

減圧法によるメタンガス生産が海底地盤の動的挙動に与える影響の数値計算による検討

京都大学大学院 学生会員 ○赤木 俊文
京都大学大学院 正会員 木元 小百合
京都大学名誉教授 フェロー会員 岡 二三生

1. はじめに

近年メタンハイドレート（以下 MH）が新しいエネルギー資源として注目されており，日本でも実用化に向けて開発が進められている．一方で，日本は世界有数の地震国であり，将来安定した MH の産出を実現するために，地震動の影響を検討することが必要である．そこで本研究では減圧法を想定した生産シミュレーションの計算結果を動的解析の初期値とすることで，MH 生産に伴う地盤状態の変化を考慮した動的解析を行った．数値計算の結果，海底地盤の動的挙動が減圧法によるメタンガス生産の影響を受けることが確認された．

2. 数値計算手法

動的解析に先立ち MH 生産後の地盤状態を求めるために化学-熱-力学連成解析手法¹⁾を用いて生産シミュレーションを行う．動的解析ではこの結果を初期値として用いる．図 1 に動的解析手法の概要を示す．MH 含有地盤を土粒子(S)，MH(H)，水(W)，ガス(G)の 4 相から成ると仮定し，多孔質媒体理論に基づいて連続体力学の枠組みで定式化する．空間離散化は有限要素法，時間離散化はニューマークの β 法を用いた．MH を含有した地盤は変形特性の MH 飽和率依存性，ひずみ速度依存性を示す．MH 含有地盤のこうした特性を考慮しながら動的挙動を扱うため，本研究では超過応力型の繰返し弾粘塑性構成式²⁾を用いた．

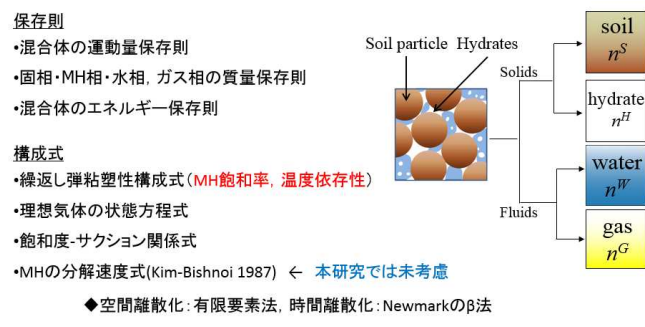


図 1 動的解析手法の概要

3. 数値計算条件

図 2 に生産シミュレーションと動的解析に用いた有限要素メッシュをそれぞれ示す．図に示すように，水深 1000m の海底の海底面下 290m に厚さ 45m の MH 含有層が存在するモデルを設定している．このモデルは東部南海トラフにおいて確認されている MH 濃集帯の深度を参考に設定した．生産シミュレーションにおける減圧点は MH 含有層の中央に設定している．各解析ケース間では生産シミュレーションで与える減圧量を変更しており，減圧量は 0MPa (MH 生産なし)，3MPa，6MPa，9MPa の 4 種類を設定した．図 3 は入力地震動であり，強地震動予測手法 EMPR³⁾により求めた南海トラフ巨大地震の熊野灘地点における予測波形である．断層，アスペリティ位置は，それぞれ南海トラフの巨大地震モデル検討会が定めた基本ケース，標準位置で設定している．図 4 に動的解析の初期条件の例示として，平均骨格応力，水圧および温度の初期条件を示す．減圧に伴う圧密による応力増加，MH 分解に伴う温度低下を確認することができる．また，図 5 に動的解析で用いた材料パラメータによる非排水繰返し三軸試験のシミュレーション結果を示す．

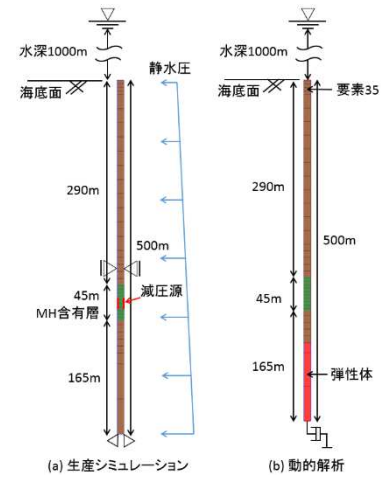


図 2 有限要素メッシュ

ラフにおいて確認されている MH 濃集帯の深度を参考に設定した．生産シミュレーションにおける減圧点は MH 含有層の中央に設定している．各解析ケース間では生産シミュレーションで与える減圧量を変更しており，減圧量は 0MPa (MH 生産なし)，3MPa，6MPa，9MPa の 4 種類を設定した．図 3 は入力地震動であり，強地震動予測手法 EMPR³⁾により求めた南海トラフ巨大地震の熊野灘地点における予測波形である．断層，アスペリティ位置は，それぞれ南海トラフの巨大地震モデル検討会が定めた基本ケース，標準位置で設定している．図 4 に動的解析の初期条件の例示として，平均骨格応力，水圧および温度の初期条件を示す．減圧に伴う圧密による応力増加，MH 分解に伴う温度低下を確認することができる．また，図 5 に動的解析で用いた材料パラメータによる非排水繰返し三軸試験のシミュレーション結果を示す．

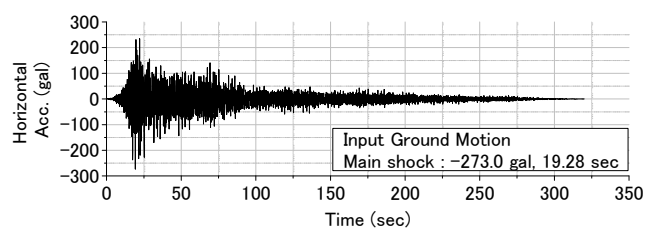


図 3 入力地震動

キーワード メタンハイドレート，動的解析，減圧法

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 4 C クラスタ C1 棟 TEL&FAX : 075-383-3193

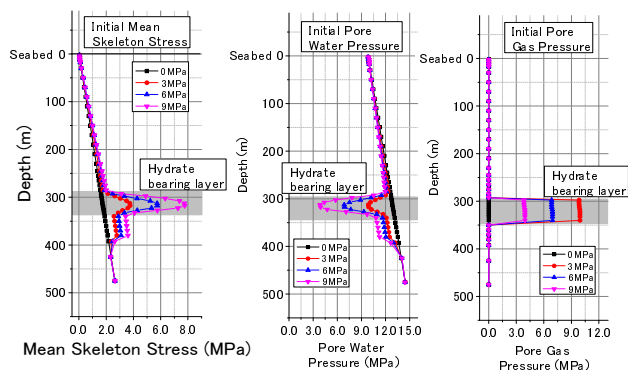
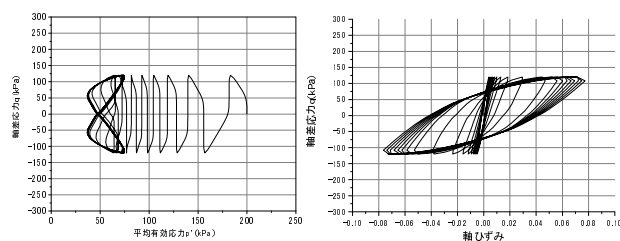


図4 動的解析の初期条件

図5 動的解析に用いた材料パラメータによる
非排水繰返し三軸シミュレーション結果

4. 数値計算結果

図6に水平応答加速度の最大値の深度分布を示す。減圧量 0MPa のケースとその他のケースで、深度 250m から 450m にかけて、分布に定性的な違いが確認できる。減圧を行ったケースでは、MH 含有層の下（深度 350m）で水平応答加速度の最大値が極小値をとり、その後深度 250m 付近までは増加している。

また、この違いは減圧量が増加するほど大きくなっている。図7に深度 0m, 100m, 320m における水平応答加速度の時刻歴を示す。海底面に近づくほど、減圧を行ったケースの時刻歴波形の位相が早くなっている。図8に要素 35（深度 12.5m）の応力経路と応力-ひずみ関係を 0MPa 減圧、6MPa 減圧のケースについて示す。応力経路からは主要地震動に伴う応力減少が 6MPa 減圧のケースでより大きいことが分かる。また、応力-ひずみ曲線を見ると、ヒステリシスループが 6MPa 減圧のケースでや

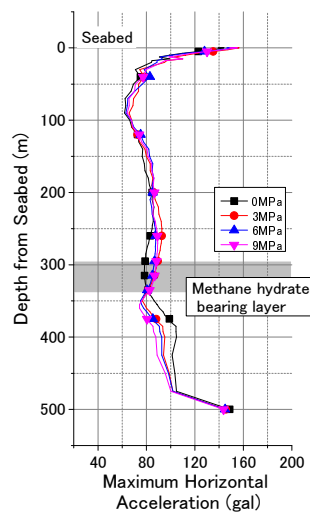


図6 水平応答加速度の最大値の深度分布

や大きいことが分かる。なを、今回示した結果は、MH 含有層が海底面下の比較的深くに存在し、海底地盤が比較的軟弱な地盤であると仮定した場合の結果であり、地層構成や分解条件を変えてさらに検討する必要がある。

5. 結論と今後の課題

減圧法による MH 生産シミュレーション結果を初期値とした動的解析を行い、MH 産出に伴う地盤状態の変化が海底地盤の動的挙動に与える影響を検討した。水平応答加速度の最大値の深度分布に定性的な違いが見られた他、地震波の海底面への到達時間の早まりが確認された。また、地震動に伴う平均骨格応力の減少量、応力-ひずみ曲線にも若干の差が見られた。今後の課題としては、(1)地盤の材料特性を種々に変化させた場合の検討 (2)MH の生産に伴う海底地盤の材料特性の変化の考慮 (3)MH 生産の影響範囲の 3 次元的な広がり の考慮 (4)地震時における生産井の安定性 (5)地震中における MH の分解挙動 (6)砂泥互層の考慮、があげられる。

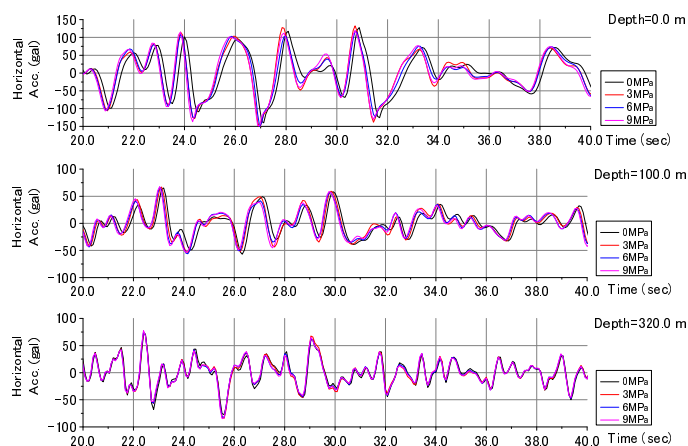


図7 水平応答差速度の時刻歴

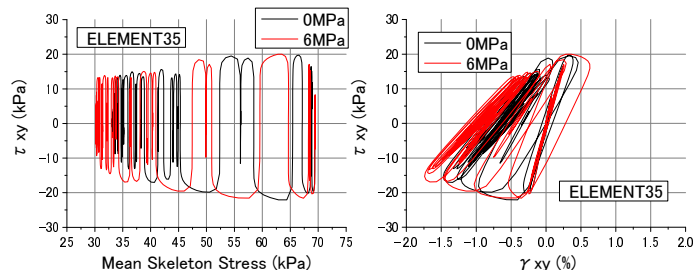


図8 要素 35（深度 12.5m）の応力経路と応力-ひずみ関係

参考文献

- 1) 赤木俊文, 木元小百合, 岡二三生, 肥後陽介, 岩井裕正. 第 47 回地盤工学研究発表会概要集 (CD-ROM). 333-334. 2012. 2) Oka F and Kimoto S. Computational Modeling of Multiphase Geomaterials. Taylor and Francis. 2013. 3) Sugito M, Furumoto Y and Sugiyama T. 12th World Conference on Earthquake Engineering. Vol. 2111. No. 4. 2000.