

河口における塩水侵入の数値解析

愛媛大学工学部 正員 伊福 誠
愛媛大学大学院 学正員○楠 芳洋

1. はじめに

従来、河川における塩水侵入の現象の再現は、上層および下層をそれぞれ淡水および海水として取り扱う二層流モデルを用いてきた。しかしながら、主流方向や横断方向の河床地形が一様ではない場合、現象を的確にとらえているとはいえない。本研究では、河川流量がある場合の塩水の侵入について既往の実験結果に基づいて解析した。

2. 数値計算

自由水面の時空間的変動や河床の空間的变化のため、対象とする数値解析領域は必ずしも矩形ではない。解析対象領域を矩形として取り扱うと、境界における取り扱いが容易になり、領域内の流れ場をうまく記述するのに好都合である。そこで、図1のような河川断面において次式のような座標変換を行う。

$$z' = (z - z_b) f_b(x, t), \quad f_b(x, t) = \frac{1}{\xi(x, t) - z_b(x, t)}$$

すなわち、計算領域は図2のような矩形断面となる。

以上の座標変換をレイノルズ方程式、連続の式、水面形の方程式および乱流拡散方程式に対して行い、流れ場や塩分の分布を計算した。

図3は、境界条件を示したものである。

3. 解析結果

(1) Perrels・Karelse(1978)の実験結果との比較

(a) 水位の経時変化

図4は、河口から3.66 m地点における水位の経時変化を示したものである。図中の黒丸および実線は、それぞれ実験値および計算値を示す。峯の位相における水位にごく僅かな差を生じているが、計算値および実験値における位相のズレはなく波形はほぼ一致している。

(b) 流速の鉛直分布

図5(a)は、河口から47.58 m地点における落潮時の下流方向への流速が最大の場合における流速の鉛直分布を示したものである。なお、流速は上流方向を正、下流方向を負としている。中層域で計算値が実験値より大きくなっているが、底面および水面近傍ではよい一致を示している。

図5(b)は、河口から47.58 m地点における漲潮時の上流方向への流速が最大の場合における流速の鉛直分布を示したものである。底面近傍で計算値が実験値より大きくなっているが、その上方ではよい一致を示している。

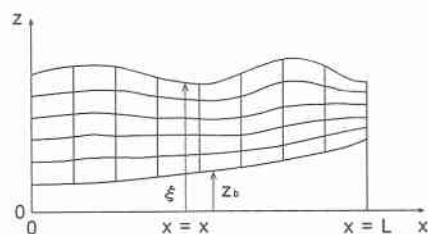


図1 物理座標

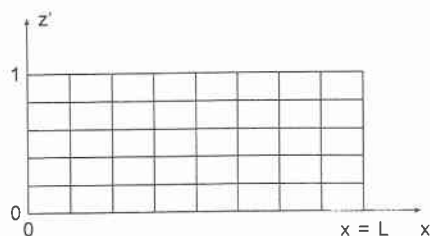


図2 計算座標

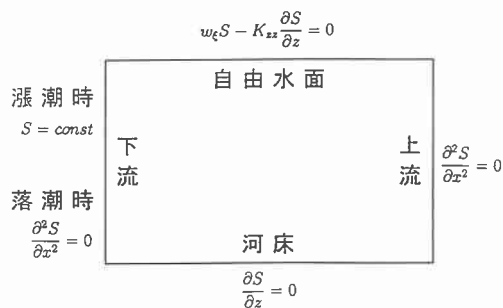


図3 境界条件

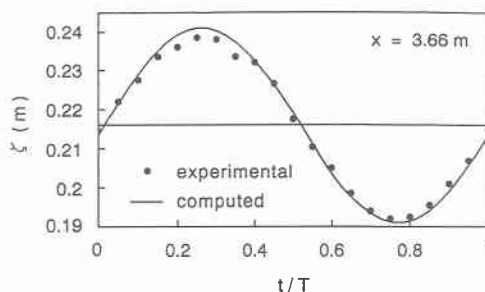


図4 水位の経時変化

(2) 小松ら(1996)に基づく解析

図6は、断面平均濃度を示したものである。計算結果と実験結果は多少の差はあるものの、両者はよく符合している。

(3) 河川流入量が塩水侵入に及ぼす影響

(a) 水位と塩分の位相変化

図7は、淡水流入量が $2.9 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ の場合の河口から11.92 mの地点における水位と塩分の位相変化を示したものである。なお、実線は水位を示す。底面付近では、塩分はピークに達した後もしばらくの間、高塩分の状態が続く。なお、塩分の変動は小さい。一方、水面付近では塩分の変動が大きく、水位のピークと塩分のピークとの間には位相のズレがある。

(b) 乱流拡散係数と水位の位相変化

図8は、淡水流入量が $2.9 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ の場合の河口から11.92 mの地点における水位と乱流拡散係数の位相変化を示したものである。図7と図8を比較すると、塩分のピークが生じる位相は、乱流拡散係数が0となる位相と

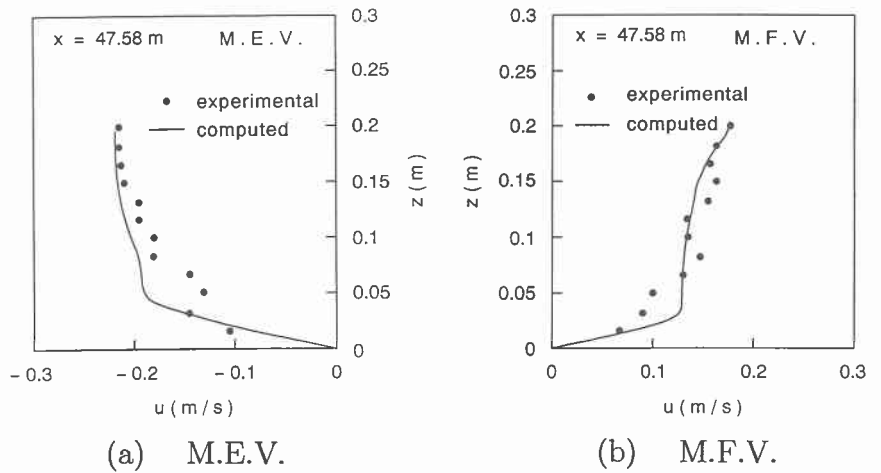


図5 流速の鉛直分布

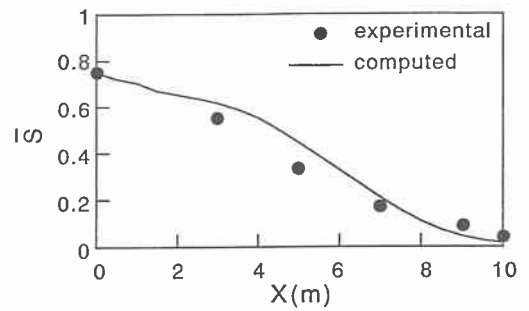


図6 断面平均濃度

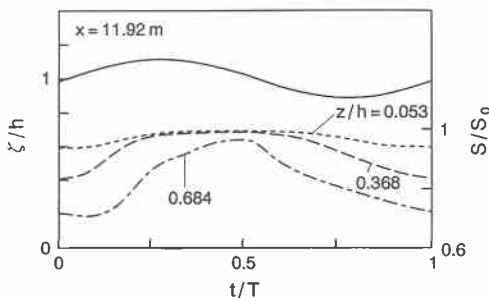


図7 水位と塩分の位相変化

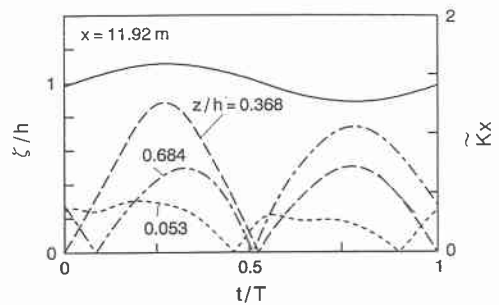


図8 水位と乱流拡散係数

ほぼ一致することが分かる。このことは、乱流拡散係数が流速の関数であるとしたため、流速が0になる位相で塩水の侵入は止まり、その位相を過ぎると淡水流入量の影響が強くなり塩水は後退するものと考えられる。

(c) 淡水流入量が塩水の侵入距離に及ぼす影響

図9は、淡水流入量が塩水の侵入距離に及ぼす影響を示したものである。 $\bar{L}_s$ は塩水の侵入距離を振幅で除することで無次元化している。なお、フルード数 Fr は上流境界における断面平均流速を用いて算出した。塩水侵入距離は潮汐変動に伴って周期的に変化している。また、淡水流入量が $2.9 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ から $2.9 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ に増大すると侵入距離は1/100~1/4程度に激減する。

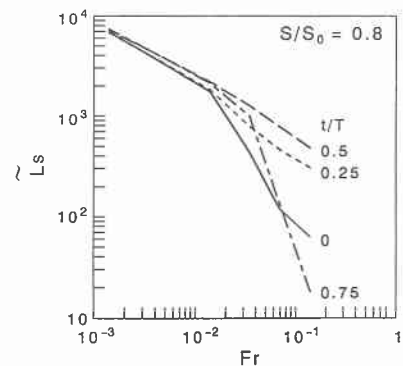


図9 塩水侵入距離と Fr