

II-138 河床波の発達に及ぼす混合砂の分級効果

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 混合砂河床では、粒子の選択輸送のために分級現象が生じ、河床粒度の構成が時間的あるいは空間的に変化する。このような場で発生する河床波はその発達過程や形状特性において均一砂の場合とは異なった特性を有する。著者らはこのような現象の解明には河床波の形成と流砂の分級との相互作用を明らかにする必要があると考え、実験的に検討した。

2. 実験概要 実験に使用した水路は、長さ6.5m、幅20cmのアクリル製可変勾配水路である。河床材料として図-1に示すような粒度分布を有する砂を用いた。混合砂はほぼ均一な2種類の砂を、粗粒子:細粒子=2:1の割合で混合し、mix-A砂については分級効果が目視しやすいように細粒子として寒水石を使用した。実験は所定の勾配と流量に設定した後通水と給砂を開始し、河床波を形成させた。水位は停水の直前に、河床位と河床形状は停水後に測定した。また、流砂量として水路下流端で1波長分を適時採取した。なお、Fr数、粒径および砂粒Re数から判断して本実験で形成された河床波は砂堆である。

3. 混合砂による河床波の発達と形状特性 図-2および図-3は、均一砂と混合砂(mix-A)に対して同一条件下における通水開始からの河床波の波長および波高の経時変化を示している。図-2から、混合砂の場合の波長は通水の初期において均一砂の場合よりも大きい、その後の成長は顕著でないことがわかる。実験の観察においても混合砂の場合は均一砂の場合のように小さな河床波が水路全体に発生し、それが成長していくという過程をとらず、通水のごく初期を除いて早い時期から波長の大きな河床波が形成された。このように波長の成長過程は異なるものの、安定状態の波長はどちらも水深の4~6倍程度であり、従来の結果と近い値となる。一方、波高に関しては混合砂の場合は均一砂に比べ短時間で平衡状態に達し、かつ波高は小さい。波高に関するこのような特徴は流水抵抗に影響を及ぼすものであり、Kuhnle ら¹⁾も指摘しているがその機構については述べられていない。このような河床波の形成の違いについて現段階でその機構を明確に述べることは困難であるが、混合砂である以上少なくとも河床粒子の分級過程との関連性を考慮する必要があると考える。

4. 河床波の発達と河床粒子の分級効果 混合砂によって形成される河床波を考える場合、河床粒子の粒度分布がどのように変化し、またそれが河床波の形成にどんな影響を及ぼすかを検討する必要がある。そこで、まず河床粒子の粒度構成について考察する。図-4は河床の平衡が達成されていると考えられる、通水開始223分後の河床波表層砂の粒度分布を示している。ただし、給砂の粒度分布はinitialとして示している。これを見ると、河床波前面で粗粒化し、クレスト部で細粒化していることがわかる。また、河床波の背面およびトラフでは給砂材料に近いものの粗粒

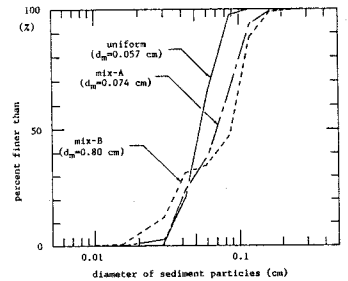


図-1 実験砂の粒度分布

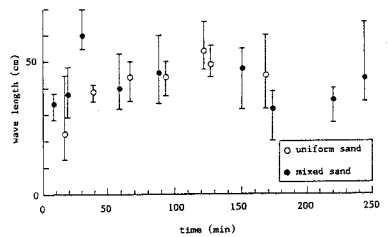


図-2 波長の経時変化

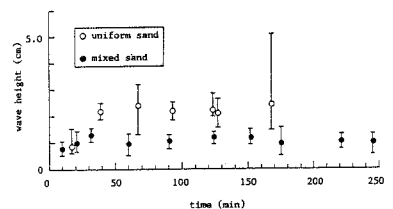


図-3 波高の経時変化

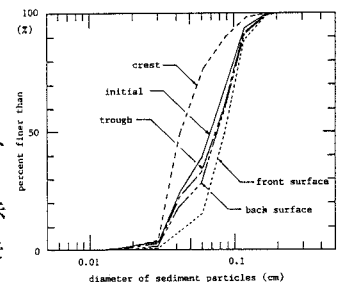


図-4 河床波表層の粒度分布

化傾向を示している。河床粒子の採取の困難さから特に河床波の背面およびトラフの粒度分布の精度は十分でないが実験の観察ではこの場所の粒度分布は粗粒化の傾向にあることが認められた。このように、平面的に粒度分布に差が生じるのは河床波の背面に沿って掃流力が変化するため、平均的には全粒子が活発に運動する条件であっても掃流力の小さい再付着点付近では粗粒子よりも細粒子の運動が活発である。そして、クレストに近くなるにつれて全粒子が活発に移動し、とくに粗粒子は池田²⁾が示した減摩効果と露出効果によってきわめて移動性に富むことになる。このような現象の結果、河床波の形成にともなって上記のような縦断的分級が生じると考えられる。

さて、河床波が形成されると背面を掃流されてきた粒子はクレストの前面に堆積し、河床波は下流へ移動する。それゆえ、流砂の交換現象は波高レベルで考える必要がある。図-5は通水開始後152分後に形成された河床波に対して、クレスト部の鉛直方向の粒度分布を調べたものである。各層の名称は表層からⅠ、Ⅱ、Ⅲであり、目視によって粒度分布が同じと判断される層をひとつの粒径集団として採取した。表層(layerⅠ)は細粒化しているが、その下層(layerⅡ)は粗粒化している。そして、最下層(layerⅢ)では、初期とほぼ同じ粒度分布を示している。このようなクレスト部の細-粗-初期河床といった互層は河床波の形成の初期から変化しない。図-6は上記の各層がクレスト部の粒度構成に占める割合を示したものである。縦軸は各停水時の波高に対するクレスト下端からの高さを示しており、クレスト頂部が1.0である。この図からわかるように、上記3つの層はいずれの河床波形成段階においてもほぼ同一の位置関係にあり、特に元河床の現れるlayerⅢの位置はほぼクレスト下端($z/\Delta' = 0$)から下に存在することがわかる。これは、河床波の発達、移動にともなう粒子の交換現象が河床波内部でのみ行われていることを示している。

さて、図-5の粗粒化層は河床波の前面に堆積した粗粒子が河床波の移動にともなってその内部に残ったものである。すなわち、この層の粒度分布の変化を検討することは、クレストでの分級効果、ひいては河床波の発達過程を考察することに相当する。そこで、図-7に通水初期からのクレスト第Ⅱ層(layerⅡ)の粒度分布の経時変化を示した。通水の初期段階、この場合30分程度で粒子の粗粒化はほぼ完了し、それ以後はほとんど変化しない。前報³⁾で示したように、河床波の前面に堆積する粒子の粒径別割合がクレスト頂部の有効摩擦速度で決まることを考えると、波高が発達段階にある間は有効摩擦速度も変化しているため、クレストでの分級が進んでおり、粒度分布は粗粒化途上にあると考えられる。そして、その後の粒度分布の変化が停止する段階では分級効果は一定であると判断でき、これは有効摩擦速度が一定になっていることを示しているから、この時点で波高の成長も停止すると考えるのが妥当であろう。

以上のように、河床波の波高はクレスト第Ⅱ層の粗粒化層の粒度分布の変化とかなり強い関係にあるといえる。図-3の波高の経時変化では、ほぼ30分で波高の成長が停止しており、これは図-7の粒度分布の変化の停止時間とほぼ一致する。このことから両者の関連性がうかがえる。

5. あとがき 本文では混合砂による河床波の発達特性と河床粒子の分級との関係について考察した。今後、より詳細な現象の理解にあたりとともに、分級現象を説明する数学モデルの構築を行いたい。

参考文献 1) Kuhnle, R.A. et. al., Water Resources Research, Vol.24, No.2, 1988. 2) 池田 宏、筑波大学水理実験センター報告、No.8、1984. 3) 三輪 浩・大同淳之、第44回年次講演会Ⅱ、1989.

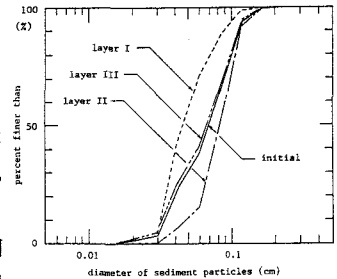


図-5 クレスト部鉛直方向の粒度分布

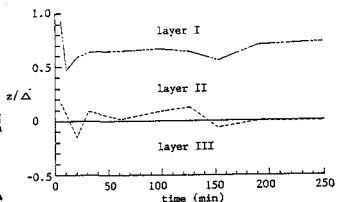


図-6 クレスト内部の構成粒子層の位置

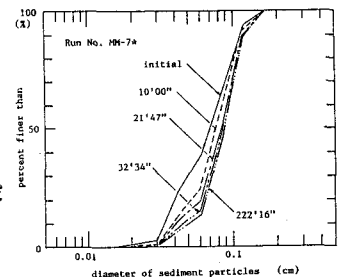


図-7 クレスト内部の粒度分布の経時変化