

II-207

非定常開水路流の乱流構造

群馬大学大学院 学生員 湯下 孝司

群馬大学工学部 正 員 富永 晃宏

群馬大学工学部 正 員 小葉竹重機

1. まえがき 洪水流のピークが比較的急激に現われる非定常性の強い流れ場では、洪水流の乱流構造に及ぼす非定常性の影響を明らかにする必要が生じてくると考えられる。辻本らは、非定常流れのもとで掃流砂量の時間的位相のずれや増幅作用があることを示唆している¹⁾。著者らは昨年非定常流れの乱流計測を行ったが²⁾、本研究では、非定常波形を修正し、レーザ・ドップラー流速計を用いて、より高精度の実験を行い、非定常流の乱流構造を明らかにしたものである。

2) 実験装置およびデータ解析 実験水路は長さ 12m、幅 30cm の塩ビ製水路でこの上流端に非定常流発生用の水槽を設置しバルブを急激に解放することで、非定常流を発生させた。流速計は、ファイバー・レーザ・ドップラー流速計を用い、下流端より4.3mの地点で、水路中央部を計測した。今回、レーザ流速計を用いたことで、定常時水深より上の部分の計測も可能になった。また、この地点と上流 1.0m の位置及び下流端の三角堰にサーボ式水位計を設置した。実験条件は勾配の異なるものを、表1のような条件で設定した。データは、サンプリング周波数 100Hz でAD変換し80秒で8000個のデータを得て、パーソナルコンピュータで統計処理を行った。より高い精度の実験データを得るためCASE 2において、計測点一点につき3回非定常流を流し平均をとった。乱れ変動成分は5秒間の移動平均値を瞬間値から引くことにより分離した。また時系列は、水位の立ち上がり時間を揃えて整理した。表1 実験条件

3) 平均流速分布特性 平均流速は立ち上がり点より前5秒間の区間平均値を定常時とし、その点から5秒間隔ごとを非定常時として、区間平均値の時間的変化を検討した。図1は、その片対数プロットであり、図中の直線は対数則を示している。非定常時には、比較のため定常時の対数則分布を示している。非定常時においても底面付近では直線に一致しほぼ対数則が成立しているといえる。また、外部領域では、禰津らの示したwake則³⁾が顕著に認められる。したがって摩擦速度は対数則から求められ、この水深との関係を示したのが図2である。これによると定常流を仮定した摩擦速度は直線分布を示すのに対し、非定常流では、増水期と減水期でループを描くことがわかる。ここで、非定常流の運動方程式から

$$U_*^2 = gh - gh(dh/dx) - h(\partial U / \partial t) - (h/2)(\partial U^2 / \partial x) \quad (1)$$

と表わすことができる。この式の各項の計算値と U_* の時間変化を比較したものが図3である。非定常効果をすべて無視した第一項は、対数則から求めた摩擦速度と時間的な“ずれ”がみられる。また水面勾配を考慮した式からは、増水期において過大評価、減水期において過小評価となる。加速度項も考慮すると実測値とよく一致する。

4) 乱れ特性 図4・5 は u' 、 v' の各時

	CASE 1	CASE 2
河床勾配	1/250	1/500
基底流量	3569 cm ³ /s	4141 cm ³ /s
ピーク流量	6004 cm ³ /s	6870 cm ³ /s
断面平均流速	50.52 cm/s	43.27 cm/s
レイノルズ数	8772	9714
フルード数	1.052	0.774
摩擦速度	2.889	2.338

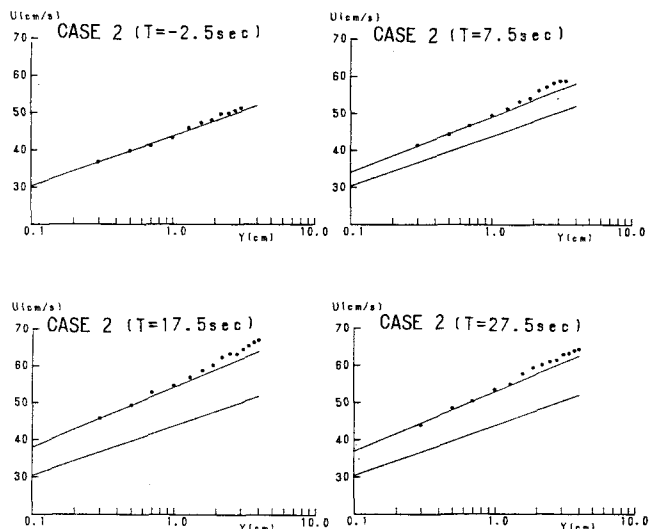


図1 非定常時の流速分布(片対数プロット)

間における鉛直分布を示したもので、横軸を y/h としている。定常時において瀬津の普遍分布式³⁾ $u'/U_* = 2.26\exp(-0.88*y/h)$, $v'/U_* = 1.23\exp(-0.67*y/h)$ にほぼ従っている。図中の点線は定常時の分布式を実線は非定常時の対数則から求めた U_* と h の時間変化を考慮した分布を示している。 v' において、ピーク付近の水面近傍で若干増加傾向を示すものの、全体的には非定常時においてもほぼこの分布式に一致する。同様に図6はレイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ の各時間における鉛直分布を示す。図中の点線は理論式 $-\overline{u'v'} = U_*^2(1-y/h)$ であり、定常時では若干小さいが、ほぼこれに近い分布を示している。実線は非定常時の U_* を用いた分布を示すが、非定常流においてもほぼ適用できる。したがって非定常流れにおける流れ場の乱れ強度・レイノルズ応力は U_* と y/h に関係付けられる二次元定常流の普遍分布式・理論式によって表わされる。

5)あとがき 非定常開水路流の乱流構造を検討した結果、非定常流においても対数則が成立すること、非定常流においては、非定常効果を無視し定常流を仮定した摩擦速度と、対数則から得られる摩擦速度とでは時間的に位相のずれが生じていること、また、乱れ特性は非定常効果を考慮した U_* によって、乱れの普遍性が保たれていることがわかった。（参考文献）1)辻本・グラフ：第32回水理講演会、1988、2)富永・小葉竹・山形：第43回年講、1988、3)Nezu & Rodi: J. hydraulic. Eng., ASCE, vol. 122, 1986

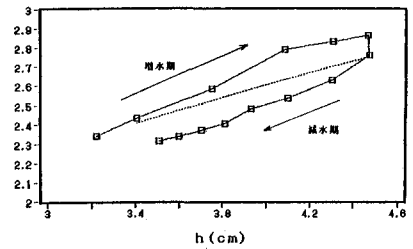


図2 摩擦速度と水深の関係

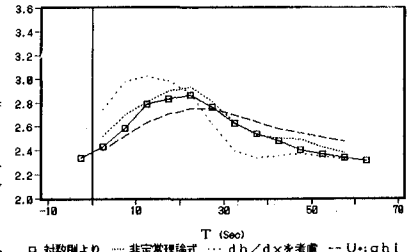


図3 運動方程式に基づく摩擦速度の構造

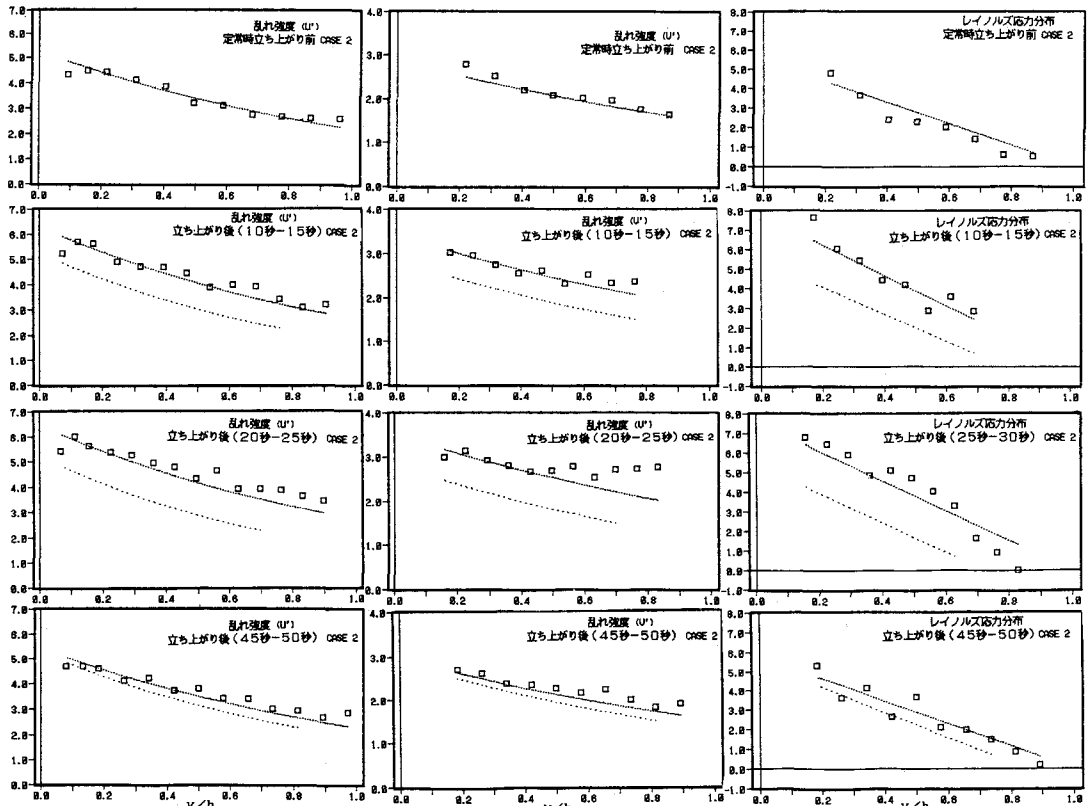

図4 乱れ強度 u' の鉛直分布の時間的変化

図5 乱れ強度 v' の鉛直分布の時間的変化

図6 レイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ の鉛直分布の時間的変化