

京都大学工学部
 京都大学大学院
 京都大学大学院
 京都大学大学院

学生会員 ○最明 和樹
 フェロー会員 岡 二三生
 正会員 木元 小百合, 肥後 陽介
 学生会員 岩井 裕正

1. 研究の背景および目的

2011年2月にメタンハイドレート開発対象領域とされている東部南海トラフで海底地盤ボーリング調査が実施された。メタンハイドレート開発時には、生産井付近で急激な圧力変化やガスの発生により、地盤変形が生じると考えられる。そのため事前に開発対象領域の海底地盤の力学特性を把握し、安定性評価をする必要がある。

2. 三軸圧縮特性

2.1. 試料の概要

本研究で用いた試料は、2011年2月に地球深部探査船「ちきゅう」を用いて行われたボーリング調査により得られた試料である。ボーリング調査は東部南海トラフ(第二渥美海丘)で行われ、採取試料の深度は海底面から約55m(AT1-GT3-23P)、試料採取地点の水深は997mである。試料の原位置での有効土被り圧は280kPaである。

2.2. 試験方法

本研究では、試料が非常に貴重で、数に限りがあり、材料の時間依存性を知るため、ひずみ速度急変三軸圧縮試験を行った。高さ100mm、直径50mmにトリミングした供試体を二重負圧法で飽和化させ、背圧200kPa、有効拘束圧280kPa、で約22.5時間圧密した後、せん断中にひずみ速度を0.005%/min、0.1%/minで数回急変させた。

2.3. 試験結果

ひずみ速度急変試験における応力-ひずみ関係を図1に、有効応力径路を図2に示す。

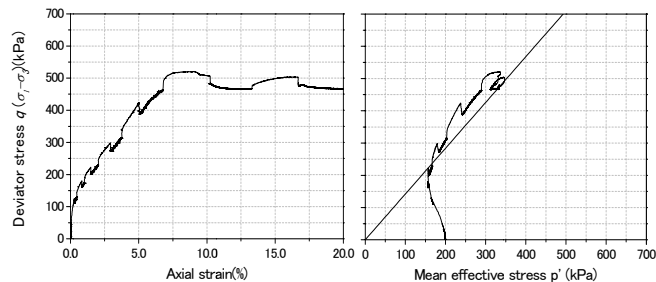


図1 応力-ひずみ関係

図2 有効応力径路

また、各ひずみ速度に分け、ポイント間を仮想的に繋いだ図を図3,4示す。

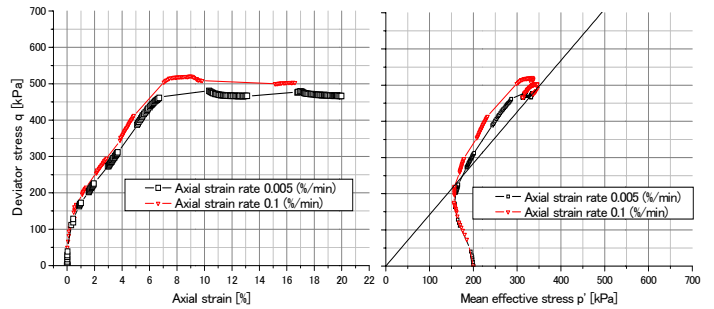


図3 応力-ひずみ関係

図4 有効応力径路

図3より両ひずみ速度とも明確なピーク応力は見られない。図4より、初期に負のダイレイタンスシーによる有効応力減少挙動が見られ、その後に圧縮に転じており、典型的な過圧密土の挙動を示している。限界状態での応力比は両ひずみ速度共に1.42となった。

3. 弾粘塑性構成式の適用

3.1. 地盤の弾粘塑性構成式

全ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{ij}$ は弾性ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{ij}^e$ と粘塑性ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{ij}^{vp}$ の和で表現される。

$$\dot{\epsilon}_{ij} = \dot{\epsilon}_{ij}^e + \dot{\epsilon}_{ij}^{vp} \tag{1}$$

・過圧密境界面

$$f_b = \bar{\eta}^*(0) + \tilde{M}^* \ln \frac{\sigma'_m}{\sigma'_{mb}} = 0 \tag{2}$$

σ'_{mb} は硬化パラメータである。

・静的降伏面

$$f_y = \bar{\eta}^*(x) + \tilde{M}^* \ln \frac{\sigma'_m}{\sigma'_{my}(s)} = 0 \tag{3}$$

\tilde{M}^* : ダイレイタンス係数

・粘塑性ポテンシャル面

$$f_p = \bar{\eta}^*(x) + \tilde{M}^* \ln \frac{\sigma'_m}{\sigma'_{mp}} = 0 \tag{4}$$

・粘塑性流れ則

$$\dot{\epsilon}_{ij}^{vp} = \gamma \langle \Phi_{ijkl}(f_y) \rangle \frac{\partial f_p}{\partial \sigma'_{kl}} \quad \langle \Phi_{ijkl}(f_y) \rangle = \begin{cases} \Phi_{ijkl}(f_y) & : (f_y > 0) \\ 0 & : (f_y \leq 0) \end{cases} \tag{5}$$

3.2. 材料定数の決定

ひずみ速度依存性に関する粘塑性パラメータ m' は、以下の式(5)を用いて求められる。

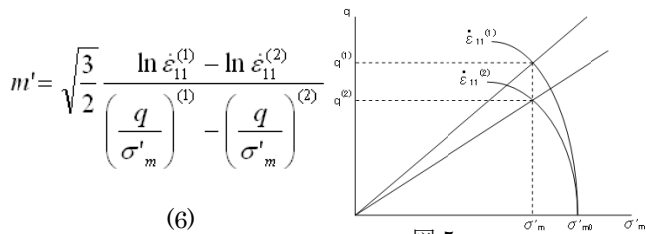


図5

2点で平均をとり m' を求めたところ $m'=26.6$ となった。

解析に用いたパラメータを表1に示す。

表1 パラメータ

Case	Case1	Case2
初期せん断弾性係数 G_0 (kPa)		8000
圧縮指数 λ		0.185
膨張指数 κ		0.0116
初期間隙比 e_0		1.02
初期有効応力 σ'_0 (kPa)		200
圧密降伏応力 σ'_{mbf} (kPa)	1000	600
限界状態での応力比 M^*_m		1.16
粘塑性パラメータ m'		26.6
粘塑性パラメータ C_0 (1/s)	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
内部構造パラメータ σ'_{maf} (kPa)		332
内部構造パラメータ β	1	25
移動硬化パラメータ B^*	0	40

実験結果、西尾ら(2011)を参考にした推測値、パラメトリックスタディーにより決定。

3.3. 解析結果と実験結果の比較

・Case1 圧密降伏応力 $\sigma'_{mbf}=1000$

図6,7でひずみ速度0.005%/minにおける解析と実験結果の比較、図8,9で各ひずみ速度における解析結果の比較を示す。圧密降伏応力 $\sigma'_{mbf}=1000$ では実験結果の挙動をよく表現できない。また圧密降伏応力については本試験で用いた試料と同深度での値が得られておらず、推測に用いた試料についてもCRS試験により圧密降伏応力が大きく計測された可能性がある。

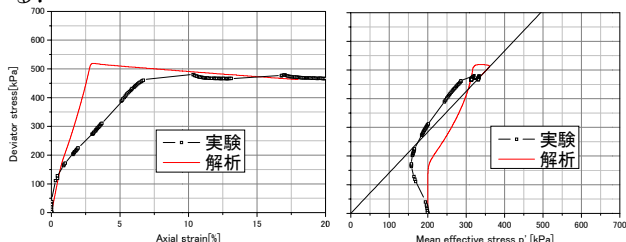


図6 応力-ひずみ関係

図7 有効応力経路

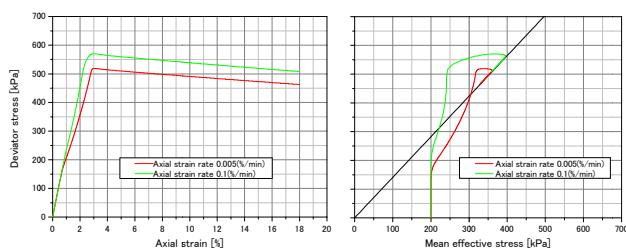


図8 応力-ひずみ関係

図9 有効応力経路

そこで、圧密降伏応力 $\sigma'_{mbf}=600$ とし Case2 で比較を

行う。

・Case2 圧密降伏応力 $\sigma'_{mbf}=600$

図10,11でひずみ速度0.005%/minにおける解析と実験結果の比較、図12,13で各ひずみ速度における解析結果の比較を示す

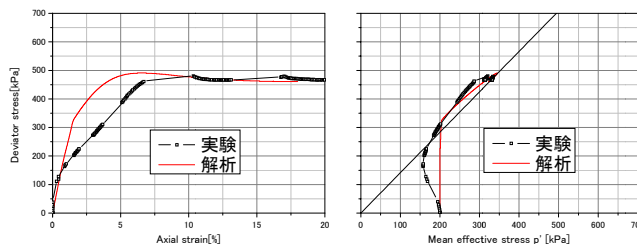


図10 応力-ひずみ関係

図11 有効応力経路

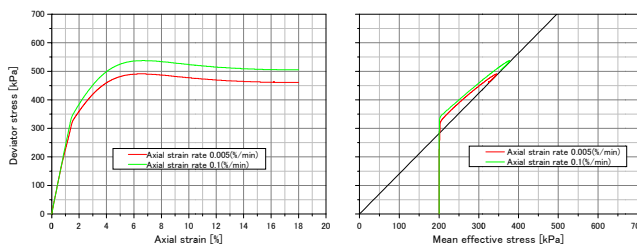


図12 応力-ひずみ関係

図13 有効応力経路

圧密降伏応力 $\sigma'_{mbf}=600$ において、図10では、明確なピーク応力が見られない挙動をうまく表現できている。図11では、変相後の挙動をよく表現できている。実験結果における初期の有効応力が減少している挙動は、掘削後の運搬過程で試料が乱れた可能性がある。

4. 結論

地盤の浸食やセメンテーションにより、重過圧密状態であると考えられる東部南海トラフ海底地盤から採取した試料を用いて、ひずみ速度急変試験を行い、材料定数を決定した。また、本研究では、主に圧密降伏応力に注目して弾粘塑性構成式に適用した。

謝辞

本研究は、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構「平成23年度メタンハイドレート開発促進事業に関する委託研究」の一部として実施しました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1)西尾伸也,萩迫栄治,傳田 篤,田中洋行,兵動正幸,三田地利之,平川博之,海洋産出試験サイトの地盤物性評価,第3回メタンハイドレート総合シンポジウム,CSMH-3,pp17-20,2011.
- 2)岡二三生,木元小百合,弾粘塑性構成式と南海トラフ海底地盤で採取された土への適用,材料,Vol.27,No.3,pp.237-242,2008.