

階段状河床形の形状特性と流水抵抗に関する研究

京都大学防災研究所

正員 芦田 和男

〃

正員 江頭 達治

近畿技術コンサルタント

正員 ○安東 尚美

1. 緒言 山地河道に見られる階段状河床形は、流砂や流路変動に大きな影響を及ぼす。階段状河床形の発生や形状特性は、反砂堆やアーマリング現象と密接な関係のあることが、これまでの研究^(1,2)によって示されている。本研究では、階段状河床形の発生領域を明らかにするとともに、その形状特性や流水抵抗について若干の考察を行う。

2. 実験方法・条件 実験は、Run-I については長さ 4m、幅 20cm、深さ 17cm の水路を用い、Run-II では幅と深さは Run-I のものと同じで長さが 6m の水路を用いて行った。この水路に、図-1 に示す実験用砂を厚さ 10cm に敷きならし、給砂なしで通水した。図中、材料 A は Run-I に、材料 B は Run-II に用いたものである。通水条件は、図-2 に

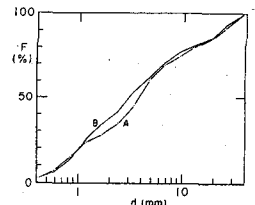


図-1. 実験材料

示すように、一定流量を与えたものと、 Q_1, Q_2, Q_3 ($Q_1 < Q_2 < Q_3$) のように階段状に与えたものとがある。なお、 Q_1 は平均粒径の移動限界流量、 Q_2 は 90% 粒径の移動限界流量、 Q_3 は最大粒径の移動限界流量にほぼ相当する。

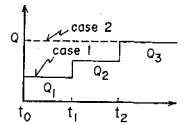


図-2. 通水条件

3. 発生領域 著者らは、先の研究において、階段状河床形は lower flow regime⁽²⁾ では形成されにくいことを述べるとともに、それが形成されるためには次の条件を満たされる必要のあることを示した。(A) 混合砂であること、(B) upper flow regime であること、(C) 初期河床の平均粒径あるいはそれよりも大きい粒径 ($d_m \leq d_i < d_{max}$) が移動して、分級現象がかなり活発に起こること。また、発生した階段状河床形が安定化するためには、(D) 最大粒径程度の礫が移動しないこと。ところが、実験的検証が十分でなく、とくに条件 (B) についてはそうであったので、いくつかの追加実験を行った。図-3 は、前回のデータも含めて、それらを示したものである。同図において、式 (1) は条件 (B)、式 (2) は条件 (C)、式 (3) は条件 (D) を示し、それぞれ、

$$h/d_m \leq (6.0 + 5.75 \log_{10} h/d_m)^2 S \tau_{*m} \text{ ----- (1)}$$

$$\tau_{*m} \equiv U_*^2 / s g d_m \geq \beta \tau_{*cm}, (\beta \geq 1) \text{ ----- (2)}$$

$$\tau_{*m} \equiv U_*^2 / s g d_m \leq \tau_{*cm} \text{ ----- (3)}$$

ここに、 h : 水深、 $S = \beta / \rho - 1$ 、 U_* : 摩擦速度、 τ_{*cm} : 平均粒径の無次元限界掃流力、 τ_{*cm} : 最大粒径の無次元限界掃流力で、 h/d_m および τ_{*m} は、各通水段階における初期の値である。図中、式 (3) よりも右側に点在するデータは、実験中に河床勾配が緩くなり、発生領域の τ_{*m} に移行するものである。今回の実験領域においては、相当粗

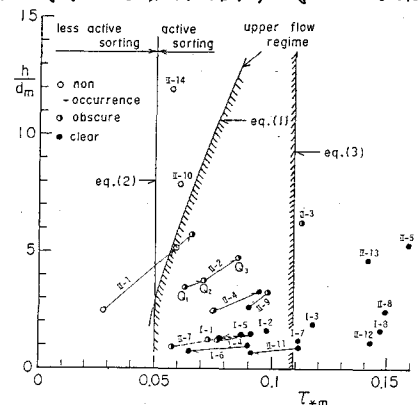


図-3. 階段状河床形の発生領域

Kazuo ASHIDA · Shinji EGASHIRA · Naomi ANDO

度 $K_s = \alpha d_m$ としたときの α の値はほぼ 2.6 となっている(図-8)。また、式(2)の β は、明瞭な階段状河床形が見られたものについては、およそ 1.5 以上となっている。

4. 形状特性 各通水において河床が安定した時点の縦断面形の一例を図-4 に示す。これより、河床には大小さまざまなスケールの波が存在するが、 Q_1 , Q_2 , Q_3 と流量が大きくなるにつれて河床波の峰が明瞭になっていくのがわかる。河床の縦断面形について MEM によるスペクトル解析を行った結果を図-5, 6 に示す。図-5 において、水面幅の 5~10 倍程度のところと zero crossing による平均波長 $\bar{\lambda}_1$, $\bar{\lambda}_2$, $\bar{\lambda}_3$ 付近とにスペクトルピークが見られるが、水面幅の 2 倍の区間の移動平均をとって低周波成分を除去したのが図-6 である。これによると、スペクトルピークは平均波長よりもやや低周波数側にあること、 Q_1 , Q_2 , Q_3 と流量が大きくなるにつれてピーク値が大きくなる明瞭になっていくようすがわかる。また、 $\bar{\lambda}_1$, $\bar{\lambda}_2$, $\bar{\lambda}_3$ は、通水初期における反砂堆の波長にほぼ等しくなっている²⁾。図-7 は、各通水の最終段階における無次元波高と無次元掃流力との関係を見たものである。これによると、無次元波高はほぼ一定値をとり、河床表面の平均粒径程度になるようである。

5. 流水抵抗 最終状態における相対水深と Darcy-Weisbach の摩擦係数 f との関係を見たのが図-8 で、図中、 Δ はステップを形成した後、流量を減らして通水したもので、黒くぬりつぶしたのはステップを砂礫層に押しこんで河床を平坦にした後、同じ流量を与えたものである。これによると、砂礫による流水抵抗は $K_s/d_m = 2.6$ としたときの対数則にはほぼ従い、これらの実験領域においては砂礫の抵抗とステップによる形状抵抗とはほぼ同程度になっている。

6. 結語 以上、階段状河床形の発生領域の区分図を示した。さらに、その波高は河床表面の平均粒径程度になることを示した。今後は、河床形上の流れの問題と、粒度分布が発生領域や形状特性に及ぼす影響について検討したい。

<参考文献> 1) Whittaker・Jaeggi: Journal of Hydraulic Division, 1982, pp 758-773
2) 芦田・江頭・安東: 第28回水理講演会論文集, 1984, pp 743-744

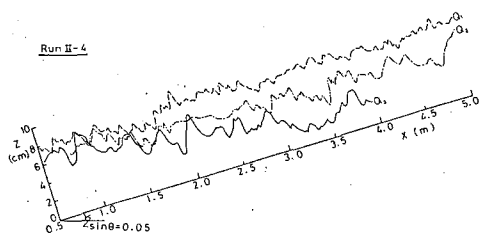


図-4. 河床の縦断面形

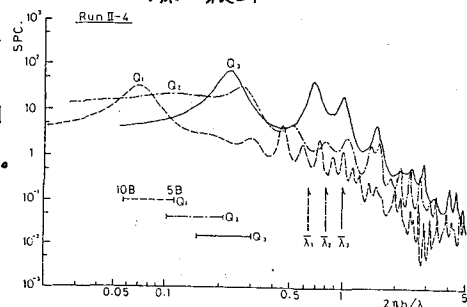


図-5. 河床波のスペクトル

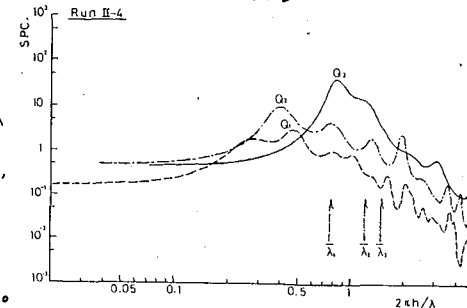


図-6. 河床波のスペクトル(低周波成分を除去したもの)

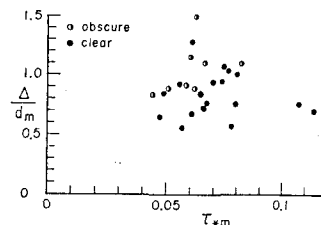


図-7. 波高と無次元掃流力

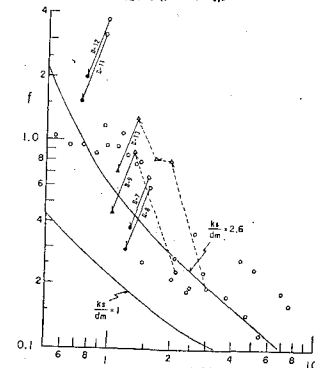


図-8. 抵抗係数