



HƯỚNG DẪN KỸ THUẬT

LỰA CHỌN CẤP PHỐI VÀ HÀM LƯỢNG CHẤT KẾT DÍNH
TRÊN CƠ SỞ XI MĂNG VÀ XỈ HẠT LÒ CAO NGHIỀN MỊN
(GGBFS) SỬ DỤNG CHO GIA CỐ NỀN ĐẤT CÔNG TRÌNH

Technical guidelines for selection of mix and dosage of the
binder based on cement and GGBFS for soil stabilization in
roads and civil engineering construction

LỜI NÓI ĐẦU

Căn cứ kết quả các đề tài nghiên cứu về chất kết dính trên cơ sở xi măng và xỉ hạt lò cao nghiền mịn cho gia cố nền đất được Viện Vật liệu xây dựng từ năm 2012 đến nay, Viện Vật liệu xây dựng đã tổng hợp kết quả nghiên cứu, kinh nghiệm thực tiễn và tham khảo các hướng dẫn kỹ thuật của quốc tế, đồng thời lấy ý kiến chuyên gia để biên soạn Hướng dẫn kỹ thuật (HDKT) “Lựa chọn cấp phối và hàm lượng chất kết dính trên cơ sở xi măng và xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS) sử dụng cho gia cố nền đất công trình”. HDKT này đã được Viện Vật liệu xây dựng ban hành theo Quyết định số 506/25/QĐ-VLXD ngày 06 tháng 5 năm 2025.

Nội dung của HDKT gồm có: 1. Phạm vi áp dụng; 2. Tài liệu viện dẫn; 3. Thuật ngữ, định nghĩa; 4. Nguyên liệu chế tạo SSCM; 5. Nguyên lý cải thiện tính năng của đất gia cố; 6. Hiệu quả cải thiện tính năng của đất gia cố bằng SSCM; 7. Phạm vi ứng dụng của SSCM; 8. Lựa chọn thành phần và hàm lượng sử dụng SSCM; và Phụ lục A Một số kết quả thí nghiệm về đất gia cố với SSCM.

Lưu ý rằng HDKT này được sử dụng cho các cá nhân, tổ chức có đủ năng lực chuyên môn và am hiểu về sử dụng chất kết dính và công tác gia cố đất bằng chất kết dính trong công tác thiết kế, chế tạo và thi công nền, móng cho công trình xây dựng và giao thông. Viện Vật liệu xây dựng không chịu bất cứ trách nhiệm liên đới nào đối với các sự cố kỹ thuật do các cá nhân, tổ chức áp dụng không đúng bản chất chuyên môn của các nội dung trong HDKT này.

Trong quá trình thực hiện nếu có ý kiến hoặc kiến nghị, xin gửi về Ban biên soạn HDKT “Lựa chọn cấp phối và hàm lượng chất kết dính trên cơ sở xi măng và xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS) sử dụng cho gia cố nền đất công trình” của Viện Vật liệu xây dựng (Địa chỉ: Viện Vật liệu xây dựng, số 235, đường Nguyễn Trãi, quận Thanh Xuân, Hà Nội).

BAN BIÊN SOẠN HDKT

**“Lựa chọn cấp phối và hàm lượng sử dụng chất kết dính trên cơ sở xi măng và xỉ
hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS) cho gia cố nền đất công trình”**

TS. Lê Việt Hùng (Chủ trì)

TS. Nguyễn Quang Hiệp

TS. Lưu Thị Hồng

ThS. Phan Văn Quỳnh

ThS. Tạ Văn Luân

KS. Lê Văn Tiến

Số: 506 /2025/QĐ-VLXD

Hà Nội, ngày 06 tháng 05 năm 2025

QUYẾT ĐỊNH

Ban hành Hướng dẫn kỹ thuật

“Lựa chọn cấp phối và hàm lượng chất kết dính trên cơ sở xi măng và xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS) sử dụng cho gia cố nền đất công trình”

VIỆN TRƯỞNG VIỆN VẬT LIỆU XÂY DỰNG

Căn cứ Quyết định số 1450/QĐ-BXD ngày 30/12/2022 của Bộ Xây dựng về việc quy định chức năng, nhiệm vụ, quyền hạn và cơ cấu tổ chức của Viện Vật liệu xây dựng;

Căn cứ nhiệm vụ được giao và kết quả thực hiện Hợp đồng nghiên cứu số 101B/2024/HĐNC-VLXD ngày 29/03/2024 giữa Viện Vật liệu xây dựng và Công ty TNHH Tài nguyên CHC Việt Nam;

Căn cứ Biên bản họp Hội đồng tư vấn đánh giá, nghiệm thu kết quả thực hiện nhiệm vụ KHCN “Nghiên cứu sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS) cho cọc xi măng đất (cọc CDM) cho xây dựng đường cao tốc khu vực đồng bằng sông Cửu Long” số HDDV101B/BB-VLXD/KHKT ngày 11/04/2025 do Viện Vật liệu xây dựng thực hiện, theo Quyết định thành lập Hội đồng số 404/2025/QĐ-VLXD ngày 04/04/2025 của Viện trưởng Viện Vật liệu xây dựng;

Xét đề nghị của Giám đốc Trung tâm Xi măng và Bê tông, Trưởng phòng Kế hoạch - Kỹ thuật.

QUYẾT ĐỊNH:

Điều 1. Ban hành kèm theo Quyết định này Hướng dẫn kỹ thuật “Lựa chọn cấp phối và hàm lượng chất kết dính trên cơ sở xi măng và xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS) sử dụng cho gia cố nền đất công trình”.

Điều 2. Quyết định này có hiệu lực kể từ ngày ký.

Điều 3. Các ông Giám đốc Trung tâm Xi măng và Bê tông, Trưởng phòng Kế hoạch kỹ thuật và các đơn vị, cá nhân có liên quan chịu trách nhiệm thi hành Quyết định này./.

Nơi nhận:

- Như điều 3;
- Lưu: hồ sơ nhiệm vụ.

X. VIỆN TRƯỞNG
VIỆN
VẬT LIỆU
XÂY DỰNG
Nguyễn Quang Hiệp

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU	iii
BAN BIÊN SOẠN HDKT	iv
DANH MỤC KÝ HIỆU, VIẾT TẮT	vi
LỜI GIỚI THIỆU	vii
1. Phạm vi áp dụng	1
2. Tài liệu viện dẫn	1
3. Thuật ngữ, định nghĩa	1
4. Nguyên vật liệu chế tạo SSCM	2
5. Nguyên lý cải thiện tính năng của đất gia cố	3
5.1 Cải thiện tính chất vật lý	3
5.2 Hình thành khoáng ettringite.....	4
5.3 Đóng rắn nhờ quá trình hydrat hóa của xi măng và GGBFS	4
5.4 Đóng rắn nhờ phản ứng pozzolanic	4
6. Hiệu quả cải thiện tính năng của đất bằng SSCM.....	5
6.1 So sánh khả năng cải thiện cường độ của đất gia cố bằng SSCM và xi măng PC40	5
6.2 Khả năng cải thiện cường độ với hàm lượng SSCM khác nhau.....	6
6.3 Khả năng cải thiện cường độ với tỷ lệ nước trộn khác nhau	7
6.4 Khả năng duy trì độ bền trong môi trường đất xâm thực.....	7
6.5 Khả năng cải thiện tỷ số CBR.....	8
6.6 Khả năng cải thiện cường độ ép chặt	8
7. Phạm vi ứng dụng của SSCM	9
8. Lựa chọn thành phần và liều lượng SSCM	11
8.1 Nguyên tắc chung.....	11
8.2 Các thông tin cần thiết.....	11
8.3 Lựa chọn thành phần SSCM	12
8.4 Lựa chọn hàm lượng SSCM cho gia cố nền đất	13
Tài liệu tham khảo	18
Phụ lục A Một số kết quả thí nghiệm về đất gia cố với SSCM	19

DANH MỤC KÝ HIỆU, VIẾT TẮT

STT	Ký hiệu, viết tắt	Ý nghĩa
1	a_w	Khối lượng vật liệu gia cố trộn cho một m^3 đất
2	CDM	Phương pháp gia cố sâu bằng xi măng (Cement Deep Mixing)
3	CKD	Chất kết dính (hỗn hợp của xi măng và phụ gia khoáng)
4	CSH	Khoáng calcium silicate hydrate
5	GGBFS	Xi hạt lò cao nghiền mịn (Granulated Blast Furnace Slag)
6	E50	Mô đun đàn hồi của đất tại 50% giá trị cường độ nén
7	ĐBSCL	Đồng bằng sông Cửu Long
8	TCVN	Tiêu chuẩn quốc gia (Việt Nam)
9	TC	Thạch cao
10	$t_{w/c}$	Tỷ lệ phần trăm của khối lượng nước trộn so với vật liệu gia cố
11	SSCM	Vật liệu gia cố đất trên cơ sở vật liệu có tính xi măng
12	SSM	Phương pháp trộn nông (Shadow soil mixing)
13	Q_u	Cường độ nén một trục nở hông
14	QCVN	Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia (Việt Nam)
15	VLGC	Vật liệu gia cố
16	XMĐ	Hỗn hợp xi măng-đất

LỜI GIỚI THIỆU

Chất kết dính cho gia cố nền đất công trình được giới thiệu ở đây là loại xi măng chuyên dụng trên cơ sở xi măng poóc lăng hoặc poóc lăng hỗn hợp kết hợp với xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS) và phụ gia giàu SO_3 nhằm gia cố, cứng hóa nền đất cho công trình xây dựng hoặc đường bộ, đường sắt, được gọi tắt là vật liệu xi măng cứng hóa nền đất SSCM (soil solidification cementitious material). SSCM có thể sử dụng cho gia cố nền đất theo phương pháp cọc xi măng đất (CDM), phương pháp gia cố nông toàn khối hoặc gia cố lớp mặt cho thi công đường giao thông hay công trình xây dựng. Loại SSCM này được tối ưu hóa thành phần vật liệu để tăng cường hiệu quả cải thiện cường độ của đất thông qua cơ chế cải thiện tính chất vật lý và tăng cường các phản ứng hóa học để đẩy nhanh quá trình cứng hóa và đóng rắn của nền đất, đồng thời có khả năng nâng cao đáng kể độ bền lâu của đất được gia cố trong môi trường xâm thực như nước biển, chua phèn hay đất có hàm lượng hữu cơ cao. Vật liệu SSCM này phù hợp với loại xi măng PCB_{BFS}40 loại I hoặc II theo TCVN 4316:2007 hoặc loại CC40 theo TCVN 9501:2013.

1. Phạm vi áp dụng

Áp dụng cho việc lựa chọn thành phần cấp phối và liều lượng sử dụng chất kết dính trên cơ sở xi măng và GGBFS cho gia cố nền đất yếu hoặc nền đất thông thường cho nền, móng công trình xây dựng hoặc giao thông theo phương pháp cọc xi măng đất hoặc phương pháp gia cố nông toàn khối hoặc xử lý lớp đất mặt cho nền, móng đường bộ.

2. Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau cần thiết cho việc áp dụng Tài liệu này. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm cả các sửa đổi, bổ sung (nếu có):

- TCVN 2682:2020 *Xi măng poóc lăng*;
- TCVN 4201:2012 *Đất xây dựng - Phương pháp xác định độ chặt tiêu chuẩn trong phòng thí nghiệm*;
- TCVN 4196:2012 *Đất xây dựng - Phương pháp xác định độ ẩm và độ hút ẩm trong phòng thí nghiệm*;
- TCVN 4506:2012 *Nước trộn bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật*;
- TCVN 6260:2020 *Xi măng poóc lăng hỗn hợp*;
- TCVN 8862:2011 *Quy trình thí nghiệm xác định cường độ ép chẻ vật liệu hạt liên kết bằng các chất kết dính*;
- TCVN 9438:2012 *Đất xây dựng - Phương pháp xác định độ bền nén một trục nở hông*;
- TCVN 9807:2013 *Thạch cao dùng để sản xuất xi măng*;
- TCVN 10379:2014 *Gia cố đất bằng chất kết dính vô cơ, hóa chất hoặc gia cố tổng hợp, sử dụng trong xây dựng đường bộ - Thi công và nghiệm thu*;
- TCVN 11586:2016 *Xi hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa*;
- TCVN 11832:2017 *Gia cố nền đất yếu - Phương pháp gia cố toàn khối*;
- TCVN 12790:2020 *Đất, đá dăm dùng trong công trình giao thông - Đầm nén Proctor*;
- TCVN 12792:2020 *Vật liệu nền, móng mặt đường - Phương pháp xác định tỷ số CBR trong phòng thí nghiệm*.

3. Thuật ngữ, định nghĩa

3.1 Vật liệu gia cố nền đất trên cơ sở xi măng và GGBFS (Soil Solidification Cementitious Materials, SSCM)

Chất kết dính với thành phần gồm xi măng poóc lăng hoặc xi măng poóc lăng hỗn hợp kết hợp với xi hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS) và phụ gia giàu SO_3 với tỷ lệ phù hợp cho gia cố, cứng hóa nền đất công trình.

Chú thích: Thành phần cấp phối của SSCM được nghiên cứu gần đây của Viện Vật liệu xây dựng với một loại đất khác nhau tính theo % khối lượng thông thường như sau: Xi măng poóc lăng PC40 (hoặc PCB40) $30 \div 50$ %, GGBFS $45 \div 65$ % và Phụ gia giàu SO_3 (tính theo CaSO_4) $3 \div 5$ %.

4. Nguyên vật liệu chế tạo SSCM

4.1 Xi hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS)

Xi hạt lò cao nghiền mịn sử dụng cho chế tạo bê tông GGBFS phải có chất lượng đáp ứng quy định trong TCVN 11586:2016.

Chú thích: GGBFS thường được phân loại theo chỉ số hoạt tính cường độ (tỷ lệ phần trăm theo cường độ nén của mẫu xi măng thay thế 50% GGBFS so với mẫu đối chứng chỉ sử dụng xi măng poóc lăng ở tuổi 28 ngày) và độ mịn. GGBFS trong TCVN 11586:2016 được chia thành các loại S60, S75, S95 và S105 dựa theo chỉ số hoạt tính cường độ và diện tích bề mặt riêng (độ mịn Blaine). Trong thực tế hiện nay, GGBFS loại S75 và S95 là hai loại được sản xuất và sử dụng phổ biến cho gia cố nền đất.

4.2 Xi măng

Xi măng poóc lăng thường được sử dụng kết hợp với GGBFS. Các loại xi măng khác như xi măng poóc lăng hỗn hợp cũng có thể được sử dụng kết hợp cùng GGBFS nhưng cần lưu ý đến tính chất của xi măng đó để lựa chọn tỷ lệ GGBFS phù hợp đảm bảo tính năng bê tông theo yêu cầu. Xi măng poóc lăng, xi măng poóc lăng hỗn hợp khi được sử dụng cần đáp ứng theo TCVN 2682:2020 và TCVN 6260:2020 tương ứng.

Khi sử dụng GGBFS với các loại xi măng khác nhau cần có các thử nghiệm trong phòng thí nghiệm để xác định tính năng của SSCM trước khi sử dụng thực tế.

4.3 Phụ gia giàu SO_3

Phụ gia giàu SO_3 được sử dụng trong thành phần của SSCM để cải thiện một số đặc tính cơ học và độ bền lâu của đất gia cố như sự phát triển cường độ tuổi sớm, tăng khả năng chống ăn mòn hóa học của môi trường đất, nước ngầm như xâm thực mặn, chua, phèn, thành phần hữu cơ. Phụ gia giàu SO_3 có thể sử dụng như thạch cao tự nhiên, thạch cao nhân tạo (thạch cao FGD, thạch cao khuôn đúc phế thải, ...). Thạch cao sử dụng cho SSCM cần đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 9807:2013.

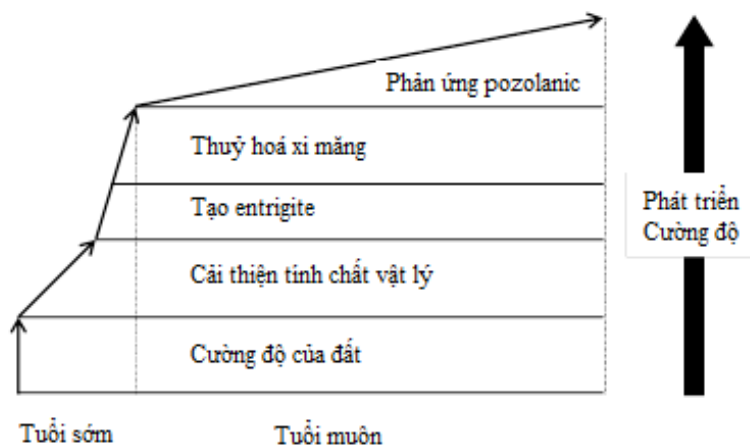
4.4 Nước trộn

Nước trộn đất gia cố với SSCM phải đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật của TCVN 4506:2012.

5. Nguyên lý cải thiện tính năng của đất gia cố

SSCM có khả năng cứng hóa và đóng rắn đối với đất có độ ẩm cao và đất hữu cơ với khả năng cải thiện đáng kể so với xi măng thông thường. Nguyên lý của việc cứng hóa và cải thiện cường độ của đất gia cố như mô tả trong Hình 1.

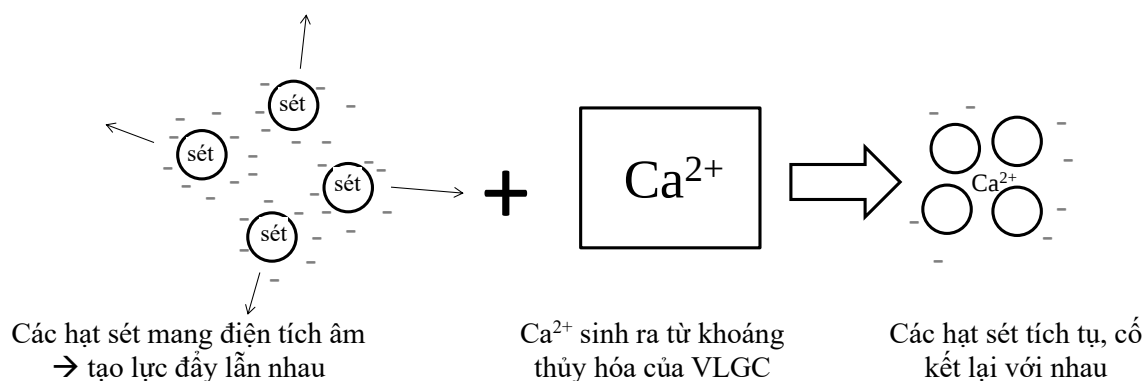
SSCM là một vật liệu có đặc tính đóng rắn tương tự như xi măng và duy trì sự phát triển cường độ trong thời gian dài. Nguyên lý của quá trình hóa cứng và đóng rắn của đất khi sử dụng SSCM có thể lý giải thông qua 4 nguyên lý dưới đây.



Hình 1 Các nguyên lý cho sự phát triển cường độ của đất gia cố bằng SSCM

5.1 Cải thiện tính chất vật lý

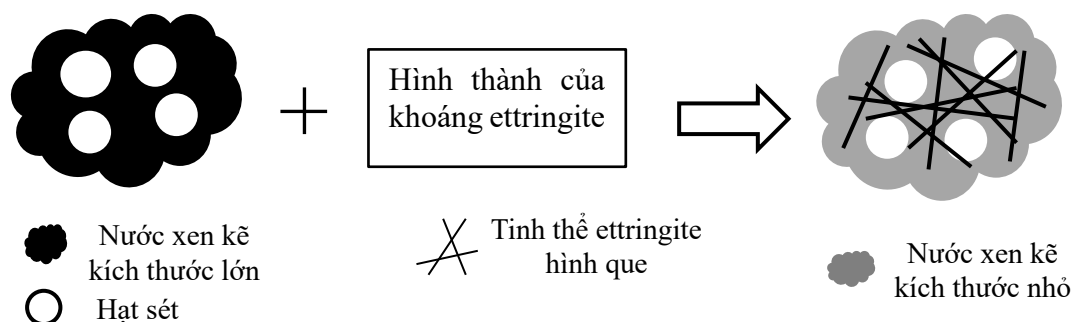
Nguyên lý là làm cố kết và đặc sít các hạt sét của đất lại với nhau. Bề mặt của các hạt sét trong đất mang điện tích âm, do vậy ở trạng thái tự nhiên chúng có xu hướng đẩy nhau làm cho các hạt sét không đặc sít lại với nhau. Khi SSCM tiếp xúc với nước, các khoáng của chúng thủy hóa tạo ra hydroxit canxi $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ion hóa thành ion Ca^{2+} và OH^- . Do ion Ca^{2+} mang điện tích dương nên chúng sẽ trung hòa các điện tích âm trên bề mặt các hạt sét, ngăn chặn các lực đẩy giữa các hạt sét, do đó làm các hạt sét tích tụ và cố kết lại với nhau (Hình 2). Khi các hạt sét được kết tụ lại với nhau, lượng chất lỏng (nước) giữa các hạt giảm xuống đáng kể làm cho đất giảm tính dẻo và độ trương nở, đồng thời cường độ của đất được tăng lên đáng kể.



Hình 2 Cơ chế tăng cường độ của đất gia cố với SSCM do cải thiện tính chất vật lý

5.2 Hình thành khoáng ettringite

SSCM khi tiếp xúc với nước có trong đất, các phản ứng thủy hóa của khoáng calcium aluminate (C_3A , C_4AF) với sự có mặt của thạch cao xảy ra nhanh chóng tạo thành ettringite ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$). Các ettringite chứa nhiều nước được kết tinh trong cấu trúc của đất, do đó làm giảm hàm lượng nước trong đất. Đồng thời, các tinh thể khoáng ettringite hình thành có dạng hình que, có vai trò tạo cầu nối liên kết các hạt sét tạo thành bộ xương vững chắc. Ngoài ra, các phản ứng hình thành của ettringite hoạt động hiệu quả ngay cả trong sự hiện diện của các thành phần chất hữu cơ trong đất, gây cản trở sự phát triển cường độ của xi măng, do đó làm tăng hiệu quả gia cố đối với loại đất yếu như đất hữu cơ.



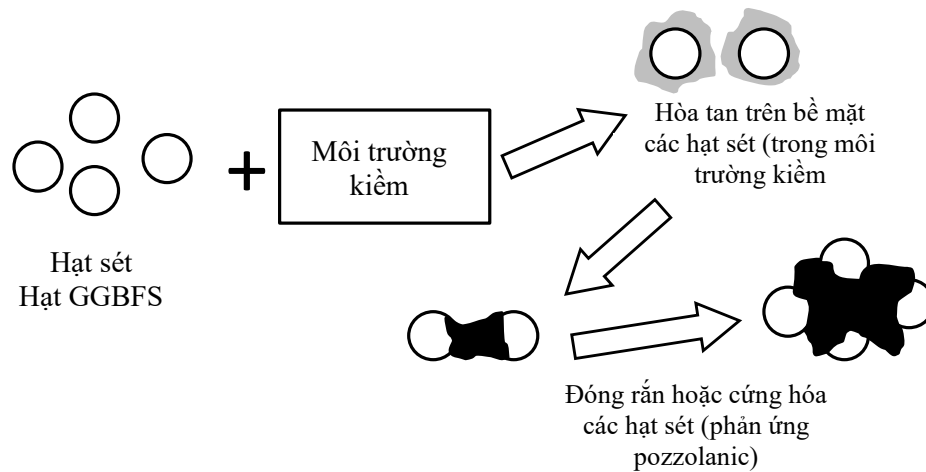
Hình 3 Cơ chế tăng cường độ của đất gia cố với SSCM do quá trình hình thành khoáng ettringite

5.3 Đóng rắn nhờ quá trình hydrat hóa của xi măng và GGBFS

Tương tự như cơ chế đóng rắn của xi măng, SSCM chứa các khoáng của xi măng bao gồm khoáng canxi silicat $3CaO \cdot SiO_2$ (C_3S) và $2CaO \cdot SiO_2$ (C_2S). Các khoáng này khi gặp nước thủy hóa tạo thành khoáng canxi silicat hydrat (CSH), kết hợp với sự hình thành của khoáng ettringite có vai trò liên kết các hạt sét và tạo bộ khung xương làm tăng thêm cường độ cho hệ đất gia cố.

5.4 Đóng rắn nhờ phản ứng pozzolanic

Quá trình thủy hóa của các khoáng xi măng khi gặp nước tạo nên canxi hydroxit $Ca(OH)_2$. $Ca(OH)_2$ hòa tan tạo môi trường kiềm trong hỗn hợp đất gia cố. Trong môi trường kiềm, một số thành phần như SiO_2 , Al_2O_3 hoạt tính của các hạt sét và GGBFS xảy ra phản ứng hóa học với $Ca(OH)_2$ làm hòa tan một phần trên bề mặt các hạt sét tạo thành các khoáng canxi silicat hydrat (CSH) hoặc canxi aluminat hydrat (CASH). Các khoáng này có vai trò đóng rắn hoặc cứng hóa hỗn hợp đất gia cố (Hình 4). Phản ứng này được gọi là "phản ứng pozzolanic" và diễn ra trong một thời gian dài. Chính vì vậy, đất gia cố với SSCM sẽ có tốc độ phát triển cường độ ở tuổi dài ngày lớn hơn so với gia cố bằng xi măng.



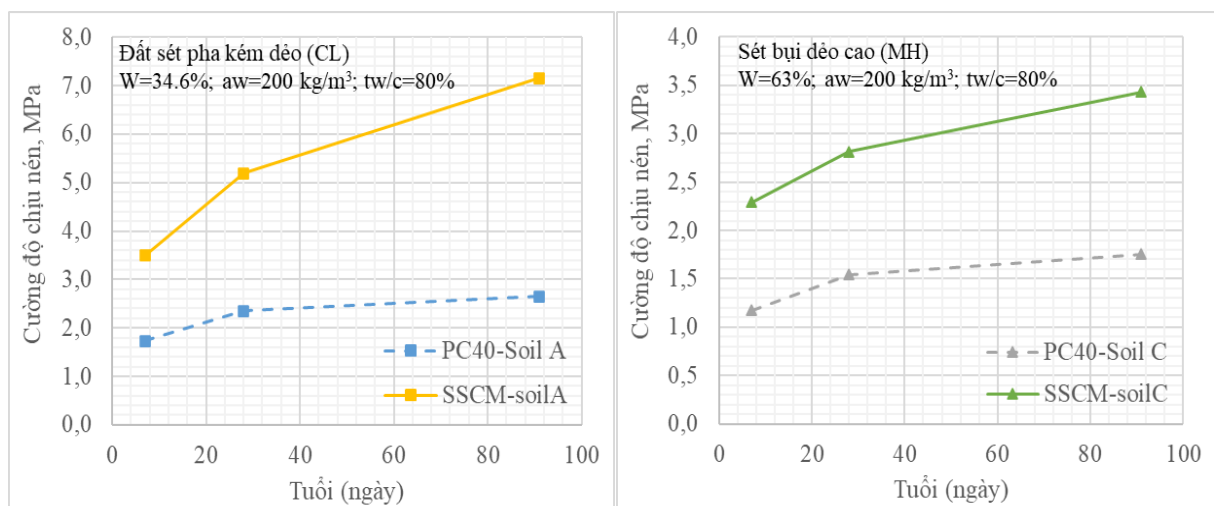
Hình 4 Cơ chế cứng hóa của đất gia cố với SSCM nhờ phản ứng pozzolanic

6. Hiệu quả cải thiện tính năng của đất bằng SSCM

Khả năng cải thiện tính năng của đất bằng SSCM được đánh giá thông qua cường độ kháng nén một trục nở hông, khả năng kháng nén lún CBR và cường độ ép chặt của mẫu đất được gia cố trong phòng thí nghiệm.

6.1 So sánh khả năng cải thiện cường độ của đất gia cố bằng SSCM và xi măng PC40

Sử dụng SSCM làm tăng cường độ chịu nén của đất gia cố đáng kể so với sử dụng xi măng PC40 với cùng hàm lượng với các loại đất khác nhau, kể cả đất yếu, đất có hàm lượng muối hòa tan và hữu cơ cao. Tùy thuộc vào loại đất mức độ tăng cường độ nén của đất gia cố thông thường tăng khoảng 1,8 đến 2,3 lần ở tuổi 28 ngày. Điều này được lý giải do trong thành phần của SSCM chứa lượng đáng kể Ca^{2+} , SO_4^{2-} và SiO_2 dạng hoạt tính so với xi măng poóc lăng nên tạo cơ chế vật lý làm cố kết, đặc sít các hạt sét, hình thành tinh thể ettringite và khoáng pozzolanic làm tăng cường độ của đất gia cố.

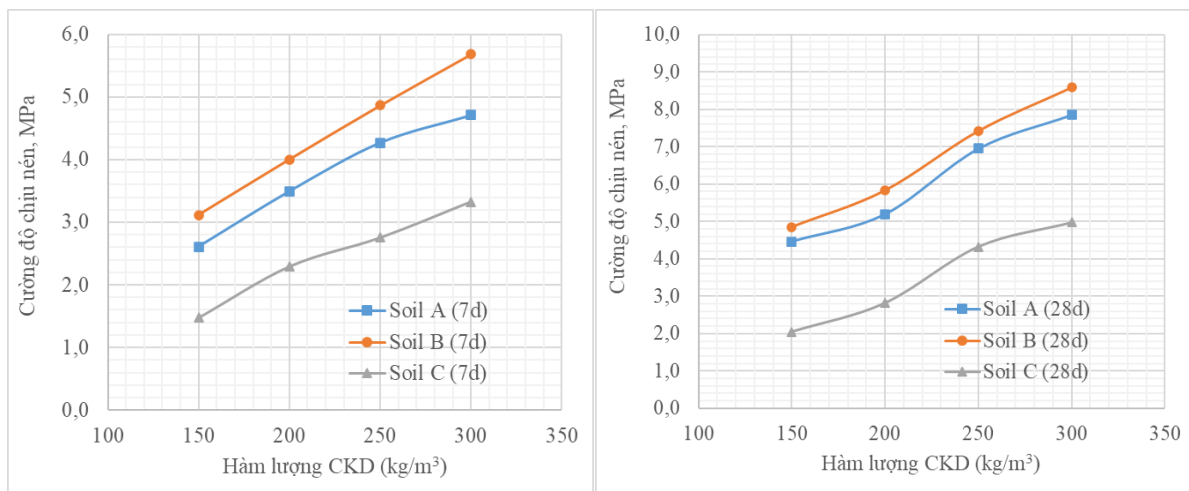


Hình 5 So sánh ảnh hưởng của SSCM và xi măng poóc lăng đến cường độ chịu nén của đất gia cố

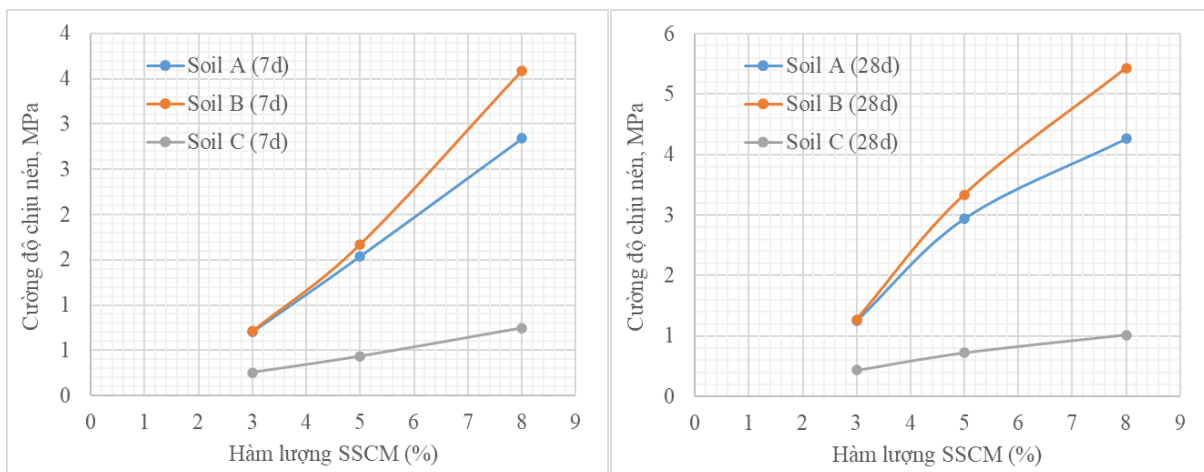
Ví dụ về phát triển cường độ nén nở hông của mẫu đất gia cố bằng SSCM với xi măng PC40 được thể hiện trong Hình 5 cho thấy, mặc dù cường độ chịu nén thay đổi tùy thuộc vào loại đất nhưng trong các trường hợp SSCM đều cho cường độ cao hơn so với mẫu đất gia cố với xi măng PC40.

6.2 Khả năng cải thiện cường độ với hàm lượng SSCM khác nhau

Khi tăng hàm lượng SSCM từ 150 kg/m^3 đến 300 kg/m^3 thì cường độ nén của đất gia cố tăng. Cường độ chịu nén đất gia cố với 300 kg/m^3 so với đất gia cố 150 kg/m^3 thông thường tăng khoảng 1,7 đến 2,2 lần tùy thuộc vào loại đất. Hình 6 và Hình 7 thể hiện cường độ chịu nén 7 và 28 ngày của 3 mẫu đất: đất A - đất sét pha độ dẻo thấp, độ ẩm 34,6%; đất B - Cát pha, độ ẩm 31,05%; đất C- sét độ dẻo cao, độ ẩm 63%, tương ứng với đất gia cố với hàm lượng SSCM từ 150 kg/m^3 đến 300 kg/m^3 cho mục đích gia cố sâu (cọc CDM) (Hình 6) và từ 3% đến 8% so với khối lượng đất cho mục đích gia cố nông cho nền, móng đường ô tô (Hình 7).



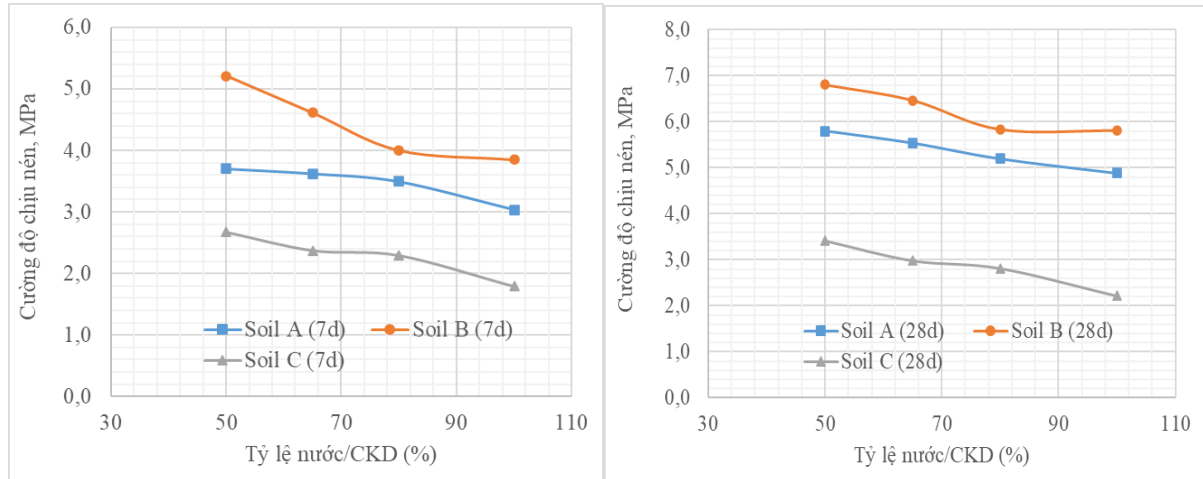
Hình 6 Ảnh hưởng của hàm lượng SSCM (kg/m^3 đất) đến cường độ chịu nén của đất gia cố



Hình 7 Ảnh hưởng của hàm lượng SSCM (% khối lượng đất) đến cường độ chịu nén của đất gia cố

6.3 Khả năng cải thiện cường độ với tỷ lệ nước trộn khác nhau

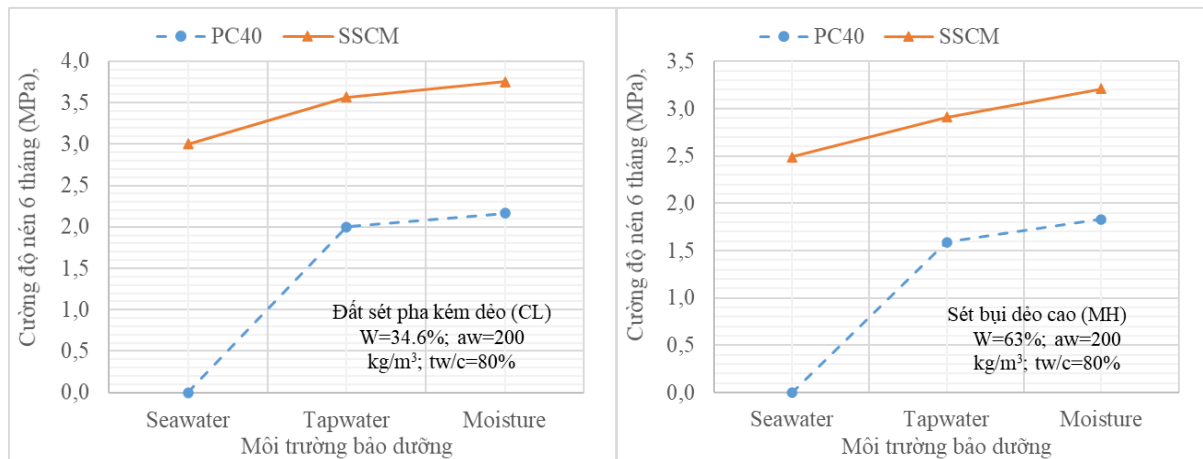
Cường độ nén của đất gia cố giảm khi tỷ lệ nước trộn/SSCM tăng. Hình 8 thể hiện sự cường độ nén 7 và 28 ngày của 3 mẫu đất: đất A - đất sét pha dẻo thấp, độ ẩm 34.6%; đất B - Cát pha, độ ẩm 31.05%; đất C- sét độ dẻo cao, độ ẩm 63%, tương ứng với đất gia cố với lượng nước trộn/VLGC từ 50 % đến 100 % cho mục đích gia cố sâu (cọc CDM).



Hình 8 Ảnh hưởng của tỷ lệ nước trộn/SSCM đến cường độ chịu nén của đất gia cố

6.4 Khả năng duy trì độ bền trong môi trường đất xâm thực

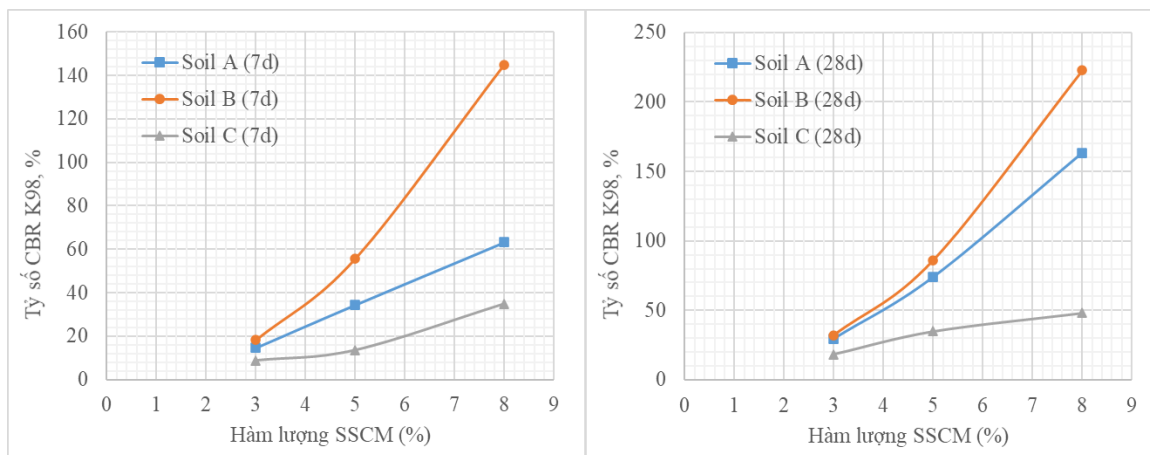
Độ bền lâu và cường độ chịu nén của đất gia cố với SSCM được cải thiện đáng kể so với đất gia cố bằng xi măng poóc lăng thông thường. Hình 9 thể hiện cường độ chịu nén tuổi 6 tháng của đất gia cố sử dụng hai loại VLGC là xi măng PC40 và SSCM, hàm lượng VLGC bằng 200 kg/m³, lượng nước trộn bằng 80%, được bảo dưỡng trong 3 điều kiện, nước biển, nước sinh hoạt và bảo dưỡng ẩm tiêu chuẩn. Các mẫu đất gia cố sử dụng xi măng PC40 bị phá hủy sau 6 tháng ngâm trong nước biển, trong khi các mẫu sử dụng SSCM duy trì độ bền khá tốt.



Hình 9 Ảnh hưởng của môi trường bảo dưỡng đến cường độ nén của đất gia cố ở tuổi đến 6 tháng

6.5 Khả năng cải thiện tỷ số CBR

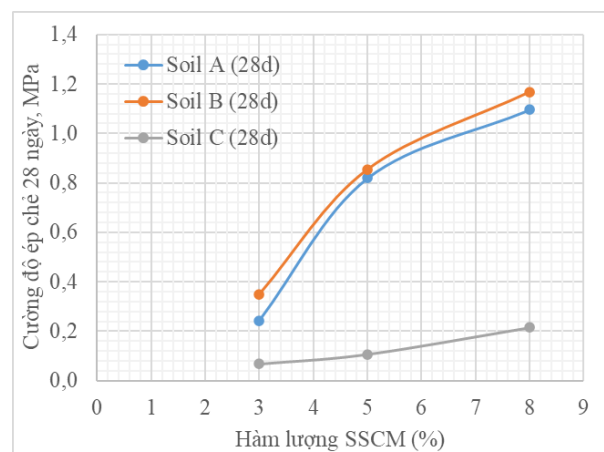
Tỷ số kháng nén lún CBR của đất gia cố cho mục đích gia cố nông tăng đáng kể khi sử dụng SSCM so với sử dụng xi măng poóc lăng, mức tăng thông thường từ 1,6 đến 2,2 lần, tùy thuộc loại đất. Tỷ số CBR cũng tăng tỷ lệ thuận với hàm lượng SSCM, tương tự như cường độ chịu nén, tỷ số CBR và cường độ chịu nén có mối tương quan cao. Hình 10 thể hiện sự cường độ nén 7 và 28 ngày của 3 mẫu đất: đất A - đất sét pha độ dẻo thấp, độ ẩm 34.6%; đất B - Cát pha, độ ẩm 31.05%; đất C- sét độ dẻo cao, độ ẩm 63%, với hàm lượng SSCM 3%, 5% và 8%. Các mẫu đất gia cố với 3% SSCM đều đạt yêu cầu làm lớp nền đường với tỷ số CBR > 8%, trong khi với hàm lượng 5%, 8% đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của lớp móng đường ô tô theo TCVN 10379:2014.



Hình 10 Ảnh hưởng của tỷ lệ trộn SSCM/đất đến tỷ số CBR của đất gia cố

6.6 Khả năng cải thiện cường độ ép chẻ

Cường độ ép chẻ của đất gia cố tăng đáng kể khi sử dụng SSCM thay cho xi măng poóc lăng, đồng thời cũng tăng khi hàm lượng SSCM tăng. Hình 11 thể hiện cường độ nén 7 và 28 ngày của 3 mẫu đất: đất A - đất sét pha độ dẻo thấp, độ ẩm 34.6%; đất B - Cát pha, độ ẩm 31.05%; đất C- sét độ dẻo cao, độ ẩm 63%, với hàm lượng SSCM 3%, 5% và 8%. Các mẫu đất gia cố với 5, 8% SSCM có cường độ ép chẻ đạt yêu cầu độ bền cấp II (≥ 0.8 MPa) đối với lớp móng đường ô tô theo TCVN 10379:2014.



Hình 11 Ảnh hưởng của tỷ lệ trộn SSCM/đất đến cường độ ép chẻ của đất gia cố

7. Phạm vi ứng dụng của SSCM

SSCM có phạm vi ứng dụng rộng rãi trong việc xử lý để cải thiện nền đất công trình nhằm mục đích gia tăng khả năng chịu tải cho nền công trình hay cứng hóa nền đất yếu. Các loại đất độ ẩm cao, đất hữu cơ rất khó gia cố với xi măng poóc lăng nhưng lại hiệu quả khi sử dụng SSCM. SSCM có thể gia cố nền đất công trình bằng nhiều phương pháp khác nhau như gia cố sâu (cọc CDM), gia cố cọc nông, gia cố nông toàn khối.

SSCM được chế tạo bằng cách phối trộn clanhke xi măng nghiền mịn, cùng GGBFS và thạch cao trong nhà máy để tạo thành hỗn hợp xi măng cho gia cố nền đất (sử dụng tương tự như xi măng) hoặc được trộn các thành phần xi măng poóc lăng/poóc lăng hỗn hợp, GGBFS, thạch cao tại trạm trộn để tạo thành SSCM cho gia cố nền đất. Các ứng dụng chủ yếu của GGBFS cho gia cố nền đất được trình bày trong Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1. Các ứng dụng chủ yếu của SSCM cho gia cố nền đất công trình

TT	Ứng dụng	Mô tả phương pháp	Tỷ lệ GGBFS (%)	Lợi ích và lưu ý khi sử dụng
1	Gia cố sâu (CDM) hoặc gia cố cọc nông (SSM)			
	- Cho gia cố nền công trình cầu, đường bộ, đường sắt trên nền đất yếu; - Cải thiện khả năng chịu tải và ngăn ngừa sự lún sụt nền đường bộ, đường sắt; - Gia cố ổn định nền các công trình, tòa nhà và làm tường chắn, tường chống thấm; - Gia cố nền sân, bãi tăng khả năng chịu tải nền đáp ứng yêu cầu thiết kế.	Theo phương pháp này, vật liệu gia cố được trộn với nước theo tỷ lệ nhất định thành hồ xi măng. Hồ xi măng được bơm định lượng theo tỷ lệ định trước và được trộn đều với đất tại chỗ tạo thành cọc xi măng đất với đường kính và chiều sâu theo thiết kế bằng thiết bị chuyên dụng. Thông thường chiều sâu gia cố theo phương pháp trộn sâu CDM từ 5-40 m, đường kính cọc đất gia cố từ 0,5 m đến 2 m.	40-70	Phương pháp gia cố dạng cọc xi măng đất có khả năng sử dụng với nhiều loại công trình với đòi hỏi khả năng chịu tải từ thấp đến cao. Phương pháp này có khả năng áp dụng với nhiều loại nền đất khác nhau bao gồm cả nền đất yếu, nền đất yếu cầu chịu tải lớn; Cải tạo nền đất tại chỗ, đặc biệt là các nền đất yếu, đất bị xâm nhập mặn, phèn mà không phải đào bóc bỏ đi. Giúp tăng tính ổn định của nền đường, sân bãi, đặc biệt như tại đồng bằng sông Cửu Long nơi mà nền đất thường là đất yếu và bị nhiễm mặn, chua phèn. Tỷ lệ GGBFS trong thành phần SSCM thường trong khoảng 40-70 %. Đối với khu vực đất nhiễm mặn, nước biển, sulfat hoặc nhiễm phèn (nói chung là đất xâm thực ăn mòn hóa học) tỷ lệ GGBFS khuyến nghị trong khoảng 50÷70%. Sử dụng GGBFS ngoài mang lại hiệu quả kinh tế do giảm lượng dùng xi măng (tương ứng tỷ lệ

TT	Ứng dụng	Mô tả phương pháp	Tỷ lệ GGBFS (%)	Lợi ích và lưu ý khi sử dụng
				GGBFS sử dụng) còn có tác dụng cải thiện các tính chất của đất gia cố (xem Mục 6). Nhìn chung, nền đất được gia cố bằng SSCM cho cường độ chịu nén nở hông tăng đáng kể so với sử dụng xi măng PC40 (ví dụ gấp 1,8÷2,3 lần khi hàm lượng SSCM là 200 kg/m ³ , tỷ lệ nước trộn 80%). Mức độ tăng phụ thuộc vào loại đất, độ ẩm đất.
2	Gia cố nông toàn khối			
	- Ứng dụng điển hình của phương pháp này là gia cố, cứng hóa lớp nền đất yếu hoặc cho gia cố làm lớp móng đường bộ, đường sắt. - Ứng dụng gia cố các lớp chống thấm (ví dụ xử lý nền bãi rác, ao hồ cũ, khu vực ô nhiễm).	Theo phương pháp này, đất nền đường được trộn đều với VLGC tại chỗ bằng thiết bị chuyên dụng đến chiều sâu thiết kế. Mục đích là để tạo thành lớp nền đất toàn khối cho công trình xây dựng, đường bộ, đường sắt nhằm tăng cường độ và ổn định, bền vững đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật theo thiết kế. Chiều sâu gia cố theo phương pháp này tùy thuộc vào yêu cầu chịu tải công trình và tính chất lớp đất nền, nhưng có thể sâu đến 8 m	40-70	Cải tạo nền đất tại chỗ, đặc biệt là các nền đất yếu, đất bị xâm nhập mặn, phèn mà không phải đào bóc bỏ đi. Giúp tăng tính ổn định của nền đường, sân bãi, đặc biệt ở vùng đồng bằng sông Cửu Long nơi mà lớp đất mặt thường bị nhiễm mặn, chua phèn, độ ẩm cao. Có thể sử dụng gia cố nền đất tại chỗ thành lớp móng cho áo đường ô tô. Tăng khả năng chống thấm, cứng hóa nền đất, phù hợp cho các lớp nền hoặc lớp phủ càn chống thấm. Tỷ lệ GGBFS trong thành phần SSCM thường trong khoảng 40-70 %. Đối với khu vực đất nhiễm mặn, nước biển, sulfat hoặc nhiễm phèn (nói chung là đất xâm thực ăn mòn hóa học) tỷ lệ GGBFS khuyến nghị trong khoảng 50÷70%.
3	Gia cố lớp đất mặt cho nền, móng đường bộ			
	Ứng dụng chủ yếu của phương pháp này là gia cố nền đất yếu	Theo phương pháp này, đất nền đường được trộn đều với VLGC tại chỗ bằng thiết bị chuyên	40-70	Cải tạo nền đất tại chỗ, đặc biệt là các nền đất yếu, đất bị xâm nhập mặn, phèn mà không phải đào bóc bỏ đi để làm lớp nền, móng đường bộ. Nền đất được gia cố bằng

TT	Ứng dụng	Mô tả phương pháp	Tỷ lệ GGBFS (%)	Lợi ích và lưu ý khi sử dụng
	hoặc nền đất tại chỗ làm lớp nền hoặc nền và móng đường bộ.	dùng hoặc tại trạm trộn tập trung, VLGC và nước, sau đó được lu lèn để tạo thành nền, móng đường bộ. Mục đích là để tăng cường độ và ổn định, bền vững của nền đất đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật theo thiết kế.		SSCM theo phương pháp này cũng giúp tăng tính ổn định, độ bền lâu, đặc biệt ở vùng đồng bằng sông Cửu Long nơi mà lớp đất mặt thường bị nhiễm mặn, chua phèn, độ ẩm cao. Tỷ lệ GGBFS trong thành phần SSCM thường trong khoảng 40-70 %. Đối với khu vực đất nhiễm mặn, nước biển, sulfat hoặc nhiễm phèn (nói chung là đất xâm thực ăn mòn hóa học) tỷ lệ GGBFS khuyến nghị trong khoảng 50÷70%.
Lưu ý: Tỷ lệ GGBFS được tính theo phần trăm khối lượng của chất kết dính SSCM. Các tỷ lệ GGBFS được lấy theo tỷ lệ khuyến nghị từ các ứng dụng thực tế hoặc kết quả nghiên cứu đánh giá. Các yếu tố như loại nền đất, nguồn vật liệu, điều kiện môi trường có thể ảnh hưởng đến tỷ lệ GGBFS để đạt được nền đất gia cố có cùng tính năng. Các thử nghiệm thực tế cần phải được thực hiện để lựa chọn tỷ lệ GGBFS và hàm lượng SSCM phù hợp theo yêu cầu thiết kế.				

8. Lựa chọn thành phần và liều lượng SSCM

8.1 Nguyên tắc chung

- 8.1.1 Thành phần cấp phối SSCM được lựa chọn sao cho giảm tối đa lượng VLGC sử dụng mà vẫn đáp ứng được các yêu cầu đặt ra của của nền đất gia cố (khả năng trộn, lèn chặt của hỗn hợp đất-chất kết dính, cường độ, độ bền lâu của hỗn hợp đất-chất kết dính khi đóng rắn).
- 8.1.2 Thành phần cấp phối và hàm lượng SSCM hợp lý được lựa chọn thông qua các mẻ trộn thử trong phòng thí nghiệm để tìm ra cấp phối và hàm lượng SSCM sử dụng đáp ứng yêu cầu cụ thể đặt ra.
- 8.1.3 Hàm lượng GGBFS và phụ gia giàu SO_3 phù hợp được lựa chọn sử dụng cho chế tạo SSCM có thể thay đổi theo mùa: mùa lạnh và mùa nóng. Mùa lạnh thì cần giảm lượng dùng GGBFS hoặc thay đổi hàm lượng PGHH để phù hợp với mức độ yêu cầu đông kết và phát triển cường độ của bê tông. Mùa nóng thì ngược lại, có thể sử dụng tăng hàm lượng GGBFS do bê tông sẽ phát triển cường độ nhanh hơn trong điều kiện nhiệt độ cao.

8.2 Các thông tin cần thiết

- a) Yêu cầu về tính chất cơ lý của đất gia cố:

- Cường độ chịu nén nở hông trong phòng thí nghiệm/Cường độ chịu nén hiện trường;
 - Các yêu cầu khác: tỷ số CBR, mô đun đàn hồi, cường độ ép chặt (nếu có)
- b) Yêu cầu về độ bền lâu của đất gia cố
- Môi trường làm việc của kết cấu đất gia cố;
- c) Phương pháp thi công và hạng mục đất gia cố:
- Phương pháp thi công dạng cọc xi măng-đất theo phương pháp trộn sâu (CDM) hoặc trộn nông toàn khối hay gia cố lớp đất mặt.
 - Các hạng mục đất gia cố trong công trình như: Cọc xi măng; Lớp nền, móng đường bộ, đường sắt theo; Lớp nền, móng sân, bãi công trình.

8.3 Lựa chọn thành phần SSCM

Thành phần cấp phối SSCM được lựa chọn dựa theo cơ sở dữ liệu các kết quả nghiên cứu trong phòng thí nghiệm và thí nghiệm hiện trường đã được thực hiện trước đó đối với công trình và loại đất tương tự.

8.3.1 Xác định tính chất của vật liệu và đất nền

Cần xác định các tính chất của vật liệu cho chế tạo SSCM và đất nền phục vụ cho lựa chọn thành phần cấp phối và hàm lượng SSCM sử dụng, cụ thể như sau:

- Xi măng: loại xi măng (nhà sản xuất cung cấp), khối lượng riêng, cường độ chịu nén tuổi 3, 28 ngày.
- GGBFS: phân loại (S75, S95, S105) theo TCVN 11586:2016, khối lượng riêng, tỷ diện bề mặt Blaine, chỉ số hoạt tính cường độ 3, 7, 28 ngày.
- Phụ gia giàu SO_3 : nguồn gốc, dạng thạch cao (nhận dạng qua thành phần khoáng, nước liên kết), hàm lượng SO_3 , khối lượng riêng, lượng sót sàng 45 μm .
- Đất nền: Phân loại, giới hạn chảy, dẻo, khối thể tích tự nhiên, độ ẩm tự nhiên, thành phần hạt, thành phần khoáng; Hệ số rỗng e_0 , chỉ số nén lún, lực cắt, góc nội ma sát; Các chỉ số gây ăn mòn hóa học: hàm lượng clorua, sulfate, độ pH, hàm lượng hữu cơ.

8.3.2 Lựa chọn thành phần cấp phối SSCM

Căn cứ vào tính chất của vật liệu thành phần là xi măng, GGBFS và phụ gia giàu SO_3 và tính chất của đất nền để chọn thành phần của SSCM. Quy tắc chung để lựa chọn thành phần cấp phối cho SSCM là:

- Tỷ lệ GGBFS và phụ gia giàu SO_3 sử dụng trong cấp phối SSCM phụ thuộc vào yêu cầu về tính năng của đất gia cố (cường độ, CBR, ...), môi trường làm việc của kết cấu gia cố, điều kiện bảo dưỡng, chất lượng của xi măng, GGBFS và phụ gia giàu SO_3

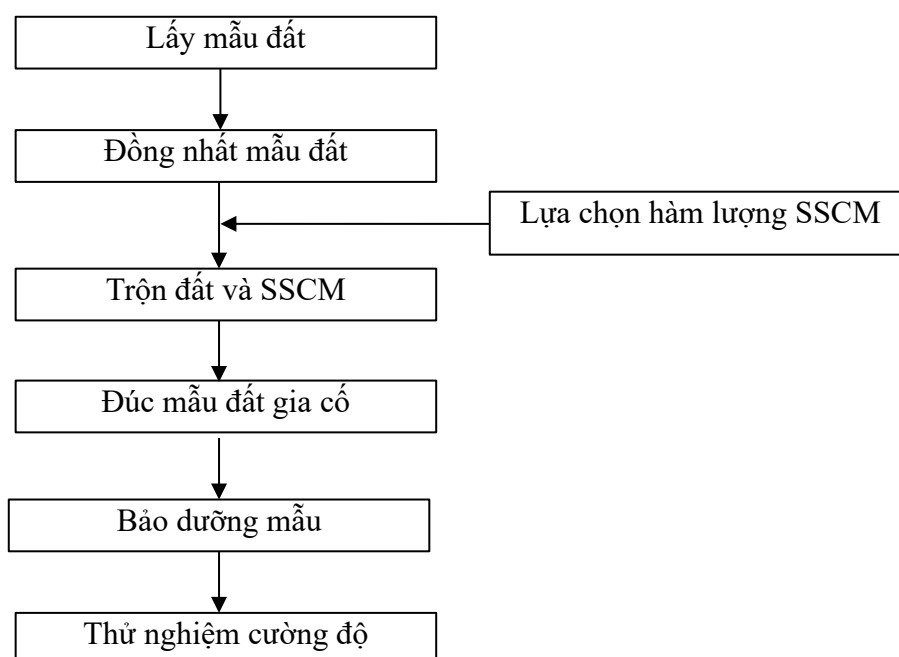
- Tỷ lệ GGBFS thích hợp cho chế tạo bê tông nằm trong khoảng 40 % đến 70 %. Khi sử dụng GGBFS kết hợp với xi măng PCB40 thì tỷ lệ GGBFS tối đa sử dụng có thể thấp hơn khoảng 10-20 % so với sử dụng xi măng PC40. Thành phần cấp phối vật liệu cho chế tạo SSCM cho một số loại đất khác nhau có thể tham khảo trong Bảng 2 dưới đây.

Bảng 2. Tỷ lệ vật liệu thành phần khuyến nghị cho chế tạo SSCM

Môi trường đất	Thành phần cấp phối SSCM, % theo khối lượng		
	Xi măng	GGBFS	Phụ gia giàu SO_3 (tính quy đổi ra SO_3)
Đất yếu	30÷45	50÷65	2÷4
Đất nhiễm mặn từ nước biển ($0,1\% \leq SO_4^{2-} \leq 0,2\%$)	30÷45	50÷65	2÷3
Đất hàm lượng sulfate (SO_4^{2-}) cao ($SO_4^{2-} > 0,2\%$)	27÷35	60÷70	2÷2,5
Đất khác	25÷55	40÷70	2,5÷4

8.4 Lựa chọn hàm lượng SSCM cho gia cố nền đất

Để có căn cứ lựa chọn hàm lượng SSCM sử dụng, cần thiết phải thực hiện các thí nghiệm trong phòng thí nghiệm nhằm xác định hàm lượng SSCM, tỷ lệ nước trộn để đảm bảo thi công ngoài hiện trường đạt các mục tiêu đặt ra. Quy trình thí nghiệm thể hiện trong Hình 12.



Hình 12 Quy trình xác định cường độ của mẫu đất gia cố

8.4.1 Lấy mẫu đất

Mẫu đất được lấy đại diện cho nền đất cần gia cố. Căn cứ và kết quả khảo sát thăm dò địa chất để quyết định số lượng mẫu đất cho thử nghiệm. Thông thường lấy một mẫu cho mỗi 500 đến 2000 m³ cho mỗi loại đất. Sự thay đổi của loại đất được đánh giá thông qua màu sắc, thành phần hạt, độ ẩm, độ dẻo của đất.

Khối lượng mỗi mẫu đất lấy 20 kg đối với thí nghiệm xác định hàm vật liệu gia cố thông qua cường độ nén nở hông hoặc 40 kg trong trường hợp cần thí nghiệm chỉ số CBR. Lưu ý, mẫu đất thí nghiệm phải được lấy ở độ ẩm tự nhiên và được chứa trong túi nhựa bịt kín để tránh làm thay đổi độ ẩm của đất.

8.4.2 Chuẩn bị mẫu đất

Mẫu đất lấy tại hiện trường được giữ ở trạng thái nguyên khai và cho vào hộp chống nước và tránh ánh sáng mặt trời trực tiếp. Đất được sàng qua sàng 9.5 mm và lấy phần đất cỡ hạt dưới 5 mm cho chế tạo mẫu xi măng-đất. Nếu quá khó để sàng do các yếu tố như độ nhớt cao, độ ẩm cao, tạp chất, ... thì bẻ các cục đất, loại bỏ các tạp chất như sỏi, vỏ sò, mảnh gỗ, ...sau đó trộn đồng nhất trước khi tiến hành các thí nghiệm.

Tiến hành các thí nghiệm xác định tính chất của đất: Phân loại, giới hạn chảy, dẻo, khối thể tích tự nhiên, độ ẩm tự nhiên, thành phần hạt, thành phần khoáng; Hệ số rỗng e_0 , chỉ số nén lún, lực cắt, góc nội ma sát; Các chỉ số gây ăn mòn hóa học: hàm lượng clorua, sulfate, độ pH, hàm lượng hữu cơ.

8.4.3 Lựa chọn hàm lượng SSCM và tỷ lệ nước trộn/SSCM

Đầu tiên, ước lượng hàm lượng SSCM để đạt được cường độ mục tiêu dựa trên các kết quả thí nghiệm với các loại đất tương tự trước đó. Thiết lập cấp phối và thực hiện thí nghiệm với cấp phối tương ứng với 3 hàm lượng SSCM, xoay xung quanh hàm lượng SSCM ước lượng đó. Hàm lượng SSCM có thể tính bằng (kg/m³) cho mỗi m³ đất với độ ẩm tự nhiên. Tuy nhiên, hàm lượng SSCM cũng có thể tính bằng tỷ lệ phần trăm (%) so với khối lượng đất ẩm tự nhiên hoặc đất khô.

a) Xác định cường độ mục tiêu của đất gia cố

Do sự khác biệt về thiết bị thi công, mức độ trộn, đầm chặt của hỗn hợp đất và SSCM, điều kiện bảo dưỡng dẫn đến sự chênh lệch về cường độ của mẫu thử trong phòng thí nghiệm và mẫu lấy tại hiện trường. Ngoài ra, với điều kiện thi công tại hiện trường, cường độ mẫu thử có sự biến động do thay đổi về tính chất hay do sự thay đổi độ ẩm của các tầng đất tại khu vực gia cố. Vì lý do này, khi thiết lập hàm lượng SSCM cho công trình tại hiện trường từ kết quả trong phòng thí nghiệm, cần phải thí nghiệm xác định tỷ lệ cường độ tại hiện trường/trong phòng thí nghiệm theo công thức dưới đây:

$$\text{Cường độ mục tiêu trong phòng thí nghiệm} = \frac{\text{Cường độ thiết kế}}{\text{Tỷ lệ cường độ} \frac{\text{hiện trường}}{\text{phòng thí nghiệm}}}$$

- Đối với phương pháp thi công cọc xi măng đất (CDM):

Mối quan hệ giữa cường độ nén một trục nở hông xác định trong phòng thí nghiệm $Q_{u(pte)}$ và cường độ tại hiện trường $Q_{u(ht)}$ theo tỷ số cường độ trung bình thường được ghi nhận bằng trong khoảng 0,2 đến 0,5 (theo dữ liệu tổng hợp từ các công trình gia cố đất theo phương pháp ướn trong đất liền tại Nhật Bản [1, 3]).

- Đối với phương pháp gia cố nông toàn khối:

Mối quan hệ giữa cường độ nén một trục nở hông xác định trong phòng thí nghiệm $Q_{u(pte)}$ và cường độ tại hiện trường $Q_{u(ht)}$ theo tỷ số cường độ trung bình được thống kê từ các công trình đã thi công thực tế như thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Tỷ số cường độ hiện trường/phòng thí nghiệm theo phương pháp gia cố nông[2]

Trạng thái của VLGC	Mục tiêu gia cố	Máy gia thi công	Tỷ số cường độ Hiện trường/Phòng thí nghiệm
Bột	Đất yếu *	Máy Gia cố tại chỗ Máy đào	0,5 to 0,8 0,3 to 0,7
	Đất dẻo Đất hữu cơ, đất độ ẩm cao	Máy gầu ngoạm kép Máy đào	0,2 to 0,5
Hỗ ướn	Đất yếu *	Máy Gia cố tại chỗ Máy đào	0,5 to 0,8 0,4 to 0,7
	Đất sét dẻo	Xà lan xử lý bùn	0,5 to 0,8
	Đất độ ẩm cao Đất hữu cơ	Xe xử lý trên bùn Gầu ngoạm kép/Máy đào	0,3 to 0,7 0,3 to 0,6

(Lưu ý) * Có kèm theo thiết bị đầm chặt đất

b) Lựa chọn hàm lượng VLGC

Trong công nghệ gia cố nền bằng phương pháp trộn sâu (CDM), hàm lượng chất kết dính (tính bằng kg/m^3 đất gia cố) được lựa chọn dựa trên: Loại đất nền (đất sét, bùn, cát pha, than bùn, ...); Cường độ nén tối thiểu yêu cầu (design strength) sau gia cố (ví dụ: 500 kPa, 1 MPa,...); Đặc tính của chất kết dính; Các yếu tố thi công như phương pháp trộn, khả năng trộn đều, độ đồng nhất. Nhìn chung, hàm lượng chất kết dính = Liều lượng chất kết dính trên thể tích đất trộn, tính bằng kg/m^3 .

Hàm lượng chất kết dính thường từ 150–400 kg/m^3 đất tùy loại đất và yêu cầu cường độ (cao hơn cho đất yếu như bùn, thấp hơn cho đất sét chặt hơn) [3]. Hàm lượng chất kết dính ước lượng được dựa vào các công trình gia cố với loại đất, yêu cầu về tính năng tương tự để lựa chọn. Sau khi chọn được hàm lượng chất kết dính sơ bộ, thiết lập 03 cấp phối xoay xung quanh hàm lượng SSCM ước lượng đó và thực hiện các thí nghiệm để lựa chọn hàm lượng phù hợp.

c) Lựa chọn tỷ lệ nước trộn/VLGC (W/B)

Trong công nghệ gia cố nền đất bằng phương pháp trộn xi măng (CDM), việc lựa chọn tỷ lệ nước/xi măng (W/C) hoặc nước/chất kết dính (W/B) là rất quan trọng vì nó ảnh hưởng trực tiếp đến: Tính bơm được của hồ xi măng, khả năng trộn đều với đất, cường độ chịu nén và độ bền của cọc xi măng-đất sau này. Lưu ý rằng, tỷ lệ W/B càng lớn có xu hướng làm giảm cường độ của đất gia cố, do đó để đảm bảo yêu cầu cường độ thiết kế (ví dụ: cường độ chịu nén đơn 28 ngày ≥ 500 kPa hay 1 MPa), thì cần chọn tỷ lệ W/B thấp, nhưng vẫn phải đảm bảo các yêu cầu về khả năng trộn đều và khả năng lên chất của hỗn hợp đất-xi măng. Tỷ lệ W/B được lựa chọn phụ thuộc vào loại đất, thông thường bằng $60\% \div 100\%$ với đất có độ ẩm cao (bùn, sét mềm), hay $100\% \div 150\%$ với đất cát, đất ít dính kết để dễ dàng phân tán hồ xi măng. Trong một số trường hợp, phụ gia siêu dẻo có thể được sử dụng để tăng độ chảy của hồ xi măng, khi đó tỷ lệ W/B có thể giảm xuống còn $50\% \div 80\%$ đối với các loại đất cát, đất ít dính kết. Trong nhiều dự án thực tế, tỷ lệ W/B phổ biến dùng từ 60% đến 120%.

d) Tính khối lượng VLGC và nước trộn cho mẻ trộn thực tế

Với công nghệ gia cố nền đất bằng cọc xi măng đất CDM thì VLGC được trộn với nước thành dạng hồ xi măng và được định lượng theo thể tích đất nền tự nhiên cần gia cố (cọc CDM) và đưa vào trộn với nền đất cần gia cố bằng các thiết bị chuyên dụng. Do vậy, liều lượng VLGC đưa vào nền đất được tính theo đơn vị là đơn vị khối lượng VLGC (thường tính bằng kg) trên đơn vị thể tích của nền đất (thường tính theo m^3 đất tự nhiên). Khối lượng VLGC được tính theo công thức sau:

$$W_{vlgc} = \frac{W_{đất}}{D_{đất}} \cdot \frac{a_w}{1000}$$

$$W_{nước} = \frac{W_{vlgc}}{d_{đất}} \cdot \frac{t_{w/c}}{100}$$

Trong đó:

W_{vlgc} : Khối lượng vật liệu gia cố (kg);

$W_{đất}$: Khối lượng của đất (kg);

$W_{nước}$: Khối lượng của nước đưa vào trộn với vật liệu gia cố (lít);

a_w : Khối lượng vật liệu gia cố cho một m^3 đất nền (kg/m^3);

$D_{đất}$: Khối lượng thể tích tự nhiên của đất nền (kg/m^3);

$t_{w/c}$: Tỷ lệ khối lượng của nước trộn/vật liệu gia cố (%).

8.4.4 Trộn VLGC

Lượng VLGC được trộn với nước theo tỷ lệ lựa chọn (thông thường từ 50% đến 100%, phụ thuộc vào độ ẩm của đất nền) để tạo thành hồ xi măng và được trộn với đất ẩm bằng máy trộn đất để tạo mẫu cho các thử nghiệm cường độ.

8.4.5 Chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử

Phương pháp chế tạo mẫu thử cường độ thể hiện trong Bảng 4. Tuổi thí nghiệm mục tiêu thường là 7 ngày với phương pháp gia cố nông, 28 ngày đối với phương pháp trộn sâu (CDM). Ngoài ra, các tuổi thí nghiệm mục tiêu khác cũng có thể thay đổi phụ thuộc vào thiết kế.

8.4.6 Thí nghiệm xác định cường độ

Cường độ mục tiêu được thí nghiệm xác định là cường độ chịu nén nở hông một trục. Ngoài ra, với mục đích gia cố nông toàn khối làm lớp nền, móng đường thì chỉ tiêu kháng lún CBR được yêu cầu. Phương pháp xác định cường độ của đất tự nhiên và đất gia cố thực hiện theo các TCVN như thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 4 Chỉ tiêu và phương pháp thí nghiệm cường độ của đất gia cố

Chỉ tiêu thí nghiệm		Phương pháp thí nghiệm	Tiêu chuẩn áp dụng
Tính chất của đất (với đất tự nhiên)	Độ ẩm	Phương pháp thí nghiệm xác định độ ẩm của đất	TCVN 4196:2012
	Khối lượng thể tích tự nhiên	Phương pháp đầm chặt tiêu chuẩn đất bằng chày đầm	TCVN 4201:2012
Tính chất cơ học	Cường độ nén một trục nở hông	Phương pháp chế tạo mẫu thử cường độ mẫu đất gia cố có và không sử dụng chày đầm	Phụ lục A TCVN 11832:2017
		Phương pháp xác định cường độ nén một trục nở hông với đất xây dựng	TCVN 9438:2012
	Chỉ số CBR	Phương pháp xác định tỷ số CBR của vật liệu nền, móng mặt đường trong phòng thí nghiệm	TCVN 12792:2020
	Cường độ ép chặt	Phương pháp xác định cường độ ép chặt	TCVN 8862:2011

Chú thích: Thành phần cấp phối SSCM và tính chất của đất gia cố bằng SSCM với một số loại đất nền công trình điển hình tại khu vực ĐBSCL được thể hiện trong Phụ lục A.

Tài liệu tham khảo

1. Bộ Khoa học và Công nghệ (2012), TCVN 9403:2012 Gia cố nền đất yếu - Phương pháp trụ xi măng đất.
2. Japan Cement Association (2003), Ground Improvement Manual Using Cement-Based Solidification Material; Third edition 2003, chủ biên.
3. Kitazume, Masaki và Terashi, Masaaki (2013), *The deep mixing method*, Vol. 21, CRC press London.

Phụ lục A Một số kết quả thí nghiệm về đất gia cố với SSCM

A. Tính chất của vật liệu thành phần trong SSCM

Bảng A.1 Thành phần hóa của các mẫu vật liệu thành phần trong SSCM

Loại chất kết dính	Thành phần hóa (%)											Hệ số kiểm tính K
	MKN	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	S ²⁻	
Xi măng PC40	2,58	19,74	3,11	5,18	63,14	1,61	1,85	0,7	0,15	0,12	-	-
GGBFS	-0,14	33,1	0,18	13,28	41,02	7,96	0,07	0,26	0,86	0,13	0,65	1,88
Thạch cao	-	-	-	-	-	-	54,8	-	-	-	-	-
Chú thích: Xi măng PC40 Công ty xi măng Nghi Sơn, GGBFS từ nguồn xi hạt lò cao nghiền mịn của Công ty TNHH Tài nguyên CHC Việt Nam; Thạch cao tự nhiên đang được cung cấp cho nhà máy xi măng												

Bảng A2. Tính chất vật lý của xi măng, GGBFS, thạch cao trong SSCM

TT	Ký hiệu mẫu	Tính chất vật lý				Tính chất cơ lý xi măng PC40 và 50% PC40 +50%GGBFS					
		Khối lượng riêng (g/cm ³)	Bề mặt riêng Blaine (cm ² /g)	Lượng sót sàng (%)		Nước tiêu chuẩn (%)	Thời gian đông kết (phút)		Cường độ chịu nén (MPa) (Chỉ số hoạt tính cường độ, %)		
				80 μm	45 μm		BĐ	KT	3 ngày	7 ngày	28 ngày
1	PC40	3,09	3780	0,1	-	28,0	120	190	36,3	42,1	52,3
1	GGBFS	2,82	4640	-	0,1	27,5	140	230	28,1 (77,6)	38,3 (91,0)	52,5 (100,3)
2	Thạch cao	2,89	-	-	0,8	-	-	-	-	-	-
Chú thích: Xi măng PC40 Công ty xi măng Nghi Sơn, GGBFS1 và GGBFS 2 từ nguồn xi hạt lò cao nghiền mịn của Công ty TNHH Tài nguyên CHC Việt Nam; Thạch cao tự nhiên đang được cung cấp cho nhà máy xi măng.											

B. Tính chất của đất nền sử dụng cho thí nghiệm

Bảng A.3 Tính chất cơ lý của các mẫu đất sử dụng cho thí nghiệm

Chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả			
		Mẫu đất 1 (ký hiệu A)	Mẫu đất 2 (ký hiệu B)	Mẫu đất 3 (ký hiệu A2)	Mẫu đất 4 (ký hiệu C)
Vị trí lấy mẫu		Đất lớp mặt tại độ sâu 0 đến 2 m tại dự án đường cao tốc Châu Đốc-Cần Thơ-Sóc Trăng, địa phận xã Đại tâm, huyện Mỹ Xuyên, Sóc Trăng	Đất lớp dưới tại độ sâu 2 đến 4 m tại dự án đường cao tốc Châu Đốc-Cần Thơ-Sóc Trăng, địa phận xã Đại tâm, huyện Mỹ Xuyên, Sóc Trăng	Đất lớp mặt tại độ sâu 1 đến 3 m tại dự án đường cao tốc Châu Đốc-Cần Thơ-Sóc Trăng, địa phận xã Đại tâm, huyện Mỹ Xuyên, Sóc Trăng	Đất lớp mặt 0-2m tại Km0+200 thuộc dự án đường tỉnh 938, địa phận xã Mỹ Thuận, huyện Mỹ Tú, tỉnh Sóc Trăng
Độ ẩm tự nhiên	%	34.60	31.05	26.94	63.00
KLTT tự nhiên	g/cm ³	1.87	1.82	1.89	1.61
Khối lượng riêng	g/cm ³	2.67	2.64	2.67	2.69
Giới hạn chảy	%	37.44	34.74	34.02	56.09
Giới hạn dẻo	%	21.20	20.60	18.39	32.19
Chỉ số dẻo	%	16.24	14.14	15.63	23.90
Độ sệt (B)	-	0.825	0.739	0.547	1.289
Hệ số rỗng (e)		1.000	0.915	0.909	1.509
Độ rỗng (n)	%	47.98	47.30	44.26	63.51
Cường độ nén một trục nở hông ẩm tự nhiên trạng thái khô	kPa	- 670	- 1550	- -	- 1910
Góc nội ma sát ở độ ẩm tự nhiên	độ	12°6'	16°34'	16°7'	6°4'
Lực cắt ở độ ẩm tự nhiên	kPa	22.60	24.20	10.60	20.50
Hàm lượng hữu cơ	%	4.41	1.55	2.23	5.84
Độ pH		7.87	7.88	-	3.69
Muối hòa tan	%	0.50	1.13	-	1.67
Hàm lượng sulfate SO ₄ ²⁻	%	0.023	0.114	-	1.195
Hàm lượng ion clo	%	0.053	0.129	-	0.150

Chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả			
		Mẫu đất 1 (ký hiệu A)	Mẫu đất 2 (ký hiệu B)	Mẫu đất 3 (ký hiệu A2)	Mẫu đất 4 (ký hiệu C)
Phân loại đất		Sét pha xám nâu <i>Brownish gray clayey soil</i>	Cát pha xám ghi <i>Grayish mixed sandy soil</i>	Cát pha nâu vàng <i>Yellowish brown mixed sandy soil</i>	Sét xám ghi <i>Gray clay</i>
AASHTO M145 ASTM D 2487		A-6 (17) <i>(CL) Lean clay with sand</i>	A-6 (8) <i>SC (Clayey sand) Grayish mixed sandy soil</i>	A-4 (6) <i>SC (Clayey sand) Yellowish brown mixed sandy soil</i>	A-7-5 (30) <i>MH (High plasticity silt) Gray clay</i>
KLTT đầm chặt lớn nhất	g/cm ³	1.761	1.627	1.72	1.526
Độ ẩm tối ưu	%	16.45	16.00	16.1	22.05

C. Cấp phối và tính chất của đất gia cố với SSCM

Bảng A.4 Cấp phối vật liệu gia cố thí nghiệm cho lựa chọn cấp phối VLGC phù hợp đối với đất nền khu vực ĐBSCL

Loại đất	Ký hiệu cấp phối	Cấp phối VLGC (% wt)			Tỷ lệ nước $t_{w/c}$ (% wt)	Hàm lượng VLGC (a_w), kg/m^3	KLTT đất ($D_{đất}$), kg/m^3	Cấp phối đất gia cố (kg)		Thành phần cấp phối hỗn hợp vữa VLGC (kg) gia cố cho mỗi 1500 kg đất			
		W _{PC40}	W _{GGBFS}	W _{TC}				W _{đất}	W _{vlgc}	W _{PC40}	W _{GGBFS}	W _{TC}	W _{nước}
Đất A	A0	100	0	0	80	200	1.870	1500	160	160	0	0,0	128
	A45-5	50	45	5	80	200	1.870	1500	160	80	72	8,0	128
	A55-5	40	55	5	80	200	1.870	1500	160	64	88	8,0	128
	A65-5	30	65	5	80	200	1.870	1500	160	48	104	8,0	128
	A45-0	55	45	0	80	200	1.870	1500	160	88	72	0,0	128
	A55-0	45	55	0	80	200	1.870	1500	160	72	88	0,0	128
	A65-0	35	65	0	80	200	1.870	1500	160	56	104	0,0	128
Đất B	B0	100	0	0	80	200	1.820	1500	165	165	0	0,0	132
	B45-5	50	45	5	80	200	1.820	1500	165	82	74	8,2	132
	B55-5	40	55	5	80	200	1.820	1500	165	66	91	8,2	132
	B65-5	30	65	5	80	200	1.820	1500	165	49	107	8,2	132
	B45-0	55	45	0	80	200	1.820	1500	165	91	74	0,0	132
	B55-0	45	55	0	80	200	1.820	1500	165	74	91	0,0	132
	B65-0	35	65	0	80	200	1.820	1500	165	58	107	0,0	132
Đất C	C0	100	0	0	80	200	1.610	1500	186	186	0	0,0	149
	C45-5	50	45	5	80	200	1.610	1500	186	93	84	9,3	149
	C55-5	40	55	5	80	200	1.610	1500	186	75	102	9,3	149
	C65-5	30	65	5	80	200	1.610	1500	186	56	121	9,3	149
	C45-0	55	45	0	80	200	1.610	1500	186	102	84	0,0	149
	C55-0	45	55	0	80	200	1.610	1500	186	84	102	0,0	149
	C65-0	35	65	0	80	200	1.610	1500	186	65	121	0,0	149

Bảng A.5 Kết quả thí nghiệm cường độ nén của các cấp phối đất gia cố với thành phần VLGC khác nhau

Loại đất	Ký hiệu mẫu	Tỷ lệ CM		Cường độ nén tại tuổi, MPa							
		GGBFS	TC	3d	Δ , %	7d	Δ , %	28d	Δ , %	91d	Δ , %
Đất mặt 1 (A)	A0	0	0	1.36	0.0	1.73	0.0	2.35	0.0	2.65	0.0
	A45-5	45	5		-100.0	3.41	96.9	5.06	115.5	-	-
	A55-5	55	5	2.72	100.3	3.46	99.7	5.11	117.6	6.79	156.5
	A65-5	65	5	2.79	105.8	3.49	101.8	5.20	121.3	7.16	170.3
	A45-0	45	0	2.34	72.3	3.17	83.0	4.62	97.0	-	-
	A55-0	55	0	2.03	49.4	3.29	90.2	4.71	100.7	6.61	149.6
	A65-0	65	0	2.19	61.7	3.26	88.2	4.77	103.0	7.14	169.6
Đất dưới (B)	B0	0	0	1.42	0.0	1.81	0.0	2.55	0.0	2.76	0.0
	B45-5	45	5	-	-100.0	3.56	96.1	4.94	93.6	-	-
	B55-5	55	5	1.72	21.3	3.96	117.9	5.50	115.8	6.70	143.2
	B65-5	65	5	1.98	39.4	4.00	120.6	5.83	128.6	7.21	161.6
	B45-0	45	0	-	-100.0	3.42	88.3	4.59	80.2	-	-
	B55-0	55	0	1.66	16.9	3.32	82.9	4.75	86.2	7.13	158.7
	B65-0	65	0	1.91	34.7	3.44	89.7	5.04	97.7	7.29	164.3
Đất mặt 2 (C)	C0	0	0	0.68	0.0	1.18	0.0	1.54	0.0	1.75	0.0
	C45-5	45	5	-	-100.0	2.27	93.0	2.74	77.8	-	-
	C55-5	55	5	1.68	148.0	2.33	98.0	2.81	82.5	3.19	81.7
	C65-5	65	5	1.93	184.9	2.30	95.1	2.82	82.7	3.43	95.5
	C45-0	45	0	-	-100.0	1.74	47.9	2.51	62.5	-	-
	C55-0	55	0	1.61	137.2	2.10	78.1	2.58	67.4	3.00	70.8
	C65-0	65	0	1.88	177.5	2.05	74.6	2.56	66.3	3.20	82.6

Bảng A.6 Cấp phối thí nghiệm ảnh hưởng của hàm lượng VLGC đến tính năng của đất gia cố

Loại đất	Ký hiệu cấp phối	Tỷ lệ nước t_w/c (% wt)	Hàm lượng VLGC (a_w), kg/m^3	KLTT đất ($D_{đất}$), kg/m^3	Cấp phối đất gia cố (kg)		Cấp phối đất gia cố (kg)			
					$W_{đất}$	W_{vlgc}	W_{PC40}	W_{GGBFS}	W_{TC}	$W_{nước}$
Đất mặt (A)	A65-b150	80	150	1.87	1500	120.3	36.1	78.2	6.0	96.3
	A65-b200	80	200	1.87	1500	160.4	48.1	104.3	8.0	104
	A65-b250	80	250	1.87	1500	200.5	60.2	130.3	10.0	160.4
	A65-b300	80	300	1.87	1500	240.6	72.2	156.4	12.0	192.5
Đất dưới (B)	B65-b150	80	150	1.82	1500	123.6	37.1	80.4	6.2	98.9
	B65-b150	80	200	1.82	1500	164.8	49.5	107.1	8.2	107
	B65-b250	80	250	1.82	1500	206.0	61.8	133.9	10.3	164.8
	B65-b300	80	300	1.82	1500	247.3	74.2	160.7	12.4	197.8
Đất mặt (C)	C65-b150	80	150	1.61	1500	139.8	41.9	90.8	7.0	111.8
	C65-b200	80	200	1.61	1500	186.3	55.9	121.1	9.3	186
	C65-b250	80	250	1.61	1500	232.9	69.9	151.4	11.6	186.3
	C65-b300	80	300	1.61	1500	279.5	83.9	181.7	14.0	223.6

Ghi chú: Ký hiệu các cấp phối, ví dụ A65-b150 là cấp phối đất A với chất kết dính chứa 65% GGBFS, 5% thạch cao và 30% PC40, hàm lượng chất kết dính (b)=150 kg/m^3 đất.

Bảng A.7 Kết quả thí nghiệm cường độ nén của các cấp phối đất gia cố có hàm lượng VLGC khác nhau

Loại đất	Ký hiệu cấp phối	Cường độ nén ở tuổi, MPa				Mô đun đàn hồi tại 50% lực phá hủy (E50) ở tuổi, MPa			
		7d	Δ , %	28d	Δ , %	7d	Δ , %	28d	Δ , %
	A65-b150	2.61	0.0	4.46	0.0	240,8	0,0	324,7	0,0
	A65-b200	3.49	34.0	5.20	16.4	282,5	17,3	404,5	24,6

Loại đất	Ký hiệu cấp phối	Cường độ nén ở tuổi, MPa				Mô đun đàn hồi tại 50% lực phá hủy (E50) ở tuổi, MPa			
		7d	Δ , %	28d	Δ , %	7d	Δ , %	28d	Δ , %
Đất mặt (A)	A65-b250	4.27	63.8	6.95	55.7	359,8	49,4	538,5	65,9
	A65-b300	4.71	80.6	7.85	75.9	398,8	65,6	629,8	94,0
Đất dưới (B)	B65-b150	3.12	0.00	4.85	0.0	293,4	0,0	428,5	0,0
	B65-b200	4.00	28.45	5.83	20.2	353,5	20,5	464,7	8,4
	B65-b250	4.86	56.04	7.42	53.0	380,1	29,5	579,0	35,1
	B65-b300	5.68	82.24	8.58	77.0	481,1	64,0	711,1	65,9
Đất mặt 3 (C)	C65-b150	1.48	0.0	2.05	0.0	192,3	0,0	205,7	0,0
	C65-b200	2.30	55.1	2.82	37.7	226,9	18,0	244,4	18,8
	C65-b250	2.76	86.3	4.33	111.5	273,9	42,4	300,1	45,9
	C65-b300	3.33	124.9	4.97	143.2	303,4	57,8	343,7	67,1

Bảng A.8 Cấp phối thí nghiệm ảnh hưởng của tỷ lệ nước trộn/VLGC đến tính năng của đất gia cố

Loại đất	Ký hiệu cấp phối	Tỷ lệ nước $t_{w/c}$ (% wt)	Hàm lượng VLGC (a_w), kg/m ³	KLTT đất ($D_{đất}$), kg/m ³	Cấp phối đất gia cố (kg)		Cấp phối đất gia cố (kg)			
					$W_{đất}$	W_{vlgc}	W_{PC40}	W_{GGBFS}	W_{TC}	$W_{nước}$
Đất mặt (A)	A65w50	50	200	1.870	1500	158.4	47.5	103.0	7.9	79
	A65w65	65	200	1.870	1500	158.4	47.5	103.0	7.9	103
	A65w80	80	200	1.870	1500	160.4	48.1	104.3	8.0	104
	A65w100	100	200	1.870	1500	158.4	47.5	103.0	7.9	158
Đất dưới (B)	B65w50	50	200	1.820	1500	178.8	53.6	116.2	8.9	89
	B65w65	65	200	1.820	1500	178.8	53.6	116.2	8.9	116
	B65w80	80	200	1.820	1500	164.8	49.5	107.1	8.2	107
	B65w100	100	200	1.820	1500	178.8	53.6	116.2	8.9	179
Đất mặt (C)	C65w50	50	200	1.610	1500	156.6	47.0	101.8	7.8	78
	C65w65	65	200	1.610	1500	156.6	47.0	101.8	7.8	102
	C65w80	80	200	1.610	1500	186.3	55.9	121.1	9.3	186
	C65w100	100	200	1.610	1500	156.6	47.0	101.8	7.8	157

Ghi chú: Ký hiệu các cấp phối, ví dụ A65-w150 là cấp phối đất A với chất kết dính chứa 65% GGBFS, 5% thạch cao và 30% PC40, tỷ lệ nước/chất kết dính (w/b)=50%.

Bảng A.9 Cường độ nén của các cấp phối đất gia có tỷ lệ nước trộn/VLGC khác nhau

Loại đất	Ký hiệu cấp phối	Cường độ nén/Compressive strength at age of, MPa				Mô đun đàn hồi/Elastic modulus at 50% failure load (E50) at age of, MPa			
		7d	Δ , %	28d	Δ , %	7d	Δ , %	28d	Δ , %
Đất mặt (A)	A65w50	3.70	0.0	5.80	0.0	349,6	0,0	548,8	0,0
	A65w65	3.62	-2.1	5.53	-4.5	329,9	-5,6	522,0	-4,9
	A65w80	3.49	-5.6	5.20	-10.3	282,5	-19,2	404,5	-26,3
	A65w100	3.04	-18.0	4.89	-15.7	266,5	-23,8	380,5	-30,7
Đất dưới (B)	B65w50	5.21	0.0	6.81	0.0	492,3	0,0	543,3	0,0
	B65w65	4.61	-11.5	6.46	-5.0	463,9	-5,8	512,1	-5,8
	B65w80	4.00	-23.1	5.83	-14.4	353,5	-28,2	464,7	-14,5
	B65w100	3.85	-26.0	5.80	-14.7	282,8	-42,5	434,2	-20,1
Đất mặt (C)	C65w50	2.68	0.0	3.41	0.0	286,1	0,0	323,3	0,0
	C65w65	2.38	-11.2	2.98	-12.6	252,3	-11,8	273,6	-15,4
	C65w80	2.30	-14.3	2.82	-17.5	226,9	-20,7	244,4	-24,4
	C65w100	1.79	-33.2	2.22	-34.9	202,5	-29,2	190,8	-41,0

Bảng A.10 Cấp phối thí nghiệm ảnh hưởng của môi trường bảo dưỡng đến tính năng của đất gia cố

Loại đất	Ký hiệu cấp phối	Tỷ lệ nước $t_{w/c}$ (%)	Hàm lượng VLGC (a_w), kg/m ³	KLTT đất ($D_{đất}$), kg/m ³	Cấp phối đất gia cố (kg)		Cấp phối đất gia cố (kg)			
					$W_{đất}$	W_{vlgc}	W_{PC40}	W_{GGBFS}	W_{TC}	$W_{nước}$
Đất mặt (A)	A0	80	200	1.870	1500	160.4	160.4	0.0	0.0	128
	A65-3	80	200	1.870	1500	160.4	51.3	104.3	4.8	128
	A65-5	80	200	1.870	1500	160.4	48.1	104.3	8.0	128
Đất dưới (B)	B0	80	200	1.820	1500	164.8	164.8	0.0	0.0	132
	B65-3	80	200	1.820	1500	164.8	52.7	107.1	4.9	132
	B65-5	80	200	1.820	1500	164.8	49.5	107.1	8.2	132
Đất mặt (A2)	A2-0	80	200	1.890	1500	158.7	158.7	0.0	0.0	127
	A2-65-3	80	200	1.890	1500	158.7	50.8	103.2	4.8	127
	A2-65-5	80	200	1.890	1500	158.7	47.6	103.2	7.9	127
Đất mặt (C)	C0	80	200	1.610	1500	186.3	186.3	0.0	0.0	149
	C65-3	80	200	1.610	1500	186.3	59.6	121.1	5.6	149
	C65-5	80	200	1.610	1500	186.3	55.9	121.1	9.3	149
Ghi chú: Ký hiệu các cấp phối, ví dụ A65-3 là cấp phối đất A với chất kết dính chứa 65% GGBFS, 3% thạch cao và PC40 (=100-65-3=32%), hàm lượng chất kết dính (b)=200 kg/m ³ đất cho tất cả các cấp phối										

Bảng A.11 Kết quả thí nghiệm cường độ nén nở hông của các mẫu đất gia cố được bảo dưỡng trong các môi trường khác nhau

Loại đất	Ký hiệu mẫu	Thông số cấp phối				Cường độ nén mẫu bảo dưỡng 6 tháng trong môi trường khác nhau, MPa					
		W_{slag} (%)	W_{gyp} (%)	$t_{w/c}$ (%)	a_w (kg/m ³)	Tiêu chuẩn	Δ^1 , %	Nước máy	Δ^2 , %	Nước biển	Δ^2 , %
Đất mặt (A)	A0	0	0	80	200	2.17	0.0	2.00	-7.7	Nứt, vỡ	Nứt, vỡ
	A65-3	65	3	80	200	3.72	72.0	3.40	-8.8	3.20	-14.1
	A65-5	65	5	80	200	3.75	73.3	3.56	-5.0	3.00	-20.1
Đất dưới (B)	B0	0	0	80	200	2.95	0.0	2.48	-15.9	1.58	-46.3
	B65-3	65	3	80	200	6.75	129.1	6.15	-9.0	5.01	-25.8
	B65-5	65	5	80	200	6.33	114.6	6.04	-4.6	4.75	-24.9
	A2-0	0	0	80	200	0.85	0.0	0.71	-16.7	Nứt, vỡ	Nứt, vỡ

Loại đất	Ký hiệu mẫu	Thông số cấp phối				Cường độ nén mẫu bảo dưỡng 6 tháng trong môi trường khác nhau, MPa					
		W_{slag} (%)	W_{gyp} (%)	$t_{w/c}$ (%)	a_w (kg/m ³)	Tiêu chuẩn	Δ^1 , %	Nước máy	Δ^2 , %	Nước biển	Δ^2 , %
Đất mặt (A2)	A2-65-3	65	3	80	200	2.47	190.4	2.03	-18.0	1.51	-39.0
	A2-65-5	65	5	80	200	2.29	168.3	1.92	-16.1	1.47	-35.9
Đất mặt (C)	C0	0	0	80	200	1.83	0.0	1.59	-13.3	Nứt, vỡ	Nứt, vỡ
	C65-3	65	3	80	200	3.58	95.4	2.92	-18.4	2.46	-31.4
	C65-5	65	5	80	200	3.21	75.1	2.91	-9.4	2.49	-22.4
Chú thích: ¹⁾ Chênh lệch tính theo % so với mẫu đất gia cố với PC40 (mẫu “0”) ²⁾ Chênh lệch tính theo % so với mẫu đất gia cố cùng loại được bảo dưỡng tiêu chuẩn.											

Bảng A.12 Bảng cấp phối vật liệu nghiên cứu cho xác định tính năng của đất gia cố theo phương pháp gia cố nông toàn khối

Loại đất	Ký hiệu cấp phối	Cấp phối VLGC (% wt)			Tỷ lệ VLGC/đất		Khối lượng thể tích đất $D_{đất}, \text{kg/m}^3$	Cấp phối đất gia cố (kg)		Thành phần cấp phối hỗn hợp vữa VLGC (kg) gia cố cho mỗi 1500 kg đất			
					a% (tính theo %wt)	a _w (tính theo kg/m ³)							
		W _{PC40}	W _{GGBFS}	W _{TC}				W _{đất}	W _{vlgc}	W _{PC40}	W _{GGBFS}	W _{TC}	W _{nước}
A	A(3b)	30	65	5	3	56.1	1.870	1500	45.0	13.5	29.3	2.3	0.0
	A(5b)	30	65	5	5	93.5	1.870	1500	75.0	22.5	48.8	3.8	0.0
	A (5b-45S)	50	45	5	5	93.5	1.870	1500	75.0	37.5	33.8	3.8	0.0
	A(5b-0S)	100	0	0	5	93.5	1.870	1500	75.0	75.0	0.0	0.0	0.0
	A(8b)	30	65	5	8	149.6	1.870	1500	120.0	36.0	78.0	6.0	0.0
B	B(3b)	35	65	0	3	54.6	1.820	1500	45.0	15.8	29.3	0.0	0.0
	B(5b)	30	65	5	5	91.0	1.820	1500	75.0	22.5	48.8	3.8	0.0
	B(5b-45S)	50	45	5	5	91.0	1.820	1500	75.0	37.5	33.8	3.8	0.0
	B(5b-0S)	100	0	0	5	91.0	1.820	1500	75.0	75.0	0.0	0.0	0.0
	B(8b)	30	65	5	8	145.6	1.820	1500	120.0	36.0	78.0	6.0	0.0
C	C(3b)	100	0	0	3	48.3	1.610	1500	45.0	45.0	0.0	0.0	0.0
	C(5b)	30	65	5	5	80.5	1.610	1500	75.0	22.5	48.8	3.8	0.0
	C(5b-45S)	50	45	5	5	80.5	1.610	1500	75.0	37.5	33.8	3.8	0.0
	C(5b-0S)	100	0	0	5	80.5	1.610	1500	75.0	75.0	0.0	0.0	0.0
	C(8b)	30	65	5	8	128.8	1.610	1500	120.0	36.0	78.0	6.0	0.0

Bảng A.13 Kết quả thí nghiệm cường độ nén, ép chẻ, kháng nén lún CBR của đất gia cố theo phương pháp gia cố nông toàn khối

Loại đất	Ký hiệu cấp phối	Cường độ nén ở tuổi, MPa				Mô đun đàn hồi E50 tại 50% lực phá hủy mẫu ở tuổi, MPa				Tỷ số nén lún CBR (%) ở tuổi				Cường độ ép chẻ (MPa)	
		7d	Δ , %	28d	Δ , %	7d	Δ , %	28d	Δ , %	7d	Δ , %	28d	Δ , %	28d	Δ , %
Đất mặt (A)	A(3b)	0.70	-23.3	1.25	-14.2	68,9	-42,3	111,7	-27,6	14.5	-38.6	29.7	-18.9	0.24	-64.1
	A(5b)	1.54	68.5	2.94	101.4	140,2	17,3	219,2	42,2	34.3	45.3	74.1	102.5	0.82	21.2
	A (5b-45S)	1.93	111.0	3.02	106.8	188,2	57,5	255,7	65,9	38.6	63.6	68.3	86.6	0.87	28.2
	A(5b-0S)	0.91	0.0	1.46	0.0	119,5	0,0	154,1	0,0	23.6	0.0	36.6	0.0	0.68	0.0
	A(8b)	2.84	211.0	4.26	191.7	359,2	200,5	460,8	198,9	63.2	167.8	163.5	346.7	1.10	62.3
Đất dưới (B)	B(3b)	0.71	-10.6	1.27	-18.1	56,0	-11,8	100,6	-33,6	18.1	-15.8	32.3	-15.9	0.35	-40.2
	B(5b)	1.67	109.9	3.34	115.4	167,2	163,6	252,4	66,6	55.6	158.6	86.3	124.7	0.86	46.0
	B(5b-45S)	1.59	99.2	2.90	87.2	146,3	130,7	260,0	71,6	52.6	144.7	81.2	111.5	0.82	39.4
	B(5b-0S)	0.80	0.0	1.55	0.0	63,4	0,0	151,5	0,0	21.5	0.0	38.4	0.0	0.59	0.0
	B(8b)	3.59	350.7	5.43	250.1	336,2	430,1	439,5	190,0	144.9	574.0	222.9	480.5	1.17	99.5
Đất mặt (C)	C(3b)	0.26	-19.4	0.44	-1.8	29,7	-1,0	47,2	-4,1	8.7	-6.5	18.3	-13.3	0.07	-46.9
	C(5b)	0.44	37.5	0.72	62.8	41,7	39,0	78,8	60,0	13.5	45.2	34.9	65.4	0.11	-15.6
	C(5b-45S)	0.43	34.3	0.79	76.7	40,9	36,0	74,0	50,1	12.6	35.5	32.3	53.1	0.14	10.2
	C(5b-0S)	0.32	0.0	0.44	0.0	30,0	0,0	49,3	0,0	9.3	0.0	21.1	0.0	0.13	0.0
	B(8b)	0.75	135.5	1.02	129.3	70,7	135,3	107,5	118,3	34.9	275.3	48.3	128.9	0.22	70.1
Ghi chú (Note): Δ là giá trị chênh lệch so với mẫu gia cố bằng xi măng (mẫu A/B/C(5b-0)) tính theo điểm phần trăm															