

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、特に流れの底面せん断力の挙動についての実験的な結果から考察を試みる。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⁾、底面のせん断力には、転波列流れの特徴が比較的明瞭に現れて来るものと考えられる。

2. 実験方法と条件範囲

実験は、長さ5m、水路幅Bが20cmの亚克力性可変勾配勾配水路を用いて行い、水路上流端より3.9m下流付近の水路中央部を測定地点とした。河床面は滑面とし、計測には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に示すものとした。また等流($s=1/50-1/300$)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程度で、受感部の大きさは、直径1cmの円形である。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 :平均水深である。

表-1 実験条件

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

3. 底面せん断力についての検討

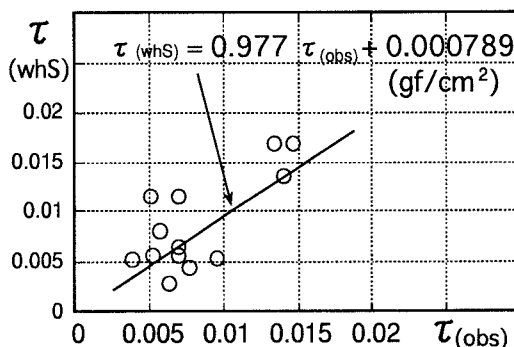
3.1 等流の底面せん断力

一般に幅の広い水路の等流における底面せん断力は、式(1)で示されるが、ここでは、この式と種々の等流実験条件において計測した底面せん断力計からの実験値との確認結果を、図-1に示す。

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

ここに、 w :単位体積重量、 h :水深、 S :水路勾配

図-1は、横軸に実験測定せん断力 $\tau(\text{obs})$ を、縦軸に式(1)の結果を示した。いくつかの予備実験からは、非常に線形性の良い安定した結果を得ているのであるが、図-1で示された結果は、かなりばらつきが見られる、これは実験の初期設定にもう少し検討の余地があることを示している。具体的には最大0.005gf/cm²程度の誤差を見積もらなければならないことを示している。本文では、ここから得られた式(2)を用いて転波列流れのせん断力を見積もることとする。

図-1 底面せん断力の計測値と計算値 (gf/cm²)

$$\tau(\text{whS}) = 0.977 \tau(\text{obs}) + 0.000789 \quad (\text{gf/cm}^2) \quad \text{----- (2)}$$

3.2 転波列流れにおける底面せん断力

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、流れの計測平均せん断力と、疑似等流的な考え方をを用いて、平均水深から得られる($\tau = \rho g h_m S$)との関係を示したのが、図-2である。平均的な計測 τ (obs) のオーダーが、ほぼ疑似等流扱いしたせん断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れる。

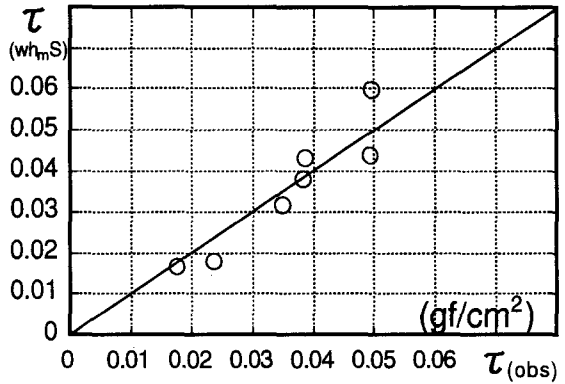


図-2 平均 τ ($\rho g h_m S$) と平均せん断力 τ (obs)

4. 転波列流れの水深とせん断力の相関係数

転波列流れを特徴づける水理量として変動する水深が上げられる。ここではまず Run No.6 について、水深変動の自己相関係数 (図-3) を示し、続いて底面せん断力の自己相関係数 (図-4)、そして水深と底面せん断力の相互相関係数 (図-5) をそれぞれ示す。ここでのサンプリングtimeは、やや粗く、0.02秒、サンプリング数も256個としたため、詳細な議論はできないが、傾向とパターンについては、概略について知見が得られるものとして議論を進める。まず図-3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-4のせん断力の自己相関係数についても、水深と同様の結果が示されているように思われる。そして、図-5の水深と底面せん断力の相互相関係数からは、水深の変動に比べ、約0.06秒程度遅れて底面せん断力の記録が出現していることが示され、あとは、前と同様のパターンが示されている。

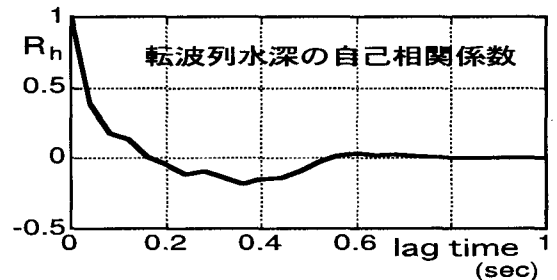


図-3 転波列水深の自己相関係数

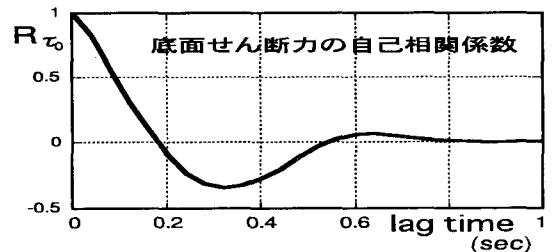


図-4 底面せん断力の自己相関係数

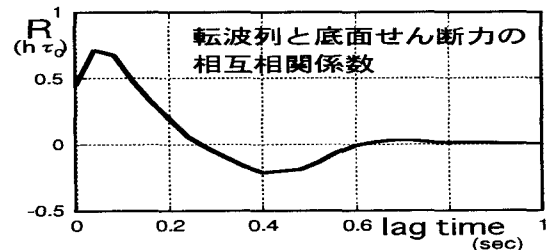


図-5 転波列水深と底面せん断力の相互相関係数

5. 転波列流れの底面せん断力の特性

本文では、転波列流れの底面せん断力の平均的な大きさ、転波列の水深変動と底面せん断力の関係について若干検討した。その結果、転波列流れの平均的な底面せん断力は、開水路流れの疑似的な等流を考えた場合と大きさがほぼ一致すること、転波列の周期的な水深変動と底面せん断力とがある時間遅れで、強い関係を持っていること (水深と底面せん断力の強い関係) が推察された。今後もう少し詳細な検討を進めたい。尚、実験には大阪産業大学工学研究室内の鈴木崇之、増田和秀、森新治君の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

(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。