

氏 名	まつ だ さとし 松 田 敏
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3686 号
学位授与の日付	平 成 14 年 9 月 24 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	一般座標系における 3 次元不整形地盤の地震応答解析

論文調査委員	(主 査) 教 授 河 野 允 宏	教 授 家 村 浩 和	教 授 佐 藤 忠 信
--------	----------------------	-------------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

強震時における地盤震動の性質は観測点を含む 2 次元、3 次元的地盤構造に強く影響を受ける。過去の地震被害の分析からも、地盤の不整形構造に起因する特異な地震動増幅と被害分布の強い相関性が指摘されており、このような地震被害を防止・低減するためには、不整形地盤における地震動を正確に予測することが極めて重要である。本論文は、現実的な任意形状の 3 次元不整形地盤における地震波動を高精度に評価する新しい解析法を開発し、不整形地盤における地震波動の伝播・増幅機構を明らかにすることを目的として行った研究の結果についてまとめたものであり、以下の 5 章からなっている。

第 1 章は序論であり、研究の背景、目的と論文の構成について述べている。1995 年兵庫県南部地震を契機として一層高まった不整形地盤における地震動の研究に対する、学術的、社会的要請に呼応して、近年、差分法などの偏微分方程式の汎用数値解法による大規模で複雑な不整形地盤の地震応答解析が活発に行われている。しかし、これらの解法は基本的には波動方程式の離散近似であるため、多大な計算資源を要し、また現実の物理現象を正確に評価することが難しい。そこで、本論文では波動伝播理論の厳密な展開に基づいて、3 次元不整形地盤における地震波動をより高精度に、かつ効率良く評価することができる新しい解析法を構築することを試みている。

第 2 章では、提案する不整形地盤の地震応答解析法の理論展開と、数値解析法としての実装方法について述べている。提案する解析法ではまず、解析対象の不整形地盤の形状に適合するように生成された一般座標系のもとで、不整形地盤内の波動場の支配方程式を記述し、これを積分変換により線形常微分方程式の 2 点境界値問題に帰着させたのちに Riccati 法を適用して、不整形地盤内の波動場の状態遷移マトリクスを評価している。そしてこの状態遷移マトリクスを用いて、地表面における自由境界条件を厳密に満足する不整形地盤内の任意波動場の表現を導き、Somigliana の境界積分方程式を介して入射場、外部散乱場と接続することにより、不整形地盤内外の全波動場を決定している。数値解析法としての実装に際しては、不整形地盤内部の波動場をエネルギー流束の符号を用いて上昇波と下降波に分離して評価することにより誤差の拡大を防ぎ、数値計算の安定性を保証している。

第 3 章では、第 2 章で示された手法により 2 次元不整形地盤の地震応答解析を実施して解の精度を確認し、提案する手法の有効性を検証している。さらに、種々の地盤モデルに対して応答解析を実施し、入射波の種別、不整形地盤の形状、地盤媒質と応答性状の関係についての系統的検討を行っている。その結果、不整形地盤における内部生成表面波の分散性を、等価 2 層平行層地盤モデルを導入することにより定量化し、不整形地盤の形状、入射波と内部生成表面波の関係を明らかにしている。また、不整形地盤における特徴的かつ複雑な応答分布を、実体波と分散性を有する表面波の干渉現象として簡明に説明している。さらに、不整形地盤の状態遷移マトリクスより推定した固有振動数・モードと応答性状との関係を明らかにしている。

第 4 章では、第 2 章で示された手法により 3 次元軸対称不整形地盤の地震応答解析を実施して解の精度を確認し、提案する手法の有効性を検証している。さらに種々応答解析を実施し、2 次元問題と同様の視点により、入射波の種別、不整形地盤の形状、地盤媒質と応答性状の関係についての系統的検討を行っている。その結果、不整形地盤の 3 次元形状と内部表面

波の生成条件，実体波と表面波の干渉による応答分布パターンの生成条件，そして応答分布と不整形地盤の3次元固有振動モードとの関係を明らかにしている。次に，対応する2次元問題と比較することにより，3次元特有の波動効果として，不整形地盤の3次元拘束効果によるエアリー相，及び不整形地盤の固有振動数の高振動数側への移動を指摘している。

第5章は結論であり，本論文で得られた成果をまとめている。要するに，本論文において提案された不整形地盤の地震応答解析法は，その厳密な理論構成において従来の汎用数値解析法とは一線を画し，他の理工学分野への応用も期待できる。また，本論文で明らかにされた不整形地盤における波動伝播・増幅の基本機構に関する知見は，実際の不整形地盤における地震動評価と被害予測，低減に寄与するところも大きいと考えられる。

論文審査の結果の要旨

強震時の不整形地盤における特異な地震波動増幅に起因する地震被害を防止・低減するためには，不整形地盤における地震波動を正確に予測することが極めて重要な課題である。本論文は，現実的な任意形状の3次元不整形地盤における地震波動を高精度に評価する新しい解析法を開発し，不整形地盤における地震波動の伝播・増幅機構を明らかにすることを目的として研究した結果を纏めたもので，得られた主な成果は次の通りである。

- (1) 任意形状の不整形地盤に適合するように構成された一般座標系での波動場の支配方程式を示し，Riccati法により不整形地盤内の波動の状態遷移マトリクスを評価する方法を開発し，この状態遷移マトリクスを用いて不整形地盤内の任意波動場の表現を導き，境界積分方程式を介して外部波動場と接続することにより，不整形地盤内外の地震応答を評価する方法を提示した。
- (2) 2次元，3次元不整形地盤の応答解析を行い，提案した方法により不整形地盤の地震応答を高い精度で評価出来ることを示した。
- (3) 種々の地震応答解析を行い，不整形地盤内における地震波動の構成，増幅機構を，入射波の種別，不整形地盤の形状により類型化して示した。
- (4) 等価平行層地盤モデルを導入することにより不整形地盤における内部表面波の分散性を，不整形地盤の形状，入射波との関係で定量的に明らかにした。
- (5) 不整形地盤の地震応答の特徴的カリ複雑な空間構成を，実体波と分散性を有する表面波との干渉として簡明に説明し，さらに不整形地盤の伝達マトリクスより評価される固有モードとの対応関係を明らかにした。

以上要するに本論文は，波動伝播理論の厳密な展開に基づいて，任意形状の3次元不整形地盤の地震応答を高精度に評価する方法を開発し，種々の応答解析を通して同手法の有効性を検証するとともに，不整形地盤における波動伝播・増幅の基本機構を明らかにしたものであり，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14年7月29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。