

大阪産業大学工学部 正 員 室田 明

大阪産業大学工学部 正 員 ○宮島 昌弘

1. はじめに 転波列を伴う流れの水理学的特性についてはこれまで、転波の波速と波頂部付近の流体速度がほぼ等しく、見かけ上対数則平均流速分布に近似しており、平均的には底面摩擦の影響が大きい。といったことが著者らによって示されてきた。^{1), 2)} 本研究では、転波列流れを波動として見た場合こういった特性が示されるのかを調査し考察を試みた。まず転波列の周期性について考察し、さらに若干主流速変動に関する周波数特性について言及した。

2. 実験方法と条件 実験は、長さ5m、幅20cmの亚克力製可変勾配水路を使用し測定位置は、水路上流端より3.9m下流とた。水面変動は超音波水位計を、流速及び流速変動はレーザー・ドップラ流速計を用いて測定した。データの取り込みは20msで1024点とした。なお、実験条件を表-1、表-2に示す。

3. 実験結果と検討

表-1 実験条件

勾配 S	流量 Q(l/s)	平均水深 h0(mm)	フルード数 Fr	レイノルズ数 Re
1/6.54	0.294	2.5	3.8	1300
	0.492	3.0	4.7	2200
	0.720	3.8	5.0	3300
	1.009	3.9	6.5	4500
	1.268	4.3	7.1	5700
	0.298	2.9	3.0	1300
1/10.1	0.496	3.7	3.6	2200
	0.691	3.8	4.8	3100
	1.012	4.6	5.1	4500
	1.235	4.4	6.7	5500
	0.288	2.9	3.0	1300
1/16.0	0.532	3.5	4.2	2500
	0.712	3.8	4.9	3300
	1.085	5.2	4.7	5100
	1.185	5.3	4.9	6000
	0.320	2.5	4.0	1400
1/20.6	0.513	4.4	2.8	2300
	0.702	4.0	4.5	2900
	0.810	4.8	3.9	3300
	1.068	6.5	3.3	4800
	0.298	2.6	3.6	1300
1/24.5	0.504	3.5	3.8	2200
	0.710	3.8	4.7	3100
	1.065	5.2	4.5	3900
	1.221	6.2	4.0	4500

3-1 転波列の周期特性

(1) 転波列の平均的な速度勾配 著者らが行った実験で転波列流れの特徴的な結果は、はじめに記述した転波の波速と流体速度の一致である。これを図-1に示す。ここで注目すべきなのは1m/sを越える平均最大流速値が水路床から平均水深数mmオーダーで出現していることである。この速度勾配が転波列の存在に大きく寄与していると推察される。

(2) 転波列の周期性 いま転波列の周期Tが次式で示されると考える。

$$T = f(h_0, U_0, \rho, \mu, g, S) \text{ ---- (1)}$$

ここに、 h_0 は平均水深、 U_0 は平均流速、 ρ は密度、 μ は粘性係数、 g は重力加速度、 S は水路勾配である。これに次元解析を施すと

$$T \cdot U_0 / h_0 = F(Fr, Re, S) \text{ ---- (2)}$$

が導かれる。ここに、 Fr :フルード数、 Re :レイノルズ数である。ここでたとえばDressler³⁾は”転波列は、摩擦抵抗がなくてもあるいは大きすぎても存在しえない。そして摩擦抵抗の増減に伴い波の振幅も増減する。”と指摘しているように転波列流れにおいては、水深が非常に小さく、みかけ上波頂部から水路床部まで連続した流速分布も考え合わせると、先に述べたように転波列の存在には摩擦抵抗が非常に重要になるであろう。いま(2)式の右辺が摩擦抵抗係数に関わる無次元量と考え、室田・宮島が指摘しているように、転波列流れが層・遷移流と乱流状態が交互に出現する流れの場が存在しているらしいことから特に転波列発生初期においては、層流、乱流の混在した抵抗係数の転波列への寄与が考えられる。そこで、無次

表-2 実験条件 (流速変動)

勾配 S	流量 Q(l/s)	平均水深 h0(mm)	フルード数 Fr	レイノルズ数 Re
1/5.97	1.418	4.5	7.6	6200
1/174	0.784	10.3	1.2	3500

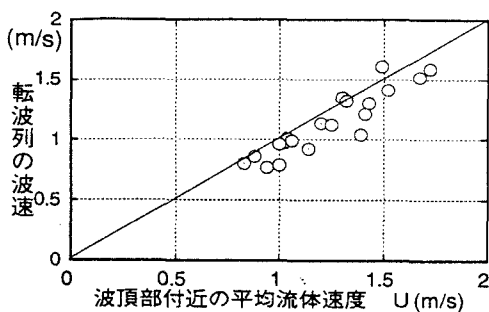


図-1 波速と波頂部流体流速

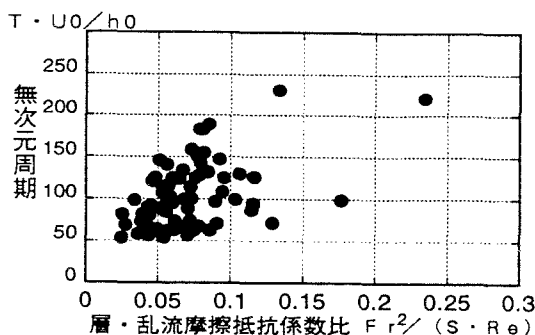


図-2 転波列の無次元周期と摩擦抵抗比

元周期がこれら抵抗係数の層流形式と乱流形式の比の関数として表現できると考えてみる。

(3) 層流と乱流の摩擦抵抗係数比と無次元周期 乱流の摩擦抵抗係数 f は $(U^*/U_0)^2$ 、一方層流の摩擦抵抗係数 f は $(1/Re)$ の形式で表される。摩擦速度 $U^* = \sqrt{g h U S}$ とすると、層流摩擦抵抗係数/乱流摩擦抵抗係数は $Fr^2 / (Re \cdot S)$ の関数で表されることになる。速度勾配で無次元化した周期と抵抗係数比で整理した結果を図-2に示す。縦軸に無次元周期を、横軸には摩擦抵抗比を示してある。抵抗係数比の増大に伴い無次元周期も増大するという比較的顕著な傾向が現れている。この図から転波列の周期が、速度勾配と層流・乱流摩擦抵抗比の強い影響下にあることが推察される。また抵抗係数比は (U_0/U^*) と粘性底層厚を表現する (ν/U^*) の項と平均水深 h_0 の比で構成されていると考えてもよいことが判る。これは転波列周期が、速度勾配、粘性底層厚と平均水深比および乱流形式の抵抗係数で表現されることを示しており非常に興味深い。

3-2 転波列の主流速変動の周波数特性 定常流と比較した1例を示す。ともに y^+ が40程度での比較例を示す。図-3は定常流主流速変動で図-4は転波列流れの主流速変動周波数スペクトルである。概略的な傾向を確認するため非常におおざっぱではあるが、周波数1Hz～20Hzの範囲でのスペクトルの傾きを示す。定常流に較べて転波列流れのスペクトルの傾きが緩やかであることが示されている。このことは転波列の水位変動の影響による効果が大きいと考えられる。これについてはさらに十分なデータの収集と詳細な検討が必要であると考えている。

4. 結語 以上、本研究では、主に転波列の周期性についての考察を試みた。その結果転波列流れの平均速度勾配および粘性底層厚/平均水深比が転波列の周期を規定している有力な因子であることが推察された。

今後、さらに実験を行い流速変動と水深変動スペクトルに関し詳細な検討を行っていききたい。尚、実験と整理には水工研究室卒研、江島、中条、清水君の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

(参考文献)

- 1) 室田明, 宮島昌弘: "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) 室田明, 宮島昌弘: "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, 1995, 印刷中
- 3) R.F.Dressler: "Mathematical solution of the problem of roll-waves in inclined open channels", Communication on Pure and Applied Mathematics, Vol. II, No. 2/3, 1949

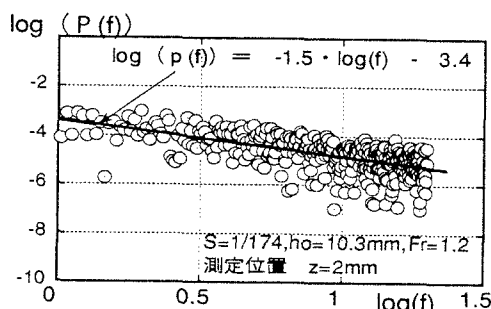


図-3 定常流の周波数スペクトル

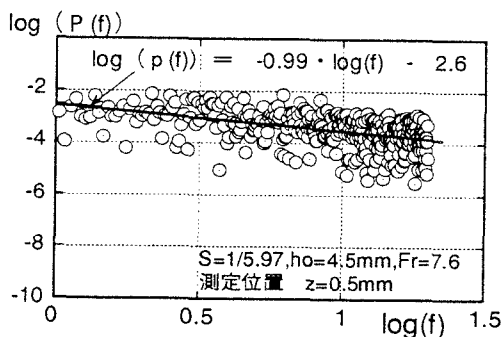


図-4 転波列の周波数スペクトル