

II-274

旧北上川における塩水遡上現象の現地観測および $k-\epsilon$ 乱流モデルによる数値シミュレーション

東京工業大学大学院 学生会員 工藤健太郎, 学生会員 鈴木伴征, 熊沢徹
東京工業大学総理工 正会員 石川忠晴

1. はじめに

近年、環境問題に対する関心が高まりつつあり、河川感潮域においても、自然環境をできるだけ損なわずに塩水などの被害を緩和する方法が模索されている。そのためには以前にもまして塩水遡上に対する正確な理解と、数値シミュレーション等による高度な予測が必要となるであろう。そこで本研究では、旧北上川をフィールドとして、塩水の遡上状況や混合形態の時空間的な変化を計測した。次に、 $k-\epsilon$ 乱流モデルによる数値シミュレーションを行い、現地観測結果との比較によりその有効性を検証した。最後に、本計算モデルを用いて、旧北上川における塩水遡上特性を検討した。

2. 現地観測

観測サイトは、旧北上川の河口より8.0kmの範囲である(図1参照)。現地観測は1998年7月16～23日と11月4～11日(図2参照)の2回にわたって集中的に行った。縦断観測では大潮、中潮、小潮時の塩分の連続的な変化を捉えるために、図1に示す各観測点で3時間おきに塩分などの鉛直分布を計測した。24時間観測では定点における時間変動を捉えるために、石巻大橋上(3.4km地点)で1時間おきに塩分などの鉛直分布を計測した。11月の大潮、小潮の縦断観測結果を図3に、24時間観測結果を図4に示す。なお、観測期間中の流量はほぼ $240\text{m}^3/\text{s}$ 前後で安定していた。

図3より、この流量では、潮によらず混合形態は弱混合であるが、上げ潮時には楔先端部で混合していることが分かった。また、塩水の遡上は潮によらず6.0kmの瀬でほぼせき止められ、河床形状の影響を強く受けることが分かった。図4からは、上げ潮よりも下げ潮時において鉛直方向に混合し、内部界面が広がる様子が分かる。

3. $k-\epsilon$ 乱流モデルによる塩水遡上の数値シミュレーション

3.1 計算方法

旧北上川下流部における塩水遡上現象の時空間的な変動を再現するために、3次元 $k-\epsilon$ 乱流モデルを横断方向に積分し、式中に川幅や側岸での摩擦フラックスの項が含まれる形式の鉛直2次元計算モデルを構築した。方程式系は、基礎方程式としてブシネスク近似した運動方程式、連続の式、標準型の k, ϵ の輸送方程式および塩分の輸送方程式からなり、これらの方程式系を有限体積法を用いて離散化し、SIMPLE 解法により解いた¹⁾。

キーワード: 塩水遡上, 現地観測, $k-\epsilon$ 乱流モデル, 数値計算

連絡先 : 〒226-0026 横浜市長津田町 4259 TEL: 045-924-5515

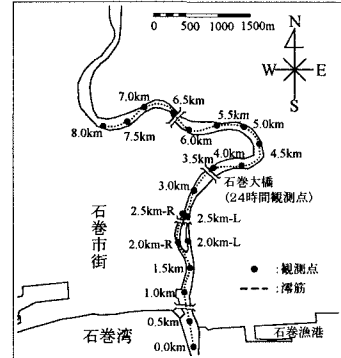


図1 旧北上川下流部と観測点

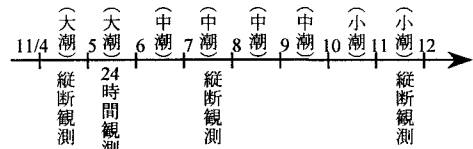


図2 集中観測行程(1998/11/4～11)

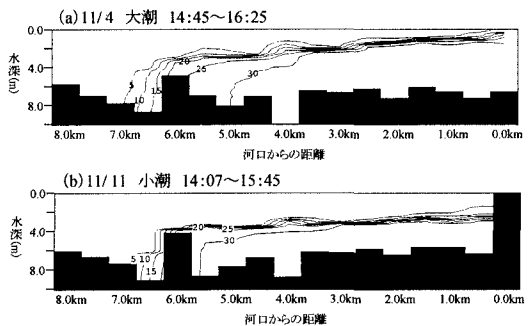


図3 塩分濃度の縦断分布(観測結果, 単位‰)

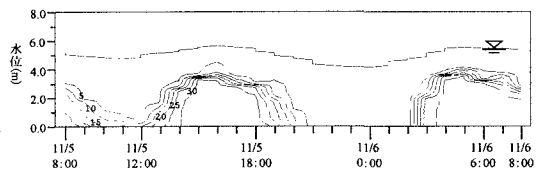


図4 塩分濃度分布の時間変動(石巻大橋(3.4km地点), 単位‰)

また、潮汐による水面変動を考慮するために、水面の位置で圧力 $p=P_0$ （大気圧）を境界条件とし、運動学的条件から単位時間あたりの水面変動分を計算した。これを、水面に接するメッシュに加えて計算領域に反映した²⁾。

3. 2 計算条件

計算領域は大森（河口から13.2km上流）から河口より下流4.0km地点までの17.2kmとした。河口より下流部の領域は、境界条件が計算領域に及ぼす影響を少なくするために設けてある。メッシュ幅は全域一様に $\Delta x=400\text{m}$ 、 $\Delta z=0.25\text{m}$ 、 Δt は収束性を考慮して30sとした。ただし、表層メッシュは可変メッシュで水面変動に合わせて変動する。このモデルを用い、11月の観測期間中の流量・潮位時系列を与えて再現計算をおこなった。

3. 3 計算結果と観測結果の比較

塩分の計算結果を、図5に示す。潮によらず、塩水が6.0kmの瀬でせき止められる様子や、大潮小潮の違いによる塩分分布の違いもよく再現できた。一方、図3と図6を比較すると、上げ潮よりも下げ潮時に界面で鉛直方向に混合する傾向が明確に現れている。以上の比較の結果、本計算モデルの有効性が示された。

3. 4 流量と塩水の遡上距離に関する検討

観測・再現計算から、6.0km地点の瀬は塩水の遡上を堰き止める効果大きいと推測される。そこで、瀬の効果を調べるために、今回用いた計算条件で上流端の流量のみを変化させ、大潮、中潮、小潮時における流量と遡上距離の関係を調べた（図7参照）。各図中に示されている塩分濃度は、河床付近における各濃度の塩水の最大遡上距離を表している。なお、図中には6.0kmと3.6kmにある瀬を示す横線を入れてある。計算結果より、塩

水の遡上特性は瀬の上流域と下流域で異なっていることがわかる。すなわち、下流域では各塩分濃度曲線がおおよそ重なっているのに対し、上流域では低濃度の曲線ほど遡上している。このような現象が起こるのは、瀬によって濃い塩水は堰き止められるが、瀬を越える位置にある塩水層上部が瀬を越えるときに淡水と混合して薄められながら遡上していくためと考えられる。このような作用により、塩水層内部において瀬を境に上流と下流で塩分濃度が急激に変化する分布となり、濃度によって遡上距離が大きく異なる結果となったと推測される。

4. まとめ

本研究では、旧北上川下流部における塩水遡上について現地観測を行い、 $k-\epsilon$ 乱流モデルによる再現計算との比較をおこなった。その結果、本モデルは塩水遡上現象の数値シミュレーションに有用であることがわかった。次に、本計算モデルにより流量と遡上距離の関係を調べた結果、6.0km地点の瀬が遡上距離に大きく影響を及ぼしていることがわかった。また、瀬を境に上流と下流で塩分濃度が大きく異なる現象が計算で現れたが、このような現象は「自然を損なわないで塩水遡上による影響を軽減する方法」を考える上で有用な知見と思われる。

【参考文献】 1) 荒川忠一：数値流体工学，東京大学出版会，1994

2) 数値流体力学編集委員会：移動境界流れ解析，東京大学出版会，1995

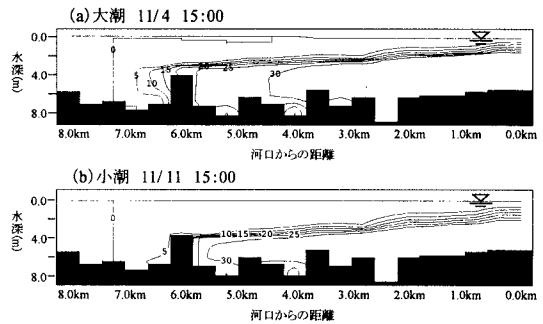


図5 塩分濃度の縦断分布（計算結果，単位：‰）

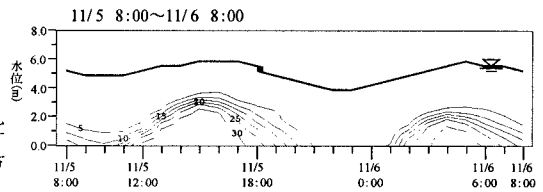


図6 塩分濃度分布の時間変動（計算結果（3.2km地点），単位：‰）

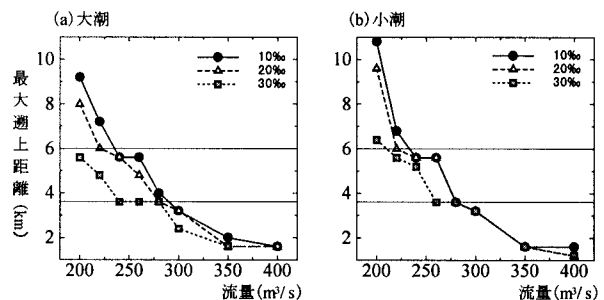


図7 流量と遡上距離の関係