

地盤の力学的特性の誤差が地震動予測に与える影響

東北学院大学工学部 学生会員 ○横山和拓・後上藤三

東北学院大学工学部 正会員 吉田 望

1 はじめに

地盤の地震応答解析の高精度化には鉛直アレー記録のシミュレーションなどに基づく、有効性の確認が必須であり、著者の一人はこれまで多くのシミュレーションを行ってきたし、その他多くの研究者が行っている。多くのケースでは原位置で調査された詳細なデータを用いることでよい結果を得ることができた。しかし中にはうまくいかないケースもある。ここで報告する鉛直アレー記録もその一つである。このようなケースでも、うまくいかなかった原因を追及することは今後の地震応答解析の高精度化につながると考えられる。ここでは、そのために、波形を合わせる努力をした結果を報告する。

2 記録と過去の経緯

1995年に発生した兵庫県南部地震の際に尼崎にある関西電力技術研究所で鉛直アレー記録が得られた¹⁾。著者の一人は公開されていたデータを用いて地震応答解析を行った²⁾。その結果を図1に点線で示す。

その際には柱状図に加え、ダウンホール法によるPS検層が行われていたが、その精度に疑問を呈しながらもその値を使った。その結果、地表の最大加速度が過小評価され、その原因としてGL-2~7m付近で粘土から礫までの互層にもかかわらずせん断波速度が一定(117m/s)となっているため、礫層のせん断強度が過小評価されたことが原因であった。

このサイトでは地震後、サスペンション法によるPS検層と相当詳細な動的変形特性試験を含む地盤調査が行われた³⁾。その結果を用いた地震応答解析では文献2)よりよくなったとはいえ、問題は残り、問題の難しさが指摘されている³⁾。なお、この発表では動的変形特性の詳細は示されなかった。そこで、筆者の一人はこの論文から読み取れる動的変形特性と新しい柱状図(図1右側)を用いて再解析を行ったところ⁴⁾、図1の実線のような結果が得られ、最大加速度は依然小さく評価されている。なお、解析にはSHAKEと同じ手法を用いたので、本来最大加速度は過大評価されるべきところであることを考えると、図の結果でもかなりの過小評価といえる。この原因としてひずみの大きい層のせん断波速度 V_s は130m/sであるが、その上下ではそれぞれ140, 180m/sであり、弱い層が強い層に挟まれていることため、この層にエネルギーが集中し、大きな非線形を起こしたことが挙げられる。この現象はこのような層構造が水平に続いているとすればあり得るかもしれないが、地震前の柱状図と比べてみても、このサイトが水平成層とはいえない。すなわち、ダウンホール法による速度構造はボーリング位置では正しいかもしれないが、地盤を代表させ一次元にモデル化する際の地盤構造としては好ましくない可能性がある。

このような背景から、昨年度は、 N 値から V_s を決める等、いわば正攻法といえる方法で記録の解析を試みた⁵⁾。しかし、結果は好ましいものではなかった。そこで、ここでは、弾性定数を大胆に修正することにより、より整合性のある結果を求めようとする。

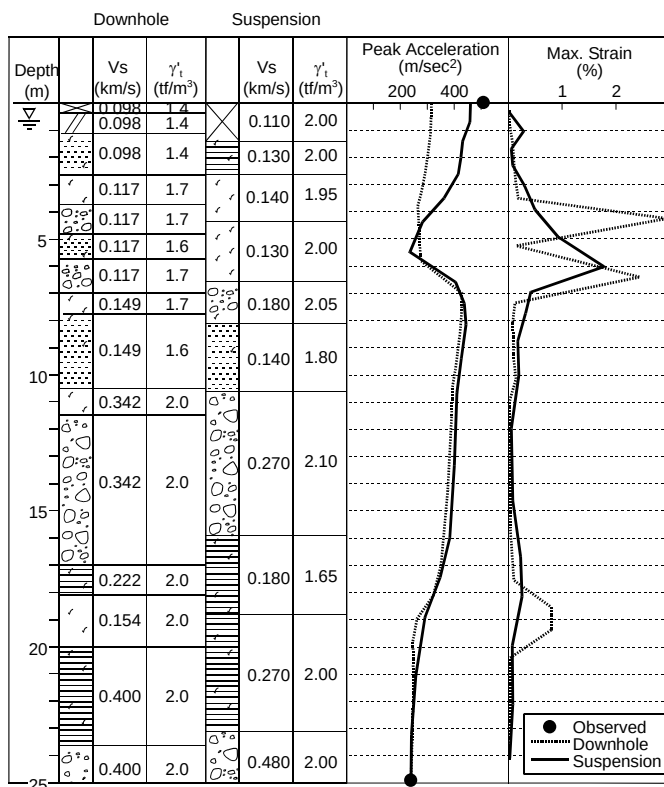


図1 最大応答値の比較

3 解析方針と結果

基本的な柱状図として、ダウンホール法によるものを採用し、定数等も同じものを用いる。解析はDYNEQ⁶⁾を用いる。ここで、地表の最大加速度を小さくするような非線形が発生しそうな層については、次のような方法でせん断波速度を設定した。

- 1) GL-3.8~7m で V_s の平均値を保持
- 2) GL-3.8~11.5m の V_s を変更
- 3) GL-3.8~11.5, 19.8~23.4m の V_s を変更

各ケースで V_s を変化させ、約 40, 合計 120 ケースの解析を行った。図 2~図 4 は各ケースで良さそうな代表例の地表の加速度を観測記録と比較している。また、図 5 は対応するケースの最大値分布である。ここで塗りつぶした部分が標準値より速度を変えた部分である。

図 2 では、解析値の位相は観測値より遅い。従って、非線形が起こりやすいようにモデル化されている可能性がある。また、正側の最大値はかなり近いが負側で過小評価となっている。図 3 では位相はかなりよく一致し、正側のピークもよくなったが、負側のピークは過小評価である。これら過小評価の原因はせん断強度の過小評価にあると考えられる。そこで、最後の図 4 でもは下部でひずみの大きいところで V_s を大きくしたが、位相、最大値ともある程度の一致を見た。

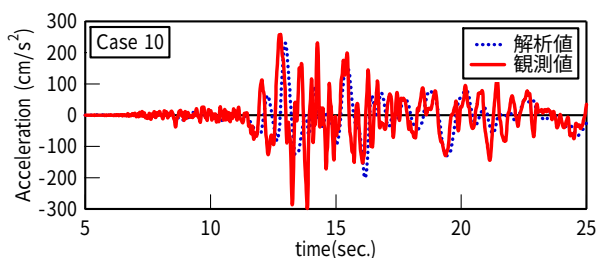


図 2 Case 10 の加速度の波形

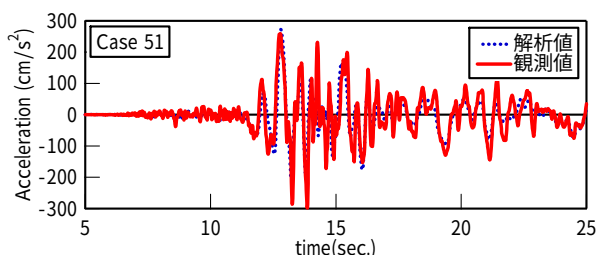


図 3 Case 51 の加速度の波形

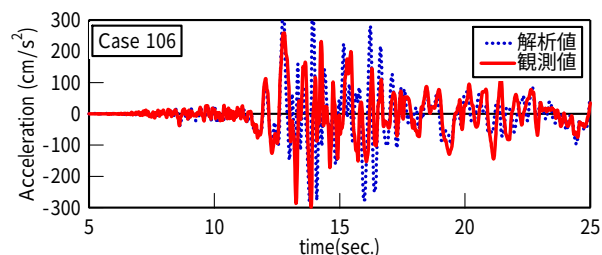


図 4 Case 106 の加速度の波形

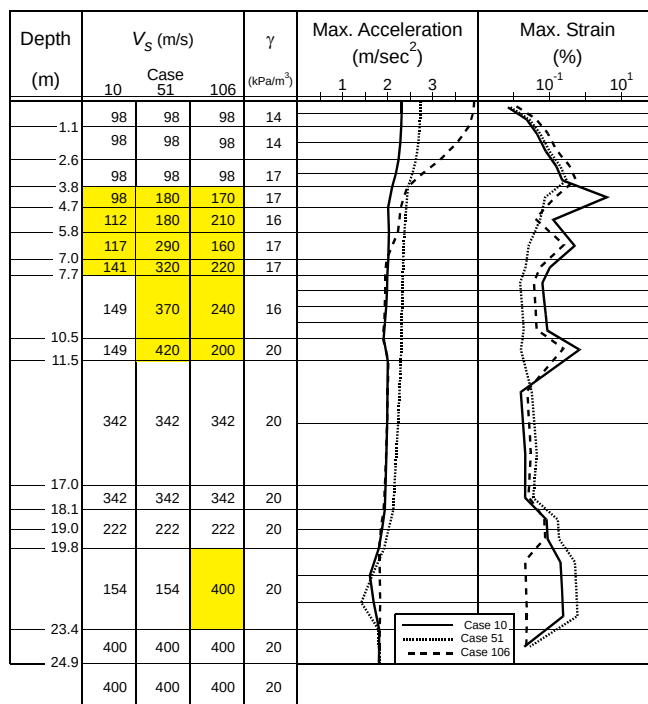


図 5 最大応答値の比較

4 おわりに

弾性定数を変えることで、記録とよく一致する結果を得ることになった。このことは弾性定数がせん断強度や非線形性を制御する現行の動的変形特性の問題点を示しているのかもしれない。

参考文献

- 1) 強震動アレー観測, No. 3, 震災予防境界, 1998
- 2) 吉田望, 中村晋, 末富岩雄: 1995 年兵庫県南部地震における地盤の非線形挙動とその予測, 第 23 回地盤震動シンポジウム, 日本建築学会, 1995.10, pp.39-52
- 3) 副田悦生, 加藤要一, 松田豪司, 竹澤請一郎, 前川太 (1996): 鉛直アレー記録の地震応答解析例, 土木学会第 51 回年次学術講演会, 第 I-B 部, pp.356-357
- 4) 吉田望 (1998): これからの動的解析: 基礎・応用・問題点と事例, これからの数値解析講習会資料, 地盤工学会, pp. 33-64
- 5) 吉田望, 伊藤陽子, 菅井英樹 (2007): 地盤の地震応答解析に与える地盤定数設定の影響, 平成 18 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, No. III-36
- 6) Yoshida, N., Kobayashi, S., Suetomi, I. and Miura, K. (2002): Equivalent linear method considering frequency dependent characteristics of stiffness and damping, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 22, No. 3, pp. 205-222