

メタンハイドレート生産時の地盤変形に関する室内模型実験

エンジニアリング振興協会(清水建設) フェロー会員 ○荻迫栄治

同上 正会員 西尾伸也 正会員 傳田 篤

京都大学 フェロー会員 岡二三生 正会員 木元小百合

エンジニアリング振興協会(伊藤忠テクノソリューションズ) 正会員 岡部直司

1. はじめに メタンハイドレートは次世代資源として注目されており、日本周辺海底にも日本が消費している天然ガスの約 100 年分の量が存在すると推定されている。経済産業省が策定した「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」に従い、「メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム」が組織され、(財)エンジニアリング振興協会が環境影響評価に関する研究開発を行っており、筆者らは、この中で、メタンハイドレートからのメタンガス生産に伴う海底地盤の変形の可能性について検討を進めている。今回、室内模型実験によりメタンハイドレート生産時の地盤変形挙動について検討を行うとともに、実験を対象に弾粘塑性構成式を用いた数値解析を行った。

2. 実験概要 実験は、できるだけ実際の海底地盤のスケールに近づけるために遠心载荷装置で行った。遠心载荷装置に設置する土槽の寸法は、内寸で高さ 750mm・幅 800mm・奥行き 300mm である。土槽前面は変形が観察可能のようにアクリル版とした。土槽内にメタンハイドレートの生産を模擬するためのラバールーンを設置し、バルーンの圧力を下げることで生産を模擬する。土槽の前面および背面にはシリコンシートを貼り、その上からシリコンオイルを塗布し、ラバールーンを貼付して壁面摩擦の軽減を図った。地表面の変位は変位計により、また、地盤内の変位は上記ラバールーンに記した標点の変位を前方からデジタルカメラで撮影することにより、地盤の変形を観察した。図-1 に実験土槽の概要を示す。実験は以下のような手順で行った。(1)ラバールーン下面の高さまで土槽に試料土をセットする。(2)土槽にラバールーンを設置し、バルーン内を脱気水で満たし、給水用バルブを閉じる。バルーンの初期体積は 2300cm^3 である。(3)所定の高さまで土槽に試料土をセットする。(4)飽和土の場合は、給水タンクを用い土槽底面の給水用穴から通水し、飽和させる。(5)地表面に計測用の変位計をセットする。(6)土槽を遠心载荷装置にセットし、遠心加速度を作用させる。(7)コントロールシリンダーにてバルーンの体積を減少させることによってメタンハイドレート生産を模擬する。実験に用いた土は 7 号硅砂で、空中落下法により乾燥密度約 1.5g/cm^3 の模型地盤を作成した。遠心加速度は 30G である。実験は、乾燥砂(地盤厚さ 60cm)、乾燥砂(地盤厚さ 50cm)、飽和砂(地盤厚さ 60cm)、飽和砂(地盤厚さ 50cm) の 4 ケースを行った。

3. 実験結果 図-2 は、乾燥砂(地盤厚さ 60cm) のケースについて、バルーン体積減少開始時点時刻 0 としたときのバルーン体積変化量ならびに変位計で計測した地表面変位の経時変化を示したものである。バルーン体積変化量はコントロールシリンダーのストロークの変位量より算出した。変位 1 は土槽中央部の変位、変位 2~5 はそれぞれ土槽中央から 80, 160, 240, 320mm 離れた位置における変位である。地表面変位はバルーン体積の減少につれて増加するが、その増加傾向は一定ではない。すなわち、当初は緩やかに増加するが、時刻 10min

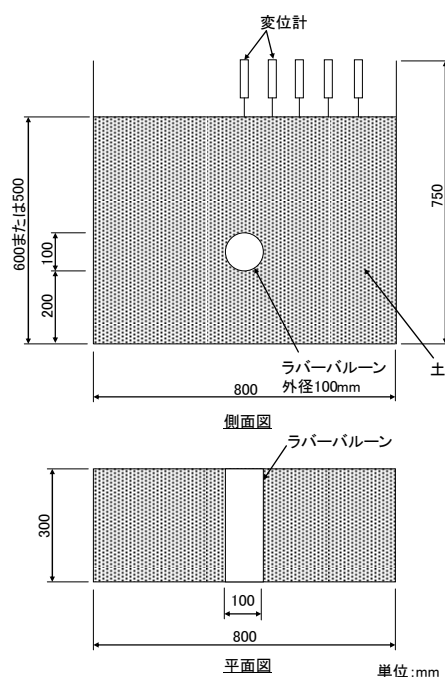


図-1 実験土槽の概要

キーワード:メタンハイドレート, 海底地盤, 変形

連絡先:〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株)技術研究所 Tel:03-3820-6476 Fax:03-3820-5955

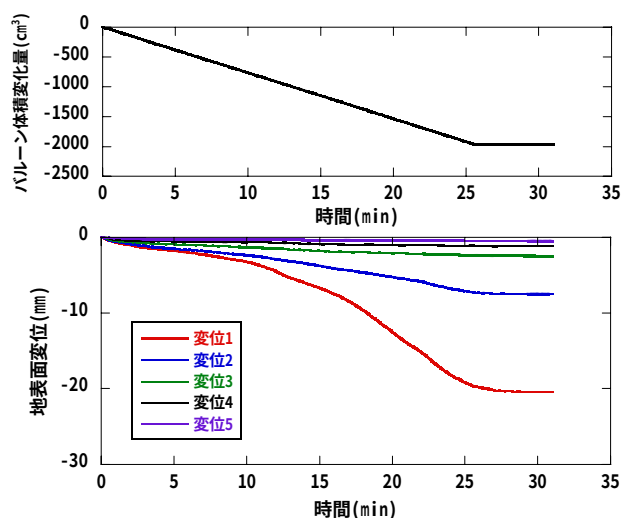


図-2 バルーン体積変化量および地表面変位の経時変化

付近から増加の割合が大きくなっている。そして、バルーン体積の減少が止まって以降はほぼ一定の値に収束している。図-3は、バルーン体積変化量ごとにプロットした水平方向の地表面変位分布である。地表面変位はバルーン直上の土槽中央部で最も大きく、中央から離れるにつれて次第に小さくなっている。バルーンの体積減少量が大きくなるにつれて土槽中央部の変位の進展が大きくなっていくことがわかる。写真-1は、バルーン体積変化-1800cm³、ほぼ23分後の土槽前面から撮影した変形状況の写真である。標点の動きからバルーン直上の地盤が変形している様子がうかがえる。

4. 実験の数値解析 上記の室内模型実験を対象に有限要素法による数値解析を実施した。解析手法としては2次元平面ひずみ弾粘塑性解析である。なお、乾燥砂のケースのため間隙水はないものとした。土の構成式としては岡ら¹⁾の提案する凍結砂のひずみ軟化型弾粘塑性構成式を用いた。なお、解析に際しては弾性係数の拘束圧依存性とひずみ依存性を考慮し、次式を仮定した。

$$E/E_0 = \sqrt{\sigma'_m / \sigma'_{m0}}, \quad G/G_0 = 1 / \{1 + (\alpha \gamma_p)^\beta\}$$

ここで、 E , E_0 : ヤング係数, σ'_m , σ'_{m0} : 平均有効応力, G , G_0 : せん断弾性係数, $\gamma_p = \int \sqrt{de_{ij}^p} de_{ij}^p$: 蓄積塑性せん断ひずみ, α , β : 定数で添え字の0は初期値を示す。解析手順としては、まず、バルーン部の節点に実験時の初期水压値に相当する圧力を載荷した状態で土の自重解析を行い、次に、実験時のバルーンの体積変化量から算出した変位量をバルーン部の節点に簡単のため鉛直方向の強制変位として作用させた。解析に用いた物性パラメータは、実験に用いた試料の三軸圧縮試験結果を基に表-1のように設定した。図-4に、時刻500minにおける鉛直変位コンター図の解析結果を示す。バルーン直上部の地盤の鉛直変位が増加している。しかし、鉛直変位の発生する領域はあまり小さくなく、バルーン直上付近の地盤にある程度限られており、これは写真-1に示した実験結果の傾向と一致している。

5. おわりに 室内模型実験によりメタンハイドレート生産時の地盤変形挙動について検討を行った。その結果、生産を模擬したバルーンの直上付近の地盤に主要な変形が発生していることが確認された。また、数値解析の結果も同様の傾向を示していた。

参考文献 1) 足立, 岡: 凍結砂のひずみ軟化型弾粘塑性構成式, 土木学会論文集, No.454/III-20, p.75-81, 1992.

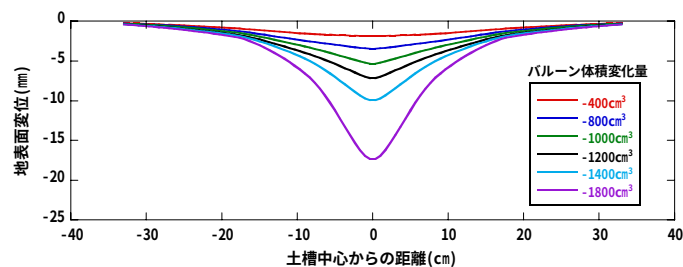


図-3 地表面変位分布

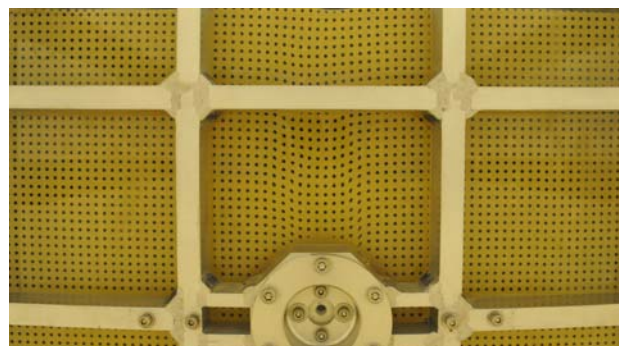


写真-1 地盤の変形状況 (バルーン体積変化-1800cm³時)

表-1 解析に用いた物性パラメータ

ヤング係数 E (kPa)	21200
体積弾性係数 K (kPa)	23600
ひずみ硬化-軟化パラメータ G^*	8.50
ひずみ硬化-軟化パラメータ M_f^*	1.22
塑性ポテンシャルパラメータ σ_{mb} (kPa)	90
塑性ポテンシャルパラメータ b (kPa)	0
過圧密境界面パラメータ M_m^*	1.03
応力履歴パラメータ τ_0 (sec)	3000
応力履歴パラメータ a	0.97
ひずみ依存パラメータ α	100
ひずみ依存パラメータ β	4.0

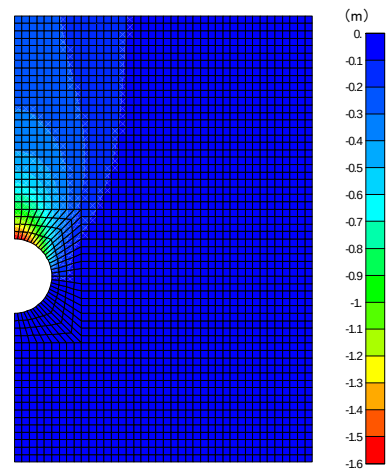


図-4 鉛直変位コンター図(500min)