

## メタンハイドレートを含む砂の三軸圧縮試験

山口大学大学院 学生会員 ○津田伸基 小倉勇志

山口大学大学院 正会員 兵動正幸 中田幸男 吉本憲正

## 1.はじめに

近年、世界産業の飛躍的な発展に伴い、エネルギー資源の枯渇と地球温暖化が深刻化している。そこで豊富で且つクリーンな次世代エネルギー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。

MHは低温高压条件下で安定する性質ゆえに、世界中の永久凍土域や深海底地盤内に存在する。MHを生産するには地盤掘削に伴う地盤沈下や海底地すべり、漏洩ガスの発生などが危惧されるため、MHを含む実地盤の力学特性を把握する必要がある。しかし、南海トラフなどの水深1000mを超える深海底地盤から多量の天然試料を採取することは困難である。したがって本研究では試験装置内でMHを含む供試体を人工的に作製し、その試料を用いて様々な条件を想定した三軸圧縮試験を行った。

## 2.試験装置及び試験方法

本研究で用いた試験装置は、拘束圧は30MPa、間隙水圧は20MPa、垂直荷重は200kN、温度は-30～50℃まで制御が可能である。また本研究では試験装置内でMHの生成を行うため、供試体にメタンガス圧を負荷できるよう図-1のように配管を施した。

供試体作製において試料として豊浦砂を用いた。供試体寸法は直径30mm、高さ60mmとした。目標相対密度を90%として、所定量の水を加えた試料をタッピング法によりモールドに詰め作製した。試料を詰めたモールドは供試体を自立させるため凍結させた。本研究では供試体内の水の量でMH飽和率を調整しており、加えた水の量については、MHを1cm<sup>3</sup>生成するのに必要な水の量が約0.8cm<sup>3</sup>であることをもとに算出した。供試体は試験装置内に設置後、拘束圧4.2MPa、背圧（メタンガス圧）4.0MPaを負荷し、また温度を1℃に保った。これにより図-2に示すようにMHが安定に存在できる環境が再現され供試体内の水がMHと置換される。生成過程におけるメタンガス流入量と時間の関係を図-3に示す。ガスの流入量がほぼ一定となった時点でMHの生成終了と判定した。MHの生成終了後、表-1に示す条件のもとで試験を行った。ひずみ速度はすべての試験において0.1%/minとした。また試験終了後、ガス量の測定を行った。

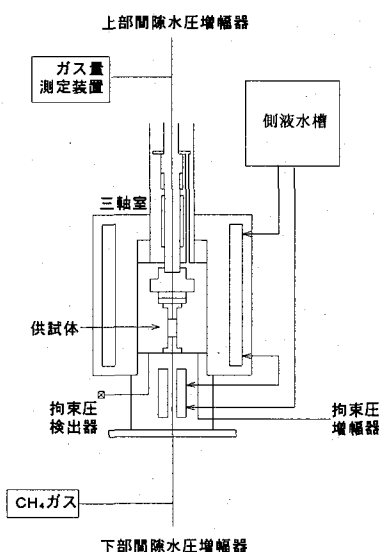


図-1 試験装置概略図

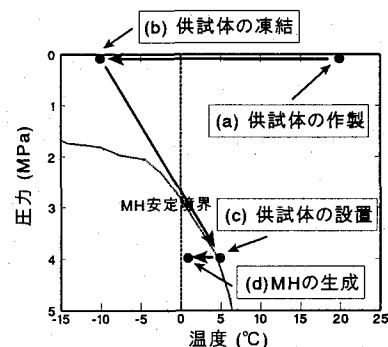


図-2 MHと水の置換工程

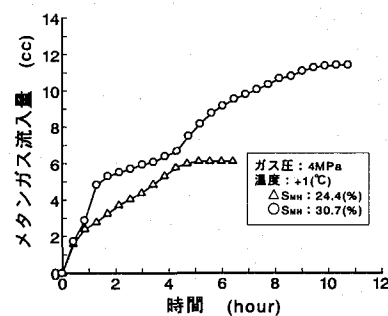


図-3 メタンガス流入量と時間の関係

表-1 試験条件

| 温度(℃) | 有効拘束圧 | 背圧 | MH飽和率(%) | ひずみ速度(%/min) |
|-------|-------|----|----------|--------------|
| 5     | 5     | 10 | 25       | 0.1          |
|       |       |    | 30       |              |
|       |       |    | 35       |              |
|       |       |    | 50       |              |
| 1     | 5     | 10 | 25       |              |
| 5     |       |    | 25       |              |
| 5     |       |    | 25       |              |
| 5     | 5     | 10 | 25       |              |
|       |       | 15 |          |              |

### 3. 試験結果と考察

MH の生成について、MH が生成された供試体の内部での MH の分布状態を把握するため、作製した供試体を上、中、下の三分割して、それぞれの MH 飽和率を測定した。その結果、目標 MH 飽和率 25% の場合、上、中、下それぞれ 23.2%、24.3%、25.3% となった。しかしその差は少ないことから MH が供試体内ではほぼ均一に生成されたことが考えられる。

次に三軸試験結果について記す。図-4 に MH 飽和率が 25%、30%、35%、50% の場合での試験結果を示す。MH 飽和率の増加に伴い、強度の増加が見られる。これは砂中で生成された MH が砂の粒子間で固着するように存在することで固結力が生じ、さらに MH の増加に伴い、固結力が大きくなったものと考えられる<sup>1)</sup>。体積変化に関しては MH 飽和率の増加に伴い、その挙動が収縮から膨張へと推移している。また、飽和度が高くなると、残留強度にも違いが現れる。軸ひずみ 50% までせん断を行った結果を図-5 に示す。MH を含む砂は、ピーク強度を迎えると固結力が次第に消失し、強度が低下していく。しかし、固結力が損傷しても間隙内に MH が存在することで、残留強度が高くなったものと考えられる。

図-6 に温度が 1℃、5℃ の場合での試験結果を示す。温度 1℃ の場合の方が高い強度を示した。MH 単体の強度は温度に依存することが確認されている<sup>2)</sup>ことから、温度低下により強度が増加する MH の温度依存性が現れたものと考えられる。

図-7 に背圧が 10MPa、15MPa の場合での試験結果を示す。背圧 15MPa の場合が高い強度を示した。MH 単体の強度は拘束圧に依存することが確認されている<sup>2)</sup>。本研究で生成した MH は砂中の間隙内または砂の粒子表面に存在していたと考えられるため、背圧の増加により、MH の強度が増加したものと考えられる。

### 4. まとめ

- (1) ガス浸透法により試験装置内で任意の MH 飽和率の供試体を作製することができた。
- (2) 作製した供試体を用いて三軸圧縮試験を行った結果、MH を含む砂の強度は MH 飽和率の増加、温度の低下、背圧の増加のそれぞれに依存して増加することが確認された。

【参考文献】1) 寺田和弘、兵動正幸、中田幸男、吉本憲正、古屋敷龍成、海老沼孝郎：深海底地盤条件下におけるメタンハイドレートを含む砂の力学特性の評価、第 40 回地盤工学研究発表会、pp425～426、2005。

2) 久保和子、兵動正幸、中田幸男、福永誠、中村和夫、山田研治：メタンハイドレートの強度特性に及ぼす温度と拘束圧の影響、第 51 回平成 11 年度土木学会中国支部研究発表会発表概要集、pp353～354、1999。

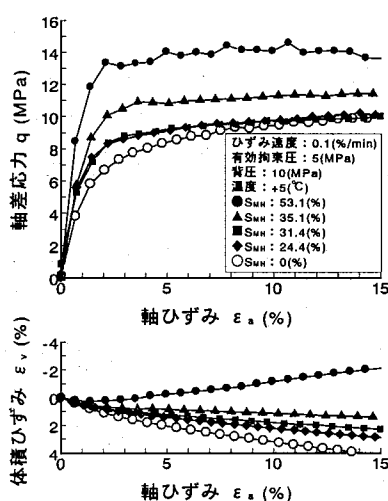


図-4 MH飽和率による影響

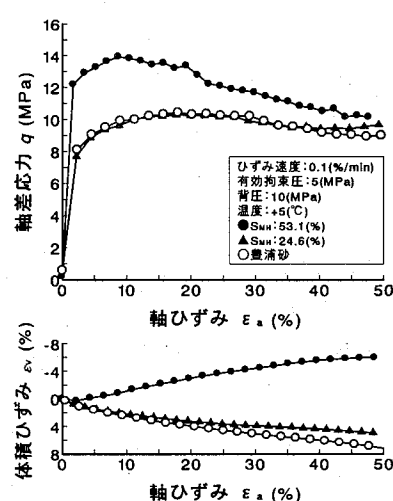


図-5 MH飽和率の残留強度への影響

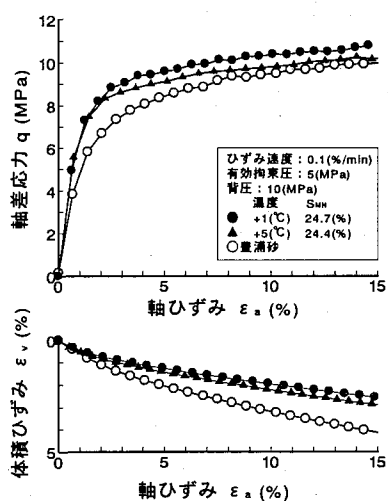


図-6 温度による影響

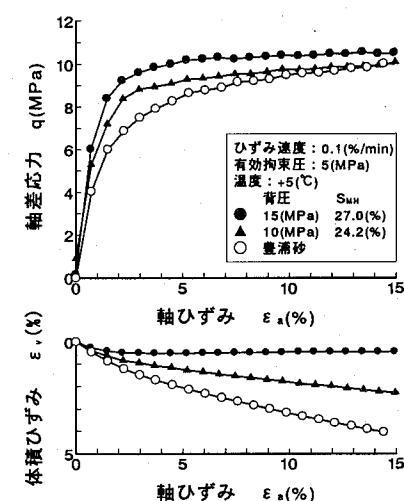


図-7 背圧による影響