

大阪産業大学工学部 正 員 ○宮島 昌弘
大阪産業大学大学院 学生員 奥田 香奈恵

1. はじめに

筆者らのこれまでの実験結果から¹⁾, 急勾配水路を流下する転波列を伴う流れについての特徴の一つは, 水深が非常に小さくて, 平均的な速度勾配の非常に大きい流れであると考えられる。これは転波列流れに関して, 流体力学的あるいは防災や環境工学的な観点から, 流水そのものの流下や土砂の侵食・輸送などの機構を認識する上での基礎的な知見として重要であると考えられる。本研究では転波列流れに関して, 特に流れの抵抗について実験的な結果から考察を試みる。そこには転波列流れの特徴が具体的に現れてきていると考えるからである。

2. 実験方法と条件範囲

実験は, 長さ 5 m, 水路幅 B が 20 cm のアクリル性可変勾配水路を用いて行い, 水路上流端より 3.9 m 下流付近を測定地点とした。河床面は粗面とし, $D_{84}=1.9\text{mm}$ のものを比較的密に貼り付け, この 1/4 下方を仮想河床面とした。計測にはレザードップラ-流速計と超音波水位計を用いている。実験条件と範囲はほぼ表-1 に示すものを中心に定常流 ($s=1/50\sim 1/200$)・滑面・粗面の実験を追加した。 $Fr=U/\sqrt{gh_m}$, g : 重力加速度, $U=Q/(Bh_m)$, B : 水路幅, Q : 流量, h_m : 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_m (mm)	フルード数 Fr	水路の粗度
1	1/5.97	2.5	6.5	滑面
2	1/5.97	3.5	7.2	滑面
3	1/5.97	4.4	7.6	滑面
4	1/8.25	3.1	6.0	滑面
5	1/8.25	4.2	6.5	滑面
6	1/8.25	4.7	6.7	滑面
7	1/12.7	4.0	4.6	滑面
8	1/12.7	4.7	4.7	滑面
9	1/12.7	5.1	5.2	滑面
10	1/5.86	4.8	2.8	粗面
11	1/5.86	5.6	3.1	粗面
12	1/5.86	6.1	3.4	粗面
13	1/5.86	6.9	3.7	粗面
14	1/7.67	4.9	3.2	粗面
15	1/7.67	5.4	3.4	粗面
16	1/7.67	6.1	3.3	粗面
17	1/7.67	6.9	3.6	粗面
18	1/9.79	6.8	2.3	粗面
19	1/9.79	7.6	2.6	粗面
20	1/9.79	8.8	2.6	粗面
21	1/5.90	2.9	5.6	粗面
22	1/5.90	4.1	4.6	粗面
23	1/5.90	5.3	3.9	粗面
24	1/5.90	6.7	3.5	粗面
25	1/6.90	4.8	5.0	粗面
26	1/6.90	5.6	4.8	粗面

3. 実験結果と考察

3.1 定常流の粗度係数

転波列流れは, 急勾配水路上を非常に浅い水深で流れている。そこでこの浅い水深でのマンニングの粗度係数の挙動を定常流で確認しておくことにする。ここでの整理には, 以下の式を用いた。

$$Q = B h_m U \quad \text{----- (1)}$$

$$U = 1/n \cdot h_m^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad \text{----- (2)}$$

一般に水深の浅い流れの粗度係数は, 粗度だけでなく水深あるいは径深の影響を強く受けられている。そこで図-1 に実験に使用した水路の定常流に関する粗度係数と水深/粗度 ($ks=D_{84}$) の関係を示した。横軸の相対水深の減少に伴い粗度係数が増大していく傾向が明確に現れている。このためこの水路における比較的浅い水深での相対水深とマンニングの粗度係数の傾向をとりあえず一次の直線的な傾向として, (3) 式を設定する。

$$n = 0.0200 - 0.000317 (h_m/ks) \quad \text{----- (3)}$$

3.2 転波列の粗度係数

転波列を伴う流れは, 波動というよりフルード数が多いことから, 流れが卓越していること, そして先に述べたように水深が非常に小さいことから, 前節 3.1 と同様に, 転波列におけるマンニングの粗度係数と相対水深の関係を示したのが図-2 である。ここでは, 相当ばらつきはあるも

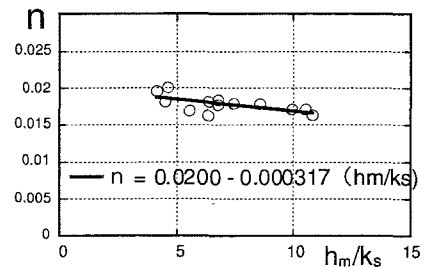


図-1 定常流の相対水深と粗度係数

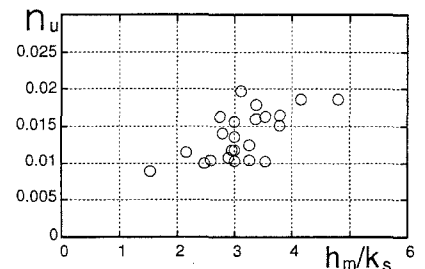


図-2 転波列の粗度係数

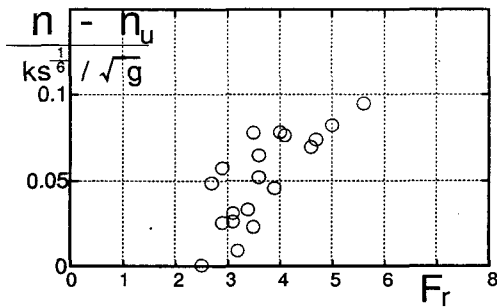


図-3 粗度係数差とフルード数

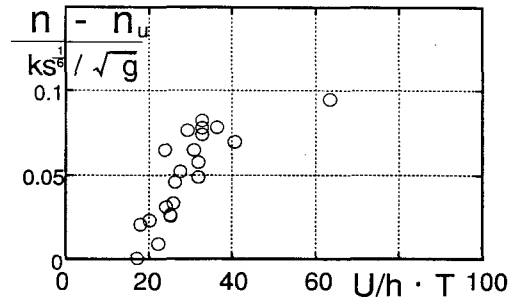


図-4 無次元速度勾配と粗度係数差

の、定常流の結果とは異なり、相対水深の減少に伴い、粗度係数の明確な減少傾向が示されている。これはつまり転波列の存在による抵抗の減少を意味していると考えられる。

3.3 転波列の抵抗特性 こうした関係から、定常流で得られたマンギングの粗度係数、(3) 式で求められる n 、と転波列流れにおける平均水深から求められる粗度係数 n_u 、との差に注目する。この差が転波列の存在によるものとする、転波列流れを特徴づける水理量と深く結びついているはずである。そこでまず、転波列流れが大きなフルード数をもつ流れであることから、この Fr と粗度係数の差を示したのが図-3 である。フルード数の増大に伴い粗度係数の差も増大していくことが窺える。図-3 からは、 Fr がほぼ2を越えると見かけの流れの抵抗が軽減されていき、 Fr の増大とともに粗度係数差も増大している。つまりどんどん n_u で表される粗度係数が減少していく傾向が読みとれる。さらに転波列流れにおいては、平均的な速度勾配が重要な特徴であることは冒頭でも述べたが、この速度勾配を転波列の周期で無次元化した無次元速度勾配を設定し、これと粗度係数の差の関係を示したのが、図-4 である。ここでは、転波列を特徴づけると考えられる無次元速度勾配の増大に伴い、粗度係数差の曲線的傾向と言ったものが比較的明瞭に示されていると考えられる。そして次にこの無次元速度勾配と転波列フロントでの水深比との関係を示したのが図-5 である。ここでは、平均速度勾配と転波列の周期と転波列フロントとの関係の一端が示されているように思われるが、これについてはもう少し検討する必要があるものと考えられる。

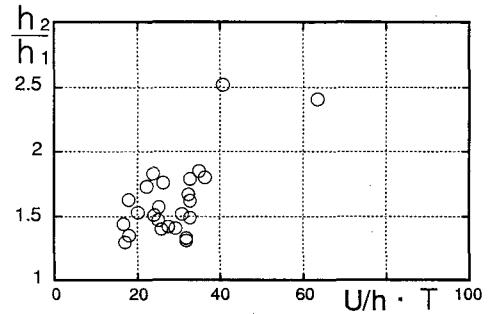


図-5 転波列フロント水深比と無次元速度勾配

3.4 転波列の特性 以上転波列の無次元速度勾配と抵抗との関わりについて検討してきたが、ここであらためて転波列の特徴を滑面も含めた形で Fr 数で整理してみる。図-6 がこれである。これは転波列の平均的な流れ場は、その大きな Fr 数と無次元速度勾配によって記述されうること示唆しているものと考えられる。

4. 結語

転波列流れを特徴づけるものとして、流れの抵抗状態から Fr 数、無次元速度勾配および転波列フロント水深比について検討した。そしてこれらが転波列流れをよく表現しうる水理量であることが示されたと考える。

(参考文献)

- 1) 宮島：“転波列流れの特性に関する実験的検討”，第2回環境流体シンポジウム講演論文集，日本流体力学会，pp.445-446，1997。

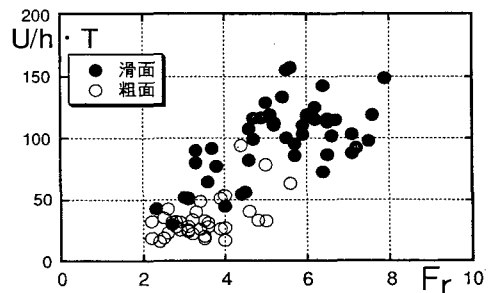


図-6 フルード数と無次元速度勾配