

氏 名 ( 本 籍 )	RUNGBANAPHAN PONGWIT (タイ)
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学 位 授 与 番 号	甲第 383 号
学 位 授 与 日 付	平成 22 年 3 月 25 日
専 攻	生産開発システム工学専攻
学 位 論 文 題 目	A Spatial-Temporal Random Process for Geotechnical design based on Observation Method (時間—空間確率過程を用いた観測法に基づく地盤設計法)
学位論文審査委員	(主査) 能 島 暢 呂 (副査) 八 嶋 厚 本 城 勇 介 吉 田 郁 政 (東京都市大学教授)

### 論文内容の要旨

This research proposes a methodology for Geotechnical design based on spatial-temporal random process using observation method. Temporal soil behavior is introduced based on geotechnical models which describe ground behavior at an arbitrary point with time through the unknown parameters employed in the model, while the spatial correlation of the soil behaviors is introduced through the spatial correlation of these unknown parameters. This method is based on Bayesian estimation by considering both prior information of the unknown parameters, including spatial correlation, and observation data of the ground behavior to search for the best estimates of the parameters at any arbitrary points on the ground. The optimized selection of auto-correlation distance and observation error by Akaike's Bayesian Information Criterion (ABIC) is also proposed. For the case that process noise, i.e. forgetting factor, is needed to be considered in observation updating process, the Kalman filter is presented as an alternative approach for unknown parameter estimation. It is proved in this study that, for the static problem without process noise, the Kalman filter yields results that are identical to those from the Bayesian estimation. The Kriging method is also presented as an optional approach for spatial interpolation of the unknown parameters. The difference between the spatial interpolations using the Kriging method and the proposed method, for which the interpolations are included in the Bayesian formulation, is also discussed.

The application in the prediction of primary consolidation and secondary compression settlement is presented as the application examples of the proposed method. Several case studies were carried out using both simulated settlement data and actual field observation data to investigate the performance the proposed approach. It is concluded that the accuracy of the settlement prediction can be improved by taking into account the spatial correlation structure and the proposed approach gives the rational prediction of the settlement at any location at any time with quantified uncertainty. The sensitivity of this improvement to variations in the auto-correlation distance, observation spacing, and number of observation points is investigated. The accuracy of the estimation of auto-correlation distance, observation error, and the final settlement at an arbitrary location is also discussed. In addition, it was found that, by including process noise in the calculation, one can introduce a kind of forgetting factor which actually gives more weight to the more recent observation and improve prediction. However, care should be taken in choosing this forgetting factor in order to optimize the prediction.

### 論文審査結果の要旨

本研究は、時間—空間確率過程を用いて、観測法に基づき地盤構造物の設計を行う方法を、できる限り一般的に定式化すると共に、これを地盤沈下の問題に適用したものである。

地盤のある任意の一点における時間的挙動は、地盤工学では古くから研究されており、そのようなモデルを本研究でも採用している。一方本研究では、このような時間的挙動は、このような時間的挙動モデル

で地盤を記述するパラメータが空間的に相関していると仮定し、時空間確率過程として、現象を記述している。時空間モデルの構築において、時間の影響と空間の影響をどのように分離し、モデルに導入するかは、この種の問題の最大の課題であるが、このモデルでは、時間的影響は、伝統的な時間モデルにより、空間的影響はこのモデルをコントロールするモデルパラメータの空間的な相関により、導入している点に、最大の特徴とオリジナリティーがある。

観測的方法のモデル化は、統計学のベイズモデルを用いて行われている。すなわち、モデルパラメータの推定は、工事前に行われる地盤調査結果による事前情報と、現象進行中に得られる空間内のいくつかの点における観測情報により行われる。このモデルにおいて、パラメータの空間的相関を表す、自己相関距離は重要なパラメータであり、かつ観測情報から安定的に推定することが困難なパラメータとして知られている。この研究では赤池ベイズ情報量基準を導入することにより、この問題を解決している。同時に、数値的なシミュレーションより、どの程度精度の高い自己相関距離の推定が、予測のために必要かについても示している。さらにこの研究では、カルマンフィルターとベイズ推定の関係も考察し、カルマンフィルターでいわゆるプロセスノイズを無視した場合、ここで定式化したベイズモデルとカルマンフィルターは一致することを示している。従って、本問題はカルマンフィルターによっても定式化可能である。さらに、空間的なデータの内挿法として知られる **Kriging** と本方法の関係を検討し、本定式化は **Simple Kriging** を空間的な内挿法として用いることと等価であることを示した。従って、他の **Kriging** の方法（例えば **Ordinary Kriging**）をモデルに導入し、目的に応じてモデルを修正することも可能である。

本研究では地盤沈下を具体的な問題として取り上げ、モンテカルロシミュレーションと実データの解析を通して、本研究で提案した方法の有効性を検討している。具体的には、軟弱地盤の一次圧密沈下を対象にした浅岡法と、有機質土（PEAT）地盤の二次圧密を対象とした沈下量-対数時間モデルを構築している。モンテカルロシミュレーションの種々の計算結果によると、空間的な相関が沈下予測に有意に機能するのは、観測間隔が自己相関距離の半分程度以下の場合であることが分かった。またこの方法を用いて、任意時間の任意点の沈下量を、その定量化された不確実性を含めて予測できることも示された。さらに、本問題をカルマンフィルターで定式化した場合、プロセスノイズの大きさは、予測モデルの記憶の長さ（**forgetting factor**）として働き、場合によっては予測の精度を高めることに貢献することも示された。

### 最終試験結果の要旨

能島暢呂、本城勇介、八嶋厚、及び吉田郁政で構成する審査委員会は、本論文および別刷りなどを慎重に検討した。本論文は本人により作成され、学位論文として十分完成された内容を有していることを確認した。また最終試験（公聴会）を、平成 22 年 2 月 10 日午前に開催し、その後審査委員会での審査の結果、合格と判定した。