分散性を考慮した二層流モデルによる陸上地すべり津波実験の再現解析

	東電設計 (株)	正会員	○藤井	直樹
	東電設計 (株)		木村	達人
(一財)	電力中央研究所	正会員	松山	昌史
	中部電力 (株)		森	勇人

1. はじめに

陸上の斜面崩壊もしくは山体崩壊により発生する津波(以下,陸上地すべり津波という)は、断層運動により引き起こされる津波と比べて発生頻度は低いものの、1792年眉山崩壊や2018年スンダ海峡津波など大きな被害を及ぼすことがあり、適切な津波評価手法の確立が求められている。平面二次元解析手法としては、運動学的地すべりモデル¹⁾や二層流モデル²⁾等が提案されているものの、その検証として水位時刻歴波形を実験と直接比較した例は少ない、本研究では、藤井ほか³⁾による平面水槽を用いた水理模型実験について、分散性を考慮した二層流モデルを用いた再現解析を行い、その適用性を検討した。

2. 水理模型実験の概要

本研究では藤井ほか³による実験(図-1)のうち,地すべり 体を粒状体(径30mmのガラスマーブル)で模擬した陸上地す べりケース(表-1)について再現解析を実施した.斜面上部に 設置したゲート上流に粒状体を充填し,ゲートを引き下げるこ とにより地すべりを発生させている.水位変動は図-1に示す位 置において,容量式波高計により計測されている.今回対象と した4ケースについて,地すべり突入位置前面(H4)における 水位変動から相対水深(水深/波長)を算出すると,1/6~1/4程 度と長波の範囲(1/20以下)から外れており,浅海波の範囲(1/20 ~1/2)となっている.

3. 解析手法

解析モデルとしては、地すべり体の変形、動きを表現可能な 平面二次元二層流モデルを用いた.ただし、実験が浅海波の範 囲となっていることから、新たに分散項を追加した検討を行っ た.x方向を例として、上層(水)の連続式を式(1)に、運動方 程式を式(2)に、下層(地すべり体)の連続式を式(3)に、運動方 程式を式(4)に示す.

$$\frac{\partial(\eta_1 - \eta_2)}{\partial t} + \frac{\partial M_1}{\partial x} + \frac{\partial N_1}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial M_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M_1^2}{D_1} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{M_1 N_1}{D_1} \right) + g D_1 \frac{\partial \eta_1}{\partial x}$$

$$= DIFF_{1,x} - INTF_{x} + \frac{(h - D_{2})^{2}}{3} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial^{2} M}{\partial t \partial x} + \frac{\partial^{2} N}{\partial t \partial y} \right)$$
(2)

$$\frac{\partial \eta_2}{\partial t} + \frac{\partial M_2}{\partial x} + \frac{\partial N_2}{\partial y} = 0$$
(3)

$$\frac{\partial M_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M_2^2}{D_2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{M_2 N_2}{D_2} \right) + g D_2 \left(\alpha \frac{\partial D_1}{\partial x} + \frac{\partial \eta_2}{\partial x} - \frac{\partial h}{\partial x} \right)$$



表-1 再現ケース						
ケース	勾配	径	重量	水深	地すべり	
		(mm)	(kg)	(m)	タイプ	
G1	1:2	30	101	0.500	陸上	
G2	1:2	30	101	0.675	半陸上	
G9	1:1.5	30	135	0.400	陸上	
G10	1:1.5	30	135	0.634	半陸上	

キーワード 津波,地すべり,平面二次元解析,二層流モデル,分散性 連絡先 〒135-0062 東京都江東区東雲1-7-12 東電設計(株) TEL03-6372-5489

$$= -\frac{\tau_x}{\rho_2} + DIFF_{2,x} + \alpha \cdot INTF_x \tag{4}$$

ここで、添え字の1は上層、2は下層を表し、 η_1 は上層の水位、 η_2 は下層の厚さ、 $M \ge N$ はそれぞれ x、y 方向の線流量、 D_1 は全水 深、h は水深、 D_2 は下層の厚さ、 ρ は密度、 α は密度比(= ρ_1/ρ 2)、 τ/ρ は底面摩擦項、INTF は界面抵抗項、DIFF は水平拡散項 であり、それぞれ式(5)~式(7)で表される.

$$\frac{\tau_x}{\rho} = \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2}$$
(5)

$$INTF_{x} = f_{\rm int}\overline{u}\sqrt{\overline{u}^{2} + \overline{v}^{2}}$$
(6)

$$DIFF_{x} = \nu \left(\frac{\partial^{2} M}{\partial x^{2}} + \frac{\partial^{2} M}{\partial y^{2}} \right)$$
(7)

nはマニング粗度係数, f_{int} は界面抵抗係数, $\bar{u} \ge \bar{v}$ はそれぞれx, y方向の層間相対速度, vは渦動粘性係数を示す.式(2)の右辺第3項が Peregrine 型の分散項であり, 上層にのみ追加した.解析条件を表-2に示す. 差分スキームとしては, 二段階混合差分法⁴⁾を用いた.

4. 解析結果

ケース G1の H4地点における水位時刻歴波形を実験結果,保坂 ほか⁵による三次元解析結果と比較して図-2に示す.分散項なしの 場合は,前傾化が進み切り立った波形となっており,波速も実験 より早い.一方,分散項を入れることで実験波形を概ね再現でき るようになり,三次元解析と同程度の再現性となっている.

第一波の最大水位上昇量・下降量を実験結果と比較して図-3に 示す.分散項なしの場合,上昇側は実験値の倍程度,下降側は若 干過小評価となっているのに対して,分散項を入れることで上昇 側,下降側ともに実験値に近づいている.

5. まとめ

分散性を考慮した二層流モデルを用いて陸上地すべり津波実験 の再現解析を行い,平面二次元解析で水位時刻歴波形を三次元解 析と同等レベルで再現できることを確認,その有効性を示した. 謝辞:本研究は電力11社による原子カリスクセンター共研として 実施した成果であることを付記するとともに,土木学会原子力土 木委員会津波評価小委員会(委員長:関西大学 高橋智幸教授) の委員各位に研究成果をご議論いただき,有益な助言を賜りまし た.関係各位に謝意を表します.

参考文献

1) Satake, K. and Kato, Y.: The 1741 Oshima-Oshima Eruption: Extent and Volume of Submarine Debris Avalanche, Geophysical Research Letters, Vol. 28, No. 3, pp. 427-430, 2001. 2) Maeno, F. and Imamura, F.: Numerical investigations of tsunamis generated by pyroclastic flows from the Kikai caldera, Japan, Geophysical Research Letters, Vol. 34, L23303, 2007. 3) 藤井直樹, 松山昌史, 森勇人:地すべりによる津波の平面水槽を用いた水理模型実験, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 74, No. 2, pp. I_145-I_150, 2018.

4) 原信彦, 岩瀬浩之・後藤智明:非線形分散波理論式に関する多段階混 合差分スキームの提案,海岸工学論文集,第45巻,pp.26-30,1998.5)保 坂幸一, 松山昌史,森勇人:陸上・海底地すべりによる津波の3次元数値 解析,土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.75, No.2, pp. I_331-I_336,2019.

表-2	解析条件
項目	設定値
格子間隔	2.5 cm
計算時間間隔	0.5 ms
計算時間	5秒間
密度比	0.62
マニング	上層:0.01 m ^{-1/3} ·s
粗度係数	下層:0.04 m ^{-1/3} ·s
温 動 壯州	上層: 0.01 m ² /s
间到和江际数	下層: 0.00 m ² /s
界面抵抗係数	0.3
差分スキーム	二段階混合差分法4)
砕波	考慮せず



