

弱震動地震記録の逆解析およびS波検層によるS波速度構造の比較

中部電力(株) 技術開発本部 正会員 遠藤 大輔, 上田 稔, 熊崎 幾太郎
 (株)C T I 科学技術部 正会員 ○葛巻 亜弥子, 永坂 英明

1. はじめに

筆者らは地盤の地震応答解析を実施する際、解析に用いる地盤の初期S波速度構造の精度が地震応答解析結果に少なからず影響することを強く認識した。そのため、一般に広く利用されているS波検層結果に基づき得られる固有振動数およびS波伝播時間と、鉛直アレー地震観測記録から求められるそれらとの比較を試みた結果、比較的大きな差異を確認した¹⁾。本稿は、それに引き続き、S波検層によって求められる速度構造と弱震動地震記録の逆解析によって同定した速度構造との比較を試みたものである。

2. 対象地点と用いたデータ

対象地点は鉛直アレー地震観測を実施している東京電力鹿島共同火力発電所構内地点²⁾(以下K地点)である。

表-1 用いた弱震動地震観測記録の概要

| 地点 | 深さ | 震央距離 | 最大加速度 | 用いた記録数 |
|-----|--------|--------|-------------------|------------------|
| | km | km | cm/s ² | |
| K地点 | 34~101 | 71~837 | 7.1~13.1 | 8地震記録(4地震×2水平方向) |

図-1に地震計設置位置(図中●)および地盤構成を示す。速度構造の逆解析に用いる弱震動地震記録は、最大加速度、震央距離の大小および観測方向の異なる8記録について記録毎に固有振動数および地震伝播時間の差異が小さいことを確認し、これを採用した。その弱震動地震記録の概要を表-1に示す。

S波検層は地震計設置位置において実施したもので、深さ1m区間毎に計測している。



図-1 地震計設置位置および地盤構成

3. 速度構造逆解析

図-2にK地点におけるS波検層結果に基づく伝達関数と弱震動地震記録の水平動に関する伝達関数を示す。各弱震動地震記録による伝達関数の固有振動数はよく一致しておりこれが実地盤の固有振動数を表していると言えるが、S波検層結果に基づく固有振動数はそれらと若干異なっている。この差異が速度構造においてはどの程度の差となるか確認するために実地盤の固有振動を再現する速度構造を知る必要がある。そこで、弱震動地震記録の逆解析によって速度構造の同定を行う。

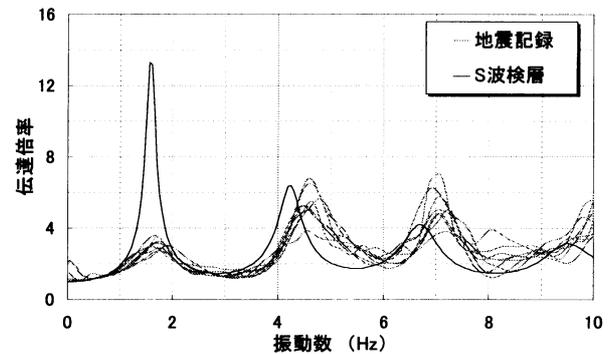


図-2 S波検層結果および弱震動地震記録の伝達関数

同定はモンテカルロシミュレーションによって実施した。S

波検層によるS波速度(以下Vs)分布を初期値として、この近傍に値をもつ速度構造サンプルを計算機で発生させた擬似乱数を用いて生成し、弱震動地震記録の固有振動数により近い振動数をもつものを探索することにより実地盤の固有振動を再現する速度構造を得る。今回のS波検層は深度1m毎に細やかに調査されているため、S波検層結果の速度区分層厚をそのまま利用し、Vs値のみを変化させて速度構造の探索を行った。今回取得したサンプル数はおよそ100万個である。そのうちから1つの解を選択するための選択基準であるが、弱震動地震記録の固有振動数を基準値とし、これと取得サンプルの固有振動数との差が小さいものを優先する。このとき低次の固有振動数を優先し、まず1次固有振動数の差が小さいものを選択、その中からさらに2次、そして3次の固有

キーワード S波検層, S波速度, 地震, 速度構造, 逆解析

連絡先 〒459-8522 名古屋市緑区大高町字北関山 20-1 中部電力(株) 技術開発本部 電力技術研究所 TEL 052-621-6101 FAX 052-623-5117

振動数の差が小さいものを順次選択して解を絞り込み、最終的に最も差の小さいものを速度構造の同定結果として採用した。

4. 速度構造の比較結果

Vs 構造について、S波検層結果と弱震動地震記録の逆解析による同定結果とを比較するが、これに先んじて図-3.1に示す同定結果の比較対象としての妥当性について確認した。

まず、S波伝播速度についてみると、S波伝播速度の算定方法は後に述べるが、表-2示すように同定結果のS波伝播時間は地震記録にかなり近いことがわかる。次に図-4に同定結果に対応する伝達関数を示すが、そのピークで表される固有振動数は図中縦破線で示す地震の固有振動数に良く一致している。さらに、詳細は文献3)に記すが、同定された速度構造を初期値として地震応答解析を実施した結果、実測地震記録を忠実に再現している。以上の事実から、同定された速度構造は十分な精度を有しており妥当と判断できる。

この速度構造とS波検層による速度構造の比較を図-3.1に示す。Vsの傾向そのものは似ているが、全体的にS波検層の方が低くその平均は約8%で、-8~-10m、-11m、-16~-18m および-25m 以深においてその差はさらに顕著で、17%~35%程度の差異が認められた。次に、S波検層結果および同定したVs構造に対応するS波伝播時間および伝達関数について比較した。S波伝播時間は、S波検層と同定結果については地盤深度方向のVs分布とそれに対応する地層厚を用いて算出し、地震記録については複数の記録について地盤下部と地表面の加速度記録の相互相関関数を算出、その相互相関最大値に対応する時間差の平均値とした。

伝播時間の比較結果を表-2に示すが、S波検層の伝播時間は同定結果の伝播時間よりも遅く同定結果の方が地震記録に近い。図-4は伝達関数の比較結果であるが、S波検層の各次固有振動数は図中の縦の破線で表される地震記録の固有振動数と明らかな差が認められる。また、地震記録や同定結果の伝達関数よりも全体的に低振動数側にあり、S波検層のVsが低いことを示す結果となった。

5. まとめ

S波検層結果および弱震動地震記録から得られる速度構造にも少なからぬ差異が認められ、固有振動数およびS波伝播時間についても同様となることを明らかにした。地震応答解析には適正な速度構造を初期値とすることが重要であるが、結果から若干の誤差を含むと考えられるS波速度構造をそのまま用いた際にはこれに起因する応答解析誤差が含まれていることになる。次にその初期値の差が応答解析結果に与える差異について明らかにしていく³⁾。

<参考文献>

- 1) 遠藤,上田,熊崎ら：S波検層結果と鉛直アレー地震観測記録から求めた地盤の固有振動数および波動伝播時間の比較,第36回地盤工学研究発表会,2001.6
- 2) 金谷,当麻,矢島：地震記録に基づく地盤の非線形解析手法(NAFFS)の適用性の検討-鹿島地点での地震観測とその数値シミュレーション-,電力中央研究所報告 U95027,1996.3
- 3) 遠藤,上田,熊崎ら：地盤のS波速度構造初期値が地震応答解析結果に与える影響,第56回土木学会年次学術講演会,2001.10

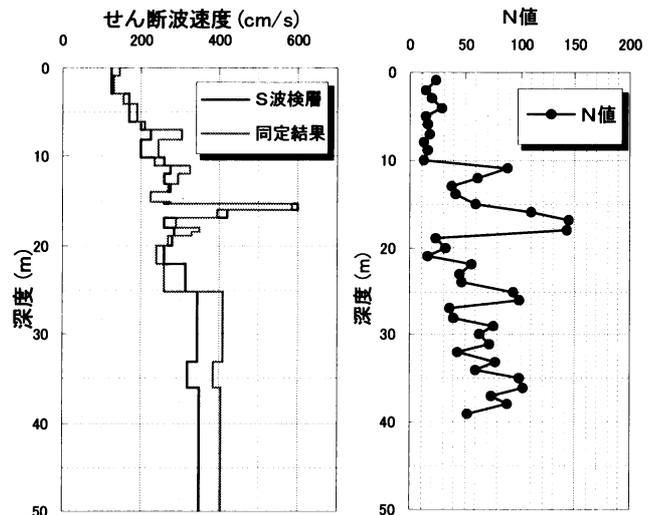


図-3.1 S波速度構造の比較

図-3.2 N値分布

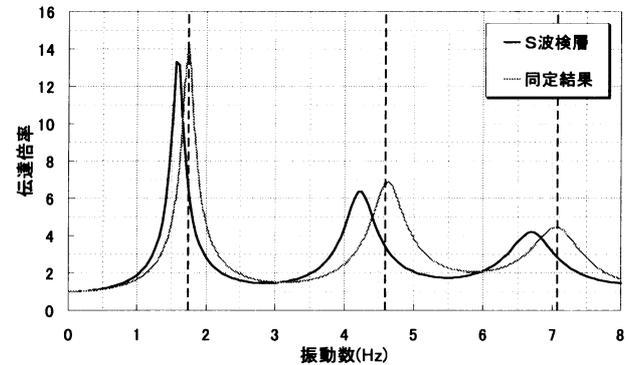


図-4 S波検層と同定速度構造の伝達関数 (縦の破線は弱震動地震記録の固有振動数を示す)

表-2 S波伝播時間の比較

| 区間 | 伝播時間(s) | |
|------|----------|---------|
| | -25~-50m | -1~-25m |
| S波検層 | 0.074 | 0.105 |
| 同定結果 | 0.065 | 0.101 |
| 地震記録 | 0.067 | 0.094 |