

氏 名	張 海 仲
学 位 の 種 類	博士 (工学)
学 位 記 番 号	博甲第 231 号
学位授与の日付	2018 年 3 月 31 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文の題目	A Simple Site-specific Method for Estimating Nonlinear Site Effects
論 文 審 査 委 員	主査 神奈川大学 教授 趙 衍 剛
	副査 神奈川大学 名誉教授 大 熊 武 司
	副査 神奈川大学 教授 岩 田 衛
	副査 神奈川大学 教授 荏 本 孝 久
	副査 神奈川大学 教授 島 崎 和 司

【論文内容の要旨】

表層地盤は地震動に大きく影響を与えるため、表層地盤特性を耐震設計に取り組むべきことが従来より認識されている。耐震設計において、表層地盤特性を評価する方法は大きく経験法と理論法に分けられる。経験法は地盤の分類と地震波の統計に基づいて提案されている。世界で殆どの耐震設計基準では、経験法を用いて、表層地盤特性を評価している。しかしながら、日本やメキシコのような地質が激しく変化する地域に対しては、数種類の地盤で表層地盤特性を適切に表すことが難しい。また、香港のような記録地震波が少ない地域に対しては、地震波の統計を行うことが困難である。これらの地域では、経験法より理論法の方が適切であると考えられる。2000 年の日本限界耐力設計法やメキシコの耐震設計基準では、理論法が使用されている。

表層地盤特性を評価する理論法が数多く提案されていた。これらの方法の殆どは、表層 1 層地盤と工学的基盤からなる簡単な 2 層地盤モデルに基づいて提案されている。また、多層地盤の場合は、表層各層地盤のパラメータを平均することで、表層多層地盤を等価 1 層に置換する。しかし、平均を用いる方法では、地層の順次や地盤物性変化の度合を無視したため、地盤性質が不均一になるほど、計算誤差が大きい事が容易に想像される。多くの研究では、表層地盤内にインピーダンスが大きく変化する層が含まれる場合、平均を使う方法は表層地盤の増幅特性を過小評価する恐れがあると指摘している。これらの問題に対して、本研究では、新たに多層地盤に適用できる表層地盤特性の簡便評価法を提案することを目的とする。本研究は 6 章によって構成されている。

第 1 章では、本研究の背景、目的と構成を記述している。

耐震設計において、入力地震動を応答スペクトルの形で与える事が多いため、表層地盤の増幅特性が応答スペクトルの増幅率で表されることが一般的である。第 2 章では、表層 1 層地盤と工学的基盤からなる 2 層地盤モデルに基づいて、応答スペクトル増幅率の評価式を提案した。この評価式を提案するために、応答スペクトル増幅率とフーリエスペクトル増幅率の関係を明確にする必要がある。そこで、2.2 と 2.3 節では、それぞれ、統計とランダム振動理論を用いて、応答スペクトル増幅率とフーリエスペクトル増幅率の関係を検討している。

第 2 章で提案した応答スペクトル増幅率の評価式は地盤の一次卓越周期とそれにおける増幅率によって決められる。第 3 章では、一次卓越周期とそれにおける増幅率について、簡便評価法を提

案することを試みた。3.5 節では、表層二層地盤を連続で等価一層地盤に置換することで、一次卓越周期とそれにおける増幅率を評価する方法を提案した。また、いくつ実際の地盤を用いて、提案法の計算精度を検討し、提案法が精度よく一次卓越周期とそれにおける増幅率を計算できることが分かる。

地盤の非線形特性は地盤応答に大きく影響を与えるため、第 4 章では、表層地盤の増幅特性を評価するに当たって、地盤の非線形特性を考慮する方法を提案した。また、提案法を用いて地盤の非線形特性を評価するには、地盤の一次モード形と刺激係数が必要となるため、4.3 節では、地盤の一次モード形と刺激係数を評価する簡便法を提案した。そして、4.4 節では、選択した実際の地盤について、レベル 1 とレベル 2 の入力地震動を用いて、一次卓越周期とそれにおける増幅率を計算し、地盤非線形特性の提案法の計算精度を検討した。また、4.5 節では、いくつ実際の地盤を用いて、非線形特性を考慮した表層地盤増幅特性の提案法を検討し、提案法が精度よく非線形地盤増幅特性を評価できることが分かる。

第 5 章では、第 3 章の一次卓越周期とそれにおける増幅率の提案法の考え方を多質点系構造に適用し、多質点系構造の一次固有周期を求める簡便法を提案した。そして、幾つ多質点構造と実構造物を用いて、提案法の計算精度を検討し、提案法が精度よく多質点構造の一次固有周期を評価できることが分かる。

第 6 章では、本研究から得られた結論をまとめている。

【論文審査の結果の要旨】

表層地盤は地震動に大きく影響を与えるため、表層地盤特性を耐震設計に取り組むべきことが広く認識されている。従来の表層地盤特性の評価法は、表層 1 層地盤と工学的基盤からなる簡単な 2 層地盤モデルに基づいて提案されている。また、多層地盤の場合は、表層各層地盤のパラメータを平均することで、表層多層地盤を等価 1 層に置換する。しかし、平均を用いる方法では、地層の順次や地盤物性変化の度合を無視したため、地盤性質が不均一になるほど、計算誤差が大きい事が容易に想像される。また、多くの研究では、表層地盤内にインピーダンスが大きく変化する層が含まれる場合、平均を使う方法は表層地盤の増幅特性を過小評価する恐れがあると指摘している。そこで、本研究では、新たに多層地盤に適用できる表層地盤特性の簡便評価法を提案することを目的とする。本研究は 6 章によって構成されている。

第 1 章では、本研究の背景、目的と構成を記述した。

第 2 章では、表層 1 層地盤と工学的基盤からなる 2 層地盤モデルに基づいて、表層地盤の増幅特性を表す応答スペクトル増幅率の評価式を提案した。

第 3 章では、応答スペクトル増幅率の提案式を決める一次卓越周期とそれにおける増幅率について、簡便評価法を提案した。また、幾つ実際の地盤を用いて、提案法の計算精度を検討し、提案法が精度よく一次卓越周期とそれにおける増幅率を計算できることが分かった。

第 4 章では、表層地盤の増幅特性を評価するに当たって、地盤の非線形特性を考慮する方法を提案した。また、幾つ実際の地盤を用いて、非線形特性を考慮した表層地盤増幅特性の提案法を検討し、提案法が精度よく非線形地盤増幅特性を評価できることが分かった。

第 5 章では、3 章の一次卓越周期とそれにおける増幅率の提案法の考え方を多質点系構造に適用し、多質点系構造の一次固有周期を求める簡便法を提案した。そして、幾つ多質点構造と実構造物を用いて、提案法の計算精度を検討し、提案法が精度よく多質点構造の一次固有周期を評価できる

ことが分かった。

第 6 章では、本研究から得られた結論をまとめた。

なお、論文の内容は *Earthquakes and Structures, Journal of Earthquake and Tsunami*, 日本建築学会構造系論文集などの学術誌に 4 編の審査論文として公表している。

以上のように本論文により示されたこれらの知見は、表層地盤特性を考慮した構造の耐震設計に活用されることが今後、十分期待される。したがって本論文は博士（工学）の学位論文として十分価値のあるものと認められる。