

観測値から地盤挙動のメカニズムを把握し将来予測精度を向上

ーシミュレーションと実測データを融合した実用的「地」象予測に期待ー

概要

村上 章 京都大学農学研究科教授らの研究グループは、データ同化¹によって、砂や粘土といった地盤材料の変形を計測したデータをシミュレーションモデルと融合し、より実際の地盤の動きに近い予測ができるような適切な構成モデル²と弾塑性材料³の材料パラメータを決定することに成功しました。

データ同化は、予測のための最適な計算条件やシミュレーションモデルに必要なパラメータの最適値を求めることなどを目的に行われます。本論文では地盤を対象として、地盤の動きをシミュレートした際の最適なパラメータ設定を目的としていますが、地盤変形の計測データをもとに、今まで困難であった土の弾塑性モデルの選択と材料パラメータの同定を同時に行い、それらの最適な組み合わせを合理的に決定する手段を提案しています。今回の研究では、神戸空港人工島の地盤のデータを用いて提案手法の有効性を実証しました。

地盤構造物の設計には、事前に、材料となる土の弾塑性モデルを選定する必要があります。本論文で提案した方法により、従前より精度の高い将来予測が可能となり、実務上の応用が大きく期待されます。

論文は7月14日、*International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics* に掲載されました。

1. 背景

土質材料に力が加わった際にどの程度の変形が生じるのか予測するには、一般的に材料の弾塑性モデルが用いられます。土質材料の変形は複雑であり、これまでに多くの弾塑性モデルが提案されてきました。現在でも、土のすべての変形挙動を記述できるモデルは存在せず、対象とする現象に応じて適切なモデルを選択することが求められます。これに加えて、土の変形挙動を予測するために数値シミュレーションを行うとしても、必要な材料パラメータが事前に決定できないことがほとんどです。本研究では、このような状況を効果的に改善するため、データ同化の見地にたち、状況に応じた適切な土の弾塑性モデルの選択と解析条件、材料パラメータの決定を同時に実現することを目的としました。

2. 研究手法・成果

土の変形をシミュレートするには、数値解析手法として土の変形と地中の水の流れを同時に解くことのできる土-水連成有限要素法を用います。このシミュレーションに適切な土の弾塑性モデルと材料パラメータを、データ同化手法を通して決定を試みました。

研究で用いた弾塑性モデルの特徴は、土がせん断を受ける際の体積変化に関するパラメータを変化させることで幅広い降伏曲面⁴形状を表現できる点にあります。この体積変化を正確に記述できない場合、シミュレーションと実際の地盤の変形が異なる原因になります。

¹ 数値シミュレーションなどによって得られる予測値を、実際に観測されるデータに合理的に近づける作業。

² 加えた力と変形量の関係を記述するモデル。

³ 弾性（作用した力がなくなると変形が回復する性質）と塑性（変形が回復しない性質）の両方の性質を有する材料を意味し、土は弾塑性材料としてモデル化されることが多い。

⁴ 弾性（作用した力がなくなると変形が回復する応力状態）と塑性（変形が回復できない応力状態）の境目を規定する応力の関数

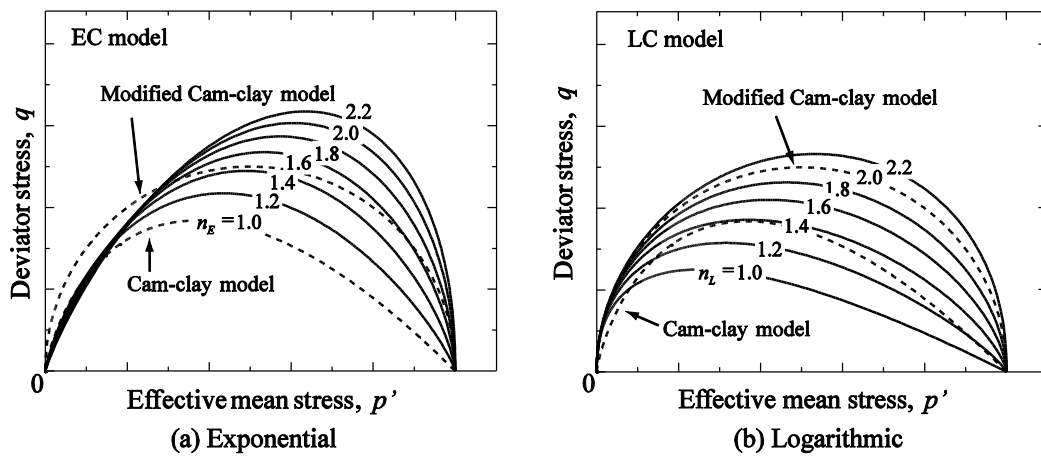


図1 EC/LC弾塑性モデルの降伏曲面の形状

(n_E 、 n_L のパラメータの値を変えることで、実線で示すような多彩な降伏曲面の形状変化を実現できる)

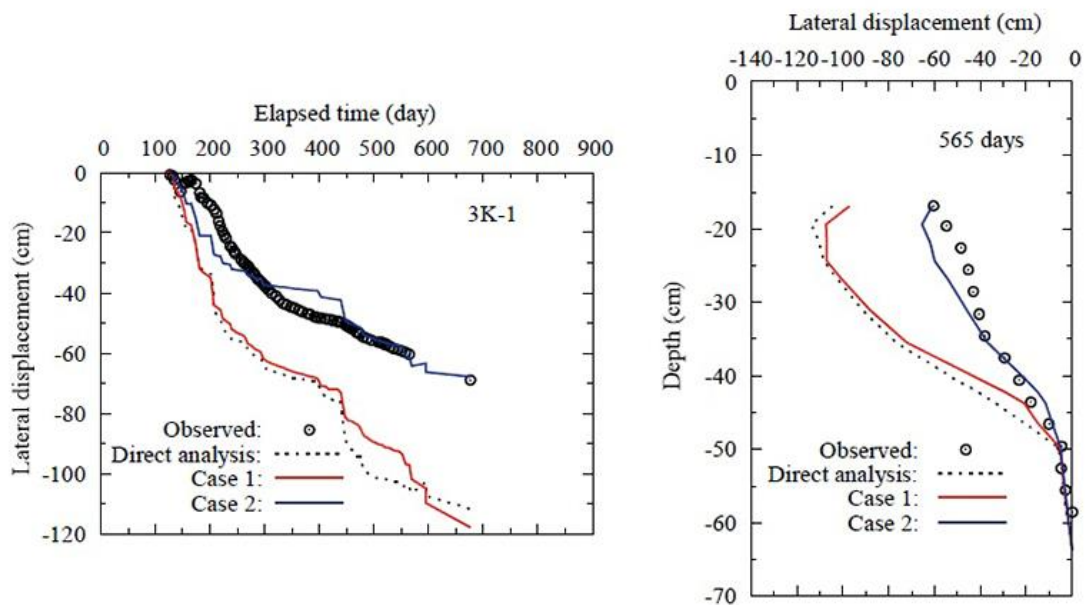
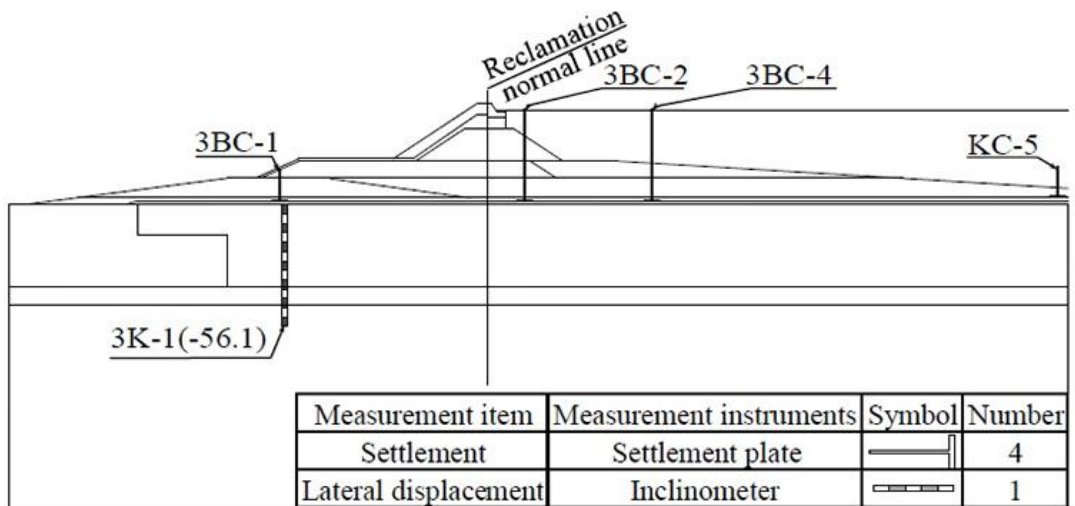


図2 神戸空港人工島の地盤断面図とデータ同化結果

今回用いた弾塑性モデルは幅広い体積変化を表現できる有用なモデルであり、この降伏曲面の形状に関するパラメーターを決定することで、適切な弾塑性モデルを選択できます。また、シミュレーションと実際の観測値を繋ぐ手段として、過去の研究でも有効であった粒子フィルタ⁵を用いました。

粒子フィルタは、データ同化手法の中でも非線形フィルタの一つとして知られます。弾塑性モデルを用いた土の変形問題では、数値シミュレーションのための離散方程式は非線形方程式となり、カルマンフィルタのような線形フィルタでは対応できない問題にも適用が可能です。

3. 波及効果、今後の予定

上記の方法から得られた成果の一つに、神戸空港の地盤の変形予測を著しく改善した例が挙げられます。神戸空港人工島の建設工事では、図2で見られるように中央部に盛土が作られ、右側（空港側）に埋立が行われました。その時に発生した地盤の沈下や側方変位が測定されています。今回の手法を用いた予測結果と実際の観測値、設計時のシミュレーション結果を比較してみると、今回の予測手法はこれまでの手法に比べ実際の観測値とかなり近い予測ができていたことを確認しました。

このように、データ同化手法を地盤の変形計算にうまく組み込むことで、土の基本的な変形特性を確認しながら地盤強度を精度よく予測することが可能となります。

4. 研究プロジェクトについて

科学研究費補助金基盤研究(A)「豪雨／地震災害リスク評価を考慮した農業水利施設（群）のアセットマネジメント」

<論文タイトルと著者>

タイトル：Model identification and parameter estimation of elasto-plastic constitutive model by data assimilation using the particle filter

著者：Murakami, A., Shinmura, H., Ohno, S. and K. Fujisawa

掲載誌：Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech

⁵データ同化のための手法の一つ。フィルタとは、現時点の観測データを用いて、現時点の予測を修正すること。