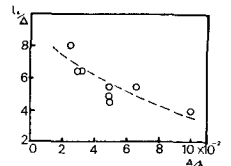


徳島大学工学部 正員 岡部 健士
奥村組土木興業K.K 正員 加藤 佳夫
徳島大学工学部 学生員 穴吹 一彦

1. まえがき 河床波の発生・発達機構、河床波上の流れの抵抗則ならびに河床波上の流砂量を定式化するためには、この種の流れに関するあらゆる水理特性を可能な限り解明・把握しなければならない¹⁾。本報告では、2次元河床波モデルによる実験資料に基づいた二、三の考察を述べる。

2. 実験概要 使用した水路は、徳島大学土木工学科水理実験室内に設置された長さ14.6 m、幅0.6 m、勾配 $\frac{1}{882}$ の木製水路である。ここに波長40 cm、波高2 cmの2次元三角河床波モデルを敷き並べ、波状路床を作り出した。そして、平均水深6.07 cm、平均流速32.91 cm/secの等流を作り出したのち、水面形、時間的平均流速、変動流速、および横断面内の2点における同時変動流速などを順次計測した(ピトー管使用)。

3. 流速分布について この種の流れでは、Crestの直下流に常にはく離渦(lee eddy)が現われ、摩擦面の長さを更砂面長より減少せしめる。従来、その渦域の長さ l_s は、波高(Δ)の約6~7倍程度であると言われてきたが、着者が既往の実験資料を整理し直した結果、波形勾配(Δ/λ)によって図-1のように変化することを見出された。²⁾



さて、各断面内の流速分布を一つの図にまとめたのが図-2である。ただし本図には、平均流速(U)および測定高さ(Z)とそれぞれ摩擦速度(U_*)および水深(H)で無次元化して表わし、 Z/H を対数軸上で表わしている。また、図中には、次のような平坦路床に対する対数型流速分布則を表わす直線が記入されている。

$$U/U_* = A_r + 5.75 \log(Z/H) \quad A_r: \text{係数}$$

図-2によれば、波状路床上の流れにも平坦路床上のものと同様な性質をもつ流れの領域が存在することがわかる。さらに、速度変化が緩慢で曲線的な分布形を呈する領域と直線的な分布形の領域との境界が、全断面内においてほぼ一様に $Z/H \approx 0.3$ なる高さの点に表われることは興味深い性質である。以上の考察により、波状路床上の流れは、等流に極めてよく似た流れの層と路面の凹凸の直接的な影響を受ける流れの層が上下に重なった構造を有すると言える。

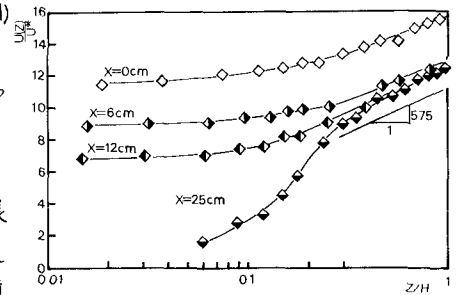


図-2 各断面内の流速分布図

4. 変動流速の統計的特性について 乱流の内部構造は、変動流速に関する種種の統計的特性量を利用すると比較的容易に説明し得るか、最も一般的に用いられているのは相関係数およびこれをフーリエ変換したスペクトルである。³⁾ 図-3は、Crestからの距離が X 、路床からの距離が Z である点の自己相関係数 $R(\tau)$ を描いたものであるが、比較のために平坦路床上の流れにおけるものも示してある。付記された Z からわかるように、 $R(\tau)$ は全て路床面に比較的近い点に対するものである。河床波上の流れにおける相関係数と平坦路床上の流れにおけるものを比較すると、河床波上の相関係数は一様に変化が急激であり、河床波は路床近傍の流れを極めて不規則にしていることがわかる。計測が同一水路を用いて、しかも、ほぼ同様な水深のもとで行なわれたことを考慮すれば、波状路

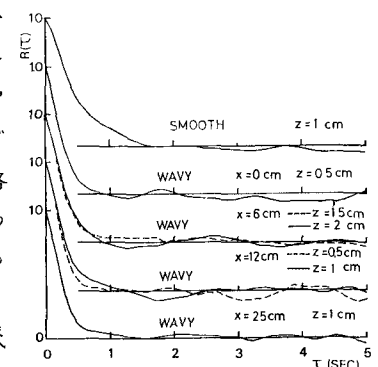


図-3 変動流速の相関係数

床近傍の乱流に対しては、水深や水路幅よりむしろ河床波長やはく離渦の長さを支配スケールにすべきであると推察される。また、図-4は、図-3において実線で描かれた $R(z)$ に対するパワースペクトル $S(f)$ である。各スペクトル図は、低周波数側から生成領域、慣性領域および消散領域に区分され得ることから確認されるが、波状路床上のものと平坦路床上のものとの顕著な差異はない。また、慣性領域におけるいわゆる“二重構造性”の存否は、本図に関する限り不明である⁵⁾。

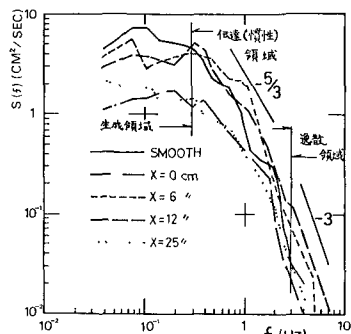


図-4 変動流速のパワースペクトル

次に、種種の断面で得られた2点流速の同時記録から計算された空間相関係数を図-5に示す。図において、2点間の距離 Y は水深で無次元化され、測線位置は図-3と同様な方法で表記されている。 $G(Y/H)$ は、はく離領域近傍で周期的な乱れ成分にランダムな乱れ成分が重ね合わされていることを示しているが、その他の断面での傾向は平坦路床におけるものとはほぼ同様である。また、はく離領域近傍の断面でも測線の高さが若干上げれば、 $G(Y/H)$ の傾向は平坦路床のものにかなり近くなることも注目される。以上のような性質と $R(z)$ の持つ性質とを比較すると、路床の波状化の影響は横断方向に見た乱流構造においてよりもむしろ流れ方向に見たものに大きく現われることがわかる。

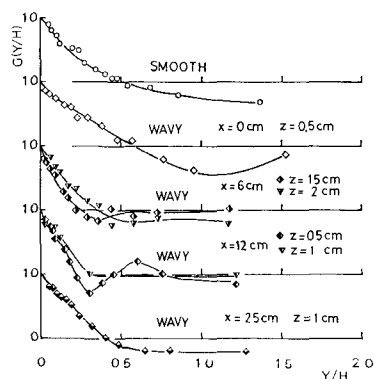


図-5 変動流速の空間相関係数

5. 乱れのスケールについて 乱流渦の大きさ、すなわち“乱れのスケール”を次式によって評価してみた。^{4) 5)}

$$\text{流れ方向のスケール} ; L_x = U \int_0^{Y_x} R(z) dz$$

$$\text{横断方向のスケール} ; L_y = \int_0^{Y_y} G(Y/H) dY$$

ここに、 U =時間的平均流速、 $Y_x = R(z)$ がはじめてゼロになるときのすらし時間、 $Y_y = G(Y/H)$ がはじめてゼロになるときの間隔。当然、計算される L_x および L_y は真の渦径ではなく、それに相当するとみなし得る長さ次元とする量である。さて、図-3, 5の相関図を用いて計算された乱れのスケールをまとめたのが図-6であり、乱れのスケール L_x および L_y と路床からの高さとの関係を縦横両軸とも水深で無次元化して整理したものである。図より L_x は L_y より常に大きく、平均的に $L_x/L_y = 9 \sim 10$ であり、両スケールとも路床から遠ざかるほど増大する傾向をもつことがわかる。なお、水面に近い領域におけるスケールについては、講演時に紹介する予定である。

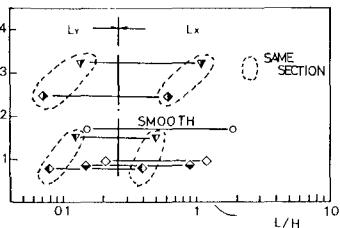


図-6 乱れのスケール

6. あとがき 本報告では、三角形河床波モデルを用いた実験によって得られた資料をもとにLower Regimeにある河床波上の流れの諸特性を考察した。その結果として次の3点が見出された。①Reattachment pointの位置は波形勾配の関数となる。②流れは、対数型流速分布則が成立する領域と路床凹凸の直接的な影響を受ける領域とに分割し得る。③乱流構造は、路床近傍において平坦路床のものとは大きく異なるが、波状化の影響は流れ方向に見た構造に顕著に現われる。なお、本研究は文部省科学研究費の援助を受けたことを記して謝意を表する。

<参考文献>

- 1) 土木学会水理小委員会；移動床流れにおける河床形態と粗度，土木学会論文集，第20号，1973年2月。
- 2) A.J. Raudkivi；STUDY OF SEDIMENT RIPPLE FORMATION, Jour. of A.S.C.E., Nov. 1963, PP.15~32.
- 3) 日野；データ処理の手法，応用水理学Ⅱ，丸善，PP.81~110， 4) 橋；水理学Ⅱ，森北，PP.130~159.
- 5) 今本・上野；開水路流れにおける乱れの空間構造について，京大防災研年報，第14号B，PP.205~217.