

インデックスマッチングによる地下水揚水に伴う地盤収縮挙動の可視化(第2報)

田部一憲、愛知正温*、上野広行

(*東京大学大学院新領域創成科学研究科)

【要約】本研究では、簡易安価なインデックスマッチングにより、透明な模擬地盤を用いて「揚水に伴う帯水層と隣接する難透水層における地盤収縮の様子と連動性」を可視化する手法を開発した。令和元年度は、この模擬地盤と実験システムを用いて帯水層及び難透水層の二層模擬地盤を作製して揚水実験を試み、揚水による難透水層地盤の変形挙動を可視化した。

【目的】

地下水揚水による地盤変形において、帯水層と隣接難透水層との境界領域における局所変形や難透水層における部分的な圧密現象については、数値解析による推定をするしかなく、その精度を評価できるような実際の地盤挙動の様子を可視化した情報もない。本研究では、平成30年度に簡易安価なインデックスマッチングによる透明な模擬地盤を用いて「揚水に伴う帯水層と隣接する難透水層における地盤収縮の様子と連動性」を可視化する手法を開発した。令和元年度は、レーザー光源及び撮影機材を中心とした実験システムにより、二層模擬地盤による揚水試験を行い、揚水に伴う模擬難透水層の局所変形を可視化したので報告する。

【方法】

インデックスマッチングとは、外力による地盤内部の変形現象を可視化することを目的として、光の屈折率を同じくする(refractive index matching) 粒状体と間隙流体で作製した透明な模擬地盤 (transparent soil model) を作製し、この模擬地盤に外力を与えて、その内部の様子を模擬地盤側面から照射したレーザー光線の光反射面を画像解析することにより可視化する手法である (図1)。

揚水実験は内寸 30mm×80mm×70mm のガラスタンク底部に水で飽和させた珪砂を敷き、その上に水で飽和させた吸水性樹脂を充填して、上層を飽和難透水層、下層を飽和帯水層とする二層模擬地盤を作製した (図2)。この吸水性樹脂は超軟弱な粘性土の透水特性および圧密沈下特性と非常に類似した特性を有している¹⁾。吸水膨張させた吸水性樹脂はほぼ透明であり、間隙流体についてはそのまま水を用いることにした。帯水層から間隙水を汲み上げたときに難透水層が圧密する様子を可視化するため、難透水層の内部に撮影解像度が比較的良好とされるグリーンレーザーを照射した。難透水層内部に照射されたレーザー反射光は同層と同じ高さで400mm離れた距離から一眼レフカメラで撮影した。撮影画像はPCに取り込んで写真差分解析による地盤内変形領域の抽出を行い、解析画像と数値解析結果との比較を行った²⁾。

【結果の概要】

二層模擬地盤において珪砂からの揚水に伴い、直上に位置する吸水性樹脂が変形した。その吸水樹脂の変形の様子は、模擬地盤にレーザー光線を3方向から照射して、照射面を画像解析して可視化した。図3(上)には実験で照射したレーザー照射方向(No. 1~3)、図3(下)にはレーザー照射された吸水性樹脂の断面解析画像をそれぞれ示す。図3(下)の照射面No. 1~3の各断面の中に見える黒い斑点部分は変形領域を示す。変形は吸水性樹脂全体で一様ではなく、揚水井とストレーナ周辺部分および珪砂との境界領域での変形が顕著であった。図4はBiotの圧密理論による三次元多孔質弾性解析から得られた鉛直変位の計算結果を示す。鉛直変位は二層模擬地盤で難透水層を再現している吸水性樹脂の揚水井が位置する側で最も大きく、図3(下)で示した解析画像と変形領域の分布傾向は合致していることがうかがえた。

今後は、本手法を別途行っている地下水位-地盤変形モデルの局所沈下解析結果の実験的裏付けとして活用する。

【参考文献】

- 1) Tabe, K.: Transparent Aquabeads to Model LNAPL Ganglia Migration Through Surfactant Flushing, Geotechnical Testing Journal, Vol. 38, No. 5, pp. 787-804(2015)
- 2) Tabe, K. and Masaatsu Aichi: Experimental technique for visualization of aquitard compaction over aquifer caused by excess pumping, EGU2020 Sharing Geoscience Online, G3.4, EGU2020-3265(2020)

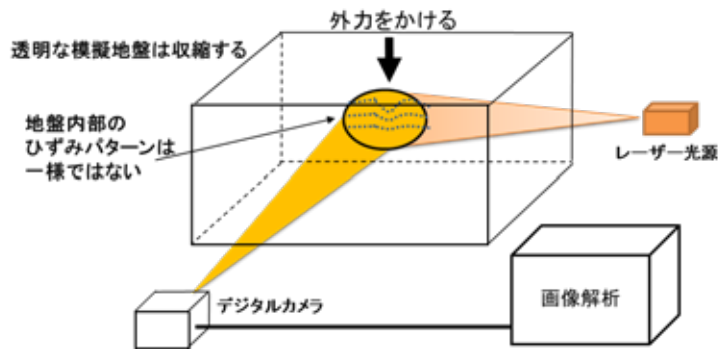
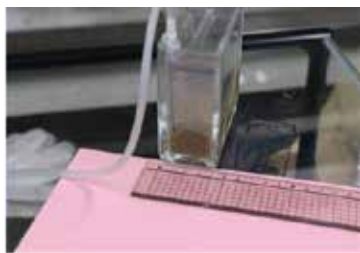
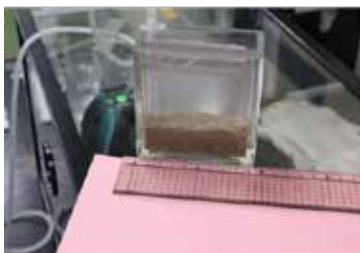


図1 インデックスマッチングの概念図

光の屈折率を同じくする粒状体と間隙流体で作製した透明な模擬地盤(図中)に外力を与えて、その内部の様子を模擬地盤側面から照射したレーザー光線の光反射面を画像解析することにより可視化する手法である。

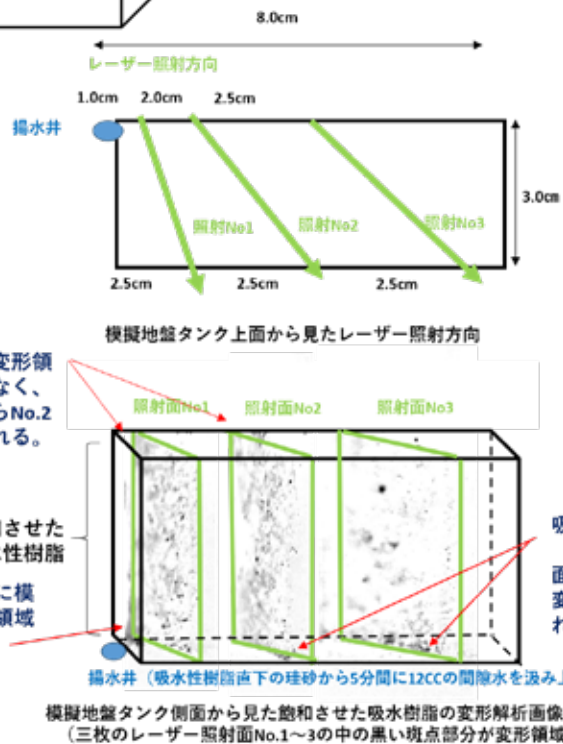


二層模擬地盤タンクの写真(短辺側)



二層模擬地盤タンクの写真(長辺側)

図2 二層模擬地盤タンクの写真(上:短辺側 下:長辺側)



吸水性樹脂の変形領域は一樣ではなく、照射面No.1からNo.2に多く確認される。

模擬地盤タンク側面から見た飽和させた吸水樹脂の変形解析画像(三枚のレーザー照射面No.1~3の中の黒い斑点部分が変形領域)

図3 吸水性樹脂のレーザー照射断面の画像解析結果(模擬地盤タンク長辺側の側面図)

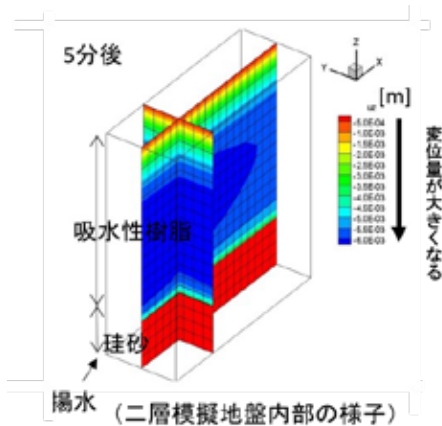


図4 数値解析結果(揚水開始5分後の鉛直変位)

鉛直変位は二層模擬地盤の難透水層を再現している吸水性樹脂、それも揚水井が位置する側で最も大きい。レーザー照射による二層模擬地盤内変形の可視化実験から得られた解析画像と数値解析から得られた計算結果は、二層模擬地盤における変形領域の分布傾向が合致していることがうかがえた。