

# 粒径分布を変化させた石礫型土石流モデルの荷重測定実験

砂防鋼構造物研究会 ○井上 隆太 石川 信隆 防衛大学校 別府万寿博  
(財)建設技術研究所 長谷川祐治 京都大学大学院 水山 高久

## 1. はじめに

土石流を受ける砂防えん堤の設計に当っては土石流荷重が必要であるが、特に土石流段波荷重については未だ十分に解明されているとはいえない現状にある<sup>1), 2)</sup>。土石流段波荷重には、河床勾配、流動深、流速、土石流濃度（粒径分布）、崩壊深（ダム決壊高さ）などが影響すると思われる。本研究は、粒度分布のみを変化させた6種類の石礫型土石流モデルを作成し、土石流モデルの粒度分布が段波の発生および荷重特性に及ぼす影響について実験的な検討を行ったものである。

## 2. 実験の概要

### 2.1 実験方法および計測要領

実験装置は図-1に示す急勾配水路実験で行った。粒度分布が異なる6種類の石礫型土石流モデルに対して、止め板で天然ダム形状に堆積させ、流水の越流と共に止め板をはずして流下させる方法（天然ダム決壊型）を採用して、水路幅10cm、水路勾配18°の条件で流動実験を行った。天然ダムは、図-1に示すような台形状に形成させ、ダムの高さ $h=15\text{cm}$ 、上幅 $a=30\text{cm}$ 、下幅 $b=35\text{cm}$ とした。なお、水路床は棧粗度とした。荷重は天然ダムから5m下流に設置した分力計を用いて、高速ビデオにより堆積状況と同期させて計測した。

### 2.2 石礫型土石流の種類

図-2に土石流モデルの粒度分布（粒径加積曲線）を示す。タイプAは実際の土石流を模擬したもので、質量の50%は粒径0.01から15mmまでの砂や礫（以下、土砂分と呼ぶ）を偏らない様に分布させ、残りの半分は16~19mmの礫を混ぜ合わせている。タイプB、C、D、Eは、礫と土砂（2mm以下）分の質量比を、10:0、7:3、5:5、3:7としたものである。タイプFは、礫の粒径の違いによる影響を調べるため、タイプCと同様に礫と土砂分の割合=7:3として、礫の粒径を4.75~9.5mmと小さくした。実験は、各土石流モデルに対して2回行った。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 先頭部の流動状況

高速ビデオ撮影の一例として、写真-1に段波が形成されたタイプCと形成されなかったタイプEの先頭部の流動状況を示す。これよりタイプCでは先頭部が盛り上がり、またタイプEではバラけてしまっている様子がみられる。

### 3.2 段波の定義と判定

段波とは、先頭部の流動形状が盛り上がっている（段状に形成された）状態をいい、ここでは後続部の流動深に対する先端部の流動深の比を $h^*$ とし、

$$\begin{aligned}
 h^* &\geq 2.0 && \dots \bigcirc \text{ (段波)} \\
 2.0 > h^* &\geq 1.5 && \dots \triangle \text{ (準段波)} \\
 1.5 > h^* &\geq 1.0 && \dots \times \text{ (段波なし)}
 \end{aligned}$$

と定義した。これにより、高速ビデオから求めた流動深比で各土石流モデルを判定すると表-1のようになる。

基準としたタイプAは、準段波となり、礫と土砂に単純化した土石流モデルではタイプCが段波、タイプFが準段波となっていた。一方、礫の量が少ないタイプDおよびタイプEでは段波は発生せず、また礫分が

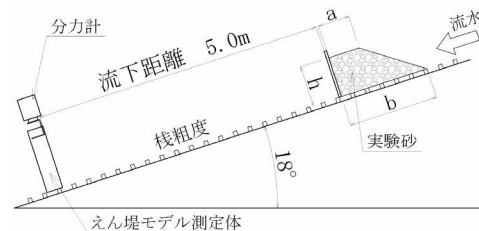


図-1 実験概要図

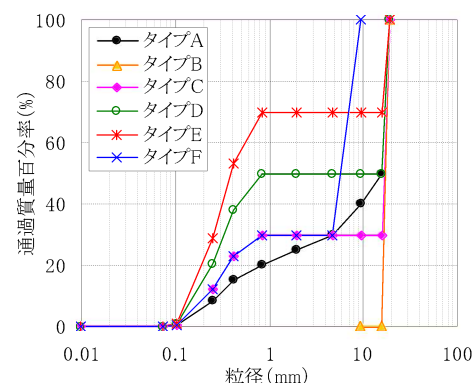


図-2 土石流モデルの粒度分布



(a) タイプC



(b) タイプE

写真-1 先頭部の流動状況  
(白い丸は撮影のための電光)

100%であるタイプBも段波は発生しなかった。すなわち、土石流モデルの粒径分布を変化させた範囲内で、段波が発生しやすい礫と土砂の質量比が存在し、本実験の範囲内では、礫の質量比が70%の時に段波が発生したが、礫分が多くなって少なくなっても段波が発生しないことが確認された。また、礫の質量比が同じ条件でも礫径が小さくなると流動深比が小さくなる（準段波状）となることも確認された。

以上の結果より、段波の形成には礫の存在が必要であり、礫の質量比が100%でも段波は全く発生しなかったことから、礫間に存在する土砂分も段波形成に寄与していると考えられる。

### 3.3 荷重—時間曲線

図-3に6種類のタイプの荷重—時間曲線を示す。各タイプの特徴を比較するため、荷重比（ $R$ =初期ピーク荷重/収束荷重）を求めた。これより、以下のことが分かった。

- ① 段波（記号○）： $R > 1.1$
- ② 準段波（記号△）： $1.1 \geq R \geq 0.9$
- ③ 段波なし（記号×）： $0.9 > R$

表-1 段波の発生状況

土石流モデル	$h^*$	段波の有無
タイプA	1.7	△
タイプB	1.2	×
タイプC	2.1	○
タイプD	1.2	×
タイプE	1.3	×
タイプF	1.5	△

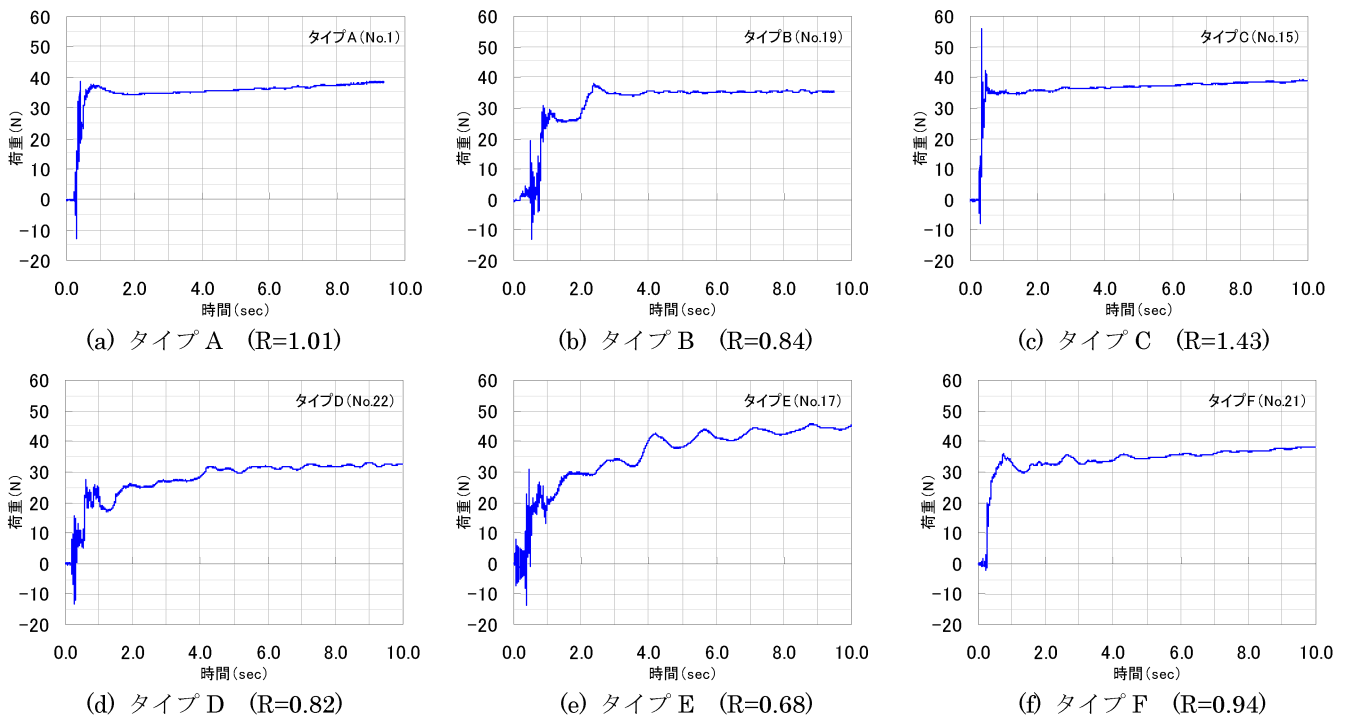


図-3 各タイプの荷重—時間曲線

### 3.4 段波形成のための条件と原因

以上より、同じ水路勾配、同じ流量でも粒径分布が異なると段波が形成される場合とそうでない場合がある。すなわち、段波が形成される条件としては、石礫を比較的多く含み、ある程度細かい中間粒径土砂が適当に配分されていることが必要である。つまり、大きい石礫は流れの上方へ輸送され、中間粒径成分は下方へ輸送され、下層部の流速が上層部の移動速度よりも遅いため、相対的に後方へ残されるという「粒径選別現象<sup>1)</sup>」が生じるためと考えられる。

## 4. 結論

今回の実験条件下において、段波が形成される条件として粒径分布は、石礫と土砂の比が7:3ぐらいの割合で、流動深比  $h^*$  (=先頭部の流動深/後続部の流動深)  $\geq 2.0$  であることが分かった。またその荷重特性は、初期ピーク荷重と収束荷重の比  $R > 1.1$  であることも認められた。

### 参考文献

- 1) 高橋 保：土石流の機構と対策、近未来社、2004.9. 2) 井上隆太、石川信隆、別府万寿博、長谷川祐治、水山高久：土石流段波モデルによる砂防えん堤モデルの荷重・変位計測と堆積状況の可視化実験、平成20年度砂防学会研究発表会概要集、pp.290-291、2008.5.