

# 透過型ダムを通過する土石流ハイドログラフの予測手法に関する実験的研究

建設省土木研究所 ○水野秀明、南哲行、山田孝  
京都大学大学院農学研究科 水山高久

## 1. はじめに

透過型ダムの土石流制御効果には、量的な調節効果と質(粒径)的な調節効果がある。土石流対策として透過型ダムを連続的に配置する場合、これらの機能を定量的に把握し、透過型ダムを通過した後の土石流の量的、質的な変化に関する予測を行う必要がある。そこで、本研究の目的は、実験により砂礫の堆積機構を明らかにした上で、透過型ダムを通過した後の土石流特性を予測できるモデルを構築することとする。なお、本研究では、透過型ダムの1つである格子型ダムに着目する。

## 2. 水路実験

### 2.1 実験条件

実験は、図-1に示す粒度分布を持つ土砂を厚さ5cm、幅20cm、長さ380cmで敷き、水路上流端から2.0l/secで約20秒間給水することによって行った(図-2)。実験に使用した格子型ダム模型は、完全に閉塞するタイプ、一時的に閉塞するが二次流出を発生するタイプ、閉塞しないタイプの3種類を準備した(図-3)。なお、格子形状は既往文献<sup>1)2)3)</sup>を参考に表-1の様にした。

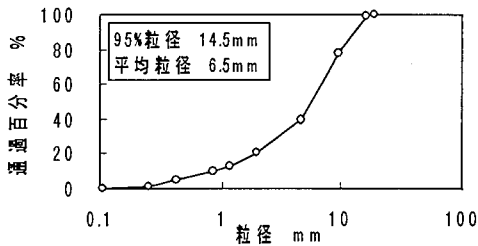


図-1 実験に使用した土砂の粒度分布

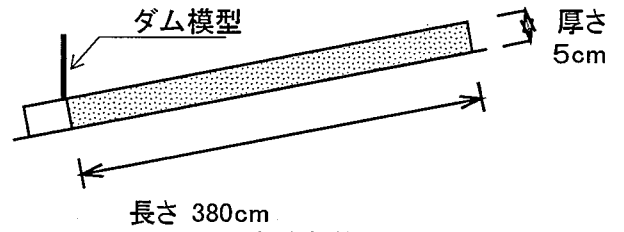


図-2 実験条件

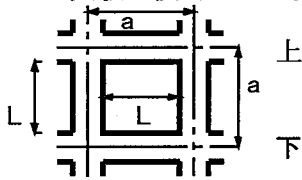


図-3 格子型ダム模型

ダム模型	a	L	L/d95
No.1	60mm	51mm	3.5
No.2	45mm	36mm	2.5
No.3	36mm	27mm	1.9

a: 鋼材中心間距離、b: 格子純間隔

表-1 格子型ダム模型の特性

### 2.2 実験結果

#### 2.2.1 量的な調節効果

量的な調節効果には、ピーク流砂量減少効果と総流出土砂量減少効果がある。本研究は砂礫の格子通過機構に着目していることから、ピーク流砂量減少率に着目する。なお、ピーク流砂量減少率とは、ダム模型を設置した場合と設置しない場合におけるピーク流砂量が減少する割合である。

図-4はX軸に格子純間隔と95%粒径の比、Y軸にピーク流砂量減少率をプロットしたものである。また、ピーク流砂量減少率<sup>3)</sup>((8式)による計算値も併せて載せている。

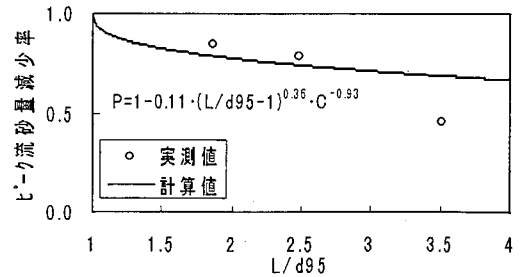


図-4 ピーク流砂量減少率

#### 2.2.2 質的な調節効果

質的な調節効果は、流出土砂の粒径変化で評価することができる。図-5に95%粒径の時間変化、図-6に平均粒径の時間変化を示す。どのダム模型でも土石流が到達した直後において流出土砂の粒径を低減させており、調節効果を発揮していた。しかし、ダム模型No.2,3はすぐに満砂し後続流が越流したため、後続流に対する調節効果が現れなかった。なお、図-5、図-6において、□は土石流、◇は模型No.1、△は模型No.2、○は模型No.3である。

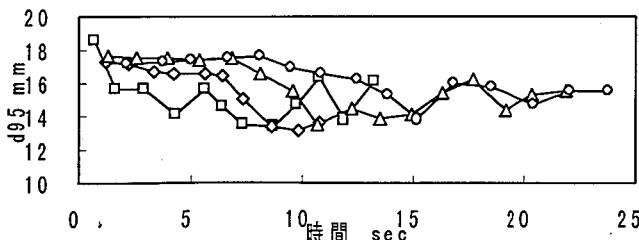


図-5 95%粒径の時間変化

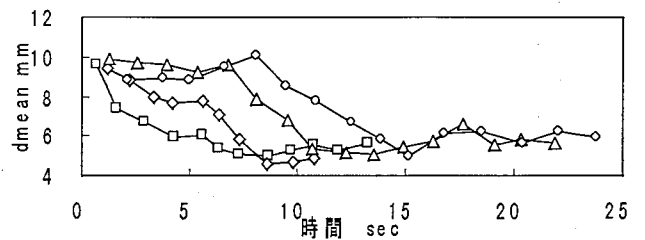


図-6 平均粒径の時間変化

### 3. 透過型ダムを通過する土石流の予測モデル

格子型ダムを通過する土石流の特性を予測するモデルは、既往の土石流流動モデル<sup>49)</sup>に本実験で明らかにした砂礫の通過機構を組み込むことで作成する。

#### 3.1 1次元支配方程式

江頭<sup>49)</sup>によると、1次元支配方程式は以下のようである。なお、本研究は流出土砂の粒度組成を予測する必要があることから、砂礫に関する連続式を粒径階別に分けた。式(1)は混合物の連続式、式(2)は粒径階別の連続式、式(3)は運動量保存則、式(4)は河床位変動式、式(5)は堆積速度、式(6)はせん断力、式(7)は平衡勾配である。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hv)}{\partial x} = -\frac{D}{c} \quad \dots(1), \quad \frac{\partial(c_k h)}{\partial t} + \frac{\partial(c_k hv)}{\partial x} = -D \quad \dots(2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} = g \sin \theta - g \cos \theta \left\{ \frac{1}{h} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\sigma - \rho}{\rho + (\sigma - \rho)c} \frac{\partial c}{\partial x} \right\} + \frac{Dv}{c \cdot h} - \frac{1}{\{\rho + (\sigma - \rho)c\}h} \frac{\partial \tau_b}{\partial x} \quad \dots(3) \quad \frac{\partial z_b}{\partial t} = \frac{D}{c} \cdot \cos \theta \quad \dots(4)$$

$$\frac{D}{v} = c \cdot \tan(\theta_e - \theta) \quad \dots(5) \quad \tau_b = \frac{1}{1 + \alpha} \rho(\sigma/\rho - 1) c g h \cos \theta + \rho \{(\sigma/\rho - 1)c + 1\} f v^2 \quad \dots(6)$$

$$\theta_e = \arctan \left\{ \frac{(\sigma/\rho - 1)c}{(\sigma/\rho - 1)c + 1} \tan \phi_s \right\} \quad \dots(7) \quad f = \frac{25}{4} \left\{ k_f \frac{(1-c)^{5/3}}{c^{2/3}} + k_e \frac{\sigma}{\rho} (1-e^2)c^{1/3} \right\} \left( \frac{h}{d} \right)^{-2}$$

ここに、h:流動深、c:土砂濃度(=Σc<sub>k</sub>)、c<sub>k</sub>:粒径階kの土砂濃度、v:速度、σ:砂礫の密度、ρ:水の密度、D:堆積速度、C<sub>s</sub>:堆積層の土砂容積濃度(=0.6)、z<sub>b</sub>:河床位、φ:砂礫の内部摩擦角、g:重力加速度、θ:河床勾配、θ<sub>e</sub>:平衡勾配であり、α=0.20, k<sub>f</sub>=1.00, k<sub>e</sub>=0.0828とする。

#### 3.2 砂礫の堆積機構

水路脇から撮影した高速ビデオカメラによると、砂礫は閉塞した格子の直上流から堆積を始めた。後続の流れに含まれる砂礫は、ダム模型の上流に堆積していた砂礫に衝突することによって停止した。後続流は新たな堆積面の上を流れ、さらに上部の格子を閉塞した。なお、後続流が上部の格子を閉塞しなかった場合、砂礫は一時的にダム上流に滞留した後、流出した。この場合、後続流は堆積土砂を侵食し、流出させた。

以上の観測結果から、砂礫は閉塞していない格子の上流側に滞留し、格子の上流側における土砂濃度が増加することによってそれを通過できる割合が減少したため、堆積したと考えられる。そこで、本研究では、ダム上流に滞留する割合としてピーク流砂量減少率に関する実験式(8式)を用いることとした。なお、図-4から、(8)式は今回の実験結果をよく再現していた。

$$P = 1 - 0.11 \cdot (L/d_{95} - 1)^{0.35} \cdot C^{-0.93} \quad \dots(8)$$

ここで、P:ピーク流砂量減少率、L:格子純間隔、d<sub>95</sub>:95%粒径、C:土砂濃度である。

#### 3.3 計算結果

土石流について測定した流量ハイドログラフ、土砂濃度変化、粒径変化を境界条件として水路の上流から与えた。図-7、図-8にダム模型からの流出土砂に関する計算結果の一例を示す。図-7、図-8から、砂礫の滞留する割合を示すピーク流砂量減少率を土石流先頭部及び後続流部に適用することによって、土石流の特性変化を再現することができた。

#### 4. 終わりに

本研究において、透過型ダムの1つである格子型ダムを通過する土石流のハイドログラフの予測モデルを作成し、水路実験の結果と比較したところ良好な結果を得た。今後は、連続して透過型ダムを土石流制御という観点から効果的な配置手法を検討する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 芦田和男、高橋保:土石流の調節制御に関する研究、京都大学防災研究所年報第23号、B-2、p.433-441、1980
- 2) 芦田和男、江頭進治、栗田三津雄、荒牧浩:透過性砂防ダムの土石流調節機構、京都大学防災研究所年報第30号、B-2、p.441-456
- 3) 水山高久、小橋澄治、水野秀明:格子型ダムのピーク流砂量減少率に関する研究、砂防学会誌Vol.47、No.5、p.8-13、1995
- 4) 江頭進治:土石流の停止・堆積のメカニズム(1)、砂防学会誌Vol.46、No.1、p.45-49、1993
- 5) 江頭進治:土石流の停止・堆積のメカニズム(2)、砂防学会誌Vol.46、No.2、p.51-56、1993

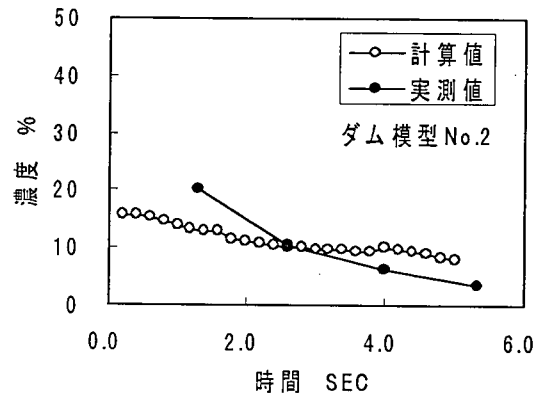


図-7 土砂濃度に関する計算結果

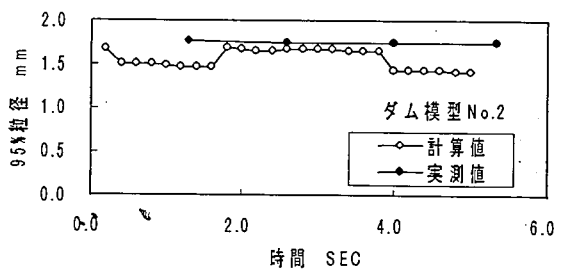


図-8 95%粒径に関する計算結果