

## 38 掃流域における鋼製スリットダムの機能

筑波大学農林学類 ○植野 利康  
筑波大学農林工学系 天田 高白  
(財) 砂防・地すべり技術センター 宮本 邦明 岩釣 敬一  
新 光明 寺澤 岳真 浅井 信秀

### 1. はじめに

従来、鋼製スリットダムは土石流の直接捕捉・堆積を目的として、土石流区間に設置されてきた。一方、掃流区間では、堰上げによる土砂の堆積・調節を目的として、流路断面に占めるスリットの開口面積率（スリット密度）が小さいコンクリートスリットダム等が設置されてきた。

ところで、山地河川では、平地河川と比較して河床材料の粒度分布が広く、また、洪水時と平常時で流量・掃流力に大きな違いが見られるという特徴を持っている。そこでは、アーマー・コートが形成されており、平常時や中小洪水時には大粒径の石礫の移動は見られないが、大洪水時に流量がある限界を越すと、アーマー・コートが破壊され、移動を開始する。このような河川では、平常時や中小洪水時には土砂の貯留・調節をせず、大洪水時にのみ大粒径の石礫を捕捉して土砂を堆積させるような機能を持つ施設を考えることができる。その点、鋼製スリットダムは、そのような機能を期待できる施設といえる。

本研究は、以上のような見地に立って、掃流区間における鋼製スリットダムの土砂の捕捉・堆積機能を明らかにすることを目的として、洪水時の石礫の捕捉機構に着目し、基礎的な実験的研究を行ったものである。

### 2. 鋼製スリットダムの水理機能

掃流状態の流砂に対する鋼製スリットダムの捕捉機構は、芦田・江頭ら<sup>1)</sup>が検討したように、Gaudin<sup>2)</sup>の確率理論（ここではスリットが礫を捕捉する確率）に従って生じている。

Gaudinの確率理論に倣い、図-1に示すような純間隔（スリット幅）Lをもつスリットを考えた場合、スリットが粒径dの粒子を捕捉する確率（捕捉率）pが、

$$p = \alpha \frac{d}{L} \quad \cdots (1)$$

と表せる。

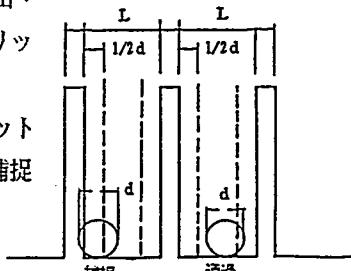


図-1 Gaudinの砂礫捕捉モデル

ここに、 $\alpha$ は係数で、粒子の集合の状態や運動の活発さ、流れの強さ、粒子形状、さらには、粒子と流れとの相互作用などの関数で、0から1の間の値をとる。

スリットは、式(1)に従って砂礫粒子を捕捉する。スリットが捕捉する流砂量は、スリットの上流から流入する流砂量に捕捉率をかけたもので、その分がスリットダムの近傍に堆積することになる。この堆積によりスリットダムは閉塞し、その影響が上流へと伝わる。この閉塞条件は、閉塞するまで

のスリット近傍での流砂の堆積の仕方に依存する。また、その堆積の進行状態は、スリットダムに捕捉される流砂量に直接的に依存するので、結局、閉塞条件は、スリットの捕捉率を支配しているパラメーター、粒径とスリット幅の比 ( $d/L$ )、 $\alpha$  と強い関係にあることが想像される。

よって、評価されるべき関数は、捕捉率を表す式(1)中の係数  $\alpha$ 、閉塞までの間にスリットダム直上流に堆積する土砂量  $Q_D$  の2つである。

以上の考察に基づいて、現象を支配するパラメーターのうち、粒径とスリット幅の比、粒子の運動の活発さを挙げ、それぞれ  $d/L$ 、無次元掃流力  $\tau$  で代表して、スリットを通過する流砂の捕捉率、スリットの閉塞条件について実験的検討を行った。

### 3. 実験方法

実験は、図-2に示すような幅30cm、長さ9mの可変勾配水路を用いて行った。水路は、片面がガラス張りで、流況を観察できるようになっている。スリットから上流40cmの範囲を、この片面を通して、全ての実験ケースのビデオ撮影を行った。河床は、固定床で木製の滑面となっている。

実験に用いたスリットは、図-3で示すように、直径6mm、長さ30cmの円筒を純間隔18mm及び24mmで一列に並べたものを用い、水路下流側に設置した。スリット密度はそれぞれ0.75、0.8である。

実験に用いた給砂材料は図-4に示す4種類である。即ち、比較的均一な粒度分布をもつ給砂材料3種類（粒径の小さいほうから A砂、B砂、C砂）と、A砂とC砂を重量比1:1で混合して作った混合粒径材料 D砂である。

水理条件は、アーマー・コートが破壊される時の状況を想定して、掃流力が限界掃流力に比較的近い条件で行っている。

実験ケースは、表-1に示すとおりである。

Ran.1~14は、スリットの閉塞の有無に関する実験で、スリットの閉塞に伴う堆積のそ上の様子及びスリットからの土砂流出を見た。計測項目は、閉塞の有無、堆積前の等流水深、閉塞後の堆砂が給砂地点まで及んだ状態での河床位、水深及びスリットからの流出土砂量である。

Ran.15~29は、Ran.1~14でスリットの閉塞をみた  $d/L \approx 1$  の条件下で、スリット閉塞までの、スリットの捕捉率を計測するための実験で、計測項目は、閉塞するまでの給砂量とスリットからの粒径別の流出土砂量である。

### 4. 実験結果

まず、 $d/L$  とスリットの閉塞の関係に関する実験結果 (Ran.1~14) を述べる。

Run.1~7では、スリットの閉塞・堆積を生じなかつた。スリットが閉塞し、スリット上流に堆積を生じたケース (Ran.8~14) の河床位・水位・全水頭線を示したところ、いずれのケースも堆積の前後

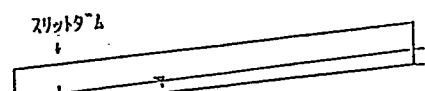


図-2 実験水路

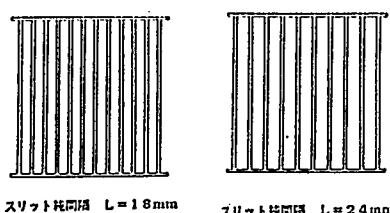


図-3 スリットの形状

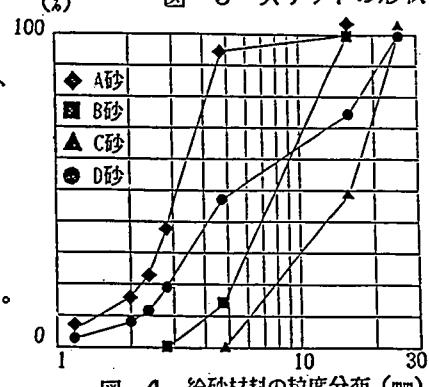


図-4 細粒材料の粒度分布 (mm)

グーグルNO. 実験名	スリット幅 L (mm)	水路勾配	沿砂材料	流速 q (l/s)	給砂量 qB(cc/s)	水深 h (cm)	流速 v (cm/s)	フルード数無次元揚力 $F_f/\tau^*$	無次元揚力 $\tau^*$	摩擦速度 $U_w$
Run 1	18 II/100		A	4.24	6.42	0.55	257.15	11.08	0.0965	2.32
2	18 II/100		B	7.73	18.15	1.97	130.78	2.98	0.0887	4.39
3	24 II/100		C	13.94	51.36	3.00	154.91	2.86	0.0871	5.42
4	18 II/50		A	2.72	6.42	0.95	95.33	3.12	0.0224	4.32
5	18 II/50		B	4.90	18.15	1.35	121.01	3.33	0.0120	5.14
6	24 II/50		C	8.74	51.36	1.85	157.41	3.70	0.0087	6.02
7	18 II/50		A	10.60	282.43	2.28	203.83	4.31	0.0108	6.68
8	18 II/100		C	13.94	51.36	4.50	104.58	1.57	0.0106	6.64
						8.25	55.12	0.62	0.0195	8.99
9	18 I/100		C	25.10	398.34	6.30	133.11	1.69	0.0149	7.86
						11.18	80.42	0.77	0.0264	10.47
10	18 I/50		C	8.74	51.36	2.56	116.63	2.33	0.0121	7.08
						5.01	60.86	0.87	0.0236	9.99
11	18 I/50		C	15.87	398.34	3.85	142.22	2.31	0.0182	8.99
						9.15	95.69	0.02	0.0431	13.39
12	18 I/20		C	4.65	51.36	1.29	120.51	3.39	0.0152	7.95
						0.98	87.34	1.99	0.0233	9.85
13	18 II/20		C	8.58	398.34	2.11	138.31	3.04	0.0249	10.17
						4.15	66.41	1.04	0.0489	14.36
14	18 II/20		C	29.70	398.34	4.19	238.55	3.74	0.0489	14.36
						17.78	55.68	0.42	0.2097	29.52
15	18 II/20		C	29.70	398.34	4.15	238.55	3.74	0.0489	14.36
16	18 II/20		C	8.58	51.36	2.70	105.98	2.08	0.0318	11.50
17	18 II/20		C	8.58	398.34	2.70	105.98	2.08	0.0318	11.50
18	18 II/20		D	8.58	398.34	2.70	105.98	2.08	0.0318	11.50
19	18 II/20		D	8.58	51.36	2.70	105.98	2.08	0.0318	11.50
20	18 II/20		D	30.00	398.34	3.83	261.10	4.26	0.0452	13.70
21	18 II/50		C	8.74	51.36	2.04	142.75	3.19	0.0096	6.32
22	18 II/50		D	8.74	51.36	2.04	142.75	3.19	0.0096	6.32
23	18 II/50		C	15.87	398.34	3.68	143.93	2.40	0.0174	8.49
24	18 II/50		D	15.87	398.34	3.68	143.93	2.40	0.0174	8.49
25	18 II/50		C	30.00	398.34	5.08	196.85	2.79	0.0241	9.98
26	18 II/50		D	30.00	398.34	5.08	196.85	2.79	0.0240	9.98
27	24 II/20		C	30.00	398.34	4.50	222.22	3.39	0.0530	14.85
28	24 II/20		D	30.00	398.34	4.50	222.22	3.39	0.0530	14.85
29	24 II/50		C	15.87	398.34	6.10	86.72	1.12	0.0288	10.93

上段：給砂前 下段：給砂後

表-1 実験ケース一覧表 1段のケースは給砂前の値

で河床位・水位は変化しているものの、それらの勾配及びエネルギー勾配は変化していないのがわかった。

次に、スリットが閉塞するd/L=1の条件下で、捕捉率を計測した実験(Ran.15~29)の結果を述べる。

図-5は、スリットが閉塞するまでのスリットによる捕捉率とd/Lの関係を示したものである。

ここで言う捕捉率は、スリットが閉塞するまでにスリットが捕捉した土砂量をその間の給砂量で割った値で定義している。図-5の実線は式(1)において、 $\alpha=1$ としたときの値である。実験より得られた捕捉率はd/Lが1の近傍で大きく変化していることがわかる。

実験の様子をビデオで観察したところ、閉塞から堆積に至る過程は、無次元揚力 $\tau$ によって3種類に分類できることがわかった。

- $\tau < 0.015$ の時…流砂の先端がダムに到達した瞬間に後続の流砂の動きは鈍くなり、急速に堆積が上流側に起きる。
- $0.015 \leq \tau < 0.03$ の時…流砂の先端がダムに到達し、スリットが閉塞するまでは、堆砂はダム直上流部に限られるが、スリットの閉塞後は約0.1cm/sの一定速度で堆積を上する。一旦堆積した流砂は完全に静止しており、その地点には上流から新たな流砂の流入はない。
- $0.03 \leq \tau$  …堆積を上の過程は1/50勾配の時と同様であるが、一旦堆積した流砂はぐらぐら揺れており、そこに上流から流砂の流入が断続的である。約50秒経過後、堆積面は水路床とほぼ平行となり、新たに流砂がスリットに到達し、2層目の堆積を上が始まる。その経過は1層目と比較すると、極めて遅い。

堆積を上の過程において、跳水は堆砂末端の直上流部に位置し、堆積を上の速度とほぼ同様の速度で上流側に移動している。また、c、d砂による堆積を上速度の違いはあまり見られなかった。

図-5でみられる、 $d/L$ の1近傍での捕捉率 $p$ の大きなばらつきは、式(1)中の $\alpha$ によるものである。そこで、 $\alpha$ を支配する要因のうち、最も支配的なパラメーターであると思われる粒子運動の活発さを、無次元掃流力で代表して、 $\alpha$ と無次元掃流力の関係を調べた。

図-6は、スリットの閉塞が生じた  $d/L \approx 1$  の条件のもとで、 $\alpha$ と無次元掃流力の関係を示したものである。この図から、粒子の運動が活発になるにつれて ( $\tau_*$  が大きくなるにつれて)、 $\alpha$ は1から減少してゆき、同一の  $d/L$  のもとでも捕捉率は減少することがわかる。

最後に、スリットが閉塞するまでに要する給砂量が、粒子の運動の活発さ ( $\tau_*$ ) にどのように依存しているかを調べた。

図-7は、 $d/L \approx 1$  の条件での、スリットの閉塞に要する無次元給砂量と無次元掃流力の比較である。掃流力が小さいと ( $\tau_* < \tau_{*0}$ )、無次元給砂量は一定値 (約0.4) をとるが、移動限界以上になると ( $\tau_* > \tau_{*0}$ )、次第に大きな値をとるようになる。

#### 4. おわりに

本研究の実験の範囲から、掃流域におけるスリットダムの、洪水時の大粒径の石礫の捕捉機能は、 $d/L$ はもちろん、無次元掃流力によっても検討できることがわかり、また、 $d/L$ はほぼ1程度に設定するのが望ましいといえる。

本研究は、捕捉率、閉塞までに要する上流からの土砂量について、基礎的な研究を加えるために行ったものであり、それらの基礎的特性はかなり明らかになったと考えるが、今後より実際的な評価手法を確立していく為には、粗面固定床、移動床における基礎的考察と実験的研究を行う必要がある。

#### 参考文献

- 1) 芦田和男・江頭進治・栗田三津雄・荒牧 浩: 透過性ダムの土石流調節機構, 京大防災研究所年報, 30号B-2, 昭62.4, pp441-456.
- 2) A.M.Gaudin: Principles of Mineral Dressing, 1939, pp.141-164

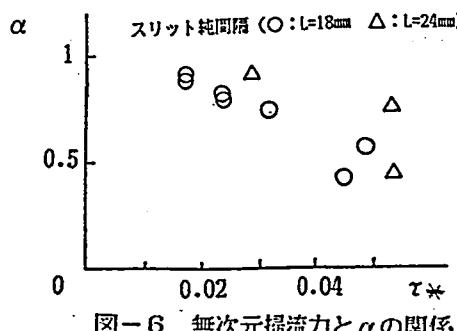


図-6 無次元掃流力と $\alpha$ の関係

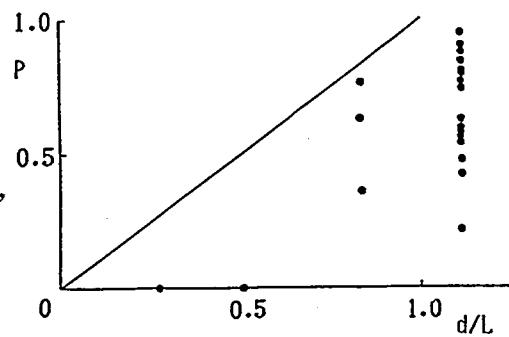


図-5 捕捉率Pと $d/L$ の関係

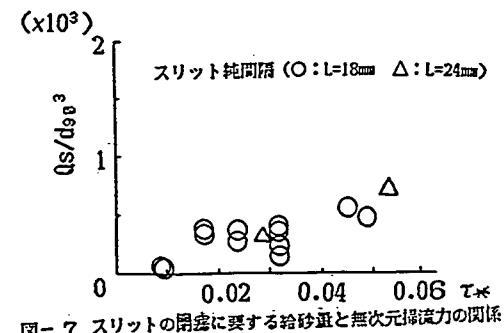


図-7 スリットの閉塞に要する給砂量と無次元掃流力の関係