

氏 名	さ とう きよ たか 佐 藤 清 隆
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3641 号
学位授与の日付	平 成 14 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	EVALUATION OF LOCAL SITE CHARACTERISTICS OF SEDIMENTARY DEPOSITS FROM SEISMIC OBSERVATIONS (地震観測にもとづく堆積地盤のローカルサイト特性の評価)
論文調査委員	(主 査) 教 授 土 岐 憲 三 教 授 岡 二 三 生 教 授 佐 藤 忠 信

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、地震観測ならびに地盤調査に基づいて、水平成層の地盤や水平方向に地形・地質的に不規則な不整形地盤について、震源の放射および伝播特性による入射波動場を考慮して表層地盤の増幅特性（ローカルサイト特性）を評価してモデル化し、地震応答解析への適用性を明らかにしたものである。本編は、6章で構成されている。

第1章の序論では、過去の被害地震について文献調査し、不整形地盤における構造物の被害例と耐震設計における強震動予測の必要性について述べた。また、本論文の目的、概要について記述している。

第2章では、地震波動解析の基本となる地盤の速度構造および減衰特性の同定法（スペクトル同定法）について検証し、観測地点を例として成層地盤および不整形地盤における一次元および二次元の地震波動シミュレーションを実施している。また、観測記録の波動伝播特性の分析に有用な非定常スペクトル解析とポーラーリゼーション解析を実記録に対して検証している。

第3章では、神戸市の複数の鉛直アレー観測点で得られた兵庫県南部地震の本震および余震記録を用いて、その増幅特性に適合するS波速度、P波速度、減衰Q値などの地盤物性を同定し、PS検層の結果と比較することによって強震時の非線形効果を推定している。その結果、本震による埋立土、沖積層、洪積層を含む表層地盤の非線形特性と地盤物性について検討を加え、地盤の増幅特性を明らかにしている。また、ポートアイランドの本震の上下動に見られるSP変換波とその発生基盤の深さを推定した結果、Sp-S時間は平均で約1.14秒であり、その地点の速度構造を用いて推定した基盤深さは、各々1.47 km、1.75 kmであり、本震後に探査された堆積層構造と一致し、SP変換波が励起されていることを示唆する。

本震と余震との地盤増幅特性を比較すると、強い液状化現象を示した地点では2 Hz以上の高周波数での本震の増幅がほとんど減衰するうえ、余震に認められる1 Hz付近のピークも1/4以下に低下している。これに対して、局所的な液状化を示した地点での本震の増幅特性はピーク周波数が余震に比べて低周波数側に変化し、非液状化地点ではピーク周波数の位置は変わらないが、本震の高周波数側の増幅が低下する傾向がある。このように、表層地盤の非線形効果は強震時のひずみレベルと液状化層の構造によって異なり、工学的基盤で200 gal以上の入力でかつ層厚が10 m以上の液状化層の飽和地盤に対して強い非線形性が見られることから非線形解析が必要であるが、この場合の上下動は地下水面以下の層で飽和土のP波速度1.5 km/sに一致することを示している。

第4章では、対象とする地盤を、基盤および堆積層を最も単純な水平成層構造でモデル化し、地中地震動の深さ方向分布を推定する2種類の方法とその適用例を、硬・軟質の岩盤や軟質地盤での鉛直アレー観測点について示している。さらに、上記の推定式を多層地盤への適用を試みている。対象とした地盤は、兵庫県南部地震での液状化による非線形挙動の影響が少ない地域の鉛直アレー強震観測の3地点である。その結果、液状化する地盤を除けば、上記の推定式は一定の条件のもとで地中地震動を評価できることを示している。

第5章では、地震活動度の高い南関東地域において、小規模で沖積および洪積砂礫層からなる堆積谷地形が谷筋に沿って下流側で厚くなる足柄平野久野地点と、周辺岩盤とのインピーダンス比が高く沖積粘土ならびにシルト層からなる埋没谷地

形である横須賀市武山地点の不整形地盤について、その周囲で発生した地震の観測データを用い、両地点で同時に観測された地震に関して、その震源による入射特性と各地点の地盤内増幅について検討している。

足柄平野久野地点では、震源のS波の放射特性が卓越する震動主軸方向では、2.5 Hz以下の低周波域でスペクトル比は地震によらず安定的に一致し、地盤内増幅は、震源による放射特性に応じて偏向する現象を示す。したがって、偏向する地震動に着目して、二次元地盤構造をモデル化すれば増幅特性が観測データに適應することを示している。

横須賀市武山地点では、サイトの増幅特性は震源放射特性によらず安定的であるが、露頭する岩盤上観測点を基準点として堆積層の地盤内増幅を観測データより求める場合、基準点の波形が地震波の到来方向によって盆地内で増幅・生成される波動の影響を受けるため、震源からサイトの地殻構造より求められる入射角を考慮した二次元応答解析が、水平・上下の観測データに一致する。

これらの結果より、軟弱地盤の埋没谷地形でも、基準点となる入射波動場による不整形地盤増幅の影響があり、コントラストが低い洪積小盆地では震源の放射特性による入射波に応じた不整形地盤増幅が認められる。いずれも、適切な地盤モデルと入射波動場を与えれば、地盤応答解析と一致する。したがって、このような地盤増幅特性を考慮して不整形地盤をモデル化すれば、強震動予測におけるローカルサイト特性の定量的評価が可能であることが検証されている。

第6章では、本論文で得られた成果をまとめるとともに、今後の課題について述べている。

論文審査の結果の要旨

本研究は、不整形な空間形状を呈する工学的基盤面での入射波を分析し、それぞれの波動に対応する震源での放射特性の影響を考慮した地盤増幅特性を解明している。さらに、複雑な成層構造を有する地盤を対象として、地中での震動分布の形状と振幅とを推定する手法を提案し、実際問題への適用性について詳細な検証を行なっている。

本研究により得られた成果の主なものは、以下の通りである。

1. 兵庫県南部地震の本震および余震記録を用いて、検討対象地盤の増幅特性に適合するS波速度、P波速度、減衰特性などの地盤物性を同定し、埋立地盤、沖積層、洪積層における非線形挙動を規定する諸量の定量的評価と地盤増幅特性に及ぼす影響を明らかにした。
2. 地表面から地震基盤までの地盤構造モデルに基づいて、ポートアイランドでの鉛直アレー観測記録の波動論的解析により、初動部の上下動成分はSP変換波であることを確認した。
3. 複雑な成層構造をもつ地盤において、隣り合う2層を水平成層構造でモデル化し、これを地表面から下方に向かって順次適應することによって、地震動の深さ方向分布を推定する方法を提案したこの手法を、兵庫県南部地震に際して得られた強震記録に対して適用して地中震動分布を推定し、提案した方法の有用性を検証している。
4. 南関東地域における洪積砂礫層の卓越する堆積谷地形と軟弱な埋没谷地形でのアレー観測記録を検討した。その結果、堆積谷地形では、震源での放射特性によって地震波動が偏向し、地盤増幅特性の2.5Hz以下の振動数成分に影響することが認められた。また、埋没谷地形では、震源からの入射角によって堆積地盤内の水平動および上下動の増幅が変化することを明らかにした。
5. 適切な地盤モデルと入射波動場を与えれば、堆積地盤の地震応答解析は地震観測の解析による地盤の動的挙動と一致することが見出された。このような地盤増幅特性を考慮して堆積地盤をモデル化し、不整形地盤におけるローカルサイト特性の定量的な評価法を提示した。

以上、本論文は、構造の異なる複数の地点での強震記録を分析した結果に基づき、地形・地質構造の不整形な堆積地盤での震動分布を震源域での波動の放射特性との関係で論じ、その結果から地盤の耐震解析の実務に適用しうる手法を提示しており、学術上、實際上、寄与するところが少なくない。よって本論文は博士(工学)の学術論文として価値あるものと認める。また、平成14年1月21日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。