

II-208 階段状河床波の破壊・変形条件

日本建設コンサルタント 正会員 西本 直史
 京都大学 防災研究所 正会員 芦田 和男
 京都大学 防災研究所 正会員 江頭 進治

1. 緒言

一般の山地河川には、一連のステップとプールからなる階段状河床波がみられる。階段状河床波は、その形成・破壊のプロセスやプール部による流出土砂調節機能を通して、山地部の流砂現象を支配する一つの大きな要因になっている。著者らは、このような階段状河床波上における流砂現象の解明に努めており、これまでに河床波上における流砂過程や河床波の形成条件などに関するいくつかの知見を得ている^{1),2)}。山地河道における流砂現象に関する理解をさらに深めるためには、上述の知見に加えて、河床波の破壊・変形条件に関する考察も不可欠である。この問題についても、すでに実験的に検討を進めており、階段状河床波の破壊・変形は、ステップを構成する最大礫の移動によって起こることが判明している。そこで本報においては、このような階段状河床波の破壊・変形条件についてさらに考察を進める。

2. 階段状河床波の破壊・変形条件

上述したように、階段状河床波の破壊・変形は、ステップを構成する礫の移動によって生じる。したがって、破壊・変形条件を議論するためには、河床波上において掃流力がどのように分布しているのかを把握することが重要となる。図-1は、人工的な階段状河床波上における粒子抗力(F_D)の測定例を示したものである。河床波crestの測定値には若干問題があるが、ここで、抗力の縦断分布に着目すれば、再付着点付近において抗力は0であり、これより上流側で負の値を示し、下流側においてはほぼ直線的に増加している。

河床波上における砂礫の移動機構を考察するに際し、上述のような時間平均量を対象にした議論では不十分であるが、これを巨視的にとらえるには時間平均量でも十分である。そこで、上述の結果を参考にして階段状河床波上における掃流力の分布を図-2のように考えてみよう。すなわち、crest下流の剥離領域の平均掃流力は τ_s であり、再付着点からcrestの区間では図の破線で示すように直線分布を考え、その平均値を τ_s とする。しかも τ_s は対数型抵抗則で与えられるものとする。このように考えれば、Crestにおける掃流力は、 τ_s の2倍となる。したがって、ステップ頂部における有効摩擦速度 U_{*step} は次のようにあらわされる。

$$U_{*step}^2 = \frac{2U_m^2}{(6.0 + 2.5 \ln \bar{h} / D_a)^2} \quad (1)$$

ここに \bar{h} は平均水深、 D_a はアーマー・コートの平均粒径、 U_m は平均流速である。一方、混合砂礫床において、最大礫 D_{max} に関する限界摩擦速度 $U_{*cD_{max}}$ は、Egiazaroffによる次式から求められる。

$$\frac{U_{*cD_{max}}^2}{U_{*cD_a}^2} = \left\{ \frac{\log 19}{\log 19 \cdot \frac{D_{max}}{D_a}} \right\} \frac{D_{max}}{D_a} \quad (2)$$

ここに、 U_{*cD_a} はアーマー・コート平均粒径 D_a に関する限界摩擦速度であって、これは次のようにあらわされる。

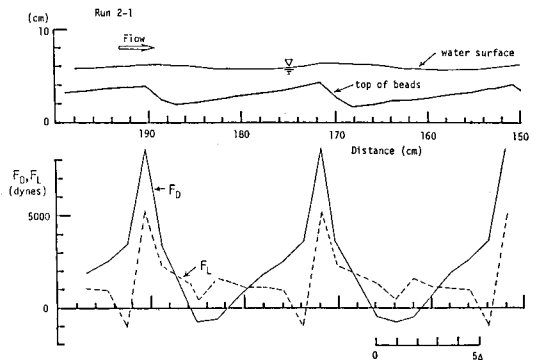


図-1 河床粒子 ($D=2.4\text{ cm}$) の抗力・揚力の測定例 ($\lambda=20\text{ cm}$, $\Delta=2.27\text{ cm}$)

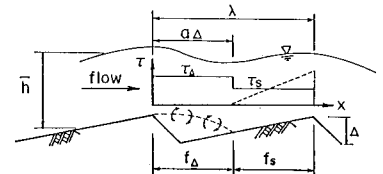


図-2 掃流力の分布

$$U_*^2 c_{Da} / sg Da = 0.05 \quad \text{--- (3)}$$

ここに、 S は、水中比重である。ステップの移動限界流量を知るためには、上述の条件式以外に河床波上の流水抵抗の推定式が必要である。これに関しては、江頭・芦田・西野³⁾による次式を用いる。

$$f = f_{\Delta} \frac{a\Delta}{\lambda} + f_s \left(1 - \frac{a\Delta}{\lambda}\right) \quad \text{--- (4)}$$

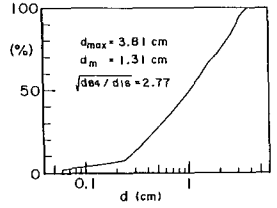


図-3 実験用材料

3. 実験の概要

実験は、長さ12 m、幅27.5 cmの勾配可変の鋼製循環式水路に図-3に示す混合砂を

表-1 実験条件

厚さ約20 cmに敷きならし、給砂なしの条件で行われた。表-1は各実験ケースの条件を示したものである。表中の i_s, i_e はそれぞれ通水初期および最終状態の平均河床勾配で、 D_a は最終状態におけるアーム・コートの平均粒径である。Run 1-1 ~ 6-1は、階段状河床波の形成過程における流砂機構を調べるために行ったものである。これらの実験は、図-4のcase 1のような定常流量の条件で行われ、通水初期には全砂礫が活発に移動し、大規模な河床低下が起こるよう留意されている。なお、流砂がほとんどなくなった状態で通水を停止している。Run 1-2 ~ 6-2は、それぞれRun 1-1 ~ 6-1で形成された河床波の破壊・変形過程の流砂機構を調べるために行ったものである。これらの実験では、流量を図-4のcase 2のように与え、破壊が始まったと判断した時点において定常給水に切り替え、河床砂礫の移動がなくなるまで給水を継続している。

Run No.	Q (l/sec)	i_s	i_e	D_a (cm)
1-1	6.90	0.100	0.086	2.62
1-2	4.90 - 9.40	0.086	0.086	2.47
2-1	10.80	0.100	0.052	2.52
2-2	8.80 - 13.78	0.052	0.052	2.43
3-1	8.88	0.100	0.055	2.65
3-2	6.90 - 12.24	0.055	0.046	2.41
4-1	14.78	0.060	0.030	2.57
4-2	12.78 - 19.68	0.030	0.030	2.49
5-1	12.80	0.060	0.036	2.45
5-2	10.80 - 19.66	0.036	0.036	2.55
6-1	10.78	0.060	0.045	2.62
6-2	8.86 - 13.56	0.045	0.039	2.65

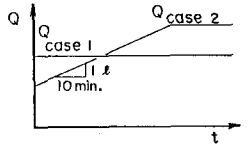


図-4 給水条件

図-5は、階段状河床波の形成流量 Q_1 と、破壊・変形時に最大礫がはじめて流出したときの流量 $Q_{c\text{meas}}$ とを比較したものである。ここで、 $Q_{c\text{meas}}$ は河床波の破壊流量である。図から明らかのように、階段状河床波の破壊・変形は、形成流量 Q_1 よりも大きい流量で起こることが理解される。これは、定常給水 Q_1 における階段状河床波の形成過程において活発な分級が起こり、アーム・コートの粒度分布が一様分布に近くなることに起因している。

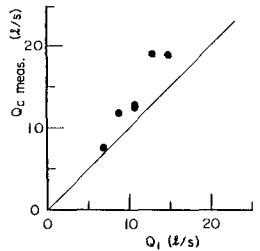


図-5 形成流量と破壊変形流量の比較

4. 計算値と実験値の比較

図-6は、式(1)~(4)を用いて算定される移動限界流量 $Q_{c\text{pre}}$ と実測流量 $Q_{c\text{meas}}$ とを比較したものである。ただし、実測流量には上述のように最大礫が初めて流出したときの流量を用いている。図より明らかのように、2節で述べた方法によって、ステップの破壊が適切に評価されるようである。

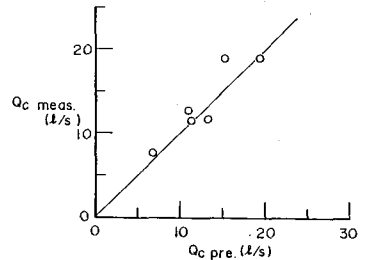


図-6 破壊変形流量に関する実験値と計算値

5. 結語

階段状河床波の破壊・変形条件について考察を行った。その結果、本報で試みた方法は、ステップの移動限界流量をよく推定しうることが判明した。これは現段階では満足すべき成果であると思われる。今後、河床波上の掃流力の分布および流砂分布の問題や、河床波の破壊後における流砂現象について検討を深めたい。

参考文献 1)江頭・芦田・西本：階段状河床波と流砂の挙動，第30回水理講演会，1986，pp.223~228。2)芦田・江頭・西本：階段状河床波の形成・破壊過程における流砂，昭和61年関西支部年講。3)江頭・芦田・西野：階段状河床波における流水抵抗と掃流力分布，41回年次講演会，1986。