

UAV 空撮および数値解析モデルを用いた鳥取県天神川河口砂州のフラッシュ～再形成の検討

オリエンタルコンサルタンツグローバル (株)	正会員	○石井 和希
シンワ技研コンサルタント (株)	正会員	片山 崇
国土交通省 中国地方整備局 倉吉河川国道事務所	非会員	小島 亨
鳥取大学	正会員	黒岩 正光
鳥取大学	正会員	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常時河口砂州が形成されている。総合的な土砂管理の観点より、河川上流からの土砂供給や砂州のフラッシュにより海域側に輸送された土砂が砂州の回復への寄与に関して未解明な点が多い。また、治水の観点より、河口閉塞の発生による水害リスクを回避するために、砂州の発達メカニズムや河口閉塞の発生タイミング予測が研究されているが、現地スケールでの実用には至っておらず、その適用性に課題を残している。以上の二つの点を研究背景とする。

本研究では、2021年7月の梅雨前線豪雨により発生した砂州フラッシュから再形成までの過程に着目し、UAVを用いた土砂変化量の定量的な把握、砂州開口幅の変遷を検討した。また、黒岩ら¹⁾の数値解析モデルを砂州フラッシュ後の天神川河口部に適用し、砂州再形成までの過程の再現計算を試み、空撮写真との比較を通じてモデルの現地適用性を検討した。

2. UAVによる河口砂州土砂量の変化について

河口砂州フラッシュから再形成までの土砂変化量を定量的に把握するため、UAVを用いた3次元点群測量(2021年:標定点 2022年:RTK-GNSS法)を実施し、東京湾平均海面(T.P.)0m上の河口砂州の土砂量を算出した。図-1に2021/6/3～2022/10/28の河口砂州土砂変化量のグラフおよび測量時の空撮写真を示す。

図-1より、2021/6/3時点の河口砂州は両岸から発達しており、合計土砂量 $54,598\text{m}^3$ を有していたことがわかる。2021/7/8に梅雨前線豪雨の影響により大規模な出水が発生し、小田観測所(図-2)にて最大流量 $1389\text{m}^3/\text{s}$ を記録した。その際に砂州中央部がフラッシュされ2021/7/16時点で土砂量 $31,651\text{m}^3$ となり、約 $23,000\text{m}^3$ の土砂が沖側へ流出したことがわかる。

2021/9/11時点の砂州は回復傾向を示し、フラッシュ後より約 $3,000\text{m}^3$ 堆積した。以降2022/7/15時点では右岸を付け根とした砂州に変形し土砂量 $42,882\text{m}^3$

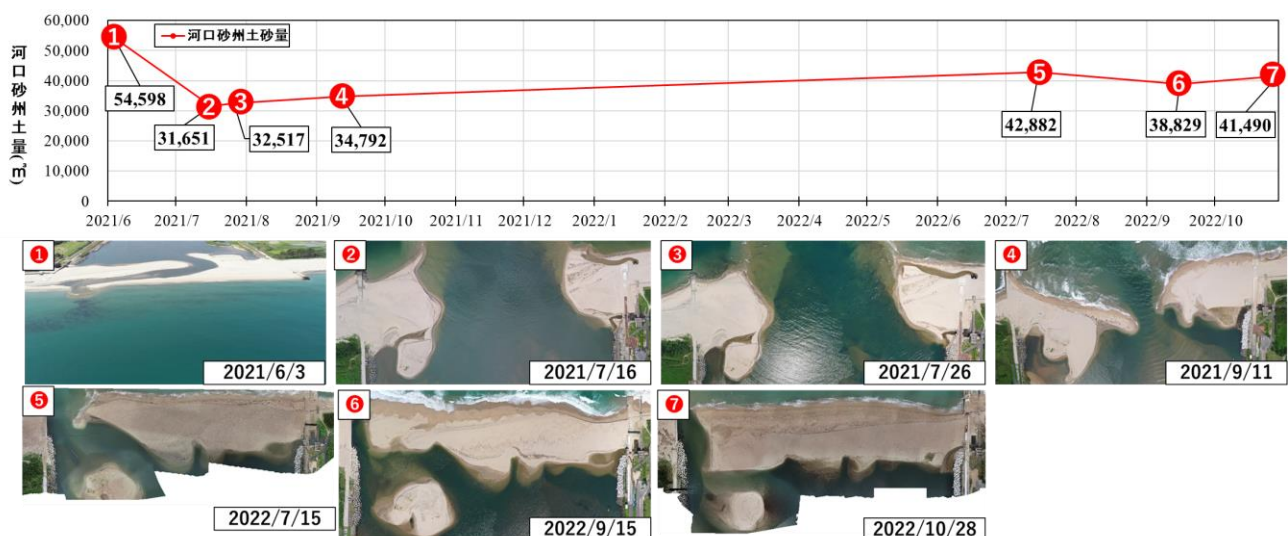


図-1 河口砂州土砂変化量—UAV空撮写真(2021/6/3～2022/10/28)

キーワード 河口砂州, UAV測量, 数値解析モデル

連絡先 〒163-1409 東京都新宿区西新宿3丁目20-2 東京オペラシティタワー9F

TEL 03-6311-7570

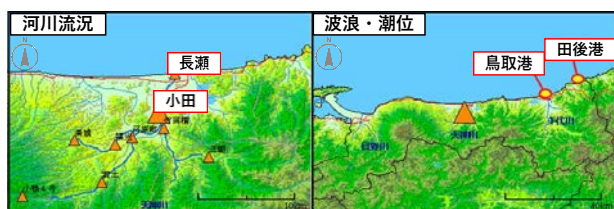


図-2 天神川河口部周辺の観測所

を有するなどフラッシュ後より約 11,000m³の堆積が確認された。それ以降は大きな増減は確認されないため、砂州が土砂量 40,000m³を境に定常状態に至ったと考えられる。

これらより、UAV を用いた 3 次元点群測量により土砂変化量を定量的に把握できることが示された。今後は測量を継続的に実施し、河川流況や波浪などの外力との関係性を検討する所存である。

3. UAV による砂州開口幅の変化について

2021 年 7 月の砂州フラッシュから再形成までの過程における、河口砂州による河口部の閉塞状況を検討するため、UAV 空撮写真から縮尺比を考慮し河口砂州の開口幅を計測した。図-3 に 2021/7~2022/10 の砂州開口幅および水位、有義波高、有義波周期を示す。図-2 より、水位は長瀬観測所および小田観測所の 1 時間毎の観測値を使用し、有義波高および有義波周期は NOWPHAS 鳥取港の 20 分毎の観測値を使

用した。

図-3 より、2021/7/8 の梅雨前線豪雨により小田観測所で最高水位 5.95m を記録する大規模な出水が発生した。それによる砂州中央部のフラッシュに伴い開口幅が 2021/7/10 時点で 170m まで拡張された。その後一時収縮傾向を示したが、2021/8/9~8/10 間に最大波高 4.69m、最大周期 11.4s の高波浪が継続して作用したことにより開口部が侵食し、開口幅が 168m まで再び拡張された。以降は継続して収縮傾向を示し、2021/9/16 には開口幅が 26m を記録し、フラッシュ直後より 144m 収縮した。

2022 年以降は、大半の期間で開口幅が 30m を下回るように、慢性的な河口閉塞傾向を常に示している。特筆した開口幅の変動に関して、2022/7/11~7/19 間で開口幅が 56m 拡張された際には 7/19 に小田観測所で最高水位 1.96m を記録し、同様に 2022/9/15~9/20 で 90m 拡張した際には 9/20 に小田観測所で最高水位 3.66m を記録するなど、小田観測所水位が高くなるほど、直後に開口幅が増大する傾向を示し、出水イベントによる砂州開口部周辺の侵食が示唆される。

これらより、砂州開口幅の拡張に関しては、出水イベントおよび高波浪の作用に起因するものに大別されることが示された。開口幅の縮小に関しては、波浪などの外力の作用と砂州の回復速度との相関を今後の調査を通じて詳細に検討する所存である。

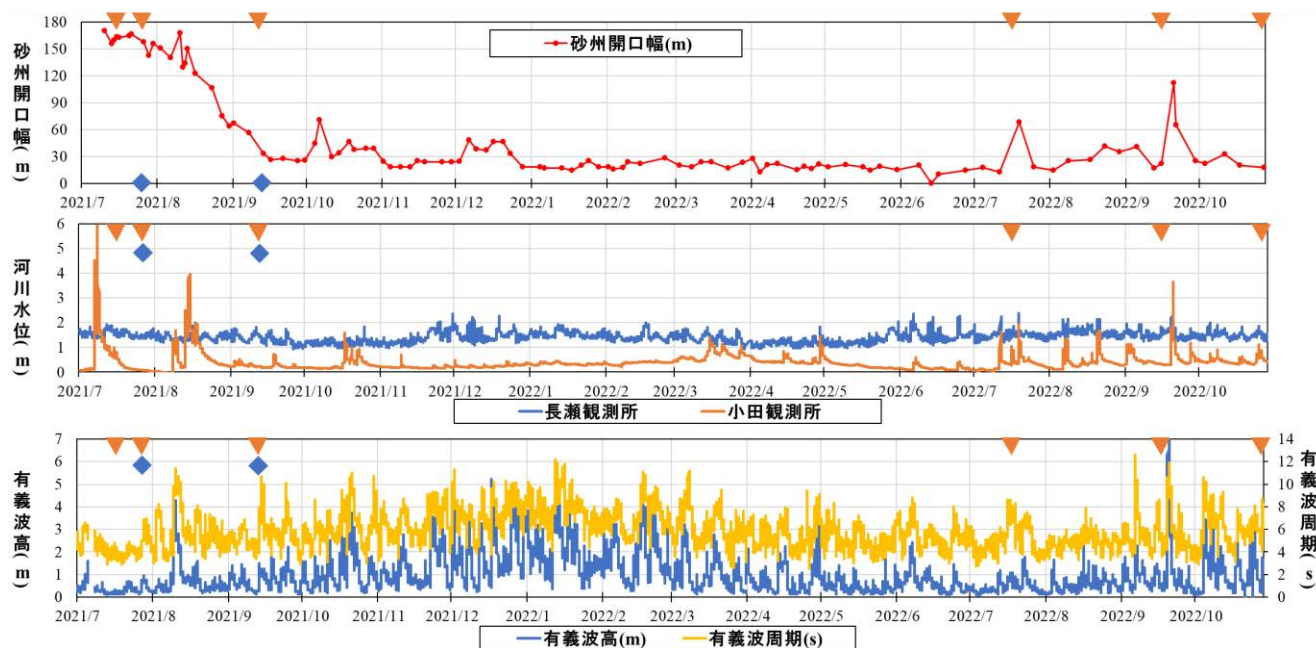


図-3 砂州開口幅—水位（長瀬，小田），有義波高，有義波周期（2021/7~2022/10）

(▽ : UAV による 3 次元点群測量, ◆ : シングルビーム深淺測量)

4. 数値解析モデルによる砂州形成再現

モニタリングによる土砂動態の把握の補完法、および河川側から海域側に流出した土砂の河口砂州への回帰過程を力学的に検討するツールとして、黒岩ら¹⁾の数値解析モデルを砂州フラッシュ後の天神川河口部に適用し、砂州再形成までの過程の再現計算を試みた。

本研究では砂州フラッシュ後に深浅測量および陸地測量を実施した2021/7/26の地形データを用いて、UAV測量により砂州の再形成が確認された2021/10/5までの71日間の計算を行い、計算結果とUAV空撮写真により河口砂州の形成状況を比較しモデルの適用性を検討した。

(1) 数値解析モデル概要

本モデルは波浪場、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る。海浜流サブモデルは黒岩³⁾の平面2次元(2DH)および準3次元(Q3D)のハイブリッド海浜流モデルを用いる。漂砂量モデルおよび地形変化モデルは、渡辺ら⁴⁾の局所的漂砂量モデルをベースとした波・流れ・浮遊漂砂を考慮した正味の漂砂量モデルおよび3次元海浜変形モデルを用いる。

本研究では土砂の鉛直方向への堆積の再現性の向上を図り、従来のモデルに現地観測結果に基づいた波の遡上する高さ(以下遡上高)の概念を設け、遡上高までの漂砂量計算を導入した。

図-4に示すとおり、遡上高 R_{Tp} はOkazaki et al.⁵⁾のバーム高算定式を参考に、潮位を考慮したものを次式に示す。

$$R_{Tp} = 0.220(gT_{1/3}^2)^{5/8} H_b^{1/8} d_{50}^{1/4} \phi + \Delta h_t \quad (1)$$

ここに、 H_b ; 有義波の碎波限界波高であり、合田⁶⁾の碎波指標により求める。 g : 重力加速度, $T_{1/3}$: 有義波周期, d_{50} : 底質粒径, Δh_t : 潮位, ϕ : 海浜の浸透性の増加に伴う遡上高さの減少を表す係数であり、無次元粒径 D_* を用いて次式で表される。

$$\phi = \exp(-0.04D_*^{0.55}) \quad (2)$$

$$D_* = \sqrt[3]{sgd_{50}^3/\nu^2} \quad (3)$$

ここに、 s : 底質の水中比重, ν : 動粘性係数である。

図-4に遡上域における漂砂量の算定方法を示す。海域および陸地の境界において、次式により汀線付近の基準点 x_s の漂砂量(q_{xs}, q_{ys})を遡上距離 x_r まで外挿して算定した。

$$(q_{xr}, q_{yr}) = (q_{xs}, q_{ys}) \left(\frac{x_r - x}{x_r - x_s} \right)^{0.5} \quad (4)$$

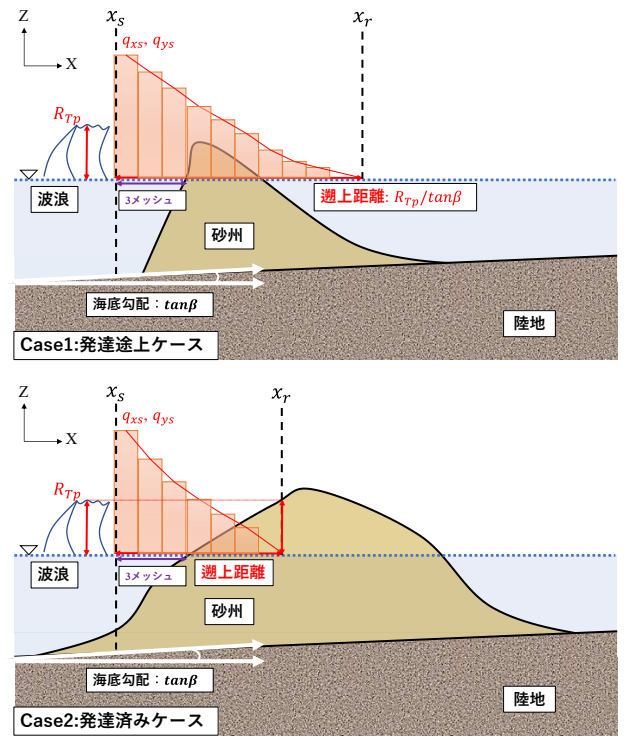


図-4 遡上域での漂砂量計算

(2) 計算条件

計算範囲は沿岸方向 1000m, 岸沖方向 1000m, 海底勾配は 1/50, 計算格子サイズは 5m×5m とした。計算間隔を 1 日毎, 底質粒径を既往の粒度試験結果より 0.7mm とした。図-5に計算に用いた外力条件を示す。波浪条件はNOWPHAS鳥取港の代表値, 河川流況は河川水位を長瀬観測所, 河川流量を小田観測所, 潮位を田後港検潮所の日平均観測値を採用した。本研究では海浜流場の計算の際, 代表波高が 1.5m 以上の場合に準 3 次元 (Q3D) モデルを用いた。

(3) 計算結果

図-6に2022/7/26~2022/10/5間の河口砂州の再現計算結果および同タイミングのUAV空撮写真を示す。図-6より、15日後に河口テラス周辺で侵食を示し、水深2~5mの浅海域周辺で堆積傾向を示し始め

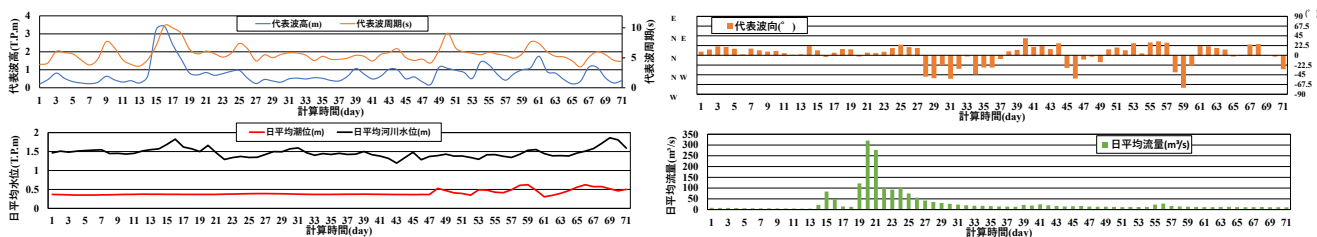


図-5 外力条件 (2022/7/26~2022/10/5)

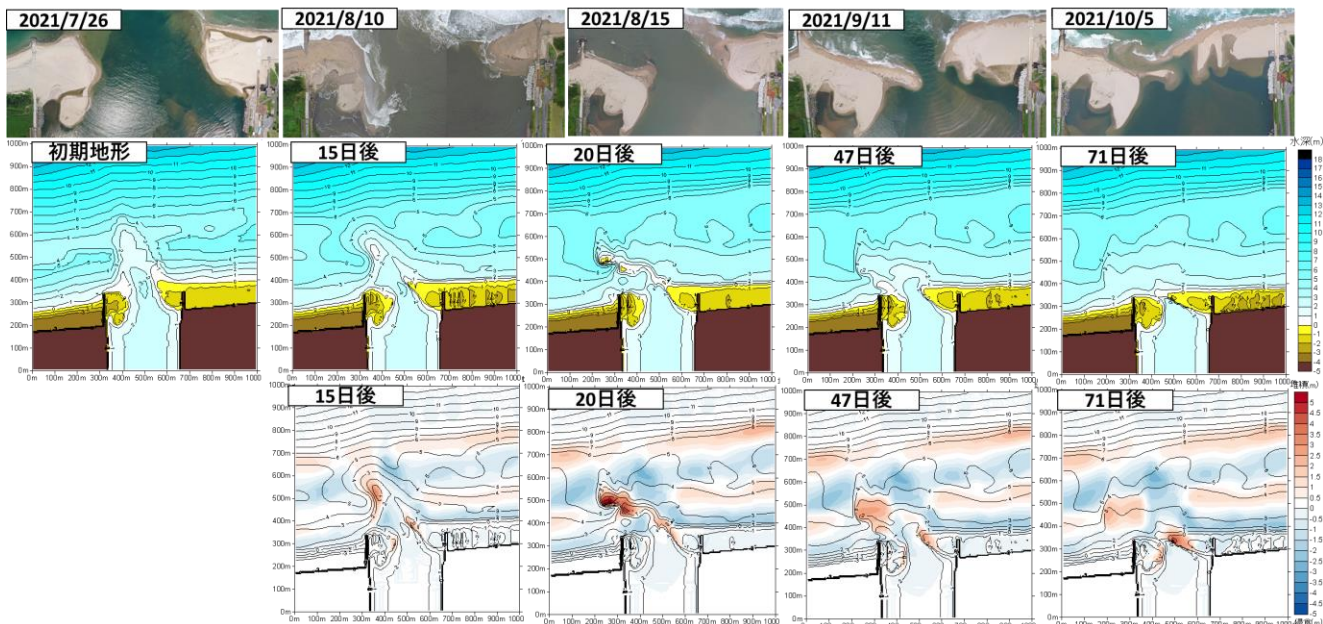


図-6 河口砂州の再現計算結果—UAV 空撮写真 (2022/7/26~2022/10/5)

ていることがわかる。さらに時間が経過とともに河口部前面および河口砂州への土砂の堆積傾向を示しており、71日後には両岸から砂州が伸長し、砂州の再形成が確認された。計算結果と空撮写真と比較すると、同様に河口閉塞傾向を示すことから、本モデルはフラッシュ後の砂州の再形成過程を再現可能であることがわかった。

4. おわりに

本研究では、2021年7月の梅雨前線豪雨により発生した砂州フラッシュから再形成までの過程に着目し、UAVを用いた3次元点群測量、空撮写真による砂州開口幅の計測を実施した。結果、河口砂州が定常に至るまでの土砂変化量を定量的に把握でき、砂州開口幅が拡張される要因を、主に出水イベントおよび高波浪の作用によるものであることが示された。

また、数値解析モデルにより砂州フラッシュ～再形成過程の再現計算を試みた結果、空撮写真と同様に、両岸から砂州が伸長し再形成したことから、本モデルの砂州フラッシュ後の天神川河口部における現地適用性が確認された。

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) 黒岩正光 (1999) : 準3次元海浜流数値モデルの開発とその適用性に関する研究, 鳥取大学博士論文
- 4) 渡辺晃・丸山康樹・清水隆夫・榊山勉 (1984) : 構造物設置に伴う3次元海浜変形の数値予測モデル, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 406-410.
- 5) Okazaki, S. and T. Sunamura (1994) : Quantitative predictions for the position and height of berms, Geographical Review of Japan Vol.67 (Ser. B), No.2, pp. 101-116.
- 6) 合田良実 (2007) : 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.