

機関番号：50101

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2009～2010

課題番号：21860083

研究課題名（和文）表層型メタンハイドレート賦存地盤の工学的評価に関する研究

研究課題名（英文）The study on mechanical evaluation of shallow type methane hydrate ground.

研究代表者

片岡 沙都紀 (KATAOKA SATSUKI)

函館工業高等専門学校・環境都市工学科・助教

研究者番号：50552080

研究成果の概要（和文）：表層型メタンハイドレート賦存地盤から採取した堆積土を用いて土質特性を検討した。その結果、メタンハイドレートを有していた堆積土は試料採取時に間隙水中に多く存在する溶存ガスが気化することによって堆積土内部が攪乱を受けることにより、堆積土の強度が低下することがわかった。またメタンハイドレートの解離によって間隙水中に含まれる塩分濃度が局所的に低下することから、この現象による堆積土強度への影響についても室内試験により検討したところ、塩分濃度の低下が一因となってせん断強度やせん断波速度に影響を与えることがわかった。

研究成果の概要（英文）：For examination of the soil properties contained shallow type methane hydrate, various strength tests were conducted for the sediment samples collected from shallow type methane hydrate ground. From these tests, the strengths and suction of the sediments into methane hydrate are lower than other areas sediments. Therefore, it was considered that the sedimentary layers were disturbed by gas and water upwelling from underground and the pressure release during the samples. In addition, it is considered that the anisotropy into the specimen made of low salinity levels were equally high regardless of the condition of K_0 -consolidation from the tests performed by soil change salinity level in the pore water.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	880,000	264,000	1,144,000
2010年度	560,000	168,000	728,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,440,000	432,000	1,872,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：地盤工学

キーワード：メタンハイドレート、海底表層土、力学的性質、物理・化学的性質

1. 研究開始当初の背景

次世代エネルギー資源として注目されているメタンハイドレートの調査、試掘が現在世界各地ですすめられており、日本近海でも南海トラフや日本海直江津沖、オホーツク海などでその存在が確認されている。その中で

も、日本海やオホーツク海に存在するメタンハイドレートはその存在深度が海底面下数mと浅い（以下、表層型メタンハイドレート）ため、地震活動などが原因でメタンハイドレートが解離してメタンガスが海中や大気中へ放出し、その結果地球温暖化を助長する可

能性がある。さらに、メタンハイドレートが形成する際には不純物を排除して成長していくために内部は純水に近い状態であり、メタンハイドレートが解離すると間隙水中の塩分濃度が局所的に著しく低下することが知られている。地盤工学の分野においては、クイックレイのように間隙水中のイオン濃度が土粒子骨格や地盤強度に影響を与えることが知られており、メタンハイドレート賦存地盤においてもメタンハイドレートの分解・解離によって間隙水中のイオン濃度の低下が周辺地盤の強度に影響を与える可能性がある。しかし、現在までに間隙水中の濃度低下による土質特性への影響について総合的に検証した例は少なく十分なデータが得られているとは言えない。

2. 研究の目的

上記に示す研究背景を受けて、本研究ではメタンハイドレート賦存地盤の土質特性やメタンハイドレート解離時に周辺地盤に与える影響を検討するため、海底直下～数 m の表層域に存在する表層型メタンハイドレート賦存地盤に着目して以下の3項目の目的のもとに、研究を進めた。

- (1)実際に表層型メタンハイドレート賦存地盤から採取した海底堆積土を使用し、採取した堆積土の強度を測定する。
- (2)自然堆積土や人工的に予圧密を行うことにより作成した堆積土のサクシジョンを測定し、高圧条件下から採取した際の試料の強度がどの程度低下するのかを評価する。
- (3)メタンハイドレートの解離がもたらす塩分濃度の低下による土質特性の変化を検討するために、人工的に塩分濃度を変化させて、予圧密過程やその間のせん断弾性係数の違いを比較する。

3. 研究の方法

(1)メタンハイドレートの有無による周辺堆積土の強度変化を検討するため、実際にメタンハイドレート調査を行った日本海直江津沖にて海底表層の堆積土を採取し、写真1に示すような小型のベーンせん断試験やコーン貫入試験などの簡易的な力学試験を船上にて実施した。

(2)図1に示すようなセラミックディスクを用いたサクシジョン測定システムを考案し、メタンハイドレートが存在していたオホーツク海より採取した海底堆積土およびバンコク市内より採取した不かく乱試料を用いてサクシジョン測定を実施した。さらにサクシジョンを測定した試料を用いて一軸圧縮試験を行い、これらの結果とサクシジョンの関係について検討を行った。



写真1 船上力学試験に使用した装置 (右: コーン貫入試験, 左: ベーンせん断試験)

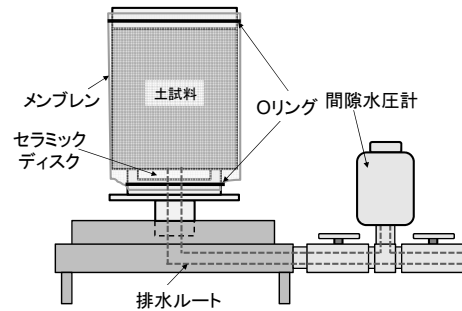


図1 サクシジョン測定装置

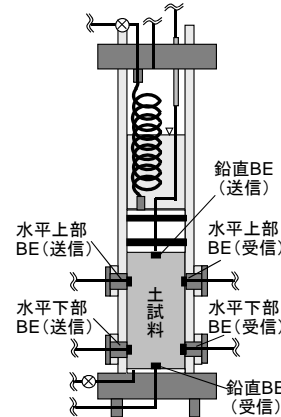


図2 ベンダーエレメント付き予圧密装置

(3)塩分濃度を人工的に変化させた堆積土に対して、図2に示すような上下面と側面にベンダーエレメントを取り付けた予圧密試験装置を用いて予圧密試験を実施した。その際、任意の時間においてベンダーエレメント試験を実施し、予圧密過程におけるせん断波速度 (V_s (vh), V_s (hh)) を測定した。さらに供試体の湿潤密度 (ρ) から、せん断弾性係数 G_{vh} ($=V_s$ (vh) $^2 \times \rho$)、 G_{hh} ($=V_s$ (hh) $^2 \times \rho$) を算出した。

4. 研究成果

本研究より得られた成果を以下に示す。

(1)採取した堆積土の土質特性: 図3は日本海直江津沖にて採取した堆積土のコーン貫入抵抗 (図中 q_u)、ベーンせん断強さ (図中 τ_v) および同一深度の含水比 (図中 w) の深度方向への推移を示したものである。なお、図中

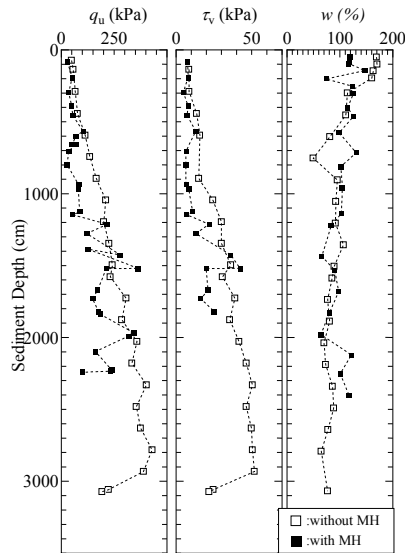


図3 同一領域より採取した堆積土の深度方向における強度・含水比の推移

は同一領域にてメタンハイドレートの有無により結果を整理している．含水比はメタンハイドレートの有無に関係なく深度 10m を超えると 80~100%で一定となっていた．次に強度を見ると，メタンハイドレートが含有していない堆積土は深度の増加に伴い強度も増加傾向にあった．ここで，深度 3000m 付近で著しく強度が低下しているが，これは堆積土をピストンコアサンプラーで採取したために，最深部はフローインしたことによる堆積土の乱れが影響したものである．他方，メタンハイドレートが含有していた堆積土を見ると，深度増加に依存せず一様に低い値となっていた．この原因として，メタンハイドレートは海底地盤下部から供給されるメタンガスを取り込んで形成されているために，これによる地盤の攪乱が起きている可能性が挙げられる．また，メタンハイドレートが含有していた堆積土では，断面に間隙水中に溶存していたガスの気化が要因と思われる空隙が多くみられており，引き上げ時の応力解放が原因で堆積土が乱れを受けたことが原因であると考えられる．

(2)サクシヨンと一軸圧縮強さに基づく強度評価：図4は，実際にメタンハイドレートが存在していたオホーツク海海底堆積土と，同一深度であるバンコク市内から採取した不かく乱粘土のサクシヨン（図中 p_r ）測定の結果を示す．図より，同じ深度から採取した試料であっても，オホーツク海海底堆積土のサクシヨンは非常に小さい．よって，メタンハイドレートを含まず試料はより大きな乱れを受けていることが推測される．

図5は，バンコク粘土より得られた一軸圧縮強さ (q_u) から算出した非排水せん断強さ（図中 $S_u (=q_u/2)$ ）とサクシヨンの関係であ

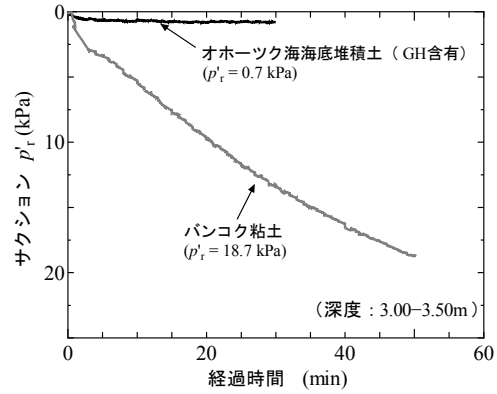


図4 サクシヨン測定の結果

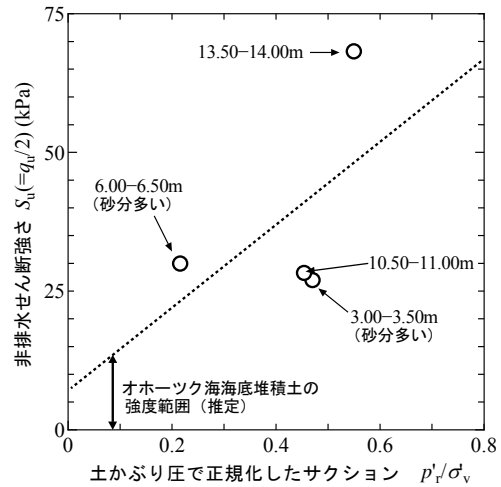


図5 サクシヨンと非排水せん断強さとの関係

る．ここで，サクシヨンは原位置の土被り圧 (σ_v) で正規化している．図より，おおよそではあるがサクシヨンと非排水せん断強さの間には正の相関性があるといえる．なお，深度 3.00-3.50m ，6.00-6.50m の試料内には砂分が多く含有していたため，このような土質の違いが測定値にばらつきを生じる一因となったものと思われる．ここで，今回サクシヨン測定を行ったオホーツク海海底堆積土は供試体を作成するのが困難であったために，一軸圧縮試験ができなかったのだが，原位置の土被り圧（約 9kPa）と今回測定したサクシヨンの値 ($p_r=0.7\text{kPa}$) から，図5に示す p_r / σ_v より $S_u \leq 12\text{kPa}$ と推測することができる．よって，一軸圧縮試験の供試体作成が困難な堆積土でも，サクシヨンがわかれば強度をある程度推定することが可能である．

(3)塩分濃度と土質特性との関連性：図6は予圧密時の沈下曲線と鉛直，水平両方向から得られたせん断弾性係数の推移をまとめたものである．なお，予圧密時の沈下は各々試料攪拌時に測定した含水比（230~300%）を初

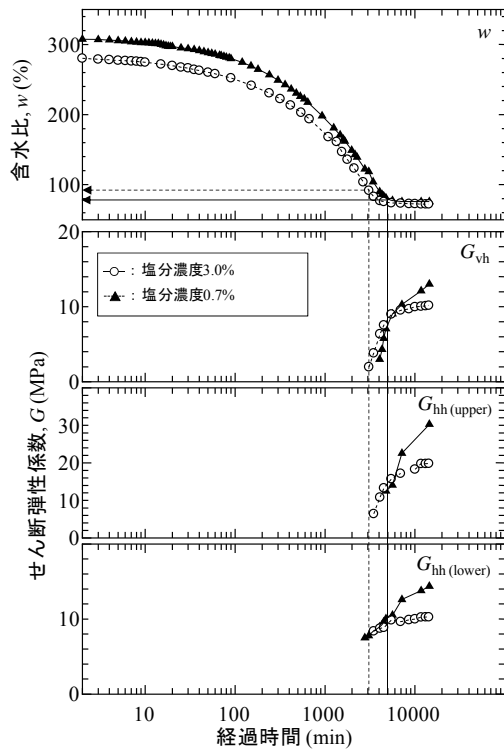


図6 予圧密時の含水比およびせん断弾性係数の推移

期値として、含水比に換算して示している。まず、含水比の変化を見ると沈下開始時の含水比にかなりの違いがあるのにもかかわらずいずれの試料も約3日で収束し、それ以降はほとんど沈下していないことが読み取れる。また収束時の含水比は両試料とも71%~75%程度となっており、わずかであるが初期試料が最も大きな値を示した。次に鉛直、水平方向におけるせん断弾性係数 G を見ると、両試料とも含水比が約100%で容器下端に近い位置にある側面のベンダーエレメント ($G_{hh \text{ lower}}$) で計測が可能となった後、含水比が80~90%で鉛直方向、および容器上面に近い位置にある側面のベンダーエレメント (G_{vh} , $G_{hh \text{ upper}}$) の計測も可能となった。このことから、予圧密時における容器内の含水比は主に鉛直方向にばらついていることが考えられ、鉛直方向の伝播速度から得られる G_{vh} が測定された時点で G の計測が可能となる程度の剛性が生じたものと思われる。さらに予圧密終了時では、 G_{vh} よりも G_{hh} のほうが大きくなっているため、粘性土特有の弾性係数の異方性を有していることが推測される。ここで、含水比が収束した後の G を塩分濃度の違いで比較すると、塩分濃度0.7%の試料で大きくなっていることがわかる。これは特に G_{hh} で顕著であることから、塩分濃度が低下したことによって試料内の粘土粒子の配向性が強まったものと推測される。

写真2(a), (b)は塩分濃度3.0% (写真2(a))

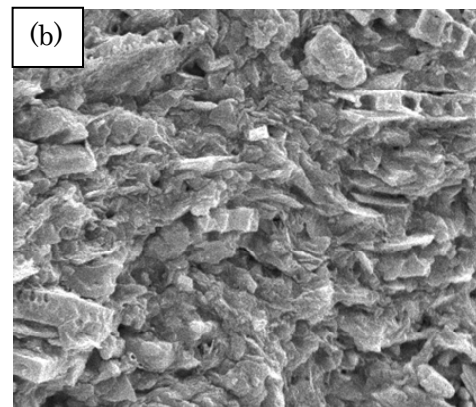
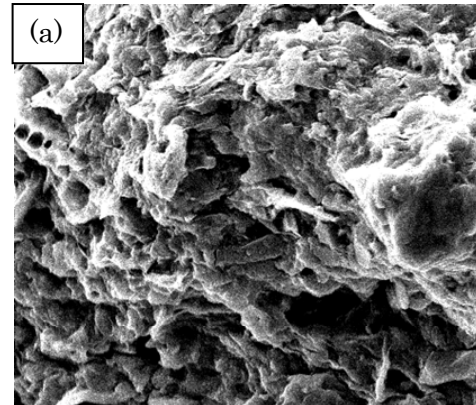


写真2 予圧密容器から抜き出した直後の試料の電子顕微鏡画像

および塩分濃度0.7% (写真2(b)) に調整した試料における、予圧密試験後に容器から抜き出した試料の鉛直断面のSEM画像である。なお、これらの画像は試料の断片を液体窒素に浸して生じたクラック面の画像である。また画像から、本試料内には多くの珪藻が含まれていることが分かる。写真から、塩分濃度3.0%の試料では粒子が比較的ランダムに堆積しているのに対し、塩分濃度0.7%の試料では若干ではあるが粒子が水平に(配向性を有して)堆積している様子が見受けられる。これは塩分濃度が低下したことによって間隙水中の電荷が低くなるため、粒子同士の結合力が小さくなり、圧密の進行に伴って配向性が強まったものと考えられる。

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1件)

- ① 片岡沙都紀、川口貴之、山下聡、塩分濃度の低下に伴う海底堆積土の強度変化、メタンハイドレート総合シンポジウム講演集、査読無、Voi.1、2010、pp154-159

〔学会発表〕(計3件)

- ① 片岡沙都紀、メタンハイドレート～これまでの調査事例～第31回地盤工学若手セミナー、2010年10月、東京
- ② 菊池練人、片岡沙都紀、川口貴之、山下聡、澁谷啓、塩分濃度の違いが土の強度やせん断弾性係数に与える影響、第45回地盤工学研究発表会、2010年8月、愛媛
- ③ 片岡沙都紀、川口貴之、山下聡、塩分濃度の違いが土質特性に与える影響、第50回地盤工学会北海道支部技術報告会、2010年2月、札幌

6. 研究組織

(1)研究代表者

片岡 沙都紀 (KATAOKA SATSUKI)
函館工業高等専門学校・環境都市工学科・
助教
研究者番号：50552080

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし