Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng NUCE 2019. 13 (5V): 112–123

NGHIÊN CỨU CHỈ SỐ CBR CỦA ĐẤT BÙN LÒNG SÔNG ĐẦM CHẶT GIA CƯỜNG HỖN HỢP XI MĂNG – CÁT

Nguyễn Minh Đức[a,*], Lê Anh Thắng[a], Nguyễn Quang Khải[a]

[a]*Khoa Xây dựng, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh, 1 đường Võ Văn Ngân, quận Thủ Đức, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam*

Nhận ngày 06/08/2019, Sửa xong 10/10/2019, Chấp nhận đăng 10/10/2019

Tóm tắt

Nghiên cứu đề xuất giải pháp cải tạo đất bùn nạo vét lòng sông sử dụng xi măng và hỗn hợp xi măng cát kết hợp với phương pháp đầm chặt. Cường độ của mẫu thí nghiệm được kiểm nghiệm thông qua thí nghiệm xác định chỉ số California Bearing Ratio (CBR). Kết quả cho thấy đất sau khi đầm chặt với xi măng cho phép gia tăng chỉ số CBR từ 2,8 đến 3,8 lần so với đất chỉ được đầm chặt không gia cường. Hàm lượng xi măng càng tăng, cường độ của đất gia cường càng lớn. Khi gia cường bằng hỗn hợp xi măng cát, cường độ của đất bùn sét được gia tăng từ 3,6 đến 5,9 lần so với mẫu không gia cường. Nghiên cứu đề xuất hàm lượng xi măng và cát nhằm tối ưu cường độ và vật liệu cho đất bùn sét gia cường.

Từ khoá: đất lòng sông; gia cường; hỗn hợp xi măng cát; CBR; đầm chặt.

RESEARCH ON THE CALIFORNIA BEARING RATIO OF SOFT CLAY COMPACTED WITH CEMENT AND SAND MIXTURE

Abstract

The research proposed an improvement method using cement and cement-sand mixture to increase the bearing capacity of riverbed clay. The strength of reinforced specimens was evaluated by standard test method for California Bearing Ratio (CBR) of laboratory-compacted Soils. The results revealed that combining with compaction process, the cement reinforced specimens increased from 2.8 to 3.8 times compared to that of unreinforced specimens. The higher cement content, the higher CBR of reinforced specimens was obtained. The compacted clay reinforced by cement and sand mixture further improved its bearing capacity. In particular, the CBR value of cement-sand mixture reinforced clay was up to 3.6-5.9 times of the CBR of unreinforced clay. The optimum sand and cement content were also proposed to achieve the best performance of reinforced clay specimens.

Keywords: riverbed clay; reinforced; mixture of cement and sand; CBR; compaction.

https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(5V)-13 © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Hàng năm, quá trình nạo vét lòng sông nhằm đảm bảo lưu thông kênh rạch tại đồng bằng sông Cửu Long tạo ra một lượng bùn thải rất lớn. Bùn sét yếu từ quá trình nạo vét có khả năng chịu tải rất thấp, khả năng thoát nước rất kém, khó khăn trong ứng dụng làm đất nền móng công trình. Nhằm tận dụng lượng bùn thải này làm đất đắp cho nền, móng đường cho công trình giao thông và công trình kho bãi chứa cho công trình xây dựng dân dụng công nghiệp, bùn thải cần được cải thiện khả năng chịu tải, gia tăng độ đặc chắc, giảm khả năng nén lún.

*Tác giả chính. *Địa chỉ e-mail:* ducnm@hcmute.edu.vn (Đức, N. M.)

Phương pháp ổn định đất sử dụng hỗn hợp xi măng và cốt liệu đã được ứng dụng rộng rãi trong xây dựng dân dụng và công nghiệp. Cường độ và khả năng chịu tải của đất sét sau khi gia cường bằng hỗn hợp xi măng và cốt liệu được gia tăng đáng kể [1–6]. Phương pháp trộn xi măng với đất nhằm gia tăng cường độ của đất đã được áp dụng phổ biến trong các công trình sử dụng cọc xi măng đất [7–9]. Một số nghiên cứu cho thấy khả năng cải tạo đất bùn sét yếu là tốt khi đất bùn được trộn trực tiếp với chất kết dính vô cơ (xi măng, vôi bột, tro bay). Đất bùn sét sau khi cải tạo có thể được dùng để phục vụ một số công trình thủy lợi [5, 10–15]. Phương pháp gia cường này có điểm khác biệt đối với phương pháp cải tạo đất từ đầm chặt đó là kết hợp với vật liệu gia cường.

Đầm nén là một phương pháp gia tăng khả năng chịu lực của đất thông qua gia tăng độ chặt của đất nền, giảm độ rỗng của đất. Đất nền khi được kết hợp giữa đầm chặt với gia cường hỗn hợp xi măng sẽ càng gia tăng cường độ của đất sau khi xử lý. Độ ẩm và độ chặt là những điểm khác biệt giữa phương pháp trộn xi măng đất và phương pháp đầm chặt đất - xi măng. Đối với phương pháp trộn xi măng đất, độ ẩm của hỗn hợp cần phải đủ lớn nhằm (1) thủy hóa hoàn toàn của xi măng, (2) giảm lực ma sát cần trộn (đối với phương pháp trộn cơ học) và (3) dễ dàng trong thi công (đối với phương pháp jet grounting). Trong quá trình trộn, kết cấu đất sẽ bị phá hủy do đó kết cấu sau khi trộn vẫn có độ rỗng lớn. Đối với phương pháp đầm chặt đất - xi măng, lượng nước chỉ cần vừa đủ nhằm thủy hóa lượng xi măng trong đất. Độ ẩm trong hỗn hợp cần phù hợp và gần sát với độ ẩm tối ưu của đất, nhằm đảm bảo độ đầm chặt tối ưu của hỗn hợp. Bên cạnh đó, sau khi kết thúc quá trình đầm chặt, kết cấu đất vừa có độ chặt lớn lại có cường độ cao do sự liên kết các hạt đất và xi măng sau khi ninh kết.

Nhiều nghiên cứu ứng dụng đầm chặt xi măng – đất có hoặc không có cốt liệu. Nghiên cứu của Horpibulsuk và cs. [16] cho thấy xi măng sẽ giúp phủ đầy các lỗ rỗng có trong đất, kết hợp với quá trình đầm chặt để làm tăng độ chặt do các hạt đất trượt lên nhau dưới tác động của lực đầm chặt. Bên cạnh đó, nhiều nghiên cứu sử dụng hỗn hợp xi măng, tro xỉ để gia cường đất sét đầm chặt [17–19]. Kết quả nghiên cứu cho thấy hỗn hợp xi măng – tro xỉ với tỷ lệ phù hợp sẽ gia tăng đáng kể cường độ của đất sét yếu sau khi đầm chặt. Mousavi và Wong [20] nghiên cứu cường độ đất sét đầm chặt kết hợp với hỗn hợp xi măng, tro than bùn, và cát silic. Nghiên cứu đã tìm ra được tỷ lệ vật liệu tối ưu cho cường độ hỗn hợp sau khi đầm chặt. Nghiên cứu cũng cho thấy độ ẩm tối ưu của hỗn hợp là từ 18 – 21%, thu được từ thí nghiệm đầm Proctor tiêu chuẩn. Cường độ của đất sau khi cải tạo có thể tăng lên từ 2-3 lần so với đất đầm chặt. Các nghiên cứu [21, 22] đều khẳng định khả năng gia cường đất bùn sét sử dụng phương pháp đầm chặt kết hợp với xi măng và cốt liệu thô (cát silic hoặc đá núi lửa).

Thí nghiệm xác định chỉ số California Bearing Ratio đã được sử dụng rất phổ biến trên thế giới nhằm xác định cường độ, mô đun đàn hồi của nền, móng đường, từ đó thiết kế bề dày lớp áo đường. Nhiều nghiên cứu ứng dụng thí nghiệm này nhằm đánh giá cường độ của đất bùn sét gia cường [20, 23, 24]. Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu về khả năng gia cường hỗn hợp xi măng – cốt liệu cho đất sét đầm chặt, tuy nhiên, chưa có nhiều nghiên cứu ứng dụng thí nghiệm xác định chỉ số CBR nhằm khảo sát cường độ của của mẫu đất bùn sét nạo vét lòng sông đầm chặt được gia cường hỗn hợp xi măng - cát. Nghiên cứu sử dụng bùn sét nạo vét lòng sông Cái Lớn, tại tỉnh Kiên Giang được xử lý phơi khô, đầm chặt tại độ ẩm tối ưu, gia cường bằng xi măng và cát theo các tỷ lệ khác nhau. Nghiên cứu đề xuất tỷ lệ tối ưu các thành phần vật liệu, xác định khả năng gia tăng cường độ của đất bùn sét nạo vét. Nghiên cứu khảo sát khả năng ứng dụng đất bùn nạo vét làm đất đắp cho nền, móng đường công trình giao thông và công trình kho bãi dân dụng và công nghiệp.

2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

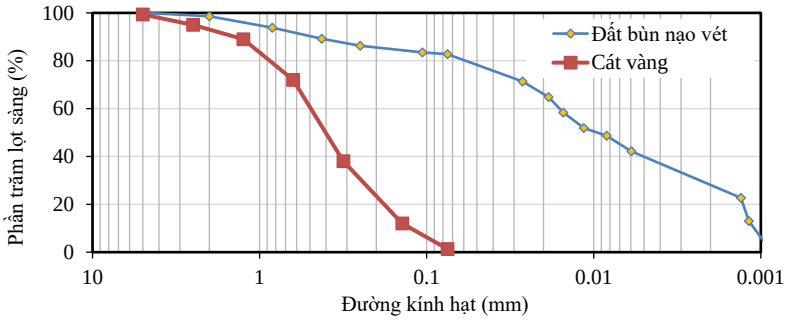
2.1. Vật liệu

a. Đất bùn sét lòng sông

Mẫu được lấy tại sông Cái Lớn, tỉnh Kiên Giang. Các chỉ tiêu cơ lý của đất được tổng hợp ở trong Bảng 1. Kết quả cho thấy đất bùn sét sau khi nạo vét lòng sông có độ ẩm rất lớn, độ rỗng ban đầu cao, dung trọng khô thấp, phản ánh đất bùn sét khi chưa xử lý có cường độ rất thấp, khả năng nén lún rất lớn, không thể áp dụng cho công tác san lấp mặt bằng. Phân bố thành phần hạt được thể hiện trong Hình 1, trong đó đất là đất bùn sét dẻo cao, OH-MH theo Unified Soil Classification System (USCS) của Mỹ.

Bảng 1. Chỉ tiêu cơ lý của đất

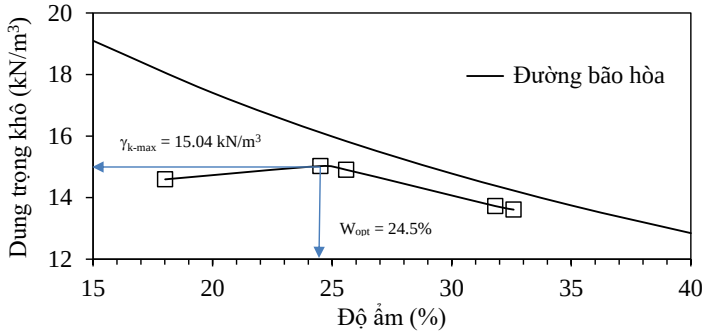
Mô tả	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Dung trọng tự nhiên	γ_{tn}	16,13	kN/m^3
Độ ẩm tự nhiên	w	55,4	%
Dung trọng khô	γ_k	10,4	kN/m^3
Hệ số rỗng ban đầu	e_0	1,55	
Dung trọng khô lớn nhất	$\gamma_{k-\max}$	15,04	kN/m^3
Độ ẩm tối ưu	OMC	24,5	%
Giới hạn dẻo	PL	44,9	%
Giới hạn chảy	LL	91,5	%
Chỉ số dẻo	PI	46,6	%
Độ bão hòa	Gs	2,75	
Loại đất theo USCS	OH-MH	Sét bùn dẻo cao	



Hình 1. Phân bố thành phần hạt đối với đất bùn nạo vét và cát vàng

Thí nghiệm đầm cải tiến xác định độ ẩm tối ưu và dung trọng khô của đất bùn sét sử dụng chày đầm 4,54 kg với chiều cao rơi là 457 mm. Mẫu thí nghiệm được đầm chặt bằng 5 lớp với 25 chày đầm/lớp tương đương với mức năng lượng đầm 1200 kJ/m^3. Đây là mức năng lượng trung bình trong 3 mức năng lượng đầm (bao gồm 10 chày/lớp; 25 chày/lớp và 56 chày/lớp) chuẩn bị mẫu cho thí nghiệm xác định chỉ số CBR theo mục 8.1.2 tiêu chuẩn ASTM D1883 [25]. Mức năng lượng nhỏ hơn mức năng lượng 2700 kJ/m^3 trong tiêu chuẩn ASTM D1883 [25] nhằm giảm bớt năng lượng đầm trong quá trình đầm cải tạo đất, từ đó dễ dàng hơn trong ứng dụng phương pháp gia cường ngoài thực tiễn hiện trường. Mức năng lượng đầm này cũng được lựa chọn trong nghiên cứu trước đó nhằm đánh

giá cường độ CBR của mẫu đất theo các mức năng lượng đầm khác nhau [26]. Kết quả thí nghiệm đầm cho thấy độ ẩm tối ưu của đất là 24,5% với dung trọng khô lớn nhất là 15,04 kN/m^3 (Hình 2).



Hình 2. Đường cong đầm chặt theo thí nghiệm đầm cải tiến 5 lớp đầm, với 25 chày đầm/lớp

b. Cát

Cát sử dụng là loại cát hạt lớn, màu vàng, dạng tròn nhẵn, ít tạp chất sét, hữu cơ. Cát có mô đun độ lớn là 1,94, loại cát được dùng rộng rãi làm cốt liệu trong hỗn hợp bê tông cốt thép. Chỉ tiêu cơ lý của cát được thể hiện trong Bảng 2. Phân bố thành phần hạt đối với mẫu cát vàng sử dụng trong thí nghiệm được thể hiện trong Hình 1.

Bảng 2. Chỉ tiêu cơ lý của cát

Đại lượng	Giá trị
D60 (mm)	0,463
D30 (mm)	0,250
D10 (mm)	0,128
Hệ số đồng đều, Cu	3,62
Hệ số cấp phối, Cc	1,05
Modun độ lớn	1,94
Loại đất theo USCS	Cát sạch cấp phối kém, SP

2.2. Phương pháp thí nghiệm

Tổng cộng có 10 mẫu thí nghiệm cho việc xác định chỉ số cường độ CBR. Quá trình thí nghiệm xác định chỉ số CBR đối với mẫu không gia cường và mẫu gia cường được thực hiện dựa trên tham khảo tiêu chuẩn ASTM D1883 [25]. Mẫu thí nghiệm được chế bị tại phòng thí nghiệm nhằm đảm bảo độ chính xác về độ ẩm, tỷ lệ trộn và độ đồng đều giữa các mẫu thí nghiệm. Các mẫu thí nghiệm được thay đổi về hàm lượng xi măng (0-300 kg/m^3 thể tích hỗn hợp) và hàm lượng cát (0-200 lít/m^3 thể tích hỗn hợp). Xi măng thường dùng là xi măng phổ thông, loại PCB40. Lượng xi măng trộn tương đương 7% ÷ 15% trọng lượng khô của đất cần gia cố. Tỷ lệ trộn này được chọn theo kết quả thí nghiệm [9] về đất sét nạo vét được gia cường xi măng. Trong đó, đất thí nghiệm được sử dụng cùng là loại đất bùn sét yếu sử dụng phương pháp trộn hỗn hợp cát – xi măng. Thành phần trộn các mẫu thí nghiệm được thể hiện trong Bảng 3, trong đó hàm lượng xi măng và cát là tính cho 1 m^3 hỗn hợp sau khi đã được đầm chặt.

Bảng 3. Hàm lượng thành phần phối trộn các mẫu thí nghiệm

Loại mẫu thí nghiệm	Xi măng (kg)	Tỷ lệ Xi măng/Đất (%)	Cát (lít)
Không gia cường	0	0,0	0
XM200	200	13,0	0
XM250	250	16,3	0
XM300	300	19,6	0
XM200-C100	200	14,0	100
XM250-C100	250	17,0	100
XM300-C100	300	20,4	100
XM200-C200	200	14,2	200
XM250-C200	250	17,7	200
XM300-C200	300	21,1	200

Từ tỷ lệ khối lượng xi măng/khối lượng đất khô, XM/Đất cho thấy tỷ lệ này tăng lên khi gia tăng hàm lượng cát trong hỗn hợp trộn. Bên cạnh đó, giá trị XM/Đất này lớn hơn giá trị XM/Đất = 7-15% được đề xuất bởi [9]. Tỷ lệ XM/Đất của nghiên cứu này gấp khoảng 1,4 lần tỷ lệ XM/Đất trong nghiên cứu trước. Điều này được giải thích do hàm lượng xi măng trong nghiên cứu [9] được tính theo thể tích hỗn hợp trộn không đầm. Giá trị 1,4 trùng với tỷ số thể tích hỗn hợp chưa đầm/thể tích hỗn đã đầm trung bình thu được từ thí nghiệm đầm hỗn hợp đất – xi măng – cát.

a. Chuẩn bị thí nghiệm

Đất bùn nạo vét được sấy khô ở nhiệt độ 60° nghiền nhỏ và trộn tại độ ẩm tối ưu, w = 24,5% (Bảng 1). Mẫu đất được dưỡng trong tủ dưỡng ẩm 24h nhằm đảm bảo độ ẩm được phân bố đều trong đất trước được sử dụng trong quá trình đầm mẫu. Cối có đường kính 15,24 cm với chiều cao 17,65 cm, đĩa đệm chiều cao 6,01 cm. Mẫu thí nghiệm được đầm thành 5 lớp đều nhau, mỗi lớp đầm bằng 25 chày, sử dụng chày cải tiến có khối lượng đầm 4,54 kg với chiều cao rơi là 457 mm. Mẫu sau khi hoàn thành quá trình đầm chặt được cân, kiểm tra dung trọng khô đảm bảo không sai khác so với dung trọng khô lớn nhất trong bảng 1 quá 1%. Mẫu không gia cường được thí nghiệm xác định chỉ số CBR ngay sau khi kết thúc quá trình đầm tạo mẫu.

Đối với đất gia cường, đất sau khi được dưỡng ẩm tại độ ẩm, w = 24,5%, được trộn với hỗn hợp xi măng, cát (nếu có) với tỷ lệ thể tích nước/khối lượng xi măng từ 0,4 đến 0,5. Tỷ lệ này được lựa chọn theo chỉ dẫn của nhà sản xuất đối với hỗn hợp bê tông B20 (mác 250) trở lên. Với tỷ lệ trộn này, trọng lượng riêng của vữa xi măng khoảng từ 18,5-18,9 kN/m^3 [27]. Trọng lượng riêng này xấp xỉ trọng lượng riêng của đất sau khi đầm chặt (18,6 kN/m^3) từ đó hỗn hợp trộn dễ dàng đảm bảo độ đồng đều.

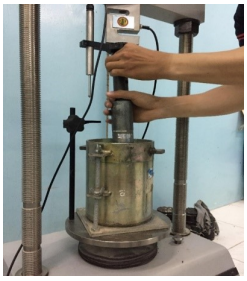
Dưới ảnh hưởng của xi măng, cát, độ ẩm tối ưu của hỗn hợp đất sét bị thay đổi so với độ ẩm tối ưu của đất sét ban đầu. Nghiên cứu [20] cho thấy độ ẩm tối ưu của hỗn hợp đất sét, cát, xi măng tăng lên khi gia tăng hàm lượng xi măng trong hỗn hợp. Nghiên cứu [21] cũng cho thấy cần thêm một lượng nước vào hỗn hợp (so với độ ẩm tối ưu của đất sét) nhằm đảm bảo quá trình thủy hóa xi măng. Do đó mẫu gia cường chưa được tạo ra tại độ ẩm tối ưu và dung trọng khô lớn nhất của hỗn hợp theo yêu cầu của tiêu chuẩn ASTM D1883 [25]. Tuy nhiên phương pháp chuẩn bị mẫu gia cường được đề xuất nhằm đơn giản hóa quá trình tạo mẫu và tương tự như như phương pháp tạo mẫu trong [21] trong đó gia tăng độ ẩm hỗn hợp đảm bảo lượng nước thêm vào đủ để thủy hóa hoàn toàn xi măng mẫu thí nghiệm.

Mẫu thí nghiệm gia cường xi măng – cát sau khi đầm chặt xong được bảo quản không bị mất nước trong điều kiện nhiệt độ phòng (khoảng 25°C) trong 7 ngày trước khi tiến hành thí nghiệm xác định chỉ số CBR. Cường độ của hỗn hợp xi măng đất sau 7 ngày khoảng từ 60-65% so với cường độ tại 28 ngày [9]. Đối với thi công đầm đất cho nền đường hoặc nền kho bãi, thông thường các lớp phía trên được thi công ngay sau khi kết thúc quá trình thi công đầm chặt. Thời gian dưỡng 7 ngày đảm bảo cường độ cao cho hỗn hợp, nhưng không làm gián đoạn quá dài thời gian thi công công trình.

b. Quá trình thí nghiệm

Máy thí nghiệm được đặt tốc độ dịch chuyển của chùy xuyên là 1,27 mm/phút (0,02 mm/giây) tuân theo tiêu chuẩn ASTM D1883 [25]. Trong quá trình thí nghiệm, dịch chuyển và lực nén của chùy xuyên được đo lần lượt bằng thiết bị đo chuyển vị Linear variable differential tranducer (LVDT) và thiết bị đo lực (Load cell) ghi liên tục vào máy tính theo thời gian thực. Thí nghiệm kết thúc khi chùy xuyên dịch chuyển 10 mm (Hình 3).

(a) Trước khi thí nghiệm



(b) Gá lắp mẫu trên thiết bị nén

(c) Sau khi thí nghiệm

Hình 3. Mẫu thí nghiệm CBR

c. Xác định và hiệu chỉnh chỉ số CBR

Do bề mặt lớp đất thí nghiệm không bằng phẳng tại điểm tiếp xúc giữa chùy xuyên và lớp đất, đường cong giữa áp lực nén và chiều sâu xuyên cần được điều chỉnh. Phương pháp điều chỉnh được quy định theo ASTM D1883 [25]. Giá trị CBR được xác định từ áp lực nén chùy xuyên sau khi chỉnh sửa tại 2,54 mm và 5,04 mm:

$$\mathrm{CBR}_1(\%) = \frac{P_1}{6900} \times 100 \tag{1}$$

$$\mathrm{CBR}_2(\%) = \frac{P_2}{10300} \times 100 \tag{2}$$

trong đó CBR_1 là giá trị CBR tính với chiều sâu ép lún 2,54 mm (0,1 in), (%); CBR_2 là giá trị CBR tính với chiều sâu ép lún 5,08 mm (0,2 in), (%); P_1 là áp lực nén trên mẫu thí nghiệm ứng với chiều sâu ép lún 2,54 mm, (kPa); P_2 là áp lực nén trên mẫu thí nghiệm ứng với chiều sâu ép lún 5,08 mm, (kPa); 6900 là áp lực nén tiêu chuẩn ứng với chiều sâu ép lún 2,54 mm, (kPa); 10300 là áp lực nén tiêu chuẩn ứng với chiều sâu ép lún 5,08 mm, (kPa); Kết quả giá trị CBR được lựa chọn bằng giá trị lớn hơn trong 2 chỉ số CBR_1 và CBR_2.

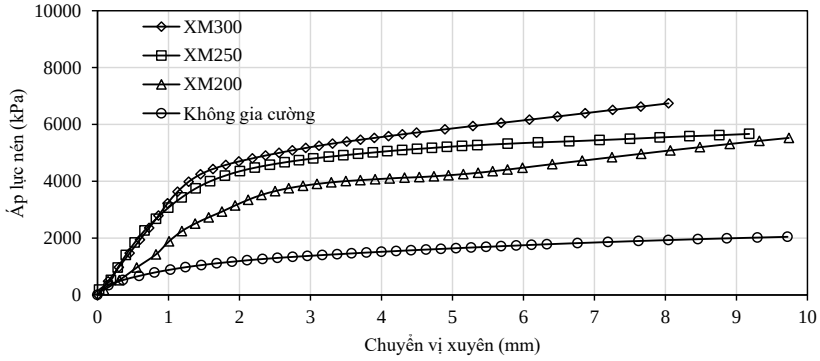
3. Kết quả thí nghiệm

Tương quan áp lực nén theo chiều sâu xuyên, kết quả giá trị CBR của các mẫu thí nghiệm được đánh giá và phân tích nhằm đưa ra khả năng gia tăng cường độ CBR của xi măng và hỗn hợp xi măng

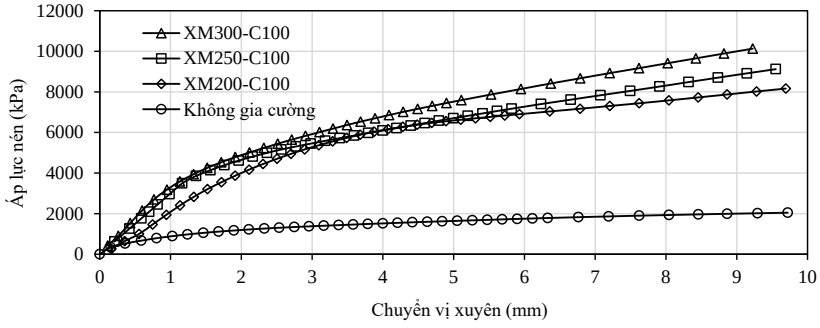
cát. Bên cạnh đó, ảnh hưởng của hàm lượng xi măng và hàm lượng cát đến cường độ của mẫu đất sét bùn gia cường cũng được đánh giá dựa theo kết quả chỉ số cường độ CBR từ thí nghiệm.

3.1. Tương quan áp lực nén theo chiều sâu xuyên và kết quả giá trị CBR

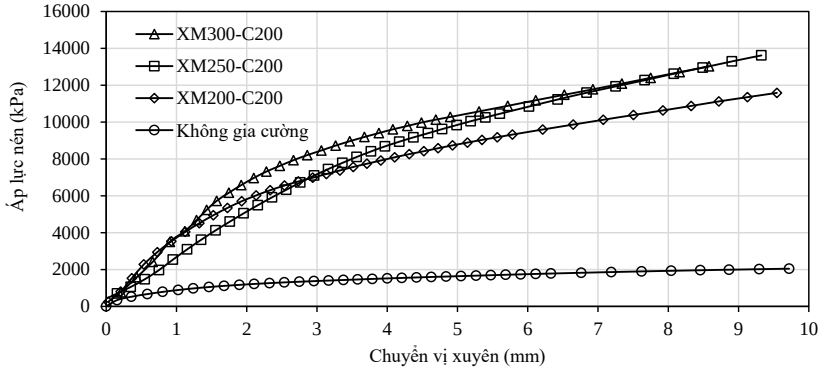
Kết quả thí nghiệm xác định chỉ số CBR đối với đất không gia cường cho thấy, mặc dù đã được đầm chặt, cường độ của đất sét là khá nhỏ (CBR = 18,9), không phù hợp làm nền các công trình dân dụng và công nghiệp. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu về đất bùn sét yếu tại đồng bằng sông Cửu Long [28].



(a) Mẫu gia cường xi măng không cát



(b) Mẫu gia cường xi măng với tỷ lệ 100 lít cát/1 m^3 hỗn hợp



(c) Mẫu gia cường xi măng với tỷ lệ 200 lít cát/1 m^3 hỗn hợp

Hình 4. Tương quan áp lực nén với chuyển vị xuyên của mẫu bùn đầm chặt không gia cường

Tương quan áp lực nén theo chiều sâu xuyên của các mẫu thí nghiệm được thể hiện trên Hình 4. Kết quả cho thấy xi măng và hỗn hợp xi măng cát gia tăng đáng kể áp lực nén của chùy xuyên so với mẫu không gia cường. Các biểu đồ đều cho thấy khi tăng hàm lượng xi măng trong hỗn hợp từ 0-300 kg/m^3, cường độ của mẫu tăng lên. Kết quả này phù hợp với thực tế, do xi măng sau khi thủy hóa sẽ tạo liên kết giữa các hạt đất và hạt cát (nếu có) chặt chẽ hơn, từ đó gia tăng khả năng chịu tải cho đất gia cường. Hàm lượng xi măng càng cao (0-300 kg/m^3), các liên kết giữa xi măng và các hạt đất được tạo ra càng nhiều, từ đó càng gia tăng khả năng chịu tải của mẫu đất được gia cường. So sánh cường độ của mẫu gia cường xi măng có và không có cát cho thấy cát gia tăng đáng kể cường độ của đất sét gia cường. Kết quả này phù hợp nhiều nghiên cứu trước [5, 7–12].

Giá trị chỉ số CBR_1, CBR_2 và CBR của 10 loại mẫu thí nghiệm được thể hiện trong Bảng 4. Kết quả cho thấy, hầu hết mẫu thí nghiệm đều có các giá trị CBR_1 lớn hơn giá trị CBR_2. Kết quả này phù hợp với tương quan CBR_1 và CBR_2 khuyến nghị từ ASTM D1883 [25]. Tại mẫu XM250-C200 có $CBR_2 > CBR_1$. Kết quả này đã được kiểm nghiệm lại bằng một thí nghiệm lặp lại, đảm bảo độ tin cậy của số liệu thí nghiệm.

Dựa theo kết quả chỉ số cường độ CBR trong Bảng 4 cho thấy, khi gia cường với hàm lượng xi măng từ 200-300 kg/m^3, chỉ số CBR của đất gia cường đạt 53,2-67,6%. Giá trị CBR này tương đương với chỉ số CBR trung bình của đất sỏi sạn có hoặc không lẫn hạt bụi GP, GM theo hệ thống phân loại đất thống nhất (Unified Soil Classification, USCS) của Hoa Kỳ. Đối với đất bùn sét sau khi gia cường hỗn hợp xi măng (200-300 kg/m^3) và cát (100-200 lít/m^3) đã cho chỉ số cường độ CBR của mẫu từ 68,8-112,1%. Chỉ số CBR này tương đương với đất sỏi cấp phối tốt, GW được đầm chặt hoặc đá nghiền cấp phối tốt đầm chặt [29].

Nhằm đánh giá khả năng gia tăng chỉ số CBR từ biện pháp gia cường xi măng và hỗn hợp xi măng cát, tỷ số gia tăng cường độ, R được xác định bằng tỷ số của chỉ số CBR mẫu gia cường chia cho tỷ số mẫu CBR không gia cường.

$$R = \frac{\mathrm{CBR}_{gia_cuong}}{\mathrm{CBR}_{khong_gia_cuong}} \tag{3}$$

Kết quả cho thấy cường độ của đất gia cường tăng tối đa xấp xỉ 6 lần cường độ đất sét bùn sau khi đầm chặt, đối với các mẫu thí nghiệm.

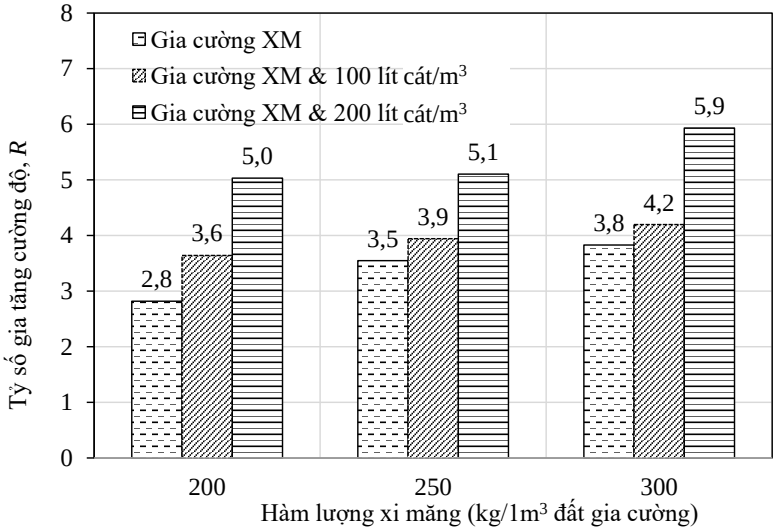
Bảng 4. Kết quả giá trị chỉ số CBR của các mẫu thí nghiệm

Mẫu	P_1 (kPa)	P_2 (kPa)	CBR_1 (%)	CBR_2 (%)	CBR (%)	R
Không gia cường	1303,6	1647,8	18,9	16,0	18,9	1,00
XM200	3673,3	5232,6	53,2	50,8	53,2	2,82
XM250	4495,1	5892,5	65,1	57,2	65,1	3,55
XM300	4665,2	5232,6	67,6	50,8	67,6	3,83
XM200-C100	4746,4	6619,9	68,8	64,3	68,8	3,64
XM250-C100	4990,4	5882,1	72,3	57,1	72,3	3,94
XM300-C100	5471,1	5892,5	79,3	57,2	79,3	4,20
XM200-C200	6559,6	8844,3	95,1	85,9	95,1	5,03
XM250-C200	6279,9	9933,2	91,0	96,4	96,4	5,10
XM300-C200	7733,8	9933,2	112,1	96,4	112,1	5,93

3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng xi măng và cát đến chỉ số cường độ CBR mẫu gia cường

Tương quan tỷ số gia tăng cường độ, R theo hàm lượng xi măng của các trường hợp gia cường xi măng có và không có cát được thể hiện trong Hình 5. Kết quả cho thấy gia tăng hàm lượng xi măng

trong mẫu thí nghiệm sẽ làm gia tăng tỷ số gia tăng cường độ. Kết quả này tương đồng với nhiều nghiên cứu về hỗn hợp đất bùn gia cường xi măng ([5, 7–12]). Như đã nhận xét ở trên, khi hàm lượng xi măng tăng lên, lượng liên kết giữa hạt đất và xi măng sau khi thủy hóa hoàn toàn tăng lên, từ đó gia tăng cường độ của đất gia cường.



Hình 5. Tương quan tỷ số gia tăng cường độ *R* theo hàm lượng xi măng và cát trong mẫu đất gia cường

Tuy nhiên, độ gia tăng cường độ là khác nhau khi gia tăng hàm lượng xi măng. Khi hàm lượng xi măng tăng từ 200 kg/m^3 lên 250 kg/m^3, tỷ số gia tăng cường độ đối với đất gia cường xi măng tăng đột biến, từ 2,8 lên 3,5. Kết quả với hàm lượng xi măng 200 kg/m^3 (tương đương 10,7% về khối lượng với trọng lượng riêng hỗn hợp sau khi đầm chặt, 18,6 kN/m^3) này phù hợp với kết quả thí nghiệm đất sét đầm chặt với xi măng đề xuất bởi [21] trong đó cường độ nén 1 trục gia tăng 2,7 lần khi trộn với 10% xi măng về khối lượng. Với hàm lượng nhỏ hơn (8%), cường độ CBR chỉ tăng lên khoảng 1,7 lần [20].

Khi tiếp tục tăng hàm lượng xi măng lên 300 kg/m^3, tỷ số *R* chỉ gia tăng 1 khoảng nhỏ, *R* = 3,8. Như vậy khi khảo sát hàm lượng xi măng từ 200-300 kg/m^3 cho thấy đối với hỗn hợp gia cường đất – xi măng, hàm lượng xi măng chỉ cần khoảng 250 kg/m^3, nhằm tối ưu chi phí xi măng, thì vẫn đảm cường độ của mẫu gia cường đất bùn sét – xi măng.

Đối với mẫu đất sét bùn gia cường hỗn hợp xi măng cát, chỉ số cường độ CBR vượt trội so với mẫu sét bùn gia cường xi măng. Khi đất được trộn và đầm chặt với hỗn hợp xi măng cát, quá trình thủy hóa xi măng sẽ tạo liên kết cát – hạt đất bùn và xi măng. Cát gia tăng khả năng chống cắt, tạo ma sát giữa các hạt đất đối với đất sét được gia cường cát [16]. Khi có sự tham gia của xi măng với vai trò là chất kết dính, tạo liên kết chặt chẽ giữa cát – hạt đất và xi măng, cường độ của đất sét gia cường xi măng – cát gia tăng thêm nhiều lần nữa.

Khảo sát ảnh hưởng hàm lượng cát cho thấy cùng một hàm lượng xi măng, hàm lượng cát càng cao, càng gia tăng cường độ của mẫu. Khi tăng hàm lượng cát lên mức 100-200 lít/m^3, cường độ CBR của mẫu tăng độ biến, lớn hơn gấp 3,6-5,9 lần mẫu không gia cường. Đối với các mẫu có hàm lượng cát 200 lít/m^3, khi tăng hàm lượng xi măng từ 200 kg/m^3 lên 300 kg/m^3, tỷ lệ gia tăng cường độ chỉ tăng lên từ 5 lần lên xấp xỉ 6 lần. Do đó, để tối ưu lượng xi măng sử dụng, nhưng vẫn đảm bảo cường độ cao của đất gia cường, nghiên cứu đề xuất lượng cát 200 lít/m^3 kèm theo lượng xi măng 200 kg/m^3

đối với đất bùn sét gia cường hỗn hợp xi măng cát (tương đương lần lượt là 10,7% và 19,3% theo khối lượng hỗn hợp đầm chặt trong đó trọng lượng riêng hỗn hợp đầm chặt bằng 18,6 kN/m^3). Kết quả phù hợp với nghiên cứu [22] trong đó đề xuất hàm lượng theo khối lượng xi măng và cát thô lần lượt là 9% và 20% cho cường độ tối ưu đối với hỗn hợp đầm chặt đất sét, xi măng và cát thô. Cường độ CBR hỗn hợp khi đó tăng lên 8,8 lần [22]. Sự sai khác này có thể do sự sai khác về vật liệu và điều kiện đầm chặt giữa các thí nghiệm.

4. Kết luận

Nghiên cứu gia cường cải tạo khả năng chịu lực của đất bùn nạo vét sông Cái Lớn, tỉnh Kiên Giang bằng phương pháp đầm chặt hỗn hợp cát vàng hạt to và xi măng Portland PC40 và đất bùn. Thí nghiệm xác định chỉ số cường độ CBR được áp dụng nhằm kiểm nghiệm khả năng chịu tải của đất bùn trước và sau khi gia cường. Kết quả nghiên cứu cho thấy với hàm lượng xi măng khảo sát từ 200-300 kg/m^3 và hàm lượng cát từ 100-200 lít/m^3, hỗn hợp sau khi được đầm chặt với mức năng lượng đầm 1200 kJ/m^3 và 7 ngày thủy hóa và ninh kết xi măng trong kết cấu đất, mẫu gia cường xi măng và hỗn hợp xi măng cát gia tăng cường độ từ 2,8-5,9 lần so với đất sét đầm chặt không gia cường. Kết quả cho thấy mặc dù mẫu gia cường chưa được đầm chặt tại độ ẩm tối ưu và dung trọng khô lớn nhất, đất sét sau khi gia cường bằng xi măng - cát tương đương vật liệu sỏi hoặc đá nghiền đầm chặt. Một số kết quả cụ thể như sau:

- Hàm lượng xi măng trong mẫu tăng lên làm gia tăng chỉ số cường độ CBR của mẫu gia cường. Do khi lượng xi măng tăng lên, làm gia tăng các liên kết giữa các hạt đất và cát trong mẫu gia cường, từ đó gia tăng cường độ mẫu đất.

- Đối với mẫu đất bùn sét gia cường đất – xi măng, lượng xi măng tối ưu đề xuất là 250 kg/m^3 đất gia cường. Với hàm lượng xi măng đề xuất, cường độ đất sau khi cải tạo được tăng lên 3,5 lần so với đất bùn sét sau khi đầm chặt.

- Đối với mẫu đất bùn sét gia cường hỗn hợp xi măng – cát, các hạt cát khi kết hợp với đất và xi măng gia tăng đáng kể chỉ số cường độ CBR so với mẫu đất gia cường xi măng không cát. Hàm lượng cát càng cao, càng gia tăng cường độ của đất bùn sau khi xử lý gia cường. Trong giới hạn số lượng thí nghiệm, nghiên cứu đề xuất tỷ lệ hàm lượng cát là 200 lít/m^3 kết hợp với hàm lượng xi măng thấp nhất, 200 kg/m^3 nhằm gia tăng 5 lần chỉ số cường độ CBR của đất gia cường xi măng – cát so với chỉ số cường độ CBR của đất bùn đầm chặt tại độ ẩm tối ưu.

Nghiên cứu còn nhiều hạn chế về số lượng mẫu thí nghiệm, khoảng hàm lượng cát, hàm lượng xi măng, đồng thời thiếu các điều kiện làm việc của đất (ví dụ như điều kiện đất bị bão hòa trong quá trình làm việc). Nghiên cứu cũng chưa làm rõ ảnh hưởng của cát và hỗn hợp nước xi măng đến ứng xử đầm nén của hỗn hợp đất sét gia cường. Ngoài ra, những phân tích ảnh hưởng tính chất cơ lý của cát (kích thước, cấp phối thành phần hạt, khả năng chịu cắt, . . .) đến cường độ của hỗn hợp chưa được xem xét. Cuối cùng, kết quả thí nghiệm dựa trên những điều kiện trong phòng thí nghiệm. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu cho thấy phương pháp đầm chặt kết hợp với hỗn hợp xi măng cát gia tăng rất lớn cường độ chịu lực của đất bùn. Phương pháp gia cường đề xuất giúp tăng thêm sự lựa chọn biện pháp xử lý nền, móng đường cho các công trình giao thông và nền kho bãi cho công trình dân dụng, công nghiệp.

Lời cảm ơn

Tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính và thiết bị của trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM.

Tài liệu tham khảo

[1] Terashi, M., Tanaka, H., Okumura, T. (1979). Engineering properties of lime-treated marine soils and DMM. *Proc. of the 6th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 191–194.

[2] Kawasaki, T., Niina, A., Saitoh, S., Suzuki, Y., Honjo, Y. (1981). Deep mixing method using cement hardening agent. *Proceedings of the 10th international conference on soil mechanics and foundation engineering*, 3:721–724.

[3] Clough, G. W., Sitar, N., Bachus, R. C., Rad, N. S. (1981). Cemented sands under static loading. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 107(GT6):799–817.

[4] Kamon, M., Bergado, D. T. (1992). Ground improvement techniques. *Proc. of the 9th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 526–546.

[5] Yin, J. H., Lai, C. K. (1998). Strength and stiffness of Hong Kong marine deposits mixed with cement. *Geotechnical Engineering*, 29(1):29–44.

[6] Çokça, E., Tilgen, H. P. (2010). Shear strength-suction relationship of compacted Ankara clay. *Applied Clay Science*, 49(4):400–404.

[7] Sang, H. N. (2005). Xử lý nền đất yếu bằng phương pháp cọc đất xi măng kết hợp gia tải nén trước. *Tạp chí phát triển công nghệ Đại Học Quốc Gia Thành TP.HCM*.

[8] Trung, N. V., Tuấn, V. M. (2014). *Cọc đất xi măng phương pháp gia cố nền đất yếu*. Nhà xuất bản Xây dựng.

[9] Yên, Đ. P., Thắng, L. A., Hùng, N. S. (2017). Nghiên cứu thêm cát vào cọc đất – xi măng cải thiện nền đất yếu. *Tạp chí Xây dựng*.

[10] Dũng, N. Q. (2015). *Nghiên cứu giải pháp công nghệ xử lý nền đất yếu bằng thiết bị trộn đất tại chỗ với chất kết dính vô cơ phục vụ xây dựng công trình thủy lợi*. Viện khoa học thủy lợi.

[11] Wang, D., Abriak, N. E., Zentar, R. (2013). Strength and deformation properties of Dunkirk marine sediments solidified with cement, lime and fly ash. *Engineering Geology*, 166:90–99.

[12] Valls, S., Vazquez, E. (2000). Stabilisation and solidification of sewage sludges with Portland cement. *Cement and Concrete Research*, 30(10):1671–1678.

[13] Silitonga, E., Levacher, D., Mezazigh, S. (2009). Effects of the use of fly ash as a binder on the mechanical behaviour of treated dredged sediments. *Environmental technology*, 30(8):799–807.

[14] Miqueleiz, L., Ramírez, F., Seco, A., Nidzam, R. M., Kinuthia, J. M., Tair, A. A., Garcia, R. (2012). The use of stabilised Spanish clay soil for sustainable construction materials. *Engineering Geology*, 133:9–15.

[15] Zentar, R., Wang, D., Abriak, N. E., Benzerzour, M., Chen, W. (2012). Utilization of siliceous–aluminous fly ash and cement for solidification of marine sediments. *Construction and Building Materials*, 35: 856–863.

[16] Horpibulsuk, S., Rachan, R., Chinkulkijniwat, A., Raksachon, Y., Suddeepong, A. (2010). Analysis of strength development in cement-stabilized silty clay from microstructural considerations. *Construction and Building Materials*, 24(10):2011–2021.

[17] Horpibulsuk, S., Phojan, W., Suddeepong, A., Chinkulkijniwat, A., Liu, M. D. (2012). Strength development in blended cement admixed saline clay. *Applied Clay Science*, 55:44–52.

[18] Kaniraj, S. R., Havanagi, V. G. (1999). Compressive strength of cement stabilized fly ash-soil mixtures. *Cement and Concrete Research*, 29(5):673–677.

[19] Bin-Shafique, S., Rahman, K., Yaykiran, M., Azfar, I. (2010). The long-term performance of two fly ash stabilized fine-grained soil subbases. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(10):666–672.

[20] Mousavi, S., Wong, L. S. (2015). Mechanical behavior of compacted and stabilized clay with kaolin and cement. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 9(4):477–486.

[21] Bahar, R., Benazzoug, M., Kenai, S. (2004). Performance of compacted cement-stabilised soil. *Cement and Concrete Composites*, 26(7):811–820.

[22] Goodary, R., Lecomte-Nana, G. L., Petit, C., Smith, D. S. (2012). Investigation of the strength development in cement-stabilised soils of volcanic origin. *Construction and Building Materials*, 28(1):592–598.

[23] Koerner, R. M., Narejo, D. (1995). Bearing capacity of hydrated geosynthetic clay liners. *Journal of Geotechnical Engineering*, 121(1):82–85.

[24] Moghaddas-Nejad, F., Small, J. C. (1996). Effect of geogrid reinforcement in model track tests on pavements. *Journal of Transportation Engineering*, 122(6):468–474.

[25] ASTM D1883. *Standard test method for california bearing ratio (CBR) of laboratory-compacted soils*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.

[26] Farook, A. S. A. C. (2018). Role of compaction energy on dry density and CBR. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5(3):1848–1852.

[27] Chinh, N. H., Nam, T. H., Quân, L. V. (2016). *Điều chỉnh tỷ trọng vữa xi măng và sử dụng vữa xi măng nặng để bơm trám các giếng khoan ở bể Nam Côn Sơn*. Khoa học dầu khí, Tập đoàn dầu khí quốc gia Việt Nam, truy cập 30/08/2019.

[28] Tám, M. D. (2012). Những vấn đề cần thiết khi thực hiện nghiên cứu theo hướng chuyên khảo về lý luận và thực nghiệm trên đất sét yếu bão hòa nước của các khu vực đất yếu ở TP. Hồ Chí Minh và vùng châu thổ sông mê kông phần cực Nam nước ta. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD) - ĐHXD*, 6(2):99–102.

[29] Mukabi, J. N. (2014). Necessity for review of resilient properties and conventional resilient modulus models of characterizing pavement materials for MEPD. *Electronic Print, Academia*.