

蔵出し『V.D. 工法』 —特に smear effect に関する最近の話題—

佐 田 頼 光

1. はじめに

筆者の手許に、『泥炭に関する調査試験研究資料集』(北海道開発局土木試験所・旧土質研究室監修昭和 30 年～ 50 年)と銘打った総頁数 762 頁に及ぶ膨大な資料集がある。故宮川 勇 博士を筆頭に研究職員諸兄の多大な汗の結晶ともいえる貴重な研究成果であり、今こうして頁を捲ると、遙かなる日々の諸兄の奮闘が走馬燈のように想起され、懐かしき思うのである。

2. サンドパイルバーチカルドレーン工法

筆者が旧土質研究室に在籍した 1959 年(昭和 34 年)頃、土質研究室は堰堤研究室から分離独立した時に当り、研究職員の幾人かが泥炭地盤の道路盛土による圧密沈下に関する調査研究に従事していたのであった。当時、圧密沈下促進工法としてサンドパイルバーチカルドレーン工法(以下 V.D. 工法と呼称する)が各地の道路盛土下に打設され、その効果の当否に議論が沸騰していた。抑も、V.D. 工法は、1934 年(昭和 9 年)にサンフランシスコで O.J. Porter が初めて使用したとされるがその後 1948 年(昭和 23 年)に Barron が Terzaghi の一次元圧密理論を拡張した自由ヒズミ理論を発表し、これによりドレーンの理論的根拠が確立したかに見えたのである。当時の V.D. 工法の施工法は、現在から見ると単調で、サンドパイルをケーシングで拡張した地盤に砂を充填し、敷砂・盛土を乗せ、後は沈下まかせといった方法によるもので、現在提示されている Smear effects や Well resistance, Mat resistance 更にはサンドパイルへの応力集中などの沈下促進に対する負の要素への気配りの無い、極

めて無頓着な対応が一般的であった。

爾来、研究室では大型圧密試験機による追試を、現地では V.D. 工法の採用区間とそうでない無処理区間を同じ地盤で比較するなど、沈下促進効果の確認に精力的な努力が傾注されたのである。当時のデータの一部を図 1 に示そう。

図 1 は、大型圧密試験機による比較倒で泥炭試料に対してサンドパイルの置換率は現地の条件に類似させ 3% としている。圧密度(U)と経過時間(t)との対比においてパイルの有無による明確な差異は認められ難いといえるのではないだろうか。

図 2 は、一般国道 275 号江別市角山で 1962 年(昭和 37 年)に実施した比較試験結果である。図示のデータは、サンドパイル間隔 1.5m、3.0m(三角形配置)そして無処理それぞれの時間経過に有意差

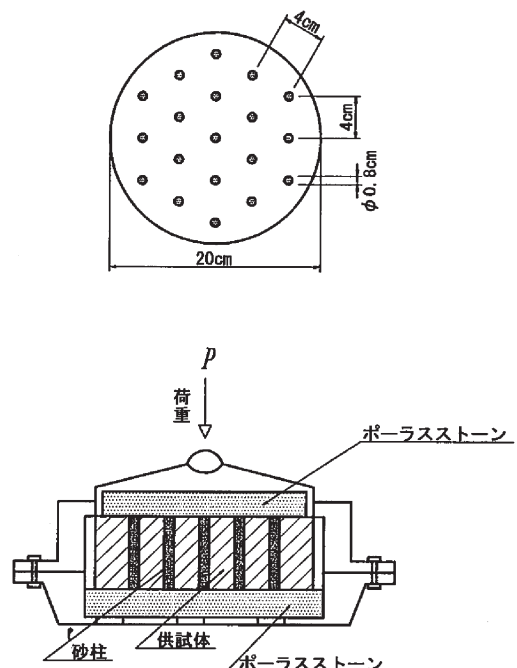
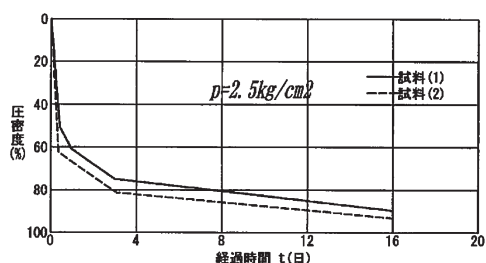
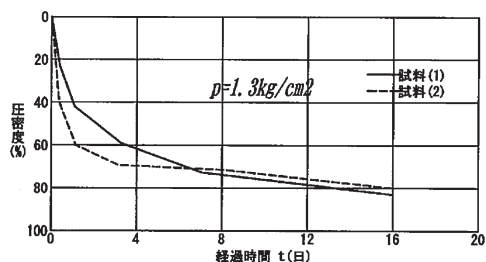
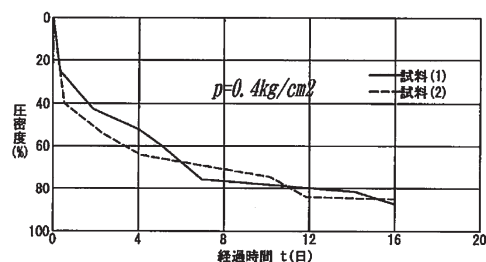


図 1 (a) サンドドレーン室内実験装置



圧密度 $= \delta t / \delta f$ 試料(1): サンドパイ打設
試料(2): サンドパイなし

図1 (b) V.D. 工室内試験結果

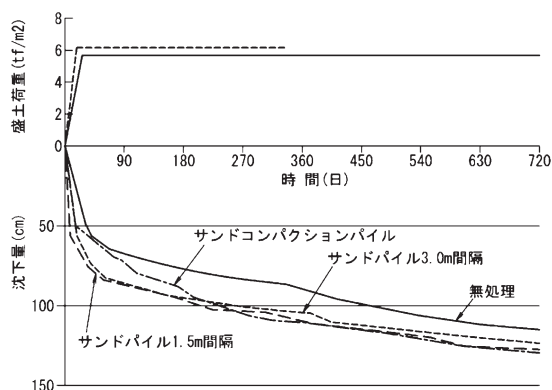


図2 一般国道275号江別市角山地内比較試験結果

はなく、従って室内・現地比較試験の結果から、V.D. 工法の沈下促進効果に明確な証左は認められないという結論に到達したのであった。

今、試験結果を翻って感ずる事は、基本的に泥炭の圧密現象に対する理解が足りなかったこと。泥炭の初期の圧密係数(Cv)は粘土に較べると非常に大きく、置換率3%程度のサンドパイの打設では沈

下促進に効果が現れづらいのではないだろうか。更に、Smear effects や well resistance 等に対する配慮が無かったことなども挙げねばならないだろう。また、盛土中央部に排水井を設け、適切な水路に排水していれば、『沈下促進効果は認められない』との結論には到らなかったかも知れないなど慚愧の念頻りである。

3. 最近の V.D. 工法研究のあらまし

最近、サンドパイに代ってプラスチックドレーン工法が採用されている。泥炭層に打設したサンドパイの変形等により排水機能が損なわれることを避けるには有効と考えられる。

ドレーンを地中に打設すると大なり小なり在来地盤を乱すことになり、排水機能が損なわれることは避けることが出来ないのである。

排水機能を損なう事象としては、1) 周辺地盤の乱れによる透水係数(k)の低下、2) ドレーンの目詰まり(Clogging)による通水抵抗、3) サンドマットの通水抵抗などが考えられ、これらの事象によって理想的状態の圧密度(U)がどのように変化(遅れ)するかについて、理論・実験の面から調査・研究が続けられている。

まず 1) 透水係数の変化の様相については、smear zone と透水係数の分布の関係を典型的に示し、それぞれの case について理論的に推定した結果が提示されている。D. BASU.³⁾ は smear zone における透水係数の変化を図3に示すように類型化して A ~ E の 5case のように推定し、それぞれの圧密度(Uh)への影響を提示している。

また、R. Walker⁴⁾ は smear zone における透水係数の変化を放物線型式で表示できるとの仮定により圧密度の遅れを解析し、大型圧密による実験結果で検証している。

詳しくは文献に譲るとして、文献³⁾によると CaseA は Hansbo によって圧密度(Un)と時間係数(Tn)の関係が提示されている。

$$U_h = 1 - e^{-\frac{8Th}{\mu}} \quad \dots\dots (1) \text{各 Case 共通}$$

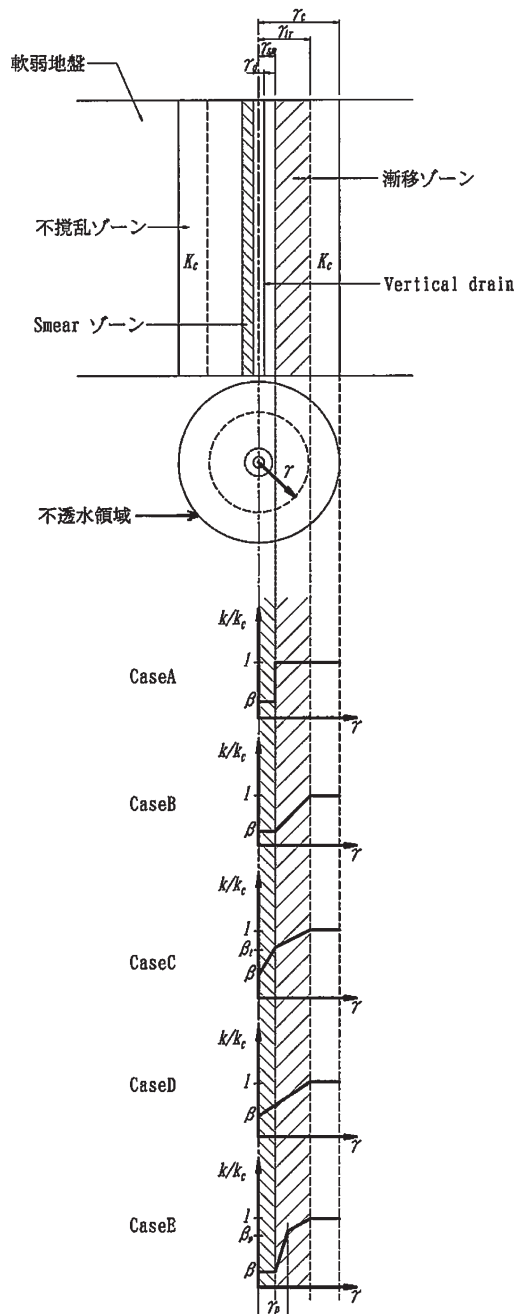


図3 V.D. の打設に伴う透水係数の変化の推定図
(D. BASU. etal による)

CaseA

$$\mu = \ln\left(\frac{n}{m}\right) + \frac{1}{\beta} \ln(m) - \frac{3}{4}$$

..... (2)

ここに、 $n = r^c / r_d$

$m = r^{sm} / r_d$

$\beta = K_s / K_c$

$q = \gamma^{tr} / \gamma_d$

CaseB

$$\mu = \ln\left(\frac{n}{q}\right) + \frac{1}{\beta} \ln(m) + \frac{(q-m)}{(\beta q - m)} \ln\left(\frac{\beta q}{m}\right) - \frac{3}{4}$$

..... (3)

CaseC

$$\mu = \ln\left(\frac{n}{q}\right) + \frac{(m-1)}{(\beta m - \beta_t)} \ln\left(\frac{\beta_m}{\beta_t}\right) + \frac{(q-m)}{(\beta_t q - m)} \ln\left(\frac{\beta_t q}{m}\right) - \frac{3}{4}$$

..... (4)

ここに、 $\beta_t = k_t / k_c$

CaseD

$$\mu = \ln\left(\frac{n}{q}\right) + \frac{(q-1)}{(\beta q - 1)} \ln(\beta q) - \frac{3}{4}$$

..... (5)

CaseE

$$\mu = \ln\left(\frac{n}{q}\right) + \frac{1}{\beta} \ln(m) + \frac{(p-m)}{(\beta p - \beta_p m)} \ln\left(\frac{\beta p}{\beta_p m}\right) + \frac{(q-p)}{(\beta_p q - p)} \ln\left(\frac{\beta_p q}{p}\right) - \frac{3}{4}$$

..... (6)

ここに、 $p = \frac{r_p}{r_d}$

$\beta_p = \frac{k_p}{k_c}$

これらの解析結果により、D. BASU. etal は $\beta = 0.2$ 、 $\beta_t = 0.6$ に対して $n = 17.0$ と 51.1 、 $m = 2.69$ 、 5.11 、 $q = 16.17, 30.67$ 、それぞれの場合の(1)式との比較を示している。

また、Walker⁴⁾ は前述したように、smear zone 及び漸移 zone における透水係数の変化を直線的变化とせず、なだらかに放物線变化 (parabolic Distribution) とした場合について、難解な理論式を展開して係数 μ_p を示した。この研究の透れた点は、大型密圧試験機 (large scale consolidometer) を用いた長期圧密を実行し、ドレーンがない場合とドレーンがある場合 ($\gamma_s / \gamma_w = 1.6$) につ

いて比較結果を提示したことにある。粘土に対する比較結果はドレーンの効果は明確に示されているといえよう。

$$\mu_p = \ln\left(\frac{n}{s}\right) - \frac{3}{4} + \frac{k(s-1)^2}{(s^2-2ks+k)} \ln\left(\frac{s}{\sqrt{k}}\right) - \frac{s(s-1)\sqrt{k(k-1)}}{2(s^2-2ks+k)} \ln\left(\frac{\sqrt{k}+\sqrt{k-1}}{\sqrt{k}-\sqrt{k-1}}\right) + \frac{k}{qh} \pi z(2l-z) \dots\dots (7)$$

S : m に等しい

K : k_n/k_o

k_n は在来地盤の透水係数

k_o はドレーンウェル半径 (r_w) における透水係数

最後の紹介になったが、D. BASU. et al⁵⁾の数値解析的研究によれば、特に P.V.D 工法における目詰まり (clogging) が圧密速度に与える影響を差分法を適用して論じている。これによれば、P.V.D の目詰まりは密圧速度を大きく左右し、その位置によっても変化するが Smear effect が加わると圧密速度の遅れが増加することを提示した。(図 4 参照のこと)

4. むすび

筆者が嘗て V.D. 工法の調査研究に従事した時から多くの春秋が過ぎた今、技術の進歩・発展には驚かされるものがある。前節で紹介した理論的研究

の成果は技術的観点では非常に興味深いものであり、今後の調査研究の指針となり得るものでもある。しかし、日常設計業務のなかで適用していくには余りにも仮定要素が細かくかつ複雑に過ぎる。

要するに、実務的には、V.D. 工法は沈下促進に効果があるか否か？が判明すれば充分である。特に泥炭地盤のように間隙が大きく (粘土の約 10 倍) ガスを多く含む不飽和土における圧密現象は複雑である。一次圧密理論に基礎を置く限り、結論を得ることには限界があるように思えてならない。従来の概念を覆すような発想の転換が求められる所以でもある。

いずれにしても、V.D. 工法が泥炭地盤の改良工法 (peaty ground improvement) として更なる発展を遂げることを切望するものである。

参考資料

- 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の効果の試験例について (泥炭に関する調査研究報告集、北海道開発局土木試験所第三研究部土質研究室監修) P485
- 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 (同上) P495
- 3) D. BASU. et al: Analytical Solutions for Consolidation aided by Vertical drains (Geomechanics and Geoengineering: An International Journal Vol.1 No.1)
- 4) R. Walker: Vertical Drain Consolidation with Parabolic Distribution of Permeability in Smear Zone (Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE/6.2006.)
- 5) D. BASU. et al: Effect of P.V.D. Clogging on the Rate of Consolidation: A Numerical Study (Geosynthetics International 2000. Vol7 No.3)

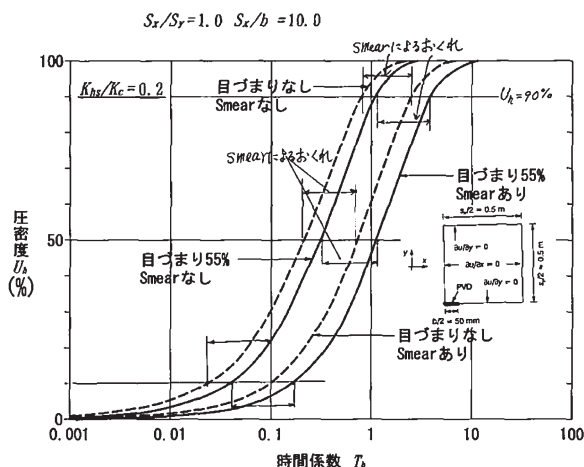


図 4 目詰まり (clogging) と smear effect による圧密度の遅れ (D. BASU. et al による)

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

