

機関番号：15201

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20310109

研究課題名（和文）海底地すべりの発生・運動機構及び海底パイプライン破壊に関する調査研究

研究課題名（英文）Initiation and motion mechanisms of submarine landslide and its impact on pipelines

研究代表者

汪 発武（WANG FAWU）

島根大学・総合理工学部・准教授

研究者番号：10324097

研究成果の概要（和文）：

海底地すべりは地震などによって海底斜面で発生し、高速・長距離運動する。海底通信ケーブルが分布している地域を通過すると、これらのケーブルを切断し、通信障害の原因となり、社会に悪影響を与える。「海底地すべり再現実験装置」を開発し、海底地すべりの運動様式やパイプ模型に与える衝撃力を計測した。運動している海底地すべりが混濁流、土石流、そして水でできた三層構造を持ち、極めて低いせん断抵抗で運動することが分かった。また、ケーブル径や運動速度による衝撃力への影響の測定もできた。

研究成果の概要（英文）：

When triggered by earthquake, submarine landslide may occur at submarine slope and move for long distance at high velocity. When the submarine landslide travelled crossing an area with communication cables, the cables will be cut and cause communication trouble to the society. A simulating apparatus for submarine landslide was developed for the purpose to study the motion mechanism of submarine landslide and its impact on cables. It is found that during submarine landslide motion, the sliding mass can be divided to three layers, i.e., turbulent flow, debris flow, and water at the bottom, so that the landslide can move with very low friction to reach long distance with high velocity. In addition, the influence of cable size and motion velocity on the impact to cable was also measured.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	8,800,000	2,640,000	11,440,000
2009年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2010年度	2,700,000	810,000	3,510,000
年度			
年度			
総計	15,200,000	4,560,000	19,760,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：ライフライン防災、海底地すべり、自然災害

1. 研究開始当初の背景

海底地すべりは陸海境界付近で発生する土砂移動現象である。近年、海底地震が発生

し、津波を誘発することによって沿岸地域に災害を及ぼすことで、地域社会に大きなインパクトを与え、国内外で注目され、地震-津波

現象の解明は重要視されている。この地震から津波のプロセスの中に、多くの場合、海底地すべりが介している。例えば、1923年に発生した関東大震災、1964年アラスカ大地震の時に、海底地すべりが発生していたが、海水面下で発生しているため、海底地すべりが無視或いは認識されていない場合が多い。また、水域という環境で、津波と地すべりが互いに誘起することもある。例えば、1979年10月フランス・リスで海底地すべりだけによる津波も記録されており、巨大波浪による海底地すべりの変位も観測されたことがある。2006年12月に台湾南部海域で発生した恒春地震によって海底通信ケーブルが切断され、日本からの通信にも影響を及ぼした。水面下で発生しているため、海底地すべりの運動機構に関しては、未解明な点がかなり多い。

これまでの研究によると、海底地すべりの特徴としては、非常に大規模（2万 km^3 級）で1度ぐらいの緩斜面でもすべり下り、運動距離は陸上の地すべりよりはるかに大きいことである。今後益々進行して行く海洋開発及び海洋利用に資するため、海底地すべり、特に経済活動に深く関係している陸海境界付近の斜面で発生する海底地すべりの危険度評価、及びパイプラインなど構造物に対する破壊力の推定はライフライン防災に極めて重要である。

海底地すべりに関する研究は、世界範囲から見ると、海洋資源の開発が進んでいる北欧とアメリカで最も進んでいると思われる。ノルウェー地盤研究所とオスロ大学では、自然災害の評価・防止・軽減の枠組みの中で **Offshore Geo-hazard** に関する研究プロジェクトが実施され、海底地すべり・土石流及び津波などの研究を行っており、物理探査などの手法を用いた現地調査で、海底地すべりの発生原因まで探っている。アメリカでは、テキサス大学の地質学者である **D. Mohrig** 博士が室内模型実験装置を用いて、海底地すべりの運動様式に関して率先的な研究を実施しており、地すべり土塊底面におけるハイドロプレーニング (Hydroplaning) 現象が高速運動の原

因であることを主張している。

日本周辺では、プレート境界が多いため、海底地すべりが数多く発生している。日本周辺の海域災害の防止及び軽減するため、海底地すべりに関する研究はその意義が大きい。

2. 研究の目的

海底地すべり現象を解明するのに、多岐に渡る研究が必要である。本申請は海底地すべりの発生・運動機構の解明といった理学的な研究とパイプラインに対する破壊力の定量評価といった工学的な研究の両方を展開し、下記のようなことを明らかにしたいと計画している。

(a) 海底地すべりの発生・運動機構に関する学理的な研究

これまでに発生した海底地すべり、特に日本周辺海域及び太平洋域で発生した幾つかの海底地すべりの事例研究を通して、海底地すべりの発生しやすい地形条件（波浪条件を含む）、地質条件（地震断層条件を含む）を抽出し、海底地すべりの発生原因を究明した上で、模型実験を実施し、海底地すべり発生の誘因を解明する。そして、現地調査と試料採取・分析によって、海底地すべりの構成物質の粒度特徴、粒子構造、集合体としての堆積構造を特定し、海底地すべり発生の素因を解明する。さらに、室内模型試験装置を用いて、水中及び陸上環境で地すべりを起こし、異なる環境での地すべり運動を観察・比較することによって、海底地すべりと陸上地すべりの異同点を対比し、海底地すべりの運動機構を解明する。

特に、海底地すべりの運動機構に関しては、背景に述べたように、**D. Mohrig** 博士は定性的にその運動機構を提案しているが、それは力学的に裏付けていない。申請者は斜面模型実験用のせん断力センサーの開発に成功し、すべり面のせん断抵抗の計測に用いた。本研究において、海底地すべりのせん断抵抗の測定に適するように改良し、土塊運動による衝撃の計測できる水中土圧計、変位計、間隙水圧

計と併用することによって、定量的に海底地すべり運動特性を解明する。

(b) 海底地すべりによるパイプラインへの破壊力の工学的研究

パイプラインは長距離渡って海陸境界付近に配置されるため、海底地すべりを避けることは困難である。上述した室内模型斜面装置の中に、模型パイプラインを配置し、定量的にパイプラインの破壊様式の認定と定量的に破壊力の同定することが可能である。これらの実験より、海底地すべりによるパイプラインへの破壊機構の解明ができるようになり、合理的なパイプライン設計基準の提案が期待できる。

3. 研究の方法

(1) 現地調査による海底地すべりの形態と堆積構造の解明

海底地すべりの発生・運動機構及びそれによるパイプライン破壊機構を解明するために、実際に発生した海底地すべり及びそれによる被害の現地調査は最も有効的な研究方法である。しかし、海底地すべり現場へのアクセスには、大変な困難が伴うため、本研究は、(1) 陸上に存在している海底地すべり構造の現地調査、(2) 近年発生したもので、その場所も特定できる海底地すべりの現地調査の二種類の現地調査研究を実施することを予定している。

現段階では、陸上にある海底地すべり構造の典型的場所として、広島県東酒屋にある海底地すべり天然記念物、南九州に広く分布する日南層群での海底地すべり構造の現地調査を行い、海底地すべりの堆積構造を解析することを予定している。

(2) 室内模型実験装置の開発及び模型実験の実施

海底地すべりを直接観察することは高価かつ困難であると予想されるため、本研究は室内模型実験を実施することより、海底地すべりの発生・運動機構を解明し、パイプラインに対する破壊力を計測することを計画し

ている。円筒状の海底地すべり模型実験装置としては、高さ 1.8 m、奥行き 0.4 m の片面透明円筒状水槽の中に、土と水とケーブルの模型を設置する。円筒状装置を回転させることによって、水中で動く土砂の様子が観察される。円筒水槽の底面には、土圧センサー、せん断抵抗センサー、間隙水圧センサーを取り付け、運動している水中土砂による垂直応力、間隙水圧及びせん断抵抗を取得することができる。これまでに水中における土圧とせん断抵抗の計測前例がないため、革新的な成果が期待される。以上の装置を用いて、下記の研究を行う予定である。

1) 海底地すべりの運動機構

海底地すべりが運動している間での計測・観察ができる。これにより、水中で運動している地すべりの力学的な特性を解明することができ、それと水なしで行なう斜面崩壊実験との比較することにより、海底地すべりの運動機構を解明する。

2) 海底地すべりによるパイプラインの破壊機構

装置にパイプライン模型を導入し、海底地すべりが発生・運動している時に、パイプラインにかかる衝撃力、曲げモーメントなどを計測し、海底地すべりによるパイプラインの破壊機構を解明する。

4. 研究成果

まず、海底地すべり再現実験装置を開発した。開発した実験装置は、高さ 1.9m、直径 1.8m、幅 0.4m の円筒形の水槽である。円筒底面にはせん断応力センサー、間隙水圧センサー、土圧センサーが設置されている。この装置内に水と土の混合体を投入して回転させることによって、海底地すべりを再現できる。装置は、0.013 m/s から 0.78 m/s の範囲で回転させることができる。

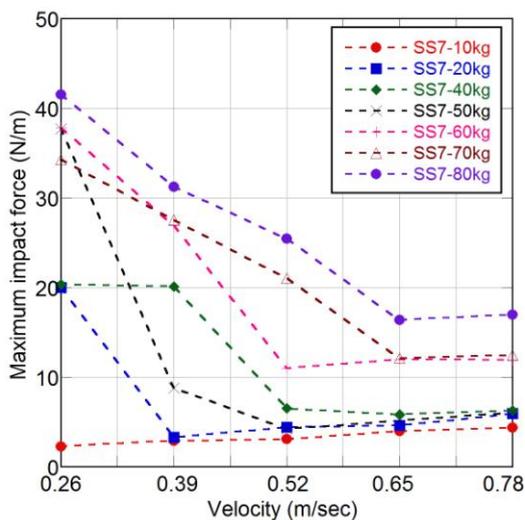
珪砂 7 号と 8 号を使った回転実験では、以下のことが分かった。(1) 底面の摩擦係数は実験に使用した試料の質量の増加に従い増加する；(2) 回転速度の変化において、摩擦係

数が増加してから低下し、その後、再び増加する；(3) 粒子が細かくなると摩擦係数の増加が見られる。

また、装置内にひずみゲージを貼り付けたケーブル模型を設置することによって、海底地すべり運動中におけるケーブルへの衝撃力測定が可能である。ケーブル模型は、塩化ビニール製直径 22 mm のパイプを使用した。現地における実際の海底ケーブルは無限長と見なされるため、ケーブル延長方向への変形は許されない。準備したケーブル模型を、現地での応力状態と同じにするために、海底地すべり再現実験装置内ではケーブル模型両端を完全に固定して設置した。

実験は、ケーブル模型への衝撃力を、次の 3 項目に分けて実施した。①移動土塊の速度の違い (0.26 m/s, 0.39 m/s, 0.52 m/s, 0.65 m/s, 0.78 m/s の 5 段階) による影響、②移動土塊の規模の違い (飽和珪砂 10 kg から 80 kg まで 10 kg ごとの 8 段階) による影響、③ケーブルの設置高さの違い(設置高さ 20 mm と 40 mm) による影響である。

実験に珪砂 7 号をすべり土塊試料として使用した。この珪砂の土粒子密度は 2.63 g/cm³、最大密度は 1.566 g/cm³、最小密度は 1.026 g/cm³、最大間隙比は 1.563、最小間隙比は 0.679、D₅₀ は 0.1 mm、D₃₀ は 0.079 mm、有効径 D₁₀ は 0.056 mm、均等係数は 1.82、曲率係数は 1.09 と求められた。



上図は、飽和珪砂 7 号 10 kg～80 kg をそれぞれ速度 0.26 m/s～0.78 m/s の 5 段階で回転させた実験から求められたケーブルへの最大衝撃力 (N/m) を、土塊運動速度との関係で示したものである。この結果より、ケーブルへの衝撃力は、運動速度の遅いときに最大になり、一旦減少した後再び増加する傾向があることが分かる。また、衝撃力が減少から増加に転じる境界速度は、土塊重量が多いほど速い速度のエリアにあることが分かった。

このような現象が起こる原因については、①遅い運動速度では移動土塊が混濁されずにケーブル模型に衝突する、②運動速度が速くなるにしたがって、移動土塊が混濁され、密度の小さな流れとなってケーブル模型に衝突するためではないかと考えられる。つまり、遅い運動速度のときには海底地すべりによる衝撃力の様相、速い運動速度になるにしたがって土塊の影響は小さくなるため、乱泥流による衝撃力の様相に転化していると考えられる。

また、土塊の規模を変えての実験からは、移動土塊の規模が大きくなるに連れてケーブル模型への衝撃力は大きくなり、その影響時間も長くなることが分かった。

最後に、ケーブル模型の設置高さを変えての実験では、衝撃力の明確な傾向はなかった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

1. Wang F.W., Sassa K. (2010) Landslide simulation by a geotechnical model combined with a model for apparent friction change. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35, 149-161
2. Wang F.W., Wafid M.A.N, Zhang F.Y. (2010) Tandikek and Malalak flowslides triggered by 2009.9.30 M7.6 Sumatra earthquake during rainfall in Indonesia. 島根大学地球資源環境学研究報告, 29, 1-10
3. Sun P., Wang F.W., Yin Y.P., Wu S. (2010) An experimental study on the mechanism of rapid and long run-out landslide triggered by Wenchuan earthquake. *Seismology and Geology*, 32, 98-106

4. Boldini D., Wang F.W., Sassa K., Tommasi P. (2009) Application of large scale ring shear tests to the analysis of tsunamigenic landslides at Stromboli volcano, Italy. Landslides: Journal of the International Consortium on Landslides, 6, 231～240.

〔学会発表〕（計 2 件）

1. Wang F.W., Sonoyama T., Honda M. (2011) Model test on the impacts of submarine landslides to pipelines. Third World Landslide Forum, Rome, 2011.9.19-25
2. 園山智和・汪 發武・本多満貴 (2011) 模型実験装置を用いた海底地すべりによる通信ケーブルの破壊機構に関する研究. 日本地球惑星科学連合 2011 年大会・幕張, 2011.5.21-27

〔図書〕（計 1 件）

1. Wang F.W., Li T.L. (2009) Landslide Disaster Mitigation in Three Gorges Reservoir, China. Springer.

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

なし。

6. 研究組織

(1)研究代表者

汪 發武 (WANG FAWU)
島根大学・総合理工学部・准教授
研究者番号：10324097

(2)研究分担者

宮島 昌克 (MIYAJIMA MASAKATSU)
金沢大学・理工研究域・教授
研究者番号：70143881

酒井 哲弥 (SAKAI TETSUYA)
島根大学・総合理工学部・准教授
研究者番号：90303809

(3)連携研究者

なし