

PS II-5 階段状河床波の形成・破壊過程における流砂機構

京都大学防災研究所 正会員 江頭進治
 京都大学防災研究所 正会員 芦田和男
 京都大学 大学院 学生員 西野隆之
 熊本県 正会員 亀崎直隆

1. はじめに 山地河川における流砂現象を評価するためには、階段状河床波上の流れ、河床波の形成・破壊条件、形状特性値、河床波と流砂機構との関連性などに関する知見が不可欠である。著者らは、数年来これらの問題について、水路実験、現地観測ならびに理論解析を通して考察を深めている。本報においては、流砂の量的・質的変動現象に対して支配的な要因の一つである形成・破壊過程における流砂機構について検討する。なお、ポスターセッションにおいては、山地河道における流砂問題について抱括的に議論するつもりである。

2. 実験とその結果 階段状河床波の形成および破壊過程における流砂の挙動を調べるために2種類の実験を行った。一つは前者に関するもので、最大粒径 3.84 cm、平均粒径 1.2 cm の砂礫(図-5)を勾配0.1に敷きならし、流砂0の条件で流量6ℓ/s(水路幅30cm)を定常通水し、下流端流砂量、表面流速などを適当な時間間隔で測定した。一方、破壊過程における実験では、形成過程の実験の最終状態(勾配0.0865、アーマ・コートの平均粒径 1.8 cm)を初期条件として、給砂0の条件のもとで、流量を0.2ℓ/minの割合で4ℓ/sから10ℓ/sまで増加させ、この間における下流端流砂量、表面流速などの測定を行った。

図-1は形成過程の実験における最終状態の水位、河床位である。これによれば、河床には顕著な階段状河床波(平均波高 3.1 cm、平均波長23.9cm)が形成されており、水面波は河床形状と同位相になっている。このとき、河床には、平均粒径1.8 cmのアーマ・コート(図-5)が形成されている。図-2は、形成過程における流砂量と抵抗係数の時間的変化を示したもので、流砂は長時間にわたって存在するものの、20分を過ぎるとその量は微少になる。一方、抵抗係数は、20分過ぎまで有意な変化を示さず、これ以後、漸増していき、最終的には初期の2倍程度になっている。これは、砂礫の分級流送に伴う反砂堆の固定化、すなわち、階段状河床波の安定化に伴い、エネルギーの形状損失が付加されてくるからである。

図-3は、破壊実験における流砂量、波長、抵抗係数の変化を示したものである。流量が形成流量の 6 ℓ/sを越えるまでは、いずれの諸量も変化しない。流砂量は、流量が 6.6 ℓ/s(13分)になった時点から現れ初め、28分頃急激に増加している。波長と抵抗係数は、まず、流砂の移動開始に応じて漸変するが、20分頃($Q = 8$ ℓ/s)急激に変化している。この変化は階段状河床波の破壊を意味

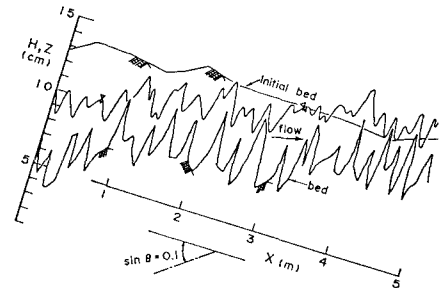


図-1 最終状態における水面形状と河床形状

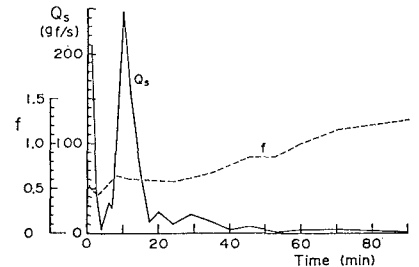


図-2 形成過程における流砂量、抵抗係数

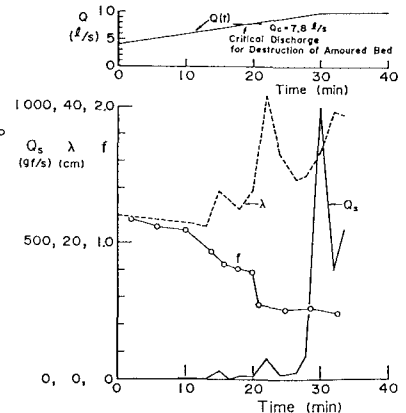


図-3 破壊過程における流砂量、波長、抵抗係数

している。流砂量の急増が河床波の破壊時点に一致していないのは、破壊された砂礫が、ブールの埋めもどしなどに使われるためである。

3. 流砂機構 上述の土砂水理現象を解析するため、次のような支配方程式を用いる。ここに、式(1)は水の連続式、(2)はエネルギー

$$\partial Q / \partial x = 0 \quad (1)$$

$$\partial (v^2 / 2g + h \cos \theta + z_b) / \partial x = -I_e, \quad (I_e = f v^2 / 8 g h) \quad (2)$$

$$\left[\begin{array}{l} f = \frac{a \Delta}{\lambda} f_d + \left(1 - \frac{a \Delta}{\lambda}\right) f_s \\ f_d = 4 K E \Delta / h, \quad (K=6, E=0.08) \\ f_s = 8 / \{6.0 + 2.5 \ln(h/d_m)\}^2 \end{array} \right]$$

$$\frac{\partial z_{bi}}{\partial t} + \frac{1}{C_*} (E_i - D_i) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial q_{bi}}{\partial x} = E_i - D_i \quad (4)$$

$$\left(\begin{array}{l} E_i = \frac{k_3}{k_2} f_{i1} d_i p_{si} \\ D_i = q_{bi} / l_i \end{array} \right)$$

$E - D \geq 0$ (net erosion);

$$\frac{\partial f_{bi}}{\partial t} = -\frac{k_3}{k_2} \frac{d_i p_{si}}{\alpha d_m} + \frac{1}{\alpha d_m} \frac{q_{bi}}{l_i} + \frac{E - D}{\alpha d_m} f_{bi}$$

$E - D < 0$ (net deposition);

$$\frac{\partial f_{bi}}{\partial t} = -\frac{k_3}{k_2} \frac{d_i p_{si}}{\alpha d_m} + \frac{1}{\alpha d_m} \frac{q_{bi}}{l_i} + \frac{E - D}{\alpha d_m} f_{bi}$$

} (5)

式、(3)は河床位方程式、(4)は流砂量式、(5)は河床表層の粒度分布式である。これらの式では慣用的記号を用いているが、中でも、添字 i は粒径の階級を意味し、 f_{b0i} は下層の粒径 i 成分、 l_i は粒径 d_i の step length、 αd_m は表層の厚さである。

P_{si} に中川・辻本の式を用い、階段状河床波の破壊条件に芦田・江頭らのものを用いて、破壊過程の実験を対象として下流端流砂量およびその粒度分布を算定した結果を図-4、図-6に示している。計算に当たり、河床波が破壊されるまでは形状損失を考慮し、破壊条件が満たされるやいなや $a \Delta = 0$ ($f_d = 0$) として掃流力を与えている。図-5の結果も合わせて、実験値と計算値を比較すると、十分とは言えない面もあるが、河床波の破壊直後において、流砂量が急増することや、その粒度分布が粗くなる事実がかなりよく評価されている。

4. おわりに 階段状河床波の形成・破壊過程における流砂機構について、実験および理論解析をもとに考察した。この研究においては、河床せん断力の評価、Pick-up rateの評価、河床交換層の扱い、破壊条件の評価が特に重要である。これらのうち、かなり見通しの明るいものもあれば、十分な考察が必要なものもある。今後、これらについて、検討を深めたい。

<参考文献> 1) 芦田・江頭他：京大防災研年報、30号B-2、1987(投稿中)。 2) 中川・辻本：京大防災研年報、20号B-2、1977。 3) 芦田・江頭・西本：京大防災研年報、29号B-2、1986。

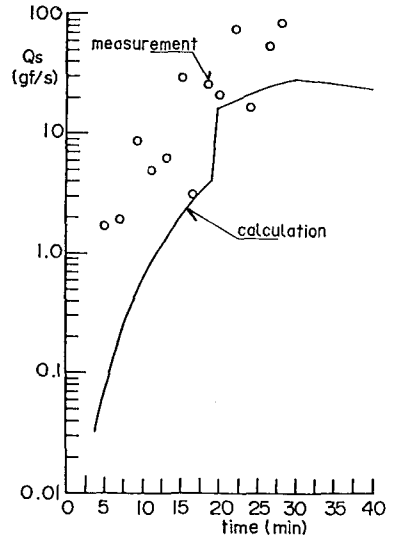


図-4 流砂量に関する計算値と実験値の比較（破壊過程）

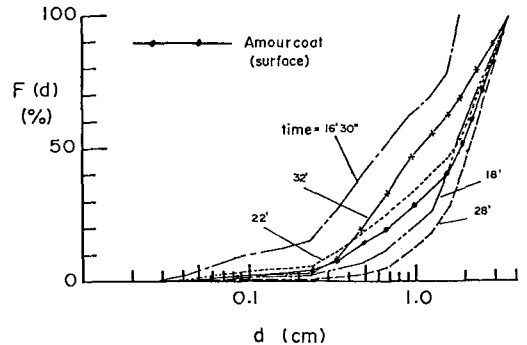


図-5 流砂の粒度分布（破壊過程の実験値）

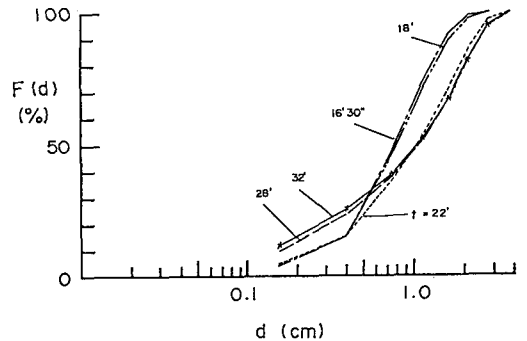


図-6 流砂の粒度分布（破壊過程の計算値）