II -329

転波列流れの周期に関する実験的考察

大阪産業大学工学部　正員　宮島 昌弘

1．はじめに

急勾配水路を流下する転波列を伴う流れの特性の１つは，水深が非常に浅いことと流速が速いことから，流れの平均的な速度勾配が非常に大きく，この速度勾配を軸に転波列の各種の水理量が整理されることが示されてきている．[1] 本研究では，これらの結果を踏まえて転波列流れの周期に関して実験的に考察した結果について報告する．

2．実験方法と実験条件

実験は長さ5m，水路幅Ｂが20cmのアクリル性可変勾配水路を用いた．河床面は滑面とし，主な実験条件を表-１に示す．本文の実験の整理には，この水路勾配の範囲で追加した実験条件も合わせて合計44ケースについての結果を示す．ここに，$Fr=Uo/\sqrt{gho}$，g: 重力加速度, Uo=Q/(Bho), B: 水路幅，Q: 流量，ho: 平均水深である．

表-１　実験条件

Run No.	水路勾配S	平均水深 h_o(mm)	フルード数Fr
1	1/5.97	2.5	6.5
2	1/5.97	3.5	7.2
3	1/5.97	4.4	7.6
4	1/8.25	3.1	6.0
5	1/8.25	4.2	6.5
6	1/8.25	4.7	6.7
7	1/12.7	4.0	4.6
8	1/12.7	4.7	4.7
9	1/12.7	5.1	5.2
10	1/15.0	2.7	3.3
11	1/15.0	3.3	4.6
12	1/15.0	3.5	5.5
13	1/15.0	5.0	4.9

3．転波列の支配因子について

ドレスラー [2] が指摘しているように転波列の存在と摩擦抵抗とには密接な関係があると考えられるが，ここでは以下の変量について検討する．いま簡単に水路勾配が急であるために重力効果ｇ（重力加速度）を，また平均的な速度勾配が非常に大きいため流れのせん断力に関わる粘性力効果μ（粘性係数）を配慮し，さらに転波列の周期Ｔを考慮に入れて検討する．すると乱流を対象とした転波列流れにおいてでも，流れの記述が(１)式で表されると考えられ，

$$F\ (g, \mu, T, h, U, \rho) = 0 \qquad \text{-------(1)}$$

となる．これに次元解析を施すと

$$\Phi\ (Fr, Re, U/h \cdot T) = 0 \qquad \text{--------(2)}$$

ここに，h: 代表水深, U: 代表流速，ρ : 密度, Fr：フルード数，Re：レイノルズ数である．

(2)式が得られることになる．つまり乱流における転波列を伴う流れは，フルード数のみならず，レイノルズ数やU/h・Tといった転波列特有の因子が流れに大きく関わっていることが推察される．この(2)式第3項のU/h・Tについてもうすこし検討してみる．転波列は，波動と言うより流体粒子速度と位相速度が等しいことから，非常に流動性の卓越した流れであること [3] の認識は重要である．いま実験例 Run No.2 の場合では，表面付近の流速が 1.5m/sec であり，この流れが水深 3.5mmで出現しているわけであるから，速度勾配（最大流速/水深）の非常に大きな流れであることが判る．この場合430/secである．つまり転波列流れの特徴の１つは大きな速度勾配をもつ流れであり，この第３項の無次元量は速度勾配の無次元化を表しているものと考えられる．

4．転波列流れの支配因子についての考察

4.1　フルード数と無次元速度勾配

前節で，転波列を支配する無次元量としてＦｒ数とＲｅ数および無次元速度勾配の３つが示された．本文では，Ｆｒ数と無次元速度勾配について検討を加えることとする．急勾配水路を流下する流れとしてＦｒ数が支配的なことは想像しやすい．そして，おそらくこの結果として，浅い水深において大きな

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.0720-75-3001. FAX. 0720-75-5044

速度勾配が出現することが考えられる．そこでこのＦｒ数と速度勾配の無次元化としての無次元速度勾配 Uo/ho・T の関係を示したのが図-１である．ここでは速度勾配に（平均流速／平均水深）を用いている．フルード数の増大に伴って無次元速度勾配も増大している傾向が示されており，転波列流れの大きな特徴を示しているものと考えられる．

4.2　周期性

図-１で$Fr=Uo/\sqrt{(gho)}$を用いていることから，縦軸と横軸を再整理すると，結局転波列周期Ｔと$\sqrt{(ho/g)}$の項が出てくる．この関係を示したのが図－２である．ここでは，水深と周期に関して特に明瞭な関係が示されていない．これは非常に浅い水深が原因となっているものと考えられる．そこでこの水深となんらかの関わりをもつであろう転波列の波長との関係について検討したのが図－３である．転波列流れを特徴付けると考えられる無次元速度勾配を横軸にとり，水深と波長の比を縦軸にとったものである．無次元速度勾配を介在にして転波列の平均水深と波長の比較的強い関係が示されている．このことから，図－２の関係を，転波列の水深の代わりに波長Ｌで示したのが図－４である．波長と転波列周期の比較的明瞭な直線関係が示されている．これはあたかも単振り子の周期と糸の長さの関係を連想させるものである．そこで図中に糸の長さＬの単振り子とした場合の周期を直線で示している．傾向としては，実験データから得られる周期は，この直線の約1/4倍程度の値となっている．もしこの重力場における単振り子の挙動の転波列流れへのアナロジーが正しいならば，この図の実験結果と直線の差は，流れの底面の摩擦と粘性および流れの非線形性が原因となっていることが推察される．

5．結語

転波列流れは大きな速度勾配を有する流れであり，これが流れの周期構造に影響を与え，結果としてあたかも単振り子を連想させる結果が示された．つまり転波列流れの自励振動の様態は，水深が浅くて強い重力効果にさらされた流れに出現する固有周期であると推察される．しかしながら，まださらに詳細な検討が必要であると考えられる．今後は，転波列流れの周期を視野入れたもう少し定量的な検討を進めていきたいと考えている．

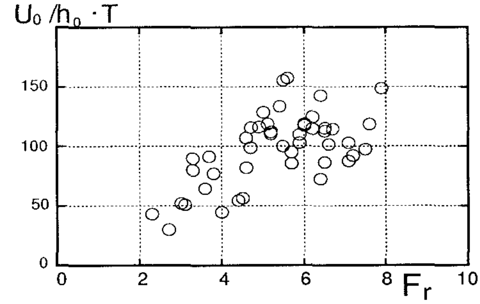

図-１　フルード数と無次元速度勾配

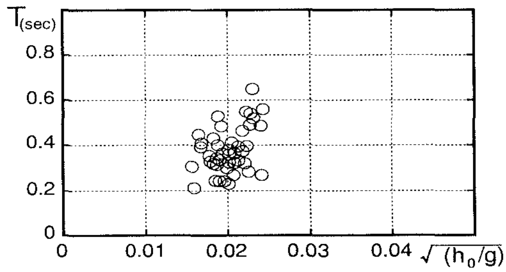

図-２　転波列周期と水深

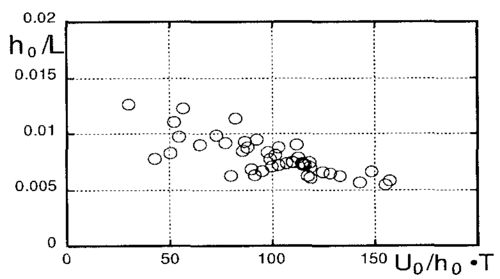

図-３　無次元速度勾配による転波列の水深と波長

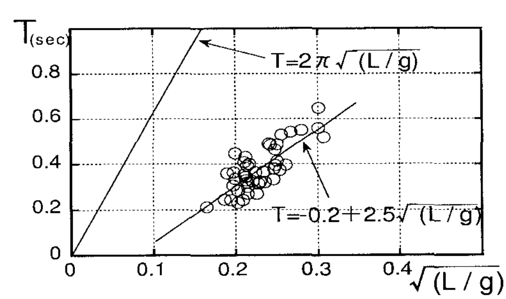

図-４　転波列周期と波長

（参考文献）
1) 宮島：”転波列流れの特性に関する実験的検討”，日本流体力学会，第2回環境流体シンポジウム講演論文集，pp445-446, 1997.
2) Dressler.R.F.:"Mathematical solution of the problem of roll-waves in inclined open channels", Communication on Pure and Applied Mathematics, Vol. 2, No.2/3, pp.149～194,1949.
3) 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.