

中央大学理工学部 学生員 本山 隆一
同 上 正会員 國生 剛治

1. はじめに

地盤の地震応答解析で実務上よく用いられている等価線形法は、地盤の非線形挙動を線形に近似する方法である。つまり、絶えずひずみレベルに依存して変化している地盤の材料物性を、有効ひずみに対応した一定値として計算しているが、それでは地震のような不規則波動に対する地盤の震動応答をよく再現しているとは言えない。とりわけ非線形性が強い地盤での解析では、解析結果と地震観測結果を比較すると、高振動数の成分がよく一致しないことが知られている。理論的には、非線形の応力-ひずみ関係を追いかけてながら逐次積分を行う非線形解析法の方が、このような等価線形解析より精度が高いと言える。しかし、等価線形法は解析効率の面から 2、3 次元問題での実務的ニーズが高い。等価線形法の改良については既に杉戸らの方法¹⁾がある。本研究では杉戸らの方法と異なり、地震波形に含まれる周波数とその時に生じるひずみ振幅が反比例するとの近似に基づき、各ひずみ振幅ごとにそれに応じた剛性、減衰を与える一次元等価線形地震応答解析を行い、その適応性を検討する。

2. 解析手法

解析手法の概要を図 1 に示す。まず地盤条件と等価ひずみの初期値を設定しその初期ひずみに対して各層の初期せん断剛性 G 、減衰定数 h を決める。次に重複反射理論により伝達関数を計算し、それと入力地震波のフーリエスペクトルを用い各層の応答スペクトルを求め、ひずみ $\gamma(t)$ の時刻歴を算出する。これより、微小時間増分 Δt でのひずみの増分を $\Delta \gamma$ と表し、 $\Delta \gamma$ の絶対値の時間 t までの累計 $\sum |\Delta \gamma|$ と t との関係を描くと図 1-① ようになる。この関係を勾配 A の直線で近似できるとすると、図 1-① に示すようにピーク振幅が γ_a のひずみ波形と周期 T との関係は $A = \gamma_a / 4T = \gamma_a f / 4$ となる。結局 $\gamma_a = f / 4A$ により、ひずみ振幅 γ_a と振動数 f が関係づけられることになる。このようにして各周波数ごとに等価ひずみ振幅を求め、それに対してせん断剛性、減衰を与えていく。これを収束条件を満たすまで繰り返し計算する。

3. 解析結果

本報告で解析に用いた地震記録は、千葉県東方沖地震(1987年12月17日)の際、東京大学生産技術研究所千葉実験所において観測された本震記録の NS 成分の加速度記録を用いた。地盤条件としては、文献 2)

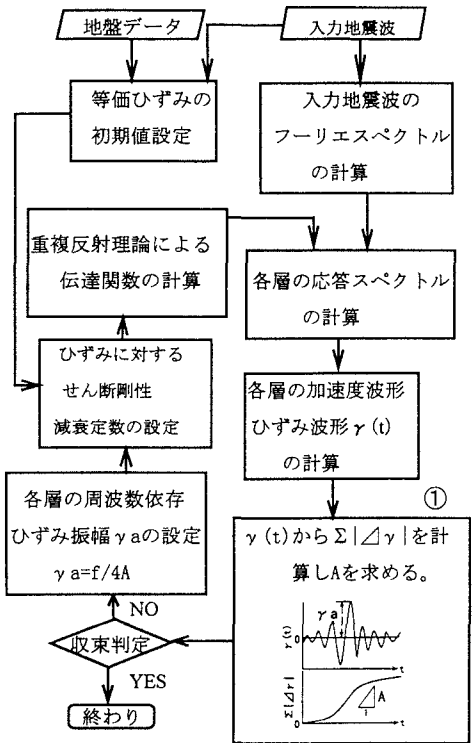


図-1 応答解析のフロー

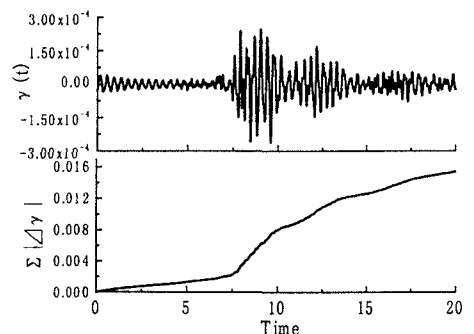


図-2 GL-10m での $\gamma(t)$ と $\sum |\Delta \gamma|$ の時刻歴

キーワード：等価線形法、等価ひずみ、周波数特性

中央大学理工学部土木工学科 (東京都文京区春日 1-13-27 Tel 03-3817-1799 Fax 03-3817-1803)

を参考にして剛性と減衰を Hardin-Drnevich タイプとして、新たに作ったものを用いた。地震波形は GL-40m に入力した。図 2 には、計算収束後の GL-10m での図 1-①に対応したひずみと、 $\Sigma |\Delta \gamma|$ の時刻歴を示す。これにより $\Sigma |\Delta \gamma|$ -t 関係は、地震の主要動部分でほぼ一定の傾きの直線で近似できることが分かる。図 3 には地表での加速度時刻歴の解析結果を実測波形と通常の SHAKE (有効ひずみ=0.65 × 最大ひずみ) での解析結果と比較したものを示す。ただし、この図 3 は 7 秒から 9 秒の部分を取り出したものである。本研究での解析結果は SHAKE ではあまりよく再現されていない高い振動数の部分が再現されている。しかし、加速度の大きさだけをみると、実測波形に対してかなり大きな値となっていてよく一致しているとはいえないが、位相は一致しているのがわかる。次に解析結果の波形を用いて GL-40m に対する地表の伝達関数を計算し、実測と通常の SHAKE によるものと比較して図 4 に示す。ここで、SAHKE による伝達関数は本来解析的に求まるが、平滑化による影響を実測記録や解析結果と同じレベルにするために波形から計算した。本研究によるものは各ピーク振動数の出現位置は実測とほぼ一致しているが、実測と比べるとかなり大きくなっている。しかし、振動数がある程度高いところでも伝達関数のピーク値の落ち方が小さく SHAKE の問題点の改善が期待できそうである。

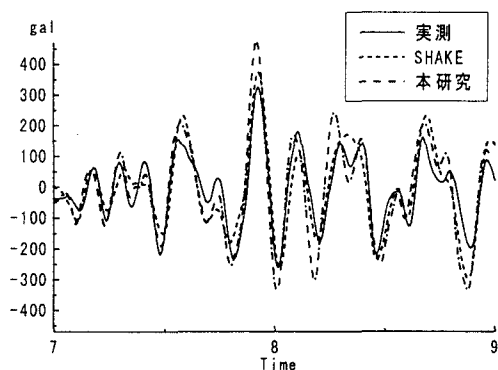


図-3 時刻歴の比較 (7～9秒)

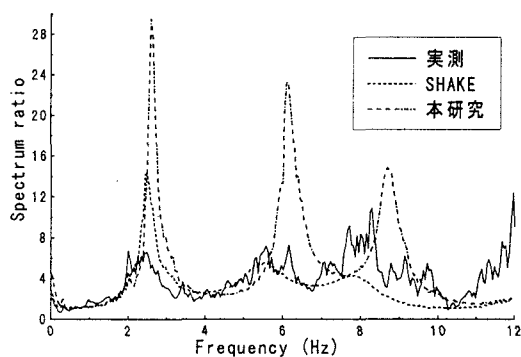


図-4 伝達関数の比較

4. まとめ

東京大学生産技術研究所千葉実験所で観測された千葉東方沖地震時の加速度記録を用いて、周波数ごとに等価ひずみを求め、そのひずみに対応した剛性、減衰を用いていく次元等価線形地震応答解析を行い次のような結果を得た。

(1) 加速度時刻歴の解析結果において高い振動数を再現しているが、実測波形と比べ加速度をかなり大きく評価している。

(2) 伝達関数ではある程度高い振動数においても、相対的にみて伝達関数の落ち方が緩やかであるが、これも実測と比べるとかなり大きく評価している。

今後は、加速度を大きく評価することなどを改善しつつ、より精度の高い解析結果が得られるように解析手法を検討していきたい。

謝辞 今回用いた地震データは(株)佐藤工業から提供していただいた。さらに数値解析を指導していただいた(株)佐藤工業の吉田望様、末富岩雄様に感謝の意を表する。

＜参考文献＞ (1) 杉戸真太、合田尚義、増田民夫(1994)：周波数特性を考慮した等価線形手法に関する一考察、土木工学研究発表会報(No.28) (2) 鹿林、山崎文雄、片山恒雄(1989)：千葉実験所における地震動観測-その5 自由地盤の伝達特性について-、第20回地震工学研究発表会講演概要、土木学会、pp93-96 (3) 吉田望、末富岩雄(1997)：Dyneq2-3 マニュアル、プログラム