

格子型ダムの土石流制御効果に関する研究

京都大学大学院 ○水野 秀明

京都大学農学部 水山 高久 小橋 澄治

1. はじめに

従来、土石流対策として設置されてきている不透過型ダムには、通常時や中小出水時において運搬されてきた土砂が徐々に堆積して満砂状態となり、本来の目的である土石流発生時においてその砂防効果が失われてしまうという問題点が指摘されている。そこで、通常時や中小出水時に運搬されてくる下流に対して無害な土砂はなるべく流下させ、土石流によって運搬されてくる巨礫などの下流に対して有害な土砂を捕捉させることを目的とした透過型ダムが考案された。

透過型ダムの中でも格子型ダムに関して行われてきた研究¹⁾²⁾³⁾⁴⁾によると、ダム模型が土石流を捕捉するのに影響を与える要因として最小格子間隔(Lmin)と実験使用砂の代表粒径(d95)の比があることが報告されている。これらの研究では、格子間隔を大きく変化させたり、水路勾配を大きく変化させたりした実験はあまりない。そこで、本報告では格子間隔と実験水路勾配を大きく変化させダム模型に到達する土石流の規模を変化させることにより、格子の形状(大きさ)と捕捉しようとする土石流の特性とがダム模型による土石流捕捉(制御)に与える影響を実験的に検討する。

2. 実験概要

2.1 実験材料と装置

今回、実験に使用した砂の特性は、最大粒径9.56mm、95%粒径8.80mmの広範囲に粒径分布(図. 1)を持つ混合砂であり、比重 2.61g/cm^3 、内部摩擦角 42° である。ダム模型は縦材純間隔と横材純間隔の組み合わせが23.5mm 23.5mm、23.5mm 17.0mm、17.0mm 23.5mm、17.0mm 17.0mm、23.5mm 12.7mm、12.7mm 23.5mmの6種類(図. 2)を用意する。実験に使用した水路は幅15.3mm水路壁がアクリル製である。

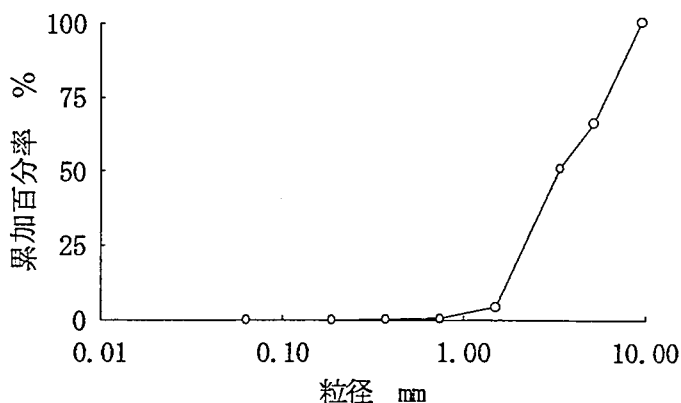


図. 1 実験使用砂の粒度分布

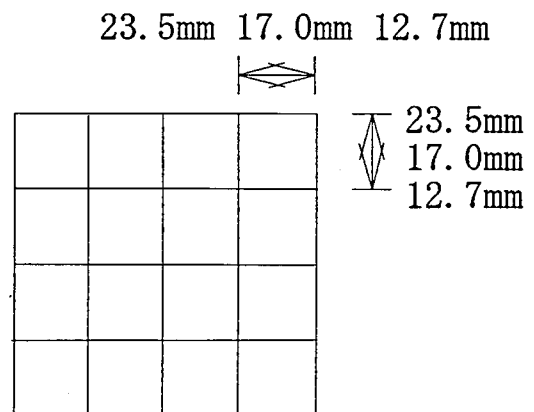


図. 2 格子型ダム模型

2.2 実験条件

実験条件としては、水路勾配を 10° 、 15° 、 20° の3種類とし、それぞれの水路勾配に対して給水量1.01/sec、1.51/sec、2.01/secの3種類とする。

実験に際しては、実験水路を所定の勾配に設定し、ダム模型を木製の台に固定して水路に設置し、混合砂をその木製の台の上流端から厚さ5cm、長さ200cmに敷きならし、水路上流端から所定の流量で給水する。なお、実験にあたってはダム模型がどの程度土石流を捕捉しているかを検討するためにダム模型を設置しない場合の測定も行う。測定方法は、水路下流端に箱を設置し流出してくる土砂と水の全体の体積、重量を計測することにより流砂量、流量を計算する。また、水路脇には8mmビデオカメラを設置しダム模型の土石流捕捉状況を撮影する。

3. 実験結果（ダム模型の土石流捕捉状況）

今までに行われた研究成果と同様に L_{min}/d_{95} をパラメータとして実験結果を説明してみる。水路勾配が 10° の場合、 $L_{min}/d_{95}=1.93, 1.44$ の模型は土石流先頭部を捕捉し後続流によって運搬される土砂を徐々に堆積させるが、2次流出が発生することはない。しかし、 $L_{min}/d_{95}=2.67$ の模型はどの給水量でも土石流先頭部を捕捉できず、そのまま流下させている。

水路勾配 15° 、 20° においては、 $L_{min}/d_{95} \geq 1.93$ の模型は給水条件関係なく、はじめは土石流先頭部を捕捉し堆積させるが、しばらく後に後続流によって侵食され格子での礫の噛み合わせが崩れて2次流出が発生し土砂が流出する。この場合、大きい方の格子間隔が大きいほど2次流出は早く発生し、また、それによって流出する土砂量も多くなる傾向がある。ビデオカメラによる映像によると、格子面において捕捉されている砂礫は比較的大きな礫であるが、特に河床面に近くなるにつれて大きくなっており、河床面に近い格子で捕捉されている砂礫はほとんど流出することはない、比較的河床面から高い位置にある格子において2次流出が発生することがわかる。

それ以外の $L_{min}/d_{95}=1.44$ の模型は格子が完全に閉塞し、後続流によって運搬されてくる土砂はダム模型を越流して流出する。

4. 砂礫の格子の通過機構についての考察

格子型ダムが土石流を捕捉減勢させる際に重要であるのは、どの程度土石流先頭部を捕捉させるかであると考えられる。今までに行われてきた透過型ダムに関する研究²⁾³⁾⁴⁾によると、土石流を捕捉する際に大きく影響

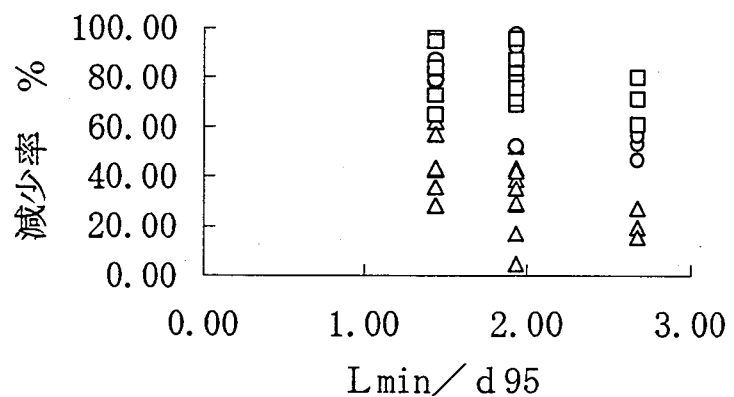


図. 5 ピーク流砂量減少率(凡例: $\Delta \theta = 10^\circ$ $\circ \theta = 15^\circ$ $\square \theta = 20^\circ$)

を与える要因の1つとして最小格子間隔(L_{min})と実験使用砂の代表粒径(d_{max})との比があることが報告されている。このパラメーター(L_{min}/d₉₅)を用いて今回の実験結果をまとめてみる(図. 5)。図. 5では、x軸にL_{min}/d₉₅のみ考慮しているためか、各水路勾配でグラフがかなり分散している。

ところで、土石流先頭部の捕捉にはこのパラメーター(L_{min}/d₉₅)に加えて礫の容積濃度(C)や速度(v)などの土石流特性が土石流の捕捉に大きく影響を与えていることが考えられる。そこで、本報告では礫の格子の通過のしにくさを考慮し、ダム模型による土石流先頭部の非通過率、つまりピーク流砂量減少率Pが①のような関数で表せるとする。

$$P = f\left(\frac{L_{min}}{d_{max}}, C, \frac{v}{v_0}\right) \dots \textcircled{1}$$

(d_{max}は代表粒径(本報告では95%粒径)、Cは土石流先頭部の土砂濃度、vは土石流先頭部の移動速度、v₀は基準速度、α、β、γは定数)

式①において、VTR撮影によると各実験条件での土石流先頭部の移動速度に大きな変化がないので、礫に対する格子間隔の比(L_{min}/d₉₅)と濃度(C)とに注目し、また、L_{min}/d₉₅=1.0の時は土砂が格子を通過することができないと仮定し、式①からピーク流砂量減少率の関数型を次のように仮定する。

$$P = \alpha \cdot \left(\frac{L_{min}}{d_{95}} - 1\right)^\beta \cdot C^\gamma + 1 \dots \textcircled{2}$$

この式②から最小二乗法によりパラメーターを計算したところ式③のようになる。

$$P = -0.11 \cdot \left(\frac{L_{min}}{d_{95}} - 1\right)^{0.36} \cdot C^{-0.93} + 1 \dots \textcircled{3}$$

式③による計算値と実測値とを比較したグラフが図. 6である。この図. 6によると、減少率が高い場

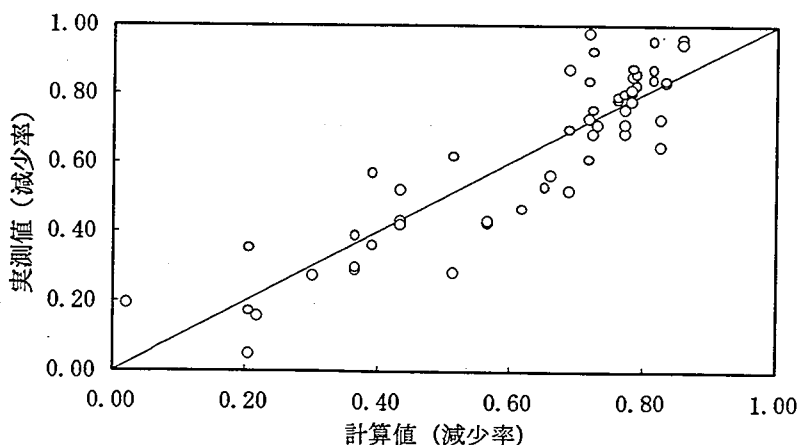


図. 6 ピーク流砂量減少率 (計算値と実測値の比較)

合では実測値の方が大きめにでて
 いるものの、式③による計算値は
 実測値とかなりよく合っているこ
 とが分かる。なお、水路勾配 10°
 15° 、 20° での濃度をそれぞれ1
 5%、35%、45%として計算する。
 さらに、図. 5に式③による計算
 値を加えてみると図. 7のよう
 になる。また、式③において濃度
 を変化させるとどのようになるかを
 図. 8に示す。

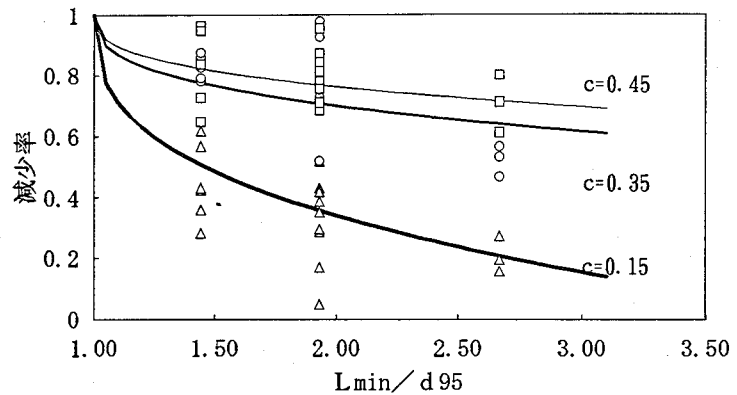


図. 7 ピーク流砂量減少率の計算結果

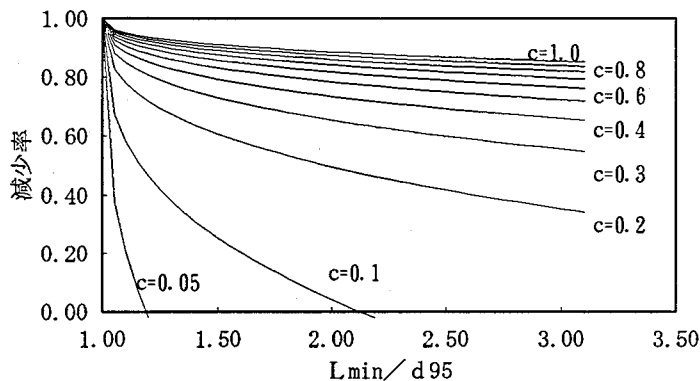


図. 8 減少率 (濃度を変化させた場合)

5. おわりに

格子型ダムが土石流を捕捉・減勢させる大きな要因は、従来から指摘されているように L_{min}/d_{95} に加えて土石流先頭部の礫の容積濃度があり、これらを考慮したパラメーターを用いると減少率をうまく説明できることがわかる。さらに、典型的な土石流発生領域のみならず、掃流砂の発生領域における減少率もこの新しいパラメーター(②式)を用いることにより推測可能となることがわかる。また、式②から、ダム模型に到達する土砂の濃度や粒径の時刻変化を正確に推測することができると、土石流捕捉についての時刻変化を推測することも可能となると考えられる。

参考文献

- 1) 芦田・高橋:土石流調節制御に関する研究、京大防災研究所年報第23号B-2、昭和55年4月
- 2) 芦田・江頭:透過性砂防ダムの土砂調節機構、京大防災研究所年報第30号B-2、昭和62年4月
- 3) 渡辺・水山・上原:土石流対策砂防施設に関する検討、新砂防115号、昭和55年5月
- 4) 水野・水山:「透過型ダムによる土石流の制御に関する実験的研究」、平成5年度砂防学会研究発表会概要集 p.177-p.180