

震度算定における地盤地震応答解析の精度向上の試み

中部電力(株) 正会員 上田稔, 遠藤大輔
 (株)シーテック 正会員 恒川和久, 今枝靖博
 (株)シーティーアイ 正会員 永坂英明

1. はじめに

震度算定における地盤地震応答解析を実施する場合、S波検層から地盤の初期速度構造を設定するのが望ましいが、実際には調査頻度の高いN値から推定した値を設定するのが一般的である。しかし、N値による初期速度構造の1次固有振動数は、実地盤の1次固有振動数とずれるため、N値により地盤の初期速度構造を設定した場合の地盤地震応答解析の精度は良くない¹⁾。そこで、本稿ではN値により初期速度構造を設定した場合の解析精度を改善する試みとして、N値から推定した V_s に対して、実地盤の1次固有振動数を再現するような補正を行い、これを地盤の初期速度構造として地盤地震応答解析を実施して震度を算定し、地震観測記録による震度との比較検討を行った。

2. 検討対象地点

検討対象とする鉛直アレー地震観測記録は表-1に示す9地点における11地震とする。いずれの地点においても、S波検層による地盤の速度構造、N値の値が求められている。9地点の地盤構成の概要と地震計設置位置は「参考文献1」を参照とする。

3. 地震応答解析

3.1 地震応答解析の概要

解析では、地盤モデル最下部における観測加速度時刻歴を入力し、地表面付近における地震計位置での加速度時刻歴を算出する。解析手法は等価線形解析（以下、SHAKE）、および全応力非線形解析とする。全応力非線形解析については、本稿では剛性と減衰のひずみ依存性を高精度に再現可能なMDMモデル依存逐次非線形解析（以下、MDM）を採用する²⁾。

3.2 地盤の初期速度構造の設定

(1) 地盤の1次固有振動数

S波検層による V_s とS波速度推定式によりN値から算定した V_s （以下、N値推定 V_s ）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次固有振動数の比較結果を表-2に示す。S波検層による1次固有振動数と、N値推定 V_s の1次固有振動数を比較すると、一致している地点や誤差の大きな地点はあるものの、0.1~1.0 Hz程度の誤差がある。このように地盤の1次固有振動数の位置がずれているということは、解析条件が適切に設定されていないということであり、地震応答解析上大きな問題であると考えられる。

(2) N値推定 V_s の補正

そこで、N値推定 V_s による地震応答解析の精度を改善する試みとして、N値推定 V_s から得られる1次固有振動数がS波検層による1次固有振動数に合うように全深度のN値推定 V_s に均等に係数を乗じて V_s の補正を行い、これを初期速度構造として設定する。N値推定 V_s に乗じる補正係数を表-2に示すが、これは V_s の比で2~4割程度の差があることを意味する。

表-1 検討対象地点と地震

対象地点	対象地震		観測最大加速度 (Gal)	液状化の有無
ウトナイ	1993年1月15日 北海道釧路沖地震	海洋型	104	無
L地点	(A) 1989年2月19日	海洋型	100	無
	(B) 1995年7月30日	海洋方	173	無
宮城県船岡	1987年4月7日	海洋型	131	無
M地点	1992年2月24日	海洋型	180	無
関電技研	1995年1月17日 兵庫県南部地震	内陸型	507	無
N地点	1995年1月17日 兵庫県南部地震	内陸型	198	無
釧路西港	1993年1月15日 北海道釧路沖地震	海洋型	468	有
ワイルド ドライブ	(E) 1987年11月24日 Elmore Ranch地震	内陸型	126	無
	(S) 1987年11月24日 Superstition Hills地震	内陸型	180	有
ポート アイランド	1995年1月17日 兵庫県南部地震	内陸型	423	有

表-2 1次固有振動数と補正係数

対象地点	1次固有振動数 (Hz)		誤差 (Hz)	補正係数
	S波検層	N値推定		
ウトナイ	1.24	1.04	0.20	1.19
L地点	1.74	1.39	0.35	1.25
宮城県船岡	1.22	1.09	0.13	1.12
M地点	1.56	1.56	0.00	1.00
関電技研	0.74	0.67	0.07	1.10
N地点	1.72	1.16	0.56	1.48
釧路西港	1.03	0.83	0.20	1.24
ワイルドドライブ	4.49	5.22	0.73	0.86
ポートアイランド	3.39	2.32	1.07	1.46

3.3 地盤の非線形性の設定

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、深度ごとに設定した。なお、SHAKEにおける最大ひずみと有効ひずみの換算係数は0.65とした。

4. 震度算定の概要

水平（NS，EW）方向成分のうち最大加速度が大きいほうの1成分を水平2方向成分に設定し、上下（UD）方向成分を考慮しない簡易的な方法を用いた。また、観測記録による震度の算定も同様の方法で行った。詳細は「参考文献1）」を参照とする。

5. 算定結果

N 値推定 Vs を初期速度構造として設定した場合の震度（以下、N 値推定 Vs による震度：印）、N 値推定 Vs を補正した Vs を初期速度構造として設定した場合の震度（以下、N 値推定 Vs の補正 Vs による震度：印）を、地震観測記録に基づき算定した震度（以下、地震観測記録による震度：印）とあわせて対象地震ごとに比較した結果を、SHAKE については図-1に、MDM については図-2に示す。

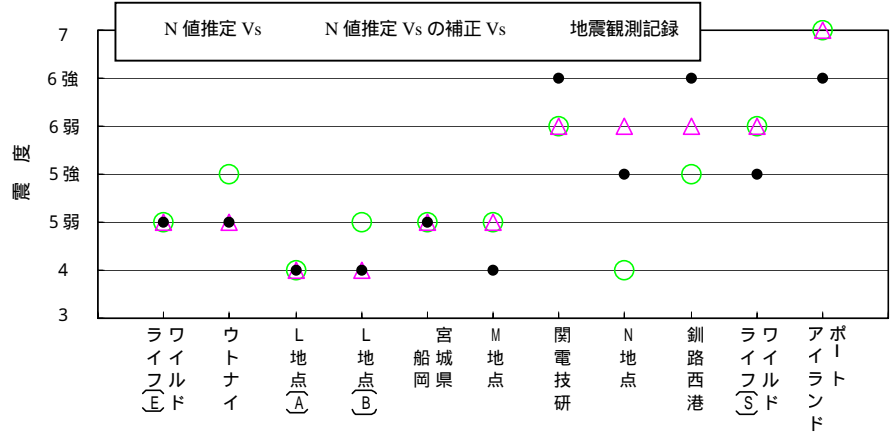


図-1 震度の再現状況（SHAKE）

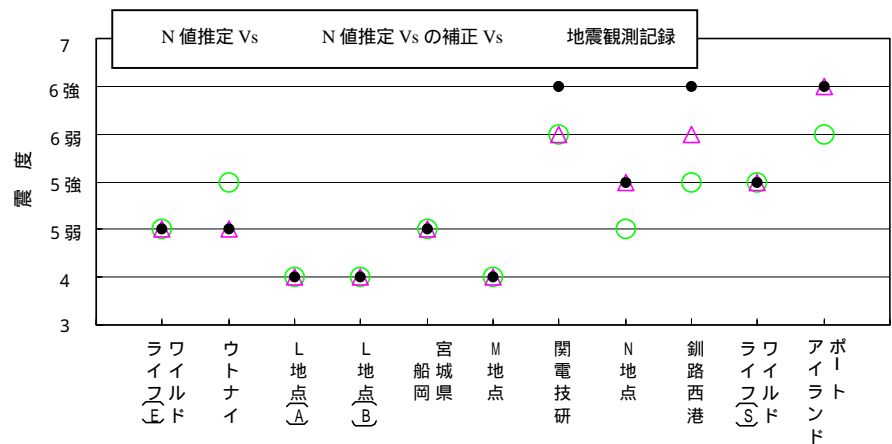


図-2 震度の再現状況（MDM）

図-1に示すSHAKEによる震度の再現状況を見ると、震度5弱以下の地震ではN 値推定 Vs による震度は、6地震中半数の3地震しか地震観測記録による震度を再現できていなかったが、N 値推定 Vs を補正した Vs による震度は、M 地点を除く全地震において地震観測記録による震度の再現ができています。また、震度5強以上の地震については、N 値推定 Vs による震度では地震観測記録による震度と2ランクずれていたN 地点、釧路西港において、1ランクのずれまで改善されたものの、地震観測記録による震度を再現できた地震はなかった。

一方、図-2に示すMDMによる震度の再現状況を見ると、震度5弱以下の地震ではN 値推定 Vs による震度は、ウトナイのみで地震観測記録による震度を再現できていなかったが、N 値推定 Vs を補正した Vs による震度は全地震で地震観測記録による震度を再現できています。また、震度5強以上の地震について地震観測記録による震度を再現できていたのは、N 値推定 Vs による震度の場合は、ワイルドライフ(S) 1地震のみであったが、N 値推定 Vs を補正した Vs による震度の場合はN 地点とポートアイランドでも再現ができており、5地震中3地震について再現ができた。

6. まとめ

震度算定における地盤地震応答解析の初期速度構造を設定する場合、N 値から推定した Vs そのものを設定するよりも、S 波検層による Vs の1次固有振動数を再現するような補正を行った Vs を用いた方が、適切な震度予測ができる。例えば常時微動などを用いて固有振動数を容易に求める方法が確立されれば、より適切な震度予測が可能になる。

また、SHAKEは震度5強以上の地震では、N 値推定 Vs を補正した Vs を用いても適切な震度予測ができなかった。これは、SHAKEの適用限界に問題があると考えられる。

謝辞

本研究を実施するにあたり、観測地震波等の情報を提供していただいた関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献 1) 上田稔, 遠藤大輔, 今枝靖博, 恒川和久, 永坂英明: N 値により初期速度構造を設定した場合の地盤地震応答解析に基づき算定した震度の精度, 第58回土木学会年次学術講演会, 2003年 2) 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概要集, 1999年9月