砕波帯内における岸沖方向の地形変化と漂砂特性

1. はじめに

砕波帯内では漂砂現象が活発であり,同領域 内の漂砂動向を解明するためには,移動形態を 考慮した漂砂量の定量的な把握が必要である. Kobayashi¹⁾は, 波と流れの共存場において浮遊 漂砂と掃流漂砂を考慮した漂砂量の定量的評 価を念頭にCross-shore numerical model(以下, CSHOREモデルとする)を構築した. CSHORE モデルを適用した既往の研究として,泉ら²⁾は, 石川県千里浜海岸の1年間の縦断形状変化と漂 砂量を計算し、同海岸の深浅測量値の縦断地形、 漂砂特性に関して既往の知見と概ね一致する ことを示した.一方で,現地海岸や実験室スケ ールにおける砕波帯内の縦断形状に基づいた 漂砂量の分布特性などについては,充分な議論 がなされていない.本研究では,CSHOREモデ ルによる実験室スケールの海浜縦断形状の算 定結果に基づいて, 砕波帯内の漂砂特性につい て考究する.また、茨城県の波崎海岸に位置す る波崎海洋研究施設周辺の来襲波特性,および 岸沖方向の地形変化について整理した.

2. 数値モデルの概要

Kobayashiによって開発されたCSHOREモデ ルは、波と流れの共存場も再現可能な基礎方程 式によって構成されており、掃流漂砂量と浮遊 漂砂量を定量的に評価することができる. CSHOREモデルでは、式(1)の底質の連続式を 用いて縦断形状変化を計算する.数値シミュレ ーションでは、 $z_b = z_x + z_y$ を考慮して式(1)を 式(2)と式(3)に変形する.

$$(1 - n_p)\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \qquad (1)$$

$$(1 - n_p)\frac{\partial z_x}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} = 0$$
 (2)

$$(1 - n_p)\frac{\partial z_y}{\partial t} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0$$
(3)

ここで、 n_p は底質の間隙率であり0.4、 z_b は底 面高、tは時間である。 $q_x \ge q_y$ は合計の岸沖漂 砂量と沿岸漂砂量であり、それぞれ浮遊漂砂量 (Suspend)と掃流漂砂量(Bedload)の和で表され、

日大生産工(院) 竹中 健悟 日大生産工 鷲見 浩一

表-1 波浪条件				
Case No.	$H_0(m)$	<i>T</i> (s)	С	θ
Casel	0.10	1.60	10.72	0°
Case2	0.10	1.60	10.72	30°
Case3	0.04	2.10	3.84	0°
Case4	0.04	2.10	3.84	30°



Fig.1 波向の定義と海浜のモデル空間

 $q_x = q_{sx} + q_{bx}, q_y = q_{sy} + q_{by}$ となる. これら の具体的な導出に関しては, Kobayashi¹に詳述 されている.

3. 入力諸元

波浪条件を表-1に示す. ここで, H_0 は沖波波 高, Tは周期, θ は波向である. Cは, 堀川ら³が 提案した式より求めた無次元係数で, 汀線変動 を示す指標($C \ge 8$:後退, C < 4:前進)であ る. Case1およびCase2は侵食型波浪, Case3およ びCase4は堆積型波浪であり, 波高, 周期, 波向 は時間的に変化しないものとした.

Fig.1はCSHOREモデルにおける波向の定義 とモデル空間であり,海底勾配 $tan\beta = 1/15$, 岸沖距離x = 7.0 m, 底質の中央粒径 $d_{50} =$ 0.18 mmの細砂とした. CSHOREモデルへ入力 する波浪諸元は,沖側境界位置x = 0における 2分間毎の時系列値であり,表-1に示した沖波 波高から算定した二乗平均平方根波高 H_{rms} , 周期T,汀線の法線に対する波向 θ であり,反時 計回りを正とする.経験的砕波パラメータγは, 既往の数値シミュレーション^{2),4}において一般 的な値の0.7とし,海底摩擦係数 f_b は0.02とした. また,計算時間間隔 Δt を2分間,岸沖方向の計

Beach Profile Changes and Sand Transport Characteristics in Surf Zone

Kengo TAKENAKA and Hirokazu SUMI



(c) 沿岸漂砂量Fig.2 Case2 における縦断形状と漂砂量

算格子間隔Δxを0.02mとして,5時間の計算を 実行した.

4. 数値シミュレーション

Fig.2,3は, Case2とCase4における縦断形状と 漂砂量の計算結果である.Fig.2,3(a)は,一様斜 面を初期条件とした1時間毎の縦断形状変化の 計算結果を示している.Fig.2,3(b)は,計算時間 5時間での単位幅における掃流漂砂(Bedload), 浮遊漂砂(Suspend)の累積の岸沖漂砂量であり, 岸方向の移動を正,沖方向の移動を負としてい る.Fig.2,3(c)は,計算期間5時間での単位幅に おける掃流漂砂(Bedload),浮遊漂砂(Suspend)の 累積の沿岸漂砂量であり,Fig.1で示したy軸方 向を正とする.

Fig.2は、Case2の侵食型波浪を作用させたと きの縦断形状変化、岸沖漂砂量、沿岸漂砂量を 示している.Fig.2(a)より、Case2の侵食型波浪 作用後、汀線は僅かに後退し、砕波点岸側で堆 積した.Fig.2(b)に示した累積の岸沖漂砂量は、 砕波点沖側及び汀線近傍域で掃流漂砂が比較



Fig.3 Case4 における縦断形状と漂砂量

的多量となった.一方で, $x = 4.2 \sim 5.0 \text{ m}$ 付近 のように,浮遊漂砂の方が多く発生する領域も みられた. Fig.2(c)に示した累積の沿岸漂砂量 は,浮遊漂砂が比較的多量となったが,汀線付 近のように掃流漂砂の方が多く発生する領域 も見られた.

Fig.3は、Case4の堆積型波浪を作用させたときの縦断形状変化、岸沖漂砂量、沿岸漂砂量を示している.Fig.3(a)より、Case4の堆積型波浪作用後、汀線が前進し、汀線近傍域で堆積した.Fig.3(b)より、岸沖方向の掃流漂砂量・浮遊漂砂量は、汀線付近において最多となった.累積の岸沖漂砂量は、砕波点付近から汀線にかけて掃流漂砂が多量となり、砕波点岸側のx = 4.90 m で最も多くなった.Fig.3(c)の沿岸漂砂に関しても、汀線付近で掃流漂砂が多量に発生し、岸沖漂砂と同様の傾向が見られた.

以上より, Fig.2の侵食型では, 岸沖方向と沿 岸方向で異なる底質移動形態を示した. Fig.3の 堆積型では, 岸沖方向と沿岸方向共に掃流漂砂 が多量となり, 砕波点付近から汀線にかけて底



Fig.4 波崎海洋研究施設(HORS)の位置



Fig.5 2012 年の平均断面

質移動が活発であることが判る.また,砕波帯 内における累積の漂砂量は,侵食型波浪を作用 させたときの方が多量となった.

5. 現地海岸への適用に向けて

今後の研究では, Fig.4(a), (b)に示した茨城県 波崎海岸に位置する(国研)海上・港湾・航空技 術研究所,港湾空港技術研究所所有の波崎海洋 研究施設(Hasaki Oceanographical Research Station,以下HORSとする)にCSHOREモデルを 適用する.本章では,HORSの概要,および主 要な入力値である断面地形および来襲波につ いて整理した.

(1) 波崎海洋研究施設の特長

波崎海岸は延長約16kmの砂浜海岸であり, 北側に鹿島港が位置している.同海岸の北部に 位置するHORSは,全長427mの観測用桟橋を持 ち,従来は困難であった砕波帯内の波,流れ, 断面地形などの観測を可能にした.また,観測 用桟橋は砂浜海岸の漂砂現象に対する影響を 少なくするため,1列の鋼管杭によって支えら れている.これまで,HORSで得られた観測デ ータを用いて多くの研究がなされてきた.例え ば,栗山ら^{5,6}による同領域内の沿岸砂州(以下, バー)の移動に伴う漂砂特性の検討やCEOF解 析を用いた断面変化周期の変動特性の検討, Banno and Kuriyama⁷⁾の波候変化や海面上昇シ ナリオに従った汀線位置の変化予測など多岐 にわたる.



(b) 2012 年の HORS 周辺の断面地形 Fig.6 HORS および周辺領域の断面地形変化

(2) 観測データの概要

CSHOREモデルの主な入力値は、実験室スケ ールと同様に、断面地形と波浪条件である.観 測用桟橋に沿った断面測量は、1986年3月から 2011年3月までは祝祭日を除いて毎日,2011年4 月以降は1週間に1度の頻度で行われている.海 域部の断面は桟橋上からレッドを降ろして測 量し,陸上部の断面はレベルとスタッフを用い て、岸沖距離500mの区間を5m間隔で測量する. 深浅測量では、Fig.4で示すように、観測用桟橋 を中心として沿岸方向銚子側を正, 鹿島側を負 としており、沿岸方向に300mの範囲で50m間 隔の側線を設定している.また,桟橋直近を側 線0mとし、岸沖方向に700mまでは10m間隔, 700mから1040mまでは20m間隔で側点がある. また, 波浪諸元に関しては, 鹿島港沖の水深約 24kmに設置されているNOWPHASにおける超 音波式波高計で観測された波高・周期・波向を 用いる.

(3) 断面地形変化と来襲波特性

Fig.5は、2012年に実施された52回分の断面測 量データの重ね合わせと平均断面を示してお り、高さの基準は、波崎港工事基準面(T.P.-0.687m)であり、x = 0 mは桟橋基部に相当する. 沖方向距離 $x = 180 \sim 380$ mでは、バーが1 ~ 2 年周期で出現、移動、消失することが栗山らの によって報告されており、Fig.5においても同区 間内で地形変動量が大きくなっている.特に、 x = 180 m付近では Δz が4.0mを超える地形変



化が発生しており,現地海岸の砕波帯内においても漂砂現象が活発であることが判る.

Fig.6(a)は,2012年7月から2016年7月のHORS 沿いの断面測量結果に基づいた断面地形の時 間変化であり,各年7月の断面測量データの平 均値をプロットしたものである.同領域内のバ ーの移動が1~2年周期であることを踏まえる と,沖方向距離x = 180~300mに存在するバ ーは,出現または移動の段階であると考えられ る.

Fig.6(b)は、2012年7月に実施された沿岸方向 100m間隔の深浅測量結果を示している. 側線 $y = 0 \mod$ 桟橋直近ではほかの側線と比べて深 くなっており、特に、 $x = 300 \sim 380 \mod$ 区間 では桟橋の杭による洗堀の影響を受けている ことが判る.

Fig.7は、鹿島港沖の超音波式波高計で観測さ れた2012年1月から2012年12月の有義波高 $H_{1/3}$ ・有義周期 $T_{1/3}$ を示したものであり、1日12 波としてプロットした.年間の平均波高は 1.42m、平均周期は8.35sであり、Fig.7(a)より、 夏季の $H_{1/3}$ は最大でも2mを超える程度である が、冬季では4mを超える $H_{1/3}$ が出現する.また、 Fig.7(b)に示した $T_{1/3}$ においても同様に、冬季に 大きくなる傾向が確認できる.

6. おわりに

本研究では、実験スケールの数値シミュレー ション結果と現地海岸への適用に向けた入力 諸元について整理した.同領域内では栗山⁵⁾に よってバーの移動現象が発生することが判っ ているが, バーの移動現象と移動形態を考慮し た漂砂量の関係等については不明瞭な点が多 い.また, 砕波帯内の断面地形に基づいた漂砂 動向の把握についても充分な議論がなされて いない. 今後の研究では, 波崎海洋研究施設お よび周辺領域においてCSHOREモデルを適用 し, 1年または1年以上の岸沖方向の地形変化や バーの移動の再現, 及びそれに基づいた岸沖漂 砂量, 沿岸漂砂量の定量的評価を行う.

謝辞

本研究で用いた断面測量データおよび深浅 測量データは、港湾空港技術研究所、沿岸環境 研究領域、沿岸土砂管理研究グループ、グルー プ長の伴野雅之様より提供いただいた.ここに 記して謝意を表する.

参考文献

- N. Kobayashi, "Coastal Sediment Transport Modeling for Engineering Applications", Journal of Waterway, Port, Coastal, Ocean Engineering, ASCE (2016) 03116001
- 泉琢弥, 鷲見浩一,小林信久,中村倫明, 小田晃,落合実,千里浜海岸周辺における 岸沖方向の地形変化と沿岸漂砂に関する 研究,土木学会論文集(2022)B3(海洋開発), Vol.78, No.2, I_133-I_138.
- 堀川清司,砂村継夫,近藤浩右,岡田滋,波 による二次元汀線変化に関する一考察,第 22回海岸工学講演会論文集(1975), pp.329-334.
- N. Kobayashi and H. Jung., "Beach Erosion and Recovery", Journal of Waterway, Port, Coastal Engineering, ASCE (2012) pp.473-483
- 5) 栗山善昭,沿岸砂州の長期変動特性と底質 移動特性,土木学会論文集(2001), No.677, pp.115-128.
- ・ 栗山善昭, 伊東啓勝, 波崎海洋研究施設で 観測された断面変化の卓越周期の変動特 性, 海岸工学論文集(2004), 第51巻, pp.516-520.
- M. Banno and Y. Kuriyama., "Prediction of Future Shoreline Change with Sea-Level Rise and Wave Climate Change at Hasaki, Japan", Coastal Engineering Proceedings 34 (2014), 56-56.