

第 部門 開水路流れにおける自由水表面の横断方向変動特性

神戸大学工学部 学生員 横矢 恵美
 神戸大学工学部 正会員 宮本 仁志

1. はじめに

開水路流れにおける自由水表面の挙動は、水面直下の乱流構造に影響を及ぼすため水表面を介しての気体輸送や運動量交換に関連し、河川の自浄作用など水環境の観点からも重要となる。また、近年、ローカルリモートセンシング技術における LSPIV など画像解析法においても自由水表面の変動(凹凸)情報が有効に利用されている。しかしながら、開水路流れにおける水面変動と内部の乱流構造の詳細な関連性については未だ不明な部分が多い。本研究では、開水路流れにおいて横断方向の水面変動を対象として室内水理実験を行い、水面変動の時系列、変動強度、および空間固有モードなどの横断方向の水面変動特性を検討した。

2. 水理実験の概要

表-1 に、本研究で対象とした室内実験の水理条件を示す。実験では、レイノルズ数 $Re = UH/\nu$ を 1.0×10^4 で一定にし、 $Fr = U/(gH)^{1/2}$ を 0.40 ~ 1.09 と変化させた。時々刻々の自由水表面変動の計測には高精度超音波式変位センサ(キーエンス社製:

UD-500) 2 台を用い、相互相関・固有直交展開(POD)によって水面変動解析を行うために、その 2 台のセンサ間で同期をとった。実験で用いた開水路は全長 10m、水路幅 30.2cm のアクリル製直線水路であり、計測に際しては、水路側壁からの衝撃波が極力なくなるように紙鑄などで水路継目を整形した。図-1 に横断方向の計測点の位置を示す。計測点の間隔は基本的に 3.0cm 毎であり、相関解析のために任意の 2 点間で同時計測を行った。また、流下方向の計測位置は、底面からの乱流境界層が十分に発達したと考えられる上流端から約 7.8m の位置である。

表-1 実験条件

Case	Q (cm ³ /s)	B (cm)	H (cm)	U (cm/s)	u^* (cm/s)	$1/I$	Re^*	Re	Fr
B-1	2920	30.2	2.0	48.3	2.67	242	587	1.0×10^4	1.09
B-2	2940		2.5	38.9	2.28	405	619	1.0×10^4	0.79
B-3	3010		3.0	33.2	1.45	1170	456	1.0×10^4	0.61
B-4	2990		3.5	28.2	1.53	1190	588	1.0×10^4	0.48
B-5	3010		4.0	24.9	1.34	1730	534	1.0×10^4	0.40

ここに、 Q (cm³/s): 流量, B (cm): 水路幅, H (cm): 水深, U (cm/s): 断面平均流速, u^* (cm/s): 摩擦速度, I : 水路勾配, $Re^* = u^* H/\nu$: 摩擦レイノルズ数, $Re = uH/\nu$: レイノルズ数, ν (cm²/s): 動粘性係数, $Fr = U/(gH)^{1/2}$: フルード数, g (m/s²): 重力加速度。

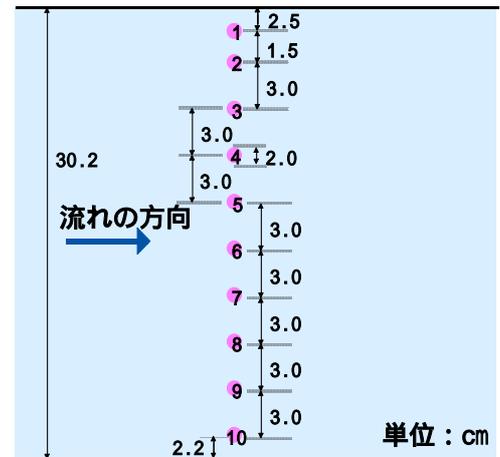


図-1 開水路横断方向の計測点位置

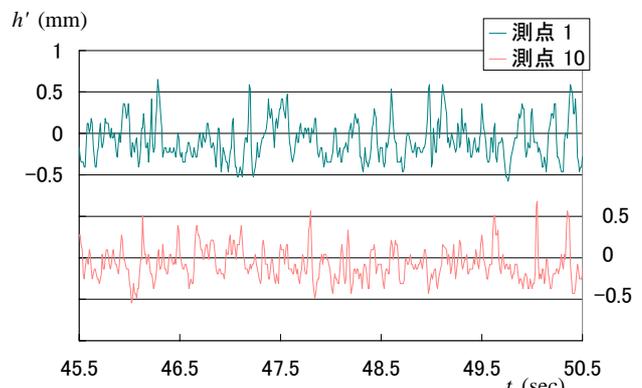
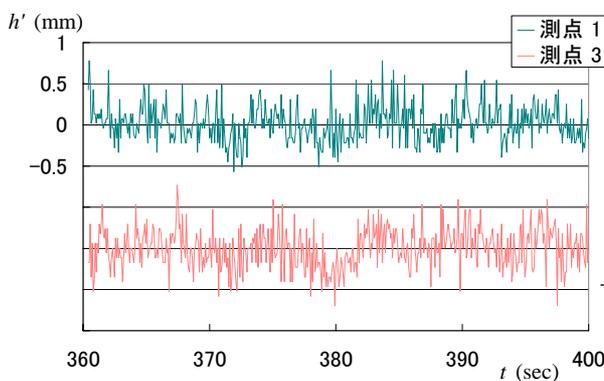


図-2 水面変動の時系列(Case B-3)

3. 実験結果と考察

図-2(a)に Case B-3 における測定点 1 と 3 での水面変動 h' の時系列を、図-2(b)に測定点 1 と 10 における h' の時系列を示す。図-2(a)に示す測点間の距離が近い時系列より、二測点間で相互相関性が見られる大きな周期の変動成分と、水面の細かな変動を表すと考えられる高周波の変動成分が存在しているのがわかる。一方、図-2(b)を見ると、測点間の距離が大きくなったために図-2(a)に比べて長周期変動成分の相関性が弱まっているのがわかる。本報では、これらの水面変動時系列の計測値を用いて、開水路横断方向の変動強度分布や固有モードを検討する。

図-3 に水面変動強度の横断方向分布を示す。フルード数 Fr が増加するに従って変動強度は大きくなる。また、各 Case の横断方向の分布形状を比較すると、水路側面近くの測点において若干のはずれ値が存在するが、それらを除くと横断方向に水面変動強度はほぼ一定であるといえる。

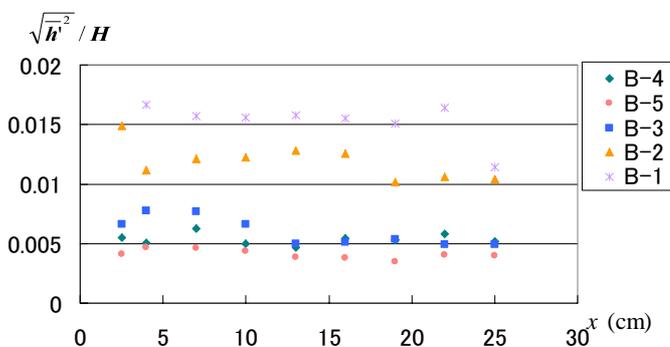


図-3 水面変動強度の横断方向分布

図-4 に水面変動強度とフルード数の関係を示す。これより、フルード数 Fr が増加するに伴って水面変動強度も大きくなるのがわかる。また、本研究における実験値は既往の報告¹⁾と定量的に一致しており、本実験値の精度が確認されたと考える。

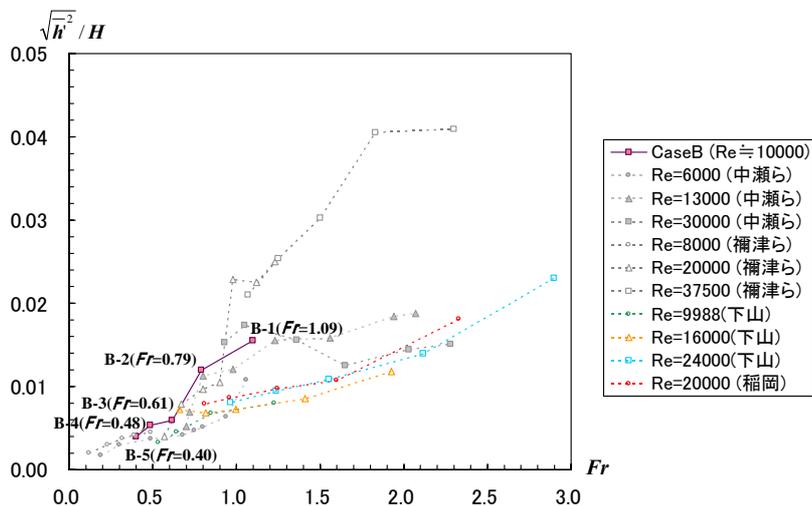


図-4 水面変動強度とフルード数の関係

図-5 は、POD 解析によって得られた水面変動の空間固有モードである。これより、1 次モードの変動成分が全変動強度の約半分を占めており、3 次モードまでの変動成分で全変動の約 70 ~ 80% が再現される。1 次の卓越モードをみると、フルード数 Fr に拘わらず、全体的に上下に変動する成分が卓越していることがわかる。

4. まとめ

開水路流れの横断方向の水面変動を対象として水理実験を行った結果、横断方向の水面変動強度はほぼ同じであること、卓越空間固有モードは全体的に上下に変動する成分であることがわかった。

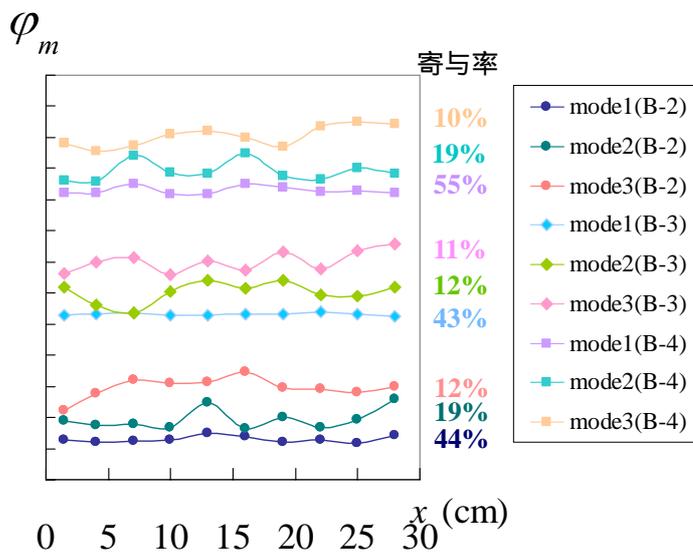


図-5 水面変動の空間固有モード

参考文献 1) Miyamoto, H. and Shimoyama, K.: Spatial correlation structures of water surface fluctuation with turbulence in open-channel flows, Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering, Vol.22, No.1, pp.37-50, 2004.