

ポートアイランド鉛直アレー強震記録への等価線形解析の適用性

関西電力 総合技術研究所 正 副田 悦生
ニュージェック 天野 真輔 正 前川 太

1. まえがき

兵庫県南部地震における鉛直アレー強震記録は、地盤の地震応答解析法の精度検証に多大な貢献をしている。特に全応力解析は、地盤の非線形性を表す応力-ひずみ関係や剛性低下率などにより表現が可能であるため、新たな解析法などが多く提案されつつある。しかし、地盤が顕著に非線形化するような液状化現象に対しては、全応力解析の適用が困難といわれている。本報告は液状化の影響が大きいといわれるポートアイランドの鉛直アレー記録¹⁾に対し、実務で多用されている等価線形解析がどの程度の再現性を示すのかを調べたものである。

2. 換算係数を変化させた解析

対象としたポートアイランド地点の土層構成およびせん断波速度分布を図-1に示す²⁾。また動的変形特性を図-2に示す。なお、この動的変形特性は他地点の大阪湾周辺で調査した結果から分類したものであるが、ポートアイランド地点にも適用可能と考えている。

解析はまず、等価線形解析の換算係数 α を種々に変化させて実施し、その再現性を観測波形と解析波形の誤差を2乗和平均の平方根(RMS)を最大加速度で正規化したもので評価する。なお、入力地震動は最深部の観測波形である。

図-3に解析誤差を示す。地表面の観測点では解析誤差が大きくなっているが、換算係数が大きいほど再現性が良くなる傾向がみられる。また α が0.95より大きいと収束しなかったが、これは、 α が大きいほど液状化層のせん断ひずみが大きくなったため、図-2に示した動的変形特性のせん断ひずみの範囲を超えたことが原因である。このように液状化する層を含む場合の等価線形解析は、非常に大きなひずみが発生し、せん断剛性が大きく低下することを再現する必要がある。一方地中の観測点では最適な換算係数が $\alpha=0.25$ 程度となり、地中部は、発生するひずみが小さい換算係数が良い結果を与えるようである。

3. 液状化による剛性低下を考慮した解析

風間らは、ポートアイランド地点の観測記録に対し埋立層の液状化を考慮できるように動的変形特性が基準ひずみを超えた程度から、せん断剛性を急に低下させるように評価を行うことで、地表面の加速度波形も比較的良好に再現している³⁾。本報告で用いている埋立層(液状化対象層)の動的変形特性は、図-2(b)に示した“Sand1”であり、風間らの研究に比較して、大ひずみ領域でのせん断剛性の低下が小さく、地表応答の再現が困難であると考えられる。そこでGL-16mの観測記録を入力地震動として、地表面の加速度波形について再現の良い埋立層

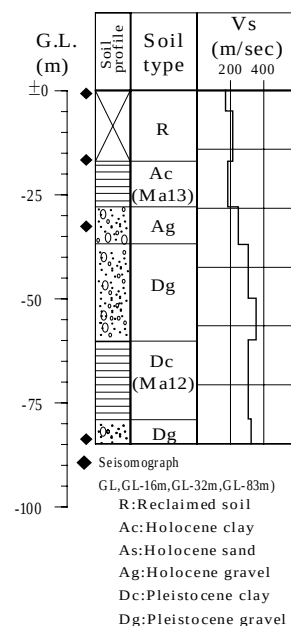


図-1 土層構成と
せん断波速度分布

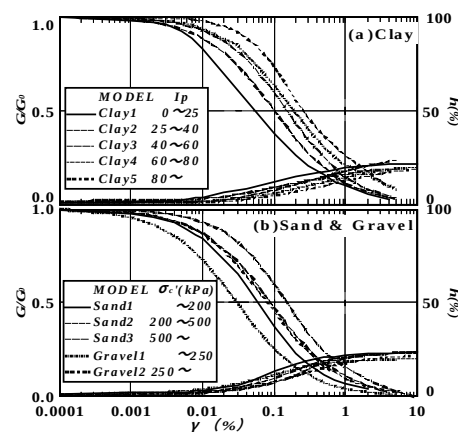


図-2 繰返し回数10回での動的変形特性モデル

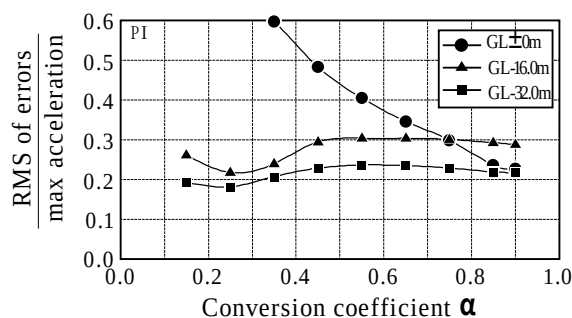


図-3 換算係数と解析誤差

キーワード：兵庫県南部地震、鉛直アレー記録、等価線形モデル、地震応答解析、液状化

連絡先：〒661-0974 尼崎市若王寺 3-11-20 関西電力(株)総合技術研究所 Tel 06-6494-9707 Fax 06-6498-7662

のせん断波速度と減衰定数を求めると、 $V_s = 30\text{m/s}$ 、 $h = 30\%$ となった。これは埋立層の初期せん断波速度 $V_s=210\text{m/s}$ からせん断剛性低下率を求めると、 $1/50$ となり、非常に大きな低下率が得られた。

この埋立層のせん断波速度と減衰定数をそのまま用い、他の層については、前と同様に換算係数 α を変化させた解析を実施した。図-4はその解析誤差を示している。この図は図-3に示した傾向と異なり、地表面では α が小さいほど解析誤差が小さくなり、また地中部の最適な α が少し大きくなっている。

図-5は液状化を考慮しない解析と液状化を考慮した解析の加速度時刻歴の比較である。液状化を考慮しない通常の方法でも、地表面の解析結果が観測結果をほぼ再現可能であるが、地中部の誤差が液状化を考慮した解析に比較して大きい。液状化を考慮した解析結果は、地表で解析誤差の最小な場合と地中部で最小な場合の2種類示したが、どちらも比較的良好な結果が得られている。

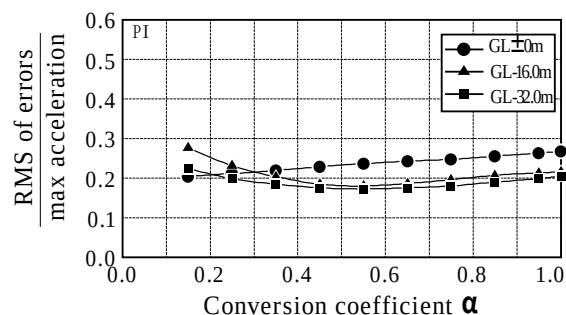
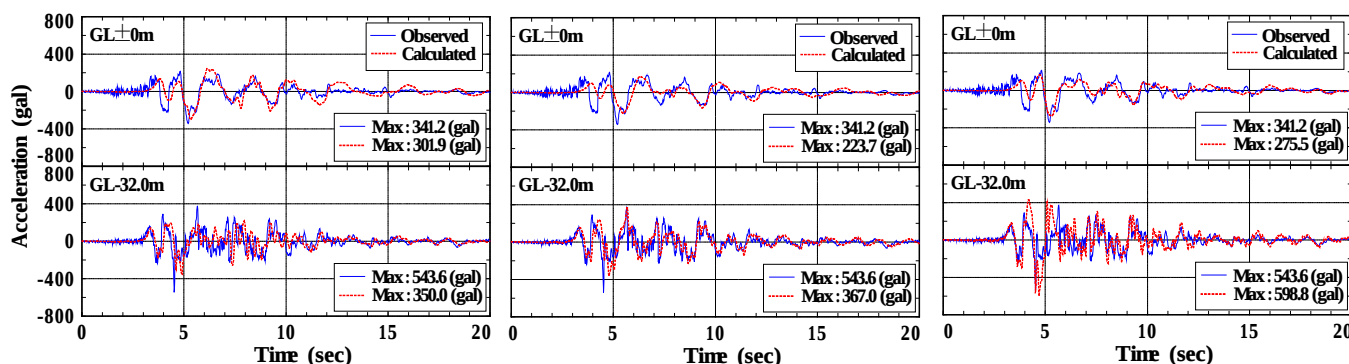


図-4 液状化を考慮した場合の換算係数と解析誤差



(a) 液状化の考慮なし (GL±0m 最適換算係数 0.90) (b) 液状化を考慮 (GL-32m 最適換算係数 0.55) (c) 液状化を考慮 (GL±0m 最適換算係数 0.15)

図-5 PI 地点解析結果 (NS 成分)

図-6には $\alpha=0.65$ の条件での液状化を考慮しない場合と考慮した場合のひずみ分布を示すが、明らかに液状化を考慮した方が埋立層で発生するひずみが非常に大きくなり、液状化層より下部の沖積粘土層でひずみが小さくなっていることがわかる。地盤が液状化する場合は、液状化層とその下層との剛性の差が大きいほど、地表面での長周期化した加速度波形が再現できるようである。したがって、液状化を生じる場合の等価線形解析は、液状化する層の物性の与え方により、その下層の最適な換算係数が異なるため、通常の等価線形解析では適用限界がある。

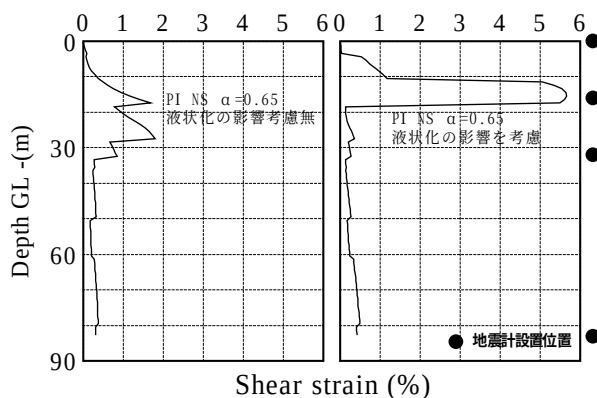


図-6 最大せん断ひずみ深度分布 (PI 地点 NS 成分)

謝辞

本研究で利用した鉛直アレー記録は、地震計を設置した機関や当時の担当者のご努力により得られたものです。その方々のご努力に深謝致します。

参考文献

- 1) 財団法人防災協会：強震動アレー観測記録データベース
- 2) 神戸市開発局：兵庫県南部地震による埋立地地盤変状調査（ポートアイランド、六甲アイランド）報告書，神戸市開発局，1995
- 3) 風間基樹，鈴木崇弘，柳沢栄司：地盤に与えられた累積損失エネルギーの評価法と液状化予測への適用，土木学会論文集 No.631 /III-48, pp.161-177, 土木学会，1999.9