

平成30年 5月31日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18113

研究課題名（和文）表層型メタンハイドレート生産手法確立に向けた地盤安定性評価のためのモデルの構築

研究課題名（英文）Evaluation of ground stability toward establishment of surface methane hydrate production method

研究代表者

片岡 沙都紀 (Kataoka, Satsuki)

神戸大学・先端融合研究環・助教

研究者番号：50552080

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、海底下表層部に賦存するメタンハイドレート（以下、MHと記載）の海底地盤の安定性評価について検討することを目的とし、オホーツク海海底地盤調査によるMH賦存領域の確認に加え、MHが賦存することで想定される海底地すべりなどのリスクを検証するために、海底地盤を模擬して室内力学試験や振動台を用いた加振試験を行った。
その結果、オホーツク海の海底地盤に見られるような土質構造をもつ場合には、ガス採取時や地震などに伴うMHの地盤内での分解がトリガーとなって間隙水圧が上昇し、陸域では起こり得ないような緩斜面でも地すべりが発生する可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to investigate the stability evaluation of the ground of Methane Hydrate (MH) present in the submarine surface layer part. For that purpose, we confirmed the MH remaining area by the Okhotsk Seabed Soil Survey. The purpose of this research is to investigate the stability evaluation of the submarine ground of methane hydrate (hereinafter referred to as MH) present in the submarine surface layer part. For that purpose, we confirmed the MH remaining area by the Okhotsk Seabed Soil Survey. In addition, in order to verify the risk of submarine landslide assumed by the presence of MH, vibration test using indoor mechanical test and shaking table was carried out by simulating ocean bottom ground.
In the case of a soil structure as found in the ocean bottom of the Sea of Okhotsk, it was suggested that landslide may occur even on gentle slopes, because of decomposition of MH in the ground due to gas sampling and earthquakes triggers pore water pressure.

研究分野：地盤工学，地盤改良

キーワード：表層型メタンハイドレート 海底表層地盤 海底地すべり

1. 研究開始当初の背景

日本の将来的なエネルギー需要問題を打破する一つとして、日本近海の海底下に多く賦存するメタンハイドレート(以下、MHと記載)から採取されるメタンガスを、新しいエネルギーとして利用するための開発が進められている。MHに関しては、現在南海トラフなどを中心に海底下数百m以深からのメタンガス産出試験が進められており、資源としての産出にさいしての経済性や効率性などを考慮した検討が行われている。

一方で、オホーツク海の海底にもMHが確認されているが、このハイドレートは南海トラフ域とは異なり、海底下数mの表層に分布している。この種のMH産出に関しては、現在日本海を中心に進められつつある。現在調査されているだけでも、その賦存量は南海トラフ型の深層域に賦存するMHに匹敵するとも言われているが、海底下表層ということもあり、産出により懸念される海底地すべりや沈下、メタンガス遺漏に伴う海底環境への影響など、地球環境変動への影響が深海底のものの以上に懸念されている。

2. 研究の目的

本研究では、海底下表層に賦存するMH域の地盤安定性を検証することを目的として、以下に示す項目に着目して対象海域での調査、および室内試験を実施する。

(1)オホーツク海域における海底調査

オホーツク海網走沖および十勝沖における海底地盤調査に参加し、船上からの音響探査や地震波探査、海底地盤から採取した土試料の力学試験などから、当該海底域における地盤の特徴について検討する。

(2)MH 賦存地盤より採取した土層を再現した室内力学試験

(1)で海底地盤より採取した堆積土コアを観察した上で、コア内部の土層構造を再現した状態で室内力学試験を実施し、海底地盤を想定した状態での対象土層のせん断強度を検証する。

(3)海底地盤を模擬した振動台加振試験

(2)での海底調査の結果を受け、オホーツク海での海底地盤調査の際に確認したMH賦存地盤近辺の海底表層地盤の形状や土層を模擬した試験模型を作製し、振動台装置を用いて加振による地盤への影響について検証する。

(4)コア引き上げ時の応力解放を考慮した船上簡易力学試験から見る原地盤強度の推定

MH 賦存地盤より海底試料を採取して力学試験を行う場合、当該海域の間隙水中に溶存するメタン量は他領域よりも多いことが考えられるために、その分応力解放に伴うコアの乱れが大きくなることが予想される。こ

では、コア引き上げ後に船上にて実施している簡易的な力学試験(小型ベーンせん断試験)が応力解放による試料の乱れをどの程度受けるのかを実験的に検証する。

3. 研究の方法

(1)オホーツク海域における海底調査

海洋調査には、2015年および2017年の2回参加した。調査地域は2015年が北海道網走沖、2017年は北海道十勝沖の各沖合であり、当該域における土試料採取水深は、網走沖で600~800m、十勝沖で約1000mである。海底地盤からの採泥には、重力式二重管サンプラー(長さ2m、内径100mm、上載荷重700kg)を用いた。なお、サンプラーは先端部にキャッチャーが取り付けられており、採取した堆積物が揚収時に脱落しない構造となっている。試料は、音響探査によりガスブルームが確認できた場所において、コアラを自由落下により海底地盤に貫入させて採取している。

(2)MH 賦存地盤より採取した土層を再現した室内力学試験

土被り圧相当の鉛直応力を加えた状態での定体積繰返し一面せん断試験を実施した。試料は、2014年に申請者らが行った北海道十勝沖海底地盤調査の際に、MH賦存地盤から採取したコアにおいて確認できた粘土層と火山灰層の互層構造(写真-1)を再現したものである。当該試験に使用した試料(直径6cm、高さ2cmの円柱形)は、この互層構造を再現した実験であり、火山灰層の代わりに火山灰と同様な粒状構造をもつ砂を使用した。砂層のみのもものと上下を粘土層で挟んだものの2種類用意して、双方とも砂層を直接せん断した際の強度を計測した。試験装置の概要図を図-1に示す。供試体は、現地表面層地盤の土被り圧を再現するため、鉛直応力を50kPa載荷した状態で10日間予圧密させて作製したものをを用いた。供試体を試験装置内に設置した後、せん断箱を水浸させて24時間飽和させた。その後、鉛直応力を $\sigma=25, 50, 100\text{kPa}$ に設定して圧密を十分行ってからせん断試験を行った。せん断試験は直接せん断試験であり、せん断箱間隔は0.2mm、両振幅3mmでせん断を行い、試験より得られた残留強度を繰返し回数10回目の値とした。

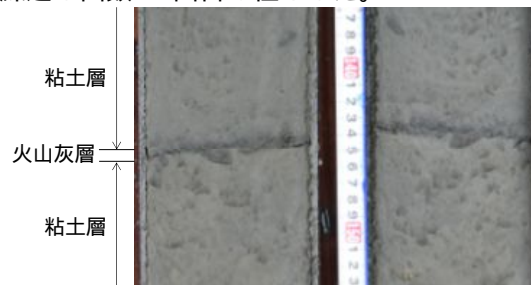


写真-1 北海道十勝沖の調査の際に観察されたコア内部の土層状態(粘土層と火山灰層の互層構造)

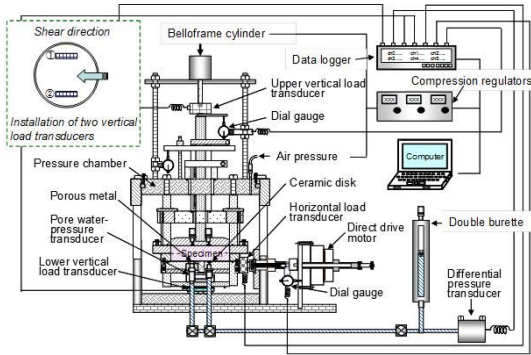


図-1 繰返し一面せん断試験装置の概略図

(3)海底地盤を模擬した振動台加振試験

写真-1のように、表層型MH賦存地盤にて確認されている互層構造を模擬した海底表層模型を土槽内(幅550mm、高さ300mm、奥行150mm、傾斜角度10°)で作製し、地震を想定した加振を与えることによる変化を検証した。ここで、このような互層構造が海底地盤内にある場合、MHはより粒径の粗い層(この場合には火山灰層)に形成されることが知られており、地震などの何等かの原因によりMHが地盤内部で分解した場合には、火山灰層の上下は低透水性のために火山灰層の過剰間隙水圧が消散できず、局所的に地盤強度が低下して海底地すべり等の一因となる恐れが危惧されている。当該試験は、この現象を模型試験により再現したものである。

図-2に模型概要図を示すが、海底地盤再現のために火山灰層(排水層)の代わりに砂を、粘土層(非排水層)の代わりに木板を用いた。また、当該ケースとの比較のため、上部に不透水層を設けないパターンについても実施している。砂は水中落下により30mm堆積させた(相対密度を50%に調整)。なお、加振時の条件は、300Gal, sin波, 20波とした。

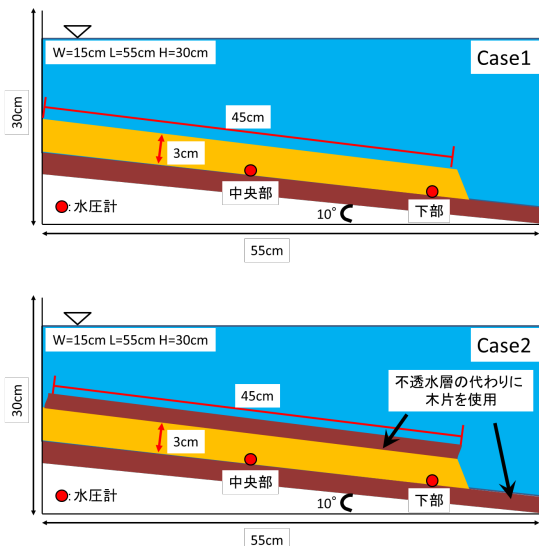


図-2 振動台を用いた海底斜面の再現試験 (Case1: 砂層上部に不透水層がない場合 Case2: 砂層上部に不透水層がある場合)

(4) コア引き上げ時の応力解放を考慮した船上簡易力学試験から見る原地盤強度の推定
 海底コア引き上げ時の応力解放を考慮した船上簡易力学試験では、2015年の調査の際に十勝沖で採取した海底堆積土(採取深度0.2m)を使用した。コアより取り出した試料に対して、図-3に示す飽和容器(直径60mm、内径40mm)で十分に飽和させたのちに、背圧を50、100、200、400kN/m²として水圧を模擬した状態で供試体に载荷した。载荷24時間が経過したのちに大気解放を行った試料に対し、これまで船上試験に用いてきた簡易ベーンせん断試験(写真-2)を実施して強度を計測し、応力解放による強度低下を検証した。

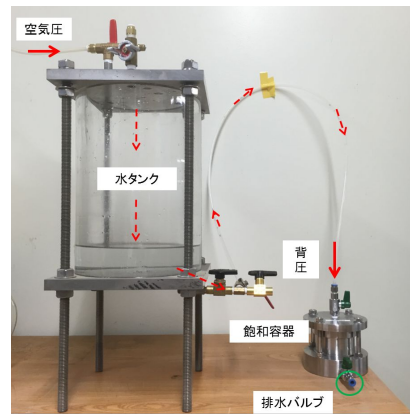


図-3 応力解放による強度低下を検証するための供試体作製装置

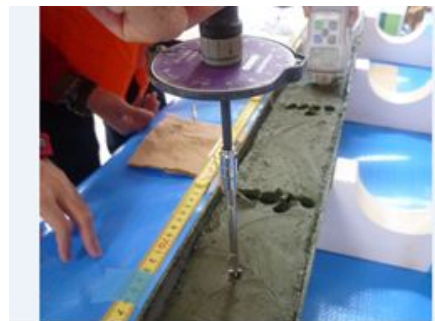


写真-2 簡易式ベーンせん断試験(ベーン幅10mm、ベーン長さ20mm、せん断時の回転速度1°/min)

4. 研究成果

各試験により得られた成果および知見を以下に示す。

(1)オホーツク海域における海底調査

音響探査により海底下から湧出するメタンガスの存在を網走沖で約60カ所、十勝沖で約20カ所確認した。さらに、網走沖の調査では、海底下層(数m)よりMHの存在も確認できており、当該海域における表層型MH賦存域を把握することができた。

(2)MH 賦存地盤より採取した土層を再現した室内力学試験

定体積繰返し一面せん断試験より得られた内部摩擦角は、砂試料のみが11.4°に対し

て粘土層で互層とした砂試料は 7.9° となり、同じ砂試料のせん断強度でも粘土層で互層とした試料のほうが強度低下をしたことが確認できた(図-4)。この原因として、模擬試料は粘性土(低透水層)に挟まれているので砂のみの試料と比較してせん断時に発生した過剰間隙水圧が消散しきれず、有効応力が低下したためにせん断強度の低下に繋がったものと考えられる。原地盤では試験装置以上に水平方向にスケールが広がることを想定すると、過剰間隙水圧の消散は試験機以上ににくい状態となりうるので、より大きく強度が低下する可能性が示唆される。

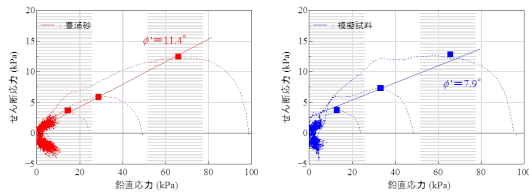


図-4 試験より得られた内部摩擦角(左:砂のみの試料、右:粘土層で互層とした試料)

(3)海底地盤を模擬した振動台加振試験

海底を模擬した加振試験の結果では、Case2(砂層上部に不透水層がある場合)において加振後に上部の不透水層(木板)が滑り落ちる現象(=海底地すべりを想定)が発生した。図-5に各ケースにおける時間経過と加速度、間隙水圧比の関係を示す。なおグラフは、図中の間隙水圧比が1を超えると、有効応力が0になり、すべりが発生することを示している。Case1では中央部、下部ともに間隙水圧比が1を越えていないが、Case2では中央部で計測した間隙水圧比がわずかに1を越えており、すべりの発生は間隙水圧比の増加により発生したことがわかる。これより、海底では緩い斜度においても粘土層のような不透水層があることで、仮にMHの分解がトリガーとなって過剰間隙水圧が局所的に発生し、海底地すべりを発生する可能性があることが示唆される結果となった。

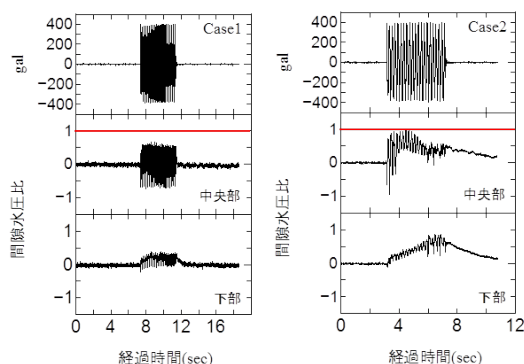


図-5 振動台加振時における加速度と過剰間隙水圧の消散の関係

(4)船上試験をもとにした原地盤強度の推定
供試体の背圧が大きくなる(=想定する水

深が深くなる)につれてペーンせん断強度が若干ではあるが低下していることが確認できた(図-6)。この原因として、脱気水内やパイプ内に溶存していた微量の空気は背圧の大きい供試体ほど溶存するが、大気解放による膨張で供試体がより大きく乱され、強度が低下したからと考えられる。また、背圧とペーンせん断強度が図-6中の破線のような関係で表されることから、応力解放に伴う強度低下をある程度定量的に予測することが可能であることが示唆された。

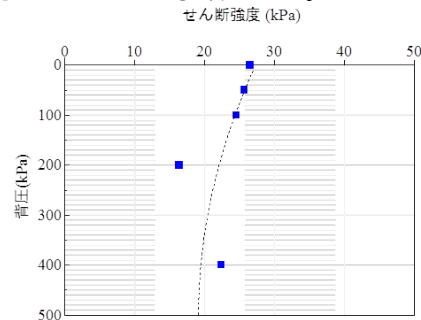


図-6 供試体作製時の背圧とペーンせん断強度との関係

十勝沖において、申請者らは2014年の調査の際にコア貫入と同じ要領で重力式による原位置コーン貫入試験を行っており、この時の結果は地盤表層(海底面下深度1m)の強度で750kN/m²となっていたのに対し、この周辺地盤より採取したコア使用を用いた船上コーン貫入試験では200kN/m²となっており、大きく異なる結果となっていた。図-6に示す室内試験の結果を踏まえると、強度に大きな差を生じる原因が応力解放にあることが伺える結果となった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

Satoshi Yamashita, Shintaro Yamasaki, Hiroki Ohsima and Satsuki Kataoka: Surveys of gas hydrates in the Okhotsk Sea offshore of Abashiri and soil properties of sea bottom sediments, The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, pp.256-230, 2015.

坂上知弥、田中政典、片岡沙都紀、澁谷啓: 砂分含有量がペーン強度に与える影響、Kansai Geo-symposium 2017 論文集、pp.218-221、2017.

〔学会発表〕(計5件)

城山翔平、片岡沙都紀、山下聡、山崎新太郎、三輪昌輝、大島弘己、澁谷啓、北海道十勝沖海底地盤より採取した堆積土の強度特性、第50回地盤工学研究発表会、pp.433-434、2015年9月1日~4日、北海

道科学大学（北海道）。

大島弘己、荒木裕人、山下聡、山崎新太郎、片岡沙都紀、南尚嗣、八久保晶弘、坂上寛敏、館山一孝、深海底表層地盤におけるコーン貫入試験の評価、第 50 回地盤工学研究発表会、pp.431-432、2015 年 9 月 1 日～4 日、北海道科学大学（北海道）。

三輪昌輝、山下聡、板谷和彦、坂上寛敏、山崎新太郎、片岡沙都紀、小西正朗、北海道沖オホーツク海でのガスブルームおよびガスハイドレート調査、第 51 回地盤工学研究発表会、pp.421-422、2016 年 9 月 13 日～15 日、岡山大学津島キャンパス（岡山）。

三輪昌輝、山下聡、八久保晶弘、坂上寛敏、山崎新太郎、小西正朗、南尚嗣、片岡沙都紀、板谷和彦、仁科健二、北海道沖オホーツク海でのガスハイドレート調査、第 8 回メタンハイドレート総合シンポジウム、pp.131-135、2016 年 12 月 7 日～8 日、産業技術総合研究所（東京）。

眞田佳伊登、片岡沙都紀、澁谷啓、田中政典、河野勝宣、塩分濃度に着目したスメクタイト鉱物の新たな同定方法に関する研究、第 52 回地盤工学研究発表会、pp.321-322、2017 年 7 月 12 日～15 日、名古屋国際会議場（愛知）。

6．研究組織

(1)研究代表者

片岡沙都紀（SATSUKI, Kataoka）
神戸大学・先端融合研究環・助教
研究者番号：50552080

(4)研究協力者

山下聡（SATOSHI, Yamashita）

川尻俊三（SYUNZO, Kawajiri）

澁谷啓（SATORU, Shibuya）