

氏 名	そえ だ よし お 副 田 悦 生
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3844 号
学位授与の日付	平 成 17 年 3 月 23 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	アレー観測による兵庫県南部地震時の大阪平野地震動特性研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 佐 藤 忠 信	教 授 家 村 浩 和	教 授 井 合 進
--------	----------------------	-------------	-----------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、アレー観測記録の解析を対象とし、兵庫県南部地震時に工学的基盤より上に設置されていた地震計が記録した強震動波形を使って、実体波と表面波の両面から、観測点を含む大阪平野における地震動伝播特性を実証的に明らかにしたものであり、第1篇は鉛直アレー観測篇として5章から、第2篇は水平アレー観測篇として4章からなっている。

第1篇は鉛直アレー観測の記録を用いて地中深部からのせん断波の伝播特性、特に地盤の非線形応答特性を対象としている。

第1章は、第1編の背景と目的、第2章は本篇の構成からなっている。

第3章は、先ず実際に対象として取り扱った鉛直アレー記録について加速度波形とフーリエスペクトルを示した。次にSGKとTKSの2地点で行った土質ボーリングと採取試料の概要と室内動的変形試験の結果を示した。そして、動的変形試験結果を粘土については塑性指数により5種類に、砂については拘束圧により3種類に、礫は拘束圧により2種類に分類した。この結果を用いて、等価線形解析とROモデルを用いた全応力解析を行い、100 m深度の鉛直アレー記録を入力として25 m深度および地表における地震動時刻歴を推定した。結果として、ひずみレベルが大きくなると地震動の繰返し回数の影響が顕著になることが判明した。等価線形解析法で地盤に発生する最大ひずみに換算係数を乗じ、有効ひずみを求め、それを用いてせん断剛性を推定している。この換算係数に繰返し回数の効果を導入して、換算係数を変化させながら、等価線形解析を実施したところ、最適な換算係数を用いると、解析結果と観測結果の適合度が良くなる事が判明した。繰返し回数の評価を適切に行なわない場合には、解析結果の時刻歴の位相が観測波の位相より遅れるので、繰返し回数10回の時に求められる動的変形特性(せん断剛性と減衰定数)を基準値として、地震波の等価繰返し回数を用いて動的変形特性の低減率を定義し、それを用いて最適な換算係数を求めるための関係式を提案した。具体的には、せん断剛性の低下を繰返し回数の指数関数として定義した。HDモデルを用いて剛性とひずみを関係付け、有効ひずみに対する最大ひずみの比として換算係数の基礎式を導いた。

地震動の観測地が得られている5地点で換算係数を変化させて行った等価線形化解析の結果から求められる最適換算係数と提案した繰返し回数の影響を考慮した換算係数の比較を行った。その結果、繰返し回数を求める際の、ひずみのしきい値を適切に与えることで、両者が良い一致を示すことが明らかとなった。液状化層を持つ場合についても、液状化層の動的変形特性を固定し、他の層の換算係数を変えて解析すれば、精度向上できる可能性があることを見出した。

全応力非線形解析法についても、解析精度を向上させるためには、繰返し回数の影響を適切に評価することが必要であることを明らかにした。第4章は3章で得られた結果の考察であり、最後の第5章では第1編で得られた成果を要約し、今後の課題について言及している。

第2篇は水平アレー観測篇として盆地端部周辺からの表面波を検出することを主目的とした。

第1章は南大阪地点にて観測されたトリパタイトアレー記録を示し、後続波群を瞬間周波数解析により特定し、センブランス解析とFKパワースペクトルにより到来方向を特定し、粒子軌跡を確認した上で、理論分散曲線と位相速度の対比から、

Love 波として南から到来しているものと、西から到来しているものが存在することを見出した。

第2章は南港地点にて観測されたトリパタイトアレー記録を示し、後続波群をウェブレット解析により特定し、センブランス解析により到来方向を特定し、粒子軌跡を確認した上で、理論分散曲線と位相速度の対比から、Rayleigh 波が北から到来していることを見出した。

第3章は八尾地点にて観測されたトリパタイトアレー記録を示し、後続波群をウェブレット解析により特定し、センブランス解析により到来方向を特定し、粒子軌跡を確認した上で、理論分散曲線と位相速度の対比から、南から到来する Love 波と東および北からの Rayleigh 波の存在を見出した。また、観測サイトに生駒山地が接近しているため、実体波と表面波が時間的に重なることからウェブレット解析においても第1波群は明瞭でないことを、余震の解析により確認した。

第4章は結論であり、本研究で得られた成果について要約し、また、今後の課題について言及している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、兵庫県南部地震時に地震断層の東西ならびに南部に設置してあった鉛直アレー観測点、地震断層の東部に設置されていた水平アレー観測点で観測された地震記録を基にして、大阪堆積盆地の地震動特性を解明したものである。

1. 鉛直アレー観測記録を用い、等価線形解析手法の精度向上を図り、以下の成果を得た。

- 1) 動的変形特性試験結果から、繰返し回数によるせん断剛性の低下を繰返し回数の指数関数として表現し、その低下係数がひずみ振幅の線形関数になることを見出した。
- 2) ひずみレベルと地震動の繰返し回数を考慮した有効ひずみへの換算係数を新しく定義することにより、等価線形解析手法の精度を向上させた。
- 3) 従来0.5%程度までのせん断ひずみに対して有効とされていた等価線形解析の適用範囲をさらにひずみの大きな領域でも適用可能とした。
- 4) 全応力非線形解析において、動的変形特性を精度良く推定できる手法を提案し、観測記録の再現性を指標として、手法の有効性を検証した。
- 5) 提案した全応力解析の問題点として、地震動の等価繰返し回数を評価することの重要性を指摘した。

2. 水平アレー観測記録を用い、大阪盆地に卓越する表面波に関する以下の特性を明らかにした。

- 1) 南大阪地点の観測記録の EW 成分では、45~75秒付近に、NS 成分では90~120秒付近に、0.3~0.5秒（周期2~3秒）の有意な後続波群が卓越する。前者は周波数特性、到来方向、位相速度から、南方向から到来する Love 波の卓越する波群であることを明らかにし、それは和泉山地まで S 波として伝播し、その後励起された表面波であることを明らかにした。後者は、西方向から到来する Love 波の波群であることを見出し、南大阪地点および関西国際空港における地盤から推定される群速度から、淡路島で励起された表面波であることを明らかにした。
- 2) 南港地点の観測記録の UD 成分においては、35~50秒付近と60~75秒付近にそれぞれ周波数0.15~0.30 Hz および 0.30~0.60 Hz の後続波群が卓越する。これらはその粒子軌跡、到来方向、位相速度から、北~北西から到来する Rayleigh 波を主成分とする波群であることを明らかにした。
- 3) 八尾地点の観測記録から、当地点では南から到来する Love 波と東および北からの Rayleigh 波が卓越することを明らかにした。

以上要するに本論文は、兵庫県南部地震の際に観測された地震動を用いて大阪平野の震動特性を明らかにしたものであって、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）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成17年2月16日に論文内容とそれに関する試問を行った結果、合格と認めた。