

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検討している。

2. 実験概要 実験は長さ9 m、幅20 cmの亚克力製可変勾配水路を用いて行った。本研究では混合砂河床における河床波を対象としているが、比較のためにほぼ同一の平均粒径を有する一様に近い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)、 $\sigma_g$ 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、各通水段階をそれぞれ stage 1, stage 2 としている。stage 1 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、stage 2 では stage 1 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 stage とも適時水路中心線上の水位

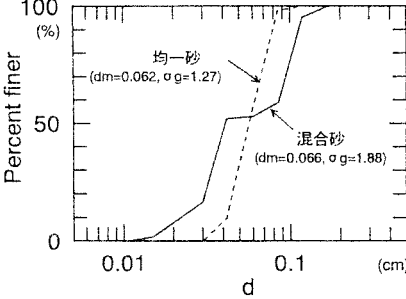


図-1 使用砂の粒度分布

表-1 実験条件

| Run No. | sand    | stage | hm<br>(cm) | le<br>( $\times 10^{-3}$ ) | Fr   | u*<br>(cm/sec) | $\tau^*$ |
|---------|---------|-------|------------|----------------------------|------|----------------|----------|
| U-DC1   | uniform | 1     | 8.09       | 2.39                       | 0.56 | 3.58           | 0.130    |
|         |         | 2     | 2.68       | 2.18                       | 0.58 | 2.19           | 0.049    |
| M-DC1   | graded  | 1     | 7.59       | 2.70                       | 0.61 | 3.68           | 0.126    |
|         |         | 2     | 2.51       | 2.32                       | 0.64 | 2.18           | 0.044    |

を測定するとともにその直後に停水して河床位、波長および波高の測定を行い、実験中これを繰り返した。なお、波長と波高の測定は trough-to-trough 法によって行われた。さらに、混合砂の場合には河床波の発達・崩壊に伴う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。表-1 に両 stage 最終時点の水理量を示す。なお、本実験は lower regime を対象としており、全粒径階の砂粒子に対して transition に入らない条件となっている。

3. 河床波の発達・崩壊性状と形状特性 図-2、図-3 は平均波長と平均波高の時間的変化を示したもので、標準偏差を付記してある。stage 1 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。stage 2 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 stage 1 の残存河床波の崩壊に伴って新たに細砂か

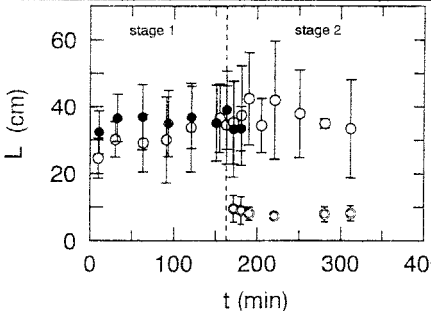


図-2 波長の時間的変化

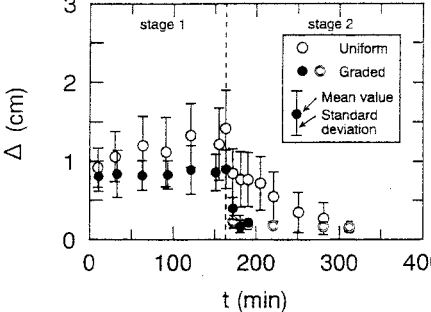


図-3 波高の時間的変化

らなる砂澁状の河床波(◎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澁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澁状河床波のみが残存した。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。stage 1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、流砂量変化は両者とも顕著ではない。しかし、stage 2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、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一様砂では河床波の発達・崩壊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。

**4. 河床波の発達・崩壊に伴う砂粒子の分級性状** 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は河床波の崩壊過程における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stage 1の最終状態、残存河床波に対するstage 2での初期状態および最終状態に対応している。stage 1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が相互に影響しているといえる。既報<sup>7)</sup>で示したように、混合砂河床では河床波の発達に対して粗粒子の効果が大きく、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。stage 2に入ると河床波前面の粗粒化は急激に減衰し、崩壊後には粗粒化域は認められなくなる(b)。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、stage 1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が開始される。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澁状の河床波(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様砂のそれよりも低いことと相まって一様砂の場合よりも早く崩壊に至ったと考えられる。このことより、混合砂河床での河床波の崩壊過程では細砂が主要な役割を担っていると判断できる。なお、stage 2の最終段階では河床全体が上述の砂澁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づいている部分もかなり存在している。また、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. あとがき** 本文では洪水等の非定常流下での河床波の変形過程を明らかにするための基礎として、その素過程の内の河床波の発達および崩壊過程に対してこれらと砂粒子の分級性状について検討した。今後、より詳細な現象の理解に当たるとともに、連続した流量変化に対する河床波の変形とこれに及ぼす砂粒子の分級効果について検討するつもりである。

**参考文献** 1) Miwa, H. and Daido, A.: Jour. HHE, Vol. 10, No. 2, 1992

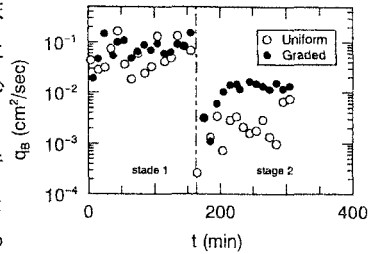


図-4 流砂量の時間的変化

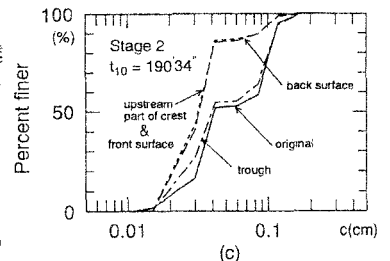
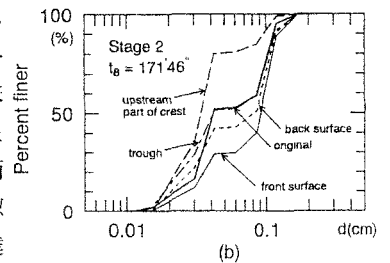
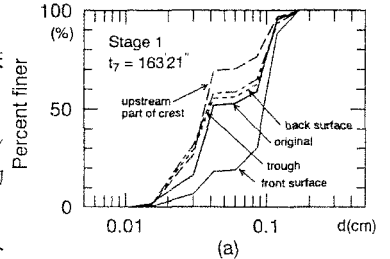


図-5 河床波表層の粒度分布