

## 大気圧工法による地盤挙動を対象としたデータ同化 Data assimilation of ground behavior under vacuum consolidation

○増谷 優\*, 村上 章\*, 柴田俊文\*\*, 藤井 睦\*\*\*

Masutani Yu, Murakami Akira, Shibata Toshifumi, Fujii Makoto

### 1. はじめに

設計・施工管理をする上で地盤挙動予測を行う場合、地盤のパラメータの適切な設定が必要となる。本文では、大気圧工法を施した調整池基礎の地盤挙動に対し、粒子フィルタ(PF)を用いたデータ同化<sup>1)2)</sup>により、実際の観測値に基づいて弾塑性構成式のパラメータを同定した。具体的には、SYS カムクレイモデル<sup>3)</sup>を用いた水～土連成有限要素法とPFについて、その適用性を検討するとともに、各ブロックに一次元モデルをあてはめてパラメータを推定した例との比較を行った。

### 2. 調整値基盤

対象とする、大気圧工法が施された調整池基礎地盤の平面図を図-1に示す。この地盤を48の施工ブロックに分け、各ブロックで大気圧载荷中の負圧履歴を測定した。周囲にはプレロード盛土(薄い灰色の領域)を段階载荷している。ブロックの中でも、濃い灰色の領域を対象領域としてモデル化し、解析を行った。対象領域内中央 X 方向の垂直断面図を図-2に示す。基本的には粘性土層と砂層の互層で構成されているが、地表面から深度-3~-4mのところでは腐植土層が分布している。

### 3. 解析条件

実施工の設計段階では、大気圧工法による間隙水圧減少分を鉛直方向の圧密荷重増加分と見なし、Barron の理論に基づいた一次元圧密モデルを図-1の各ブロックについて用いた。しかし、この計算方法は体積変化が応力経路に依存しないと仮定したもので、地盤条件や施工過程が複雑な場合には適さない。そこで、SYS カムクレイモデルを用いた水～土連成有限要素解析を実施した。図-3は図-2断面に関する有限要素メッシュ、境界条件と観測機器の配置を示す。解析条件の設定にあたっては、真空圧密工法に対する既往の事例解析<sup>4)</sup>を参考にした。荷重条件は大気圧工法による負圧とプレロード盛土の段階载荷とし、同定するパラメータには、粘性土層の圧縮指数 $\lambda$ と透水係数 $k$ (cm/sec)を選定した。粒子数を200とし、一様乱数により $0.372 \leq \lambda \leq 1.115$ ,  $-8.0 \leq \log k \leq -6.8$ の範囲で粒子を作成した。作成した粒子に基づいて、盛土直下の地盤挙動を対象とした弾塑性シミュレーションを行い、観測データとして吸引開始140日後までの盛土直下の地表面沈下量

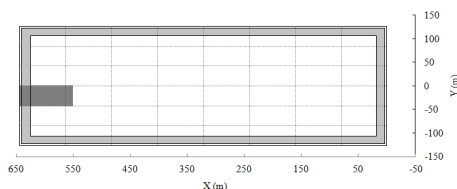


図-1 平面図  
Plane figure

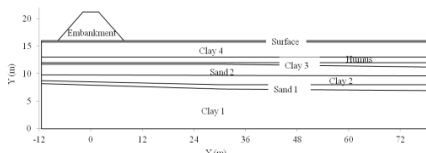


図-2 対象領域の地盤構成  
Soil profile of foundation

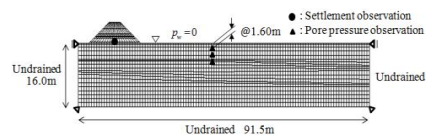


図-3 有限要素メッシュ  
Finite element model

\*京都大学農学研究科 Kyoto University \*\*松江工業高等専門学校 Matsue College of Technology \*\*\*  
NTC コンサルタンツ株式会社 NTC Consultants, Co. Ltd: 大気圧工法 データ同化 粒子フィルタ

を用いて、PF によるデータ同化を実施した。

#### 4. データ同化結果

同定パラメータ(各時刻におけるパラメータの重み付き平均)の経時変化を図-4、図-5に示す。各図中には3ケースの分散  $R_t = (\xi S)^2$  (S:観測点における最大沈下量)を用いた結果を示した。比較対象とした設計段階の推定は、Barron の理論に基づいた圧密沈下量算定結果と観測値の残差二乗和最小とした。λについて一次元モデルを用いた同定結果と比較すると、PF による同定パラメータは顕著に小さな値となった(図-5)。また、負圧荷開始 140 日後の重みの分布形状を図-6に示す。ここでは特に正規分布に近い形状となった  $\xi=0.21$  を適切な分散値とし、その結果のみを示す。圧縮指数と透水係数の重みの分布を比較すると、透水係数の観測値に対する感度が圧縮指数よりも高いことが分かる。そこで、本文では  $k$  を固定して  $\lambda$  を再度同定した。透水係数  $k$  を一回目で得られた同定パラメータ  $k = 1.14 \times 10^{-7}$  (cm/sec), 圧縮指数  $\lambda$  は粒子数を 70 とし、一様乱数により  $0.581 \leq \lambda \leq 1.115$  の範囲で作成した。負圧荷開始 140 日後の重みの分布形状を図-7に示す。重み分布の形状に鑑み、 $\xi=0.21$  を適切な分散値とした。同定パラメータ( $\lambda=0.820$ ,  $k = 1.14 \times 10^{-7}$  (cm/sec))を用いた順解析結果を図-8に示す。室内土質試験結果より、膨潤指数  $\kappa$  は圧縮指数  $\lambda$  に従属させて特定できるものとする、現実に即した圧密特性を同定することで、対象領域について負圧荷停止、盛土撤去後の残留沈下量、またはリバウンド量の予測精度を高めることができると考えられる。

#### 5. おわりに

大気圧工法が適用された地盤についてデータ同化を適用した。一次元圧密沈下計算に基づいたパラメータ推定に対し、地盤内の応力状態をより適切に表現できる SYS カムクレイモデルを使用し、PF によりパラメータ同定した。その結果、予測が困難な大気圧荷による沈下挙動を表わすことができた。また、PF は解析結果を確率分布の形で表わすことができるので、将来沈下量の確率分布を予測することで、設計・施工管理の評価に適用可能であると考えられる。

■参考文献 1) 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島沈下挙動のデータ同化, 応用力学論文集, 13: 99-105, 2010. 2) Shuku, T., Murakami, A., Nishimura, S., Fujisawa, K. and K. Nakamura: Data assimilation for experimental behavior of soil deposit by the particle filter, *Soils and Foundations*, 52(2), 2012. 3) Asaoka, A., Noda, T., Yamada, T., Kaneda, K. and M. Nakano: An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, *Soils and Foundations*, 42(5): 47-57, 2002. 4) 金田一広・渡部要一・山崎浩之・新舎 博・椎名貴彦: 水～土連成計算による真空圧密工法の改良メカニズムの検討とその適用例, 地盤工学ジャーナル, 4(3): 245- 258, 2009.

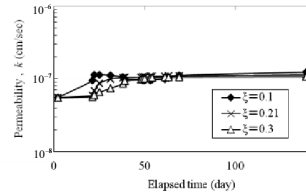


図-4 同定パラメータ  $k$  の経時変化  
Identification of  $k$

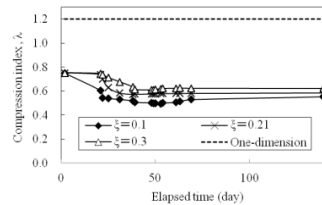


図-5 同定パラメータ  $\lambda$  の経時変化  
Identification of  $\lambda$

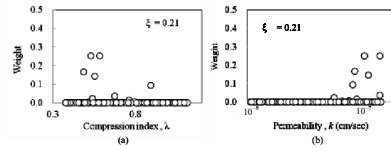


図-6 重みの分布形状  
Weight distribution

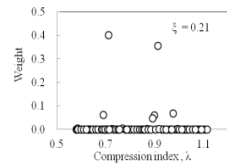


図-7 重みの分布形状  
Weight distribution

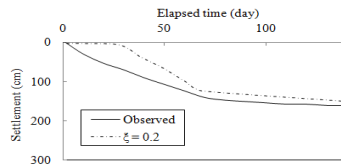


図-8 同定パラメータを用いた解析結果  
Numerical results using identified parameters