

高圧条件下中空ねじりせん断装置を用いた 繰返し変形特性取得の試み

産業技術総合研究所 正会員 ○野田 翔兵
琉球大学 非会員 木村 匠
産業技術総合研究所 正会員 坂本 靖英

1. まえがき

メタンハイドレート (MH) 開発促進事業では、深海底の MH 貯留層から長期的に安定した天然ガスの生産を行うため、MH 貯留層を含む海底地盤の挙動や海底地すべりの調査・研究が進められている。これまで地震（主に海底を震源とする地震）発生によって海底地盤が大きく滑動する海底地すべりが世界各地で発生していることから、地震発生時の海底地盤の挙動を把握することが必要となる。そのためには、MH 貯留層および周辺海底地盤における繰返しせん断強度やそれに対応する変形挙動に関する評価が必須事項である。しかしながら、海底地盤、とりわけ深海底地盤に関して動的挙動を評価した研究は皆無に等しく、これらの定量的評価を行うことが強く望まれる。近年では動的変形特性を評価する方法として繰返し三軸試験装置あるいは中空ねじり試験装置が広く用いられている。しかし、繰返し三軸試験方法では試験から得られるパラメータが等価ヤング率および軸ひずみであることから、試料のポアソン比を仮定もしくは実測し、等価せん断剛性率とせん断ひずみを算出する必要がある。これらのことから、深海底地盤の高圧条件に対応した中空ねじりせん断装置の開発を試みている¹⁾。本報では、製作した装置の概要および豊浦砂を用いたねじりせん断実験結果について報告を行う。

2. 装置概要および実験概要

図-1 は、高圧条件での実験が可能な中空ねじりせん断試験装置の概要を示したものである。本装置の基本的な構造は、多くの研究機関で採用されている供試体上部からねじり力や軸荷重を載荷する機構となっており、地盤工学会基準 JGS0543 に準拠したものである。地盤工学会基準との違いは 1MPa 以上（最大 20MPa）の高圧制御が可能であること、それに伴い荷重・トルク計がセル外にあること、恒温室により温度制御が可能であること、供試体上下の間隙水压の差により透水係数を測定できることである。設置した測定計器と計測容量および精度を表-1 に示す。低温・高圧での実験が可能な仕様にした理由は、ガスハイドレート含有供試体の作製を想定しているためである。

実験に用いた試料は豊浦砂であり、空中落下打撃法により、高い密度（乾燥密度 $\rho_d=1.63\text{g/cm}^3$ 程度）の供試体を作製した。高圧での実験の場合、緩い供試体では変形量が大きく、要素試験としての条件を保てない可能性があったため高密度な供試体で実験を行うこととした。有効拘束圧は表層から MH 貯留層までを想定し、100kPa、500kPa、1MPa、3MPa とした。また、背圧は、今後他の実験結果と比較することを考え、通常用いられる 200kPa とした。繰返し波形は正弦波であり、周波数は 0.1Hz でせん断を行った。

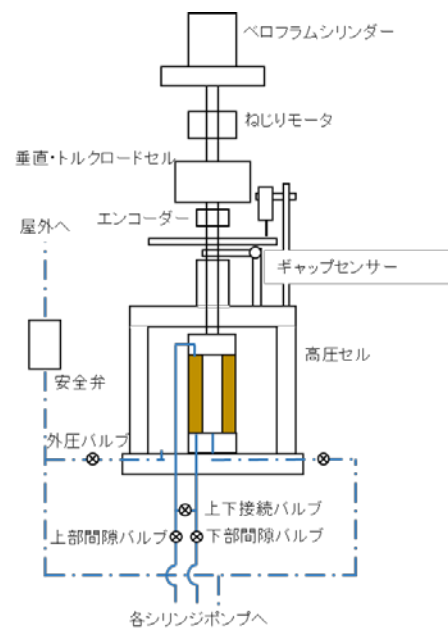


図-1 実験装置概要

表-1 測定計器容量および精度

	測定計器	容量	精度
軸荷重	ロードセル	10kN	$3.0 \times 10^{-3}\text{kN}$
ねじり力	トルク計	100N・m	0.4N・m
外圧(内圧)	水压計	20MPa	$\pm 10\text{kPa}$
背圧上部	水压計	20MPa	$\pm 10\text{kPa}$
背圧下部	水压計	20MPa	$\pm 10\text{kPa}$
間隙水压	差圧計	550kPa	$\pm 1.4\text{kPa}$
ねじり変位	ギャップセンサ	± 0.955 度	$\pm 1.91 \times 10^{-3}$ 度
	エンコーダー	-	2.0×10^{-4} 度
温度	熱電対	50℃	$\pm 0.05^\circ\text{C}$

キーワード 中空ねじりせん断, 深海底地盤, 繰返し変形特性, 豊浦砂, メタンハイドレート

連絡先 〒305-8569 茨城県つくば市小野川 16-1 TEL 011-857-8940 FAX 029-861-8765

3. ねじりせん断実験結果

荷重・トルク計がセル外にあるため、供試体のない状態で変位制御による繰返しねじりを行い、トルクの測定を行った¹⁾。その結果、摩擦が発生することが分かったが、本報では摩擦は考慮していないデータを示すこととした。図-2, 3, 4に有効拘束圧 100kPa および 3MPa のひずみ段階毎の応力-ひずみ曲線をそれぞれ示す。図-2(a, b)に示す 0.001%程度のせん断ひずみ域では拘束圧が大きくなってもそれほど傾きに大きな違いが出なかったことが見て取れる。しかし、図-3(a, b)に示す 0.1%程度のせん断ひずみ域では、曲線の傾きおよびせん断応力も大きく異なり、拘束圧による影響が顕著に現れている。また、図-4(a, b)に示す大変位域では、有効拘束圧 100kPa の場合はひずみが漸増する液状化やサイクリックモビリティのような挙動を示すのに対し、有効拘束圧 3MPa では曲線の変化は少なく、繰返し回数を重ねてもほぼ同一の曲線を描いており、液状化のような破壊は起こらないことが分かった。これらの結果から、本装置を用いることで、拘束圧 100kPa から 3MPa の条件において繰返し実験が可能であることが確認できた。また、これらの結果を整理し、動的変形特性曲線を描いたものが図-5 である。図-5 から、いずれの拘束圧条件においても初期のせん断弾性係数には大きな差がないことが分かる。せん断ひずみ 0.1%以上のひずみが大きい部分では拘束圧の増加に伴ってせん断弾性係数も大きくなっており、一般的な拘束圧の影響と挙動が整合する。初期のせん断弾性係数に拘束圧による影響が少ないことは、トルク計をセル外に設置していることによって発生する摩擦力が関係している可能性が考えられる。

4. まとめ

本研究では、深海底地盤の繰返し変形特性を把握することを目的として、高压条件下中空ねじりせん断装置の開発とそれを用いた豊浦砂の繰返しせん断実験を行った。実験の結果、種々の拘束圧条件における繰返しせん断を行うことが可能であることが分かった。しかしながら、初期のせん断弾性係数に拘束圧依存性がないなど疑問点が残る結果となった。トルク計がセル外にあることから、摩擦の影響が出ている可能性があるため、今後は弾性波速度によるせん断弾性係数と比較するなどデータの信頼性を高める検討を行う予定である。

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・生産手法に関する研究開発」の一環として実施した。関係各位に謝意を表す。

参考文献 1) 野田翔兵, 木村匠, 坂本靖英, 皆川秀紀, 天満則夫: 高压条件下中空ねじりせん断試験装置開発の試み, 第14回岩の力学国内シンポジウムプロシーディングス, No.65, 2017.

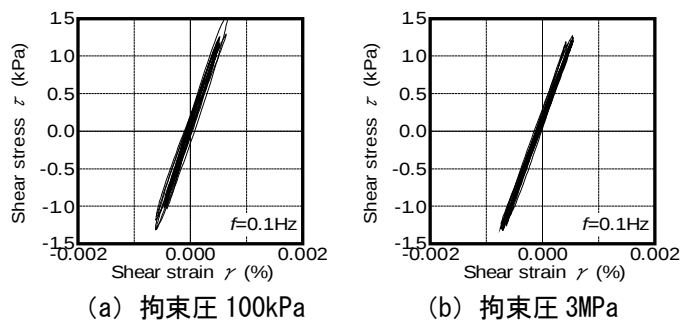


図-2 応力-ひずみ関係 (せん断ひずみ 0.001%以下)

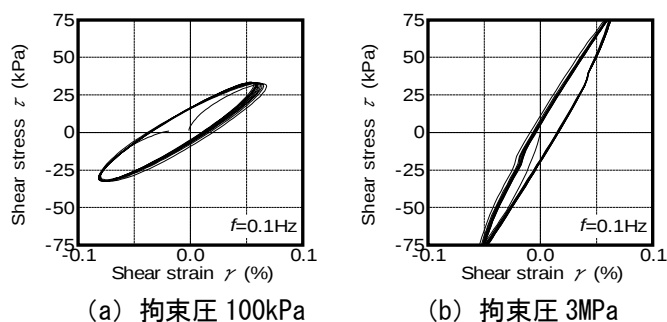


図-3 応力-ひずみ関係 (せん断ひずみ約 0.1%)

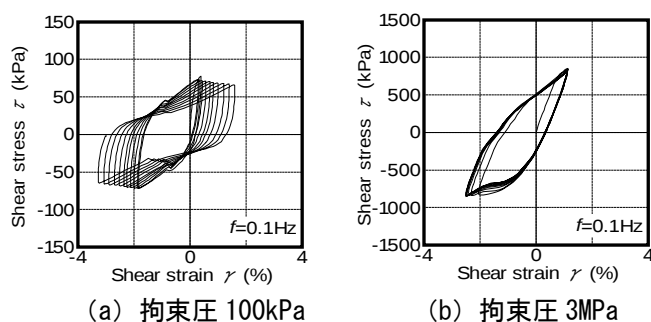


図-4 応力-ひずみ関係 (せん断ひずみ 1%以上)

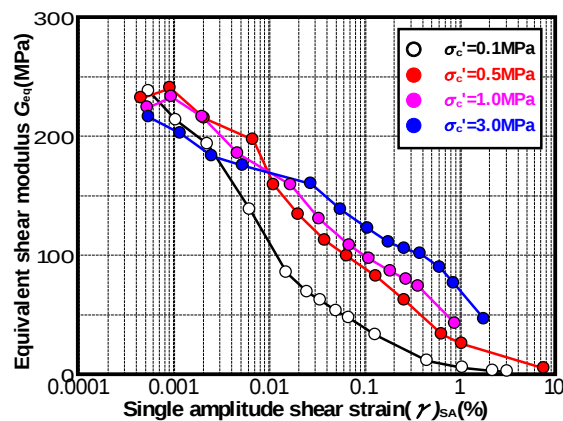


図-5 動的変形特性曲線