

高瀬川河口閉塞機構の解明と維持管理方法の提案

小山幸男* ・ 金枝富勝** ・ 畠山仁志***
高木利光**** ・ 藤井裕之*****

青森県下北半島の小川原湖から太平洋に注ぐ高瀬川は河口閉塞の問題を抱えた河川でありながら、その閉塞のメカニズムは明らかになっていない。また河口砂州地形の変化は小川原湖の汽水環境へも影響を及ぼすものと考えられており、河口閉塞に対しての環境を考慮した治水方針策定が課題とされている。そこで、本研究は、河口砂州変化機構について現地観測および数値シミュレーションから解明を試みるとともに、それらの解析成果から適切な河口管理方法として、河口監視方針の提案を行った。具体的には、河口部に設置されている CCTV カメラで河口閉塞の危険性を監視し、完全閉塞に至る前に人工開削を実施するといった河口維持管理方法の提案を行った。

1. はじめに

高瀬川は約867 km²の流域面積を有し、下北半島の太平洋岸に注いでおり、河口から上流約5 km には汽水湖である小川原湖（湖面積約66 km²）を持つ（図-1）。その河口は外洋に面した砂浜海岸にあることから、常に河口砂州が発達しており、閉塞の危険性ははらんでいる。昭和33年9月の台風来襲に伴う出水では河口が閉塞状態であったこともあり、小川原湖周辺が浸水被害を受けている。その後も4、5年に1回程度、完全閉塞をしており、その度に人工開削している現状にある（写真-1）。

治水安全上、何らかの河口処理を行う必要があるが、上流にある小川原湖は高瀬川河口から遡上してくる海水によって汽水環境が保たれており、河口処理対策工を設置することによって小川原湖の汽水環境に何らかの影響を及ぼすことが懸念されている。また、導流堤などの構造物により河口処理を行ったとしても、既往の事例などから完全に河口閉塞を防止することは困難であると考えられる。そこで本報では現地観測により、河口砂州変化の実態を把握するとともに、構造物によらない河口処理対策として CCTV カメラの画像や水位観測記録を用いた河口監視方針を作成し、河口を監視することで適切な人工開削を実施するといった河口維持管理方法を提案した。

2. 河口砂州地形の変動状況把握

河口地形は波浪・出水の影響を受けることから、それら影響が大きいと考えられる冬季および夏季から秋季に

地形測量と砂面観測とを合わせた現地観測を実施した（図-2）。

（1）地形測量成果の整理

地形測量は砂州地形が把握できるよう測線 No. 2, 4, 6, 8 の4 測線で2004年3、9、11月の3 回実施した。図-3に各測線における測量成果の比較を示す。測線 No. 2 では3～9月にかけて右岸側の砂州が発達した様子が確認できる。さらに測線 No. 4, 6 においても河床が上昇しており砂州の発達により河口が閉塞傾向にあったことが確認された。次に測線 No. 4, 6 では9～11月にかけて河床が低下し砂州がフラッシュされた様子がわかる。この期間は台風によって大きな出水が2 度発生している。

ただし、河道内の No. 8 については3月～11月の間もほぼ一定の河積が維持されている。既往の測量成果から

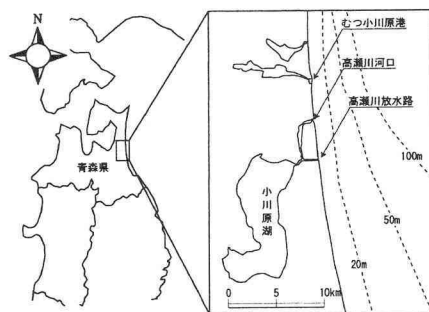


図-1 高瀬川河口位置図



写真-1 河口閉塞・浚渫状況[1991年6月14～18日]

*	国土交通省 東北地方整備局 元高瀬川河川事務所 調査設計課長 現岩手河川国道事務所 工務第三課長
**	国土交通省 東北地方整備局 高瀬川河川事務所 河川環境課 係長
***	国土交通省 東北地方整備局 高瀬川河川事務所 河川環境課
****	正会員 博(工) (株)アイ・エヌ・エー 海岸部 部長
*****	修(工) (株)アイ・エヌ・エー 海岸部

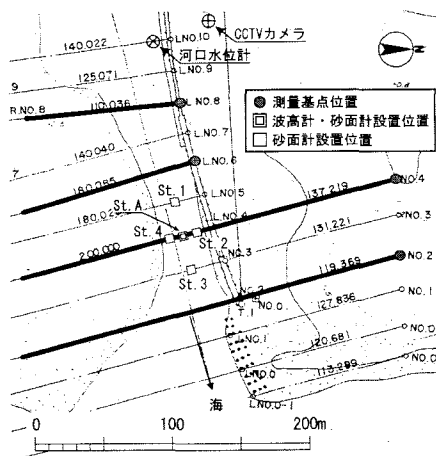


図-2 横断測量位置図

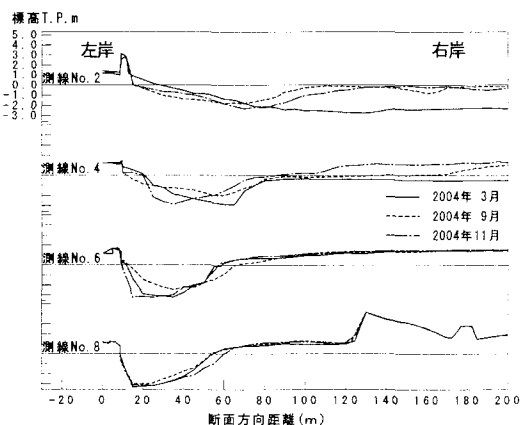


図-3 河道断面面積の変化 (2004年3,9,11月測量)

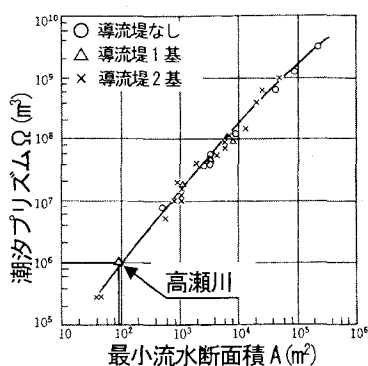


図-4 河口断面面積Aと潮汐プリズムΩの関係

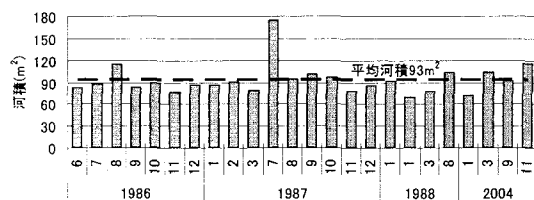


図-5 河積の経時変化 (測線 No.8)

(2) 砂面変動観測成果の整理

冬季風浪による変動を把握するため2004年2月～3月の約35日間、台風および出水期の変動を把握するため9月～11月の約60日間の間に砂面変動観測を実施した。観測は図-2に示すように河口部に超音波砂面計(USR-10)を5台、波高・流速計(Wave-Hunter)を設置して行った。砂面計により計測された河床変動結果を外力である波浪(観測地点:むつ小川原港)および小川原湖の水位と比較して、その関係を調べた。むつ小川原港での波浪観測地点は河口から北に約5 km離れた沖合水深49 m地点にあり、ほぼ河口に來襲する波浪の沖波とみなせる。

a) 冬季観測結果について

冬季観測結果を図-6に示す。2/15～2/17にかけてSt.2,3(図-2参照)で河床が1 m程度上昇していることが確認された(図-6(A))。この期間には発達した低気圧が通過したため、有義波高が最大3 mと高かった期間である。河床は右岸に最も近い観測地点であるSt.4で急激に上昇し、その後St.2,3.Aで徐々に上昇していることが観測結果から確認される。このことから砂州は右岸から左岸方向に徐々に張り出していったことが推定される。その後、低気圧に伴う降雨により高瀬川上流にある小川原湖の湖水位が上昇し、St.2,3で河床が低下していることから(図-6(B))、出水により砂州がフラッシュされたものと考えられる。その後、3/7頃には有義波高が4 mを超えているが、この際には大きな河床変動は見られない。このことは砂州の発達外力として波浪が作用しているものの、3/7時点は2/15時点よりも湖水位が約15 cm高いことから小川原湖の湖水位すなわち河川流量の影響も大きいと考えられる。

b) 夏季～秋季観測結果について

有義波高が約2 mを越えると河口部の河床が上昇、すなわち河口砂州が発達する傾向が見られる(図-7(A))。またそのような高波浪は台風の影響であるため、雨も伴っていることから、小川原湖の水位が上昇することで河川流量が増大するとともに、砂州フラッシュが生じ河床が低下している(図-7(B))。波高が2 m以下と静穏時においては入退潮の影響が大きく、特に落潮時にフラッシュ効果が強く、河床波と思われる最大振幅約40 cm、周期60分程度の変動を示しながら河床は低下していること

求めた測線 No. 8 の平均河積 93 m^3 (図-5)、平均潮位差 0.892 m および感潮水域面積 $1.08 \times 10^6 \text{ m}^2$ より求めた潮汐プリズムは O'Brien (1969) の示す関係に載ることが確認された(図-4)。つまり高瀬川河口は通常時は潮汐に伴う入退潮量によって河積が維持されていると考えられる。

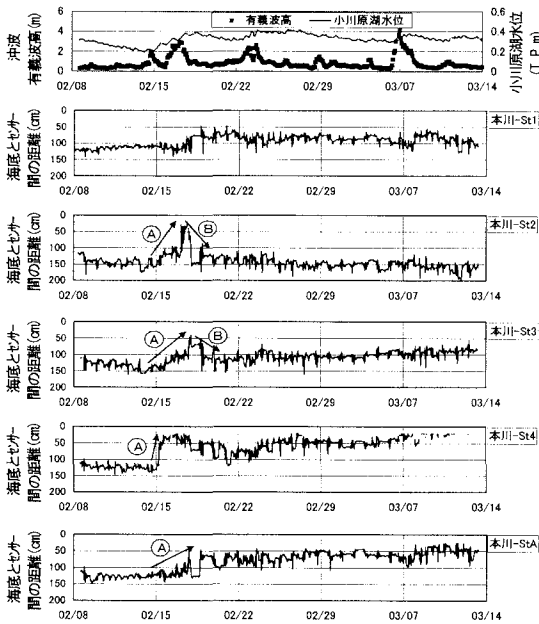


図-6 冬季砂面観測結果

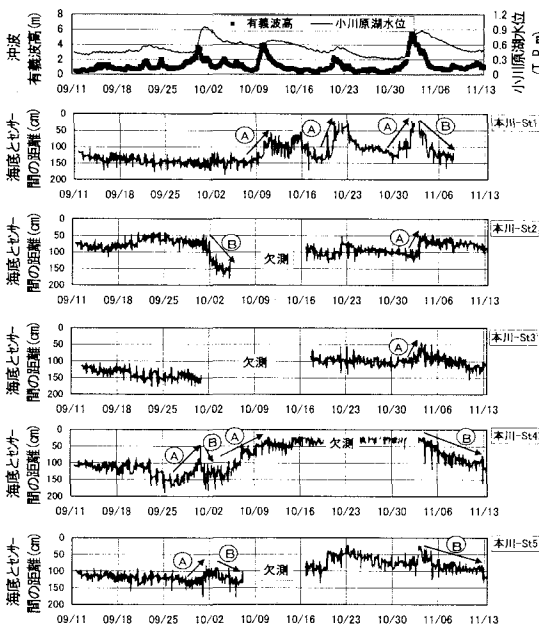


図-7 夏季～秋季砂面観測結果

がわかる (図-8 ③)。

c) 現地観測結果のまとめ

現地観測結果から、高瀬川河口の砂面変動特性を以下のように把握した。

- ① むつ小川原港の有義波高が2～3m以上になると砂州が発達する傾向にある。
- ② 高瀬川上流にある小川原湖の湖水位が上昇すると砂州

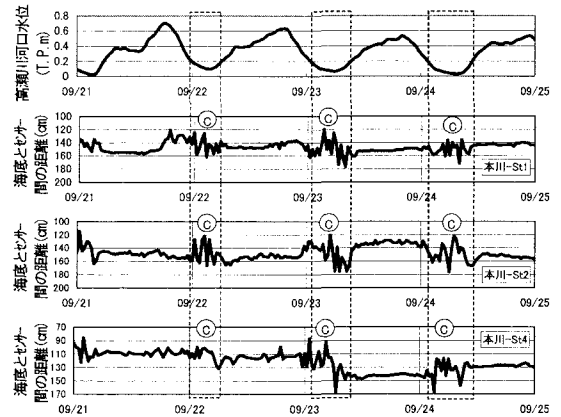


図-8 落潮時の砂面観測結果

がフラッシュされる。

- ③ 落潮時に砂面が大きく変動しており、通常時は潮汐に伴う入退潮によって河積は維持されている。

3. 河口監視方法の検討

(1) CCTV カメラによる河口画像の整理

高瀬川河口部左岸には CCTV カメラが設置されており (図-2)、15分間隔に撮影された河口の画像が、リアルタイムで高瀬川河川事務所に送信されている。画像情報は視覚的に砂州の変動を把握することが可能であるため、河口監視を行う上で有益な情報である。そこで、ほぼ同水位時の画像データを抽出して比較を行ったところ、水面上の砂州の変化を画像データから把握することが可能であり、同水位時刻の画像を監視することで砂州が発達傾向にあるのか安定しているのかについて簡単に把握することが可能であることが確認された。例として写真-2に2004年8月15日と9月11日に撮影された画像を示す。これら画像の撮影された間には、台風18号が来襲しており、高波浪の影響を受けたと考えられる砂州の発達が右岸に確認される。9月11日以降に画像よりも著しく砂州が発達することはなかったが、台風により砂州が発達傾向にあり、河口閉塞の危険性が高まったことが画像から確認された。

(2) 水位観測データの整理

高瀬川河口では水位観測 (図-2) が実施されており、このデータもリアルタイムで高瀬川河川事務所に送信されている。この観測所で観測される水位データと八戸港で観測されている潮位データを比較すると、水位観測位置が河口に非常に近いことから河口水位と潮位とが通常は非常に良く連動していることが確認された (高瀬川の自己流量があるため潮位ほどの水位低下は見られない)。しかしながら、これまで高瀬川河口が閉塞した際の水位データと潮位データを比較すると、閉塞期間中は水位が

連動していないことが確認された(図-9)。さらに水位が連動しなくなる数日前から河口水位が低下しにくくなっていることが確認できる。この水位連動の相違は河口砂州が発達することによって、潮汐が河道内の水位変化におよぼす影響が小さくなり、最終的には潮位と連動した水位変化が発生しなくなるためと考えられる。先に示した画像データでは水面上の砂州発達傾向しか把握することができないが、水位の連動状況を監視することで、水面下の河床が上昇傾向にあるのか、安定しているのかについても推定が可能であると考えられる。さらに悪天候、降雪、夜間など画像データによる監視が困難な状況においても水位データを用いて砂州の監視が可能であると期待できる。



写真-2 CCTVカメラによる河口画像(八戸潮位 T.P.+0.0 m)

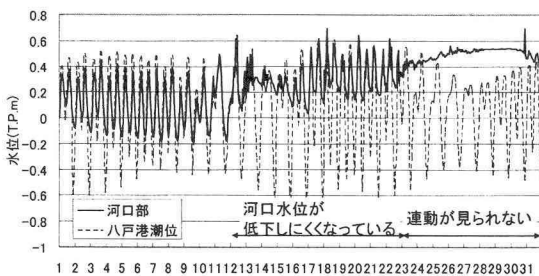


図-9 河口閉塞時の潮位と河口部水位(1984年3月)

4. 人工開削基準の検討

河口監視を実施して適切な時期に人工開削を実施する必要があるが、既往の完全閉塞直前の地形データがなく、河口閉塞の実績から人工開削基準を策定することは困難

である。そこで本検討では河口砂州地形変化の数値モデルにより、人工開削基準の策定を試みた。数値モデルは河道、海域の流体運動を式(1)、(2)に示す非線形長波方程式で解き、河床の変動を式(3)、(4)に示すBrown式による流砂量を用いた連続式により解く。数値解析手法は河口の地形を詳細に再現できるようFEMを用いた。以下に基礎方程式を示す。

流体の運動方程式：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{(\eta+h)^{4/3}} \sqrt{u^2+v^2} \cdot u = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{(\eta+h)^{4/3}} \sqrt{u^2+v^2} \cdot v = 0 \quad (2)$$

流体の連続式：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \{u(\eta+h)\} + \frac{\partial}{\partial y} \{v(\eta+h)\} = 0 \quad (3)$$

砂の連続式：

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial q_{sx}}{\partial x} + \frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial q_{sy}}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

流砂量式(Brown式)：

$$q_{sx} = \frac{u_*^5}{(\sigma/\rho - 1)^2 g^2} \frac{10}{d} \quad (5)$$

$$u_* = \sqrt{(\tau_{0x}/\rho)} \quad (6)$$

$$\tau_{0x} = \rho g \frac{n^2}{(\eta+h)^{1/3}} \sqrt{u^2+v^2} u \quad (7)$$

$$q_{sy} = \frac{v_*^5}{(\sigma/\rho - 1)^2 g^2} \frac{10}{d} \quad (8)$$

$$v_* = \sqrt{(\tau_{0y}/\rho)} \quad (9)$$

$$\tau_{0y} = \rho g \frac{n^2}{(\eta+h)^{1/3}} \sqrt{u^2+v^2} v \quad (10)$$

ここで、 u, v : x, y 方向成分流速、 g : 重力加速度、 η : 静水面からの水位、 n : Manningの粗度係数、 h : 静水面からの水深、 ζ : 河床変化量、 λ : 砂の空隙率、 q_{sx}, q_{sy} : x, y 方向成分流砂量、 σ/ρ : 砂の比重、 ρ : 水の密度を d : 砂の粒径を表す。粗度係数は0.025を、砂の粒径は現地の底質調査結果より0.21 mmを各々採用している。

河口幅を変化させた場合の入退潮による河口部地形の変化と、河口水位観測所位置での水位の変化を、上記の平面2次元の河床変動計算モデルにより計算した。通常時の最狭部河口幅は約50 mであり、その場合はほぼ潮位と同様の振幅と位相を持った水位変化を示すが、開口幅が30 m程度まで狭まると、潮位と河道内水位に位相差が発生し、また水位の振幅も異なる様子が計算でも確認された(図-10)。先に示したように河口が完全閉塞した直前の河口部水位記録を見ても同様の変化が見られることから、河口幅が30 m以下になった場合に河口が完

全閉塞する恐れがあると考えられる。よって、人工開削基準として最小河口幅30 mを設定した。

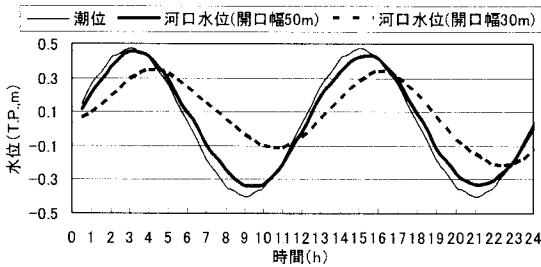


図-10 計算による開口幅と河口部水位の関係

5. 河口監視システムの検討

これまでの検討結果から河口監視システムを提案する(図-12)。河口閉塞を判断するデータとして河口部画像データ、水位データを利用した。さらにむつ小川原港の波浪データが2～3 m以上になると砂面の変動が激しく河口閉塞の危険度が増すことが現地観測結果より確認された。既往の河口閉塞時の波浪データを整理すると河口閉塞直前に4 mを越える波高が観測されている(図-11)。よって河口監視項目としてはこれら3項目を監視することとする。

- ①画像データ：河口幅を監視する。
- ②河口水位データ：潮位との連動を監視し、振幅および位相に差が見られるようになった場合、監視を強化する。
- ③むつ小川原港の有義波高：4 m以上になった場合監視を強化する。

許容砂州規模として先にシミュレーションによって得られた人工開削基準河口幅30 mを設定し、開口幅が30 mより狭まった場合には現地を確認することとした。現地確認により人工開削が必要であると判断された場合には砂州を開削する。

6. ま と め

本検討では構造物によらない河口処理方法として、河口監視システムを提案した。河口閉塞問題を抱える多くの河川では、導流堤など構造物による対策が行われていることが多いものの、いずれの河川においても完全に河口閉塞を防ぐことが難しい状況にある。本検討で提案した河口監視システムを用いることで適切に河口を監視し、有効な人工開削を行うことが可能であると考えられる。特に今回検討対象とした高瀬川は上流に豊かな汽水環境を持つ小川原湖を有していることから、構造物による対策を行った場合には汽水環境の変化が懸念されていた。よって周辺環境に与える影響がないことも本システムの

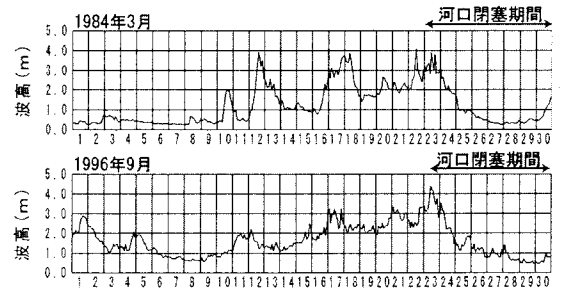


図-11 河口閉塞月の有義波高(むつ小川原港)

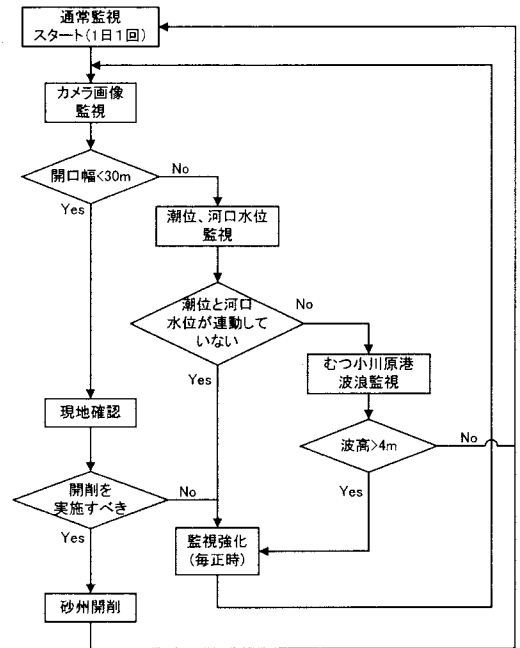


図-12 河口監視システムフロー

利点であると考えられる。

謝辞：本研究を行うに際し、東北大学田中 仁教授より貴重な助言をいただきました。ここに記して心より感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 田中 仁(1995)：七北田川において観測された中小河川特有の河口現象，土木学会論文集，第509号/Ⅱ-30，pp.169-181。
- 渡辺一也・田中 仁・中山大輔(2005)：中小河川の河口地形変動とそのモニタリングに関する検討，河川技術論文集，第11巻，pp.351-356。
- Nguyen Trong Tu・田中 仁・山路弘人(2005)：河口放水路内における砂州発達機構の解明，海岸工学論文集第52巻，(印刷中)
- O'BRIEN,M.P.(1969)：Equilibrium flow areas of inlets on sandy coasts, J.Waterways, Harbours and Coastal Eng., 15(WW1):pp.43-52。