

## 転波列流れの流速とせん断応力の挙動について

### Experimental Research on Velocity and Shear Stress of Roll-Wave Flow

宮島 昌弘 (大産大工)

Masahiro MIYAJIMA

Dept. of Civil Eng., Osaka Sangyo Univ., Osaka 574-8530, Japan

On Roll-Wave which flows steep slope channel, there are many unclear point. On the behavior of flow velocity and shear stress of the Roll-wave flow, this study was examined experimentally. From the experimental result, the following were shown : That features of mean flow velocity are clear and that it has large velocity gradient and the water depth greatly affected bed shear stress with the flow velocity. It is considered that these are important features of the Roll-wave flow.

#### 1. 緒言

水深の浅い急勾配水路において、Fr 数がほぼ2を越えると転波列が発生するといわれている。この転波列の特性については不明な点が多い。発生についてはもちろんのこと、流れとしての特性についても、ほとんど知られていないのが現状である。本研究は、この転波列流れの流速・底面せん断力の挙動について実験的に明らかにし、転波列流れの特性について検討したものである。実験の結果、転波列流れの平均流速分布には、明瞭な特徴があること、また水深と流速、水深と底面せん断力の間にも明瞭な関係があることが示された。これは、転波列流れの特性に関わる重要な知見であると考えられる。

#### 2. 実験条件

実験は、幅 20cm、長さ 5m のアクリル製可変勾配水路を用い、水路勾配は 1/10 を中心に 1/7 から 1/30 まで勾配を変化させ、それぞれの勾配で若干流量を変化させた。流速はレーザードップラー流速計、水深の測定は超音波式水位計で行った。底面のせん断力は、底面にせん断力計を設置して測定した。Table-1 に実験条件の例と実験範囲を示す。Fig.1 には転波列の模式図を示す。

Table-1 Experimental condition example and range

Channel slope S	Flow rate Q cm <sup>3</sup> /s	Mean water depth h <sub>m</sub> (cm)	Fr	Re
0.1686	1050	0.35	7.8	3800
0.1686	668	0.28	7.4	2300
0.1686	617	0.28	6.7	2100
0.1166	807	0.38	5.5	3200
0.1166	653	0.38	4.5	2600
0.1166	582	0.35	4.5	2300
0.0665	992	0.48	4.8	3900
0.0665	807	0.43	4.6	3200
0.0665	582	0.38	4.0	2300

Channel slope :  
1/7 - 1/30

Mean depth :  
(cm)  
0.3 - 0.6

Fr number :  
3 - 8

Re number :  
2000 - 6000

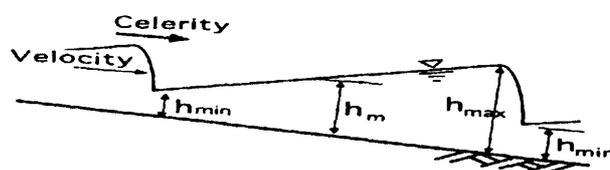


Fig.1 Profile of Roll-wave

Table-1 中のフルード数は  $Fr : U/\sqrt{gh_m}$ , レイノルズ数は  $Re : U h_m/\nu$ ,  $U=Q/(Bh_m)$ , U; 平均流速, B; 水路幅である。

#### 3. 実験結果

##### 3.1 波速と流速の特性

波速と波頂部付近の流体粒子速度の関係を示したのが Fig.2 である。波速と流速がほぼ一致しているのが見られる。このことから転波列フロントでは、碎波していることが想定される。

##### 3.2 流速分布特性

Fig.3 は主流の平均流速分布である。10 秒程度を平均している。縦軸に最大水深で無次元化した相対位置をとり、横軸にこの点での平均流速を流れの波速で無次元化した流速を示した。Fig.2 で示された波頂部での流速と波速一致から、波頂部での最大流速から水路床へと平均流速は、連続的になめらかに減少していくことが判る。流れが水路床面の影響を強く受けていることが推察される。この場合最大水深が 8mm 程度であることと、波頂部で波速と同様 1.5m/s 程度の流速があることから、大きな速度勾配を持った流れであることも判る。また流速分布については各水深での対数則分布の重ね合わせが考えられる。

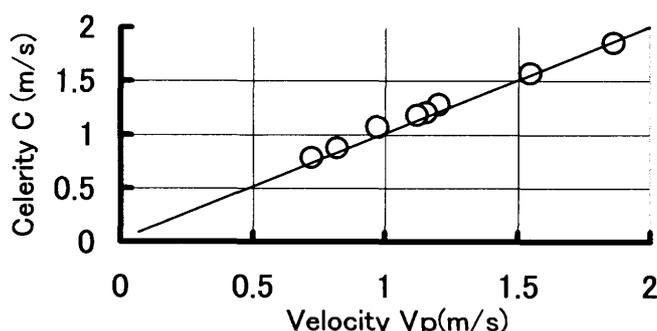


Fig.2 Celerity and velocity of wave crest division

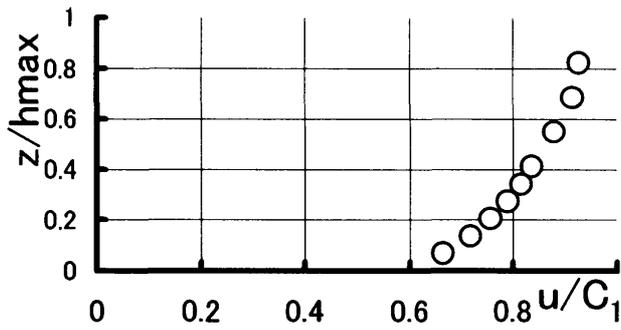


Fig.3 Mean velocity profile

3.3 水深変動と流速変動

水路勾配1/10, 単位幅流量で50cm<sup>2</sup>/sec程度を流下させた場合の水路床から1.5mmの位置で得られた流速について, 水深・流速変動の整理結果を示す. 使用したデータはサンプリング間隔0.01秒で1024個である. Fig.4に水深と流速の相互相関係数を示している. 横軸はずらし時間である. ピーク時の相互相関係数が0.45程度となっており, 定常的な2次元流速場の相関係数に対応しているような結果が現れていて興味深い. 図に示された0.04秒程度のピークの遅れは, 転波列フロントが進行していく際, 転波列フロントが遅い流れを追い越していく時に生じている速度差のためと考えられる. ほぼ水深最大時に流速最大になり, 水深最小時に流速最小になっており, 水深・流速がすみやかに応答している. これらの平均的な流速が, Fig.3で示される流速分布パターンを構成する1点になっている.

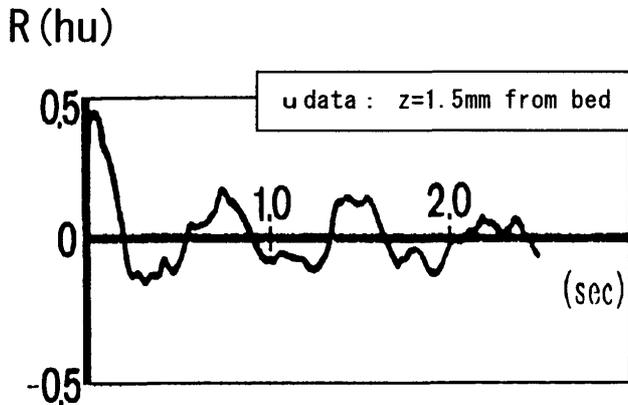


Fig.4 Cross correlation coefficient of h and velocity

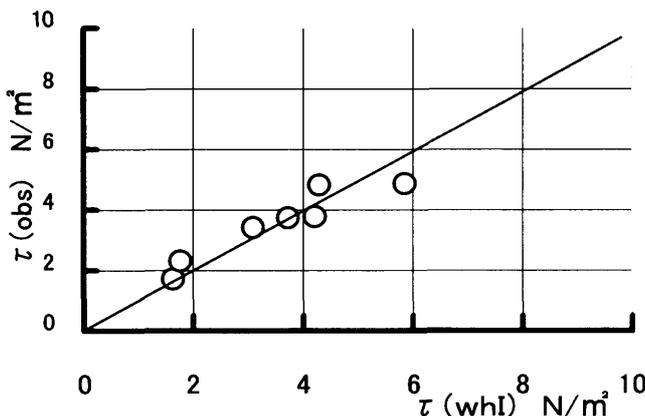


Fig.5 Bed shear stress of observed and calculated

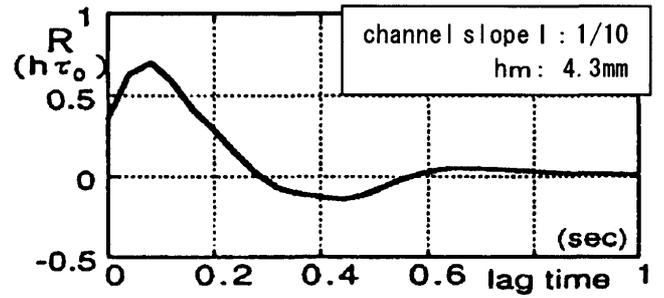


Fig.6 Cross correlation coefficient of h and bed shear stress

3.4 底面せん断力特性

水路底面にせん断力計を設置して得られた測定結果と, 流れを定常等流とした場合の底面せん断力とを比較する. Fig.5に, 縦軸に測定された平均せん断応力, 横軸に流れを等流とした場合の底面せん断応力  $\tau = whI$  を示した. 実測と等流として扱った計算結果が, とともにほぼ同様の傾向と値を示している. これは転波列流れが平均的には, 等流と同様に底面摩擦とのバランスをとって流下していく流れであり, あたかも等流の扱いが可能であるかのような振る舞いを示しているものと考えられる.

3.5 水深と底面せん断応力について

Fig.6はFig.4と同様に横軸に lag time(sec), 縦軸に水深と水路底面のせん断応力との相互相関係数を示したものである. ここでは, せん断力計からの取得状況を検討して, サンプリング間隔 0.02 秒, 256 個のデータで整理している. 図に示された 0.08 秒程度の応答遅れは, 転波列フロント前後の流速差とせん断力計の応答遅れによるものと考えている. ここで, 相互相関係数 0.7 を示すピークは, 水深と底面せん断応力の関係が強いことを示すものである.

4. 波速・流速・水深・底面せん断力に関する考察

以上の実験結果から, 転波列流れは非常に流動性の卓越した流れであることを示しており, 極論すれば, 波動というより, 河床面の摩擦の影響を強く受けた流れの特徴を持つものと考えられる. また, Dressler<sup>1)</sup>は, 転波列は流れの抵抗が重要な意味を持つと述べている. 転波列流れの特徴は, 急勾配を流下する非常に浅い水深と高速の流れにあり, 平均的には底面摩擦の影響下にある速度勾配の卓越した流れであると考えられる. 同時に流れの流速と底面せん断応力は, 水深との強い関係を示しており, 水深変動と共に変動している.

5. 結論

急勾配水路を浅い水深で流下する流れは, 転波列を伴うことが多い. その際流れの流速は, 波頂部部分の流速と波速がほぼ一致しており, 波頂部から河床面に近づくに連れて平均的になめらかに減少している. このことから, 底面摩擦とバランスをとった, ある平均的な流れのまわりを, 転波列が水深と共に流速と底面せん断応力を変動させながら流下していく姿が窺える.

引用文献

1) Vedernikov, V. "Condition at the front of a translation waves disturbing a steady motion of a real fluid", Comptes rendus (Doklady) de l'Academie des Sciences de l'U.R.S.S., Vol.48, No.4, 1945.