耐震解析に用いる等価線形化法への散乱減衰の適用

東京電力パワーグリッド(株) 正会員 ○中村 直樹
東京電力パワーグリッド(株) 正会員 杉本 剛康
東電設計(株) 正会員 鵜飼 祐一

1. はじめに

表層地盤の地震挙動を再現する際に用いられる等 価線形化法では,一般に歪みに依存した材料減衰を 考慮して解析される.しかし,観測記録の再現性の 観点から,減衰の周波数依存性の存在がいくつかの 文献で指摘されている.

野沢ら¹⁾は鉛直アレー観測記録の分析によって, 周波数依存型減衰モデルの導入を提案している.また,栗田ら²⁾は弱震動の鉛直アレー観測記録を基に, 周波数依存型減衰モデルの妥当性を定量的に示して いる.さらに,佐藤ら³⁾は地盤の速度構造の不均質 性が,波動伝播の散乱を発生させていることを数値 シミュレーションで示している.

本研究では,地表面地震動の再現性向上を目的とし,



材料減衰に加え,散乱による減衰を等価線形化法に適 用した.適用にあたっては,解析における散乱減衰の 設定方法を定義し,その再現性を観測記録との比較に より検証した.

2. 周波数依存型減衰モデル

周波数依存型減衰モデルは(1)式で表され¹⁾²⁾,各 係数は弱震動の鉛直アレー観測記録によるフーリエス ペクトル比の逆解析(以下,同定とする)から設定される.

 $h_1(f) = \alpha \cdot f^{\beta}$ (1) ここで、 $h_1(f)$:周波数依存型減衰、f:周波数、 α 、 β :周波数依存型減衰の係数とべき乗項である.

図-1 に千葉県内の当社 A 地点で得られた鉛直アレ ー観測記録を基に,周波数依存型減衰を考慮した同定 結果を示した.また,図-2は(1)式で表される A 地点 の減衰モデルを示した.この減衰モデルを見ると,明 瞭な周波数依存性が確認でき,既往の文献¹⁾²⁾との整合 を確認した.

3. 散乱減衰の定義

図-3に散乱減衰設定のイメージを示す.設定手順は以下①~③に従って行う.

①(1)式で与えられる周波数依存型減衰モデルを設定する.ここで算出される減衰値には散乱減衰と微小 歪みでの材料減衰が含まれる⁴⁾.



キーワード 散乱減衰,等価線形化法,地震観測記録,一次固有周波数 連 絡 先 〒108-0023 東京都港区芝浦 4-19-1 東京電力パワーグリッド株式会社工務部送変電建設センター TEL: 03-6374-1369 ②微小歪みでの材料減衰 h_{min} は、周波数に依存しない ため、①との交点より高周波数側では一定値とする.この 値を散乱減衰と微小歪みでの材料減衰との境界値とした.

③図-1のフーリエスペクトル比の一次固有周波数 f₁ よりも低周波数側は,減衰モデルの設定において外挿 領域となるため,減衰の上限値を設定した.

以上①~③により, 台形のハッチング部分を散乱減 衰 h(f)とし, 次式で表される.

$$\begin{split} h(f) &= \alpha \cdot f_1^{\ \beta} - h_{\min} & \cdot \cdot f < f_1 & (2-a) \\ h(f) &= \alpha \cdot f^{\ \beta} - h_{\min} & \cdot \cdot f_1 \le f < f_0 & (2-b) \\ h(f) &= 0 & \cdot \cdot f_0 \le f & (2-c) \\ & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & \\ & & & & & \\ & & & \\ & & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & & \\ &$$

析に適用する減衰 h は(3)式で表すことができる.

$$h = h(\gamma) + h(f) \qquad (3)$$

4. 散乱減衰の適用性検証

散乱減衰を適用した一次元重複反射理論の等価線 形化法による地震動の再現を行い,減衰値設定方法の 妥当性を検証した.検証では,解析で再現した地表面 地震動と地表面観測記録の加速度時刻歴データと加 速度応答スペクトル(減衰 5%)を比較した.検証には前 述の A 地点の鉛直アレー観測記録を用い,GL.-34.2m に設置された地中地震計による観測記録を入力地震動 とした.

まず,非線形性を無視できる弱い地震動での検証を 行った. 図-4(a), 図-5(a)には, 地表面の観測記録と 再現結果を散乱減衰適用の有無により区分して示した. 最大加速度は散乱減衰なしで 41gal に対し,ありでは 23gal となり、観測 19gal とより調和的な値となった. また、 散乱減衰を適用した地震波形と加速度応答スペクトル の方が全体的に観測記録に近い傾向にある. 図-4(b), 図-5(b)には、非線形性の影響のある比較的強い地震 動として東北地方太平洋沖地震の本震を使用して検証 した再現結果を示した.最大加速度は、散乱減衰なし の場合, 320gal で弱震動での検証と同様に観測の2倍 程度となったが、散乱減衰を適用することで 188gal とな り観測 166gal と調和的な値となった. 地震波形と加速度 応答スペクトルも全体的に観測に近づいている. 弱震 動記録の同定で得られた散乱減衰と従来の材料減衰 を組み合わせることにより,順解析による強震動シミュレ ーションの再現性が向上したと言える.

今回設定した散乱減衰の等価線形化法による一次元

応答順解析は, A 地点においては妥当性が確認できた. 今後は他地点における更なる評価, 分析が必要である.

参考文献

1)野沢是幸,大木晴雄,安中正:減衰の周波数依存性を考慮した1次元 波動理論による地震の増幅特性の解析方法,第19回地震工学研究発 表会講演梗概, pp.109-112, 1987

2)栗田哲史,佐藤博,足立倫海:表層地盤減衰の周波数依存性に関す
る統計的性質,土木学会論文集,A1(構造・地震工学),Vol.71,No.4
(地震工学論文集第 34 巻),I_13-I_20,2015

3) 佐藤浩章,東貞成,芝良昭,佐藤清隆,高橋裕幸,敦賀隆史:地震観 測記録に基づく地震動の減衰特性(その3)-硬質地盤における減衰メカ ニズムの解明-,電力中央研究所報告研究報告No.N07013 2007 4)佐藤浩章,金谷守,大鳥靖樹:減衰定数の下限値を考慮したスペクト ル比の逆解析による同定手法の提案-岩盤における鉛直アレイ記録への 適用と減衰特性の評価-,日本建築学会構造系論文集第604号, pp.55-62,2006



-316-