

III-149 鋼矢板壁のウェルポイント工に対する影響について

鹿島建設技術研究所 正員 鈴木 晋孝

1 まえがき

この報文は、厚さの大きな滞水砂層を掘削する場合に、滞水砂層の途中まで鋼矢板遮水壁と打設し、水位低下はウェルポイント工あるいはテーパーウェル工に頼ろうとするとき、ウェルポイントあるいはテーパーウェルの下端が鋼矢板遮水壁の下端より上方にある場合と、下方にある場合とでは、いずれが効率が高いかという問題に対して、定量的検討を行なうための一つのアプローチとしての計算と、簡単な実験とを行なった結果を取りまとめたものである。

このような鋼矢板遮水壁と水位低下工との併用工法は数多く施工されているが、遮水壁と水位低下工との設置位置関係についての検討は殆ど行なわれておらず、無検討のまま、随意に施工している場合がきわめて多い。そこで仮設工事費の低減化を計る目的で、この問題を取り上げたものであるが、ここで述べるものは概略の予備計算と簡単な予備実験であって、今後の研究の方向づけを試みたものである。計算には遮水壁を有するアースダムの浸透流問題として Nelson-Skornyakov が手がけに解を利用することとし、実験では浸透流量の比較のみを取りあげた。勿論、計算についても実験についても今後改良を加える所存である。

2. 鋼矢板遮水壁の揚水量に対する効率の計算

鋼矢板遮水壁の揚水量に対する効率の計算を図-1 (A), (B) の場合における鋼矢板遮水壁の下を回る浸透流が、ウェルポイントへ流入するときの流入勾配の比較として検討するものとする。なお計算においてはウェルポイントと水平ドレーンと置き換えて図-2 のような記号を与えることにする。図-2 に示した形状と Zhukovsky 変換によって G 平面に写像する。ここで Zhukovsky 変換は、

$$G = z - i\omega/\kappa \quad (1)$$

によって与えられる。この G 平面と Schwarz-Christoffel 変換によって τ 平面に写像する。Schwarz-Christoffel 変換の基本式は

$$G = M \int \frac{d\tau}{(t-t_1)^{1-\frac{\alpha}{\pi}} (t-t_2)^{1-\frac{\beta}{\pi}} \dots} + N \quad (2)$$

で与えられるが、図-3 から図-4 への写像変換式は

$$G = \frac{L \sin \frac{\pi w}{2\pi R}}{\cos \frac{\pi d}{2\pi R}} \sqrt{\frac{\sin^2 \frac{\pi w}{2\pi R} - \sin^2 \frac{\pi d}{2\pi R}}{z}} \quad (3)$$

となり、ここで G 関数の定義から z 平面の形状を表わす関数は次式のようになる。

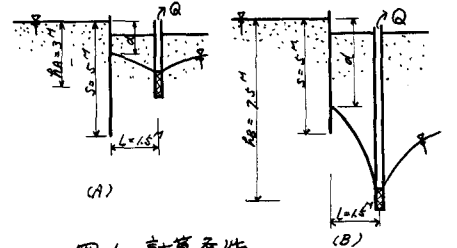


図-1 計算条件

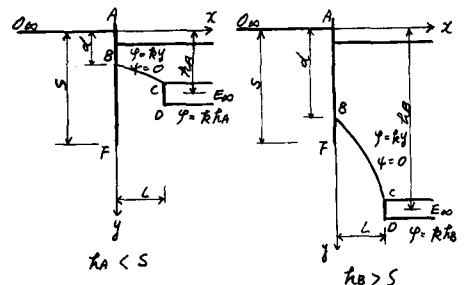


図-2 z 平面

$$z = \frac{i\omega}{k} + \frac{L \sin \frac{\pi\omega}{2kR}}{\cos \frac{\pi d}{2kR}} \sqrt{\sin^2 \frac{\pi\omega}{2kR} - \sin^2 \frac{\pi d}{2kR}} \quad (4)$$

さらに z 平面を W 平面に写像すると、その写像関数は

$$t = \beta \sin^2 \left(\frac{\pi\omega}{2kR} \right) \quad (5)$$

ここで β は B 点で $t=1$, $\omega = kR$ であるから

$$\beta = 1 / \sin^2 (\pi d / 2kR) \quad (6)$$

となる。(5)式において $\omega = kR + i\psi$ であるから

$$t = \beta \sin^2 \frac{\pi(RR + i\psi)}{2kR} = \beta \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} + \frac{i\psi\pi}{2kR} \right) = \beta \cosh^2 \frac{\pi\psi}{2kR} \quad (7)$$

となり、この(7)式に(6)式を代入すると

$$t = \frac{\cosh^2 (\pi\psi / 2kR)}{\sin^2 (\pi d / 2kR)} \quad (8)$$

となる。

次にCDEに沿った流入勾配 I_E は、 $I_E = i/k \cdot d\omega/dz$ で与えられるから

(4)式を W について微分し、その逆数に $\omega = kR + i\psi$ を代入すれば流入勾配 I_E が求められる。

$$\begin{aligned} \frac{dz}{d\omega} &= \frac{i}{k} + \frac{L}{\cos \frac{\pi d}{2kR}} \cdot \frac{\pi}{2kR} \cos \frac{\pi\omega}{2kR} \left[\left(\sin^2 \frac{\pi\omega}{2kR} - \sin^2 \frac{\pi d}{2kR} \right)^{\frac{1}{2}} + \sin^2 \frac{\pi\omega}{2kR} \left(\sin^2 \frac{\pi\omega}{2kR} - \sin^2 \frac{\pi d}{2kR} \right)^{-\frac{1}{2}} \right] \\ \therefore \frac{k dz}{i d\omega} &= 1 - \frac{L\pi \sinh \frac{\pi\psi}{2kR}}{2R \cos \frac{\pi d}{2kR}} \left\{ \frac{\sin \frac{\pi d}{2kR} (2t-1)}{\sqrt{t-1}} \right\} \end{aligned} \quad (9)$$

ここで(9)式を代入し

$$\frac{k dz}{i d\omega} = 1 - \frac{\pi L (2t-1) \sinh \frac{\pi\psi}{2kR}}{4R \cos \frac{\pi d}{2kR} \sqrt{t^2 - t}} \quad (10)$$

$$\therefore I_E = \frac{i}{k} \frac{d\omega}{dz} = \left\{ 1 - \frac{\pi L (2t-1) \sinh \frac{\pi\psi}{2kR}}{4R \cos \frac{\pi d}{2kR} \sqrt{t^2 - t}} \right\}^{-1} \quad (11)$$

この(11)式を用いて図-1の(A), (B)の場合について比較する。すなわち図-1(A)の場合を I_{EA} , (B)の場合を I_{EB} とすると、

$$\frac{I_{EA}}{I_{EB}} = \frac{\left\{ 1 - \frac{\pi L (2t_A-1) \sinh \left(\frac{\pi\psi_A}{2kR_A} \right)}{4R_A \cos \left(\frac{\pi d_A}{2kR_A} \right) \sqrt{t_A^2 - t_A}} \right\}^{-1}}{\left\{ 1 - \frac{\pi L (2t_B-1) \sinh \left(\frac{\pi\psi_B}{2kR_B} \right)}{4R_B \cos \left(\frac{\pi d_B}{2kR_B} \right) \sqrt{t_B^2 - t_B}} \right\}^{-1}} \quad (12)$$

となる。ここで $t = \cosh^2 (\pi\psi / 2kR) / \sin^2 (\pi d / 2kR)$ である。一方、鋼矢板遮水壁の深さは、

$$\frac{S}{k} = \frac{L \sin^2 (\pi d / 2kR)}{2R \cos (\pi d / 2kR)} + \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \left(\frac{\sin^2 (\pi d / 2kR)}{2 \cos \frac{\pi d}{2kR} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 (\pi d / 2kR)}{4 \cos^2 (\pi d / 2kR)} + \sin^2 (\pi d / 2kR)}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

で与えられる。

いま(13)式を S/k , d/k , L/k についての関係図を示すと図-6のようになる。ただし図-6では $L=1.5\text{m}$ に対し、 $R_A=3\text{m}$, $R_B=7.5\text{m}$ として $L/k=0.2$, 0.5 の場合を示してある。

以上の結果を用いて図-1(A), (B)の場合について数値計算をすると、(A)は $S=5\text{m}$,

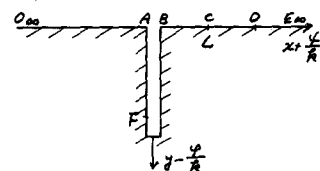


図-3 G平面

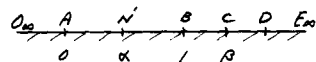


図-4 t 平面

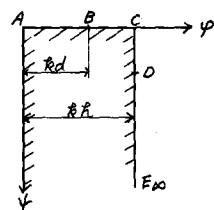


図-5 W 平面

$t = 3 \text{ m}$, $L = 1.5 \text{ m}$ であるから $S/h = 5/3 = 1.67$, 図-6 から $d/h = 0.82$ によって $d = 2.46 \text{ m}$ となる。これらの数値と $\psi = 0.6$ から τ を求めると $\tau = 6.82$ となり、これから $I_{EA} = -1/3.17$ であり、同様にして(B)の場合を求めると $I_{EB} = -1/7.1$ であり、したがって

$$\frac{I_{EA}}{I_{EB}} = \frac{7.1}{3.17} \div \frac{1}{4.5}$$

となる。すなわち鋼矢板遮水壁の効果が可成り著しいことが知られる。ただし、この計算ではウエルポイント工あるいはデー・ウエル工によって囲まれた範囲の地下水位は一定と仮定して求めたものである。

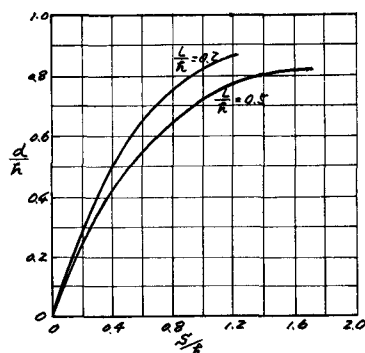


図-6 d/h , S/h , ψ 関係図

3. 模型実験

3-1 実験装置と方法

実験水槽と人工透水砂層および排水管の設置状況は図-7 のようである。すなわち縦 50 cm , 横 100 cm , 巾 10 cm のアクリル樹脂製水槽に標準砂にて厚 40 cm の透水層を作り、水槽中央に透水砂層内への貫入深が 1.5 cm の遮水壁をアクリル樹脂板にて設置した。この遮水壁の一方は常時透水層が 1 cm を維持するように給水し、他方には内径

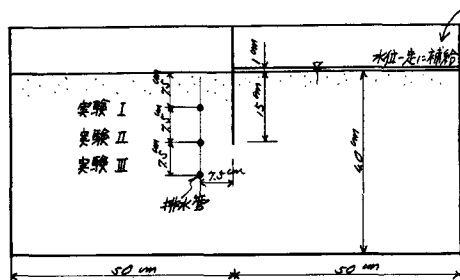


図-7 模型水槽 (巾 10 cm)

8 mm , 長さ 10 cm のアルミニウム管に多数の小孔を穿ったものと排水管として設置し、排水管からの排水はサイフォン方式で水槽外へ誘導することとした。排水管の設置位置は遮水壁から 7.5 cm 離れた鉛直線上に実験工では模型地表面から 7.5 cm , 実験Ⅱでは 15 cm , 実験Ⅲでは 22.5 cm の深さに設置することとした。なお流線を求めるために遮水壁の上流側に、 5 cm 間隔で注射針を通してフルオレッセソージを連続注入することとした。また動水と圧力差を測定するために水槽背面に 10 mm 方眼に 36 個の動水と圧力差測定孔を設け、水圧メーターに接続し測定することとした。排水量はメスシリンダーを用いて単位時間当りの流量を測定するものとした。なお人工透水砂層の透水係数は定水位透水試験によって測定した結果 $k = 1.2 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ であった。

3-2 実験結果と検討

実験はまず鋼矢板遮水壁の浸透流に対する効果が無い場合について、排水管の設置位置を図-7 の3ヶ所について流量を測定した。すなわち遮水壁は表面水のみを遮断する目的で人工砂層の表面から約 5 mm 砂層に貫入しただけとし、排水管設置位置は図-7 のとおりとして、その場合の流量を測定した。次に遮水壁の効果を把握するために砂層内へ 1.5 cm 貫入せしめ、各深さに排水管を設置した場合の排水量を測定した。

これらの測定結果を縦軸に排水量 $Q (\text{cm}^3/\text{sec}/\text{cm})$, 横軸に排水管中心からサイフォン出口までの鉛直距離 $H (\text{cm})$ をとって図示すると、図-8 のようになる。

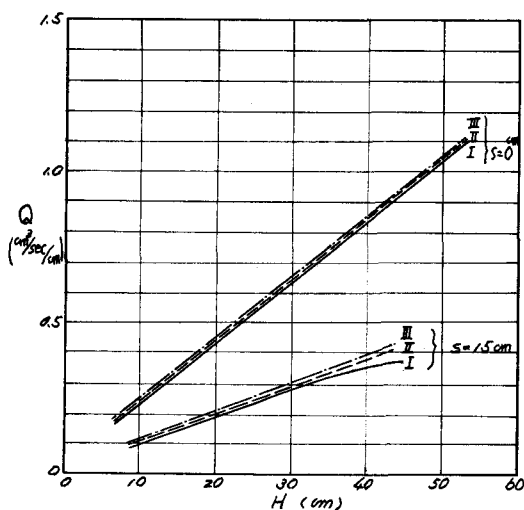


図-8 実験結果 $Q-H$ 関係

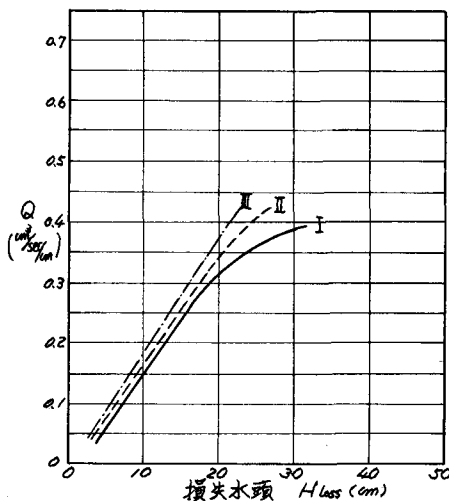


図-9 $Q-H_{loss}$ 関係図

この図-8の測定結果からは遮水壁の効果が明瞭でないで、図-8の $s=0$ の線と $s=1.5\text{cm}$ の線との同一流出量に対する水頭差を取り出して図示すると図-9のようになる。図-9は浸透流が遮水壁の下を回り、排水管へ向って浸透方向が変化することによって原因する損失水頭を表わしていると考えられるが、図-9からは流量が $0.25\text{ cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$ 以下においては大きな差がなく、流量が $0.3\text{ cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$ 以上において漸く明確になることが知られる。この原因は実験上のものであることが推定される。すなわち流量が $0.25\text{ cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$ 以下においては排水管への浸透流入量の方が排水量より大であって、排水管上部の水位低下量が小さい状態であり、流量が $0.3\text{ cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$ 以上に至って漸く排水管への浸透流入量よりも排水量の方が大きくなり始め、排水管上部の水位が排水管上面にまで達したことを示している。特に実験Iにおいては排水量が $0.3\text{ cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$ 以上に至って空気を吸引していることが実験において確認されており、実験IIにおいては $0.4\text{ cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$ 以上の排水量に至って始めて空気の吸引が始まり、実験IIIにおいては今回の実験範囲では空気の吸引が見られなかった。各実験において実験Iの状態に達しているならば遮水壁の排水量に対する効率が定量的に比較できたであろうと思われる。しかし排水管の設置深さによって、このような差異が現象として現われることは、定性的に遮水壁の排水量に対する効率が高いことを示していると考えることが出来ると思われる。

4. あとがき

鋼矢板遮水壁のウェルポイント工あるいはデーアウエル工に対する影響の程度を知るための予備的計算と予備実験の結果十分に影響がありそうなのが知られた。当然ウェルポイントあるいはデーアウエルの設置深さと遮水壁の根入れ深さとの位置関係によってその影響の程度は異なるが、今後とも検討を進めてゆく意義はありそうに思える。計算方法、実験方法を再検討のうえ最も効率の高い配置関係を見つけ出したいと考える。

参考文献： M.E. Harr: Groundwater and Seepage, McGraw-Hill, Co., 1962. p 168~180