

メタンハイドレート堆積土の圧縮クリープ挙動に与える載荷速度の影響

山口大学大学院 学生会員 ○平岡 尚太郎 中島 晃司

山口大学大学院 正会員 中田 幸男 吉本 憲正 兵動 正幸

1. はじめに これまで、メタンハイドレート堆積土の力学特性の解明では、せん断挙動および強度特性の検討が行われ、圧縮特性に着目した検討は十分進んでいない。また、既往の研究²⁾から MH 含有砂が大きく時間依存性を示す材料であると指摘されている。しかし、この指摘は、せん断過程に対する知見³⁾に基づくもので、圧縮過程の時間依存性についてはほとんど明らかにされていない。そこで、MH 堆積土の力学特性における時間依存性の解明をしていく上で、載荷速度の圧縮過程への影響に着目した。そこで本研究では、MH 堆積土の圧縮中の載荷速度の影響に対する実験的な検討を行う。ここでは、載荷速度の異なる圧縮履歴を与えた後の MH 堆積土のクリープ挙動に着目した。特に、MH 堆積土のクリープ挙動に与える載荷履歴の影響や、クリープひずみ速度がどのように現れるかを検討し、圧縮挙動に対する載荷速度の影響を明らかにしていく。

2. 模擬供試体作成方法および実験方法 本研究ではカオリン、雲母、8号・7号・R5.5珪砂を配合し模擬供試体 Tb を作成した⁴⁾。配合後は MH 飽和率が 50%となるよう初期含水比を決定し、タンピング法により 30×60mm の円筒供試体を作製した。間隙率はコア試料を参考に $n=45\%$ とした。試験は、MH が存在する深海底地盤環境（水圧、拘束圧、温度）が再現出来る MH 恒温高圧三軸圧縮試験機を用いて行った。作成した模擬供試体 Tb に対し、MH 生成後、間隙水圧を 5MPa 載荷した後、等方応力を作用させる圧縮試験を行った。図-1 の等方応力と時間の関係に示すように case-1 では、圧縮開始時の等方応力 0.2MPa から、目標の応力である 7MPa まで 2MPa/min で載荷し、そこから 12 時間放置した。case-2 では、等方応力 0.2MPa から、0.3MPa、0.4MPa、0.5MPa、1MPa、と段階的に載荷した。各段階で 1 時間放置した。1MPa からは、1MPa 毎に段階載荷し、各段階で 1 時間放置することを繰り返した。尚、等方圧力を増加させる間は 0.1MPa/min の圧力速度で載荷を行った。case-3 においては、等方応力 0.2MPa から、目標の応力である 7MPa まで 0.2MPa/min で載荷し、そこから 11 時間 30 分放置した。case1-3 において載荷を開始してから実験終了までの時間が 12 時間となるように設定した。試験終了後ガスを回収し飽和率を測定した。その結果、case-1 から 3 の MH 飽和率はそれぞれ 63.2%,42.8%,47.6%となった。

3. 実験結果 図-2 に case-1,3 の間隙比の変化量と等方応力の関係を示す。0.2MPa から 7MPa までの等方圧力載荷過程では、case-1 と case-3 の間隙比の関係は大きく異なり、case-3 の間隙比変化は-0.07 であるのに対し、case-1 では-0.02 であった。等方圧力載荷過程での case-2,3 の間隙比の挙動は、載荷時間が、およそ 11 時間と 30 分と異なるものの、ほぼ類似する挙動が見られた。case-1 の MH 飽和率が高かったことを考慮すると、載荷速度の影響は大きくないも考えられる。7MPa に到達以降の挙動を case-1 と case-3 についてみると、最終的に同程度の変化量に達し、クリープ中の間隙比の変化量には大きな差があった。図-3 にクリープ軸ひずみとクリープ体積ひずみと時間の関係を示す。クリープ軸ひずみと時間のグラフに関しては、いずれの case においても 7MPa に達してからの時間を横軸に取り、この時間を計測し始めてから生じた軸ひずみを縦軸に取った。case-1 の結果では、初期に 0.2% のクリープ軸ひずみが生じる。その後、5000 秒までに 0.4% のひずみを生じ、5000 秒以降では、時間の経過に対し緩やかにクリープ軸ひずみを生じる。case-3 の場合、初期に 0.15% のクリープ軸ひずみを生じ、10000 秒までに 0.3% の軸ひずみを生じる。また、20000 秒以降ではわずかなクリープ軸ひずみを発生であった。case-2 では、case-3 と同様の挙動が見られた。クリープ体積ひずみと時間のグラフに関しては、case-1 では 1000 秒までに 4% の体積ひずみを生じている。10000 秒以降はわずかに体積ひずみを生じる程度であった。case-2 の場合、case-1,3 で生じたひずみ量と比較して、わずかな体積ひずみの発生となった。case-3 の場合、体積ひずみは初期から 40000 秒までに緩やかに発生し、最終的には case-1 と比べ半分程度であった。クリープ中のひずみの発生は、直前の載荷の影響を受ける

メタンハイドレート堆積土 圧縮 載荷速度

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院創成科学研究科 TEL 0836-85-9300

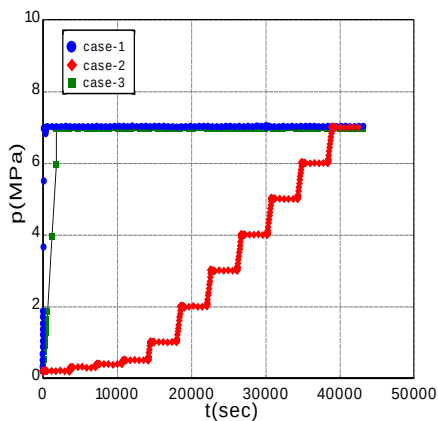


図-1 等方応力と時間の関係

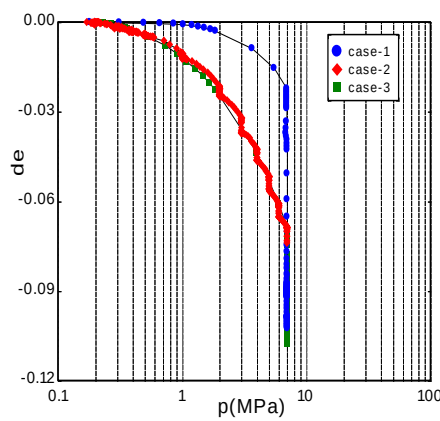


図-2 間隙比の変化量と有効拘束圧の関係

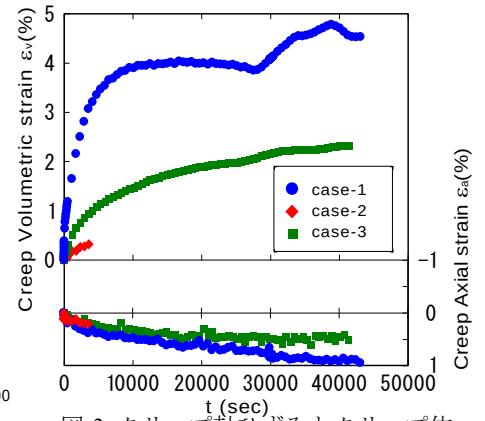


図-3 クリープ軸ひずみとクリープ体積ひずみと時間の関係

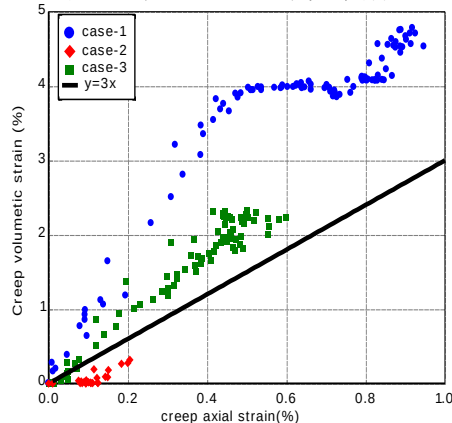


図-4 クリープ軸ひずみとクリープ体積ひずみの関係

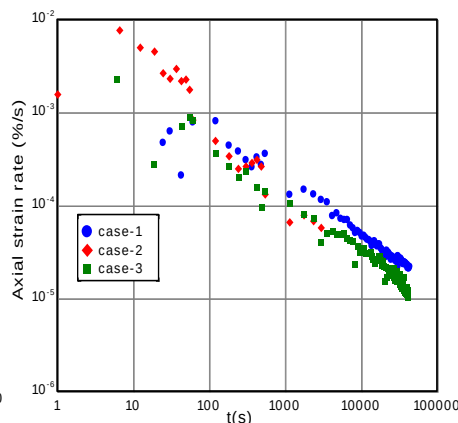


図-5 クリープ軸ひずみ速度と時間の関係

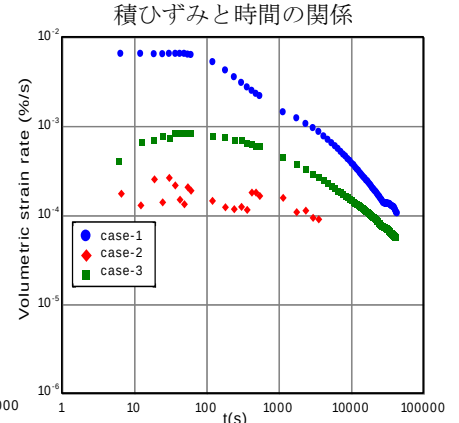


図-6 クリープ体積ひずみ速度と時間の関係

ことがわかる。図-4 にはクリープ体積ひずみとクリープ軸ひずみの関係を示す。case-1,3 において等方圧縮において体積ひずみが軸ひずみの3倍にならないのは材料の持つ異方性に起因すると考えられる。図-5 にはクリープ軸ひずみ速度と経過時間との関係を示す。case-1,3 の関係は、100s 以降でのクリープ軸ひずみ速度が減少していく領域においてほぼ同一の直線となった。この傾きは-0.6 程度となっていた。case-2 の初期のクリープ軸ひずみ速度は、10s 以降から直線的に減少した。この直線的な減少傾向は、case-1,3 の結果と同じ傾きをもつことがわかる。クリープ軸ひずみ速度でみると、載荷速度や載荷過程の影響は、初期にのみ影響をあたえるといえる。図-6 にはクリープ体積ひずみ速度と経過時間との関係を示す。case-1 の関係は、図-5 と同様に直線的となり、傾きは-0.7 程度となった。case-3 の関係は最終的には直線的になるが、case-1 のクリープひずみ速度よりも小さく、直線の傾きも緩やかであった。case-2 のクリープひずみ速度は、case-3 のそれよりさらに小さくなった。case-1 のクリープ体積ひずみ速度は、クリープ軸ひずみ速度よりも大きく、100s 以降でみると5倍程度の違いがあった。case-3 のクリープ体積ひずみ速度と軸ひずみ速度の比は、1000s まででみると経過時間に伴い変化するが、10000 秒以降は5程度である。経過時間による変化は過剰間隙水圧の消散の影響が考えられる。

4. まとめ 本研究は、MH 堆積土の圧縮中の載荷速度の影響に対する実験的な検討を行った。特に載荷速度の異なる圧縮履歴を与えた後の MH 堆積土のクリープ挙動を議論した。MH 堆積土のクリープ挙動に与える載荷履歴の影響、時間経過に伴うクリープひずみ速度の変動を検討した。

[謝辞] 本研究は、経済産業省「国内石油天然ガスに係る地質調査・メタンハイドレートの研究開発等事業（メタンハイドレートの研究開発）・生産手法開発に関する研究開発」の一部として実施された。記して謝意を表する次第である。

[参考文献] 1) Hyodo, et al. Soils and Foundations, Vol.53, No.2, pp.299-314, 2013. 2)宮崎晋行:メタンハイドレート層の力学特性の解明, 産総研, 2014., 3)宮崎ら:メタンハイドレートを含む模擬堆積物のクリープ, Journal of MMIJ Vol.125, 2009. 4)メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム, <http://www.mh21japan.gr.jp/japanese/index.html>