開水路乱流における水表面の横断方向変動挙動

ソフトハ゛ンクモハ゛ イル(株)	正会員	横矢	恵美
神戸大学大学院	正会員	宮本	仁志

1.はしがき

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,および横断方向の空間固有モードなどを検討し,開水路乱流における縦横断方向の水面変動特性を 考究した.開水路流れにおける水表面の挙動は,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・運動量交換に関係し,河川自浄作用など水環境の観点からも重要となる.また,河川ローカルリモー 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,開水路乱流における水面変動の詳細な変動特性については不明な部分が大きい.

2.実験概要

本研究で実施した室内実験の水理条 件を表-1 に示す.実験ではレイノルズ 数 Re = UH/を1.0×10⁴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2台を用い, 相互相関・固有直交展開(POD)によって

表-1	実験条 (件
2. (一大型スカト	

Case	Q (cm³/s)	B (cm)	H (cm)	U (cm/s)	<i>u</i> *(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*/*v*:摩擦レイノルズ数, *Re=uH*/*v*:レイノルズ数, *v*(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.

水面変動解析を行うため,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 鑢などで水路継目を整形した.横断方向の計測点の位置を図-1に示す. 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.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.



3.結果と考察

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(a)に, 測定点 1 と 10 における h'の時系列を図-2(b)にそれぞれ示す.図-2(a)に示す測点間の距離が近い時系列



キーワード 開水路流れ,水表面,乱れ,横断方向変動,実験水理 連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 宮本仁志 miyamo@kobe-u.ac.jp 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)では,測点間の距離が長くなった 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空間固有モードを 実験的に調べる.

水面変動強度の横断方向分布を図-3 に示す. フルード数 Fr が増加するに伴い変動強度は大 きくなる .各 Case の横断方向の分布形状を比較 すると,水路側面近くの計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 向に変動強度はほぼ一定である.

水面変動強度とフルード数 Fr の関係を図-4 に示す.これより, Fr 数が増加するに伴って 水面変動強度も大きくなることがわかる.また, 本報における測定値は既往の報告¹⁾と定量的に 一致しており,本実験値の精度が検証されたと 考える.

図-5 は, POD 解析によって得られた水面変 動の横断方向空間固有モードである.寄与率を みると,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.また, 1次の卓越モードの空間分布から,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.図-6に,宮本ら¹⁾ による流下方向における水面変動のPOD 空間 固有モードを示す.これら縦横断方向の水面変 動空間固有モードの空間分布より,開水路乱流 における水面変動の卓越モードは,流下方向に 二次元的に変動・伝播する微小波動成分である 可能性が考えられる.

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.



図-6 水面変動の流下方向空間固有モード¹⁾