第Ⅱ部門 桟粗度乱流場が水面変動に及ぼす影響

神戸大学工学部 学生員 〇松嶌 仁志

神戸大学大学院工学研究科 正会員 藤田 一郎

神戸大学大学院工学研究科 学生員 吉村 英人

(c)L/k=10

## 研究の目的

開水路における粗面乱流の研究は古くから数多く行われてきているが、粗度要素が水面の変動に与える影響について詳細に検討した例は少ない.そこで、本研究では人工粗度要素(桟粗度)を設置した実験水路を 用い、多様な水理条件を設定することで、桟粗度が水面変動に及ぼす影響を検証した.

## 2.実験概要

本研究では、長さ 4.0m、幅 0.2m のアクリル製可変勾配型循環式直線水路を用いて実験を行った.また、 河床に粗度高さ *k*=0.9cm の正方形断面桟粗度を 3 通りの粗度間隔 L=4.5, 6.3, 8.1, 相対粗度間隔 *L/k* =5.0, 7.0, 10.0 で等間隔に配置することで桟粗度乱流場を形成し、その水路を側面と水面の両方が確認できるように高速ビデオカメラで撮影し (110Hz)、水面形の観察と水面変動の計測を行った.水理条件としては、流 量 *Q*(l/min)を 75, 120, 180, 240, レイノルズ数で 6250, 10000, 15000, 20000 の 4 通り設定し、さらに勾 配を調節してフルード数を 0.25~0.80 の 7 通りに変化させて等流状態が得られた全 72 ケースで実験を行った.河床を基準とした水深は 4.00~8.68cm、平均流速 *U* は 15.63~50.0(cm/s)である.

## 3. 水面形の観察

水面を捉えた映像から, 桟粗度を設置した流れ場では粗度間隔やフルード数によって異なった水面形を示 すことがわかった.表-1 は条件を変化させて実験を行った全 72 ケースの水面形を3通りに大別したもので ある. "Flat" は水面変動の大きさに関わらず比較的水面形が平坦な分布となるもの. "2D" は桟粗度の抵抗 により 2 次元的な水面形となるもの. "3D" は水面変動が横断方向にも見られる 3 次元的な水面形となるも のである.ただし,表-1 の中で赤く囲ったケースについては定義した 3D の現象とは異なり,一見すると 2 次元定常的な変動に見えるが,その凹凸が横断方向に振動していたため 3D と示した.そしてその横断方向 の振動は,隣り合う凹凸同士で逆位相の振動を有していることが確認できた.また,これらの中には水面を 移流する波紋を確認できるものがあった.その波紋の有無についても表・2 の下段に示す. 〇が明瞭な波紋が 見られたケースである. 観察を行った結果,特徴的な水面形を呈したケースの静止画像を図-1 に示した.

/	Re6250	Re10000	Re15000	Re20000		Re6250	Re10000	Re15000	Re20000		Re6250	Re10000	Re15000	Re20000
Fr0.25	Flat	Flat	Flat	Flat	Fr0.25	Flat	Flat	Flat	Flat	Fr0.25	Flat	Flat	Flat	Flat
Fr0.3	Flat	Flat	Flat	Flat	Fr0.3	Flat	Flat	Flat	Flat	Fr0.3	2D	Flat	3D	Flat
Fr0.4	Flat	Flat	Flat	Flat	Fr0.4	2D	Flat	Flat	Flat	Fr0.4	2D	2D	3D	3D
Fr0.5	Flat	Flat	Flat	Flat	Fr0.5	3D	Flat	Flat	Flat	Fr0.5	2D	3D	3D	3D
Fr0.6	Flat	Flat	Flat	Flat	Fr0.6	3D	2D	Flat	Flat	Fr0.6	2D	3D	3D	3D
Fr0.7			Flat	Flat	Fr0.7			Flat	Flat	Fr0.7			3D	3D
Fr0.8			Flat	2D	Fr0.8			2D	2D	Er0.8			3D	3D
										110.0			00	00
										110.0			00	00
$\sim$	Re6250	Re10000	Re15000	Re20000	$\sim$	Re6250	Re10000	Re15000	Re20000		Re6250	Re10000	Re15000	Re20000
Fr0.25	Re6250	Re10000	Re15000 △	Re20000 △	Fr0.25	Re6250	Re10000	Re15000 ×	Re20000 △	Fr0.25	Re6250	Re10000 ×	Re15000 x	Re20000 x
Fr0.25 Fr0.3	Re6250 × △	Re10000 × △	Re15000 △	Re20000 △ ○	Fr0.25 Fr0.3	Re6250 × ×	Re10000 × ×	Re15000 × ×	Re20000 △	Fr0.25 Fr0.3	Re6250 × ×	Re10000 × ×	Re15000 × ×	80 Re20000 × △
Fr0.25 Fr0.3 Fr0.4	Re6250 × △ ○	Re10000 × △ ○	Re15000 △ △ ○	Re20000 △ O O	Fr0.25 Fr0.3 Fr0.4	Re6250 × × ×	Re10000 × × O	Re15000 × × O	Re20000 △ ○ O	Fr0.25 Fr0.3 Fr0.4	Re6250 × × ×	Re10000 × × ×	Re15000 × × × ×	Re20000 × △ ○
Fr0.25 Fr0.3 Fr0.4 Fr0.5	Re6250 × △ ○ ○	Re10000 × △ O O	Re15000 △ ○ O O	Re20000 △ ○ ○ ○	Fr0.25 Fr0.3 Fr0.4 Fr0.5	Re6250 × × × ×	Re10000 × × O O	Re15000 × × O O	Re20000 △ ○ O O	Fr0.25 Fr0.3 Fr0.4 Fr0.5	Re6250 × × × × ×	Re10000 × × × × ×	Re15000 × × × ×	Re20000 × △ O O
Fr0.25 Fr0.3 Fr0.4 Fr0.5 Fr0.6	Re6250 × △ O O O	Re10000 × △ O O O	Re15000 △ ○ ○ ○ ○	Re20000 △ O O O O O	Fr0.25 Fr0.3 Fr0.4 Fr0.5 Fr0.6	Re6250 × × × × ×	Re10000 × × O O O	Re15000 × × O O O	Re20000 △ ○ ○ ○ ○	Fr0.25 Fr0.3 Fr0.4 Fr0.5 Fr0.6	Re6250 × × × × × ×	Re10000 × × × × × ×	Re15000 × × × O O	Re20000 × △ O O O
Fr0.25 Fr0.3 Fr0.4 Fr0.5 Fr0.6 Fr0.7	Re6250 × △ ○ ○ ○	Re10000 × △ O O O	Re15000 △ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	Re20000 △ O O O O O O O	Fr0.25 Fr0.3 Fr0.4 Fr0.5 Fr0.6 Fr0.7	Re6250 × × × × ×	Re10000 × × O O O	Re15000 × × O O O O	Re20000 △ ○ ○ ○ ○ ○ ○	Fr0.25 Fr0.3 Fr0.4 Fr0.5 Fr0.6 Fr0.7	Re6250 × × × × ×	Re10000 × × × × × ×	Re15000 × × × O O O	Re20000 × △ O O O O O

表-1 水面形の分類(上)と移流波紋の有無(下) (b)L/k=7

Hitoshi MATSUSHIMA, Ichiro FUJITA, Hideto YOSHIMURA

(a)L/k=5



(a)2次元定常的流れ (L/k=10, Re10000, Fr0.4)





(b) 3 次元流れ (L/k=10, Re15000, Fr0.6) 図-1 特徴的な水面形

(c)移流波紋 (L/k=7, Re10000, Fr0.4)

## 4. 水面変動の計測

実験を行った 72 ケースのうち,河床からの平均水深が 4cm となる 12 ケースを撮影した連続画像を用いて, 水路手前側の側壁に見られる水面から各ケースの平均水深と水面変動強度を計測した.計測は 100 枚の連続 画像を使用し,まず図-2 に示すように画像上に時空間画像を得るために,粗度断面の一辺の長さ k の間隔で 粗度間に時空間画像検出ラインを設定する.得られた時空間画像(図・3)に見られる水面の振動から各検出ラ イン毎の平均水深が得られる.また平均水深から各検出ライン毎の水面変動強度が得られる.そして全ての 検出ラインにおける水面変動強度の平均をそのケースの水面変動強度とした.表・2 に今回得られた水面変動 強度の結果と過去に補津・中山ら Dによって行われた滑面での実験の結果、そして今回の実験と同じ条件を 設定した数値計算によって得られた結果の比較を示した.また,本研究のような桟粗度を設置した流れ場の 場合, 桟粗度上では局所的なフルード数が支配的であると考えられることから,ここでは,桟粗度上から平 均水深までの高さとその断面から算出される流速を用いた局所フルード数を定義し,水面変動強度をプロッ トした.平均フルード数 0.25, 0.4, 0.6, 0.8 に対する局所フルード数はそれぞれ 0.36, 0.59, 0.88, 1.17 で ある.一般に水面変動強度はフルード数が 1 を超える前後,つまり流れが常流から射流に移行する前後で, 大きく増加することが知られており,その傾向が再現されているのが確認できる.今後は,桟粗度を含む粗 度と水面変動の関係を様々なアプローチで検証し,またケースによって見られた波紋の移流特性についても 明らかにしていく予定である.



参考文献

 
 1) 禰津家久,中山忠暢:自由水面近傍の乱流構造と水面変動との関連性に関する研究,土木学会論文集, No.593/II-43,pp69-78,1998.