

液状化した地盤の揺動による水道管被害に地震動が与える影響の検討

東京電機大学	フェロー会員	安田 進
東京電機大学	正会員	石川 敬祐
東京電機大学	学生会員	○浦野 倫宏

1. はじめに

東日本大震災では、東京湾岸エリアにおいて大規模な液状化により、繰り返し地盤が揺すられ続けたことによる平面道路の突き上げや、水道管やガス導管の継手が外れる被害、マンホールではズレが発生するなど、特異な被害が発生した。これらは、地震規模が巨大で揺れの継続時間が極端に長かったため、液状化した後も地盤が大きく揺すられ続けた「揺動」が生じたためではないかと考えられた¹⁾。筆者らは、千葉県浦安市で発生した水道管漏水被害地域を対象に、詳細な地盤構成や特徴を考慮した解析モデルを作成し、2次元地震応答解析を実施し、被害メカニズムをシミュレーション解析で再現できるか検証を行った²⁾。その結果、液状化層下面が傾斜しているような「不整形な地盤」や、表層地盤に中層建物や幹線道路などの「境界が存在する地盤」付近で大きな水平ひずみが発生する傾向が得られた。上記で述べた背景と既往の研究結果を元に、本研究では解析モデルの入力地震動を変えた際の地盤内に生ずるひずみの発生傾向に関して検討を行った。

2. 解析概要

1) 解析検討断面

千葉県浦安市の水道管漏水被害箇所を図1に示す。解析検討断面は、戸建て住宅の被害も甚大であった千葉県浦安市富岡4丁目付近のA-A'断面とした。

2) 入力地震動

今回の解析では特徴の異なる3つの地震動(図2~4)を使用した。図2、は東日本大震災時に東京都港湾局夢の島観測所において工学的基盤内で観測された地震波³⁾(GL-89m、EW方向、最大加速度-61.47(Gal))を、解放型基盤動(2E波)と仮定したもの(以下夢の島波形と呼ぶ)である。図3は東日本大震災時にkik-NET宮古で観測された波形(以下宮古波形)である。図5に加速度応答スペクトルを比較して示すが、夢の島波形より全体に高い周波数成分が多いので比較のために用いた。図4は、将来起こる地震として内閣府の中央防災会議⁴⁾が公開している首都直下地震を想定した関東平野北西縁断層帯波形(以下北西縁波形)である。いずれの地震動も最大加速度は、夢の島波形の最大加速度 -61.47Gal と同じになるように相対振幅を調整したものを使用した。

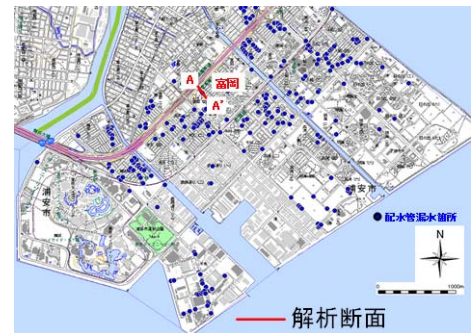


図1. 千葉県浦安市漏水被害箇所と検討断面

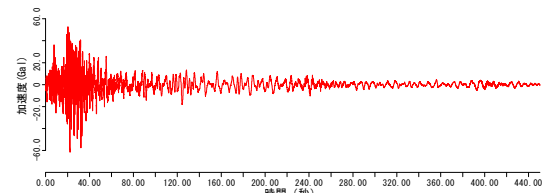


図2. 夢の島波形

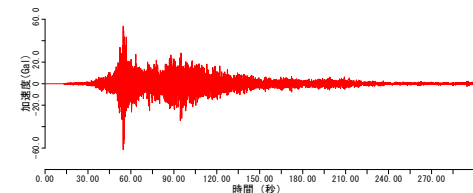


図3. 宮古波形

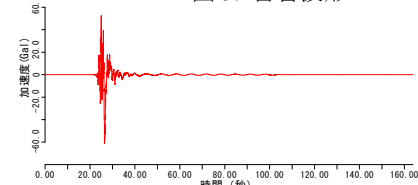


図4. 北西縁波形

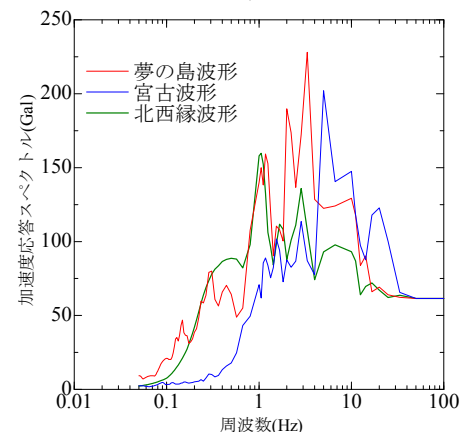


図5. 加速度応答スペクトル(減衰 5%)

キーワード 液状化、東日本大震災、揺動、水道管、地震応答解析

連絡先 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 東京電機大学 TEL 049-296-0946

3) 解析手法

解析用の富岡4丁目A-A'断面の地層構成は参考文献 2)で解析したものと同一とした。これは地表面から GL-1.9m まで盛土層、その下部に GL-5.9m まで埋立(浚渫)土層、GL -16.9m まで沖積砂層、GL-35.0m まで沖積粘性土層、GL-41.0m七号地層、それ以深に工学的基盤を設定したものである。このうち沖積粘性土層以深は水平成層で各層内は均質と仮定し、沖積砂層以浅は表面波探査の結果をもとに断面内のせん断波速度分布を設定している。図6 に沖積砂層以浅のせん断波速度分布を示す。なお、地下水位は GL-1.5m と仮定した。

解析には、2次元地震応答解析 (FLUSH) を用いた。微小ひずみ ($\gamma=10^{-6}$ 時) 時のせん断剛性 G_0 は、沖積砂層以浅の地層では表面波探査結果で得られた V_s 値から求め、沖積粘性土以深の地層は、全国電子地盤図⁵⁾で作成した地盤モデルの平均 N 値から推定した。また、各土層の単体重量と平均粒径は、土質名より設定した。境界条件は解析モデルの両側を、エネルギー伝達境界とし、解析モデル底面は剛基盤とした。解析ケースは、通常の $G/G_0 \sim \gamma$ 関係と $h \sim \gamma$ 関係(安田・山口の関係式を使用)を用いた(Case1)と、地下水位以下の盛土・埋立土層が液状化したことによりせん断剛性が著しく低下したことを想定して、液状化した層のせん断剛性だけを初期せん断剛性 G_0 の 1/50(Case2)、1/100(Case3)、1/200(Case4)と一定として線形と仮定した4ケースとした。この場合の減衰定数 h も 5%と一定とした。

3. 解析結果

図7～図9に一般的な水道管埋設深度である GL-1.5m 地点の最大水平ひずみ分布を入力地震動ごとに示す。夢の島波形と宮古波形を比べると、せん断剛性を小さく仮定した Case 3 や Case 4 で宮古波形の最大水平ひずみが小さい値となっている。浦安市や千葉市で撮影された地震動の動画によると液状化した地盤が 3～4 秒程度の周期で揺すられ続けている様子が映されているが、図5の加速度応答スペクトルを見ると宮古波形ではこの周期に該当する 0.3Hz 前後の周波数成分が少ない。このためひずみも小さくなったのではないかと考えられる。北西縁波形では夢の島波形と同程度のひずみが出た。図5の加速度応答スペクトルを見ると 0.3Hz 前後の周波数成分が同程度になっている。したがって、将来の地震でも東日本大震災と同程度の液状化が発生した際に、同様のひずみが発生する可能性があるのではないかと考えられる。

4. まとめ

富岡4丁目の断面を対象に、地震動を変えて2次元地震応答解析により検証した結果、地震動により最大水平ひずみの値に違いが生じることがわかった。これは、液状化した地盤の固有周期と地震動周期の関係によるものだと考えられる。

[参考文献]

- 1) 安田進・石川敬祐・五十嵐翔太・石原瞳・鴨下匡一:地盤液状化した地盤の揺動がライフラインと道路に与えた影響, 地盤工学会特別シンポジウム—東日本大震災を乗り越えて—, pp. 518-526, 2014.
- 2) 安田進・石川敬祐・五十嵐翔太・田中佑典・畑中哲夫・岩瀬伸朗・並木武史・斉藤尚登:東日本大震災における浦安市の水道管被害メカニズムの解明, 第14回日本地震工学シンポジウム, 2014.
- 3) 東京都港湾局 HP:港湾局地震観測所で観測した地震動について.
- 4) 内閣府中央防災会議, 首都直下地震対策.
- 5) 安田進・石川敬祐・五十嵐翔太:浦安市における地盤モデルの作成とそれを用いた液状化判定, 第49回地盤工学研究発表会, p255-256, 2014

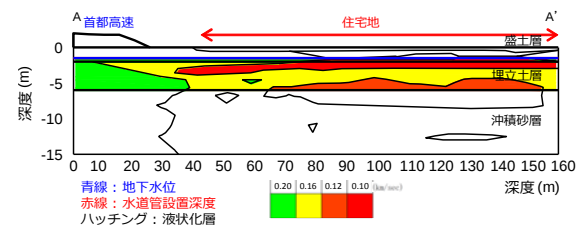


図6. A-A'断面せん断速度分布

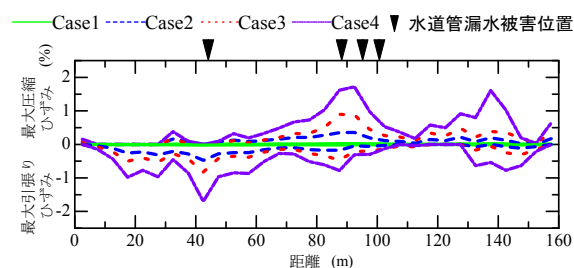


図7. 夢の島波形の最大水平ひずみ分布

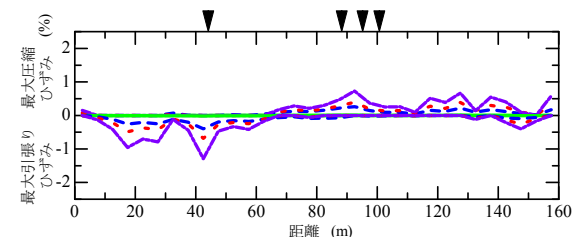


図8. 宮古波形の最大水平ひずみ分布

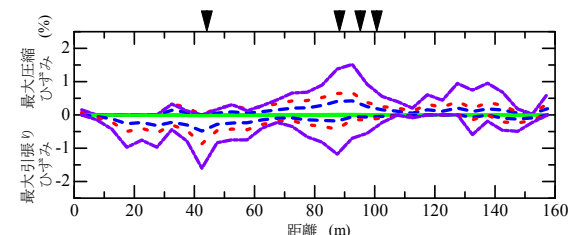


図9. 北西縁波形の最大水平ひずみ分布