第 部門 開水路乱流における水面変動のスペクトル解析

1. まえがき

自由水表面下での乱流構造は,水表面を介して の気体輸送や運動量交換に関係するため,河川の 自浄作用など水環境の観点から重要となる.その 水 - 空気の界面は乱流の状況に応じて様々な時空 間スケールの変動を呈し,内部の乱流構造と相互 に影響を及ぼしている.本研究では,水面・流速の 同時画像計測法を用いて測定した時々刻々の水面 分布の計測値¹⁾を対象にスペクトル解析を行い, 開水路乱流における水面変動のスペクトル特性を 検討した.

2. 実験の概要

表-1 に,本研究で対象とする実験の水理条件を 示す.実験では,レイノルズ数 $Re = \overline{U}H/$ を2.0 ×10⁴で一定にし, $Fr = \overline{U}/(gH)^{1/2}$ を0.81~2.33と 変化させている.時々刻々の水深分布と流速ベク トルは水面・流速の同時画像計測法²⁾を用いて計 測した.画像計測の測定条件に関しては,水面画 像のサンプリング周波数はCase1で400Hz,その 他の Case で240Hz であり,一画素の実長は0.18 ~0.36mm である.また,計測断面は,底面から の乱流境界層が発達したと考えられる位置での流 下方向の鉛直断面である.

3. 対象とする計測値

図-1 に,水面・流速の同時画像計測法²⁾により 測定された瞬時の水面分布と流速ベクトルを示す. 壁面せん断によって水路床近傍の流速は上下に変 動している.水面はほぼ水平であるが,波長が2 ~3cmの微小な凹凸が存在しており,水表面下の 流れの乱流構造とこれら水面変動の間には関連性 があることが示唆される.

図-2,3に,瞬時の水面分布の経時変化と計測断 面中央における水深の時系列を示す.図-2より, 時々刻々の水面形状は空間スケールの異なる様々 な水面波より構成され,それらの水面変動が若干 分布形状を変えながら時間の経過とともに下流側 へ移動・伝播していることがわかる.また,図-3

Shintaro MATSUMURA and Hitoshi MIYAMOTO

神戸大学工学部 学生員 松村慎太郎 神戸大学工学部 正会員 宮本 仁志

表-1 水理条件

Case	$Q \text{ (cm}^3/\text{s})$	H (cm)	\overline{U} (cm/s)	U_* (cm/s)	1/I	Fr	Re
1		2.0	102.1	5.17	1/65	2.33	
2		2.5	79.3	4.20	1/134	1.60	2.0
3	5.0 × 10 ³	3.0	67.1	3.51	1/215	1.24	×
4		3.5	56.5	3.01	1/347	0.96	10 ⁴
5		4.0	50.4	2.75	1/476	0.81	

ここに,Q: 流量,H: 平均水深, \overline{U} : 断面平均流速, U_* : 底面摩擦速度,I: 水路床勾配, $Fr = \overline{U} / (gH)^{1/2}$: フルード数, $Re = \overline{U} H / : レイノルズ数, g: 重力加速度.$



に示されるように,水面時系列もまた平均水深のまわりを上下に変動しており,変動が種々の時間スケールの成分からなっていることが見てとれる.本研究では,これらの空間的・時間的に変化する水面分布および時系列の変動成分を対象としてスペクトル解析を実施し,水面変動の時間的・空間的なスペクトル特性を検討した.

4. 解析結果とその考察

図-4 に,水面の空間分布に対するスペクトルの分布 を示す.スペクトルの推定には MEM(最大エントロピ ー)法を用いた.図-4 より,ある一定の波数 k (約 1(1/cm))を境にしてスペクトルの傾きが変化している ことが見てとれる.この波数より大きい空間スケール の領域ではスペクトルの傾きは約-1.5 程度のべき乗に, 一方,これより小さい空間スケールの領域ではスペク トルの傾きは約-3 程度のべき乗に従うことがわかる. また,このスペクトル分布に関しては,フルード数 Fr の依存性は認められなかった.

図-5 に,各ケースの水面変動時系列に対するスペク トル分布を示す.フルード数 Fr が大きくなると,水面 変動のスペクトル分布は高周波数側に大きい値を示す ようになり,時間スケールの小さい変動成分の割合が 相対的に大きくなっていくことがわかる.また,スペ クトルの傾きに関しては,約-2 ~ -2.5 程度のべき乗 分布に従い,フルード数 Fr が大きくなるとともにその 傾きは若干大きくなるようである.

5. まとめ

水面・流速の同時画像計測法を用いて測定した時々 刻々の水面分布の計測値を対象にスペクトル解析を行 い,開水路乱流における水面変動のスペクトル特性を 検討した.その結果から,空間分布のスペクトルの傾 きは約-1.5 および-3 程度のべき乗に,一方,時系列の スペクトルの傾きは約-2~-2.5 程度のべき乗分布に従 うことがわかった.なお,本研究では,空間スケール が数 cm 程度以下の変動を取り扱っているので,水 -空気界面での表面張力などを考慮にいれた現象整理が 必要と考えられ,今後,検討する予定である.

参考文献 1)宮本仁志:開水路乱流における水面変動 の移流特性,水工学論文集,第50巻,2006(印刷中). 2)宮本仁志,神田 徹,大江和正,下山顕治:水面・流 速の同時画像計測法の開発と水面変動を伴う開水路凹 部流れの解析,土木学会論文集,No.726/ -62,pp.41-53, 2003.



図-4 水面分布のスペクトル分布



図-5 水面変動時系列のスペクトル分布