

傾斜地盤におけるメタンハイドレート産出過程を想定した地震時の動的解析

京都大学大学院 学生員 ○赤木 俊文
京都大学大学院 正会員 木元 小百合

1. 目的

実際の海底地盤は地層傾斜と海底斜面を有し、その存在が海底地盤のメタンハイドレート(以下 MH)生産の影響域の空間的広がりに影響し、地震時の動的応答も影響を受ける。MH 生産地点から離れた地盤強度の低い地点で地震動が増幅されるなどの可能性もある。そこで本研究では海底斜面と地層傾斜を含むモデルを用いて MH 生産に伴う地盤性状の変化を考慮した動的解析を行い、MH 生産の長期化に伴う地盤の動的応答の変化を検討した。その結果最大応答加速度と最大応答速度の分布について MH 生産に伴う応答値の変化が比較的顕著な領域が見られた。

2. 数値計算手法

本研究では化学-熱-力学連成解析手法を動的問題に拡張した化学-熱-力学連成動的解析手法を用いて¹⁾、MH からのメタンガス生産過程とその後の地震時の解析を一連の計算として行う。空間離散化は有限要素法による。土骨格の構成式として MH 飽和率依存性、ひずみ速度依存性等を考慮した繰返し弾粘塑性構成式を用いる。弾性せん断剛性は有効拘束圧とひずみに依存するが、本計算では平均骨格応力と蓄積粘塑性偏差ひずみに依存するとして $G = G_0 \{1 + \alpha(\gamma_{vp})\}^{-1} \sqrt{\sigma'_m / \sigma'_{m0}}$ で与える。 γ_{vp} は蓄積粘塑性偏差ひずみ、 σ'_m と σ'_{m0} は平均骨格応力とその初期値である。飽和度-サクション関係式として van Genuchten の式を用いる。メタンガスは理想気体として扱う。また、MH 分解速度は Kim-Bishnoi の式を用い、MH の再生成は考慮していない。

3. 数値計算条件

図 1 に有限要素メッシュと境界条件を示す。2 次元平面ひずみ条件でモデル化しており、水深約 1000m、海底面から 280m に MH 含有層は厚さ 60m、斜面の傾斜は 10°であり、減圧源を斜面法尻直下の MH 含有層上部に設けている。海底面から L1~L6 の 6 層を設定しており、L5 が MH 含有層である。材料パラメータについては主として、L1~L4 は東部南海トラフ海洋産出試験サイトから採取された試料に対する三軸試験および等方圧密試験結果²⁾、L5、L6 は Hyodo et al. (2013)³⁾による三軸試験結果に対するカーブフィッティングによりそれぞれ求めた。モデル上部と底部は排水排気等温境界、モデル側面は非排水非排気断熱境界である。変位については側面固定、底面粘性境界としている。初期水压および初期ガス圧は静水压分布とする。初期は全域にわたって飽和しており、海底面温度は 277K とし、地温勾配 0.03K/m として初期温度を設定している。MH 含有層の初期 MH 飽和率は 60.0%である。

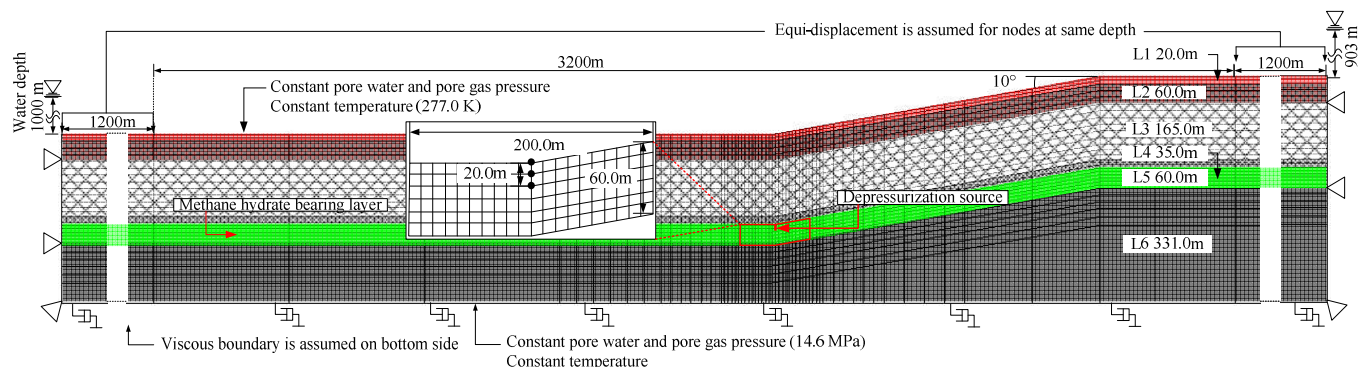


図 1 有限要素メッシュと境界条件

図 2 に入力地震動の波形を示す。入力地震動は強地震動予測手法 EMPR⁴⁾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 3 に減圧条件と地震動の入力時刻を示す。減圧法による MH 生産の

キーワード メタンハイドレート、動的解析、海底斜面

連絡先 〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂 C クラスターC1 棟 587

影響を考慮するため、MH 生産過 120 日経過時点で地震動を入力する (Case1) の計算を行った。また、比較のために MH 生産なしの動的計算(基準ケース)も合わせて行った。

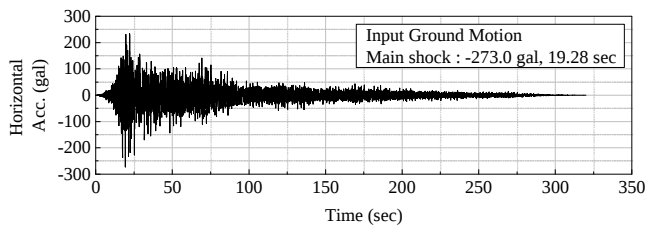


図 2 入力地震動

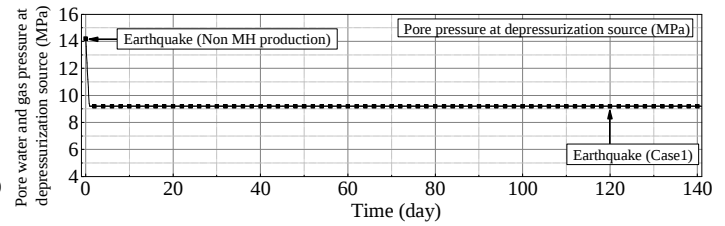


図 3 減圧条件

4. 数値計算結果

図 4 に MH 生産前の弾性せん断剛性で無次元化した弾性せん断剛性の分布を示す。この分布は各ケース地震動入力前の分布である。減圧源周辺、MH 層上の中間層、斜面法尻とその周辺でせん断弾性剛性の低減が見られる。MH 含有層の減圧源からやや離れた領域では弾性せん断剛性が MH 生産前に比べて増加している。

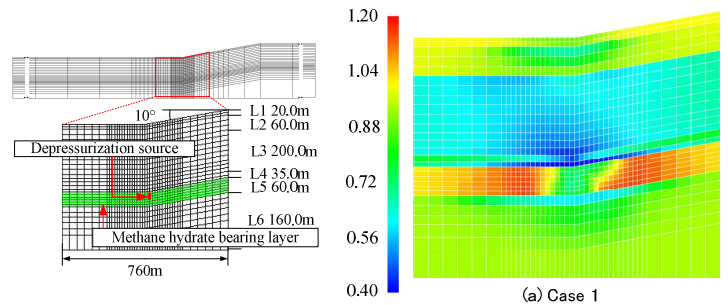


図 4 MH 生産過程における弾性せん断剛性の変化

図 5 に最大応答加速度変化率を基準ケースの最大応答加速度分布と合わせて示す。これは MH 生産なしで動的解析を行った場合の最大応答加速度に対する最大応答加速度の比である。減圧源周辺において MH 含有層に沿って斜面と反対方向に伸びた領域で最大応答加速度が増大した。また、海底面近くの層では最大応答加速度が減少しており、MH 生産過程の期間が長いほど顕著である。

図 6 に最大応答速度変化率の分布を基準ケースの最大応答速度分布と合わせて示す。最大応答速度変化率は MH 生産なしで動的解析を行った場合の最大応答速度に対する最大応答速度の比として定義する。海底面下 100m 程度の斜面反対方向の領域で最大応答速度の増大が見られる。図 4 の弾性せん断剛性の変化率で示した、中間層において斜面と反対方向に拡大した MH 生産の影響域によるものと考えられる。

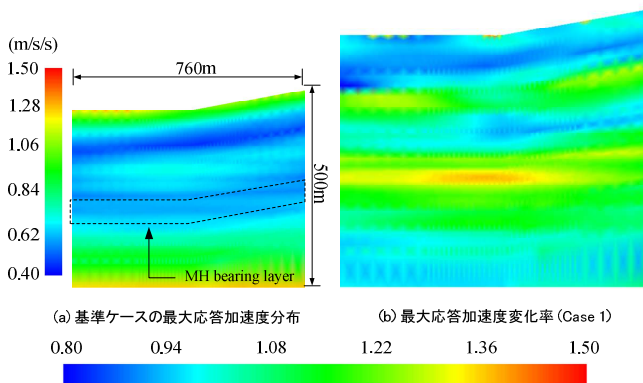


図 5 最大応答加速度変化率分布

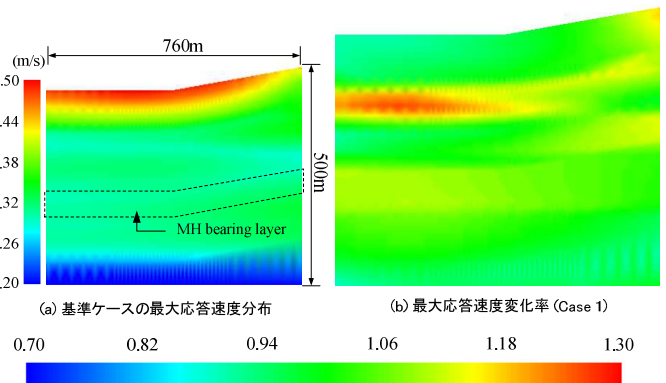


図 6 最大応答速度変化率分布

5. まとめ

本研究では化学-熱-力学連成解析手法を動的問題に拡張した化学-熱-力学連成動的解析手法を用いて、海底斜面と地層傾斜を含むモデルに対して MH 生産過程で発生した地震に対する地盤応答の検討を行った。その結果最大応答速度分布、最大応答加速度分布について、MH 生産に伴う地盤の力学特性変化による影響が確認された。

参考文献

- 1) 赤木 俊文, 木元 小百合, 岡 二三生. 第6回メタンハイドレート総合シンポジウム講演集, pp.133-138, 2014. 2) 西尾 伸也, & 平川 博之. 第5回海洋産出試験に関わる地盤特性評価ワークショップ, 高知大学海洋コア総合研究センター, 2012. 3) Hyodo, M., Yoneda, J., Yoshimoto, N., & Nakata, Y. Soils and foundations, Vol.53, No.2, pp.299-314, 2013. 4) Sugito, M., Furumoto, Y., and Sugiyama, T. 12 th World Conference on Earthquake Engineering, CD-ROM, Auckland, New Zealand, January 2000.