

ĐẶC TÍNH CƠ HỌC CỦA VẬT LIỆU GEOPOLYMER TỔNG HỢP TỪ ĐẤT Bùn SÉT VÀ PHÉ THẢI TRO BAY

MECHANICAL PROPERTIES OF GEOPOLYMER MATERIALS SYNTHESIZED FROM CLAY MUD AND FLY ASH

Trần Văn Thu

Khoa Công trình Giao thông,
Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh
tranvanthugt@gmail.com

Tóm tắt: Bài báo phân tích các chỉ tiêu cơ học của nền đắp bằng vật liệu Geopolymer tổng hợp từ nguồn đất bùn sét tại chỗ thuộc khu vực Thành phố Hồ Chí Minh và tro bay của nhà máy Nhiệt điện Vĩnh Tân. Loại vật liệu đắp này được tổng hợp trên cơ sở ứng dụng một số thành tựu nghiên cứu mới về công nghệ Geopolymer để cải tiến công nghệ thi công nền đất đắp thông dụng hiện nay tại Việt Nam. Kết quả nghiên cứu trong phòng cho thấy, cấp phối hợp lý của hệ nguyên liệu tổng hợp Geopolymer tính theo tỷ lệ khối lượng các thành phần là: Tro bay/đất sét 40%; dung dịch hoạt hóa kiềm/chất rắn 40% và nồng độ dung dịch NaOH 10 M, khi đó cường độ chịu nén của mẫu Geopolymer sau 28 ngày $q_u = 48,1 \text{ daN/cm}^2$; mô đun đàn hồi $E = 3209 \text{ daN/cm}^2$. Trên cơ sở kết quả nghiên cứu trong phòng, tiến hành nghiên cứu ngoài hiện trường với cấp phối trên nhằm đánh giá tiềm năng ứng dụng của vật liệu Geopolymer để làm vật liệu đắp trong xây dựng đường giao thông và gia cố nền, từ đó đẩy mạnh việc ứng dụng trong xử lý nền đất yếu và xây dựng công trình giao thông. Do tận dụng nguồn đất sét yếu tại chỗ và sử dụng lượng lớn phế thải tro bay, sẽ góp phần giảm thiểu ô nhiễm môi trường, đảm bảo quá trình phát triển các công trình hạ tầng giao thông một cách bền vững.

Từ khóa: Đất yếu, công nghệ Geopolymer, tro bay, Vĩnh Tân.

Mã phân loại: 11.2

Abstract: This paper analyzed the mechanical properties of the embankment made of Geopolymer material synthesized from clay mud in Ho Chi Minh City and fly ash of the Vinh Tan thermal power plant. This type of embankment material is synthesized on the basis of applying some new research achievements on Geopolymer technology to improve the construction technology of the commonly used embankment in Vietnam today. The results of experiment showed that the appropriate coordination level of the Geopolymer synthetic material system calculated according to the ratio of the volume of components is: Fly ash / clay is 40%; The alkaline activated solution / solids is 40% and the concentration of NaOH solution is 10M, then the compressive strength of Geopolymer sample at 28 days $q_u = 48.1 \text{ daN/cm}^2$; elastic modulus $E = 3209 \text{ daN/cm}^2$. On the basis of the results of in-room experiment, field experiment with the above mixed design is conducted to evaluate the potential application of this Geopolymer material as fill material in road construction and soft ground treatment. Due to using a large amount of fly ash waste, it brings environmental and economic benefits.

Keywords: Soft soil, Geopolymer technology, fly ash, Vinh Tan.

Classification code: 11.2

1. Giới thiệu

Đất yếu không thích hợp để sử dụng làm vật liệu đắp nền đường bởi vì có cấp phối hạt mịn, sức chịu tải thấp, chỉ số dẻo cao, dễ thay đổi trạng thái rắn - mềm do độ ẩm. Đất yếu phân bố trên một số khu vực rộng lớn ở Việt Nam như Đồng bằng sông Hồng, Đồng bằng sông Cửu Long... Các khu vực này có mật độ dân cư khá cao trong khi hệ thống hạ tầng lại kém phát triển. Việc xây dựng các tuyến đường, đặc biệt đường cao tốc tại những khu

vực nêu trên trong thời gian qua đang đặt ra nhiều vấn đề cấp bách. Do địa hình thấp, địa chất yếu nên khối lượng đất đắp nền đường thường rất lớn, khối lượng đất yếu phải đào bỏ thay thế bằng đất tốt hơn cũng rất nhiều, nếu không tuổi thọ của đường sẽ giảm hoặc phải duy tu nhiều. 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.

Tiêu chuẩn hiện hành cũng quy định không được sử dụng đất yếu như đất bùn, than bùn v.v... để làm vật liệu đắp đường [1]. Như vậy nguồn vật liệu đắp nền đường thường là nguồn đất chọn lọc và phải lấy từ các mỏ đất, chỉ có một số ít trường hợp được lấy trực tiếp từ nền đào. Trong trường hợp đất nền tự nhiên tại khu vực xây dựng không đáp ứng được các yêu cầu của tiêu chuẩn đối với vật liệu đắp nền đường, chi phí xây dựng sẽ tăng cao đáng kể. Vì vậy, việc tìm giải pháp để cải thiện tính năng xây dựng của đất nền tự nhiên tại chỗ đắp nền đường, nhằm giảm chi phí là hết sức cần thiết. Để cải thiện đặc tính địa kỹ thuật của đất yếu và sử dụng vật liệu đắp đường cao tốc vốn đã có khá nhiều nghiên cứu áp dụng các chất ổn định như vôi, xi măng, tro bay ... và đưa ra một số kết quả khả quan ban đầu.

Việc sử dụng công nghệ Geopolymer (địa polyme) đối với đất yếu đang được các nhà nghiên cứu trên thế giới ngày càng quan tâm trong vài thập kỷ gần đây, vì đây là một giải pháp có thể cải thiện đặc tính địa kỹ thuật của đất yếu một cách nhanh chóng và hiệu quả. Thuật ngữ “Geopolymer” được xây dựng vào những năm 1970 bởi nhà khoa học người Pháp Joseph Davidovits và ông đã bắt đầu xây dựng nên nguyên lý để chế tạo Geopolymer [2]. Bằng cách dựa trên khả năng phản ứng của các vật liệu Aluminosilicate và dung dịch kiềm Alkaline để tạo ra các sản phẩm có cường độ cao. Hệ nguyên liệu để chế tạo vật liệu Geopolymer bao gồm hai thành phần chính là các nguyên liệu ban đầu và các chất hoạt hóa kiềm. Nguyên liệu Aluminosilicate nhằm cung cấp nguồn Si và Al cho quá trình Geopolymer hóa xảy ra (thường dùng tro bay, metacaolan, silicafume...) [2], [3]. Chất hoạt hóa kiềm được sử dụng phổ biến nhất là dung dịch NaOH và thủy tinh lỏng Natri Silicat nhằm tạo môi trường kiềm và tham gia vào các phản ứng Geopolymer hóa [4]. Vật liệu Geopolymer được tạo thành từ mạng lưới Poly (Sialate) trên cơ sở các tứ diện SiO_4 và AlO_4 với công thức như sau [2]: $\text{M}_n(-(\text{SiO}_2)_z-\text{AlO}_2)_n \cdot w\text{H}_2\text{O}$. Trong đó:

M: Các cation kim loại kiềm hay kiềm thổ;

n: Mức độ polymer hóa $z = 1, 2, 3 \dots$ cao nhất là 32.

Theo quy hoạch điện VII, Việt Nam vẫn đang phát triển khá mạnh công nghiệp nhiệt điện đốt than, nên nguồn tro bay từ các nhà máy nhiệt điện này thải ra rất lớn, ước tính khoảng 50 triệu tấn vào năm 2030 [5]. Đây là nguồn chất thải gây ô nhiễm môi trường nghiêm trọng. Hơn nữa, các nhà máy nhiệt điện này lại phân bố tại nhiều khu vực có dân cư khá đông đúc, nơi phát triển nông nghiệp khá mạnh. Do vậy, để khắc phục vấn đề ô nhiễm môi trường do các nhà máy nhiệt điện đốt than cần song song tiến hành các giải pháp: Một là hạn chế phát triển các nhà máy nhiệt điện này, hai là nghiên cứu sử dụng tro bay vào các mục đích hữu ích. Như vậy, nếu việc nghiên cứu sử dụng tro xỉ để làm đường giao thông 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.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu sử dụng

2.1.1. Tro bay

Tro bay là sản phẩm của quá trình đốt than đá nghiền mịn trong các nhà máy nhiệt điện. Đó là những hạt hình cầu kích thước rất nhỏ, cỡ micro mét, dễ dàng bay lơ lửng trong không khí. Nguồn tro bay sử dụng trong nghiên cứu này lấy từ nhà máy Nhiệt điện Vĩnh Tân, tỉnh Bình Thuận. Thành phần hóa học của các tro bay được xác định bằng phương pháp phổ kế huỳnh quang tia X, kết quả như bảng 1.

2.1.2. Đất sét

Thành phần hóa học của một số loại đất sét tại Thành phố Hồ Chí Minh được trình bày tại bảng 2. Như vậy, có thể thấy các loại đất sét và tro bay ở những khu vực trên có hàm lượng SiO_2 tương ứng là 52% và 55,71%; hàm lượng Al_2O_3 tương ứng là 20,05% và 27,51%. Đây là các ô xít có thể tham gia vào quá trình Geopolymer hóa. Qua đó cho thấy tro bay và đất sét là nguồn vật liệu chứa chủ yếu silic và nhôm, là thành phần chính tham gia phản ứng để tổng hợp Geopolymer.

Bảng1. Kết quả phân tích thành phần hóa học, hàm lượng (%) của tro bay.

Tro bay	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	CaO	SO ₃	Na ₂ O	MKN
Vĩnh Tân 2	55.71	27.51	7.02	5.31	1.17	0.99	0.93	0.44	0.25	20.32

Bảng2. Kết quả phân tích thành phần hóa học, hàm lượng (%) của đất sét.

Nguồn đất sét	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	CaO	SO ₃	Na ₂ O	MKN
Thành phố Hồ Chí Minh	52.00	20.05	6.73	1.77	1.32	1.16	0.06	0.42	0.58	13.99

2.1.3 Dung dịch chất hoạt hóa kiềm

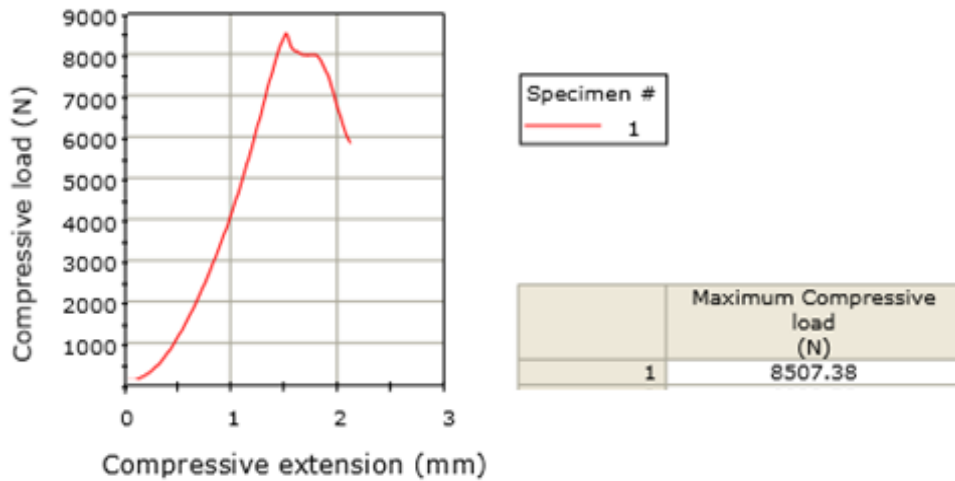
Các chất hoạt hóa kiềm sử dụng để tổng hợp Geopolymer như dung dịch NaOH và thủy tinh lỏng Natri Silicat đều là những hóa chất cơ bản sử dụng phổ biến trong công nghiệp. Dung dịch hoạt hóa kiềm sử dụng trong nghiên cứu này có nồng độ 10 M. Dung dịch NaOH được trộn đều với dung dịch thủy tinh lỏng Natri Silicat theo tỉ lệ 1:1. Dung dịch hoạt hóa kiềm tạo ra môi trường để hòa tan nguồn nguyên liệu Aluminosilicate, từ đó bắt đầu quá trình Geopolymer hóa.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

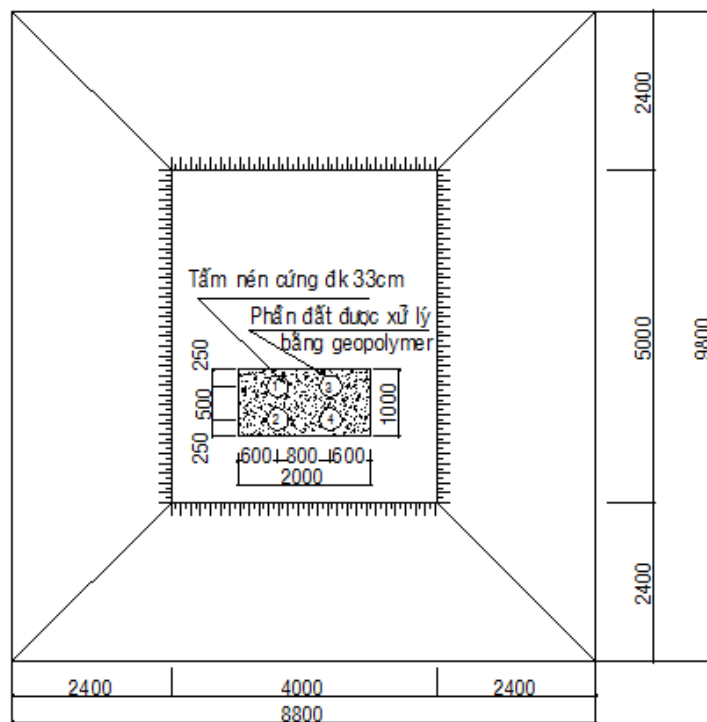
Nguồn nguyên liệu đầu vào sử dụng để tổng hợp Geopolymer bao gồm: Bùn sét lấy tại Thành phố Hồ Chí Minh; tro bay lấy từ nhà máy Nhiệt điện Vĩnh Tân 2, tỉnh Bình Thuận; Natri Hydroxit (NaOH dạng khô) và

dung dịch thủy tinh lỏng. Thí nghiệm trong phòng: Bùn sét được đào lên sau khi loại bỏ phần hữu cơ trên bề mặt, sấy khô, nghiền nhỏ rồi trộn đều với tro bay và dung dịch hoạt hóa kiềm theo các tỷ lệ: Tro bay/đất sét lần lượt là 0:100; 20:80 và 40:60; tỷ lệ dung dịch/chất rắn lần lượt là 0,25; 0,4 và 0,5; nồng độ dung dịch NaOH có 03 loại 8 M, 10 M và 12 M. Cho hỗn hợp này vào khuôn trụ tròn đường kính 50 mm, cao 100 mm. Các mẫu được dưỡng hộ ở nhiệt độ thường, rồi làm thí nghiệm nén nở hông tự do sau 07 ngày, 14 ngày và 28 ngày. Kết quả thí nghiệm trong phòng cho ta cấp phối Geopolymer hợp lý. Lấy kết quả cấp phối này tiến hành thí nghiệm ngoài hiện trường. Sau 28 ngày dưỡng hộ ở điều kiện nhiệt độ môi trường thường (xung quanh 30⁰C), tiến hành xác định mô đun đàn hồi của nền đắp Geopolymer bằng tấm ép cứng.

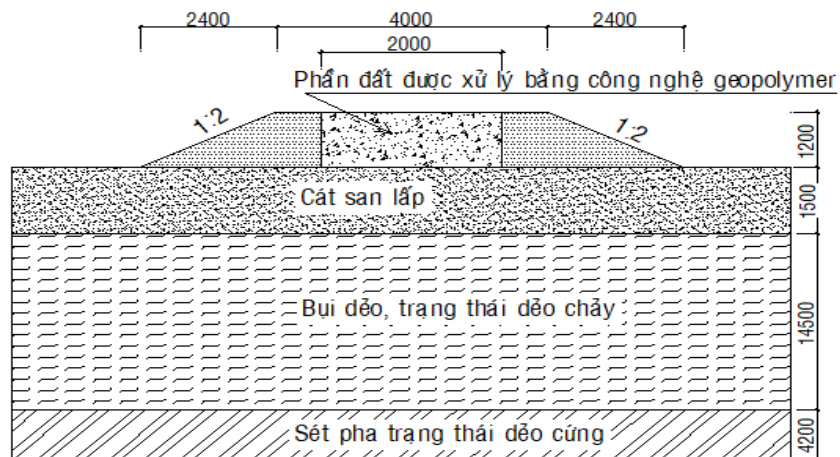
**Hình 1.** Mẫu Geopolymer sau 28 ngày dưỡng hộ



Hình 2. Đường cong nén của mẫu Geopolymer sau 28 ngày dưỡng hộ.



Hình 3. Mặt bằng vị trí thi công lớp đệm Geopolymer tại hiện trường.



Hình 4. Vị trí phân đất yếu xử lý bằng công nghệ Geopolymer trên mặt cắt ngang.

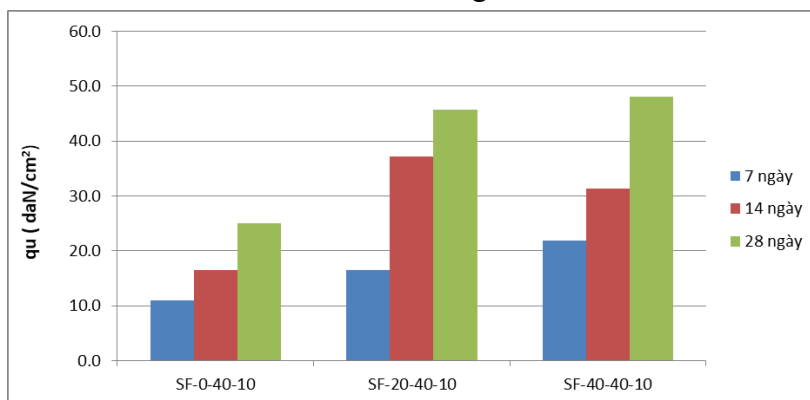
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Ảnh hưởng hàm lượng tro bay và thời gian dưỡng hộ đến cường độ chịu nén theo thí nghiệm trong phòng

Kết quả thí nghiệm được thể hiện trên các đồ thị tại hình 5. Từ kết quả thí nghiệm thu được có thể nhận thấy: Cường độ chịu nén lớn nhất đạt được ứng với hàm lượng tro bay sử dụng là 40% ($q_u = 48,1 \text{ daN/cm}^2$), 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 tăng dần theo thời gian và đạt giá trị tương đối ổn định sau 28 ngày. Giá trị cường độ chịu nén lớn nhất thu được lớn gấp 229 lần cường độ chịu nén ban đầu khi chưa xử lý (đất ban đầu có $q_u = 0,21 \text{ daN/cm}^2$).

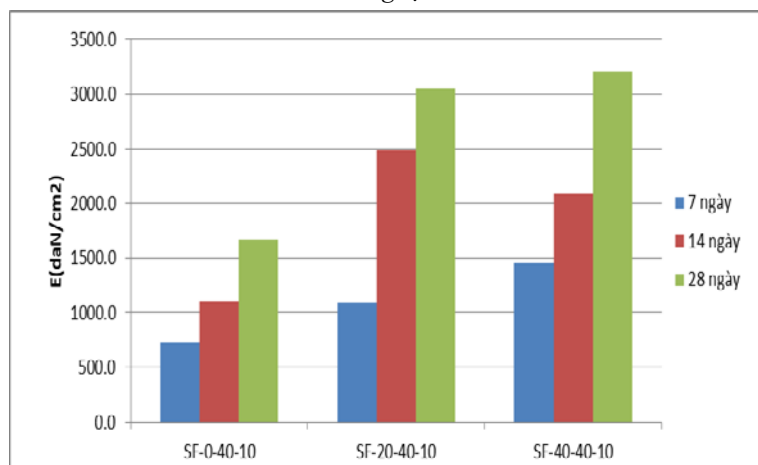
3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay và thời gian dưỡng hộ đến mô đun đàn hồi theo thí nghiệm trong phòng

Kết quả thí nghiệm được thể hiện trên hình 6. Hầu hết các mẫu thí nghiệm, giá trị mô đun đàn hồi $E \geq 500 \text{ daN/cm}^2$, sau 07 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 3209 daN/cm^2 , gấp 281 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 [5]. Như vậy, việc sử dụng Geopolymer tổng hợp từ đất sét và tro bay để làm vật liệu đắp đường giao thông có tiềm năng rất lớn. Mô đun đàn hồi tăng khi tăng hàm lượng tro bay, khi hàm lượng tro bay đạt khoảng 40% giá trị mô đun đàn hồi tăng khá chậm.

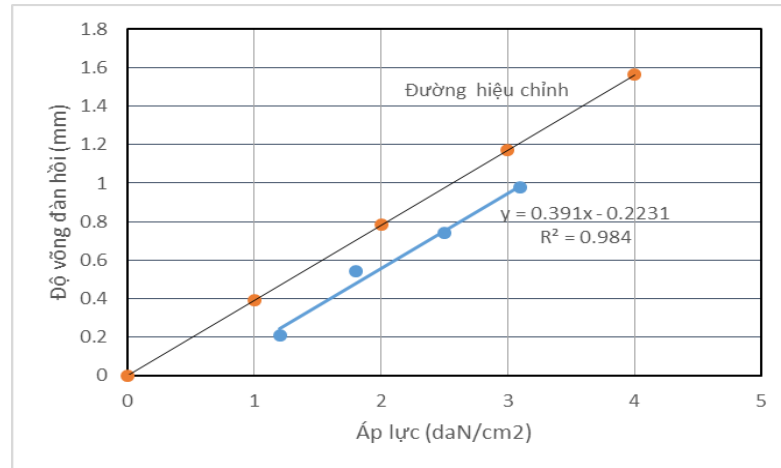


Hình 5. Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay và thời gian dưỡng hộ đến cường độ chịu nén khi nồng độ dung dịch hoạt hóa kiềm là 10 mol/l.

Ghi chú: Ký hiệu mẫu SF-20-40-10 nghĩa là mẫu gồm hỗn hợp đất và tro bay, tỷ lệ khối lượng tro bay/khối lượng chất rắn là 20%, 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.



Hình 6. Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay và thời gian dưỡng hộ đến mô đun đàn hồi khi nồng độ dung dịch là 10 mol/l.



Hình 7. Biểu đồ quan hệ áp lực nén – độ võng đàn hồi (điểm đo 1).

3.3. Kết quả xác định mô đun đàn hồi theo thí nghiệm hiện trường

Kết quả thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi tại hiện trường bằng thí nghiệm tẩm nén cứng thể hiện trên hình 7. Như vậy, khi sử dụng các phương tiện thi công sẵn có hiện nay để đào đất, trộn bê tông... 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 $E = 637 \text{ daN/cm}^2$, bằng khoảng 20% giá trị mô đun đàn hồi lớn nhất đạt được trong điều kiện thí nghiệm trong phòng, với cùng cấp phối vật liệu (kết quả thí nghiệm trong phòng $E = 3209 \text{ daN/cm}^2$).

4. Kết luận

Căn cứ vào kết quả thí nghiệm đã thực hiện có thể rút ra một số kết luận sau:

Hàm lượng tro bay sử dụng tối ưu 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;

Geopolymer tổng hợp từ đất sét và tro bay có giá trị mô đun đàn hồi $E \geq 500 \text{ daN/cm}^2$, sau 07 ngày dưỡng hộ, thỏa mãn yêu cầu làm vật liệu đắp đường theo tiêu chuẩn TCVN 4054:2005, sau thời gian 28 ngày giá trị mô đun đàn hồi lớn nhất thu được $E = 3209 \text{ daN/cm}^2$. Như vậy, việc sử

dụng Geopolymer tổng hợp từ đất sét và tro bay để làm đường giao thông có tiềm năng rất lớn;

Từ kết quả xác định cường độ nén và mô đun đàn hồi của vật liệu Geopolymer đạt được, có thể nhận thấy việc ứng dụng loại vật liệu này trong lĩnh vực gia cố nền đất yếu là khả thi, mở ra hướng xử lý một lượng lớn tro bay, góp phần giảm ô nhiễm môi trường do loại phế thải này gây ra. □

Tài liệu tham khảo

- [1] 22TCN 262:2000 (2000), Quy trình khảo sát thiết kế nền đường ô tô đắp trên đất yếu, Bộ Giao thông vận tải;
- [2] Davidovits, J.(2008), *Geopolymer Chemistry and Application*. 2nd edn, Institut Geopolymere, Saint- Quentin, France;
- [3] Hardjito, D. (2005), *Studies of Fly Ash-based Geopolymer Concrete*. PhD Thesis, Curtin University of Technology, Perth, Australia;
- [4] Jian He.(2012), *Synthesis and Characterization of Geopolymers for Infrastructural Applications*, PhD Thesis, Nottingham University, UK;
- [5] Quy hoạch điện VII, Quy hoạch phát triển điện lực quốc gia giai đoạn 2011 - 2020 có xét đến năm 2030, theo quyết định 1208/QĐ-TTg ngày 21/7/2011, Thủ tướng Chính phủ, 2011;
- [6] TCVN 4054:2005 (2011), Đường ô tô – Yêu cầu thiết kế, Bộ Khoa học và Công nghệ.

Ngày nhận bài: 06/04/2021

Ngày chuyển phản biện: 09/04/2021

Ngày hoàn thành sửa bài: 01/05/2021

Ngày chấp nhận đăng: 07/05/2021