

海底地すべりに関する数値モデリングと遠心載荷模型試験 Numerical and Centrifuge Modelling of Submarine Landslides

小林 孝彰^{1*}; 曾我 健一²; 高橋 英紀¹; 佐々 真志¹

KOBAYASHI, Takaaki^{1*}; SOGA, Kenichi²; TAKAHASHI, Hidenori¹; SASSA, Shinji¹

¹ 港湾空港技術研究所 地盤研究領域, ² ケンブリッジ大学工学部

¹Soil Dynamics Group, Port and Airport Research Institute, ²Department of Engineering, University of Cambridge

Submarine landslides can cause a significant damage to offshore structures. Their mechanism is not well understood due to the difficulty of direct observation of the phenomenon. In engineering perspective, assessing the risk of submarine landslides is necessary for further development of offshore areas. Estimating the extent and the impact of submarine debris flows is particularly important when designing subsea facilities. In the field of geotechnical engineering, physical and numerical modelling are often used to tackle these problems. The attempt here is to introduce recent research activities in physical and numerical modelling of submarine landslides.

One of the major discussions in numerical modelling of submarine landslides is how one can model the change in mechanical properties of the material during an entire flow event. Submarine landslides typically originate from collapse of seabed sediment. The flow process involves a phase transition of the material from solid to semi-fluid by shearing, mixing, and entraining ambient water. In the conventional equivalent fluid method based on Non-Newtonian fluid models, the change in material properties is neglected by assuming constant rheological parameters throughout the flow event. Often the rheological parameters are calibrated using the evidence of previous flow events. Such parameters may not represent the real physics involved in submarine debris flows.

The work by the author presented here aims to develop a new modelling framework for submarine landslides based on observations from conventional soil tests. Our modelling strategy is to extend the critical state concept in soil mechanics to a range of higher water content to account for the solid-fluid phase transition. The depth-averaged momentum conservation is solved by a numerical scheme known as the Material Point Method together with the developed constitutive model. Simulations are performed against evidence of a previous flow event. The capability of the numerical model is highlighted in a comparison with the conventional Bingham fluid model.

Another way to look into the mechanism of submarine landslides is physical modelling. Full-scale testing, however, is almost impossible for a submarine landslide event. In such situation, physical modelling can be a powerful tool to observe particular aspects of the phenomena. Physical models are usually constructed at much smaller scale than the prototype. Due to this, one has to carefully consider the scaling laws to extrapolate the observation in the model to the prototype. Among various scaling laws, that regarding to stress and strain is most important in geotechnical problems because of the non-linear, stress-strain behaviour of soil. One way to satisfy this scaling law is to increase the gravity, which can be achieved by applying centrifugal acceleration to the model.

The geotechnical centrifuge at the Port and Airport Research Institute (Japan) has a 10 m-beam with 1.6m x 1.6m platforms at both sides. A soil model is loaded at one side while a counter weight is loaded at the other side. The acceleration is applied by rotating the beam and it can be increased up to about 100 g. This means that the model can be scaled up by 100 times in size. Here, an example of the centrifuge modelling is presented. The aim of the tests is to observe the earthquake-induced slope failure and the transition to the gravity-flow. An underwater slope constructed in a model container was subjected to shaking while spinning the centrifuge. Several tests were performed with different sand/clay ratios and various slope angles. The results indicate the sand/clay ratio significantly influences the pore pressure dissipation during shaking and thus changes the flowability afterwards. Furthermore, the effects of the viscosity of the pore fluid and the osmotic pressure applied to the slope from the bed were examined. The detailed results will be presented at the oral/poster session.

キーワード: 海底地すべり, 遠心載荷, マテリアルポイントメソッド

Keywords: submarine landslides, centrifuge modelling, Material Point Method

紀伊半島周辺における陸上及び海底地すべりによる波動伝播シミュレーション Seismic wave simulation for terrestrial and submarine landslide sources in and around the Kii peninsula, southwest Japan

中村 武史^{1*}; 竹中 博士²; 岡元 太郎³; 金田 義行⁴

NAKAMURA, Takeshi^{1*}; TAKENAKA, Hiroshi²; OKAMOTO, Taro³; KANEDA, Yoshiyuki⁴

¹ 海洋研究開発機構, ² 岡山大学, ³ 東京工業大学, ⁴ 名古屋大学

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²Okayama University, ³Tokyo Institute of Technology, ⁴Nagoya University

海洋研究開発機構では、紀伊半島沖の水深 1,900-4,400 m の海底に 20 点から成る地震観測網を 2010 年に設置した。各海底観測点には広帯域地震計を備えており、観測点周辺で発生した微小地震や低周波微動によるシグナルをこれまでに捉えている。2011 年 9 月には、台風通過に伴って奈良県南部で発生した地すべりによるシグナルを海底で観測することができた (Nakamura et al., 2014)。本研究では、3 次元構造を用いて、地すべりに伴う波動伝播のシミュレーションを差分法で試みた。その結果、10 秒から 20 秒の帯域において、走時や波形形状など、海底観測波形を説明できるシミュレーション結果を得ることができた。

本研究では次に、海底地すべりの発生を想定した波動伝播のシミュレーションを試みた。潮岬沖海底谷を震央とし、震源時間関数は Yamada et al. (2013) による 2011 年 9 月の陸上地すべりの震源解析結果を参考にした。シミュレーションの結果、上下動成分でレイリー波を主成分とする顕著なフェイズの伝播を確認することができた。これは震源が海底付近にあるため、海底から数 km 以深で発生する通常の地震の場合と比べて、震源により近い場所で表面波が生成され、大きな振幅を伴って海底観測点まで伝播したためと考えられる。また、海水層の有無によって、レイリー波の波形形状や振幅に顕著な違いが生じることが分かった。これはレイリー波の位相速度や群速度、分散性が海水層の厚さに大きく依存していることと関係する。海水層を取り除き、空気層に置き換えた構造モデルの場合と比べ、海水層を取り入れたより現実に近いモデルのシミュレーションでは、振幅値が 4 倍以上大きくなる海底観測点があった。これらの結果は、海底観測点データを使った海底地すべりの規模やメカニズム推定などの震源解析を行うにあたって、海水層の影響を正しく考慮する必要があることを示唆する。

キーワード: 海底地すべり, 波動伝播, 海底観測, 東南海地震震源域

Keywords: submarine landslide, wave propagation, seafloor observation, Tonankai area, DONET

奄美大島東方に見られる海底斜面崩落地形について Slope failure observed off the eastern coast of Amami-Oshima Island, Central Ryukyu Islands

松本 剛^{1*}
MATSUMOTO, Takeshi^{1*}

¹ 琉球大学理学部
¹ Faculty of Science, University of the Ryukyus

奄美諸島東方の南西諸島海溝に向かう斜面の水深1,000~4,000mの海域には、崩落痕と見られる地形が発達している。中琉球・南琉球域には、沖縄トラフのリフティングを反映して、島弧洞切り型活断層が多く発達しているが、これらの北限は徳之島付近までとなっており、奄美大島付近にも島弧に直交する向きの直線的な海底谷が見られるものの、これについては活断層とは認定されておらず、陸上にも認定された活断層は無い(「日本の活断層図」による)。また、前弧側のこの水深の海域には、メタンハイドレートの存在の可能性がある、それに伴う海底の崩落の可能性についても検討する必要がある。一方、海底の崩落は津波の原因ともなるため、土砂の崩落量から想定される津波高の推定が必須となって来る。当該域の広域テクトニクスとの因果関係についても考察する必要がある。以上の目的で、2013年・2014年の2回に亘って、長崎大学の練習船「長崎丸」を用い、各1週間の海底地形・表層構造調査を実施した。

サーベイ海域は、27° 10.0' N, 128° 35.0' E, 26° 30.0' N, 129° 30.0' E, 28° 20.0' N, 131° 15.0' E, 29° 00.0' N, 130° 20.0' E で囲まれる海域(但し喜界島周辺は除く)、水深は概ね1,000~4,000mの範囲とした。サーベイ海域内では、奄美大島南東方の崩落域では北西・南東方向の長さ30マイルの測線6本、また、奄美大島北東方の海底谷の北側斜面の麓部でも土砂の崩落痕と見られる地形が存在するため、この海域では南北方向の長さ15マイルの測線を4本設けた。測線上では6ノット航走とし、3.5kHzサブボトムプロファイラー(SBP)による連続観測を行った。また、SBPの記録をもとに、2箇所でオケアンサンプラーによる底質採取を行った。

2013年の航海日程は、5月31日那覇発、6月6日那覇着であった。途中、奄美大島西方の漁業実習地点(29° 00.0' N, 126° 30.0' E)でトロール実習を行い、6月2~3日、及び、6月4~5日にかけて、SBP調査及びサンプリングを行なった。また、2014年の航海日程は、5月30日那覇発、6月5日那覇着であった。この間、6月1日早朝~6月2日(月)夕刻の間、SBP調査を行なった。

奄美大島南東方は、水深1,000m付近までは緩やかな斜面となっているが、それ以深の、同島南東方約40nmに位置する27° 40' N, 129° 50' Eを中心とした面積約600km²、深さ約600mの凹地の箇所は、マルチナロービーム地形図でも起伏に富んでいる。「長崎丸」によるSBPによれば、比高200~300m程度、直径2~4km程度の起伏の連続であった。また、奄美大島北東方の海底谷の北側斜面の麓部では、これよりも小規模な崩落痕が多数見られた。

キーワード: 奄美大島, 琉球列島, 斜面崩落
Keywords: Amami-Oshima, Ryukyu Islands, Slope Failure