

図-1 Well-Aのキャリパーと比抵抗

リパーデータ、破線が比抵抗データである。キャリパーは坑井の直径であり、坑壁崩壊を起こしているような場合には、直径が大きくなったり、値が激しく変動する。つまり、堆積層の力学強度の指標として利用できる。図-1のキャリパーは、極めて安定している区間と、変動している区間、特に安定区間の下位区間、とに明瞭に分けられる。また、メタンハイドレート賦存層の特徴として、比抵抗値がメタンハイドレートを含まない周辺の堆積層に比較して大きいことが挙げられる。図中には、比抵抗値の大きな区間が、キャリパーデータの安定区間と一致するように、明瞭に出現している。この区間（海面下約820mから約920mの区間）を、図中にメタンハイドレート賦存区間として示した。

メタンハイドレート賦存層の特徴として、弾性波速度が大きくなることが挙げられる。純粋メタンハイドレートのP波速度は、3,000m/sを超えることが知られている。図-2に、図-1と同じくキャリパーデータと、音波検層にて解析された弾性波速度（P波速度、S波速度）を示す。各深度における弾性波速度からも、メタンハイドレート賦存区間が明瞭に判定できる。

3. 堆積層の力学的強度の評価手法

(1) 凍土の力学特性

凍土地帯の堆積層の力学特性はひずみ速度に依存し、静的応力下では、クリープ現象を生じることが知られている。また、凍土中の氷や鉱物（マトリクス）の再配列が生じた場合には、力学特性が変化するであろうことが推察される。本研究では、メタンハイドレート賦存層の力学特性が、凍土と定性的に類似しているとして、強度評価を行った。

(2) モール・クーロンの破壊理論

岩盤・土質の力学特性は、モール・クーロンの破壊理論で記述でき、力学強度は、摩擦角と粘着力の2つのパラメータで定義される。前述した砂質凍土の摩擦角は、砂岩・頁岩などの組成鉱物と孔隙率に依存することが知られている。また、物理実験に使用される人工ハイドレートであるTHFハイドレートをを用いた実験結果¹⁾から、孔隙内におけるTHFハイ

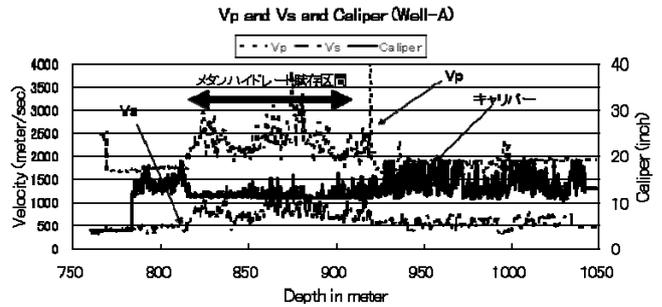


図-2 Well-Aのキャリパーと弾性波速度

ドレートの有無は、摩擦角へ影響を与えないことが知られている。このことは、メタンハイドレート賦存層の力学強度は、粘着力に大きく反映することを意味する。

(3) 粘着力と弾性パラメータ

日本周辺海域の堆積層におけるコアの物性や強度測定²⁾から、動的ヤング率（ E_D ）と粘着力（ S_0 ）の関係が以下の式（式1）となることが経験的に知られている^{2),5)}。

$$S_0 = 1.5 \times 10^{-3} E_D \quad (1)$$

また、動的ヤング率は、弾性波速度（P波速度（ V_P ）、S波速度（ V_S ））と密度（ ρ ）と以下の式2のように関係づけられる。

$$E_D = \rho V_S^2 \frac{3 \left(\frac{V_P}{V_S} \right)^2 - 4}{\left(\frac{V_P}{V_S} \right)^2 - 1} \quad (2)$$

上記の式に含まれる、弾性波速度や密度は、いずれも坑井検層データから評価できる。

4. 力学強度評価

本研究では、南海トラフ海域の坑井Well-Aで取得した検層データから求めた弾性波速度と密度を上記の式を適用して粘着力を計算した。その結果を、図-3に示す。図中には、キャリパーデータを太実線で示し、計算から求めた粘着力を細実線で示した。メタンハイドレート賦存層、およびその上位区間、下位区間の粘着力に対して、それぞれ回帰曲線（破線）を計算し、オーバーレイした。さらに、上位区間の回帰曲線から、メタンハイドレート賦存区間を外挿して表示した。図からも、メタンハイドレート賦存層においては、粘着力が変動はするものの、明

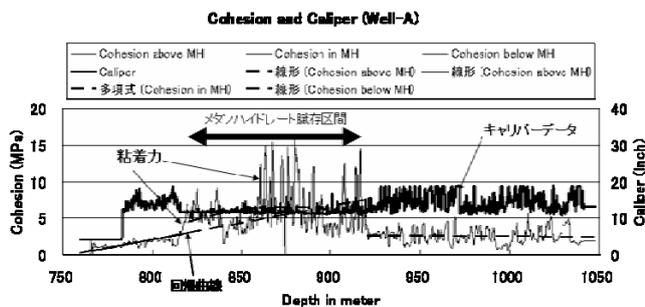


図-3 Well-Aの検層データから評価した粘着力 (太実線はキャリパー, 細実線は粘着力, 破線で各区間のデータから計算した回帰曲線)

らかに上位および下位区間のそれより大きな値をもち、堆積層の力学強度が大きなことを示していることが判る。

5. コアの力学強度測定結果

(1) コアおよびコア測定実験の概要

Well-Aの、海底面下120-160mの深度区間から、PTCS (Pressure Temperature Core Sampler) にて、原位置の状況を維持して採取したコアサンプルの測定実験を三軸圧縮試験装置を使用して行った。装置の規格は、最大封圧25MPa, 最大軸圧50MPa, 最大背圧25MPaである。回収コアをコア軸と平行に直径50mm, 長さ100mmに成形した。実験時の応力セッティングは、原位置条件に近づけるために、K0条件、間隙水圧として与える背圧を採取深度に一致させ、温度は5°Cを維持した。変形速度は0.1%/min.とした。

コアを採取した深度区間はメタンハイドレート賦存層であり、回収コアには飽和率の差はあれ、メタンハイドレートを含まれている。賦存層下位のメタンハイドレートの賦存しない堆積層のコアを模擬するためには、実験前にハイドレートを分解させた。測定は、条件を変えた5つのコアに対して、行った。

1MPaの封圧下で飽和率の異なる2つのコア(2.7%と43%)とハイドレート分解後の2つのコア、また、3MPaの封圧下で分解後の1つのコアの強度を測定した。

(2) 実験結果

上記の実験において、各コア資料が最大差応力を発揮した時のモール円を描かせた(図-4)。図中、破線で示した2つのモール円が、ハイドレート分解後の2つのコアの強度を示している(注: 1MPaの封圧で測定した2つのハイドレート分解後のコアのモール円はほとんど同じ形状のため重なっている)。また、大小2つの実線のモール円は、それぞれ、小円が飽和率2.7%のコア、大円が飽和率43%のコアの測定結果である。粘着力は、分解後コアの測定結果から求めた共通接線の切片の値として求まる。既述

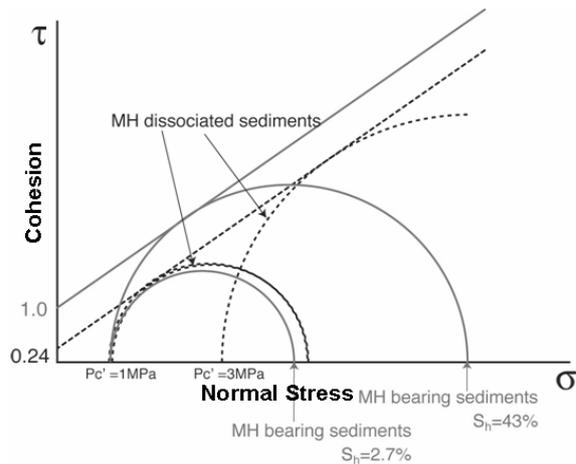


図-4 コアの強度測定結果 (モール円)

したように、堆積層の力学強度指標(摩擦角・粘着力)のうち、摩擦角はハイドレートの有無に影響されないことが予測されている。このことより、分解コアのモール円から求めた接線と同じ傾斜をもつ接線を2つのハイドレート含有コアのモール円に適用した。この結果、実線小円で示される低飽和率コアの粘着力は、分解後コア(封圧1MPa)とほぼ同一の粘着力を示している。一方、実線大円で示される高飽和率コアの粘着力は、分解コア(1MPa)および低飽和率コアの粘着力の約4倍を示している。

6. 検討

検層データから評価された、メタンハイドレートの賦存層および下位堆積層の力学強度は、近傍の坑井で採取されたコアサンプルの原位置条件下における強度測定結果と調和的な結果を示している。コア測定実験結果は、メタンハイドレートが孔隙内に高飽和率で存在している場合、堆積層は力学的に強化されるが、低飽和率の場合、メタンハイドレートが強度の強化には寄与しないことを示している。検層データによる強度評価において、メタンハイドレート賦存層内において変動する粘着力の低い部分がある。これまでの研究においても、南海トラフ海域の場合、メタンハイドレート賦存層は、タービダイト砂泥互層の砂層部分に選択的にメタンハイドレートが賦存していることが示されている³⁾。また、南海トラフ海域の坑井データを参考にした弾性波速度分布に関する研究⁴⁾から、メタンハイドレート賦存層内においても高飽和率層、低飽和率層が存在することが分かっており、メタンハイドレート賦存層内で、変動する粘着力のうち、低粘着力部分が、メタンハイドレートの低飽和率部分に相当するものと考えられる。

7. 結論

メタンハイドレートが賦存する堆積層が受けた履歴については、解明されていないことが多くあり、また、メタンハイドレート賦存層直下の堆積層の弾性波速度の低下についても、微量のガスの存在などの理由が論じられている。堆積によるメタンハイドレート賦存層の沈降に起因するハイドレートの分解、その後の、例えば、海水準変動などの様々な理由によるメタンハイドレート安定領域下面深度の変化により、現在の安定層下位の堆積層は、過去に、ハイドレートの分解（あるいは、生成分解の繰り返し）を受けている可能性がある。本研究では、メタンハイドレート賦存層下位堆積層が、上記のような分解履歴をもつものと仮定して、その力学強度を評価した。その結果、研究に際して設けた上記の作業仮定をよく説明する結果を得た。Kleinberg and Dai (2005) によるMallik（カナダマッケンジーデルタ陸域）での検層データを用いた同様の研究⁵⁾でも本研究と調和的な結果を得ている。

仮定の妥当性の検討や、他の坑井の検層データによる評価やコア実験を、更に進めることで、当該海域における堆積層の力学評価がより確実になると共に、力学評価技術が、今後の開発時におけるリスクモニタリング技術への適用も可能となると考えられる。更に、メタンハイドレート賦存堆積層の履歴を含めた解明にも有力な情報を与えるものと思われる。

謝辞： 本研究は、メタンハイドレート資源開発（MH21）で実施された研究の成果の一部である。発表の許可いただいた経済産業省、MH21コンソー

シアムにたいして深謝する。また、研究に際して、基礎試錐「東海沖～熊野灘」のデータの使用および公表の許諾を経済産業省からいただいた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) Santamarina, J.C., Francisca, F., Yun, T-S., Lee, J-Y., Martin, A.L. and Ruppert, C.: Mechanical thermal, and electrical properties of hydrate-bearing sediments, AAPG Hedberg Research Conference, Vancouver, 2004.
- 2) Hoshino, K., Kato, H., Tanaka, S., Omata, A., Moriguchi, Y., Hattori, M. and Imamura, T.: Handbook of Mechanical Properties of the Japanese Rocks under High Confining Pressure, Geological Survey of Japan, AIST, 2001.
- 3) 高野修, 西村瑞恵, 藤井哲哉, 鈴木清史, 林雅雄, 小林稔明: 坑井および震探シーケンス層序解析による東海沖三次元震探エリアの更新統海底扇状地システムとMH賦存砂岩層分布の検討, 日本地質学会第112年学術大会講演要旨, P.25, 2005.
- 4) Hato, M., Minami, Y., Inamori, T. and Matsuoka, T.: Characterization of Physical Properties of Methane Hydrate-bearing Zone, Proceedings of the 10th International Symposium on Recent Advances in Exploration Geophysics, P.31-34., 2006.
- 5) Kleinberg, R.L. and Dai, J.: Estimation of the Mechanical Properties of Natural Gas Hydrate Deposits from Petrophysical Measurements, OTC Abstract 17205, 2005.

Estimation Of Geomechanical Property Of Methane Hydrate-bearing Zone

Masami HATO, Hiroyuki IKEDA, Takao INAMORI, Kiyofumi SUZUKI, Kyosuke ONISHI
and Toshifumi MATSUOKA

. For development and production of the methane hydrate (called 'hydrate'), the geomechanical property of the hydrate-bearing sediment should be known.. In the study, based on the Coulomb-Mohr failure criterion we have tried to calculate the mechanical strength of the hydrate-bearing sediment by using well-logging data acquired in the Nankai Trough. The result shows that the sediment below the methane hydrate-bearing layer is apparently mechanically weaker than the hydrate-bearing layer. This result is also consistent with the result from strength measurement of the core samples recovered from the neighbour well. These results will be helpful for both understanding the geology of hydrate-bearing sediment and geohazard assessment for drilling and production.