

河川感潮部におけるレイノルズ応力と速度勾配間の位相差

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

河川感潮部におけるレイノルズせん断応力は、水深、平均流速の変化とともに増減するが、履歴効果のために、その位相は速度勾配の位相より遅れる。太田川感潮部でレイノルズ応力、渦動粘性係数を実測するとともに、レイノルズ応力の位相を速度勾配に対し遅らせて数値実験を行、た結果について述べる。

2. 観測

観測地点は太田川放水路の河口から約3km上流の河川中央部である。¹⁾ 2成分電磁流速計を使、て、流速の主流方向成分 u と鉛直方向成分 w を同時連続測定した。測点は鉛直線上に河床から0.4m間隔に4点設けた。 u は上げ潮、 w は鉛直上向きを正とした。流速計の傾斜によるレイノルズ応力 τ の測定誤差を除くため、流速計には傾斜計を取付け、傾斜補正を行、た。図1に河床から0.8mの高さにおける測定結果の経時変化を2例示す。速度勾配 $\partial u / \partial z$ とその時間微分 $\partial^2 u / (\partial t \partial z)$ は測定データを3次スプライン関数で補間して求めた。渦動粘性係数 N_z は定義 $N_z = \tau / (\partial u / \partial z)$ から直接求めた。ただし、流速が小さくなると誤差が大きくなるので、満潮、干潮付近では求めている。図1より、速度勾配の時間変化 $\partial^2 u / (\partial t \partial z)$ が大きい時、レイノルズ応力 τ と渦動粘性係数 N_z は速度勾配の経時変化に対して1時間程度、位相が遅れているのがわかる。

3. 数値実験

次の鉛直2次元流れの基礎式を差分化し、数値解析を行、た。座標は図2に示すように定め、上流端の流速は0とした。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial z} \quad (1)$$

$$\rho + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

$x_1 = 10 \text{ km}$, 河床勾配 $1/4000$ とした。下流端水位として、平均水位7m, 周期12時間25分, 潮差3mの正弦波を与えた。レイノルズ応力 τ は履歴の効果を考慮するため、次のようにおいた。ただし、 $TC=0$

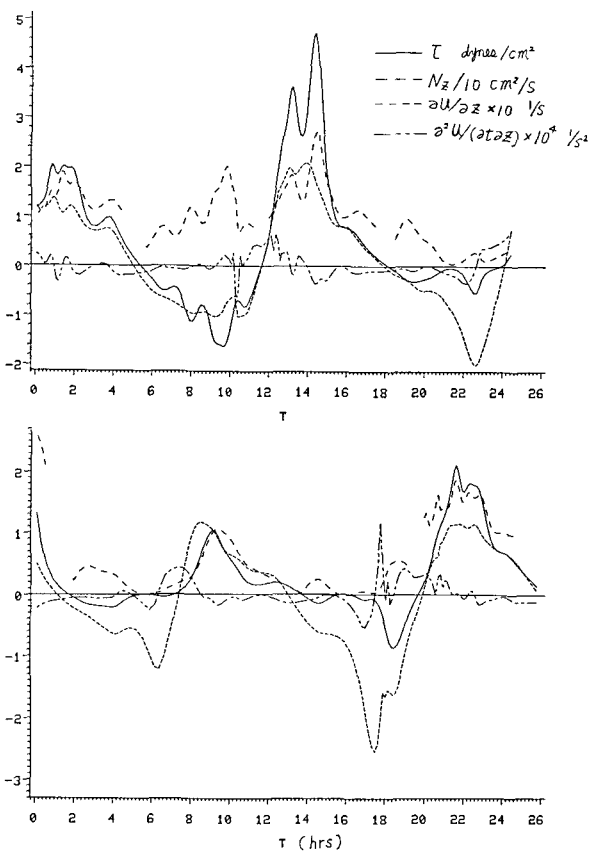


図-1

の時は $\Gamma(x, z, t) = \Gamma'(x, z, t)$ とする。

$$\Gamma(x, z, t) = \frac{1}{TC} \int_0^\infty \Gamma'(x, z, t-s) \exp\left(-\frac{s}{TC}\right) ds \quad (4)$$

$$\Gamma'(x, z, t) = \rho N_z \frac{\partial u}{\partial z} \quad (5)$$

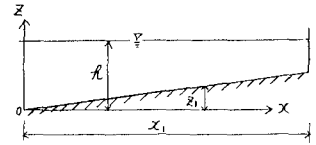


図-2

渦動粘性係数 N_z は、対数速度分布と線型せん断応力分布の仮定から求められる混合距離を使て、次式で与えた。ただし、 α は 0.02 とした。

$$\begin{cases} N_z = \alpha z^2 (1 - z/h) \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right| & z > 1.0m \\ N_z = \alpha (1 - 1/h) \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right| & z \leq 1.0m \end{cases} \quad (6)$$

(4) 式から、 Γ' が角振動数 ω で正弦的に変化した時、位相差角 φ は $\varphi = \tan^{-1}(-TC \cdot \omega)$ となり、 Γ は時間にして、 Γ' より φ/ω だけ遅れることになる。図3にレイノルズ応力と速度勾配間の位相差がない場合 ($TC=0$) の水位変化を示す。実線が下流端、点線が上流端におけるものである。上流端では下流端より振幅が大きく、位相も遅れている。また、満潮時より干潮時の方が位相の遅れは大きい。レイノルズ応力の位相を遅らせた場合の水位変化もほとんど図3とかわらないが、上流端の振幅は位相が遅れるにしたがい、わずかながら小さくなる傾向がある。図4に上流端での振幅 A_h と下流端での振幅 A_m の比と TC の関係を示す。渦動粘性により、河道内全体で失われるエネルギー $P \cdot D$ は次式で求められる。

$$P \cdot D = \int_0^{x_1} dx \int_{z_1}^h \tau \frac{\partial u}{\partial z} dz \quad (7)$$

(7) 式から求めたエネルギー散逸 D の経時変化を図5に示す。下げ潮時より上げ潮時の方が D は大きく、その変化は正弦曲線より歪んでいる。 TC が大きくなるほど D は小さくなり、(特に上げ潮時)、位相が遅れてくる。

1) 川西、糸越、太田川河口部の非定常乱流構造、第29回水理講演会論文集

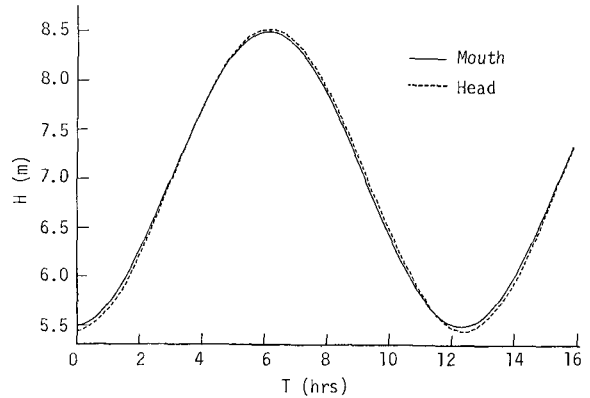


図-3

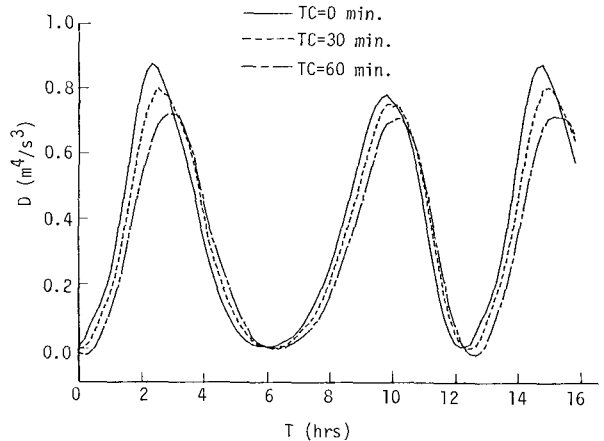


図-5

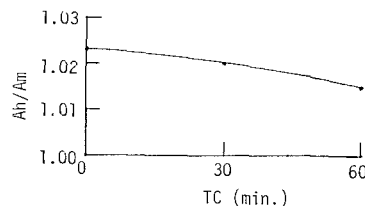


図-6