

地盤の地震応答解析に与える地盤定数設定の影響

東北学院大学工学部 吉田 望
 東北学院大学工学部 伊藤 陽子
 東北学院大学工学部 菅井 英樹

1 序論

地盤の地震応答解析の高精度化のためには、地盤材料の力学的特性の把握とその適切なモデル化重要であることはよく知られている。しかし、現実のケースでは、これらは原位置調査でも必ずしもきちんとは求まるとは限らない。

弾性定数を例にとると、原位置で PS 検層によるのがよいと考えられる。PS 検層にはいくつかの方法があるが、日本でよく用いられるのは Downhole 法と Suspension 法である。両者の間に違いがおきる事もあることが過去の比較から知られている（例えば、文献1）。これは、一般的には Downhole 法はある程度の深さの範囲の平均的な値を出力するのに対して、Suspension 法は局所的な値をとるためであると理解されている。このことは、 N 値との対応を見ると Suspension 法の方が整合性がよいことなどからも実証されている。

しかしながら、Suspension 法の方が精度がよいので、地震応答解析に用いるデータとして適しているかといえども必ずしもそうとはいえないことが考えられる。例えば、一次元解析では水平成層を仮定している。しかし、実地盤が解析で想定しているような水平成層である事は一般的には考えにくい。つまり、一次元の地震応答解析は対象地盤のある程度平均的な姿をモデル化すべきと考えられる。しかし、二つの PS 検層ともこのような定数を与えてくれるわけではない。

これに関連して、もう一つ重要なのが非線形特性である。すなわち、地盤の地震応答は、地震動がそれほど大きくないときには弾性定数が重要である。この場合、個々の層の評価が少し違ってても、全体としての固有周期が大きく異ならなければある程度の精度は確保できる。しかし、地震動が大きくなると、地盤の非線形挙動、特に強度特性が、地表の加速度に上限が表れる²⁾などするため、重要となる。

ところで、地盤の非線形特性は動的変形特性試験として表現されるが、弾性定数は原位置計測と室内試験で大きく違うことがあるため³⁾、室内試験の結果は室内試験の最大せん断定数で無次元化され、これに原位置のせん断弾性定数を掛けて原位置の動的変形特性が求められる。すなわち、弾性定数の設定が非線形特性にも影響するわけである。

ここは、この様な弾性定数の設定が地震応答に与える影響をケーススタディで検討した結果を報告する。

2 対象サイトと解析法

解析の対象としたのは、関西電力総合試験所（尼崎）サイトである。このサイトでは鉛直アレーによる地震観測が行われ⁴⁾、1995 年兵庫県南部地震の際には記録が得られている。さらに地震前後に PS 検層を含む地盤調査が行われている⁴⁾⁵⁾。図 1 に地震前の調査で得られた柱状図を示す。

このサイトで行われた過去の解析では、吉田⁶⁾は地震前の柱状図では礫地盤の強度が過小評価されること、地震後の柱状図ではせん断波速度が小さい層が大きい層には含まれている部分で地震のエネルギーが集中して非線形現象が著しくなり、地表の加速度を過小評価することを指摘している。副田ら⁵⁾は地震後に行った地盤調査を行い、かなり詳細な調査を行えば精度のよい予測ができる可能性を示唆している。しかし、彼らの解析は SHAKE⁷⁾で行われているが、SHAKE は最大加速度を過

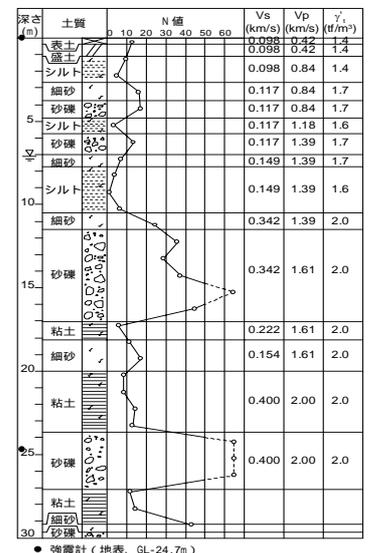


図 1 柱状図

大評価する事⁸⁾が知られており、結論をそのまま鵜呑みにするには問題がある。

本研究では、地震応答解析コードとして改良された等価線形法である DYNEQ⁸⁾を用いる。動的変形特性試験は安田ら⁹⁾の実験式で評価し、その際に必要な D_{50} の値は道路橋示方書に示される土質ごとの代表値を用いる。

解析では、実験の前後に得られたせん断波速度をもとに、いくつかの方法で補正し、地表の最大加速度が観測値となるべく一致する方法を模索する。

3 解析の流れ、解析結果と考察

解析では、次の 5 つの方法によりせん断波速度を設定した。

- 1) 元データ
- 2) 元データのせん断波速度を N 値で補正
- 3) N 値で補正したデータに元データを考慮
- 4) 3)で用いた材料特性のデータを、安田・山口の式で補正
- 5) で用いたデータの一部のみを、 N 値を考慮して補正する。

上に示した流れで解析を行った結果のうち、1)と5)の最大応答値を図 2 に示す。1)では、最大加速度が観測値の 54%の精度しか得られなかったが、5)では、観測値の 80%の精度が得られた。

図 2 の 1)の最大ひずみを見ると、7 層目(GL-3.8 ~ 4.7m)と 9 層目(GL-5.8 ~ 7.0m)におけるひずみが、異常に大きく出ている。よって 7 層目と 9 層目付近のひずみに着目する。ここで、図 3 に、1)と5)の 7 層目と 9 層目付近(GL-2.6 ~ 7.0m)の応力ひずみ関係を示す。1)では、同じ応力を与えた際のひずみが、砂

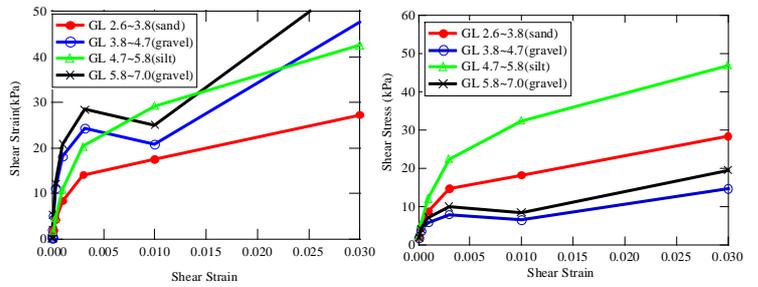


図 3 1)と5)の応力ひずみ関係

層よりも礫層が大きくなっているという余り考えられない結果がでている。しかし、補正を続けた 5)では、礫層が砂層よりもひずみが小さくなっており、理想的な結果が得られたといえる。

4 結論

大地震時の地盤の挙動を精度よく予測するためには、最も弱い層のせん断強度の評価が重要であるということがわかった。特に、本解析では動的変形特性とせん断波速度の関係が問題になることがわかった。

参考文献

- 1) 国生剛治 (1992): 地盤の動的特性, 講座・地盤と構造物の動的相互作用の解析法, 土と基礎, Vol. 40, No. 4, pp. 67-74
- 2) 末富岩雄, 沢田純男, 吉田望, 土岐憲三 (2000): 地震動の上限値と地盤のせん断強度の関係, 土木学会論文集, No. 654/I-52, pp. 195-206
- 3) Kokusho, T (1987): In-situ dynamic soil properties and their evaluation, Proc. 8th Asian Regional Conference of SMFE, Kyoto, Vol. II, pp. 215-240
- 4) 強震動アレー観測 No. 3, 震災予防協会, 1998
- 5) 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
- 6) 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
- 7) Schnabel, P. B., Lysmer, J. and Seed, H. B. (1972): SHAKE A Computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites, Report No. EERC72-12, University of California, Berkeley
- 8) 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
- 9) 安田進, 山口勇 (1985): 種々の不攪乱土における動的変形特性, 第 20 回土質工学研究発表会講演集, pp. 539-542

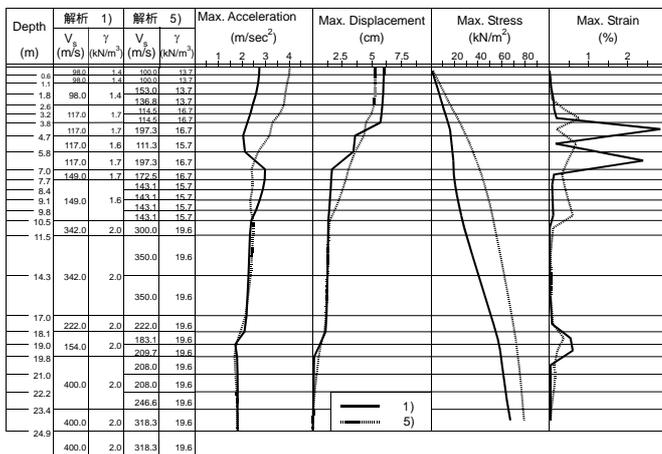


図 2 1)と5)の最大応答値