

1. まえがき

非定常な流れの場における掃流現象については、現象が複雑なだけに理論的にも実験的にも困難とならざるを得ないが、最近この分野において研究が進んできている。例えば、Jonsson & Carlsson¹⁾は振動乱流境界層について河床粗度を変えて実験を行ない、せん断応力やエネルギー損失について考察している。又中村、白石ら²⁾によって波と流れの共存する河口付近での滞砂現象について実験及び解析が行われている。本論文は非定常な流れの河床付近の乱れが掃流力や流量に影響するものと考え、これらの基礎的な実験として負段波による流れを水路に起こし、河床粗度を変えて実験を行い流速分布や乱れ強度及び水面勾配などの水理量から流れを解明し、かつ流速の鉛直分布から河床に働くせん断応力を推定し流れの特性を明らかにすることを目的とする。

2. 実験方法

実験に使用した水路は図-1に示すように、幅60cm、深さ50cm、長さ17.5mの矩形断面水路である。流速及び乱れ強度の測定には一定温度法によるHot-film流速計を用い、出力電圧(E)と流速(U)の関係を直線化装置(リニアライザ)によって直線化させると共に、乱れ強度($\sqrt{u'}/U$)は $\Delta E_{rms}/E$ の値を求めた。(E:リニアライザユニット出力, ΔE_{rms} :ΔUメーターの実効値電圧)

プローブは1212型60Wの円筒形センサープローブを使用した。又流速の検定には静水中を等速度で移動するモノレールによって行なっている。次に負段波の発生は、まず水路下流端にあるせき板をある高さ(80, 85, 90cm)に設置し、その上に固定盤を置いて流体をある水深(20, 30cm)に保ち、静水時を待って下のせき板を瞬時に落下させて生じさせる。河床粗度は滑面(水路にペンキを塗ったもの)、粗面(砂: $k_s=0.08$ cm, 軽量人工骨材(トレウス): $k_s=0.34$ cmを水路上に張り付けしたもの)の3種類に変えて行なっている。水位変化を測定する波高計は $h=30$ cmで流速計の位置より48cm、 $h=20$ cmで56cm下流側に

ずらして測定し、特性曲線法によって流速測定位置の水位を求めている。又データ解析上、波高計のデータにおいて水位が下がり始める点を基準($t=0$)としてまとめている。測定条件と測定番号は表-1にまとめている。

3. 実験結果及び考察

1) 鉛直流速分布の時間的な変化

滑面の場合、 $U_{\infty} = \sqrt{2(\Delta h/g)}_{y=0} = \sqrt{2 \cdot \Delta h/g}$ ($\Delta h=0.1$ cm, $\Delta U=U_{\infty}$) と仮定して $U(y)/U_{\infty} \sim \log U(y)/U_{\infty}$ の関係を示したものが図-2であり、図中の実線は河床から0.1cmまでは(1)式、それ以上では(2)式を示している。

$$U(y)/U_{\infty} = U(y)/U_{\infty} \quad \text{----- (1)} \quad , \quad U(y)/U_{\infty} = 5.75 \log U(y)/U_{\infty} + 5.5 \quad \text{----- (2)}$$

粗面の場合は(3)式に従うものとして U_{∞} を求め、 $U(y)/U_{\infty} \sim \log y/k_s$ の関係を示したものが図-3である。

$$U(y)/U_{\infty} = 1/K \cdot \ln y/k_s \div 2.5 \ln y/k_s \quad \text{----- (3)}$$

(y : 理論的な河床面からの高さで今回は粗面頂上より220 k_s 下がったところとした、 y_0 : $U(y)=0$ となる高さ($=k_s/30.2$), K : カルマン定数(≈ 0.4)) 図中の実線は(4)式である。

$$U(y)/U_{\infty} = 5.75 \log y/k_s + 8.5 \quad \text{----- (4)}$$

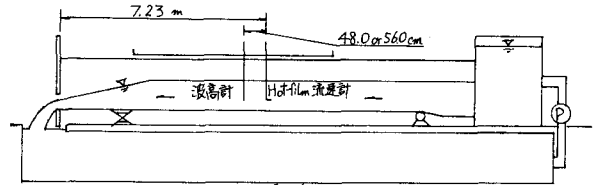


図-1. 実験水路

表-1. 測定条件と測定番号

		水深		30.0(cm)	20.0(cm)
		せき板高	8.5(cm)	9.0(cm)	8.0(cm)
河床	砂面	RUN NO.2	RUN NO.8	RUN NO.5	
	トラツス面	RUN NO.14	RUN NO.9	RUN NO.10	
	滑面	RUN NO.11	RUN NO.13	RUN NO.12	

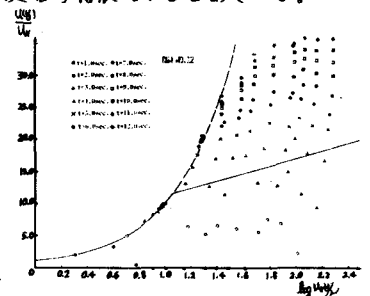


図-2 滑面(RUN NO.12)の流速分布

これらの実験結果から、負段波による流れは振動流のような流速分布と類似し、時間の経過とともに河床近傍で流速の最大値をもつ流速分布形が生じ、次第にこの最大流速位置が鉛直上方へ移行すると共に粗面の場合は河床からの乱れによって定常流下の対数分布公式に接近し、これより上層では流速はほぼ一定となる。

次に図-4は $u(u)/u_* \sim \eta (= \delta/\sqrt{u_*})$ の関係を示したものである。

ここで δ は $dy/dy \neq 0$ となる境界層厚とする。この図より河床粗度によってかなり傾向が異なっていることがわかる。つまり滑面では時間の経過とともに $u(u)/u_*$ の値は増加するが、境界層があるり発達しないので η の変化は小さいのとは比べ、粗面では境界層の発達により両者とも増加の傾向を示している。

2) 乱れ強度 ($\sqrt{u'u'}/U = \Delta E_{rms}/E$) の時間的変化

図-5はトレーク面上での流速分布と乱れ強度分布を示したものであるが、乱れ強度は河床近傍のごく薄い層を除いてほぼ直線的に鉛直上方へいくにつれて減少し、最大流速位置付近で0となりまた増加している。この増加の原因は、今回使用したプローブは流速変動分のみ方向性がわからず、絶対値としてだけ測定された値が求められないためである。これに符号をつけて負の値に置き換えるとほぼ直線的になり、今後により求められた平均流速分布とレイノルズ応力分布の傾向と一致する。又、特にトレーク上面の場合、河床近傍で乱れ強度がほぼ一定した層が存在している。これは河床からの乱れによって形成された乱流境界層と考える。

3) 河床せん断応力の時間的変化

$u_* = \sqrt{\tau_0/\rho}$ から $\tau_0/\rho \sim t$ の関係を示したものが図-6、図-7である。

図-6は $h=30\text{ cm}$ で下流の固定盤からの反射波がある場合であり、図-7はない場合であるが、 $h=30\text{ cm}$ の場合水面勾配が0となる $t=6.0\text{ sec}$ 付近でせん断応力はほぼ最大となり、かつ水位や流速の時間的な変動に対応して変化している。 $h=20\text{ cm}$ の場合は水面勾配が0となる時刻が存在しないために増加の傾向を示した。

これらの結果から、水面変動や水面勾配の変化が直接河床せん断応力に影響することになった。

4. 結論

本論文は水路に負段波による流れを起し、その流速分布、乱れ強度を測定しかつ河床に働くせん断応力を推定したものであるが、この結果鉛直流速分布は河床付近に最大値をもつ分布を示し、かつ河床近傍で時間の経過と共に対数分布公式に粗面の場合は接近することになった。又乱れ強度は鉛直上方にはほぼ直線的に減少し、河床のせん断応力は水面変動に影響される結果を得た。今後はさらに理論的な考察を進めると共に移動床において掃流砂量との関係も求めて行きたい。

参考文献

- Jonsson and Carlsson: Experimental and theoretical investigations in an oscillatory turbulent boundary layer, Journal of Hydraulic Research, 1976
- 中村充, 白石英彦ら: 波を伴う掃砂現象について, 第14回水理講演会講演集, 1970
- 今本博徳ら: 開水路流れにおける乱れの多重構造性について, 土木学会第31回年講(第2部), 1976

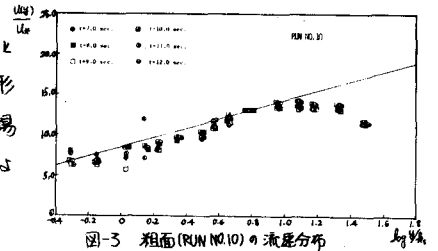


図-3 粗面(RUN NO.10)の流速分布

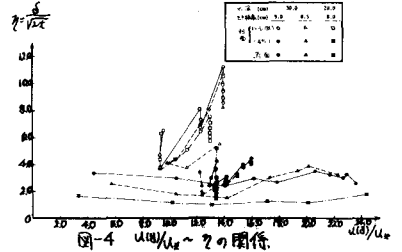


図-4 $u(u)/u_* \sim \eta$ の関係

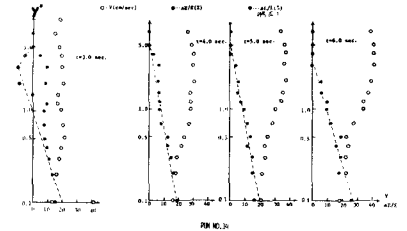


図-5 乱れ強度 ($\Delta E_rms/E$) の分布

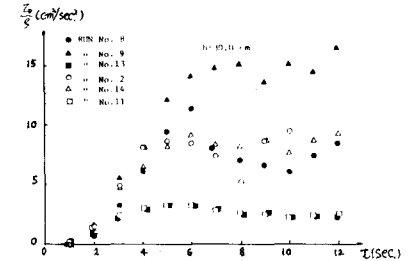


図-6 $\tau_0/\rho \sim t$ の関係 ($h=30\text{ cm}$)

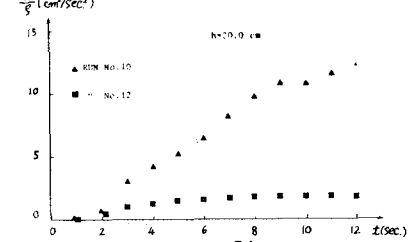


図-7 $\tau_0/\rho \sim t$ の関係 ($h=20\text{ cm}$)