

細粒分を含むメタンハイドレート固結砂の 平面ひずみせん断特性

山口大学大学院 学生会員○加藤晃 梶山慎太郎

山口大学大学院 正会員 兵動正幸 中田幸男 吉本憲正

1. まえがき 南海トラフの海底地盤の間隙中に多量に存在するメタンハイドレート（以下：MH と略す）は、日本の国産エネルギーとして期待されている。南海トラフの MH が多量に存在する地層（以下：MH 濃集層と称す）は砂泥互層であり、各層で細粒分含有率が異なる。そのため地盤の強度や変形挙動は各層で異なると考えられる。また坑井掘削時及び減圧法¹⁾による MH 生産時の坑井周辺での応力変化によって、地盤が変形を起こすと考えられる。さらに MH 濃集層は MH によって固結されているため、局所的に変形を起こしやすいことが考えられる²⁾。本研究では、細粒分含有率の違いによる MH 固結砂のせん断挙動や局所変形について把握するため、恒温高压平面ひずみ実験装置を用いてせん断試験を行った。

2. 実験方法 供試体は幅 60mm×奥行 80mm×高さ 160mm の直方体であり、アクリル製の拘束板によって中間主応力方向 (ϵ_2 方向) を拘束されている。試料には MH 濃集層の斜光葉理層の粒度と鉱物組成を模擬した試料（以下： T_c と称す）を用いた。供試体は $n=40\%$ を目標とし、目標の MH 飽和率 $S_{MH}(\%)$ になるように含水比の調整を行ったものを、湿潤突き固め法により作成した。次にメタンガスを注入し、圧力 5MPa、温度 5°C において、間隙水を MH に置換する。その後、供試体を水で飽和させ、所定の条件に有効拘束圧・温度・間隙水圧を調整し、せん断速度 0.1%/min で圧密排水せん断試験を行った。このとき、供試体のメンブレンに 5mm×5mm のメッシュを描き、各画像のメッシュの交点座標を読み取ることで PIV 解析³⁾を行った。解析結果から供試体の局所変形の評価を行う。

3. 実験結果 図-1 に豊浦砂と T_c の粒度分布を示す。図のように T_c は 20% 程度の細粒分を含む。図-2 に応力比ひずみ関係を示す。細粒分を含むことによって、 T_c は豊浦砂よりも強度が低く、ピーク強度を過ぎた後も体積は圧縮傾向を示している。 T_c 及び豊浦砂中に MH を生成した場合、いずれも MH の固結力により強度が増加し、体積ひずみはピーク強度を過ぎた後、体積変化は圧縮傾向から膨張傾向を示す。特に豊浦砂では、最終的に膨張側の体積ひずみとなっている。さらに、豊浦砂の場合

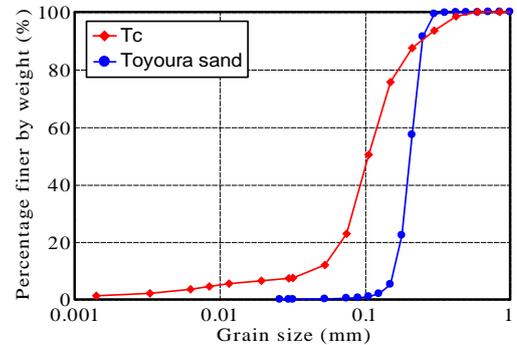


図-1 粒度分布

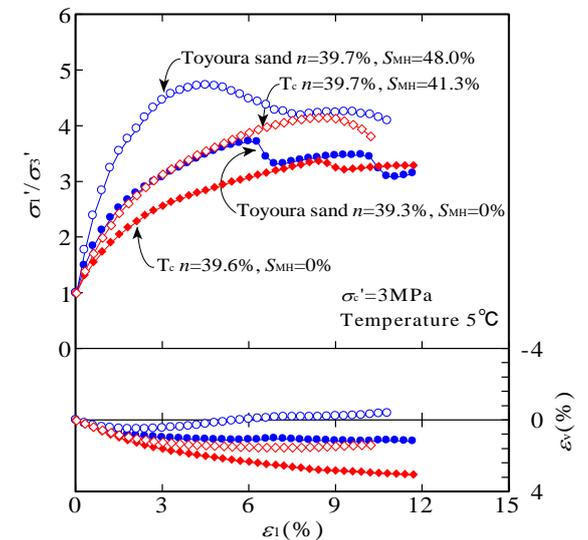
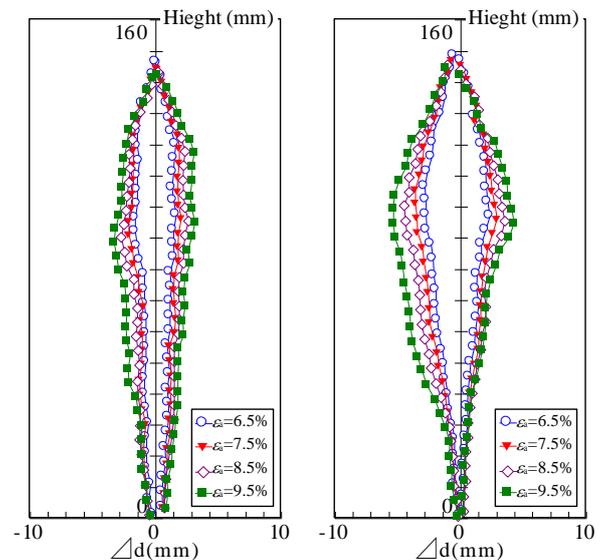


図-2 応力比ひずみ関係



(i) T_c : ホスト砂 (ii) T_c : MH 固結砂

図-3 供試体の側方変位分布

には、MHを含むことにより低い軸ひずみでピーク強度が発現するが、 T_c の場合は、MHの有無に関わらず、同じ軸ひずみ $\epsilon_1=8.5\%$ においてピーク強度の発現が認められる。図-3に T_c （以下：ホスト砂と称す）とMHに固結された T_c （以下：MH固結砂と称す）のせん断試験における各軸ひずみ ϵ_1 発現時の供試体の側方変位分布を示す。この図は、圧密後供試体のせん断過程における供試体の左右端の側方変位をトレースし、高さ方向の分布を示したものである。ホスト砂とMH固結砂の変位を比較すると、MH固結砂の方が側方変位量は大きく現れている。これはホスト砂の場合では、細粒分が空隙を埋めるように変形するからであると考えられる。またMH固結砂の場合では、供試体が局部的に膨張しており、ホスト砂の場合よりも側方方向の変位量が大きいことがわかる。これはMHが土粒子同士を団粒化させ、周りの土粒子を乗り越える際に、大きく移動したためであると考えられる。ここで図-4及び図-5に最大せん断ひずみコンター図を示す。ホスト砂及びMH固結砂共に、軸ひずみが進行していくと、せん断帯付近においてせん断ひずみが発達しており、MH固結砂の方が変形は広範囲に及んでいることがわかる。図-6及び図-7に体積ひずみコンター図を示す。ホスト砂の場合、せん断帯内において膨張している箇所を確認できるが、供試体は全体的には圧縮していることがわかる。MH固結砂の場合、ホスト砂の場合と比較すると体積膨張はピーク強度に達した後から顕著に起こっていることがわかる。特に、せん断帯を中心に体積膨張が広範囲に及んでいることがわかる。

4.まとめ 本研究では、細粒分を含む砂の平面ひずみせん断試験を行った。また、MHの有無による違いに

ついて着目した。その結果、細粒分を含むことによって、 T_c は豊浦砂よりも強度が低く、ピーク強度を過ぎた後も体積は圧縮傾向を示すことが確認された。また T_c 及び豊浦砂にMHを含ませることによって、MHの固結力により強度は増加し、体積は膨張傾向を示すことが明らかとなった。また軸ひずみが進行するにつれて、せん断帯内において体積膨張を起こしていることが明らかとなった。さらにせん断帯付近での体積膨張量は、ホスト砂よりもMH固結砂の方がより顕著に表れることが明らかとなった。

参考文献 1) <http://www.mh21japan.gr.jp/mh/05-2/2>) 香月大輔：粒子の破碎強度と固結の強さに着目した固結構造を有する粒状材料の力学特性に関する研究，山口大学理工学研究科，博士論文，pp.87-117，2004. 3) 梶原拓也,庄麗,中田幸男,兵動正幸,吉本憲正:平面ひずみ圧縮を受けた砂の粒子形状と変形・破壊挙動,第46回地盤工学研究発表会,377-378,2011.

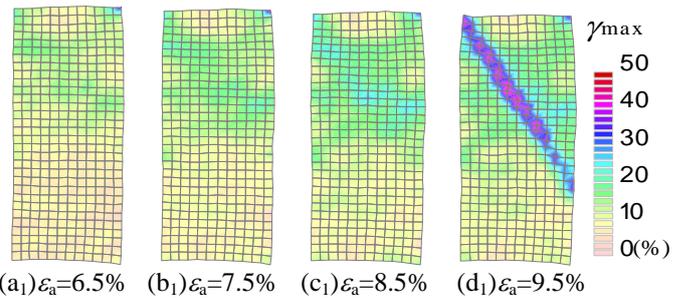


図-4 最大せん断ひずみコンター図 (T_c :ホスト砂)

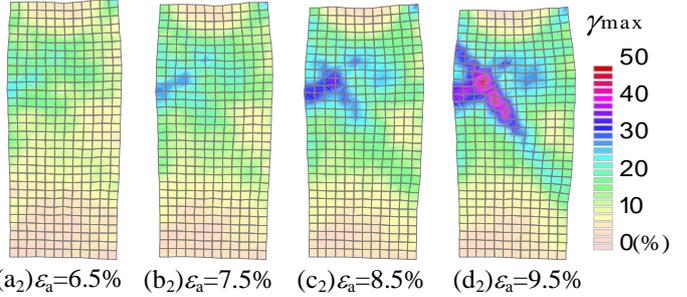


図-5 最大せん断ひずみコンター図 (T_c :MH固結砂)

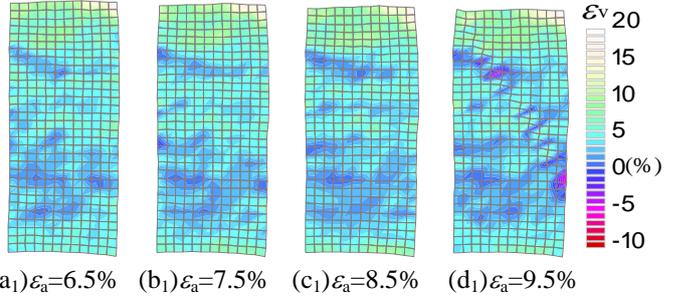


図-6 体積ひずみコンター図 (T_c :ホスト砂)

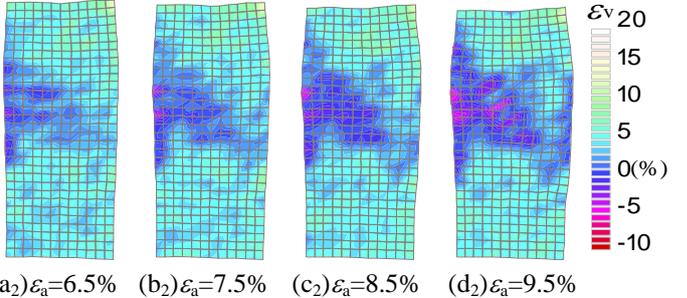


図-7 体積ひずみコンター図 (T_c :MH固結砂)