

開水路粗面乱流において発生する水面変動の移流・伝播特性に関する実験的検討

神戸大学大学院工学研究科 学生員 ○谷 昂二郎  
 神戸大学大学院工学研究科 正会員 藤田 一郎

1. 目的および概要

近年、実河川における洪水流観測においては、STIV や LSPIV といった河川水表面に現れる波紋の移動を追跡することで表面流速場を得る画像解析手法が採用される事例が増えつつある。これらは、波紋が表面流速と等しい速度で流下することを仮定しているが、あくまで経験則であり、理論的正当性をやや欠く。

以上を受けて、本研究では基礎研究の立場から、開水路乱流における水面変動の移流・伝播特性についてその詳細が解明することを目的とし、底面に球状粗面を有する浅水流において発生する水面変動の三次元計測を実施した。実験室内における水面変動計測においてはレーザー光膜を用いた計測が主流であるが、精度面で難があり、水面変動の移流・伝播特性を扱うには不十分である。従って本研究ではサンプリングモアレ法<sup>1)</sup>と呼ばれる、従来弾性体の微小変位計測などに用いられてきた画像計測手法を開水路流れの水面変動計測に適用し、新たな計測手法として確立した。

2. 実験手法

本研究では、位相画像解析に基づく微小変位計測手法であるサンプリングモアレ法<sup>1)</sup>を開水路流れの水面変動計測に適用した。サンプリングモアレ法の詳細は省略するが、余弦波状の格子パターンを水面に照射し、格子パターンが揺らぐ様子を動画撮影することで、三次元的な水面形の時間変化を計測できる。実験装置の概要を Fig.1 に示す。計測を実施した水理条件は Table 1 に示す通りであり、底面には Fig.2 のように直径 1.7cm のガラスビーズを密に配置した。水深は一定とし、供給流量 (Reynolds 数) を変化させることで Froude 数を 3 通りに変化させた。なお、水深の調節には下流端の堰は用いず、適宜水路勾配を変化させて調節した。計測範囲は全ケースとも、水路中央のおよそ 10cm 四方で、画像の取得間隔は 100Hz である。また、表面流速については、別途 PIV 計測により求めた。

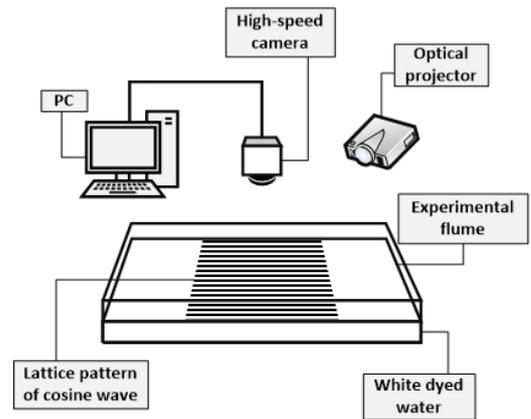
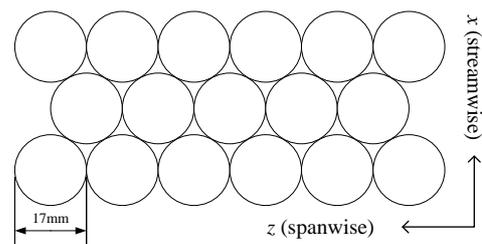
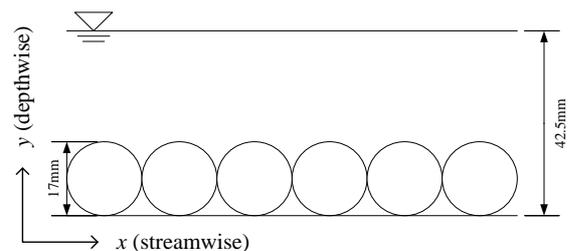


Fig.1 Experimental setup



(b) top view



(a) side view

Fig.2 Schematic of roughness arrangement

Table 1. Hydraulic condition

CASE	Water depth $H$ (cm)	Roughness height $k$ (cm)	Froude number $Fr$ (-)	Reynolds number $Re$ (-)	Bed slope $I$ (-)
Case1			0.47	6374	0.006
Case2	2.89	1.7	0.59	7965	0.009
Case3			0.70	9558	0.012

キーワード 開水路乱流, 水面変動, 画像計測, 三次元計測

連絡先 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1 TEL 078-803-6439

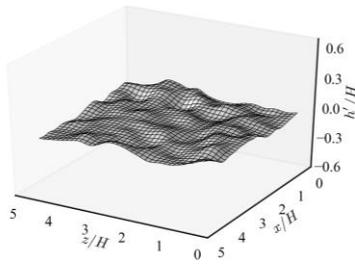


Fig.3 Instantaneous surface deformation (Case3)

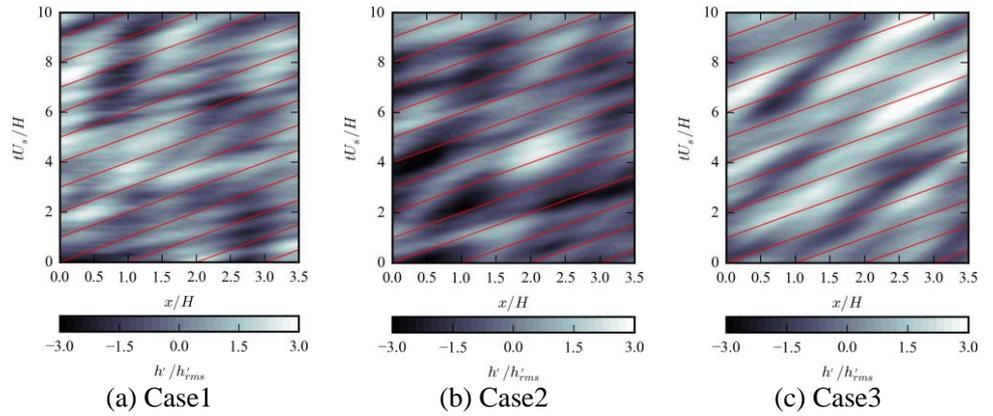


Fig.4 Space-time image expression of water surface fluctuation

### 3. 結果と考察

Fig.3に本研究で計測された瞬時の水面変動の一例を示す。微小な水面の起伏を精緻に再現できており、精度良い計測が行えていることが期待できる。Fig.4に水面変動の時空間プロットを示す。水路中央の断面における水面変動の時間発展を示したものであり、STIVにおける時空間画像(STI)に相当する表現である。図中の補助線は表面流速と等しい勾配を表す。補助線に沿うパターンが確認できる一方で、補助線よりも急な勾配を持つパターンや、上下に振動するパターンも確認できる。従って、水面変動が乱流としての振る舞いを表す移流に加えて、波としての振る舞いを表す伝播の両方の性質を有するものと思われる。

Fig.5にCase2における水面変動の波数・周波数スペクトルを示す。波数・周波数スペクトルは時空間プロットに二次元フーリエ変換により得られ、そのピークは変動場の特徴的な分散関係を示す。実線は表面流速と等しい速度で移流する分散関係を表し、破線および一点鎖線はそれぞれ前進波および後退波として伝播する波の分散関係を表す。エネルギーのピークは移流・伝播を示すそれぞれの分散関係上に現れており、時空間プロットの観察による考察と一致する。Fig.6に、水面変動の全エネルギーに対する移流および伝播の各成分の寄与率を示す。いずれのケースにおいても伝播が卓越しており、またFroude数が大きくなるに従い、その傾向は強化されている。

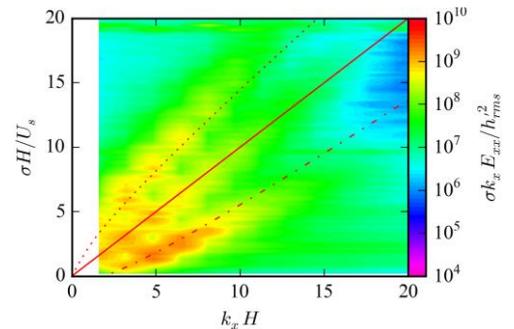


Fig.5 Wavenumber-frequency spectra of surface fluctuation (Case2)

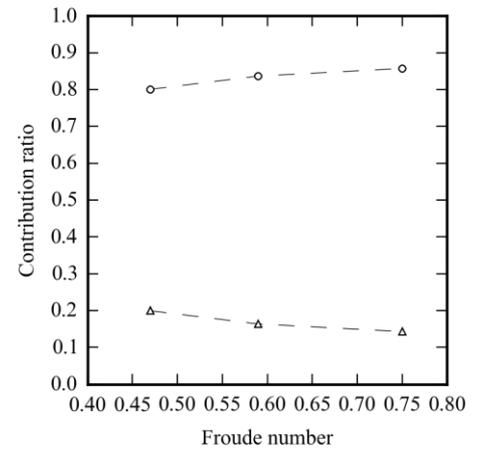


Fig.6 Contribution ratio of each component for total surface energy

### 4. 結論

本研究では、従来弾性体の微小変位計測などに用いられてきたサンプリングモアレ法<sup>1)</sup>と呼ばれる計測手法を、実験開水路における水面変動計測手法として確立した。また、同手法を球状粗面を有する浅水流に適用し、計測を行った結果、水面変動は移流、伝播の両者の振る舞いを示し、またすべてのケースで伝播が卓越していた。加えて、Froude数が大きいケース程その傾向は強化されていた。

### 参考文献

- 1) Ri, S., Fujigaki, M., & Morimoto, Y.: Sampling moiré method for accurate small deformation distribution measurement. *Experimental Mechanics*, 50(4), 501-508. 2010.