

Nghiên cứu chế tạo cát nhân tạo từ bùn không độc hại nạo vét trong TP Hà Nội - Đặc tính kháng cắt

Study on the production of artificial sand from non-hazardous dredged sludge in Hanoi City - Shear strength characteristics

> THS PHẠM TRI THỨC¹, PGS.TS PHAN HUY ĐÔNG², THS PHAN VĂN BA¹, KS TRẦN THANH TÙNG³

¹Bộ môn Kỹ thuật Xây dựng, Khoa Doanh trại, Học viện Hậu cần

²Bộ môn Cơ đất - Nền móng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

³Tổng Công ty tư vấn xây dựng Việt Nam - CTCP

TÓM TẮT

Từ kết quả thí nghiệm nén ba trục theo sơ đồ cố kết, thoát nước, bài báo đã trình bày đặc tính kháng cắt của vật liệu đắp dạng hạt chế tạo từ bùn nạo vét trong TP Hà Nội (Granular Fill Material: GFM). Trong các thí nghiệm vật liệu GFM được chế tạo từ cùng một loại bùn (B), xi măng (X) và polymer (P) ở cùng một điều kiện, theo cùng một quy trình chế bị trong phòng thí nghiệm. Các kết quả nghiên cứu cho thấy khả năng chống cắt của vật liệu GFM tăng theo hàm lượng xi măng; ở cùng một mức biến dạng, ứng suất và biến dạng tăng theo cấp áp lực; khi cấp áp lực nhỏ, mẫu có hiện tượng nở, tăng thể tích, hiện tượng này giảm dần và dừng hoàn toàn khi tăng dần cấp áp lực hông. Tại khoảng thời gian đầu của quá trình cắt, khi biến dạng còn nhỏ, hệ số ứng suất giảm mạnh khi biến dạng tăng, tuy nhiên, ngay sau đó hệ số ứng suất tăng tỷ lệ thuận với biến dạng cho đến khi mẫu phá hoại. Vật liệu GFM có góc ma sát trong $\varphi' \cong (35^\circ \div 38^\circ)$ tỷ lệ thuận với hàm lượng xi măng, là vật liệu rời nhưng lực dính có giá trị khá lớn $c' \cong (15 \div 38)$ kPa cho thấy vật liệu GFM có sự khác biệt so với cát tự nhiên.

Từ khóa: Cát nhân tạo; vật liệu đắp dạng hạt (GFM); đặc tính kháng cắt.

ABSTRACTS

Based on the results of triaxial compression tests under consolidated drained conditions, this paper presents the shear strength characteristics of granular fill material (GFM) produced from dredged sediment in Hanoi City. The GFM material in the experiments was prepared from the same type of sediment (B), cement (X), and polymer (P) under the same conditions and following the same laboratory preparation procedure. The research results show that the shear strength of the GFM material increases with the cement content; at the same strain level, the stress and strain increase with the confining pressure; at low confining pressures, the sample exhibits dilatancy and increases in volume, which gradually decreases and stops completely with increasing confining pressure. At the initial stage of the shearing process, when the strain is still small, the stress ratio decreases sharply with increasing strain, however, immediately after that, the stress ratio increases proportionally with the strain until the sample fails.

The GFM material has an internal friction angle of $\varphi' = 35^\circ \div 38^\circ$ which is directly proportional to the cement content. Although it is a granular material, the GFM material has a relatively high cohesion value of $c' = (15 \div 38)$ kPa, indicating that it differs from natural sand.

Keywords: Artificial sand; granular fill material (GFM); shear strength characteristics.

1. GIỚI THIỆU

Bài báo là phần tiếp nối nội dung đã được trình bày trong các bài đã đăng tại Tạp chí Xây dựng số 02 và số 03/2024, Tạp chí Địa kỹ thuật số 4/2023 và số 1/2024 [1], [2], [3], [4]. Các kết quả nghiên cứu đã được công bố của tác giả cho thấy rằng có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến cường độ của vật liệu GFM như: phương pháp trộn, thời gian bảo dưỡng, hàm lượng xi măng và polymer. Cường độ các mẫu

GFM tăng tỷ lệ thuận với hàm lượng xi măng, cường độ phát triển mạnh nhất trong 7 ngày đầu tiên do đây là khoảng thời gian xi măng thủy hóa mạnh nhất. Với cùng một tỷ lệ trộn, phương pháp trộn (bùn + xi măng) trước, trộn polymer sau thì hiệu quả về mặt cải thiện cường độ tốt hơn các phương pháp trộn khác. Khi hàm lượng xi măng từ 15% đến 20% thì cường độ mẫu tăng mạnh và nhanh chóng bị phá hoại trong khi biến dạng rất nhỏ. Tuy nhiên khi sử

dụng hàm lượng nghèo phụ gia xi măng từ 5% đến 10% thì quan hệ giữa cường độ và biến dạng của mẫu phù hợp với sự làm việc của đất khi chịu tác dụng của tải trọng. Đồng thời khi hàm lượng nghèo phụ gia xi măng từ 5% đến 10% cho giá trị cường độ khá cao từ 170,88 (kPa) đến 262,05 (kPa), đáp ứng tốt yêu cầu của vật liệu san lấp. Trong khi đó, polymer có chức năng chính là tạo hạt, do vậy với hàm lượng nghèo phụ gia thì polymer không có ảnh hưởng đáng kể đến cường độ của mẫu GFM. Hàm lượng polymer từ 0,1% đến 0,3% là phù hợp cho tái chế, đảm bảo yêu cầu kỹ thuật của vật liệu đắp và giảm giá thành trong sản xuất chế tạo vật liệu GFM [4].

Do vậy, trong bài báo này vật liệu GFM được chế tạo từ bùn nạo vét với hàm lượng nghèo phụ gia, xi măng $X=(5; 7; 10)\%$, polymer $P=(0,1; 0,2; 0,3)\%$, tác giả thực hiện thí nghiệm ba trục theo sơ đồ cố kết, thoát nước để đánh giá đặc tính kháng cắt của vật liệu GFM dưới tác dụng của tải trọng dài hạn, làm cơ sở định hướng phạm vi ứng dụng của vật liệu GFM khi sử dụng làm vật liệu san lấp, đắp nền cho từng công trình cụ thể.

Bảng 1. Thành phần cấp phối các mẫu GFM

Ký hiệu mẫu	Hàm lượng bùn ướt, B (%)	Khối lượng bùn ướt, B (m ³)	Hàm lượng xi măng so với bùn ướt, X (%)	Khối lượng xi măng trong 1 m ³ bùn ướt, X (kg)	Hàm lượng polymer so với bùn ướt, P (%)	Khối lượng polymer trong 1 m ³ bùn ướt, P (kg)
GFM1	100	1	5	68	0,1	1,36
GFM2	100	1	5	68	0,2	2,72
GFM3	100	1	5	68	0,3	4,1
GFM4	100	1	7	95	0,1	1,36
GFM5	100	1	7	95	0,2	2,72
GFM6	100	1	7	95	0,3	4,1
GFM7	100	1	10	136	0,1	1,36
GFM8	100	1	10	136	0,2	2,72
GFM9	100	1	10	136	0,3	4,1

Tiến hành xác định các đặc trưng vật lý cơ bản của các mẫu GFM trong phòng thí nghiệm, phương pháp thí nghiệm được xác định theo các tiêu chuẩn hiện hành như Bảng 2. Kết quả một số đặc tính vật lý cơ bản của vật liệu GFM được trình bày trong Bảng 3 và Hình 2.

Bảng 2. Phương pháp xác định các chỉ tiêu vật lý vật liệu GFM

TT	Tên chỉ tiêu phân tích	Phương pháp thử
01	Độ ẩm	TCVN 4196:2012
02	Khối lượng riêng	TCVN 4195:2012
03	Khối lượng thể tích	TCVN 4202:2012
04	Hệ số rỗng	TCVN 4202:2012
05	Thành phần hạt	TCVN 4198:2014

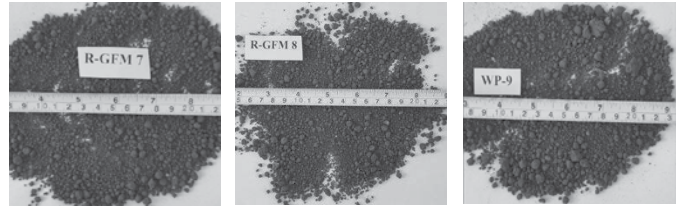
Bảng 3. Một số đặc tính vật lý cơ bản của vật liệu GFM sau khi bảo dưỡng ở 28 ngày

Số hiệu mẫu	Các mẫu vật liệu GFM								
	GFM 1	GFM 2	GFM 3	GFM 4	GFM 5	GFM 6	GFM 7	GFM 8	GFM 9
Chi tiêu vật lý									
Độ ẩm, W (%)	57,2	54,1	55,1	50,2	57,5	50,4	58,0	49,8	55,9
Khối lượng thể tích, γ (g/cm ³)	1,62	1,65	1,64	1,67	1,63	1,67	1,63	1,65	1,63
Khối lượng thể tích khô, γ_c (g/cm ³)	1,04	1,03	1,03	1,02	1,00	1,00	0,98	0,95	0,97
Tỷ trọng hạt, Δ	2,59	2,60	2,61	2,56	2,58	2,57	2,58	2,60	2,62
Hệ số rỗng trạng thái chặt nhất, e_{min}	1,39	1,38	1,38	1,33	1,34	1,32	1,30	1,32	1,33
Hệ số rỗng trạng thái xốp nhất, e_{max}	3,0	2,93	2,88	2,80	2,83	2,80	2,82	2,84	2,87

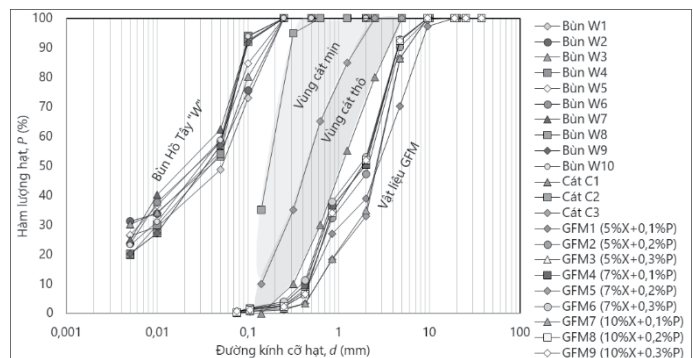
2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

2.1. Vật liệu

Các mẫu được chế tạo trong phòng thí nghiệm từ cùng một loại bùn ở một số sông, hồ trong TP Hà Nội, kết hợp với xi măng và polymer. Sản phẩm sau chế tạo là các mẫu được ký hiệu từ GFM1 đến GFM9 có dạng hạt rời như Hình 1. Các mẫu GFM có tỷ lệ cấp phối B:X:P được trình bày trong Bảng 1.



Hình 1. Các mẫu cấp phối khác nhau của vật liệu GFM ở t = 28 ngày



Hình 2. Biểu đồ thành phần hạt của bùn tự nhiên, cát tự nhiên và vật liệu GFM

Bảng 4 thể hiện đặc tính đầm chặt của vật liệu GFM đã được trình bày trong báo cáo [1], là căn cứ để chế bị các mẫu thí nghiệm ba trục ở cùng độ chặt.

Bảng 4. Đặc tính đầm chặt của vật liệu GFM [1]

Số hiệu mẫu	Các mẫu vật liệu GFM								
	GFM 1	GFM 2	GFM 3	GFM 4	GFM 5	GFM 6	GFM 7	GFM 8	GFM 9
Chi tiêu vật lý									
Độ ẩm tốt nhất, W_{otp} (%)	28,5	28,9	30,5	28,9	25	24,6	25,4	24,5	25
Khối lượng thể tích khô lớn nhất, γ_{cmax} (g/cm ³)	1,345	1,345	1,315	1,345	1,382	1,367	1,375	1,395	1,367

2.2. Phương pháp thí nghiệm

* Chế bị mẫu mẫu: với mục tiêu chế tạo vật liệu GFM phục vụ san nền cho các dự án sửa chữa, cải tạo hạ tầng kỹ thuật trong thành phố. Các mẫu GFM sau khi bảo dưỡng 28 ngày trong thùng xốp kín có độ ẩm $W=(55,1\div 58)\%$, khối lượng thể tích khô $\gamma_c=(0,95\div 1,04)$ (g/cm^3). Từ kết quả thí nghiệm đầm chặt đã trình bày ở báo cáo [1], tác giả tiến hành chế bị mẫu ở độ ẩm tương đương với độ chặt $K \cong 0,8$ như Hình 3a,b theo trình tự như sau:

Bước 1. Xác định độ ẩm ban đầu (W) của mẫu GFM.

Bước 2. Xác định độ ẩm khống chế (W_0) của mẫu GFM, là độ ẩm ở độ chặt $K \cong 0,8$.

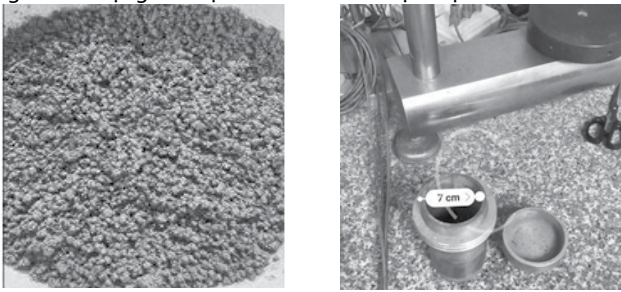
Bước 3. Điều chỉnh lượng nước trong mẫu ban đầu để đưa về độ ẩm khống chế W_0 .

Bước 4. Nhồi đất vào khuôn hình trụ có chiều cao bằng hai lần đường kính theo độ chặt và độ ẩm khống chế, đầm chặt từng lớp. Lựa chọn loại khuôn có đường kính phù hợp với đường kính hạt của vật liệu GFM. Khối lượng đất nhồi vào khuôn được xác định theo công thức:

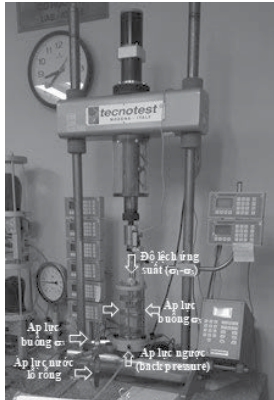
$$m = V \times \gamma_{W_0} \tag{1}$$

Trong đó: m là khối lượng đất nhồi vào khuôn, V là thể tích khuôn, γ_{W_0} là khối lượng thể tích đất ở độ ẩm khống chế W_0 .

* Quy trình thí nghiệm mẫu nén ba trục: tác giả lựa chọn thí nghiệm ba trục theo sơ đồ CD để xác định ứng xử cơ học của vật liệu GFM dưới tác dụng của tải trọng dài hạn như Hình 3b, tham khảo theo tiêu chuẩn TCVN 8868:2011. Các mẫu GFM chế bị ở độ chặt $K \cong 0,8$, được cố kết hoàn toàn trong điều kiện ứng suất đẳng hướng không đổi và thoát nước hoàn toàn, gọi là giai đoạn cố kết. Sau khi kết thúc giai đoạn cố kết, tăng tải trọng dọc trục với tốc độ đủ nhỏ để đảm bảo không xảy ra việc tăng áp lực nước lỗ rỗng gọi là giai đoạn nén và đo được sự thay đổi thể tích của mẫu. Thí nghiệm sẽ trải qua 3 quá trình: bão hòa mẫu, cố kết mẫu và nén mẫu. Kết quả của mỗi quá trình sẽ được thể hiện bằng các biểu đồ mô tả ứng xử của vật liệu dưới tác dụng của tải trọng và được so sánh với cát mịn chặt và sét dẻo.



a) Vật liệu GFM b) chế bị mẫu nén ba trục



c) Máy nén ba trục

Hình 3. Thí nghiệm nén ba trục các mẫu GFM theo sơ đồ CD

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Từ kết quả thí nghiệm nén ba trục, tác giả thiết lập các quan hệ giữa các tham số nhằm mô tả các đặc điểm riêng biệt về quan hệ ứng suất - biến dạng của vật liệu GFM so với đất cát và đất sét thông thường. Một số tham số trong các công thức sau được sử dụng:

$$p' = \frac{\sigma'_1 + 2\sigma'_3}{3} \tag{2}$$

$$q' = \sigma'_1 - \sigma'_3 \tag{3}$$

$$\varepsilon_v = \varepsilon_a + 2\varepsilon_r \tag{4}$$

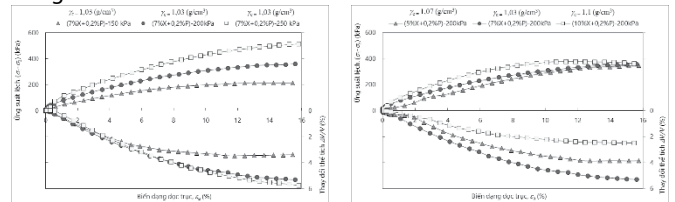
$$\varepsilon_s = \varepsilon_a - \frac{\varepsilon_v}{3} \tag{5}$$

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_v - \varepsilon_a}{2} \tag{6}$$

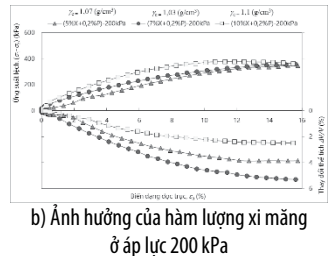
$$\eta = \frac{\sigma'_1}{\sigma'_3} \tag{7}$$

Trong đó: p' là ứng suất hữu hiệu trung bình, q' là ứng suất lệch, ε_v là biến dạng thể tích, ε_s là biến dạng cắt tương đương, ε_r là biến dạng hướng tâm và η là hệ số tỷ lệ ứng suất.

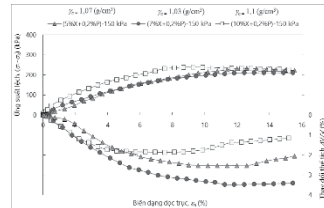
Hình 5a,b,c trình bày hai tương quan cơ bản: tương quan giữa ứng suất lệch và biến dạng dọc trục tương đối và tương quan giữa thay đổi thể tích và biến dạng dọc trục tương đối của các mẫu vật liệu GFM. Có thể thấy rằng, ứng suất lệch và biến dạng thể tích ở cùng một mức biến dạng tăng theo cấp áp lực như Hình 5a. Các đường cong ứng suất - biến dạng của vật liệu GFM gần như tuyến tính ở ứng suất cắt ban đầu, sau đó dần chuyển sang phi tuyến, trong đó ứng suất chảy thể hiện khá rõ ràng trên biểu đồ. Cấp phối mẫu có ảnh hưởng đến quan hệ ứng suất - biến dạng của mẫu, tại cùng một mức biến dạng, các mẫu có hàm lượng xi măng và polymer cao sẽ cho khả năng chịu cắt của vật liệu tốt hơn như Hình 5b. Đồng thời khi cấp áp lực hông nhỏ 150 kPa, các mẫu GFM có hiện tượng nở làm thể tích mẫu tăng lên như Hình 5c, điều này được giải thích khi cấp áp lực hông nhỏ các hạt xấp xếp chặt lại và có hiện tượng trượt lên nhau tạo ra các lỗ rỗng, nước vào chiếm chỗ lỗ rỗng làm cho mẫu nở ra, lúc này vật liệu GFM ứng xử giống cát chặt như Hình 5d. Tuy nhiên khi áp lực hông tăng lên ở mức 200 kPa và 250 kPa, những hạt đất có liên kết yếu có xu hướng vỡ tạo thành các hạt nhỏ hơn, lấp đầy các lỗ rỗng, xếp chặt lại làm cho hiện tượng nở không còn.



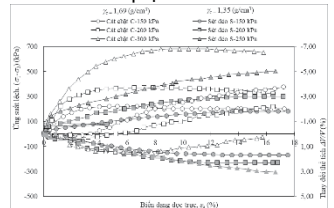
a) Ảnh hưởng của áp lực hông



b) Ảnh hưởng của hàm lượng xi măng ở áp lực 200 kPa



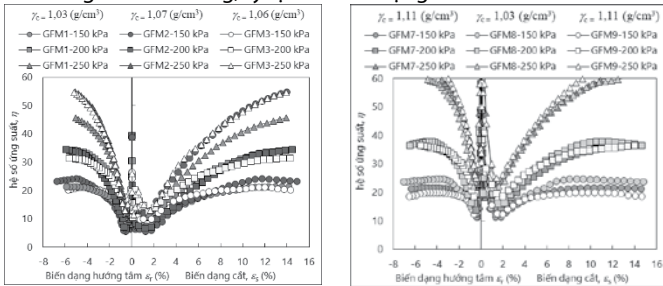
c) Ảnh hưởng của hàm lượng xi măng ở áp lực 150 kPa



d) Các mẫu đất tự nhiên: cát chặt và sét dẻo 150 kPa

Hình 4. Quan hệ giữa ứng suất và biến dạng ở các mẫu GFM và đất tự nhiên

Hình 6 trình bày quan hệ giữa hệ số ứng suất và biến dạng. Kết quả cho thấy, ở thời gian đầu của quá trình cắt, khi biến còn nhỏ, hệ số ứng suất giảm mạnh khi biến dạng tăng, điều này được giải thích dưới tác dụng của ứng suất các hạt có liên kết yếu bị vỡ, trượt lên nhau làm ứng suất dọc trục giảm. Tuy nhiên, ngay sau đó các hạt đạt được trạng thái ổn định và xếp chặt lại với nhau làm hệ số ứng suất tăng nhanh chóng, tỷ lệ với biến dạng.

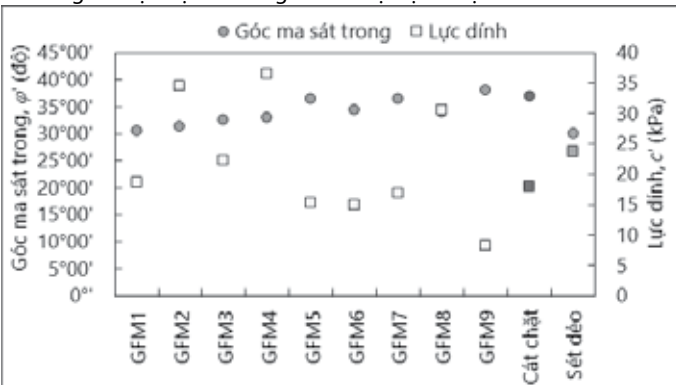


a) Mẫu GFM hàm lượng 5% xi măng

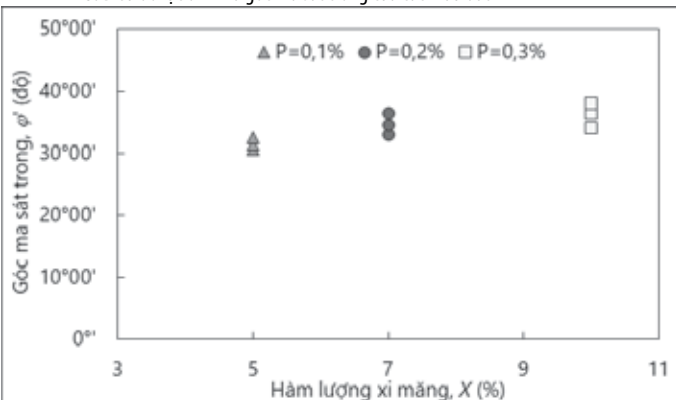
b) Mẫu GFM hàm lượng 10% xi măng

Hình 5. Quan hệ giữa hệ số ứng suất và biến dạng

Hình 7, Hình 8 trình bày sự thay đổi góc ma sát trong ϕ' và lực dính c' theo hàm lượng xi măng và polymer, kết quả thí nghiệm được so sánh với mẫu cát mịn chặt và đất sét dẻo. Kết quả cho thấy, góc ma sát trong tỷ lệ thuận với hàm lượng xi măng, đạt giá trị tương đối lớn từ 35° đến 38° . Đồng thời kết quả cũng cho thấy rằng, vật liệu GFM là dạng hạt rời, tuy nhiên giá trị lực dính từ 15 kPa đến 38 kPa khá lớn so với cát tự nhiên, điều này được giải thích do quá trình chịu cắt, các hạt có liên kết yếu có xu hướng biến dạng, vỡ hành các hạt nhỏ hơn, tuy nhiên nhờ có polymer mà các hạt không bị tách rời và vẫn giữ được độ liên kết giữa các hạt tạo ra lực dính lớn.



Hình 6. Biểu đồ lực dính và góc ma sát trong của các mẫu đất



Hình 7. Quan hệ giữa góc ma sát trong và hàm lượng xi măng các mẫu GFM

4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả trộn thử trong phòng thí nghiệm, bài báo đã

đánh giá sơ bộ đặc tính kháng cắt của vật liệu GFM. Kết quả nghiên cứu cho thấy:

- Tại cùng một mức biến dạng thì độ lệch ứng suất và biến dạng thể tích tăng theo cấp áp lực.

- Tại cùng một mức biến dạng thì độ lệch ứng suất tỷ lệ với hàm lượng xi măng.

- Khi cấp áp lực hông nhỏ ở 150 kPa, các mẫu có hiện tượng nở khi phá hoại, ở giai đoạn này vật liệu GFM ứng xử giống như cát chặt. Khi cấp áp lực hông tăng lên 200 kPa và 250 kPa thì hiện tượng nở không còn, lúc này vật liệu GFM ứng xử giống như cát pha và sét.

- Ở giai đoạn cắt, ban đầu khi biến dạng còn rất nhỏ, hệ số ứng suất tỷ lệ nghịch với biến dạng. Tuy nhiên khi biến dạng đủ lớn, hệ số ứng suất tỷ lệ thuận với biến dạng cho đến khi mẫu phá hoại.

- Mặc dù là vật liệu dạng hạt rời, tuy nhiên vật liệu GFM có đặc trưng kháng khá đặc biệt khi cả góc ma sát trong và lực dính đều lớn, cho thấy vật liệu GFM vừa mang đặc trưng của đất cát, vừa mang đặc trưng của đất sét.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Phạm Tri Thức, Phan Huy Đông, Phan Nguyên Bình, *Nghiên cứu khả năng đầm chặt và chỉ số CBR của vật liệu san lấp dạng hạt tái chế từ bùn nạo vét với hàm lượng nghèo phụ gia*, Tạp chí Địa kỹ thuật, số 4/2023 (ISSN-0868-279X), Hà Nội, 2023, tr 12-20.

[2]. Phạm Tri Thức, Phan Huy Đông, Lê Thị Hồng Linh, *Nghiên cứu chế tạo cát nhân tạo từ bùn không độc hại nạo vét trong TP Hà Nội - nguyên lý chế tạo và các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng tạo hạt*, Tạp chí Xây dựng Việt Nam số 2 (02-2024) (ISSN 2734-9888), Hà Nội, 2024, 101-105.

[3]. Phạm Tri Thức, Phan Huy Đông, *Nghiên cứu chế tạo cát nhân tạo từ bùn không độc hại nạo vét trong thành phố Hà Nội-Đặc tính biến dạng*, Tạp chí Địa kỹ thuật, số 1/2024 (ISSN-0868-279X), Hà Nội, 2024, 18-26.

[4]. Phạm Tri Thức, Phan Huy Đông, Lê Thị Hồng Linh, *Nghiên cứu chế tạo cát nhân tạo từ bùn không độc hại nạo vét trong thành phố Hà Nội-Các yếu tố ảnh hưởng đến cường độ*, Tạp chí Xây dựng Việt Nam, số 03/2024 (ISSN-2734-9888), Hà Nội, 2024, 37-41.

[5]. HAYANO, Kimitoshi, Hiromoto YAMAUCHI, Kota SASAKI, and Keisuke FUJISHIMA, *Fundamental study on a new granulation method with the process of crumbling partially-cemented liquid muds*, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. C (Geosphere Engineering) 70(4), 2016, 99-103.

[6]. M.Kitazume, *The Pneumatic Flow Mixing Method*, Tokyo, 2018, 24-55.

[7]. Thuc, Phan Tri, and Phan Huy Dong, *Reusability of Muds Dredged from Lakes in Hanoi City from Its Geotechnical Engineering Characteristics*, Lecture Notes in Civil Engineering 54, Springer, Singapore, 2020, 805-810