

氏 名	末 富 岩 雄
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 1919 号
学位授与の日付	平 成 12 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 土 木 シ ス テ ム 工 学 専 攻
学位論文題目	強震時における地動分布特性の即時推定に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 土 岐 憲 三 教 授 家 村 浩 和 教 授 佐 藤 忠 信

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、大規模地震発生時の災害を軽減するリアルタイム地震防災システムにおける地動分布特性の即時推定の精度を向上させることを目的として、地盤の非線形挙動を考慮した新しい地盤増幅度モデルの構築方法を提案し、強震時における地動分布評価法を論じた結果をまとめたものであって、8章からなっている。

第1章は序論であり、1995年兵庫県南部地震後、様々な防災機関により構築されているリアルタイム地震防災システムについて概観し、地動分布推定を行う上では表層地盤の増幅度評価が重要であることを述べている。増幅度評価法およびそれに関わる常時微動探査法、減衰の周波数依存性、地震応答解析法、地動分布の補間推定法に関する既往の研究成果についてまとめている。そして、即時推定という観点から地盤の増幅度評価法において、解決すべき研究課題について言及している。さらに、これらを踏まえた本論文の構成について述べている。

第2章では、地動分布の即時推定においては500 m程度に分割されたメッシュを地盤特性に応じて分類するゾーニングが重要であることから、ボーリング等を行う必要がなく簡易に行うことができる常時微動観測の有効利用法を提案している。大地震による住宅被害や地盤災害を生じた西宮市と釧路市において常時微動観測による地盤の卓越周期や揺れ易さ指標の評価を行い、地盤構造や被害の大局的分布と良い対応を示すことを明らかにしている。また、小規模の水平アレー微動観測により得られる表面波の位相速度から地盤構造を推定する微動アレー探査法を展開し、地盤災害と密接に関わる深度10～20 m程度までの地盤の強度を把握する上で小規模微動アレー探査法が大変有効であることを示している。また、位相速度の逆解析を行う際に、その精度が問題となることから事前情報を利用するベイズ法を用いて有効性を示すとともに、パラメタスタディにより位相速度を用いる推定問題の特徴を論じている。

第3章では、1995年兵庫県南部地震における強震記録を用いて、地盤の非線形化が地震動強度パラメターの増幅度に及ぼす影響を論じている。地盤の非線形化は地震動の短周期成分に及ぼす影響が大きく、短周期成分の影響が大きい最大加速度は非線形化の影響を強く受け、短周期成分の影響が小さい最大速度が受ける非線形化の影響は小さいというメカニズムを明らかにしている。また、地表観測記録から工学的基盤波を逆推定することにより、表層地盤特性が地震動に大きく影響することを明らかにしている。さらに、1995年兵庫県南部地震における建物被害の分布は、震源特性や深層地盤の影響のみならず、地盤の非線形挙動の影響も強く受けたことを、建物被害が大きい神戸市中央区断面の地震応答解析から究明している。

第4章では、二次元FEMによる不均質地盤の地震応答解析により、鉛直アレー観測記録に見られる弱震時および強震時における減衰の周波数依存性のメカニズムの究明を行っている。強震時には剛性が高い要素では高い剛性を保つのにに対し、剛性が低い要素では大きなせん断ひずみが生じて剛性は著しく低下する。その結果、強震時には弱震時よりも地盤物性の変動が大きくなり、地盤の不均質性により生じる散乱減衰が大きくなる。しかしなら、せん断ひずみに応じて大きくなる履歴減衰の方がより大きくなる。地震応答解析にも減衰のメカニズムを取り入れるために、周波数に依存しせん断ひずみに依存しない散乱減衰と、せん断ひずみに依存して周波数依存性を有する履歴減衰の和で減衰をモデル化する手法を提案している。1995年兵庫県南部地震の際のポートアイランドと関西電力総合技術研究所における鉛直アレー観測記録を用いて、観測

値と計算値を比較し、観測値をよく再現できることを示している。

第5章では、1995年兵庫県南部地震の際にポートアイランドの鉛直アレーで見られたような強震時における最大加速度等の頭打ちのメカニズムを究明している。非線形全応力解析により地盤のせん断強度に着目したパラメータスタディを実施し、地盤のせん断強度以上のせん断応力が上層に伝わらないことに起因する地震動強度パラメータの上限値が、最大加速度、計測震度、SI値について存在することを示している。そして、せん断強度が小さいほど、小さな入力レベルで地震動の上限値に達し、その値はせん断強度により支配されることを明らかにしている。実地盤ではせん断強度が小さい弱層の位置と層厚が重要であり、基盤に近い位置に弱層がある場合にはその弱層のせん断強度が地震動の上限値を支配し、逆に表層に薄い弱層があっても上限値にはほとんど影響を及ぼさないことを明らかにしている。

第6章では、地震動強度パラメータの増幅度評価においては入力地震動特性の評価が重要であることから、断層近傍での地震動特性を反映するために断層震源モデルを用いて入力地震動を作成し、地震応答解析に基づき地震動強度パラメータの増幅度モデルを構築する手法を提案している。断層と観測点の位置関係、アスペリティの大きさや応力降下量、深層地盤構造等が入力地震動さらには地震動強度パラメータの増幅度に大きく影響することを示している。また、茨城県東部地域の地盤情報を用いて、60地点の最大加速度、最大速度、計測震度、SI値の増幅度モデルを評価し、地盤分類や地形分類等の地盤パラメータに応じて、増幅度パラメータを評価し、地盤情報から4種の地震動強度パラメータの非線形増幅特性を考慮した増幅度モデルを提案している。最大加速度、計測震度、SI値、最大速度の順に地盤の非線形化の影響を強く受け、弱震時増幅度は地盤の卓越周期と関連が深く、地盤の非線形化に関連するパラメータは土質との関連が深いことを示している。

第7章では、地震動強度パラメータの空間変動特性と空間分布推定の精度に及ぼす影響因子について検討を行っている。地盤条件の変化が緩やかな低地部では2 km程度の観測点間隔であれば、三角形の形状補間関数を用いた簡易な補間手法によっても精度が良い推定を行え、特に最大速度、SI値での精度は最大加速度、計測震度での精度よりも高いことを示している。

第8章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、大規模地震発生時の災害を軽減するリアルタイム地震防災システムにおける地動分布特性の即時推定の精度を向上させることを目的として、地盤の非線形挙動を考慮した地盤増幅度モデルを構築し、地動分布を推定する際の種々の課題を明らかにするとともに、その解決策を提案した成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 1995年兵庫県南部地震における強震記録を用いて、強震時の地盤の非線形化は地震動の短周期成分に及ぼす影響が大きく、最大加速度は非線形化の影響を強く受けるが、最大速度が受ける非線形化の影響は小さいことを明らかにした。各種の被害の分布は、震源特性や深層地盤の影響のみならず、地盤の非線形挙動の影響も強く受けたことを示した。

2. 地震応答解析に減衰のメカニズムを取り入れるために、周波数に依存しせん断ひずみに依存しない散乱減衰と、せん断ひずみに依存して周波数依存性を有する履歴減衰の和で減衰をモデル化する手法を提案し、鉛直アレー観測記録をよく再現できることを示した。

3. 地盤のせん断強度以上のせん断応力が上層に伝わらないことに起因する地震動強度パラメータの上限値が、最大加速度、計測震度、SI値について存在することを示した。さらに、そのせん断強度が小さい弱層の位置と層厚が上限値に大きく影響することを明らかにした。

4. 断層近傍での地震動特性を反映するために断層震源モデルを用いて入力地震動を作成し、地震動強度パラメータの増幅度モデルを提案した。断層と観測点の位置関係、アスペリティの大きさや応力降下量、深層地盤構造等が入力地震動さらには地震動強度パラメータの増幅度に大きく影響することを示した。また、最大加速度、計測震度、SI値、最大速度の順に地盤の非線形化の影響を強く受け、弱震時増幅度は地盤の卓越周期と関連が深く、地盤の非線形化に関連するパラメータは地盤物性との関連が深いことを示した。

5. 地震動強度パラメータの空間変動特性と空間分布のリアルタイム推定の精度に及ぼす影響因子について検討を行い、地盤条件の変化が緩やかな低地部では2 km程度の観測点間隔であれば、三角形の形状補間関数を用いた簡易な補間手法によっても精度が良い推定を行うことができ、特に最大速度、SI値での精度は最大加速度、計測震度での精度よりも高いこと

を示した。

以上、本論文は、リアルタイム地震防災システムにおいて必須である地盤震動強度の地表面分布を即時推定するための方法についての検討と提案を行い、その妥当性と有用性についての検証を行ったものであり、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）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成12年2月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。