転波列流れの周期特性に関する実験的検討

大阪産業大学工学部　正員　宮島昌弘

1．はじめに　水深の浅い急勾配水路において，Fr 数がほぼ２を越えると自励的に発生する転波列を伴うことはよく知られている．しかしながら，このかくも明確に出現する転波列の特性については，たとえば周期に関して，その発生や特徴についてほとんど知られていないのが現状である．そこで今回この転波列流れの周期的な特性に関する知見を得るため，まず発生の起源を知るべく転波列が発生していない条件下でのいわば人工的な転波列の発生を試みた．このように流れに転波列の種ともいうべきものを蒔けば，転波列が発生するのか，発生した転波列の特徴はどういうものなのか，またこれまでの転波列と同じなのか，そして転波列流れの特徴は何かといった検討をしたのが今回の発表内容である．比較的水温の低い 10℃程度以下では，たとえ Fr 数が７程度であっても，転波列が発生しない状況が見受けられている．これは粘性の効果が現れているものと推察されるが，その理由はまだ解っていない．いずれにせよ，転波列が発生していない条件下において，下記の実験条件を設定して得られた転波列周期に関する知見を報告する．

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 1/6 から 1/15 の３勾配，それぞれの勾配で 3 から 4 流量，合計 10 流量を設定し，各流量についてそれぞれ水路上流部から 50cm 下流の水路中央部の位置に直径１,2,3,4,5 cm の厚さ 2cm の塩ビ製円筒板を設置して転波列のいわば人工的な発生を試みた．水深の測定は超音波式水位計,周期・波長の測定は主として目視観測で行った．実験は表ー１に示す基本条件の各ケースにいま述べた５つの円筒板を設置した実験を行い合計５０ケースについて行った．

ここにフルード数は $Fr=U/\sqrt{ghm}$，レイノルズ数 $Re=Uhm/\nu$ 、$U=Q/(bhm)$.

表－１　実験条件

水路勾配 S	流量 Q(cm^3/s)	平均水深 hm（cm）	フルード数 Fr	レイノルズ数 Re
0.1686	1050	0.35	7.8	3800
0.1686	668	0.275	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
0.06653	1124	0.5	5.1	4400
0.06653	992	0.48	4.8	3900
0.06653	807	0.43	4.6	3200
0.06653	582	0.38	4.0	2300

3．転波列流れの発生の有無

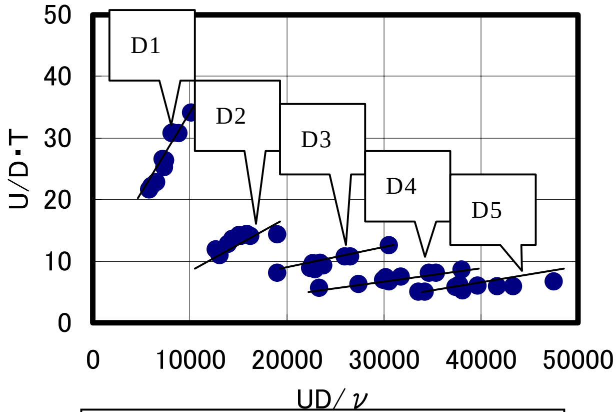
すべての実験条件において転波列の存在が確認でき，筆者がこれまで実験してきた転波列流れと比べて，波高が小さいことを除いてほとんど変わらないと考えられた．以下にこの転波列流れについての周期特性に関する知見をまとめる．

4．転波列の周期のレイノルズ数による整理

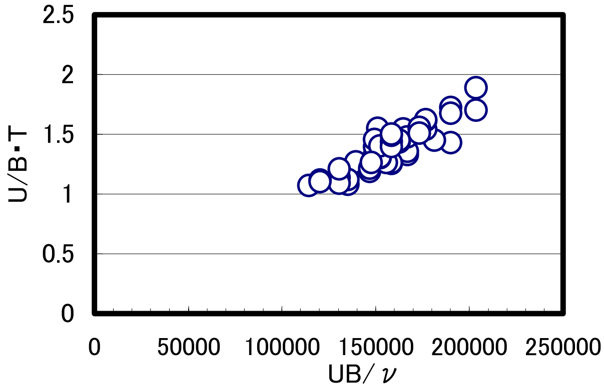
ここでは，円筒を設置した流れの周期の整理には，まず円筒背後の渦の発生周波数に関わるストローハル数 St とレイノルズ数 Re との関わりが想起される。まずこの関係を示したのが 図－１である。縦軸に円筒直径Ｄを用いた無次元周期（１／Ｓｔ)，横軸はＤを用いたレイノルズ数で示してある．ここでは円筒径に応じた形，つまりＤをパラメータにした形での無次元周期が示されているが，Ｄの増大に伴いある程度集約されていくように見受けられる．これは無次元周期が，円筒径Ｄのスケールではなくもう少しおおきなスケールで示されることを暗示している．そこで，Ｄの上限として水路幅Ｂを用いて無次元周期とレイノルズ数

急勾配水路，薄層流，転波列

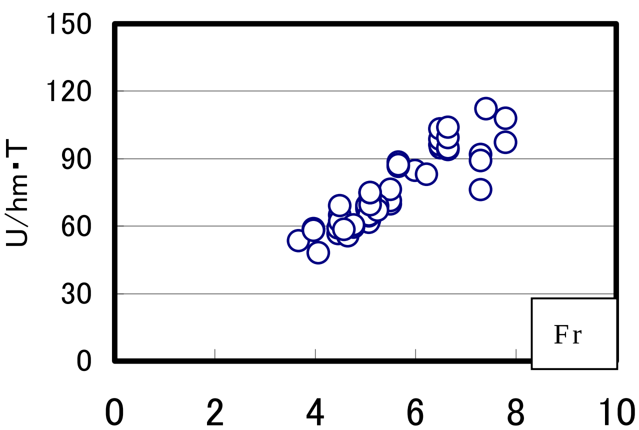
〒574-8530 大阪府大東市中垣内 3-1-1
TEL: 072-875-3001, FAX : 072-875-5044



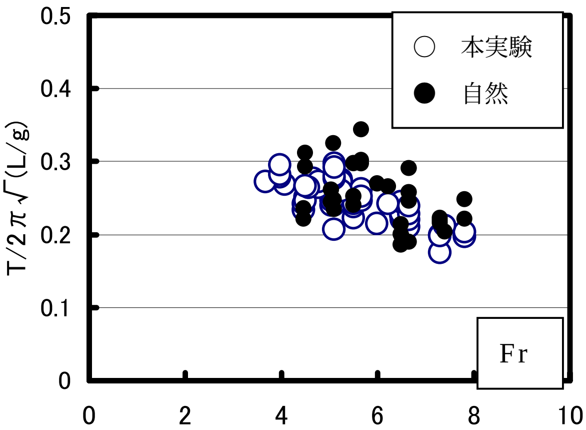
図－１　円筒径を用いた無次元周期



図－２　水路幅を用いた無次元周期



図－３　水深を用いた無次元周期



図－４　波長を用いた無次元周期

の関係を示したのが図－２である．この結果は転波列の周期が水路幅 B と粘性に依存していることを示唆しているものである．

５．転波列周期のフルード数による整理

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るとも言える．このことから流れの特徴の１つに転波列流れが卓越した重力効果の下で，大きな速度の勾配をもつことが挙げられる．そこで速度勾配を周期Ｔで無次元化した無次元周期とフルード数の関係を示したのが図－３である．この結果は，速度勾配を用いた無次元周期がフルード数と強い関係を持つことを示している．そして転波列の周期が水深 hm と重力加速度 g で示されることも明らかである．ここでオーダーの議論として，これまで波頂部流速と転波列の波速が一致することが実験的に示されていることから，波長が概略L=UTで示されると仮定すると，この図の Fr 数と波長・水深比の関係から Fr 数から見た波長と水深の線形関係が推定され，波長Ｌとｇとの強い関わりも推察される．この結果を示したのが，図－４である．ここでは縦軸に転波列周期を波長Ｌと，g で無次元化したもの（T/（2π $\sqrt{(L/g)}$），横軸はフルード数で整理してある．この結果からは強い重力効果を受けている転波列周期の存在が示唆される．図中には自然発生する転波列の場合の結果も示した．この結果からは，周期に関しては人工的な転波列と自然発生の転波列の間にあまり差はないことが示された．

６．まとめ

人工的に発生させた転波列流れの周期について検討を行った結果，転波列流れの周期特性は ①水路幅 B を用いたストローハル数とレイノルズ数で整理できる．②フルード数との関係では，重力加速度ｇと平均水深の関係，あるいは波長Ｌとｇとの強い関係が示された．また自然発生の転波列とほとんど変わらないことが判った．今後はもう少し詳細に実験検討していきたいと考えている．