



STUDY ON FRICTION CHARACTERISTICS BETWEEN CONCRETE AND SATURATED CORAL SAND AT DIFFERENT COMPACTION RATIOS

Pham Duc Tiep, Nguyen Le Ba Hoang, Tran Nam Hung*, Pham Tuan Thanh

Le Quy Don Technical University, No 236, Hoang Quoc Viet Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 23/10/2023

Revised: 04/01/2024

Accepted: 04/02/2024

Published online: 15/02/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.2.7>

* *Corresponding author*

Email: tranhung@lqdtu.edu.vn

Abstract. The use of gravity revetments is a common solution for shoreline protection for atolls under the harsh conditions of storm waves. Under the effect of receding waves and active earth pressure, the gravity revetments structures are often disadvantageous in terms of stability against flat sliding. To provide input parameters for determining the flat sliding stability coefficient of gravity revetments, the present paper conducts laboratory experiments on the friction characteristics of concrete with prepared coral sand samples at medium to high compaction ratios and considers the effect of cutting speed. Experimental results showed that the relationship curve between friction force - horizontal displacement does not have a distinct peak point, the value of friction force gradually increases until it reaches the maximum value and then tends to go sideways. When increasing the shear rate for a water-saturated sample, the viscous resistance of the sand sample will increase according to Stock's law, thus the shear resistance of the coral sand sample will increase. Besides, the ratio of average external friction angle and internal friction angle of coral sand corresponding to samples with medium and high compaction was also indicated.

Keywords: coral sand; internal friction angle; external friction angle; laboratory experiments; compaction ratio.

© 2024 University of Transport and Communications



NGHIÊN CỨU ĐẶC TRƯNG MA SÁT GIỮA VẬT LIỆU BÊ TÔNG VÀ CÁT SAN HỒ BẢO HÒA Ở CÁC ĐỘ CHẶT KHÁC NHAU

Phạm Đức Tiệp, Nguyễn Lê Bá Hoàng, Trần Nam Hưng*, Phạm Tuấn Thanh

Trường Đại học kỹ thuật Lê Quý Đôn, Số 236, Hoàng Quốc Việt, Bắc Từ Liêm, Hà Nội

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 23/10/2023

Ngày nhận bài sửa: 04/01/2024

Ngày chấp nhận đăng: 04/02/2024

Ngày xuất bản Online: 15/02/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.2.7>

* Tác giả liên hệ

Email: tranhung@lqdtu.edu.vn

Tóm tắt. Sử dụng kê trọng lực là giải pháp phổ biến để bảo vệ bờ cho các đảo san hô dưới điều kiện khắc nghiệt của sóng bão thường xuyên. Dưới tác dụng của sóng rút và áp lực đất chủ động kết cấu kê trọng lực thường bất lợi về mặt ổn định chống trượt phẳng. Để cung cấp thông số đầu vào trong tính toán ổn định trượt phẳng kê trọng lực, bài báo nghiên cứu thí nghiệm trong phòng đặc trưng ma sát của bê tông với mẫu cát san hô chế bị ở độ chặt trung bình đến chặt và có xét đến sự ảnh hưởng của tốc độ cắt. Kết quả thí nghiệm cho thấy đường cong quan hệ giữa lực ma sát - chuyển vị ngang không xuất hiện đỉnh một cách rõ rệt, giá trị lực ma sát tăng dần đến khi đạt giá trị lớn nhất rồi có xu hướng đi ngang. Khi tăng tốc độ cắt cho mẫu bão hòa nước thì lực cản nhớt của mẫu sẽ tăng lên theo định luật Stock, do đó cường độ kháng trượt của mẫu cát san hô sẽ tăng lên. Bên cạnh đó, tỷ số giữa góc ma sát ngoài trung bình và ma sát trong của cát san hô ứng với mẫu chặt vừa và mẫu chặt cũng được chỉ ra.

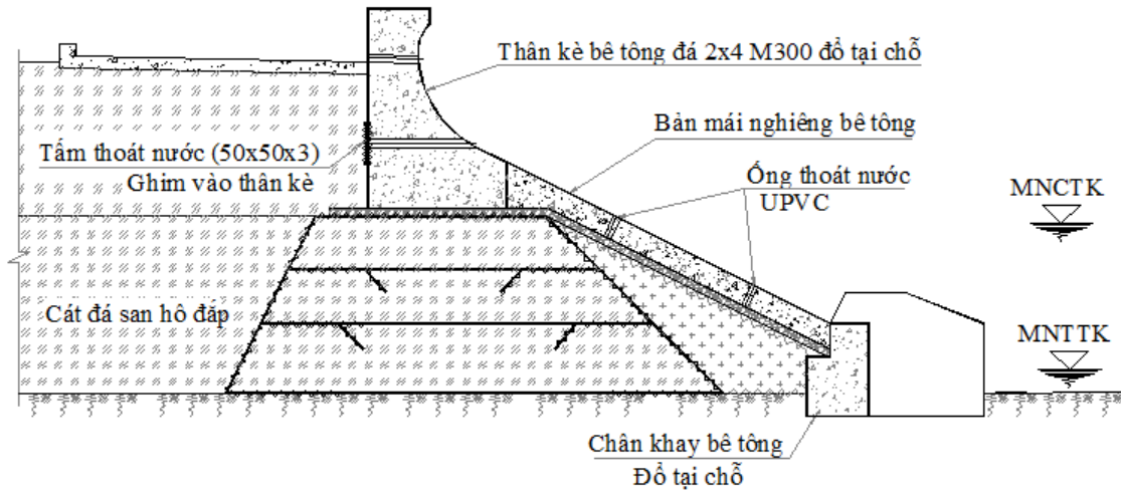
Từ khóa: cát san hô, góc ma sát trong, góc ma sát ngoài, thí nghiệm trong phòng, độ chặt.

© 2024 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

San hô là vật liệu có thành phần chủ yếu là canxi cacbonat, chúng được phát triển rộng rãi ở vùng biển nhiệt đới, vịnh phía nam Ả Rập, biển ngoài khơi tây Ấn Độ, vùng biển Florida của nước Mỹ [1], phía tây thềm lục địa nước Úc [2] và phân bố rộng rãi ở các đảo xa bờ của Việt Nam. Cấp phối cát san hô có đặc trưng thành phần cỡ hạt không đồng nhất, biểu hiện đường cong cấp phối thoải hơn so với cát thông thường [3].

Cát san hô không chỉ có lỗ rỗng bên trong kết cấu mà hạt của nó rất dễ vỡ. Đặc tính này rất khác biệt với so với cát thạch anh [4]. Để bảo vệ bờ trên các đảo san hô người ta thường sử dụng kết cấu kè trọng lực (Hình 1).



Hình 1. Một kết cấu kè điển hình bảo vệ bờ cho các đảo san hô.

Đối với dạng kết cấu kè trọng lực dưới tác dụng của áp lực đất và sóng rút trong điều kiện bão kết cấu kè rất bất lợi về mặt ổn định trượt phẳng. Thành phần chủ yếu ngăn cản trượt phẳng cho kết cấu là lực ma sát giữa bề mặt đáy kè và nền cát san hô. Để xác định lực này cần phải hiểu rõ đặc trưng bề mặt tương tác giữa kết cấu kè và nền cát san hô. Đặc trưng tương tác giữa vật liệu kết cấu kè và nền san hô thể hiện sự tương tác giữa kết cấu cứng (vật liệu kè) và mềm (nền cát san hô).

Để hiểu rõ bản chất của tương tác cứng – mềm nhiều nghiên cứu thực nghiệm đã được triển khai với các vật liệu cứng và mềm khác nhau. Kể từ khi Potyondy [5] giới thiệu ứng xử tương tác bề mặt giữa khối đất và vật liệu xây dựng, một loạt các thử nghiệm tương tác bề mặt cát – thép đã được tiến hành [6-11] và thí nghiệm tương tác bề mặt đất– bê tông cũng được thực hiện [12-14].

Để đơn giản trong quá trình tính toán nhiều tác giả đưa ra các công thức thực nghiệm xác định góc ma sát ngoài hay hệ số ma sát giữa đất và kết cấu thông qua mối tương quan với góc ma sát trong của vật liệu đất (Bảng 1).

Hiện nay những nghiên cứu về san hô đang được nhiều nhà khoa học quan tâm [16-18]. Chỉ có ít công bố về ma sát giữa bê tông và nền san hô [4,19,20]. Feng Ze-kang và cộng sự [4] sử dụng mô hình thí nghiệm cắt bề mặt để nghiên cứu ứng xử cơ học của bề mặt tiếp xúc giữa cát san hô và kết cấu (thép, bê tông) với sự thay đổi độ nhám bề mặt. Thực tế, theo Robinson [21] đặc trưng ma sát giữa san hô và bê tông phụ thuộc vào các yếu tố sau đây: độ nhám bề mặt kết cấu, độ chặt của cát san hô, ứng suất nén, tốc độ biến dạng cắt, kích thước thiết bị thí nghiệm, cỡ hạt và đặc điểm của hình dạng của hạt cát, loại mô hình thí nghiệm. Rất ít nghiên cứu xem xét được đầy đủ các yếu tố trên.

Ở trong nước thiết kế các công trình kè bảo vệ bờ cho các đảo xa bờ trên nền san hô thường áp dụng tiêu chuẩn TCVN 9901:2014 [22] “Công trình thủy lợi - Yêu cầu thiết kế đê biển”. Khi kiểm toán trượt kết cấu kè, hệ số ma sát được lấy theo Bảng 2.

Bảng 1. Giá trị góc ma sát ngoài giữa đất và tường chắn theo loại đất và bề mặt tiếp xúc [15].

Loại đất	Độ nhám của bề mặt tiếp xúc	Giá trị của góc ma sát ngoài (δ)	Tài liệu tham khảo
Không đề cập cụ thể	----	$\varphi/3 < \delta < 2\varphi/3$	Terzaghi (1943)
Cát	Bề mặt bê tông mịn	$\delta/\varphi = 0,84$ (khô)	
		$\delta/\varphi = 0,84$ (bão hòa)	
	Bề mặt bê tông thô	$\delta/\varphi = 0,98$ (khô)	Potyondyc (1961)
		$\delta/\varphi = 0,90$ (bão hòa)	
Cát bụi	Bề mặt bê tông mịn	$\delta/\varphi = 0,99$ (khô)	
		$\delta/\varphi = 0,95$ (bão hòa)	
Đất sét (trộn)	Bề mặt bê tông mịn	$\delta/\varphi = 0,52$	
	Bề mặt bê tông thô	$\delta/\varphi = 0,57$	
Cát sạch, sỏi cuội	---	29^0	Terzaghi e Peck (1967)
Cát bụi	---	24^0	
Bụi	---	19^0	
Cát thô sạch	---	30^0	Caputo (1986)
Cát bụi hoặc đất sét	---	25^0	
Không đề cập cụ thể	Bề mặt nhẵn	0	Moliterno (1994)
	Bề mặt thô cục bộ	$\varphi/2$	
	Bề mặt thô	φ	
Đất dính bão hòa	---	0	Marzionna et al (1998)
Loại đất khác	---	$2\varphi/3$	
Đất cát chặt	Bê tông	$\delta/\varphi = 0,86$ (đỉnh)	Gómez et al (2008)
		$\delta/\varphi = 0,82$ (đư)	
Đất cát chặt trung bình	Bê tông	$\delta/\varphi = 0,71$ (đỉnh)	
		$\delta/\varphi = 0,86$ (đư)	
Đất rời	---	φ	Das (2007)
Đất rời	---	$\varphi/3 < \delta < 2\varphi/3$	

φ – góc ma sát trong của đất.

Bảng 2 cho thấy, tiêu chuẩn TCVN 9901:2014 chủ yếu cung cấp thông số ma sát kết cấu kè (bê tông, đá học xây) trên nền đá học có phủ đá dăm. Tiêu chuẩn chưa đề cập đến các tham số ma sát của cấu kiện bê tông với nền đất tự nhiên và đặc biệt là nền cát san hô.

Trong nghiên cứu này nhóm tác giả sẽ tiến hành thiết kế cải tiến hộp cát của thiết bị cát phẳng Shearmatic để xác định đặc trưng ma sát của bề mặt bê tông với cát san hô ở độ chặt

Transport and Communications Science Journal, Vol 75, Issue 2 (02/2024), 1293-1306
 trung bình đến chặt. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng khảo sát ảnh hưởng của tốc độ cắt đến ứng
 xử ma sát của vật liệu này với kết cấu bê tông.

Bảng 2. Hệ số ma sát theo TCVN 9901:2014 [22].

STT	Vật liệu của 2 bề mặt tiếp xúc	Hệ số ma sát
1	Bê tông và bê tông	0,55
2	Đá xây và đá xây	0,65
3	Đá học và đá học	0,70
4	Bê tông và đá học (bề mặt sửa phẳng bằng đá dăm)	0,60
5	Đá xây và đá học (bề mặt sửa phẳng bằng đá dăm)	0,65
6	Đá đỏ và nền cát thô, cát mịn	Từ 0,50 đến 0,60
7	Đá đỏ và nền cát bột	0,40
8	Đá đỏ và nền đất á cát	Từ 0,35 đến 0,50
9	Đá đỏ và nền sét, á sét	Từ 0,30 đến 0,45

2. NGHIÊN CỨU THÍ NGHIỆM TRONG PHÒNG

2.1. Đặc trưng vật lý của cát san hô

Hỗn hợp cát san hô lấy từ đảo thuộc vùng Biển Đông của Việt Nam (Hình 2). Các đặc
 tính vật lý của cát san hô được thể hiện trong Bảng 3.

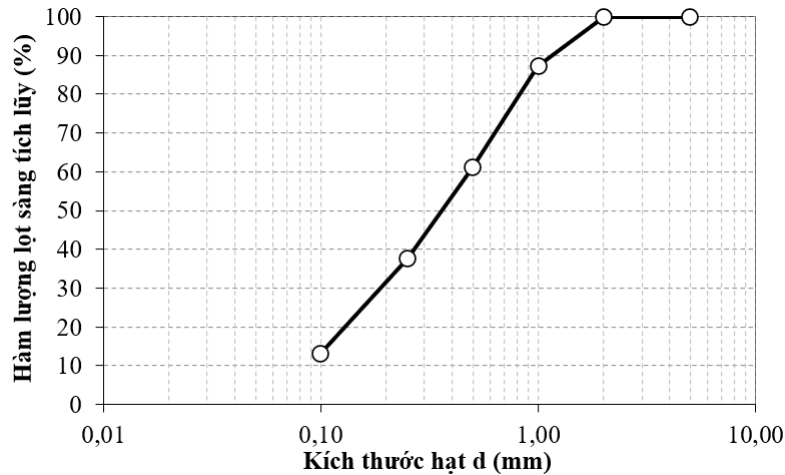


Hình 2. Hỗn hợp cát san hô được lấy từ đảo xa bờ của Việt Nam.

Bảng 3. Đặc tính vật lý của cát san hô.

Đặc trưng vật lý	Giá trị
Trọng lượng riêng hạt, γ_s (kN/m ³)	26,71
Hệ số rỗng lớn nhất, ε_{\max}	0,927
Hệ số rỗng nhỏ nhất, ε_{\min}	0,60

Từ kết quả đường cong cấp phối, xác định được hệ số đồng nhất $C_u = 6,31$ và hệ số cấp phối $C_c = 1,11$. Căn cứ vào tiêu chuẩn TCVN 5747:1993 [23] thì cát san hô này thuộc loại SW (đất cát sạch cấp phối tốt).



Hình 3. Đường cong cấp phối của cát san hô.

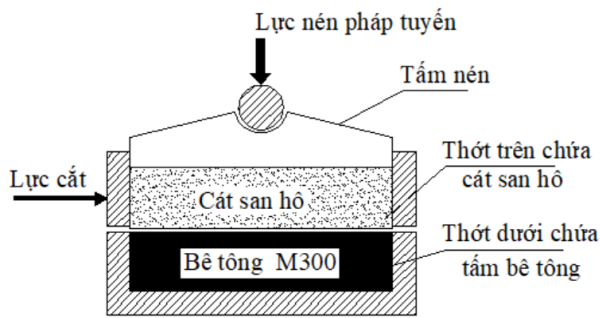
2.2. Thiết kế cải tiến bộ thớt dưới của máy cắt phẳng ShearMatic

Để nghiên cứu ứng xử cơ học của bề mặt tiếp xúc giữa cát san hô và bề mặt bê tông, nhóm nghiên cứu sử dụng máy cắt phẳng Shearmatic (Hình 4) với mô hình hộp cắt được cải tiến như Hình 5. Thớt dưới được thiết kế chế tạo cho phù hợp để có thể đảm bảo lắp ráp được với thớt trên và chứa mẫu bê tông hình hộp cần thí nghiệm. Quá trình tạo mẫu thí nghiệm theo trình tự sau (Hình 6÷10):

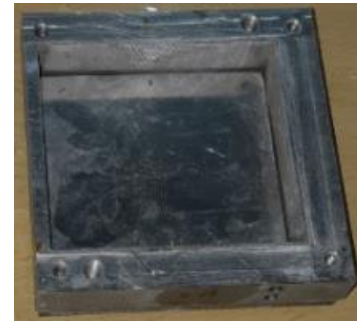
1. Chế tạo thớt dưới bằng thép để lắp đặt được với thớt trên có sẵn và chứa đựng mẫu bê tông hình hộp (Hình 6);
2. Chế bị mẫu bê tông, thiết kế cấp phối đảm bảo mác M300;
3. Sử dụng máy cắt đá để cắt tấm bê tông có kích thước phù hợp với lòng trong của thớt dưới (Hình 7), kích thước các cạnh nhỏ hơn lòng trong của thớt dưới khoảng 1mm
4. Đặt tấm bê tông vào thớt dưới, bù khe hở 1mm bằng vữa xi măng (Hình 9).



Hình 4. Các bộ phận chính máy cắt phẳng kỹ thuật số tự động Shearmatic (xuất xứ Italia).



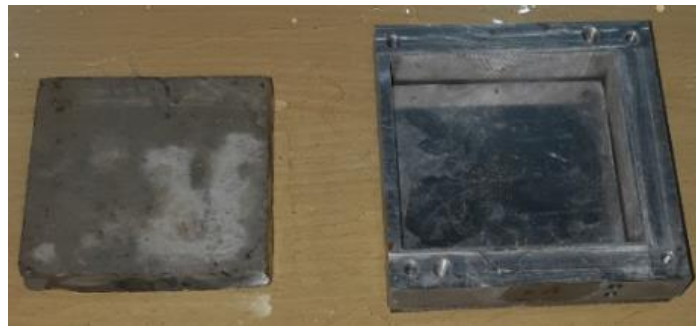
Hình 5. Mô hình hộp cắt xác định góc ma sát ngoài giữa bê tông và cát san hô.



Hình 6. Thớt dưới bằng thép được chế tạo để chứa đựng kết cấu mẫu bê tông.



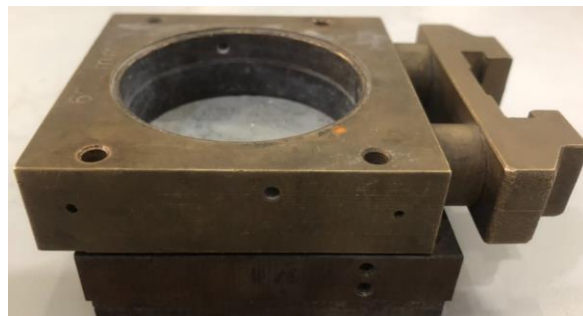
Hình 7. Quá trình cắt mẫu.



Hình 8. Mẫu bê tông sau khi cắt và thớt dưới hộp cắt đã chế tạo.



Hình 9. Mẫu bê tông được đưa vào thớt dưới đã chế tạo.



Hình 10. Lắp đặt thớt trên và thớt dưới.

2.3. Mô tả trình tự thí nghiệm

Trong các nghiên cứu, góc ma sát ngoài thường được lấy theo góc ma sát trong dựa vào mối tương quan giữa chúng (xem Bảng 1). Đối với cát san mối tương quan này ít được đề cập đến. Do đó, nhóm nghiên cứu đã tiến hành 02 loại mô hình thí nghiệm với cát san hô có độ chặt tương đối $D_r=50\%$ và $D_r=75\%$:

- Mô hình thí nghiệm 1: Xác định các tham số chống cắt của cát san hô với vận tốc cắt $SR=1\text{mm}/\text{phút}$. Mô hình thí nghiệm này thực hiện 03 mẫu/ 1 loại độ chặt ứng với cấp tải nén khác nhau: $\sigma=50\text{ kN}/\text{m}^2$; $\sigma=100\text{ kN}/\text{m}^2$; $\sigma=200\text{ kN}/\text{m}^2$.

- Mô hình thí nghiệm 2: Xác định đặc trưng ma sát của bề mặt bê tông và cát san hô. Các mẫu thí nghiệm thuộc mô hình thí nghiệm này có cùng tải trọng nén $\sigma=50\text{ kN}/\text{m}^2$. Tiến hành

03 mẫu/ 1 loại độ chặt ứng với tốc độ cắt khác nhau: SR=0,7mm/phút; SR=1,0 mm/phút và SR=2,0mm/phút.

Bảng 4. Xác định khối lượng cát san hô cần chế bị mẫu.

Loại mô hình thí nghiệm	Độ chặt chế bị mẫu, D_r	Trạng thái mẫu	Hệ số rỗng mẫu, e	Khối lượng riêng khô, γ_k	Chiều cao mẫu, h_m	Tổng khối lượng mẫu khô
	%	-	-	g/cm^3	cm	g
Mô hình thí nghiệm 1	50	Chặt vừa	0,7635	1,515	1,91	91,39
	75	Chặt	0,6818	1,588	1,91	95,83
Mô hình thí nghiệm 2	50	Chặt vừa	0,7635	1,515	1,00	47,97
	75	Chặt	0,6818	1,588	1,00	50,30

Trình tự tiến hành thí nghiệm theo các bước như sau:

- *Bước 1:* Với độ chặt cho trước D_r và căn cứ vào các thông số đã biết (Bảng 3) xác định khối lượng cát san hô cần chế bị mẫu (Bảng 4).

- *Bước 2:* Tạo mẫu chế bị trong hộp cắt. Mẫu được tạo trong hộp cắt với dạng hình trụ có kích thước không đổi (đường kính $D = 6,35$ cm; chiều cao mẫu h_m). Khối lượng mẫu cát khô đã tính toán trước được đổ vào hộp cắt. Sau đó đầm lên cho đến khi đạt được chiều cao định trước h_m thì coi như công tác đầm lên đảm bảo độ chặt định trước.

- *Bước 4:* Lắp hộp cắt với mẫu đã chế bị vào máy cắt phẳng kỹ thuật số tự động Sheramatic.

- *Bước 5:* Cài đặt các thông số ban đầu trước khi tiến hành thí nghiệm như: kích thước mẫu, thông số đầu vào cho giai đoạn cố kết (tải trọng nén mẫu σ_v , tốc độ cố kết, tốc độ ghi số liệu) và thông số đầu vào giai đoạn cắt trực tiếp (tốc độ cắt mẫu - SR, chuyển dịch ngang lớn nhất, tốc độ ghi số liệu).

- *Bước 6:* Bão hòa mẫu. Mẫu được đặt trong khay đựng, nước được đổ đầy khay để ngâm mẫu trong khoảng thời gian 15 phút.

- *Bước 7:* Tiến hành giai đoạn cố kết mẫu

- *Bước 8:* Tiến hành giai đoạn cắt trực tiếp

- *Bước 9:* Lấy số liệu đo và kết thúc thí nghiệm.

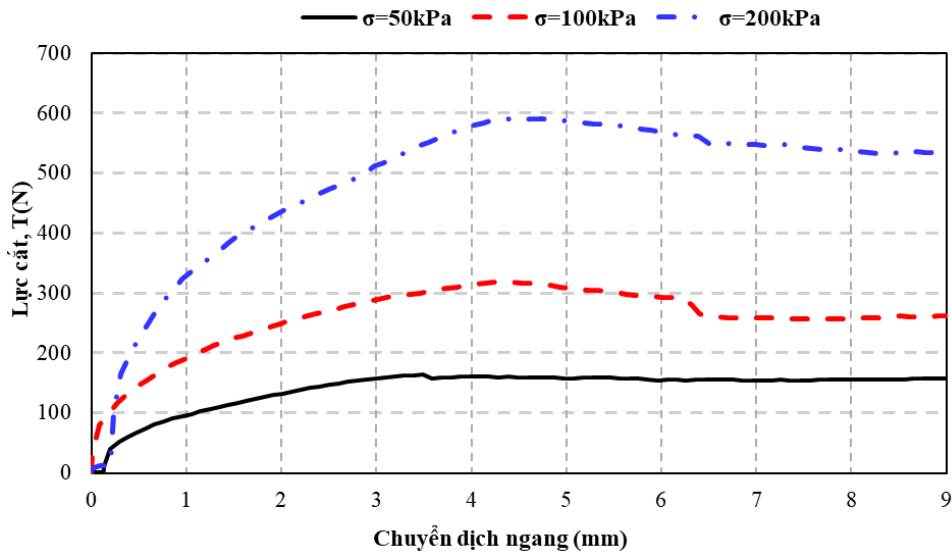
3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

3.1. Xác định các đặc trưng khác cắt của cát san hô

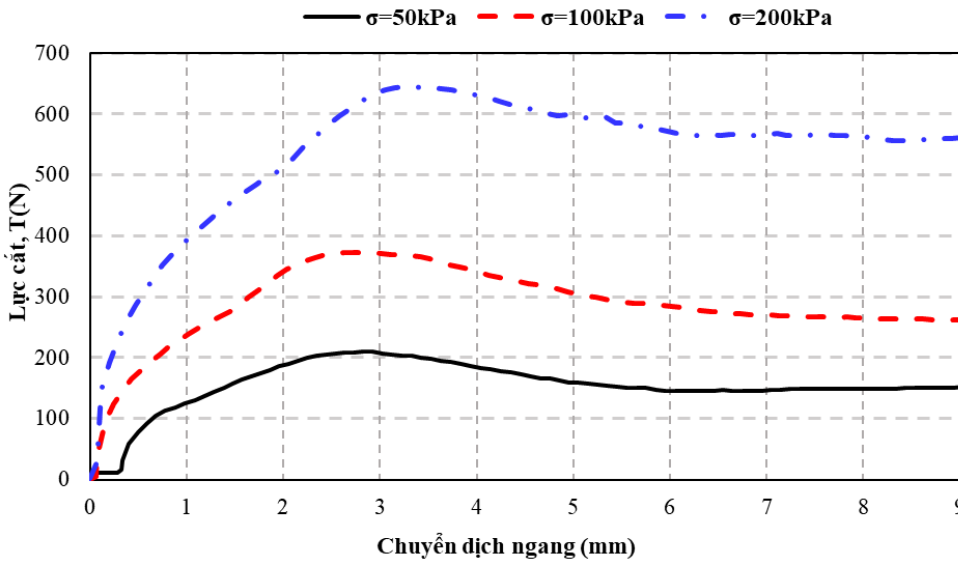
Hình 11 và 12 thể hiện các kết quả thực nghiệm đối với 2 mức độ đầm chặt ở trạng thái chặt vừa và chặt. Rõ ràng độ chặt và áp lực nén mẫu khác nhau sẽ dẫn đến sự khác nhau trong ứng xử của cát san hô. Nhận thấy rằng khi cát ở trạng thái chặt vừa và tải trọng nén bé (50kPa), đường cong quan hệ giữa lực cắt - chuyển vị ngang không xuất hiện giá trị đỉnh một cách rõ rệt, giá trị lực cắt tăng dần đến khi đạt giá trị lớn nhất rồi có xu hướng đi ngang. Vì

vậy, với cát san hô ở trạng thái chặt vừa và ở cấp tải trọng bé thì có thể gần đúng coi cát san hô có ứng xử tuân theo quy luật mô hình Mohr-Coulomb. Khi ở trạng thái chặt hoặc cấp tải trọng lớn (lớn hơn 50 kPa), đường cong quan hệ giữa lực cắt - chuyển vị ngang xuất hiện giá trị đỉnh một cách rõ rệt, cát san hô có ứng xử hóa mềm sau cực đỉnh. Đường cong quan hệ này tựa như đường cong mà vật liệu tuân theo quy luật mô hình Hypoplastic. Mặt khác mẫu ở trạng thái chặt thì thời điểm mẫu đạt cực đỉnh (peak stress) tương ứng với chuyển dịch ngang bé hơn so với mẫu ở trạng thái chặt vừa. Quy luật biến đổi lực cắt – chuyển vị của cát san hô như mô tả trên cũng được quan sát thấy đối với cát thạch anh [24].

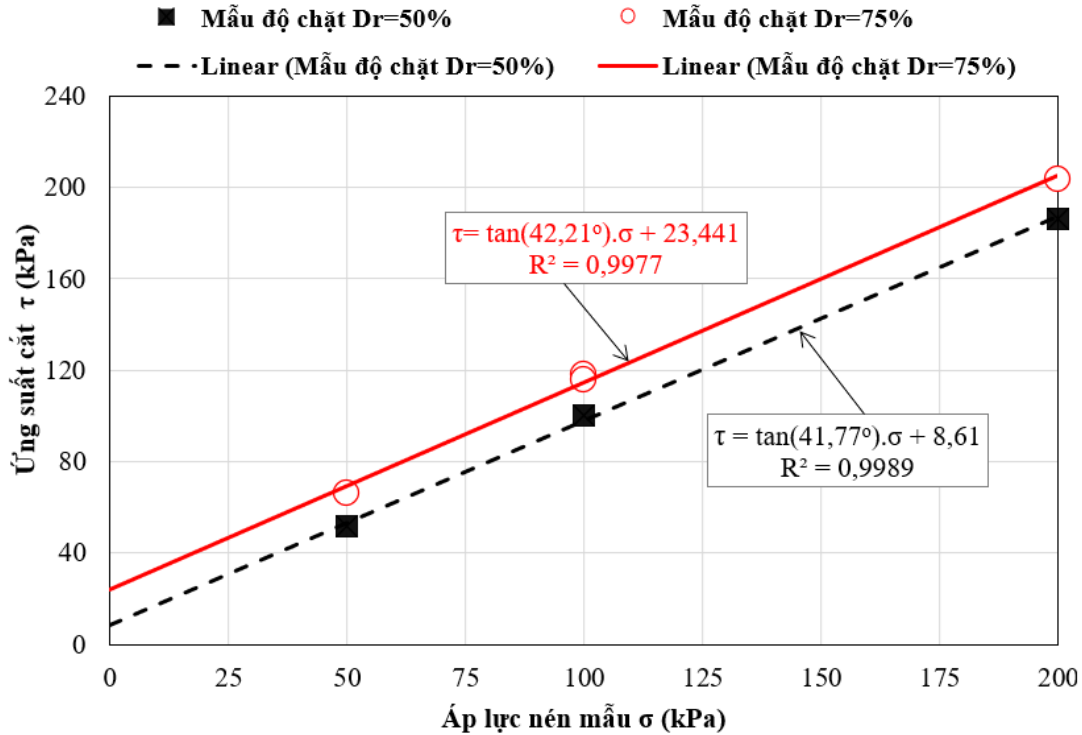
Do cấu trúc hạt xù xì và có góc cạnh nên cát san hô có góc ma sát trong lớn và xuất hiện cả lực dính biểu kiến. Maslov [25] giải thích rằng cường độ lực dính biểu kiến của đất rời được quy định bởi lực tương tác gài móc giữa các hạt với nhau và ảnh hưởng của sự gài móc tăng lên cùng với sự tăng của độ chặt của đất rời (Hình13).



Hình 11. Quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang, khi cát san hô ở trạng thái chặt vừa $D_r=50\%$.



Hình 12. Quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang, khi cát san hô ở trạng thái chặt $D_r=75\%$.



Hình 13. Đường bao chống cắt của cát san hô với độ chặt khác nhau.

3.2. Xác định đặc trưng ma sát của bê tông và cát san hô

Hình 14 và 15 cho thấy rằng khi cát san hô ở trạng thái chặt vừa hay chặt, đường cong quan hệ giữa lực ma sát - chuyển vị ngang không xuất hiện giá trị đỉnh một cách rõ rệt, giá trị lực ma sát tăng dần đến khi đạt giá trị lớn nhất rồi có xu hướng đi ngang. Vì vậy, ứng xử của mặt tiếp xúc giữa cát san hô với kết cấu bê tông tuân theo quy luật Mohr-Coulomb. Khi tăng tốc độ cắt từ $SR=0,7\text{mm/phút}$ đến $SR=2,0\text{mm/phút}$ thì lực ma sát cực đại (peak stress) có xu hướng tăng nhẹ. Do đó góc ma sát ngoài giữa bê tông và san hô cũng tăng lên theo tốc độ cắt (Hình 16) và có giá trị theo độ chặt như sau:

- Ở trạng thái chặt vừa: tăng từ $36,48^\circ$ đến 37° ;
- Ở trạng thái chặt: tăng từ $38,03^\circ$ đến $38,43^\circ$.

Các kết quả trên gợi ý rằng, tốc độ cắt ảnh hưởng không nhiều đến lực ma sát cực đại giữa kết cấu bê tông và nền san hô. Tuy nhiên, ở trạng thái chặt vừa với cùng mức độ chuyển dịch nhỏ hơn 1,5 mm thì lực ma sát tăng theo tốc độ cắt. Cũng có thể thấy từ Hình 14 và Hình 15 rằng, giá trị lực ma sát đạt cực đại khi mức độ chuyển dịch ngang nhỏ hơn 1,5 mm đối với tốc độ cắt và độ chặt khác nhau. Điều này phục vụ cho việc mô phỏng số tương tác kết cấu bê tông và nền san hô theo mô hình hệ số nền cái mà yêu cầu phải khống chế giá trị của chuyển vị trên bề mặt tiếp xúc kết cấu-nền ứng với lực ma sát cực đại.

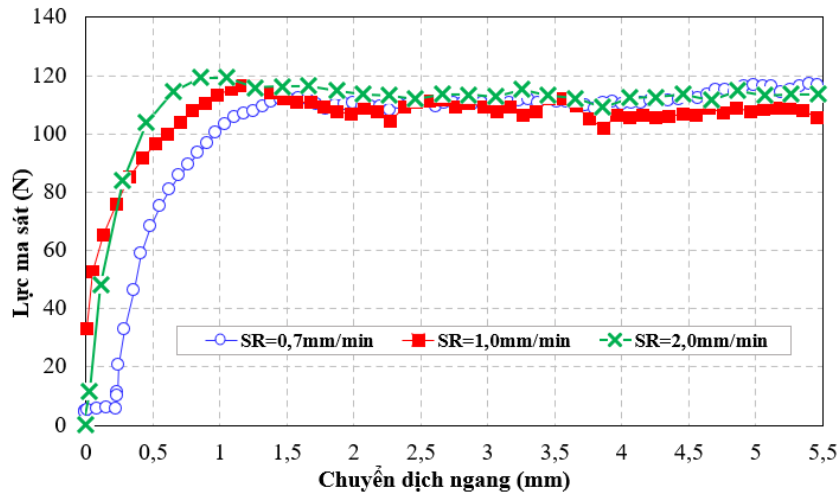
Khi tăng tốc độ cắt (SR) cho mẫu bão hòa nước thì lực cản nhớt của các hạt cát sẽ tăng lên theo định luật Stock [26], $F=6.\pi.R.\eta.SR$ (R-bán kính của các hạt cát, η – độ nhớt của chất lỏng), do đó cường độ kháng trượt (ma sát) của mẫu cát san hô sẽ tăng lên.

Có thể thấy từ Hình 14, Hình 15 rằng, giá trị lực ma sát đạt cực đại khi mức độ chuyển dịch ngang nhỏ hơn 1,5 mm đối với tốc độ cắt và độ chặt khác nhau.

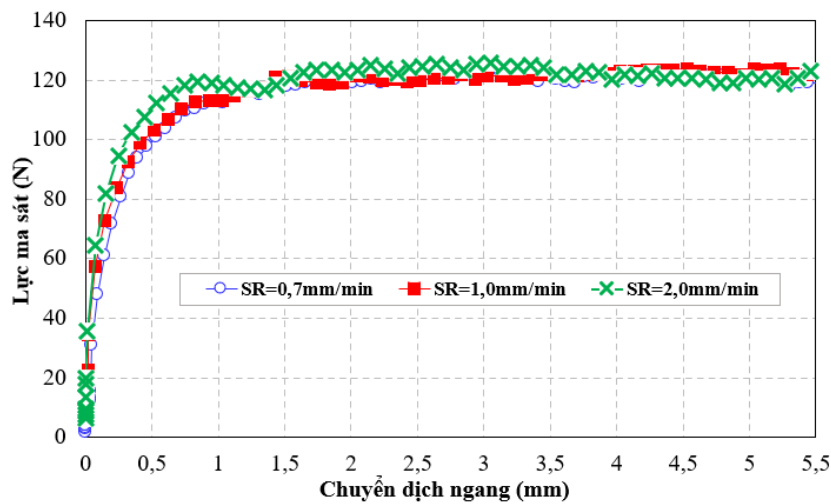
Tổng hợp kết quả thực nghiệm cho thấy tỷ số góc ma sát ngoài trung bình (δ_{tb}) và ma sát trong (φ) của cát san hô ứng với độ chặt khác nhau xác định như sau:

- Ở trạng thái chặt vừa:
$$\frac{\delta_{tb}}{\varphi} = \frac{36,48 + 36,4 + 37}{41,77} = 0,88$$

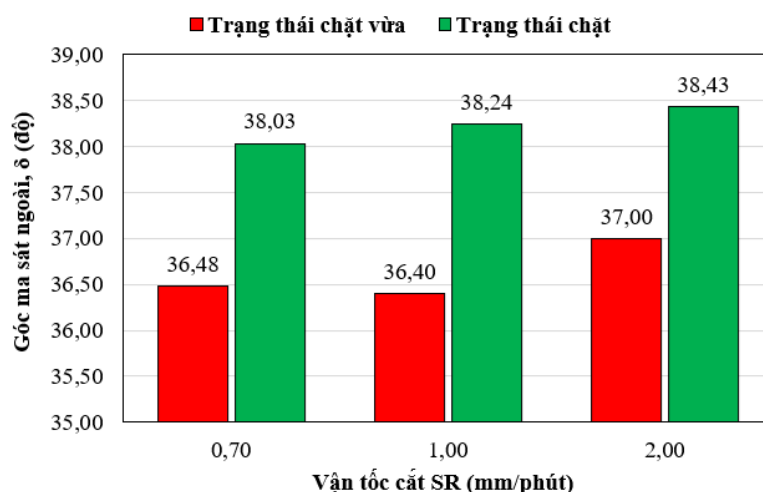
- Ở trạng thái chặt:
$$\frac{\delta_{tb}}{\varphi} = \frac{38,03 + 38,24 + 38,43}{42,21} = 0,91$$



Hình 14. Quan hệ lực ma sát - chuyển vị ngang khi cát san hô ở trạng thái chặt vừa $D_r=50\%$.



Hình 15. Quan hệ lực ma sát- chuyển vị ngang khi cát san hô ở trạng thái chặt $D_r=75\%$.



Hình 16. Tương quan tốc độ cắt và góc ma sát ngoài (tương tác giữa bê tông và cát san hô).

Độ chặt của nền ảnh hưởng một cách trung bình đối với giá trị này. Cụ thể, ở tốc độ cắt 1 mm/ phút độ tăng góc ma sát ngoài khoảng 5% khi độ chặt mẫu tăng từ $Dr=50\%$ đến $Dr=75\%$ (Hình 16).

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã tập trung khảo sát thực nghiệm sự thay đổi các đặc trưng ma sát của bê tông và cát san hô ứng với độ chặt trung bình đến chặt.

Trên cơ sở bộ hộp cắt của máy cắt phẳng tự động Shearmatic các tác giả đã cải tiến, chế tạo thớt dưới để chứa đựng được mẫu bê tông nhằm xác định đặc trưng ma sát giữa bê tông và cát san hô với độ chặt khác nhau.

Tổng hợp kết quả thực nghiệm cho thấy đường cong quan hệ giữa lực ma sát - chuyển vị ngang không xuất hiện giá trị đỉnh một cách rõ rệt, giá trị lực ma sát tăng dần đến khi đạt giá trị lớn nhất rồi có xu hướng đi ngang. Khi tăng tốc độ cắt (SR) cho mẫu bão hòa nước thì lực cản nhớt của các hạt cát sẽ tăng lên theo định luật Stock, do đó cường độ kháng trượt (ma sát) của mẫu cát san hô sẽ tăng lên.

Tỷ số góc ma sát ngoài trung bình (δ_{tb}) và ma sát trong (φ) của cát san hô ứng với mẫu chặt vừa $\delta_{tb}/\varphi=0,88$; với mẫu chặt $\delta_{tb}/\varphi=0,91$. Các tham số này bổ sung vào trường dữ liệu cho công tác thiết kế các công trình ở các đảo xa bờ của Việt Nam, nơi mà điều kiện thi công phức tạp và kết cấu công trình thường làm việc trong điều kiện khắc nghiệt của sóng, gió và sự xâm thực của môi trường biển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. W. Wang, W. Li, Z. Yao, Experimental study on shear characteristics of reef coral sand, In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 358 (2019) 052042. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/358/5/052042>
- [2]. D. T. Neil, Characteristics and Significance of a Sub-tropical 'Low Wooded Island': Green Island, Moreton Bay, Australia, Journal of Coastal Research, 2 (2000) 287-294.
- [3]. B. Xu, A. Zhuge, Review of research on physical properties of coral sands, In 5th International Conference on Energy and Environmental Protection-ICEEP, Atlantis Press, (2016) 895-898.

- [4]. Z. K. Feng, W. J. Xu, Q. S. Meng, Mechanical behaviors of interaction between coral sand and structure surface, *Journal of Central South University*, 27 (2020) 3436-3449. <https://doi.org/10.1007/s11771-020-4557-x>
- [5]. J. G. Potyondy, Skin friction between various soils and construction materials, *Geotechnique*, 4 (1961) 339-353. <https://doi.org/10.1680/geot.1961.11.4.339>
- [6]. R. J. Jardine, B. M. Lehane, S. J. Everton, Friction coefficients for piles in sands and silts, In: *Offshore Site Investigation and Foundation Behaviour: Papers presented at a conference organized by the Society for Underwater Technology and held in London, UK, 22-24 (1992) 661-677.* https://doi.org/10.1007/978-94-017-2473-9_31
- [7]. J. T. Tabucanon, D. W. Airey, H. G. Poulos, Pile skin friction in sands from constant normal stiffness tests, *Geotechnical Testing Journal*, 3 (1995) 350-364. <https://doi.org/10.1520/GTJ11004J>
- [8]. E. S. Reddy, D. N. Chapman, V. V. R. N. Sastry, Direct shear interface test for shaft capacity of piles in sand, *Geotechnical Testing Journal*, 2 (2000) 199-205. <https://doi.org/10.1520/GTJ11044J>
- [9]. D. Porcino, V. Fioravante, V. N. Ghionna, S. Pedroni, Interface behavior of sands from constant normal stiffness direct shear tests, *Geotechnical Testing Journal*, 3 (2003) 289-301. <https://doi.org/10.1520/GTJ11308J>
- [10]. M. L. Lings, M. S. Dietz, An improved direct shear apparatus for sand, *Géotechnique*, 4 (2004) 245-256. <https://doi.org/10.1680/geot.54.4.245.36353>
- [11]. T. Ishida, T. Kanagawa, Y. Kanaori, Source distribution of acoustic emissions during an in-situ direct shear test: Implications for an analog model of seismogenic faulting in an inhomogeneous rock mass, *Engineering Geology*, 3-4 (2010) 66-76. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.11.003>
- [12]. A. Taha, M. Fall, Shear behavior of sensitive marine clay-concrete interfaces, *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 4 (2013) 644-650.
- [13]. A. Di Donna, A. Ferrari, L. Laloui, Experimental investigations of the soil-concrete interface: physical mechanisms, cyclic mobilization, and behaviour at different temperatures, *Canadian Geotechnical Journal*, 4 (2016) 659-672. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000795](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000795)
- [14]. N. Yavari, A. M. Tang, J. M. Pereira, G. Hassen, Effect of temperature on the shear strength of soils and the soil-structure interface, *Canadian Geotechnical Journal*, 7 (2016) 1186-1194. <https://doi.org/10.1139/cgj-2015-0355>.
- [15]. S. R. de Melo Ferreira, S. Fucale, J. T. R. de Oliveira, W. B. de Sá, S. F. de Andrade Moura, Evaluation of the friction angle of soil-wall in contact with different materials and surface roughness, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 21.12 (2016) 4655-4672.
- [16]. Z. Wu, H. Yu, H. Ma, J. Zhang, B. Da, Physical and mechanical properties of coral aggregates in the South China Sea, *Journal of Building Engineering*, 63 (2023) 105478. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105478>
- [17]. L. Ma, Z. Li, M. Wang, H. Wei, P. Fan, Effects of size and loading rate on the mechanical properties of single coral particles, *Powder Technology*, 342 (2019) 961-971. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.10.037>
- [18]. X. Chen, J. Shen, X. Wang, T. Yao, D. Xu, Effect of saturation on shear behavior and particle breakage of coral sand, *Journal of Marine Science and Engineering*, 9 (2022) 1280. <https://doi.org/10.3390/jmse10091280>
- [19]. X. Li, R. Zhang, Z. Yang, P. Chen, F. Ji, B. Wen, Mechanical behavior analysis and bearing capacity calculation of CFG pile composite foundation on coral sand site, *Frontiers in Earth Science*, 11 (2023) 1204989. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1204989>
- [20]. C. Jiang, X. Ding, G. Yang, Static Simple Shear Tests on Mechanical Behavior of Interface Between Coral Sand and Concrete, In *International Conference on Green Building, Civil Engineering and Smart City*, Singapore, 211 (2022) 519-526. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5217-3_51

- [21]. R. G. Robinson, Interfacial friction between soils and solid surfaces, ICE Proceedings Geotechnical Engineering, 2 (1998) 75-82. <https://doi.org/10.1680/igeng.1998.30112>
- [22]. TCVN 9901:2014, Công trình thủy lợi - Yêu cầu thiết kế đê biển.
- [23]. TCVN 5747:1993, Đất xây dựng – Phân loại.
- [24]. B. M. Das, Advanced soil mechanics, 5th Edition, CRC press, 2019.
- [25]. E. M. Dobrov, Cơ học đất, xuất bản lần thứ 2, Nhà xuất bản Academy, Moscow, 2015 (bản tiếng Nga).
- [26]. M. Dolz, A. Casanovas, J. Delegido, M. J. Hernández, An experimental setup to verify stokes law using an electronic balance, Revista Mexicana de Física, 50 (2004) 29-32.