

土石流の調節制御に関する研究

— 立体格子型砂防堰堤の水力機能 —

芦田 和 男・高 橋 保

STUDY ON DEBRIS FLOW CONTROL

— Hydraulic Function of Grid Type Open Dam —

By Kazuo ASHIDA and Tamotsu TAKAHASHI

Synopsis

So-called open dams such as grid or slit type pass the sediment transported during normal floods and store the materials due to debris flows which have big destructive forces. Moreover, there may be a possibility that the deposit is eroded gradually with flood and the storage capacity is restored. Therefore, the storage capacity can be effectively used for debris flow control.

This paper examines the hydraulic function of grid type dam by experiments, and clarifies that the following conditions should be fulfilled for the effective uses,

$$l/d_{\max} = 1.5 \sim 2$$

$$l/d_b > 2$$

where, l is the span of grid mesh and d_{\max} , d_b are respectively the maximum diameters of debris flow material and of bed load sediment.

1. は し が き

土石流は、その強大な破壊力のために人命や財産に致命的な損傷を与えることが多く、その防止軽減法の確立は、災害科学上緊急の課題となっている。

著者らは、この問題に対して一連の研究を続けているが、ここでは、その一つである立体格子型砂防堰堤の水力機能について研究した結果を述べる。

砂防堰堤は、従来から、異常豪雨時の土石流あるいは土砂流の調節制御をはじめ各種の目的を持って数多く設置され、防災上重要な役割を果たしてきたことは周知のところである。しかし、通常洪水時にかなり流砂があるような所では、土石流や多量の土砂流出を伴うような大洪水の発生以前の小出水で堰堤が満砂し、肝心の洪水時には、十分な土砂調節の機能を果さない場合も少くない。

通常洪水時の流出土砂は、一般に粒径もそれほど大きくなく、流砂濃度も低いので、そのまま流下させても安全な場合が多い。したがって、何らかの方法によって、通常洪水時の流砂はそのまま通過させ、土石流や多量の土砂流出を伴う大洪水にそなえて空容量を確保しておくことができれば好都合である。

従来、このような考え方から大暗渠砂防堰堤が設置された例があるが、暗渠周辺部の摩擦が大きくて、堤体の維持が困難であったり、暗渠の大きさが十分でなくて、簡単に閉塞し所期の目的を達成できなかったり、の難点があり、最近ではあまりその利点も省りみられなくなっている。大暗渠ダムが目的を完遂できない原因の一端は、それがコンクリート製であって、全堤体幅に対して暗渠部分の幅をあまり大きくとれないことや、暗渠をあまり低い場所に作り難いことにあるものと考えられる。このような難点を解消するものとして、コンクリートの替りに鋼材を使うことが考えられる。このような鋼製スリットダムは、建設省松本砂防工事

事務所において試験的に製作されて以来、現在各地で採用されつつある。同様な工法は、我が国とともに砂防工法の先進国であるオーストリーでも広く用いられており¹⁾、溪流の出口に設けられた堰堤のほとんどが、この種の型のものであることは注目に値しよう。

鋼製スリット型砂防堰堤は、スリットを形成する堰柱が底面から柱状に直立しているため、比較的斜め方向からの荷重に弱く、あまり高い構造物を作ることが困難である。スリットダムの特長を生かし、かつ高い堰堤の築造を可能にする工法として、立体格子型鋼製堰堤が考えられる。これは、鋼管を立体的に組立てて、横からの荷重に対抗しようとするものである。

これらの透過性の堰堤は、通常洪水時に流出する砂礫は、そのまま通過させ、土石流に伴って流出する巨礫群は阻止しようとするものである。

本論文は、立体格子型堰堤を対象として、上述の水理機能を明らかにするとともに、その現地への適用性と問題点について考察しようとするものである。

2. 土石流対策工法

土石流対策には、砂防構造物による直接的な防止軽減法(いわゆるハードな方法)と、土石流の発生、流出土砂量、堆積範囲等の予測に基づく警戒避難体制の確立と適正な土地利用計画を構じるいわゆるソフトな方法とが考えられる。さらに前者には、山腹工、流路工などによる土石流発生域の土砂生産の抑制と不安定堆積物の移動の抑制、土石流流下域における砂防ダムによる土石流下の調節制御、ならびに土石流堆積域における、土石流の分散堆積や導流などの方法が考えられる。

全国的に見ると土石流の発生危険溪流は数多く、ハードな対策工法だけでは対応できず、ソフトな方法をも導入し、これらをうまく組み合わせて災害を軽減していくことが、現在強く要望されている。これに適切に答えていくためには、それぞれの対策工法の持つ機能、設計法ならびにその効果の定量的評価法が明らかでなければならないが、現状では未解明の所が少なくない。まず、土石流の発生域に設置される構造物に対しては、土砂生産ならびに移動の抑制効果が期待されるが、その効果を定量的に的確に評価することは現状ではむづかしく、今後の解明が必要である。つきに、砂防ダムによる土石流の調節制御に関しては、従来一般に用いられている砂防ダム(不透透構造物)では、未満砂の場合には堆砂による直接的な流下防止効果、満砂後は、満砂面上に土石流を一時堆積貯留し、掃流砂に変質させるいわゆる調節効果が期待される。それを定量的に算定するためには、砂防ダム上流における土石流の堆積機構が明らかでなければならないが、これについては高橋^{2),3)}の研究成果を参考にすることができる。透過性の砂防ダムにおいては、閉塞を生じる限界の粒径以下の流砂は堆積させずに流下させ、閉塞限界以上の礫を含む土石流あるいは流砂は堆積させるもので、機能的には、閉塞の生じる限界条件ならびに流砂の調節効果が問題となる。池谷^{4),5)}らは、掃流砂の場合を対象として上述の諸点を明らかにしており、芦田⁶⁾は、貯水池堆砂防止工法の一環として、掃流砂および浮遊砂を含む場合を対象としてスリットダムによる粒径の篩分け効果を明らかにしている。しかし、土石流の場合に、透過性の砂防ダムがどのような機能を発揮するかについては従来明らかにされていないので、ここでは、立体格子型堰堤を対象としてこの問題を研究する。その他の型式の透過性堰堤に関しても、基本的には立体格子型の場合と同様であると考えられるが、閉塞の限界条件などは各型式によって若干異なるであろう。なお、各種の透過性ダムの水理機能について建設省土木研究所においても現在研究が進められつつあり、その一部はすでに渡辺・水山⁷⁾によって発表されている。堆積地域において土石流を分散・堆積させる工法については東⁸⁾の詳細な研究がある。土石流を導入して遊砂地あるいは安全な所に導く工法に関しては、今後水理機構を明らかにして行く必要がある。土石流の発生、流出土砂量ならびに堆積範囲の予測に基づくソフトな対策のための基礎的な研究は著者ら^{9),10)}、武居・小橋¹¹⁾や建設省土木研究所^{12),13)}などで現在活発に進められつつある。

3. 立体格子型堰堤の水利機能

立体格子型堰堤は透過性堰堤の一形式であって、鋼管を立体的に組み合わせ、透過性の利点を生かすとともに、横からの荷重に対抗させて高い堰堤の築造を可能にしようとするものである。従来の不透過性のコンクリート堰堤とは違って、通常の洪水による流出土砂はそのまま通過させ、来るべき土石流に対して常に貯砂容量を確保することを目的としている。したがって、通常洪水時および土石流時において移動する最大礫の大ききの推定とともに、格子の間隔をどのようにすれば、通常洪水時の砂礫は通過させ、土石流は阻止することができるかを明らかにすることが重要である。また、土石流では、一般に先端部に巨礫が集中し、後続流においては比較的細粒分が多くなるが、このような構造を持った土石流が、格子型堰堤によってどのような調節作用を受けるかについても知らなければならない。これらの諸点について、以下主として実験的に検討しよう。

4. 立体格子型堰堤の水利機能の実験的検討

4.1 実験装置および実験方法

この実験は基礎的なものであるが、神通川水系足洗谷白水谷に計画されている立体格子型堰堤の模型実験の意味も含めて、基本的な諸量は現地の1/100の歪みのない模型の値を採用している。しかしこのことは、実験の結果明らかにされた法則についての一般性を妨げるものではないと考えられる。

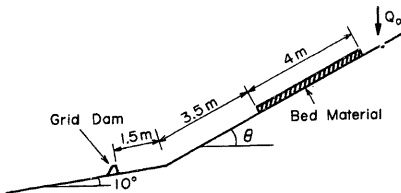


Fig. 1. Flume for the experiment on the debris flow control by grid type dam.

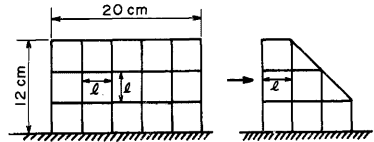


Fig. 2. Dimension of grid type dam used by the experiment.

実験水路は幅 20 cm で、Fig. 1 に示すように途中で折れ曲がるようになっており、上流側水路の約 4 m 区間に厚さ 4 cm で砂礫材料を敷き、予め十分に水分を与えておき、上流端から給水して土石流を発生させた。下流側水路の勾配は 10° に設定して、Fig. 2 に示すような立体格子型堰堤を設置し、上流から流下した土石流がどのような挙動を示すかを主として側面からの撮影によって調べた。

使用材料は Fig. 3 に示すとおりであり、最大粒径は約 2 cm である。この材料は数回の試験の結果、砂礫堆積層の濃度 $C_* = 0.65$ 、内部摩擦角については、 $\tan \phi = 0.839$ であることがわかった。

発生させる土石流の濃度 C_a および流量 Q_r は、それぞれ上流側水路勾配 θ および給水量 Q_0 によって変化させた。 C_a および Q_r はそれぞれ次式で与えられる。

$$C_a = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)} \dots \dots \dots (1)$$

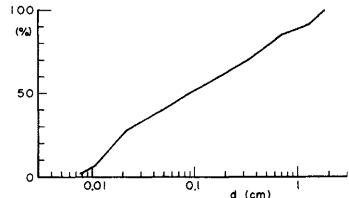


Fig. 3. Grain-size distribution of bed material used by the experiment.

$$Q_T = \frac{C_*}{C_* - [S + (1-S)C_*]C_d} Q_0 \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 ρ : 流水の密度、 σ : 砂礫密度、 S : 空隙の飽和度、実験は $\theta=15^\circ, 18^\circ$ 、および 20° で行ったが、それぞれ $C_d=0.284, 0.383$ および 0.464 である。また、 $S=0.5$ と仮定すれば、 $\theta=15^\circ, 18^\circ$ および 20° に応じて、それぞれ、 $Q_T=1.56 Q_0, 1.95 Q_0$ 、および $2.43 Q_0$ となる。実験では $Q_0=1 \text{ l/s}$ を与えた。なお、上述の Q_T の値を、長さのスケールで100倍の実物(神通川水系白水谷)に換算すると、 $Q_0=156 \text{ m}^3/\text{s}, 195 \text{ m}^3/\text{s}, 243 \text{ m}^3/\text{s}$ となるが、現地においてもほぼ同程度の土石流流量が観測されている。

行った実験は、Table 1 に示すような17種類である。

Table 1. Experimental Conditions.

Run	Grid Mesh <i>l</i> (mm)	Channel Slope ($^\circ$)		Q_0 (l/s)
		Upstream	Downstream	
1	—	18	4	0.55
2	—	18	1	1.0
3	—	18	1	1.8
4	50×50	15	10	1.0
5	50×50	20	10	1.0
6	40×40	20	10	1.0
7	40×40	18	10	1.0
8	40×40	15	10	1.0
9	30×30	15	10	1.0
10	30×30	18	10	1.0
11	30×30	20	10	1.0
12	50×50	18	10	1.0
	30×30			
13	40×40	18	10	1.0
	20×20			
14	20×20	18	10	1.0
15	40×40	18	10	1.0 (0.23, 0.48)
16	40×40	20	10	1.0 (0.265, 0.5)
17	50×50	20	10	1.0 (0.25)

4.2 実験結果とその考察

(1) 堰堤のない場合：堰堤の調節効果を調べるための比較の基準として堰堤のない自然状態において堆積勾配がどのようになるかを調べたものが Run 1, 2, 3 である。勾配 θ において発生した土石流が全然堆積することなくそのまま通過できる勾配 θ_d は、

$$\tan \theta_d = \frac{\tan \alpha}{\tan \phi} \tan \theta \dots\dots\dots(3)$$

で与えられる。ここに α : 砂礫の動摩擦角、 $\tan \alpha=0.6$ と仮定すれば、 $\theta=15^\circ, 18^\circ, 20^\circ$ に対して θ_d はそれぞれ $10.8^\circ, 13.1^\circ, 14.6^\circ$ となる。下流水路の勾配が 10° である本実験の場合は、堰堤はなくとも多少は堆積する。幅一樣な水路における堆積勾配 γ は、

$$\tan \gamma = \frac{C_* (\sigma - \rho) \tan \phi}{C_* (\sigma - \rho) + \rho [1 + 0.52 (Q_0^2 / g d^3 B^2)^{1/3}]} \dots\dots\dots(4)$$

で与えられる。使用材料の50%粒径 $d=0.083 \text{ cm}$ を用いて γ を求めると、 $Q_0=0.55 \text{ l/s}, 1.0 \text{ l/s}$ および 1.8 l/s に対してそれぞれ $\gamma=6.6^\circ, 4.8^\circ$ および 3.5° であり、実験から得られた値の $\gamma=7^\circ, 5^\circ$ および 4° とほぼ一致する。Fig. 4 は Run 2 の堆積の時間的変化を示しているが、(4) 式で求められる堆積勾配を保ちながら堆積が進行していることがわかる。これらの堆積は、上流から濃度の薄い流れが流下してくると容易に洗

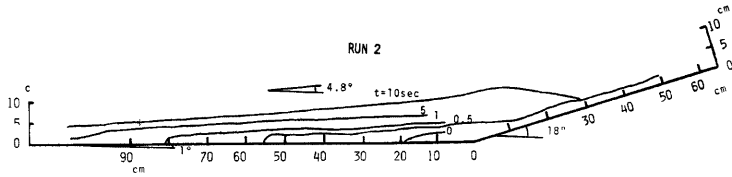


Fig. 4. Time variation of the profile of debris flow deposit due to a sudden decrease in channel slope (Run 2).

掘されて流下する。したがって、砂防ダムを設置して比較的長時間の通水を行ったとき、ダム上流に堆積が残る場合は、ダムの影響が現われているものと判断できる。

(2) 格子堰堤のある場合

スリットダムや格子ダムの閉そく条件や土砂流出の阻止効果に対してスリット間隔あるいは格子間隔 l と流出砂礫の最大粒径 d_{max} との比 l/d_{max} が最も重要なパラメーターであることが、池谷らの研究⁴⁾ や著者らの予備的な実験によって知られているので、 l/d_{max} の値ごとに実験結果を説明する。

i) $l/d_{max}=2.5$ ($l=50$ mm) の場合

Run 4, 5 は $l/d_{max}=2.5$ の場合であるが、土石流が流下して来た直後はわずかに堆積を生ずるが、以後簡単に流出してしまう。すなわち、ダムを設置することによる利点はほとんど現われない。

ii) $l/d_{max}=2.0$ ($l=40$ mm) の場合

Run 6, 7, 8 は $l/d_{max}=2.0$ のものであって、土石流段波が到達すると同時に堆積が始まり、一部分は流出する。すなわち、土石流先端部の破壊力の大きい部分を調節する役割を演ずる。Run 6 および 7 の堆積形状の時間変化を Fig. 5 および Fig. 6 に示す。十分に堆積した後濃度の低い部分の流入によって侵食が進行する。しかし、格子にはさまれている粒子の噛み合せの具合によっては Run 7 のように途中で侵食が停止する場合がある。これも、その石に手でわずかの刺激を与えてやるだけで流出することがわかった。Run 8 の場合には堰天端まで堆積が達せず、かなりの部分が下流へ流出した。流出して来た土石流の先端部の粒度分布を調べてみた結果が Fig. 7 である。最大粒径の石礫も格子を通して流下していることがわかる。なお、Fig. 7 と Fig. 3 を比較して顕著にわかることは、土石流先端部には 0.02 cm ~ 0.3 cm 程度の中間の大きさの粒子が存在しないことである。これは、土石流の著しい粒径選別作用の結果、大きな礫が先端部に集中し、細い粒子は遅れて到達することによる。しかしながら、0.02 cm よりも細い成分はほとんど変化していないことは興味深い。これは恐らく、この成分が、土石流中の水の運動によく追いついていることによるものであろう。

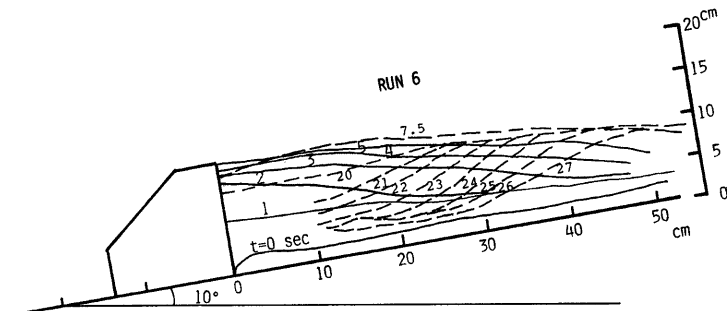


Fig. 5. Time variation of the profile of debris flow deposit due to a grid type dam (Run 6).

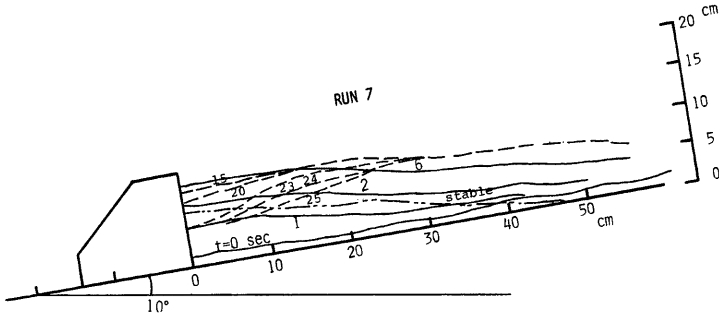


Fig. 6. Time variation of the profile of debris flow deposit due to a grid type dam (Run 7).

上述の粒径選別効果のために、ダムによる堆積物は下部が粗く、表層は細くなるため、後続流によって表層は比較的侵食されやすい。

Run. 8 よりももっと砂礫濃度の低い掃流に対しては、池谷ら⁴⁾は $C_d = 2.5\%$ に対して、スリット幅が最大粒径の 2 倍であれば、全然堆積が生じないことを指摘している。Run 15 および 16 は、満砂状態に堆積している砂礫が中小出水によって洗掘され、格子を通して流出し、ダムの土石流調節効果が回復されるかどうかを調べるため、土石流先端部が堰地点に到達したとき

通水を停止し、その後小流量を与えて侵食過程の実験を行った。Run. 15 では、 $Q=0.23 \text{ l/s}$ で通水、水みち幅約 10 cm で侵食が生じたが、5 分後にほぼ安定、その後 10 分経過後石が 1 個はずれ、再び侵食が生じたが 15 分後に安定、通水 16 分後引き続き $Q=0.48 \text{ l/s}$ で通水、5 分経過して安定した。Run 16 は、Run 15 と同様、 $Q=0.265 \text{ l/s}$ を与え、侵食が生じたが約 6 分通水後安定した。Fig. 8 に Run 16 の堆積および侵食過程を示す。5 分通水によりほぼ半分程度まで侵食が進んだ後安定状態となった。しかし、どこまで侵食が進むかは、格子にどのように石礫がかみ合わされているかに依存する。

以上要するに、 $l/d_{\max} = 2.0$ では、掃流砂のような低濃度の場合には、閉そくが生ぜず、砂礫はスリット部を通過するが、土石流の場合には、その先端部は高濃度で粗粒子が集中するため、スリット部は閉そくして、土石流の流下を阻止し、堆積を生ずる。この堆積物は濃度の低い部分の流入によって侵食される。しかし、閉そくした粒子の噛み合せの具合によって侵食が非常に進む場合と、途中で停止する場合がある。この場合、土石流の粒径選別効果により、堆積物の下層は粒径が粗く、上層は細くなっているため、上層は侵食されやすい。

iii) $l/d_{\max} \leq 1.5$ ($l=30 \text{ mm}$) の場合

$l/d_{\max} = 1.5$ (Run 9, 10, 11), $l/d = 1.0$ (Run=14) の場合には、流下土石流は到達と同時にほとんどすべて堆積し、堆積物はその後の濃度の薄い流れによっても格子を通しては流出しない。Run 10 の堆積過程を Fig. 9 に示す。すなわち、この場合の堰堤の作用は格子のない通常の堰堤の場合とほとんど同様である。前

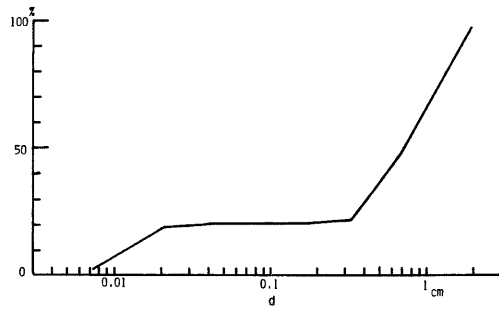


Fig. 7. Grain-size distribution of the material taken from the front of debris flow (Run 8).

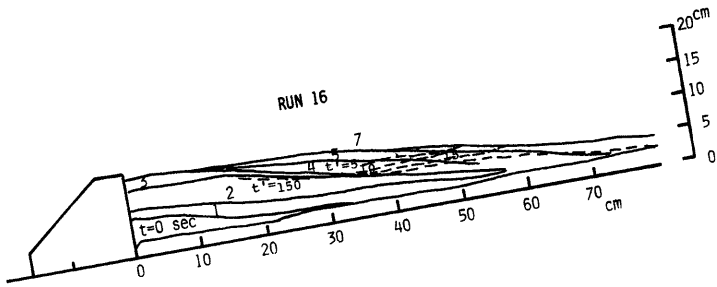


Fig. 8. Time variation of the profile of debris flow deposit due to a grid type dam (Run 16).

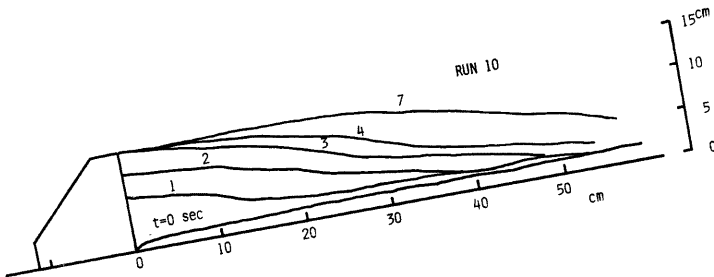


Fig. 9. Time variation of the profile of debris flow deposit due to a grid type dam (Run 10).

述の池谷らの実験によれば、スリット幅が最大粒径の1.5倍の場合には、2.5%という薄い濃度に対しても当初はスリットを通して部分的な流出をみるが、やがて満砂状態となり、スリットのない堰堤と同様な挙動をする。

Run 12, 13 は格子間隔を上流側で大きく、下流側で小さくした構造に対する実験であって、下流側の格子間隔が $l/d \leq 1.5$ であり、流下土石流はすべて堆積する。先の Run 9, 10, 11 の場合との相違点は、前者が砂防ダムの立体的な構造の内部にはほとんど堆積を生じないのに対して、この実験の場合には構造物の内部にぎっしりと砂礫が堆積する点である。しかしながら、堰堤の機能上からはほとんど差異はないものと考えられる。

5. 立体格子堰堤の適用と今後の課題

土石流を調節制御するための立体格子堰堤は、通常の洪水によって掃流形式で輸送される砂礫は通過させ、土石流の流下は阻止する機能を持つものでなければならない。このための格子間隔 l は、土石流で移動する石礫の最大粒径を d_{max} 、通常洪水による掃流形式で移動する最大粒径を d_0 とすれば、上述の研究の結果、

$$\left. \begin{array}{l} l/d_{max} = 1.5 \sim 2.0 \\ l/d_0 > 2.0 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

の条件を満足しなければならない。

d_{max} の推定は、土石流の発生域あるいは堆積域における石礫の粒径調査に基づいて行なわれなければならない。

そこに見い出される石礫は土石流の場合には粒径の大小を問わず流出して行くと考えておかなければなら

ない。ただし、この際の d_{\max} は厳密な意味での最大粒径ではなく、ある程度の個数見出しされる石礫の径と考へた方がよい。一方掃流形式で移動する最大径 d_b は、流量、粒度分布および河床勾配などの資料から限界掃流力公式⁴⁾を用いて推定することができる。

また、堰堤の規模(高さ)は、理想的には、一回の土石流の流出土砂量(計画土砂量)を堆積させうる容量を与えるようにきめればよい。

以上の結果を、神通川水系洗谷支溪白水谷に設置が計画されている立体格子型砂防堰堤に適用して、適切な格子間隔や規模について考察するとともに、今後の問題点について述べよう。

足洗谷においては、昭和49年以来京都大学防災研究所穂高砂防観測所によって、洪水や土石流、土砂流出の観測研究が行われており、それらの特性はかなり明らかにされている。それによれば、土石流は 20 mm/30 min を越えるような強い雨で毎年数回発生する。

深谷観測地点における洪水流量の既往最大値は約 20 m³/s であつて、30 分間降雨強度 30 mm の降雨によつてもたらされたものである。本流域では上述のとおり 30 分間雨量が 20 mm 程度でも土石流が多く発生しており、30 mm/30 min の降雨で土石流が発生しないのはむしろ稀なケースである。したがつて、土石流の生じない通常の洪水での 20 m³/s の流量はほとんど生じ得る最大値に近いと考へられる。これより白水谷(流域面積約 2.0 km²)における最大洪水流量を単純に面積比によつて求めることにすれば、6.2 m³/s 程度ということになる。

一方、「河川・砂防技術基準」に示されているように、白水谷の洪水到達時間を 30 分、流出係数を 0.7 とすれば合理式により約 23 m³/s が得られる。これより、白水谷の流出係数は通常の洪水に対してはかなり小さいことが理解される。

白水谷の堰堤設置計画地点における河床材料の粒度分布は Fig. 3 (粒径のスケール100倍) のようであつて、土石流で流下する石礫の最大粒径 d_{\max} は 2.0 m 程度と考へられる。

計画地点における最大洪水時の流下可能最大粒径 d_b は、Fig. 3 の粒度分布を用い、摩擦損失係数を $f=0.1$ 、流路幅 B はレジーム論による $B=5Q^{1/2}$ (m, sec 単位) が成立し、かつエネルギー勾配は縦断的に急勾配特有の階段状の河床形状が形成されていることから地形勾配 10° の 1/2 の 5° となっているものと仮定して、限界掃流力式を用いて算定すると、 $Q=6.2 \text{ m}^3/\text{s}$ および $Q=23 \text{ m}^3/\text{s}$ に対して、それぞれ 0.6 m および 1.3 m となる。したがつて、格子間隔 l を 3~4 m の範囲にすれば、(5) 式の条件を満足することになり、掃流砂礫はパスさせ、土石流の流下は阻止することができる。流木等の影響を勘案すれば、格子間隔は広めの方がよく、ここでは $l=4 \text{ m}$ 程度が適当であると思へられる。

土石流の規模については、白水谷においての測定結果はないが、昭和50年7月13日に黒谷から発生した土石流は観測期間中の最大規模のものであつて、ピーク流量 300 m³/s 程度、その継続時間は約 1 時間、総流下土石量は約 6 万 m³ であつた。黒谷と白水谷における土石流発生地帯の流域面積や土石の賦存状態は類似しており、上記土石流とほぼ同規模の土石流が発生することが予想される。したがつて、1 回の土石流の計画流下土石量を 6 万 m³ とすればこれに対する貯砂量を確保するためには、計画地点で高さ 12 m の堰堤が必要となる。なお、この地点の洪水流量は前述のとおりそれほど大きくないので、土石流堆積物の自然状態での侵食による貯砂容量の回復はそれほど期待されない。しかし、1 m 級以上の除石工を行えば自然の回復もある程度期待されるであらう。

以上は主として立体格子堰堤の機能の面についてのみ述べたが、実際の設計に当つては、外力に対する構造上の安全性の問題と、維持の問題についても十分な配慮が必要なることは言うまでもない。

この際、土石流が堰堤に及ぼす力、とくに衝撃力については十分な理解を見ていないのが現状であつて、設計上困難を感じる所である。これについては研究の進展が望まれ、実験的な検討とともに、実際の試験堰堤によつて作用力の測定を行うことも重要であらう。

また、堰堤の規模が大きい場合には、普通の砂防ダムと同様に堰堤下部の洗掘の問題が重要になってくる。したがつて、洗掘防止対策あるいは洗掘が生じても安全な構造にするなどの配慮が必要である。

また、石礫の衝突による格子部材の摩耗がどの程度であるかについても実際の堰堤によって調べることが望ましい。

6. む す び

以上、立体格子堰堤の水利機能について主として実験的な研究を行った結果、この型式の堰堤は、格子間隔を適切に決めれば、掃流砂礫は堆積させずにパスさせ、破壊力の大きい土石流の流下は阻止するという意味で、機能的に見てすぐれていることが明らかになった。なお、堰堤で一旦貯留された土石流堆積物はその後の出水により徐々に排出されて再び貯留能力を回復していく可能性もあるが、それが十分でない場合には、大きな石礫を人工的に排除することによって、貯留能力の回復を促進することが必要となる。

なお、適切な格子間隔は本文(5)式の条件から求められる。以上のように立体格子堰堤あるいはスリットダムは機能的にはすぐれているが、外力に対する構造上の安全性や部材の損耗、堰下流部の洗掘対策など維持上の問題については今後十分な検討を行うことが必要である。

本研究は文部省科研費(自然災害特別研究計画研究)「扇状地における洪水土砂災害の発生とその防止軽減に関する研究」の一部として行ったものであるが、研究の推進に当っては建設省神通川水系砂防工事事務所および株式会社神戸製鋼所の方々には大変御協力いただいた。また、実験は防災研究所吉田義則技官の協力に負う所が多い。記して関係各位に深謝する。

参 考 文 献

- 1) Aulitzky, H.: 日本とオーストリア砂防の比較論的考察, 新砂防 Vol. 28, 号外, S. 51. 4.
- 2) 高橋 保・吉田 等: 土石流の停止・堆積機構に関する研究——勾配急変による堆積——京都大学防災研究所年報22号 B-2, 1979.
- 3) 高橋 保: 砂防ダムによる土石流の堆積, 第16回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, 1979.
- 4) 池谷 浩・上原信司: スリット砂防ダムの土砂調節効果に関する実験的研究, 第3報, 昭和54年度砂防学会研究発表会概要集.
- 5) 池谷 浩・上原信司: スリット砂防ダムの土砂調節効果に関する実験的研究, 新砂防 Vol. 32, No. 3, 114, 昭55. 3.
- 6) 芦田和男・澤井健二: ダム堆砂の排砂に関する研究(2)——スリットダムの水利機能——, 京都大学防災研究所年報22号 B-2, 1979.
- 7) Watanabe, M. and T. Mizuyama: Experimental studies on Structures for Debris Flow, The 2nd Japan - Indonesia Symposium Debris Flow Treatment, 1980.
- 8) 東 三郎(研究代表者): 低ダム群工法の原理と効用に関する実証的研究, 文部省科研費研究報告書, 昭55. 2.
- 9) 芦田和男・高橋 保・澤井健二: 土石流危険度の評価法に関する研究, 京都大学防災研究所年報21号, B-2, 1978.
- 10) 高橋 保: 土石流の停止・堆積機構に関する研究(2)——土石流扇状地の形成過程——京都大学防災研究所年報23号 B-2, 1980.
- 11) 武居有垣監修: 地すべり・崩壊・土石流——予測と対策——鹿島出版会, 昭55.
- 12) 池谷 浩・米沢谷誠悦: 土石流危険区域設定に関する考察, 土木技術資料, Vol. 19, No. 12, 1977.
- 13) 建設省土木研究所: 台風17号による土石流災害調査(その1)——土砂災害危険区域設定に関する基礎的調査, 土製資料, 1977.
- 14) 芦田和男・高橋 保・水山高久: 急勾配水路における混合砂礫の移動限界掃流力に関する研究, 新砂防, Vol. 29, 103, 昭52. 5.