

## NGHIÊN CỨU BIẾN ĐỘNG MẶT CẮT NUÔI BÃI BIỂN NHÂN TẠO TRÊN MÔ HÌNH VẬT LÝ MÁNG SÓNG LÒNG ĐỘNG

Vũ Đình Cương, Nguyễn Thanh Hùng, Nguyễn Mạnh Linh,  
Triệu Quang Quân, Trần Đình Bắc, Nguyễn Văn Hùng  
Phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về Động lực học sóng biển

**Tóm tắt:** Nghiên cứu biến động mặt cắt bãi biển và nuôi bãi biển nhân tạo trên mô hình vật lý lòng động chưa được thực hiện nhiều ở Việt Nam nên vẫn còn là hướng nghiên cứu khá mới mẻ. Bài báo trình bày một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm về biến động mặt cắt nuôi bãi biển nhân tạo trên mô hình vật lý máng sóng lòng động. Nghiên cứu đã phân tích xác định được vật liệu thí nghiệm đảm bảo tương tự động lực học, các điều kiện biên và phương án thí nghiệm để áp dụng thử nghiệm cho bãi tắm Cửa Tùng tỉnh Quảng Trị. Tổng số có 29 phương án thí nghiệm được thực hiện với 02 dạng mặt cắt nuôi bãi kết hợp với 02 giải pháp đê ngầm giảm sóng, giữ bãi và điều kiện biên sóng, mực nước. Kết quả cho thấy xu thế biến động mặt cắt nuôi bãi khá phù hợp với thực tế và một số kết quả nghiên cứu tương tự đã công bố. Giải pháp công trình đê ngầm giảm sóng, giữ bãi đã có tác dụng giảm được chiều cao sóng, giảm mức độ biến động của mặt cắt nuôi bãi, đặc biệt là trong điều kiện sóng lớn, triều cao kết hợp nước dâng trong bão.

**Từ khóa:** Nuôi bãi, máng sóng, mô hình vật lý lòng động.

**Summary:** Research on beach profile change and beach nourishment on mobile bed physical model has not been practicing much in Vietnam, so it is still a relatively new research direction. This paper presents some experimental results on the change of nourishment beach profiles on the wave flume. In this study, it was analyzed and determined the experimental material that ensure similar dynamics, boundary conditions and scenarios to apply for Cua Tung beach, Quang Tri province. A total of 29 scenarios were carried out with 02 beach nourishment profiles and combined with wave and water level boundary conditions and 02 types of countermeasure submerged sill and submerged breakwater to reduce wave height, and keep stable of beach profiles. The results show that the trend of beach nourishment profile changes were quite consistent with beach profile changes in nature and some similar research results have been published. The submerged breakwater has the effect of reducing the wave height, reducing the fluctuation of the beach nourishment profile, especially in the extreme wave, high tide combined with storm surge conditions.

**Keywords:** Beach nourishment, wave flume, mobile bed physical model.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nuôi bãi biển nhân tạo là hoạt động bổ sung một lượng lớn cát hoặc trầm tích vào các bãi biển để chống xói mòn và tăng chiều rộng bãi biển so với bãi biển tự nhiên. Trên thế giới, ở những nước có trình độ khoa học phát triển như Mỹ, Hà Lan, Pháp, Nhật Bản... vấn đề

nghiên cứu, thử nghiệm các dự án nuôi bãi biển nhân tạo đã được thực hiện từ rất lâu và đã đạt được những kết quả nghiên cứu cũng như thực tiễn khả quan; công nghệ, giải pháp nuôi bãi biển nhân tạo ngày càng hoàn thiện[1,2]. Về phương pháp nghiên cứu, đánh giá thực nghiệm trên mô hình vật lý máng sóng lòng động đối với vấn đề ổn định bãi biển và nuôi bãi nhân tạo cũng đã được các tác giả đến từ nhiều trường đại học, viện nghiên cứu nổi tiếng thực hiện như Deltares, Delft - Hà

Ngày nhận bài: 11/9/2023

Ngày thông qua phản biện: 25/10/2023

Ngày duyệt đăng: 06/11/2023

Lan, đại học Texas và Ohio - Mỹ [3,4,5,6,7]. Trong các thí nghiệm này, các máng sóng có quy mô kích thước khác nhau đã được sử dụng.

Ở Việt Nam, trong những năm gần đây cũng đã có nghiên cứu về nuôi bãi nhân tạo. Các nghiên cứu trong nước chủ yếu tập trung vào tổng kết các thành tựu, mô hình, công nghệ nuôi bãi trên thế giới và nghiên cứu đánh giá khả năng nuôi bãi ở một số khu vực ven biển trên cơ sở công thức và mô hình toán như các nghiên cứu của Trần Thanh Tùng và nnk, Nguyễn Việt Thanh, Nguyễn Thái Bình, Phạm Thị Hân [2,8,9,10]. Các dự án nuôi bãi đã thực hiện như dự án nuôi bãi lấn biển ở Mũi Nai, Kiên Giang; biển Bãi Cháy, Quảng Ninh; các bãi biển nhân tạo tại Nha Trang; bãi tắm nhân tạo 30/4 tại Cần Giờ, TP Hồ Chí Minh, các dự án này mới mang tính thử nghiệm, hiệu quả thực tế còn hạn chế. Chưa có nhiều nghiên cứu về biến động bãi biển và nuôi bãi biển nhân tạo bằng phương pháp thực nghiệm trên mô hình vật lý lòng động, gần đây nhất mới có nghiên cứu của các tác giả Thiều Quang Tuấn và Đinh Công Sản đã thí nghiệm lòng động trên mô hình vật lý máng sóng về các đề cát ngầm trên một bãi cạn có rừng ngập mặn, nhằm mục đích kiểm tra ảnh hưởng của đề cát đối với quá trình truyền sóng, biến đổi phổ sóng và tác động của sóng gây ra vận chuyển bùn cát ngang bờ [11].

Trong bài báo lựa chọn bãi tắm Cửa Tùng tỉnh Quảng Trị để nghiên cứu thử nghiệm. Bãi tắm Cửa Tùng nằm ở vùng Bắc Trung Bộ, vùng biển khu vực cửa Tùng tỉnh Quảng Trị có đặc điểm chung điển hình cho biển khu vực miền Trung: biên độ thủy triều tương đối nhỏ, nguyên nhân động lực gây xói lở bờ biển chủ yếu là do tác động của sóng và nước dâng (trong bão, gió mùa). Bãi tắm Cửa Tùng đã từng là một trong những bãi tắm đẹp của khu vực miền Trung, nhưng từ đầu những năm 2000 cho đến hiện nay vẫn đang bị xói lở nghiêm trọng và chưa tìm được giải pháp có tính khả thi cao để tôn tạo và khôi phục bãi tắm.

## 2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Đối tượng nghiên cứu là các yếu tố mực nước,

sóng và mặt cắt nuôi bãi biển nhân tạo trên mô hình vật lý máng sóng, được thu phóng theo tỷ lệ mô hình từ nguyên hình là bãi biển Cửa Tùng, tỉnh Quảng Trị.

Bài báo sử dụng mô hình lòng động trên máng sóng để thí nghiệm, đo đạc xác định biến đổi của sóng và biến động mặt cắt nuôi bãi biển nhân tạo dưới tác động của sóng vuông góc có chiều cao, chu kỳ khác nhau và các cấp mực nước kết hợp với bố trí công trình đề ngầm giảm sóng (có kết cấu lõi đá, phủ lớp cấu kiện holdquader xếp 1 lớp).

Nghiên cứu được thực hiện trên máng sóng của Phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về động lực học sông biển. Máng sóng được xây dựng trên 1/12 bề rộng của bể sóng DHI (Đan Mạch), có tổng chiều dài 34 m, trong đó chiều dài hiệu quả 30 m, chiều rộng 1 m, chiều cao 1m. Máy tạo sóng có thể tạo ra sóng đều, sóng ngẫu nhiên theo một dạng phổ Jonwap, Moskowitz và Sin ở độ sâu nước tối đa trước máy tạo sóng 0.7 m. Chiều cao sóng ngẫu nhiên có thể tạo được trong máng lớn nhất là 0.25 m và chu kỳ sóng từ 0.5 s đến 3.0 s. Sử dụng 06 đầu đo sóng DHI 102E wave dài 0.7 m (W1 đến W6 như Hình 3) kiểu điện trở, bằng thép không rỉ, có độ chính xác  $\pm 1\%$ . Các đầu đo được kết nối với bộ thu thập số liệu DHI 102E và được kết với máy tính thu thập số liệu.

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Phân tích thiết lập mô hình thí nghiệm

#### a) Tỷ lệ mô hình:

Từ số liệu điều kiện biên (chiều cao và chu kỳ sóng, độ sâu nước), tỷ lệ của mô hình được phân tích và lựa chọn sao cho vừa phù hợp với năng lực của máng sóng thí nghiệm và vừa đảm bảo được điều kiện tương tự về vật liệu sử dụng để thí nghiệm. Tỷ lệ của mô hình được xác định phù hợp là 1/20 (mô hình thu nhỏ lại 20 lần so với nguyên hình).

#### b) Điều kiện biên thí nghiệm:

Trên cơ sở phân tích kế thừa các kết quả nghiên cứu về các yếu tố sóng, mực nước khu vực bãi tắm Cửa Tùng của các đề tài/dự án đã thực hiện [2], lựa chọn điều kiện biên về mực

nước và sóng để nghiên cứu trên mô hình vật lý máng sóng như sau:

- Mức nước (Z): MN triều cao trung bình  $MN_{TC} = +0,6m$ ; MN triều cao kết hợp nước dâng  $MN_{TC-ND} = +1,3m$  (hệ cao độ quốc gia).

- Chiều cao sóng: gió mùa  $H_s = 1,2m$  đến  $2,4m$  và trong bão  $H_s = 3,0m$ , tương ứng với chiều cao sóng trong mô hình là 6 cm đến 12 cm và 15 cm;

- Chu kỳ sóng:  $T_p = 5,4s$  đến  $7,2s$ , tương ứng với chu kỳ sóng trong mô hình là 1,2s đến 1,6s.

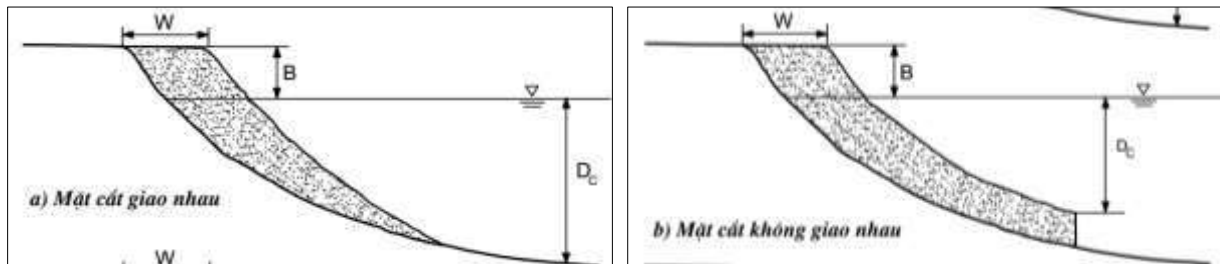
c) *Mặt cắt thiết kế nuôi bãi biển nhân tạo:*

Công trình nuôi bãi thường được xây dựng bằng cách đổ cát trực tiếp lên bãi, phủ lấp khu vực bị xói lở, tạo ra mặt cắt cân bằng bãi. Hình dạng mặt cắt thiết kế là cơ sở để tính toán khối lượng, kích thước của vật liệu nuôi bãi. Để ước lượng hình dạng mặt cắt thiết kế, sử dụng khái niệm mặt cắt cân bằng bãi. Theo

tác giả Dean đề xuất năm 1991 [12], có 3 loại mặt cắt nuôi bãi cơ bản là mặt cắt giao nhau, mặt cắt không giao nhau và mặt cắt ngập. Kế thừa các kết quả nghiên cứu về các dạng mặt cắt nuôi bãi nhân tạo của các đề tài/dự án đã thực hiện [8,2,9], lựa chọn 02 dạng mặt cắt để đưa vào nghiên cứu trên mô hình vật lý máng sóng như sau:

+ Dạng mặt cắt nuôi bãi NB1: Mặt cắt giao nhau (chân mặt cắt bãi nuôi giao cắt với bãi tự nhiên) và có công trình dạng đê ngầm giảm sóng bố trí ở trước bãi nuôi về phía biển;

+ Dạng mặt cắt nuôi bãi NB2: Mặt cắt không giao nhau (perched beach) có bố trí công trình dạng ngưỡng ngầm (submerged sill) ở chân bãi nuôi (như Hình 1). Trong hình, các ký hiệu: W - chiều rộng bãi nuôi;  $D_c$  - chiều sâu giới hạn vận chuyển bùn cát ven bờ biển; B - chênh lệch cao độ mặt bãi nuôi và mực nước thiết kế.



Hình 1: Sơ đồ 02 dạng mặt cắt nuôi bãi NB1 và NB2

- Cao trình mặt bãi nuôi  $+2,0m$ , cao trình này phù hợp với mực nước thiết kế là mực nước triều cao cộng với chiều cao sóng leo lên bãi.

- Chiều rộng bãi nuôi: Chiều rộng bãi nuôi lấy bằng 40m (tương đương bề rộng bãi biển tự nhiên của khu vực nghiên cứu), tương ứng với trong mô hình là 2,0 m.

- Độ dốc bãi nuôi: sử dụng một độ dốc bãi  $m = 1/20$  đối với trường hợp nuôi bãi dạng mặt cắt không giao nhau và sử dụng hai độ dốc bãi  $m = 1/20$  phía gần bờ và  $m = 1/40$  phía xa bờ đối với trường hợp nuôi bãi dạng mặt cắt giao nhau.

d) *Xác định vật liệu thí nghiệm lòng động:*

- Xác định kích thước vật liệu cát nuôi bãi ngoài thực tế:

Kích thước vật liệu nuôi bãi được xác định dựa vào đường kính hạt trung bình. Theo khuyến nghị đường kính hạt trung bình của vật liệu nuôi bãi nên lớn hơn hoặc bằng đường kính hạt trung bình của vật liệu tại vị trí nuôi bãi [2]. Nếu vật liệu nuôi bãi có đường kính lớn thì vật liệu nuôi bãi sẽ ổn định nhưng không tốt về mặt làm thay đổi môi trường hiện hữu (độ dốc bãi biển lớn hơn, hạn chế môi trường sống của các sinh vật ưa bùn cát mịn, khách du lịch không thoải mái...).

Dựa trên quan điểm về mặt kỹ thuật, đường kính trung bình của vật liệu nuôi bãi (d) được xác định theo công thức được kiến nghị bởi Asano & Sato (2010) [12] như sau:

$$C_s = (H_0/L_0) \cdot (\tan \beta)^{0,27} \cdot (d/L_0)^{-0,67} \quad (1)$$

Lựa chọn (d) cần thỏa mãn điều kiện  $C_s \geq 2,5$ . Trong đó: Giá trị của  $C_s$  phụ thuộc vào chiều cao sóng và chu kỳ sóng ( $H_0, L_0$ ), đường kính hạt (d) và độ dốc trung bình của mặt cắt ngang bãi biển hiện hữu ( $\tan \beta$ ). Ở đây,  $H_0, L_0$  ứng với chiều cao và chu kỳ sóng có ý nghĩa trung bình trong mùa bão, tại khu vực bãi tắm Cửa Tùng các đặc trưng này có giá trị  $H_0 = 1,6m$ ;  $L_0 = 37,5m$ ,  $T = 4,9s$ . Dựa trên mặt cắt ngang đo đạc tại 6 vị trí từ MC1 - MC6, độ dốc trung bình của mặt cắt ngang bãi biển hiện hữu ( $\tan \beta$ ) được xác định xấp xỉ bằng 0,04. Cát tại vị

trí nuôi bãi (bãi tắm Cửa Tùng) có đường kính hạt trung bình  $D_{50} = 0,18mm$ ; khối lượng riêng  $= 2,650 \text{ tấn/m}^3$  [2].

Có thể nghiên cứu sử dụng nguồn cát trắng được bồi tụ ở bãi biển phía Nam cửa Tùng (sông Bến Hải) để làm vật liệu nuôi bãi cho khu vực bãi tắm Cửa Tùng, ở khu vực này cát có đường kính hạt trung bình  $D_{50} = 0,35mm$ ; khối lượng riêng  $= 2,650 \text{ tấn/m}^3$ , như vậy vật liệu nuôi bãi đảm bảo điều kiện thô hơn vật liệu tại vị trí nuôi bãi. Kiểm tra điều kiện về hệ số  $C_s$  theo công thức (1):

$$C_s = (1,6/37,5) \times (0,04)^{0,27} \times (0,00035/37,5)^{-0,67} = 42 > 2,5 \quad (2)$$

Như vậy dựa theo đề xuất của Asano & Sato (2009) thì vật liệu nuôi bãi với  $D_{50} = 0,35mm$  thỏa mãn điều kiện ổn định.

- Xác định kích thước vật liệu trong mô hình thí nghiệm:

Lựa chọn vật liệu là cát trong mô hình thí nghiệm cần chú ý đến vận tốc chìm lắng của cát trong mô hình so với nguyên hình (ngoài thực tế). Theo đề xuất của Hallermeier, R. J. (1981) [13], vận tốc chìm lắng của hạt cát được tính theo công thức như sau:

$$w_s = \frac{10\vartheta}{d} \left[ \left( 1 + \frac{0,01(s-1)g \cdot d^3}{\vartheta^2} \right)^{0,5} \right], \text{ với } 0,1 < d < 1,0mm; \vartheta = \frac{\gamma}{\rho} = 1,10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} (20^{\circ}\text{C}) \quad (3)$$

Ở ngoài thực tế hạt cát tại bãi biển có đường kính  $D_{50} = 0,35mm$ , trong mô hình thí nghiệm lòng động chọn hạt cát mịn có đường kính trung bình  $D_{50} = 0,124mm$  để làm vật liệu; từ

đó theo công thức (3) tính toán ra được vận tốc chìm lắng của hạt cát ở nguyên hình  $W_{s\_nh} = 5,19cm/s$  và trong mô hình  $W_{s\_mh} = 1,16cm/s$ , kết quả như Bảng 1.

**Bảng 1: Vận tốc chìm lắng của hạt cát ở nguyên hình**

S	g	v	Nguyên hình		Mô hình	
			D50	W <sub>s_nh</sub>	D50	W <sub>s_mh</sub>
g/cm <sup>3</sup>	cm/s <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup> /s	mm	cm/s	mm	cm/s
2,65	981	0,01	0,35	5,19	0,124	1,16

Từ đó tính được tỷ lệ về tốc độ chìm lắng của hạt cát giữa nguyên hình và mô hình  $[N_w] = W_{s\_nh}/W_{s\_mh} = 4,474$ . Mặt khác, với mô hình có tỷ lệ về kích thước hình học  $N_L = 20$ , khi đó theo Hughes, S. A. (1993) [14] xác định được các giá trị  $N_w$  và  $N_t$  (tỷ lệ về thời gian) lần lượt là  $N_w = N_L^{0,5} = 4,472$  và  $N_t = N_L^{0,5} = 4,472$ . Như vậy  $N_w \sim [N_w]$  nên chọn cát mịn có đường kính hạt trung bình  $D_{50} = 0,124mm$  để thí nghiệm đảm bảo được điều kiện tương tự

về vận tốc chuyển động của hạt cát trong mô hình so với nguyên hình.

e) *Vị trí đê ngầm giảm sóng (submerged breakwater) và ngưỡng ngầm (submerged sill):*

Lựa chọn đưa vào thí nghiệm 02 dạng công trình đê ngầm giữ cát, giảm sóng như sau:

+ Công trình dạng đê ngầm giảm sóng bố trí phía xa bờ kết hợp với bãi nuôi dạng mặt cắt giao nhau NB1:

- Khoảng cách từ vị trí đê ngầm giảm sóng đến bờ:  $L_x = 260\text{m}$ ;

- Cao trình đỉnh đê ngầm:  $Z_{đ} = -0,4\text{m}$ ,  $-1,2\text{m}$  và  $-1,8\text{m}$  (tương ứng khoảng cách lưu không từ đỉnh đê ngầm đến mực nước thiết kế  $R_c = -1\text{m}$ ,  $-1,8\text{m}$  và  $-2,4\text{m}$ )

+ Công trình dạng ngưỡng ngầm giữ cát bố trí ở chân bãi nuôi kết hợp với bãi nuôi dạng mặt cắt không giao nhau NB2:

- Khoảng cách vị trí ngưỡng ngầm giữ cát ở chân bãi nuôi đến bờ:  $L_x = 140\text{m}$ ;

- Cao trình đỉnh ngưỡng ngầm:  $Z_{đ} = -2,25\text{m}$ .

f) Tổng hợp các phương án thí nghiệm:

Thí nghiệm mặt cắt nuôi bãi biển nhân tạo với 02 dạng mặt cắt bãi nuôi NB1 (trường hợp có và không có kết hợp với công trình đê ngầm

giảm sóng) và dạng mặt cắt bãi nuôi NB2. Số lượng phương án thí nghiệm là tổ hợp của các điều kiện về hải văn (sóng, mực nước), dạng mặt cắt bãi nuôi và công trình đê ngầm (vị trí, cao trình đỉnh đê ngầm).

Thời gian tạo sóng thí nghiệm: thời gian thí nghiệm cho mỗi phương án đảm bảo tạo ra được trên 3000 con sóng. Căn cứ vào điều kiện sóng thí nghiệm có chu kỳ từ 1,2 giây đến 1,6 giây, các phương án thí nghiệm đã được tạo sóng liên tục trong khoảng thời gian từ 60 phút đến 80 phút.

Từ các phân tích như đã nêu về lựa chọn điều kiện biên thí nghiệm, dạng mặt cắt thiết kế nuôi bãi, vị trí đê ngầm giảm sóng, tổ hợp lại đã lựa chọn được 29 phương án thí nghiệm như thống kê trong Bảng 2.

**Bảng 2: Tổng hợp các phương án thí nghiệm trên MHVL máng sóng**

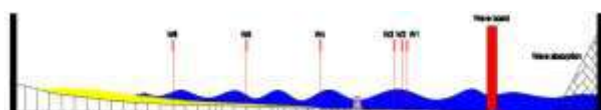
TT	Ký hiệu phương án thí nghiệm	Thông số trong mô hình thí nghiệm					Ghi chú
		$L_x$	$-R_c$	$H_s$	$T_p$	$D$	
		(m)	(cm)	(cm)	(s)	(cm)	
1	NB1-H06T12	-	-	6	1,2	31	Không có công trình
2	NB1-H06T14	-	-	6	1,4	31	Không có công trình
3	NB1-H08T12	-	-	8	1,2	31	Không có công trình
4	NB1-H08T14	-	-	8	1,4	31	Không có công trình
5	NB1-H10T14	-	-	10	1,4	31	Không có công trình
6	NB1-H10T16	-	-	10	1,6	31	Không có công trình
7	NB1-H12T14	-	-	12	1,4	31	Không có công trình
8	NB1-H12T16	-	-	12	1,6	31	Không có công trình
9	NB1-H15T14	-	-	15	1,4	31	Không có công trình
10	NB1-H06T12R05	13	5	6	1,2	31	Đê ngầm giảm sóng
11	NB1-H06T14R09	13	9	6	1,4	31	Đê ngầm giảm sóng
12	NB1-H08T12R05	13	5	8	1,2	31	Đê ngầm giảm sóng
13	NB1-H08T14R09	13	9	8	1,4	31	Đê ngầm giảm sóng
14	NB1-H10T14R09	13	9	10	1,4	31	Đê ngầm giảm sóng
15	NB1-H10T16R12	13	12	10	1,6	31	Đê ngầm giảm sóng
16	NB1-H12T14R09	13	9	12	1,4	31	Đê ngầm giảm sóng
17	NB1-H12T16R05	13	5	12	1,6	31	Đê ngầm giảm sóng

TT	Ký hiệu phương án thí nghiệm	Thông số trong mô hình thí nghiệm					Ghi chú
		Lx	-Rc	Hs	Tp	D	
		(m)	(cm)	(cm)	(s)	(cm)	
18	NB1-H12T16R12	13	12	12	1,6	31	Đê ngầm giảm sóng
19	NB1-H15T16R05Z65	13	5	15	1,6	35	Đê ngầm giảm sóng
20	NB2-H06T12	7	-	6	1,2	31	Ngưỡng ngầm giữ chân bãi
21	NB2-H06T14	7	-	6	1,4	31	Ngưỡng ngầm giữ chân bãi
22	NB2-H08T12	7	-	8	1,2	31	Ngưỡng ngầm giữ chân bãi
23	NB2-H08T14	7	-	8	1,4	31	Ngưỡng ngầm giữ chân bãi
24	NB2-H10T14	7	-	10	1,4	31	Ngưỡng ngầm giữ chân bãi
25	NB2-H10T16	7	-	10	1,6	31	Ngưỡng ngầm giữ chân bãi
26	NB2-H12T14	7	-	12	1,4	31	Ngưỡng ngầm giữ chân bãi
27	NB2-H12T16	7	-	12	1,6	31	Ngưỡng ngầm giữ chân bãi
28	NB2-H15T14	7	-	15	1,4	31	Ngưỡng ngầm giữ chân bãi
29	NB2-H15T14Z65	7	-	15	1,4	35	Ngưỡng ngầm giữ chân bãi

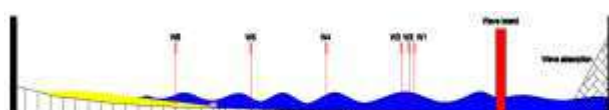
Ghi chú:

- $L_x$ : khoảng cách từ vị trí đê ngầm/ngưỡng ngầm đến đường bờ biển (m);
- $R_c$ : khoảng cách lưu không từ đỉnh đê ngầm đến mực nước thiết kế (cm);
- $H_s$ : chiều cao sóng thiết kế (cm);  $T$ : chu kỳ sóng thiết kế (s) tại biên tạo sóng;
- $D$ : Độ sâu nước thí nghiệm (cm) tại biên tạo sóng;
- NB1 và NB2: dạng mặt cắt nuôi bãi giao nhau và không giao nhau.

Sơ đồ bố trí thí nghiệm cho 02 dạng mặt cắt nuôi bãi kết hợp với công trình đê ngầm giữ chân bãi, đê ngầm giảm sóng trên máng sóng như Hình 2 và Hình 3.



Hình 2: Sơ đồ bố trí thí nghiệm trên máng



Hình 3: Sơ đồ bố trí thí nghiệm trên máng sóng

sóng trường hợp mặt cắt nuôi bãi - NB1

trường hợp mặt cắt nuôi bãi - NB2



Hình 4: Hình ảnh thí nghiệm thực tế trên MHVL máng sóng

### 3.2. Biến đổi sóng và hệ số truyền sóng qua công trình dạng đê ngầm

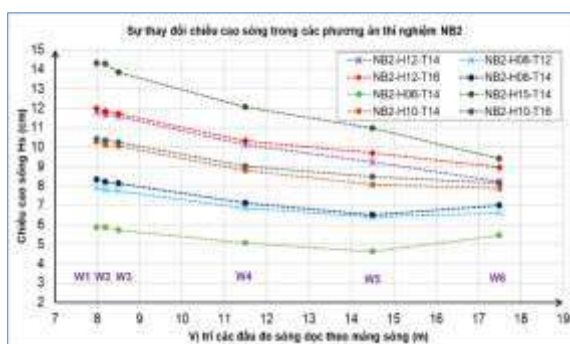
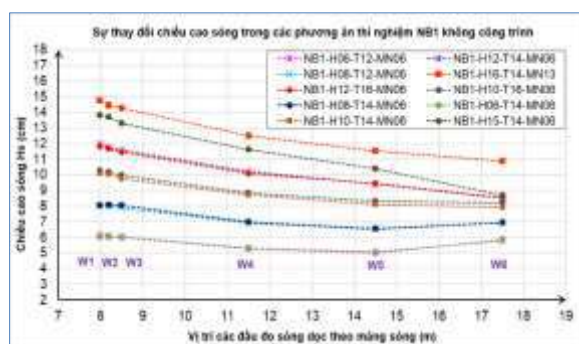
a) Biến đổi sóng khi lan truyền trên máng sóng thí nghiệm:

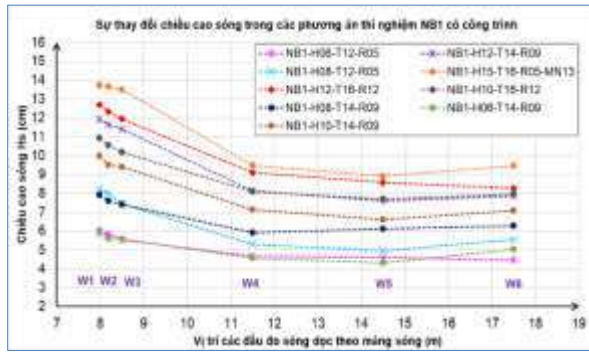
Xét quá trình lan truyền sóng từ vị trí đầu bản tạo sóng qua các vị trí đầu đo sóng W1 đến W6 dọc theo máng sóng (như Hình 3), kết quả biến đổi của chiều cao sóng khi lan truyền trên máng sóng thí nghiệm như Hình 5:

- Đối với các phương án mặt cắt nuôi bãi NB1 khi chưa có công trình, chiều cao sóng đầu vào ít bị suy giảm trong quá trình lan truyền trên

máng sóng và chiều cao sóng có xu thế giảm dần từ đầu đo W1 đến W5, đến vị trí đầu đo W6 chiều cao sóng có gia tăng. Khi có công trình dạng đê ngầm, do tác dụng giảm sóng của đê ngầm (nằm ở vị trí giữa đầu đo W3 và W4) nên chiều cao sóng tại vị trí đầu đo W4, W5 phía sau công trình (theo hướng sóng tới) được giảm xuống rõ rệt.

- Đối với các phương án mặt cắt nuôi bãi NB2: xu thế giảm chiều cao sóng trong quá trình lan truyền tương tự như đối với các phương án mặt cắt nuôi bãi NB1 khi chưa có công trình.





Hình 5: Biến đổi chiều cao sóng khi lan truyền trên máng sóng thí nghiệm

b) Hệ số truyền sóng qua công trình đê ngầm:

Bảng 3 thể hiện kết quả phân tích hệ số truyền sóng qua công trình đối với các phương án thí nghiệm mặt cắt nuôi bãi NB1 có công trình dạng đê ngầm. Phân tích tỷ số giữa chiều cao sóng tại đầu đo W3 phía trước công trình và W4 phía sau công trình để xác định hệ số truyền sóng ( $K_t < 1$ ). Kết quả cho thấy khi thay đổi chiều cao đê ngầm hay chiều sâu tương đối của đỉnh đê ngầm so với mực nước trung bình triều cao ở các mức 1.0m, 1.8m và

2.4m thì hiệu quả giảm sóng giảm dần tương ứng từ 29% ( $K_t = 0,71$ ) xuống còn 19% ( $K_t = 0,81$ ); trường hợp sóng lớn kết hợp với mực nước dâng cao trong bão và độ sâu ngập đỉnh công trình là 1,0 m (phương án NB1-H15T16R05Z65) cho hiệu quả giảm sóng lớn nhất đạt 39% ( $K_t = 0,61$ ) và trường hợp chiều sâu đỉnh đê ngầm dưới mực nước trung bình triều cao 2,4m thì hiệu quả ổn định bãi thấp nhất, cát trên bãi bị kéo ra phía xa bờ và bồi gần sát đến công trình đê ngầm.

Bảng 3: Các tham số sóng đo đạc và hệ số truyền sóng qua công trình ( $K_t$ )

Các phương án thí nghiệm có đê ngầm	Đầu sóng W3		Tham số $R_c$ (cm)	Đầu đo W4	Hệ số truyền sóng $K_t$
	Hm0 (cm)	$T_p$ (s)		Hm0 (cm)	
NB1-H06T12R05	5,54	1,22	-5,0	4,22	0.76
NB1-H06T14R09	5,57	1,42	-9,0	4,56	0,81
NB1-H08T12R05	7,44	1,22	-5,0	5,30	0,71
NB1-H08T14R09	7,41	1,42	-9,0	5,92	0,79
NB1-H10T14R09	9,41	1,42	-9,0	7,13	0,75
NB1-H10T16R12	10,92	1,6	-12,0	8,09	0,74
NB1-H12T14R09	11,41	1,42	-9,0	8,15	0,71
NB1-H12T16R12	12,79	1,6	-12,0	9,11	0,71
NB1-H15T16R05Z65	15,49	1,6	-5,0	9,49	0,61

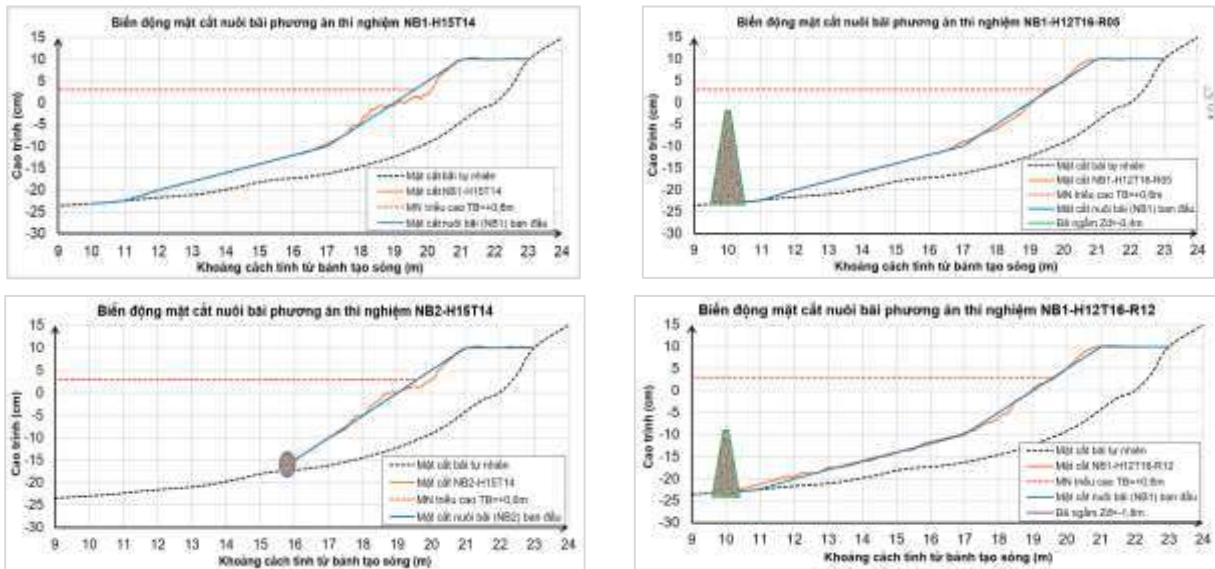
3.3. Biến động mặt cắt nuôi bãi biển nhân tạo

a) Xu thế biến động mặt cắt giữa các phương án:

- Trường hợp sóng trong gió mùa và mực nước trung bình triều cao: Phương án mặt cắt nuôi bãi NB1 và NB2 có mức độ biến động mạnh, phạm vi biến động trong mô hình theo chiều ngang bãi khoảng 3m, chiều cao bồi lớn nhất khoảng 3cm và chiều sâu xói khoảng 4cm

(tương ứng trong nguyên hình là 60m, 0,6m và 0,8m). Vị trí xói bãi ở ngang và trên đường mực nước, vị trí bồi xuất hiện ngay phía dưới đường mực nước. Khi có công trình dạng đê ngầm giảm sóng thì mức độ biến động của mặt cắt NB1 được giảm xuống đáng kể, phần bãi phía trên đường mực nước được bồi và vị trí xói - bồi dịch chuyển xuống phía chân bãi như Hình 6.

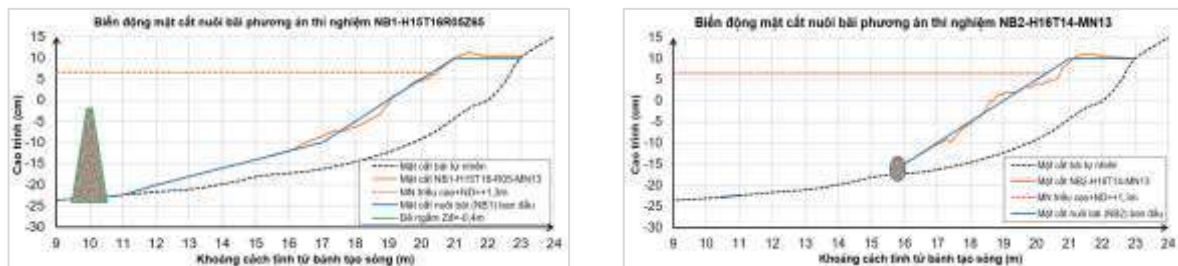




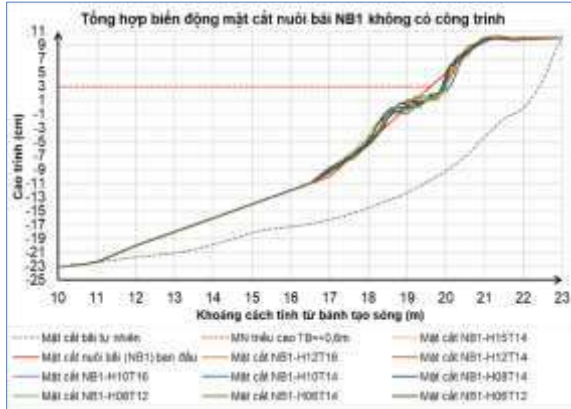
Hình 6: Biến động mặt cắt bãi trường hợp sóng trong gió mùa và mực nước TB triều cao

- Trường hợp sóng trong bão và mực nước trung bình triều cao kết hợp nước dâng: Phần mặt bãi phía trên đường mực nước được bồi, phần mặt bãi ngang mực nước bị xói mạnh và hình thành bồi mặt bãi ở phía dưới đường mực nước; phạm vi biến động trong mô hình theo chiều ngang bãi được mở rộng hơn khoảng 5,5m (tương ứng trong nguyên hình là 110m) như Hình 7.

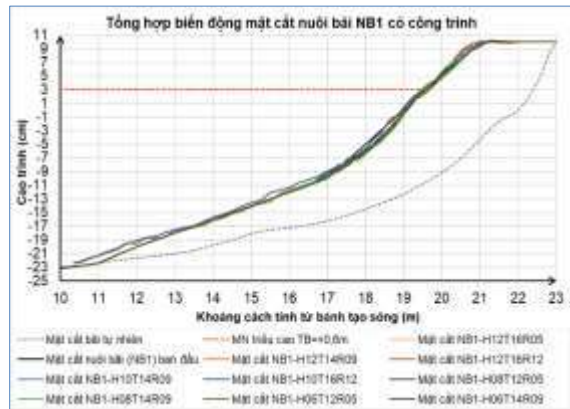
Hình 8, Hình 9 thể hiện tổng hợp sự biến động của mặt cắt nuôi bãi với các nhóm phương án khác nhau. Có thể nhận thấy xu thế chung mặt cắt nuôi bãi NB1 khi chưa có công trình và mặt cắt nuôi bãi NB2 có mức độ biến động mặt bãi rất mạnh; khi có giải pháp công trình đề ngầm giảm sóng đã ổn định được bề mặt bãi nuôi hơn so với trước.



Hình 7: Biến động mặt cắt bãi trường hợp sóng bão và mực nước TBTC kết hợp ND

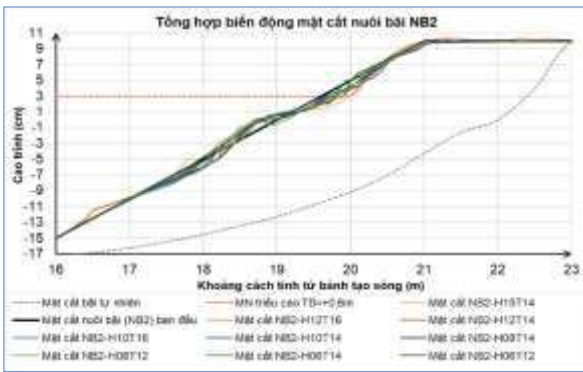


a) Không có đê ngầm giảm sóng



b) Có đê ngầm giảm sóng

Hình 8: Tổng hợp biến động mặt cắt nuôi bãi NB1



Hình 9: Tổng hợp biến động mặt cắt nuôi bãi NB2

b) Tác động của sóng và công trình đê ngầm đến hình thành bồi/xói trên mặt cắt bãi:

- Tác động của sóng: Bảng 4 thể hiện kết quả tính toán chiều cao bồi của ngưỡng cát ngầm và chiều sâu xói bãi trong mô hình với các phương án. Xu thế chung các trường hợp sóng có chiều lớn sẽ gây ra biến động mạnh hơn, hình thành ngưỡng cát ngầm (Zbar) cũng như chiều sâu xói bãi (Zx) lớn, trong đó Zbar là chiều cao bồi lớn nhất và Zx là chiều sâu xói lớn nhất trên mặt cắt bãi trong mảng sóng thí nghiệm.

Bảng 4: Tham số sóng và bồi/xói MC bãi trường hợp không có công trình

Tên phương án thí nghiệm	Bồi Zbar (cm)	Xói Zx (cm)	Hs (cm)	Tp (s)
NB1-H15T14	2,5	-3,0	15,0	1,4
NB1-H12T16	2,0	-2,5	12,0	1,6
NB1-H12T14	2,2	-2,5	12,0	1,4
NB1-H10T16	2,0	-2,0	10,0	1,6
NB1-H10T14	2,0	-2,5	10,0	1,4
NB1-H08T14	1,5	-2,0	8,0	1,4
NB1-H08T12	1,5	-2,5	8,0	1,2
NB1-H06T14	1,5	-2,0	6,0	1,4
NB1-H06T12	1,5	-2,0	6,0	1,2

- Tác động của công trình đê ngầm: Bảng 5 thống kê tham số sóng và bồi/xói bờ biển trường hợp có công trình dạng đê ngầm. Kết quả cho thấy đê ngầm đã có tác dụng

giảm mức độ bồi/xói bề mặt bãi, hiệu quả cao nhất đối với phương án công trình chiều sâu nước trên đỉnh công trình là 1,0 m (R05).

Bảng 5: Tham số sóng và bồi/xói bờ biển trường hợp có công trình

Tên phương án thí nghiệm	Bồi Zbar (cm)	Xói Zx (cm)	Hs (cm)	Tp (s)	Rc (cm)
NB1-H12T16R05	1,2	-1,2	12,0	1,6	-5,0

NB1-H12T14R09	0,6	-1,4	12,0	1,4	-9,0
NB1-H12T16R12	1,1	-1,4	12,0	1,6	-12,0
NB1-H10T14R09	0,8	-1,3	10,0	1,4	-9,0
NB1-H10T16R12	1,0	-0,7	10,0	1,6	-12,0
NB1-H08T12R05	0,6	-1,1	8,0	1,2	-5,0
NB1-H8T14R09	0,7	-1,7	8,0	1,4	-9,0
NB1-H06T12R05	0,7	-1,4	6,0	1,2	-5,0
NB1-H6T14R09	0,5	-1,5	6,0	1,4	-9,0
NB1-H15T16R05Z65	1,5	-2,0	15,0	1,6	-5,0

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã nghiên cứu mô hình vật lý lòng động trên máng sóng để thí nghiệm, đánh giá biến động của mặt cắt bãi biển sau khi nuôi bãi với các dạng mặt cắt nuôi bãi và giải pháp công trình khác nhau cho bãi tắm Cửa Tùng tỉnh Quảng Trị. Kết quả nghiên cứu cho thấy công trình đê ngầm đã có tác dụng giảm sóng, giảm mức độ biến động của mặt cắt nuôi bãi, đặc biệt là trong điều kiện sóng lớn, triều cao kết hợp nước dâng trong bão. Do đó, để tôn tạo bãi tắm Cửa Tùng cần sử dụng giải pháp nuôi bãi nhân tạo với mặt cắt nuôi bãi dạng NB1 (bãi nuôi dạng mặt cắt giao cắt có 2 mái dốc) kết hợp với công trình đê ngầm giảm sóng. Công trình đê ngầm nên đặt tại vị trí cách bờ khoảng 260m tương ứng ở độ sâu 5m so với mực nước trung bình triều cao (cao độ đáy biển khoảng -4,5 m); chiều sâu tương đối của đỉnh đê ngầm so với mực nước trung bình triều cao từ 1,0 m đến 1,8 m.

Nghiên cứu được thực hiện trên máng sóng nên mới đánh giá được xu thế biến động của mặt cắt nuôi bãi gây ra bởi quá trình vận chuyển bùn cát ngang bờ dưới tác động của sóng, chưa xem xét được quá trình vận chuyển bùn cát dọc bờ. Nghiên cứu thực nghiệm về biến động bãi biển nói chung và nuôi bãi biển nhân tạo nói riêng trên mô hình vật lý lòng động là một hướng nghiên cứu cần được đầu tư sâu hơn, để góp phần đưa ra được cơ sở khoa học cho việc đề xuất giải pháp ổn định bãi nuôi nhân tạo, phục vụ tôn tạo bãi biển ở Việt Nam.

**Lời cảm ơn:** Bài báo này được viết trên cơ sở các số liệu thí nghiệm mô hình vật lý máng sóng tại Phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về động lực học sông biển khi thực hiện đề tài nghiên cứu KHCN cấp Bộ năm 2021 “Nghiên cứu giải pháp nuôi bãi nhân tạo phục vụ tôn tạo bãi biển điển hình miền Trung”.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Vũ Đình Cương và nnk. *Nghiên cứu giải pháp nuôi bãi nhân tạo phục vụ tôn tạo bãi biển điển hình miền Trung*. Đề tài KHCN cấp Bộ. Phòng Thí nghiệm TĐQG về ĐLHSB. Hà Nội, 2021.
- [2] Trần Thanh Tùng và nnk. *Nghiên cứu áp dụng giải pháp Nuôi bãi nhân tạo cho các đoạn bờ biển bị xói lở ở khu vực miền trung Việt Nam*. Đề tài tiềm năng cấp quốc gia. Hà Nội, 2012.
- [3] P.Novak and J.Cabelka. *Models in Hydraulic Engineering - Physical Principles and Design Applications*. Pitman Advanced Publishing Program. London, 1981.
- [4] David G. Hamilton, Bruce A. Ebersole, Ernest R. Smith, and Ping Wang. *Technical Report “Development of a Large-Scale Laboratory Facility for Sediment Transport Research”*. Engineer Research and Development Center - U.S. Army Corps of Engineers. January, 2001.
- [5] Cuiping Kuang, Yue Ma 1, Xuejian Han, Shunqi Pan and Lei Zhu. *Experimental Observation on Beach Evolution Process with Presence of Artificial Submerged Sand Bar and Reef*. Journal of Marine Science and Engineering, December 2020 (J. Mar. Sci. Eng.

- 2020, 8, 1019; doi:10.3390/jmse8121019).
- [6] Carlo Lorenzoni, Matteo Postacchini, Maurizio Brocchini, Alessandro Mancinelli. *Experimental study of the short-term efficiency of different breakwater configurations on beach protection*. Springer International Publishing Switzerland, 2016 (J. Ocean Eng. Mar. Energy (2016) 2:195–210 DOI 10.1007/s40722-016-0051-9).
- [7] Edoardo Benassai, Mario Calabrese, Mariano Buccino, Pasquale Di Pace, Francesco Pasanisi, Carlo Tebano and Francesco Zarlenga. *Laboratory tests on performance of a coastal protection project in Agropoli*. Proceedings on the Second International Conference on the Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection.
- [8] Nguyễn Việt Thanh. *Nghiên cứu về mặt cắt cân bằng bãi biển và giải pháp nuôi bãi nhân tạo để ổn định bờ biển*. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật. Hà Nội, 2006.
- [9] Nguyễn Thái Bình. *Nghiên cứu mô phỏng biến động của mặt cắt nuôi bãi và đánh giá khả năng ứng dụng tại khu vực phía Bắc vịnh Nha Trang*. Luận văn thạc sĩ. Hà Nội, 2014.
- [10] Phạm Thị Hân. *Nghiên cứu động lực học phục vụ thiết kế bố trí dự án khai thác bãi biển bãi biển Mũi Nai, Hà Tiên, tỉnh Kiên Giang*. Luận văn thạc sĩ. Hà Nội, 2016.
- [11] Thieu Quang Tuan and Dinh Cong San. *Large-scale nourishment by near-shore sandbanks for erosion control of mangrove mud coasts: a laboratory study on cross-shore processes*. Conference Paper. March 2018.
- [12] R. G. Dean and Chul-Hee Yoo. *Beach nourishment performance predictions*. University of Florida, 1991.
- [13] Taishi ASANO, Shinji SATO, Haijiang LIU and Tomohiro TAKAGAWA. *Experimental Study on Effect and Advantage of Beach Nourishment using Coarse Sand*. Journal of Japan Society of Civil Engineers B2 (Coastal Engineering). Vol. 66, No.1, 2010 631-635.
- [14] Hallermeier, R. J. (1981). *Terminal settling velocity of commonly occurring sand grains*. Sedimentology, 28, 859–865.
- [15] Hughes, S. A. 1993. *Physical models and laboratory techniques in coastal engineering*. Advanced series on ocean engineering . Volume 7. Singapore and River Edge, NJ: World Scientific.