

## 深層型・表層型メタンハイドレート賦存地盤の強度特性

日本大学大学院 学生会員 ○高橋 俊博  
 日本大学大学院 学生会員 豊嶋 祐太  
 日本大学生産工学部 フェロー会員 三田地 利之  
 清水建設技術研究所 正会員 西尾 伸也

### 1. はじめに

海底表層部、海底下深部地盤に存在するメタンハイドレート(MH)を、表層型・深層型と呼ぶことにする。日本周辺海域には両タイプの豊富なMHの存在が明らかになっており、それを安全かつ経済的に産出する技術が確立され、商業化が実現できれば、新たな国産エネルギー資源になるものと期待されている。経済産業省が策定した「我が国におけるMH開発計画」のフェーズ2(2009~2015年度)の中で、MH層の商業的開発のための技術課題の抽出を行うことを目的に<sup>1)</sup>、2012年2月から深層型MHの海洋産出試験が始まっている。

一方、表層型MHについては、ロシアバイカル湖底浅層部から日本の研究グループがガスを解離・回収する実験に成功した<sup>2)</sup>。深層型・表層型いずれについても、MHガス回収技術確立に向けた諸課題のある中で、MHの生産開発に伴う海(湖)底地盤の強度の減少や地盤の変形の可能性についての検討のために、MH賦存地盤の強度・変形特性を把握する必要がある。

本研究は2006年にバイカル湖南部Malenkyの湖底表層部から採取した<sup>3)</sup>粘性土(以下、Malenky試料)、および2004年に第二渥美海丘で採取された粘性土(以下、Atsumi試料)の予圧密再構成試料を用いた実験結果の報告で、貴重な試料を用いることから、少量の試料で強度パラメータを得ることのできる一面せん断試験を採用した。Atsumi試料については、特にピーク状態から残留状態へのせん断強度の変化特性を調べることを目的に、繰返し一面せん断試験を実施した。

### 2. 試料および試験方法

(1)Malenky試料:室内試験用として保存されていた試料を50kN/m<sup>2</sup>で予圧密を行って再構成した。

(2)Atsumi試料:高知大学海洋コア総合研究センター保管のコア試料から採取した試料を混合してスラリー状態にした後、140kN/m<sup>2</sup>で予圧密して再構成した。

両試料の採取深度、物理試験結果等を表-1に示す。なお、コア試料についての物理的性質の特徴などにつ

いては文献<sup>3),4)</sup>に詳しい。

表-1 試料の物理的特性

試料	水深 (m)	深度 bsf (m)	自然含水比 w (%)	土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	液性限界 $w_L$ (%)	塑性指数 $I_P$
Malenky	1390	1.56~2.56	53.3	2.702	62.5	38
Atsumi	1010	65	43.4	2.719	52.9	25.4

(3)試験方法:圧密定体積(CV)および圧密定圧(CP)一面せん断試験を実施した。Atsumi試料については、通常の試験に加えて、定圧条件での繰返し一面せん断(以下、RDBS)試験も実施した(試験条件は表-2参照)。

表-2 試験条件

試料	供試体寸法(mm)		せん断変位(mm)	せん断変位速度(mm/min)		圧密応力(kN/m <sup>2</sup> )		
	直径	高さ		CP	CV			
Malenky	60	20	7	0.02	0.2	100	200	300
				初回・最終回	中間			
Atsumi	50	20	5	0.02	0.2	300	600	900

### 3. 試験結果と考察

図-1はMalenky試料についてのCP、CV試験結果のせん断応力-せん断変位関係(図-(a))、垂直応力(変位)-せん断変位関係(図-(b))を示したものである。

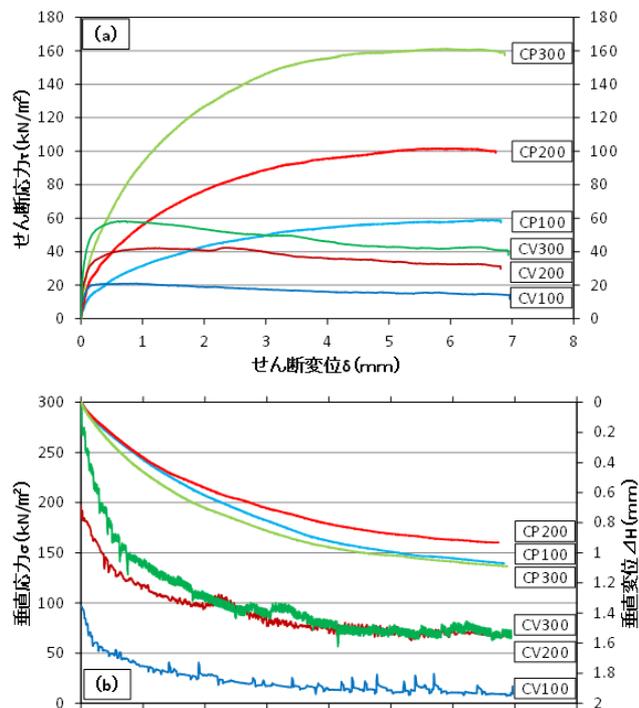


図-1 CP, CV試験におけるせん断挙動 (Malenky)

キーワード メタンハイドレート・一面せん断試験・強度パラメータ

連絡先 千葉県習志野市泉町 1-2-1, 日本大学生産工学部 土木工学科 TEL 047-474-2422

図-(b)でCV試験における垂直応力の値に細かい変動がみられるが、定体積条件を満たすための垂直変位の制御は±0.002mmの変動範囲で行われており、JGS規準(±0.01mm)を十分に満足している。

図-2はCP, CV試験の応力経路と両試験から得られるせん断抵抗角を示したものである。CV条件の各試験のせん断応力の最大値と圧密応力の関係から求められる強度増加率は $Su/p=0.201$ である。Atsumi試料についても図-1, 図-2と同様のせん断挙動がみられ、CV試験結果から $\phi'=32.5^\circ$ ,  $Su/p=0.233$ が得られている。

図-3はAtsumi試料についてのRDBS試験中のせん断応力-せん断変位関係の一例として垂直応力300 kN/m<sup>2</sup>の実験結果を示したもので、繰返しせん断中の往路・復路のせん断変位を加算して累積せん断変位として表現したものである。せん断応力の最大値は往路に比べて復路の方が大きく、往路のせん断応力のピークは2周目以降に発生している。それ以降、往路・復路ともにせん断応力の値がほぼ一定値に収束している(残留状態)。また、ピーク状態から残留状態への強度低下が15%程度と比較的小さい。これらの傾向は600, 900 kN/m<sup>2</sup>の試験結果にも共通に言える。

図-4はピークおよび残留状態の垂直応力-せん断応力関係を示したもので、各垂直応力での繰返しせん断中の往路・復路それぞれのせん断応力の最大値 $\tau_{max}$ , 最小値 $\tau_{min}$ をプロットしている。これらの値に対応するせん断抵抗角をそれぞれ $\phi_{dmax}$ ,  $\phi_{dmin}$ とすると、往路の $\phi_{dmax}=35.2^\circ$ ,  $\phi_{dmin}=33.6^\circ$ に対し、復路の $\phi_{dmax}=38.5^\circ$ ,  $\phi_{dmin}=37.4^\circ$ となり、復路の方が最大値・最小値ともに大きい。いずれにしてもピーク強度と残留強度との差が小さいことが分かる。

Atsumi試料は粘土分含有率(55%)が高いが、そのわりには $\phi_{dmax}(=35\sim38^\circ)$ が大きく、また $\phi_{dmin}$ への低下が小さいのは、当該地盤が石灰質殻を有する炭酸塩堆積物を多く含有することにより活性度が低いとの想定<sup>4)</sup>と符合する。ちなみに、再構成試料による圧密非排水三軸圧縮試験結果<sup>5)</sup>の有効せん断抵抗角 $\phi'=37.3^\circ$ であり、本実験のCP試験の $\phi_{dmax}$ と近似している。

4. おわりに

渥美海丘試料についてのRDBS試験から、既往の圧密非排水三軸圧縮試験結果と近似したせん断抵抗角が得られた。また、ピーク状態から残留状態のせん断抵抗角への低下が小さいことが示された。今後、不攪乱試料についての実験による確認が必要と考えられる。

(謝辞) 本研究は経済産業省「メタンハイドレート開発促進事業」に係る委託研究の一部として行ったもの

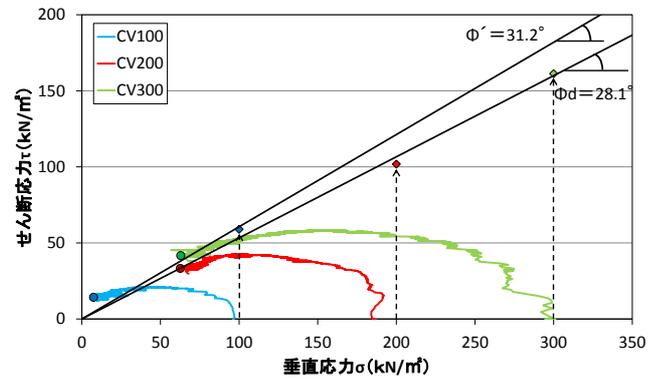


図-2 CP, CV試験の応力経路 (Malenky)

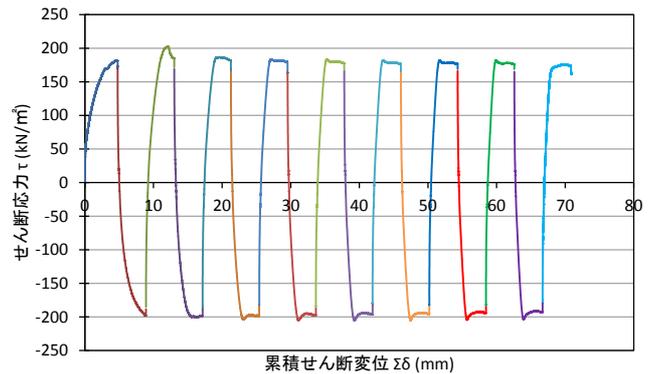


図-3 RDBSのτ-Σδ関係 (σ=300kN/m<sup>2</sup>, Atsumi)

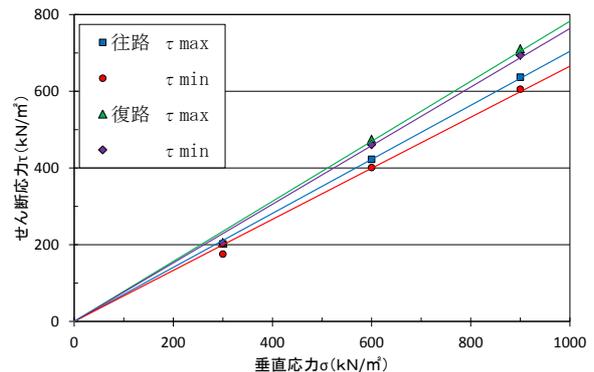


図-4 ピーク・残留状態でのσ-τ関係 (Atsumi)

である。末筆ながらここに記して、メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアムに謝意を表します。

(参考文献) 1)メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム:フェーズ2実行計画, <http://www.mh21japan.gr.jp/>  
 2)杉山, 西尾 他: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. 3)西尾, 安部 他: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, pp.343-344, 2007. 4)西尾, 荻迫 他:東部南海トラフ海底地盤から採取した試料の物理的性質,第47回地盤工学研究発表会講演集, pp.249-250, 2012. 5)西尾, 荻迫 他:東部南海トラフ海底地盤から採取した試料の力学的性質,第47回地盤工学研究発表会講演集, pp.245-246, 2012.