

京都大学防災研究所 正員 澤田純男

京都大学工学部 正員 土岐憲三

京都大学大学院 学生員 ○塩見祐二

1 概説

地盤の非線形特性を考慮した地震応答解析の等価線形化手法は、実際の地震観測記録に適用した場合に、高周波領域において減衰を過大評価することが知られている。そこで入力地震波の高周波成分が履歴曲線に及ぼす影響を考慮して新たに周波数依存性を持つ等価線形化手法を提案し、地盤の非線形特性に双曲線形の履歴モデルを用いた非線形解析と比較を行い本手法の妥当性を示した。

2 非線形化解析と等価線形化解析の結果比較

地盤の非線形挙動を表わす履歴モデルとして、骨格曲線にHardin-Dmievichによる双曲線形モデル、履歴曲線はMasing則を用いて定義する。この双曲線形履歴モデルで示される変形特性を持つ図1のような二層系解析モデル地盤の応答解析を非線形解析手法、重複反射法を用いた従来の等価線形化手法を用いて行い、結果を比較した。両解析手法による応答の違いに、従来の等価線形化手法は高周波領域における応答倍率の低下が

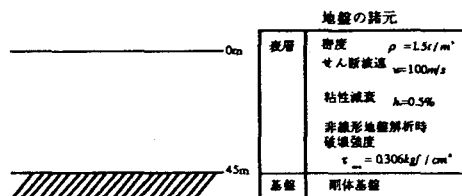
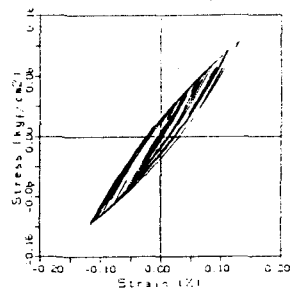


図1 二層系解析モデル地盤

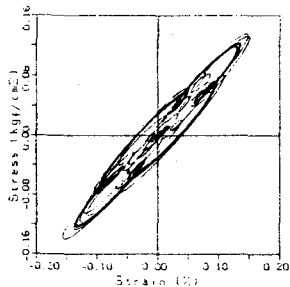
見られ、高周波領域での減衰の設定に問題があると考えられる。減衰定数は履歴曲線から決定されるものであるから、図2に示した両解析手法による履歴曲線を比較する。非線形解析では履歴曲線は折り返し点を有して非線形性を示し、原点を対称とする履歴ループの他に内部に原点で対称とはならないループが存在するが、この内部のループの面積は小さい。これに対し従来の等価線形化解析では履歴曲線は線形を示す楕円の集まりとなっている。内部ループを同様に持っているが、面積は非線形解析によるものと比べ非常に大きく、これが高周波領域における減衰の過大評価の原因と考えられる。このため周波数と独立にせん断弾性定数G、減衰定数hを一定として設定するのでは減衰を非線形解析と等価にすることはできない。

3 内部ループの減衰の評価法の提案

内部ループを考慮して等価線形化を行うためには内部ループの平均的なせん断弾性定数G、減衰定数hを求める必要がある。これらを得るためには内部ループの周波数、ひずみ振幅を求めなければならない。このためにここではひずみ速度のゼロクロッシングに着目することとする。履歴曲線の方向を示すひずみ速度のゼロクロスによる卓越周波数を内部ループの周波数とみなす。またゼロクロッシング周波数と、ゼロクロス点間のひずみ速度の最大値の分布を、周波数で割ることから得られるひずみ振幅の分布を用いて、卓越周波数におけるひずみ振幅を内部ループの平均ひずみ振幅とみなす。このようにゼロクロスから得られる内部ル



非線形解析



従来の等価線形化解析

図2 履歴曲線の比較

ープのひずみ振幅による等価ひずみから得られるせん断弾性定数 G_s 、減衰定数 h_s と、従来の等価線形化手法に用いられてきた最大ひずみによる等価ひずみから得られるせん断弾性定数 G_o 、減衰定数 h_o を用いて図3のような折れ線状に G 、 h を設定する等価線形化を行う。この等価線形化手法はひずみ速度のゼロクロッシング回数より内部ループの発生頻度を求め、ゼロクロス点間の最大値の分布よりひずみ振幅を求めるもので、周波数依存性の物理的意味を説明することができる。

4 提案手法と各解析手法との結果比較

提案した手法を用いて先のモデル地盤の応答解析を行い、他の解析手法の結果との比較を行った。提案手法と比較を行った手法は、非線形解析、従来の等価線形化手法、そして杉戸らによる周波数依存性を持つ等価線形化手法である。杉戸らによる手法は等価ひずみをひずみのフーリエ振幅に比例するように各周波数ごとに定めるものである。入力波にホワイトノイズを用いたときの応答倍率を図4に示す。入力波に高周波成分を多く持っている場合、非線形解析に比べ従来手法では高周波領域では過大に減衰しているが、杉戸等の手法、提案手法とも非線形解析に近づいている。また入力波に高周波成分があまり含まれていないとき、杉戸等の手法はひずみのフーリエ振幅が高周波領域では小さくなり、このため減衰が異常に小さくなるため減衰定数の最小値 $h_{\min}$ を経験的に設定することが必要とされるが、提案手法では内部ループの等価ひずみが外側の最大ひずみによる等価ひずみと一致し、従来手法と同様に周波数とは独立にせん断弾性定数 G 、減衰定数 h を設定することになり、このような問題は起こらない。

5 まとめ

従来の等価線形化手法の高周波領域における過大な減衰は、入力波の高周波成分による履歴曲線の内部ループを考慮せず、一定のせん断弾性定数、減衰定数を設定し等価線形化を行うためであることを示した。この内部ループを考慮するため、ひずみ速度のゼロクロッシングを用いる周波数依存性を持つ等価線形化手法を提案した。

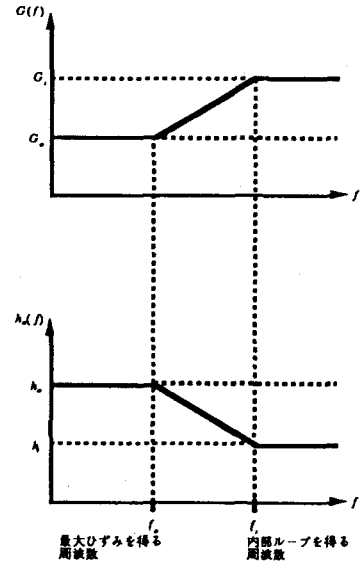


図3 G 、 h の設定

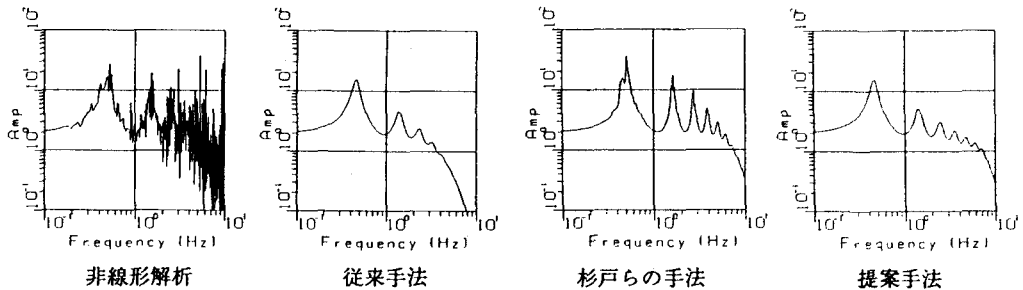


図4 ホワイトノイズ入力波による応答倍率の比較

- 参考文献 1) Schnabel, P.B., J. Lysmer, and H.B. Seed: SHAKE A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites, EERC University of California Berkeley, California, Report No. EERC72-12, 1972
2) 杉戸真太 合田尚義 増田民夫 悦水賢司: 周波数特性を考慮した等価線形化手法に関する一考察, 第28回土質工学研究発表会, pp.1129-1132, 平成5年6月