表層型ガスハイドレート賦存海底・湖底地盤から採取した堆積土の土質特性
－間隙水溶存ガスの気泡化に伴う堆積土の試料乱れ評価－

山下　聡[1]，出羽　寛信[2]，八久保晶弘[3]，南　尚嗣[4]，片岡沙都紀[5]，
川口　貴之[1]，坂上　寛敏[4]，高橋　信夫[4]，庄子　仁[3]

1　北見工業大学・工学部社会環境工学科
2　北見工業大学・大学院土木開発工学専攻
3　北見工業大学・環境・エネルギー研究推進センター
4　北見工業大学・工学部マテリアル工学科
5　函館工業高等専門学校・環境都市工学科

概　　要

表層型ガスハイドレートが存在しているオホーツク海サハリン島沖およびロシア・バイカル湖において，海底・湖底表層地盤から堆積土を採取した。採取した堆積土に対して，調査船上で小型のベーンせん断試験とコーン貫入試験を行い堆積土の力学特性を調べた。また，試料引き上げ時の間隙水圧減少により，溶存ガスが気泡化し試料に乱れが生じることから，ガス濃度と強度との関係についても調べた。さらに，試料採取から室内試験に至るまでの応力条件を再現した実験を行った。その結果，間隙水中の溶存ガスの濃度が高いほど，船上試験においても再現実験においても強度低下が大きくなる傾向にあった。また，溶存ガスの気泡化により乱れた試料からも，乱れの影響のない強度をある程度推定可能であることも示された。

キーワード：海底・湖底堆積土，ガスハイドレート，試料の乱れ，溶存ガス

1. はじめに

国際的にはガスハイドレート（以下 GH）と呼ばれているが，ガスの主成分がメタンである場合が多いことから，メタンハイドレートとも呼ばれる GH は，将来のエネルギー資源の一つとして注目され，温度・圧力条件により安定に存在する領域（HSZ: Hydrate Stability Zone）の下部に分布する深層型とよばれる GH は，資源化をターゲットとして各国でプロジェクトが進行している。我が国においても，南海トラフでの資源化プロジェクト MH21 が生産試験の段階に入っている。一方，HSZ 上部から海底付近に存在する表層型 GH は，日本周辺海域では上越沖で存在が確認され多数の試料が採取されている[1)]。北海道の北に広がるオホーツク海においても，パラムシール島沖やサハリン島沖において，ロシアや韓国，日本（北見工大）によって GH が採取されている[2)3)4)]。表層型 GH の資源化については，その採取方法が確立されていないが，著者らも参加した 2008 年のロシア・バイカル湖調査では，世界で初めて表層型 GH からのガス回収実験に成功しており[5)]，将来の資源化の可能性もある。

一方，GH の主成分であるメタンは二酸化炭素の 20 倍もの温室効果のあるガスでもあり，GH の分布・集積形態・生成・解離動態は，地球規模の環境変動に重要な役割を果たす要素でもある。また，エネルギー資源としての採取時の地盤変動や，地球環境変動に伴う海水温上昇による GH の解離による海底地すべりなどの地盤災害のトリガーとも成り得る。このように，GH は，資源，環境，災害という 3 つの側面で人類社会と密接な関わりを持っている。

したがって，資源採取時の GH の分解・回収に伴う GH 層や周辺地盤の強度特性の変化や沈下特性を評価することに加えて，地球環境変動の面からも GH が存在している地盤の力学特性を把握し，地盤の安定性を評価する必要がある。

一般に，原位置の強度特性を推定するためには，原位置から採取した不撹乱試料を用いた室内試験や原位置試験などが行われる。しかし，GH が存在している水深 500m 程度以上の高水圧条件にある海底地盤などにおいて原位置（サウンディング）試験を行うことは，湖底表層地盤を対象とした実施例[6)]はあるものの技術的にまた費用的にも困難さがある。そのため，物理探査などによって地盤特性を推定することなどが行われている[7)8)]。

一方，海底地盤から採取した試料を用いて室内試験結果から力学特性を評価しようとする場合，品質の高い乱さない試料を採取する必要がある。しかし，通常の採取法では GH を含有している堆積土の場合，試料採取から室内試験に至るまでの応力解放による間隙水圧の減少に伴って，

原稿受理日：2012 年 4 月 25 日，採用決定日：2012 年 10 月 24 日

GH が解離し試料に大きな乱れが生じる恐れがある。また，GH を含有していない堆積土においても，間隙水に溶存しているガスの気泡化・膨張に伴い，土被り圧の解放以上の乱れを受けることが考えられる。そのため，室内試験結果から適切な原位置地盤の変形・強度特性を求めることには同様の困難さがある。

そこで，GH を人工的に生成させた模擬試料を用いて，GH の飽和率や圧力，温度変化に伴う強度や変形特性を調べること[9)10)11)12)]や，数値シミュレーションを行うこと[13)14)]によって，資源採取時などにおける GH 層や周辺地盤の変形挙動を推定する試みが行われている。一方，乱れに伴う変形・強度特性の変化を適切に評価できれば，乱れた試料からも海底地盤の変形挙動の推定が可能となる。

本研究では，上記の試料の乱れの中でも，海底・湖底表層地盤を対象とし，試料採取時における堆積土の間隙水溶存ガスの気泡化に伴う強度変化を明らかにしようとするものである。そのために，2009 年と 2010 年にオホーツク海サハリン島沖，また 2010 年にロシアのバイカル湖において，表層型GH賦存地盤から海底･湖底堆積土を採取し，採取した堆積土に対して，船上で力学試験を行うとともに間隙水溶存ガス濃度を測定し，ガス濃度と強度との関係を調べた。さらに，応力解放に伴う採取試料の乱れ評価を行うために，高水圧条件である海底・湖底地盤での試料採取から室内試験に至るまでの応力変化条件を再現した実験を行い，間隙水溶存ガスの気泡化に伴う試料の乱れによる強度変化を評価した。

2. 現地調査と試料採取

2.1 オホーツク海調査の概要

2009 年 7 月（LV47 調査）と 2010 年 6 月（LV50 調査）に，図 1 に示すオホーツク海サハリン島北部沖において調査を行った。調査にはロシア太平洋海洋学研究所所有の調査船「ラブレンティエフ号」を使用した。サイドスキャンソナーによる事前調査で海底面形状を把握し，海底面からガスや水が湧出する地点（湧出ストラクチャー：マウンドやポックマーク）を特定した。その後，本調査ではエコーサウンダーにより湧出ストラクチャーの中で海底面からのガス湧出（ガスフレア）が確認された地点において，ハイドロコアラー（HC，長さ約 5m）を使用して試料採取を行った。LV50 調査では重力式コアラー（GC，長さ約 5m）も用いている。コアラーは 2 重管式になっており，内管は塩化ビニル製のパイプ（内径 110mm）である。採取したコアは，LV47 調査では 19 本，LV50 調査では 22 本採取した。このうち，後述の船上試験と物理試験の両試験を行った採取コア（LV47：9 本，LV50：17 本）について試験結果を記載する。表 1 には，それらの採取緯度経度，水深，コア長を示す。なお，表中でコア名に＊印を付したものは GH を採取できたコアである。また，採取地点を図 1 にも示している。

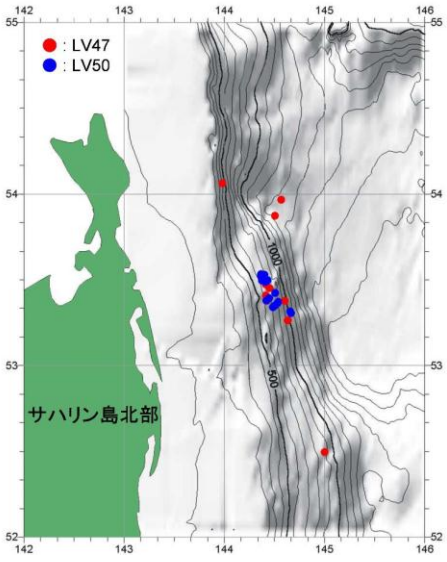


図 1　オホーツク海サハリン島沖での調査領域

表 1　オホーツク海で採取した試験コアの一覧

コア名	採取緯度	採取経度	水深(m)	コア長(m)
LV47-1HC	53°22.870'	144°25.168'	619	0.73
LV47-12HC	53°32.018'	144°22.044'	600	2.00
LV47-13HC	53°22.853'	144°25.113'	616	4.20
LV47-15HC	53°27.214'	144°27.059'	647	3.17
LV47-17HC	53°32.019'	144°21.961'	647	3.23
LV47-18HC	53°57.971'	144°34.033'	1286	4.10
LV47-24HC*	54°03.756'	143°58.858'	397	1.22
LV47-31HC	53°15.971'	144°37.915'	939	4.05
LV47-33HC	52°30.100'	144°59.900'	860	4.25
LV50-1HC	53°23.700'	144°26.700'	665	4.39
LV50-3HC	53°20.570'	144°29.069'	690	3.59
LV50-5GC	53°22.436'	144°32.197'	785	5.14
LV50-7GC	53°22.011'	144°31.878'	782	1.29
LV50-9HC	53°21.996'	144°31.869'	782	3.40
LV50-11HC	53°21.145'	144°30.189'	720	4.70
LV50-13HC	53°19.068'	144°39.393'	1020	3.60
LV50-15HC	53°18.479'	144°39.834'	1015	3.61
LV50-17HC	53°22.839'	144°25.152'	615	3.62
LV50-19HC	53°25.508'	144°30.366'	763	4.53
LV50-21HC	53°32.047'	144°21.950'	641	4.17
LV50-23HC	53°29.934'	144°25.897'	700	4.20
LV50-25HC	53°31.828'	144°24.014'	677	4.20
LV50-27HC	53°29.329'	144°24.581'	659	3.30
LV50-29HC*	53°31.938'	144°22.206'	630	2.56
LV50-31HC*	53°31.513'	144°21.835'	614	3.20
LV50-33HC*	53°29.845'	144°22.485'	611	1.83

＊：GH 含有コア

2.2 バイカル湖調査の概要

2010 年 9 月に，図 2 に示すロシア・バイカル湖において調査を行った。調査にはロシア陸水学研究所所有の調査船「ベルシャーギン号」を使用した。バイカル湖では，ガスや堆積物を含む冷湧水が湖底面上に噴出して形成された泥火山に GH が多く存在することが知られている[15)]。そこで，オホーツク海調査と同様に，サイドスキャンソナーによって泥火山を含む湖底地形を事前に調査した。本調査ではエコーサウンダーによりガスフレアが確認された地点周辺において，重力式コアラー（GC，長さ約 5m，総重

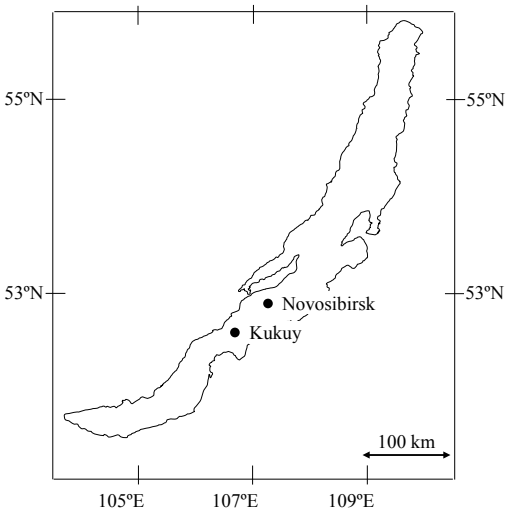


図 2　ロシア・バイカル湖での調査領域

表 2　バイカル湖で採取した試験コアの一覧

コア名	採取緯度	採取経度	水深(m)	コア長(m)
St2GC1	52°56.1855'	107°15.0961'	1457	3.49
St2GC2	52°56.1311'	107°15.1391'	1464	3.08
St2GC4	52°56.0017'	107°15.2187'	1461	2.21
St2GC5	52°56.2673'	107°15.0212'	1464	3.56
St2GC6	52°56.2010'	107°15.2541'	1457	3.16
St2GC7	52°56.1748'	107°15.2105'	1457	3.13
St2GC8*	52°56.0859'	107°15.2898'	1464	2.44
St2GC9	52°55.9917'	107°15.3761'	1464	3.56
St2GC10	52°56.0829'	107°15.2954'	1457	3.34
St2GC11*	52°56.1376'	107°15.2514'	1457	1.78
St2GC12*	52°56.0701'	107°15.0922'	1457	1.49
St2GC13	52°56.1166'	107°15.2075'	1457	2.78
St2GC14	52°56.0980'	107°15.0690'	1457	3.65
St2GC15	52°56.0326'	107°15.1522'	1464	3.45
St2GC16	52°56.1503'	107°15.3072'	1457	3.38
St2GC17	52°56.1190'	107°15.2657'	1457	3.23
St2GC18*	52°56.0688'	107°15.2397'	1464	1.10
St2GC19	52°56.0871'	107°15.3228'	1464	2.82
St2GC20	52°56.1422'	107°15.0381'	1457	3.49
St2GC21	52°56.0562'	107°15.3232'	1464	3.51
St2GC22*	52°56.0943'	107°15.1655'	1464	2.45
St2GC23	52°56.0565'	107°15.0552'	1457	3.42
St2GC24	52°56.1006'	107°15.3200'	1461	2.84
St2GC25	52°56.0126'	107°15.1120'	1461	3.49
St6GC1	52°35.2139'	106°43.5900'	786	2.34
St6GC2*	52°35.2731'	106°43.5048'	771	1.93
St6GC3*	52°35.2352'	106°43.4851'	779	1.80
St6GC4*	52°35.1923'	106°43.5143'	782	1.65
St6GC6*	52°35.1338'	106°43.4639'	784	2.00
St6GC7*	52°38.1322'	106°43.5870'	775	2.30
St6GC8*	52°35.2408'	106°43.6757'	791	1.90
St6GC9	52°35.3088'	106°43.6434'	775	1.42
St6GC10*	52°35.3028'	106°43.7868'	775	1.00
St6GC11*	52°56.1376'	106°43.8988'	771	1.22
St6GC12*	52°56.0701'	106°43.9106'	793	1.90
St6GC13*	52°56.1166'	106°43.8151'	789	2.35
St6GC14*	52°56.0980'	106°43.6973'	788	1.99
St6GC15*	52°56.0326'	106°43.0219'	775	1.41
St6GC16	52°35.4342'	106°44.3015'	845	3.15
St6GC17	52°34.9854'	106°43.2823'	805	3.11

St2：Novosibirsk，St6：Kukuy，＊：GH 含有コア

量約 700kg）を使用して試料採取を行なった。重力式コアラーもハイドロコアラーと同様 2 重管式になっており，内部には塩化ビニル製のパイプ（内径 110mm）が入ってい

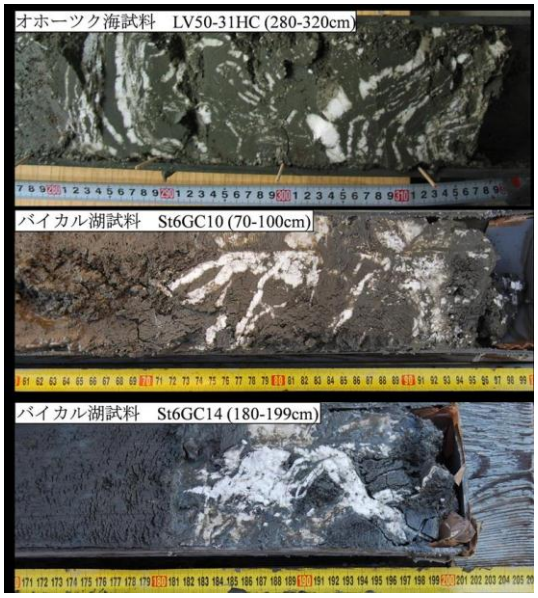


写真 1　採取されたガスハイドレートの典型例

る。採取したコアは，バイカル湖の中央湖盆を中心として，13 領域（主として泥火山）で合計 64 本である。このうち，同一泥火山で多くの試料を採取した図 2 に示す Novosibirsk 領域（St2，水深約 1460m，24 本）と Kukuy 領域（St6，水深約 800m，16 本）で採取したコアに対して各種試験を行った。表 2 に試験を行ったコアの採取地点等を表 1 と同様に示す。

2.3　船上での試料採取および試験

船上に引き上げたコアは，内管を縦に半割にし，堆積物の観察を行った。写真 1 にオホーツク海サハリン島沖およびバイカル湖で採取した GH の典型例を示す。なお，写真で右側がコア下端である。また，各コアで白い部分が GH である。GH は主としてコア下部の粘性土中に塊状，層状，脈状に存在していた。

コア観察後，半割コアから 10～40cm 間隔で含水比およびガス濃度測定のための試料採取，小型ベーンせん断試験，小型コーン貫入試験を行った。なお，GH が採取されたコアでは，GH が存在していない部分において堆積土の採取と試験を行っている。

2.3.1　含水比測定用試料の採取

含水比試験用の試料は，採取したコアの深度方向に一定間隔で先端をカットしたシリンジ（10ml）を用いて採取した。採取した試料はバイアル瓶（20ml）に入れて輸送し，含水比を測定した。なお，バイカル湖試料は日本に輸入できないため現地で測定した。

2.3.2　溶存ガス濃度測定用試料の採取

含水比試験用の試料採取と同様に，深度方向に一定間隔でシリンジ（5ml，2 本）を用いてガス濃度測定用の試料を採取した。採取した堆積土（10ml）は，バイアル瓶（25ml）

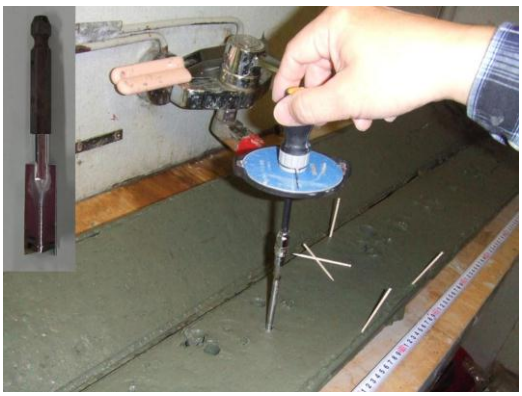


写真 2　ベーンせん断試験



写真 3　コーン貫入試験

に入れ，飽和食塩水（10ml）を加えたのち，ヘッドスペースガス（空気）を窒素ガスに置換し，密閉した状態でバイアル瓶を振盪し，ヘッドスペースに溶存ガスを遊離させた。その後，真空状態のバイアル瓶（5ml）にヘッドスペースガスを補修し日本に持ち帰った。持ち帰ったヘッドスペースガスは，ガスクロマトグラフによりガス濃度を測定した。

2.3.3　ベーンせん断試験

ベーンせん断試験は，幅 10mm，高さ 20mm のベーンブレードを小型のトルクドライバーに取り付けて試験を行った。写真 2 に示すようにコアの切断面にブレード先端を 30mm 貫入してトルクドライバーを回転させ，このとき得られた最大トルク値から次式よりベーンせん断強さ τ_v（kN/m^2）を求めた。回転速度は，1 回転 10 秒程度である。

$$\tau_v = \frac{M}{\pi\left(\frac{D^2H}{2}+\frac{D^3}{6}\right)} \quad (1)$$

ここで，M は最大トルク（kN･m），D はベーン幅（m），H はベーン高さ（m）である。

2.3.4　コーン貫入試験

コーン貫入試験は，写真 3 に示すようなデジタルフォースゲージを改良試作したデジタルコーン貫入試験器を用いた。コーンの先端角は 30°，コーン直径は 9mm，貫入深は 16.8mm である。試験は，写真に示すように突き当てつばが完全に測定面に接触するまでコーンを徐々に貫入させて行った。貫入に要する時間は 2 秒程度である。コーン貫入抵抗 q_c（kN/m^2）は次式より求めた。

$$q_c = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

ここで，Q はコーン貫入力（kN），A はコーン底面積（m^2）である。

2.4　輸送試料での室内試験

オホーツク海で採取した試料については，試料を日本に持ち帰り，含水比試験，液性・塑性限界試験，土粒子の密度試験，強熱減量試験，粒度試験（LV47 調査試料のみ）を行った。試験は半割コアから主として 50cm または 100cm 間隔で採取した試料に対して行った。なお，バイカル湖で採取した試料は輸入できなかったため，含水比試験以外の物理・化学試験は行っていない。

3.　オホーツク海試料の試験結果

3.1　船上試験結果

図 3，4 は，採取試料から求めた含水比 w と船上試験から求めたベーンせん断強さ τ_v，コーン貫入抵抗 q_c を海底面からの深度に対してプロットしたものである。それぞれ調査年ごとに試験結果をまとめている。なお，GH をコア下部に採取できた試料での試験結果を赤で示している。

含水比は 50%程度から 250%程度まで，採取コアによって大きく異なっているが，同一コアでの含水比の変化は少なく，全体的には深度方向にわずかに低下している程度である。一方，ベーンせん断強さやコーン貫入抵抗は，深度方向の含水比の低下に伴って，深度とともに増加すると考えられるが，必ずしもそのような傾向は認められない。全体的な傾向としては，2～3m 程度までは深度とともに強度や抵抗に増加傾向が認められるものの，図 4 に示すようにそれ以上の深さでは逆に低くなる傾向も認められる。

また，LV47 調査での 13HC，17HC（図 3），LV50 調査での 21HC（図 4(a)），25HC（図 4(b)）などの試料では，含水比の深度方向の変化が少ないのにも関わらず，表層部分での強度が高く，深度が大きくなるにつれて逆に低くなっている。さらに，赤で示した GH が採取されたコアでは，含水比は他のコアよりも低い傾向にあるが，強度は高い試料から低い試料までばらついている。このように，採取コアによって含水比と強度の関係は一義的な関係とはなっていない。

3.2　物理・化学試験結果

図 5，6 は，採取試料の各種物理・化学試験結果（含水比，液性・塑性限界，液性指数，土粒子の密度，強熱減量，粘土分含有量）を深度方向にプロットしたものである。含水比の変化と同様に，各コアの物性値は，採取コアによっ

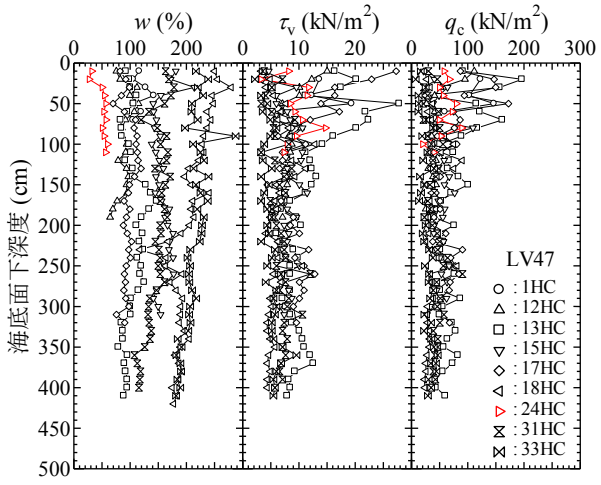


図 3　2009年オホーツク海調査（LV47）での船上試験結果

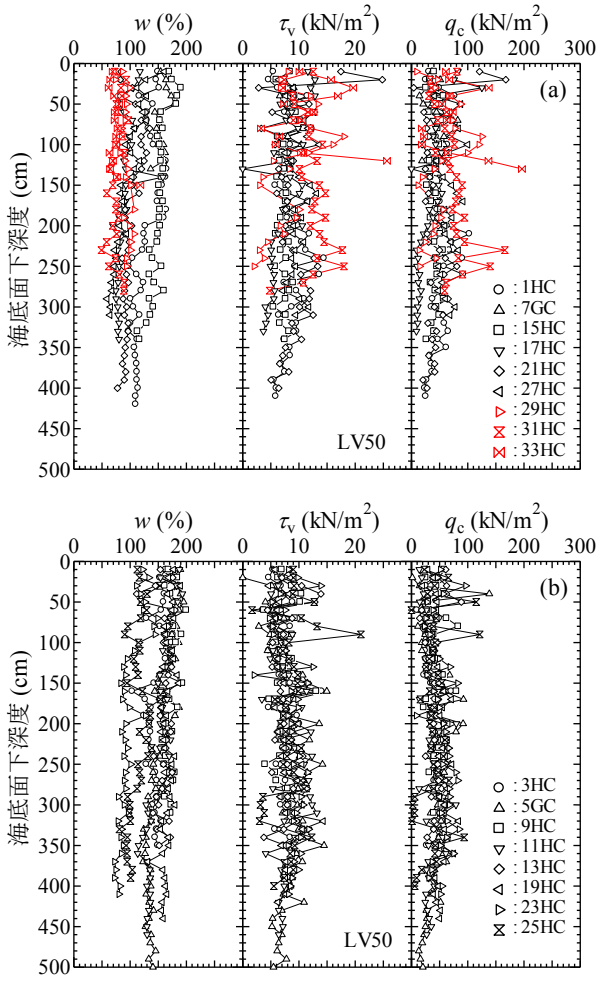


図 4　2010年オホーツク海調査（LV50）での船上試験結果

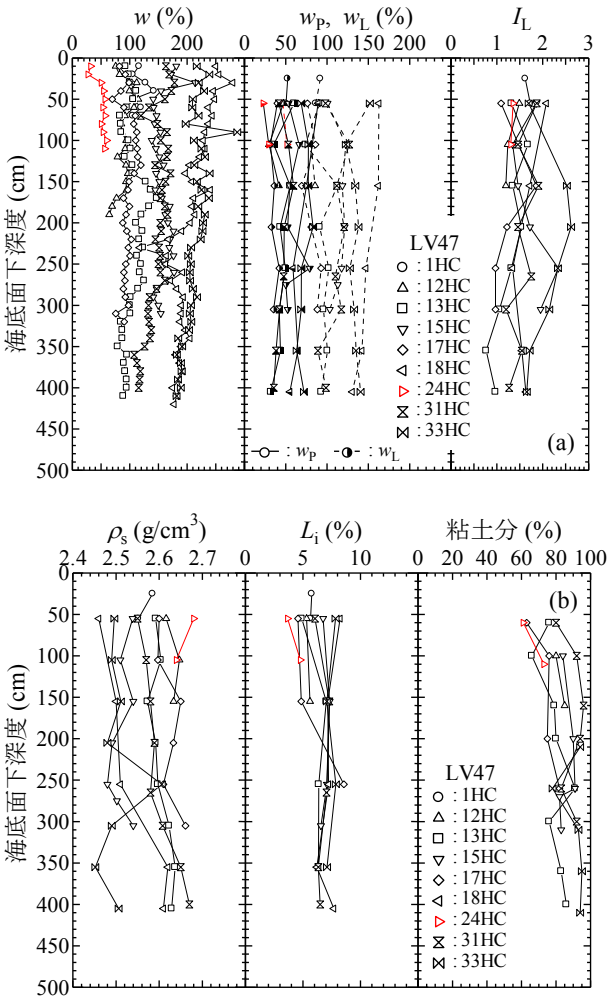


図 5　LV47調査で採取した試料の物理・化学試験結果：
(a)w, w_P, w_L, I_L,　(b)ρ_s, L_i, 粘土分含有率

て異なっているが，同一コアの場合，深度方向の違いはあまり認められない。また液性指数 I_L は，ほぼすべての試料で 1 以上となっており，海底堆積土は骨格構造が不安定な状態で存在していると考えられる。

ここで，船上試験で表層部分の強度が高くなった LV47 の 13HC，17HC（図 5）と LV50 の 21HC，25HC（図 6）に着目してみると，表層部分の物性値と下層の試料の物性値との違いは認められず，深度方向にあまり変化していないことがわかる。また，GH が採取されたコアの物理・化学試験結果は，他のコアの結果と比較して，含水比が低いことに呼応して，液性・塑性限界値が低く，土粒子の密度が高く，液性指数が低い傾向にある。このことは，GH の生成や深度と物理的性質に関連性があることが推察されるが，詳細は不明である。

以上の結果より，調査領域の範囲内では，同一コアの場合，深度方向の物理・化学的性質の違いはあまり見られず，強度との相関性は必ずしも認められなかった。

3.3　ガス濃度と強度の比較

上述のように，同一コアの場合，物理・化学的性質は，深度方向に違いが認められず，また，含水比と強度の関係にも必ずしも一義的な関係は認められなかった。これは，同一コアでも深度方向で堆積土の間隙水に溶存しているガス濃度が異なるため，コア引き上げ時の間隙水圧減少による溶存ガスの気泡化の程度が異なり，試料の乱れの程度が異なったことが原因ではないかと推察した。そこで，各採取試料のガス濃度を測定し，ガス濃度の違いが強度に及

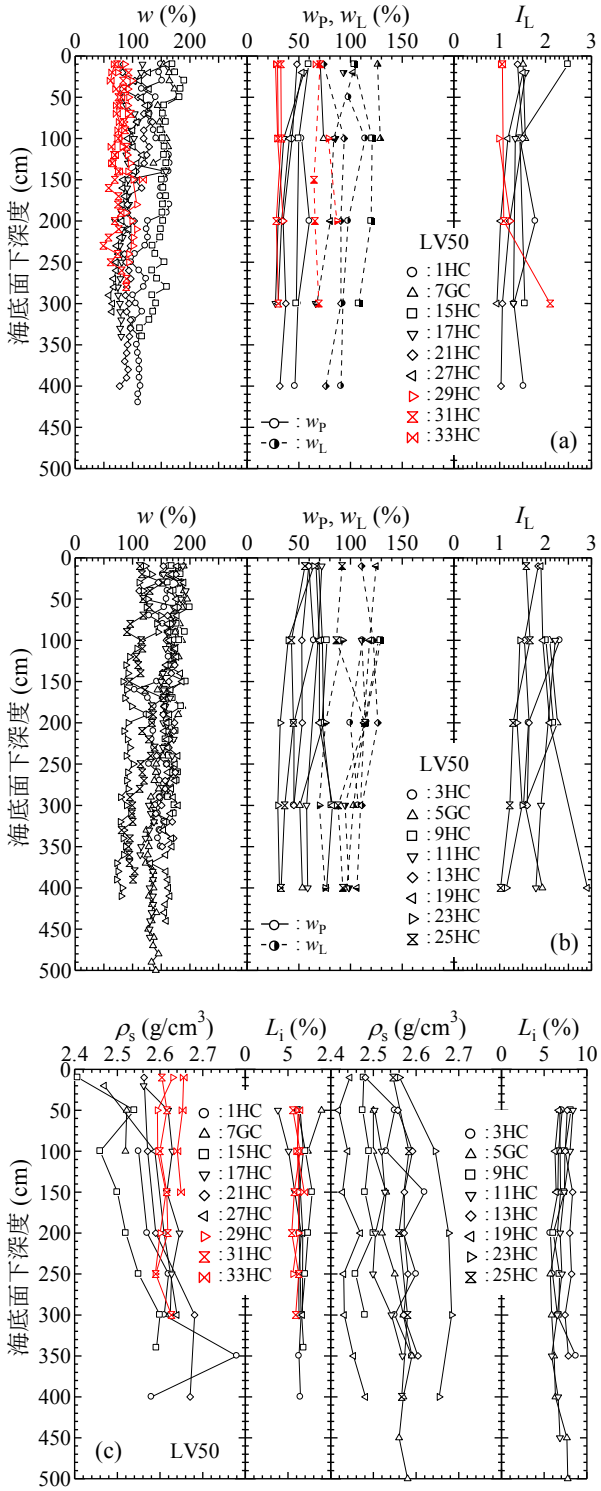


図 6　LV50調査で採取した試料の物理・化学試験結果：
(a, b)w, w_P, w_L, I_L,　(c)ρ_s, L_i

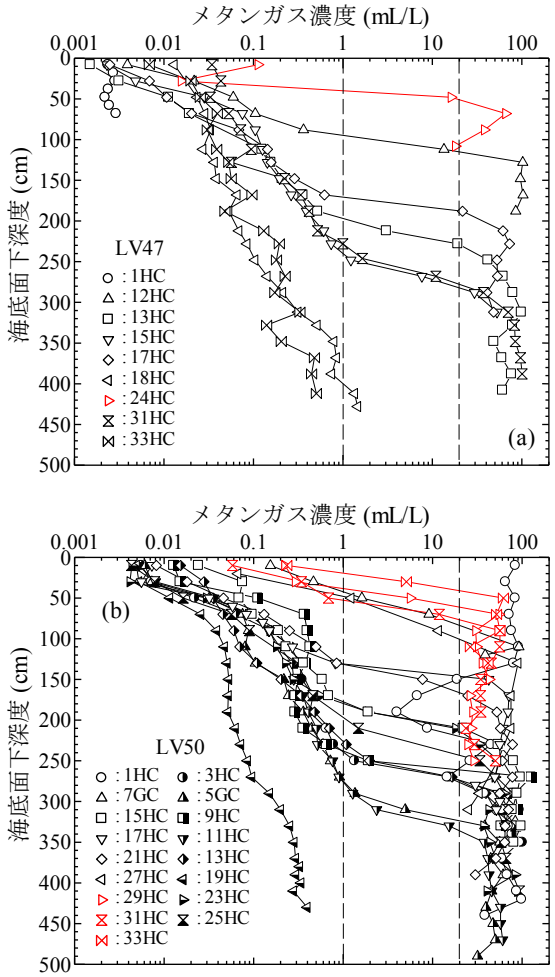


図 7　メタン濃度と深度の関係：(a)LV47調査，(b)LV50調査

ぼす影響を調べた。

図 7 は，採取試料の堆積物 1L あたりのメタンガスの濃度と深度との関係を示したものである[16]。図より LV47 の 18HC，33HC（図 7(a)），LV50 の 19HC（図 7(b)）では，対数軸上では深さ方向にややガス濃度が増加しているように見えるが，他の試料よりもガス濃度がはるかに低い。それに対し，GH を採取できたコア（LV47 の 24HC（図 7(a)），LV50 の 29HC，31HC，33HC（図 7(b)））では，表層付近からガス濃度が高くなっていることがわかる。その他の試料では，表層付近でガス濃度が低いのに対し，ある深度から急激にガス濃度が高くなっている。このように採取コアによって堆積物中のガス濃度は深度方向で異なっている。なお，図中に示したガス濃度はコアを船上に引き上げ後，大気圧状態で試料を採取して測定した結果であり，海底面下の地盤中におけるガス濃度を表すものではない。そのため，ガス濃度の最大値が 100mL/L 程度の値で頭打ちになっているが，ガス濃度の高低の相対的な評価は可能である。なお，大気圧でのメタンガスの水に対する溶解度は，理科年表より 0℃で 0.056 であり，堆積物の間隙比を 3.0 と仮定した場合，飽和状態でのガス濃度は 42mL/L となる。

ここで，ガス濃度 20mL/L 以上の試料と 1mL/L 以下の試料とを区別して比較する。この 20mL/L の値は，写真 4 に示すようにコア断面観察時に時間の経過とともに，ガスの気泡化に伴う表面の膨れ上がりや亀裂が認められた境界付近である。

図 8 は，ベーンせん断強さと含水比の関係をガス濃度の高低により比較したものである。図よりガス濃度の高い試料（20mL/L 以上）は，ガス濃度の低い試料（1mL/L 以下）の強度よりも低い値に分布している。だたし，そのばらつ

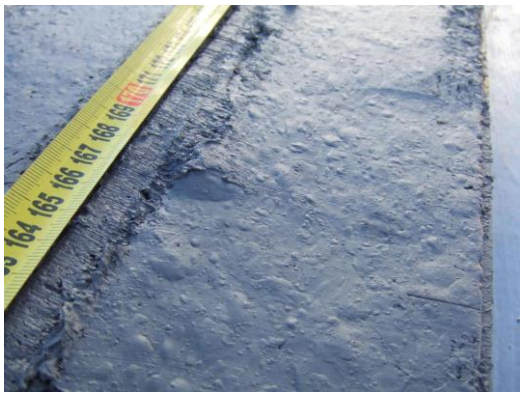


写真 4　ガスの気泡化に伴う採取コア表面の膨れ上がり

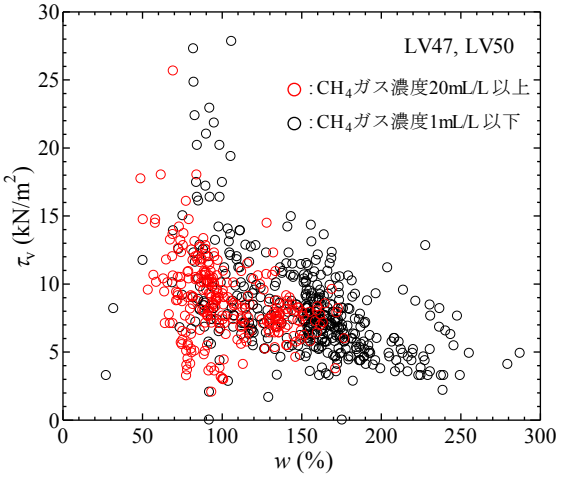


図 8　ベーンせん断強さと含水比の関係（オホーツク海試料）

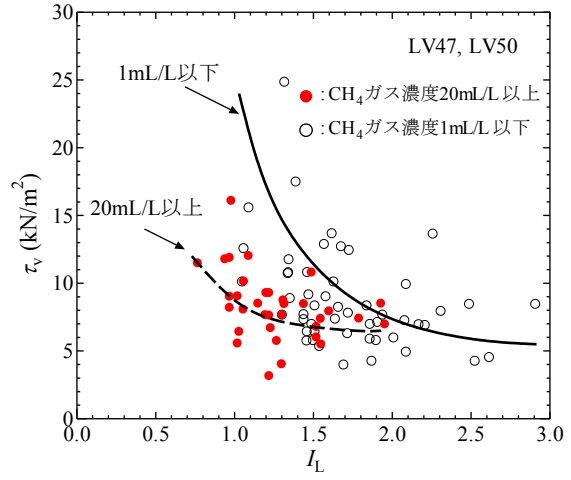


図 9　ベーンせん断強さと液性指数の関係（オホーツク海試料）

きも大きい。また，含水比が高くなると試料の強度自体が低くなるため，ガス濃度による明確な違いは認められない。

図に示したベーンせん断強さと含水比による比較では，試料の採取地点が異なっているため，同一含水比でもコンシステンシーが異なっていることが予想される。そこで，図 9 に示すように，自然含水比状態にある土の相対的な強さを表す液性指数とベーンせん断強さの関係を比較した。

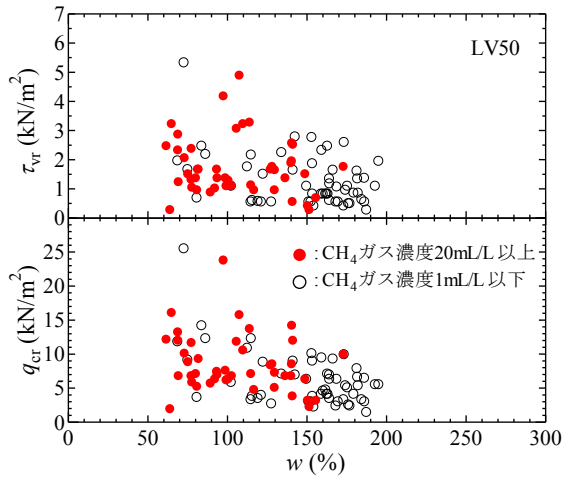


図 10　練返し試料のベーンせん断強さおよびコーン貫入抵抗と含水比の関係（LV50調査試料）

液性指数で比較した場合，ガス濃度の高低による強度の相違が含水比での比較よりもより明瞭に現れ，ガス濃度が高い試料はガス濃度の低い試料に比べて明らかに強度が低くなっている。

また，図 10 は LV50 調査で採取した試料を用いて，練返し試料に対してベーンせん断試験とコーン貫入試験を行い，含水比との関係を示したものである。図に示すように，強制的に乱した試料ではガス濃度が異なる試料の強度に違いは見られなかった。したがって，図 8，9 に示したようにガス濃度の高い試料の強度が低くなる傾向にあったのは，コア引き上げ時の間隙水圧減少に伴い，間隙水に溶存していたガスが気泡化したことにより，ガス濃度が高いほど採取試料に乱れが生じたためと考えられる。

4.　バイカル湖試料の試験結果

4.1　船上試験結果

図 11 は，バイカル湖の Novosibirsk 領域と Kukuy 領域で採取した試料から求めた含水比 w と船上試験から求めたベーンせん断強さ τ_v，コーン貫入抵抗 q_c を深度方向にプロットしたものである。なお，GH をコア下部に採取できた試料の試験結果をオホーツク海試料と同様に赤で示している。

図 11(a)に示した Novosibirsk 領域で採取した試料では，コアによって湖底表層部の含水比にばらつきが大きいが，深度とともに含水比が低くなっている。また，ベーンせん断強さとコーン貫入抵抗も深度に伴う含水比の低下に伴って高くなっている。GH が採取できたコアと採取できなかったコアを比較すると，コア下部に GH を採取できたコアの含水比は，GH を採取できなかったコアの含水比よりも特に上層部で低く，強度も高い傾向にある。

一方，図 11(b)に示す Kukuy 領域で採取した試料でも同様に，湖底表層部で含水比が高く，深度とともに含水比が低くなっている。それに伴って，ベーンせん断強さとコー

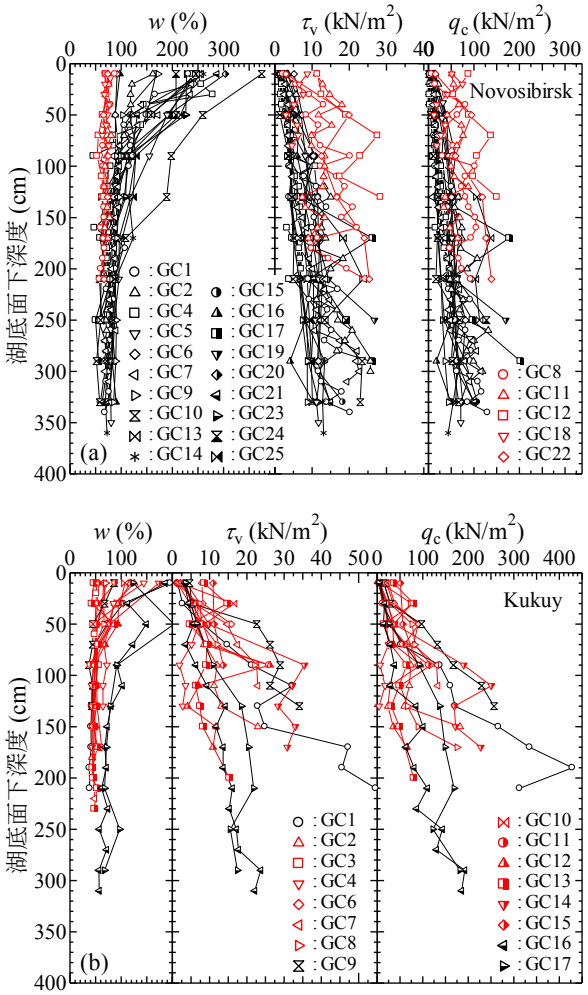


図 11　バイカル湖調査での船上試験結果：(a)Novosibirsk 領域 (b)Kukuy 領域

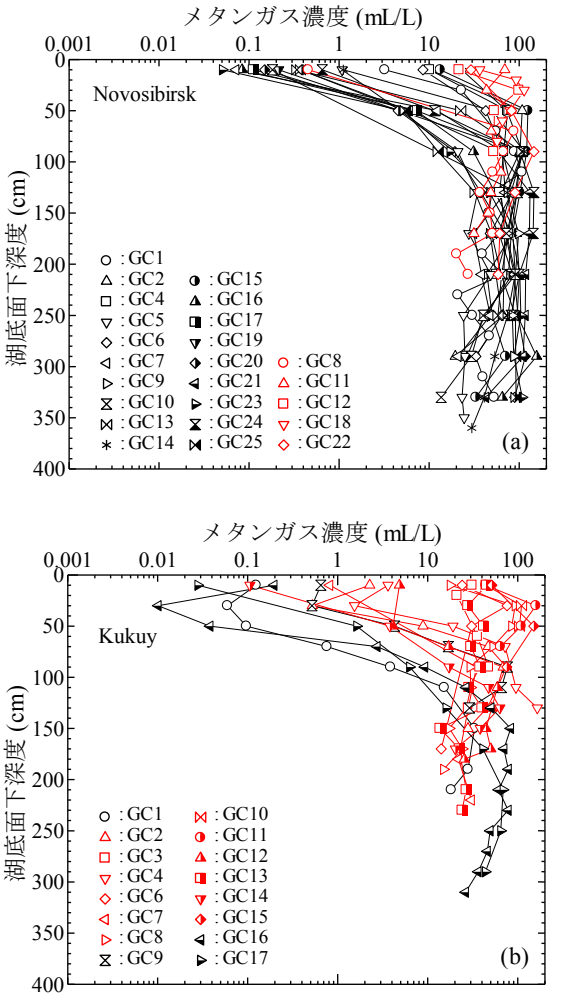


図 12　メタン濃度と深度の関係：(a)Novosibirsk 領域，(b)Kukuy 領域

ン貫入抵抗も深度とともに高くなっている。GH が採取できたコアと採取できなかったコアでの比較では，GH を採取できたコアの含水比は，Novosibirsk 領域と同様に GH を採取できなかったコアの含水比よりも低くなっている。しかし，強度には Novosibirsk 領域で採取した試料のような明確な相違は認められない。このように，採取領域によって含水比と強度の関係は異なっている。なお，Kukuy 領域を含むバイカル湖の湖底堆積物は同一領域の泥火山から採取した試料の場合，その物理的性質は GH の採取の有無によって大きな違いがないことが確認されている[17]。

4.2　ガス濃度と強度特性の比較

上述のように，採取試料の含水比と強度の関係が採取領域によって一義的な関係にならなかったのは，オホーツク海で採取した試料と同様に，採取試料の間隙水に溶存しているメタンガスの濃度の違いにより，コア引き上げ時の間隙水圧減少による溶存ガスの気泡化の程度が異なり，試料の乱れの程度が異なったことが考えられる。

図 12 は，採取した試料のメタンガス濃度と深度の関係をオホーツク海試料と同様に示したものである[18]。図より Novosibirsk 試料では，GH の有無によらずどのコアでも表層付近から高いガス濃度を示している。一方，Kukuy 試料では GH を採取できたコアは，表層からガス濃度が高くなっているのに対し，GH が採取できなかったコアは表層付近ではガス濃度が低く，ある深度から濃度が高くなる傾向にある。

次に，GH の有無による強度と含水比の関係を比較するために，ベーンせん断強さと含水比の関係を図 13 に示す。バイカル湖で採取した試料では，オホーツク海で採取した試料と異なり，全体的にどのコアでもガス濃度が高く，ガス濃度が低かったのは，主として表層部分のみでガス濃度が低い試料の結果が僅かであったので，ガスの高低による比較ではなく GH の採取の有無で比較している。

図 13(a)に示す Novosibirsk 試料では GH が採取できたコアの含水比は全体的に低いが，GH の有無による強度の違いははっきりとは認められない。これは，図 12(a)に示したように，GH の採取の有無によらずガス濃度が表層付近から高かったため，ガスの気泡化による乱れが GH の採取の有無によらず同様に起きたものと考えられる。

一方，図 13(b)に示す Kukuy 試料では GH が採取できたコアの強度は GH が採取できなかったコアの強度よりもや

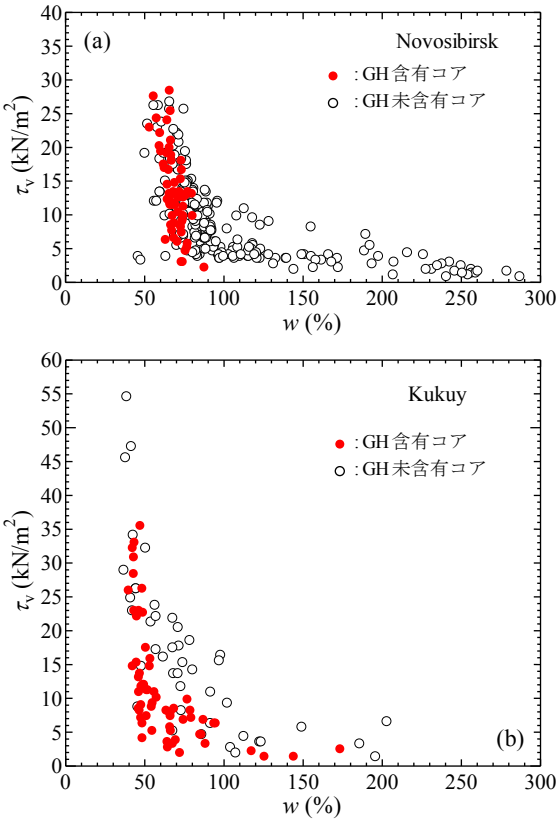


図 13　ベーンせん断強さと含水比の関係：(a)Novosibirsk 領域, (b)Kukuy 領域

や低い値に分布している。これは，図 12(b)に示したように，GH が採取できたコアのガス濃度が GH を採取できなかったコアよりも表層付近から高いため，気泡化による乱れの影響がより現れ，強度が低くなったものと考えられる。このように，オホーツク海で採取した試料ほど明確ではないが，ガス濃度の高低による溶存ガスの気泡化による試料の乱れを考慮した場合，含水比と強度の間には相関性が認められる。

5.　溶存ガス気泡化再現実験

採取試料の船上試験結果とガス濃度測定から，GH 賦存地盤から採取した試料は，コア引き上げ時の間隙水溶存ガスの気泡化による試料の乱れにより強度が低下することが推察された。このことを確認するために，高水圧条件である海底・湖底地盤での試料採取から船上試験に至るまでの圧力変化条件を再現した実験を行い，間隙水溶存ガスの気泡化に伴う試料の乱れによる強度変化を評価した。

5.1　試験装置と試料

図 14 は，再現実験に用いた圧密試験装置の概略図である。圧密容器の寸法は，内径 70mm，高さ 330mm である。圧密圧力（鉛直応力）はベロフラムシリンダーにより載荷し，鉛直荷重はロードセルにより測定した。鉛直変位は載荷ロッドに取り付けたダイヤルゲージにより測定した。圧

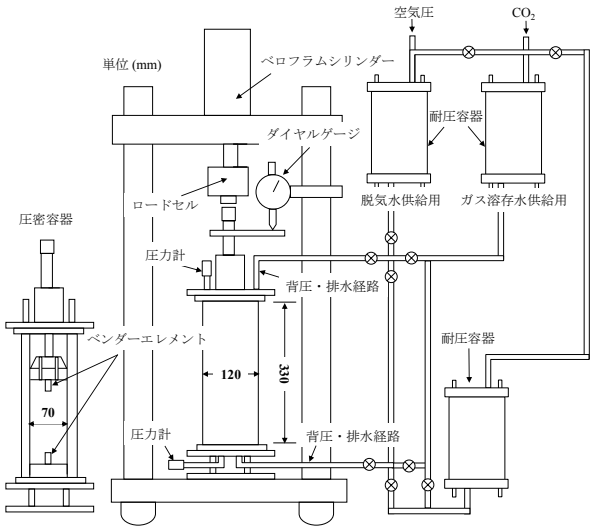


図 14　再現実験装置の概略図

密容器上部と下部には圧力計が取り付けられており，圧密容器内部の圧力を測定できるようになっている。

また，装置には背圧およびガス溶存水循環のため，耐圧容器 3 個を用意した。上方にそれぞれ脱気水およびガス溶存水供給用の耐圧容器を設置した。上方と下方の耐圧容器の水頭差は約 2m で背圧を加えた状態で脱気水またはガス溶存水を試料に循環できる構造となっている。なお，溶存水は試料下部から通水している。

再現実験に用いた試料は，2005 年と 2006 年にバイカル湖の Kukuy 領域で採取した試料 [17]を混合したものである（土粒子の密度 : ρ_s=2.720g/cm^3，液性限界 w_L=70.1%，塑性指数 I_p=41.9，粘土分 58%，シルト分 40%，砂分 2%）。混合試料を圧密時の初期含水比が液性限界の 1.6 倍となるよう蒸留水を加えスラリー状にし，攪拌容器内で真空に近い状態で約 24 時間程度攪拌し準備した。また，間隙水に溶存させるガスは二酸化炭素（CO_2）を用いた。これは，GH 賦存域の堆積土に含まれるガスは主にメタンガス（CH_4）であるが，CH_4 と同程度の溶存度とする場合，CO_2 を用いることによって低背圧での試験が可能なためである。なお，水深 1000m（約 10MPa），水温 4℃での CH_4 の水に対する溶解度は，水温 20℃，圧力 500kPa での CO_2 の溶解度と同程度である。

5.2　溶存ガスの気泡化実験

ここで，再現実験を行う前にどの程度の時間で脱気水に CO_2 が溶存し，また圧力解放によりどの程度ガスが気泡化（遊離）するのかを確認するために予備実験を行った。図 15 は，予備実験で用いた実験装置の概略図である。使用した耐圧容器の容積は約 2100cm^3 で，耐圧容器内に注水した脱気水は約 1000cm^3 である。CO_2 の供給と加圧はガスボンベによって直接行った。また，気泡化ガス量を測定するため，乾式ガスメータを使用した。ガスメータには温度計が付いており，周囲の温度測定が可能である。

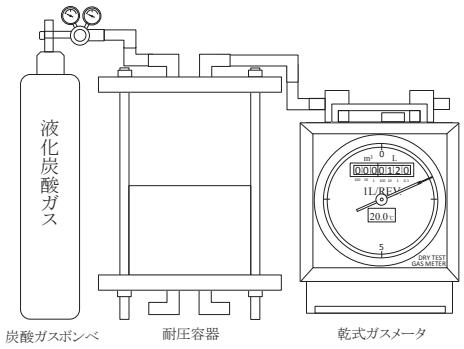


図 15　溶存ガスの気泡化ガス量測定装置の概略図

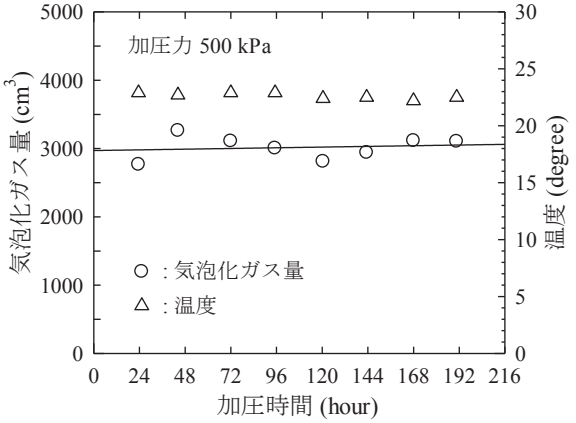


図 16　気泡化ガス量と加圧時間の関係

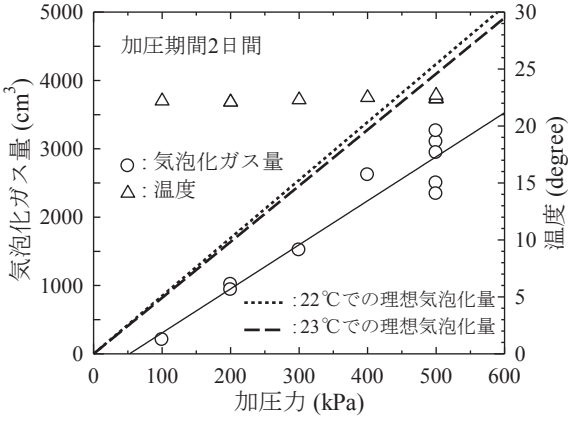


図 17　気泡化ガス量と加圧力の関係

加圧期間による溶存量の違いを調べるために，脱気水の入った耐圧容器内にガスボンベにより 500kPa の圧力で，室温 22℃から 23℃の間で，1 日から 8 日間それぞれ脱気水に CO_2 を溶存させた。その後，耐圧容器の圧力をガスメータを通して大気圧まで開放し，溶存した CO_2 を気泡化させた。気泡化ガス量は，ガスメータから求めた全排出量から耐圧容器内の空間部分に圧縮されていたガスの膨張量を差し引き求めた。図 16 に実験結果を示す。各加圧期間に対する気泡化ガス量の近似線の傾きがほぼ水平になっており，加圧期間の違いによる気泡化ガス量に大きな違いは認められない。また，気泡化時の温度はほぼ一定になっているので，気泡化ガス量への温度の影響はないと言える。以上より，約 24 時間脱気水に CO_2 ガスを加圧することにより気泡化ガス量が一定になることがわかった。

次に，加圧力の違いによる気泡化ガス量の測定を行った。加圧期間を約 2 日間とし，加圧力を 100～500kPa の 5 段階で，上記と同様な手順で実験を行った。図 17 に実験結果を示す。図に示す理想気泡化量は，理科年表より気体の水に対する溶解度から完全に飽和したと仮定した場合に，各圧力において大気圧まで圧力を減圧させたときの CO_2 気泡化ガス量である（理想気泡化量＝各圧力での飽和溶存量－1 気圧での飽和溶存量）。100kPa の加圧力では理想気泡化量の 2 割程度の気泡化ガス量であったが，200, 300kPa では 6 割程度の気泡化ガス量となり，400, 500kPa では約 7 割の気泡化ガス量であった。これらの実験から，脱気水に CO_2 ガス圧を加えても，実際の気泡化ガス量は飽和溶存量から推定した値よりも低くなるが，加圧力が高いほど推定値に近くなることがわかった。

表 3　再現実験での試験条件

試験条件	通水水	圧密圧力 (kPa)	背圧 (kPa)	背圧減圧時 圧密圧力(kPa)
1	脱気水	100	500	20
2	CO_2 溶存水	100	100, 300, 500	100
3	CO_2 溶存水	100	100, 300, 500	20

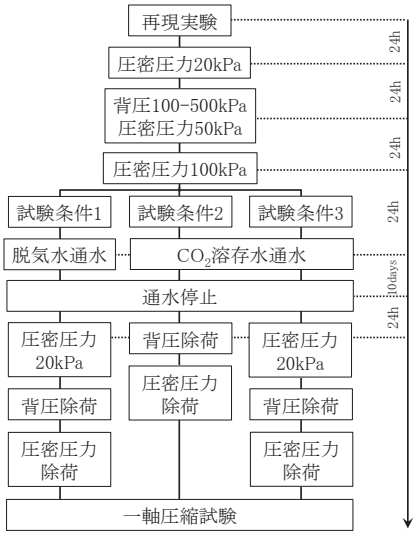


図 18　試験条件と再現実験の流れ

5.3　再現実験方法

再現実験では，攪拌したスラリー状の試料を圧密容器内に流し込み，表 3 に示す 3 条件で再現実験を行った。図 18 に各試験条件での試験方法の流れを示す。すべての条件において各圧密段階（20, 50, 100kPa）で 24 時間圧密を行った。なお，20kPa の圧密終了後，背圧を加えている。試験条件 1 では空気圧を介して背圧を 500kPa 加えているが，試験条件 2 と 3 では CO_2 ボンベ圧を介して背圧を加え

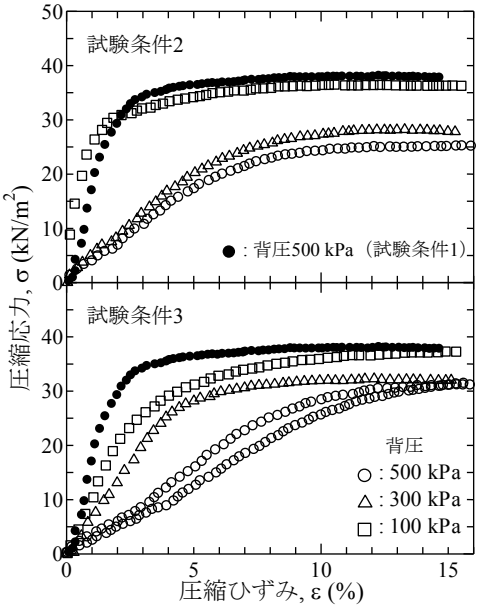


図 19　一軸圧縮試験結果

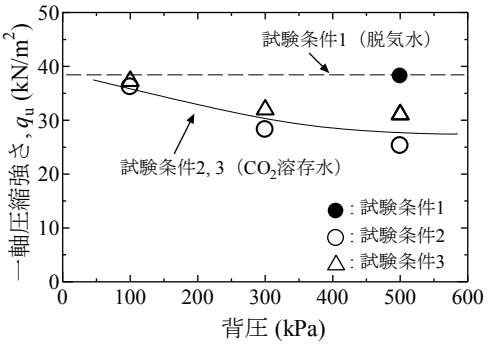


図 20　一軸圧縮強さと背圧の関係

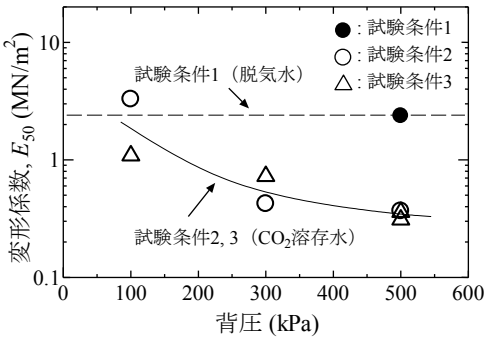


図 21　変形係数と背圧の関係

ている。また，ガス溶存水を通水する試験条件 2 と 3 では，ガス溶存度の違いによる試料の乱れの影響も調べるため，背圧を 100, 300, 500kPa の 3 条件で試験を行っている。最終段階の圧密（100kPa）終了後，試験条件 1 は脱気水を試料下部から水頭差で通水させ，試験条件 2 と 3 では CO_2 溶存水を水頭差で通水させている。また，すべての試験条件において約 10 日間試料に通水を行っている。この 10 日間の通水量は圧密後の供試体と同程度の体積である。

試験条件 2 と 3 の違いは，試験条件 2 では最終段階の圧密圧力（100kPa）の状態で背圧を大気圧まで減圧した後に鉛直応力を除いているが，試験条件 3 では，圧密圧力を 20kPa まで低下させた後に背圧を減圧している。したがって，試験条件 3 の方が試験条件 2 よりも応力解放（背圧減圧）時の鉛直応力が低いので，試料に乱れが生じやすいことが推察される。ここで，背圧減圧に伴う溶存ガスの気泡化を，高水圧である海底・湖底面から船上へコアを引き上げることによる溶存ガスの気泡化を想定している。

背圧および鉛直応力を除いた後に試験装置を解体し，取り出した試料を用いて一軸圧縮試験（直径 50mm, 高さ 100mm, 載荷速度 1mm/min）を行った。なお，最終段階での圧密圧力 100kPa は，オホーツク海やバイカル湖で実際に採取した海底・湖底表層土の有効土被り圧よりも高いが，溶存ガスの気泡化により乱れた試料でも一軸圧縮試験の実施が可能な圧密圧力として選択した。

5.4　一軸圧縮試験結果

図 19 は，各条件で圧密し作製した供試体を用いて行った一軸圧縮試験での応力－ひずみ曲線を示したものである。圧密時に脱気水を通水し CO_2 ガスの気泡化による乱れの影響がない試験条件 1 で作製した供試体に比較して，CO_2 ガスを溶存させた試験条件 2，3 で作製した供試体では，強度が低下し初期勾配も緩やかになっている。

図 20 は，一軸圧縮強さと圧密時の背圧の関係を示したものである。この図からも，ガス溶存水を通水させた試験条件 2 および 3 の強度は，脱気水を通水させた試験条件 1 の強度に比べ低い傾向にあり，背圧が大きくなるほどすなわち CO_2 の溶存量が多いほど低下割合が大きい。また，図 21 は変形係数 E_{50} と背圧の関係を示したものである。背圧 100kPa での試験条件 2 と 3 の変形係数の値は，図 17 に示した予備実験でも確認できたように，CO_2 の溶存度が低いことからか，ばらつきもあり必ずしもガスの気泡化による乱れを確認できないが，300 と 500kPa の背圧では溶存度の増加に伴い，応力解放による間隙水溶存ガスの気泡化の影響を受け変形係数の値も低くなっている。このように，ガス溶存水を試料に通水させた試験条件 2 および 3 では，背圧減圧時の間隙水溶存ガスの気泡化に伴い試料が乱れ強度が低下し，間隙水中の CO_2 の溶存度（背圧）が高いほど試料の乱れが大きくなり強度が低下することを確認できた。しかし，乱れの影響が大きいと考えられた背圧減圧時の鉛直応力が低い試験条件 3 で作製した供試体の強度は，試験条件 2 の強度よりも低くなることはなかった。

図 22 は，減圧時の応力状態と変位量を確認するために計測した鉛直応力，背圧，軸変位の時刻歴の一例（背圧 500kPa）を示したものである。図より，どの試験条件においても，鉛直応力および背圧の低下時には軸変位の変化が認められない。しかし，試験条件 3 では背圧および鉛直応力を除いた後に，軸変位量が増加しているのがわかる。時刻歴の計測は減圧時の変形量を確認するために測定した

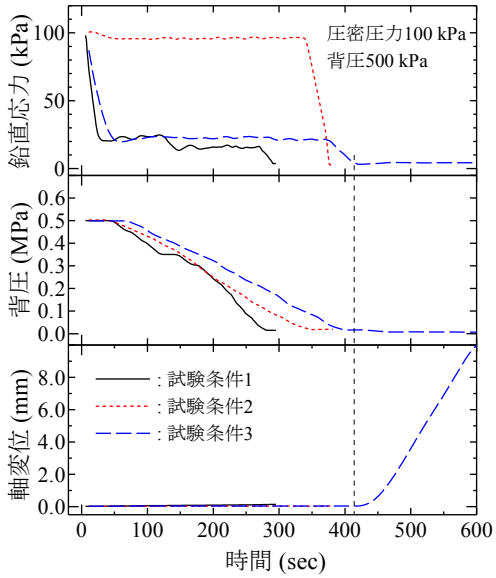


図 22　応力解放時の鉛直応力，背圧，軸変位の時刻歴

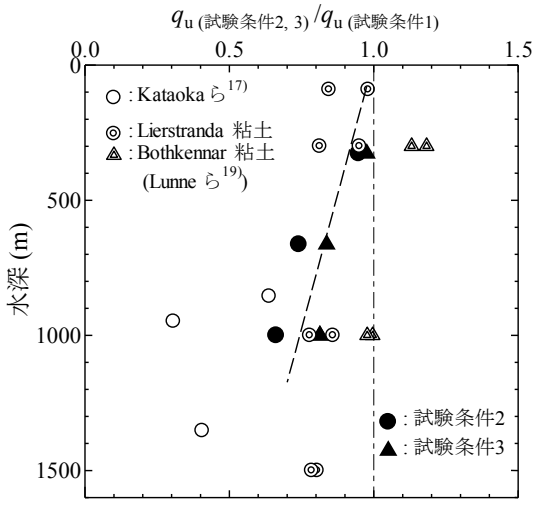


図 23　強度低下率と水深の関係

ため，試験条件 2 での減圧後のデータを取っていないが，試験条件 3 と同様に背圧と鉛直応力の除去後，圧密装置の解体時に試料の亀裂を確認できた。このように，試験条件によらず試料の乱れは，背圧と鉛直応力を除去した後に生じているため，試験条件 2 と 3 による強度差が特には認められなかったものと考えられる。これは，減圧時に溶存ガスの気泡化により試料が膨張すると考えられるが，今回用いた試料のように粘土分が多い場合，亀裂を伴うような乱れは粘着成分の発揮により遅れて生じるものと考えられる。実際に海底や湖底から採取した試料において，写真 4 に示したような試料表面に溶存ガスの気泡化に伴う膨れ上がりなどが認められるのは，採取後ある程度の時間が経過した後に顕著になる。

5.5　溶存ガスの気泡化による強度変化の評価

間隙水にガスが溶存している場合，応力解放による間隙水圧の減少によって，溶存ガスが気泡化し強度が低下することが，船上試験および再現試験から明らかになった。この強度低下と採取試料の水深（水圧）の関係を比較するために，ガスの溶存していない試料（試験条件 1）とガスを溶存させた試料（試験条件 2，3）の一軸圧縮強さ比と CO_2 溶存濃度をメタン溶存濃度に換算した場合の水深との関係を図 23 に示す。例えば，500kPa での CO_2 の溶解度は，10MPa での CH_4 の溶解度にほぼ等しいので，背圧 500kPa での試験結果を水深 1000m に相当するとしている。

図中には，Kataoka ら [17]が実際にバイカル湖で採取した試料を用いて船上で一軸圧縮試験を行った結果と，Lunne ら[19]が本実験と同じように溶存ガスの気泡化による乱れを評価するために，陸上で採取した 2 種の不撹乱粘性土（Lierstranda 粘土と Bothkennar 粘土）を用いて溶存濃度の異なる供試体を作製し，三軸圧縮試験から強度変化を調べた結果も示している。

ここで，Kataoka らの結果は，水深の異なる複数の領域で採取した試料に対して，船上で一軸圧縮試験を行った結果であり，その強度比は同一泥火山試料の強度の平均値とガスの溶存度が低いと考えられる泥火山近傍のリファレンス地盤から採取した試料の強度の平均値から求めたものである。また，Lunne らの結果は，CH_4 ガスを異なる背圧（0～15MPa）で溶存させて作製した供試体を用いて，三軸圧縮試験を行った結果から求めたもので，本実験と同様に溶存水通水時の圧力を水深に換算している。

図に示すように，水深が大きくなるにつれて強度比が低下しており，水深が大きい（ガス溶存度が高い）ほど乱れの影響が大きいことがわかる。Kataoka らの結果は，実試料であるためかばらつきが見られるが，再現実験結果よりも強度低下が大きくなっている。これは，本実験では再構成試料を用いているのに対し，実試料（不撹乱試料）の場合は本来の強度が高く，乱れの影響が大きく現れたものと考えられる。さらに，本実験の再現実験では応力解放による乱れは，圧密装置内では軸方向の変位として現れるのに対し，実際の湖底からの試料採取持には，コアラーの内管内径がコアビットの内径よりも 5mm 程度大きいため，側方向にもある程度の膨張が可能であることなどから，乱れの影響が大きかったものと推察される。また，圧密圧力の相違の影響も考えられる。一方，Lunne らの強度比の低下が少ないのは，三軸圧縮試験結果であり再圧密によって乱れの影響が減少したためと考えられる。なお，Bothkennar 粘土の強度比が水深 300m において 1 よりも大きくなっているが，これは不撹乱試料相互の不均質性のためばらついているとしている。しかし，水深（溶存度）の増加に伴う強度低下は認められている。

このような結果から，水深の大きい海底や湖底から採取した試料からも，乱れの影響のない強度をある程度推定可能となると考えられる。また，溶存ガスの気泡化による乱れの有無を判断するためには，間隙水に溶存しているガス濃度を測定することが必要である。さらに，GH 賦存地盤に限らず水溶性ガス田や温泉地帯など，地下水にガスが溶存している地盤から採取した試料の評価において，本研究

結果を参考にできる。

6. 結　論

(1) 表層型ガスハイドレートが存在している海底・湖底地盤から採取した試料の力学特性は，試料引き上げ時の間隙水圧減少により，間隙水中の溶存ガスが気泡化・膨張し，試料が乱れ強度が低下する。その低下割合は，溶存ガス濃度が高いほど大きくなる傾向にあった。

(2) 高水圧条件である海底・湖底地盤での試料採取から室内試験に至るまでの応力条件を再現した実験を行った結果，ガス溶存水を通水させた試料は，応力解放時の間隙水溶存ガスの気泡化により強度の低下が認められ，ガスの溶存度が高くなるほど試料の乱れは大きくなり強度は低くなった。

(3) これらの結果から，水深の大きい海底や湖底から採取した試料からも，乱れの影響のない強度を概略推定可能であることが示された。また，溶存ガスの気泡化による乱れの有無を把握するには，間隙水に溶存しているガス濃度を測定することが必要である。

謝　辞

オホーツク海調査においては，ロシア科学アカデミー極東支部 V.I.イリチェフ太平洋海洋学研究所 Anatoly Obzhirov 博士，ロシア科学アカデミーP.P.シルショフ海洋学研究所 Boris Baranov 博士，韓国極地研究所 Young K. Jin 博士に，バイカル湖調査では，ロシア科学アカデミーシベリア支部陸水学研究所 Oleg Khlystov 氏，ゲント大学レナード海洋地質学研究センターMarc De Batist 教授にご協力をいただいた。記して謝意を表します。なお、本研究は日本学術振興会科学研究費（基盤研究(B)21360219，基盤研究(A)21254006，基盤研究(C)22540485）の助成を受けたものである。また，オホーツク海調査に関しては，北見工業大学の支援も受けている。

参　考　文　献

1) Matsumoto, R.: Methane plumes over a marine gas hydrate system in the eastern margin of Japan Sea: A possible mechanism for the transportation of subsurface methane to shallow waters, Proc. 5th International Conference on Gas Hydrates, Trondheim, Norway, pp.749-754, 2005.
2) Zonenshayn, L.P., Murdmaa, I.O., Baranov, B.V., Kuznetsov, A.P., Kuzin, V.S., Kuz'min, M.I., Avdeyko, G.P., Stunzhas, P.A., Lukashin, V.N., Barash, M.S., Valyashko, G.M. and Demina, L.L.: An underwater gas source in the Sea of Okhotsk west of Paramushir Island, Oceanology, Vol. 27, No.5, pp.598-602, 1987.
3) Ginsburg, G.D., Soloviev, V.A., Cranston, R.E., Lorenson, T.D. and Kvenvolden, K.A.: Gas hydrates from the continental slope, offshore Sakhalin Island, Okhotsk Sea, Geo-Marine Letters, Vol.13, No.1, pp.41-48, 1993.
4) Shoji, H., Soloviev, V., Matveeva, T., Mazurenko, L., Minami, H., Hachikubo, A., Sakagami, H., Hyakutake, K., Kaulio, V., Gladysch, V., Logvina, E., Obzhirov, A., Baranov, B., Khlystov, O., Biebow, N., Poort, J., Jin. Y.K. and Kim, Y.: Hydrate-bearing structures in the Sea of Okhotsk, EOS Trans AGU 86, pp.13-24, 2005.
5) 杉山博一, 西尾伸也, 安部透, 山下聡, 八久保晶弘, 田中洋行, 吉田裕, Oleg Khlystov：バイカル湖のガスハイドレート層からのガス回収実験, 第44回地盤工学研究発表会講演集, pp.1973-1974, 2009.
6) 西尾伸也, 安部透, 杉山博一, 荻迫栄治, 田中洋行, 山下聡, Oleg Krystov：バイカル湖のメタンハイドレート堆積層でのコア採取とCPT, 第45回地盤工学研究発表会講演集, pp.277-278, 2010.
7) 藤井哲哉, 佐伯龍男, 小林稔明, 稲盛隆穂, 林雅雄, 高野修, 高山徳次郎, 川崎達治, 長久保定雄, 中水勝, 横井研一：確率論的手法による東部南海トラフのメタンハイドレート資源量評価，地学雑誌, Vol.118, No.5, pp.814-834, 2009.
8) Kim, G.Y., Yi, B.Y. Yoo, D.G., Ryu, B.J. and Riedel, M: Evidence of gas hydrate from downhole logging data in the Ulleung Basin, East Sea, Marine and Petroleum Geology, Vol.28, Issue 10, pp.1979-1985, 2011.
9) Clayton, C.R.I., Priest, J.A. and Best, A.I.: The effects of disseminated methane hydrate on the dynamic stiffness and damping of a sand, Gèotechnique, Vol.55, No.6, pp.423-434, 2005.
10) Winters, W.J., Waite, W.F., Mason, D.H., Gilbert, L.Y. and Pecher, I.A.: Grain size effects on acoustic and strength behavior of sediments containing natural- and laboratory-formed methane gas hydrate, Proc. 5th International Conference on Gas Hydrates, Trondheim, Norway, pp.507-516, 2005.
11) Hyodo, M., Nakata , Y., Yoshimoto, N. and Ebinuma, T.: Basic research on the mechanical behavior of methane hydrate-sediments mixture, Soils and Foundations, Vol. 45, No. 1, pp. 75-85, 2005.
12) 米田純, 兵動正幸, 中田幸男, 吉本憲正：深海底におけるメタンハイドレート堆積土の三軸せん断特性，土木学会論文集 C, Vol.66, No.4, pp.742-756, 2010.
13) Kimoto, S., Oka, F. and Fushita, T.: A chemo–thermo–mechanically coupled analysis of ground deformation induced by gas hydrate dissociation, International Journal of Mechanical Sciences, Vol.52, Issue 2, pp.365-376, 2010.
14) 米田純，兵動正幸，中田幸男，吉本憲正：メタンハイドレート固結土の弾塑性構成式とその適用，第46回地盤工学研究発表会，pp.325-326, 2011.
15) Matveeva, T.V., Mazurenko, L.L., Soloviev, V.A., Klerkx, J., Kaulio, V.V. and Prasolov, E.M.: Gas hydrate accumulation in the subsurface sediments of Lake Baikal (Eastern Siberia) , Geo-Marine Letters, Vol.23, No.3-4, pp.289-299, 2003.
16) Hachikubo, A., Tatsumi, K. Sakagami, H., Minami, H., Yamashita, S., Takahashi, N., Shoji, H., Jin, Y.K., Vereshchagina, O. and Obzhirov, A.: Molecular and isotopic compositions of hydrate-bound hydrocarbons in subsurface sediments from offshore Sakhalin Island, Sea of Okhotsk, Proc. 7th International Conference on Gas Hydrates, Edinburgh, UK, 2011.
17) Kataoka, S., Yamashita, S., Kawaguchi, T. and Suzuki, T.: The soil properties of lake-bottom sediments in the Lake Baikal gas hydrate province, Soils and Foundations, Vol.49, No.5 , pp.757-775, 2009.
18) Hachikubo, A., Khlystov, O., Sakagami, H., Minami, H., Yamashita, S., Takahashi, N., Shoji, H., Kalmychkov, G. and Poort, J.: Isotopic fractionation of hydrate-bound hydrocarbons in the subbottom sediments of Lake Baikal, 2010 AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, 2010.
19) Lunne, T., Berre, T., Strandvik, S., Andersen, K.H. and Tjelta, T.I.: Deepwater sample disturbance due to stress relief, Proc. Geotechnical, Geological, and Geophysical Properties of Deepwater Sediments, Texas, USA, 2001, NGI Rapport 521671-10.

（2012. 4. 25　受付）

Soil properties of sediments obtained from sea and lake-bottom shallow type gas hydrate province

- Evaluation of sample disturbance due to exsolution of dissolved gas in pore water -

Satoshi YAMASHITA[1], Hironobu DEWA[2], Akihiro HACHIKUBO[3], Hirotsugu MINAMI[4], Satsuki KATAOKA[5], Takayuki KAWAGUCHI[1], Hirotoshi SAKAGAMI[4], Nobuo TAKAHASHI[4] and Hitoshi SHOJI[3]

1 Department of Civil and Environmental Engineering, Kitami Institute of Technology
2 Graduate Student, Kitami Institute of Technology
3 Environmental and Energy Resources Research Center, Kitami Institute of Technology
4 Department of Material Engineering, Kitami Institute of Technology
5 Department of Civil Engineering, Hakodate National College of Technology

Abstract

Core samplings were conducted in offshore Sakhalin Island, Sea of Okhotsk, and in Lake Baikal, Russia, where shallow gas hydrates existed. To examine the mechanical properties of sea and lake bottom sediments, the handy vane shear and cone penetration tests were performed for the core samples on board. To evaluate the sample disturbance due to the exsolution of dissolved gas during sampling, the relations between the concentration of dissolved gas in the pore water and the strength were also examined. Moreover, laboratory tests which simulate the stress relief from bringing the samples to the sea or lake surface were also performed. Test results showed that the strength of soils become lower with the increase in degree of gas saturation on both on-board and laboratory tests. It was also showed that the in-situ strength can be estimated roughly from the disturbed sample.

Key words: dissolved gas, gas hydrate, sample disturbance, sea and lake bottom sediments