

## II-197

## 開水路河床波上の乱れとせん断応力分布特性

京都大学大学院 学生員○倉田昌明  
京都大学工学部 正 員 橋津家久

1. はじめに 河床波背後に発生する剥離流やステップ流などにおいては、急激な境界の変化を持つ不連続点上で圧力勾配が最大となり、その乱れ強度やせん断応力などの乱れ特性値が等流状態のものとは異なる性質を示す。本研究は、ファイバー型レーザ流速計を用いた点計測を行うことによって、河床波開水路流れの乱流構造を解明するものである。

2. 実験方法および条件 河床形状には、実河川で典型的に見られる波高 $h_s$ に対する上流側水深 $h_u$ および波長 $L$ の比を選択し、 $L=40\text{cm}$ ,  $h_s=2\text{cm}$ ,  $h_u=8\text{cm}$ となる二次元状のdune波形を、また水理条件には流量 $Q=8.0\text{l/s}$ ,  $Re=20000$ ,  $Fr=0.28$ を採用した。実験では、河床波を一つのみ設置した場合(単一波)と水路上流端から複数設置した場合(連続波)の2種類の計測を行った。

3. 実験結果および考察 図-1は、河床波クレストからの水位の主流方向の変化 $\Delta h$ を示したものである。図中には、Nezu&Nakagawa(1987)<sup>1)</sup>によるステップ流のデータも併示した。単一河床波における水位は、クレスト直下流部では急激に減少するもの

の、すぐ上昇する傾向が見られ、ステップ流とほぼ同様な水位変化を示している。一方連続波の場合、いったん上昇した後に、 $x/h_s=5$ の再付着点を過ぎると減少する傾向があり、これらステップ流とは全く異なる性質を示している。これは、連続波ではクレスト直下で急激な減速の影響を受けて水位が急上昇するものの、それより下流部では前方の河床波によって緩やかな加速の影響を受け下降するものと考えられる。このような特性は、次式で示される動圧力分布 $\Delta P$ の変化においても顕著に観察され、図-2にこの動圧力の空間分布を示した。

$$\frac{P(y)}{\rho} = g \cdot \cos\theta(h-y) + \frac{\Delta P(y)}{\rho} \quad (1)$$

$$\frac{\Delta P(y)}{\rho} = \int_y^h \frac{\partial}{\partial x} (UV + \overline{uv}) dy + \left[ V^2 + \overline{v^2} \right] \quad (2)$$

動圧力 $\Delta P$ は静水圧分布からの差であり、式(2)に乱れの実測値を代入して計算された。図-2から単一波ではクレストから剥離した流れがそのまま噴流のように発達するステップ流的な

分布を示すのに対し、連続波では前方の河床波による緩やかな加速の影響により、図-1の水位の変化に対応して動圧力が正負の値をとることがわかる。このように、水面形あるいは動圧力の変化特性においても、単一波と連続波とでは大きな違いがあり、クレスト背後の剥離流と境界形状との相互作用が、乱流構造に与える影響の重要な要素であると考えられる。図-3に、主流方向の平均流速およびReynolds応力の流れ場全体の分布を示す。クレスト直下では比較的弱い逆流域が存在し、再付着点が存在することがわかる。また、これら

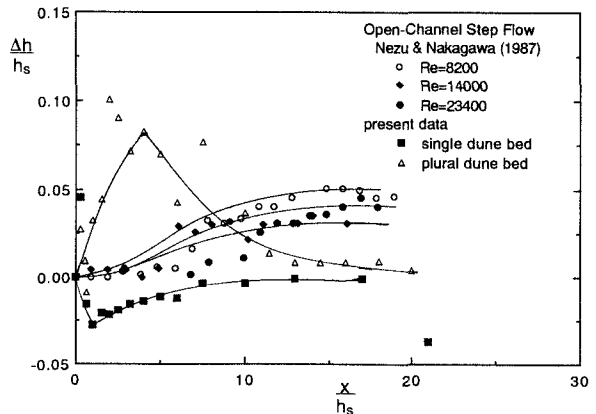


図-1 河床波クレストからの水深変化 $\Delta h$

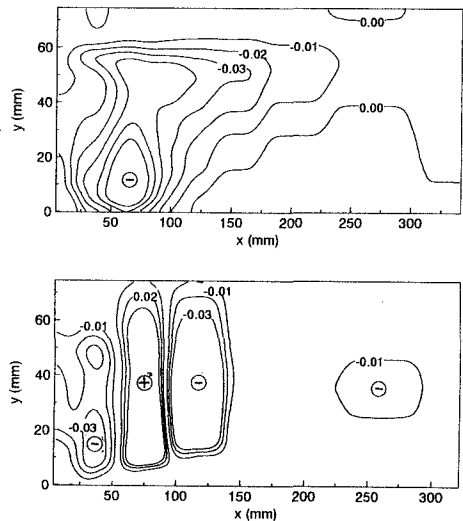


図-2 動圧力分布(上図:単一波,下図:連続波)

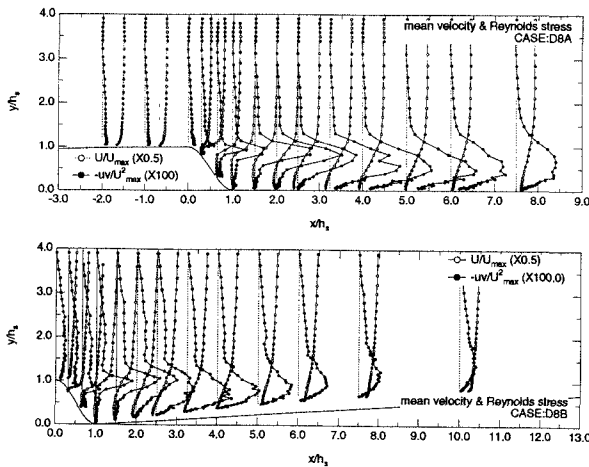


図-3 平均流速, Reynolds応力(上図:単一波, 下図:連続波)

二つの河床波上の流れにおける水理条件がほぼ同一であることを考慮すれば、単一波に比べ連続波のReynolds応力が前方の河床波による加速の効果によって小さくなるものと考えられる。図-4に、各計測点における全時系列内で、逆流した瞬間流速の占める割合を表す逆流率 $I_r$ の等値線を示す。再付着点は、順流および逆流の割合が等しい( $I_r=0.5$ )、すなわち平均流速がゼロとなる底面上の点と定義でき、単一波の方が再付着点距離が長くなることは図から明らかである。図-5は、Ludwig-Tillmannの実験公式より評価した底面せん断応力 $\tau$ を初期断面の値 $\tau_0$ で無次元化したものである。なお図中には、実験条件が河床波長 $L=1.6m$ 、波高 $hs=0.08m$ 、上流側水深 $hu=0.29m$ 、 $Re=90,000$ のJonesら(1993)<sup>2)</sup>の結果も併示した。連続波の場合には前方の河床形状の影響を受け、Jonesらの結果と同様に加速の効果によって底面せん断力が大きくなる傾向がある。また、乱れ発生率の分布を示したものが図-6である。この図においてもやはり、連続波の方が主流方向への発達が抑制された分布を示すことが確認でき、河床波によって生じる加速の効果が影響しているものと考えられる。以上を総合して、開水路河床波上流れの乱流構造は、主として剥離直後の河床形状に大きく影響されると結論づけられる。

4. おわりに 本研究では、単一波および連続波それぞれについてレーザ流速計を用いた点計測を行うことにより、異なった河床波上流れの時間平均的な乱流構造の相違について検討を行った。

参考文献 1) Nezu, I. & Nakagawa, H. (1987), Fluvial Hydraulics., 22nd Congress of IAHR, pp.219-220., 2) Jones, B. et al. (1993), J. Hydr. Res., vol.31, no.2, pp.215-228.

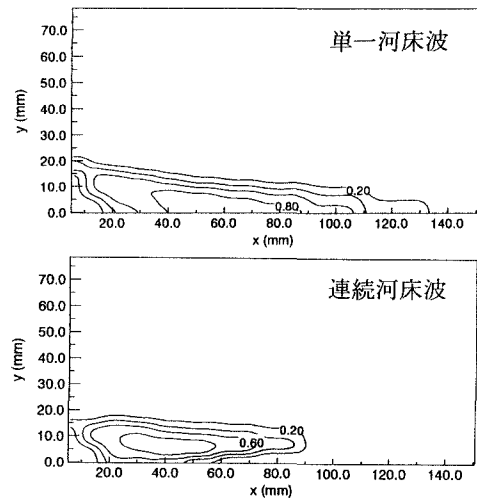


図-4 逆流率分布

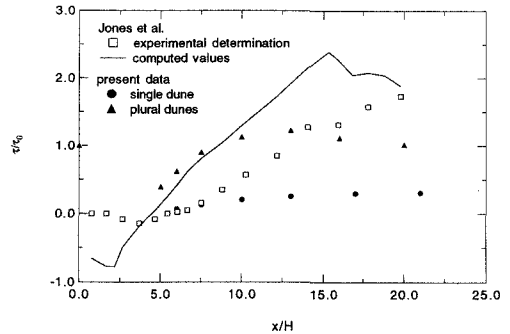


図-5 せん断応力分布

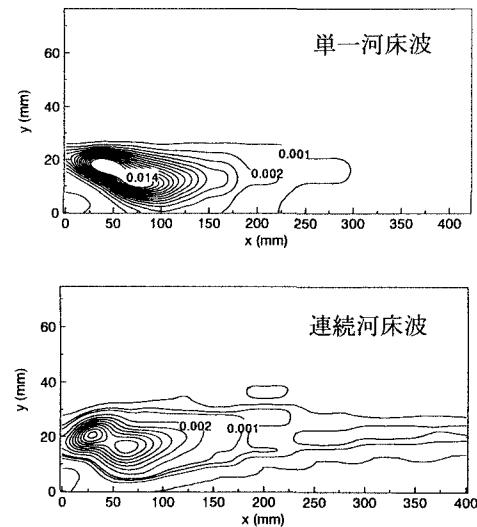


図-6 乱れ発生率