

階段状河床波の破壊・変形機構

京都大学防災研究所 正 員 芦田和男
 京都大学防災研究所 正 員 江頭進治
 京都大学大学院 学生員 西野隆之
 熊 本 県 正 員 ○亀崎直隆

1. はじめに ここでは、山地河道の流砂現象を究明するための一環として、階段状河床波の形成、破壊・変形過程と流砂現象との関係について議論している。

2. 形成・破壊と流砂機構に関する実験的考察 実験は、長さ12m 幅30cm 勾配0.1の水路に、最大径3.81cm 平均粒径1.38cmの混合砂を厚さ15cm 長さ6.5mに敷きならし、2種類の通水条件のもとで行われた。すなわち、階段状河床波の形成過程および流砂過程を調べるためのもの(以下、形成実験)と、形成された河床波の破壊・変形過程および流砂過程を調べるために行った実験(破壊実験)である。形成実験では、河床が安定するまで流量6ℓ/sを通水し、破壊実験では、形成実験の最終状態を初期条件として、流量4ℓ/sから18/5分の割合で10ℓ/sまで増加させ、その後定常通水に切り替えた。図-1は形成実験における通水終了時($t=93'$)の河床位および水面形を示している。これによれば、河床が低下し、その勾配は0.0865程度になっており、表面には階段状河床波が形成されている。一方、水面は、射流水面形を呈している。図-2は、形成実験の流砂量(Q_s)および抵抗係数(f)の変化を示している。通水直後の流砂量は、多く不安定であるが、17分以後の流砂量は、かなり少ない。これは、17分の時点において、既に河床砂礫の分級が行われているからである。一方、抵抗係数は、時間とともに増加する傾向にある。これは、河床砂礫の分級に伴い、河床波が次第に固定化されていくことに対応している。図-3には、破壊実験における Q_s , f および波長(λ)の変化を示している。図示の結果によれば、20分あたりでこれらの諸量に顕著な変化がみられる。すなわち、流砂量は、22分あたりで少し増え、30分で極端に大きくなっている。波長は、13分あたりから変動し始め、20~22分では急激に増加している。抵抗係数は、10分以後通減をはじめ、20分頃急激に低下し、その後、ほぼ一定値になっている。以上のことから、河床の局所的な破壊が10分以後に起こり、20分頃完全に破壊されたことが推察される。

さて、河床波の破壊がどのような条件で起こるのかは、流砂現象に対して重要である。芦田・江頭・西本¹⁾の方法に基づいて、破壊実験における破壊・変形流量を算出すると、7.8ℓ/sと得る。一方、実験における砂壊・変形流量は8.0ℓ/s(20分)であり、両者はほぼ一致している。

Kazuo ASHIDA, Shinji EGASHIRA, Takayuki NISHINO, Naotaka KAMEZAKI

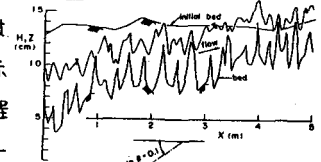


図-1 河床位および水面形

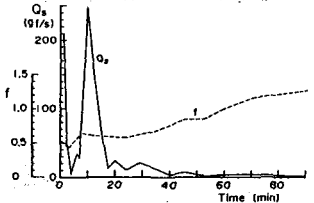


図-2 流砂量、抵抗係数(形成過程)

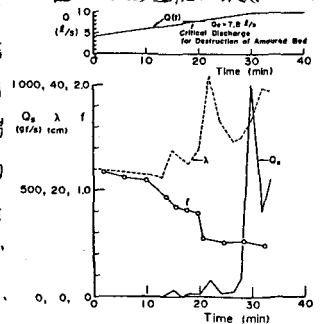


図-3 流砂量、抵抗係数、波長(破壊過程)

3. 形成、破壊・変形に伴う流砂機構 階段状河床波の形成、破壊・変形に伴う流砂現象を議論するための支配方程式は、次式のとである。

水の連続式: $dQ/dx = 0$

エネルギー式: $d(\alpha v^2/2g + h \cos \theta + Z_b)/dx = -I_e$

流砂の連続式: $\begin{cases} \partial z_i / \partial t + 1/(1-\lambda) \cdot (E_i - D_i) = 0 \\ \partial q_{bi} / \partial x = E_i - D_i \end{cases}$

河床表面の粒度分布

侵食のとき; $\frac{\partial f_{bi}}{\partial t} = -\frac{k_2}{k_1} \frac{d_i}{d_m} p_{si} + \frac{1}{d_m} \frac{q_{bi}}{l_i} + \frac{E-D}{d_m} f_{bi}$ (5)

堆積のとき; $\frac{\partial f_{bi}}{\partial t} = -\frac{k_2}{k_1} \frac{d_i}{d_m} p_{si} + \frac{1}{d_m} \frac{q_{bi}}{l_i} + \frac{E-D}{d_m} f_{bi}$ (6)

ここに Q は流量、 v は平均流速、 h は平均水深、 Z_b は河床位、 I_e はエネルギー勾配(= $fv^2/8gh$)、 q_{bi} は粒径 d_i の単位幅当り流砂量、 λ は河床砂礫の空隙率、 d_m, f_{bi} は河床表面の層厚ととの粒度分布、 f_{bi} は表層より下オの粒度分布、 k_2, k_1 は粒子の形状係数、 E_i, D_i は粒径 d_i の侵食速度および堆積速度で次式のように与えられる。

$E_i = k_2/k_1 \cdot f_{bi} d_i p_{si}$, $D_i = q_{bi}/l_i$ (7)

ここに p_{si} は中川・辻本²⁾による pick-up rate、 l_i は粒径 d_i の step-length である。また、限界掃流力は Egiazaroff の式に基づくものとする。

図-4は、形成実験に関する下流端流砂量の計算値と実験値を比較したものである。計算流砂量は、実験値同様、減少の傾向にあるが、その時間的变化は小さく、90分の時点において、実験値の数倍程度の値を示している。つぎに、破壊実験について述べる。

図-5は、下流端流砂量、図-6(a)(b)は、下流端流砂の粒度分布について計算値と実験値を比較したものである。計算流砂量は全体的に実験値に比べて小さいが、破壊時点を含めた変動の傾向は、実験値に一致している。粒度分布についてみると、計算結果は、実験値にみられる変動を十分に再現し得てない面もあるが、破壊時における流砂の粗粒化とかなりよく説明している。

4. おわりに 階段状河床波の形成および破壊・変形とその流砂過程について考察を行い、興味深い知見を得た。また、本モデルは、破壊・変形の現象を評価し得ることが判った。しかしながら、pick-up rate の評価そのものにも問題を含んでおり、図-6(b) 流砂の粒度分布(実験値)今後改良すべき点も多く残されている。

<参考文献>

1) 芦田・江頭・西本 京大防災研年報 29号 B-2, 1986, PP377-390

2) 中川・辻本 土木学会論文集 第244号, 71-80, 1975

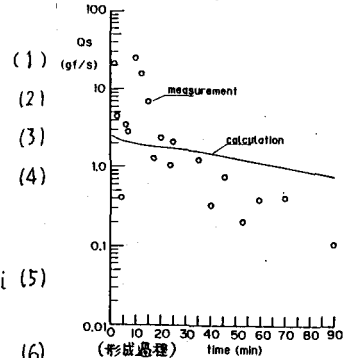


図-4 流砂量の計算値と実験値

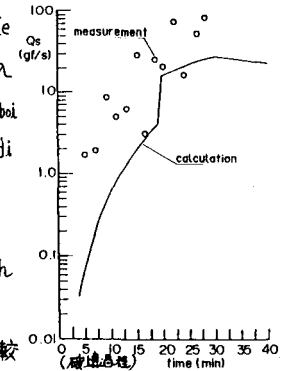


図-5 流砂量の計算値と実験値

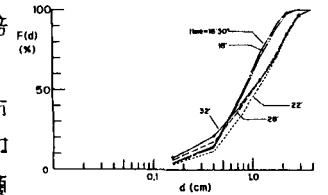


図-6(a) 流砂の粒度分布(計算値)

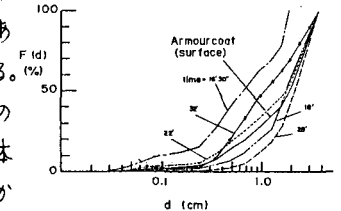


図-6(b) 流砂の粒度分布(実験値)