

複雑な表層地盤構造を有するサイトを対象とした観測地震動の再現シミュレーション

東京ガス株式会社
東京大学
東京大学
東京大学
東京ガス株式会社
エイト日本技術開発

正会員
学生会員
正会員
正会員
非会員
正会員

○坂上貴士
藤田航平
市村強
堀宗朗
濱中亮
末富岩雄

1. はじめに

表層地盤が複雑な構造を有するサイトにおいては、局所的な地震動の増幅が地中に埋設されたガスパイプラインに被害を及ぼすことがある¹⁾。そのような地震動の増幅を評価できる手法が開発されれば、被害箇所の精緻な予測や同定が可能となるため、ガス供給インフラの地震防災対策のさらなる強化が図れる。

本研究では、動的非線形有限要素法を用いて、複雑な表層地盤構造を有するサイトで観測された実地震動の再現シミュレーションを行い、観測記録との比較や変位応答等を分析した。

2. 地盤構造モデルの概要

東京ガスでは、都市ガス供給エリアに SI センサーと呼ばれる約 4,000 個の地震計を設置している。本研究では、それら地震計で収集された既往地震の記録、地質分類および現地踏査で得られた情報等に基づき、局所的な地震動の増幅が予見される箇所を抽出し、シミュレーションの対象とした。当該箇所の地質分類を 2011 年東北地方太平洋沖地震の際に SI センサーで観測された結果と併せて図 1 に示す。

国土地理院の 50m メッシュ標高データおよび横浜市行政地図情報提供システム²⁾で公開されたボーリング情報等に基づき、3 層の地盤構造モデルを作成した。各層の物性は表 1 に示す通りであり、中央防災会議「東海地震対策専門調査会」³⁾で土質毎に定められた内容を参照し、修正 Ramberg-Osgood モデルに対応したパラメータを定めた。

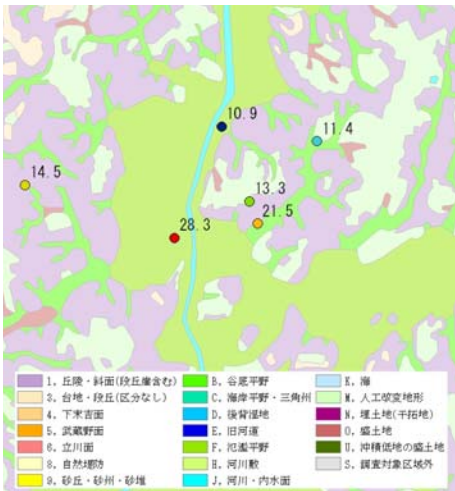


図 1 当該箇所の地質分類図と SI 値分布

表 1 各層の地盤物性

	1 層	2 層	基盤層
土質区分	粘土、シルト 腐植土	固結シルト 砂、礫	土丹、泥岩
単位体積重量 (kg/m³)	1500	1800	2100
P 波速度 (m/sec)	700	1400	2100
S 波速度 (m/sec)	100	300	700
最大減衰率	0.23	0.23	0.01
基準ひずみ	0.007	0.001	∞

3. シミュレーション条件

作成した地盤構造モデルに対して、四面体二次要素からなる 3 次元地盤 FEM モデル（図 3）を構築した。なお、ひずみの応答が十分収束するためには、2.5Hz までの周波数成分を精度保障するように要素を生成する必要があることが試解析の結果から分かったため、これに基づいて FEM モデルを構築した。自由度数、四面体要素および節点数は、32,509,107、7,779,048、10,836,369 となった。基盤入力波は、2011 年東北地方太平洋沖地震の際に MeSO-net⁴⁾観測点 KMH で得られた記録から 1 次元増幅解析を介した揺れ戻しにより推定した結果（図 4）を用いた。

キーワード 地震動増幅, 有限要素法, 東北地方太平洋沖地震

連絡先 〒230-0045 神奈川県横浜市鶴見区末広町 1-7-7 東京ガス株式会社 TEL045-500-8727

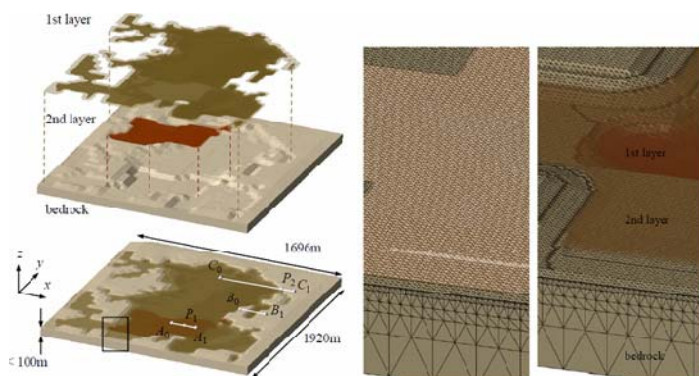


図3 有限要素モデルの概要と評価地点の配置

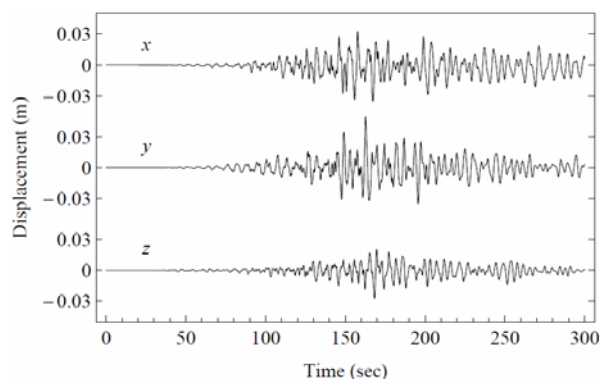


図4 入力波形

4. シミュレーション結果

変位に関して、地点 P_1 および P_2 の計算波形と観測波形との比較を図5に示す。地点 P_2 の x 成分など、計算波形は概ね観測波形を再現できている。観測波形が得られた時刻140秒から240秒に関して、SI値を比較した結果、地点 P_1 においては、観測波形から求まる値は27kine、計算波形から求まる値は31kineであった。地点 P_2 においては、観測波形から求まる値は11kine、計算波形から求まる値は16kineであった。なお、パラメータやモデルのチューニングなどは一切行っていない。

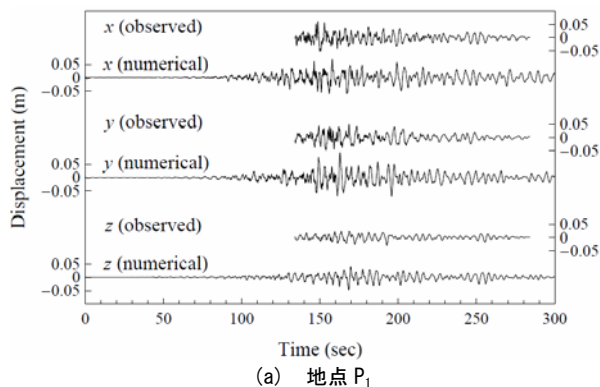
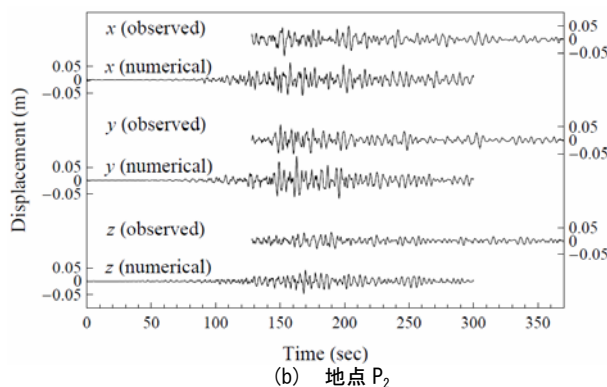
(a) 地点 P_1 (b) 地点 P_2

図5 計算波形と観測波形の比較

次に、地中に埋設されたガスパイプラインの変形に影響を及ぼすと考えられる地盤の直ひずみに関して、側線 C_0 - C_1 における分布を図6に示す。地盤の直ひずみは、第1層と基盤層の境界に加えて、900から1200m区間の成層地盤においても発生している。これは、表層地盤が複雑な構造を有するサイトにおいては、地盤構造を2次元断面で近似した一般的なシミュレーションで地震動の増幅を評価できない場合があることの証左であり、本研究で示した3次元地盤FEMモデルを用いたシミュレーションの重要性を示している。

5. おわりに

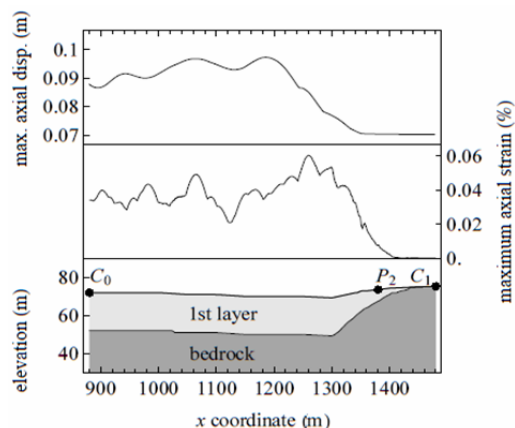
表層地盤が複雑な構造を有するサイトを対象に、動的非線形有限要素法を用いて、2011年東北地方太平洋沖地震における観測記録の再現を試みた。計算波形は観測波形と概ね整合することから、シミュレーションの有効性を確認した。また、地盤構造を2次元断面で近似した一般的なシミュレーションでは、地震動の増幅を評価できない場合があることを確認した。

謝辞

MeSO-netにおいて観測された地震動および横浜市行政地図情報提供システムで公開されたボーリングデータを利用させて頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 総合資源エネルギー調査会 都市熱エネルギー部会 ガス安全小委員会 新潟県中越沖地震における都市ガス事業・施設に関する検討会, 新潟県中越沖地震における都市ガス事業・施設に関する検討会報告書, 2008.
- 2) 横浜市行政地図情報提供システム, <http://www.city.yokohama.lg.jp>
- 3) 中央防災会議「東海地震対策専門調査会」, <http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/tou-tai/index.html>
- 4) 笠原敬司, 酒井慎一, 森田裕一, 平田直, 鶴岡弘, 中川茂樹, 楠城一嘉, 小原一成, 首都圏地震観測網(MeSO-net)の展開, 東京大学地震研究所彙報, 84, pp 71- 88, 2010.

図6 側線 C_0 - C_1 における地盤の直ひずみ分布