

東京湾沿岸埋立地における鉛直アレー記録の分析 (その2 本震・余震による液状化発生深度)

(独)土木研究所 正会員 ○川口剛, 谷本俊輔, 佐々木哲也

国土技術政策総合研究所 正会員 金子正洋, 片岡正次郎, 梶尾辰史

1. はじめに 前報¹⁾に引き続き、花見川緑地の鉛直アレー記録から、鉛直方向に伝播する水平動の位相速度およびせん断ひずみを算出した結果について考察する。

2. 位相速度およびせん断ひずみの計算結果

果 本震・余震における各深度の位相速度、せん断ひずみの計算結果を図-6、図-7に示す。図-6には、bor.11-4のPS検層で得られた各地震計間の平均Vsを対比している。

1) G.L.-19~45mの挙動 この深度区間には、沖積シルト質砂As1上部や洪積砂Ds1~Ds3が含まれる。本震・余震にわたり、位相速度がPS検層で得られた地震計間の平均Vsと概ね一致しており、上昇成分が卓越している。この挙動は、材料非線形性の影響の小さい地盤のSH波による振動として解釈することができる。なお、本震開始直後の位相速度は240m/s程度であった。平均せん断ひずみの最大値は本震で0.058%、余震で0.022%と非常に小さい。これらの状況から、G.L.-19m以深には、本震・余震を通じて液状化が発生しなかったものと見られる。

2) G.L.-9~19mの挙動 この深度区間には、埋立砂Bs3下部、沖積の非塑性~低塑性のシルトAc1およびシルト質砂As1上部が含まれる。本震開始直後の位相速度は160m/s程度であり、平均Vs=152m/sと概ね一致するが、本震65s程度より位相速度が低下し始め、本震78s付近から位相速度が急激に低下している。その後、位相速度はばらつきを有するものの、10~30m/s付近を推移し、本震の主要動後も低下したままの状態である。この挙動は、過剰間隙水圧の上昇により著しく剛性低下した土層のSH波による挙動として解釈することができる。すなわち、本震ではこの深度区間のどこかで液状化が生じたものと考えられる。

余震開始直後の位相速度は140m/s程度であり、前報¹⁾の図-5に照らすと、0.3~0.6程度の過剰間隙水圧比が残留していたと考えられる。しかし、余震における位相速度は100~120m/s程度と低下度合いは顕著でなく、液状化発生にまでは至らなかったと見られる。

平均せん断ひずみの最大値は、本震で0.65%、余震で0.042%であった。本震時の平均せん断ひずみは液状化地盤としては小さく、2回積分による計算の精度の問題も考えられるが、計算結果には本震と余震でせん断ひずみに10倍以上の差があり、定性的には、本震で液状化し、余震では液状化しなかったという上記の考察を裏付けている。

なお、Ac1、Ac2はいずれもシルトを主体とし、透水性が低いと考えられること、Ac1上部は粒径が非常に細かい1m弱のヘドロで被覆されていることを考えると、仮に本震でAc1以深に液状化が生じたとしても、本震後330s~余震開始1692sの約23分間で過剰間隙水圧が消散することは考えにくい。このため、本震による液状化発生箇所はBs3下部であった可能性が高い。

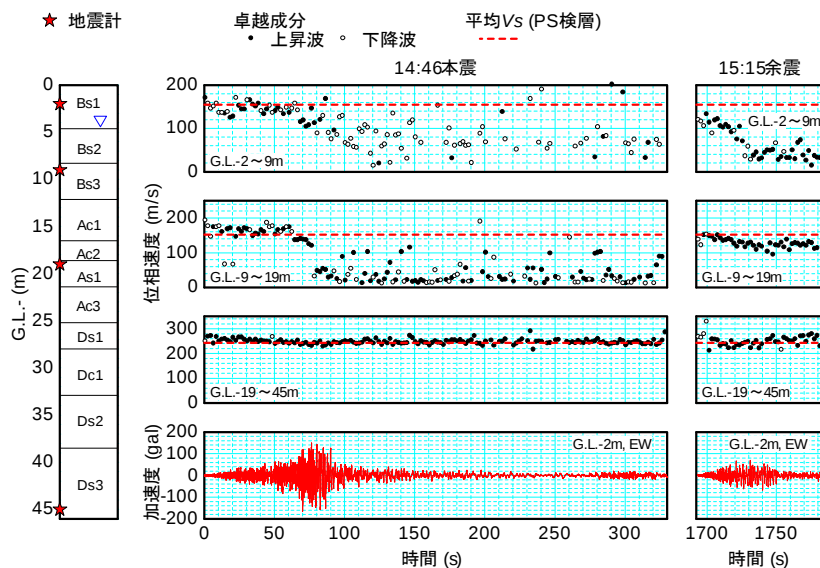


図-6 本震、余震における各深度の位相速度の経時変化

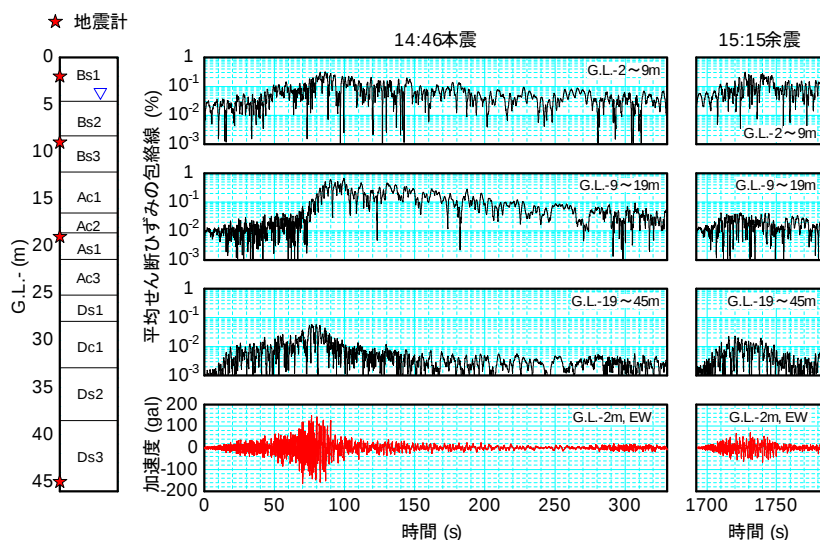
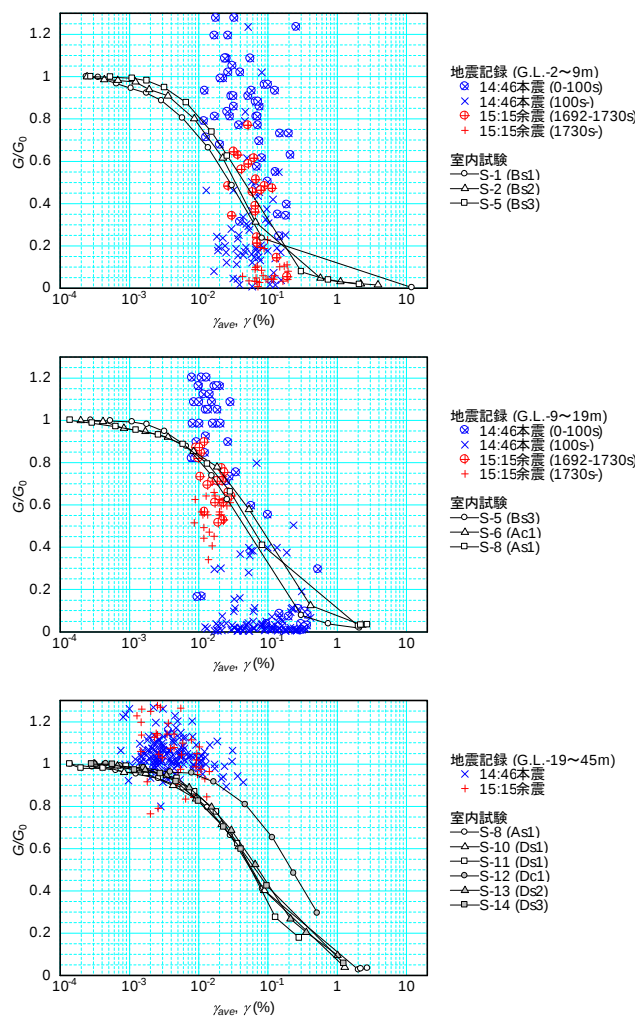


図-7 本震、余震における各深度の平均せん断ひずみ時刻歴の包絡線

キーワード 液状化, 地震記録, 余震

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 独立行政法人土木研究所 TEL: 029-879-6771

図-8 $G/G_0 \cdot \gamma$ 関係の比較

見なした。また、2秒ごとのひずみ包絡線の平均値 γ_{ave} を求め、これを位相速度から求めた2秒ごとの G/G_0 と対応させた。

結果を図-8に示す。G.L.-2~9m, G.L.-9~19mで常に $\gamma_{ave} \geq 0.01\%$ 程度となっているのは、2回積分によるひずみ算出時の長周期ノイズの除去が不完全であったことによるものと考えられる。本震開始~100s,あるいは余震開始~1730sの時間帯は、地震動が強くなり γ_{ave} が最大となるまでの時間帯に概ね対応している。この時間帯では、いずれの深度についても、地震記録による $G/G_0 \cdot \gamma$ 関係は大きなばらつきを有するものの、室内試験による $G/G_0 \cdot \gamma$ 関係を辿るような傾向が見受けられる。その後、G.L.-2~9mは本震・余震のいずれにおいても、室内試験に比べて小さな G/G_0 を示していることから、2度にわたって液状化したものと見られる。G.L.-9~19mについては、本震後には G/G_0 の低下が著しく液状化したものと見られる一方で、余震後は室内試験に比べて小さな G/G_0 を示し、わずかに過剰間隙水圧の影響を受けている可能性がある。

4. まとめ 東京湾沿岸埋立地で得られた東北地方太平洋沖地震の本震・余震に関する鉛直アレー記録を対象に、水平動の位相速度とせん断ひずみに着目した分析を行った。その結果から推定された液状化発生の深度とタイミングは次のとおりである。

- 1) 埋立砂 Bs2 および Bs3 上部では、本震により位相速度が低下し、液状化の影響が窺えるものの、本震 90s 以降で位相速度のばらつきが非常に大きくなり、下降成分が卓越するといった特異な挙動を示した。原因としては観測点付近における三次元的な液状化の進行状況の違いの影響や表面波の影響等が考えられる。また、余震開始時点では少なくとも 0.6 程度の過剰間隙水圧比が残留しており、余震によって再び液状化が生じた。
- 2) 埋立砂 Bs3 下部、非塑性～低塑性シルト Ac1、沖積シルト質砂 As1 上部のいずれかが本震によって液状化した。余震開始時点までの剛性回復（水圧消散）状況から、本震による液状化発生箇所は Bs3 下部である可能性が高い。また、余震開始時点では 0.3~0.6 程度の過剰間隙水圧比が残留し、余震中も過剰間隙水圧の影響が窺えるものの、余震では液状化しなかった。
- 3) G.L.-19m 以深の沖積シルト質砂 As1 や洪積砂 Ds1~Ds3 には、本震、余震を通じて液状化が生じることはなかった。

末筆ながら、地盤調査の実施にあたりご協力いただいた千葉市都市局公園緑地部美浜公園緑地事務所、千葉県千葉土木事務所管理用地課の関係各位に謝意を表す。

参考文献 1) 谷本俊輔, 川口剛, 佐々木哲也, 金子正洋, 片岡正次郎, 梶尾辰史: 東京湾沿岸埋立地における鉛直アレー記録の分析 (その1 地震記録と分析方法), 土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集, 2014.9.(投稿中)

3) G.L.-2~9m の挙動 この深度区間には、埋立砂 Bs2 および Bs3 上部が含まれる。本震開始直後の位相速度は 150m/s 程度であり、平均 $V_s = 155\text{m/s}$ と概ね一致するが、本震 68s から低下し始めている。その後、大局的に見ると位相速度は低下し、40~80m/s 程度を示す時間帯が多く見受けられることから、液状化が発生している可能性が考えられる。ただし、本震 90s 以降では下降成分が卓越していること、位相速度のばらつきが非常に大きいことが特徴的であり、鉛直下方からの SH 波の重複反射のみでは説明できない特異な挙動を示している。原因としては、観測点周辺の 3 次元的な液状化の進行度合いの違いの影響や表面波の影響等が考えられ、今後さらなる検討が必要である。

余震開始時点における位相速度が 110m/s 程度であり、前報 1) の図-5 に照らすと、少なくとも 0.6 程度の過剰間隙水圧比が残留していたものと考えられる。また、1730s 程度より位相速度が 20~40m/s 程度まで低下していることから、余震によって再び液状化したものと見られる。

平均せん断ひずみの最大値は本震で 0.32%, 余震で 0.31%と同程度であった。これも絶対値としては小さいが、定性的には、本震・余震のいずれにおいても液状化したという上記の考察を裏付ける結果である。

3. 土の繰返し変形特性試験結果との比較 追加調査により採取した乱れの少ない試料より、10 試料について土の繰返し変形特性試験 (JGS 0542-2009) を行っている。そこで、地震記録と室内試験による $G/G_0 \cdot \gamma$ 関係を比較した。地震記録からは、各時間帯の位相速度を本震開始直後の位相速度で除し、これを 2 乗したものを G/G_0 と