

# 地すべりや山体崩壊に伴う津波の数値シミュレーション

鹿児島大学工学部	学生会員	小山 彩
鹿児島大学大学院理工学研究科	正会員	柿沼太郎
鹿児島大学大学院理工学研究科	学生会員	吉川 諒
琉球大学工学部	正会員	入部綱清

## 1. 研究の背景及び目的

地すべりに伴う津波は、断層運動が引き起こす津波に比べて発生頻度が低いものの、歴史的観点から、規模・被害ともに大きくなる可能性のあることが示唆される。1792年には、島原半島における眉山の山体崩壊に伴う津波が有明海を伝播し、対岸の肥後・天草に襲撃（富樫ら、1992）、その反射波は、島原を襲った。地すべりや、山体崩壊、そして、氷河崩落に伴う津波の生成過程では、崩落体が流体と相互に干渉するため（e.g. 柿沼ら、2012）、複雑で不明な点が多い。そこで、本研究では、近年、自由水面の大変形を伴う流れの解析のために開発されてきたMPS法を適用した断面2次元数値モデル（入部・仲座、2011）による数値解析を行ない、地すべりや山体崩壊に伴う津波に関して調べる。ここでは、崩落体が流体である場合と、剛体である場合とを対象とし、それぞれの密度や初期位置が、生成される津波に与える影響を検討する。

## 2. 数値解析の手法及び条件

図-1に示すような水槽における運動を計算対象とする。ここで、斜面勾配は、 $30^\circ$ であり、斜面開始点から沖側壁面までの長さは、3.5 mである。この斜面上に配置した崩落体を自由落下させることにより、津波を生成させる。斜面より沖側において、一様静水深を $h_0 = 0.1$  mとする。この水の密度は、 $1,000 \text{ kg/m}^3$ である。津波の生成・伝播の数値解析には、粒子数密度の空間勾配に基づき、自由水面の判定を行なう、入部・仲座（2011）の数値モデルを適用する。流体が非粘性であると仮定し、また、剛体の弾塑性を考慮しない。粒子間距離は、0.005 mとする。



図-1 一様勾配斜面のある計算対象領域

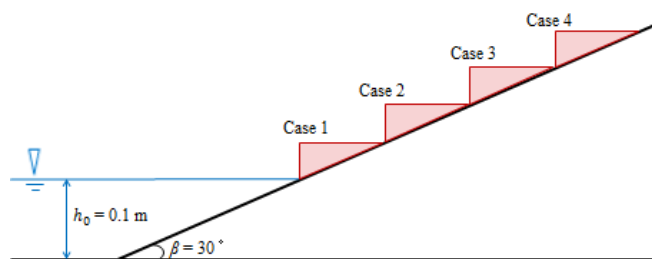


図-2 崩落体の初期位置

崩落体は、流体、または、直角三角形形状の剛体とし、

初期時刻  $t = 0$  sにおいて、崩落体を図-2に示すように斜面上に配置する。崩落体の鉛直な前面の高さは、0.05 mとする。流体及び剛体の初期形状は、すべての場合で同一であるが、Case 1～Case 4で初期の位置エネルギーが異なる。また、2種類の密度の崩落体を対象とし、密度が、水と等しく  $1,000 \text{ kg/m}^3$ である崩落体を軽い流体、または、軽い剛体と呼び、他方、密度が  $2,600 \text{ kg/m}^3$ である崩落体を重い流体、または、重い剛体と呼ぶことにする。

## 3. 崩落体が流体である場合の津波の生成及び伝播の数値シミュレーション

図-3に、軽い流体が流入する場合の、静水時の汀線から2.2 m沖側の地点Pにおける水面変動の数値解析結果を示す。下方に位置する最寄りの粒子との鉛直距離が、粒子間距離よりも大きく離れた粒子は、飛沫と考え、これより下方の粒子を水面上の粒子とする。また、各地点において水面変動が示す最大値を津波高さとして定義する。一方、図-4に、重い流体が流入する場合の、地点Pにおける水面変動を示す。Case 1～Case 4のいずれにおいても、地点Pにおける津波高さは、重い流体が流入する場合に、軽い流体が流入する場合の2倍以上となっている。従って、崩落する流体の初期位置が等しい場合、崩落体の密度が大きいくほど、すなわち、崩落体の初期の位置エネルギーが大きいくほど、生成される津波の津波高さが大きくなる。

しかしながら、地点Pにおける津波高さは、崩落体が軽い流体である場合、Case 2で最大値を示し、また、崩落体が重い流体である場合、Case 1で最大値を示し、そして、いずれの場合においても、崩落体の初期位置エネルギーが最大であるCase 4で最も低くなっている。これは、崩落する流体の初期位置が高い場合、図-5に示すように、崩落体が斜面上を落下する間に变形し、扁平となった流体が水中に突入するため、崩落体が水を押し上げにくくなるからである。ここで、図-5は、崩落体が重い流体である場合の、Case 3における、時刻  $t = 0.6$  s及び2.1 sの数値解析結果を示し、赤色の粒子が崩落体の、また、青色の粒子が水の流体粒子を表わしている。

## 4. 崩落体が剛体である場合の津波の生成及び伝播の数値シミュレーション

図-6に、崩落体が軽い剛体である場合の、地点Pにおける水面変動を示す。地点Pにおける津波高さは、崩落

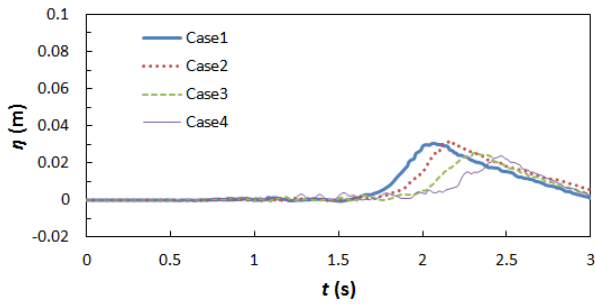


図-3 崩落体が軽い流体である場合の地点 P の水面変動

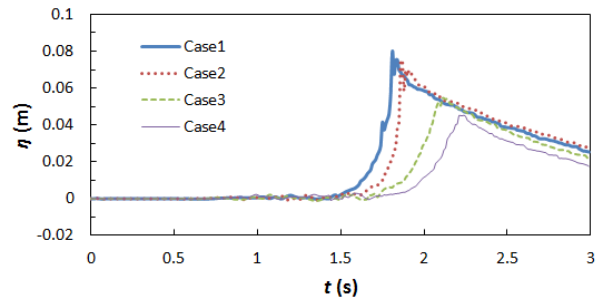
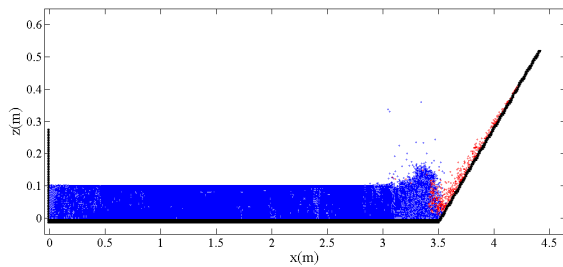
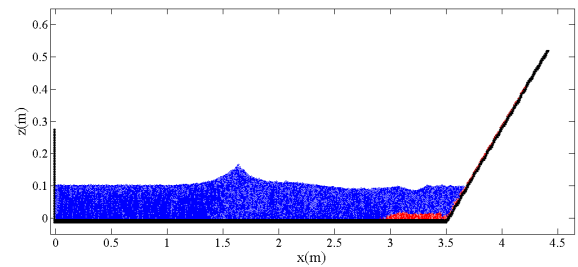


図-4 崩落体が重い流体である場合の地点 P の水面変動



(a)  $t = 0.6 \text{ s}$



(b)  $t = 2.1 \text{ s}$

図-5 崩落体が重い流体である場合の数値シミュレーション結果 (Case 3)

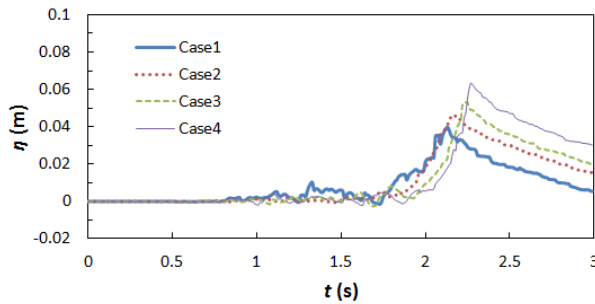


図-6 崩落体が軽い剛体である場合の地点 P の水面変動

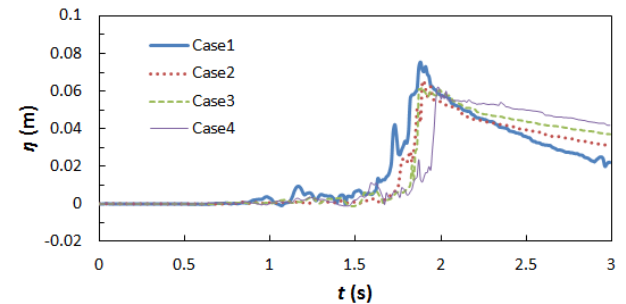
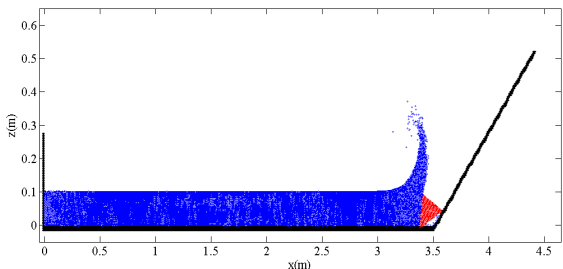
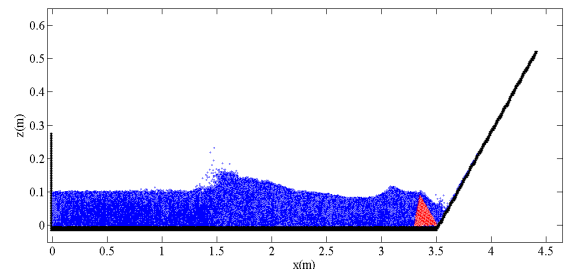


図-7 崩落体が重い剛体である場合の地点 P の水面変動



(a)  $t = 0.7 \text{ s}$



(b)  $t = 2.0 \text{ s}$

図-8 崩落体が重い剛体である場合の数値シミュレーション結果 (Case 3)

体が流体である場合と異なり、崩落体の初期の位置エネルギーが最大である Case 4 において、最も高い。一方、図-7 に、崩落体が重い剛体である場合の、地点 P における水面変動を示す。この場合、地点 P における水面変動のピークは、図-6 の場合よりも早い時刻に現れている。これは、図-8 (a) に示すように、剛体前面の進入により、津波高さの大きな plunging が形成され、図-8 (b) に示すように、波の前面に乱れを伴う、水面形が前傾化した津波が伝播するためである。ここで、図-8 は、崩落体が重い剛体である場合の、Case 3 における、時刻  $t = 0.7 \text{ s}$  及び  $2.0 \text{ s}$  の数値解析結果を示し、赤色の剛体粒子が崩落体の、また、青色の流体粒子が水の粒子を表わしている。

#### 参考文献

- 入部綱清・仲座栄三: 新たな勾配計算手法による MPS 法の精度向上に関する研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 67, No. 1, pp. 36-48, 2011.
- 柿沼太郎・澤田 亮・山下 啓・入部綱清: 地滑りに伴う津波生成の数値シミュレーション, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 68, No. 2, pp. 61-65, 2012.
- 富樫宏由・平山康志・谷口祐治・松本慎市: 1792 年有明海津波の再現性水理実験, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 221-225, 1992.