

京都大学大学院 学生会員 安東 尚美

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. きえがき

山地河川においては、一般に、階段状の河床形が形成されているのが見られる。ステップ部には最大粒径程度の段差があり、その近傍には大小さまざまな石の咬み合いがあり、これら川の横断方向に連なっている。山地河川における土砂流出は、こうした河床形の形成と破壊、それに伴う流路変動などとして、量的にも質的にも大きな影響を受けていることが知られている¹⁾。階段状河床形の形成や形状特性については、これまでに、反砂堆、蛇行波長および河床砂礫の分類機構との関連性を調べた研究があるが、まだ統一的理解が得られるに至っていない。このように、階段状河床形の形状特性、水理特性、およびその形成と破壊条件についてはほとんど明らかにされていないのが現状である。さて、礫床河川における階段状河床形の形成・発達には、粒径・水深・川幅スケールの水流の攪乱による揚流力分布とそれに伴う河床砂礫の移動・停止や分類が深くかかわっているものと思われる。ここでは、砂礫の分類過程と流れのレジームに着目して、階段状河床形の形成条件と形状特性に関して若干の実験的検討を行なう。

2. 実験方法・条件

実験は、長さ 4m、幅 20cm、深さ 17cm の水路を用いて、図1 に示す実験用砂厚を 10cm に敷きつめ、下流端直上を固定し、給砂 0、表1 に示すような水理条件で行なった。流量は、一定のものとし、RUN 5, 6 のようにステップ状に与えたものもあり、いずれも最大粒径の移動限界流量 Q_c 以下に設定されている。なお、通水初期の実験領域は、upper flow regime ではなく砂洲の形成領域になっている。

3. 実験結果の考察

① 形成・発達機構

図1 は、RUN 5 における河床の表層、下流端直上の粒度分布および下流端直上での時間変化を示したものである。図2 は、本値・河床の縦断面、図3 は最深河床のスペクトルを MEM によって求めた結果である。階段状河床形の形成機構は、着目するスケールによって異なる。まず、RUN 5 の結果をもとに、水深スケールの形成機構について考察してみる。流砂の粒度分布を見ると、河床構成材料のうちの 90% 粒径よりも大きな砂礫は流出しえず、流量の変化前後とも流砂の大部分は粒径 2cm よりも小さいものから成っている。一方、水路全体の平均的なフルード数は 1 を越えており、通水初期には流砂もかなり治癒であることから考えて、少なくとも部分的には upper regime の河床波が形成され、それが揚流力の縦断分布ならぬにこれに依

表1. 実験条件

RUN No.	通水 No.	加砂位置 Ibo	Q_c (cm ³ /sec)	Q (cm ³ /sec)	通水時間	最終減
3	1	0.1	3000	1760	16'00"	0.956
2	2			1760	13'00"	0.935
4	1	0.1	3000	663	14'39"	0.103
2	2			650	36'56"	0.103
5	1	0.1	3000	663	49'31"	0.953
2	2			1760	34'34"	0.888
6	1	0.15	1730	530	16'43"	0.151
2	2			827	28'35"	0.150
7	1	0.15	1730	827	33'41"	0.148
2	2			827	2'40'55"	0.149
8	1-U	0.15	1730	1500	51'29"	0.149
	1-D					0.129

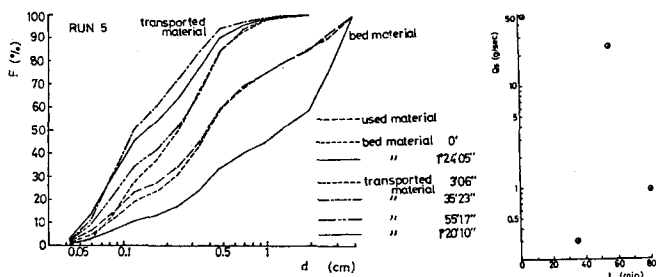
U:upstream D:down stream $Q_c: d_{max}=3.81\text{cm}$ 

図1. 河床材料と流砂の粒度分布、流砂量の時間変化

た結果である。階段状河床形の形成機構は、着目するスケールによって異なる。まず、RUN 5 の結果をもとに、水深スケールの形成機構について考察してみる。流砂の粒度分布を見ると、河床構成材料のうちの 90% 粒径よりも大きな砂礫は流出しえず、流量の変化前後とも流砂の大部分は粒径 2cm よりも小さいものから成っている。一方、水路全体の平均的なフルード数は 1 を越えており、通水初期には流砂もかなり治癒であることから考えて、少なくとも部分的には upper regime の河床波が形成され、それが揚流力の縦断分布ならぬにこれに依

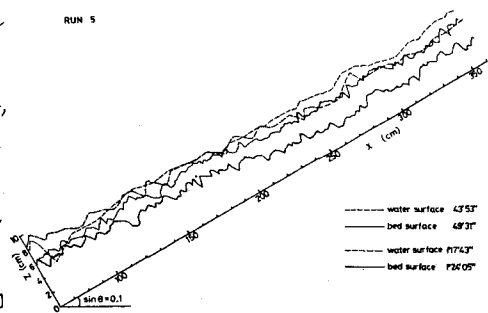


図2. 本値・河床形のスペクトル

た河床砂礫の移動と分類現象を規定しているものと思われる。このような機構を通じて階段状河床形状形成されるものと推察される。次に、発達機構について、図2,3 に対比しながら検討する。図2 には、2段階の通水において、それぞれ河床砂礫の分類が終了し、ほぼ安定したときの河床形状が示されているが、後半の通水において、ステップ構造はさらに明瞭になっている。図3 においても、後半の通水後には、特定波数のスペクトルのピークが前半よりもかなり顕著になっているのがわかる。以上より、河床波の発達には、河床砂礫の分類および砂礫の再移動が重要な要因になっていると思われる。

②形状特性 これまでの土砂水理学的知見によると、最も波数の小さいところのピークは、砂洲あるいは蛇行波長 L_m と密接な関係があることが推察される。水面幅を B_w とすると、 L_m は、一般に、

$$L_m = \alpha B_w$$

のように書けることが知られている。そこで、本実験の領域において α がどの程度の範囲になっているかを調べると、 $I_{bo}=0.1$ の実験では $\alpha=5\sim7$ 、 $I_{bo}=0.15$ の実験では $\alpha=8\sim12$ 程度になっている。これらは、高橋の実験値よりもやや大きい。ただし、水路長が十分でなかったため、データの長さの面で若干問題があり、 I_{bo} による α の値の違いや高橋の実験値との比較を厳密に議論するには若干の困難がある。

次に、水深スケールの現象に着目し、より高周波数域に現れる数個の、スペクトルの有意なピークについて検討する。蛇行スケールの低周波数域を除いて考えると、有意な波数域において計算した平均波数とスペクトルの最大ピーク波数とはほぼ一致することがわかった。そこで、蛇行スケールの低周波数域を除いたスペクトルの最大ピーク波数を代表波数と見なし、それとフルード数との関係を見たのが図4 である。図中の曲線は、反砂堆に関する Kennedy の理論で、反砂堆に関する種々の実験値を念頭に置いて図4 を見ると、階段状河床形の代表波長は、反砂堆の波長とほぼ一致していることがわかる。

4. おわりに

水深スケールの階段状河床形の形成・発達には、反砂堆の形成に伴う掃流力の分布とそれに応じた砂礫の分類や移動・停止が深くかかわっていることを推察した。波長は、反砂堆の波長とほぼ一致していることが示された。一方、砂洲あるいは蛇行スケールの階段状河床形の波長は、従来の実験値よりもやや大きめの値を得ているが、これについての検討は今後の課題である。

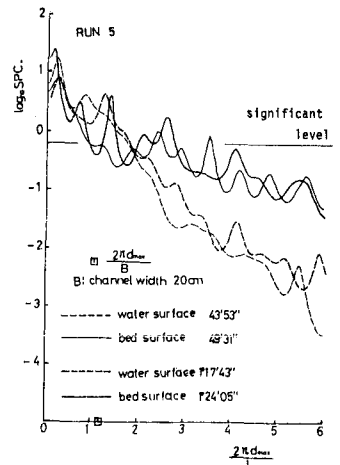


図3. 水程、河床値のスペクトル

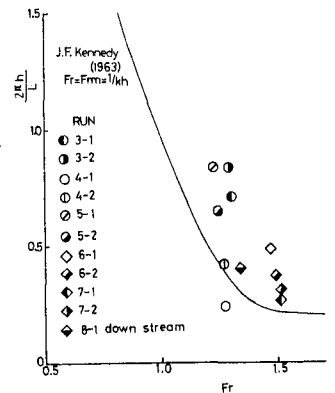


図4. 代表波数とフルード数との関係

<参考文献>

- 1) 沢田・芦田・高橋; 第26回水理講演会論文集, 1982, pp105~110
- 2) Whittaker-Jaggi; Journal of Hydraulic Division, 1982, pp758~773
- 3) 高橋; 京大防災研年報25号B-2, 1982, pp343~347
- 4) 藤田; 学位論文, 1980, p210
- 5) Kennedy; Journal of Fluid Mechanics, Vol 16, part14, 1963, pp521~544