

氏名 (本籍)	古本 吉倫 (大阪府)
学位の種類	博士(工学)
学位記号番号	乙 第 40 号
学位授与年月日	平成15年 3月25日
専攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	周波数依存型等価線形化法による地盤震動解析とその応用 (Seismic response analysis of ground on the basis of frequency-dependent equivalent linearized technique and engineering applications)
学位論文審査委員	(主査) 教授 杉戸 真太 (副査) 教授 八嶋 厚 教授 本城 勇介 助教授 張 鋒

論文内容の要旨

地震動の特性は表層付近の地盤特性によって大きく支配される。さらに、高盛土斜面のような不整形性を有する地盤は、地盤形状の不整形性によって、層状地盤に比べ地震波が複雑な性状を示す。このようなことから、地震時の被害を軽減するためには、表層付近の地盤特性のみならず、不整形地盤での地震時の挙動を正しく把握し、被害を予測することが重要である。そのため、より精度の高い地盤応答解析法を開発することが必要である。

成層地盤を対象としたいわゆる1次元地盤震動解析の分野においては、1972年にP. B. Schnabel, J. Lysmer, H. B. Seedによって開発された等価線形化法 (SHAKE) がこれまで実務の面で数多く使用され、地震工学の分野において多大な貢献をしてきた。しかし、SHAKEで計算した地震動と実際の観測記録を比較すると低・中周波数領域では比較的良好に一致するが、地震動のレベルが大きくなると高周波数領域において一致しなくなるという問題点があることが指摘されてきた。

一方、杉戸ら(1994)は、SHAKEにおいて周波数に依存せずに一律に定義されていた等価ひずみを、ひずみの周波数依存性に着目してひずみ波形のスペクトル強度に応じて与えるべきと考え、等価ひずみを各周波数毎に規定した新たな解析手法、周波数依存型等価線形化法 (FDEL) を開発した。

本研究では、地震動データベースに基づく豊富な実地震動記録を用いて、杉戸らによる周波数依存型等価線形化法の有効性を検証するとともに、工学的基盤面上における地震動予測、堆積地盤面での地震動増幅挙動のモデル化などの分野へ応用を図っている。さらに、表層付近の地盤特性のみならず、不整形地盤での地震時の挙動を正しく予測するために、2次元FEM化された新たなコードの開発を行った。具体的には、以下の検討を行っている。

1. 兵庫県南部地震において液状化の激しかった神戸市ポートアイランドでは、この地震以前より、鉛直アレー観測システムにより観測が行われており、前震、余震を含む多くの記録が得られている。また、六甲アイランドにおいては、本震記録は得られなかったものの、前後の約2年間で多くの記録が得られている。ここでは、これらの記録と周波数依存性を考慮した等価ひずみによる地震応答解析結果をもとに、本震前後の地震動増幅特性を検討し、両人工島における本震時の液状化の程度の違いの原因について考察した。
2. 国内の主要強震記録として118成分を選び、周波数依存型等価線形化法(FDEL)により解放基盤波形に変換し工学的基盤面における強震動データベースを作成する。この強震動データベースを用いて工学的基盤における最大加速度の距離減衰式を算出した。特に兵庫県南部地震以降得られている断層近傍での加速度記録を検討して断層近傍での大きな加速度記録の特性を反映するものとした。
3. このようにして得られたデータベースを元に非定常パラメータをモデル化し、非定常スペクトルの重ね合わせにより、マグニチュードと震源距離から強震動を推定するモデル(EMPR-I)を修正した。さらにこのモデルを元に、断層の広がりや破壊伝播方向から生じる非定常スペクトルの到着時間の遅れを時間軸上で重ね合わせるにより考慮して、任意の着目地点において大規模断層破壊に対する強震動を推定する予測手法(EMPR-II)に拡張した。
4. 工学的基盤面において想定された加速度応答スペクトルなどの比較的容易に得られる地盤パラメータを用いて、堆積地盤上での値に変換する手法を提案した。強震動予測法(EMPR)によって様々な地震動強度レベルのシミュレーション地震動を作成し、工学的基盤面への入射波とした。次に、S波速度も含めて地盤構造が明らかな地盤に対して、周波数依存型等価線形化法(FDEL)により地盤震動解析を行い堆積地盤での地震動を算出する。このようにして得られた地表・基盤における地震動から、各地盤、周期ごとに地表と基盤の加速度応答スペクトルの増幅率を算出し、基盤での加速度応答スペクトルにより回帰分析を行った。さらに、周期ごとに求めた回帰係数について、地盤パラメータ S_n , d_p により重回帰分析を行い、工学的基盤から堆積地盤上への応答スペクトルの変換係数をモデル化した。
5. 周波数依存型等価線形化法による地盤震動解析を不整形地盤や盛土などの2次元、3次元問題に応用するため、2次元FEMコードを新たに開発した。いくつかの予備的検討の後、宮城県名取市郊外の宅地造成地を対象に高盛土斜面の解析を行い実際の観測記録と比較した。上記の検討の結果、FDEL-FEMは観測記録ともよく一致することが確認できた。

論文審査結果の要旨

本研究は、地震動データベースに基づく豊富な実地震動記録を用いて、杉戸らによる周波数依存型等価線形化法の有効性を検証するとともに、工学的基盤面上における地震動予測、堆積地盤面での地震動増幅挙動のモデル化などの分野へ応用を図ったものである。さらに、表層付近の地盤特性のみならず、不整形地盤での地震時の挙動を正しく予測するために、2次元FEM化された新たなコードの開発を行っている。具体的には、以下の結果が得られている。

1. 兵庫県南部地震において液状化の激しかった神戸市ポートアイランドでは、この地震以前より、鉛直アレー観測システムにより観測が行われており、前震、余震を含む多くの記録が得られている。また、六甲アイランドにおいては、本震記録は得られなかったものの、前後の約2年間で多くの記録が得られている。ここでは、これらの記録と周波数依存性を考慮した等価ひずみによる地震応答解析結果をもとに、本震前後の地震動増幅特性を検討し、両人工島における本震時の液状化の程度の違いの原因について考察した。
2. 国内の主要強震記録として118成分を選び、周波数依存型等価線形化法(FDEL)により解放基盤波形に変換し工学的基盤面における強震動データベースを作成する。この強震動データベースを用いて工学的基盤面における最大加速度の距離減衰式を算出した。特に兵庫県南部地震以降得られている断層近傍での加速度記録を検討して断層近傍での大きな加速度記録の特性を反映するものとした。
3. このようにして得られたデータベースを元に非定常パラメータをモデル化し、非定常スペクトルの重ね合わせにより、マグニチュードと震源距離から強震動を推定するモデル(EMPR-I)を修正した。さらにこのモデルを元に、断層の広がりや破壊伝播方向から生じる非定常スペクトルの到着時間の遅れを時間軸上で重ね合わせることでより考慮して、任意の着目地点において大規模断層破壊に対する強震動を推定する予測手法(EMPR-II)に拡張した。
4. 工学的基盤面において想定された加速度応答スペクトルなどの比較的容易に得られる地盤パラメータを用いて、堆積地盤上での値に変換する手法を提案した。強震動予測法(EMPR)によって様々な地震動強度レベルのシミュレーション地震動を作成し、工学的基盤面への入射波とした。次に、S波速度も含めて地盤構造が明らかな地盤に対して、周波数依存型等価線形化法(FDEL)により地盤震動解析を行い堆積地盤での地震動を算出する。このようにして得られた地表・基盤における地震動から、各地盤、周期ごとに地表と基盤の加速度応答スペクトルの増幅率を算出し、基盤での加速度応答スペクトルにより回帰分析を行った。さらに、周期ごとに求めた回帰係数について、地盤パラメータ S_n , d_p により重回帰分析を行い、工学的基盤から堆積地盤上への応答スペクトルの変換係数をモデル化した。
5. 周波数依存型等価線形化法による地盤震動解析を不整形地盤や盛土などの2次元、3次元問題に応用するため、2次元FEMコードを新たに開発した。いくつかの予備的検討の後、宮城県名取市郊外の宅地造成地を対象に高盛土斜面の解析を行い実際の観測記録と比較した。上記の検討の結果、FDEL-FEMは観測記録ともよく一致することが確認できた。

以上が本研究の主な成果である。本研究で提示された一連の解析手法は、耐震設計における地震荷重設定において大変有効であると考えられる。また、広域の地震被害想定調査に資することがおおいに期待され、工学的意義が大きい。したがって、本研究は学位論文として認定するに値するものと判定した。

最終試験結果の要旨

杉戸真太，本城勇介，八嶋 厚，および張 鋒で構成する審査委員会は，本論文および論文別刷りなどを慎重に検討した．本論文は学位論文として十分に完成された内容を有していること，提出された査読付き論文は申請者によって書かれていることを確認した．また，最終試験（公聴会）を平成 15 年 2 月 10 日に開催し，審査した．審査委員会での審議の結果，合格と判定した．