地滑りに伴う津波生成の数値シミュレーション

鹿児島大学工学部	学生会員	澤田 亮
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	山下 啓
琉球大学工学部	正会員	入部綱清

波高計2 波高計1

1.序 論

地滑りに伴う津波は、断層運動によって引き起こされる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.例えば、1792年には、島原半島にある 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・天草へも襲来して、約1万人もの死者を出した. また、2010年には、アンデス山中の湖で巨大な氷河が崩落し、高さ23mもの津波が発生して少なくとも3 名が行方不明となったほか、水処理設備の破損により約6万人に被害が及んだ.こうした地滑りや氷河崩落 に伴う津波の生成過程は、崩落体を構成する粒子群が流体と相互に干渉するため、複雑で不明な点が多い. そこで、本研究では、自由水面の大変形を伴う流れの解析に有効な MPS 法(Moving Particle Semi-implicit method)を適用した断面2次元数値シミュレーションを行ない、斜面崩壊に伴う津波の生成に関して調べる.

2. MPS 法の再現性の検証

水面変動に関して,水理実験において計 測された値と,MPS法(入部・仲座,2011) を用いて得られた計算結果を比較し,MPS 法の再現性を検討した.なお,本稿におい て,水面変動の計算結果は,サンプリング 間隔0.01sで単純移動平均した値で示す.

図-1 に示す津波生成実験装置(柿沼ら, 2008)を用いて水理実験を行なった.すな わち,ゲート内に水を貯め,ゲートを開放 して放流させることにより津波を生成させ, 水面変動を計測した.一様静水深部の静水 深を $h_0 = 10$ cm とし,斜面勾配を $\beta = 30$, または,45°とした.また,ゲート内の初 期水位は,静水位からの高さを $h_g = 10$,ま たは,15 cm とした.他方,数値解析では, 図-1の初期状態を粒子間距離 0.5 cm,総粒 子数約 18,000 個の流体粒子で作成した.な お,粘性及び表面張力は,考慮しない.

図-2 に, 図-1 の波高計 1 の位置における



波高計 3



 $h_0 = 30 \text{ cm}$

20

 h_{g} (cm)

CASE

S.W.L

-20

CASE 2 CASE 3

6= 45

-10

CASE 4

CASE1 CASE2 CASE3 CASE4 CASE5

۵

図-3 密度の大きな流体の初期位置

CASE 5

10

水面変動 η の実験結果と計算結果を示す.実験値は、5回の計測 結果を平均したものである.MPS法の再現性は、比較的高い.た だし、 $\beta = 45^{\circ}$ 、 $h_g = 10$ cm の場合、数値解析において流入時のエ ネルギー損失が考慮されておらず、計算値が実験値より大きい.

3. 密度の大きな流体の流入に伴う津波の生成

密度の大きな流体を山体から滑り下りる土砂に見立て、斜面上における密度の大きな流体の流入に伴う津波の生成を調べる. 一様水深部の静水深を $h_g = 30$ cm として、図-3 に示すように、斜面

勾配 $\beta = 45^{\circ}$ の斜面上に密度 2,600 kg/m³の流体を配置する.この流体は、時刻 t = 0 において、形状が 10 cm × 10 cm の直角三角形であり、CASE 1~3 で水面上、CASE 4,5 で水面下に配置される.また、粒子間距離を



図-4 密度の大きな流体の流入に伴い生成する津波の図-1 に示す波高計1及び2の位置における水面変動

1 cm, 総粒子数を 13,000 個とする. 図-1の波高計 1 及び 2 の位置に おける水面変動 η を図-4 に示す. CASE 1~3 において, 密度の大き な流体の初期の位置エネルギーが大きいほど、最大津波波高が大き い. 一方, CASE 4~5 の場合, 津波波高が大きくならない. これは, CASE 4~5 では、流体が水面に着水する際の衝撃がなく、流体の流 入が津波波高の増大につながりにくいためである.

4. 剛体粒子群の流入に伴う津波の生成

球状の剛体粒子を用いて津波を生成させる水理実験を行ない, MPS 法を適用して得られるシミュレーション結果と比較・検討する. 図-1 に示す水槽のゲート内に球状粒子群を積載し、ゲートを引き上 げることで堰き止められていた粒子群を崩落させ、津波を生成させ る. 球状粒子には、粒径 28.9 mm、比重 2.6 のガラス球を用いる. 球状粒子の初期位置を図-5に示す.一様静水深部の静水深を hg = 9 cm, 斜面勾配を $\beta = 45^{\circ}$ とし, 94 個, すなわち, 総計約 3.0 kg の 粒子を積載する.他方,数値解析では、粒子間距離を 0.005 m とし、 1個の円形の剛体を29個の粒子で作成して,鉛直断面内に剛体を12 個配置した. 図-1の波高計1及び2における水面変動 nを図-7に 示す. 第1波の押し波は, 計算値の峰の高さが過大評価されている が,第1波の引き波の振幅は,計算値と実験値がほぼ一致している. しかしながら、第2波以降は、計算値と実験値の位相があまり一致 しておらず,波高計2の位置では,波高の再現性も低い.これは, 数値計算において,剛体粒子の挙動が精度よく再現されておらず, その結果,正確な水面変動が得られなかったためである. 今後, 剛 体粒子の運動の再現性を改善する必要がある.

5. 結 論

本研究では、MPS 法を適用し、流体、または、剛体粒子群の流入 に伴い生成する津波の数値シミュレーションを行なった. 崩落体が 流体と仮定できる場合、地滑りに伴う津波の波高や位相に関する



図-5 球状粒子の初期位置







生成する津波の水面変動

MPS 法の再現性が比較的高いことがわかった.ただし、斜面勾配が大きく、流入時のエネルギー損失を無視 できない場合には、計算値が実験値より大きくなる.また、流入する流体の初期位置が水面上にある場合、 その流体の初期の位置エネルギーが大きいほど,津波高さが大きい.一方,地滑りが水面下で発生する場合, 崩落体と水面との衝突がないため、地滑りが水面上で発生する場合に比べて津波波高が大きくならない、更 に,崩落体を剛体粒子群として再現した場合,津波の第1波は,周期に関して再現性が比較的高いが,第1 波の峰の高さや,第2波以降の水面変動の位相の再現性が低く,剛体モデルを改善する必要がある.

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・浅野敏之・中村和夫・劉 魯安: 地滑りによる津波生成に関する水理実験, 海岸工学論文集, 第 55 巻, pp. 346-350, 2008.