

# 95 土塊が水域に突入することによる段波の形成過程に関する実験的研究

(財)砂防・地すべり技術センター 松村和樹、高濱淳一郎、嶋 大尚、○村上正人  
 鳥取大学工学部 道上正規、檜谷 治、畦森雅樹  
 建設省九州地方建設局 北榮雅人

## 1. はじめに

火山活動や地震などに伴い大規模な土砂移動（土塊の滑動）が生じることがある。その際、滑動土塊がダムや湖、海などの水域に突入すると段波を生じ、対岸や遠く離れた沿岸地方に広範囲にわたり大きな災害をもたらすことがある。特に、寛政4年(1792)島原眉山の崩壊に伴い発生した大災害は、「島原大変肥後迷惑」と呼ばれるわが国最大の災害となった。

このような災害に対する総合的な防災対策を検討するためには、災害を引き起こす現象の特性と規模を予測・評価することが必要不可欠である。そのためには、土砂崩壊による災害発生に至るプロセス（崩壊→崩壊土塊の変形・流下→崩壊土塊の水域への突入→水位の上昇（段波の形成）→段波の伝搬→段波の遡上）とメカニズムの把握が、その中心的かつ基本的な問題である。

本研究は、これらの一連の現象を解明するための前段階として、崩壊土塊の水域への突入による水位の上昇について、基礎的な特性を把握するために実験を行ったものである。

## 2. 実験の概要

実験は、図-1に示すような水路幅0.5mの変式開水路とそれに接続する幅5.0m、長さ6.0m、深さ0.6mの二次元水槽を用いて、土塊の突入条件（突入時の土塊の速度と土塊の先端形状、突入の際の土塊の流動深）を変化させて行った。なお、有限な土塊を用いる場合、変形しながら流下するため突入速度はある程度変えられるものの、先端形状については実験で自由に設定することが難しい。そこで、まず剛体を用いて、突入速度と先端形状（先端部の角度）を変化させて実験を行い、水位の上昇過程、及び水位上昇高を計測した。次に、有限土塊を用いて突入速度と突入の際の流動深を変化させた場合の水位上昇を測定し、剛体との比較を行った。

実験条件を表-1に示す。

表-1 実験条件と実験ケース

条 件	剛体の実験	土砂の実験
形 状	図-2 参照	図-3 参照
流入速度	51.8~304.9m/s	139.2~261.6m/s
流下斜面勾配	30°	42°
突入斜面勾配	30°	30°
水 深	0.4, 0.5, 0.6m	0.4m
実験ケース数	84 ケース	9 ケース

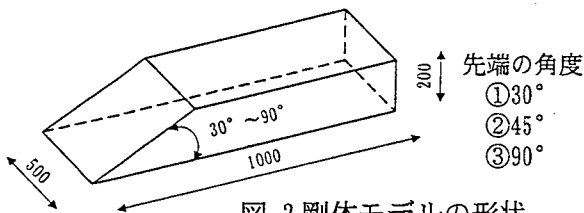


図-2 剛体モデルの形状

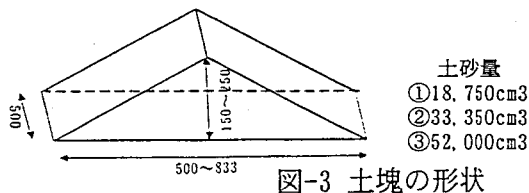


図-3 土塊の形状

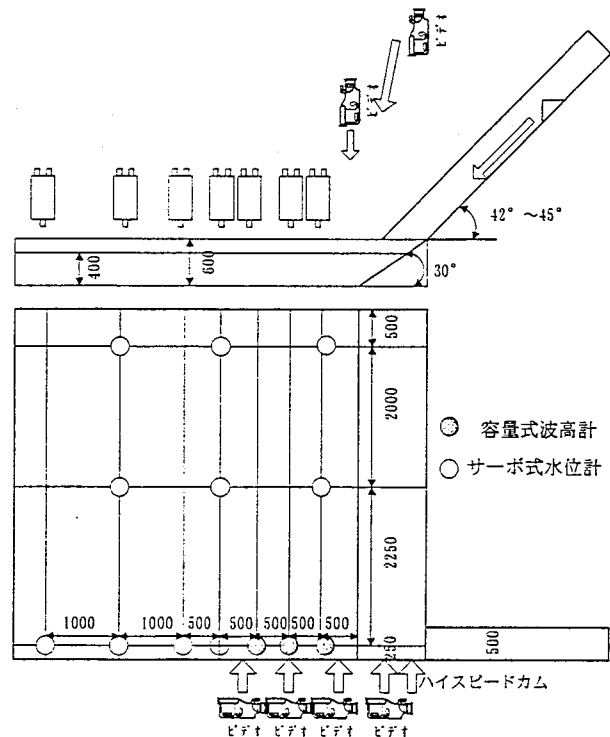


図-1 実験装置と計測位置

## 3. 実験結果

### 3.1 水位上昇過程

図-4は、最大水位が生じる位置を把握するため、斜面終了地点から最大水位が生じる位置までの距離と土塊の平均流入速度との関係を示したものである。図より、剛体の実験の場合は流入速度が速く、先端角度が緩やかに

なるほど最大水位が上流側に生じ、水位上昇の度合いが急激であることがわかる。これに対して、土砂を用いた実験では、流入速度には関係なく、そして剛体の先端角度  $30^\circ$  の実験よりもさらに上流側で生じることがわかる。これは、剛体の実験の場合、水中に突入した後も突入前とほぼ同じ速度で斜面内を下流端まで流下するので斜面全体で力が伝わるのに対して、土塊の場合は水域に突入後、水の抵抗によって急激に流下速度が減少するため突入直後の短い区間でしか伝達されないことから、突入点近くで最大波高が生じたと考えられる。

### 3.2 最大水位上昇量

図-5 は最大水位上昇量  $H_{max}$  と平均流入速度  $V$  との関係を示したものである。図より、剛体の実験の場合  $\sqrt{gh}/V$  の値に反比例して水位上昇量が大きくなっており、特に  $\sqrt{gh}/V$  の値が小さくなり 1 に近づくとき急激な水位上昇が発生している。また、同じ流入速度では、先端角度が大きくなるほど最大水位上昇量が大きくなる傾向にある。なお、砕波は土塊の速度が速いほど、先端角度が大きいほど発生しやすい。つまり、波高が高くなると、波形勾配が大きくなり、ある程度まで波形勾配が大きくなると砕波するので、水位上昇高には上限があることになる。水位上昇量の最大値に関してみると、本実験の範囲では最も剛体の流入速度が速い  $\sqrt{gh}/V$  で約 0.6 で土塊厚の 2.2 倍程度が発生している。土塊を用いた実験では、先端角度が  $30^\circ$  と  $45^\circ$  の剛体の結果の範囲に大体収まっており、段波形成の予測評価を行う上で、有益な情報であると考えられる。

### 3.3 波の移動速度

発生した水位上昇の分布は、一種の波の形状を呈しており、波高は減少するものの波の形状のまま移動する。そこで、図-6 は土塊(剛体)の流入方向(縦断方向) ( $L=50, 100, 150, 200\text{cm}$ ) における第 1 波の移動速度を  $C$  とし、 $C$  と土塊(剛体)の流入速度  $V$  との関係を示したものである。剛体の実験の場合、結果にばらつきがあるが、土塊流入速度が速くなるとやや波の移動速度が速くなる傾向にあるものの、 $\sqrt{gh}/V$  が 1 付近に集中しており、ほぼ長波の波速に近い値をとっている。また、先端角度別に見てみると、あまり影響がないことがわかる。土塊の実験の場合も、剛体の実験結果と比べると波速はやや遅いが、ほぼ長波の波速に近い値となる。なお、土塊の流入方向に直角方向(横断方向)も、距離が同じ点ではほぼ同じ程度の水位上昇となっていることから、土塊の突入により生じた水位上昇は面的に伝搬し、その移動速度は土塊の突入速度には依存せず、長波の波速に近い値となることがわかる。

## 4. まとめ

- (1) 水位の上昇過程については、剛体を用いた場合は流入速度が大きくなるほど、また先端の角度が緩やかなものほど最大波高の位置が突入地点に近くなり、波形勾配の大きな波が形成されるが、土塊の場合は流入速度に依存せず、ほぼ一定値となる。
- (2) 最大水位上昇高は、水域への突入の際の流動深が大きいほど、突入速度が大きいほど大きな値となり、最大で流動深の 2 倍程度まで発達する。また、最大水位上昇高と流入速度および流動深との間には明瞭な関係があり、流動深と流入速度が分かれば、最大水位上昇高は推定可能となる。
- (3) 土塊の突入により生じた水位上昇は面的に伝搬し、その移動速度は土塊の突入速度には依存せず、ほぼ長波の波速に近い値となる。したがって、波の到達時間は長波の波速から推定可能と考えられる。

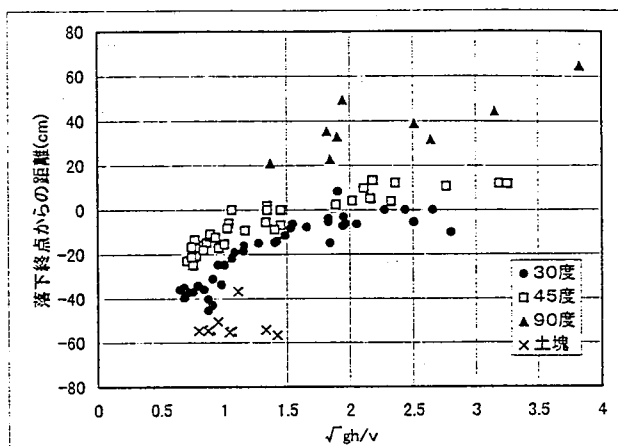


図-4 流入速度とピーク位置の関係

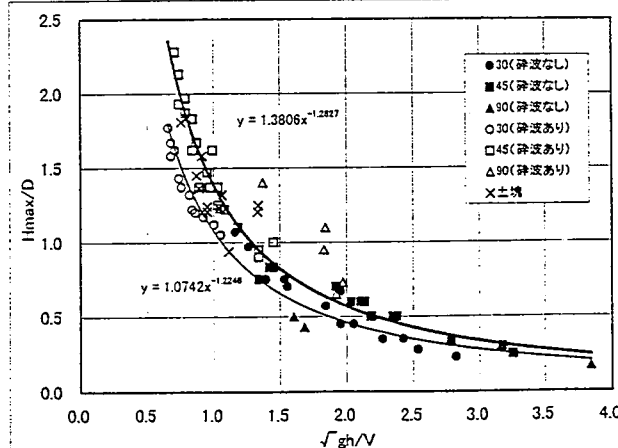


図-5 最大波高と流入速度の関係

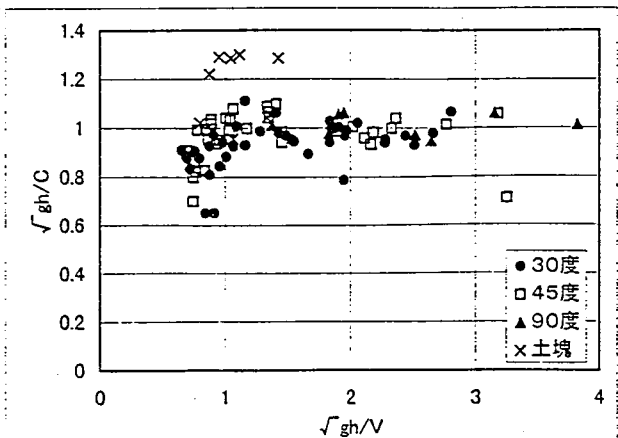


図-6 波速と流入速度の関係