

地すべりによる造波の有限要素法解析

FEM analysis of water waves due to landslide

張 馳^{a)*}・岩堀康希^{a)}・吉松弘行^{b)}・阿部真郎^{a)}

Chi ZHANG, Yasunori IWAHORI, Hiroyuki YOSHIMATSU and Shinro ABE

Abstract

This paper presents a numerical model based on the hydrodynamic shallow water equation, which is developed for simulations of landslide-generated waves in reservoirs and bays. The Galerkin finite element method is used to determine the amplitude of the waves, which is generated by accelerating the fluid due to bottom physical displacement, the bottom friction, and impact force due to landslide. The model is verified by the good agreement between the simulation and the theoretical analysis. In order to consider the case of complex topography and practical boundaries, auto-generation method of the modified Delaunay triangulation element is applied to the numerical model. In addition, the case of a landslide into reservoir is simulated and discussed. It shows the possibility to numerically analyze the waves caused by landslide into a reservoir with complicated topography.

Key words : water waves, landslide, shallow water equation, finite element method

和文要旨

地すべり土塊の貯水池への突入によって波が発生し、きわめて大きな災害をもたらすことが報告されている。これら災害を予測するための数値解析手法では地すべり突入速度と貯水池の流体との衝撃・摩擦抗力が考慮されていない。そこで、本稿ではこれら地すべりの突入による形状衝撃、界面摩擦による造波現象及び斜面遡上現象を予測するため有限要素法の数値解析を行い、その解析手法の有効性を検討した。解析に用いる要素は水深を解とした適合分割法を用いて分割を行い計算精度の向上を確認した。また本手法を用いて、ダム貯水池周辺の地すべりが発生した場合に起こる造波をシミュレーションし、ダムと貯水池周辺の造波による影響を検討した。その結果、複雑な地形を有する貯水池においてもより現実的な造波解析が可能となった。

キーワード：造波、地すべり、浅水長波理論、有限要素法

1. はじめに

大規模地すべりや土石流等による衝撃的な土砂流入を起因とする造波は、地震による断層運動を起因とする造波と比較して発生頻度は低い。しかし、史上もっとも有名な事例としてはイタリアのバイオントダムの地すべりによる大災害に見られるように2.7億 m^3 の移動土塊がダム湖に突入したため2,500万 m^3 の水が溢水して下流の村落を襲い、死者約2,125名、全壊家屋594戸に及ぶ大惨事が報告されている¹⁾。

日本国内における土砂流入を起因とする造波例では「島原大変」が大規模な事例で知られている。1792年5月21日、眉山の大崩壊(4.4億 m^3)による移動土塊の有明海への突入によって巨大な造波が発生し、島原及び対岸の肥後・天草(熊本県)へ押し寄せた。この造波は最大波高が10mに及んだようである。造波による被害を含む死者・行方不明者の数は約1万5千人にも及び、我が国では記録に残る最大級の自然災害となっている^{2),3)}。

表-1はこのような災害に関してDavidson & McCartney (1975)⁴⁾によって報告された過去の代表例から抜粋したものである。これらは、ダム貯水池、湖沼、

湾などの閉鎖性水域において、斜面崩壊や地すべり、および土石流の地塊の突入によって大規模な造波が発生し、周辺建造物に悪影響を与える場合や極めて稀にダム堤体から越波した段波によって下流域で被害が発生する場合があることを示している。近年、我が国においてもダム下流河川で都市化が進行しつつあり、この種の災害に対して貯水池の周辺斜面域およびその下流河川域の安全性を検討することの必要性が増大している。

現在、コンピュータ技術の急激な進歩とともに、数値解析は災害予測および災害防止の立案において重要および経済的な手法として既に実用化されている技術の一つと言える。

しかし、地すべりなどによる造波機構は極めて複雑であり、現在まで多くの研究者による報告があるが、その造波解析の多くは相田(1982)⁵⁾に代表されるように突入土塊の総体積に相当する水面上昇を境界条件として与えることが行われている。この場合、造波解析は移動土塊の速度および先端部の形状が考慮されていない。一方、富樫ほか(1992)⁶⁾による水理実験によれば、造波効率(津波の発生効率)は土塊の突入付近での水深や突入する土塊の先端形状に大きく影響されることが指摘されている。近年、このような観点から松本ほか(1998)⁷⁾は海域へ突入する土石流の挙動を考慮に入れた二層流モデルで津波を解析している。しかし、常に地すべり土塊が土石流化するとは限らない。例えば、1958年7月8日、カナダ

* 連絡著者/corresponding author

a) 奥山ボーリング株式会社

Okuyama Boring Co., Ltd.

〒013-0046 秋田県横手市神明町10-39

10-39, Shinmei-chou, Yokote City, Akita, 013-0046, Japan

b) 財団法人 砂防・地すべり技術センター

Sabo Technical Center