

# 泥炭地盤のサンド・ドレーン効果について

佐田 頼光 福田 正人 山内 昇

## 1. はじめに

嘗て、泥炭地盤に施工したサンド・ドレーンの沈下促進効果についてその当否を論ずる機会は多々あったが、現在では、その主目的である圧密速度の促進については否定的見解に収斂し、地盤の剛性強化に期待する傾向が強いように思われる。否定的見解に至る淵源の一つに現地沈下の比較データ<sup>注1)</sup>とこれを補足する室内実験データ<sup>注2)</sup>が存在するのであるが……。

抑も、泥炭は堆積環境や性状において一般の鉱物質材料とは頗る異なるものであるから、改良効果の判定を行う上でそれらの特質を十分考慮されるべきであるが、これまで踏込んだ議論がなかったように思われる。

当小論では、筆者らのこれまでの不勉強の誇りに対する反省を含め、泥炭の特質について判明した若干の定量的見解を提示し、この種の問題に興味を抱く諸兄の参考に供することとしたい。

## 2. Barron の解を適用する上での制約

Barron は、自由ヒズミ (Free strain) と等ヒズミ (Equal strain) の場合について理論を展開したが、これらにおいては次の仮定が設けられている。

- 1) 地盤は水で飽和されており (Sr=100%)、均質な土質で構成されている。
- 2) Darcy の法則が適用され得る ( $v=Ki$ )。
- 3) 圧密による地盤の変位は、鉛直方向だけとする。
- 4) ウェルレジスタンス及び Smear も考慮しないものとする。
- 5) 地盤の円筒等価境界面では動水勾配は 0 で不透水層に見立てる。

- 6) 地表面では過剰間隙水圧は 0 とする。すなわち、マツレジスタンスは考慮しないものとする。
- 7) 地盤の中心部においては、地下水の鉛直方向の流れはないものとする。

以上、7つの仮定のうち 1) 及び 2) は地盤が保持すべき必須条件であり、3) ~7) は理論解析を行う上での仮定の問題である。

## 3. 泥炭の飽和度

古い話だが、現場の宿舎では、直径 1m 程の浅井戸にガスを貯留し煮炊きの火力に使ったものである。また、泥炭地の削孔から放出されるメタンガスに点火し、青白い炎が立ち昇るのを眺めた経験もある。こうした事例から泥炭は、有機質でメタンなどの気体を多く含む不飽和土 (Unsatulated Soil) の典型であるといえよう。

いま、図 1 (a) を参照して  $v_a/v_t$  を間隙比 (e) と飽和度 (Sr) で示すと (1) 式で表される。

$$\frac{V_a}{V_t} = \frac{e}{1+e}(1-Sr) \dots \dots \dots (1)$$

図 1 (b) は、 $v_a/v_t$  と間隙比 (e) の関係を飽和度 (Sr) をパラメータとして示したものである。

一方、泥炭に対する飽和度の実測値はどのようになるのであろうか。これについては宮川博士 (故人) による資料がある<sup>注3)</sup>。同資料によれば、「泥炭は構成植物の分解過程に発生するガスなどのために地下水中にあっても飽和状態にない。飽和度の測定作業においては、試料が変形し易く、正確な体積を測定することが難しいので、図示のように真比重 (Gs)、

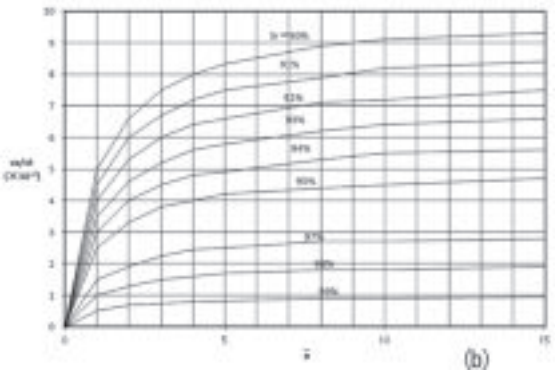
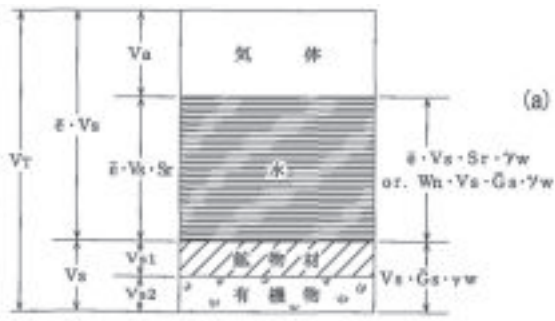


図1 間隙比(e)～飽和度(Sr)～気体体積比(v<sub>a</sub>/v<sub>t</sub>)  
 (a)泥炭の4層構造体模式図  
 (b)e～Sr～v<sub>a</sub>/v<sub>t</sub>

強熱減量(Lig)との関係は明らかにされないが、平均的的代表値として $\bar{S}r=0.95$ を採る]とした。

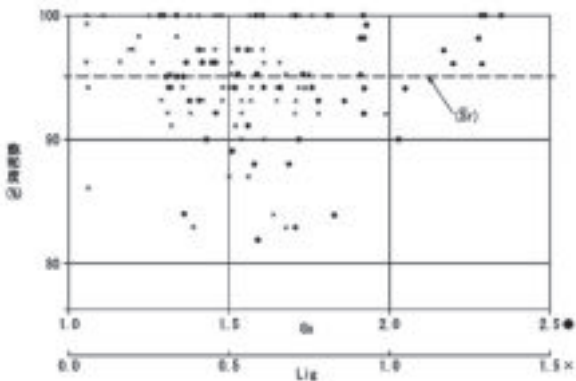


図2 泥炭のGs、Ligと飽和度の実測例  
 (図は注3の資料に表示法を変えた)

従って Barron 理論誘導上の必須条件 1)は満足されないことになる。

泥炭地盤としての間隙水圧の発生については、飽和度 93.9%と 96.2%に対する B 値として表 1 の

測定結果を得た。

不飽和泥炭地盤においては、載荷重によって発生する間隙水圧は予想外に低い値になることが考えられるのである。従って動水勾配(i)も理論上よりも低くなり得る。

#### 4. 泥炭の透水性

盛土荷重(p)によって軟弱層中に発生する動水勾配(i)はどの程度の値を示すのであろうか。

Barron(1948)は、等ヒズミの場合に対して時間(t)における水平距離(r)の過剰間隙水圧(u)は(2)式で示されるとした<sup>注4)</sup>。

$$u = \frac{4u_{av}}{d_e^2 F(n)} \left[ r_e^2 \ln\left(\frac{r}{r_w}\right) - \frac{r^2 - r_w^2}{2} \right] \dots\dots\dots (2)$$

ここに

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2}$$

$$n = \frac{r_e}{r_w}$$

$$u_{av} = u_i \cdot e^\lambda$$

$$\lambda = \frac{-8T_r}{F(n)}$$

これらの記号は図3のレイアウトに示した。

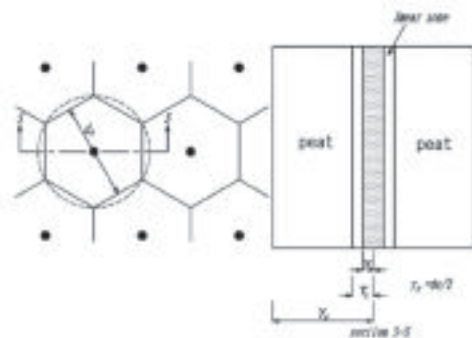


図3 サンドドレーンのレイアウト

(2)式に対して動水勾配(i)は(3)式となる。

$$i = \frac{\partial n}{r_w \partial r} = \frac{u_{av}}{r_w F(n) r} \left[ 1 - \left(\frac{r}{r_e}\right)^2 \right] \dots\dots\dots (3)$$

r<sub>w</sub> : 水の単体重量

表1 室蘭泥炭と妹背牛泥炭のB値測定結果

項目 試料	直径 D(cm)	体積 V(cm <sup>3</sup> )	含水比 W(%)	湿潤密度 Pt(g/cm <sup>3</sup> )	乾燥密度 Pd(g/cm <sup>3</sup> )	間隙比 e	飽和度 Sr(%)	B 値 u/J <sub>3</sub>
室蘭泥炭	7.29	615.12	739.2	0.985	0.117	11.60	93.9	39.7/50 <u>0.79</u>
妹背牛泥炭	7.45	653.18	414.7	1.067	0.207	8.30	96.2	36.3/50 <u>0.73</u>

(3)式により、 $r=0.15^m \sim 0.75^m$ 間、つまりサンドウェルの外縁部から等価換算径( $r_e$ )の間における $i$ の分布を時間係数( $Tr$ )をパラメータとして算出すると図4が得られる。同図によれば、圧密初期の段階ではドレーンの外縁部において非常に高い $i$ を示し、時間の経過とともに低下する。

$Tr=0.1$ では $r_w=0.15^m$ の位置で $i \approx 14$ を、 $Tr=0.2$ で $i \approx 6$ 、 $Tr=0.4$ では $i \approx 1$ となり、いずれの曲線も $r=0.75^m$ で $i=0$ に収斂する。これらの結果はドレーン外縁部の透水性がドレーン効果に対して極めて大きな影響を与える可能性を示唆するものである。

次に、泥炭地盤の透水性について実験を行ったので、その結果を表2及び図5(a, b)に示し、Darcyの法則を適用して透水係数( $k$ )を求め図6に示した。

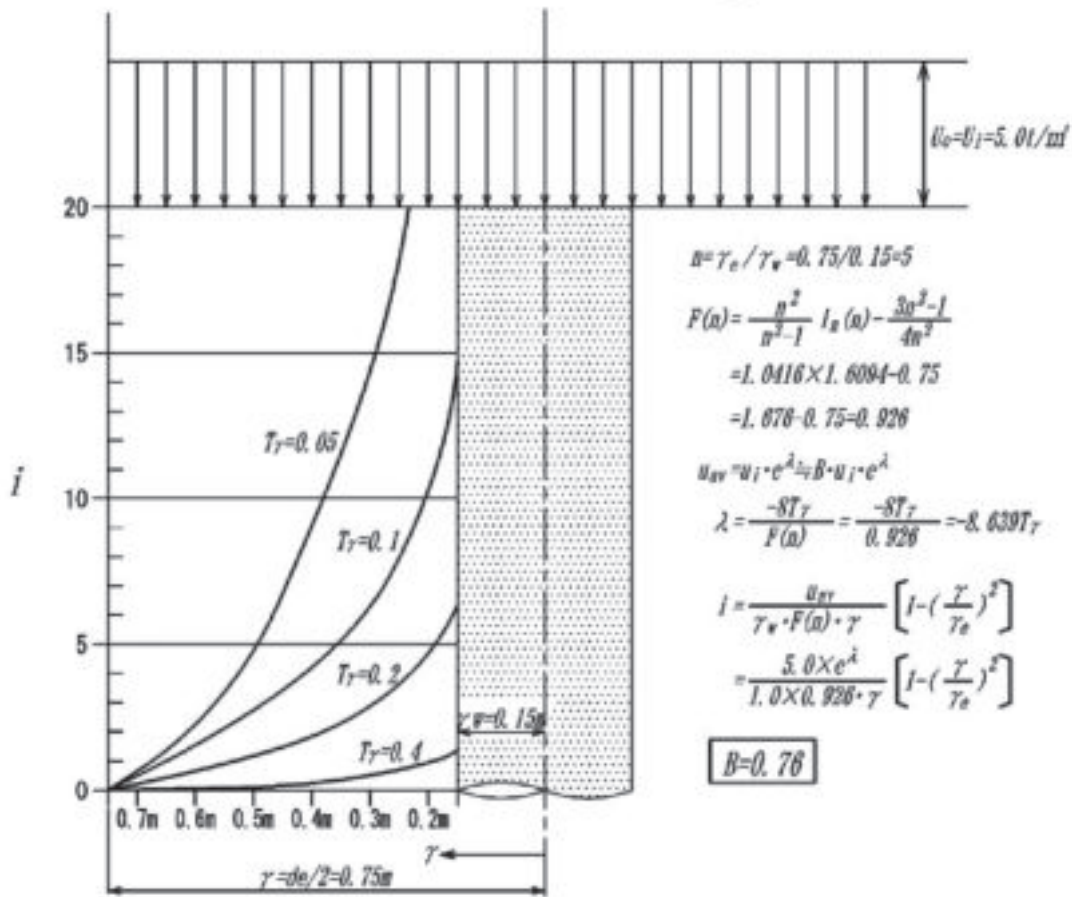


図4 動水勾配(i)の変化図

表 2 泥炭の鉛直方向・水平方向の透水試験(定水位法)結果一覧表

透水円筒 径 $\phi$	7.3cm
透水円筒 長さ L	10cm

鉛直方向(Sr=89.7% Wn=565.2%)				水平方向(Sr=83.9% Wn=554.3%)				鉛直方向と水平方向 の透水係数の比
水位差 $\Delta h$ (cm)	動水勾配 i	速度 v(cm/sec)	鉛直方向透水係数 $vk_{15}$ (cm/sec)	水位差 $\Delta h$ (cm)	動水勾配 i	速度 v(cm/sec)	水平方向透水係数 $hk_{15}$ (cm/sec)	
7	0.7	8.96E-05	1.28E-04	7	0.7	1.28E-03	1.83E-03	14.30
22	2.2	3.04E-04	1.38E-04	36	3.6	4.61E-03	1.28E-03	9.28
37	3.7	6.33E-04	1.71E-04	51	5.1	7.60E-03	1.49E-03	8.71
52	5.2	1.03E-03	1.99E-04	66	6.6	9.50E-03	1.44E-03	7.24
67	6.7	1.56E-03	2.33E-04	81	8.1	1.51E-02	1.86E-03	7.98
92	9.2	2.14E-03	2.33E-04	96	9.6	1.62E-02	1.69E-03	7.25

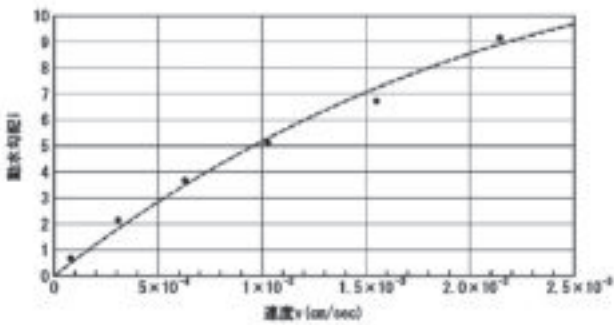


図 5(a) 鉛直方向の動水勾配  $i$  と速度  $v$  の関係図

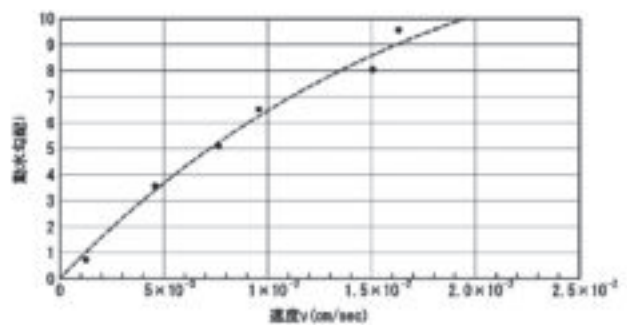


図 5(b) 水平方向の動水勾配  $i$  と速度  $v$  の関係図

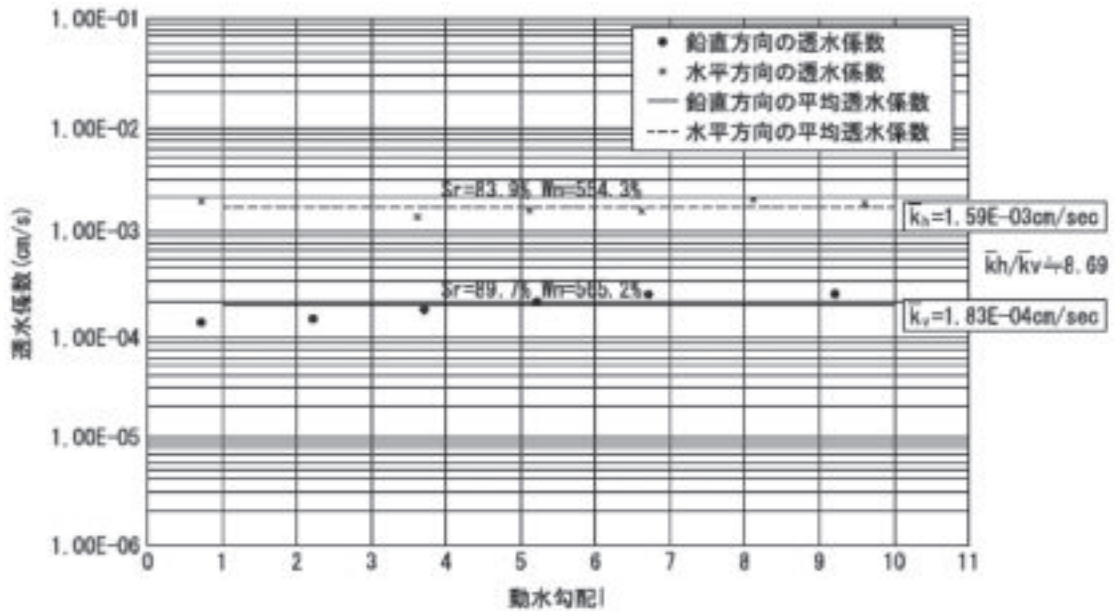


図 6 動水勾配  $i$  と透水係数の関係図



これらの資料によれば、泥炭は鉛直・水平方向のいずれも動水勾配(i)と透水速度(v)は良好な対応を示し、Hansbo<sup>注5)</sup>などが指摘した閾値(Threshold)などは認められず、従って Darcy の法則は泥炭に対して有効であるといえる。泥炭に対するこれまでの実測例では水平と鉛直の比は 3～6 が一般と言われていたが、当実験では平均値として約 8.7 が得られている。なお今回の実験では定水位法に準じた測定方法による値であることをお断りしておく。

### 5. 理論と実験の間で(むすびに変えて)

泥炭地盤におけるサンド・ドレーン効果について拙論を記した。執筆中熟く感じるのだが、土質工学は理論だけでなく実験結果があって初めて体系が成立するということである。

その点筆者は北海道土質試験協同組合という試験機関の協力を得て当小論をまとめることが出来たことに厚く感謝申し上げたい。

特に透水試験の試料採取に当っては、縦横方向における面倒な試料の採取は当社技術部横尾主任を煩わし、室内透水試験では組合試験室諸氏の御尽力を得た。

而して不飽和泥炭地盤に対するドレーン効果について次の結論が得られた。

①泥炭の飽和度(Sr)は、100%以下を示すことが多い。これは植物質材料の分解過程によって生じるガスを含む為で、一般には全体積の 5～10%がガスであるといわれている。

②不飽和である為に、Barron の理論誘導仮定の第一義は崩れる訳だが、それでも Darcy の法則  $v = Ki$  は有効であり、従って Barron の理論はドレーンの解析に有為であるといえる。

③これまで泥炭の透水係数縦横比は 3～6<sup>注6)</sup>であるとされていたが、今回の実測値は 8 を超える値を示した。また、Hansbo が提示した閾値(Threshold)など特異な性状は認められず、間隙圧係数 B 値は 0.76 を得た。

④ウエル外縁部から等価半径内における動水勾配 i は、外縁部付近で大きな値となり、等価半径で 0 に収斂する。従ってドレーン・ウエルの通水抵抗と Smear による透水性の低下は、圧密促進効果に決定的な不利益を齎す。

⑤Smear effect やマツレジスタンス等の影響については、一応の考察がなされている。しかし、これらは実務上の観点から詳細に過ぎるように判断される。即時及び一次圧密沈下が早期に終了することを考えれば、施工上では単純な工法によりこれら負の要素を払拭することの方が現実的である。

このような観点から図 7 はドレーン・ウエルから排水されるであろう地下水の挙動を想定したものである。サンドマット内に排水された地下水は、盛土部分の毛管作用(Capillary rise)などにより盛土内に滞流し、水位の上昇を招くことが予想される。これがマツレジスタンスと言うべき現象であり、圧密促進効果を損なうであろうことは疑いの余地がな

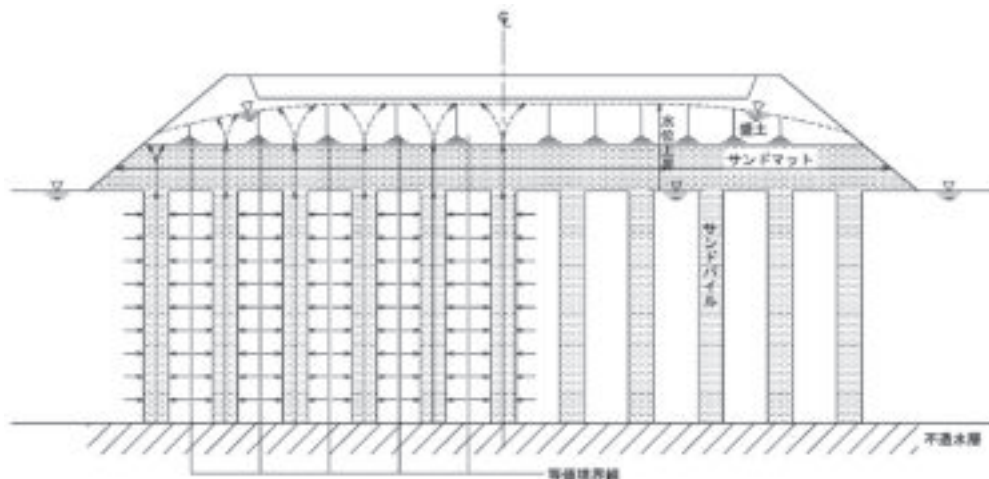


図 7 ドレーンによる地下水の流れ想定図

い。適切な排水井により排水を促進させることが肝要と思われる。

#### 参考資料

- 注1) 河合裕志ほか：泥炭性軟弱地盤におけるサンド・ドレーン効果の試験例について(土質工学会北海道支部、技術パンフレット3号)
- 注2) 佐田、野並：泥炭地におけるサンド・ドレーンの室内実験について(第7回開発局技術研究発表会論文集)
- 注3) 宮川勇：第3報石狩泥炭の一般的物理性について(土木試験所報告集第20号)
- 注4) Braja M. Das: Advanced Soil Mechanics 3<sup>rd</sup>. Edition (Taylor and Francis)
- 注5) M. P. Moseley, K. Kirsch: Ground Improvement 4. Band drain (Spon press)
- 注6) 能登繁幸：泥炭地盤工学(技報堂)

佐田 頼 光(さだ よりみつ)

技術士(建設部門)

拓北地下開発株式会社



福田 正 人(ふくだ まさと)

技術士(建設部門)

拓北地下開発株式会社



山内 昇(やまうち のぼる)

北海道土質試験協同組合

