

海上空港滑走路を対象とした DMD による圧密沈下量の将来予測のための基礎検討

東京都市大学 学生会員 ○堀田 海陽 東北大学 学生会員 中村 朋佳
 東京都市大学 正会員 吉田 郁政 東北大学 正会員 大竹 雄
 港湾空港技術研究所 正会員 高野大樹

1. はじめに

羽田空港や関西国際空港の滑走路など、沖合に建設される海上空港では、将来の不同沈下量を予測することは重要な課題である。この課題に対して観測値から将来の挙動を予測する検討が広く行われている。経験的な方法や有限要素法を用いた数値解析を観測情報と整合させることで予測精度の向上を図るデータ同化などがあげられる。また、近年では Dynamic Mode Decomposition (DMD)¹⁾などのデータ駆動型のアプローチも注目されている。これらの方法においては欠損値や異常値が含まれない大量の上質なデータがあることが好ましい。

本報告ではデータ駆動型アプローチによる沈下量の将来予測に向けての基礎検討として Hodrik-Prescott Filter (HP) フィルタ²⁾による時間方向の欠損データの内挿、ガウス過程回帰³⁾ (Gaussian Process Regression, 以下 GPR) による空間方向の内挿を行った例を示す。また、DMD を用いた沈下量の将来予測の試計算の結果についても示す。

2. 対象施設の概要

本研究ではある海上空港の滑走路埋立部を対象としている。図-1 に沈下量を測定した 41 地点の平面図および沈下の時刻歴を示す。沈下量の測定開始日、測定期間は地点ごとに異なっており、最大の沈下量は 7m 程度である。多くの地点でデータの欠損やノイズが確認された。

3. HP フィルタによる欠損の補間とノイズ除去

HP フィルタは 1980 年に Hodrik と Prescott によって提案された平滑化を行うため手法である。これは事前情報を考慮した確率的逆問題として考えることができる。式(1)にその目的関数を示す。

$$J = \beta(\mathbf{z}-\mathbf{x})^T(\mathbf{z}-\mathbf{x}) + \alpha\mathbf{x}^T\mathbf{D}_1^T\mathbf{D}_1\mathbf{x} \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{z}$: 原データのベクトル、 $\mathbf{x}$: ノイズ除去や補完を行ったベクトル、 α , β : ハイパーパラメータ、 $\mathbf{D}_1$: 正則化に関する行列である。

$$\mathbf{D}_1 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & -1 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

ベクトル $\mathbf{x}$ については、式(1)を最小化する解析解が存在する。ハイパーパラメータについては負の対数周辺尤度を最小化する解析解は存在しないため BFGS 法 (Broyden Fletcher Goldfarb Shanno algorithm) により推定した。しかし、過学習の傾向が見られたため、本検討では推定された値よりも大きめの値を用いた。図-3 に HP フィルタによる内挿結果の一例を示す。観測データの欠損部分の補間とノイズの除去が良好に行われている。

4. GPR による空間方向の推定

GPR は多変量ガウス分布からなるガウス過程を用いて推定を行う方法である。式(3)に推定式を示す。

$$\mathbf{x}_2 = \mathbf{M}_{12}^T[\mathbf{M}_{11} + \mathbf{R}]^{-1}\mathbf{z} \quad (3)$$

ここで、 $\mathbf{x}_2$: 推定値ベクトル、 $\mathbf{M}_{ij}$: 共分散行列、添え字 i, j は 1 を観測の地点、2 を推定の地点とする。共分散行列の各要素 cov は式(4) のガウス型の自己相関関数より求める。

$$cov = \sigma^2 \exp\left(-\pi\left(\frac{d}{\delta}\right)^2\right) \quad (4)$$

ここで、 σ : 標準偏差、 d : 2 点間距離、 δ : scale of fluctuation である。図-3 に GPR で推定した沈下計測開始 437 日目と 845 日目における沈下量の空間分布を示す。

5. DMD による沈下量予測の試算

上記の HP フィルタによってノイズ除去と補間を

キーワード HP フィルタ、欠損・ノイズ除去、GPR、DMD

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 総合理工学研究科 TEL 03-5707-0104

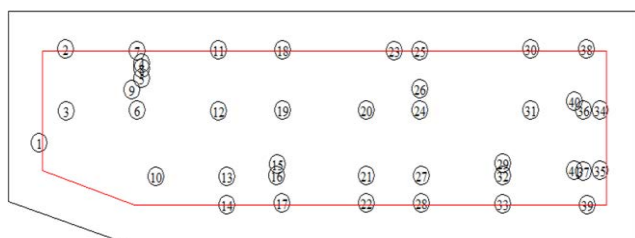
行った 41 地点のデータを用いて DMD¹⁾による沈下量の予測を行った。学習データ区間は図-2 中の赤線で囲まれた 1 年間のデータを用い、予測期間は青線で囲まれたその後の 1 年間とした。図-4 に DMD による将来予測の結果を示す。場所によって良い予測結果と悪い予測結果が得られた。

6. おわりに

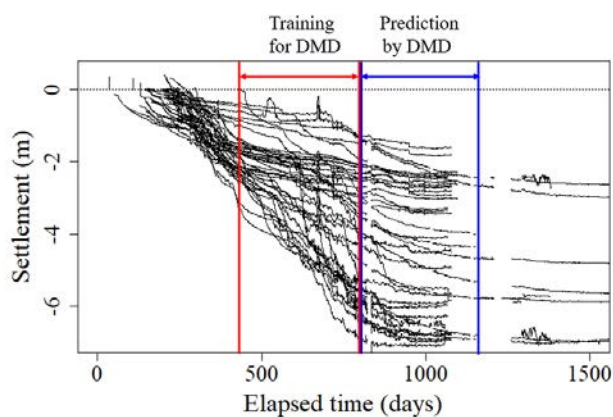
本報告では、HP フィルタを用いた内挿による沈下データの欠損値の補間とノイズ除去について行った。GPR を用いた空間方向の推定により D 滑走路全体の沈下傾向を確認し、DMD による沈下の将来予測を行った。今後は制御項を考慮した DMDc¹⁾を用いた将来予測の検討を行う予定である。

参考文献

- 1) Kutz J. et al : Dynamic Mode Decomposition. Data-Driven Modeling of Complex Systems, Society for Industrial & Applied Mathematics, U.S., 2016.
- 2) Ravn MO. et al : On Adjusting the Hodrick-Prescott Filter for the Frequency of Observations, Review of economics and statistics, Vol.84 ,No.2 ,pp.371-376 , 2002.
- 3) 持橋ら：機械学習プロフェッショナルシリーズ ガウス過程と機械学習，講談社，2019.



(1) 沈下計測点の平面図



(2) 沈下の時刻歴

図-1 海上空港滑走路の沈下に関する計測情報

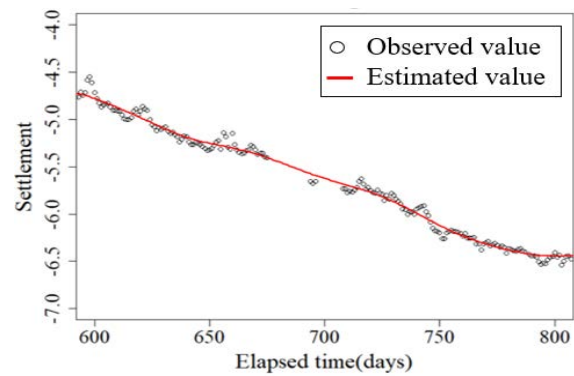
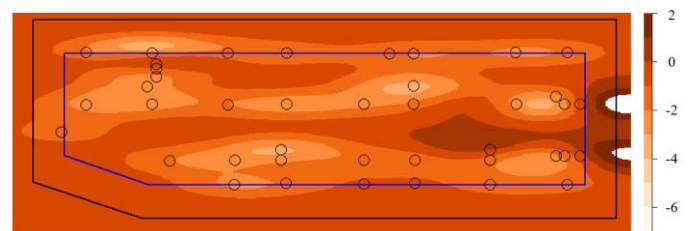
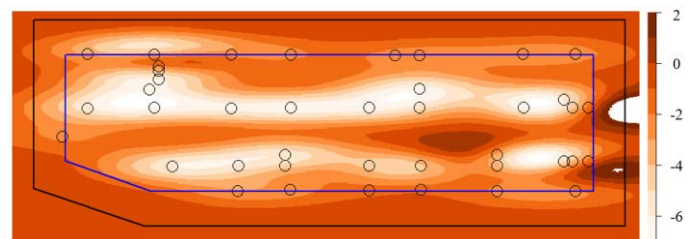


図-2 HP フィルタによる内挿結果

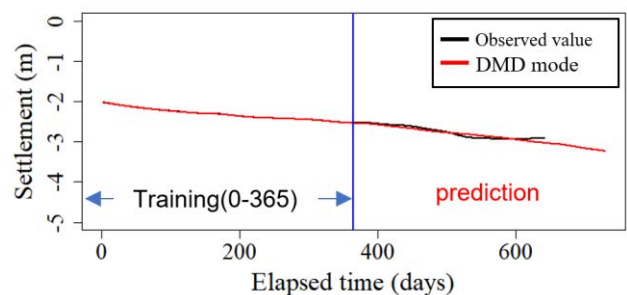


(1) 437 日目

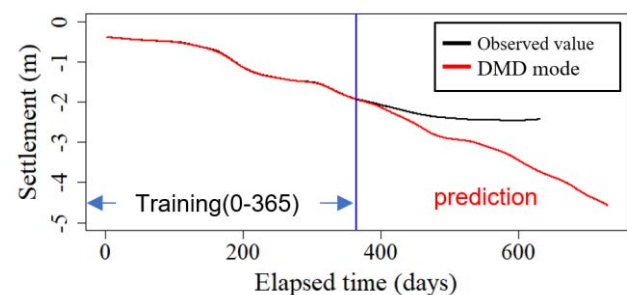


(2) 845 日目

図-3 GPR により推定された沈下量の分布



(1) 良い予測結果



(2) 悪い予測結果

図-4 DMD による将来予測結果