

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、河床の粒度分布が時間的あるいは空間的に変化する。このような場における河床波の形成は均一砂の場合とは異なる。Guy ら¹⁾や Kuhnle ら²⁾もこのことを実験的に指摘しているがその機構については言及していない。著者らはこのような現象の解明には流砂の分級と河床波の形成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. 実験の概要 実験に使用した水路は、長さ6.5m、幅20cm、深さ30cmのアクリル製可変勾配水路である。河床材料は図-1に示すような粒度分布を有する3種類の砂である。このうちmix-A砂とmix-B砂は混合砂であり、いずれもほぼ均一な2種類の砂を混合している。mix-A砂は粒度分布の変化が目視しやすいように色違いの砂を使用した。実験は所定の勾配と流量に設定した後通水を開始し河床波を形成させた。停水の直前に水位を、停水後河床位と河床形状を測定した。また、流砂は水路下流端で1波長分を採取している。なお、実験条件は全粒子が移動するように設定されている。

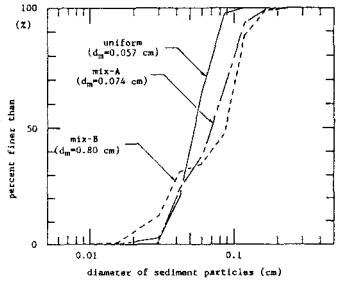


図-1 実験砂の粒度分布

3. 河床波の形状特性 図-2および図-3は、均一砂と混合砂に対して同一水理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たものである。図-2から、混合砂の場合は通水初期から均一砂に比べ波長の大きな河床波が発生することがわかる。実験の観察においても混合砂の場合は、均一砂のように小さな河床波が発生して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比較的早い時期から波長の大きな河床波が形成された。しかしながら、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を示す。一方、波高に関しては均一砂に比べ短時間で平衡状態に達するが波高は小さい。波高に関するこのような特徴は Kuhnle ら²⁾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、少なくとも河床粒子の分級と何らかの関係があると考えられる。そこで次節では河床粒子の粒度分布の時間的、空間的变化について検討する。

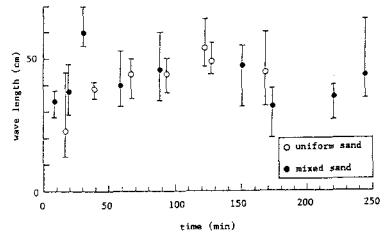


図-2 波長の経時変化

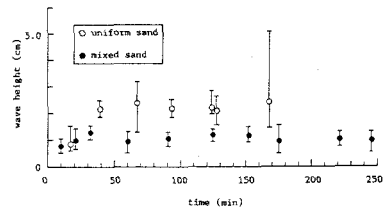


図-3 波高の経時変化

4. 河床粒子の粒度分布特性 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分布について調べる。図-4は河床の平衡が達成されていると考えられる、通水開始後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若干粗粒化してい

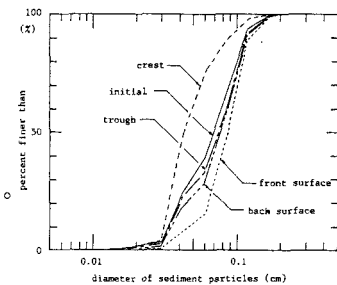


図-4 河床波表層の粒度分布

る。粒径が小さいため河床粒子の採取が容易でなく、とく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。しかし、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で、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³⁾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う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、その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、その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。こ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う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、引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-6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⁴⁾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、粒度分布が変化している間は波高は発達段階にあり、そのため有効摩擦速度も変化しているのでクレストでの分級が十分に行われていないと考えられる。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ためであると考えられることから、波高の成長も停止してい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-6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。

さて、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-7は各層が河床波に対して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、とくに元河床の現れる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、河床波の形成、移動にともなう粒子の交換現象は河床波内部でのみ行われていることを示している。

5. あとがき 本文では混合砂による河床波の形成を通して粒子の分級について考察した。今後、より詳細な現象の理解にあたりとも粒子の交換現象を説明する数学モデルの構築を行う予定である。

参考文献 1)Guy, H. P. et. al., Geological Survey Professional Paper, 462-1, 1966. 2)Kuhnle, R. A. et. al., Water Resources Research, Vol. 24, No. 2, 1988. 3)池田 宏、筑波大学水理実験センター報告、No. 8, 1984. 4)三輪 浩・大同淳之、第44回年次講演会Ⅱ、1989.

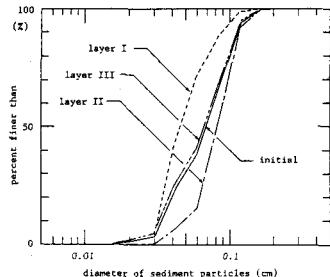


図-5 クレスト部鉛直方向の粒度分布

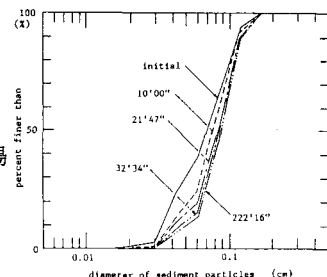


図-6 クレスト内部の
粒度分布の経時変化

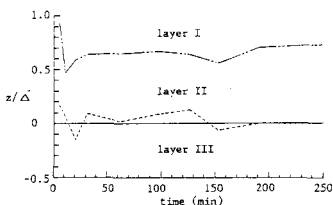


図-7 クレスト内部の
構成粒子層の位置