

転波列流れの存在条件に関する実験的研究

大阪産業大学工学部

正会員 ○宮島 昌弘

J A 加賀

滝野 雄一

1. 目的

転波列流れの特性に関しては基本的な点で不明瞭な点が多い。転波列の水理学的特性については、岩垣・岩佐¹⁾が論述しているが、発生、終息に関わる条件や内部構造については、明確にわかっていないのが現状である。しかし最近では、滝野・宮島²⁾が転波列の波高について着目し、転波列の波高がフルード数とレイノルズ数に支配されている実験結果を示している。本研究では、急勾配で水深が浅く高速で流下する場合に発生する転波列流れに関して、流れを支配する因子として転波列フロント前後の水深比が重要であるとの認識から、この水深比とフルード数、レイノルズ数との関係について検討し、転波列流れの乱流場における存在条件について考察する。

2. 実験条件および方法

実験は、幅 20cm、長さ 5m のアクリル製可変勾配水路を用い、水位の測定は超音波式水位計を用いて計測した。計測地点は、上流端から 3.7m の地点とした。実験範囲を表-1 に示す。実験水路の勾配は、1/6, 1/10, 1/12, 1/15, 1/20, 1/30, 1/40, 1/50 の 8 勾配を設定し、各水路勾配 0.4～1.5 (ℓ/s) の約 10 流量のケースで計測した。1/6, 1/10, 1/15 については水温変化に応じてそれぞれ 4 回計測した。

表-1 実験条件の範囲

水路 勾配	流量 (ℓ/s)	Fr 数	Re 数	平均水深 (cm)
1/6	0.4	1.5	2000	0.23
1/10	1.5	8.6	8300	0.77

ここにフルード数: $Fr = U_m / \sqrt{gh_m}$, g : 重力加速度, $U_m = Q/(Bh_m)$, レイノルズ数: $Re = U_m h_m / \nu$, h_m : 平均水深, B : 水路幅, ν : 動粘性係数である。

3. 発生に関する実験結果

これまでの実験結果から、転波列流れがフルード数とレイノルズ数に影響されていることが判ってきている²⁾。そこでまず、発生に関わる事項について整理するため、転波列フロント前後の水深比 (h_{max}/h_{min}) をレイノルズ数 2000 以上について、Re 数を 1000 の区間に分けて、8000 まで 6 ケースに区分し、これをフルード数で整理した。その結果の 1 例 (レイノルズ数範囲 5000-6000 の場合) を図-1 に示す。ここから、この範囲のレイノルズ数に対応する転波列発生点のフルード数の値を推定した。近似式として自然対数式(1)式を用いている。

$$y = a \ln(x) + b \quad (1)$$

ここでは、レイノルズ数範囲の代表値として中間値の $Re=5500$ を用いた。フルード数の増大に伴い水深比も増大していることが判る。転波列発生点のフルード数は 2.4 程度であることが推定された。他のケースも同様に推定した。

4. 終息に関する実験結果

一方、各勾配について実験を進めていくと、フロント前後の水深比が、流量の増大とともに明確に減少していくことが判った。図-2 には、水路勾配 1/15 の例を示した。レイノルズ数の増大に伴い、ある値に収束していくことが推察される。ここでは、指数式(2)式を用いて終息点を推定した。この場合 Re 数 8900 程度で転波列が終息することが推定された。以下同様に、他の勾配 7 ケースから転波列終息点のレイノルズ数をそれぞれ推定した。

$$y = c e^{d(x)} \quad (2)$$

5. 転波列流れの存在条件

終息条件については、それぞれの勾配における実験結果の Fr 数と Re 数の関係から、各勾配での終息点 Re 数に対応する Fr 数を推定した。その上で、転波列発生と終息点での Fr 数と Re 数の関係を示したのが図-3 である。この急勾配水路、薄層流、転波列、段波

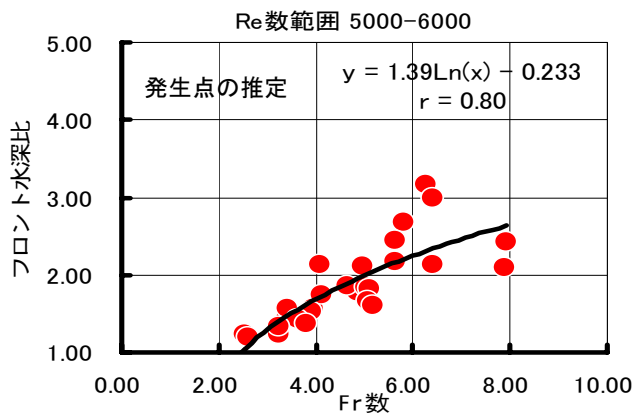


図-1 フルード数と転波列フロント水深比

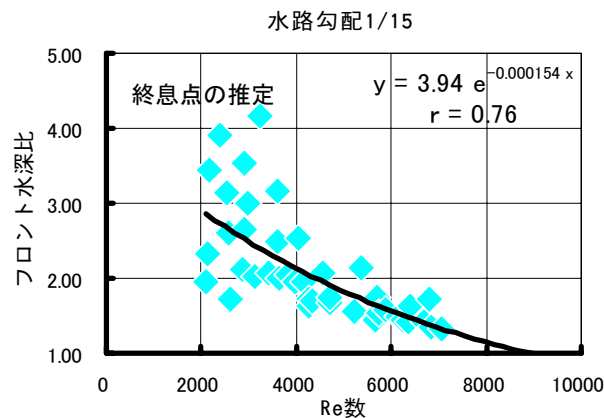


図-2 レイノルズ数と転波列フロント水深比

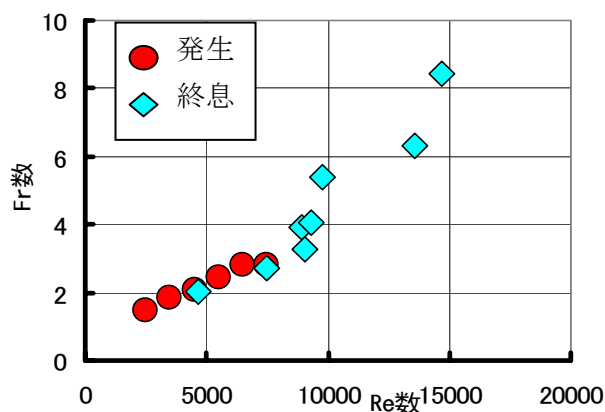
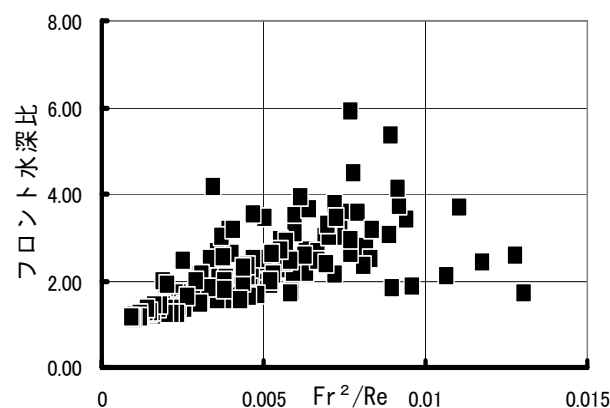


図-3 転波列存在境界の Re 数と Fr 数

図-4 転波列フロント水深比と Fr^2/Re

図から、発生に関わる条件と終息に関わる条件が同じであることが分かる。また、Re 数の増大とともに、Fr 数が 1.5 から 8 程度に変化しながら転波列が発生・終息していることが判る。転波列の発生・終息は、Re 数に応じて変化するのである。つまり、転波列の存在は言わば Fr 数と Re 数のせめぎ合いの中で起こることが推察される。そして、この図の各点の Fr 数より大きな Fr 数の所で転波列が存在している。

6. 転波列フロント前後の水深比について

以上のように、転波列の存在には、Fr 数と Re 数が関与していることから、重力と粘性力が深く関わっていることが推察される。そこで、ここでは Fr^2/Re 比（粘性力と重力比と言え）と転波列フロント水深比の関係を図-4 に示した。ばらつきはあるものの横軸（いわば粘性力/重力）の増大に応じて水深比も増大していることが見て取れる。重力場の中で、粘性力に関する力の増大に伴い、転波列フロント水深比を増大させて流下していく転波列流れの現象の一端が示されているものと考えられる。

7. 結論

本研究では、転波列フロント前後の水深比を用いて、その発生と終息について実験的に検討した。その結果、(1) 転波列の発生と終息条件は重なっており、存在条件は同じであることが実験的に示された。(2) 転波列の存在境界点は、Fr 数と Re 数で示されること、つまり粘性力と重力が深く関わっていることが判った。(3) 転波列のフロント前後の水深比は、言わば粘性力と重力の比に応じて、転波列フロント前後の水深比を変化させて形成されることが推察された。今後さらに定性的・定量的な結果を得たいと考えている。

参考文献

- 1) 岩垣・岩佐：“転波列の水理学的特性について 一薄層流に関する研究，第7報一”，土木学会誌，第40巻，第1号，pp.5-12. 1955.
- 2) 滝野・宮島：“転波列流れの波高特性に関する実験的検討”，平成19年度関西支部年講，2007.5.