

メタンハイドレート胚胎層の模擬供試体の力学的性質

三軸圧縮試験 砂 力学的性質

早稲田大学 学生会員 ○柴山 周也
 早稲田大学 学生会員 高梨 悟史
 早稲田大学 国際会員 赤木 寛一
 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 安部 俊吾

1. はじめに

将来のエネルギー資源として期待されているメタンハイドレート（以下、MH）は、日本近海の海底下に多く存在している¹⁾。MHの生産手法として、MH胚胎層の圧力を低下させMHをガスと水に分解し、ガス/水を地上に回収する減圧法の使用が最も有望視されており、第1回海洋産出試験においてもその有効性が確認されている²⁾。しかし、減圧法適用により、MH胚胎層にてジオメカニク的に不安定な状態となることが想定され、過去の産出試験においてもガス/水とともに砂粒子が生産される出砂現象が確認されている²⁾。この際、地盤内の透水性が上昇することも考えられる。Uchidaらは出砂現象を評価することを目的とした解析モデルの構築が進めているが、計算では導出が困難なパラメータが存在する³⁾。他方、大山らは、MH胚胎層の条件を再現した人工供試体への透水試験を実施し、出砂発生の有無を検証している⁴⁾。本研究では、Uchidaらの出砂モデルに必要なパラメータを実験的に導出するべく、大山らの使用した実験装置を利用した検討を行う。本報告では、三軸圧縮試験を用いて出砂実験に用いるMH胚胎層の模擬供試体の力学特性を試験し、また、MH分解に伴う透水性上昇を模擬する手法として高吸水性ポリマー混合土に対して塩化カルシウム溶液を送水する方法を検討していることから、ポリマー混合模擬供試体の力学特性も試験した。

2. 使用した試料

本報告で使用した試料の配合比を表1に、粒径加積曲線を図1に示す。この試料は第1回海洋産出試験から得られたサンプルより、各材料の配合比を決定して模擬された供試体である⁵⁾。なお、含水比は0.11%、平均の土粒子密度は2.59g/cm³である。また、使用したポリマーは三洋化成工業社製のGEOSAPであり、その配合を表2に示す。

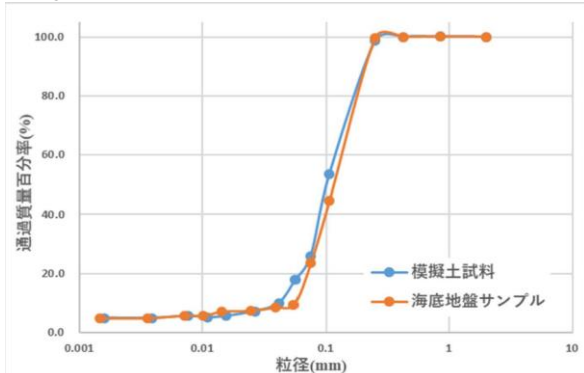


図1 サンプル及び模擬土の粒径加積曲線

表1 模擬土の質量配合比

	豊浦砂	東北珪砂8号	東北珪砂8号(106 μ)	カオリン
配合比	20	68	11	1

表2 ポリマー配合表

注入 溶液 配合	吸水倍率 Q (g/g)	479		
	自由水率 η (%)	0		
	使用水電気伝導率 EC_0 (μ S/cm)	163		
	使用水GEOSAP吸水倍 (g/g)	479		
	NaCl溶液電気伝導率 EC (μ S/cm)	163		163
	調整NaCl質量濃度 (%)	0.000		
	使用水量 W (g)	500		500
	NaCl添加量 A (g)	0.00		0
SAP添加量 S (g)	1.04	1.04		
粘度 (60rpm) μ (P)				

表3 ポリマー混合土の物性値

土350gに対するポリマー混合量 mL	土の湿潤質量 g	ポリマー混合量 mL	土の乾燥質量 g	土粒子の体積 cm ³	圧密後の供試体体積 cm ³	圧密後の供試体間隙体積 cm ³
0	330.6	0.0	330.2	127.5	203.6	76.1
10	332.0	9.5	331.6	128.0	204.5	76.5
30	307.5	26.4	307.2	118.6	201.3	82.7
50	305.7	43.7	305.4	117.9	192.6	74.7

3. 実験条件

3.1 土のみの模擬土

圧密排水条件下で実験を行った。ひずみ速度を0.1%/minとし、側圧を50, 100, 200kPa下でそれぞれ行った。

3.2 ポリマー混合土

圧密排水条件下で実験を行った。ひずみ速度を0.1%/min、側圧を100kPaとし、土350gに対して10mL, 30mL, 50mLと混ぜた3種類の供試体に対して試験した。各供試体の物性値を表3に示す。

表4 模擬土の試験

側圧 kPa	Mr	Φ_r'
50	1.34	33.30
100	1.27	31.51
200	1.32	32.85

Mechanical properties of model specimen of methane hydrate-bearing sediments

Shuya Shibayama, Satoshi Takahashi,
 Hirokazu Akagi (Waseda University),
 Shungo Abe (JOGMEC)

4. 実験結果

4.1 土のみの模擬土

各側圧条件での主応力差とせん断ひずみの関係を図2に示す。側圧 50, 100, 200kPa における最大主応力差はそれぞれ 248.1, 467.5, 及び 914.4kPa であった。これらの結果から、ダイレイタンス補正式を用いた内部摩擦角 ϕ_r' の結果を表4に示す。なお、ダイレイタンス補正式は主応力差 q , 平均有効主応力 p' , 限界状態パラメータ M , 体積ひずみ $d\varepsilon_v^p$, せん断ひずみ $d\varepsilon_s^p$ (上付き p は塑性ひずみを表す) を用いて式(1)のように表され、供試体破壊時に $M=M_r$ となり、式(2)を用いて ϕ_r' を算出する。

$$q = M \cdot p' + p' \cdot \left(-\frac{d\varepsilon_v^p}{d\varepsilon_s^p} \right) \quad (1)$$

$$\phi_r' = \sin^{-1} \left(\frac{3M_r}{6 + M_r} \right) \quad (2)$$

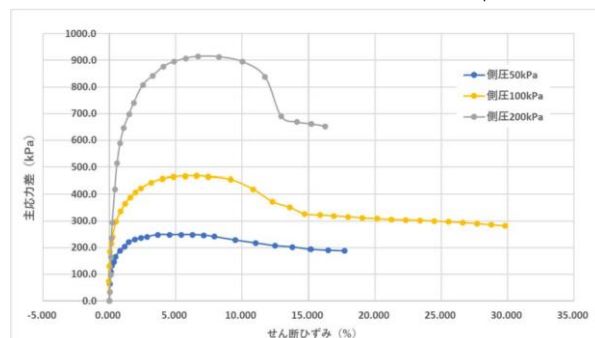


図2 主応力差とせん断ひずみの関係 (土のみ模擬土)

4.2 ポリマー混合土

各ポリマー含有量における主応力差とせん断ひずみの関係、体積ひずみとせん断ひずみの関係をそれぞれ図3, 図4に示す。図3から、ポリマー含有量が多いほど最大主応力差は小さくなり、供試体の強度が低下することが分かった。また図4について、今回の実験では土のみの模擬土はせん断ひずみ 30%程度の時点で体積変化が終了したが、ポリマーが 30mL および 50mL 含有した混合土では、せん断ひずみ 50%程度の時点まで排水による供試体の体積変化が継続することが確認された。ひずみ速度一定での試験であることから、ポリマー混合土の方が土のみの模擬土より体積変化終了までより多くの時間を要する傾向にあることが示唆された。ここで、体積変形は圧密による排水に依り生じることから、ポリマーを混合することで、排水に要する時間が増加する、つまり供試体の透水性が低下することが考えられる。

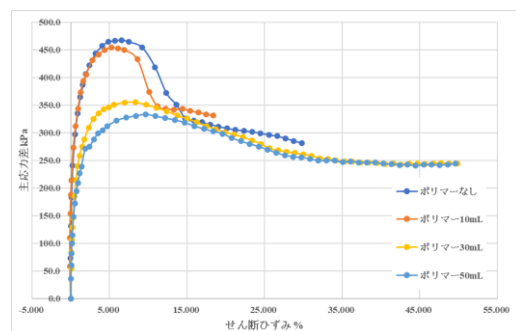


図3 主応力差とせん断ひずみの関係 (ポリマー混合土)

5. 結論

本報告では、MH 胚胎層模擬土の力学的性質を調査し、ポリマーを混合することで透水性が低下する傾向にあることが確認された。一方、ハイドレートの存在により供試体の強度が高まると想定していたものの、今回強度の低下が見られたことから、MH 模擬としての適合性に関しては今後さらなる検討が必要である。今後の調査では、三軸圧縮試験中に塩化カルシウムを注入し、ポリマーの離水作用を利用して試験中に透水性を上げる過程の試験を行い、MH 生産時における透水性増加の模擬を試みたい。

※本内容は、経済産業省の委託により実施しているメタンハイドレート研究開発事業において得られた成果に基づいています。

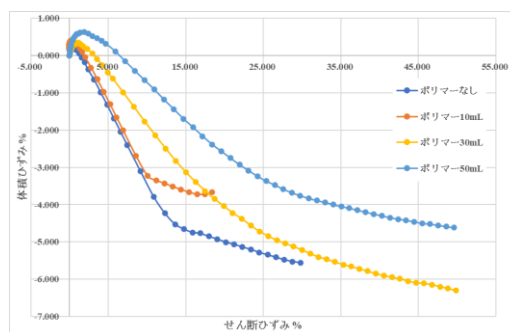


図4 体積ひずみとせん断ひずみの関係 (ポリマー混合土)

参考文献

- 1) 「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」フェーズ2及びフェーズ3 総括成果報告書, メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム, 2019.
- 2) Yamamoto et al., Operational overview of the first offshore production test of methane hydrates in the Eastern Nankai Trough, OTC025243-MS, 2013.
- 3) Uchida et al., Sand production model in gas hydrate-bearing sediments, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 86, p.303-316, 2016.
- 4) 大山裕之, 長尾二郎, 鈴木清史, 成田英夫, 減圧法適用時におけるメタンハイドレート胚胎コアの出砂現象の実験的解析, Journal of MMIJ, Vol. 126, No. 8, 9, p.497-502, 2010.
- 5) 柴山周也, 船橋知希, 赤木寛一, 安部俊吾, メタンハイドレート胚胎層の模擬供試体の作製, 第55回地盤工学会研究発表会, 2020.