

氏名	任宇翔 (REN Yuxiang)
授与した学位	博士
専攻分野の名称	工学
学位授与番号	博甲第 7066 号
学位授与の日付	2024年 3月 25日
学位授与の要件	環境生命科学研究科 環境科学専攻 (学位規則第4条第1項該当)
学位論文の題目	Fusion of Geophysical and Geotechnical Data Based on Gaussian Process Regression and Ensemble Kalman Filter (ガウス過程回帰とアンサンブルカルマンフィルタによる物理探査とサウンディングのデータ融合)
論文審査委員	准教授 珠玖隆行 教授 西村伸一 准教授 柴田俊文
<b>学位論文内容の要旨</b>	
<p>Site characterization is a pivotal step in civil engineering. Geotechnical site investigations and geophysical surveys are the two main methods employed for site characterization, each with its distinct purposes and technical approaches. This study introduces a data fusion method based on Bayesian theory. Our goal is to fuse geotechnical data with geophysical data for site characterization. Common data fusion methods adequately consider spatial variability but utilize inverted geophysical data, overlooking uncertainties introduced by inversion. However, inversion uncertainties, stemming from non-uniqueness of solutions, can be significant. We use original geophysical data, such as seismic waveforms. By applying Bayesian inversion, we quantify uncertainties caused by non-unique solutions. Specifically, we employ the Ensemble Kalman Filter (EnKF), a method updating parameter probability distributions based on statistical relationships between parameters and observations. Unlike gradient-based inversion methods, it does not require solving Jacobian matrices based on physical relations. This facilitates our method's use of various geophysical data for joint inversion. For instance, general surface wave methods solely invert using dispersion curves. However, proposed framework in this study can integrate first arrivals with dispersion curves for joint inversion with ease. Numerical experiments confirm the relatively high accuracy of our joint inversion compared to inversions that using single data. The initial model for inversion is constructed using geotechnical data. We first assume the subsurface as a Gaussian random field, then update it using Gaussian Process Regression (GPR). This quantifies uncertainties from spatial variability. Samples drawn from this Gaussian field serve as initial ensemble for EnKF. Unlike traditional deterministic inversion, the initial model's uncertainty also affects the inversion results. Intuitively, parameters with higher uncertainties are more likely to be adjusted during inversion, and vice versa. Starting from scratch, we first assume a random field, update it with geotechnical data using GPR. This random field is then represented by samples, which are further updated with geophysical data (that is, through Bayesian joint inversion). Our results encompass both spatial variability of geotechnical data and uncertainties from inversion of geophysical data. We introduced this framework from theories to application, including establishing random fields using GPR and other traditional methods, parameter updating using EnKF(that is, inversion), and constructing a reasonable forward model (mainly finite element models). The method's effectiveness is meticulously validated with synthetic data, from simple models to complex models.</p>	

## 論文審査結果の要旨

本研究は、基本的地盤調査法であるサウンディング試験と物理探査の一手法である弾性波探査から得られる地盤の剛性の情報を融合する手法を提案するものである。研究対象として、ため池堤体とその基礎地盤内部の物性同定を取り上げている。サウンディング手法としては、ため池などの狭小サイトでも実施可能な、スクリーウエイトサウンディング試験（SWS）を採用し、弾性波探査法として、最も需要の高い表面波探査法（SWM）を用いている。学位申請者は、これら異なる二種類の試験結果を融合する手法として、データ同化手法であるアンサンブルカルマンフィルター（EnKF）の応用を提案している。また、SWMを模擬するための手法として、有限要素法（FEM）を使用している。本研究では、EnKFとFEMを組み合わせることによって、複雑な地盤構造の同定に成功している。この成果における研究の独自性および創造性は次の点に集約される。

1. SWS結果にガウス過程回帰（GPR）を適用し、地盤のランダムな構造（確率場）をモデル化し、この情報をEnKFと適合させた点
2. SWMの波動解析に有限要素法を応用し、EnKFに適合させることにより、複雑な地層構造や境界条件をもった地盤の内部構造同定を可能にした点
3. SWMにおける波動の初期到達速度と分散曲線について、同時にデータ同化を行うジョイントインバージョンを提案している点

学位審査委員会は、上記の内容と成果が博士論文として適切であり、本文中に研究内容が正確に記述されていることを確認した。また、審査会においては、学位申請者による適切な発表および質疑に対する応答がなされたことから、審査委員会は、申請者が、博士の学位に相応しいと判断した。