

II-278

混合砂河床における河床波の発達・減衰性状と河床砂の分級特性

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 砂粒子の非平衡性の集積として存在する河床波は外部条件の変化によって容易に変形するので、洪水などの非定常流を扱う際にはその変形機構を明らかにする必要がある。従来は均一砂河床として研究が進められてきたが、河床が混合粒径砂で構成されている場合には砂粒子の分級が生じるため、これが河床波の変形に影響を及ぼし、均一砂河床とは異なった変形性状を呈することが予想される。そこで、本文では流量変化に伴う河床波の変形機構を明らかにするための基礎として、平坦床からの河床波の発達過程と流量急減による減衰過程に着目して、波長および波高の変化過程と砂粒子の分級現象について実験的に検討した。

2. 実験概要 実験には長さ9m、幅20cmの亚克力製可変勾配水路を用いた。本実験は混合砂河床における河床波の変形を対象としているが、その特性の比較のためにほぼ同一の平均粒径を有する均一砂を用いた実験も行った。実験に使用した砂の粒度分布を図-1に示す。図中、 d_m は平均粒径(cm)、 σ_g は幾何標準偏差($\sqrt{d_{84}/d_{16}}$)である。実験は流量を2段階 Q_{w1} 、 Q_{w2} ($Q_{w1} < Q_{w2}$)に変化させて行い、それぞれの実験過程をStage1、Stage2としている。Stage1では平坦河床から河床波が形成されて安定状態に至るまでの過程を、Stage2ではStage1で形成された河床波が流量の変化

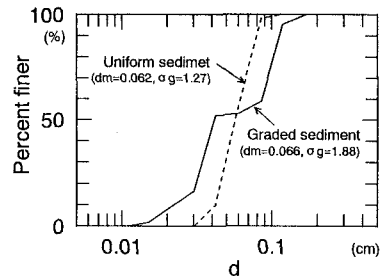


図-1 使用砂の粒度分布

表-1 実験条件

Run No.	sand	Stage	q_b (cm ³ /sec)	h_m (cm)	le ($\times 10^{-3}$)	Fr	u_* (cm/sec)	L (cm)	Δ (cm)
U-1	uniform	1	400	9.71	2.36	0.42	4.32	44.2	1.84
		2	200	5.40	2.79	0.51	3.47	27.6	1.00
M-1	graded	1	400	8.14	2.62	0.55	3.83	10.3	0.80
		2	200	4.84	2.49	0.60	2.99	12.4	0.48

($Q_{w1} \rightarrow Q_{w2}$: 変化時間は零)によって減衰する過程を対象としている。両Stageとも停水直前に水位の測定を、停水後に河床位、波長および波高の測定を行っているが、これを河床が平衡状態に達したと見なされるまで繰り返した。なお、波長と波高はtrough-to-trough法によって測定した。混合砂の場合には上記の測定に加え、河床波の発達・減衰にともなう河床粒子の分級状況を調べるため、停水ごとに河床表層の砂を最大粒径程度採取した。表-1に各Stage最終段階の水理量と波長および波高の平均値を示す。

3. 河床波の発達・減衰性状と形状特性 図-2は平均波長の時間的変化を示したもので、標準偏差を付記してある。Stage1では混合砂の場合の波長は均一砂の場合に比べて短時間で一定値に達し、しかも最終段階では均一砂の1/3程度となっている。Stage2に入ると均一砂では徐々に減少してゆくが、混合砂では減少量は極めて小さいことがわかる。なお、両Stageとも平衡状態の波長は均一砂では水深の約5倍で従来の結果に近い値を示すが、混合砂では2~2.5倍程度となることが確かめられている。一方、図-3は平均波高の変化を示している。Stage1では混合砂の場合の波高は波長と同様、短時間で一定値に達し、均一砂の1/2程度に抑えられている。また、Stage2においては均一砂に比べて緩やかな減少傾向を示し、減少量も小さい。このような波長、波高の変化傾向を見るために、図-4(a)、(b)に実験結果から得られる波高と波長の変化速度を示した。測定の時間間隔が十分に短くないので

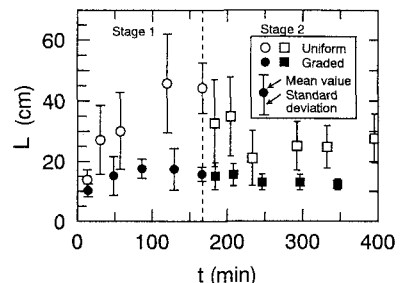


図-2 波長の時間的変化

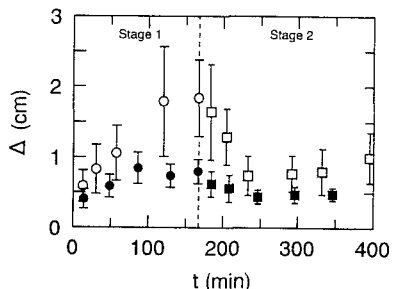


図-3 波高の時間的変化

データはかなりばらついているが、混合砂の場合の方が河床波の変形は緩やかに進行することがわかる。このように、ほぼ同一の平均粒径を有する河床砂であっても、混合砂と均一砂では河床波の発達、減衰過程を通じてかなり異なった性状を示すことがわかる。これは、河床波は平均粒径等の単一の粒子径のみに着目した扱いは不十分であることを示唆しており、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。

4. 河床波上の砂粒子の分級特性 図-6はStage1の最終段階の河床波表層砂の粒度分布を示したもので、河床波の前面で粗粒化し、クレストの上流側で細粒化していることがわかる。また、背面中央およびトラフ部では若干粗粒化しているものの給砂の粒度分布に近い。河床波背面の粗粒化は河床波の背面で相対的に露出した粗粒子が細砂よりも高速で移動し、河床波の前面に堆積することによってもたらされるもので、それに追隨してクレストの上流側は細粒化する。このような分級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が相互に影響を及ぼし合っているといえる。既報¹⁾で示したように、混合砂河床では河床波の形成に対して粗粒子の効果が大きく、これが河床波の発達過程での波高の増加を抑制する方向に働いている。ただ、本実験で見られた波長の増加が抑えられる原因については明らかではない。図-6はStage2の初期段階の河床波表層砂の粒度分布を示したもので、Stage1で形成された分級現象は流量減少後においても維持されていることがわかる。すなわち、Stage1での残存河床波の減衰過程においても河床波前面への粗砂の堆積とこれに追隨するクレスト上流側での細砂の集中は行われているといえるが、流量減少にともなう掃流力の低下によって新たな条件下での分級の進行は抑えられるため、河床波の変形も抑えられる傾向にあると考えられる。なお、トラフ部で粗粒化しているがこれはその後給砂の粒度分布を示すようになる。

最後に、平均粒径で整理された砂粒レイノルズ数の時間的変化を調べると、混合砂、均一砂とも20以上で砂堆の条件を満たしているが、Stage2に入ると混合砂は砂漣の領域に入るようになる。このことから、本実験では流量減少後は河床は砂堆と砂漣が複合した状態になっている可能性があるかと推察される。

5. あとがき 本文では混合砂河床における河床波の発達・減衰性状と河床砂の分級特性について実験的考察を行ったが、このような現象は通水条件と河床砂の粒度分布、すなわち粗砂と細砂の粒径とその存在割合によってもかなり異なった様相を呈すると考えられる今後、より広範囲の条件に対して検討を進めるとともに、流量増加や連続した流量変化に対する河床波の変形と河床粒子の分級機構について検討するつもりである。なお、本研究は平成5年度文部省科学研究費奨励研究(A)の補助を受けて行われたものである。記して謝意を表します。

参考文献 1) Miwa and Daido: *JHHE*, Vol.10, No.2, 1992.

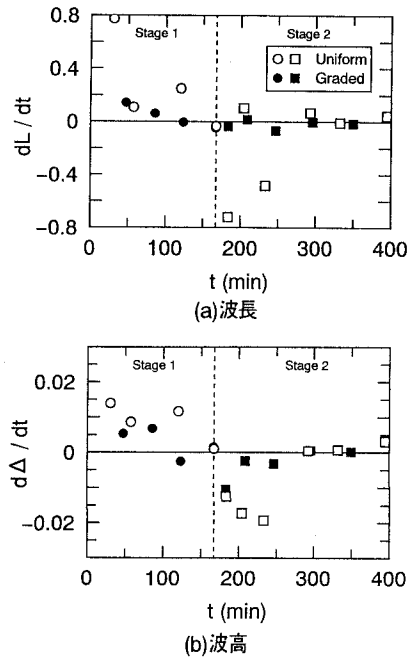


図-4 波長および波高の変形速度

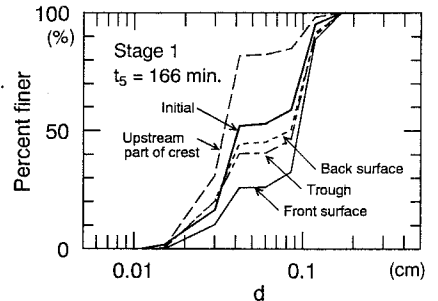


図-5 河床波表層砂の粒度分布(Stage1)

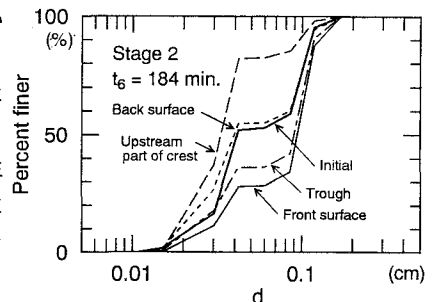


図-6 河床波表層砂の粒度分布(Stage2)