

阿賀野川の河口地形変動が塩水遡上に与える影響

水工学研究室 伊藤亜矢子
指導教員 細山田得三

1. はじめに

河口に於ける1つの問題として、塩水の遡上
が挙げられる。河口は海水と淡水が交わる場所
であり、両者の密度差によって流動が複雑とな
る。塩水遡上は、海水の密度差によって、河川
を海水が河床上を遡上する現象である。海水が
上流まで達し、農業用水や工業用水の取水地点
まで到達すると、農作物や様々な製造物に損害
を与える。アメリカのミシシッピ川では200km
も塩水遡上が発生した記録が残っている。塩水
遡上を防止する方法は幾つかある。現在、実用
されているのは河口に水門を設け、海水を河口で
遮断する方法である。これにより、飲料水、工
業用水、農地の灌漑用水等の安定した取水を可
能としている。河口砂州は、自然の水門とみな
す事ができ、塩水遡上を阻止するものとして機
能している。既往の研究では、塩水遡上に関す
る研究が多くなされている。河川の水力諸量、
河口地形、気象、潮汐等との関連性については
多くの知見が得られてきた。これまでに不等流
の塩水遡上については多くの知見が得られてい
るが、非定流の塩水遡上を対象とした例はあま
りなく、詳細な挙動については明確ではない。

また、近年では環境破壊による地球温暖化の
影響が表面化してきた。温暖化により地球の平
均気温が上昇し北極、南極の氷が溶け出してき
た。これにより、平均海面が上昇し河川への海
水流入が容易に起こると考えることができる。
近い将来、塩水遡上は深刻な問題になると考え
られる。

2. 塩水くさび

河口は海岸と河川が接する場所であり、潮汐
と河川流が互いに影響している。そのため、海
水面の上昇によって海水が河川内に遡上する塩
水遡上が発生する。淡水と塩水では塩水の方が
密度が大きいため、塩水が淡水の下に入り込む。
この様子を河川横断面から見ると、楔形に塩水
が入り込んでいるため塩水くさびと呼ばれる。
河口水位は海岸の潮位によって定まる。海水は
満潮の潮位が高い時に河川内に侵入してくるた
め、潮位変動は塩水遡上を考える上で考慮すべ
き要因の1つである。その他の要因として、河
川流量の減少、河口開口幅の増大、河道の浚渫
や河床低下が挙げられる。淡水と塩水の混合形
態は、弱混合型、緩混合型、強混合型の3つに
分けられる。一般に図1に示す弱混合型は、潮
位変動が小さい日本海側の河川に多い。淡水と
海水の混合を促すような働きが弱く、鉛直方向
に淡塩層の状態となる。内部の境界面は作用す
るせん断力によって傾きが生じる、これが塩水
くさびである。淡塩層の境界は明瞭であり、塩
分濃度の鉛直分布は境界で急変する。

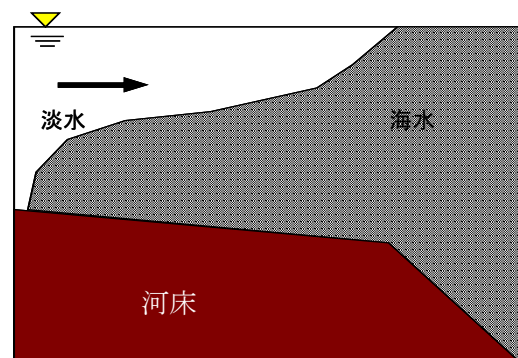


図1 弱混合型

3. 研究目的

河口砂州は塩水遡上を阻止する機能を果たしているため、砂州の形状が塩水遡上にどのような影響を与えるのかは重要であるといえる。本研究では、阿賀野川河口部の地形変動に着目し、数値シミュレーションにより、砂州の有無が塩水遡上に及ぼす影響を定量的に把握することを目的とする。

4. 研究方法

H16年に7.13水害が起きた際、大規模な砂州のフラッシュが起きた。写真1は阿賀野川河口におけるフラッシュ後の写真であり、時間の経過に伴い、写真2、3の様に徐々に砂州が形成されていく。

写真2のH17年は、写真3のH18年よりも砂州が発達していないため、海水が河川へ流入しやすいと考えられる。そこで、H17年とH18年の塩分、流量、水位、水温等の計測結果を元に、砂州の形状の違いが塩水遡上にどのような影響しているのかを考察した。また、より詳細な検討を行うために1次元数値モデルで数値シミュレーションを行い、非定流の塩水遡上の動態を算出した。



写真1 H16年7月フラッシュ後の阿賀野川河口砂州の様子



写真2 H17年10月阿賀野川河口砂州の状態



写真3 H18年10月阿賀野川河口砂州の状態

5. 阿賀野川河口データの解析

写真4は塩分計設置状況である。塩分計はELを基準としてELから上に0.4m(以下「塩分計上」)、下に-0.6m(以下「塩分計中」)、その下に-1.20m(以下「塩分計下」)の3箇所に設置した。センサー設置標高ELは0.296mである。

図-2はH17年、図-3はH18年の塩分と河口流量の関係である。ここでは3箇所の塩分計の平均を用いた。いずれのグラフからも流量が減少する時期に塩分量は増加し、流量が増加する時期に塩分量が減少していることが分かった。これより、塩分と河川流量は密接な関係といえる。

図-4は夏季、図-5は秋における塩分計上と河川流量のH17年とH18年の比較である。H16年の7.13水害でのフラッシュより、H

17年は、砂州は形成途中であり河口断面積が大きい事から、H17年方が海水は河川へ浸入して来やすいといえる。各年で河川流量が同じ値を示している箇所を丸で囲み、その時の各年の塩分を比較した。その結果、H17年の方がH18年のより塩分が高かった。これより、砂州が発達していないほうが、海水が浸入して来ると分かった。

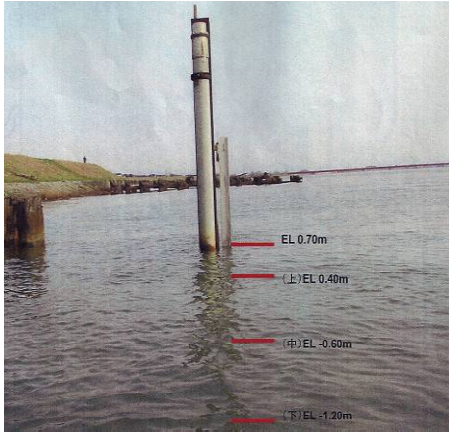


写真4 塩分計設置状況

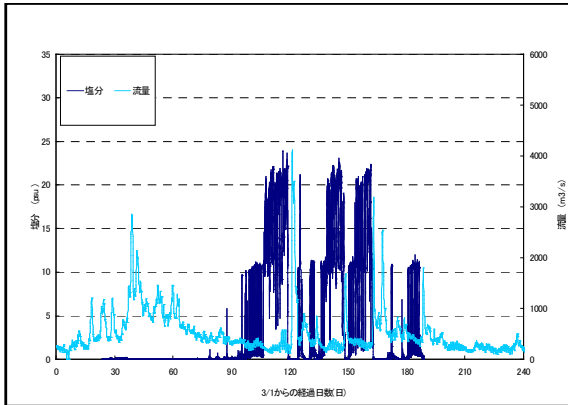


図2 H17年の塩分と河川流量の関係

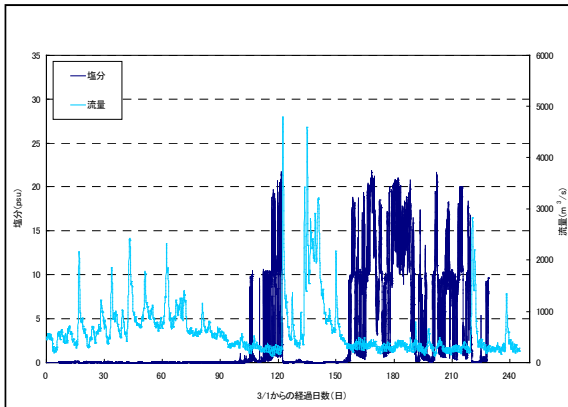


図3 H18年の塩分と河川流量の関係

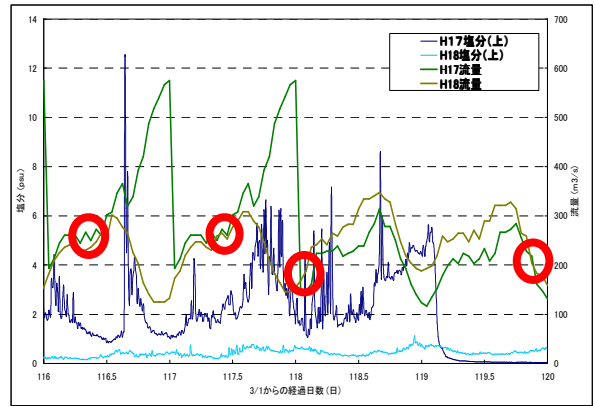


図4 夏季におけるH17年とH18年の比較

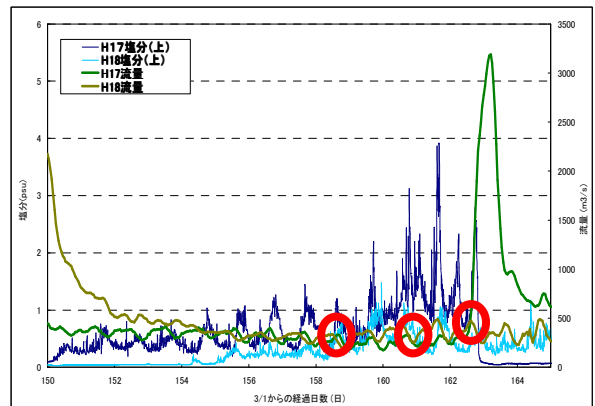


図5 秋におけるH17年とH18年の比較

6. 1次元モデル概要

本研究で採用した基礎方程式は、連続式、運動方程式である。

- ・ 連続式

$$B \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

- ・ 運動方程式

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha v^2}{2g} \right) = - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p}{\rho g} + z \right) - i_f \quad (2)$$

ここで、 B は河口幅、 h は水深、 t は時間、 Q は流量、 x は流れ方向の座標、 g は重力加速度、 v は速度、 p は圧力、 i_f は擦勾配、 α はエネルギー補正係数、 $(p/\rho g) + z$ はピエゾ水頭である。

計算に用いた格子は1次元のスタガードメッシュであり、水深と流速が互い違いに分布して

いる。このような配置の場合、流速に対する圧力勾配の意味が明確になり、取り扱いが容易になると共に計算の安定度が高くなる。

計算に用いた条件は以下の5通りである。地形勾配については河口付近を取り扱うため、1/10000とした。1格子のサイズは50mで200格子とし、このため全体の計算領域は10kmとなる。

条件 01 初期塩分分布が高い

条件 02 初期塩分分布が低い

条件 03 条件 02+河口幅 600m とする3次関数

条件 04 SET02+河口幅 800m とする3次関数

条件 05 SET04+砂州あり

7. 数値計算結果

数値計算では、先述した5つの条件の下で塩分分布、塩水と淡水の水位、海水と淡水の流速を求めた。

図6は横軸に境界からの距離、縦軸に経過時間を示した塩分分布の図である。塩分分布は、砂州の有無に関わらずほぼ同様な分布をしているが、砂州がある場合、砂州の位置では周りより塩水水位が高くなった。

図7は図6における塩分水位変化をラインで表したものである。

図8は境界からの距離、縦軸に経過時間を示した淡水の流速の図、図9は塩水の流速の図である。淡水、海水の流速については、砂州の有無に関わらず同様な結果となった。

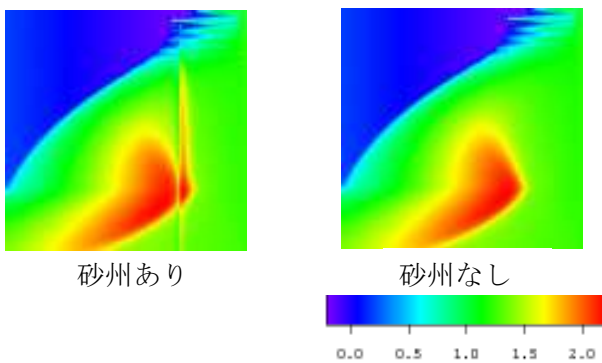


図6 塩水水位の経時変化

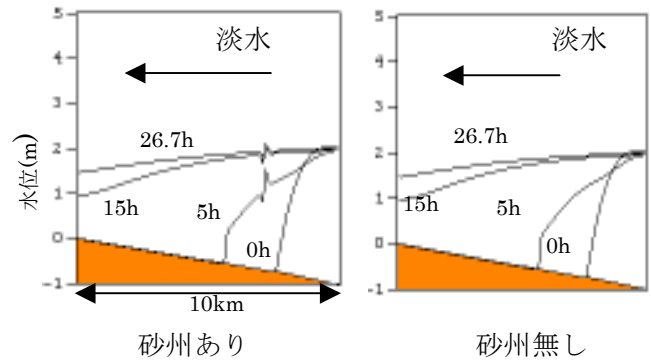


図7 塩水水位の経過変化

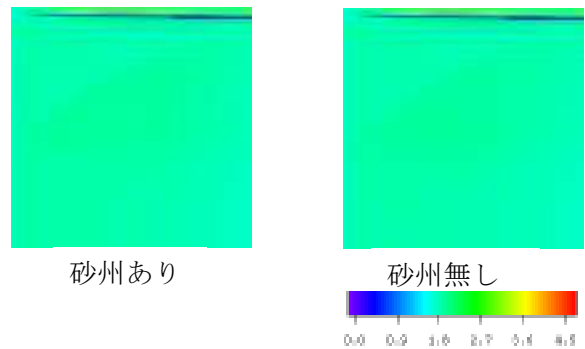


図8 淡水の流速の経時変化

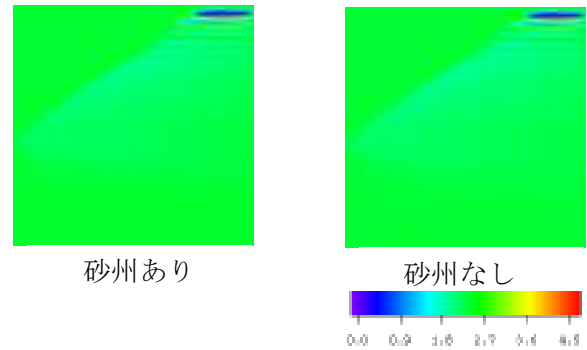


図9 塩水の流速の経時変化

8. 結論

データ解析では、砂州の形成の違いで塩分遡上量に変化することが分かった。

それに対して数値解析では、砂州の地点で塩分水位が変化することがあったが、時間経過後の塩分水位は、砂州の有無に関わらずほぼ同じような結果となった。

このことから、阿賀野川においては砂州の形状により塩分に差が出たものの、数値計算の結果からは砂州の形状が塩分遡上量の違い及ぼす影響は、ほとんど見られなかったため、阿賀野川において生じた塩分の差は微小なものであると考えられる。