

## 第二渥美海丘から採取された海底堆積土コア試料の強度特性 — 繰返し一面せん断試験による検討 —

日大生産工(院) ○豊嶋 祐太  
日大生産工 三田地 利之  
清水建設 技術研究所 西尾 伸也

### 1 はじめに

日本近海には豊富なメタンハイドレート(以下MH)が存在していることが明らかになっており、新たな国産エネルギー資源としての実用化に向け、安定的で安全かつ経済的な産出技術の確立が進められている。MHの安定的な回収技術確立には、賦存地盤の強度の減少や変形の可能性についての検討が必要であるため、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、2011年2月に第二渥美海丘でサンプリング(AT1-GT1 坑井)されたコア試料を用いて、ピーク状態から残留状態への強度の変化特性を調べることを目的に実施した、繰返し一面せん断試験結果の報告である。

### 2. 試験装置

試験には、繰返しせん断試験用に新規に開発した一面試験せん断試験装置を用いた。図-1に試験装置の概要を示す。本装置は、せん断箱、垂直・せん断荷重載荷装置、データ収集システム、PC、コントローラー、各種測定機器から構成される。垂直変位計・垂直荷重測定用ロードセルの値を動ひずみ測定器(DPM)で読み取り、コントローラーで垂直荷重およびせん断荷重を制御することにより、単調および繰返し一面せん断試験をコンピューター自動制御の下で行うことができる。

小型の試験装置ながら、高い垂直応力を発生可能にするために、せん断箱は図-2のような構造になっており、供試体の直径を目的に応じて変更(60mm, 50mm, 35mm)できるように、

せん断プレートを着脱可能としている。設定可能な垂直応力は60mm供試体で700 kN/m<sup>2</sup>、35mm供試体で2000 kN/m<sup>2</sup>である。繰返し載荷時の試験条件は、変位速度(0.001~2mm/min)、せん断変位(0.01~10.00mm)、繰返し回数(1~3000)の範囲で任意の組合せで設定でき、自動で両振りまたは片振りの繰返し載荷ができる。また、せん断面からの水漏れと試料漏れを防ぐために下箱のせん断プレートにOリングを取り付けている。せん断時の上・下せん断プレート間のギャップは0.3mmに設定(この時、Oリングの上面と上せん断プレートの下面が接した状態にある)している。

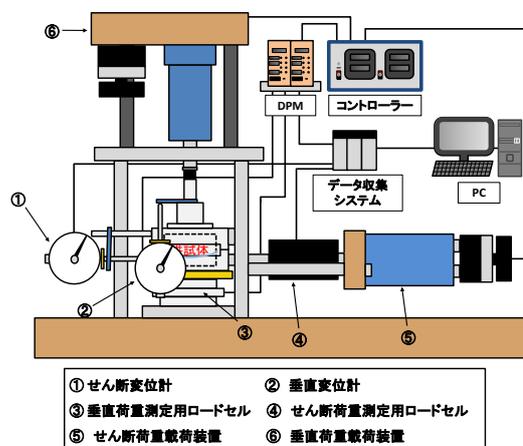


図-1 一面せん断試験装置

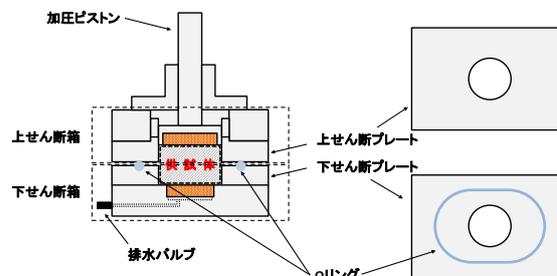


図-2 せん断箱

Strength Properties of Sediment Core Samples Recovered from Daini Atsumi Knoll

— Examination By Reversal Direct Box Shear Test —

Yuta TOYOSHIMA, Toshiyuki MITACHI and Shin'ya NISHIO

### 3. 試料および試験方法

試料は、3深度(海底面下12.5・31.3・62.9m)で採取された不攪乱状態のコア試料(以下, U試料), および実験後の試料を練返し再構成したもの(以下, R試料)を使用した. 試料の採取深度, 物理試験結果等を表-1に示す. なお, コア試料の物理的性質の特徴などについては文献1)に詳しい.

U試料について, 定体積および定圧条件での繰返し一面せん断(以下, RCV-U, RCP-U)試験を行った. R試料については単調载荷のCV, CP試験(以下, CV-R, CP-R)と, 定圧条件での繰返し一面せん断(以下, RCP-R)を行った. 試験条件は表-2に示す. なお, RCP-Rについては圧密応力100kN/m<sup>2</sup>とし, せん断時の試験条件は表-2のU試料と同じに設定した. RCP-R以外の試料の圧密応力は, それぞれの試料の採取深度に対応する有効土被り応力をもとに設定し, 圧密の打切りは3t法によった. RCP試験のせん断時の変位速度は最初の1往復と最終の1往復のせん断過程では0.02mm/minに設定し, 中間のせん断過程では0.2mm/minとした. なお, このように繰返しせん断中にせん断速度を変化させても残留強度の測定値にほとんど影響がないことは既往の研究で確認されている<sup>2)</sup>.

### 4. 試験結果と考察

#### 4.1 CVおよびCP試験結果

繰返しせん断試験(RCV, RCP)の最初の6mmまでのせん断過程は単調载荷の試験(CV, CP)と事実上同じであるので, 本節ではCV, CP試験として記述する.

図-3はU試料についてのCV, CP試験の応力経路と両試験での $\tau_{max}$ に対応するせん断抵抗角を示したもので, CV, CP試験結果からそれぞれ $\phi' = 35.5^\circ$ ,  $\phi_d = 32.7^\circ$ が得られた. なお, 本試験に用いたU試料は過圧密状態にあり<sup>3)</sup>, 深度とともにOCRが変化するが, 図-3では深度の異なる試料についての平均的な値として $\phi'$ または

表-1 試料の物理的特性

試料No.	AT1-GT1	土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.684
水深 (m)	997	シルト分 (%)	46.2
深度 bsf (m)	12.5~62.9	粘土分 (%)	50.7
自然含水比 $w$ (%)	35.3	液性限界 $w_L$ (%)	54.9
最大粒径 (mm)	0.425	塑性指数 $I_P$	28.3

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	RCV	RCP	CV	CP	
U	60	20	6	0.2	0.02	0.2-0.02	99.4・244.1・493.9
	60	20	6	0.2	0.02		
R	60	20	6	0.2	0.02		100・200
	60	20	6	0.2	0.02		

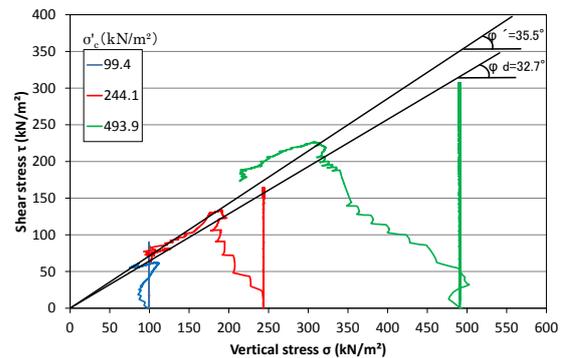


図-3 U試料のCV, CP試験の応力経路

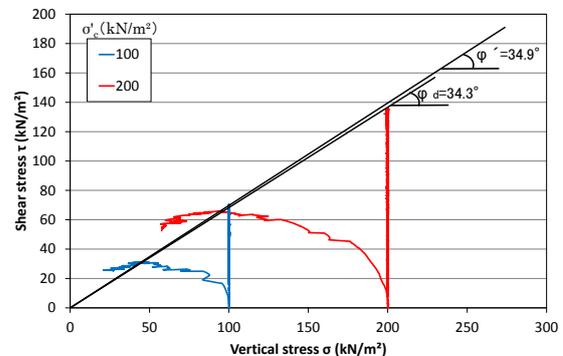


図-4 R試料のCV, CP試験の応力経路

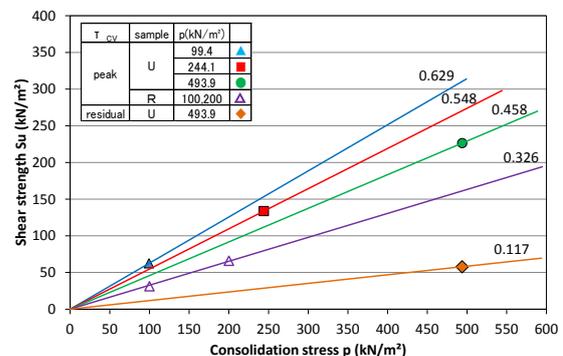


図-5 強度増加率

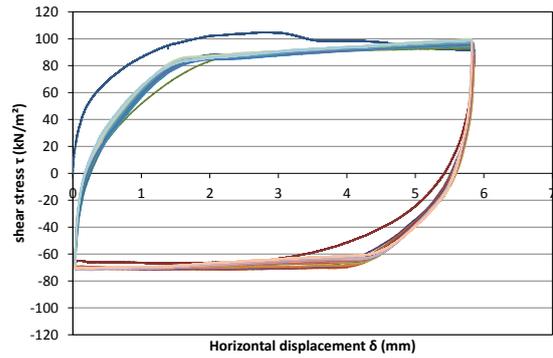
$\phi_a$ を求めている。ちなみに、AT1-GT1の深度20m~64mから採取された試料についての圧密非排水(CU)三軸圧縮試験結果から、最大応力比 $(q/p)_{max}$ ( $q$ :主応力差,  $p$ :有効平均主応力)の値は深度とともに低下し、1.73~1.65の値( $\phi'$ に換算すると、 $\phi' = 42.2 \sim 40.3^\circ$ )が報告されている<sup>3)</sup>。

R試料についての応力経路を示したのが、**図-4**で、この図から $\phi' = 34.9^\circ$   $\phi_a = 34.3^\circ$ が得られる。

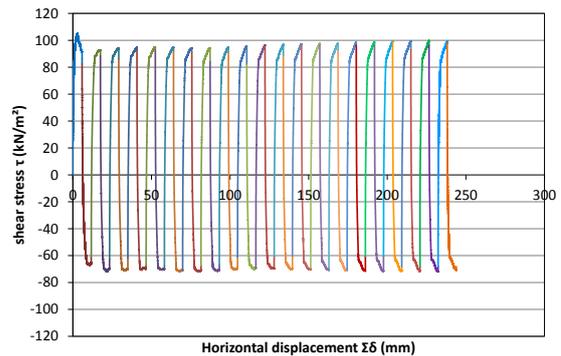
**図-3**、**図-4**のCV試験の $\tau$ の最大値(非排水せん断強さ $S_u$ )と圧密応力 $p$ (鉛直圧密応力 $\sigma$ )、およびRCV-U試験の垂直応力 $493.9 \text{ kN/m}^2$ の残留状態での $S_u$ (後述の**図-11**参照)と圧密応力 $p$ の関係を**図-5**に示す。U試料のピーク強度については、試料が過圧密状態にあることから、深度毎に $S_u/p$ 値を求めると(12.5m:0.629, 31.3m:0.548, 62.9m:0.458)となる。この値は、CU三軸圧縮試験結果による値よりもかなり低い。これは、U試料のCV、CP試験結果の応力経路の違いによるものであり、本実験結果ではせん断抵抗 $\tau$ に明瞭なピークが現れているのに対し、CU三軸圧縮試験結果では15%ひずみまで主応力差が増大し続けている。ちなみに**図-5**から求められるR試料の $S_u/p = 0.326$ で、この値も三軸圧縮試験結果<sup>1)</sup>の $S_u/p = 0.38$ より小さい。また、RCV-U試験の残留状態での $S_u/p = 0.117$ であり、ピーク状態から大きく低下するのがわかる。

#### 4.2 RCPおよびRCV試験結果

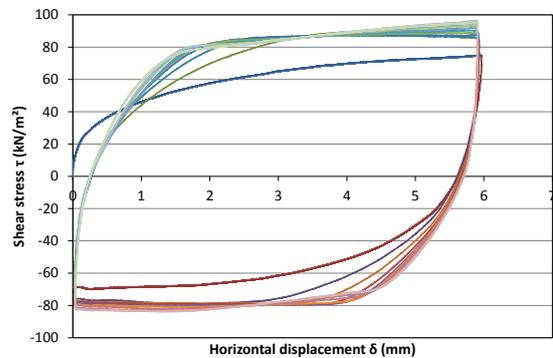
U試料のRCP-U試験中のせん断応力 - せん断変位の関係の一例として垂直応力 $99.4 \text{ kN/m}^2$ の実験結果を**図-6**に示す。なお**図-7**は繰返しせん断中の往路・復路のせん断変位を加算して累積せん断変位 $\Sigma \delta$ として表現したものである。往路の変位2.8mm付近でせん断応力 $\tau$ の最大値を示し、その後 $\tau$ は次第に減少してほぼ一定値に収束している(残留状態)。また、ピーク状態から残留状態への強度低下が12%程度と比較的小さい。



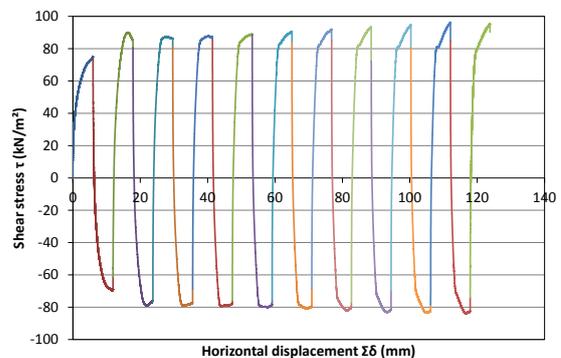
**図-6** U試料のRCP試験中せん断挙動



**図-7** U試料のRCP試験中の $\tau - \Sigma \delta$



**図-8** R試料のRCP試験中のせん断挙動



**図-9** R試料のRCP試験中の $\tau - \Sigma \delta$

図-8はR試料のRCP-R試験中のせん断応力  $\tau$  - せん断変位  $\delta$  関係であり、またその試験中のせん断応力  $\tau$  - 累積せん断変位  $\Sigma \delta$  の関係を図-9に示す。こちらはピークが2周目以降に発生し、次第に一定値に収束している。残留強度はピーク強度とほとんど変わらない。ちなみに最初の6mmまでのせん断過程での  $\tau_{max}$  に対応するせん断抵抗角  $\phi_d=36.9^\circ$  である。

図-10はU試料のRCV-U試験中のせん断応力  $\tau$  - せん断変位  $\delta$  の関係の一例として圧密応力  $493.9\text{kN/m}^2$  の実験結果を示したものであり、またその試験中のせん断応力 - 累積せん断変位の関係を図-11に示す。

ピーク状態から残留状態への強度低下は約74%であり、非排水せん断強度が大きく低下することがわかる。

## 5. 結論

2011年2月に第二渥美海丘で採取されたコア試料を用いて繰返し一面せん断試験を行った結果、不攪乱試料のRCP試験では、ピーク状態から残留状態への強度低下が12%程度と比較的小さいことが示された。一方、RCV試験ではピークから残留状態への強度低下は約74%であり、非排水条件の繰返し载荷によってせん断強度が大きく低下することが示された。

(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JOGMECからの委託研究の一部として行ったものである。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。また、実験にあたっては、日本大学生産工学部学生、川田真央君ならびに浅見匡俊君の協力を得た。記して両君に謝意を表します。

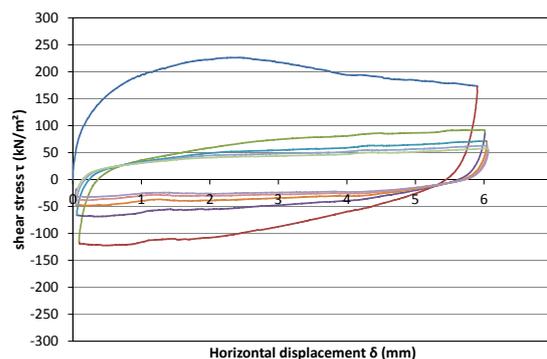


図-10 U試料のRCV試験中のせん断挙動

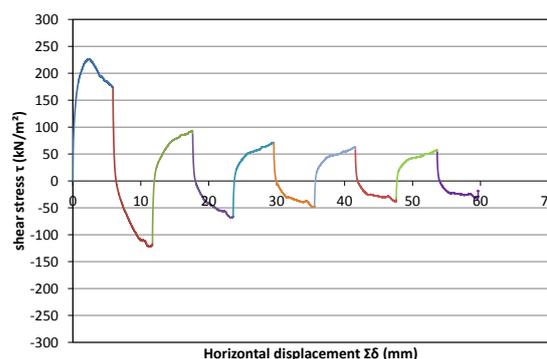


図-11 U試料のRCV試験中の  $\tau - \Sigma\delta$

## 参考文献

- 1)西尾伸也, 荻迫栄治, 傳田 篤, 平川博之, 田中洋行, 兵動正幸, 三田地 利之: 第二渥美海丘から採取した海底堆積土コア試料の力学的性質, 第48回地盤工学研究発表会講演集, pp.447-448, 2013
- 2)Mitachi, T., Kuda, T., Okawara, M. and Ishibashi, M.: Determination of strength parameters for landslide stability analysis by laboratory test and inverse calculation engagement, Journal of the Japan Landslide Society, Vol.40, No.2, pp.105-116, 2003.
- 3)西尾伸也, 荻迫栄治, 傳田 篤, 平川博之, 田中洋行, 兵動正幸, 三田地 利之: 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.