

天神川河口砂州の地形変化特性と数値解析モデルの適用性の検討

鳥取大学 学生会員 ○石井和希・田島大地
 シンワ技研コンサルタント(株) 正会員 片山 崇
 鳥取大学 正会員 黒岩正光・梶川勇樹

1. はじめに

鳥取県中部に位置する一級河川、天神川の河口部には、図-1 に示すように常に砂州が形成されている。天神川は砂州の発達による河口閉塞の発生リスクを抱え、仮に河口が閉塞した際には、洪水氾濫などの自然災害の発生が懸念されている。

本研究では、河口砂州の適切な管理の実施を目的とし、2020 年以降の砂州の地形変化特性を現地調査により得られたデータを用いて検討した。加えて、黒岩ら¹⁾の3次元海浜変形モデルを用いて2017年10月に発生した砂州の消失から冬季波浪による砂州の回復過程の再現計算を試み、その結果を現地調査データと比較することでモデルの適用性を検討した。



図-1 天神川河口部 (撮影日:2020 年 8 月 7 日)

2. 現地調査概要

(1) 調査期間および調査内容

本研究においては、天神川の河口砂州上を2020年5月28日、8月28日、9月16日、10月19日の計4回、ネットワーク型 RTK-GNSS により汀線測量および横断測量を実施した。図-2 に測量領域を示す。図中の No.3~No.12 までの線は測線を示し、本研究では測線 No.8+75 から No.11+75 までを砂州の範囲とし、25m 間隔で横断測量を行った。

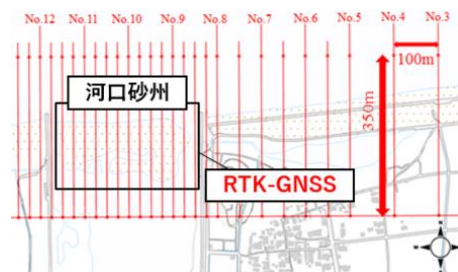


図-2 測量領域

(2) 調査期間内の外力特性

波浪特性は鳥取港沖で観測されたNOWPHASデータを日平均化したものを用いた。図-3 に2020年5月から10月までの有義波高、有義波周期、波向の時系列を示す。また、図-4 に波向の頻度分布図を示す。

図より、8月までは主に NNE (北北東) ~ENE (東北東) へ卓越する、且つ波高が常時 1.5m に満たない低波浪であるが、9月以降は主に NNE(北北東)~NNW(北北西)へ卓越する、且つ頻繁に波高 2.0m を超える高波浪へと遷移していることが分かる。

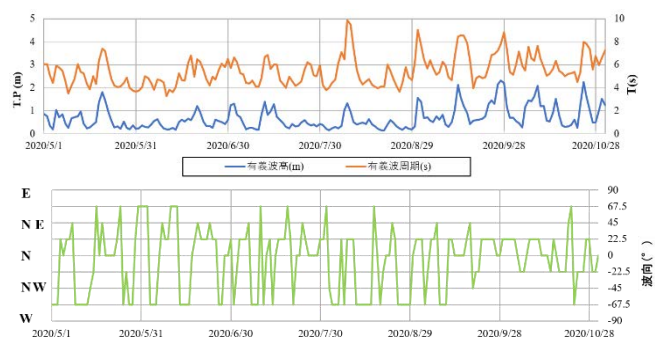


図-3 有義波高・有義波周期・波向(2020/5~2020/10)

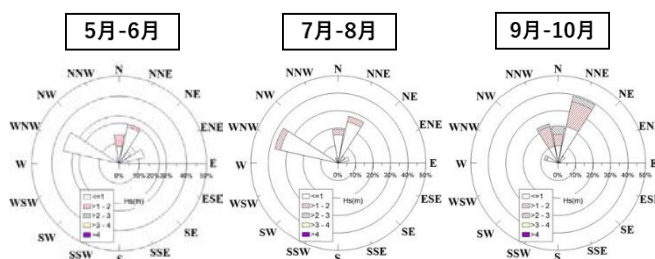


図-4 波向頻度分図(2020/5~2020/10)

キーワード 河口砂州, RTK-GNSS 測量, 数値解析モデル

連絡先 〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南4丁目101 鳥取大学工学部海岸工学研究室

T E L 0857-31-5300

河口における水位特性は水文水質データベースの長瀬観測所で観測されたデータを日平均化したものを用いた。図-5に2020年5月から10月までの水位時系列を示す。

図より, 8月までは大きな変動が見られず全体的に T.P.1.0m~1.5m 間で低く安定しているが, 9月頭に T.P.2.0m を超える高水位を記録した後は, 頻繁に T.P.1.5m 以上の高水位が発生するようになった。

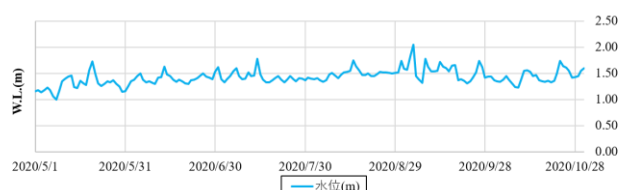


図-5 水位(2020/5~2020/10)

(3)現地調査結果

図-6および図-7に RTK-GNSS 測量により得られた結果を示す。これらの図より, 調査期間内を通して顕著な地形変化が2点挙げられる。

まず, 9月から10月までの間に, 砂州が沖側へ局所的に発達し, 発達箇所の汀線は沖側へ約40m前進した。これは, NNE(北北東)へ卓越する高波浪により, 土砂が沖側から砂州前面へ輸送されたことによるものと考えられる。

次に, 8月から9月の間に, 砂州の河川側にて大部分が侵食した。これは, 9月前期に高水位が頻発したことにより, その際に砂州の河川側の土砂が河川流によって海域へと輸送されたことで発生したと考えられる。

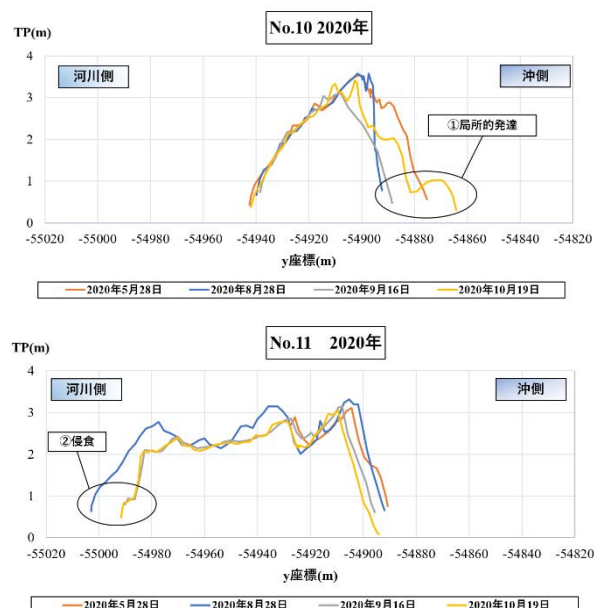


図-6 測線 No.10, No.11 断面変化図

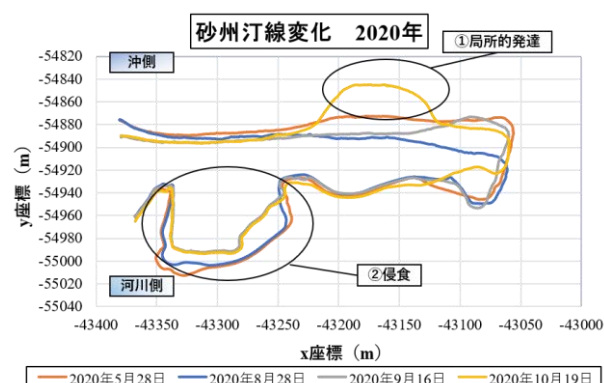


図-7 砂州の汀線変化図

3. 数値解析モデルによる検討

数値解析モデルの天神川河口部における現地適用性を検討するため, 2017年の台風17,19号により砂州が消失した地形を対象とし, 冬季波浪による砂州の回復過程の再現計算を試みた。

(1)数値解析モデル概要

本研究で用いた3次元海浜変形モデルは, 波浪場, 海浜流場, 漂砂量および地形変化の4つのサブモデルから構成されている。波浪場サブモデルは, 間瀬ら²⁾の回折を考慮した多方向不規則波のエネルギー平衡方程式を用いて, 海浜流サブモデルは, 計算条件に応じて平面2次元モデルまたは準3次元モデルが選択されるようになっている。本研究では, 入射波高が2.75m以上の場合に準3次元モデルを用いて計算を行った。

本研究では碎波帯での漂砂運動が河口部周辺の地形変化に大きく影響すると考え, 碎波減衰項 ε_b について, Chawla and Kirby³⁾による理論式(以下CKモデル)と, Battjes and Janssen⁴⁾による理論式(以下BJモデル)の2種類のモデルを用いて計算を行った。その後それぞれの地形変化に対して与える影響を検討した。

碎波減衰項の理論式 ε_b は以下のように表される。

$$\varepsilon_b = \frac{\langle D \rangle}{(\rho g H_{rms}^2 / 8) \sigma} \quad (1)$$

ここに, H_{rms} は2乗平均波高, $\langle D \rangle$ は碎波によるエネルギー逸散率, ρ は海水の密度, g は重力加速度, σ は代表相対角周波数である。

【CKモデル】

CKモデルのエネルギー散逸率 $\langle D \rangle$ の理論式は以下のように求められる。

$$\langle D \rangle = \frac{3\beta\rho}{32\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{(g\bar{k})^3}{\tanh \bar{k}h}} \left(\frac{\bar{k}}{\gamma \tanh \bar{k}h} \right)^2 * H_{rms}^5 \left[1 - \left\{ 1 + \left(\frac{\bar{k}H_{rms}}{\gamma \tanh \bar{k}h} \right)^2 \right\}^{-5/2} \right] \quad (2)$$

ここに、 $\bar{k}$ は波数ベクトル、 g は重力加速度である。 β は無次元係数であり、本研究では $\beta=0.4$ とした。 γ は砕波の発生位置の決定に関する無次元係数であり、 $\gamma=0.6$ とした。

【BJ モデル】

BJ モデルのエネルギー散逸率 $\langle D \rangle$ の理論式は以下のよう求められる

$$\langle D \rangle = \frac{\alpha\rho g}{4} Q_b \bar{f} H_{rms}^2 \quad (3)$$

$$\frac{1-Q_b}{\ln Q_b} = - \left(\frac{H_{rms}}{H_b} \right)^2 \quad (4)$$

ここに、式(4)を近似的に満たす Q_b を式(3)に代入して求められる。 $\bar{f}$ は波の代表周波数、 H_b は砕波限界波高である。 α は無次元定数で本研究では $\alpha=1$ とした。

(2) 計算条件

図-8 に示す初期地形は、台風 17,19 号により砂州が消失した 2017 年 11 月時点の海底地形を適用した。初期地形の計算範囲は、沿岸方向 600m、岸沖方向 1200m とし、海底勾配は 1/50、河口部の川幅は 310m とした。

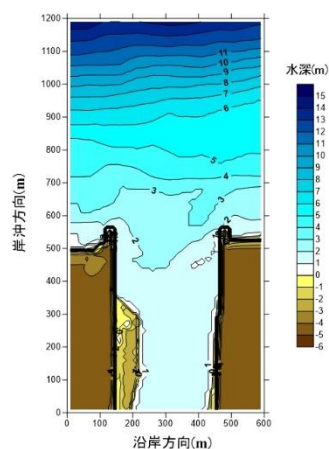


図-8 初期地形

再現計算期間は砂州フラッシュ後の 2017 年 11 月 1 日から 2018 年 3 月 31 日までの 150 日間とした。図-9 及び図-10 は計算期間内の波浪条件を示し、これらは黒岩ら⁵⁾が採用した波浪設定法を参考に、NOWPHAS 鳥取港のデータを整理した日平均波浪を用いた。

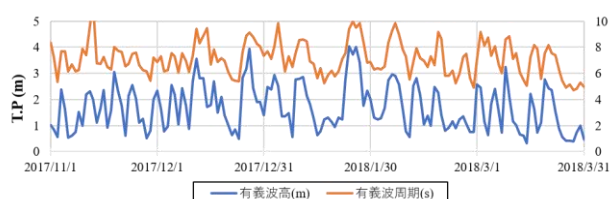


図-9 有義波高・有義波周期(2017/11~2018/3)

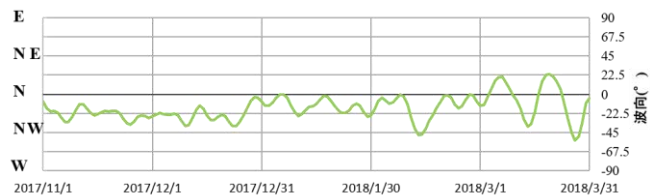


図-10 波向(2017/11~2018/3)

(3) 計算結果

図-11 は、CK モデル及び BJ モデルによる 1step 目の波浪場の計算結果を示したものである。図より、CK モデルは砕波する際に波高が急激に減衰しているが、BJ モデルは CK モデルと比較すると砕波時の波高の減衰が緩やかであることが分かる。

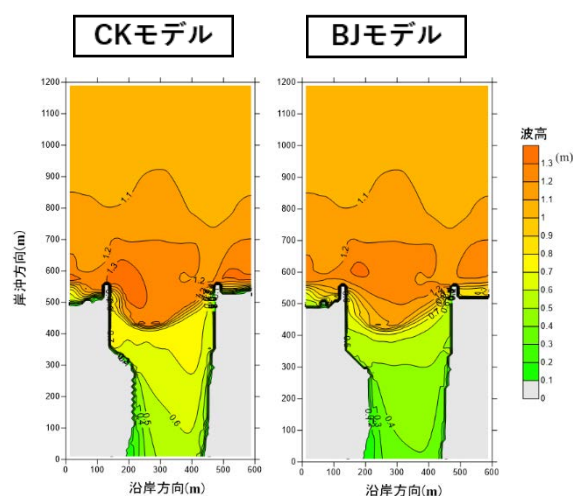


図-11 波浪場の計算結果：1step 目

($H_{1/3}$ (m)=1.02, $T_{1/3}$ (s)=8.36, $\theta(^{\circ})=8.0$)

図-12 に CK モデルによる河口砂州の再現計算結果を示す。30 日後より、両岸から土砂が堆積し、90 日後には海域側で侵食した土砂が波浪により岸側へ輸送され、左岸より伸張した砂州が発達した。150 日後には河口部前面を覆う河口砂州が形成された。

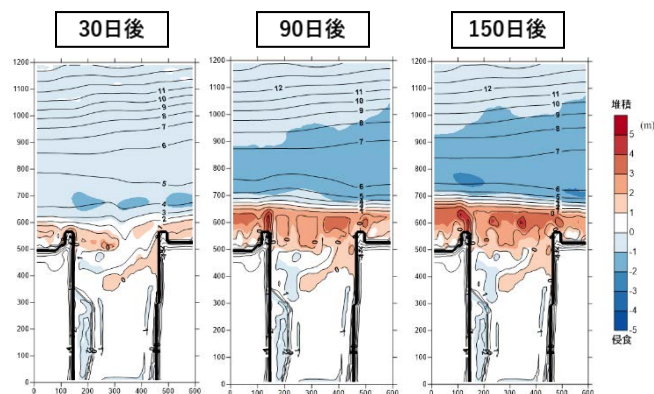


図-12 河口砂州の形成過程(CK モデル)

図-13にBJモデルによる河口砂州の再現計算結果を示す。30日後より両岸より土砂が堆積し、90日後には海域側に侵食域が広がり、同様に左岸より堆積域が拡大した。150日後には、砂州前面へと土砂が堆積し、砂州が岸沖方向へ著しく発達した。

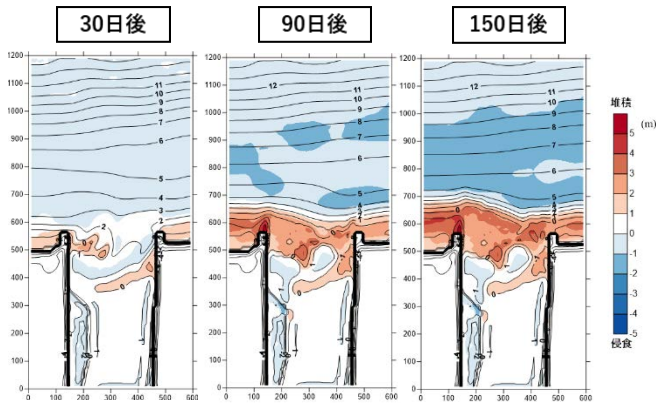


図-13 河口砂州の形成過程(BJモデル)

(4) 計算結果と現地調査データの比較

図-14に測線 No.10 及び測線 No.11 の座標系にあたる再現計算結果の断面図を示す。図より、両モデルを用いた場合にも導流堤先端部周辺での河口砂州の形成を再現することが出来たが、図-6に示した測量結果と比較すると、砂州幅が大きく、且つ砂州高さが低く計算される結果となった。

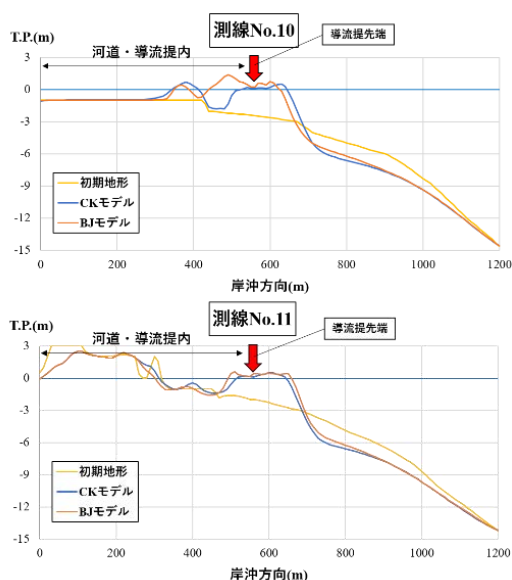


図-14 再現計算結果断面図(測線 No.10, No.11)

4. おわりに

本研究では、2020年以降の天神川河口砂州で行われた現地調査データを基に、調査期間内における波浪特性及び水位特性に着目し、地形変化特性を検討した。

その結果、高波浪による砂州前面の局所的な発達、及び高水位による砂州の河川側の大部分侵食が確認された。今後も現地調査を継続し、これらの関係性について検討する。

次に、3次元海浜変形モデルを用いて2017年10月に発生した砂州の消失から冬季波浪による砂州の回復過程の再現計算を試みた。その際に、砕波帯での漂砂運動に着目し、CKモデル、BJモデルの2種類のモデルを用いて計算を行った。

その結果、両モデルを用いた場合にも導流堤先端部周辺での河口砂州の形成を再現することが出来たが、現地測量データと比較し、砂州が鉛直方向に堆積せず、水平方向へと顕著に発達する結果となった。

これに関して、土砂が河口に堆積し砂州が形成され始めた後の、遡上域における漂砂の取り扱いに関して問題があると考え、その算定法について検討を進める必要がある。

参考文献

- 1) 黒岩正光, 口石孝幸, 松原雄平, 砂川真太郎 (2007): 準3次元海浜流モデルを用いた3次元河口砂州形成数値シミュレーション, 海岸工学論文集, 第54巻, pp. 686-690.
- 2) 間瀬肇・由比政年・雨森洋司・高山知司 (2004): 波・流れ共存場における砕波および回折効果を考慮した位相平均波浪変形予測モデルの構築, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 6-10.
- 3) Chawla, A. and J. T. Kirby (2002): Monochromatic and random wavebreaking at blocking points, Journal of Geophysical Research, 107, No. C7., pp. (4-1)-(4-19).
- 4) Battjes, J. A. and J. P. F. M. Janssen (1978): Energy loss and set-up due to breaking of random waves, Proceedings of the 16th ICCE, vol. 1, pp. 569-587.
- 5) 黒岩 正光, 安本 善征, 小川 崇 (2019): 日平均波浪時系列を用いた3次元海浜変形モデルの現地再現性, 土木工学論文集 B2(海岸工学), Vol. 75, No. 2, pp. I_529-I_534.