

PIV を用いた転波列流れの瞬間流速挙動の紹介

大阪産業大学工学部 正 員 宮島昌弘
 大阪産業大学大学院 学生員 滝野雄一
 株式会社 岡 部 宝田治樹
 大阪産業大学工学部 正 員 水谷夏樹

1. はじめに

転波列流れの内部構造については未解明な部分が多く、具体的な水理学的特徴と言えるものはこれまであまり知られていない。点計測での結果については室田・宮島^{1),2)}の結果があるものの、流れの空間的な瞬間像についての知見はこれまでにない。そこで本研究では、PIVを用いて転波列流れの流速場の特徴について検討を行ない、転波列フロント前後の領域と中間的な領域の流速について、流れの瞬間流速分布挙動を明らかにし、転波列流れの基礎的な知見を得ることを目標とした。ここでは転波列の領域を水位に応じた3つに区分して、その代表的なプロファイルについて示す。

2. 実験条件と方法

実験は、幅20cm、長さ5mの亚克力製可変勾配水路を用い、水路勾配は約1/10、流量0.7(l/s)の例を示す。水位の測定は超音波式水位計、レーザ光はアルゴンイオンレーザを用いて可視化し、PIVを用いて整理した。計測地点は、上流から3.5mで水路壁面から3cmとした。実験条件を表-1に示す。ここにフルード数 $Fr=U/\sqrt{gh_m}$ 、レイノルズ数；

表-1 実験条件

水路勾配	流量 (l/s)	Fr数 ($U/\sqrt{gh_m}$)	Re数 (Uh_m/ν)
1/9.59	0.702	5.5	3700
平均水深 h_m (cm)	最大水深 h_{max} (cm)	最小水深 h_{min} (cm)	波高 (cm)
0.35	0.52	0.18	0.34

$Re=Uh_m/\nu$, $U=Q/(Bh_m)$, h_m : 平均水深, B : 水路幅, ν : 動粘性係数である。

3. 検討内容

転波列流れの瞬間流速分布特性に関する知見を得るため、1つの波動部に対応する流れの単位を考え、この波動部を3つの領域に区分し、以下の2点について、検討した結果を示す。①それぞれの瞬間流速分布挙動を明らかにする。②それぞれの領域を代表する流速の大きさを比較する。

4. 領域の区分

転波列流れは、著者らの知見¹⁾からフロント前後の領域と流れの実質ともいふべき領域に区分できると考え、本研究では3つの領域について検討する。図-1に本研究で検討した3つの領域と断面について示す。断面1は波動主体ともいふべき領域を代表する断面、断面2は転波列の最大水深部を代表する断面、断面3は転波列の最小水深部を代表する断面である。以下にそれぞれの領域を代表する断面の瞬間流速について整理した結果を検討する。

5. 瞬間流速分布の検討

断面1、断面2、断面3の瞬間流速についてそれぞれ図-2、図-3、図-4に示す。ここでは、得られた瞬間流速をそのまま示しておく。また得られた流速値を検討するため、次の図-5、図-6、図-7には、それぞれの水深に対応する仮想対数則分布の曲線を示してある。

(1) 各断面の瞬間流速分布に関する検討

図-2、図-3、図-4 から流下方向流速の瞬間流速 u の分布挙動は、かなり整然としたものになっている。これは転波列流れの流下方向流速が各断面の平均流速近傍で流れているためであると考えられる。断面1では、河床面の影響を受けているような瞬間流速分布パターンが示されている一方、フロント前後の瞬間流速分布からは、一様流速のような流速分布形状が示されている。これは、流れの実質部分である領域1の部分に平均水深を中心とした流れ場が存在している

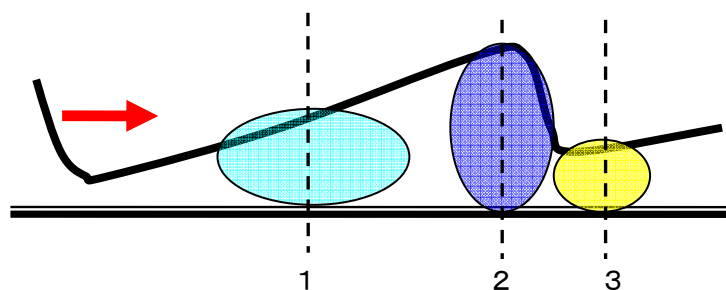


図-1 領域と選択した断面

転波列、薄層流、急勾配水路、超高速流、PIV

〒574-8530 大阪府大東市中垣内3-1-1

TEL: 072-875-3001, FAX: 072-875-5044

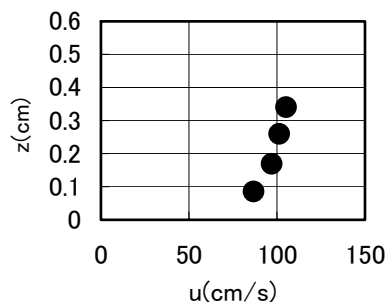


図-2 断面1の瞬間流速

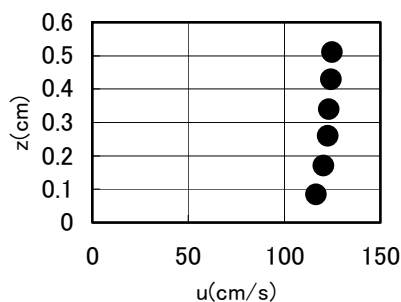


図-3 断面2の瞬間流速

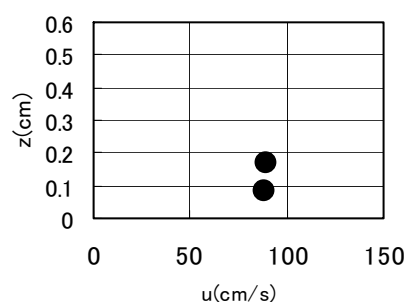


図-4 断面3の瞬間流速

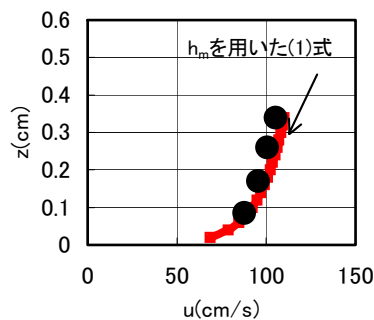


図-5 断面1の平均流速分布

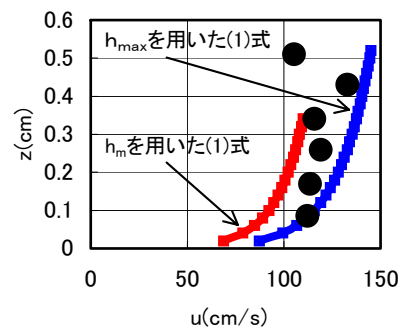


図-6 断面2の平均流速分布

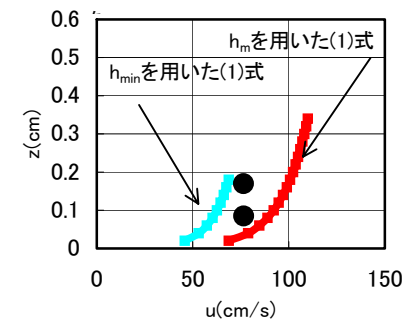


図-7 断面3の平均流速分布

こと、同時に転波列フロント前後の瞬間流速分布挙動については、領域1とは異なった流れ場が存在しているためと考えられる。さらに、断面1では平均水深 h_m (0.35cm) を用いた(1)式、断面2では h_m と最大水深 h_{max} (0.52cm) を用いた(1)式、断面3では最小水深 h_{min} (0.18cm) と h_m を用いた仮想対数則分布を示したのが図-5 から図-7 である。ここでの流速データは連続5画像の平均値を示している(1000 FPS の撮影画像)。用いた仮想対数則流速式は次式である。

$$u/U_* = 5.6 \log(U_* \cdot z / \nu) + 5.3 \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 $U_* = \sqrt{ghI}$ 、 g : 重力加速度、 h : 水深 (h_{max}, h_m, h_{min})、 I は水路勾配、 z : 水路底からの距離である。

各平均流速は、断面1では対数則分布に近い流速分布を示しており、断面2では波頂部付近に変動が見られるが流速の範囲は2つの仮想対数則分布曲線の間にある。断面3では一様なパターンが示されており h_m と h_{min} を用いた対数則分布曲線の間にある。

(2) 3つの領域での流速

3領域の流速の大きさについて検討すると、平均水深を用いた仮想対数則分布と比較して、最大水深部の流速は、平均水深を用いた仮想対数則に較べて3割程度速いこと、平均水深部では、ほぼ同程度、最小水深部では若干小さい平均流速の値となっていることが判った。

6. 結論

本研究では、転波列流れについて1つの波動に着目して、それを3つの空間的な領域に区分し、瞬間流速場について検討した。実験観測の結果、①転波列流れの瞬間流速分布挙動については、転波列フロント前後の最小水深部と最大水深部で一様分布挙動が示され、平均水深部では、対数則流速分布に近似している流れが示された。②各断面の平均流速の大小については、フロント最大水深部、平均水深部、最小水深部の順に流速が小さくなっていくことが判った。また、領域1で示される波動主体は、流速が対数則分布と近似していることから、河床面摩擦の影響下にある流れであること。転波列フロント前後の瞬間流速からは、フロント前後で対数則分布パターンと異なる流速挙動が示された。今後、転波列流れの平均場、変動場について整理し、明確な特性を示したい。

謝辞：本研究の遂行は、大阪産業大学産業研究所の平成17年度分野別研究組織研究員（宮島）として研究補助金の交付を受けたことに拠るものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 室田・宮島，“超高速流の内部構造に関する実験的研究（主として平均流と波動特性について）”，水工学論文集，第37巻，pp. 563-568. 1993. 2.
- 2) 室田・宮島，“超高速流の内部構造に関する実験的研究（2次元乱れ挙動について）”，水工学論文集，第39巻，pp. 379-384. 1995. 2.