

メタンハイドレートが存在する応力域における土の圧縮特性のモデル化

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 兵動 正幸 吉本 憲正

1. はじめに

エネルギー資源の枯渇問題, 温室効果ガスを削減するという世界的な流れの中, 代替エネルギーへの移行が必要であり, クリーンなエネルギーである天然ガス資源としてのメタンハイドレートが注目されている。メタンハイドレートはタービダイトと呼ばれる砂泥互層に存在する。現在、タービダイト堆積土の圧縮特性をモデル化した事例は少ない, モデル化することで, 今後メタンハイドレートを産出する際に海底地盤の沈下特性の予測に用いることができ, 有意義に活用することができる。そこでメタンハイドレートが存在する砂泥互層地盤に対し, その地盤が存在する応力域での圧縮特性をモデル化することを目的とした。特に, 圧縮時の時間依存性を考慮した圧縮特性のモデル化することが必要と考えた。本研究では既往の研究²⁾より得られた砂泥互層の模擬試料の一つである T_b の等方圧縮試験結果を用いてメタンハイドレートが存在する応力域における圧縮特性のモデル化を検討した。

2. モデル化の概要

模擬試料の T_b はメタンハイドレート濃縮層の粒度曲線の平均的な粒度曲線であるため, T_b のモデル化を検討した。図 1 は, 典型的な応力 - 温度関係とメタンハイドレートの存在領域を示している²⁾。

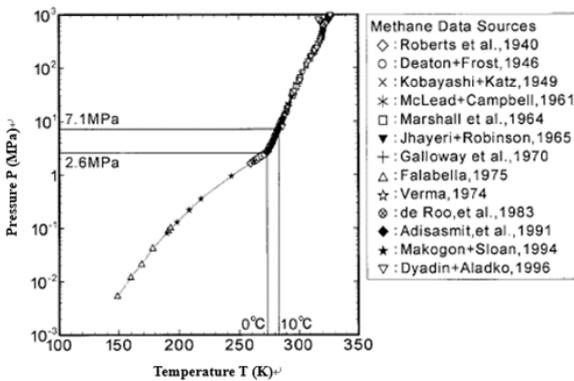


図 1.メタンハイドレートの存在領域

メタンハイドレートの存在応力領域において, 10°C

で 7.1MPa, 0°Cで 2.6MPa から安定して存在することがわかる。よって今回モデル化する応力域を 1MPa ~7MPa と設定した。

3. 提案する圧縮特性のモデル

モデルは弾塑性論に基づいた構成則とした。このモデル式は式(1)で表される。この式では応力増分からひずみ増分を計算するものである。式(1)は、表 1 に示す内部変数, 表 2 に示す材料定数を含み, これらのパラメータについては後述する。

$$d\varepsilon = \left(\frac{1}{K^p + K^x}\right)dp + \left(\frac{1}{K^e}\right)dp + d\varepsilon^c \dots(1)$$

表 1.式(1)に含まれる内部変数

K^e	体積弾性係数
K^p	塑性係数
$d\varepsilon^c$	クリープひずみ増分
p_y	降伏応力
K^x	過圧密塑性係数

表 2.式(1)に含まれる材料定数

a	二次圧密係数
u	過圧密塑性係数の制御係数
β	载荷速度係数
λ	$e-\ln p$ 空間における正規圧密曲線上の傾き
κ	$e-\ln p$ 空間における過圧密曲線上の傾き
e_0	正規圧密曲線上の間隙比

体積弾性係数は弾性状態でのひずみ増分を算出するための係数であり, 式(2)に示すように表すことができる。塑性係数は塑性状態でのひずみ増分を算出するための係数であり, 式(3)に示すことができる。

$$K^e = \frac{1+e_i}{\kappa} p \dots(2), \quad K^p = \frac{1+e_0}{\lambda-\kappa} p_y \dots(3)$$

クリープひずみは時間が経過することにより生じるひずみのことで時間に依存する。図 2 に示す T_b の等方圧縮試験結果²⁾を確認すると, 各応力ステップにおいて一定時間応力を保持している間においても無

キーワード 圧縮特性, 時間依存, モデル化

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

視できない間隙比の変化が発生している。このため提案するモデルではクリープひずみを導入した。クリープひずみの算定式を式(4)に示す。ここでは、粘土の時間依存性を評価するクリープひずみの評価式と同じ関係式を採用することとした。

$$d\varepsilon^c = d\varepsilon_0 \exp\left(-\frac{\varepsilon^c}{\alpha}\right) \dots (4)$$

ここで、二次圧密係数 α はクリープひずみ増分 $d\varepsilon^c$ を算出する際に必要なパラメータであり、クリープひずみによる間隙比の変化量を評価する。このパラメータは、図2に示すようにひずみと時間のグラフの傾きから求められる。

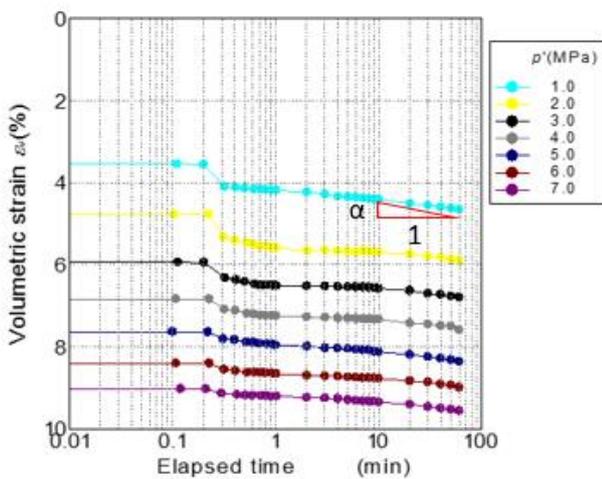


図2.ひずみと時間の関係図

降伏応力は土の状態が弾性状態から弾塑性状態に遷移するときの応力である。降伏応力は、塑性変形を生じることで増加するが、この関係を式(5)に、また降伏応力増分を式(6)に示す。式(6)に示すように、このモデルでは、クリープひずみも不可逆的なひずみとして、降伏応力の増加に寄与するとした。

$$p_y = p_0 + dp_y \dots (5) \quad dp_y = K^p \times (d\varepsilon^p + d\varepsilon^c) \dots (6)$$

過圧密塑性係数を適用することで、過圧密時においても土が示す微小な塑性変形を評価することを可能にする。この計算式を式(7)に示す。この式に含まれているパラメータが過圧密塑性係数の制御係数 u と载荷速度係数 β である。過圧密塑性係数の制御係数は実験結果から直接求めることができ、グラフの降伏応力付近における曲率を調整する役割を担う。また、载荷速度係数 β を考慮することによって、载荷速度の影響を考慮することが可能になった。

$$K^x = (-u(\ln R) + \beta \times d\varepsilon^e) p_y \dots (7)$$

図3は、式(1)を用いて計算した間隙比と平均主応力との関係を示している。図3には図2で示した結果も示している。なお、式(1)を用いた計算値の算出には、実験中の応力の载荷速度や保持時間を考慮している。この結果、各応力段階において、応力増加だけでなく、応力保持中の間隙比変化を再現することがわかる。

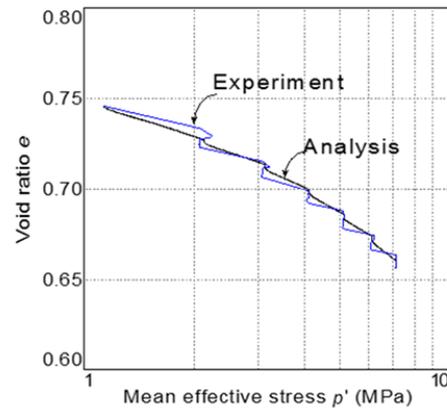


図3.等方圧縮試験結果とモデル化した $e-\ln p$ 関係

4. まとめ

メタンハイドレートが存在する海底地盤の応力域と時間依存性を考慮した圧縮特性のモデル化を検討した。ここでは段階载荷型の等方圧縮試験による間隙比の変化を対象にモデル化の妥当性を検討した。モデル化においてクリープ特性や载荷速度依存性を評価することにより再現性を向上することを試みた。その結果メタンハイドレートが存在するような高い応力域での土の圧縮量を再現可能となった。

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」の研究活動の一環として実施したものである。関係者各位に対し、謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 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/>
- 2) 米田 純, メタンハイドレートを含む深海底堆積土の力学特性及び変形挙動の評価に関する研究, 山口大学学位請求論文, <http://www.lib.yamaguchi-u.ac.jp/yunoca/handle/DT0610550>