

II-109

転波列流れの底面せん断応力特性に関する実験的考察

大阪産業大学工学部 正 員 宮島 昌弘
大阪大学大学院 フェロ-会員 村岡 浩爾
大阪産業大学工学部 フェロ-会員 榎木 亨

1. はじめに

転波列流れの特性を把握することは、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浸食・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、特に流れの底面せん断力の挙動について、実験結果からの考察を試みる。転波列流れは、波動というより流速場が卓越していると考えられることから¹⁾、まず水深と底面のせん断応力の関係を確認し、転波列流れの特徴を明瞭にしたい。

2. 実験方法と条件範囲

表一 実験条件

実験は、長さ5m、水路幅Bが20cmの亚克力性可変勾配水路を用いて行い、水路上流端より3.9m下流の水路中央部を測定地点とした。河床面は滑面とし、超音波水位計とせん断力計を用いている。実験条件範囲は、表-1に示すものおよび等流条件($s=1/50-1/300$)の実験を行い、せん断力計の確認を行った。用いたセンサーの最大計測範囲は、0.1gf (0.98mN)程度で、受感部の大きさは、直径1cmの円形である。

実験 Run No.	水路勾配 S	平均水深 h(mm)	フルード数 Fr
1	1/29.9	5.0	2.6
2	1/18.7	3.3	5.5
3	1/18.7	6.6	4.3
4	1/9.85	4.3	6.0
5	1/9.85	3.2	4.2
6	1/7.28	3.1	6.1
7	1/7.28	4.3	5.5

ここに、 $Fr=U/\sqrt{gh_m}$ 、 g :重力加速度、 $U=Q/(Bh_m)$ 、 B :水路幅、 Q :流量、 h_m :平均水深。

3. 底面せん断応力

3.1 等流の底面せん断応力

一般に幅の広い水路の等流における底面せん断応力は、式(1)で示される。

$$\tau = \rho g h S \quad \text{----- (1)}$$

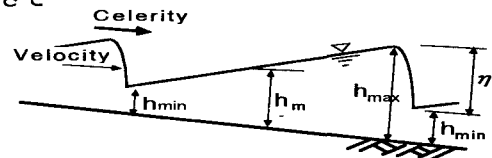
ここに、 ρ :流体の密度、 g :重力加速度、 h :水深、 S :水路勾配

種々検討した結果、本実験に用いたせん断力計のばらつきは、具体的に最大0.005gf/cm² (0.49N/m²)程度の誤差を見積もらなければならないと推察されるが、²⁾ 本文では、ここで得られた式(2)を用いて転波列流れのせん断応力を見積もることとする。

$$\tau(\text{obs}) = 0.977 \tau_1 + 0.000789 \quad \begin{matrix} (\text{gf/cm}^2) & \text{-----} & (2) \\ (\tau_1: \text{計測値}) & & (1\text{gf/cm}^2 = 98\text{N/m}^2) \end{matrix}$$

3.2 転波列流れにおける底面せん断応力の大きさ

転波列を伴う流れは、波動というよりフルード数が大きいことから、流れが卓越していること、そして水深が非常に小さいことが特徴である。そこでまずこの転波列流れの底面せん断力の平均的な大きさについて確認する意味で、図-1の諸元を用いて、流れの計測平均せん断力と等流の考え方を準用した

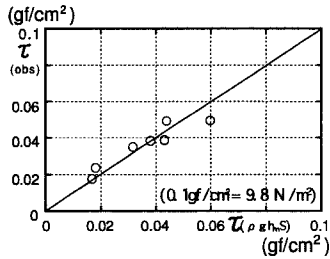


図一 転波列の諸元

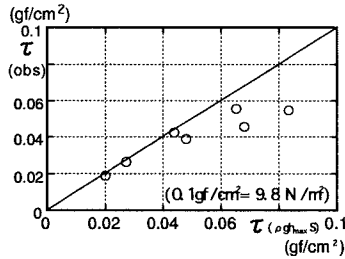
平均水深から得られる(1)式との関係を示したのが、図-2である。平均的な計測せん断応力 $\tau(\text{obs})$ のオーダーが、ほぼ等流扱いしたせん断応力と一致していることが示されている。これは、間接的に転波列流れの平均的な流れ場が、開水路等流と同様の扱いが可能であることを示唆しているものと考えら

急勾配水路、薄層流、転波列、せん断力

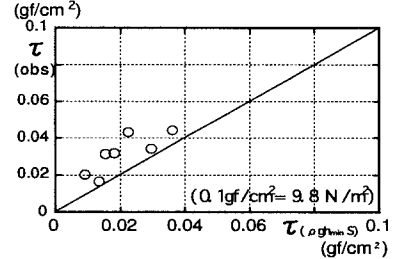
〒574-8530 大阪府大東市中垣内3-1-1 TEL: 0720-75-3001, FAX: 0720-75-5044



図－2 平均せん断力について



図－3 最大せん断力について



図－4 最小せん断力について

れる。次に図－3には、同様に、最大水深に対応すると考えられる最大せん断応力の実測値と（1）式の結果を示している。ここでは、実測されたせん断応力が、（1）式から得られる結果より小さい傾向が示され、せん断応力の増大に伴い、ほぼ20%程度減少している。また、最小水深に対応すると考えられる最小せん断力について示したのが、図－4である。ここでは、逆に、（1）式で得られる結果より、実測値が相当大きな値、ほぼ50%から2倍程度も大きな値を示している。これは、フロントの最大水深部では、フロント前後の流速差、砕波等のため非常に複雑な流れの様相を示していることが理由として推察される。一方最小水深部では、最大水深部で出現している大きな流速場の影響を受けて、この流れ場が加速させられている（引っ張られている）ためであると推測される。

4. 水深とせん断応力の相関係数

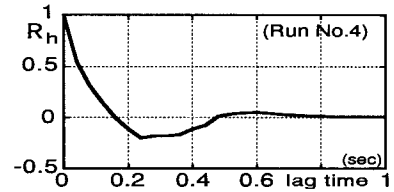
ここでは、水深変動の自己相関係数を図－5に示し、続いて底面せん断応力の自己相関係数を図－6に、水深と底面せん断応力の相互相関係数を図－7に、Run No.4の場合について示す。ここでのサンプリングタイムは、水深変化と底面せん断力の概略の傾向を知るために、0.02秒、サンプリング数を256個とした。まず図－5の水深については、ラグタイム0.3秒程度でマイナスのピークそして0.6秒でプラス側のピークが出ている。次の図－6のせん断応力の自己相関係数についても、水深と同様の傾向とパターン結果が示されている。そして、図－7の水深と底面せん断応力の相互相関係数からは、水深の変動に応じて、約0.08秒程度遅れて底面せん断応力が出現していることが示され、あとは水深や底面せん断力と同様のパターンが示されている。

5. 転波列流れの底面せん断応力の特性

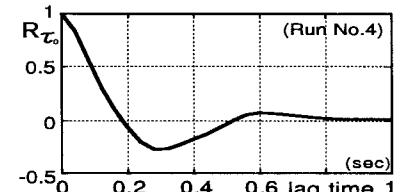
本文では、転波列流れの底面せん断応力の大きさおよび転波列の水深変動と底面せん断応力の関係について検討した。その結果、転波列流れの平均的な底面せん断応力は、開水路等流を考えた場合と大きさがほぼ一致するが、最大水深部と最小水深部では様相が異なる。これは転波列流れを考える場合、少なくとも1波長を1つの単位として考える必要があることを示唆しているものと考えられる。また周期的な水深変動と底面せん断応力との強い関係が示された。今後もう少し詳細な検討を進めたい。

（参考文献）

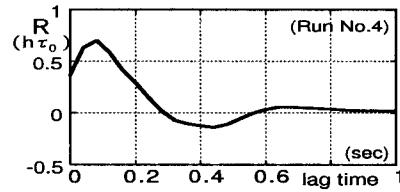
- 1) 室田, 宮島: 超高速流の内部構造に関する実験的研究, 水工学論文集, 第39巻, 1995.
- 2) 宮島: 転波列流れの底面せん断力に関する実験的考察, 土木学会関西支部年講, 1999. 5月, 印刷中



図－5 転波列水深の自己相関係数



図－6 底面せん断力の自己相関係数



図－7 転波列水深と底面せん断力の相互相関係数