

バーとトラフを考慮した海浜変形予測モデルの構築に関する研究 Development of a Coastal Morphological Model Incorporating Sandbars and Troughs

○清水翼¹, 星上幸良²Tasuku Shimizu¹, Yukiyoshi Hoshigami²

Abstract : This study aimed to develop a numerical model for simulating the formation and evolution of nearshore bars and troughs by incorporating a breaker zone response algorithm into the BG model. Long-term field data from Hasaki Coast were analyzed to clarify spatiotemporal characteristics of sandbar dynamics. Reproduction tests for March 2018 showed that the model successfully captured bar formation and offshore migration, consistent with observations. However, discrepancies in berm position and oversimplified local topography indicated remaining issues in sediment budget representation. These results highlight the need for further refinement to improve predictive capability of nearshore morphological changes.

1. 研究背景

バーとトラフは、砕波帯内で波エネルギーを減衰させることで海岸（砂浜）の侵食抑制に寄与するとともに、浅海域に生息するチョウセンハマグリやコタマガイといった二枚貝類の生息環境とも密接に関係しており、海岸保全や生態系維持の観点から重要な地形要素である。

これまで断面変化モデルや非線形性を考慮した手法によってバーの形成や移動が再現されてきたものの、複雑な外力条件や平面場での予測には限界がある。さらに、実務で広く用いられるBGモデル^[1]は大局的な地形変化の表現に優れる一方で、縦断方向の傾斜を一様斜面と仮定しているため、バーやトラフといった局所的かつ短期的な微地形の再現は困難であった。

2. 研究目的

以上より、本研究では、BGモデルに砂村の経験式^[2]を組み込み、局所的・短期的なバー・トラフの形成・移動・消失を再現し得る新たな数値計算手法を構築する。

3. 研究方法

まず既往の海岸地形の観測結果と長期波浪観測データを用いて沿岸砂州形成の時空間特性を整理する。次に、その結果から砕波帯の地形応答を組み込んだ数値モデルを構築する。構築した数値モデルに対しては、解析した地形観測データを用いて、バーとトラフの地形変化に関する再現計算を行い、計算モデルに用いるパラメータや補正項を逐次調整して精度を高め、長期予測への適用を可能にする。

4. 対象海岸および既存観測データの整理

4.1. 観測データの概要

本研究の対象は茨城県波崎海岸であり、港湾空港技術研究所の波崎海洋研究施設（HORS）における長期・高頻度の海浜地形測定データ^[2]を用いた。HORSでは1986年以降、栈橋軸に沿う約500mの測線上でビーチプロファイルが継続取得されており、観測頻度は当初平日毎日、2011年4月以降は週1回である。また、外力条件としてNOWPHAS鹿島観測点の2時間毎波浪データ（1986–2023年）を利用した。波崎海岸は全長約16kmの直線的砂浜で、底質は均一（ $D_{50} \approx 0.18$ mm）、平均浜勾配は1/50~1/60である。

4.2. 解析結果

HORS観測栈橋における長期ビーチプロファイルとNOWPHAS鹿島の波浪データを用いて浅海域地形の変動特性を解析した。その結果、バー・トラフは季節的・年周期的に形成・移動・消失を繰り返す。春～夏は断面変動が小さく、秋～冬に顕著な変動が生じることが確認された。さらに、バー位置には約2~3年周期の変動が認められ、単なる季節波浪では説明できない履歴依存性が示唆された。一方で、長期平均断面や月平均断面では局所的起伏が平滑化されるため、モデル検証の基準地形としては不適切である。したがって、本研究ではバー未形成から新規形成に至る事例を対象とし、改良モデルの再現性を評価することとした。

5. モデル概要

本研究では、BGモデルのシンプルな構造を活かしつつ理論的一貫性を保つため、砕波点理論を組み込んだ

1: 日大理工・院(前)・海建, Graduate Student, Ocean Architecture and Engineering, CST., Nihon-U.

2: 日大理工・教員・海建, prof. Ocean Architecture and Engineering, Dr.Eng CST., Nihon-U.

改良を行った。砕波点は合田 (2007) [3] の砕波式により算出し、その位置を基準に砂村 (1985) [2] の経験式を適用してバー・トラフの位置と規模を推定した。これらの情報をもとに局所的な平衡勾配を補正し、浅海域におけるバー・トラフの形成・移動を再現可能とするアルゴリズムを構築した。さらに、バーから沖にかけて不足する勾配については、縦断解析より相関を得た経験式 (式(1)) を導入することで補完し、再現性を高めた。

$$\tan\beta = 0.0084hc + 0.0511 \quad (1)$$

ここで、 $\tan\beta$ は海底勾配、 hc はバーの高さである。

6. 有用性の検証

再現目標とする地形は、2018年3月5日から3月26日を対象とした。対象期間の波浪データを解析し、得られたエネルギー平均波を代表条件として用いた。対象断面の縦断地形を Figure 1 に、計算条件を Table 1 に示す。

再現計算の結果を Figure 2 に示す。バーは初期に $Y = -180$ m 付近で形成され、その後徐々に沖方向へ移動した。最終的には $Y = -210$ m 付近で位置が安定し、この波浪条件下ではそれ以上の移動は生じない結果となった。

再現計算の結果を実測データと比較した。実測断面では、バーが $Y \approx -180$ m 付近に形成された後、徐々に沖方向へ移動し、3月26日には $Y \approx -220$ m 付近で明瞭に発達した。計算結果でも同様にバーの形成・沖向き移動・安定化が再現され、大局的傾向は概ね一致した。

Table 1. Computational conditions

プログラム	v25
初期勾配	S013:2018/03/05とボリュームを合わせた地形
上下下限	$Z_B = -100, Z_T = 100$
時間間隔 Δt	0.001 hr
STEP数	5840000
空間メッシュ	$\Delta X = \Delta Y = 5m$
岸沖漂砂量係数	$C_x = 0.2, C_y = 0.2$
境界条件	$q = 0$
波向 θ_w (deg)	0
平衡勾配	水中: 1/60 陸上: 1/10
勾配屈曲点係数	0.76
安息角	1/2
土砂落ち込み係数	RS=0.5
移動限界水深 h_c	$h_c = 6$
バーム高 h_R	$h_R = 3.27$
波高 H	2.24m
周期 T	6.74s
砕波式	合田
KSTEP	365000

一方で、 $Y \approx 25$ m 付近に形成されるバームの位置にずれが生じており、土砂収支の取り扱いに課題が残されていると示唆された。また、計算結果は全体的に地形変化が滑らかに表現される傾向にあり、実測で見られる局所的な掘れ込みは再現されなかった。

7. 結論

本研究では、BG モデルに砕波帯応答アルゴリズムを組み込み、バー・トラフの形成や移動を再現可能とする数値モデルを構築した。再現計算によりバーの大局的な挙動は表現できたものの、バーム位置のずれや局所的な地形変化の不足など、土砂収支の取り扱いに課題が残った。

今後はこれらの課題を踏まえ、モデルの改良を進めることで、より精緻な地形変動予測を目指す。

8. 参考文献

- [1] 芹沢真澄・宇多高明・三波俊郎・古池鋼: Bagnold 概念に基づく海浜変形予測モデル, 土木学会論文集 B, Vol. 62, No. 4, pp. 330-347, 2006.
- [2] 砂村継夫: 沿岸砂州の形成位置と規模, 海岸工学講演会論文集, 第 32 回, pp.331-335, 1985.
- [3] UMI-POCHI: Hasaki Beach Monitoring Program, Japan — Long-Term Cross-Shore Profile Data (1986–2023). <https://pari.mpat.go.jp/bdhome/Hasaki/?utm_source=chatgpt.com>.
- [4] 合田良実: 工学的応用のための砕波統計量データの再整理, 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp. 81-85, 2007.

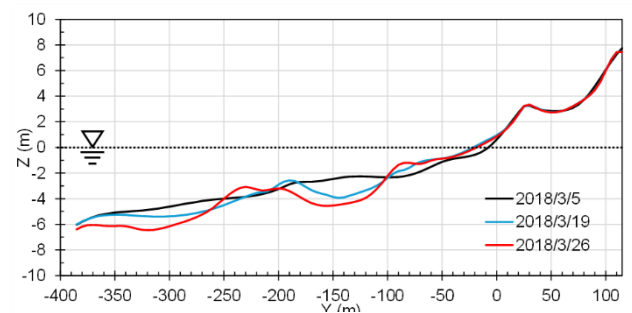


Figure 1. Simulated topography

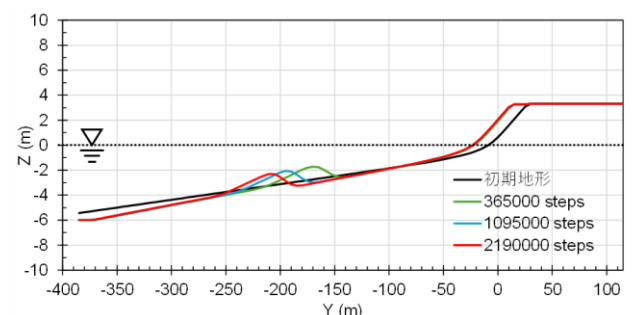


Figure 2. Computational results