

メタンハイドレート混合砂の力学特性に及ぼす温度、背圧の影響

山口大学大学院 学生会員○寺田和弘 小倉勇志
山口大学大学院 正会員 兵動正幸
山口大学工学部 正会員 中田幸男 吉本憲正
(独) 産業技術総合研究所 海老沼孝郎

1.はじめに

近年、エネルギー資源の枯渇、地球温暖化などの背景をうけて、新たなエネルギー資源である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その科学的性質から高压、低温条件下において存在し、日本近海では南海トラフなど水深 1000m を超える深海底地盤内に堆積土砂と混合した状態で存在する。メタンハイドレート堆積層から安全にメタンガスを生産するためには、メタンハイドレートを含む地盤の力学特性について十分に把握する必要がある。本研究ではガス浸透法で作成されたメタンハイドレート混合砂を対象に、その強度に及ぼす温度、背圧の影響について検証した。

2.試験の概要

本研究では、ガス浸透法によってメタンハイドレート混合砂供試体を作成した。すなわち、含水比を約 15%に調整した豊浦砂を不飽和状態で相対密度が約 90%になるようにアクリル樹脂製の筒に締固め、メタンハイドレート作成装置に設置し、高压でメタンガスを浸透させることにより間隙水をメタンハイドレートに置換した。作成後、供試体を直径 30 mm、高さ 60 mmの円筒状に整形した。試験装置の概略を図 1 に示す。本研究で用いた試験装置は、温度制御可能な高压三軸試験装置であり、温度調節された不凍液をセル内に循環させることによって-30℃~+50℃の範囲で三軸室内温度を変化させることが可能である。また試験機上下部に設置された背圧増幅装置によって最大 20MPa の背圧が負荷できる。最大軸圧縮力は 200kN、最大拘束圧は 30MPa である。試験条件を表 1 に示す。まず、せん断強度に及ぼす温度の影響を調べるために、拘束圧 15MPa、背圧 10MPa とし、温度を+1℃、+5℃、+10℃と変化させた条件で実験を行った。次にせん断強度に及ぼす背圧の影響を調べるために、温度+5℃、有効拘束圧 5MPa の条件で背圧を 15MPa、10MPa と変化させた。比較のために豊浦砂のみを用いて同じ条件で実験を行った。また試験終了後は三軸セル内温度を-30℃にし、速やかに試験装置から供試体を取り出し、メタンガス量を測定した。常温、常圧で発生したメタンガス量から、もともと供試体内にあったメタンハイドレートの体積を算出し、メタンハイドレート飽和率を求めた。飽和率の算定式を以下に示す。メタンハイドレートの密度は 0.913g/cm³、式量は 124g/mol である。

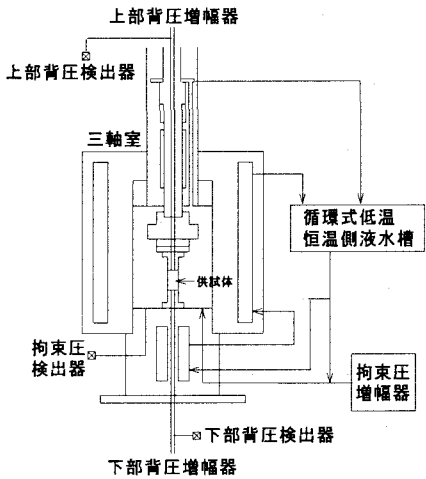


図 1 試験機配管図

表 1 試験条件

		温度 (℃)	背圧 (MPa)	MH飽和率(%)	間隙比	
					初期	圧密後
試験 番号	Case1	1	10	31.96	0.684	0.592
	Case2	5	10	40.79	0.650	0.543
	Case3	10	10	21.07	0.664	0.561
	Case4	5	15	40.51	0.650	0.543

$$V_{MH} = \frac{V_{GMH} \times 124}{V'_{GMH} \times 0.913} \qquad S_{MH} = \frac{V_{MH}}{V_v} \times 100$$

V_{MH} : メタンハイドレートの体積(cm³)

V_{GMH} : 測定中に発生したメタンガスの体積 (cm³)

V'_{GMH} : 測定時の温度、圧力条件下における 1mol のメタンガスの体積 (cm³/mol)

S_{MH} : メタンハイドレート飽和率(%)

V_v : 供試体間隙の体積(cm³)

3. 試験結果と考察

図 2 に温度+1℃, +5℃, +10℃の条件下で行った実験で得られた軸差応力-軸ひずみ-体積ひずみ関係を示す。いずれの温度条件においてもメタンハイドレート混合砂の強度は同条件で行った豊浦砂単体の結果よりも大きな値を示した。これは砂中にメタンハイドレートが存在することにより

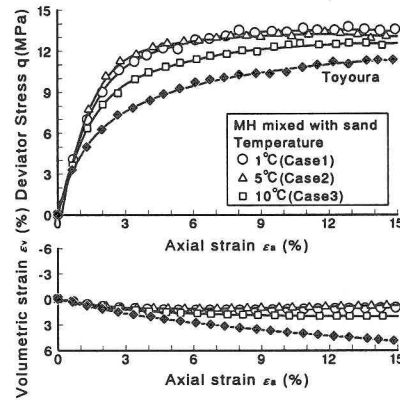


図 2 軸差応力-軸ひずみ-体積ひずみ関係

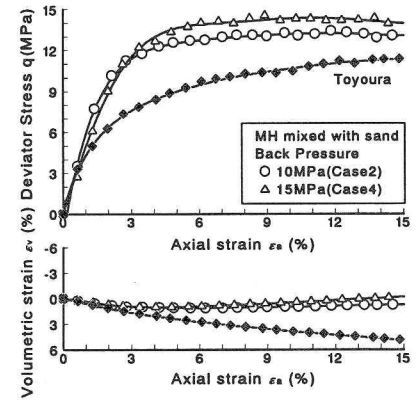


図 4 軸差応力-軸ひずみ-体積ひずみ関係

強度が増加することを示している。図 3 にメタンハイドレートの存在状態概念図⁹⁾を示す。存在状態としてはメタンハイドレートが土粒子と土粒子の間に存在するフレーム型、間隙内に浮遊するように存在する間隙浮遊型、間隙を満たすように存在する間隙充填型、土粒子表面及び間隙内に土粒子を固結するように存在する土粒子固着型が考えられている。本研究で用いたメタンハイドレート混合砂は不飽和の砂中に高圧メタンガスを浸透して作成しているため、土粒子固着型であると考えられる。メタンハイドレートの固結力が発揮された結果、強度が増加したと推察される。温度の違いによる強度の違いに着目すると、温度が+1℃, +5℃, +10℃と高くなるのに伴って低下する傾向が認められる。これまでメタンハイドレート単体の力学特性²⁾として、温度依存性が報告されている。本研究ではメタンハイドレート混合砂においても強度の温度依存性が確認された。また体積ひずみについては豊浦砂単体の

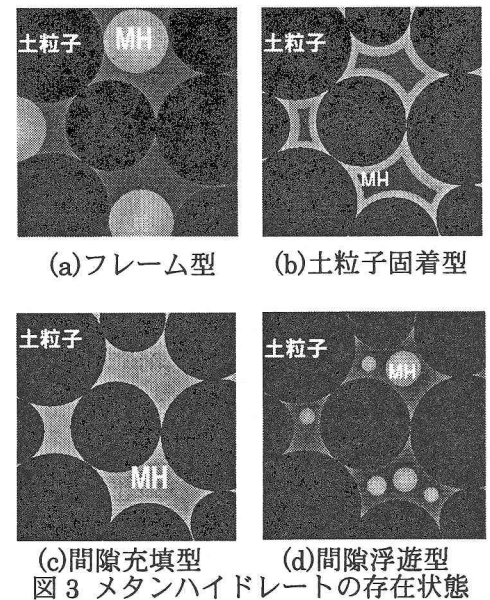


図 3 メタンハイドレートの存在状態

試験結果が収縮一方であるのに対し、メタンハイドレート混合砂では収縮から膨張に転じる挙動を示す結果となった。図 4 に温度、有効拘束圧を一定とし背圧を 10MPa, 15MPa と変化させた場合の軸差応力-軸ひずみ-体積ひずみ関係を示す。背圧が高くなるに伴い、強度が増加する傾向を示している。また、いずれも体積ひずみは収縮から膨張に転ずる挙動となった。メタンハイドレート単体強度の拘束圧に対する依存性については報告されているが、本研究で用いたメタンハイドレート混合砂においては砂が骨格を形成し、その間隙内及び土粒子表面にメタンハイドレートが存在していると考えられるので、背圧の増加に伴いその固結力が増加したと考えられる。これは深海底地盤内におけるメタンハイドレートの強度は水深に依存することを示している。

4. まとめ

①豊浦砂単体とメタンハイドレート混合砂の試験結果の比較により、メタンハイドレートが地盤中に存在することで地盤強度が増加することが確認された。②拘束圧、背圧を一定とし、温度を+1℃, +5℃, +10℃と変化させ実験を行った結果、温度の低下に伴い強度が増加する温度依存性が確認された。③温度、拘束圧を一定とし背圧を 10MPa, 15MPa と変化させた結果、背圧の増加に伴い強度が増加する背圧依存性が確認された。

【参考文献】

- 1) 若林成樹・西尾伸也・安部透・荻迫栄治・傳田篤：メタンハイドレートを模擬した氷試料の微視的構造，第 39 回地盤工学研究発表会，2004，pp. 361-362
- 2) 福永誠・兵動正幸・中田幸男・久保和子・中村和夫・山田研治：メタンハイドレートの力学特性に与える温度と拘束圧の影響，第 34 回地盤工学研究発表会，1999，pp. 633-634