

青森県高瀬川の河口部変動特性について

成田 舞*・石川忠晴**・高橋 淳***

高瀬川の河口地形は、上流の小川原湖の塩分状態に影響を与えると考えられているが、測量データが乏しくその変動特性は十分明らかにされていない。そこで、河口部における写真撮影と河口内外の水位変動記録を用いて、変動特性の間接的な推定を行った。その結果、河口開口幅はあまり大きな変動を示さなかった。一方、河口内外水位差から定義した河床高指標は波浪・河川流量の強弱に対応し、比較的短い時間スケールで変動した。また河床高の増減は、高瀬川流量を規定する小川原湖水位および有義波高と有意な相関を持ち、これらのデータから河床高の増減をかなり明確に推定できる可能性が示された。

1. はじめに

青森県高瀬川は、汽水湖である小川原湖と太平洋を結ぶ感潮河川である。潮汐の変動に伴い、高瀬川を海水が遡上し、高潮時にはその一部が小川原湖に流入する。この塩水遡上現象とそれに伴う塩分循環は、小川原湖の水質や生物に大きな特色を与えている。鶴田らの研究(2002)によれば、この現象により輸送される塩分は、同湖の主要な水産資源となっているヤマトシジミの繁殖環境の形成にとって重要である。

塩水遡上現象は、高瀬川河口地形の影響を受けると考えられている。しかし、河口部の右岸は米軍演習地であるため、測量が実施される頻度は極めて少なく、また軍事上の理由から市販航空写真の当該部は塗り潰されていることが多い。加えて、僻地であるために舟の調達も容易ではなく、簡易な測深も危険性を伴う。これらの理由により、高瀬川の河道変動特性は十分明らかにされていない。

そこで本研究では、河口部の変動特性を間接的に推定することを試みた。河口部の簡易な写真撮影と河口開口幅の直接計測により河口砂州の伸縮を調べた。また、河口内外の水位変動記録を用いて河床高を表す指標を設定し、その増減を調べた。これらの結果から、変動特性を考察した。

2. 対象河川の概要

小川原湖及び高瀬川の概要図を図-1に示す。小川原湖は湖面積 63.2 km^2 で、日本で 11 番目の大きさである。平均水面高は T.P.+40 cm、平均水深は 11 m、最大水深 25.0 m である。流入河川はいずれも湖の南西部にあり、北東部から排水河川である高瀬川へと注いでいる。湖の流出口(湖口)付近にはヤマトシジミが多数生息してい

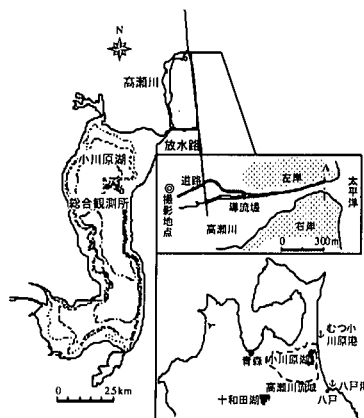


図-1 高瀬川の位置と形状

る。高瀬川は河道延長 6.6 km、平均水深 2.5 m の一級河川である。滞筋は約 60 m と狭小であり、上流・下流部でそれぞれ蛇行している。中流部と下流部には複断面河道があり、低水敷は干潟となっている。また、河口から 5.7 km の地点には、治水対策として放水路が建設(1977 年竣工)されているが、放水路のゲートは原則として湖水位が T.P.+70 cm を上回る洪水時以外は閉じられており、常時は高瀬川を通じて自然な流入が生じている。

八戸港(高瀬川河口から南へ約 40 km)での潮位観測によれば、この付近の満潮位(天文潮)は T.P.+40~70 cm であり、小川原湖平均水位以上となることから、高瀬川には逆流がしばしば発生する。しかし河道の疎通能力が低いと、まとまった量の塩水が小川原湖に侵入するのは、比較的大きな水位差が長時間継続した場合のみである。遡上形態は、河口から中流部にかけでは緩混合、湖に到達する付近では概ね強混合となっている(建設省高瀬川工事事務所, 1987)。混合形態の変化については藤原らの研究(1993, 1995)により、その間にある複断面河道において複雑な流動混合が生じるためだと指摘されている。

なお、河口部左岸には、疎通能力向上のため開削工事が行われ、約 500 m の導流堤が建設(62 年竣工)されている。この結果、左岸側の形状は安定し、右岸側での堆

* 学生会員 東京工業大学大学院総合理工学研究科環境理工学
創造専攻修士課程

** フェロー 工博 東京工業大学教授 大学院総合理工学研究科環境
理工学創造専攻

*** 国土交通省高瀬川総合開発工事事務所調査設計課
長

積傾向が強くなっている。よって河口地形としては、右岸側砂州の伸縮（水平方向）と、河床高（上下方向）の変動をとらえることにより、その特性をつかむことができる。

高瀬川は小川原湖の排水河川であるから、その流量は小川原湖水位に依存する。図-2(a)は小川原湖総合観測所で計測された、17年間の日平均湖水位から求めた湖水位年間変動パターンである。3～5月・8～9月には水位の上昇が見られる。これらはそれぞれ融雪出水・台風などによる出水によるものである。冬期には総じて水位が低くなっている。

一方、図-2(b)は、高瀬川から北約10 kmの地点にあるむつ小川原港での過去5年間の波浪データから求めた有義波高の年間変動パターンである。7月・11～12月は波高が低く穏やかである。それ以外の期間における平均波高は約1.2 mである。また、むつ小川原港では年間を通じてE方向の波向きが卓越している。

3. 河口部撮影写真からの開口幅推定

2001年6月14日から2週間ごとに計13回、河口部の写真撮影を行った。撮影地点は、河口から上流約1.2 kmの左岸側にある比高約5 mの微高地であり（図-1の◎地点）、河口部を斜め方向から毎回同じアングルで撮影した。また、13回の撮影日のうち5回は、写真撮影とほぼ同時刻に最小河口幅を計測した。計測には、レーザー距離測定器（ブッシュネル社製：ライトスピードスカウト）を用いた。この計測データと撮影写真を用いて、残りの撮影日における河口開口幅を以下のように推定した。

まず、図-3に示すように、写真中の固定構造物を用いて局所座標系を設定し、河口部先端の座標を求め、この座標と座標原点との距離を河口開口幅を表す指標とした（図-3参照）。次に河口幅の計測が行われた5回について、実際の河口幅と河口開口幅指標との相関関係をみたところ、図-4に示すように両者にはよい相関（相関係数0.995）が見られた。そこで、この相関関係から回帰式を求め、すべての写真における河口開口幅を推定した。

ただし、写真が撮影された時刻における水位は各日で異なっているため、各推定河口幅を比較する際には、水位を考慮して河口幅を補正する必要がある。ここでは次のようにして、水位がT.P.+0 mの値を推定した。図-5は、図-1に示した測線Aにおける、河道横断測量結果（1997年9月作成）である。右岸の砂州では緩やかな斜面が形成されており、その勾配 θ は2.2°である。そこで河口幅補正量 Δx を次式によって求めた。

$$\Delta x = -\Delta H / \tan \theta \quad \cdots \cdots (1)$$

ここに ΔH は水位（T.P.m）である。

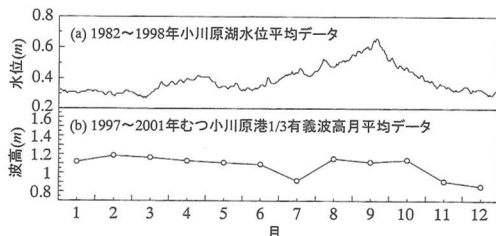


図-2 河口部変動に関わる諸データ



図-3 局所座標の設定方法

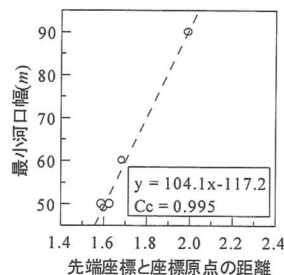


図-4 指標と実測河口幅の関係

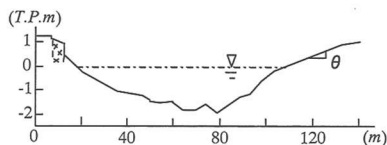


図-5 河口付近の横断面図

結果を図-6 上段に示す。また下段には、小川原湖水位（以下 h_0 ）とむつ小川原港における有義波高（以下 H ）の時系列データを示してある。6月上旬に h_0 がステップ的に増大すると、少し遅れて開口幅が漸増していることが分かる。また9月から10月の出水期には、開口幅は一時的に増大している。しかし全体的には、開口幅は50 m±10 mの範囲に収まっており、通常の河川（澤本，1998）ほど大きくは変動しない。これは、上流に小川原湖があり流量が安定しているためであると思われる。

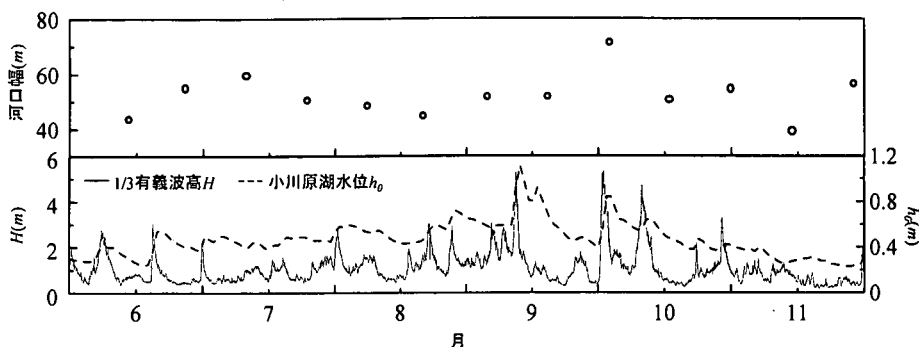


図-6 河口幅の変動

4. 水位データによる河床高指標の設定

4.1 河川内外水位データの特徴

図-7 上段は、高瀬川河口近くの河道内に設置された水位計の記録 (河川内水位: 以下 h_1) と、八戸港の実測潮位 (以下 h_2)、下段はむつ小川原港有義波高 H の時系列データである。波浪の穏やかな期間 ($H < 1$ m) においては、高潮時には h_1 、 h_2 の両者は概ね一致しているが、潮位が低くなると $h_1 > h_2$ となる。これは、河口開口部の河床が障害になり、河道内水位が低下できないためだと考えられる。したがって、低潮時の h_1 と h_2 の関係を調べることによって、河床高の変動に関する情報が得られる可能性がある。

一方、波高が 1 m を越え始めると、 h_1 は h_2 より全体的に大きくなる。これは河口前面での砕波による wave set-up により河川内水位が上昇するためと考えられる。したがって、 h_1 と h_2 の関係から河口地形に関する情報を得るには、まず wave set-up 量を求め、 h_1 の値を補正する必要がある。

田中 (1995) は宮城県七北田川河口部において wave set-up 量を求め、水位上昇量は平均で沖波波高の 1 割程度であるとしている。また、高瀬川河口での wave set-up 量については長尾ら (1996) が、むつ小川原港の有義波高・有義波周期データと波浪が斜面に打ち上がった場合の関係式から、有義波高と wave set-up 量の関係を求め、その結果を河川内水位と有義波高の関係を勘案して補正し、最終的に wave set-up 量は有義波高の約 0.05 倍と推定している。ただし、補正に用いた河川内水位の欠測が多く、この結果には多少のずれが予想される。そこで本研究においても、再度 wave set-up 量を求めることにした。

4.2 wave set-up 量

高瀬川河口部における wave set-up 量を、田中 (1995) と同様に以下の手順で求めた。用いたデータは河川内水

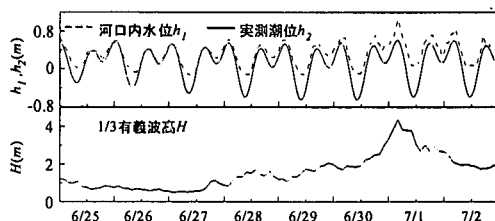


図-7 河川内外水位時系列 (1999.6.25~7.2)

位 h_1 ・八戸港実測潮位 h_2 ・むつ小川原港有義波高 H である。水位上昇量に対する河口部の流れの影響を減らすために満潮時のデータを選び、 h_1 と h_2 の差を wave set-up 量 (以下 η) の代表値とした。また、河川流量の影響を排除するために、河川流量が大きい場合 (80 m³/s 以上) のデータを除いた。

図-8 はこのようにして求めた wave set-up 量 η と、その時刻の H の関係を、過去 3 年間について示したものである。 H が大きくなるほど η も大きくなっており、年毎に最小二乗法により H ・ η 関係の近似式を求めると、

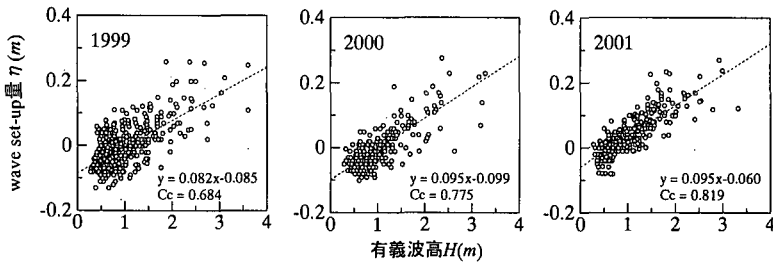
$$1999 \text{ 年: } \eta = 0.082H - 0.085, C_c = 0.684 \quad \cdots (2)$$

$$2000 \text{ 年: } \eta = 0.095H - 0.099, C_c = 0.775 \quad \cdots (3)$$

$$2001 \text{ 年: } \eta = 0.095H - 0.060, C_c = 0.819 \quad \cdots (4)$$

となり、両者の相関も高いことが分かる。この近似直線の傾きより、wave set-up 量は波高の 0.09~0.1 倍程度であることが分かる。なお近似直線は原点を通っていないが、これは高瀬川河口の水位原点と八戸港水位原点が異なるためと考えられる。鶴田ら (2001) によれば、その差は 8 cm 前後である。

またデータのばらつきの原因については、大潮・小潮など潮位の振幅差や河口地形の変化などが考えられる。そこで 3 年間の H ・ η データの中から、満潮時の実測潮位が 40 cm 以下の時・60 cm 以上の時を選んで近似直線を求めたところ、直線の傾きと相関係数はそれぞれ (0.085,

図-8 有義波高 H と wave set-up 量 η の関係

0.790), (0.087, 0.612)となり、データの分布傾向はほとんど変わらなかった。ゆえに、潮位差はプロットのばらつきには寄与していないと言える。一方、河口が開口気味のときに比べて閉塞気味の方が wave set-up 量は増大すると予想されるが、データが乏しいため検討できなかった。ここでは、式(2)~(4)の近似式により wave set-up 量を評価する。

4.3 河床高指標の設定

図-9(a)は、波浪が小さい場合の河口内水位 h_1 -潮位 h_2 関係をプロットしたものである。高潮時には h_1 は h_2 に漸近するが、 h_2 が下がると潮位に比べて h_1 はあるところから下がらなくなる。これは河床高の影響である。同図に例示するように、季節によって両者の関係は異なっているのは、河床高が変化しているためと考えられる。そこで、最小二乗法によりこの曲線の近似式を求め、 $h_2 = -0.4$ mの時の h_1 の値を、河床高を表す指標と設定した。すなわち、河床が低下すると、河床高指標の数値は小さくなり、逆に土砂の堆積が進むと数値が大きくなる。

高波浪時には、前項で述べたように wave set-up により河口内水位が上昇するため、図-9(b)に示すようにデータが上方にずれる。この影響を減少させるために、前項で求めた近似式を用いて、 H データより河口内水位の set-up 量を求め、 h_1 データから差し引くことにより補正した。図-9(b)に補正の例を示してある。このデータ

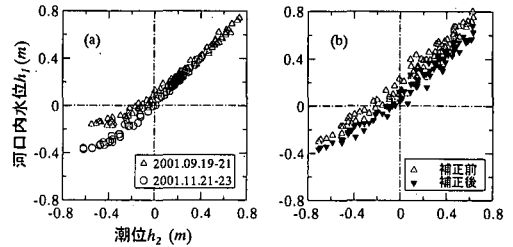


図-9 河口内水位と潮位の関係

から、左記の記述と同様の方法で河床高指標を求めた。

4.4 河床高指標の変動

過去3年間の河口内水位、実測潮位、有義波高データより、3日毎の平均的 h_1 - h_2 曲線を求め、その近似式から指標値を読み取った。結果の一部(2000年1月~6月)を図-10上段に×印で示す。また、-0.4 mの潮位は3日間に通常6回生じていた。そこでその最大値と最小値をエラーバーとして示した。なお h_2 が -0.4 m に達しなかった期間については、近似曲線を求めていない。

下段には小川原湖水位 h_0 と有義波高 H の時系列を示している。河床高指標は、2月上旬・3月中旬・4月下旬などにおける H の増大の後に、増加する傾向が見られる。 H のピークとの対応を見ると、多くの場合、 H の増大にともない一時的に増大し、その後減少に転じている。これは波浪によって沖から運ばれた砂が河口部に堆積し

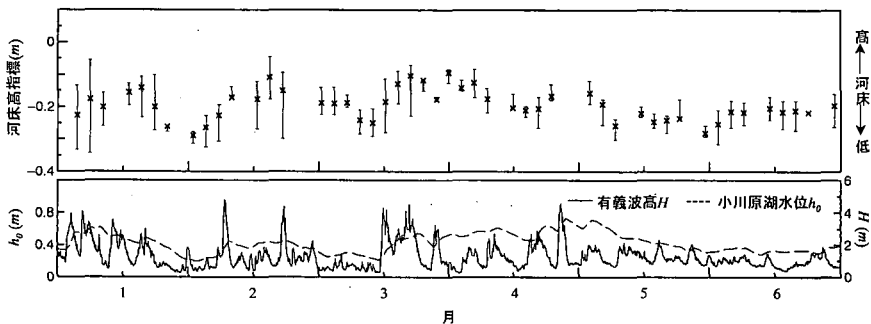


図-10 河床高指標の変動 (2000. 1 ~ 6月)

表-1 河床高指標増減の判断基準

条件1	D_{index} の絶対値 >0.02	
	河床高指標増加	河床高指標減少
条件2	$D_{\text{bottom}} > 0.01$	$D_{\text{top}} > 0.01$
条件3	$(D_{\text{top}} + D_{\text{bottom}})/2 > 0.01$	$(D_{\text{top}} + D_{\text{bottom}})/2 < -0.01$

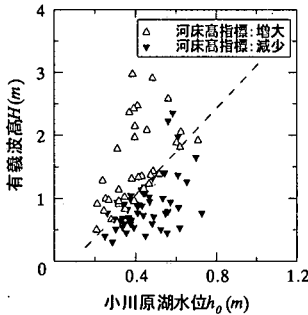


図-11 河床高と流量と波高の関係 (1999～2001)

た後、徐々に洗掘されるためと考えられる。また、4月上旬や5月上旬などの、 h_0 が高く H が比較的低い期間においては、河床高指標は減少している。これは河川流の作用により、堆積土砂がフラッシュされているためではないかと考えられる。

そこで、 H と h_0 が河床高指標の増減に及ぼす影響を調べた。ただし、指標ごとにデータのばらつきが異なるため、増減が明確なものを抽出して検討を行った。まず、時間的に連続している2つの指標について、指標の代表値を比較し、変化が微小なものは棄却した(条件1)。

次に、指標の代表値の変化方向と逆向きにあるエラーバー(指標の代表値が増大する時は指標の下限値)の変化の向きが逆であるものを棄却した(条件2)。なお、上限値・下限値の変化量を平均すれば指標の代表値と向きが一致する場合は棄却したものを再抽出した(条件3)。判定の具体的な数値基準は表-1に示すように設定した(指標代表値・上限値・下限値の変化量をそれぞれ D_{index} 、 D_{top} 、 D_{bottom} とする)。このようにして選び出した指標間における、 H 、 h_0 データの平均値を求め、これらの値と

河床高指標増減の対応関係を求めた。

結果を図-11に示す。指標の増減は、 $H-h_0$ の関係によってかなり明確に分離されており、波浪や河川流の強弱に対して鋭敏に反応していることが分かる。また、これらの関係から逆に河床高の変動を推測できる可能性がある。

5. おわりに

本研究の主要な結論を以下に列挙する。

- (1) 高瀬川河口開口幅の変動は $\pm 20\%$ 程度でかなり安定している。これは小川原湖により流量が安定していることによると思われる。
- (2) 高瀬川河口では有義波高の10%程度の wave set-up が生じる。このことを考慮して河口内外水位差から河口の河床高指標を定義したところ、その時間変動は、流量を規定する小川原湖水位及び有義波高と有意な相関を持っていると推論された。

本研究を行うにあたり、国土交通省東北地方整備局八戸港湾空港工事事務所には貴重なデータを提供していただきました。記して謝意を表します。

参考文献

- 建設省東北地方建設局高瀬川工事事務所 (1987): 小川原湖塩分変化予測検討業務報告書。
- 澤本正樹 (1998): 日本の河口, 平成7～9年度科学研究費補助金基盤研究(A)(1)研究成果報告書, 331 pp.
- 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, No. 509/II-30, pp. 169-181.
- 鶴田泰士・石川忠晴・西田修三・成田 舞・藤原広和 (2002): 小川原湖におけるヤマトシジミの繁殖環境について, 土木学会論文集, No. 705/II-59, pp. 175-187.
- 鶴田泰士・石川忠晴・西田修三・藤原広和・村井慎実 (2001): 小川原湖への海水進入現象に関わる水理データの整備と復元, 水文・水資源学会誌, Vol. 14, No. 1, pp. 13-26.
- 長尾正之・西部隆宏・石川忠晴・山浦勝明 (1996): 小川原湖への塩分侵入減少の確率統計的考察, 水工学論文集, 第40巻, pp. 583-588.
- 藤原広和・沢本正樹・神山尚人 (1995): 複断面水路における河口密度流の混合特性, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 416-420.
- 藤原広和・田中博通 (1993): 高瀬川感潮域の現地観測による水理特性, 水工学論文集, 第37巻, pp. 171-176.