

メタンハイドレート堆積土の平面ひずみ圧縮試験

山口大学大学院 学生会員○加藤晃 米田純 今村豊
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 近年深海底におけるタンハイドレート（以後、MH と表す）の資源開発に関する研究が進められている。MH は砂の間隙中に粒子を固結する形で存在することから、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ることによって、坑井の安定性の低下が懸念される。また MH のような固結力を有する固結材料は、変形の局所化が顕著に起こりやすい¹⁾とされている。そこで、本研究では観察窓を設けた恒温高圧平面ひずみ実験装置を用いて圧縮せん断試験を行うと共に、MH が土の変形挙動について調べた。

2. 実験装置²⁾の概要 使用する実験装置は深海底地盤の環境(温度, 圧力, 有効応力)を再現することが可能であり、温度については実験装置を恒温室内に設置し管理している。供試体は幅 60mm×奥行き 80mm×高さ 160mm の直方体とし、観察面には 5×5mm のメッシュを描いている。圧力容器に設けている観察窓から供試体の観察を行い、デジタルカメラを用いてタイマー撮影を行う。得られた供試体画像のメッシュの交点を読み取り、画像解析を行うことで供試体の局所的なひずみの計測を可能にした。

3. 試験方法 試料として豊浦砂を用い、目標の MH 飽和率 $S_{MH}(\%)$ となるように含水比の調整を行った。供試体の作成にあたってはまず、所定の含水比の試料を 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 5MPa, 温度 5°C において、土粒子に付着した間隙水を MH に置換する。その後、供試体内に残留したメタンガスを水に置換し、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. 試験結果 図-1 に豊浦砂と MH 堆積土の有効拘束圧 3.5MPa, 水圧 12MPa で行った圧縮せん断試験の結果を示す。図より MH 堆積土は、豊浦砂と比較して初期剛性とピーク強度が高い値を示している。これは砂の粒子間に固着した MH が、固結力を発揮したためであると考えられる。写真-1 は圧縮試験中に初めてせん断帯が確認された時の画像である。これらの画像からせん断帯の幅を算出した。せん断帯の幅の算出方法は、メッシュの線が最も急激に曲がっている点を連ねて 2 本の平行線を引き、その間隔をせん断帯の厚さとする方法³⁾を用いた。その結果、豊浦砂及び MH 堆積土のそれぞれのせん断帯の厚さは、0.76mm と 0.51mm であった。これはせん断帯の周りでは土粒子が MH により固結されているため、局所的せん断変形が周囲に影響を及ぼしにくく、結果としてせん断帯がより狭い幅で鋭利な形状で現われたものと考えられる。次に写真-1 からせん断帯のすべり面の角度を計測した。図-2 にせん断帯の傾斜角 α と有効拘束圧の関係を示す。図の低圧域 ($\sigma'_c=0.05, 0.1, 0.15\text{MPa}$) には中田ら⁴⁾によって、豊浦砂に対して行われた平面ひずみせん断試験結果を、高圧域 ($\sigma'_c=1.2, 3.5, 5.9\text{MPa}$) には、本実験より得られた結果をプロットした。

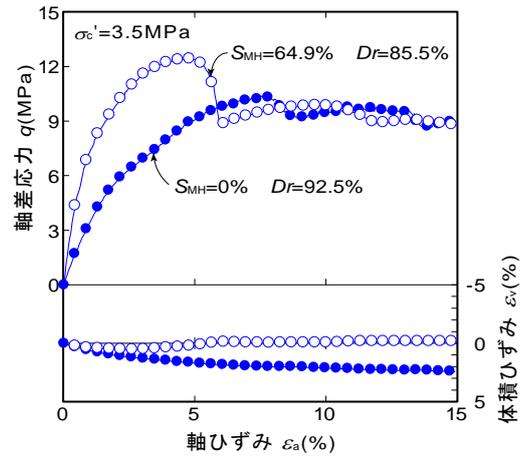
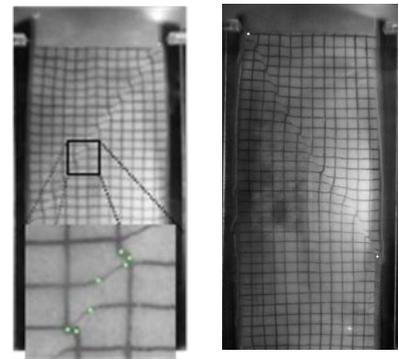


図-1 豊浦砂及び MH 堆積土の圧縮試験結果



(a) 豊浦砂 ($\epsilon_a=9\%$) (b) MH 堆積土 ($\epsilon_a=7\%$)

写真-1 せん断帯の比較

図より、豊浦砂($S_{MH}=0\%$)については、せん断帯の傾斜角は有効拘束圧が増加するにつれて低下する傾向が認められる。MH 堆積土との比較においては、有効拘束圧 $\sigma'_c=3.5\text{MPa}$ のとき、豊浦砂及び MH 堆積土のせん断帯の角度は水平面からそれぞれ 54.7° と 59.8° であった。この結果から MH によるせん断帯の傾斜角の増加が認められる。次にそれぞれの軸ひずみレベルにおける供試体のメッシュの交点を読み取り、PIV 解析を行うことで、供試体の最大せん断ひずみ及び体積ひずみを求めた。図-3 に豊浦砂及び MH 堆積土の圧縮せん断試験における、軸ひずみ 8%と 12%の時の最大せん断ひずみと体積ひずみのコンター図を示す。豊浦砂の場合、軸ひずみ 8%のときせん断帯がまだ発生しておらず、供試体が全体的に収縮しており、軸ひずみ 12%のとき変形の局所化が確認され、せん断帯では体積膨張を起こしていることが確認された。MH 堆積土の場合、軸ひずみ 12%の時の豊浦砂と比較して変形の局所化が進んでおり、せん断帯内での体積膨張が顕著に表れていることが確認された。

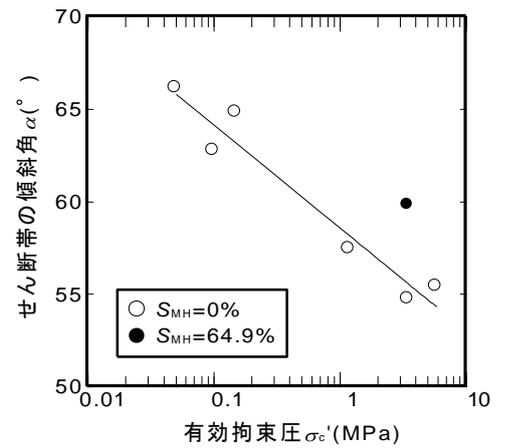


図-2 有効拘束圧とせん断帯の傾斜角の関係

5. まとめ 本研究では、観察窓を設けた恒温高圧平面ひずみ実験装置を用いて圧縮せん断試験を行うことで、MH 堆積土のグローバルな力学特性を調べるとともに、せん断帯の幅、角度及びPIV 解析結果に基づいた局所変形について検討した。その結果、MH の固結力により MH 堆積土では豊浦砂よりもより高い強度が現われたが、せん断帯の幅はより狭い結果となった。またせん断帯の傾斜角は、MH 堆積土は豊浦砂よりも高い角度となった。さらに、せん断帯の内と外を比較すると、せん断帯内ではより大きなせん断ひずみ及び体積膨張が発生することが確認された。また MH 堆積土は豊浦砂と比較して変形の局所化と体積膨張がより顕著であることが確認された。

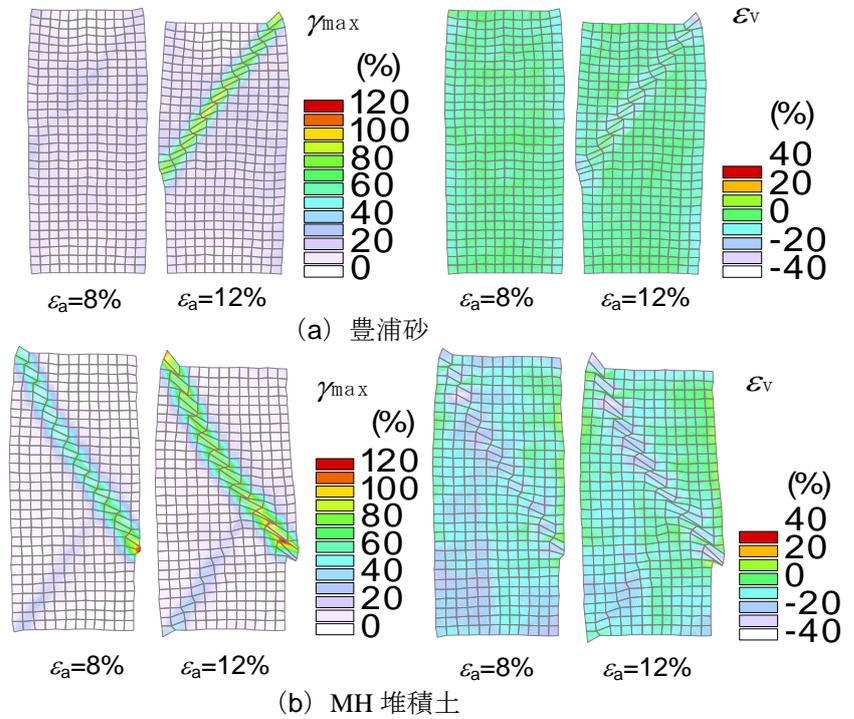


図-3 各軸ひずみにおける体積ひずみと最大せん断ひずみのコンター図

参考文献 1) 香月大輔：粒子の破碎強度と

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) 今村豊，米田純，兵動正幸，中田幸男，吉本憲正：高圧下におけるメタンハイドレート固結砂の平面ひずみせん断挙動と局所化の評価，地盤と建設，Vol.28，No.1，PP.95-103，2010 3) 吉田輝，龍岡文夫，中村慎一郎，亀谷泰久：密詰め砂の平面ひずみ圧縮試験におけるせん断層内・外の変形特性，土木学会第 49 回年次学術講演会，III-170，1994 4) 中田幸男，喬弁，梶原拓也，兵動正幸，吉本憲正：PIV 解析を適用した平面ひずみ圧縮試験における砂のせん断挙動，土木学会第 65 回年次学術講演会，III-254，2010 4) 池田清宏，市村強，高村浩之，須藤良清，堤成一郎：土の平面ひずみ供試体の変形挙動の分岐メカニズムに基づく画像処理法，土木学会論文集 No.757/III-66，PP.167-176，2004.3