

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の数値解析

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、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を対象に弾粘塑性構成式を用いた数値解析を実施し、実験結果との比較検討を行った。

2. 実験概要

実験は遠心載荷装置で行った。遠心載荷装置に設置する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、バルーンの体積を時間とともに線形的に減少させることによって生産を模擬した。図-1に実験土槽の概要を示す。試料土としては砂質土(7号硅砂)と粘性土(NSF粘土)の2種類を用いた。実験の詳細については前報^{1),2)}を参照されたい。

3. 解析条件

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。土の構成式としては、砂質土のケースについては岡ら³⁾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、粘性土のケースについては木元ら⁴⁾の提案する内部構造の変化を考慮した粘性土の弾粘塑性構成式を用いた。解析に際しては、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および表-2のように設定した。なお、砂質土のケースについては乾燥砂のため間隙水はないものとした。

4. 解析結果

図-2および図-3は各時刻における水平方向の地表面の鉛直変位分布を示したものである。図-2はバルーン下端からの初期地盤厚さHが遠心加速度30G

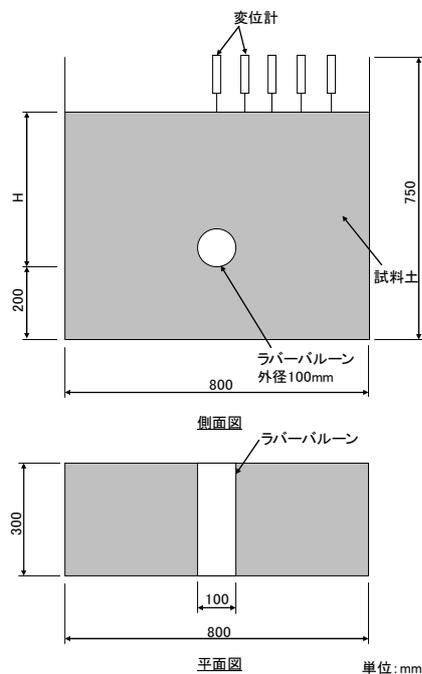


図-1 実験土槽の概要

表-2 解析に用いた物性パラメータ (粘性土)

静止土圧係数 K_0	0.5
初期鉛直応力 σ'_{v0} (kPa)	29
内部構造パラメータ σ'_{mai} (kPa)	20
内部構造パラメータ σ'_{maf} (kPa)	28
内部構造パラメータ β	5
初期間隙比 e_0	1.48
圧縮指数 λ	0.200
膨潤指数 κ	0.039
変相応力比 M_m^*	1.21
粘塑性パラメータ m'	18.0
粘塑性パラメータ C_0 (1/sec)	2.45×10^{-9}
せん断弾性係数 G_0 (kPa)	5400
透水係数 k (m/sec)	2.86×10^{-7}

表-1 解析に用いた物性パラメータ (砂質土)

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

キーワード:メタンハイドレート, 変形, 数値解析

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

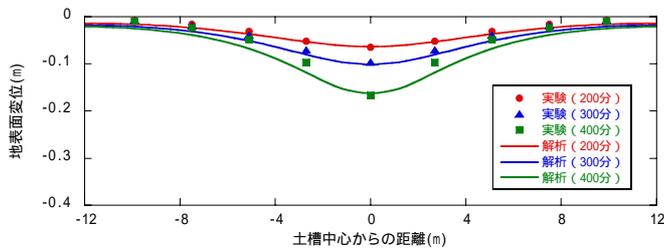


図-2 地表面変位分布(砂質土)

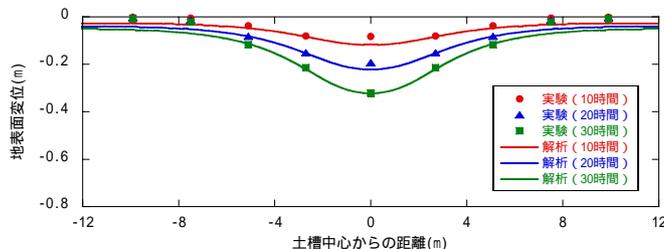
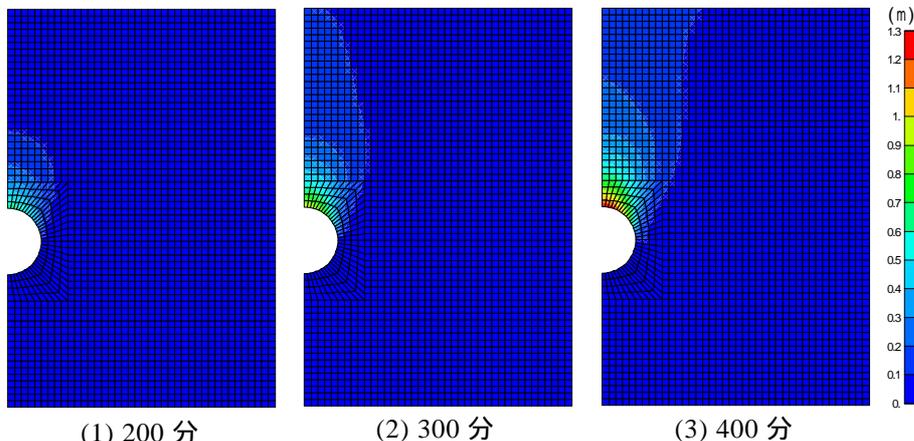


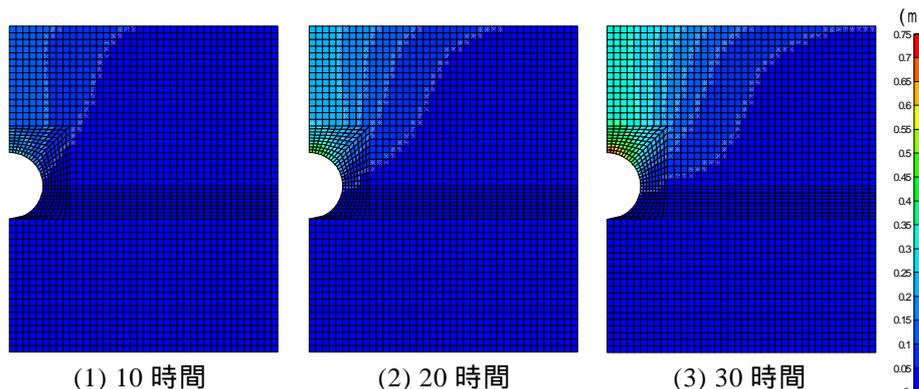
図-3 地表面変位分布(粘性土)

換算で 12m の砂質土のケース、図-3 は H=8.7m の粘性土のケースである。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。時間の経過につれて土槽中央部の変位の進展が大きくなっていくが、図-2 と図-3 を比較すると、砂質土の場合は粘性土の場合に比べて土槽中央部の変位の進展度合いが次第に大きくなる傾向がある。同図には実験結果も併せて示しているが、解析結果は実験結果を概ね良く表していることがわかる。図-4 および図-5 は各時刻における地盤変位の解析結果のコンター図を示したものである。いずれのケースも時間の経過につれてバルーン直上部の



(1) 200 分 (2) 300 分 (3) 400 分

図-4 地盤変位コンター図(砂質土)



(1) 10 時間 (2) 20 時間 (3) 30 時間

図-5 地盤変位コンター図(粘性土)

地盤の変位が増加していくとともに、変位の発生する領域が次第にバルーンの上部の地盤に広がっていく。ただし、砂質土の場合は変位の発生する領域はバルーン直上付近の地盤にある程度限られているのに対し、粘性土の場合は砂質土の場合に比べてより広域に渡っていると言える。これは実験時に土槽前面から撮影した標点の写真から観察された変形状況の傾向^{1),2)}と一致している。

5. おわりに

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を対象に弾粘塑性構成式を用いた数値解析を実施した。その結果、地表面変位の分布や地盤の変形状況の傾向における砂質土と粘性土の違い等について実験結果を概ね良く表していることが確認された。なお、本文の内容については MH21 研究コンソーシアムの承認を得ていることを付記する。

参考文献 1) 荻迫他: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, 土木学会第63回年次学術講演会講演概要集, 3-448, p.895-896, 2008. 2) 荻迫他:メタンハイドレート生産時の地盤変形に関する遠心载荷模型実験, 第44回地盤工学研究発表会発表講演集, 2009. 3) 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. 4) Kimoto et al., Strain Localization Analysis of Elasto-Viscoplastic Soil Considering Structural Degradation, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 193, p.2845-2866, 2004.