

神戸大学工学部 正会員 ○藤田 一郎

神戸大学工学部 学生員 江見 崇

1. はじめに

著者らは、実河川表面流の画像計測法として LSPIV を提案してきているが¹⁾、この方法では河川表面に現れる波紋の移流速度が表面流速に等しいという前提に立って解析を行っている。この前提条件は、現地河川を対象とした多くの実測や他手法との比較によって実用レベルでは問題ないことが示されているが、詳細な実験や数値解析に基づいた検討はまだ行われていない。そこで、本研究では LES による解析と可視化実験によって基礎的な検討を行った。

2. LES 解析

LES 解析では、水面で微小振幅を許す境界条件を課すことにより、微小な水面変動が計算可能となっている²⁾。今回はレイノルズ数(3000,6000,9000)とフルード数(0.3,0.6)を組み合わせた 6 ケースについて解析を行った。解析結果の一例を図-1 に示す。ここでは、水面変動と同時に水面最近傍の水平断面内の流速ベクトルから求めた発散値の分布を示した。どちらも水深および摩擦速度で無次元化した値を示している。

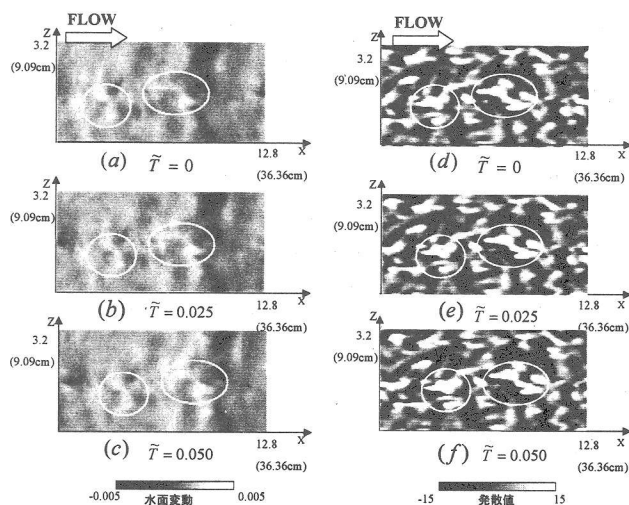


図-1 水面変動と水面近傍発散値の移流状況(Re=9000,Fr=0.6; 縦・横軸のカッコ内は実スケールに換算した値)

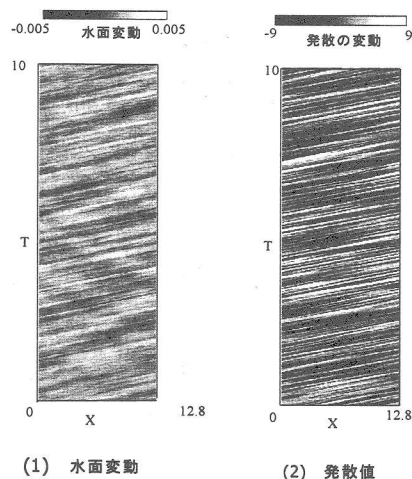


図-2 水面変動と発散値の時空間プロット (Re=9000,Fr=0.6)

図から水面形状と発散値分布は流れとともに下流に移流しており、図中の丸印内の分布からもわかるように、正の発散値が凸の水面部分に概ね対応している。これは、水面近傍の発散値の詳細な計測により、水面の空間変動がある程度把握できることを示唆している。ただ、レイノルズ数が低いこともあって計算された水面変動の値は水深の高々1%程度であった。

これらの変量の移流速度を求めるために生成した、x 軸に平行な検査線上の値の時空間プロットを図-2 に示す。得られた縞パターンの傾きはほぼ一定であり、各変動が流下方向に一樣に移流していることがわかる。このようなパターンはすべてのケースについて得られた。各パターンの傾きから求めた移流速度と水面最近傍の格子の主流方向流速(表面流速とみなす)を比較したのが図-3 および図-4 である。どちらの移流速度も表面流速より値が若干小さくなっていることがわかる。解析対象の水理条件範囲はあまり幅広いものではなかったが、どのケースにおいても水面変動の幅が水面最近傍の鉛直格子サイズ(水深の0.65%)と同程度であったことか

ら,移流速度が水面近傍の格子サイズの影響を受けている可能性があるため,図-3,4 で得られた結果は,格子サイズを変えた解析によって再検討する必要がある。

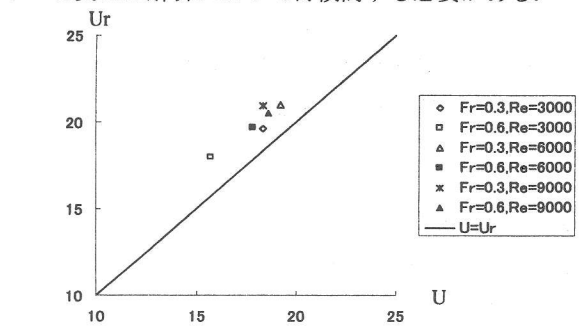


図-3 表面変動の移流速度 U_r と表面流 U との比較

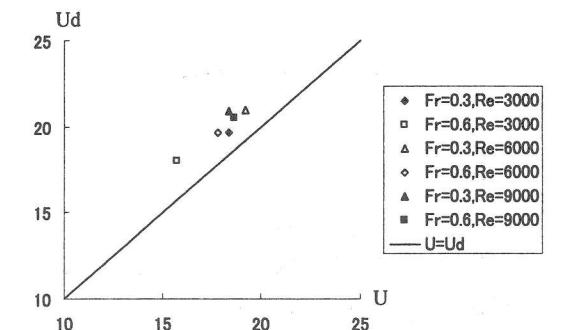


図-4 発散値の移流速度 U_d と表面流 U との比較

3. 可視化水理実験

水面波紋の移流速度と表面流速を比較するために可視化実験を行った。実験では LES 解析よりも大きなレイノルズ数を対象とした(表-1)。表面流速のトレーサには粒径 $10\mu\text{m}$ の白色パウダーを用い,水面波紋は水面を斜め横から撮影することで観察できる輝度分布の違いをトレーサとみなした。撮影には高速ビデオカメラ(FASTCAM-120K)を用い,時間間隔が 0.002 秒で解像度が 1024×1024 画素の斜め撮影連続画像 2048 枚から図-2 と同様の時空間プロットを行い比較した。図-5 に示した結果より,フルード数が大きい場合には比較的一様な移流を示す縞パターンが得られるのに対し,フルード数が小さくなると明確なパターンは得られなくなることがわかる。これは,LES による結果とは異なっている。縞パターンが得られたケースについて移流速度と表面流速を比較したのが図-6 であり,両者はほぼ一致していることがわかる。

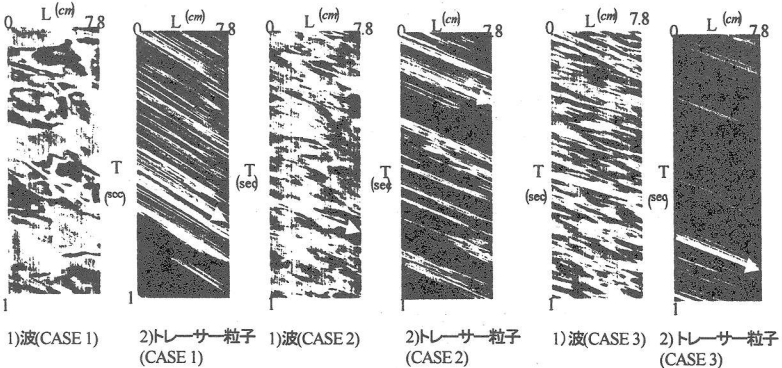


図-5 波とトレーサ粒子の時空間プロット

表-1 水理条件

CASE	Q	B	H	I	Re	Fr
1	30400	90	7.2	1/500	33777	0.34
2	30400	90	10	1/800	33777	0.57
3	30400	90	4.7	1/500	33777	1.02

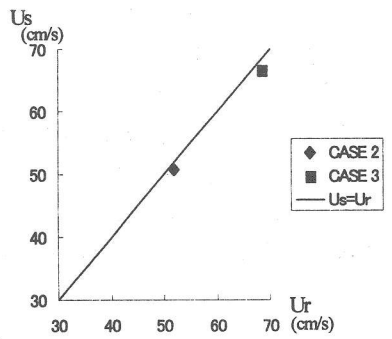


図-6 実験における表面流 U_s と波の移流速度 U_r との比較

4. 結論

今回行った実験と数値解析の水理条件は同じではないため,直接的な比較はできないが,実験からはフルード数がある程度大きくなると(0.5 程度以上),水面波紋が表面流速で移流することが確認できた.LES 解析で得られた特徴については,モデルの格子依存性や水面の境界条件などについてさらに再検討する必要がある。

参考文献

- 藤田一郎：トレーサを利用した実河川水制周辺流れのビデオ画像解析，水工学論文集，Vol.42，pp.505-510,1998
- 横嶋哲，中山昭彦：開水路乱流 DNS データベースを用いた SGS 変動成分が自由水面の挙動に及ぼす影響の検討，日本流体力学会年会講演論文集,pp.439-440,2001