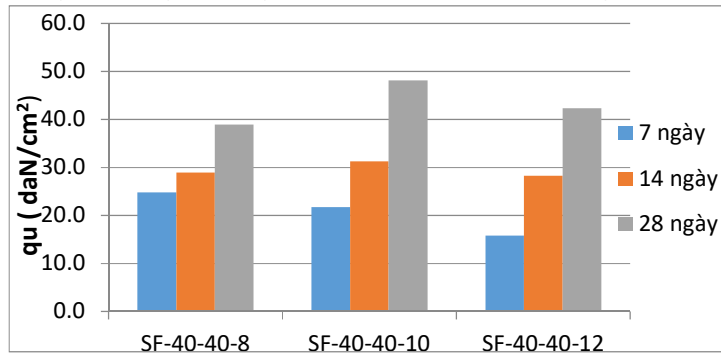
Dung dịch hoạt hóa kiềm sử dụng trong nghiên cứu này là NaOH có nồng độ 8M; 10M và 12M., được trộn đều với dung dịch thủy tinh lỏng Natri Silicat theo tỉ lệ 1:1.

3.2 Nghiên cứu thực nghiệm để đánh giá tính chất của geopolymer tổng hợp từ tro bay và đất sét

3.2.1 Tiến hành nghiên cứu trong phòng thí nghiệm

Các yếu tố ảnh hưởng đến cường độ chịu nén

Ảnh hưởng của nồng độ dung dịch hoạt hóa kiềm đến cường độ chịu nén



Hình 3.3: Ảnh hưởng của nồng độ dung dịch hoạt hóa kiềm đến cường độ chịu nén khi hàm lượng tro bay là 40%

3.3 Kết luận chương

Dựa vào kết quả thí nghiệm tổng hợp geopolymer từ đất sét và tro bay tiến hành trong phòng thí nghiệm và ngoài hiện trường có thể đưa ra một số kết luận sau: Cường độ chịu nén nở hông lớn nhất đạt được trong phòng thí nghiệm $qu = 48,1 \text{ daN/cm}^2$ ứng với hàm lượng tro bay sử dụng là 40% , tỷ lệ dung dịch chất hoạt hóa chiếm 40% khối lượng chất rắn và nồng độ dung dịch NaOH là 10 mol/l. Mô đun đàn hồi đạt được khi đó $E = 3209 \text{ daN/cm}^2$.

Cường độ nén nở hông đạt được ngoài hiện trường $qu = 34,7 \text{ daN/cm}^2$, ứng với hàm lượng tro bay sử dụng là 40%, tỷ lệ dung dịch chất hoạt hóa chiếm 40% khối lượng chất rắn và nồng độ dung dịch NaOH là 10 mol/l. Giá trị cường độ nén lớn nhất thu được lớn gấp 151 lần cường độ chịu nén ban đầu của đất khi chưa xử lý. Mô đun đàn hồi lớn nhất đạt được khi đó $E = 1663,5 \text{ daN/cm}^2 = 166,3 \text{ MPa}$ (trong điều kiện lấy mẫu hiện trường về dưỡng hộ khô). Khi sử dụng các phương tiện thi công sẵn có hiện nay để đào đất, trộn bê tông ... để thi công hỗn hợp geopolymer từ đất yếu tại chỗ, tro bay Việt Nam, dưỡng hộ trong điều kiện tự nhiên với đất nền xung quanh có độ ẩm cao, mô đun đàn hồi của vật liệu geopolymer có thể đạt được $E = 637 \text{ daN/cm}^2$.

Với kết quả thực nghiệm tại hiện trường đã đạt được, có thể khẳng định việc sử dụng đất yếu tại chỗ kết hợp với tro bay Việt Nam theo công nghệ geopolymer có thể ứng dụng tốt trong thực tiễn để gia cố nền, dùng làm vật liệu đắp nền đường, ... với các phương tiện thiết bị thi công sẵn có trên công trường hiện nay.

CHƯƠNG 4 SỬ DỤNG VẬT LIỆU GEOPOLYMER TRONG LĨNH VỰC ĐỊA KỸ THUẬT VÀ VẤN ĐỀ PHÂN TÍCH TÍNH TOÁN

4.1 Sử dụng vật liệu geopolymer tổng hợp từ đất tại chỗ và tro bay để làm vật liệu đắp đường

Tổng hợp những yêu cầu kỹ thuật hiện nay đối với nền đắp [46], tùy thuộc vào cấp thiết kế của đường, loại kết cấu áo đường, vật liệu geopolymer có thể ứng dụng để làm tầng mặt đối với đường giao thông nông thôn; tầng móng cho mọi loại đường; lớp đáy móng. Việc tính toán thiết kế kết cấu áo đường có sử dụng lớp vật liệu geopolymer nêu trên có thể thực hiện tương tự như tính toán với các lớp kết cấu áo đường làm bằng vật liệu hạt có gia cố chất vô cơ.

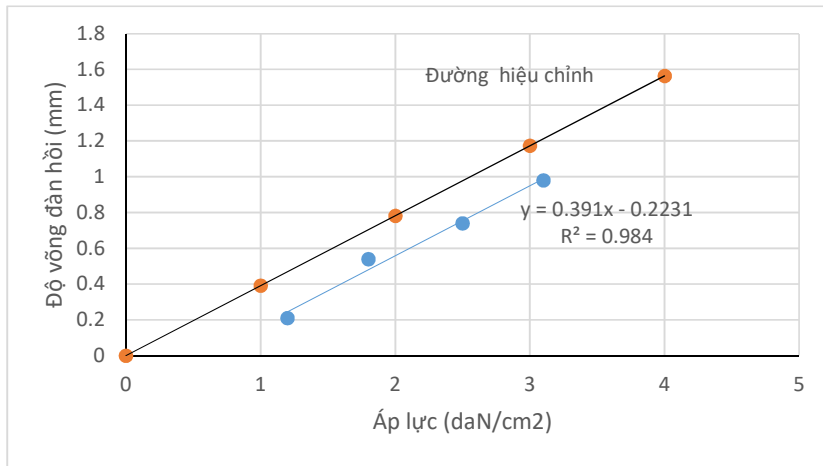
Ảnh hưởng hàm lượng tro bay và thời gian dưỡng hộ đến cường độ chịu nén

Hầu hết các mẫu thí nghiệm, giá trị mô đun đàn hồi $E \geq 500 \text{ daN/cm}^2$, sau 7 ngày dưỡng hộ, thỏa mãn yêu cầu làm lớp đáy móng đường theo tiêu chuẩn. Sau khoảng thời gian 14 ngày đến 28 ngày, giá trị mô đun đàn hồi của lớp vật liệu geopolymer lớn nhất đạt được là $1663,5 \text{ daN/cm}^2$, gấp 146 lần mô đun biến dạng ban đầu ($E = 11,4 \text{ daN/cm}^2$) đủ lớn để làm cấu tạo hầu hết các bộ phận của đường ô tô. Như vậy, việc sử dụng geopolymer tổng hợp từ đất sét và tro bay để làm lớp đệm địa kỹ thuật và làm đường giao thông có tiềm năng rất lớn.

Kết quả thí nghiệm bàn nén hiện trường

Kết quả thí nghiệm bàn nén hiện trường được thực hiện với 4 điểm, mỗi điểm cách nhau 60cm. Kết quả cụ thể như sau:

Điểm 1: Kết quả thí nghiệm thể hiện trên đồ thị sau:



Hình 3.21: Biểu đồ quan hệ áp lực nén – độ võng đàn hồi (điểm đo 1)

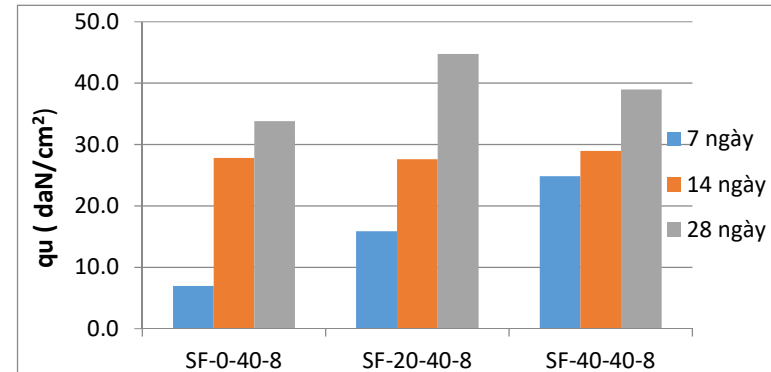
Từ đó tính được mô đun đàn hồi được tính theo công thức:

$$E = 1000 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{p \cdot D \cdot (1 - \mu^2)}{l} \quad (3.1)$$

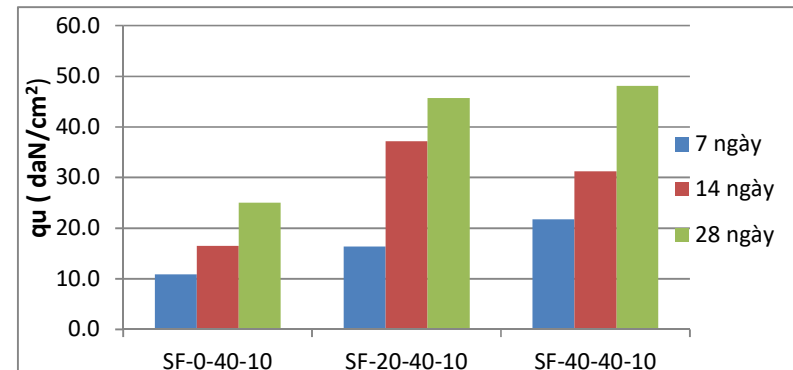
$$E = 621,44 \text{ daN/cm}^2.$$

Ghi chú: Ký hiệu mẫu SF-40-40-10 nghĩa là mẫu gồm hỗn hợp đất và tro bay, tỷ lệ khối lượng tro bay/khối lượng đất là 40%, tỷ lệ khối lượng dung dịch hoạt hóa/khối lượng chất rắn là 40%, nồng độ dung dịch hoạt hóa là 10 mol/l. Tương tự cho các mẫu khác.

Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay và thời gian dưỡng hộ đến cường độ chịu nén



Hình 3.4: Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay và thời gian dưỡng hộ đến cường độ chịu nén khi nồng độ dung dịch hoạt hóa kiểm là 8 mol/l



Hình 3.5: Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay và thời gian dưỡng hộ đến cường độ chịu nén khi nồng độ dung dịch hoạt hóa kiểm là 10 mol/l

Quan hệ giữa cường độ chịu nén và trọng lượng đơn vị thể tích của vật liệu geopolymer

Kết quả thí nghiệm trong phòng thể hiện trên đồ thị hình 3.7:

