清水建設(株) ○西尾伸也・杉山博一・安部 透 日大生産工 三田地利之

1. はじめに

大水深域において堆積土中のメタン湧出が活 発な場所では、海(湖)底地盤の表層にハイド レートが存在する。最近、日本近海でもその分 布が確認され、資源開発に向けた取組みに期待 が集まっている。南海トラフの海底地盤深部(深 度:100~300m)に存在するハイドレートと比 較すると、表層型ハイドレートの産状や堆積地 盤の特徴など未解明な課題が多く残されている のが現状である。筆者らは、表層型ハイドレー トが存在するバイカル湖において、重力式コア サンプラーを用いて湖底からコア試料を採取し、 堆積土や含まれるハイドレートの性状について 調査を進めている^{1),2),3)}。

ハイドレートが存在する大水深の湖底から採 取したコアサンプルでは、サンプリング時の応 力(水圧)開放による構造的な乱れやハイドレ ートの解離は不可避であり、原位置応力状態の 下で物性値を取得することが重要である。ここ では、新たに開発した大水深用 CPT プローブを 用いて湖底堆積土のコーン先端抵抗を測定した 結果について述べる。

2. バイカル湖のメタンハイドレート

バイカル湖は南北の長さ約 640km、東西の幅 約 50km、最大水深は 1,642m におよぶ世界最 深の湖である。また、その貯水量は 23,000km³、 全世界の淡水の 20%を占めており、淡水湖とし ては世界最大の容積である。地溝帯上の断層湖 であり、3,000 万年~4,000 万年前から形成され た中央シベリアのバイカル・リフト帯の中心域 に位置し、湖底堆積層の厚さは最大 9km に達す る 4.地質構造的にはアカデミシャンリッジ(湖 嶺) とセレンガデルタによって北湖盆、中央湖 盆、南湖盆に分けられ、それぞれの最大水深は 904m、1642m、1461m である。

バイカル湖は淡水湖として唯一、メタンハイ ドレートの存在が確認されている湖である。 1989年にロシア、1992年にロシア・米国共同 で実施したマルチチャンネル地震探査において 初めて、中央湖盆および南湖盆で BSR(Bottom Simulating Reflector)の存在が確認され ^{5),6)}、



図-1 バイカル湖の等深図 10)と調査サイト

1997年にロシア・米国・日本共同で行われたバ イカル湖ドリリングプロジェクト(BDP-97) 7) では、南湖盆の水深 1,428mの地点で堆積土コ アを採取し、深度 121m および 161m のタービ ダイト砂層の中に存在するメタンハイドレート を確認した。

表層型ハイドレートがバイカル湖で最初に確認されたのは 2000 年であり、南湖盆の Malenky (水深:1,330m)から重力式コアラー (長さ:4m)を用いて1m以浅の深度から採取 されたものである⁸⁾。バイカル湖の表層型ハイ ドレートは泥火山由来のものであり、泥火山に は以下の共通点が見出されている⁹⁾。

- 水深:400m~1,500mのメタンハイドレ ート安定領域にある。
- 2) BSR 面の上部に位置する。
- 活断層の近傍で地震活動度の高い場所で ある。

3. 調査サイトと大水深 CPT

2008年3月、南湖盆の Goloustnoye Flare サイトにて冬季調査を実施した。重力式コアサ

Mechanical Properties of Methane Hydrate Bearing Sediments in Lake Baikal Shin'ya NISHIO, Hirokazu SUGIYAMA, Tohru ABE and Toshiyuki MITACHI



図-2 大水深 CPT の概要

ンプラー(長さ:3m)を落下させて湖底表層の 堆積土試料を採取し、試料採取後速やかにコア を半割して、深度:100mm 毎にポータブル・ ベーンせん断試験を実施した。用いたベーンブ レードの大きさは幅:10mm、高さ:20mm で あり、これを試料中に挿入して、最大回転トル クをトルクドライバー(最大容量:5cNm およ び 20cNm の 2 種類を使用)で計測し、せん断 強さ:τvを求めた。バイカル湖の等深図¹⁰⁾と調 査サイトを図-1に示す。Goloustnoye Flare サ イトはエコーサウンダーによりメタンフレアが 確認され、活発なメタン湧出に伴いハイドレー トが存在する可能性が示唆されている。

ハイドレートが存在する大水深の湖底から採 取したコアサンプルでは、サンプリング時の応 力(水圧)開放による構造的な乱れやハイドレ ートの解離は不可避である。大水深用のコーン 貫入試験(CPT)プローブ¹¹⁾を用いて湖底堆積 層のコーン先端抵抗:qtを測定し、原位置応力 状態の下で物性値を取得した。実施した大水深 CPTの概要は図-2のとおりである。CPTプロ ーブ(直径:36mm、長さ:600mm)には、先 端抵抗測定用のロードセル(20kN),計測回路、 データロガー、電池が内蔵されており、最速: 200Hzで2時間40分の連続データ取得・保存 が可能である。4m ロッド先端にこのプローブ を取付け、最上部の錘重量で湖底に貫入させた。 CPT プローブの水深は船上のエコーサウンダ ーで計測しながら、0.5m/s で湖底に貫入、 0.2m/sで引上げを同一地点で3回繰返した。

4. 測定結果と考察

約 500m の測線上に 3 調査地点 (St.8w、 St.8wR、St.8wH)を設け、測線から 300m 西 に離れたリファレンス地点 (St.8wF) と併せ、 合計 4 地点で調査を実施した。測線上の 3 地点 全てで、重力式コアサンプラーで採取した堆積 土試料中にハイドレートが存在すること、また、 その分布深度は 1m 以浅であることを確認した。

図-3 は半割したコアで測定した、含水比およ び τ_v の深度分布を示したものである。深度 50cm 以浅の湖底表層部は高含水比の軟弱層であるが、 50cm 以深では深度方向に含水比の変化は小さ く、60%程度の値である。 τ_v の値は深度と共に 増加し、深度 250cm で約 20kPa となる。

大水深 CPT の測定結果を図-4 に示す。CPT プローブ落下地点を同一に制御することは難し いため、3回の測定データにバラツキが生じる 場合があるが、データの再現性は概ね確保され ている。測線上の3地点全てで、リファレンス 地点とは大きく異なる高い qt が得られ、ハイド レート層の存在が示唆された。 qt の値は







図-4 大水深 CPT 測定結果

2,000kPa を超えており、他のサイト¹¹⁾に比べ ハイドレートが堆積土中に多量に含有している ことが期待できる。しかし、その qt の最大値は 異なり、地盤中のハイドレート存在状態の影響 を受けていると考えられる。なお、qt が急増し た後、低下しない場合もあるが、これは CPT プ ローブがハイドレート層内で停止し貫通できな かった事が原因であろう。堆積土の qt の値は最 大 300kPa 程度であり、図・3 に示したコア試料 のτv の 15 倍程度の値が得られた。

5. 結論

重力式コアサンプラーを用いて湖底からコア 試料を採取し、ポータブル・ベーンせん断試験 により湖底堆積土の τ_v を求めると共に、新たに 開発した大水深用 CPT プローブを用いて湖底 堆積層の q_t を測定した。ハイドレートと推定さ れる q_t が急増する地層が確認でき、ハイドレー トの存在状態が q_t に影響を与えること、堆積土 については、コア試料のポータブル・ベーン試 験で求めた τ_v の15倍程度の q_t が得られること がわかった。大水深用 CPT により堆積土中のハ イドレート地積層の調査法としての大水深 用 CPT の有効性が確認できた。

(謝辞)本研究は独立行政法人・科学技術振興 機構の平成 18 年度革新技術開発研究事業の補 助を受けて実施したものである。ここに記して 深く謝意を表します。

(参考文献)

- 西尾伸也・荻迫栄治・南 尚嗣・八久保晶 弘・山下 聡・片岡沙都紀・Krylov, Alexey・横山幸也・兵動正幸・Khlystov, Oleg・Zemskaya, Tamara:バイカル湖に おける表層型メタンハイドレート、土木学 会第 61 回年次学術講演会概要集, (2006), pp.341-342.
- 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・Mikhail Grachev:バイカル湖表層型メタンハイド レート賦存地盤の調査と堆積土の物理的 性質、第42回地盤工学研究発表会講演集, (2007), pp.339-340.
- 西尾伸也・安部透・荻迫栄治・山下聡・兵 動正幸・Mikhail Grachev:バイカル湖に おける表層型メタンハイドレート堆積地 盤の力学的性質、第42回地盤工学研究発 表会講演集, (2007), pp.343-344.

- ten Brink, U.S. and Taylor, M.H. :Crustal structure of central Lake Baikal: Insights into intracontinental rifting, Journal of Geophysical Research, Vol.107, No.B7, (2002), pp.ETG2-1-15.
- Hutchinson, D.R., Golmshtok, A.J., Zonenshain, L.P., Moore, T.C., Scholz, C.A. and Klitgord, K.D. : Depositional and tectonic framework of the rift basins of Lake Baikal from multichannel seismic data, Geology, Vol.20, No.7, (1992), pp.589-592.
- Golmshtok, A.J., Duchkov, A.D., Hutchinson, D.R. and Khanukayev, S.B.: Estimation of heat flow on Baikal from seismic data on the lower boundary of the gas hydrate layer, Russian Geology and Geophysics, Vol.38, No.10, (1997), pp.1714-1727.
- 7) 井上源喜・柏谷健二・箕浦幸治編:「地球 環境変動の科学:バイカル湖ドリリングプ ロジェクト」,古今書院,(1998), pp.196.
- Klerkx, J., Zemskaya, T.I., Matveeva, 8) T.V., Khlystov, O.M., Grachev, M.A., Namsaraev, B.B., Dagurova, O.P., Golobokova, L.P., Vorobyova, S.S., Pogodaeva, Т.Р., Granin, N.G., Kalmychkov, G.V., Ponomarchuk, V.A., Shoji, H., Mazurenko, L.L., Kaulio, V.V., Solovyov, V.A.: Methane hydrates in the surface layer of deep sediments of Lake Baikal, Dokl. RAN, Vol.393, No.6, (2003), pp.822-826.
- Shlystov O.M: New fidings of gas hydrates in the Baikal Bottom sediments, Russian Geology and Geophysics, Vol.47, No.8, (2006), pp.979-981.
- De Batist, M., Canals, M., Sherstyankin,
 P., Alekseev, S. and the INTAS Project 99-1669 Team: A new bathymetric map of Lake Baikal. Open-File Report on CD-ROM., (2002)
- 西尾伸也・安部 透・山下 聡・Oleg Khlystov:バイカル湖メタンハイドレート 堆積層における CPT、第 43 回地盤工学研 究発表会講演集, (2008), pp.249-250.