

プラスチックボードドレーン工法により改良された泥炭地盤の圧密メカニズムについて

秋田工業高等専門学校 ○学生会員 永井雄斗 非会員 奈良葵 正会員 山添誠隆
正会員 花田智秋 学生会員 近江康太郎 非会員 田中慎也

1. はじめに

関東以北に広く分布する泥炭地盤は、著しく軟弱なため、この地盤上に構造物を建設するとすべり破壊や非常に大きな圧密沈下が長期的に渡り生じる。プラスチックボードドレーン工法（以下 PBD）は圧密促進と早期の強度増加を目的とした対策工の一つで、近年、泥炭地盤でも施工事例が急増している。この対策工の設計では水平方向圧密係数を決める必要があるが、試験盛土の逆解析から、地盤改良の有無で圧密係数の評価に大きな乖離が生じ、PBD 改良地盤では期待されるような圧密促進効果が得られていないことが明らかになった。その要因として、本研究では PBD 打設時の地盤の乱れに着目し、人工的に攪乱を与えた泥炭試料の圧密特性を調べた上で、それをモデル化した FEM 解析を実施し、PBD 改良地盤の圧密メカニズムと圧密遅れについて考察した。

2. PBD の実効果

逆解析の対象とした試験盛土は北海道当別町で実施された。当該地では打設ピッチが異なる 3 つの PBD 試験盛土に加え、比較のために無処理の試験盛土も実施された。逆解析の結果から得られた原位置の水平方向圧密係数 $c_{h,f}$ と圧密試験から求めた鉛直方向圧密係数 $c_{v,l}$ の比 $\alpha (=c_{h,f}/c_{v,l})$ と打設ピッチ d の関係を整理したものを図 1 に示す。この図には示していないが、無処理では圧密試験の 10 倍以上の圧密係数を用いないと原位置挙動を再現することができなかった。透水係数の異方性は $k_h/k_v \approx 3$ と言われているので³⁾、 α は 30 以上になることが推測されたが、逆算値は図 1 のように圧密試験の結果に近い値となり、また d が小さくなると α も低下する傾向が見られた。

3. 攪乱された泥炭の圧密特性に基づく乱れの評価

上述したように、試験盛土の逆解析から、PBD の圧密促進効果は、理論から推測されるよりも小さいことがわかった。圧密遅れが生じた理由の一つに PBD 打設時に周辺地盤に形成された攪乱帯（スミア）の影響が考えられる。そこで、泥炭に人工的に攪乱を与え、圧密試験機を用いて攪乱に伴う圧密特性の変化を調べることにした。表 1 は試験に供した泥炭の物理・化学的特性で、自然含水比 w_n および強熱減量 L_i から、高含水で有機物を多量に含んでいることがわかる。

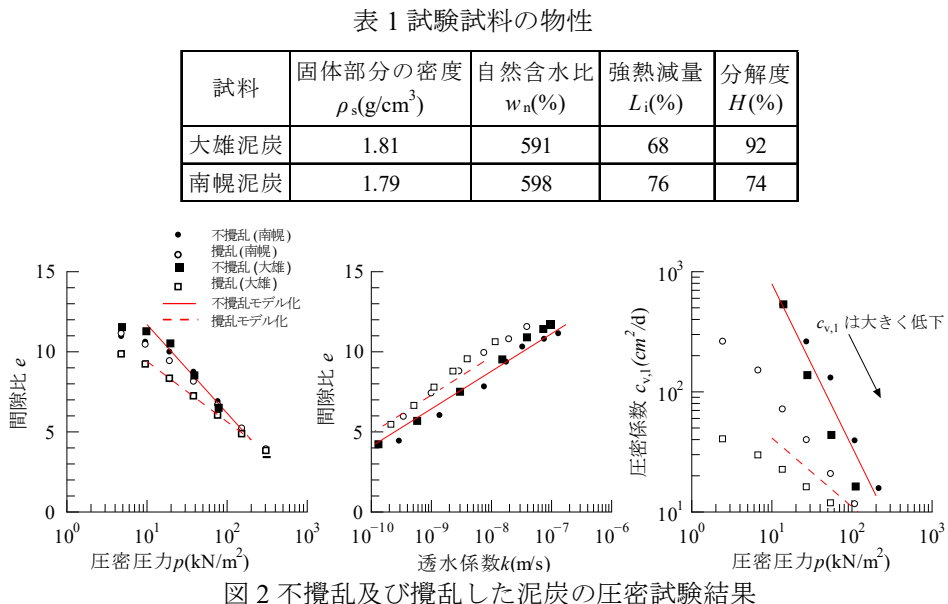
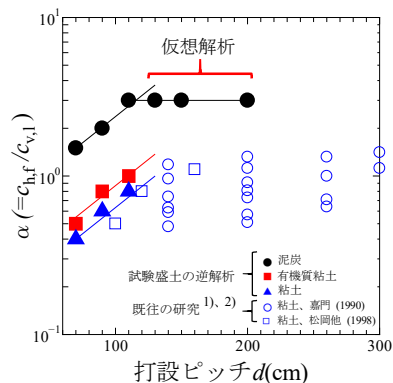


図 2 は圧密試験結果で、不攪乱試料の結果と比較させている。これから、泥炭は攪乱を受けると 1) e - $\log p$ 曲線の勾配が低下し（圧縮性の低下）、2) $c_{v,l}$ が大幅に低下する。また泥炭に特徴的な圧密圧力依存性が消失することがわかる。これは自然堆積過程で植物遺体や土粒子が部分的に間隙を持った状態で不均一に形成された泥炭が、攪乱を受けるとこれらが混合し、通水経路が埋まってしまったためと推測される。

キーワード：泥炭、PBD、スミアゾーン

連絡先：〒011-8515 秋田県秋田市飯島文京町 1-1 TEL 018-847-6073



4. FEM 解析と考察

圧密試験で得られた結果をモデル化しドレーン間の泥炭の FEM 解析を行った。図 3 は解析に用いた有限要素メッシュと境界条件である（軸対象条件）。土の構成モデルには修正カムクレイモデルを適用した。地盤パラメータは表 2 に示すとおりで、モデル化した圧密曲線は図 2 のようになる。載荷荷重は実施工の実績を踏まえ $\Delta p=100\text{kN/m}^2$ に設定し、等変位のもとで載荷速度 $1\text{kN/m}^2/\text{d}$ を与えた。FEM 解析は 4 ケース行った。Case1 はスミアの影響を考慮しない場合である。Case2 ～4 はスミアを考慮した場合で、スミア領域の透水性の低下のみを考慮したのが Case2、圧縮性の低下のみを考慮したのが Case3 である。両者の影響を加味したのが Case4 である。透水係数は試験盛土解析の結果から 10 倍の値を用い、異方性は $k_h/k_v=3$ とした。

図 4 は FEM 解析から得られた $d=90\text{cm}$ の場合での、圧縮ひずみ ε とドレーン中央部（図 3 参照）の過剰間隙水圧の経時変化である。図中には図 1 から $d=90\text{cm}$ の $\alpha (=2.0)$ を用いて計算した結果も記載しており、この結果を基準に圧密沈下の評価を行った。スミアを考慮しない Case1 は、逆算 α の結果と比較し圧密の進行が速く、載荷荷重の載荷直後に過剰間隙水圧が消散し、沈下が収束している。これに対して、スミア領域の圧縮性および透水性の低下を考慮した Case4 は、圧密遅れが発生し、逆算 α の結果とほぼ同じような圧密挙動を示している。また、Case2 と Case3 の結果から、特に透水性の低下が圧密遅れに大きな影響を及ぼしていることがわかる。Case4 の解析は、試験盛土の逆解析を行った $d=70, 110\text{cm}$ についても行ったが、いずれも逆算 α の沈下挙動とほぼ一致した結果が得られた。さらに、 $d=130\sim 200\text{cm}$ について Case4 の仮想解析を行い、この解析結果とほぼ一致する α を求めた。 α の値は図 1 に示すように $\alpha=3$ となり、これは粘性土地盤の既往の結果と同様、 d の大きさに依存せず一定となった。

5. 結論

PBD 改良地盤の圧密メカニズムと圧密遅れの生じた要因について考察するため、攪乱された泥炭の圧密試験及びその圧密特性を取り入れた FEM 解析を実施した。得られた主要な結論をまとめると次のようになる。

- 1) PBD 打設時のドレーン周辺の泥炭の乱れを想定した圧密試験の結果から、攪乱されることにより圧縮性の低下、並びに圧密係数の大幅な低下が確認された。
- 2) この圧密特性を取り入れた FEM 解析の結果から、原位置挙動を再現することができた。つまり、圧密遅れの主要因はスミアである可能性が極めて高く、特に透水性の低下に起因することが分かった。
- 3) また、仮想解析の結果から PBD 打設ピッチを $d=1.3\text{m}$ より大きくした場合、改良した泥炭地盤の水平方向圧密係数は 3 倍となった。

参考文献

- 1) 嘉門雅史：プラスチックボードドレーンによる軟弱粘土地盤の改良事例、ジオテキスタイルの適用性に関するシンポジウム論文集 pp.171-176、1990。
- 2) 松岡辰雄、今西肇、張得煊、逸見廣治、森匠二、平川里美：プラスチックボードドレーン工法に用いる圧密係数の評価、第 33 回地盤工学研究発表会講演集、pp.2129-2130、1998。
- 3) 多田駿太郎、西村聡、山添誠隆：泥炭の異方透水性計測のための試験法高度化に関する研究、第 53 回地盤工学研究発表会講演集、pp.771-772、2018。

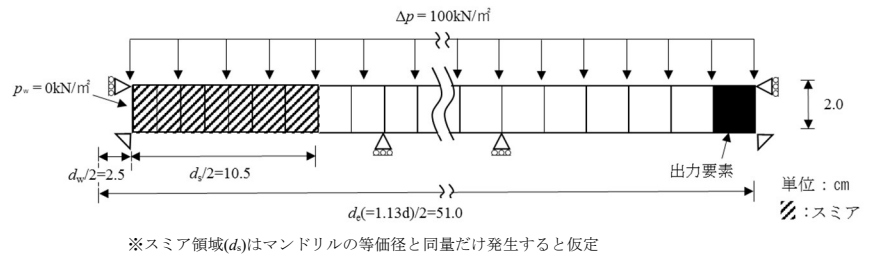


図 3 有限要素メッシュ図($d=90\text{ cm}$ の場合)と境界条件

表 2 地盤パラメータの設定値

	圧縮指数 λ	膨張指数 κ	初期間隙比 e_0	限界状態応力比 M	ポアソン比 ν	透水係数の初期値 $k_{v0}(\text{m/s})$	透水係数指数 λ_k
不攪乱試料	2.40	0.24	11.70	1.86	0.20	1.74×10^{-7}	1.02
攪乱試料	1.64	0.16	9.40	1.86	0.20	7.52×10^{-9}	1.04

※初期鉛直応力 10 kN/m^2 、静止土圧係数 $K_0=0.43$ 、OCR=1.0

表 3 解析ケース

	k 異方性 $k_h/k_v=3$	スミア	スミア領域の圧密特性
Case1	なし	なし	-
Case2	あり	あり	透水性のみ低下
Case3	あり	あり	圧縮性のみ低下
Case4	あり	あり	透水性、圧縮性低下

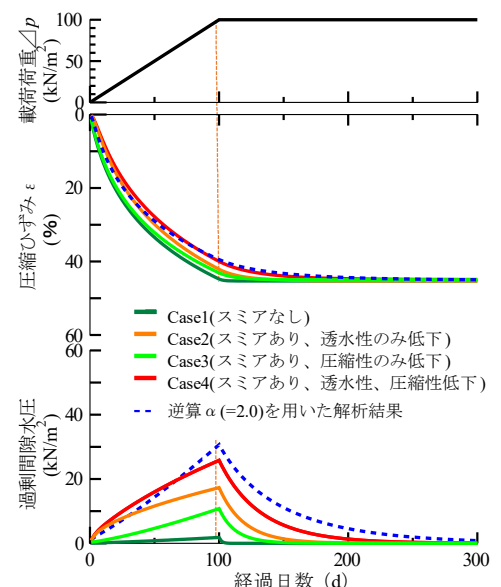


図 4 FEM 解析結果($d=90\text{cm}$)