

地盤の初期速度構造の設定精度が地震応答および液状化判定に与える影響

中部電力株式会社 正会員 遠藤 大輔
 基礎地盤工学研究所(株) 大橋 正, 杉江 剛史, 成瀬 文宏

1. はじめに

地盤の地震応答解析に必要な地盤の初期速度構造は、S波検層を実施して設定することが望ましい。しかし、実際にはN値からS波速度（以下Vs）を換算して設定することが多く、その場合の地震応答解析精度には疑問が残るところである。

そこで、本稿では、S波検層を精緻に実施した地点において、N値から換算したVsを初期速度構造として解析した場合の精度と、固有振動数による速度構造補正手法を適用した場合精度の改善の効果について検討した。また、これらの解析結果に基づいた液状化判定を実施した場合、その判定結果に与える影響について検討を行った。

2. 初期速度構造の設定

検討地点は愛知県内の伊勢湾岸北部で、図-1に示すように主として砂と粘土の互層地盤である。地下水位はG.L.-1.1mで、G.L.-20~-35mの間を除いてはN値10以下の軟弱地盤となっている。

地震応答解析の初期速度構造は、N値から換算したVsを左記を補正したVsとS波検層によるVsの3断面を設定した。

におけるN値からVsへの換算は、道路橋示方書に示される以下の式を利用した。

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

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

の補正方法は次のようである。孔内起振受振方式で精緻に求めたS波検層によるVs（上記）に基づき重複反射理論によって算出した、G.L.-65.3m~-0mにおける1次固有振動数0.78Hzを真値とする。一方、同地盤に対してN値から換算したVs（以後「N値換算Vs」と表記）より算出した1次固有振動数は0.68Hzであり、真値に対して0.1Hzの差異がある。そこで、これを真値に整合させるよう、N値換算Vsに対して均等に定数を乗じて速度構造の補正をした（補正結果を以後「補正後Vs」と表記）。この補正後VsをS波検層結果とともに図-1に示す。

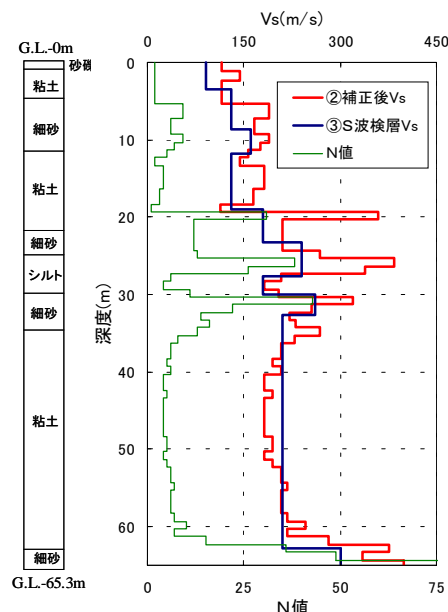


図-1 地盤柱状図とVs・N値分布

3. 地震応答解析結果の比較

前述の3断面について地震応答解析を実施、結果の差異について検討した。解析は、一次元のMDMモデル依存非線形全応力解析¹⁾（以下MDM）、および等価線形解析（以下SHAKE）の2手法によって実施した。入力地震動は兵庫県南部地震のポートアイランド観測記録を引き戻した波形²⁾とし、その最大加速度は200galと設定、G.L.-65.3mから入力した。

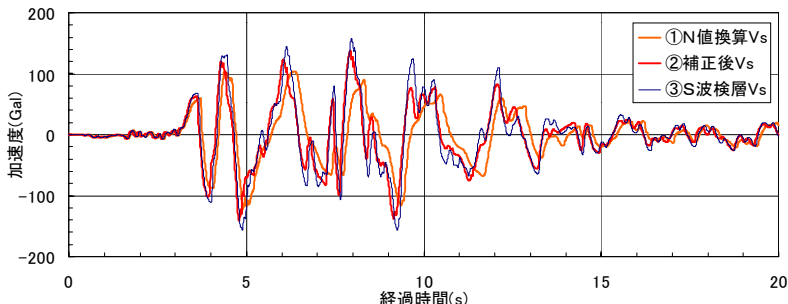


図-2.1 地表面加速度時刻歴波形（MDM）

(1) MDMによる解析結果

3断面についてMDMで解析して得られた地表面加速度の時刻歴波形を図-2.1に、この加速度のフーリエスペクトルを図-2.2に示す。図-2.1によれば、初期速度構造をN値換算Vsとした場合は、S波検層Vsとした場合に比べて位相が遅れ、最大加速度も小さくなっている。また、図-2.2では、1Hz以上では初期速度構造をS波検層Vsとした場合に比べてピークが明瞭ではないうえ振幅値も小さく、やはり初期速度構造による違いが認められる。これらの結果は、S波検層が精緻に実施されていることを考えれば、N値換算Vsから初期速度構

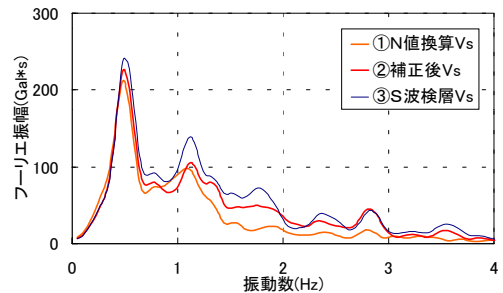


図-2.2 加速度フーリエスペクトル（MDM）

キーワード S波速度, N値, S波速度換算式, 地盤地震応答解析, 液状化

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

造を設定したことが解析結果の精度低下をもたらしていることを示唆している。一方、固有振動数を真値に整合させた補正後 Vs を初期速度構造とした場合には、位相、最大加速度ともに S 波検層 Vs の結果に近づいており、改善の効果が認められる。図-4 は初期速度構造の条件毎の地表面最大加速度を示したものであるが、S 波検層 Vs とした場合の最大加速度 159gal に比べ、N 値換算 Vs とした場合は 121gal と、S 波検層 Vs とした場合に対して 76%であったものが、補正後 Vs とした場合は 141gal とおよそ 90%まで改善されており、補正による効果が認められる。

(2) SHAKE による解析結果

SHAKE を用いた場合についても、初期速度構造の差異が与える影響について検討した。

SHAKE で解析して得られた地表面加速度の時刻歴波形を図-3.1 に、この加速度のフーリエスペクトルを図-3.2 に示す。MDM の場合と同様、初期速度構造を S 波検層 Vs とした場合に比べて、N 値換算 Vs とした場合は位相遅れと最大加速度の低下が認められる。一方、初期速度構造を補正後 Vs とした場合は、時刻歴波形、スペクトルともグラフ表示した経過時間、振動数の全範囲で明確な改善効果が認められる。図-4 によれば、初期速度構造を S 波検層 Vs とした場合の最大加速度 234gal に比べ、N 値換算 Vs とした場合は 157gal と、S 波検層 Vs とした場合に対し 67%であったが、これを補正することによって 198gal と 85%まで改善された。このように SHAKE の場合においても初期速度構造の影響は大きく、補正による改善効果も認められた。

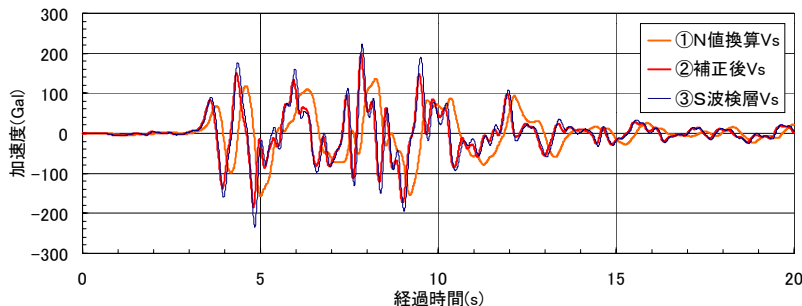


図-3.1 地表面加速度時刻歴波形 (SHAKE)

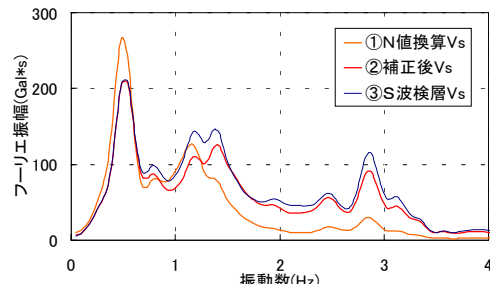


図-3.2 加速度フーリエスペクトル (SHAKE)

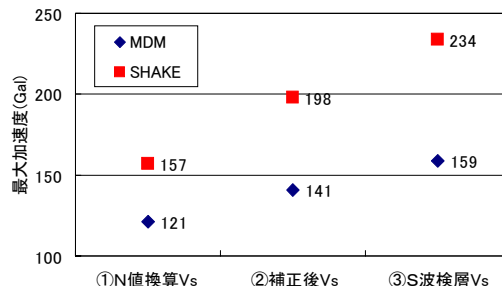


図-4 初期速度構造毎の地表面最大加速度

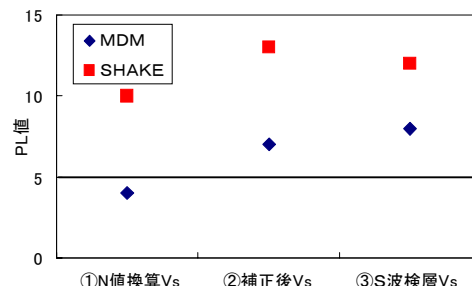


図-5 初期速度構造毎の液状化判定結果

4. 液状化判定結果の比較

上記の解析結果に基づき、PL 法によって液状化判定した結果を図-5 に示す。MDM, SHAKE とともに、初期速度構造を N 値換算 Vs とした場合は、S 波検層の場合に比べて PL 値が小さく過小に評価している。0 < PL < 5 で「液状化の危険度は低い」、5 < PL < 15 で「液状化の危険度は高い」と判定されるが、特に今回の初期速度構造を N 値換算 Vs とした MDM の解析ケースでは PL < 5 となっており、S 波検層 Vs および補正後 Vs の場合とは異なる判定結果となっている。これは精度の悪い速度構造をそのまま用いると、液状化判定を誤る危険があることを示唆している。しかし、N 値換算 Vs を固有振動数で補正することにより、その PL 値は S 波検層 Vs の場合の PL 値とほぼ一致する。このように、合理的な液状化判定するためには、正しい初期速度構造の設定が必要である。

5. まとめ

地震応答解析の際には、初期の速度構造を正しく設定しなければ精度の悪い解析結果になる可能性があり、液状化判定結果が異なる場合があることを示した。本稿では、N 値換算 Vs でも 1 次固有振動数さえ真値に整合できれば、解析の精度をある程度改善できる可能性を示した。例えば常時微動などを用いて固有振動数を簡易に求める手法が確立できれば、現場の事情に合わせた適切な速度構造設定方法の選択肢が広がるものと考えられる。

< 参考文献 >

- 1) 熊崎幾太郎, 上田稔: 瞬間変形係数のひずみ依存性を考慮した履歴モデルの定式化, 第 54 回土木学会年次学術講演会講演集, 1999. 2) 埋立地の液状化対策ハンドブック (改訂版), (財)沿岸開発技術研究センター, 1997.