



|                     |                                                                                                         |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title               | 単一観測点の地震記録の自己相関関数を用いた地下構造の不整形性推定に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]                                                    |
| Author(s)           | 中川, 尚郁                                                                                                  |
| Degree Grantor      | 北海道大学                                                                                                   |
| Degree Name         | 博士(工学)                                                                                                  |
| Dissertation Number | 甲第16350号                                                                                                |
| Issue Date          | 2025-03-25                                                                                              |
| Doc URL             | <a href="https://hdl.handle.net/2115/95049">https://hdl.handle.net/2115/95049</a>                       |
| Rights(URL)         | <a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a> |
| Type                | doctoral thesis                                                                                         |
| File Information    | Naofumi_Nakagawa_review.pdf, 審査の要旨                                                                      |



## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称    博士 (工学)                      氏名    中川   尚郁

審査担当者   主   査   准教授    高井 伸雄  
                  副   査   教   授    菊地 優  
                  副   査   教   授    岡崎 太一郎

## 学位論文題名

単一観測点の地震記録の自己相関関数を用いた地下構造の不整形性推定に関する研究  
(Estimation of Three-Dimensional Velocity Structure Based on Autocorrelation Functions Using  
Seismic Ground Motion Records at a Single Station)

将来起こりうる大地震に対して、ある地点・地域の強震動を適切に評価し、設計用入力地震動を作成することは、建築設計活動、都市防災政策立案等にとって、重要である。高精度な強震動予測には震源特性、地震波の伝播特性、ならびに建設地点直下およびその近傍の地下構造が地震動に与える増幅効果を評価する必要がある。特に地下構造は地震動の増幅特性に大きく影響するため、浅部から深部で正確な推定が重要である。近年は地震観測記録に地震波干渉法を用いた地下構造のチューニングが進展している。この手法は、単一観測点で得られた地震記録の自己相関関数から直達波と反射波の共通の走時差を抽出し、既存モデルを修正するものである。しかし、平行成層構造仮定に基づくため、複雑な地下構造への適用には課題が残る。本論文では、複雑な地下構造を有する地域の単一観測点で観測された地震記録を対象に、地震記録の自己相関関数を波線経路ごとに分類し、地下構造の不整形性を推定することを目的としている。本論文は全 6 章で構成され、以下に各章の概要を示す。

第 1 章では、関連する既往の研究について俯瞰し、その問題点を指摘し、本研究の目的と意義について述べている。

第 2 章では、研究対象地域である北海道胆振東部の概要に関して述べられ、既存の地下構造モデルから地下構造の不整形性等を確認している。次に、2018 年北海道胆振東部地震の余震の震源分布を整理し、対象とする地震記録を抽出、第 4 章における解析の基盤となる地震記録の自己相関関数の計算手法に関して整理している。次に、収集した地震記録を用いて自己相関関数を計算し、既存の地下構造モデルにより計算される理論自己相関関数を求め、地震記録の自己相関関数と比較し、既存構造の層境界深さを検討している。

第 3 章では、震源情報を基に地震記録の自己相関関数の形状を詳細に分析し、浅部の層境界の反射に対応する位相のシグナルが明瞭に観測され、それらが位相を考慮したスタック処理によってさらに強調されることを確認している。また、震源分布に基づいて地震記録の自己相関関数を分類した結果、共通の層境界反射に関連すると考えられるシグナルが強調され、さらにそのシグナルが震源分布に応じて変化することを見いだしている。これらの結果から、自己相関関数の形状が波線経路に関連し、不整形構造の推定に用いられる情報となることを指摘している。

第4章では、第3章で観測された地震記録の自己相関関数の変動する要因を究明するため、離散化波数法、3次元有限差分法、および3次元地震波線追跡法を用いた数値実験を通じて検討し、走時差の推移を目的関数とする逆解析による不整形構造の推定可能性を評価している。離散化波数法では、2次元の平行成層構造と点震源仮定を仮定したシミュレーションから、震源放射特性係数が自己相関関数に及ぼす影響を明らかにしている。3次元有限差分法では、平行成層構造と不整形構造を仮定したシミュレーションにより、不整形層境界が他層境界の走時差にも影響を与えることを示している。3次元地下構造モデルを用いた地震波線追跡法においては、同一層境界から複数の反射波が生じること、およびそれが自己相関関数に対応する複数のシグナルをもたらすことを示している。

第5章では、不整形構造の推定に向けた一般的なアプローチについて議論している。まず、既往の文献で得られた自己相関関数解析の結果と、第3章で示された自己相関関数の形状変動との相違点を明確にし、従来の平行成層構造仮定に基づく解析手法が抱える限界を指摘している。既存の研究では、自己相関関数は主に平行成層構造に基づく解析が行われており、地下構造の不整形性が十分に考慮されていなかった。本研究では、地下構造の不整形性が自己相関関数の形状に強く影響を与えることが明らかとなり、これをもとに自己相関関数解析を再解釈している。さらに、第4章での数値実験結果を基に、自己相関関数の形状が層境界の不整形性による波線経路の複雑化に起因することを確認している。この結果により、自己相関関数が不整形構造を推定する有効な指標となる可能性が示されている。加えて、自己相関関数を用いた不整形構造の推定手法を提案し、従来手法の限界を克服する新たなアプローチの実現に向けた議論を行っており、今後の自己相関関数解析を用いた地下構造の推定法に本研究成果は重要な知見を与える。

第6章では、自己相関関数解析を用いた地下構造の推定法に関する研究を行った本研究の総括であり、各章の成果と地下構造推定へのさらなる精度向上への課題とその展望に関して言及している。

これを要するに、本論文は単一観測点の地震記録の自己相関関数を用いた地下構造の不整形性推定に関し、地震記録への自己相関関数解析の適用法を詳細に検討し、得られた自己相関関数を適切に整理することで、地下構造の不整形性を見いだせる可能性を示した。さらに、数値計算によりその検証を行い、従来手法の限界を克服する新たなアプローチの実現に向けた議論をしている。これらの知見は、深部地盤構造モデル推定手法と強震動予測手法の高度化に寄与し、地震工学・都市防災学に貢献するところ大なるものがある。よって、著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。