

II-316

混合砂河床における河床波の発達・崩壊過程と分級性状

舞鶴工業高等専門学校 正員 三輪 浩
立命館大学 理工学部 正員 大同淳之

1. まえがき 洪水のように流量が変化する場での河床波の変形を明らかにすることは極めて重要であるが、混合砂の場合には砂粒子の分級による粗・細砂の効果を考慮する必要がある。本文では河床波の変形の素過程の内、河床波の発達・崩壊過程に対して波長および波高の変化特性とこれに及ぼす砂粒子の分級効果について、ほぼ同一の平均粒径を有する一様砂と比較しながら検討している。

2. 実験概要 実験には長さ9m、幅20cmの可変勾配水路と図-1に示す混合砂と一様砂を用いた。図中、 d_m は平均粒径(cm)、 σ_g は幾何標準偏差である。実験は流量を2段階に変化させて行い、第1段階(stage1)では平坦河床から河床波が発達して安定状態に至る過程を、第2段階(stage2)では第1段階で形成された河床波が流量急減(変化時間は零)によって崩壊し、河床が平坦化する過程を対象としている。両過程とも水位を測定した後、停水して河床位、波長および波高の測定を行い、実験中これを繰り返した。さらに、混合砂の場合には砂粒子の分級状況を把握するため、停水ごとに河床表層の砂を最大粒径程度採取した。

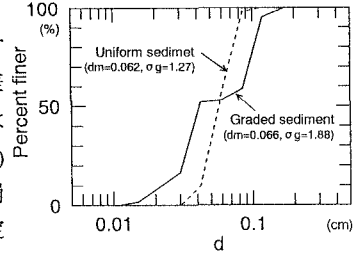


図-1 使用砂の粒度分布

表-1 実験条件

Run No.	sand	stage	hm (cm)	le ($\times 10^{-3}$)	Fr	u* (cm/sec)	τ_*
U-DC1	uniform	1	8.09	2.39	0.56	4.35	0.189
		2	2.68	2.18	0.58	2.39	0.057
M-DC1	graded	1	7.59	2.70	0.61	4.48	0.188
		2	2.51	2.32	0.64	2.39	0.053

3. 河床波の発達・崩壊性状と流砂量変化 図

-2, 図-3 は平均波長と平均波高の時間的変化を示している。発達過程では混合砂の場合の波長は通水初期において一様砂の場合よりも大きい値を示し、短時間で一定値に達しているが、その後の発達は顕著でなく平衡状態ではいずれの場合も水深の4~6倍程度で両者に顕著な差異は認められない。一方、波高は混合砂の場合には波長と同様短時間で一定値に達しているが、その後増加せず一様砂の場合よりもかなり小さく押さえられていることがわかる。崩壊過程に入っても波長は混合砂、一様砂ともほぼ一定値を保っている傾向にある。一方、波高は混合砂、一様砂とも減衰して崩壊に至っているが、とくに混合砂の場合は一様砂に比べてかなり短時間で崩壊していることがわかる。ただし、混合砂の場合には発達過程の残存河床波の崩壊に伴って新たに細砂からなる砂漣状の河床波(◎記号)が形成されていった。図中には残存河床波と新たな砂漣状河床波を区別して示しているが、残存河床波が崩壊した後は砂漣状河床波が残った。図-4 は水路下流端で測定された流砂量の時間的変化を示している。発達過程では混合砂の場合の方が全体として一様砂の場合より若干大きい値を示す傾向にあるが、時間的な変化は両者とも顕著でない。しかし、崩壊過程の初期では流砂量が急減し、その後一定値をとるようになる。この急減期には流砂の多くが残存河床波の埋め戻しに使われるため、とくに混合砂の場合は短時間で埋め戻しが行われ、河床波が崩壊に至ったことが流砂量変化にも表われている。このように、混合砂と一様砂ではかなり異なった性状を示すことがわかる。これは平均粒径等の単一の粒子径のみに着目した扱いでは必ずしも十分でないことを示しており、とくに混合砂の場合には粗砂や細砂の効果を考える必要があるといえる。

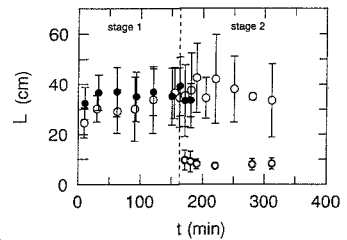


図-2 波長の時間的変化

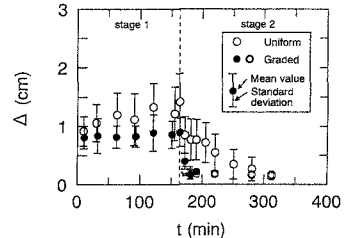


図-3 波高の時間的変化

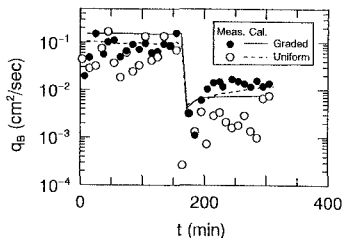


図-4 流砂量の時間的変化

4. 砂粒子の分級性状 上述のことから混合砂河床では砂粒子の分級とこれが河床波の変形に及ぼす影響を検討する必要がある。図-5は河床波表層の粒度分布を示したもので、図中(a), (b), (c)はそれぞれ、発達過程の最終状態、残存河床波に対する崩壊過程での初期状態および最終状態に対応している。発達過程の最終状態(a)では河床波の前面で粗粒化し、クレスト部で細粒化、背面中央部およびトラフ部で給砂の粒度分布に近くなる交互分級の形成が認められる。この現象は河床波の発達の初期段階から見られ、河床波の発達と砂粒子の分級の相互作用の結果である。また、混合砂河床では河床波の発達に対しては粗粒子の効果が大きく¹⁾、これが発達過程における波高増加の抑制に寄与している。崩壊過程に入ると河床波前面の粗粒化は急激に減衰し(b)、崩壊後には粗粒化域は認められなくなる。この過程では掃流力の低下によって粗砂の運動性は細砂よりも低下し、発達過程で見られた粗砂の河床波前面への堆積はほとんどなくなる。その結果、崩壊過程の初期段階では残存河床波のクレスト部の細砂が河床波の前面に堆積し、これによる埋め戻しを開始される。その後の埋め戻しは上流側より流送される粗・細砂によって行われるが、同時に比較的活発に移動する細砂による砂漣状の河床波(c)が形成される。このように、掃流力の低下時においては河床波の崩壊に細砂による埋め戻しが寄与しており、残存河床波の波高が一樣砂のそれよりも低いことと相まって一樣砂の場合よりも早く崩壊に至ったと考えられる。それゆえ、混合砂河床での河床波の崩壊過程

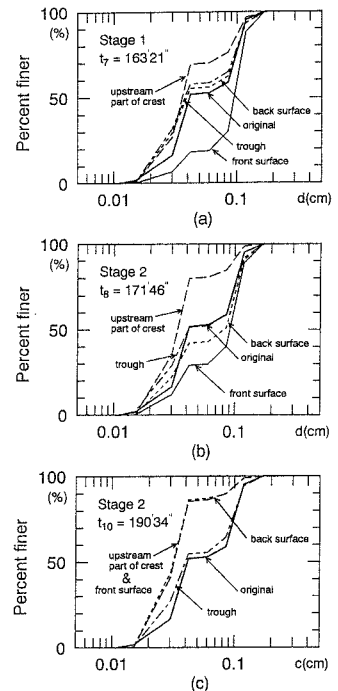


図-5 河床波表層の粒度分布

では細砂が主要な役割を担っていると推察される。なお、崩壊過程の最終段階では河床全体が上述の砂漣状の河床波で覆われているわけではなく、平坦化して元河床に近くなっている部分もかなり存在し、水路下流端で採取された流砂の粒度分布は両過程を通じて給砂のそれに近いことが確認されている。

5. 水深、流砂量の算定 河床波の変形過程が記述できれば、時々刻々の河床形状に対して抵抗則、流砂量式を適用して水深、流砂量の時間的変化を算定することができるが、現在混合砂河床にも適用可能な式ができていないので、実験値を用いてこれらの算定を行うことにする。摩擦抵抗、抵抗則はそれぞれ次式²⁾を用いる。
$$\tau = 4/7\Pi'(h_m/k_s)^{-1/4}\rho u_m^2 \dots (1), \quad u_m/u_* = \{4/7\Pi'(h_m/k_s)^{-1/4} + 1/2C_D\Lambda\}^{-1/2} \dots (2)$$
ただし、 $\Pi' = 0.0125B'^2 C^{1/4}$, $B' = (1-\zeta/2)^{-1}\xi^{-1/8}(1-n\lambda)^{3/8}(1+\lambda^2)^{3/16}$, $C \approx 20.7 + 80\lambda/(F_r \cdot B)^2$, $B = (1-\zeta/2)^{-1} \times \{\xi(1-n\lambda)\}^{-1/2}$, $C_D = \{4(1-4\lambda)(2+\zeta)\}/[(2-\zeta)^2\{2+(1-8\lambda)\zeta\}][2(1-4\lambda)\zeta/\{2+(1-8\lambda)\zeta\} + 0.13]$, $\Lambda = \lambda/(1+\zeta/2)$, $\zeta = \Delta/h_m$, $\xi = L/h_m$, $\lambda = \Delta/L$, $n = L_s/\Delta$. ここに、 F_r はFroude数、 L_s は剥離域の長さである。

上述したように、発達過程では粗砂が、崩壊過程では細砂が主要な役割を担っていると考えられるので、等価砂粗度に用いる粒径は発達過程に対して $2d_m$ ¹⁾、崩壊過程に対して $0.5d_m$ とした。図-6、図-7はそれぞれ水深、無次元掃流力の時間的変化を示したもので、いずれの算定結果も良好である

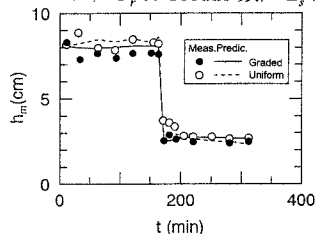


図-6 水深の時間的変化

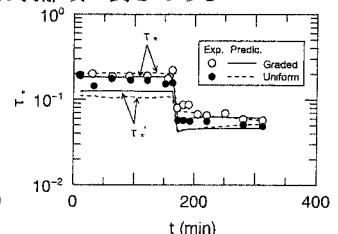


図-7 無次元掃流力の時間的変化

あるとみなせる。なお、図-7中には式(1)より算定される無次元有効掃流力も示してある。この無次元有効掃流力を用いて Meyer-Peter・Müller 型の流砂量式によって流砂量を算定した結果を図-4に示す。この流砂量は水路内のもので、実測された下流端流砂量との差が河床波の埋め戻しに使われた分に相当すると考えられる。

6. あとがき 今後、より詳細に河床波の変形に及ぼす粗細砂の効果を検討するとともに、これを考慮した変形過程の記述と連続した流量変化への適用を行う予定である。

参考文献 1) Miwa, H. and Daido, A.: Jour. HHE, Vol. 10, No. 2, 1992. 2) 大同・三輪・矢野: 第50回年講, 1995.