

# XBeach モデルを用いた出水期における地形変化の数値計算 —新潟県荒川河口部を対象として—

新潟大学大学院自然科学研究科	学生会員	○	大泉洸太
新潟大学技術職員	正会員		石橋邦彦
新潟大学大学院自然科学研究科	正会員		中村亮太
国土交通省北陸地方整備局	正会員		高橋明

## 1. 序論

一般的な日本海側に面する河口砂州の地形変化に関する特徴として、夏季の出水期における河川流によりフラッシュすることや、冬季の風浪により回復することが挙げられる。新潟県荒川河口部にある河口砂州においても、地形変化特性に同様の傾向が見られ、頻繁な地形変化が観測されている。そのため国土交通省羽越河川国道事務所では、UAV を用いた空中写真測量や深淺測量などの定期的なモニタリングにより、地形形状の把握を行っている。

ここで、荒川における河口砂州は、波浪侵入の抑止、塩水遡上の抑制、生物の生息・生育・繁殖環境の形成など、治水、利水、環境の面において重要な役割を担っている。他方で、砂州による河口の閉塞は、洪水時に水位上昇を促し河川の氾濫を招く必要があることから、確実に洪水流がフラッシュされるような砂州の管理が必要である。河口部の地形変化は河川管理を行う上でも着目すべき現象であり、これまで数値計算モデルを用いて砂州に作用する外力の要因分析や、地形変化の再現を行った研究が数多く行われてきた<sup>1) 2) 3) 4) 5)</sup>。

しかしながら既往研究では、砂州の地形変化が定性的に評価されており、数値計算モデルの再現性を正しく評価するためには、観測値を用いた定量的な検証が重要になる。

これらの背景から本研究室では、2018 年の出水期における新潟県荒川河口部の地形変化について、数値計算モデルを用いて再現を行ってきた。数値計算モデルは、オランダの研究機関 Deltares などによって開発された土砂輸送モデル XBeach<sup>6)</sup>と、デルフト工科大学によって開発された波浪推算モデル SWAN<sup>7)</sup>を用いている。XBeach を用いた海岸の評価は、日本における最近の研究でも行われている<sup>8) 9) 10)</sup>。そこで本研究では、

XBeach を用いて河口砂州の地形変化に関する現象の再現と定量的な評価を行うことを目的とする。

## 2. 2018 年出水期の諸情報

荒川では梅雨前線が停滞しやすい 6~8 月が主な出水期の期間とされている。ここで、2018 年 5 月 17 日から 5 月 19 日にかけて、北陸地方や東北地方に停滞した梅雨前線の活動が活発となり、断続的に激しい雨が降った。これにより、荒川の水位も大きく上昇し、葛籠山観測所では氾濫注意水位が 3.70m であるのに対して、ピーク時には 2018 年の最大水位である 4.14m に達した。地形変化前の河口砂州は、写真-1:左側のような地形形状となっているが、激しい雨が降った後はフラッシュ現象が見られた(写真-1:右側)。



写真-1 フラッシュ前後の砂州形状の変化  
左: 出水前 2018年4月27日 右: 出水後 2018年5月21日  
国土交通省北陸地方整備局羽越河川国道事務所提供

## 3. 数値計算モデル

本研究で用いた数値計算モデルの概要について、図-1 に記す。GPV-MSM による風速場による外力と、GEBCO による水深データから、波浪推算モデル SWAN を用いて、算定した波作用量スペクトルを XBeach の境界条件として用いた。

XBeach は、オランダの研究機関 Deltares などによって開発された平面 2 次元の土砂輸送モデルである。数値計算には、流体力学的に波浪変形、海浜流を考慮した波作用量方程式、浅水流方程式を用いており、形態

力学的に土砂輸送を考慮した移流拡散方程式から、ベッドレベルが更新され、海浜変形を計算できる。

XBeach の計算領域は、河口砂州を含めた荒川河口部を対象とした(図-2)。陸域は、河口砂州について羽越河川国道事務所が2018年4月27日に実施した空中写真測量から抽出したDEM(数値標高モデル)と、国土地理院が公開している基盤地図情報<sup>11)</sup>のDEM(数値標高モデル)の双方を用いて陸域の地形データとした。水深には羽越河川国道事務所が2018年5月1日、2日、8日に実施した深淺測量の点群データを用いた。これにより、陸域と水域の点群データを、Delft3D-RGFGRID<sup>12)</sup>とDelft3D-QUICKIN<sup>12)</sup>を用いることで、グリッドを作成して線形補間を行い地形データとした(図-2)。今回作成したグリッドは、荒川河口部の中でも河口砂州の土砂動態を明確化するため、河口砂州箇所を高解像度とするような細かいグリッドを生成した。そのため、格子幅については、場所ごとに異なっており約4~9mとなっている。また、数値計算モデルの性質上、海岸線や河川の流下方向をXBeachの計算軸に合わせる必要があるため、曲線グリッドを用いて線形補間することにより地形データとした(図-2)。

河川の流量については、国土交通省が公開している水文水質データベース<sup>13)</sup>から用いた。荒川河口部は、荒川水系であることから、河口部から上流に設置してある水位・流量観測所(葛籠山)で観測された1時間ごとの流量を、流量データとした。

潮位については、海上保安庁第九管区海上保安本部海洋情報部が公開している潮汐推算表<sup>14)</sup>を用いた。用いた潮汐表の港としては、荒川河口部から約4km離れた場所にある岩船港の推算値を、潮位データとした。

XBeachの計算期間は、荒川の2018年出水期間を対象とした。羽越河川国道事務所では、出水前の2018年4月27日に空中写真測量、2018年5月1日、2日、8日に深淺測量を実施し、出水後の2018年5月21日に空中写真測量、2018年5月29日、30日に深淺測量を実施している。したがって、今回の数値計算では、出水前の測量と出水後の測量の期間を網羅するため、2018年4月27日00時から5月31日00時までの34日間の期間で数値計算を行った。

数値計算モデルについて、重要な初期・境界条件は、表-1に示す。他のパラメータ設定に関しては、既定されている値を用いることで数値計算を行った。

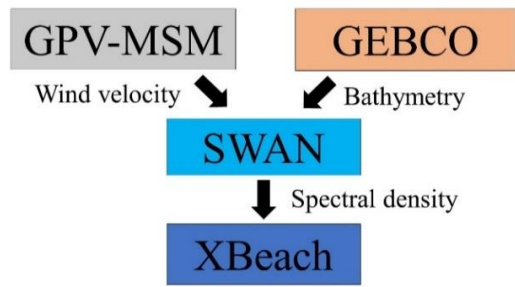


図-1 数値計算モデルの概要

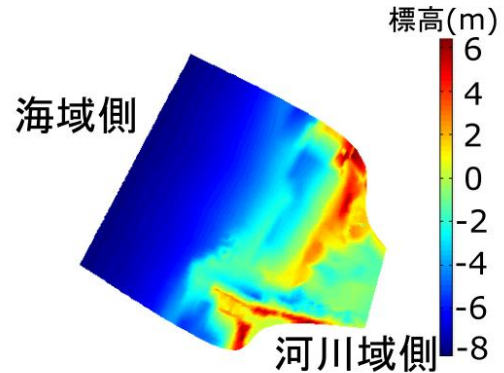


図-2 XBeachの計算領域と線形補間結果 Delft3D-QUICKPLOT<sup>12)</sup>編集

表-1 数値計算モデルの初期・境界条件

SWAN	
座標系	spherical(deg)・WGS84(zone53)
計算期間	2018年4月27日00時—5月31日00時
構造格子数	nx, ny : 750, 750 (格子幅 : 0.02deg)
角度分割数	36
Whitcapping	KOMEN model
底面摩擦	Madsen model
地形情報	GEBCO
XBeach	
座標系	global x, y (m)・WGS84(zone53)
計算期間	2018年4月27日00時—5月31日00時
計算タイムステップ	1.0(s)
構造格子数	nx, ny : 90, 110 (格子幅 : 約4-9m)
モデル	静水圧モデル, 漂砂・掃流砂モデル
左右側面境界条件	neumann
前後方境界条件	weakly reflective-type boundary
波浪モデル	surf beat model
波浪形状	vanthiel
碎波モデル	roelvink2( $\gamma=0.05, \alpha=1.0, n=10$ )
地形形態パラメータ	wetslp = 0.30, dryslp = 1.00
morfac	3
漂砂モデル	Soulsby-Van Rijn
底面摩擦モデル	mannings model : n (粗度係数) = 0.01
D50, D90	0.370mm, 0.830mm
波浪境界条件	SWANの算定結果
水位境界条件	潮汐推算表 (第九管区海上保安本部海洋情報部)
流量境界条件	葛籠山水位・流量観測所 (水文水質データベース)
地形情報(陸域)	河口砂州(羽越河川国道事務所) その他(基盤地図情報)
地形情報(水域)	深淺測量(羽越河川国道事務所)

## 4. 数値計算結果

### (1) 数値計算結果による地形変化の定性的な傾向

XBeachによる数値計算結果について、**図-3**に記す。数値計算結果より、出水後の荒川河口部の地形形状と比較すると、河口砂州についてフラッシュ現象が再現されて地形が変化した。

ここで、荒川河口部では洪水時の水位低減を促すために、河口砂州の右岸側でトレンチ掘削を行っている。したがって、今回対象とした出水期についても、開口部付近とトレンチ掘削箇所ではフラッシュ現象が観測された。数値計算結果においても、開口部付近とトレンチ掘削箇所ではフラッシュ現象が見られていた。これにより、出水期における荒川河口部の地形変化特性について定性的に符合していることが確認された(**図-3**)。

### (2) BSSによる検証

既往の研究では、海浜変形に関する数値計算モデルの評価として、モデル作成者の定性的な評価によって有用性が示されてきた。しかしながら、モデルの有用性を客観的に評価するためには、定量的な評価が重要になる。したがって、本研究では海浜変形について、定量的に評価する際に用いられる BSS(Brier Skill Score)による検証<sup>15)</sup>を河口砂州の地形変化に適用することで、出水期前後の地形変化について観測値と比較した。

BSSに関する式は、以下の式(1)のようである。

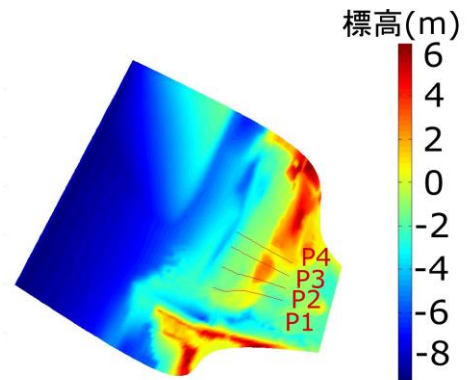
$$BSS = 1 - \frac{\sum(z_{mf} - z_{mod})^2}{\sum(z_{mf} - z_{mi})^2} \quad (1)$$

ここで、地形変化後の測定ベッドレベル $z_{mf}$ 、地形変化後のモデル化ベッドレベル $z_{mod}$ 、地形変化前の初期ベッドレベル $z_{mi}$ となっている。BSSについては、完全予測値である1に近づくほど数値計算モデルの定量的評価が高いことを示し、負の場合にはモデルとして精度が低いことが評価される。また、BSSは形態値予測を基準とした予測に関する改善の度合いであることから、予測の難易性を取り除き、モデルによる予測の技術力を評価することが可能である。

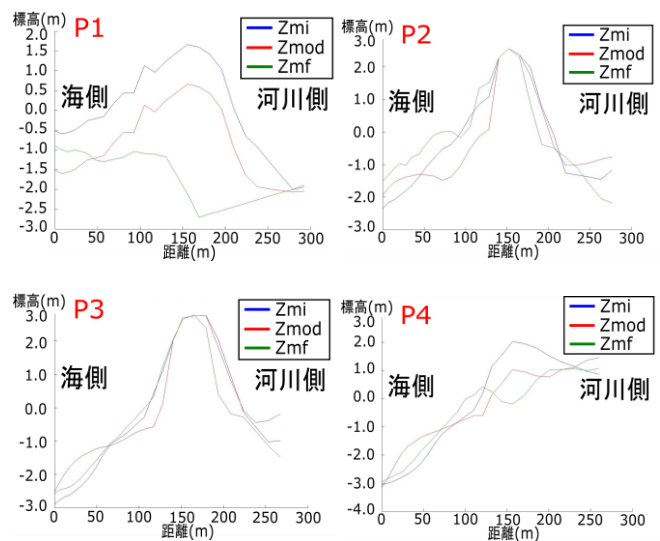
本研究では、河口砂州の開口部付近とトレンチ掘削箇所を含めた4側線P1~P4に関して、BSSによる検証を行った(**図-3**)。4側線については河口砂州の開口部付近から右岸側にかけて、P1~P4と設定した。BSS

による定量的に検証した4側線P1~P4に関する結果について、**図-4**に記す。

式(1)に基づき各側線P1, P2, P3, P4のBSSの値について求めると、0.5588, -0.7735, -1.0021, 0.5176となった。定性的評価の際と同様に、河口砂州の開口部付近であるP1と、トレンチ掘削箇所であるP4の側線から求めたBSSの値は正の値となり、既往研究<sup>15)</sup>から評価しても十分な値を示した。しかしながら、P2, P3の側線については負の値となり、精度の低い値となった。



**図-3** 数値計算結果(34日後)と定量的検証を行う側線  
Delft3D-QUICKPLOT<sup>12)</sup>編集



**図-4** 側線の断面形状

左上：P1の断面形状 右上：P2の断面形状  
左下：P3の断面形状 右下：P4の断面形状  
Delft3D-QUICKPLOT<sup>12)</sup>編集

### (3) 地形変化の定量的な評価

BSSによる検証から、河口砂州の開口部付近とトレンチ掘削箇所での地形変化については十分再現できていると考え、地形変化の定量的な評価を行った。時間ごとの数値計算結果について、**図-5**に記す。

数値計算結果より、5月17日から5月19日にかけて

て激しい雨による出水期間にフラッシュ現象が確認された。図-5 から分かるように、出水期間を除く 4 月 27 日 00 時から 5 月 18 日 00 時と、5 月 18 日 10 時から 5 月 31 日 00 時の期間には大きな地形変化は見られない。しかしながら、5 月 18 日 00 時から 5 月 18 日 10 時にかけては、開口部付近とトレンチ掘削箇所でフラッシュ現象が確認できる。この期間については、水位・流量観測所（葛籠山）で 2018 年の最大流量 2063.27m<sup>3</sup>/s を 5 月 18 日 05 時に記録するなど、平常時（2018 年平均流量 81.47 m<sup>3</sup>/s）と比較しても流量が大幅に増加した期間であった。このことから、荒川河口部のフラッシュ現象は、この短時間の急激な流量増加によって引き起こされたものであると考えられる。

また、実際の地形形状と同様に数値計算上でも、トレンチ掘削箇所でのフラッシュ現象が確認された。これは、流量増加による急激な水位上昇に伴い、掘削による砂州高の低い箇所でオーバーフローが生じることによってフラッシュされたと考えられる。

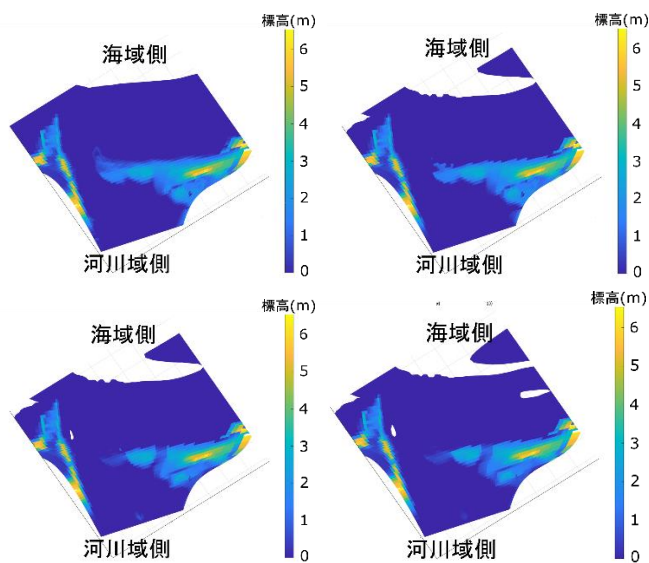


図-5 数値計算結果による河口砂州の地形変化の様子  
 左上：4月27日00時の様子 右上：5月18日00時の様子  
 左下：5月18日10時の様子 右下：5月31日00時の様子

## 5. 結論

本研究により、土砂輸送モデル XBeach を用いて新川河口部の出水期について数値計算を行ったところ、河口砂州の開口部付近や、トレンチ掘削箇所でフラッシュ現象が見られることから、地形変化特性について定性的に再現することができた。また、BSS による定量的な検証を行ったところ、負の値を示した側線もあったが、開口部付近とトレンチ掘削箇所の側線に関し

ては正の値を示し、定量的に十分評価できる値となった。このことから、河口砂州の地形変化について定量的な評価を行ったところ、短時間の急激な流量増加がフラッシュ現象を引き起こすことが考えられた。

今後の研究として、出水期は河口砂州に作用する外力の中でも河川の影響が支配的要因になると考えられることから、河川からの外力について厳密性を求めることが挙げられる。

## 参考文献

- 1) 黒岩正光, 阿南亮平, 澁谷容子, 間瀬肇, 松原雄平: 波と流れの相互干渉を考慮した 3 次元河口砂州形成シミュレーション, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.72, No.2, I\_697-I\_702, 2016.
- 2) 佐川拓也, 大谷靖郎, 市川真吾, 武内慶了, 山下武宣: 河口砂州フラッシュの再現計算と要因分析, 水工学論文集, 51 巻, p.955-960, 2007.
- 3) 立山政樹, 福岡捷二, 石川俊之: 大規模洪水による河口砂州の開口機構に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.74, No.4, I\_715-I\_720, 2018.
- 4) 細山田得三, 田安正茂, 安田剛章: 数値計算による阿賀野川河口砂州地形の生成について, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.67, No.2, I\_561-I\_565, 2011.
- 5) 細山田得三, 張瑞瑛, 星野雄亮: 河口砂州の生成に及ぼす河川水と海岸波動の影響に関する基礎的数値実験, 海岸工学論文集, 第 52 巻, p.561-565, 2005.
- 6) Roelvink, J.A., Reniers, A., van Dongeren, AP., van Thiel de Vries, J., McCall, R. and Lescinski, J.: Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands, *Coast. Eng.*, 56, pp.1133-1152, 2009.
- 7) Booji, N., Ris, R.C. and Holthuijsen, L.H.: A third-generation wave model for coastal regions, *JGR:Oceans.*, Vol.104, No.C4, pp.7649-7666, 1999.
- 8) 中村亮太, 加藤茂, 田畑貴大: 台風 1718 号にともなう干潟上の地形変化機構の解明—愛知県西尾市東幡豆の事例—, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.74, No.2, I\_823-I\_828, 2018.
- 9) 水谷英朗, 馬場康之, 平石哲也, 間瀬肇: 2017 年和歌山県白良浜の海浜変形と XBeach による波浪・海浜流の数値シミュレーション, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.74, No.2, I\_925-I\_930, 2018.
- 10) 榎田真也, 山本拓之, 由比政年, 間瀬肇: XBeach モデルを用いた砂州海岸の波浪と長周期波の伝播・遡上特性に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.74, No.2, I\_775-I\_780, 2018.
- 11) 国土交通省国土地理院: 基盤地図情報サイト, <https://www.gsi.go.jp/kiban/>.
- 12) Deltares: Delft3D manuals, <http://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/>.
- 13) 国土交通省: 水文水質データベース, <http://www1.river.go.jp/>.
- 14) 海上保安庁第九管区海上保安本部海洋情報部: 満潮・干潮カレンダー, <https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN9/tide2/index.cgi>.
- 15) Sutherland, J., Peet, A.H. and Soulsby, R.L.: Evaluating the performance of morphological models, *Coast. Eng.*, 51, pp.917-939, 2004.