低温高圧平面ひずみ圧縮試験装置による

深海底メタンハイドレート堆積土の局所変形の観察

山口大学大学院 学生会員 今村豊 米田純

山口大学大学院 正会員 兵動正幸 中田幸男 吉本憲正

1. まえがき 新たな資源として注目されている深海底におけるメタンハイドレート(以後, MHと表す)を生産す る際に,MHの分解に伴い地盤の強度の低下や変形が生じ,生産井の安定性の低下や海底地すべりのリスクが懸念 される.MH分解時の地盤の変形は分解フロントから局所的に発生すること,MHのような固結力を有する土は変 形の局所化が顕著に起こりやすい¹⁾ことが考えられる.そこで本研究では,前面と背面に観察窓を持つ低温高圧平 面ひずみ圧縮試験装置を導入し,MH堆積土のせん断試験を行いマクロな応力・ひずみ挙動を計測するとともに,

せん断中の供試体の局所変形を画像解析により求めた. 2.実験装置の概要 図-1 に,本実験装置の主要部分の 概要と配管系統を示した.以下に装置の仕様について 解説する、本装置は、深海底におけるMH貯留層と同様 な温度環境にするために,冷蔵室内に設置し温度管理 を行っている.実験の制御および計測は,冷蔵室外に 設置したPCにより行う. 圧力セル()の前面と背面に それぞれアクリル製の観察窓が取り付けられており、 供試体前面と背面で観察が可能である.アクリル製の 拘束板()は観察窓()と一体となって供試体を拘束 している.また,供試体の撮影時の照明のために,拘 束板の上下左右の4個所にLEDを設置している.供試 体の変形挙動の観察のために,デジタルカメラを用い



図-1 実験装置の概要と配管図

てタイマー撮影を行う.供試体下部及び上部にそれぞれ2台ずつシリンジポンプ(・ •)が設置されて おり,水またはメタンガスの圧力制御及び体積変化の計測に用いられる.

3.実験方法 供試体は目標のMH飽和率SMH(%)になるように含水比の調整を行った豊浦砂を試料として用い,12 層に分けてタンパーで相対密度Dr=90%となるように突き固める.次にメタンガスを注入し,圧力4MPa,温度1 において,砂に付着している間隙水をMHに置換する.ハイドレート化の確認は,ガスボンベからの供給を断ち, 上下のシリンジポンプで計測される体積変化が定常状態になることで行う.

その後、供試体を水で飽和させ、所定の条件に有効拘束圧・温度・間隙水圧 を調整し, せん断速度 0.1%/minで圧密排水せん断試験を行った. 4.実験結果 図-2 に本平面ひずみ圧縮試験により得られたMH飽和率

S_{MH}=44%のMH堆積土と軸対称三軸圧縮試験より得られたS_{MH}=50%の軸差 ⁸ 応力・体積ひずみ・軸ひずみの関係を示す.なお,これらの供試体は,MH 生成後,供試体内に通水していない不飽和状態のものである.比較のため, 同様に不飽和状態の豊浦砂の結果も掲げている.なお今回,豊浦砂において は体積変化も測定したが, MH堆積土の平面ひずみ圧縮試験においては,装 置の不具合が生じ体積変化は取得しておらず,それに伴う軸差応力の断面積 補正は行なっていない .降伏した後に残留強度が増加していることについて は,このためであると考えられる.まず,豊浦砂について三軸圧縮試験と平 面ひずみ圧縮試験の結果を比較すると,平面ひずみ圧縮試験による方が,ピ^{図-2}MH堆積土の応力ひずみ関係



ーク強度が大きく現れ,体積変化は収縮傾向を示している.これは 中間主応力の影響によるものと考えられる.本研究では, MHの存在 する応力レベルを対象としているため,高圧下で一連の試験を実施 しているが,望月ら²⁾が低圧域(98,392kPa)において行った三軸圧 縮試験と平面ひずみ圧縮試験の対比結果と同様の傾向を示している. 三軸圧縮試験および平面ひずみ圧縮試験の結果においても,MH堆積 土は豊浦砂に比べて初期剛性およびピーク強度の顕著な増加が認め られる.これはMHが砂粒子間に固着し、砂に固結力が発揮したため と考えられる.次に,観察窓からの供試体の写真撮影画像を写真-1 に示す.写真-1(a)は,軸ひずみ "=15%のときの豊浦砂の,写真-1(b) は同じ軸ひずみ状態のMH堆積土の画像である.ここで,異なる画角 のレンズを使用したため,豊浦砂は 120×60mm, MH堆積土は 160×60mmと写真の撮影範囲が異なっている.豊浦砂,MH堆積土と もにせん断帯(写真-1の破線)が発生し,変形の局所化が確認された. しかし,その変形のモードは豊浦砂とMH堆積土で異なっており,豊 浦砂ではクロスする2本のせん断体が形成されたのに対し,MH堆積 土では,供試体にX型の大きなせん断帯が形成され,その周りに小さ なせん断帯が形成され,供試体がいくつかに割裂される形状を示し た.これはMHによる砂粒子の固結によるものであると考えられる. 次に,図-3に図-2に示した(a)豊浦砂と(b)MH堆積土の平面ひずみ圧 縮試験時に撮影した画像から算出した最大せん断ひずみのコンター を示す.豊浦砂とMH堆積土ともに,軸ひずみの進行に伴ってせん断 帯が発達していく様子が観察される. 左から 2 枚目の a=8%に着目 すると,この時点で豊浦砂にせん断帯は確認出来ないが,MH堆積土 では確認できる.また,MHにより固結された土は,同じ密度の豊浦 砂と比べてピーク強度に至る軸ひずみの値が小さいため、ひずみの 局所化も軸ひずみの値が小さい時から生じている.最後に,図-4 は せん断帯が発生した箇所(写真-1の二重線の囲み)とせん断帯が発生



していない箇所(写真-1 の破線の囲み)それぞれ 1 メッシュに着目し,最大せん断ひずみを軸ひずみごとに算出し たものである.豊浦砂とMH堆積土ともに,せん断帯が発生していない箇所では最大せん断ひずみは低い値を示し ているのに対し,せん断帯が発生した箇所ではせん断帯の発達とともに最大せん断ひずみの値は増加している. これにより,高圧域においても変形の局所化が起こることが明らかとなった.また,せん断帯が発生した箇所に おいて,MH堆積土は豊浦砂に比べて最大せん断ひずみの増加が低いひずみレベルから始まっていることが確認さ れる.このことからも,高圧下であってもMHにより固結された土は,同じ密度の豊浦砂と比べてひずみの局所化 が軸ひずみの値が小さい時から生じていることが確認できる.

5.まとめ 本研究で行った,MH堆積土の平面ひずみ圧縮試験により,MHによる固結力があると考えられる挙動 とMHの有無による供試体の局所的な変形挙動を観察することができた.また,本研究における高圧下の平面ひず み圧縮試験と軸対称三軸圧縮試験結果は,従来の低圧域での研究結果と同様の傾向を示すことが明らかになった. 加えて,実験中に取得した画像により変形の局所化が視覚的に確認され,MH堆積土の方が豊浦砂よりも軸ひずみ の値が小さい時からひずみの局所化が生じていることが確認された.

参考文献 1) 香月大輔: 粒子の破砕強度と固結の強さに着目した固結構造を有する粒状材料の力学特性に関する研究,山口大学理工学研究科, 博士論文,pp.87-117,2004.2)望月秋利,蔡敏,高橋真一: 砂の平面ひずみ試験と結果の整理方法,土木学会論文集No.475,pp.99-107,1993.