

雄物川における出水後の河口砂州回復と波浪エネルギーの影響評価*

秋田大学大学院理工学研究科 谷口隼也, 斎藤憲寿, 渡辺一也

1. はじめに

雄物川河口には砂州が存在し、海洋や河川からの影響を受けて砂州が発達と縮小を繰り返している。発達した砂州は塩水や波浪の河川内への浸入を妨げ、船舶の航行に影響を与える¹⁾と考えられる。そのため、砂州の特性を把握することは河川管理にとって重要である。これまで、出水時に沖に流出した土砂の回帰過程²⁾や、季節的な変化³⁾が明らかにされている。しかし、出水後の砂州面積の回復、河川流量や波浪との関係については詳細な検討が行われていない。

そこで本研究では、雄物川河口砂州における出水後の砂州の回復、河川流量や波浪との関係を検討するために砂州面積や河口幅についてモニタリングを行い、河川流量、波浪エネルギーとの比較を行った。

2. 対象河川・データセット

対象河川は、秋田県を流れる一級河川の雄物川である。雄物川および観測データの所在を図1に示す。河川流量 Q は椿川観測所で1時間おき、有義波高 $H_{1/3}$ や波向等の波浪データは秋田港で20分おきに観測されたものを用いた。なお、海から陸に向かう波浪に注目するため、北から時計回りに0~180°のデータは除いている⁴⁾。波浪データから、式(1)、式(2)のように岸沖方向および沿岸方向の沖波エネルギーfluxを算出した⁵⁾。

$$E_{fc} = \frac{1}{16} \rho g (H_{1/3})_0^2 C_{g0} \cos \theta \quad (1)$$

$$E_{fl} = \frac{1}{16} \rho g (H_{1/3})_0^2 C_{g0} \sin \theta \quad (2)$$

ここで、 E_{fc} は岸沖方向の沖波エネルギーflux、 E_{fl} は沿岸方向の沖波エネルギーflux、 ρ は海水密度、 g は重力加速度、 C_{g0} は群速度、 θ は入射角である。入射角と沖波エネルギーfluxの方向の定義を図2に示す。なお、沿岸方向の沖波エネルギーfluxについて、正である場合は南から北へ、負である場合は北から南への波向きであることを示している。

3. 研究手法

まず既往研究⁶⁾に倣い、UAVにより上空150mから鉛直方向に縦横80%オーバーラップで写真を撮影した。

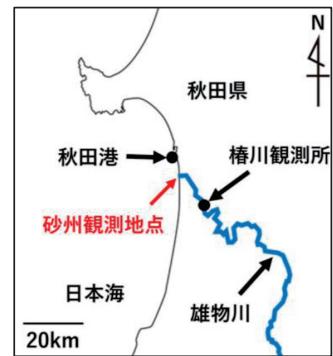


図1 雄物川および観測データの所在

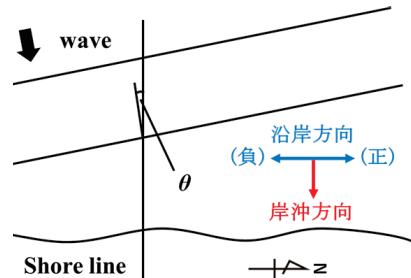


図2 入射角と沖波エネルギーfluxの方向の定義

*Evaluation of Wave Energy Influence for Recovery of River Mouth Sandbar at Omono River by Junya Taniguchi, Noritoshi Saito and Kazuya Watanabe

次に、撮影された写真について SfM 处理を施し、河口砂州を復元した。復元後の砂州を図 3 に示す。復元された砂州から河口幅 B 、砂州面積 A 、右岸砂州面積 A_R 、左岸砂州面積 A_L を算出した。砂州面積は、河口部において変動が最も大きいと考えられる領域とした。なお、日本海側における潮差は小さいことから、砂州面積を算出する際の潮位補正は行っていない⁷⁾。

そして、出水後の砂州面積の変化、砂州面積や河口幅と河川流量、沖波エネルギーflux の関係について検討を行った。

4. 検討結果

(1) 河川流量・沖波エネルギーflux

2017 年から 2020 年における河川流量・岸沖方向の沖波エネルギーflux・沿岸方向の沖波エネルギーflux を図 4 に示す。河川流量は 1 時間毎、沖波エネルギーflux は 24 時間平均して用いた。

河川流量は毎年、春季に融雪出水によって 700~1500 m^3/s 程度まで増加し、夏季・秋季は豪雨や台風によって一時的に大きく増加した。一方で、冬季は 1 年の中で最も減少した。

沖波エネルギーflux は、季節に関わらず沿岸方向より岸沖方向が卓越しており、沿岸方向の沖波エネルギーflux は北進方向が卓越していることが分かった。冬季には岸沖方向、沿岸方向ともに最も強くなつたが、西高東低の冬型の気圧配置により生じた強い季節

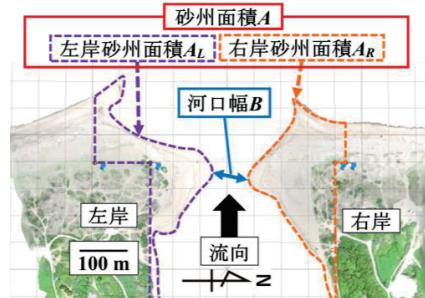


図 3 復元した砂州

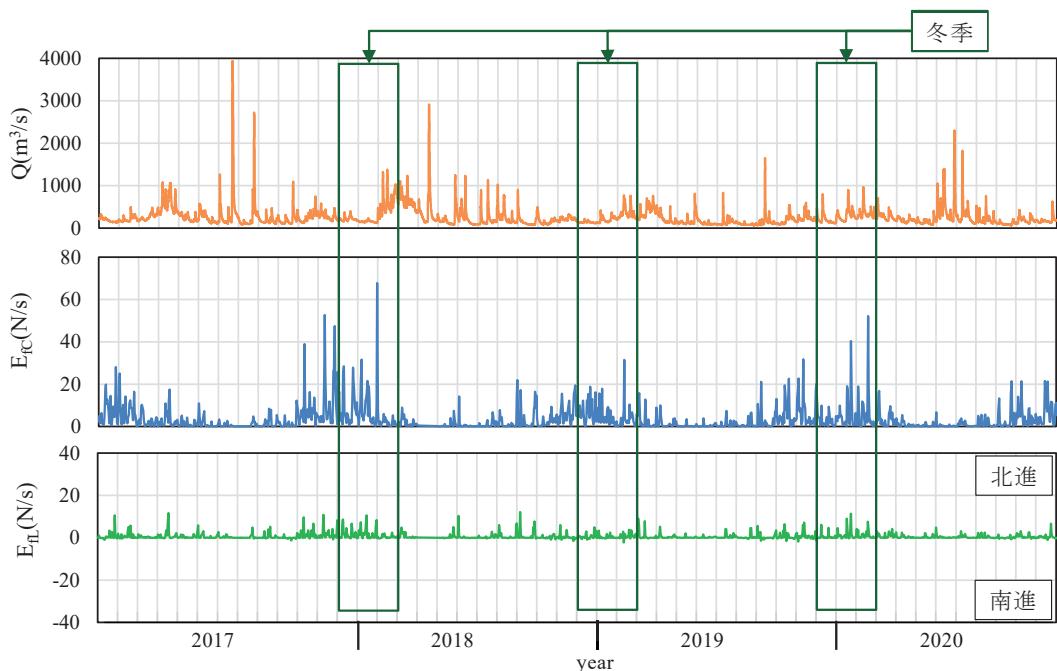


図 4 河川流量、岸沖方向・沿岸方向の沖波エネルギーflux

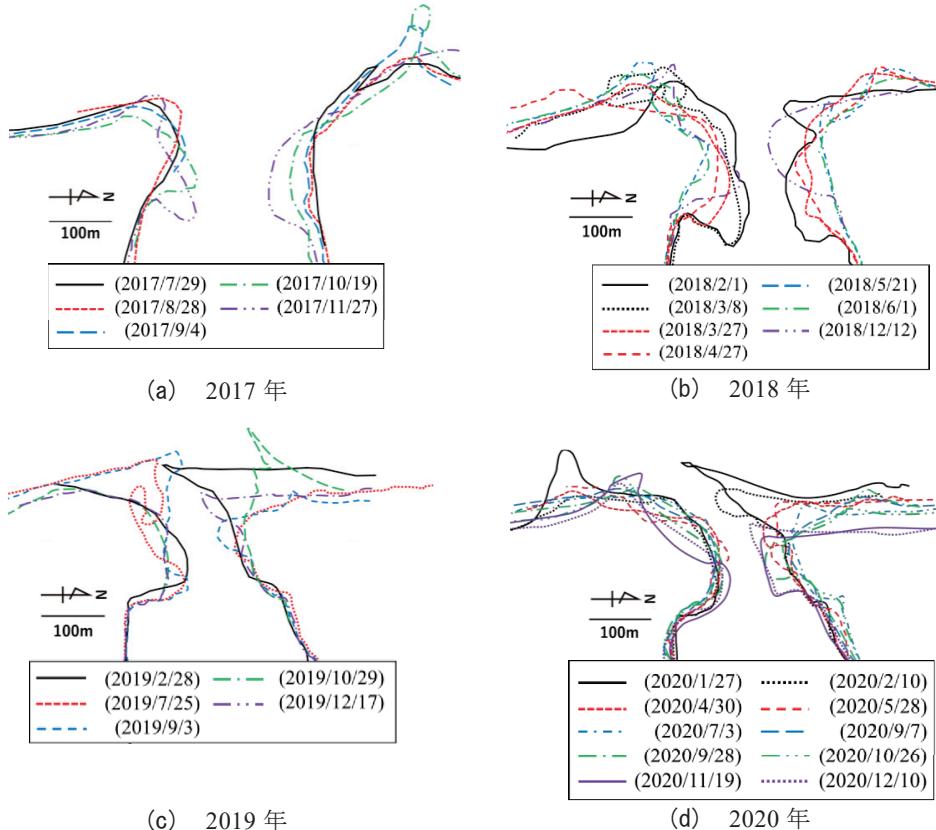


図5 河口砂州の地形変化

風によって波浪が発達し⁸⁾、沖波エネルギーfluxが強くなつたと考えられる。その後、春季から夏季にかけて弱まり、秋季から冬季にかけて強くなる傾向が確認された。

(2) 河口砂州の地形変化

2017年から2020年における河口砂州の地形変化を図5に示す。冬季に注目すると、両岸の砂州が発達し、右岸から南に向けて砂嘴が形成されている。図4より、冬季に河川流量は最も減少し、沖波エネルギーfluxは最も強い。このことから、河川流と波浪が河口の沖側において均衡したことにより、波浪によって沖から河口に輸送された土砂が河口沖側に堆積したと考えられる。

春季には、融雪出水によって河川流量が増加し、沖波エネルギーfluxは弱まつた。そのため、冬季に右岸に形成されていた南向きの砂嘴は縮小または消失し、河口幅は拡大した。

夏季・秋季には、河川流量が一時的に大きく増加することがあったため、砂州は縮小し、河口幅はさらに拡大した。春季から秋季における左岸に注目すると、南から北に向けて砂州が発達、または突起が移動していることが分かる。沖波エネルギーfluxは北進方向への影響が強いことから、波浪によって南方から土砂が輸送・堆積されて発達したと考えられる。

汀線について、両岸とも短期的に前進または後退を繰り返しており、季節との関係性は確認できなかつた。

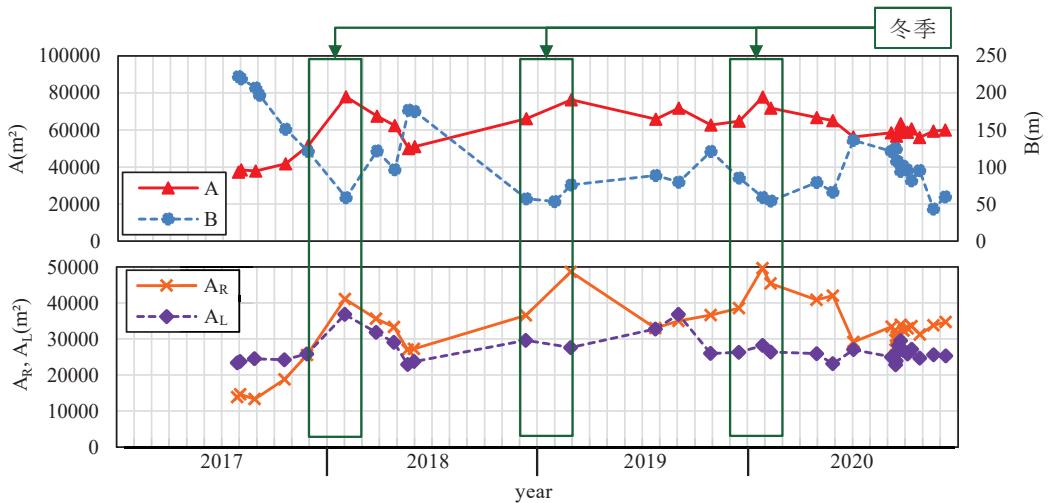


図 6 砂州面積、河口幅、右岸砂州面積、左岸砂州面積の変化

(3) 砂州面積と河口幅の変化

2017年から2020年における砂州面積、河口幅の変化、右岸砂州面積、左岸砂州面積の変化を図6に示す。砂州面積は冬季に最大、夏季または秋季に最小となり、河口幅は冬季に最小、夏季または秋季に最大となった。このことから、春季から秋季における河川流量の増加に伴い、砂州から土砂が流出することで砂州面積が減少し、河口幅が増加する。一方、秋季から冬季にかけて波浪により土砂が河口に輸送・堆積することで砂州面積が増加し、河口幅が減少すると考えられる。

右岸砂州面積と左岸砂州面積を比較すると、右岸は左岸より変化が大きいことが分かる。また、右岸は冬季に最大となり、夏季または秋季に最小となることから季節的な傾向を確認できたが、左岸ではあまり確認できなかった。これは、左岸砂州の沖側に人工リーフ⁹⁾が設置されて、土砂の移動が抑制されていると考えられる。従って、河口砂州の管理には、右岸砂州が重要であると考えられる。

(4) 河口砂州の回復

河川流量が $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ を越えた場合を出水とみなし、その後の砂州面積の変化から砂州の回復について検討を行った。出水後の砂州面積の変化を図7に示す。出水時、河川流量が最大となった日を0日、出水直後の観測日における砂州面積を 0 m^3 とした。凡例には、出水が発生した日と河川流量の最大値を示している。砂州面積は出水直後に急激に増加することなく、約60日後まで緩やかに増加する傾向があった。しかし、2017/8/25、2019/10/13の出水後に着目すると、約90日を過ぎてから砂州面積は急激に増加した。出水が発生したのは、8月または10月であり、3カ月後は冬季頃となるため、波浪エネルギーfluxが強くなる。そのため、

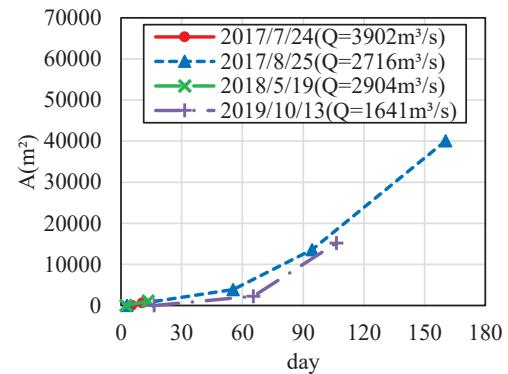


図 7 砂州面積の回復

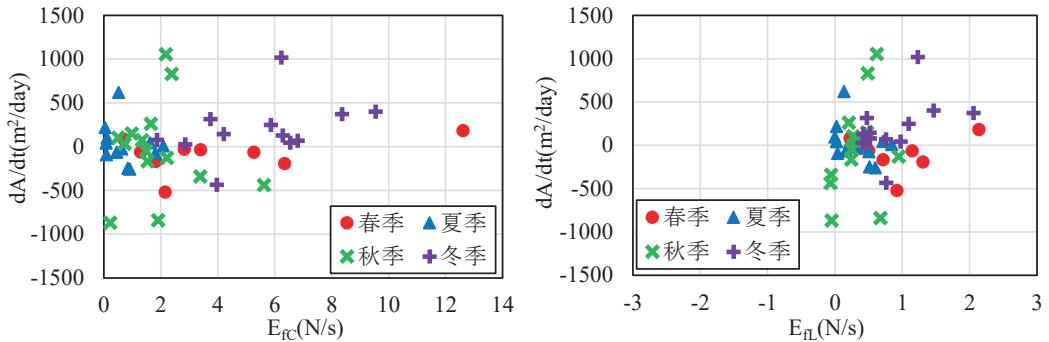


図 8 1 日あたりの砂州面積の変化量と岸沖・沿岸方向の沖波エネルギーflux の関係

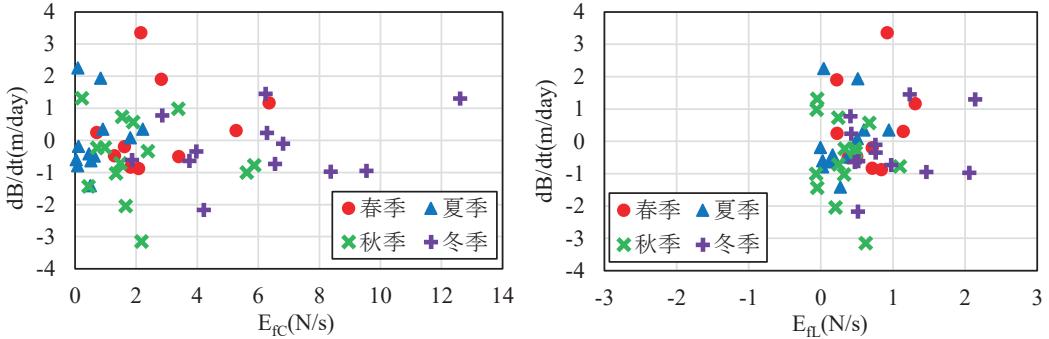


図 9 1 日あたりの河口幅の変化量と岸沖・沿岸方向の沖波エネルギーflux の関係

出水により沖に流出した大量の土砂が、冬季の高波浪によって河口に輸送・堆積されることで、砂州面積が急激に増加したと考えられる。

(5) 砂州面積・河口幅とエネルギーflux の関係

観測間における 1 日あたりの砂州面積の変化量と岸沖方向の沖波エネルギーflux の平均値 E_{fcAve} 、沿岸方向の沖波エネルギーflux の平均値 E_{flAve} の関係を図 8、1 日あたりの河口幅の変化量と岸沖方向・沿岸方向の沖波エネルギーflux の関係を図 9 に示す。

砂州面積、河口幅に対して、岸沖方向の波浪の影響が卓越しているが、沖波エネルギーflux が強くなることで砂州面積が増加する、または河口幅が縮小するといった傾向は確認できなかった。一方で季節に着目すると、冬季に砂州面積は増加、河口幅は縮小する傾向が確認できた。これは、秋季から冬季にかけて沖波エネルギーflux が強くなり、冬季には河川流量が大きく増加するがなくなるため、砂州から土砂が流出することなく、沖から土砂が堆積され続けたことが要因であると考えられる。

(6) 回帰分析

砂州と沖波エネルギーflux 、河川流量の関係を検討するために、砂州面積、左岸砂州面積、右岸砂州面積、河口幅を目的変数、沖波エネルギーflux と河川流量を説明変数として重回帰分析を行った。既往研究¹⁰⁾に倣い、沖波エネルギーflux は観測日前 1 カ月間における平均値、河川流量は観測日前 1 カ月間における最大値を用いた。砂州面積、左岸砂州面積、右岸砂州面積、河口幅と、岸沖方向・沿岸方向の沖波エネルギーflux 、河川流量

の重相関係数 R を表 1 に示す。結果、岸沖方向、沿岸方向に関わらず、沖波エネルギーfluxes、河川流量との相関が最も強いデータは河口幅であり、左岸砂州面積は最も弱いことが分かった。このことから、雄物川河口砂州について検討を行う場合、砂州面積より河口幅を用いることが適切であると考えられる。また、左岸砂州面積は岸沖方向の沖波エネルギーfluxesより沿岸方向の沖波エネルギーfluxesとの方が、相関が強い。沿岸方向の沖波エネルギーfluxesは北進方向が卓越していることから、波浪によって南方から土砂が輸送されて左岸砂州に堆積する。しかし、左岸砂州沖には人工リーフが設置されており、岸沖方向の土砂の移動は抑制されている。これらの理由により、岸沖方向の沖波エネルギーfluxesより、沿岸方向の沖波エネルギーfluxesとの方が、相関が強くなったと考えられる。

5. おわりに

本研究では、雄物川の河口砂州を対象に、砂州面積や河口幅についてモニタリングを行い、出水後の砂州の回復や、河川流量・波浪エネルギーとの関係について検討を行った。

- 冬季に沖波エネルギーfluxesが強まることにより、沖から大量の土砂が輸送、堆積されることで河口砂州が急激に発達すると考えられる。
- 河口砂州は、沿岸方向よりも岸沖方向の波浪を強く受けていると考えられる。特に、冬季に砂州面積は増加し、河口幅は縮小する傾向が確認された。
- 雄物川河口砂州について検討を行う場合、砂州面積より河口幅のデータを用いることが適切であると考えられる。

参考文献

- 1) 前川勝朗, 今 淳 : 赤川河口砂州の変形について, 山形大学紀要(農学), 第 11 卷, 第 4 号, pp. 891-898, 1993.
- 2) 渡辺一也, Dinh Van Duy, 野口良哉, 田中 仁 : 河口テラスの形成と堆積土砂の回帰過程に関する研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 74, No. 2, I_787-I_792, 2018.
- 3) 谷口隼也, 渡辺一也, 斎藤憲寿 : 雄物川における河口砂州の動態と流量・波浪との関係, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 77, No. 2, I_529-I_534, 2021.
- 4) 鍵主佳飛, 松富英夫 : 秋田県南部海岸における汀線位置変化動向と海域構造物規模の関係に関する実証研究, 東北地域災害科学研究, 第 53 卷, pp. 47-52, 2017.
- 5) 鈴木崇之, 栗山善昭 : 汀線位置の長周期変動特性および汀線位置変動の変化量に及ぼす沖波エネルギーfluxesと沿岸流速の影響, 港湾空港技術研究所報告, 第 47 卷, 第 3 号, pp. 3-31, 2008.
- 6) 藤澤尚矢, 渡辺一也, 斎藤憲寿, 植木洸太郎 : 馬場目川を対象とした河道内砂州の挙動に関する検討, 土木学会論文集 G(環境), Vol. 75, No. 5, I_275-I_280, 2019.
- 7) 松富英夫, 金光紀代太, 富樫宏二 : 秋田県南部海岸における汀線位置変化の基礎的検討, 海岸工学論文集, 第 47 卷, pp. 666-670, 2000.
- 8) 島谷任克, 笹本 誠, 笠井太志, 大場孝司, 布勢泰治, 堀 茂樹 : 米代川の河口変動特性, 海岸工学論文集, 第 44 卷 pp. 571-575, 1997.
- 9) 国土交通省東北地方整備局: 雄物川水系河川整備計画(大臣管理区間), 国土交通省, 161p., 2018.
- 10) 渡辺一也, 堀井優介 : 米代川河口砂州地形変動に対する流量・波浪の影響評価, 土木学会論文集(海岸工学), Vol. 75, No. 2, I_193-I_198, 2019.

表 1 重回帰分析結果

R		目的変数				
		A	A _L	A _R	B	
説明 変数	Q (1 カ 月 最 大)	E _{fc} (1カ月平均)	0.64	0.46	0.73	0.86
	E _{fll} (1カ月平均)	0.62	0.54	0.70	0.87	