

実河川および室内水路の乱流が誘起する水面波紋の挙動特性について

宮本 仁志

神戸大学 大学院工学研究科 市民工学専攻 (miyamo@kobe-u.ac.jp)

1. はじめに

河川・海洋など自由表面近傍での流れの構造は、界面を介しての気体輸送や運動量交換に大きく関係するため水環境保全の観点から重要となる。しかしながら、水表面自体も乱流挙動に応じて様々な時空間スケールの変動を呈するため、水面の動的特性や乱流構造との関連は未解明の部分が多い。さらに、近年、河川水面を画像解析することで表面流速を推定し、流量など河川計画管理上重要な水文量を算出する可視化計測法が開発されてきており、その観点からも河川など開水路流れにおける水面挙動特性を基礎学理からの確に把握することが望まれる¹⁾。本報では、室内実験において水面波紋を波一流れ共存場における深水波として解析し、理論の有効性を実証した前論文¹⁾の知見を紹介するとともに、実河川を対象にしてウェーブレット変換による特徴解析を行い、河川乱流上の水面波紋の挙動特性を検討した結果²⁾を報告する。

2. 室内実験水路における開水路水面波紋の挙動解析¹⁾

図-1 に、水面・流速の同時画像計測法によって測定した開水路流れの瞬時像を示す。底面せん断によって流速ベクトルが変動している。水面はほぼ水平であるが、微小な凹凸(水面変動もしくは波紋)が存在する。

水面波紋を波一流れ共存場における遡上波として取り扱って理論的考察を行うと、平均流速 $\bar{U}$ と固定座標系における遡上波の群速度 c_{ga}^- との間には次式の関係が成立することが導かれる¹⁾。

$$c_{ga}^- = \bar{U} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{g'}{k_a^-} \tanh k_a^- H} \left(1 + \frac{2k_a^- H}{\sinh 2k_a^- H} \right) \quad (1)$$

ここに、 k_a^- : 乱流中の波数 k_x の擾乱成分が断面平均流速 $\bar{U}$ で動く流体中を遡上して縮められ、固定座標系の波数としては大きくなったもの、 g' : 表面張力の影響を含めた擬似重力加速度、 H : 平均水深である。

図-2 に、断面平均流速 $\bar{U}$ と固定座標系での群速度 c_{ga}^- の比を示す。図中のプロットは実験での水面分布を用いて固有直交関数展開により検出した値であり、一方、理論曲線は式(1)を用いて描いたものである。これより、開水路乱流における水面波紋の走時挙動は、波一流れ共存場において遡上する波動エネルギーの伝播速度を用いて非常によく説明できることがわかる。また、その遡上波は深水波として取り扱いが可能である。さらに、図-2 の理論曲線より、波数 k_a^- が大きいほど $c_{ga}^-/\bar{U}$ は大きくなる。すなわち、空間スケールの小さい水面波紋は波動自身の伝播速度(式(1)の右辺第2項)が小さいために $\bar{U}$ よりほんの少しだけ小さい速度で移動するが、空間スケールの大きい波紋は $\bar{U}$ よりかなり小さい速度で移動することが理論から帰結される。

3. 実河川における水面波紋の特徴抽出²⁾

2. の室内実験での理論的考察結果を実河川の水面波紋を対象として確認するために、出水時の河川流ビデオ画像を対象にして水面波紋の挙動特性を検討した。解析対象は、兵庫県南西部に位置し瀬戸内海播磨灘に流出する二級河川千種川である。図-3 に画像例を示す。幾何変換を施した画像を用いて、画像輝度変動成分の流下方向分布にウェーブレット解析を施して水面波紋の挙動を検出する。

図-4 は、流下方向の輝度分布をフレーム毎に並べて作成した輝度の時空間分布であり、図-5 は、ウェーブレット係数の極値を用いて検出した水面波紋の走時挙動である。図中のプロットの連なりとその空間スケールとの対応関係より、水面波紋の空間スケールが大きいほど流下方向の移流速度は小さくなる傾向にある。このことは、前節 2. の室内実験における結論¹⁾とよく合致する。ただし、これはわずか 10 秒程度のデータ

からの定性的な帰結であり、今後、同様の解析を多くの河川流画像に適用して定量評価を行う必要がある。

4. まとめ

本報では、室内開水路および実河川での水面波紋の挙動特性を考究した。水面波紋に対する、波一流れ共存場における深水波としての理論的取扱いが、室内実験のみならず実河川に対しても有効である可能性が示された。今後、同様の解析を多くの実河川流画像に適用して定量的評価を行う必要がある。

謝辞：河川流画像に関しては、神戸大学の藤田一郎教授が精魂こめて撮影された洪水時ビデオ画像をご提供いただいた。解析の一部は別途にも公表予定である²⁾。以上、ここに記して謝意を表します。

参考文献 1) 宮本仁志: 河川ローカルリモートセンシングのための可視化トレーサーとしての水面波紋の基礎性能評価, 土木学会論文集, B, Vol.63, No.4, pp.357-367, 2007. 2) 宮本仁志, 藤田一郎: ウェーブレットを用いた河川水面波紋の特徴抽出, 可視化情報, Vol.28, Suppl.No.1, 2008.(印刷中)

