平成20年度　土木学会北海道支部　論文報告集　第65号

日本海東縁域における海底表層地盤の土質特性

Soil properties of sea-bottom sediments in the eastern margin of Japan Sea

北見工業大学大学院　○学生員　片岡沙都紀（Satsuki Kataoka）
北見工業大学工学部　正　員　山下　聡（Satoshi Yamashita）
函館高専環境都市工学科　正　員　川口　貴之（Takayuki Kawaguchi）
北見工業大学工学部　フェロー　鈴木　輝之（Teruyuki Suzuki）
東京大学大学院理科系研究科　松本　良（Ryo Matsumoto）

1. はじめに

近年，ガスハイドレート（GH）の調査，試掘が世界各地で進められており，日本近海でも南海トラフ [1)]やオホーツク海 [2)]，日本海 [3)]でその存在が確認されている。GH は次世代のエネルギー資源として注目されている一方で，GH の主成分であるメタンガスは二酸化炭素の約 20 倍もの温室効果をもつガスであるため，ガスの大気への放出による地球温暖化助長への懸念が存在する。ガス放出の主な原因としては，GH 採取時の遺漏や，地震活動に伴う海底斜面の崩壊，地球温暖化による水温の上昇による GH の解離などが挙げられる。現在日本周辺で確認されている GH は図-1 にも示すようにアムールプレート境界上に沿って存在しており，GH 賦存域と地震活動域として考えられるプレート境界とが密接に関係していることがわかる。特に海，湖底面表層（0-数 m）に存在する GH（以下表層型 GH と記載する）は，地殻変動に伴って発生した過剰間隙水圧により地下から湧出したガス，水を用いて形成されていると考えられているため，地球環境変動との関連性がより高いと推測される。よって環境問題を視野に入れた工学的見地からの GH 研究，特に表層型 GH 賦存地盤の工学的特性を検討していくことが必要であると思われる。しかし現在のところ，表層型 GH 賦存地盤の工学的特性に関する研究は，エネルギー開発を視野に入れて研究が進められている海底下深層（数 100m 以深）に存在する GH（深層型 GH）周辺地盤の研究事例と比較するとまだ数少ない [4), 5)]。

そこで本研究では，図-1 に示すプレート境界上に位置し，表層型 GH の存在が確認されている日本海東縁域（新潟県直江津沖，北海道南西沖）の海底表層地盤に着目し，現場調査および海底堆積土の採取を行った。また採取した堆積土についてはその土質特性について調べるために，船上力学試験（ベーンせん断試験，コーン貫入試験，一軸圧縮試験）および室内試験（物理試験，一軸圧縮試験）を行い，他領域の表層型 GH 賦存地盤の土質特性との共通点，相違点について検討した。

2. 調査概要および試料の採取

本海域における調査は，2008 年 5 月に無人潜水艇にて実施した事前調査をもとに，同年 7 月に新潟県直江津沖（海鷹海脚，上越海丘）および北海道南西沖（奥尻島南部，後志北西部）にて行われた。調査海域を図-2 に示す。ここで写真-1 には，無人潜水艇によって撮影さ

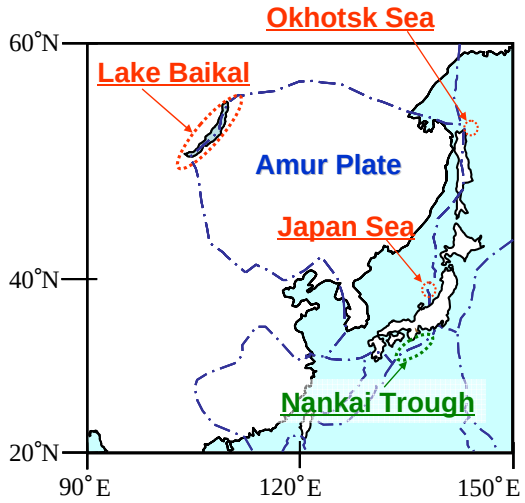

図-1　アムールプレート境界上に位置する GH 賦存領域（図中赤が表層型 GH，緑が深層型 GH を示す）

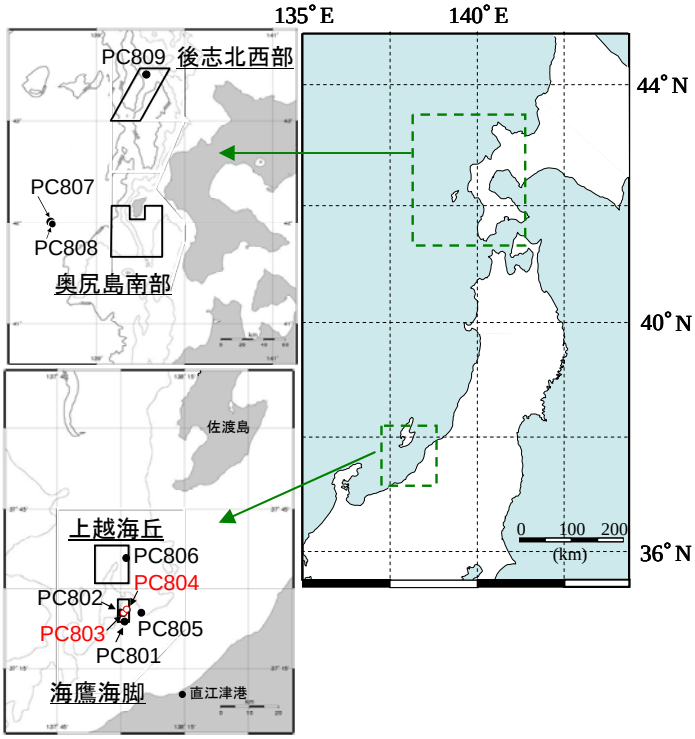

図-2　調査領域（図中□で囲んだ部分）および海底堆積土の採取箇所（図中●，○印で示した箇所）

れた海鷹海脚の海底表層の様子を示す。このように日本海東縁域の海底面上には，薄い堆積土に覆われた GH の露出や海底面からのガス気泡の放出が確認されている。

GH および堆積土試料の採取には，ピストンコアサンプラー（長さ 6m，10m，外径 8.5cm，総重量 500kg）を使用した。採取位置を図-2 内●，○印で，また採取した試料の概要を表-1 に示す。なお，今回採取した試料 9 本（海鷹海脚 5 本，上越海丘 1 本，奥尻島南部 2 本，後志北西部 1 本）のうち，内部に GH が観察されたものは海鷹海脚で採取された 2 本のみであった。試料採取後は，鉛直方向に分割して GH，および堆積土を観察し，船上力学試験を行った。また室内試験用試料に関しては，船上試験を行った同一試料内からできるだけ試料を乱さないように取り出し，パラフィンでシールして輸送した。

3.　試験概要

3.1　小型ベーンせん断試験

直径 10mm，高さ 20mm のベーンブレードをトルクドライバーに取り付けて試験を行った。写真-2a に示すように，ブレードを堆積土の切断面に貫入したのちトルクドライバーを回転させて最大トルクを測定し，ベーンせん断強さ τ_v を算出した。

3.2　小型土壌硬度計によるコーン貫入試験 [6)]

コーン部分は直径 9mm，長さ 20mm，先端角 25°であり，内部のバネ強度は 1N/10mm のものを使用した。写真-2b に示すように，堆積土の切断面にコーン部分を貫入させてそのときの貫入深を測定し，コーン貫入抵抗 q_c を算出した。

3.3　一軸圧縮試験

供試体を高さ 6cm，直径 3.5cm に整形し，試験時の載荷速度を 1mm/min として不撹乱試料における一軸圧縮強さ q_u，練り返した試料における一軸圧縮強さ q_{ur} を求めた。また一軸圧縮試験用供試体を作製した際に残った堆積土を用いて，物理試験を行った。

4.　試験結果，考察

図-3 には，本調査海域より採取した堆積土試料の粒径加積曲線を示す。これより GH が含有していた PC804 コアの堆積土粒径は他の試料に比べて全体的に粗粒であるといえる。観察結果から PC804 コア内には ϕ=5～15mm のカーボネート（$CaCO_3$）が多く存在していたため，これにより粒径が粗粒となったことが考えられる。

図-4 には試料の物理試験（a：含水比 w，b：液性指数 I_L，c：土粒子の密度 ρ_s，d：強熱減量 L_i），各種力学試験結果（e：ベーンせん断強さ τ_v，f：コーン貫入抵抗 q_c，g：一軸圧縮強さ q_u，h：一軸圧縮試験より得られた鋭敏比 S_t（$=q_u/q_{ur}$））の深度分布を示す。まず w を見ると，堆積土内部に GH が確認できた PC804 コア（▽印）以外は，PC808 コア（△印）の約 200cm を除いて w≒120～200%と高い値を示しているが，PC804 コアでは w が 100%以下と低い値を示している。図-3 にも示したように PC804 コアは他の試料に比べて粗粒であるため，全体的に w が低下したことが考えられる。I_L は PC801 コア（○印）の約 40cm を除くと，I_L≒1.0 を示し

写真-1　海底面上に露出した GH（白い部分，海鷹海脚にて撮影）

表-1　採取試料の概要

Name	Sampling site	Water depth (m)	Core Length (m)	GH	Test ※)
PC801	Umitaka Spur	904.7	4.29	—	C, V, U.C.
PC802		978.5	5.31	—	C, V, U.C.
PC803		907.7	1.20	0.20-1.20	—
PC804		898.7	3.39	3.37-3.39	C, V
PC805		1025	5.16	—	C, V, U.C.
PC806	Joetsu Ridge	1003.7	4.96	—	C, V
PC807	Okushiri Ridge	3394.2	0.98	—	C, V
PC808		3559.9	3.66	—	C, V, U.C.
PC809	Shiribeshi Trough	2974.9	0.86	—	—

※) C : Cone penetration test
V : Vane shear test
U.C. : Unconfined compression test

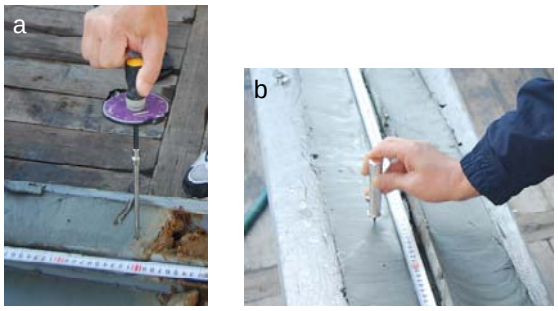

写真-2　a：ベーンせん断試験，b：コーン貫入試験

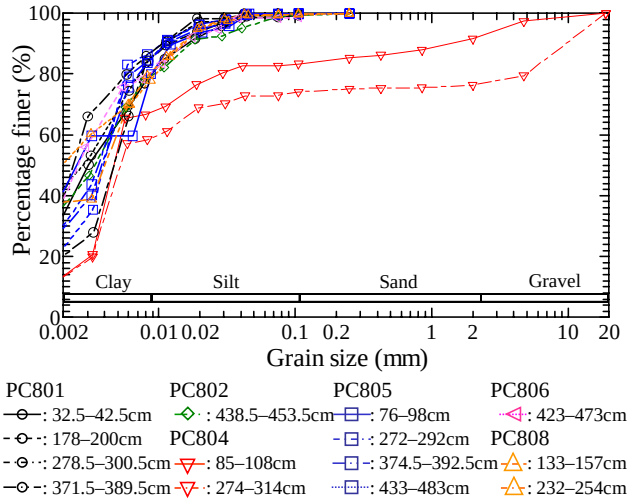

図-3　採取堆積土の粒径加積曲線

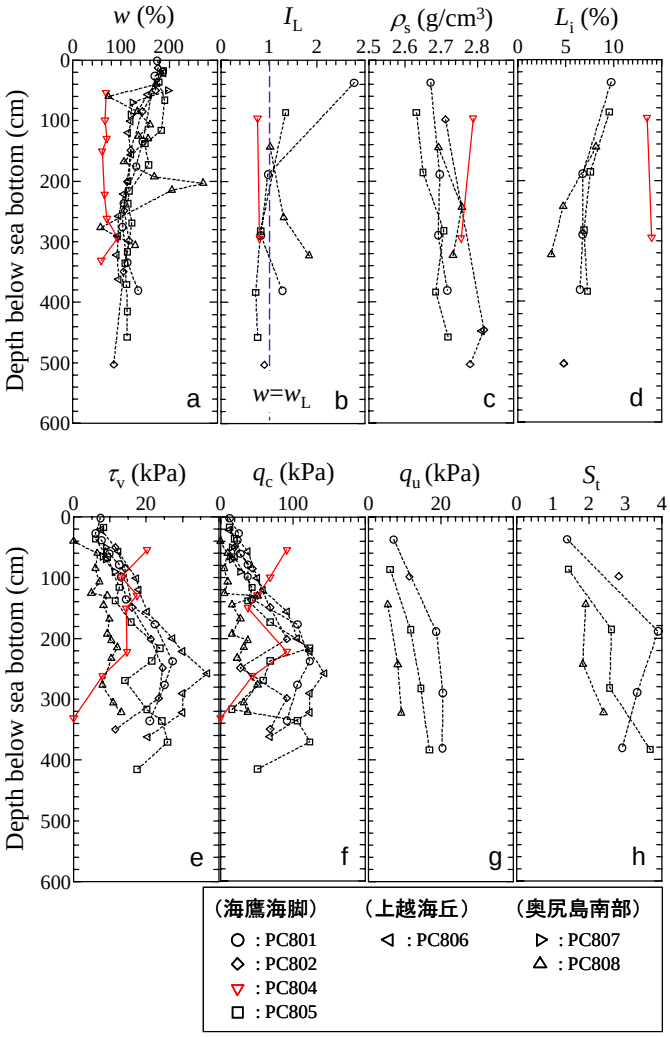

図-4　物理，力学試験結果の深度プロファイル

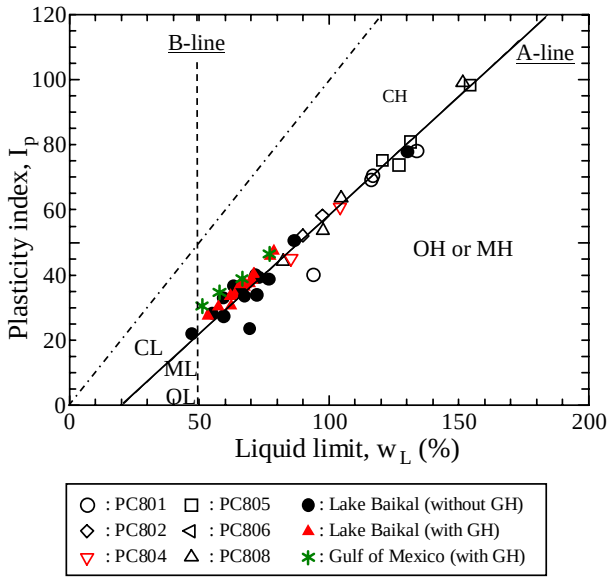

図-5　塑性図

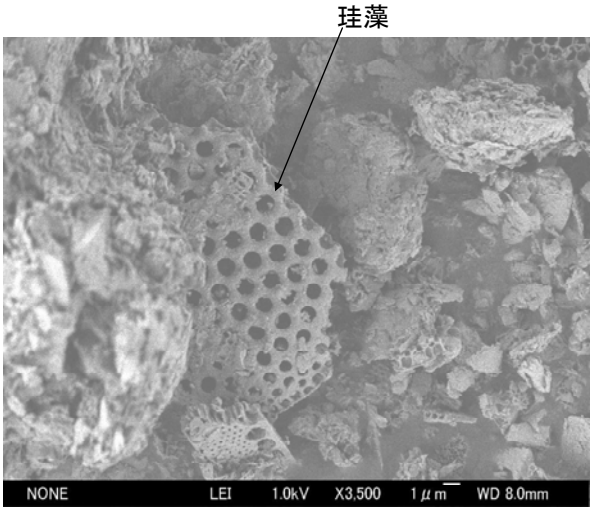

写真-3　PC801 コア上部 0-100cm で観察された珪藻（電子顕微鏡観察結果）

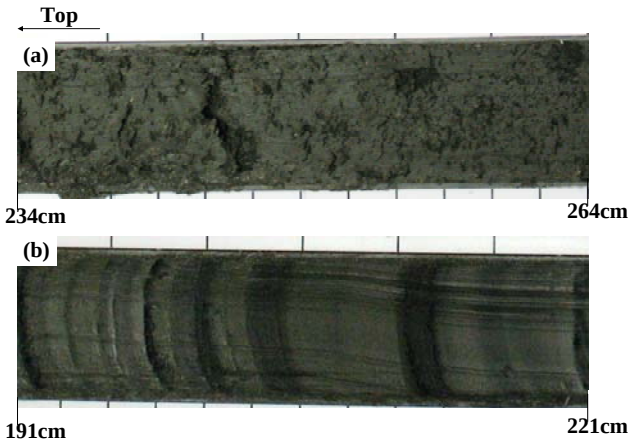

写真-4　堆積土切断面の様子（a：PC804 コア，b：PC808 コア）

ており，GH の有無や深度方向に違いは見られない。ここで図-5 には塑性図を示し，同様に海底，湖底面表層に GH を含有するバイカル湖堆積土（●，▲印）[4]およびメキシコ湾堆積土（✱印）[5]との物性の比較を行った。これより日本海東縁域の海底堆積土は，バイカル湖やメキシコ湾のものに比べて高い液性状態にあるといえる。ρ_s では I_L 同様に，どの試料においてもρ_s＝2.6～2.8g/cm^3 の範囲に入っている。L_i は PC804 コアを除いて表層付近（0-100cm）で L_i＝8～10%を示し，深度増加に伴って L_i の値が低下していく傾向がみられているが，PC804 コアでは深度に依存せず L_i≒13%と高い値を示している。ここで表層堆積土を電子顕微鏡で観察したところ（写真-3）内部のほとんどを珪藻の殻で占めていたことから，珪藻の占める割合が L_i の値に影響を及ぼす一因となっていることが考えられる。また珪藻の存在が，図-5 に示したように，本海域の試料が高液性状態にある原因となっていると思われる。

一方力学試験結果を見ると，PC804 コア以外のτ_v，q_c，q_u は堆積深度，すなわち土被り圧の増加に伴って強度も増加しているのに対し，GH が存在していた PC804 コアのτ_v，q_c を見るとその傾向は見られない。この原因を視覚的にも検討していくために，写真-4 には PC804 コア（写真-4a，GH は深度 337cm 以深に存在）および奥尻島南部より採取した PC808 コア（写真-4b）の切断面観察を行ったところ，PC804 コア内には多くの空隙が見ら

れた。GH 含有試料では，間隙水中の溶存ガス濃度が他の試料に比べて高く，このため試料採取時の昇温，減圧によって溶存ガスが気化し，内部に空隙を生じたことによって強度が低下したことが考えられる。また PC804 コア内には PC808 コア内に見られる層構造が見られていない。本海域の GH 賦存地盤では海底面からガスの放出が確認されていることから，地盤下部からの水やガスの湧出によって地盤が撹乱を受けたために，層構造が乱れてその結果強度が低下した可能性も考えられる。

ここで GH を有していない海底地盤において同一深度における q_u を比較すると，奥尻島南部から採取した PC808 コア（△印）では海鷹海脚から採取した PC801（○印），PC805（□印）両コアに比べて強度が低い。深度方向における S_t の値を比較すると PC808 コアでは他の試料に比べて値が低いことから，奥尻島南部の海底地盤が，海鷹海脚の海底地盤に比べて強度が低いことが考えられる。また表 1 より，奥尻島南部は海鷹海脚に比べて水深が約 3 倍深くなっている（奥尻島南部：約 3000m，海鷹海脚：約 1000m）ことから，採取領域の水深が採取時の応力解放に影響を与え，その結果不撹乱試料の強度を低下させていることも考えられる。

次に本海域とバイカル湖堆積土の強度の比較を行うため，図-6 には w と τ_v（図-6a），q_c（図-6b）との関係を示す。τ_v，q_c ともに，GH 含有試料（▽，▲印）に関しては採取水域に関係なく τ_v，q_c ともに同様な値を示していることがわかる。これより GH 含有地盤より採取した堆積土は，採取水域に関係なく採取時の応力解放や地盤下部からの水やガスの湧出を受けて強度が低下することが考えられる。また，GH が含有していない試料の強度に関しては，日本海東縁域の海底堆積土のほうがバイカル湖の湖底堆積土に比べて高く，その値は w に依存していないことがわかった。

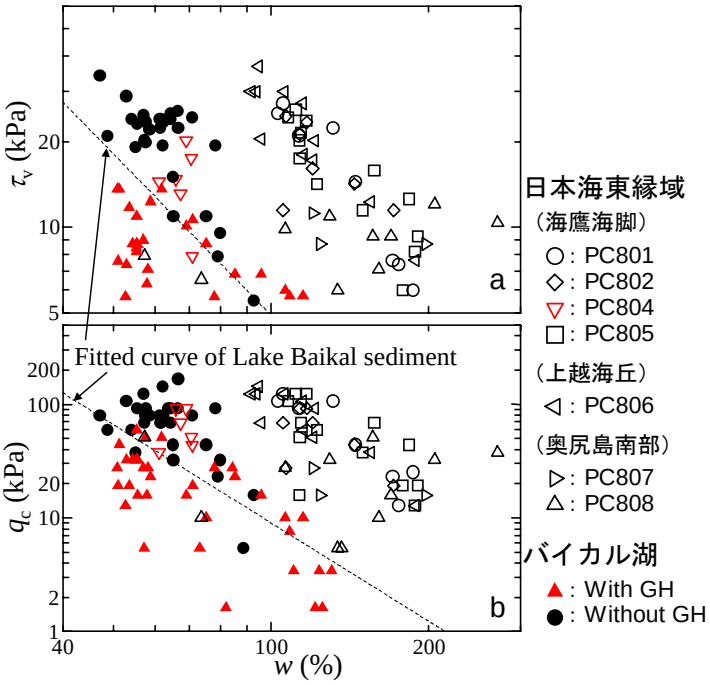

図-6　w と各強度値との関係（a：τ_v，b：q_c）

5.　結論

本研究では，日本海東縁域より採取した海底堆積土の土質特性について検討を行った。以下に得られた知見を示す。

- 採取堆積土の物理的性質においては，GH の有無による明確な違いは見られなかった。また日本海東縁域の海底堆積土は，同様に表層型 GH が賦存するバイカル湖やメキシコ湾の堆積土に比べて比較的含水比が高く，高液性状態にあることがわかった。これは日本海東縁域の海底堆積土中に多く存在している珪藻が影響しているものと思われる。
- 採取堆積土の力学試験結果から，GH が存在していた試料は他の試料に比べて強度の低下が見られた。これは試料採取時の昇温，減圧によって溶存ガスが気化し，試料内部に空隙が形成されたことによって試料に乱れが生じたことと，地盤下部からの水やガスの湧出によって地盤そのものが撹乱を受けていることが原因であると考えられる。
- GH が存在していない地盤の堆積土において，他領域の試料に比べて含水比が高く，高液性状態の試料であるにも関わらず，強度は比較的高い値が得られた。今後は，日本海東縁域から採取した海底堆積土の強度増加原因について，より詳細に検討していく必要がある。

6.　参考文献

1)Matsumoto, R., Tomaru, H. and Hailong, L. (2004): Detection and evaluation of gas hydrates in the eastern Nankai Trough by geochemical and geophysical methods, Resource geology, Vol. 54, No. 1, pp.53-67.

2)Shoji, H., Soloviev, V., Matoveeva, T., Mazurenko, L., Minami, H., Hachikubo, A., Hyakutake, K., Kaulio, V., GladyschV., Logvina, E., Obzhirov, A., Baranov, B., Khlystov, O., Biebow, N., Poort, J., Jin, Y. K. and Kim, Y. (2005): Hydrate-bearing structures in the sea of Okhotsk, EOS, American Geophysical Union, Vol.86, No.40, pp.13-18.

3)松本良，蛭田明宏，石崎理，竹内瑛一，沼波秀樹，町山栄章，青山千春（2007）：メタンプルームがメタンを表層に運ぶ：ハイパードルフィンによる現場観察，地球惑星科学関連学会合同大会，G211-010.

4)片岡沙都紀，山下聡，南尚嗣，西尾伸也，安部透，横山幸也，兵動正幸，Grachev, M（2007）：バイカル湖表層型メタンハイドレート賦存堆積土の地盤工学的性質，地盤工学ジャーナル，Vol.2，No.2，pp.95-105.

5) Yun, T. S., Narsilio, G. A. and Santamarina, J. C. (2006): Physical characterization of core samples recovered from Gulf of Mexico, Marine and Petroleum Geology, 23, pp. 893-900.

6)山中金次郎，松尾憲一（1962）:土壌硬度に関する研究（第 1 報）,日本土壌肥料科学雑誌 Vol. 33, No. 4, pp. 343-347.