The Japanese Geotechnical Society

ウェルレジスタンス

Well Resistance

尾　上　篤　生（おのうえ　あつお）
清水建設㈱技術研究所　主任研究員

1. ウェルレジスタンスとその本質

粘性土地盤の圧密を促進するバーチカルドレーンや砂地盤の液状化防止に用いられるグラベルドレーンは，そこに地盤中の水が流れ込んで来る点で井戸と似ているのでドレーンウェルとも言われる。ドレーンウェル内の連続した間隙を流れる水はドレーン材料表面において摩擦抵抗を受け，圧力損失を招く。この摩擦抵抗は，単位時間当たりの排水量を有限な量に制限し，ドレーンの効果を低減するので，これをウェルレジスタンス（脱水抵抗）と呼ぶ。したがってその本質は摩擦力である。

2. ウェルレジスタンスの組成

ドレーンによる地盤の圧密（ここではドレーン圧密と呼ぶ）に及ぼすウェルレジスタンスの影響を端的に規定するものは，Yoshikuni と Nakanodo[1] が示した次のパラメーターL，

$$L=\frac{32}{\pi^2}\frac{k_h}{k_w}\left[\frac{H}{d_w}\right]^2 \qquad (1)$$

である。あるいはこれを逆数にして，

$$R=8/(\pi L) \qquad (2)$$

と表す場合もある。ここに，k_h, k_w は<地盤の水平方向，ドレーン材>の透水係数，H, d_w は下端非排水のドレーンの<長さ，直径>である。このLは通称ウェルレジスタンス係数（Coefficient of well resistance），Rはウェルレジスタンスファクター（well resistance factor）と呼ばれている。ところでプラスチックボードドレーンは土質材料ではないので，透水係数よりも排水能力（discharge capacity）と呼ぶ単位動水勾配のもとでドレーン内を流れ得る最大流量，$q_w(=\pi r_w^2 k_w)$，のほうが分かりやすい。R と q_w の間には，次の関係がある。

$$R=q_w/(k_h H^2) \qquad (3)$$

式(1)はウェルレジスタンスを構成し，その大きさに影響する因子を明りょうに示している。すなわちドレーンの長さが長く，かつその断面積と透水係数が小さいほどLの値が大きい。したがって，ウェルレジスタンスを小さくする見地からは非常に透水性がよい材料が望ましいが，周囲の土が流れ込んでウェルに目詰まりが生じるのを防ぐ見地からは，充填材は十分小さい間隙を持ちフィルター効果を発揮するものでなければならない。

また地盤の水平方向透水性が大きいほどLの値が大きいが，このことは非常に軟弱な堆積土の圧密の初期，あるいは地震時のグラベルドレーンのように，短時間に大量の水が流れる場合に圧力損失が特に大きいことを意味している。土の水平方向透水係数は圧密の進行に伴って減少するが，例えばプラスチックドレーンの排水能力も水平土圧の増加やその作用時間，湾曲などによって甚だしく低下する[2]から，圧密中のLの値の減少は期待しない方が良い。

3. 圧密に及ぼすウェルレジスタンスの影響

ウェルレジスタンスを考慮した簡便なドレーン圧密の式としては，地盤全体の平均圧密度に関するBarron（バロン）の式にLを導入して修正した吉国の簡便解[3]，

$$U(T_h)=1-\exp\{-8\,T_h/(F(N)+0.8\,L)\} \qquad (4)$$

ここに，$T_h(=c_h t/d_e^2)$ は時間係数，

$N(=d_e/d_w)$ は杭径比，

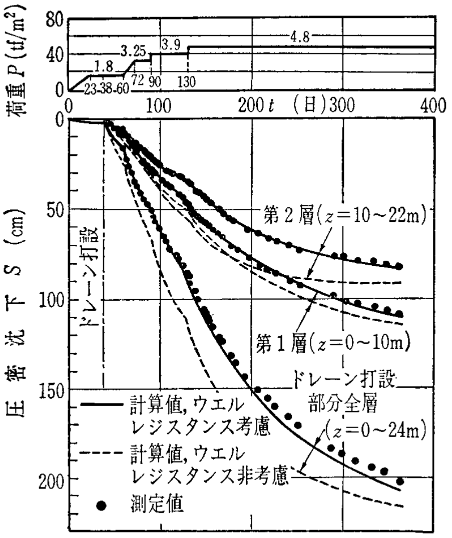
d_e は，ドレーン１本が受け持つ等価換算円直径，

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

や深さzにおける半径方向平均密度に関するHansbo

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society



図―1　ウェルレジスタンスによる圧密遅延の例

(ハンスボ) の式[4] をRを使って表した,

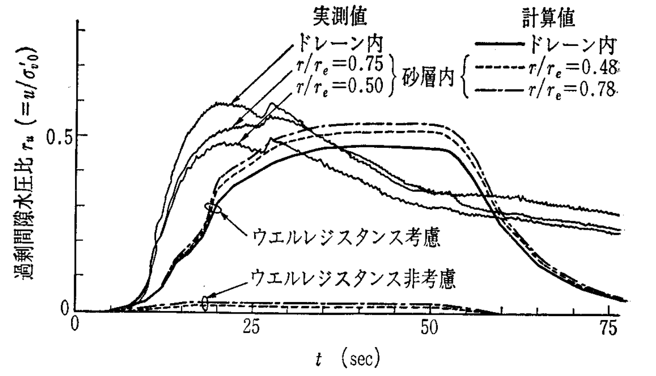
$$U_h(z, T_h)=1-\exp\left\{-\frac{8T_h}{F(N)+\frac{\pi}{R}\left(\frac{z}{H}\right)\left(2-\frac{z}{H}\right)\left(1-\frac{1}{N^2}\right)}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots(5)$$

があるが, いずれの式からも明らかなように, Lの値が大きい (Rの値が小さい) ほどウェルレジスタンスによって圧密が遅延する。ウェルレジスタンスによる圧密遅延を地盤の深度方向で考えればドレーン下端 (式(5)で$z=H$) で最も著しいが, 仮にそこで10%以下の圧密度の遅れを許容できるとすると, $N>5$ の場合Lの値が0.25以上 (Rの値が10以下) ならばウェルレジスタンスは無視できる。

図―1 は手賀沼における実例[5] で, 実測圧密沈下と差分数値計算結果とを比べている。この地盤の場合, 深度方向にk_hの値が変化しており, どの層にもドレーンの長さHを使って計算した$L(R)$の値は, 第1層で0.49~1.4(5.2~1.8), 第2層で2.1~2.8 (1.2~0.91) である。特に第2層で圧密遅延が著しく, ウェルレジスタンスを考慮して設計しなければならないことがわかる。

4. グラベルドレーンに及ぼす影響

地震動による砂地盤の間隙水圧上昇のように, 10数秒~数十秒という短時間のうちに上昇しようとする間隙水圧を抑制するためには, グラベルドレーンによる排水は急速でなければならず, その排水機能はウェルレジスタンスによって大きな影響を受ける。その実例[6] を図―2 に示したが, この場合 $N=4$,



図―2　グラベルドレーンの効果に及ぼすウェルレジスタンスの影響の例

$L=8.8$ であり, 図中のrはドレーン中心からの距離, r_eは等価換算円半径である。実測値によれば, ドレーン内の水圧比は砂層内のそれとほぼ同程度 (測定誤差のためか大小は逆転しているが) で, ウェルレジスタンスを考慮した計算値と同様なピーク値を示している。ウェルレジスタンスが無いならばドレーン内の水圧は0のはずであるから, この場合ウェルレジスタンスの影響は非常に大きいと言わざるを得ない。

最近ではウェルレジスタンスを考慮したグラベルドレーンの簡易式[7] や設計図表[8] が提案されている。

参考文献

1) Yoshikuni, H. and Nakanodo, H.: Consolidation of Soils by Vertical Drain Wells with Finite Permeability, Soils and Foundations, Vol. 14, No. 2, pp. 35~46, 1974.
2) Mesri, G. and Lo, D.O.K.: Field Performance of Prefabricated Vertical Drains, Proc. GEOCOAST '91, Yokohama, pp. 231~236, 1991.
3) 吉国 洋：バーチカルドレーン工法の設計と施工管理, 技報堂出版, 1979.
4) Hansbo, S.: Consolidation of Fine-Grained Soils by Prefabricated Drains, Proc. 10th ICSMFE, pp. 677~682, 1981.
5) Onoue, A.: Consolidation of Multilayered Anisotropic Soils by Vertical Drains with Well Resistance, Soils and Foundations, Vol. 28, No. 3, pp. 75~90, 1988.
6) Onoue, A., Mori, N.: Liquefaction Preventive Effect of Gravel Drains for Sand Deposits, Proc. 8th Asian Regional Conf., ICSMFE, pp. 257~260, 1987.
7) 田中幸久・国生剛治・江差靖之・松井家孝：グラベルパイルの液状化防止効果―(その2)グラベルパイルの透水性を考慮した設計法―, 電力中央研究所報告：382058, 1983.
8) Onoue, A.: Discussion, Soils and Foundations, Vol. 29, No. 4, pp. 136~137, 1989.

(原稿受理 1993. 8. 5)

NII-Electronic Library Service