

感潮河川河口部における見掛けの拡散係数の評価法

九州大学大学院 学生員○安達貴浩 孫 双科
九州大学工学部 正 員 小松利光 柴田敏彦

1. はじめに

感潮河川における準定常状態の見掛けの拡散係数は、拡散数値シミュレーションに用いられるだけでなく、各混合形態の塩水侵入特性を比較する上でも重要な特性量となっており、また、非定常状態の見掛けの拡散係数を正確に評価するための手掛かりとしても役立つため、古くから多くの研究者により研究がなされてきた。

本研究では、室内感潮河川実験水路¹⁾を用いた実験から得られた強混合型の塩水侵入のデータをもとに、フラックスのつり合い式より直接見掛けの拡散係数を求め、従来より一般的によく用いられている拡散フラックスの評価法について検討を行った。そして更に、強混合型の塩水遡上の拡散シミュレーションを行う際用いる定常1次元拡散方程式の拡散フラックスの項を正確に評価する新しい方法を提案している。

2. 強混合の場合の見掛けの拡散係数について

室内実験で得られた強混合の断面平均塩分濃度の一潮汐平均値の流下方向分布の一例とそれらの値から以下のフラックスのつり合いの式を用いて算出した見掛けの拡散係数 D の流下方向分布を図-1に示す。見掛けの拡散係数は河口($x=0$)で最大値をとり、上流に向かうに従い次第に小さくなっていることが分かる。

$$-q_f \overline{C} = H D \frac{d \overline{C}}{dx} \quad (1)$$

(ただし、 $\overline{C}$ ；海域の塩分濃度で無次元化された断面平均塩分濃度の一潮汐平均値、 H ；一潮汐平均水深、 q_f ；単位幅当たりの淡水河川水流量) 感潮河川河口部において断面内で現象が一樣でかつ準定常の場合、(1)式を満足する定常見掛けの拡散係数 D は、主として往復流による拡散能(1潮汐をタイムスケールとした場合の拡散能)と流速及び濃度分布の断面平均値からの偏差によって生じる分散能の2つに分離できる。鉛直方向にはば濃度が一樣な強混合の場合は、流速と濃度分布の断面平均値からの偏差の効果はほとんど無視できと思われるため、本研究では、往復流による拡散能の評価法について考察を行う。

一般に、拡散係数は代表長さ L と代表流速 V_M の積に比例するものとして評価される。代表流速には、潮流流速のR.M.S.を、代表長さスケール L としては、Tidal excursionに比例する $V_M T$ を用い(ただし、 V_M ；潮流流速のR.M.S.、 T ；潮汐運動の周期、 α は比例定数)、拡散係数の評価式を以下のように表す。

$$D = \alpha V_M L = \alpha V_M^2 T \quad (2)$$

実験データから(2)式を用いて α を逆算し、流下方向分布中の α のピーク値で規格化した無次元比例定数 α^* を求めて図-2に示す。 α^* は $x=4\sim 7\text{m}$ 程度の中流域ではほぼ一定値をとるが、それより下流側では α^* は大きくなり、一方上流側では α^* は減少している。この結果、強混合に対し定常見掛けの拡散係数の評価式(式(2))において流下方向の全ての断面で適用できるような普遍定数は存在しないことが分かる。

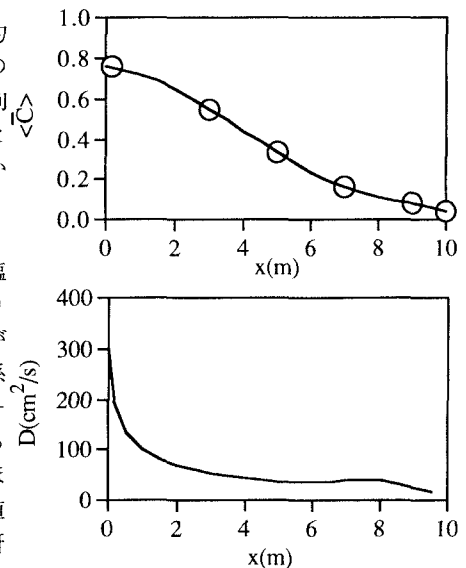


図-1 実験より得られた $\overline{C}$ と D の流下方向分布

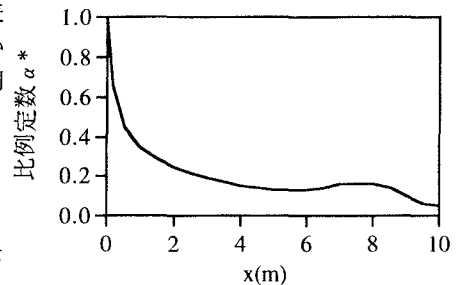


図-2 無次元比例定数 α^* の流下方向分布

3. 拡散フラックスの評価方法

河口付近の塩水侵入は河口全域の塩分濃度の挙動に対し支配的であるので、河口付近で α が一定値をとらない理由を明らかにする必要がある。そこで、実験結果 $\langle C \rangle$ の x に関する1階微分だけでなく、より高次である2階微分の流下方向の分布を比較すると、濃度の2階微分が負の値をとる区間と、比例定数 α^* が一定でない区間とがほぼ一致していることが分かった。元々濃度の2次の導関数(式(1)は定常1次元移流・拡散方程式を一度 x に関して積分しており、元々の拡散方程式では3次の導関数)は濃度分布に非対称な歪みを生じさせる働きがあることや、また、河口付近は塩分濃度が海側で海水の濃度で頭打ちとなるため、非対称な濃度分布とならざるを得ないことなどを考え併せると、上述の結果はこの領域では拡散フラックスを的確に表現するためには高次である2階の濃度微分が必要であることを示唆しているものと思われる。

このことから、拡散フラックスは濃度の1階微分だけでなく、2階微分にも依存するものと考え、フラックスのつり合いを以下のように表す。

$$F_a = F_1 + F_2 \quad (3)$$

ここで、 $F_1 = q_1 \langle C \rangle$ 、 $F_2 = HD_2 d^2 \langle C \rangle / dx^2$ 、 $F_3 = HD_2 d^3 \langle C \rangle / dx^3$ である。

2階微分が局所的にでも零のときは式(3)において右辺第二項の寄与はないため、式(2)で定義された D_1 の定数 α を容易に計算することができる。そこで、濃度の2階微分が零となる $x \approx 4m$ 地点における D_1 に対し、同地点の V_M と $V_M T$ を用いて比例定数 α の値を求めた。この結果、 D_1 は次式のように表せることが分かった。

$$D_1 = 0.009 V_M^2 T \quad (4)$$

式(4)の D_1 の評価式ならびに式(3)のフラックスのつり合い式より2階微分で表示されるフラックス F_2 の大きさを求め、更にこの F_2 と濃度の2階微分の分布より、 F_2 が重要な意味をもつと思われる $x=0 \sim 3.5m$ 区間における D_2 を求め図-3に示す。 D_2 の表現式も D_1 と同じく $local$ な V_M 及び $V_M T$ により構成されると考え、次元的考察より次式が得られる。

$$D_2 = \beta V_M^3 T^2 \quad (5)$$

(5)式及び D_2 の値から比例定数 β が求められた。その結果、 F_2 が重要と思われる $x=0 \sim 3.5m$ 区間では、 β はほぼ一定値をとり、 $\beta \approx 0.002$ となる。

4. 結論

本研究により、以下のような知見が得られた。

1) 強混合型感潮河川においては上げ潮時の水位の上昇に伴い塩分濃度は増加するが、塩分濃度が海域の塩分濃度に達すると頭打ちとなる。したがって、河口付近の塩分濃度の時間変化は満潮時付近で緩やかな変化になる。この時間変化の歪みの程度は河口からの距離に依存するため、拡散フラックスは濃度の勾配型のフラックスだけでなく、2階微分で表示されるフラックスも含むことになる。

2) 今回、結果の掲載を省略したが、2階微分のフラックスを組み込むことにより、感潮河川の強混合現象をシミュレーションにより良く再現できることが分かった。なお、新たにこの項を基礎式に組み込むことによる数値解析上の問題はないということも確認された。

3) 2階微分のフラックスを評価する際用いる定数 β は今回0.002となったが、この値は普遍定数ではなく、海域部の条件によって河川毎に異なるものと考えられる。しかし、その詳細は明らかでなく今後の課題となっている。

参考文献 1) 安達貴浩・柴田敏彦・藤田和夫・孫双科・小松利光：感潮河川河口部の塩水侵入に関する実験的研究、土木学会第50回年次学術講演会第2部, pp512～513, 1995.

2) 小松利光・安達貴浩・孫双科・柴田敏彦：強混合感潮河川における見掛けの拡散フラックスの評価法、水工学論文集第40巻, 1996.

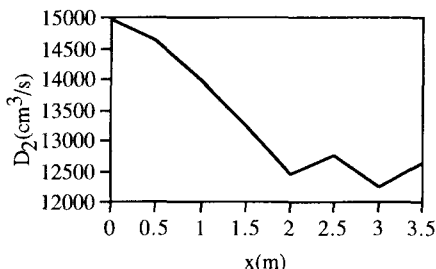


図-3 D_2 の流下方向分布