

減圧法による CO₂ ハイドレート含有砂試料の分解実験

京都大学大学院 学生会員 ○岩井 裕正
 京都大学大学院 正会員 木元 小百合
 京都大学大学院 フェロー会員 岡 二三生
 京都大学大学院 学生会員 福田 知晃

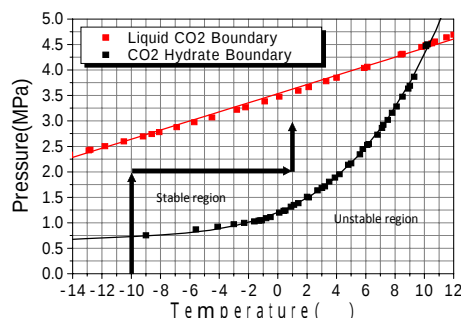
1. はじめに

近年メタンハイドレートの開発が国内外で注目されているが、固体であるメタンハイドレートからメタンガスを生産する際の地盤の変形挙動については未解明な部分が多い。したがって本研究では、メタンガスに比べて取り扱いが比較的容易である CO₂ ガスを用いて CO₂ ハイドレート含有砂試料を作製し、それぞれの試料に対して間隙比及び減圧時間を変えた分解実験を行い、ハイドレート分解時の変形挙動について比較検討を行った。

2. 実験装置及び実験方法

(1) ハイドレート含有地盤試料の作成

CO₂ ハイドレートの生成過程の温度と圧力の変化と CO₂ ハイドレートの相平衡曲線を図-1 に示す。試料は南海トラフ海底地盤を想定して、間隙比 0.76, ハイドレート飽和率 0.5 を目標として

図-1 CO₂ ハイドレート相平衡曲線

作製した。まず、含水比 13% となるように蒸留水と豊浦砂を混合する。混合した試料を金属円筒に入れ、側方から木槌で打撃を与えることにより試料全体をならし、直径 50mm, 高さ 100mm の供試体を作成する。これを凍結させ、-10℃ に設定したハイドレート製造装置にセットする(図-1)。次に 2MPa の高压で CO₂ を圧入し(図-1)ハイドレート安定領域に移行させる。圧力が 2MPa に達したところで温度を徐々に 1℃ まで上昇させ(図-1), 1℃ に達したところで圧力を 3MPa まで上げ 14~15 時間放置すると、供試体中の氷は融解するとともに CO₂ ガスを取り込んでハイドレートへと相変化する(図-1)。このような生成法は氷置換法と呼ばれる。供試体を取り出す際には分解曲線を急激に下回らないように段階的に圧力を下げる。これはハイドレートを分解実験装置に移動させる際に一度常圧下にさらすことになるので大気圧下でも安定境界にできるだけ近づけハイドレートの分解を防ぐためである。取り出したらすぐに液体窒素で冷却保存する。また、今回の実験では間隙比の違いによる挙動を観察するために間隙比 0.76 の供試体に加え間隙比 0.90 の供試体も作製した。

(2) ハイドレート分解実験

ハイドレート分解実験を行う試験装置の概略図を図-2

に示す。軸荷重制御と外部に付属している圧力発生装置により間隙圧制御が可能である。圧密リングはステンレス製の容器で内径 50mm のものを用いる。AC サーボモーターにより、最大軸荷重は 100kN, 最大間隙圧は 20MPa まで負荷することができ

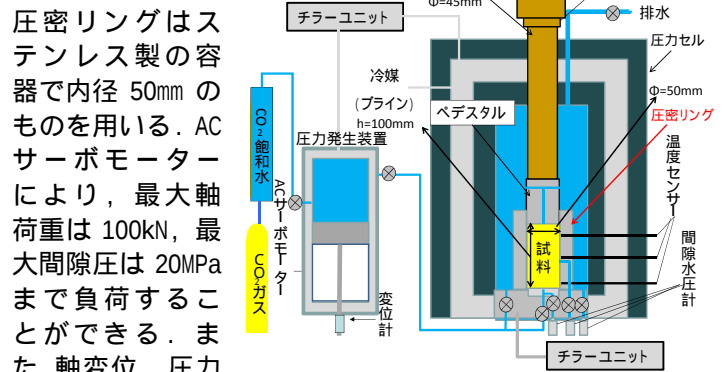


図-2 分解装置概略図

発生装置変位を測定することができる。温度は供試体をセットする圧密リング内の上部、中部、下部の 3 点で測定する。圧力はセル内下部、圧密リング内中部、下部、圧力発生装置内の 4 点で測定する。実験手順を以下に示す。

・供試体のセット

分解実験装置は側面に断熱材のウレタンを巻き -10℃ に冷却しておく。液体窒素から出した供試体を予め透水性のポーラスメタルの入った分解装置圧密リング内にセットする。

・軸圧載荷とガスの圧入

有効軸圧 1MPa 分を載荷し、さらにハイドレートの液化ラインを超えないように CO₂ ガスを 2MPa で圧入する。温度が 1℃ 付近になったところで 3MPa に圧力を上げ、さらに有効軸圧 3MPa 分を載荷する。

・CO₂ 飽和水の注水

次に CO₂ ガスを CO₂ 飽和水に置換する。蒸留水ではなく CO₂ 飽和水を用いるのは、ハイドレートの溶解を防ぐためである。3MPa の圧力で CO₂ 飽和水を分解装置内に入れ、またフレーム上方バルブからガスを逃がすことで容器内を 3MPa に保ちながらガスと CO₂ 飽和水を置換する。フレーム上部からガスではなく水が出れば置換し終えたことになる。

・分解開始

間隙圧を 3MPa に固定し、圧密リング内の上部、中部、下部の温度が 5℃ になるように設定し、温度が安定したところで減圧を開始する。圧力は 3MPa から 1.5MPa まで供試体下部より減圧する。実験は軸方向のみの載荷による 1 次元側方拘束分解実験である。間隙比が 0.76 と 0.90 の 2 種類の供試体に対して、減圧時間をそれぞれ 1.5 時間、3.0 時間、

キーワード：ハイドレート, 変形, 分解

連絡先：〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻地盤力学講座 075-383-3193

0.5時間と変化させて実験を行った。表-1に各実験ケースの条件を示す。なお Case 0 はハイドレートを含むしない試料である。表-1 より Case 0~Case 3 では間隙比 0.76(中密)を目標に、Case 4~Case 6 では間隙比 0.90(緩詰め)を目標として作製したが、実際には目標値より小さい値となった。またハイドレート飽和率とは間隙体積に占めるハイドレートの体積比のことで、次式で表される。

$$S_r^H = \frac{V^H}{V^v} \times 100$$

ここで S_r^H はハイドレート飽和率(%), V^H はハイドレートの体積(cm^3), V^v は土粒子以外の間隙の体積(cm^3)である。

表-1 実験ケース

CaseNo.	Case 0	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6
間隙比 e	0.752	0.749	0.752	0.752	0.878	0.885	0.878
減圧時間(h)	1.5	1.5	3.0	0.5	1.5	3.0	0.5
ハイドレート飽和率(%)	0.0	55.4	55.4	54.5	46.0	46.7	46.6

3. 実験結果

図-3及び図-4にCase1及びCase 4の供試体上部、中部、下部の温度変化と、セル内中部の圧力変化を示す。図-3及び図-4より、間隙圧が5 におけるハイドレート平衡圧力である2.2MPaを下回る約0.8時間あたりから温度が急激に低下している。これはハイドレートの分解が吸熱反応であることによる温度低下であると考えられる。どちらのケースにおいても減圧開始より1.5時間後に最低温度に達しており、供試体上部、中部、下部の順に約0.9, 1.0, 1.0 の温度低下が見られる。その後約3.0時間後に初期設定温度である5.0 まで温度が上昇している。

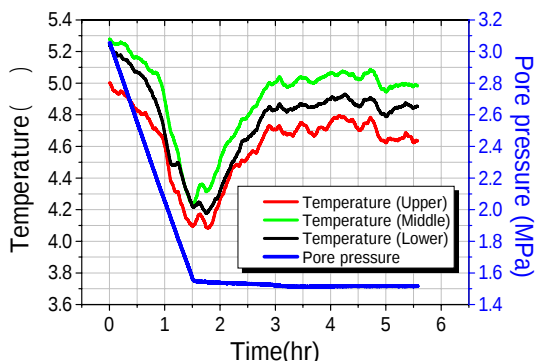


図-3 温度と間隙圧変化(Case 1)

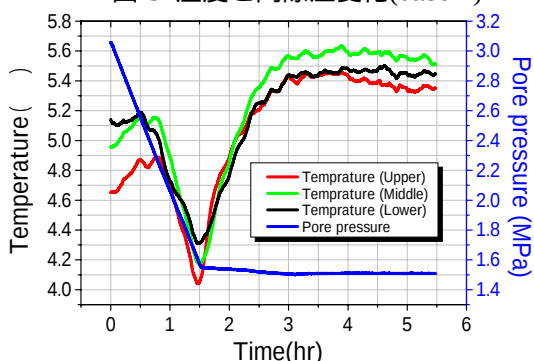


図-4 温度と間隙圧変化(Case 4)

図-5 に間隙比が中密のケースにおける垂直変位を、図-6 に緩詰めの場合における垂直変位の結果を示す。図-5 よりハイドレートを含むしないCase 0 では最終的な沈下量は約 0.22mm であり、ハイドレートを含む Case 1

~Case 3 と比較すると約 0.1mm 小さい。Case 1~Case 3 を比較すると Case 1, Case 2, Case 3 の順に沈下量は約 0.32mm, 0.32mm, 0.35mm といずれの場合においてもほぼ同様の値に収束しており、減圧時間の変化が最終的な沈下量に及ぼす影響は小さいと考えられる。図-6 より Case 4, Case 5, Case 6 における沈下量はそれぞれ約 0.6mm, 0.59mm, 0.6mm 中密の供試体を用いた場合と比べておよそ 2 倍の沈下量が生じているが、同様に減圧時間の違いによる大きな差は見られなかった。減圧過程において沈下量の発生勾配の変化が見られるが、これはハイドレートの分解が開始したことにより孔隙が増加し、急激に沈下が進行したためであると考えられる。また、減圧終了後も緩やかに沈下が発生しており、減圧時間が短い程、減圧終了後の沈下量は大きい。

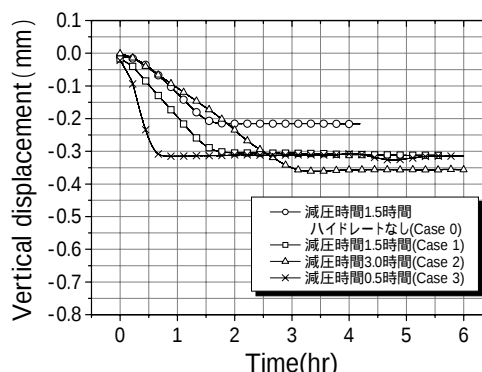


図-5 垂直変位 (中密供試体)

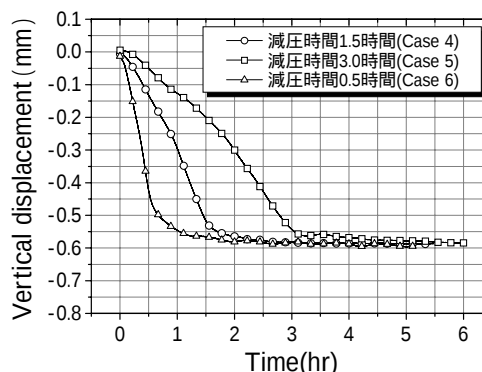


図-6 垂直変位 (緩詰め供試体)

4. まとめ

CO₂ハイドレート含有模擬試料を作成して減圧法による分解実験を行い、分解中の温度変化や沈下挙動について考察した。その結果、最終沈下量は主に間隙比に依存し、減圧時間の変化による影響は小さいことが分かった。しかし、減圧が終了した後の沈下の進行については、減圧時間の変化による影響が見られた。今後は減圧時間の長短と減圧終了時のハイドレート飽和率の関係性についても調べていく必要がある。謝辞

本研究を実施するにあたり清水建設(株)技術研究所の荻迫栄治氏、岩井俊之氏には実験に際して、丁寧な指導を賜り、無事に実験を終えることができた。厚く謝意を表します。

参考文献

- 1) 福田知晃, 木元小百合, 岡二三生, 佐藤朋弥: CO₂ハイドレート含有砂を用いた分解実験, 平成 21 年度土木学会第 64 回全国大会年次学術講演会, pp.249-250, 2009.