

## 2003年十勝沖地震の北海道釧路西港における 鉛直アレー地震観測記録の再現解析

中部電力(株) 正会員 上田稔  
 港湾空港技術研究所 正会員 山崎浩之  
 (株)シーテック 正会員 恒川和久, 今枝靖博

### 1. はじめに

地盤の地震応答解析法の信頼性は、実地震での地震観測記録や液状化状況等の良好な再現によって確認されなければならない。しかも、さまざまな地盤の数多くの地点に対して、地盤の速度構造や非線形性等の解析条件を统一的に設定して、良好な再現ができてこそ、信頼性のある地震応答解析法であるという評価がなされるべきである。このような観点から、著者らは、既に地盤の剛性と減衰のひずみ依存性を精度良く再現できるMDMモデル<sup>1)</sup>を用いた全応力非線形解析により、いくつかの地点のアレー観測記録を対象に再現解析を実施し、良好な再現結果を得ている<sup>2)</sup>。これらの再現解析を行っている地点の一つである北海道釧路西港については、1993年釧路沖地震でのアレー観測記録の再現解析を報告済み<sup>3)</sup>であるが、新たに2003年十勝沖地震で比較的大きな加速度が記録された。そこで、本稿では、2003年十勝沖地震でのアレー観測記録に対してMDMモデルを用いた全応力非線形解析(以下、MDM)、および等価線形解析(以下、SHAKE)による再現解析を実施した結果について述べる。

### 2. 地盤構成と地震計設置位置、再現解析の概要

北海道釧路西港における地盤構成とN値の深度分布<sup>4)</sup>を、図-1に地震計設置位置(印)と合わせて示す。解析では、地盤モデル最下部(GL-77m)における観測加速度時刻歴を入力し、地表面(GL-0m)における地震計での加速度記録の再現を行う。

### 3. 解析条件の設定

#### (1) 地盤の初期速度構造の設定

地盤の初期速度構造は、再現解析を行っている他の地点と同様に、地盤の固有振動数を再現するように、せん断波速度(以下、 $V_s$ )を設定した<sup>2)3)</sup>。北海道釧路西港では、まず、深度23m以浅は $V_s=89.8 \times N^{0.341}$ ( $N$ : N値)で、深度23m以深は参考文献<sup>4)</sup>をもとに $V_s$ を設定し、この $V_s$ を初期値として、1993年釧路沖地震、2003年十勝沖地震とは別に観測された弱震記録の伝達関数を再現するように、再現解析に用いる $V_s$ を新たに設定した。

伝達関数の算定に用いた弱震記録は、最大加速度が10Gal以下で、鉛直上方に伝播していると考えられる震源距離が150km以上の5地震10成分とした。初期速度構造を図-2に、新たに設定した $V_s$ による伝達関数を弱震記録より求めた伝達関数とあわせて図-3に示す。図-3より、1~4次の固有振動数を再現しており、初期速度構造が適切に設定されていることが分かる。紙面の都合で割愛するが、速度構造を補正しなかった場合の解析の再現状況は良好でない<sup>5)</sup>。

#### (2) 地盤の剛性と減衰のひずみ依存性の設定

地盤の剛性と減衰のひずみ依存性はMDMモデル<sup>1)</sup>により考慮する。繰返し三軸試験は、深度5.24~5.4m, 6.3~6.5m, 7.55~7.78m, 8.38~8.6mの4つの深度で採取された試料で実施されているが、深度5.24m以浅、8.6m以深については試験データがない。よって、深度5.24m以浅については深度5.24~5.4mの試験データをもとに、深度5.24~8.6mについてはそれぞれの深度に対応する試験データをもとに設定した。深度8.6m以深については、再現解析の対象となる地盤深度が77mであるのに対し、試験データが得られている深度は5.24~8.6mと浅いので、地盤全体が砂層であることを勘案し、4つの試験データを平均した値をもとに設定した。また、深度ごとの拘束圧を考慮して、剛性と減衰のひずみ依存性を設定した。MDMモデルによる剛性と減衰のひずみ依存性の再現状況を、深度8.6m以深を例に、図-4に示す。剛性、減衰ともに試験データを良好に再現していることが分かる。

#### (3) その他の解析条件

その他の解析条件についても、今までに実施してきた再現解析と同様の方法<sup>2)3)</sup>で設定した。解析メッシュサイズは、1.0m程度とした。MDMにおける積分方法はWilson法とし、その係数は1.4、積分時間刻みは0.001秒とした。また、解を安定して求めるために、剛性比例型レーリー減衰を考慮し、その係数は0.0008とした。

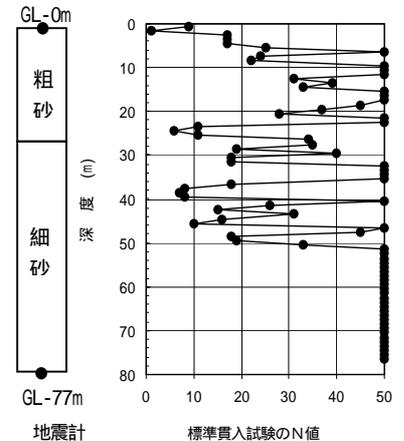


図-1 地盤構成の概要とN値の深度分布

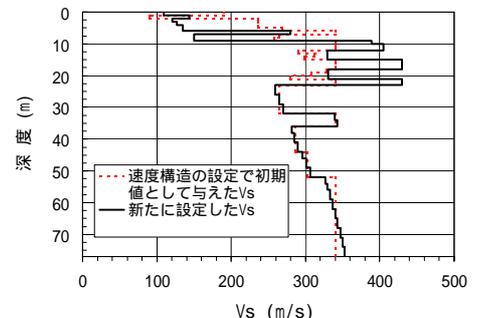


図-2 地盤の初期速度構造

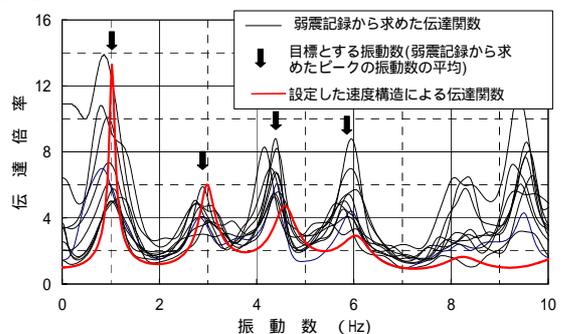


図-3 地盤の伝達関数

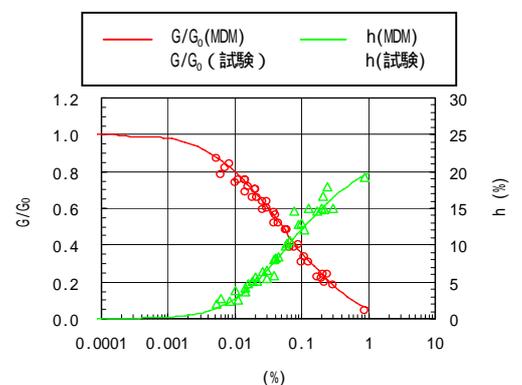


図-4 MDMモデルによる剛性と減衰のひずみ依存性の再現状況の一例

キーワード MDMモデル, 釧路西港, 1993年釧路沖地震, 2003年十勝沖地震, 再現解析, 等価線形解析

連絡先 〒455-0054 名古屋市港区遠若町3-7-1 (株)シーテック TEL:052-651-4092 FAX:052-651-2349

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. 解析結果

2003 年十勝沖地震の SHAKE ,MDM による地表面における加速度時刻歴 ,フーリエスペクトルの再現状況を 既に報告済み<sup>3)</sup>である , 1993 年釧路沖地震の NS 成分の MDM による再現状況と合わせて図-5 に示す . 2003 年十勝沖地震の NS 成分については ,SHAKE では加速度時刻歴 ,フーリエスペクトルともに再現状況は良好でないが ,MDM では再現状況は良好である .EW 成分については ,SHAKE では加速度時刻歴 ,フーリエスペクトルともに再現状況は良好でない .一方 ,MDM では加速度時刻歴の 36 ~ 44 秒付近で解析が観測記録より小さく ,フーリエスペクトルも 2Hz 付近での再現状況は良好でないが ,0 ~ 35 秒における加速度時刻歴とフーリエスペクトルの再現状況を確認したところ (図-6) ,再現状況は良好である .EW 成分では ,観測記録の 40 ~ 42 秒付近で片側に大きく振動する加速度記録が認められるが ,これを再現できていないために ,他の記録に比べて再現状況が良好でない .なお ,紙面の都合で割愛するが EW 成分の GL-77m では ,GL-0m の記録のような片側に大きく振動する加速度は記録されていない .

5. まとめ

北海道釧路西港における 1993 年釧路沖地震の再現解析と同様の条件の下 ,2003 年十勝沖地震を対象に MDM ,および SHAKE による再現解析を行った結果 ,MDM では概ね再現状況は良好であったが ,SHAKE では再現状況は良好でなかった .

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, I-B111, pp. 220-221, 1999 年 9 月 2) 上田稔, 山崎浩之, 恒川和久: レベル 2 地震を含む 11 地点の鉛直アレー地震観測記録と液状化の有無の再現解析, レベル 2 地震動による液状化に関するシンポジウム論文集, pp. 357-364, 2003.6 3) 上田稔, 熊崎幾太郎, 山崎浩之, 恒川和久: MDM モデル依存非線形全応力解析による北海道釧路沖地震のアレー観測記録の再現と液状化判定, 第 26 回地震工学研究発表会講演論文集, pp. 473-476, 2001.8 4) Susumu IAI, Toshikazu MORITA, Tomohiro KAMEOKA, Yasuo MATUNAGA, Kazuyuki ABIKO: Response of a Dense Sand Deposit During 1993 KUSHIRO-OKI Earthquake, SOILS AND FOUNDATION, Vol. 35, pp. -131, 1995.3 5) 遠藤大輔, 上田稔, 熊崎幾太郎, 永坂英明, 葛巻亜弥子: 地盤の地震応答解析結果に与える初期速度構造の精度の影響, 第 26 回地震工学研究発表会講演論文集, 2001.8

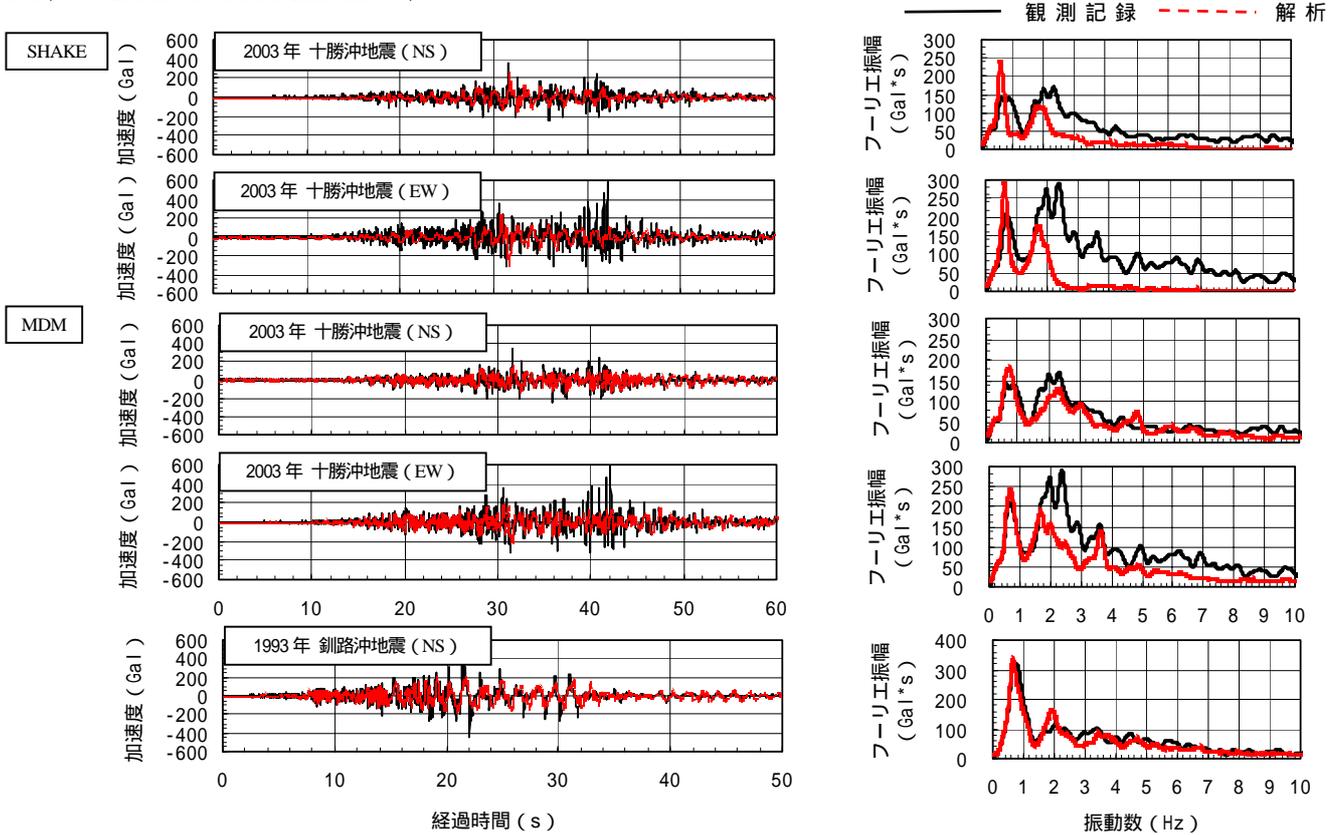


図-5 加速度時刻歴と加速度フーリエスペクトルの再現状況

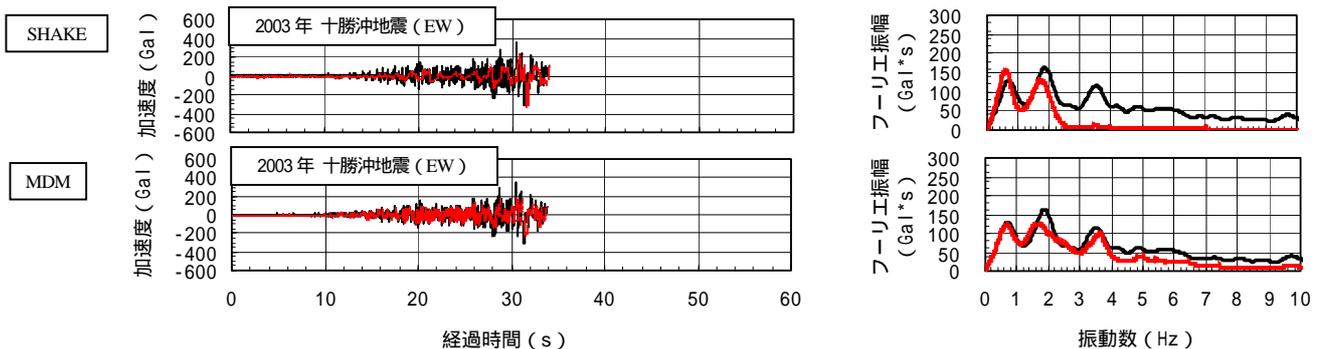


図-6 2003 年十勝沖地震の EW 成分の 0 ~ 35 秒における加速度時刻歴と加速度フーリエスペクトルの再現状況