

粒子フィルタを用いた大阪湾洪積粘土層の確率論的沈下予測

大阪大学 学生会員 ○窪田 上太郎
 大阪産業大学 正会員 小田 和広
 鹿児島大学 正会員 伊藤 真一

1. はじめに

大阪湾には数多くの埋立人工島が存在している。埋立人工島の維持管理計画には、圧密挙動の予測は欠かすことができない。大阪湾の埋立人工島の沈下予測において、沖積粘土層では、地盤調査の量が豊富であることから、その沈下挙動を比較的精度よく予測できる。一方、洪積粘土層では、地盤調査の数が少ないことに加え、疑似過圧密といった特徴的な圧密特性を有していることから、室内試験結果のみからその沈下挙動を予測することは容易ではない。そのため、洪積粘土層では沈下量や間隙水圧の動態モニタリングが行われ、それに基づき埋立人工島の維持管理が行われている。

ところで、近年様々な分野でデータ同化手法¹⁾が普及しつつある。データ同化とは、シミュレーションモデルを観測値によって逐次修正し、その修正されたモデルを使用して精度の良い予測値を得ようとするものである。地盤工学では、雨水浸透²⁾や圧密沈下³⁾の分野で既に適用例がある。

本研究では、大阪湾洪積粘土(Ma12)層を対象として、沈下量と間隙水圧の実測値を用いた粒子フィルタ(以下、PF)によるデータ同化を行い、Ma12層の将来の沈下量を確率論的に予測する。

2. データ同化解析の概要

PFは、システムの状態に関する確率分布を粒子と呼ばれる多数の実現値集合で近似的に表現するデータ同化手法である。それぞれの粒子は、数値解析モデルの情報と各モデルにおいてシミュレーションを行って算出される各時刻の物理量(沈下量、間隙水圧など)を情報として有している。PFにも様々なアルゴリズムがあるが、代表的なものの一つである Sequential Importance Sampling

(以下、SIS)⁴⁾では、1期先予測とフィルタリングの二つの計算ステップを繰り返して実現値との適合度が高いモデルを推定する。まず、1期先予測では時刻 $t-1$ から t までのシミュレーションを行う。次に、フィルタリングでは、シミュレーション結果と実現値との適合度に応じ、ベイズの定理を用いて各粒子に重みを与える。このステップを繰り返して、各タイムステップで算出した重みの和をとっていく。それにより実測値に適合する粒子により大きな重みがつき、実測値に対して適合度の高いモデルを推定することができる。

本研究では、シミュレーションモデルとして、一次元に特化した土～水連成解析を用いる。図-1は、本研究で使用した圧縮曲線の概念図を示している。一次元圧密状態を仮定しているため、一般的な $e-\log p$ 関係によって圧縮曲線をモデル化している。そのため、同定すべきパラメータは、圧縮指数 C_c と過圧密比 OCR になる。これに加え、圧密速度を決定する透水係数 k の3つのパラメータについてデータ同化を行う。表-1は、解析にあたって設定した各パラメータの範囲を示している。これらの範囲は、土質試験結果におけるバラツキを考慮して設定した。解析では、この範囲の中で値がランダムになるように決定したパラメータを持つ700個の粒子を作成した。また、

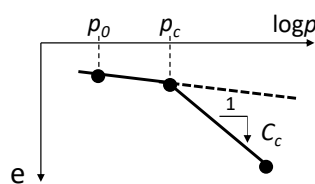


図-1 圧縮曲線の概念図

表-1 設定したパラメータの範囲

	k (cm/s)	C_c	OCR
最大倍率	1.50	1.40	1.04
最小倍率	0.67	0.67	0.96

実測値の誤差は正規分布に従うものとし、その標準

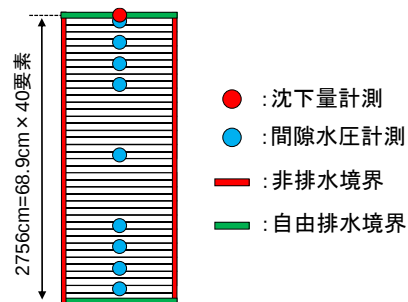


図-2 一次元解析モデル

キーワード 粒子フィルタ、圧密沈下、データ同化、洪積粘土

連絡先

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 TEL:06-689-7626

偏差は、沈下量では 1cm、間隙水圧では、 0.3kgf/cm^2 とした。また、誤差共分散は 0 とした。

3. 使用した実測値の概要

本研究では、データ同化に用いる実測値として、H14 から H26 までの大阪湾洪積粘土の Ma12 層（層厚約 27m）で計測された沈下量と間隙水圧のデータを使用した。図-2 は、本研究で使用した 1 次元解析モデルを示している。解析モデル上での沈下量の計測位置は赤丸（1 深度）、間隙水圧の計測位置は青丸（9 深度、最上部から、0, 2, 4, 6, 13, 20, 22, 24, 26m）で示している。

4. データ同化結果と将来の沈下量の予測

図-3 は、データ同化によって同定された沈下量の経時変化を沈下量の実測値と併せて示している。なお、同定された沈下量は、データ同化後に得られた重み付き平均の分布から重み付き平均として求めた。また、図-4 は、H26 でのデータ同化後の沈下量の確率分布を示している。この結果を用いて、Ma12 層の約 40 年後の沈下量を確率分布として導出する。図-5 は、H63 までの沈下量の予測値の経時変化を沈下量の実測値と併せて示している。また、図-6 は、H63 年での沈下量の確率分布を示している。表-2 は、その確率分布の重み付き平均とその標準偏差を示している。H63 での Ma12 層の沈下量は、平均 115.38cm、標準偏差 16.07cm の確率分布で表現できた。

5. 結論

本研究では、大阪湾洪積粘土 (Ma12) 層を対象に、沈下量と間隙水圧の実測値に基づくデータ同化を通じ、Ma12 層の将来の沈下量を確率論的に予測した。その結果、Ma12 層の H63 での沈下量は、平均 115.38cm、標準偏差 16.07cm の確率分布で表現できることがわかった。

参考文献

- 樋口知之：予測にいかす統計モデリングの基本，講談社，pp.25-120，2011.
- 伊藤真一，小田和広，小泉圭吾，臼木陽平：現地計測結果に基づく土壌水分特性パラメータ同定に対する粒子フィルタの適用，土木学会論文集 C（地圏工学），Vol.72，No.4，pp.354-367，2016.

表-2 H63 での沈下量の重み付き平均と標準偏差

2051年	重み付き平均	標準偏差
予測値	115.38	16.07

- 珠玖隆行，村上章，西村伸一，藤澤和謙，中村和幸：粒子フィルタによる神戸空港沈下挙動のデータ同化，応用力学論文集，Vol.13，pp.67-77，2010.

- Doucet, A., Godsill, S. and Andrieu, C.: On sequential Monte Carlo sampling methods for Bayesian filtering, *Statistics and Computing*, Vol. 10, pp.197-208, 2000 .

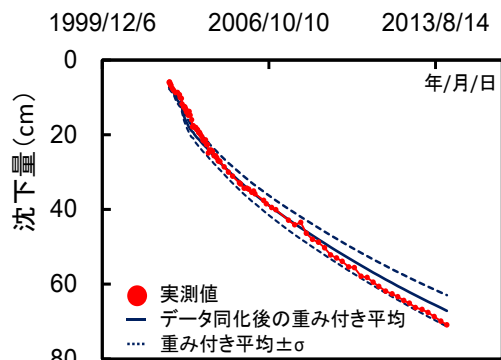


図-3 沈下量の経時変化

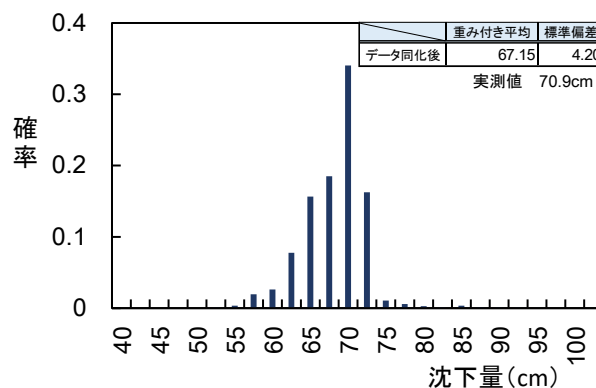


図-4 H26 での沈下量の確率分布

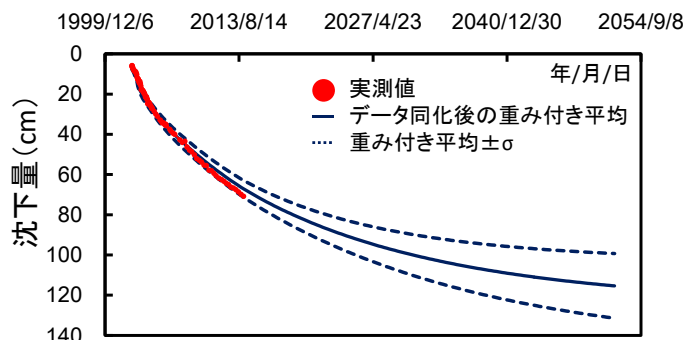


図-5 H63 までの沈下量の経時変化

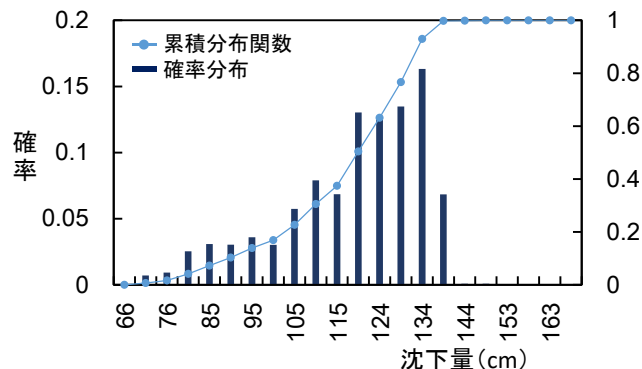


図-6 H63 での沈下量の確率分布