ẢNH HƯỞNG CỦA KẾT CÂU TƯỜNG ĐỈNH ĐẾN DÒNG PHẢN HỒI TRƯỚC CHÂN ĐÊ BIỂN MÁI NGHIÊNG TRONG BÃO

Nguyễn Thị Phương Thảo¹

Tóm tắt: Kết cấu tường đỉnh của đê biển mái nghiêng, được xem là giải pháp làm giảm sóng tràn khá phổ biến ở Việt Nam. Chính sự có mặt của tường đỉnh này làm thay đổi đặc trưng sóng, dòng phản hồi và do đó ảnh hưởng đến xói bồi trong bão. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu cấu trúc của dòng phản hồi và ảnh hưởng của kết cấu tường đỉnh trên đê biển mái nghiêng đến dòng phản hồi trong bão có sóng tràn qua đê bằng cách thiết lập mô hình vật lý trong máng sóng. Kết quả cho thấy tường đỉnh hưởng đáng kể đến phân bố và độ lớn của dòng phản hồi.

Từ khóa: Dòng phản hồi, đê biển mái nghiêng, tường đỉnh, mô hình lòng cứng, bão

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Sóng biển từ ngoài khơi truyền vào vùng ven bờ, trải qua quá trình biến dang sóng và vỡ sinh ra dòng chảy ven bờ và nước dềnh do sóng. Cấu trúc của trường dòng chảy trung bình do sóng vùng ven bờ có hai thành phần chính là dòng trung bình doc bờ được tạo ra bởi sóng đến xiên góc và dòng ngang bờ liên quan đến sự đền bù khối lượng dưới sóng vỡ. Nghĩa là khi sóng vỡ, khối nước dịch chuyển do sóng ở phía trên đi vào bờ (mass transport) tạo ra dòng phản hồi (undertow) hướng ra biển ở phía dưới chân sóng. Như vây, dòng phản hồi được xác định là trung bình theo pha sóng của các chuyển động dao động phần tử nước trong vùng sóng võ. Bùn cát ở phía bờ cuốn theo dòng phản hồi ra bồi đắp ở phía ngoài là cơ chế hình thành của các dải cát ngầm ở bãi trước và là nguyên nhân gây xói chân công trình đê kè, đặc biệt trong thời kỳ bão mực nước dâng cao, sóng lớn và dòng vuông góc với bờ chiếm ưu thế.

Theo nghiên cứu của (Svendsen, 1984) (J. Buhr Hansen, 1984), dòng phản hồi do sóng được phát hiện và mô tả chi tiết từ cách đây hàng trăm năm bởi (Johnson, 1919). (Bagnold, 1940) đã thực hiện các thí nghiệm quan trắc và xác định dòng phản hồi. (Dyhr-Nielsen M. and T. Sorensen,

1970) đã phân tích định tính dòng chảy hướng bờ trong sóng nước nông và dòng phản hồi do sóng vỡ. Việc đo đạc phân bố cấu trúc dòng chảy ngang bờ ngoài thực tế rất khó khăn do han chế về thiết bị và điều kiện đo đạc. Hầu hết các dự án đo đạc thực địa (Davidson, 1989), (Brian Greenwood, 1990) (Masselink, 1995) (Gallagher Edith L., 1998) (Kuriyama Y., 1999)... nghiên cứu dòng phản hồi được thực hiện ở các nước phát triển. Bộ số liệu thực đo này chỉ thực hiện được tại một hoặc một vài thủy trực nhất định trên mặt cắt ngang và mỗi thủy trực chỉ đo tai một giá tri cao độ ở các bãi biển có bar cát hoặc sau thời kỳ bão hình thành bar cát ở vùng sóng vỡ ngoại trừ trường hợp bãi biển dốc của (Masselink, 1995). Phần lớn số liêu được đo trong điều kiên thời tiết bình thường, chỉ có số liệu của dự án Duck94 (Gallagher Edith L., 1998) thể hiện rõ rệt được giai đoạn 10 ngày bão (10/1994). Độ lớn dòng phản hồi biến đổi trong khoảng từ -0.02 đến 0,4m/s, thời kỳ bão ghi nhân số liêu đến 0.7 m/s. Vi trí dòng chảy lớn nhất xuất hiện ở đỉnh bar cát hoặc gần bar cát về phía bờ (Garcez & al, 2000). Vùng sát ven bờ dải sóng vỡ có ít số liệu đo đạc hơn và thường đo dòng chảy bằng máy AEM213 D. Trong khi ở vùng nước sâu hơn thì có nhiều số liệu dòng chảy theo các tầng khác nhau hơn khi sử dụng máy đo Awac.

¹ Trường Đại học Thủy lợi

Do sư han chế về số liêu đo đạc thực tế nên mô hình vật lý được xem là phương pháp hữu hiệu để nghiên cứ cấu trúc dòng phản hồi và có được bộ số liêu đầy đủ nhằm hiêu chỉnh và kiểm đinh mô hình toán. Các nghiên cứu cấu trúc của dòng phản hồi đã thực hiện theo phương pháp này khá đa dang (Stive M., 1980) (Stive M. a., 1982) (Stive M. a., 1986) (Buhr Hansen, 1984) (Okayasu, 1989) (H.J.Steetzel, 1993) (Francis, 1994) (Nicholas & Smith, 1994) (Daniel T. Cox & A., 1995) (Boers M., 1995) (Gregory Guannel, 2008) (Neshaei, A., & M., 2009) từ mô hình tỉ lệ nhỏ trong máng dài 23m đến mô hình tỉ lệ lớn trong máng dài 240. Đặc trưng sóng trong các thí nghiêm từ sóng đều đến sóng không đều, chiều cao sóng biến đổi từ vài cm đến 1m. Địa hình bãi tự nhiên có 2 loại gồm mái phẳng nghiêng và mái biến đổi có bar vùng sóng vỡ, độ dốc bãi từ 1/10 đến 1/40. Các nghiên cứu cho thấy phân bố dòng phản hồi theo phương đứng có dạng parabol, dòng phản hồi lớn nhất xuất hiện ở sát đáy vùng sóng vỡ, nhỏ dần cả về hai phía bờ và ra biển. Tuy nhiên các thí nghiệm mô hình vật lý chỉ giới hạn trong một số kịch bản nhất định về biên địa hình và biên thủy lực. Ở Việt Nam chưa có công bố nào về số liệu đo đạc dòng phản hồi thực tế cũng như kết quả thí nghiệm với điều kiện thủy lực và đặc điểm công trình đê biển mái nghiêng có tường

đỉnh và sóng tràn. Chính sự có mặt của tường đỉnh này làm thay đổi đặc trưng sóng, dòng phản hồi và do đó ảnh hưởng đến xói bồi trong bão. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu thí nghiệm mô hình vật lý trong máng sóng về cấu trúc của dòng phản hồi và ảnh hưởng của kết cấu đê biển mái nghiêng đến dòng phản hồi trong bão có sóng tràn qua đê.

2. THIẾT KẾ VÀ THỰC HIỆN MÔ HÌNH

Mô hình lòng cứng nghiên cứu dòng phản hồi được thiết kế dựa trên cơ sở phân tích về điều kiện nguyên mẫu về đặc điểm địa hình, thủy đông lực học, đặc điểm hệ thống đê trực diện với biển ở Việt Nam (Viện KH Thủy Lợi VN, 2012) (Thao, 2020) và sự đáp ứng của điều kiện trang thiết bị thí nghiệm máng sóng Hà Lan tại trường đại học Thủy Lợi gồm: Cao trình đỉnh đê: $4,0 \text{ m} \div 5,5 \text{ m}$, khi có bão thường xuất hiện sóng tràn qua đê; Hệ số mái trước của đê: $m = 3 \div 4$; Độ cao lưu không của đỉnh đê phía trên mực nước thiết kế (MNTK):1,5 m \div 2,5 m; Bãi trước đê biển có độ dốc 1:40 - 1:100. Máng sóng Hà Lan có tổng chiều dài là 45 m, chiều dài hiệu quả 42 m, chiều cao 1,2 m, chiều cao hữu ích < 1,0 m, chiều rộng 1,0 m, sóng ngẫu nhiên lớn nhất có thể tạo ra với chiều cao $H_S = 0.3$ m và chu kỳ $T_P = 3.0$ s. Máy tạo sóng được trang bị hệ thống hấp thụ sóng phản xa tự động.



Hình 1. Mô hình thiết kế

Tỉ lệ mô hình được chọn theo chiều dài $N_L =$ 10 và thời gian $N_T = 3.16$. Việc thiết bố trí thí nghiệm dựa trên mục tiêu của nghiên cứu như Hình 1 và thực tế thực hiện trong phòng thí nghiệm như Hình 2. Trong đó bãi trước đê có độ dốc 1:40, mô hình đê có mái đê m = 3 được thiết kế cho 3 kịch bản kết cấu đê gồm trường hợp đê thấp có tường đỉnh (1) với chiều cao đê là 80 cm, tường đỉnh cao10 cm, bề rộng đỉnh đê là 40cm; trường hợp đê thấp không tường đỉnh (2) có chiều cao đê là 90 cm và trường hợp đê cao không tường đỉnh (3). Với trường hợp để thấp cho phép có sóng tràn, phía trong đỉnh để bố trí máng thu nước để đo lượng nước tràn, đồng thời cũng có máy bom bổ sung nước ở để đảm bảo mực nước ổn định tốt nhất trong thời gian mô phỏng.



Hình 2. Mô hình thực hiện

Mỗi kịch bản sẽ đo đặc trưng sóng, phân bố dòng chảy và lượng nước tràn với các đầu đo được bố trí trong thí nghiệm như sau:

 6 đầu đo sóng (WG): gồm 1 đầu đo gần máy tạo sóng, 1 đầu đo giữa bãi, 3 đầu đo đặt trong khoảng cách chân đê một lần chiều dài sóng và 1 đầu đo đi kèm máy đo dòng chảy để đo đồng thời sóng và vận tốc dòng nước tại các vị trí khác nhau trước chân đê

 Đầu đo dòng chảy (CG): Máy vectrino đo dòng chảy được đặt trên giá đỡ cho phép dịch chuyển theo phương dọc máng và phương thẳng đứng. 9 vị trí thủy trực trước chân đê được định sẵn để đo dòng chảy, mỗi vị trí đó lại được đo ở 5 đến 10 điểm cao độ khác nhau để xét sự phân bố dòng chảy theo phương thẳng đứng

 Đo tổng lượng nước tràn qua đê: Nước tràn qua đê được thu vào thùng chứa để đo thể tích trong quá trình thực hiện thí nghiệm

Tổng cộng có 12 kịch bản thí nghiệm điển hình được thực hiện, ứng với mỗi kết cấu mô hình đê sẽ gồm 2 điều kiện về mực nước và 2 đặc trưng sóng khác nhau như *bảng 1*. Mỗi kịch bản được thực hiện nhắc lại khoảng 75 lần để có được phân bố dòng phản hồi trên mặt cắt trước đê. Dòng phản hồi được tính toán từ kết quả đo đạc dòng chảy tức thời trong thời đoạn t = 300 xT_{p} .

	Tên kịch bản	Mô hình đê	Độ cao	Tham số sóng		Độ cao lưu	Độ sâu nước
N ⁰			tường đỉnh	H _{m0}	$T_{p}(s)$	không	gần máy tạo
			W(cm)	(m)		R _c (m)	sóng D(m)
1	D65H15T19_CW=0	Đê cao (không tràn)	0	0,15	1,9	0,25	0,65
2	D65H17T16_CW=0			0,17	0,16	0,25	0,65
3	D70H15T19_CW=0			0,15	1,9	0,2	0,7
4	D70H19T165_CW=0			0,19	1,65	0,2	0,7
5	D65H15T19_TW=0	Đê thấp (có sóng tràn)	0	0,15	1,9	0,25	0,65
6	D65H17T16_TW=0			0,17	0,16	0,25	0,65
7	D70H15T19_TW=0			0,15	1,9	0,2	0,7
8	D70H19T165_TW=0			0,19	1,65	0,2	0,7
9	D65H15T19_TW=10		10	0,15	1,9	0,25	0,65
10	D65H17T16_TW=10			0,17	0,16	0,25	0,65
11	D70H15T19_TW=10			0,15	1,9	0,2	0,7
12	D70H19T165_TW=10			0,19	1,65	0,2	0,7

Bảng 1. Các kịch bản điều kiện biên thiết kế

3. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

3.1 Ảnh hưởng của kết cấu tường đỉnh đến phân bố dòng phản hồi

Phân bố của dòng phản hồi của 12 kich bản tương ứng với 3 loại kết cấu đỉnh đê gồm đê cao không tường đỉnh, đê thấp không tường đỉnh và đê thấp có tường đỉnh được trình bày trên các hình từ Hình 4 đến Hình 7. Mỗi hình đều biểu thị sự so sánh kết quả vận tốc của các mô hình đê ứng với cùng điều kiện biên thủy lực và mái dốc bãi, đê. Kết quả thí nghiệm cho thấy sự phân bố dòng phản hồi trên mặt cắt ngang trước chân đê đều giống với xu thế của các nghiên cứu trước dạng parabol, vùng sóng đổ tiêu tan nhiều năng lượng nhất tương ứng với vùng có vận tốc dòng phản hồi lớn hơn vùng sát chân đệ và ở ngoài xa phía biển (*Hình 3*). Vi trí của vùng có dòng phản hồi lớn nhất này có sư khác nhau đối với mỗi kết cấu đỉnh đê trong thí nghiêm: đối với mô hình đê cao không tường đỉnh, đô lớn dòng phản hồi lớn nhất tập trung trong khoảng từ 1 đến 2 m tính từ chân đê, trong khi đê thấp không tường đỉnh khoảng 1-1,5m và đặc biệt đối với đê thấp có tường đỉnh thì cách chân đê chỉ khoảng 0,5 -1,5m.

Kết quả thí nghiệm cũng cho thấy độ lớn dòng

phản hồi trước chân đê biển chịu ảnh hưởng của sự tương tác giữa sóng với công trình một cách rõ nét. Hầu hết ở tất cả các vị trí đo đạc của các kịch bản đều cho kết quả độ lớn của dòng phản hồi trong trường hợp đê cao không tường đỉnh là lớn hơn so với đê thấp có sóng tràn qua, ngoại trừ vị trí cách chân đê 0,25 - 0,5m của kịch bản D65H15T19 TW=0 và D70H19T165 TW=0. Điều này có thể được giải thích theo sự cân bằng thông lượng khối lượng, chính là do lượng nước tràn qua đê làm giảm lượng nước đền bù trong cơ chế hình thành dòng phản hồi (Thao N. T., 2018). Bên cạnh đó, với đê thấp có kết cấu tường đỉnh thì đô lớn dòng phản hồi nhỏ hơn so với đê không có tường đỉnh, đặc biệt là kịch bản D70H15T19 TW=10 dòng phản hồi tại vị trí cách chân đê 0,25 - 0,5m rất nhỏ điều này có thể do sự có mặt tường đỉnh, sóng bị hắt trở lại làm giảm vân tốc dòng chảy. Đống thời sư chênh lệch về đô lớn dòng phản hồi ở xa chân đê (thủy trực tại vị trí 5m) ít hơn so với vùng chân đê. Điều này có thể giải thích là do sóng phản xa ở gần chân đê lớn hơn so với ở vùng ngoài xa nên ảnh hưởng của nó đến sự giảm dòng chảy nhỏ hơn (Yoshimi Goda, 1976).

Vùng sóng vỗ mái đê (swash) xuất hiện dòng stream (dòng sát đáy có chiều ngược lại so với dòng phản hồi) đặc biệt ở kịch bản đê thấp, đê có tường đỉnh thì độ lớn của dòng stream lớn hơn so với trường hợp đê không tường đỉnh.





Hình 4. Phân bố tốc độ dòng phản hồi của các kịch bản D65H15T19



Hình 5. Phân bố tốc độ dòng phản hồi của các kịch bản D65H17T16



Hình 6. Phân bố tốc độ dòng phản hồi của các kich bản D70H15T19



Hình 7. Phân bố tốc độ dòng phản hồi của các kịch bản D70H19T165

3.2 Ảnh hưởng của công trình đến dòng phản hồi trung bình

Trong cùng một điều kiện biên thủy lực, địa hình bãi và độ dốc mái, kết quả thu nhận được dòng phản hồi trung bình thủy trực tương đối (U_{tb}/C) trên toàn mặt cắt của các kịch bản đề thấp có kết cấu tường đỉnh và không tường đỉnh được so sánh với đề cao không tường đỉnh như trên các hình từ Hình 8 đến Hình 11. Trong hình đó U_{tb} là vận tốc dòng phản hồi trung bình theo độ sâu; C, L là vận tốc truyền sóng và chiều dài sóng tại vị trí thủy trực, x là vị trí tính từ mép nước.

Xu thế chung cho tất cả các kịch bản là dòng phản hồi trung bình thủy trực tương đối trong trường hợp đê thấp có tường đỉnh rõ ràng nhỏ hơn so với các trường hợp đê thấp không tường đỉnh. Và trong hai trường hợp đê thấp này lại nhỏ hơn so với trường hợp đê cao không tường đỉnh. Độ lớn của dòng phản hồi trung bình tương đối có xu thế tăng dần từ mép nước đến vị trí khoảng bằng từ 0,5 - 0,7 lần chiều dài sóng rồi lại tăng trở lại. Đây chính là vùng sóng đổ và tiêu tán nhiều năng lượng sóng nhất cho dịch chuyển của phần tử nước. Xu thế này tạo ra gradient vận tốc trung bình kéo theo đó là sự vận chuyền bùn cát từ chân đê ra xa bờ, khi gặp dòng chảy nhỏ trở lại bùn cát sẽ bồi lắng tạo thành dải cát ngầm.

Mức độ chênh lệch vận tốc dòng phản hồi giữa các trường hợp kết cấu khác nhau giảm dần từ bờ ra ngoài biển. Tính từ vị trí x = 0,6L vào đến mép nước, kịch bản biên thủy lực D70H19T175 cho mức độ chênh lệch vận tốc lớn nhất và kịch bản D65H17T16 là nhỏ nhất.

Vùng sát chân đê, vận tốc dòng phản hồi của các kịch bản có sự khác biệt chút so với xu thế trên chẳng hạn như kịch bản D65H15T19 thì ở gần vị trí x = 0,3L vận tốc trung bình tương đối của đê cao không tường đỉnh lại nhỏ hơn so với kịch bản đê thấp. Kịch bản D65H17T16 ở quanh vị trí x = 0,5L, vận tốc dòng phản hồi của kịch bản đê thấp không tường đỉnh lại nhỏ hơn so với kich bản đế thấp không tường đỉnh lại

Như vậy yếu tố kết cấu tường đỉnh ảnh hưởng không những đến phân bố dòng phản hồi mà còn ảnh hưởng đến cả sự biến đổi của vận tốc dòng phản hồi trung bình tương đối theo mặt cắt ngang để bởi có sự thay đổi trong cân bằng khối lượng do sóng tràn qua đề. Đồng thời khi có tường đỉnh sóng phản xạ sẽ ảnh hưởng đến cân bằng động lượng nên cần phân tích sóng phản xạ để tính toán đến sự ảnh hưởng này đối với dòng phản hồi.



Hình 8. Dòng phản hồi trung bình- kịch bản D65H15T19



Hình 9. Dòng phản hồi trung bình - kịch bản D65H17T16



Hình 10. Dòng phản hồi trung bình - kịch bản D70H15T19



Hình 11. Dòng phản hồi trung bình - kịch bản D70H19T165

TÀI LIỆU THAM KHẢO

4. KẾT LUẬN

Từ kết quả thí nghiệm nghiên cứu dòng phản hồi trên máng sóng trường Đại học Thủy Lợi ứng với một số điều kiện biên và địa hình điển hình có thể đưa ra một vài kết luận chính như sau:

 Việc đo đạc dòng phản hồi ngoài thực tế hiện trường vô cùng khó khăn nên kết quả thực hiện thí nghiệm trong máng sóng là giải pháp hữu hiệu cho thấy sự phân bố, cấu trúc dòng phản hồi ứng với các điều kiện khác nhau

Dòng phản hồi là kết quả của sự tương tác giữa sóng với kết cấu công trình đê tương ứng với điều kiện mực nước khác nhau. Phân bố độ lớn dòng phản hồi lớn nhất cách chân đê khoảng 0,5 - 1m đối với đê có tường đỉnh, 1-1,5m đối với đê có tràn không tường đỉnh và 1-2m đối với đê cao không tường đỉnh

• Độ lớn của dòng phản hồi trung bình tương đối có xu thế tăng dần từ mép nước đến vị trí khoảng bằng từ 0,5-0,7 lần chiều dài sóng rồi lại tăng trở lại, tạo ra gradient vận tốc trung bình kéo theo đó là sự vận chuyền bùn cát từ chân đê ra xa bờ, khi gặp dòng chảy nhỏ trở lại bùn cát sẽ bồi lắng tạo thành bar cát

• Kết cấu công trình tường đỉnh ảnh hưởng đến dòng phản hồi ở hai yếu tố trong hệ phương trình mô phỏng chuyển động của chất lỏng. Thứ nhất là lượng nước tràn trong phương trình cân bằng khối lượng và ảnh hưởng của sóng phản xạ trong phương trình cân bằng động lượng. Đây là hai yếu tố quan trọng cần phải xem xét cập nhật trong các mô hình toán khi xét đến ảnh hưởng của kết cấu đê biển đến dòng phản hồi cũng như vận chuyển bùn cát ngang bờ.

Viện KH Thủy Lợi VN. (2012). Báo cáo đánh giá hiện trạng để biển từ Quảng Ninh đến Quảng Nam.
Hà Nội.
Boers M. (1995). Bedform and undertow in the surf zone, an analysis of the LIPP 11D-data. Delft: TU Delft.

- Buhr Hansen, J. a. (1984). A theoretical and experimental study of undertow. Coastal engineering, 2246-2262.
- Dyhr-Nielsen M. and T. Sorensen. (1970). Sand transport phenomena on coasts with bars. Conf. Coastal engineering ch 54, 855-866.
- Francis, C. T. (1994). Observation of undertow and turbulence in a laboratory surf zone. Coastal Engineering 24, 51-80.
- Garcez, F. A., & al, E. T. (2000). Undertow over a barred beach. Geophysical research, 16999-17010.
- H.J.Steetzel. (1993). *Cross-shore transport during storm surge, Doctoral thesis*. The Netherlands: Delft Hydraulics.
- J. Buhr Hansen, a. I. (1984). A theoretical and experimental study of undertow. Coastal engineering, 2246-2262.
- Johnson, D. (1919). *Shore Processes and Shore Line Development*. Facsimile reproduction 1972, Hafner Publishing Company, New York, 140.
- Kuriyama Y., a. N. (1999). Undertow and Longshore current on a Bar-Trough Beach, Field Measurements at HORS and Modeling. Rep. Port and Harbor Res. Inst., 3-28.
- Masselink, G. a. (1995). *Magnitude and cross-shore distribution of bed return flow measured on natural beaches*. Coastal Engineering, 25, 165-190.
- Neshaei, M. A., A., M. M., & M., V. (2009). The effect of beach reflection on undertow. Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering, Vol. 33, No. B1, 49-60.
- Nicholas, C. K., & Smith, J. M. (1994). *SUPERTANK Laboratory Data Collection Project*. U.S. Army Corps of Engineers.
- Okayasu, A. (1989). *Characteristics of turbulence structure and undertow in the surf zone*. Japan: Repository.tudelft.nl.
- Stive, M. a. (1986). Cross-shore mean flow in the surf zone. Coastal engineering 10, 325-340.
- Svendsen, I. (1984). Mass flux and undertow in a surf zone. Coastal Engineering, 8, 347--365.
- Thao, N. T. (2018). Literature review on the modeling of processes related to sea dike toe erosion during storms. International Symposium on Lowland Technology, ISLT at Thuy Loi university (p. 244). Hà Nội: Construction publishing house.
- Thao, N. T. (2020). Nghiên cứu dòng phản hồi trước chân để biển bằng mô hình vật lý. Hội nghị Khoa học thường niên. Trường Đại học Thủy lợi.
- Yoshimi Goda, Y. S. (1976). *Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments*. Coastal Engineering, 828-845.

Abstract:

INFLUENCES OF SEA-DIKE CROWN WALLS ON THE UNDERTOW DURING STORMS

Crown walls as a measure against wave overtopping are commonly-used on low-crested coastal dikes in Viet Nam. The presence of these walls, however, might modify the wave, undertow characteristics and eventually affect the dike-toe scour during storms. In this paper modifying characteristics of the undertow due to the wall presence are investigated through a series of fix-bed flume model experiments. The results shown that the undertow values, the profile and its across-shore distribution of the undertow markedly deviates.

Keywords: Undertow, sea dike, fix-bed model, crown walls, storm

 Ngày nhận bài:
 11/3/2021

 Ngày chấp nhận đăng:
 04/5/2021