

# Nghiên cứu sử dụng phụ gia nano organosilane và nano polymer kết hợp xi măng gia cố đất sử dụng cho công trình giao thông

■ TS. NGÔ QUỐC TRINH; TS. NGÔ THỊ THANH HƯƠNG

*Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải*

**TÓM TẮT:** Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm trong phòng khả năng gia cố đất sử dụng xi măng kết hợp với phụ gia nano-organosilane và nano copolymer. Nghiên cứu với hai loại đất (đất sỏi đỏ và đất sét), sử dụng xi măng PCB30, phụ gia Terrasil và Zycobond do hãng Zydex - Ấn Độ sản xuất. Kết quả nghiên cứu cho thấy, đất sỏi đỏ và đất sét có 5% xi măng kết hợp với 0,8 kg/m<sup>3</sup> Terrasil, 0,8 kg/m<sup>3</sup> Zycobond đáp ứng độ bền cấp II theo TCVN 10379:2014, đạt được cải thiện tính chống thấm, trương nở, mô-đun đàn hồi, cường độ chịu nén và cường độ ép chệch.

**TỪ KHÓA:** Đất xây dựng, nền đường ô tô, xi măng, phụ gia Terrasil, phụ gia Zycobond

**ABSTRACT:** The paper presents the results of experimental research on soil stabilization using cement in combination with nano-organosilane and nano-copolymer additives. Research with 2 types of soil (hilly and clay soil), using PCB30 cement, additives Terrasil and Zycobond, manufactured by Zydex. The results of the study showed that 5% cement reinforced hilly and subsoil soil combined with 0,8 kg/m<sup>3</sup> Terrasil, 0,8 kg/m<sup>3</sup> Zycobond meet grade II durability according to TCVN 10379:2014, improved soil: waterproofing, swell, elastic modulus, compressive strength and tensile strength.

**KEYWORDS:** Soil for construction, embankment, cement, Terrasil, Zycobond.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đất sử dụng cho nền đường ô tô phải đáp ứng yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 9436:2012. Để cải thiện tính chất của đất, có thể sử dụng một số chất liên kết hữu cơ (nhựa tương nhựa đường, nhựa đường tổng...), chất liên kết vô cơ (vôi, xi măng, chất thủy hóa vôi co...), các hóa chất (Roadcem, Rovo, RRP 235 Special; Consolid; DB500...). Sử dụng kết hợp các chất liên kết, phụ gia hóa học có thể cải thiện đất theo hướng đáp ứng đặc tính làm việc. Năm 2014, Bộ Khoa học và Công nghệ đã ban hành TCVN 10379:2014 hướng dẫn công nghệ gia cố đất bằng chất

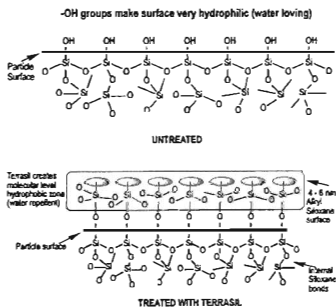
kết dính vô cơ, hóa chất hoặc gia cố tổng hợp sử dụng trong xây dựng đường bộ. Tác dụng chính của các phụ gia hóa rắn đất trên là làm tăng cường độ và giảm tính thấm của đất nền. Phụ gia hóa rắn đất khi được trộn đều vào đất đã được đánh tơi và làm nhỏ, sẽ cung cấp thêm ion mang điện tích dương và tác động làm các điện tích âm của các hạt sét trong đất sắp xếp lại. Dưới tác động của lực đẩy nén, liên kết dạng tử tinh xuất hiện làm biến đổi tính chất cơ lý của đất từ rời rạc sang thể rắn và tăng độ đặc chắc cũng như độ chống thấm nước, loại bỏ tính trương nở của thành phần sét trong đất. Trong thành phần của đất hóa rắn, thành phần sét sau khi tác dụng với phụ gia sẽ trở thành thành phần chất dạng xi măng polime vô cơ, kết hợp với thành phần hạt lớn trong đất tạo thành một khối rắn chắc. Cấp độ bền của đất gia cố được quy định theo trị số mô-đun đàn hồi: Độ bền cấp I khi mô-đun đàn hồi đạt 400MPa; độ bền cấp II khi mô-đun đàn hồi đạt 350MPa; độ bền cấp III khi mô-đun đàn hồi đạt 200MPa.

Xi măng là chất liên kết vô cơ đã được nghiên cứu để cải thiện các đặc tính của đất sử dụng cho xây dựng công trình với một hàm lượng tương đối nhỏ. Kinh nghiệm nghiên cứu trên thế giới cho thấy, sử dụng xi măng với hàm lượng từ 3 đến 6% có thể cải thiện đáng kể các đặc tính của đất [1]. Cơ chế gia cố đất bằng xi măng được thể hiện qua 4 quá trình xảy ra khi trộn xi măng với đất có bổ sung nguồn ẩm và đầm chặt: quá trình trao đổi cation, tái cấu trúc hạt đất, phản ứng thủy hóa của xi măng và các phản ứng pozzolanic. Về nguyên lý, khi trộn xi măng và đất, quá trình thủy hóa giúp liên kết các hạt đất nhỏ thành các khối bền nước. Ngoài ra, hiệu ứng cải thiện còn xảy ra trên bề mặt các hạt đất, xảy ra các phản ứng trao đổi cation. Từ đó, đất gia cố xi măng giảm độ dẻo, giảm độ rỗng thể tích và có cường độ cao hơn đáng kể so với đất đầm nén không có gia cố xi măng. Mức độ cải thiện chất lượng đất, tăng các đặc tính chịu lực, phụ thuộc vào hàm lượng xi măng sử dụng. Nghiên cứu trong phòng và thực tế áp dụng ngoài hiện trường cho thấy, đất gia cố xi măng cải thiện được các đặc tính cơ học và có độ ổn định lâu dài dưới tác dụng của các yếu tố môi trường và tải trọng. Tuy nhiên, nhược điểm của đất gia cố xi măng là độ cứng cao, dễ có nguy cơ xuất hiện nứt trong quá trình khai thác.

Phụ gia Zycobond và Terrasil do hãng Zydex (Ấn Độ) cung cấp. Phụ gia Terrasil có thành phần 100% từ

organosilane, dung môi nước, chất ổn định chống lão hóa tia UV, hóa chất kích hoạt phản ứng với đất tạo cho đất khả năng cách nước khi sử dụng. Các thành phần trong phụ gia Terrasil phản ứng với các nhóm silane ưa nước trong các hạt đất, sét, phù sa, chuyển đổi chúng thành các liên kết alkyl siloxane kỵ nước, cách nước. Cơ chế tương tác của phụ gia Terrasil được trình bày trong Hình 1.1. Trong khi đó, phụ gia Zycobond là chất huyền phù bao gồm dung môi và các acrylic copolymer ở kích thước nano. Khi phối trộn kết hợp Zycobond với Terrasil tăng cường sự kết dính giữa các hạt đất, cải thiện khả năng chịu lực của đất gia cố, kiểm soát quá trình trương nở cũng như biến dạng dẻo.

Giải pháp công nghệ sử dụng đồng thời xi măng, Terrasil, Zycobond cải thiện chất lượng đất giúp cải thiện khả năng cách nước của đất, biến các nhóm ưa nước silane trên bề mặt hạt đất thành các nhóm kỵ nước bằng lớp màng bao phủ kích thước nano. Đồng thời, xi măng và Zycobond kết hợp gia cường lưỡng pha: pha cứng (xi măng) - pha đàn hồi (Zycobond) tạo cho đất có khả năng chịu lực, cải thiện đáng kể cường độ, chỉ số CBR và giảm mô-đun đàn hồi, từ đó giảm độ cứng, giảm nguy cơ xuất hiện nứt trên bề mặt lớp gia cố.



Hình 1.1: Cơ chế tương tác của phụ gia Terrasil

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Sử dụng hai loại đất cho nghiên cứu thực nghiệm trong phòng: Đất sỏi đồi (từ dự án xây dựng đường cao tốc Bắc Giang - Lạng Sơn) và đất á sét (từ dự án trục Nam Hà Tây, TP. Hà Nội). Các mẫu đất được đưa về phòng thí nghiệm, thử nghiệm các đặc tính kỹ thuật phục vụ cho xây dựng công trình đường ô tô. Đất sỏi đồi có chỉ số CBR ở mức độ đầm nén 95% đạt 28,3%, đất á sét có chỉ số CBR ở mức độ đầm nén 95% đạt 4,2%.

Xi măng sử dụng PCB30 Bút Sơn có các chỉ tiêu kỹ thuật đáp ứng yêu cầu TCVN 6260:2009 và TCVN 10379:2014, có cường độ chịu nén đáp ứng yêu cầu không nhỏ hơn 30MPa.

Phụ gia Zycobond là một nhũ tương copolyme acrylic với tuổi thọ trên 10 năm để liên kết các hạt đất, được sản xuất bởi Zydex Industries (Ấn Độ). Zycobond tăng khả năng chống nước và chống lại nước xâm nhập của đất đầm chặt. Các đặc tính của Zycobond được sử dụng trong thực nghiệm này được thể hiện trong Bảng 2.1. Hình ảnh mẫu Zycobond sử dụng được thể hiện trong Hình 2.1a.

Phụ gia Terrasil công nghệ nano dựa trên 100% organosilane, tan trong nước, bền cực tím và ổn định nhiệt, biến đổi đất phản ứng để chống thấm cho đất. Phụ gia Terrasil được sản xuất bởi Zydex Industries (Ấn Độ), ở dạng lỏng cô đặc và được trộn với nước theo tỷ lệ quy định trước khi trộn với đất. Các đặc tính của Terrasil được sử dụng trong thực nghiệm này được thể hiện trong Bảng 2.2. Hình ảnh mẫu Terrasil sử dụng được thể hiện trong Hình 2.1b.

Bảng 2.1. Thông số kỹ thuật của phụ gia Zycobond

TT	Thông số	Giá trị
1	Màu sắc	Trắng sữa
2	Mùi vị	Không mùi
3	Điểm chớp cháy	> 100°C
4	Nhiệt độ cháy	> 200°C
5	Độ hòa tan trong nước	Phân tán tốt
6	Độ pH	5 - 6

Bảng 2.2. Thông số kỹ thuật của phụ gia Terrasil

TT	Thông số	Giá trị
1	Màu sắc, nhận dạng	Chất lỏng, vàng nhạt
2	Mùi vị	Không mùi
3	Độ nhớt ở 25°C	20 - 100 cps
4	Khối lượng thể tích	1,01
5	Độ hòa tan trong nước	Phân tán tốt



a)



b)

Hình 2.1. Phụ gia Zycobond (a) và phụ gia Terrasil (b) sử dụng

Đất được thử nghiệm chỉ tiêu CBR theo 22TCN332:2006 với thông số đầm chặt từ kết quả thí nghiệm đầm nén tiêu chuẩn theo 22TCN333:2006. Thử

nghiệm hệ số thấm mẫu đất gia cố phụ gia nano theo TCVN 8723:2012, hệ số trương nở tự do FSI theo Tiêu chuẩn Ấn Độ IS 2720 [2]. Cường độ chịu nén của mẫu đất gia cố thử nghiệm theo ASTM D1633 [3], mô-đun đàn hồi thử nghiệm theo TCVN 9843:2013, cường độ ép chế của mẫu được thử nghiệm theo TCVN 8862:2011.

**3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN**

**3.1. Nghiên cứu ảnh hưởng của Terrasil và Zycobond đến các đặc tính của đất gia cố**

Để đánh giá hiệu quả cải tạo đất của phụ gia Terrasil và Zycobond, tiến hành thử nghiệm đánh giá một số đặc tính của đất đầm chặt có sử dụng kết hợp phụ gia Terrasil và Zycobond. Về mặt cơ chế, phụ gia Terrasil là các organosilane với cấu trúc phân tử phức hợp, một phần là các silane, một phần là các gốc hữu cơ bão hòa. Khi trộn cùng đất, các nano organosilane của Terrasil sẽ tiếp cận với bề mặt các hạt đất, liên kết với nhóm silane ưa nước có trên bề mặt các hạt sét, tạo thành lớp màng alkyl siloxane kỵ nước, cách nước, ngăn cản quá trình nước xâm nhập làm trương nở các hạt sét, dẫn đến suy giảm tính dính bám và khả năng chịu lực của đất. Zycobond nhờ các hạt acrylic copolymer có kích thước nano khi được trộn tương tác đều với các hạt đất, gia cường rìa rạc cấu trúc đất bằng các phần tử nano có tính đàn hồi cao, qua đó cải thiện tính chất của đất. Theo khuyến cáo của nhà sản xuất, phụ gia Terrasil và Zycobond được sử dụng kết hợp với tỷ lệ phụ gia 1:1. Phụ gia được pha vào nước sử dụng trong công tác đầm nén đất. Hàm lượng hỗn hợp phụ gia pha vào nước ở mức: 0,6 kg/m<sup>3</sup>, 0,8 kg/m<sup>3</sup>, 1,0 kg/m<sup>3</sup> và 1,2 kg/m<sup>3</sup>.

Kết quả thử nghiệm chỉ tiêu CBR của các mẫu đất có sử dụng phụ gia Terrasil và Zycobond được thể hiện trong Bảng 3.1. Kết quả nghiên cứu cho thấy, phụ gia phức hợp (Terrasil: Zycobond = 1:1) với các hàm lượng từ 0,6 đến 1,2 kg/m<sup>3</sup>, chỉ tiêu CBR của đất đều được cải thiện rõ rệt đối với cả hai loại đất nghiên cứu. Chỉ tiêu CBR tăng từ 70% đến 120% so với ban đầu (với đất á sét), tăng từ 20% đến 74% với đất sỏi đôi.

*Bảng 3.1. Chỉ tiêu CBR của mẫu đất sử dụng phụ gia Terrasil và Zycobond*

Hàm lượng phụ gia, kg/m <sup>3</sup>	Chỉ tiêu CBR ở độ chặt K95	
	Đất á sét	Đất sỏi đôi
0	4,2	23,8
0,6	8,1	39,4
0,8	9,4	41,4
1,0	8,6	34,0
1,2	7,2	28,7

Hiệu quả cải thiện được giải thích bởi khả năng cách nước các hạt sét trong đất, từ đó giảm sự trương nở của mẫu đất khi ngâm bão hòa, giảm sự suy giảm khả năng chịu lực, nâng cao chỉ số CBR của đất. Ngoài ra, sự gia cường rìa rạc của các phần tử nano trong Zycobond cũng làm tăng cường sự dính bám, chịu lực của mẫu đất. Hiệu quả cải thiện CBR của phụ gia với đất á sét vượt trội so với đất sỏi đôi được giải thích ở hiệu quả cải thiện tính trương

nở của các hạt sét, có trong đất á sét nhiều hơn so với đất sỏi đôi. Hàm lượng thích hợp sử dụng cho cải thiện CBR của đất là 0,6 đến 0,8 kg/m<sup>3</sup>, tương đương với liều lượng 0,6kg Terrasil và 0,6kg Zycobond hòa tan trong 1.000 lít nước. Ở các hàm lượng cao hơn, hiệu quả cải thiện CBR vẫn có, tuy nhiên không cao hơn và làm phát sinh chi phí phụ gia.

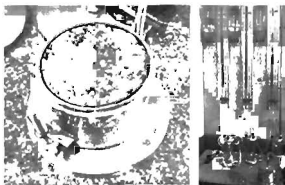
Thử nghiệm khả năng chống thấm của đất gia cố phụ gia Terrasil + Zycobond với các hàm lượng từ 0,6 đến 1,2 kg/m<sup>3</sup> với hai loại đất nghiên cứu được thực hiện theo TCVN 8723:2012. Mẫu được chế bị bằng phương pháp đầm nén tiêu chuẩn, sấy khô nhanh bằng đèn chiếu halogen và thử nghiệm thấm với thiết bị của phòng thí nghiệm Trường Đại học Công nghệ GTVT (Hình 3.1). Kết quả thử nghiệm được trình bày trong Bảng 3.2.

*Bảng 3.2. Kết quả thử nghiệm thấm theo TCVN 8723:2012*

Hàm lượng phụ gia, kg/m <sup>3</sup>	Hệ số thấm cm/s	
	Đất sỏi đôi	Đất á sét
0	2,4229·10 <sup>-6</sup>	1,9787·10 <sup>-6</sup>
0,6	3,1773·10 <sup>-7</sup>	5,3916·10 <sup>-7</sup>
0,8	2,2313·10 <sup>-7</sup>	1,3553·10 <sup>-7</sup>

Khả năng thấm của các mẫu đất sử dụng phụ gia Terrasil + Zycobond được cải thiện rõ rệt ngay với hàm lượng phụ gia 0,6 kg/m<sup>3</sup>. Với đất á sét, hệ số thấm với hàm lượng phụ gia 0,6 kg/m<sup>3</sup> giảm gần 4 lần, đất sỏi đôi giảm gần 8 lần. Ở các hàm lượng phụ gia cao hơn, hệ số thấm tiếp tục được cải thiện, tuy nhiên không rõ rệt như ở mức 0,6 kg/m<sup>3</sup> so với không sử dụng phụ gia.

Mức độ trương nở tự do của đất sử dụng phụ gia Terrasil được tiến hành theo Tiêu chuẩn IS 2720-40. Lấy 10g mẫu đất (đã lọt qua sàng 425 micron) phơi khô dưới ánh sáng đèn halogen trong 3 ngày, sau đó cho vào trong ống đồng thủy tinh dung tích 100 ml để kiểm tra độ trương nở tự do của đất (FSI) với hàm lượng phụ gia sử dụng 0,6 kg/m<sup>3</sup> (Hình 3.2). Kết quả thử nghiệm được trình bày trong Bảng 3.3. Không quan sát thấy sự trương nở trong đất được xử lý bằng phụ gia Terrasil (Hình 3.2). Như vậy, phụ gia Terrasil có hiệu quả trong kiểm soát sự trương nở của đất trong điều kiện ẩm ướt. Kết quả thử nghiệm cho thấy, với hàm lượng phụ gia 0,6 kg/m<sup>3</sup>, đất không còn sự trương nở tự do. Độ trương nở tự do đặc biệt quan trọng đối với nền đường ở khu vực chịu tác dụng của nhiều nguồn ẩm hoặc các vùng khí hậu băng giá, khi trương nở làm xuất hiện ứng suất trong nền đường, dẫn đến biến dạng mặt đường.



*Hình 3.1: Thử nghiệm thấm theo TCVN 8723*



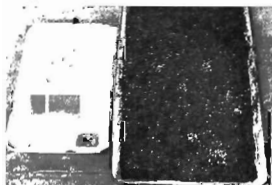
Hình 3.2: Thử nghiệm hệ số trương nở tự do FSI theo IS 2720

Bảng 3.3. Kết quả thí nghiệm độ trương nở tự do FSI

Thuộc tính sau 24 giờ	Đất sét		Đất sỏi đối	
	Chưa xử lý	Xử lý với Terrasil	Chưa xử lý	Xử lý với Terrasil
Thể tích nước	11,8	10	10,7	10
Thể tích dầu hòa	10	10	10	10
% trương nở	18	0	7	0

### 3.2. Nghiên cứu các đặc tính cơ lý của đất gia cố xi măng kết hợp phụ gia Terrasil và Zycobond

Lựa chọn nghiên cứu các đặc tính cơ học (cường độ chịu nén, mô-đun đàn hồi, cường độ ép chế) của hai loại đất (sỏi đối và sét) gia cố 5% xi măng sử dụng phụ gia phức hợp (Terrasil: Zycobond = 1:1) với hàm lượng pha trong nước 0,6 kg/m<sup>3</sup>, 0,8 kg/m<sup>3</sup> và 1,0 kg/m<sup>3</sup>. Các mẫu đất được thử nghiệm đầm chặt tiêu chuẩn xác định độ ẩm tối ưu và khối lượng thể tích khô lớn nhất, làm cơ sở chế bị mẫu đất gia cố sử dụng đầm xoay tương ứng với độ chặt lu lèn K95 (theo yêu cầu của TCVN 10379:2012). Mẫu đất gia cố xi măng + Terrasil + Zycobond được trình bày trong Hình 3.3. Kết quả thử nghiệm giá trị mô-đun đàn hồi sau 28 ngày bảo dưỡng được trình bày trong Bảng 3.4, Bảng 3.5, giá trị cường độ ép chế được trình bày trong Bảng 3.6, Bảng 3.7.



Hình 3.3: Trộn và đầm nén mẫu đất gia cố sử dụng đầm xoay

Bảng 3.4. Kết quả thí nghiệm mô-đun đàn hồi các mẫu đất sỏi đối gia cố

Terrasil + Zycobond, kg/m <sup>3</sup>	Mô-đun đàn hồi sau 28 ngày, đất sỏi đối 5% xi măng, MPa						Trung bình	C <sub>v</sub>
	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Mẫu 4	Mẫu 5	Mẫu 6		
0	503,1	492,1	534,7	553,5	508,3	518,7	518,4	4%
0,6	435,4	449,0	401,8	412,5	389,7	455,4	424,0	8%
0,8	408,1	356,1	405,0	367,5	372,7	410,1	386,7	6%
1,0	339,0	340,7	389,5	388,2	388,5	395,0	373,5	7%

Bảng 3.5. Kết quả thí nghiệm mô-đun đàn hồi các mẫu đất sét gia cố

Terrasil + Zycobond, kg/m <sup>3</sup>	Mô-đun đàn hồi sau 28 ngày, đất sét 5% xi măng, MPa						Trung bình	C <sub>v</sub>
	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Mẫu 4	Mẫu 5	Mẫu 6		
0	420,1	432,6	392,2	422,4	343,2	410,0	403,4	8%
0,6	376,3	367,9	358,0	388,8	360,5	389,8	373,6	4%
0,8	328,0	329,1	368,1	341,8	357,8	334,3	343,2	5%
1,0	304,0	319,7	291,7	322,2	354,8	332,0	321,1	7%

Bảng 3.6. Kết quả thí nghiệm cường độ ép chế các mẫu đất sỏi đối gia cố

Terrasil + Zycobond, kg/m <sup>3</sup>	Cường độ ép chế, đất sỏi đối 5% xi măng, MPa						Trung bình	C <sub>v</sub>
	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Mẫu 4	Mẫu 5	Mẫu 6		
0	0,89	0,94	0,83	1,02	0,83	1,05	0,98	10%
0,6	0,59	1,01	1,08	1,07	1,04	0,97	1,03	4%
0,8	1,29	1,12	1,12	1,35	1,14	1,12	1,22	9%
1,0	1,26	1,32	1,29	1,32	1,27	1,45	1,32	5%

Bảng 3.7. Kết quả thí nghiệm cường độ ép chế các mẫu đất sét gia cố

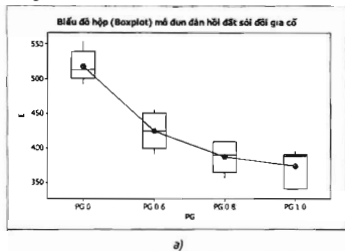
Terrasil + Zycobond, kg/m <sup>3</sup>	Cường độ ép chế, đất sét 5% xi măng, MPa						Trung bình	C <sub>v</sub>
	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Mẫu 4	Mẫu 5	Mẫu 6		
0	0,78	0,84	0,82	0,8	0,77	0,7	0,79	6%
0,6	0,83	0,91	0,85	0,87	0,85	0,78	0,85	5%
0,8	0,98	1,08	1,1	1,06	1,03	1,01	1,05	2%
1,0	1,15	1,12	1,05	1,19	1,2	1,14	1,14	5%

Phân tích phương sai đánh giá sự khác biệt có ý nghĩa thống kê mô-đun đàn hồi mẫu đất gia cố theo hàm lượng phụ gia sử dụng. Số mẫu thử hiện mỗi hàm lượng: 6 mẫu, với mức ý nghĩa  $\alpha = 0,1$ , giá trị trung bình các chỉ tiêu được xác định với khoảng sai số  $\pm 0,672\sigma$ . Phân tích phương sai với  $\alpha = 0,1$ , độ nhạy nghiên cứu 0,8 ( $\beta = 0,2$ ), mức chênh lệch tối thiểu có thể phát hiện: 1,734 $\sigma$ . Thực hiện trên phần mềm MiniTab16, kết quả phân tích phương sai số liệu mô-đun đàn hồi mẫu đất sỏi đối gia cố 5% xi măng cho thấy, có sự khác biệt ý nghĩa thống kê giữa giá trị trung bình mô-đun đàn hồi 4 mẫu đất (không sử dụng phụ gia, sử dụng 0,6, 0,8 và 1,0 kg/m<sup>3</sup> phụ gia), xác suất xảy ra giả thuyết đảo p = 0, nhỏ hơn mức ý nghĩa  $\alpha = 0,1$ .

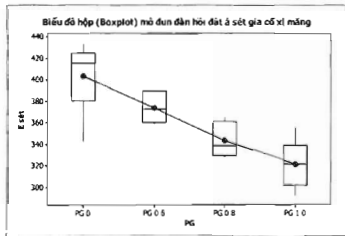
Lựa chọn phương pháp phân tích hồi quy Tukey (HSD Tukey's) với sai số toàn bộ các cặp so sánh 5%. Tính toán Q và so sánh với giá trị Q theo lý thuyết của Tukey cho thấy có sự khác biệt mô-đun đàn hồi mẫu đất sỏi đối +5% xi măng so với các mẫu đất sử dụng 0,6, 0,8 và 1,0 kg/m<sup>3</sup> phụ gia. Không có sự khác biệt mô-đun đàn hồi mẫu đất sỏi đối +5% xi măng sử dụng 0,6 kg/m<sup>3</sup> phụ gia so với mẫu đất gia cố xi măng sử dụng 0,8 kg/m<sup>3</sup> phụ gia. Không có sự khác biệt mô-đun đàn hồi mẫu đất sỏi đối +5% xi măng sử dụng 0,8 kg/m<sup>3</sup> phụ gia so với mẫu đất gia cố xi măng sử dụng 1,0 kg/m<sup>3</sup> phụ gia. Tuy nhiên, có sự khác biệt ý nghĩa thống kê giữa mẫu đất sử dụng 0,6

kg/m<sup>3</sup> phụ gia, 0,8 1,0 kg/m<sup>3</sup> phụ gia và 1,0 kg/m<sup>3</sup> phụ gia. Biểu đồ hộp biểu diễn mô-đun đàn hồi các mẫu đất sỏi đối gia cố xi măng và phụ gia nano được thể hiện trong Hình 3.4a.

Tương tự, phân tích phương sai kết quả thử nghiệm mô-đun đàn hồi mẫu đất á sét gia cố xi măng với các hàm lượng phụ gia nano khác nhau cho thấy, sự khác biệt mô-đun đàn hồi mẫu đất á sét không phụ gia nano so với các mẫu đất á sét sử dụng 0,6, 0,8 và 1,0 kg/m<sup>3</sup> phụ gia nano. Có sự khác biệt mô-đun đàn hồi mẫu đất á sét + 5% xi măng sử dụng 0,6 kg/m<sup>3</sup> phụ gia so với mẫu đất á sét gia cố sử dụng 0,8 và 1,0 kg/m<sup>3</sup> phụ gia. Tuy nhiên, không có sự khác biệt ý nghĩa thống kê giữa mẫu đất á sét sử dụng 0,8 kg/m<sup>3</sup> phụ gia và mẫu đất sử dụng 1,0 kg/m<sup>3</sup> phụ gia. Biểu đồ hộp biểu diễn mô-đun đàn hồi các mẫu đất á sét gia cố xi măng và phụ gia nano được thể hiện trong Hình 3.4b.



a)

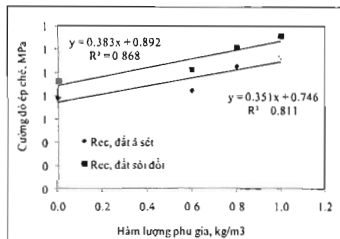


b)

Hình 3.4: Boxplot mô-đun đàn hồi các mẫu đất sỏi đối gia cố xi măng + phụ gia nano

Kết quả thử nghiệm cường độ ép chèn các mẫu đất gia cố 5% xi măng với các hàm lượng phụ gia khác nhau được trình bày trong Bảng 3.6 và Bảng 3.7. Về mặt số học, với hàm lượng phụ gia tăng từ 0,6 kg/m<sup>3</sup> đến 1,0 kg/m<sup>3</sup>, cường độ ép chèn các mẫu đất gia cố tăng, cường độ ép chèn đất sỏi đối gia cố luôn cao hơn cường độ ép chèn đất á sét ở tất cả các hàm lượng phụ gia sử dụng (Hình 3.5). Tương quan hồi quy cường độ ép chèn mẫu đất sỏi đối gia cố theo hàm lượng phụ gia:  $R_{sc} = 0,383 \cdot PG + 0,892$ , hệ số

tương quan quyết định  $R^2 = 0,868$ . Tương tự, tương quan hồi quy cường độ ép chèn mẫu đất á sét gia cố theo hàm lượng phụ gia:  $R_{as} = 0,351 \cdot PG + 0,746$ , hệ số tương quan quyết định  $R^2 = 0,811$ . Hệ số độ dốc (slope) trong phương trình tương quan chỉ ra: Phụ gia làm tăng cường độ ép chèn của đất á sét gia cố xi măng rõ rệt hơn so với đất sỏi đối gia cố xi măng.



Hình 3.5: Ảnh hưởng của hàm lượng phụ gia đến cường độ ép chèn

#### 4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy, phụ gia nano-organosilane Terrasil có khả năng cải thiện đất, tạo cho đất khả năng cách nước, chống thấm, giảm độ trương nở của các hạt sét. Phụ gia Zycobond gia cường rời rac cấu trúc đất bằng các nano copolymer tăng sự dính kết trong các hạt đất, tạo độ đàn hồi cho đất.

Đất gia cố xi măng PCB30, phụ gia Terrasil và Zycobond hình thành cấu trúc lưỡng pha (cứng-đàn hồi) trong đất, cải thiện đáng kể cường độ ép chèn, giảm độ cứng của đất, giảm mô-đun đàn hồi, giảm nguy cơ xuất hiện nứt.

Đất gia cố 5% xi măng PCB30, 0,8 kg/m<sup>3</sup> Terrasil và 0,8 kg/m<sup>3</sup> Zycobond có thể đạt đến độ bền cấp II theo phân cấp của TCVN 10379:2014, có thể nghiên cứu sử dụng cho các lớp nền đường ô tô, móng áo đường và mặt đường cấp thấp.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. Gregory E. Halsted, Wayne S. Adaska, William T. McConnel, *Guide to Cement-Modified Soil*.
- [2]. Indian Standards, IS 2720-40: *Methods of test for soils, Part 40: Determination of free swell index of soils*, by: Bureau of Indian Standards.
- [3]. ASTM D1633 - 17, *Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders*.

Ngày nhận bài: 20/02/2020

Ngày chấp nhận đăng: 01/03/2020

Người phản biện: PGS.TS. Nguyễn Hoàng Long  
TS. Trần Ngọc Hưng