

減圧法によるメタンハイドレート分解に伴う堆積砂の挙動

山口大学大学院 学生会員 ○米田純  
 山口大学大学院 正会員 兵動正幸  
 山口大学大学院 正会員 中田幸男  
 山口大学大学院 正会員 吉本憲正  
 山口大学大学院 学生会員 小倉勇志  
 産業技術総合研究所 非会員 海老沼孝郎

1. まえがき

近年、次世代資源としてメタンハイドレート（以下MHと略す）が注目されている。日本近海のMHは南海トラフ周辺の水深 500m 以上の深海底に分布し、豊富な埋蔵量があると報告されている<sup>1)</sup>。実地盤では堆積した有機物の分解によって発生したメタンガスが、砂の間隙に入り込み水と水和反応してMHとなっている。現状最有力な採取方法として地盤内のMHに作用する海水圧を下げ安定条件から外し、MHを分解させメタンガスとして生産する減圧法という方法がある。この減圧法による応力変化に伴う地盤沈下や海底地すべりが危惧されるため地盤の力学特性を把握する必要がある。本研究ではMHが存在する深海底地盤の温度、圧力条件が再現できる三軸試験装置を用いて減圧法による応力変化を与え、MH堆積地盤の変形挙動を把握するための実験を行った。

2. 試験装置及び試験方法

本研究に用いた試験装置は図-1に示すような構成のものであり、拘束圧30MPa、間隙水圧20MPa、垂直荷重200kN、温度-30~50℃までの範囲で制御・計測が可能な三軸試験機である。供試体は所定の含水比の豊浦砂を3×6cmのモールドに9層に分けて締固め、相対密度90%となるように作製し、自立させるために凍結した。その後の温度と背圧の変化の過程を図-2に示し、図中の番号の順に実験を進行した。圧密はK<sub>0</sub>圧密とし、⑥までの過程は小倉ら<sup>2)</sup>の行った分解実験と同じ手順を踏んだ。本実験では⑥から⑦に向けて背圧を減少させることで減圧法を模擬した。図-3で示すように実際の掘削時には生産井を縦や横へと様々な方向へ作るため、その付近では初期せん断ひずみが発生すると考えられる。そこで本実験ではMHを減圧分解する前に、軸ひずみ0%,0.5%,1%の3通りの初期せん断ひずみを作用させ実験を行った。

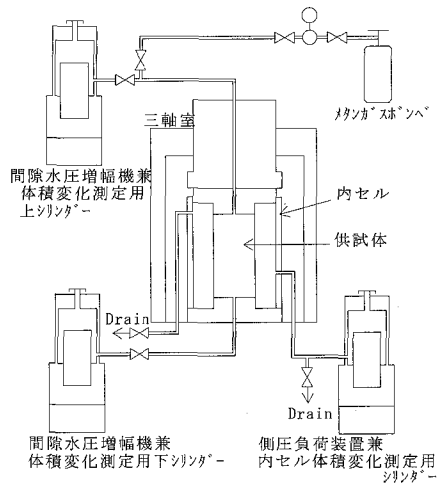


図-1 MH 三軸試験機概要

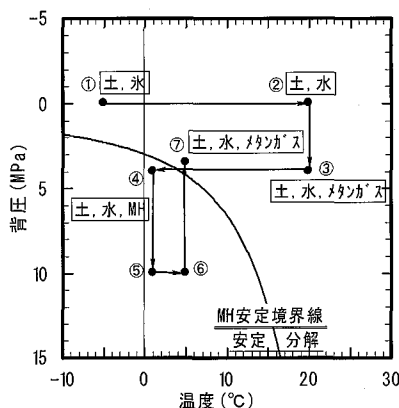


図-2 実験開始からMH分解までの背圧-温度履歴

図-2に示し、図中の番号の順に実験を進行した。圧密はK<sub>0</sub>圧密とし、⑥までの過程は小倉ら<sup>2)</sup>の行った分解実験と同じ手順を踏んだ。本実験では⑥から⑦に向けて背圧を減少させることで減圧法を模擬した。図-3で示すように実際の掘削時には生産井を縦や横へと様々な方向へ作るため、その付近では初期せん断ひずみが発生すると考えられる。そこで本実験ではMHを減圧分解する前に、軸ひずみ0%,0.5%,1%の3通りの初期せん断ひずみを作用させ実験を行った。

MH分解後、背圧を10MPaに戻した。これはMHの生産を中断または終了することで間隙水圧が分解前の値に戻ることを想定し、その際の地盤の変形挙動を把握するために行った。

3. 試験結果及び考察

初期等方圧密からMH分解後の背圧増加までの応力経路を図-4に示す。図中の矢印で示した経路で各初期せん断とも背圧を減圧し、MH分解終了後に背圧を増加させた。図-5では背圧減圧中の時間-累計メタンガス発生量の関係を示す。減圧速度0.1、0.5MPa/min共にMH安定境界を越えてから急激に分解が進行し、約3

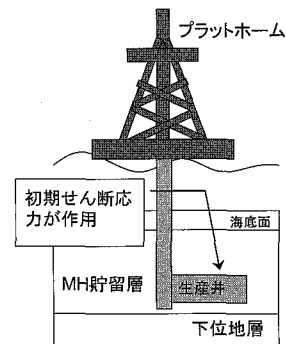


図-3 生産状況概略図

時間かけて定常状態に至った。これより、MHの分解速度は初期せん断の有無には依存しないということが分かった。次に減圧中の背圧-時間-ひずみ関係を図-6に示す。減圧速度の違いによらず、背圧が3.5MPaになるまでの間、体積ひずみ、軸ひずみ共に収縮側へ生じている。これは背圧の減少によって有効応力が増加し、MHを含む砂が圧縮されたためである。続いて図-6(a)の減圧速度0.1MPa/minの結果に注目する。安定境界である背圧4.2MPaを下回った辺りから、図中の矢印で示したようにひずみの進行が速くなり、背圧が定常になっているにもかかわらずひずみの進行がみられる。これは図-5の1時間付近にあたり、MHが急激にメタンガスと水に分解することで、固体として持っていた抵抗力が無くなり土骨格が収縮したためと考えられる。図

-6(b)に注目する。減圧開始時と3時間後の軸ひずみの差は背圧の減少とMH分解によって生じた軸ひずみとなる。その量は図より初期せん断0%の場合0.4%、初期せん断0.5%の場合0.6%、初期せん断1%の場合1.2%であった。図-4で示すように初期せん断1%はMH固結砂のピーク強度付近であることから、考えられる初期応力状態は初期せん断1%未満となる。このことから、本研究の減圧条件で生じる軸ひずみは最大で1.2%程度であることが分かった。分解終了後の軸ひずみ、体積ひずみは初期せん断が同じ場合減圧速度によらずほぼ等しくなったことから、減圧速度の依存性はみられなかった。次にMH分解完了後、背圧を増加させたときの応力比-軸ひずみの関係を図-7に示す。初期せん断0%については有効応力が減少したことで軸ひずみはわずかに減少した。初期せん断0.5%、1%については背圧増加開始から徐々に軸ひずみが増加し、豊浦砂の破壊線に達すると共に急激に破壊に至った。これら初期せん断0.5%、1%の条件は初期せん断を受ける際、MHの固結力によって豊浦砂の持つ強度よりも高い応力を受けるが破壊には至っていない。しかしMH分解後にMH固結砂の破壊線は豊浦砂の破壊線に移行しているため、背圧を増加させることで有効応力が減少し豊浦砂の破壊線に至り破壊したと考えられる。図-4に示す応力経路でも分解後に平均有効主応力が軸差応力一定のもと減少し、豊浦砂の破壊線に到達し破壊していることがわかる。

#### 4. まとめ

減圧時においてはMHの分解と有効応力の増加によるひずみが生じるものの、地盤としては安定し破壊には至らないことが明らかとなった。しかし、メタンガスの生産中断または終了以降に地盤の間隙水圧が回復すると、初期せん断応力が存在する地盤では大きなせん断変形を生じ、破壊を起こす危険性があることが明らかとなった。

[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・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) 佐藤幹夫他：天然ガスハイドレートのメタン量と資源量の推定，地質学雑誌，pp.959～971,1996

2) 小倉勇志他：メタンハイドレートを含む砂の分解時力学特性，第41回地盤工学研究発表会，pp.353～354,2006

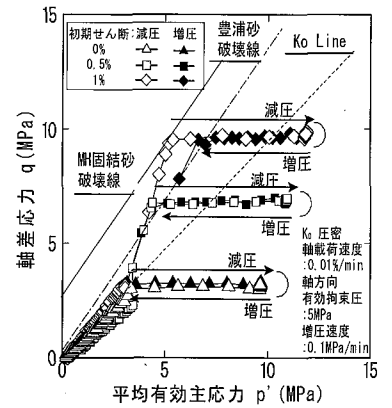


図-4 分解終了後背圧を増加させたときの各初期せん断における有効応力経

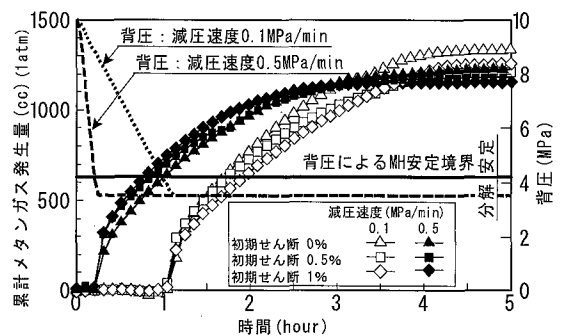


図-5 背圧減圧中のメタンガス発生量と時間の関係

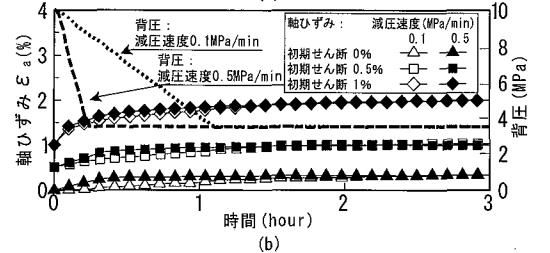
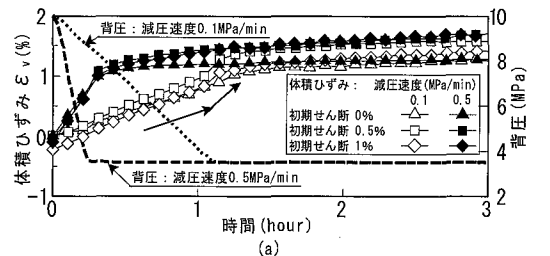


図-6 背圧減圧中のひずみと時間の関係

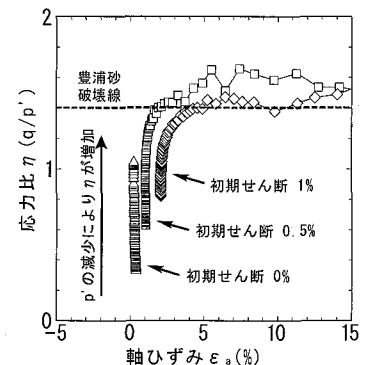


図-7 分解終了後に背圧を増加させたときの応力比-軸ひずみ関係