

感潮河川における鉛直渦動粘性係数の評価法

広島大学工学部 学会員 ○ 菊地 伸哉
 広島大学工学部 正会員 川西 澄
 広島大学工学部 正会員 余越 正一郎

1. はじめに

渦動粘性係数は流動や物質輸送を考える上で重要なパラメーターである。渦動粘性係数は一定したものではなく場所により異なり、これまでに多くの研究者によってモデル式が提案されている。本研究の目的は、潮汐により水深、流速、流向が周期的に変化する複雑な構造をもつ感潮河川での観測データをもとに、算出可能なモデル式を選定し、渦動粘性係数の値の大きさ、分布の特徴、式の提案に用いられた仮定・条件からモデル式の評価を行ない、現地観測データからできるだけ簡単に、ある程度の精度が得られる渦動粘性係数の算出方法を見つけることである。

2. 観測

観測は7月28日の11:20～23:40に太田川放水路で行なった。観測地点は、河口より2.5km上流で川幅290mの地点の中央部である。流速の測定は、超音波ドップラー流速計を用い、相対高さ0.02 0.05 0.1 0.2 0.4 0.6 0.8の7点で流速三成分を約一周期の間測定した。水深は、圧力変換器によって連続的に測定した。

3. 渦動粘性係数のモデル式

渦動粘性係数は運動量の拡散の度合を示し、流動、物質輸送において重要な値である。渦動粘性係数の定義式は $-u'w' = N_z \frac{du}{dz}$ であるが、一般に現地データから速度勾配を正確に求めることができないため、定義から直接渦動粘性係数を求めるのは困難である。そこで、これまでに数多く提案されているモデル式の中から、本観測による観測データで算出可能なモデル式を選定し、それにより鉛直渦動粘性係数を求める。観測データから算出可能なモデル式は

$$A \quad N_z = \kappa z (1 - \eta) u_* \quad (\text{定義変形モデル})$$

$$B \quad N_z = \lambda_{peak} u_* \quad (\text{スペクトルピーク法})$$

$$C \quad N_z = c_1 \frac{\sigma_w}{k_{max}} \quad (\text{ハンナの方法})$$

$$D \quad N_z = c_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (K - \epsilon \text{モデル})$$

$$E \quad N_z = a^{\frac{1}{2}} c^{-1} \lambda_0 u_{*0} H (1 - \eta)^{\frac{1}{2}} \text{erf}(4\eta) \quad (\text{スミス1})$$

$$F \quad N_z = 2\lambda_0 \alpha u_* z \exp(-\alpha\eta) \quad (\text{スミス2})$$

である。ここで N_z : 鉛直渦動粘性係数, κ : カルマン定数 $= 0.4$, u_* : 摩擦速度, z : 測点高さ, η : 相対高さ, k_{max} : エネルギースペクトル最大時の波数, $\lambda_{peak} = 0.85 / k_{max}$, $c_1 = 0.58$, $c_\mu = 0.09$, k : 乱れエネルギー, ϵ : 乱れエネルギー消散率, $a = 0.33$, $c = 0.3$, $\lambda_0 = 0.124$, H : 水深, η : 相対高さ, u_{*0} : 底面摩擦速度, σ_w : 鉛直方向流速の標準偏差である。

Dの成立には、乱れエネルギー生成率と消散率が等しい状態、つまり局所平衡であることが必要である。図-3に19時のエネルギー生成率と消散率の値を示す。計算値を比較した結果、各時間のエネルギー生成率と消散率は、ほぼ等しかった。

6つのモデル式による鉛直分布の一部を図-4に示す。

Dの値は明らかに間違いと思われる値を除いても他の値よりも大きい。D以外の分布が分かりづらいので、D以外の鉛直分布を図-5に示す。

図-5より、D以外の計算値はオーダー的には同じであるが、分布にA、E、FとB、Cで違いが見られる。A、E、Fの鉛直分布には時間的な変化が少なく、非定常である観測地点の特徴が表れていると言え難い。また、E、Fの算出には底面摩擦速度が必要であるが、本研究では相対高さ0.02の摩擦速度で代用しており、水深変化による誤差が生じる可能性がある。

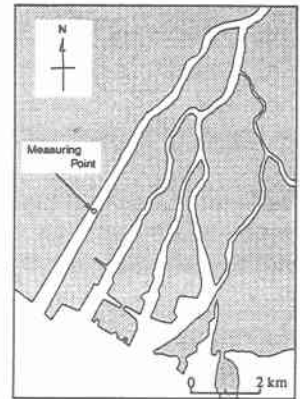


図-1 観測地点

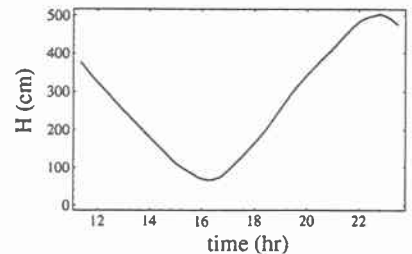


図-2 水深変化

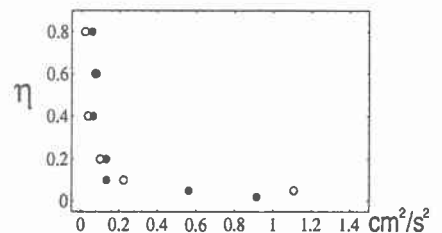


図-3 19時のエネルギー収支

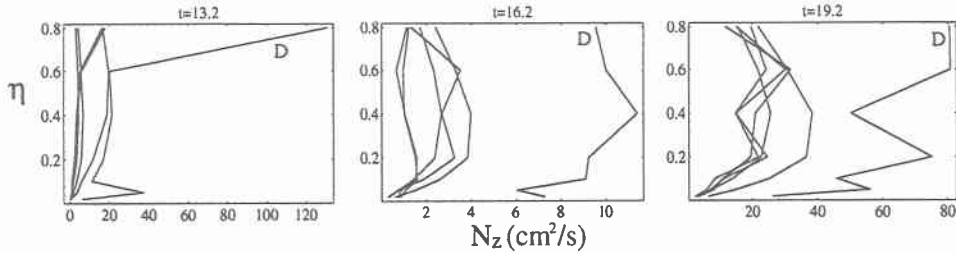
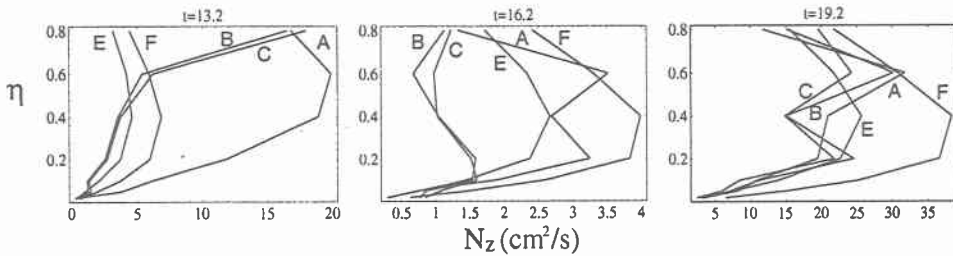


図-4 鉛直渦動粘性係数の鉛直分布

図-5 $K - \epsilon$ 以外の鉛直渦動粘性係数の鉛直分布

B, Cは数値, 分布ともによく似たものとなる. この2つのモデル式の違いは, それぞれのパラメータとして用いられる摩擦速度 u_* と鉛直方向の流速変動 σ_w である. u_* は主流方向と鉛直方向の流速測定が必要なのに対し, σ_w は鉛直方向の流速測定のみで求まり, 必要なデータが少ないCの方が簡単に鉛直渦動粘性係数を求められる. しかし, Cの $c_1 = 0.58$ は, ハンナが大気中で c_1 を求めるのに行った算出手順をもとに, 本観測における観測値から求めたもので, 一般的に適用できるかどうか分からない. また, 本観測で用いた超音波ドップラー流速計では, 二つの式の間に流速測定の労力に差がない. よって, 本観測における鉛直渦動粘性係数の算出は, Bのスペクトルピーク法が適切である.

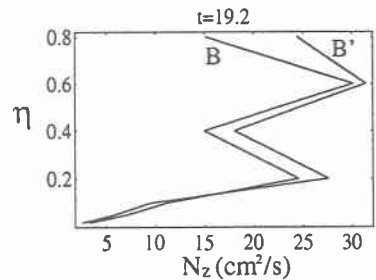
局所平衡が成立する場所ではBを使用する場合, 測定の難しい摩擦速度 u_* を, 比較的楽に測定できる乱れエネルギー消散率 ϵ で表すことができ, u_* のかわりに ϵ を使った結果をB'として図-6に示す. その結果に大きな違いはなく, より簡単な方法で鉛直渦動粘性係数を算出できる.

4. 結論

観測手順のみで言えばハンナの方法が簡単である.

超音波ドップラー流速計による感潮河川での渦動粘性係数の算出はスペクトルピーク法が適切である.

局所平衡が成立する場合, u_* の代わりに ϵ を使ってより簡単に N_z を求めることができる.

図-6 スペクトルピーク法による N_z

5. 参考文献

- 1) Steven R. Hanna: A Method of Estimating Vertical Eddy Transport in the Planetary Boundary Layer Using Characteristics of the Vertical Velocity Spectrum, Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 25 (November), pp. 1026-1033, 1968.
- 2) T. J. Smith: On the Representation of Reynolds Stress in Estuaries and Shallow Coastal Seas, Journal of Physical Oceanography, Vol. 12 (August), pp. 914-921, 1982.
- 3) 驚見 栄一: 浅海域の海底境界層における乱流構造, 海岸工学集, 第38巻, pp. 176-180, 1959.
- 4) Miles G. McPhée: On the Turbulent Mixing Length in the Oceanic Boundary Layer, Journal of Physical Oceanography, Vol. 24 (September), pp. 2014-2031, 1994.