

地盤の非線形地震応答解析による 2011 年東北地方太平洋沖地震における東京湾臨海部の地震時挙動の検討

飛島建設 技術研究所 正会員 ○池田 隆明
 東京大学 生産技術研究所 正会員 小長井一男
 東京大学 生産技術研究所 正会員 片桐 俊彦
 東京大学 生産技術研究所 正会員 清田 隆

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震では、震源から比較的離れた関東地域でも比較的大きい地震動が発生し、東京都での最大震度は震度 5 強を観測し、1923 年関東地震以降、首都圏に最も大きな地震動を与えた地震であった。本震および継続して発生した余震により、東京湾臨海部の埋立地では液状化が発生し、埋設ライフラインや戸建住宅などに大きな被害を与えた¹⁾。東京湾臨海部では、東京湾北部地震が発生した場合、震度 7 が生じる可能性も指摘され²⁾、東北地方太平洋沖地震で発生した様々な被害の原因を究明し、地震防災・対策に反映させる必要がある。そこで、東京湾臨海部で生じた液状化のメカニズムを明らかにすることを研究の最終目標とし、本検討では地盤の非線形地震応答解析から表層地盤の地震時挙動の検討を行った。なお本検討では、工学的基盤よりも浅い地盤を表層地盤と呼ぶ。

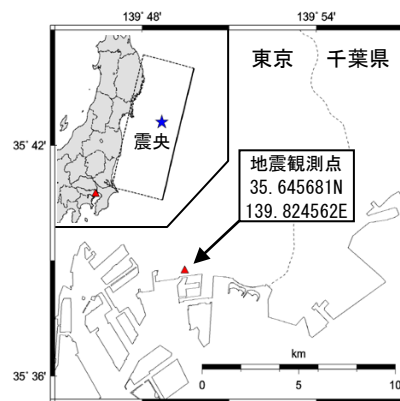


図-1 新木場鉛直アレー観測地点

2. 検討条件

検討には東京都江東区新木場で実施されている鉛直アレー観測³⁾で得られた本震記録を使用する。図-1 に観測地点を示す。地震計は G.L.-2m, -30m, -77m の 3 深度に設置されている。図-2 に地盤柱状図を示す。G.L.-77m の地震計は工学的基盤と考えられる江戸川層に設置されている。当該地点は浚渫土による埋立地であり G.L.-7m が旧海底面であると考えられる。

観測地点周辺では液状化が発生した⁴⁾が、当該地点では噴砂や噴水といった液状化の痕跡は確認されていない。そのため、地震応答解析は全応力非線形解析で実施する。地盤の非線形特性は修正 RO モデルで与え、現地での採取試料に対して実施した動的変形特性試験結果(図-3)に基づきパラメータを設定した。表-1 に解析モデルと非線形パラメータを示す。地震応答解析では、解析層厚が 1.0m を下回るように再分割している。

解析モデルは地盤調査結果を基本とするが、地震計間の S 波伝播時間と観測地点での H/V スペクトルを用いて S 波速度の修正を行った。S 波伝播時間を用いた修正では、解析モデルの地震計間の S 波伝播時間を、観測記録から得られた S 波伝播時間と整合させた。観測記録から S 波伝播時間を求める際には、G.L.-77m における最大加速度が 10cm/s^2 程度で、震源が比較的地震計の近傍にあり S 波が鉛直下方から入斜したと考えられる観測記録を使用した。H/V スペクトルを用いた修正では、解析モデルから算出した Rayleigh 波の基本モードの水平方向と鉛直方向の振幅比が地震観測地点で計測した微動の H/V スペクトルと整合させた。

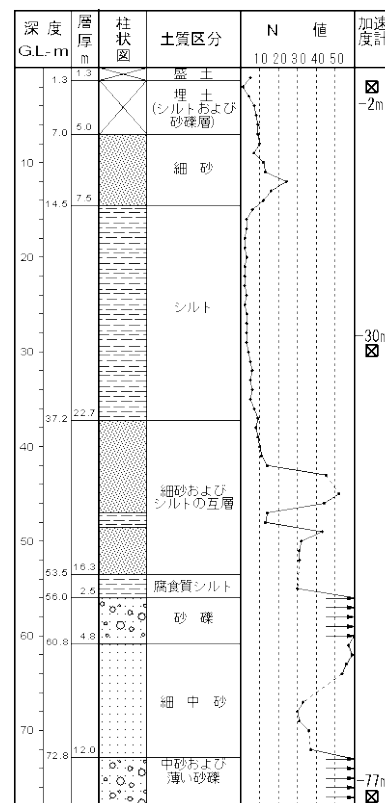


図-2 地盤柱状図

3. 検討結果

図-4 に G.L.-2m と -30m における Y 方向 (NS 方向相当) の観測加速度波形と解析加速度波形を比較して示す。二つの波形はほぼ一致しており、地盤の地震時挙動は地震応答解析で評価できると考えられる。

本検討では、地盤のせん断ひずみに着目して地震時挙動を検討する。図-5 に 2~7, 10 層の中間深度におけるせん断ひずみの時刻歴波形を示す。せん断ひずみの最大値はいずれの層でも 140 秒付近で発生している。2 層目は埋立土であり周辺地点ではこの層が液状化したと考えられるが、この層に生じるせん断ひずみは小さく(最大値 $<1 \times 10^{-3}$)、当該地点で液状化が確認されていない結果と整合する。東に約 120m 離れた地点では液状化が確認されている⁴⁾。近接するため基盤地震動はほぼ同じと考えられる。さらに G.L.-7m 以深が自然堆積した旧海底地盤であるため、地盤構造も大きく異なるとは考えにくい。そのため G.L.-7m 以浅の埋立層の液状化強度を含む動的特性が液状化を支配したと考えられる。G.L.-14.5m~-37.2m のシルト層の上部(4, 5 層)で相対的に大きなせん断ひずみが発生しているが、最大値は 1.5×10^{-3} 程度であり、地震時に当該地盤に生じた非線形性は大きくなかったと考えられる。

4. まとめ

東京湾臨海部で実施されている鉛直アレー観測記録を使用し、地盤の非線形地震応答解析から、2011 年東北地方太平洋沖地震における地盤の地震時挙動を検討した。今後、地震観測地点周辺で見られた液状化の発生メカニズムの解明を行う予定である。

謝辞：地震・微動観測では東京地下鉄(株)の協力を得ました。本研究の一部は科研費基盤研究(C)21560513 (研究代表者：池田隆明)の助成を受けました。

参考文献：1) 三輪滋他：2011 年東北地方太平洋沖地震における関東地方の液状化被害調査，土木学会論文集 A1 特集号(登載決定)，2012.，2) 文部科学省：首都直下地震防災・減災特別プロジェクトにおける震度分布図の公表について，2012.3.30，<http://www.mext.go.jp/>，3) 池田隆明他：鉛直アレー地震観測記録を用いた 2011 年東北地方太平洋沖地震における東京湾臨海部の地震時挙動の検討，土木学会論文集 A1 特集号(登載決定)，2012.，4) 国土交通省関東地方整備局，地盤工学会：東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明報告書，2011.

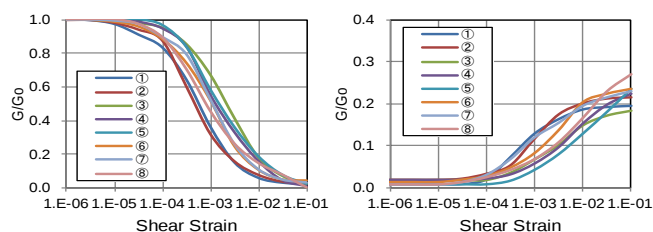


図-3 動的特性

表-1 解析モデル

層 No.	土質名称	層厚 (m)	密度 ρ (t/m ³)	せん断波速度 V_s (m/s)	せん断剛性 G (kN/m ²)	基準ひずみ $\gamma_{0.5}$ (%)	最大減衰 h_{max} (%)	動的変形特性
1	盛土	2.0	1.80	86	13313	0.057	19.6	①
2	埋土	5.0	1.85	114	24043	0.048	21.6	①
3	細砂	7.5	1.85	155	44446	0.214	18.3	②
4	シルト	5.5	1.70	141	33798	0.250	22.4	③
5	シルト	10.0	1.55	146	33040	0.300	20.0	④
6	シルト	9.0	1.60	195	60840	0.154	23.5	④
7	細砂	4.2	1.85	255	120296	0.154	23.5	⑤
8	細砂	3.8	1.90	255	123548	0.081	27.0	⑤
9	シルト	1.5	1.70	314	167613	0.109	23.6	⑧
10	細砂	7.5	1.90	314	187332	0.111	23.0	⑥
11	砂礫	9.7	1.95	434	367294	0.200	27.0	⑦
12	中砂	7.1	1.75	325	184844	0.111	23.0	⑧
13	砂礫	4.2	2.00	434	376712	-	-	線形
14	基盤	-	2.00	500	500000	-	-	-

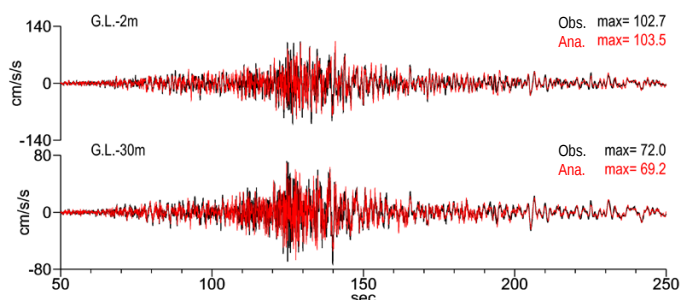


図-4 観測加速度波形と解析加速度波形の比較

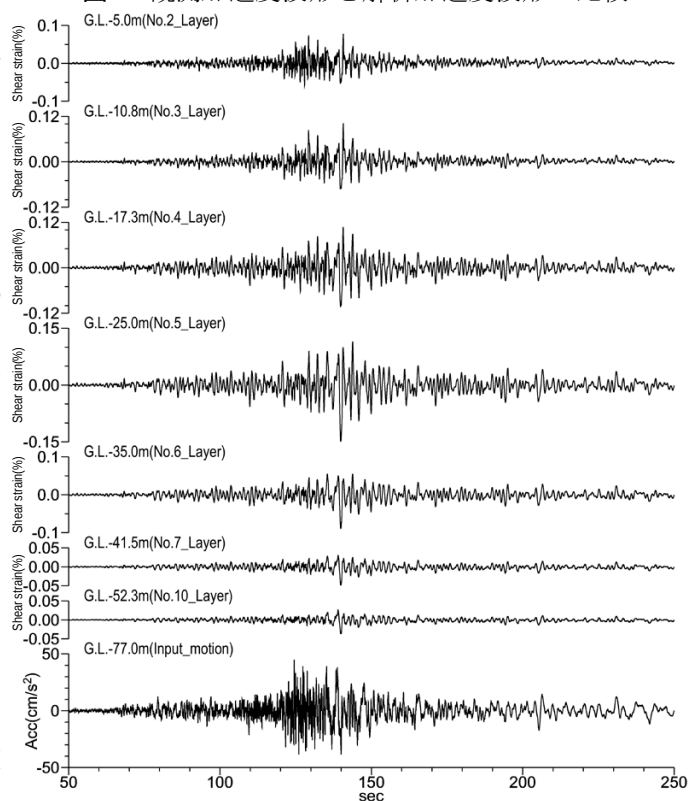


図-5 せん断ひずみ(%)の時刻歴波形の比較
(最下段は G.L.-77m における加速度時刻歴)