

京都大学工学部 正員 中川博次  
 京都大学大学院 学生員 辻本哲郎  
 京都大学大学院 学生員 本部 和彦

1. まえがき; 流砂量, 河床形状および流れ特性は相互に関連しているがたとえば洪水時の流量急変に対する河床形状の変化は時間的に遅れ, 水理量と河床形状を単に対応させることはできない。こうした点に注目し, まず平坦河床から dunes 形成の発達段階を例にとり, その発達特性の実験的把握を試みた。

また河床波の形状が正確に予想されれば, 流砂量, 流水抵抗が合理的に推定されるもの, 従来の実験データは同じ実験条件に対してすら非常にばらついている。この原因としては 1) 測定した河床波が発達途中のものであるため測定時刻の間数となっている, 2) 河床波長, 波高の統計的性質にもとづく, 3) 一つの河床波の定義のし方が主観的である, が考えられる。

したがって, ここでは発達段階の形状の統計的性質, 時間変化や, 形状特性の客観的表現について考察を行なった。

2. 実験の方法; 実験は長さ 9m, 幅 33cm, 深さ 33cm の勾配可変水路で, 河床勾配  $i=1/500$  としたほぼ等流状態で行なわれた。河床材料としては, 平均粒径  $d=0.063\text{cm}$ ,  $\rho_p=2.60$  の標準砂を用いた。実験範囲は  $\tau_* = 0.107 \sim 0.143$  であり,

水深, 流量, 平均流速, 流砂量, 河床高の水路方向分布

および河床波長, 波高を測定した。特に河床波長は上流側よりリフレクターランプで照明し, 水路中心線に沿うフレストの影の間の距離を測定し, 値を自走式超音波式砂面測定機で測定ペンレコーダーに書かせた値でチェックした。波高に関してはペンレコーダーの結果から直接読み取る方法を用いた。また形状諸量に対して多くのデータを得るため, 同一の実験条件で 5~8 回実験を繰り返した。

3. 実験結果及び考察; 1) 河床波長, 波高の時間的変化 河床波長および波高に関する平均値および標準偏差をそれぞれ  $\bar{L}$ ,  $\bar{h}$  および  $\Delta L$ ,  $\Delta h$  とし, 波長・水深比, 波

高・水深比の時間変化を示したものが図-1 であり, 両者はほぼ同様の傾向を示している。波長・水深比について Jain & Kennedy の実験結果<sup>1)</sup>と比較すると充分時間が経過した後の平衡状態ではほぼ同じ値であるのに対し, 初期には大きな差が認められる。一方波長を粒径で無次元化すると初期段階で両者がほぼ一致することから, 河床波の発達過程が初期段階では粒径に, 平衡状態では水深に強く支配されるものと推定される。河床波長, 波高の分

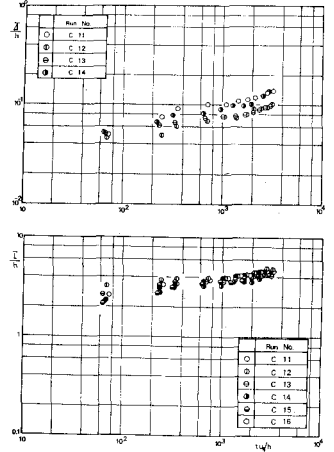


図-1 河床波長および波高の時間的変化

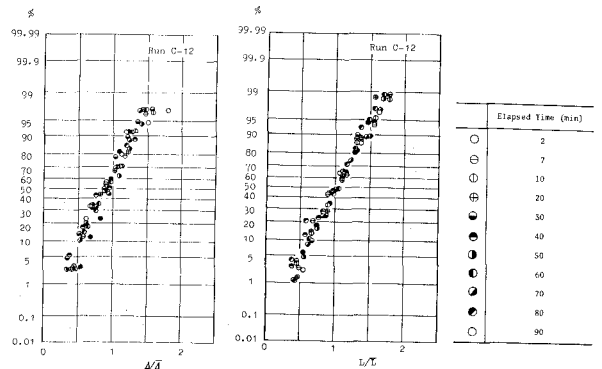


図-2 河床波長および波高の分布の時間的変化

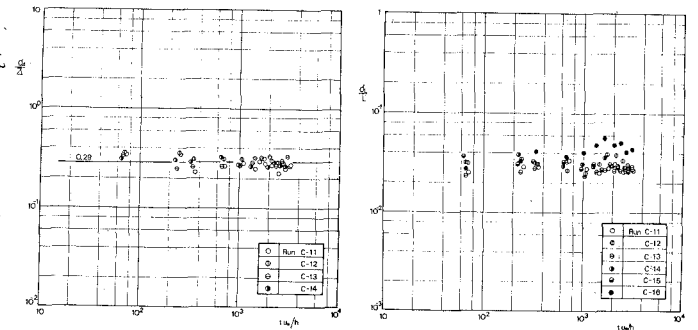


図-3 (a) 河床波高の変動係数の時間的変化

(b) 河床波長の変動係数の時間的変化

布特性の時間変化をみるため、各時刻のデータとその時刻の平均値で規格化し、その累積確率分布を正規確率紙上に示したのが、図-2である。各時刻における分布は正規分布に近く、またすべてのデータがほぼ同一直線上にのることから、分布の変動係数 $\alpha$ が変化しないことが予想される。図-3は河床波長、波高に関する変動係数の時間変化を示したものであるが、この結果  $\alpha_L \approx 0.035$   $\alpha_H \approx 0.29$  となり、これらの値は時間的にも、また今回の実験およびJainら<sup>1)</sup>の実験範囲では実験条件に無関係にほぼ一定となることがわかる。なお、波長の変動係数については平線状態<sup>2)</sup>で平均波長がほぼ3~5cmであることと考えると、Nordin<sup>2)</sup>の得た実験式  $\sigma/\lambda = 0.12$  とよく一致している。

2) 河床高の分布について 一般に河床波長、波高を直接測定しようとするとき幾分かの主観がはいりやすいので、客観的データとしてペンレコーダーによる水路方向の河床高データ  $h(x)$  を採り、これに関する統計的性質を調べた。各時刻における河床高の水路方向の分布を累積確率分布で示したものが図-4である。これによると各時刻のデータともほぼ一直線上にのり、すでにNordin<sup>2)</sup>らも指摘しているように河床高の分布がほぼ正規分布と近似的であることがわかる。このことはこれらの量をもとに、相関分析、調和解析を行なう上で必ず確認しておくべき量である。すなわち、これらの量をもとに定常カウス過程としてのデータの議論が導入されているわけであるが、いまだ波長、波高分布は厳密には求められていない。ここでは、一連のデータ数が少ないことから（水路方向のデータ間隔、1.042 cm）パワースペクトルよりも比較的、特性が信頼できる相関係数について考察した。各時刻におけるデータの相関係数を示したものが図-5であり、これによると2次ピークの位置のほぼ整数倍の位置に高次のサブピークが現れており、特に2次ピークの位置は時間とともに右方へずれていく。またピークは右方へいくほど、そして時間が経過するほど鋭くなくなりランダム性が高くなっていることが示されている。図-6はデータの採り方による相関係数の特性の変化を検討したものであるが、データの数などによってピーク位置のずれは生じおらず、2次ピークの位置がその河床波固有の長さのスケールであることを示している。図-7はペンレコーダーのデータより推定した平均波長に対する2次ピークおよび3次ピークの位置を時間的に追って示したものであるが、ともにピーク位置は平均波長に対して線型関係にあることがわかり、これからも相関係数にあらわれるサブピークが、平均波長に対応する長さスケールであることがわかる。なお、クレスト影で測定した平均波長と2次ピーク位置はよく合致していることがわかり（講演時追加報告）

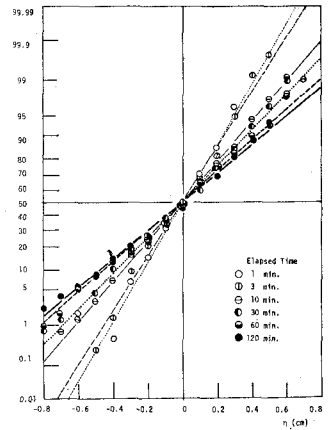


図-4 河床高分布の時間的変化

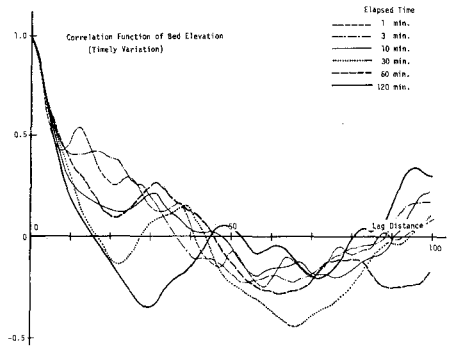


図-5 河床高の空間相関係数の時間的変化

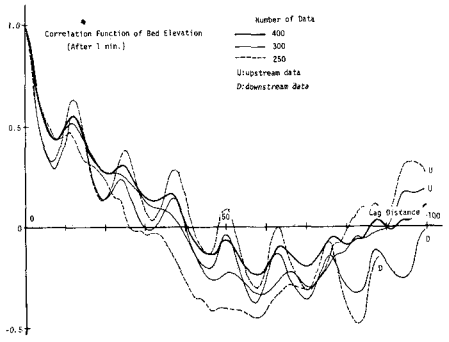


図-6 データの採り方と相関係数の特性

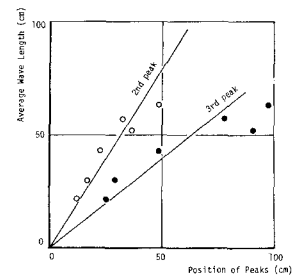


図-7 河床高自己相関係数のサブピークの位置と利線器-ペンレコーダーによる平均河床波長との関係

1)で論じた波長・波高が必ずしも主観的で曖昧なものではないことがわかった。

4 おびがき: 河床波の発達性状を波長、波高の増加として、実験的にとり出しその統計的性状を調べ、また相関係数の変化との関連を見出した。現在、実験条件を変えて実験ケースを追加しており、今後こうして実験的に把握された特性を、流水抵抗、流砂量の面から説明していく予定である。

(参考文献) 1) Jain & Kennedy; Stochastic Hydraulics, 1971

2) Nordin; USGS prof. paper, 562-F, 1971