

京大防災研究所 正 芦田和男
大阪府 土木部 正〇木村昌弘

著者らはさきに¹⁾、砂礫粒子の確率的な運動特性と水流との乱流構造との関連のもとで河床波の発生を論じ、初期における河床波の成長特性を考察した。その結果、河床波のパワースペクトル $S(k)$ 、分散 σ^2 、及び卓越波長 λ に関して理論的に次の諸式が得られた。

$$S(k) = \beta^2 u_*^2 \int_0^t e^{-(t-t')/t_D} dt' \frac{1}{\pi} \left\{ 1 - \frac{1}{(1/L)^2} \right\} \left\{ \frac{1}{1+(Lk)^2} - \frac{1}{1+(Lk')^2} \right\} \quad \text{--- ①}$$

$$\text{Dune : } \sigma^2/H^2 = 1.7 \times 10^{-5} \frac{u_*^2/L}{(1+L/L)} \tau_* t_D' \quad \lambda_R = 27.3 [Hd] \quad \text{--- ③}$$

$$\text{Ripple : } \sigma^2/d^2 = 4.3 \frac{u_*^2/L}{1+L/L} \tau_* t_R' \quad \lambda_R = 33.5 d$$

ここに $\beta = 5.7 \times 10^{-2} u_* / \sqrt{(B/\rho - 1)gd}$, u_* : 摩擦速度, t : 時間

d : 粒径 L : 平均跳躍距離 $\tau_* = u_*^2 / (B/\rho - 1)gd$

L : Lagrange 的平均乱れスケール $t_D = t/t_{ED}$, $t_R = t/t_{ER}$

$t_{ED} = \pi/2 t_0 = 0.15 H/u_*$, $t_{ER} = 76 d/u_*$

u_b : 河床近傍流速, H : 水深, である。本報では河床波の発生を水路実験について記し、これら5の理論

の検証及び成長過程の実験的考察を行なう。

(1) 河床波の形成過程に関する実験; 実験水路は全長20m中

50cmの可変こう配水路である。河床の計測は超音波河床測定器を台車に固定し、下流からロープで引き一定速度(25cm/sec)で移動させることにより行なう。実験砂は粒径0.5mmのほぼ均一砂である。まず砂を厚さ13cmに敷きスケールで所定のこう配にしたのち通水し、初期においては5分~10分間隔で通水後30分以後は15~30分間隔で最大時間まで通水しながら河床の凹凸を計測した。

各実験条件は表-1に示す通りであり、計測器より出力されるアナログデータを磁気テープに集録し、A-D変換器によってデジタル量として紙テープにパルスさせ電子計算機(KDC-II)により自己相関係数及びパワースペクトルを計算した。なおこの解析は上下流端の影響を考慮して水路中央部8mを対象とした。各データの個数は1500, 最大サンプル数は150, 最小読みとり間隔0.5cmである。

(2) 実験及び解析結果; 図-2, 図-3は相関係数, 及びパワースペクトルの一例である。これより平坦河床から河床波が成長していく過程が明確に把握される。図-4, 図-5は河床スペクトルのパワーの集中度をよりわかりやすくするために $K S(k) \sim \log k$ でプロットしたものであるが、これによれば2つの河床波の成長過程の相異がはつきりと理解できる。RUN 7では通水後5分(5分)で河床に卓越波長があらわれ、時間の経過とともにその部分に集中する形式でパワーを増大させ、比較的早く安定し、最終的に鋭いピークをもった河床波が形成さ

表-1 実験条件

RUN	流量 (l/sec)	こう配 (10^{-3})	摩擦速度 u_* (cm/sec)	粒子レ ノリス数 Red
7	30	0.166	3.73	18.6
8	35	0.20	4.17	20.9
9	35	0.25	4.50	22.5
10	40	0.25	4.69	23.4

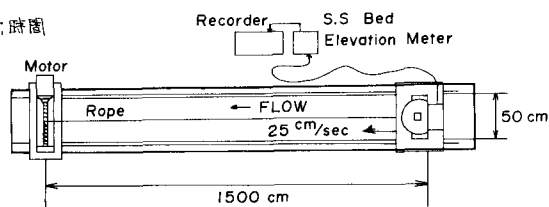


図-1 実験装置

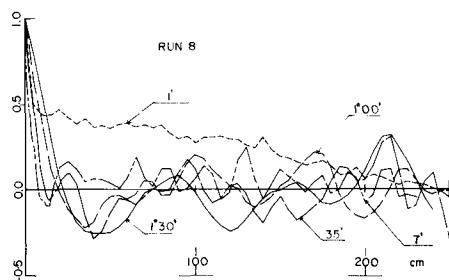


図-2 相関係数

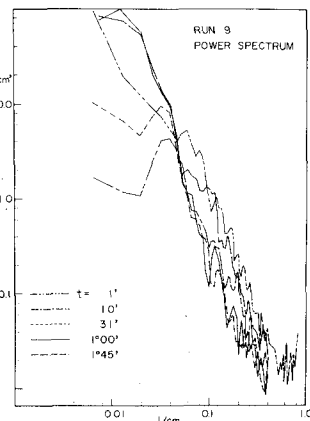


図-3 パワースペクトル

れる。一方 RUN 9 については通水直後白色雜音的なパワーの分布を持っていた河床にやがて卓越波長があらわれ、それが低波数へ移行しながら全体のパワーを増大していく。これら2つの河床波の発生形態は前者はRippleに後者はDuneに対応するものと考えられ、それらの特性は成長過程においても異なっていることを示すものである。

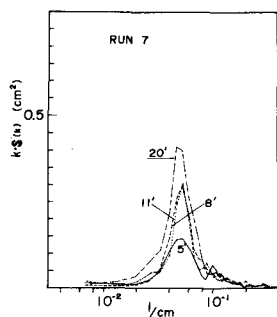


図-4 $kS(k) \sim \log k$ (Run 7)

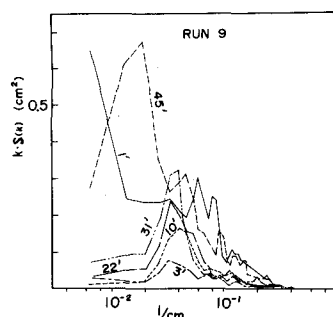


図-5 $kS(k) \sim \log k$ (Run 9)

分散の増加速度: 図-6は $k_s = 0.05 \text{ cm}$ (k_s : 相対粗度) として②式より分散の時間的変化を求め、実験値と比較したものである。Ripple Bed に対しては実験Caseが少なく結論はできないがDune BedであるRun 8~10に対してはよく一致し前報で導いた理論の妥当性を示すものと考えよう。

卓越波長: 図-7は③式によって計算した初期の河床の卓越波長と実験値とを比較したものであり両者はほぼ一致する。しかし本実験条件では初期波長を支配する理論的パラメータである砂の粒径及び水深の変化幅が少なく理論を検証するには不十分であり今後の検証がたい。

相関関数及びパワースペクトル: 図-8, 図-9は理論的に導いた初期の相関関数とパワースペクトルを正規化したものと、通水後10分における実験からのそれとを対比したものである。図-9によればピークを有する波数は理論値と実験値で一致するが理論値は実験値に比

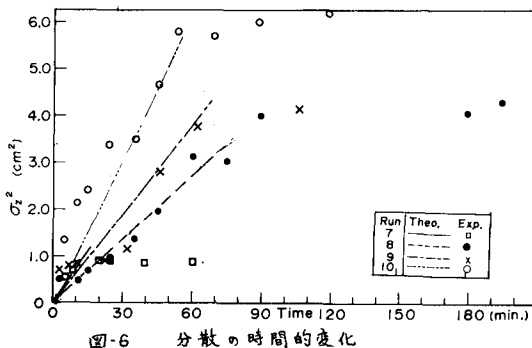


図-6 分散の時間的変化

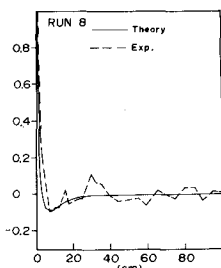


図-8 相関係数

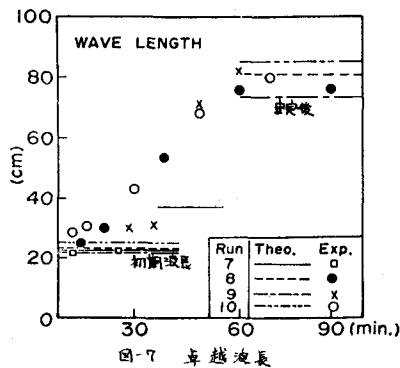


図-7 卓越波長

して高波数側のパワーが高くピーク付近の集中度は低く、これは比較的早い時期に形成される水流のはたきを全く考慮してないことと、河床の凹凸が砂の安息角を越えないという砂自身の特性を本理論は考慮してないためであると考えられる。事実乱れの場を1次積率まで模擬し、河床の凸部下流でその高さの6倍までの河床付加流速が零という条件を加えて流速変動との対応で砂粒子をランダムにピックアップし下流へ堆積させる方法ではなく離れを含む過程をコンピュータシミュレートし、それより算定した河床波のスペクトルは実験値と比較的よく一致する。高波数側における実験スペクトルのこの配は日野によって導かれた3乗に一致する。これより河床波の構造を本質的に支配するのは水流の乱れの構造であり、それに砂自身の特性とはくり作用とリソフィルタ効果が付加されるものと結論される。

参考文献: 1) 芦田 木村 「Sand waves の発生過程に関する研究」 関西支部年次講演会講演集 (昭和48年)

2) 木村昌弘 「砂波の発生機構に関する研究」 京都大学修士論文 (昭和48年)

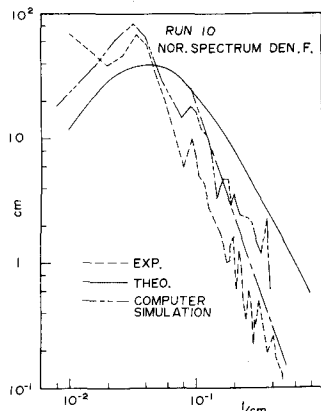


図-9 パワースペクトル