

近畿技術コンサルタンツ 正 安東尚美
京都大学 防災研究所 正 芦田和男
京都大学 防災研究所 正 江頭進治

1. 緒言 一連のステップとプールから構成される階段状河床形は、土砂の貯留機能をもっているばかりでなく、大出水時には破壊されることもあり、山地河道の流砂や流路変動に大きな影響を及ぼしている。著者らは、山地流域における流砂現象を解明するための一環として階段状河床形に関する研究を進めてきており、これまでにその発生機構や形状特性に関するいくつかの知見を得ている。その後、それらの知見の一般性を検討するため、形成限界近傍における実験や粒度分布等を変えた実験を行い、データを蓄積してきた。本報では、主としてこれらの結果について報告する。

2. 実験方法・条件 実験は、長さ6 m、幅20 cm、深さ17 cmの循環式水路に、図-1に示す材料を厚さ10 cmに敷きならし、給砂なしの条件で行われた。図-1において、材料Aは、 $d_m = 0.71 \text{ mm}$ 、 $\sqrt{d_{90}/d_{10}} = 4.28$ で、材料BはAに含まれる最大径を除いたもので、 $d_m = 5.3 \text{ mm}$ 、 $\sqrt{d_{90}/d_{10}} = 3.26$ である。実験条件を表-1に示す。ここに、 d_m ：初期河床の平均粒径、 I_b ：初期河床勾配、 Q ：通水流量、 Δt ：通水時間である。 Q_{cm} 、 Q_{c90} 、 Q_{cmax} ：Egiazaroffの式より算定される平均粒径、90%および最大径の移動限界に対応する流量である。 F_{r0} ：初期のフルード数である。通水条件は図-2のようであって、一定流量を長時間与えたものと、流量を階段状($Q_1 < Q_2 < Q_3$)に与えたものがあるが、いずれも流砂が殆んどなくなるまで通水している。測定項目は、水位、河床位、流砂量、河床および流砂の粒度分布等である。なお、表-1のRun-1~8まではすでに報告¹⁾しており、Run-9~17が新しく行った実験である。これらのうち、Run-14はlower flow regimeにおける階段状河床形の成否をみたもので、Run-16~18では河床形の発生や形状に対する粒度分布の影響を調べたものである。

3. 形成領域と発達機構 先の報告において、階段状河床形が形成されるためには、(1)河床材料が混合砂であること、(2)流れは射流であること、(3)初期河床の平均粒径以上の砂礫($d_m < d_i < d_{max}$)の活発な移動とそれに伴う反砂堆の形成が必要であるという条件を提示した。さらに、形成された河床形が固定するためには、(4)最大径が移動しないことが必要であることを述べ、図-3のような形成領域区分図を提示した。同図には、表-1の実験結果とともに、上述の条件(2)、(3)および(4)が示されている。なお、これらの条件は次のようである。

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

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

$$\tau_{*m} \leq \tau_{*c \max} \quad \text{----- (3)}$$

ここに、 h ：水深、 s ： $\rho_s/\rho-1$ 、 U_* ：摩擦速度、 τ_{*m} ： $U_*^2/s g d_m$ 、 τ_{*cm} ：

表-1 実験条件

Run No.	d_m (mm)	I_b (sine)	Q (cm ³ /s)	Δt (min.)	Q_{cm} (cm ³ /s)	Q_{c90} (cm ³ /s)	Q_{cmax} (cm ³ /s)	F_{r0}
1	7.1	0.02	1300 4400 5950	113.6 31.4 43.7	4380	10900	17700	0.896 1.02 1.05
2	7.1	0.03	2670 5250 8020	44.0 34.5 39.5	2520	6420	10500	1.10 1.16 1.23
3	7.1	0.03	7700	50.7	2520	6420	10500	1.35
4	7.1	0.05	1800 4000 7500	25.0 29.9 20.0	1200	3200	5340	1.23 1.32 1.36
5	7.1	0.05	7400	24.6	1200	3200	5340	1.65
7	7.1	0.10	350 1300 2500	38.3 33.9 40.0	397	1170	2010	0.997 1.02 1.24
8	7.1	0.10	2500	30.0	397	1170	2010	1.74
10	7.1	0.013	7800	86.1	7730	18900	30500	0.956
11	7.1	0.20	450 852	94.7 40.5	93	359	670	1.36 1.13
12	7.1	0.20	780	51.4	93	359	670	1.64
14	7.1	0.008	12900	36.0	14400	34600	55400	0.843
15	7.1	0.075	1790 3030	50.2 36.9	640	1790	3030	1.44 1.20
16	5.3	0.075	1450 2230	46.9 67.2	416	1010	1750	1.52 1.26
17	5.3	0.075	2230	58.9	416	1010	1750	1.67
18	5.3	0.01	12900	4.0	7050	15100	24500	0.988

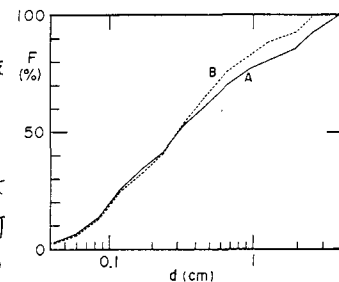


図-1 実験用河床材料

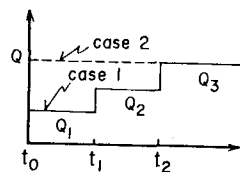


図-2 通水条件

T_{xcm} : それぞれ平均粒径および最大径の無次元限界掃流力である。
 ・なお、最大径の停止条件については、今後に検討すべき点もあるが、ここでは、Egiazaroff の式による計算値を示している。実験値は、各通水段階における初期の h/d_m および T_{xm} を用いて図示されている。したがって、最大径が移動するような領域のデータは、分級現象が最終段階になると式(3)の内側に移動する。河床形が発生したもののうち、明瞭なものとうでないものの区別は、河床形の規則性と波高に基準を設けて行うとともに、波高が使用材料の平均粒径に満たないものは非発生と判断した。以上のことを考慮し、形成条件と実験値との対応をみれば、形成領域の外側において河床形が発生したものが一例あるものの、両者の対応は極めてよい。このことは、領域区分図の妥当性を示すものである。

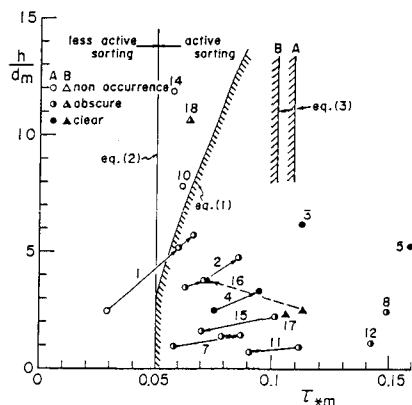


図-3 形成領域 (図中の番号は Run No.)

図-4および5は、材料Bを用いた Run 17の結果であって、河床形の発達と固定化のプロセスをみるため、それぞれ、波高 Δ 、波長 λ 、流砂量 Q_s および流砂の粒度分布の時間変化を調べたものである。まず、波高と波長についてみると、波長はかなり早い段階に決定されるようである。一方、波高の発達もかなり速いものの、波長より少し遅れている。図の傾向より波高の発達は十数分程度で終了しているものと思われる。波高の発達については、反砂堆のクレスト上流側に大きい礫が停止し、分級流送される砂礫のうち比較的大きな粒子がこれに接触して停止するような機構を考えている。そこで、このことを調べるため流砂量およびその粒度分布を見れば、分級によって大きい礫が移動しているのは13分までであって、流砂量もそれ以後は無視できるオーダーになっているのがわかる。このことは、先の考察の妥当性を示すものである。

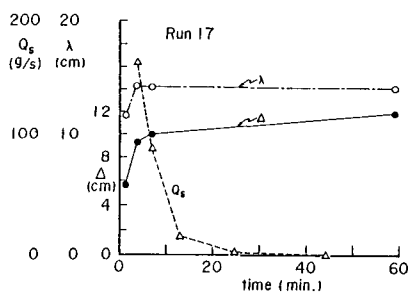


図-4 波高・波長・流砂量の時間変化

4. 形状特性 分級砂礫の咬み合いにより波高が大きくなれば、逆に不安定になる要素も現われるため、波高にはある種の平衡状態が存在するように思われる。図-6は、最終状態における河床表面の平均粒径を用いた無次元波高と無次元掃流力との関係を見たものである。これによれば、材料の違いにかかわらず無次元波高は0.6~0.12程度の範囲にあって、ほぼ一定値になっている。一方、波長については、前報でも示したように、ほぼ反砂堆のそれに一致するようである。

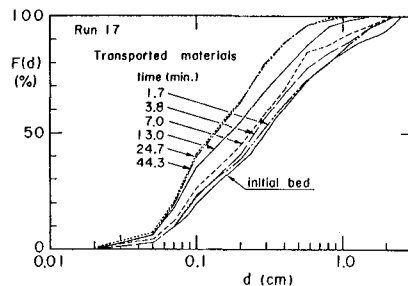


図-5 流砂の粒度分布

5. 結論 階段状河床形の形成領域、発達機構および形状特性について、多くの実験結果をもとに検討した。その結果、前報で得られた知見はほぼ一般性をもちことが示された。今後、階段状河床形上の流れやその土砂制御機構について議論するつもりである。

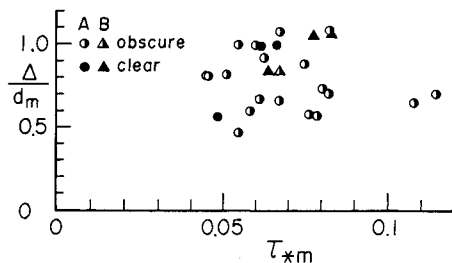


図-6 最終状態の波高

参考文献: 1) 芦田・江頭・安東: 階段状河床形の形成機構と形状特性に関する研究, 第28回水講, 1984.

2) Egiazaroff: Calculation of Nonuniform Sediment Concentration, A, S, C, E, Vol. 91, No. 4, 1965.