

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

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

1. はじめに

地震による被害を想定する場合、検討対象地点における地盤地震応答解析を実施し、その結果として得られる加速度時刻歴波形から算定した震度に基づき検討するのが一般的である。地盤地震応答解析を実施する場合、本来 S 波検層を実施して地盤の初期速度構造を求めることが望ましいが、実際には調査頻度の高い N 値から推定した値を地盤の初期速度構造として設定することが多い。しかし、その結果として得られる震度の精度については疑問が残る。そこで、本稿ではいくつかの鉛直アレー地震観測記録を対象として、N 値から推定した値を地盤の初期速度構造として設定した等価線形解析、および全応力非線形解析を実施し、その結果として得られる震度と、実際の地震観測記録より得られる震度との比較を行うことにより、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について検討する。

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 ライフ	(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

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。9地点の地盤構成の概要と地震計設置位置(印)を図-1に示す。

3. 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¹⁾。

(1) 地盤の初期速度構造の設定

地盤の初期速度構造はN値換算による推定値を用いる。N値換算によるVs推定式は、道路橋示方書にある式を採用し、これを以下に示す。砂質土において一部N値が50以上の範囲が存在するが、下記推定式を使用する。

$$V_s = 100N^{1/3} \quad (\text{粘性土 } 1 \leq N \leq 25) \quad V_s : \text{せん断波速度 (m/sec)}$$

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

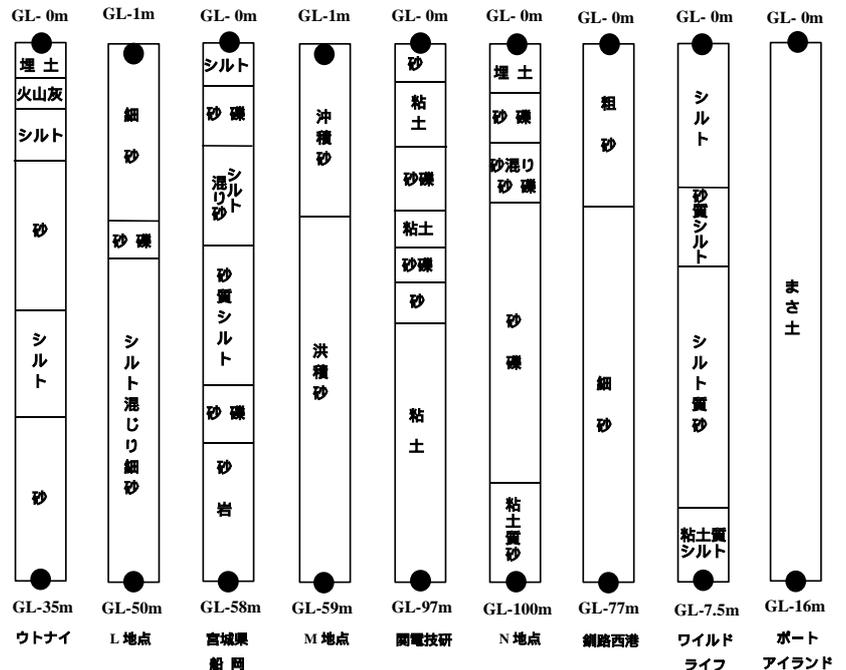


図-1 検討対象地点の地盤構成の概要と地震計設置位置

キーワード 震度, 地震応答解析, N 値, S 波速度, S 波速度推定式

連絡先 〒459-8522 名古屋市緑区大高町字北鷺山20-1 中部電力(株) 電力技術研究所内 (株)シーテック TEL:052-621-6101(代表)(内)2438 FAX:052-623-5117

（2）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

気象庁で定められている地震の震度階級（以下、震度）は、観測位置での水平（NS，EW），上下（UD）の3方向成分の加速度時刻歴から計算される計測震度より換算される。ただし、今回は水平（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、地震観測記録による震度の算定も同様の方法で行った。計測震度の算定式を以下に示す。計測震度と震度の関係を表-2に示す。

$$I = 2 \log a + 0.94$$

I：計測震度

a：ベクトル波形の絶対値がある値 a 以上となる時間の合計が0.3秒となるような a

表-2 計測震度と震度の関係

計測震度	震度
0~0.4	震度0
0.5~1.4	震度1
1.5~2.4	震度2
2.5~3.4	震度3
3.5~4.4	震度4
4.5~4.9	震度5弱
5.0~5.4	震度5強
5.5~5.9	震度6弱
6.0~6.4	震度6強
6.5~	震度7

5．算定結果

SHAKEにより算定した震度（以下、SHAKEによる震度：印）とMDMにより算定した震度（以下、MDM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）と対象地震ごとに比較した結果を図-2に示す。

地震観測記録による震度が5弱以下の地震については、SHAKEによる震度は6地震中3地震と半数の地震でしか地震観測記録による震度を再現できていないのに対して、MDMによる震度はウトナイを除いた全地震で地震観測記録による震度を再現できている。

一方、地震観測記録による震度が5強以上の地震については、SHAKEによる震度、MDMによる震度ともに再現状況が悪く、中でもN地点と釧路西港については、SHAKEによる震度が地震観測記録による震度と2ランクもずれている。

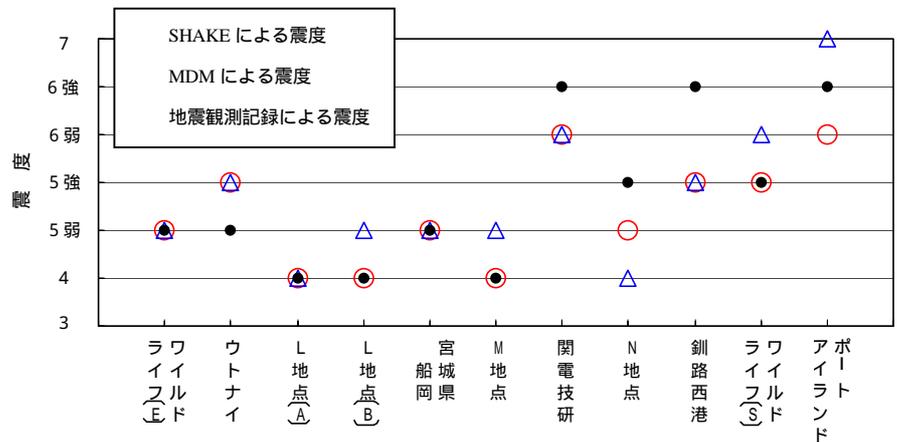


図-2 震度の再現状況
（N値により初期速度構造を設定した場合）

6．まとめ

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は、地震観測記録による震度が5弱以下の比較的小さい地震については、MDMなら適切な震度予測ができるが、SHAKEでは適切な震度予測ができない場合がある。また、震度予測において重要である、地震観測記録による震度が5強以上の大きい地震については、SHAKE、MDMともに適切な震度予測ができていない。しかも、このような大きい地震ではSHAKEによる震度と地震観測記録による震度が大きくずれる可能性もある。これは予測した被害状況と実際の被害状況が、大きく異なる危険性があるということであり、防災の観点からも非常に大きな問題である。

以上のように、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再現状況が良くない原因としては、N値による地盤の初期速度構造の1次固有振動数が、実地盤の1次固有振動数と合っていないことが考えられる。これは、地盤地震応答解析における重要な解析条件の1つである地盤の初期速度構造を適切に設定できていないことを意味する。したがって、その解析結果より算定する震度の精度は悪くなると考えられる。

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) 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