

N値から推定されたS波速度を地盤の初期の速度構造とした場合の地震応答解析精度

中部電力(株) 正会員 ○遠藤 大輔, 上田 稔
 (株)シーテック 正会員 今枝 靖博
 (株)シーティーアイ 正会員 葛巻 亜弥子

1. はじめに

地盤の地震応答解析を実施する際、本来S波検層を実施して地盤の初期の速度構造を求めることが望ましい。しかし、実際には調査頻度の高いN値からS波速度（以下 Vs）推定式を用いて簡易的に速度構造を推定することが少なくなく、これを地盤の初期の速度構造として地震応答解析した場合の精度については疑問が残るところである。そこで本稿は、N値から推定した Vs を初期の速度構造として地震応答解析した場合の精度について確認するため、地震動の鉛直アレー観測地点を対象に、N値から推定した Vs、S波検層から得られた Vs のそれぞれを初期の速度構造として地震応答解析を行い、これらの結果と実測の地震記録との比較を試みたものである。

2. S波速度の推定

Vs 推定式は道路橋示方書に示された、一般的に用いられている以下の式を利用した。

$$Vs = 100N^{1/3} \quad (\text{粘性土 } 1 \leq N \leq 25)$$

$$Vs = 80N^{1/3} \quad (\text{砂質土 } 1 \leq N \leq 50)$$

推定に際し、一部の砂質土層でN値が 50~100 程度の範囲が存在したが、上式の基となっている今井の式¹⁾はこの範囲でもN値と Vs の相関が良好であることから、N > 50 についても上記推定式を用いた。

3. 地震応答解析

地震観測記録と地震応答解析結果の比較を実施するため、表-1 に示す鉛直アレー観測をしている5地点の地震記録を対象に解析を行った。地震記録の最大加速度は 100~500cm/s² 程度である。この地震による液状化の事実はない。解析では、下部の地震計深さに地震波形を入力し、地表面付近の地震計位置での応答波形をその結果とした。解析手法は一般に広く利用されている一次元の等価線形化法（以下 SHAKE）を用い、最大ひずみと有効ひずみの換算係数は 0.65 とした。地盤の剛性と減衰のひずみ依存性は室内動的変形試験結果に基づき、非線形性の拘束圧依存性を考慮して深度毎に設定した。

解析は、N値から推定した Vs と、S波検層から得た Vs の2ケースを地盤の初期の速度構造として実施した。

4. 解析結果の比較

全地点で速度構造、加速度応答時刻歴波形、フーリエスペクトルの比較を実施したが、紙面の都合で宮城県船岡とウトナイの2地点のみの結果を図-1、図-2 に示す。なお、図中ではS波検層による Vs を初期として解析したものを「解析（S波検層 Vs）」、N値から推定した Vs を初期としたものを「解析（N値推定 Vs）」と表記した。宮城県船岡地点の N < 50 である 40m 以浅（以深は N=50 が上限）については図-1 に示すように概ね良好に Vs が推定されている。これに対応する応答波形のフーリエスペクトルは観測

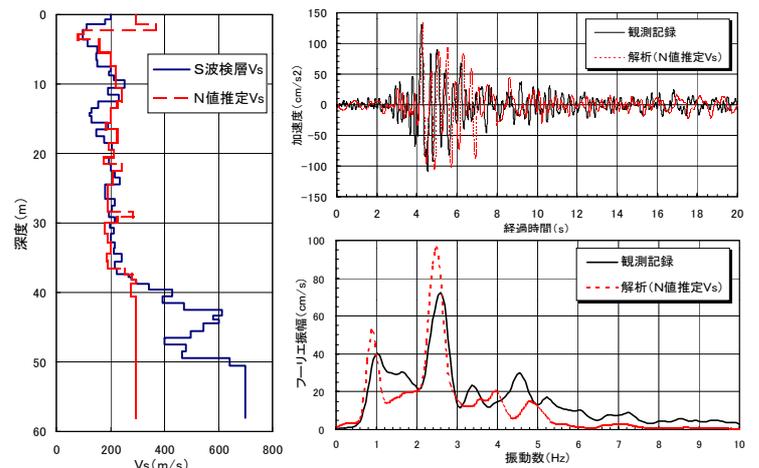


図-1 宮城県船岡 Vs 分布と解析結果（時刻歴、フーリエスペクトル）

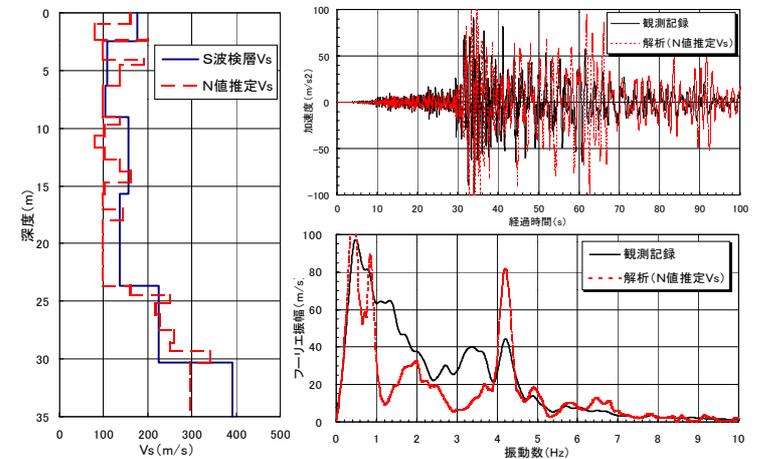


図-2 ウトナイ Vs 分布と解析結果（時刻歴、フーリエスペクトル）

キーワード S波初期速度, N値, S波速度推定式, 地盤地震応答解析, S波検層

連絡先 〒459-8522 名古屋市緑区大高町北関山 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

記録とやや異なるものの、応答時刻歴はまずまずの結果が得られており、最大加速度も観測記録に近い値が得られた。しかし、ウトナイ地点では、図-2 に示すようにS波検層のVsとN値から推定したVsは異なっており、解析結果の応答時刻歴、フーリエスペクトルは共に観測記録と著しく異なっている。

上記2地点を含む全地点の解析結果と観測記録の最大加速度を表-1に、最大加速度の解析値と観測値の差の観測値に対する比率（解析（S波検層Vs）：■印、解析（N値推定Vs）：●印）を図-3に示す。「解析（S波検層Vs）」と「解析（N値推定Vs）」を比較すると、図-3から2者の最大加速度の差異は、宮城県船岡と高砂火力を除く各地点でおよそ40%もあることが分かる。

また、観測記録の最大加速度を基準として比較をすると（図-3）、「解析（N値推定Vs）」の方が「解析（S波検層Vs）」よりも観測（y=0%）からかけ離れた結果となっている。さらに、「解析（S波検層Vs）」は全地点で過大（安全側）評価²⁾となっているが、「解析（N値推定Vs）」はウトナイ地点では50%以上も過大に評価されたり、逆にK地点、関電技研地点、高砂火力地点では30%から80%も過小（危険側）に評価されたりしている。

以上の比較結果から、N値から推定したVsを初期値として地震応答解析を実施した場合、解析結果の最大加速度の精度に及ぼす影響が大きいことが明らかとなった。

次に、N値から推定したVsについて重複反射理論により伝達関数を算出して得た1次卓越振動数と、鉛直アレー観測により得られた弱い地震記録（地震初動部含む）からアレー観測区間の伝達関数を算出して得た地盤の1次卓越振動数の比較を行った。表-2に比較結果を示すが、地盤の卓越振動数に比べて、推定Vsの卓越振動数の方がおよそ10%から20%小さくなっており、これは地震応答解析を行う上で大きな問題であると考えられる。

そこで、解析精度を改善する試みとして、推定Vsから得られる1次卓越振動数が地盤の1次卓越振動数に合うように全深度の推定Vsに均等に係数を乗じてVsの補正を行い、これを初期の速度構造として地震応答解析を実施した（高砂火力については弱い地震記録を所有していないため未実施）。観測記録と推定Vsの1次卓越振動数、および推定Vsに乘じた補正係数を表-2に、補正後のVsを初期とした解析結果の最大加速度を表-1に、また、最大加速度のVs補正後解析値と観測値の差の観測記録に対する比率（「解析（N値推定Vs補正後）」と記す。○印）を図-3に示す。これによると、「解析（N値推定Vs補正後）」と「解析（S波検層）」の最大加速度の差は、観測値との比率にすると0~30%程度に改善されている。また、「解析（N値推定Vs補正後）」と観測値と比べると、その差異は20%以下となり、全地点で最大加速度の再現精度が改善され、観測値に近づく結果となった。

5. まとめ

N値から推定したVsには誤差があることはもちろん、地盤の卓越振動数も捉えられていない。これを地盤の初期の速度構造として地震応答解析した場合、最大加速度に注目すると、この結果とS波検層結果を初期とした解析結果の差を観測値に対する比率で表すと30%~50%もの差異となった。また、観測値自体と比較した場合には30%~80%もの差異となり、さらに大幅に危険側の評価となるものも含まれた。以上の結果から、地震応答解析の際には可能な限りS波検層を実施すべきとの認識を強めた次第である。

だが、現実には地震応答解析を実施する際、S波検層を実施することは少ない。しかし、本検討結果から、そのような場合でも少なくとも1次の卓越振動数だけでも地盤の卓越振動数に整合するよう推定Vsを補正できれば、解析精度を向上できる可能性があることが示された。現在、地盤の卓越振動数の調査方法として常時微動を用いる方法³⁾他などの成果も示されつつあることから、今後、簡便さと精度を併せ持った常用できる調査手法が望まれるところである。

<参考文献>

1) Imai, T.: P- and S-wave velocities of the ground in Japan, Proc.,9th ISSMFE, Tokyo, Vol.2,pp.257-260 2) 上田,山崎ら:10地点のアレー観測記録の再現解析に基づくSHAKEの適用限界に関する検討,第37回地盤工学研究発表会,2002.7 3) 中村,福和ら:常時微動計測に基づく名古屋市域の地盤振動特性と基盤深さの推定に関する研究,構造工学論文集 Vol.46B,pp413-421,2000.3

表-1 解析対象地点と最大加速度の比較

地点	宮城県船岡	ウトナイ	K地点	関電技研	高砂火力
地震	1987. 4. 7	1993. 1.15 北海道釧路沖地震	1995. 7.30	1995. 1.17 兵庫県南部地震	1995. 1.17 兵庫県南部地震
観測記録	131	104	173	507	198
解析(検層)	144	123	213	526	297
解析(推定)	135	162	126	328	38
補正後	129	123	147	426	—

表-2 1次卓越振動数の比較とN値推定Vsの補正係数

	地点	宮城県船岡	ウトナイ	K地点	関電技研	高砂火力
卓越振動数(1次)	観測記録	1.22Hz	1.24Hz	1.74Hz	0.74Hz	(1.72Hz)*
	推定Vs	1.09Hz	1.04Hz	1.39Hz	0.67Hz	1.16Hz
Vs補正係数	補正係数	1.23	1.20	1.23	1.10	—

*高砂火力の観測記録欄の卓越振動数はS波検層からの算出値

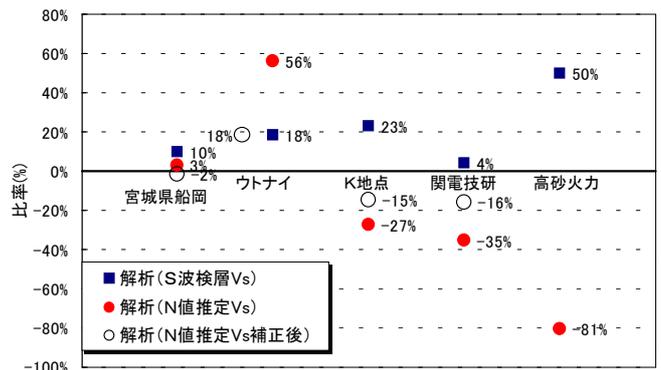


図-3 最大加速度の解析値と観測値の差の観測値に対する比率