

混合砂礫床上の河床波特性

鳥取大学大学院 ○学生員 岩垣 孝一

鳥取大学工学部 正員 鈴木 幸一

シ シ 道上 正規

1. はじめに 従来の移動河床に関する研究は主として、均一砂あるいはこれに近い粒径分布の砂れきを対象として行なわれており、混合砂で構成される実河川にその成果を適用するには問題が多いと思われる。本研究ではこの点に鑑み、実験水路を用いて、2種類の砂粒で構成される混合砂れき床上に、河床波の一種である砂堆を発生させ、その砂堆の特性については河床の流水抵抗の特性との関係を実験的に明らかにしようとしたものである。

2. 実験の概要 実験水路は、長さが約11m、断面が30cm×30cmの長方形であり、水路上流端には、連続的に毎秒のから0.0413cm³/sec・cmの間で任意に一定量の給砂が可能なエレベータ式給砂装置が設置されており、水路下流端部には、流砂を全てとらえることができる砂だめと、水深を調節するための可動せきが設置されている。

この水路に、ある混合比に調整された砂を約5cmの厚さに均一に敷き、一定流量、一定給砂量、一定のせき上げのもとに、水面勾配と河床勾配、給砂量と流出砂量のどちらも等しくなる定常状態に達するまで流水を続ける。この後、水面をポイントゲージで50cm間隔で測定し、河床面を自走式河床面自動測定装置で連続的に測定する。

3. 混合砂れき床の河床波特性 図-1は、流量および流砂量を一定にし、均一砂河床中に投入する粒径の大きな砂の混合比を変化させ、均一砂粒径河床の水理量および河床波高に対する混合砂河床の水理量および河床波高の比を示したものである。ただし、横軸Pは粒径の大きい砂が河床に占める割合であり、縦軸の添字Uは均一砂河床、Mは混合砂河床のものであることを表す。この例では、粗い砂をわずか5%投入しただけでも40%もの波高の速減があり、混合砂の河床波高に及ぼす影響は著しいことがわかるが、粗砂の割合をある程度以上大きくしても、河床波高はそれ以上著しく速減するようなことはない。

図-2および図-3は、均一砂河床の場合と均一砂河床に粒径の大きい砂を加えた場合とで、波数スペクトル特性がどのように変化するかを比較

したものである。すなわち、図-2は混合する粗砂の割合を一定とし粒径のみを変化させた場合であり、図-3は混合する粗砂の粒径を変えずに混合比を変化させた場合のスペクトル図であって横軸は波数をとっている。スペクトルのピークを比較すると、混合する粗砂の粒径が増大あるいは混合比が増加すれば、スペクトルのピークは速減する傾向が認められる。このことは、卓越した波数に対する波高が小さくなることを意味しており、上で述べた混合砂の平均波高に及ぼす影響特性の結果と一致している。しかし、この傾向からははずれるものもあり、今後の検討が必要である。

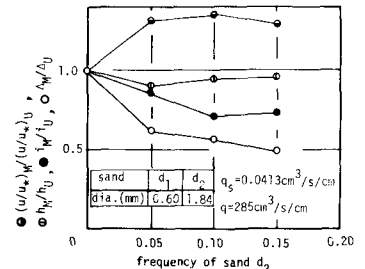


図-1 混合砂の効果

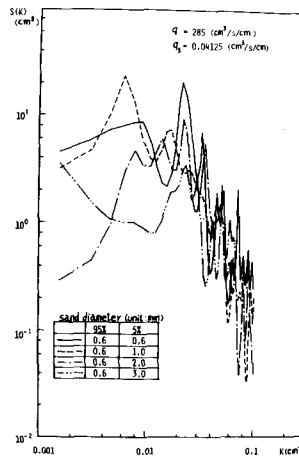


図-2 砂粒径によるスペクトルの比較

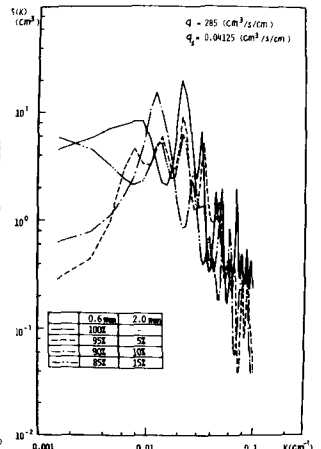


図-3 砂の混合比による比較

日野¹⁾は、ある値以上の高波数域では、スペクトル $S(k)$ の形が砂れきの安息角 θ と波数 k で支配される平衡領域が形成されると考え、次元解析の結果、 $S(k) = \alpha(\theta) k^{-3}$ ($\alpha(\theta)$: θ の関数、 θ で示される波数スペクトルの -3乗則を導いた。本実験で得られたスペクトル図の波数 $k = 2.33 \times 10^2 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ 以上の高波数域の傾きを最小二乗法によって求めた値を、

表-1 に示すが、-1.9 から -2.9 の間に値があり、日野の -3乗則より小さい傾向がある。

4. 河床波の抵抗則に関する考察 平坦河床に比して、河床波発生状態では、河床波の影響によって起こる後流のため、エネルギーが損失され、流水抵抗が著しく大きくなる。芦田・田中²⁾は、2次元流発生した河床上でのエネルギー損失を対象として、実験によって得られた河床波の状態を表わす統計的物理量として、河床波高の標準偏差 σ を用いて開水路流れの平均流速式、 $U/U_* = 6.0 + 5.75 \log R/k_s$ (U : 平均流速, U_* : 摩擦速度, R : 径深), より求められた相当粗度 k_s と、この標準偏差 σ との間には一定の関係があることを実験的に見出した。図-4 は k_s と σ の関係を両対数紙上に示したものである。本実験による値は、芦田・田中による値より大きく、 σ が増加すると k_s も増加する傾向が認められるが、値にかなりのばらつきがある。この理由としては、波高の標準偏差が等しい河床波であっても波長が長く波形勾配が小さい河床波の場合と、波長が短く波形勾配が大きい場合では相当粗度 k_s が異なることが考えられる。したがって相当粗度を評価するとき、波形勾配をも考慮する必要がある。図-5 は、 k_s を σ で割った値と波形勾配 Δ/λ (Δ : 波高, λ : 波長) の関係を示したものである。 Δ/λ が増加すると k_s/σ が増加する傾向は認められるが、資料数が少ないため今後の検討が必要である。

一方、抵抗特性に関する混合砂の効果を見るために、平均流速 U と摩擦速度の比 $U/U_* (= \sqrt{8/f})$, f : 抵抗係数) と、無次元掃流力 τ_* の関係を示したものが図-6 である。なお、図中の実線は、岸・黒木³⁾による、 τ_* と $\sqrt{8/f}$ の関係式、 $\sqrt{8/f} = 2.4(R/d)^{1/6} \tau_*^{-1/3}$ ($\tau_* \leq 1.4 \times 10^{-1}$), $\sqrt{8/f} = 8.9$ ($\tau_* > 1.4 \times 10^{-1}$), を示している。プロットされた値をみると、均一砂によるものは比較的近くにまとまっているが、混合砂によるものはかなりのばらつきをもっている。しかし、混合砂の場合は均一砂の場合に比して、明らかに抵抗が小さくなっていることが認められ、抵抗特性を表わす場合の砂の特性に関する量として、必ずしも平均砂粒径のみを用いて表わされるものではないことを示している。

5. おわりに 本研究では、河床波高および流水抵抗に及ぼす混合砂の効果と定性的に考察したが、今後は定量的な考察が必要である。

参考文献 1) Hino, M.: Equilibrium-range spectra of sand waves formed by flowing water, Journal of Fluid Mechanics, vol. 34, 1968. PP. 565-573

2) 芦田和夫, 田中祐一郎: 石砂流に関する実験的考察(3), 京都大学防災研究所年報 10号 B, 1967. PP. 121-130

3) 岸力・黒木幹男: 移動床流れにおける河床形状と流体抵抗(1), 北九工業部研究報告, 1972.

表-1 スペクトル図の高波数域の傾き

No.	1	2	3	4	5	6	7
Left	-2.2	-2.6	-2.6	-1.9	-1.9	-2.9	-1.6
Center	-2.9	-2.9	-2.8	-2.4	-2.1	-2.6	-2.2
Right	-2.4	-2.7	-2.0	-2.5	-2.1	-2.1	-2.1
Mean	-2.5	-2.7	-2.5	-2.2	-2.0	-2.5	-2.0

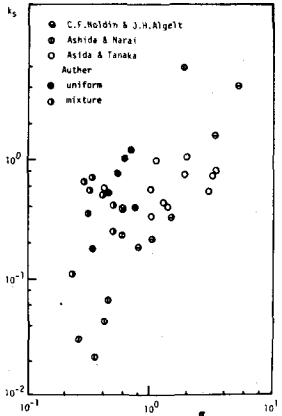


図-4 k_s と σ の関係

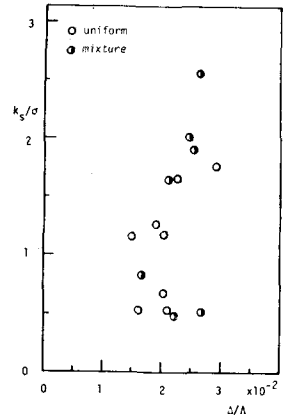


図-5 k_s/σ と Δ/λ の関係

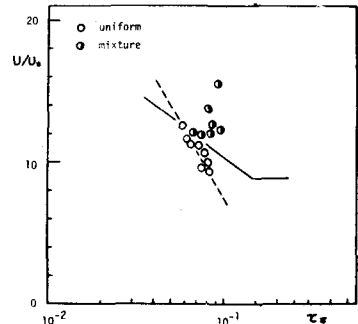


図-6 U/U_* と τ_* の関係