

# 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

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. 緒言

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り、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と思われる<sup>1)</sup>。本研究では、土石流段波を再現させるために桜島産軽石(ボラ)<sup>2)</sup>を用いて天然ダムの決壊高さを変化させて、段波形成のための条件を検討すると共に荷重計測を行った。次に砂防えん堤モデルとして最も単純でかつ鋼材の特徴を表す薄肉鋼板を用いてひずみと変位を計測した。これらは、高速ビデオで時間軸を同期させて堆積状況を可視化することにより、今後の土石流シミュレーション解析や設計のための基礎資料を提供しようとしたものである。

## 2. 実験の概要

2.1 実験方法 実験装置は図-1に示す急勾配水路実験で行った。現地桜島産の軽石(ボラ、湿潤密度 $1.14\text{g/cm}^3$ )を用いた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 $10\text{cm}$ 、水路勾配は $8^\circ$ と $10^\circ$ に変化させて実験を行った。天然ダムは、図-2に示すような台形状に形成させ、ダムの高さ $h$ 、上辺 $b$ をパラメータとした。

### 2.2 測定項目

(1) 荷重・圧力計測：荷重は図-1のように天然ダムから $5\text{m}$ 下流に設置した分力計と圧力計(図-3のように下から $5, 10, 15\text{cm}$ の3個)で計測し、高速ビデオによる堆積状況と同期させた。

(2) 変位・ひずみ計測：砂防えん堤モデルとして薄肉鋼板(厚さ $1\text{mm}$ 、ヤング率 $E=200\text{kN/mm}^2$ )を用い、下側を固定して図-4のように頂点変位とひずみ(下から $5, 10, 15\text{cm}$ の位置)をそれぞれレーザー式変位計とひずみゲージで計測し、ビデオ解析からも変位を測定した。

## 3. 段波再現のための条件

表1に実験ケースの一覧を示す。まず天然ダムの上辺 $b=25\text{cm}$ 、高さ $h=13\text{cm}$ で勾配 $10^\circ$ の場合(No.1)は、段波を形成しなかったが、ダムの高さ $h$ や上辺の長さ $b$ を変化させたところ、 $h=15\text{cm}$ 、 $b=10\text{cm}$ で段波を再現できた。すなわち、本実験で使用した土石流モデル材料(ボラ)や実験装置と実験条件に限定すれば、ダムの高さ $h$ を $15\text{cm}$ 以上にとると、段波を形成することがわかった。

## 4. 段波荷重の特徴

図-5に代表としてNo.2の高速ビデオ撮影による荷重測定板に衝突する堆積状況を時刻歴と同期させた荷重-時間関係を示す。これより、土石流先端に段波が形成された場合、先端フロント部の衝突によりピーク荷重が発生し、ピーク荷重発生までの立ち上がり時間もきわめて短い( $0.1$ 秒以下)ことが分かる。一方、段波が形成されないNo.1では、ピーク荷重はえん堤上端まで堆砂した状態で発生しており、ピーク荷重発生までの立ち上がり時間も長い傾向を示した。

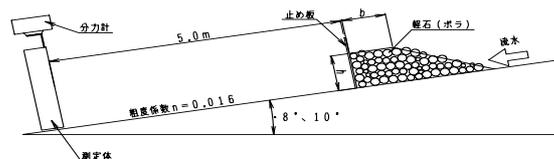


図-1 実験概要図(荷重・圧力計測)

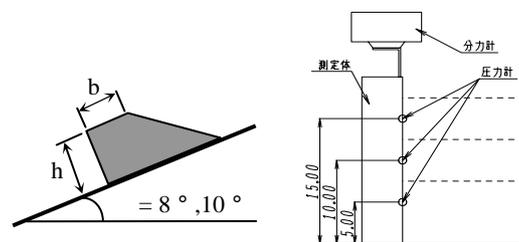


図-2 天然ダムモデル

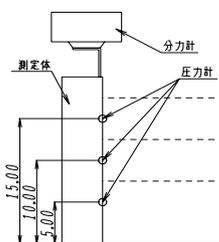


図-3 測定装置

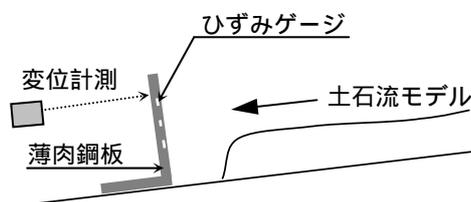


図-4 実験概要図(ひずみ・変位計測)

表1 段波再現実験の結果

No	h (cm)	b (cm)	勾配	流下速度 (m/s)	土石流波高 (cm)	段波の形成
1	13	25	$10^\circ$	1.8	10	×
2	20	25	$10^\circ$	1.9	13	
3	20	10	$10^\circ$	1.8	10	
4	20	10	$8^\circ$	1.8	12	
5	18	10	$8^\circ$	2.0	11	
6	15	10	$8^\circ$	1.7	10	
7	15	10	$8^\circ$	1.9	9	
8	15	10	$8^\circ$	1.5	9	
9	15	10	$8^\circ$	1.6	10	

表 2 ひずみから変位推定

No	最大実験ひずみ(μ)			最大変位(cm)	
	x=5cm	10cm	15cm	計算値	実験値
10	-850	-450	-220	4.68	4.77
11	-800	-420	-200	4.33	4.58
12	-800	-420	-200	4.33	4.79
13	-800	-400	-200	4.27	4.47
14	-750	-450	-220	4.46	4.25
15	-800	-400	-220	4.39	4.91
16	-875	-500	-250	5.06	5.15
17	-800	-400	-200	4.27	4.70

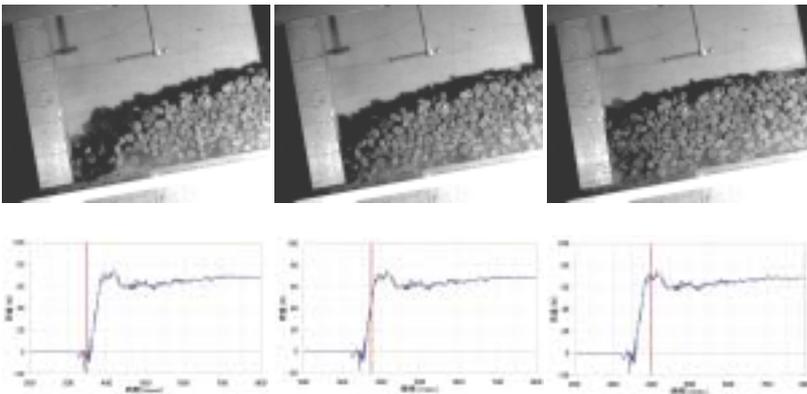


図 - 5 No.2 の先頭部形状時刻歴（上段）と荷重～時間関係（下段）

### 5. 変位・ひずみ応答

図 - 6、図 - 7 は No.10 の変位～時間関係とひずみ～時間関係を示したものである。えん堤モデル下流側より計測したレーザー式変位計は、越流水の影響でピーク値を測定できなかったが、ひずみ最大値は下から 5cm、10cm、15cm の順に小さくなって、ほぼ同時刻に最大値に達している。そこで、式(1)によりひずみから変位を逆算した値と高速ビデオから変位を求めた値を比較すると、図 - 8 のように極めて良く一致しており、最大変位は約 50mm に達している。すなわち、式(1)は段波荷重を式(2)のような満載等分布荷重  $q(t)$  が作用したと仮定して片持ちはりの自由端の変位として求めた値で、これよりひずみ計測から変位を推定することができる。

$$y_B(t) = \frac{q(t)l^4}{8EI} \quad (1) \quad q(t) = \frac{-4EI\varepsilon(t)}{(l-x)^2 d} \quad (2) \quad \text{ただし、} EI, l, d : \text{薄肉鋼板の曲げ剛性、長さ、厚さ}$$

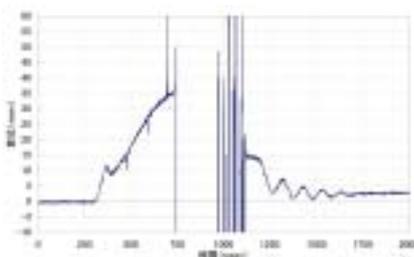


図 - 6 変位～時間関係(No.10)

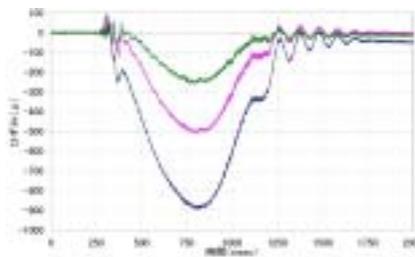


図 - 7 ひずみ～時間関係(No.10)

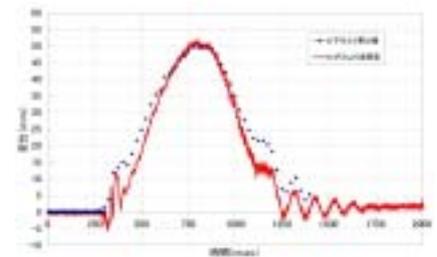


図 - 8 変位の計算値（ひずみ）と実験値（高速ビデオ）との比較（No.10）

### 6. 結論

- (1) 土石流段波の形成には、天然ダム決壊高さが 1 つの要因であることが分かり、本実験材料と実験条件に限れば、ダム高さ 15cm 以上になると段波が形成することが認められた。
- (2) 高速ビデオによる堆積状況の撮影と荷重～時間関係の時間軸を同期させることができ、これよりピーク荷重時の堆積状況を把握することができた。
- (3) 砂防えん堤モデルとして簡単な薄肉鋼板を用いて変位とひずみを計測すると共に、簡単なはり理論を用いて変位を推測することができた。
- (4) 本実験のデータは、将来粒子法などの土石流シミュレーション解析の有用な資料を提供できるものと思われる。

参考文献 1) 高橋 保；地質・砂防・土木技術者/研究者のための土石流の機構と対策、近未来社、2004 年 9 月。  
 2) 井上隆太、石川信隆、林建二郎、長谷川祐治、水山高久；桜島産軽石を用いた土石流モデルによる衝撃的流体力の荷重測定実験に関する一考察、平成 19 年度砂防学会研究発表会概要集、pp.254 - 255、2007.5