

井戸のスクリーン損失に関するレビューと一考察

JR 東日本 東京工事事務所 正会員 成田 昌弘

1. 概要

井戸は、帯水地盤における土木工事で地下水位を低下したり、生活・工業用水を汲み上げる目的で使用される。この井戸の性能を表わす指標の一つとして「井戸損失」があり、その原因となる幾つかの要因が知られている。本稿では井戸損失の要因のうち、地下水がスクリーンを通過する際に生じる水頭損失(以下「スクリーン損失」とする)について現在提案されている評価手法を紹介するとともに、それらの方法を用いて一般の土木工事で使用される規模の井戸で生じるスクリーン損失量について検討する

2. スクリーン損失の評価方法

本稿では損失水頭の評価方法として、Petersen, Rohwer and Albertson¹⁾の方法と Singh and Shakya²⁾の方法についてレビューし検討する。

(1) Petersen, Rohwer and Albertson の方法

彼らは液体中に鉛直に立てた円形の試験用スクリーン管を想定し、エネルギー方程式(Bernoulli の定理)・運動量方程式・オリフィスの考え方から、以下の仮定の基でスクリーン内外の水頭差を(1)式で表した。

a) 1 次の近似として粘性の影響を無視し、レイノルズ数は独立パラメーターとしない。同様に、スクリーン内面の粗度の影響についても考慮しない。

b) スクリーン外面のピエゾ水頭はどの位置でも同じである。

c) スクリーン内の流速分布は一様であり、有効流下断面積はスクリーンの断面積とする。

そして、式中の無次元変数 CL/D が 6 より大きい場合には、 Δh_{pz} は極小値となり以後スクリーンの諸元に依存しなくなると述べている。また彼らは、一般に使用されているスクリーンを使用した場合の損失の算定についても基本は(1)式を適用できること、またその場合には個々のスクリーンについて収縮係数を実験から求めることが必要であると述べている。

さらに仮定 c) については実際の現象を的確に表現しているとは言えないとしている。その原因として、スクリーンの内側では水がスクリーンの軸方向に流れている部分と、地下水がスクリーンに流入した直後にスクリーン軸と直角方向に流れている部分があることを挙げ、これが結果として軸方向の流下断面積の減少につながるとしている。ちなみに彼らが行った室内試験の結果については、有効流下断面積の算出に使用する管径を実際の管径の 0.96% とすれば試験値をうまく補正できると述べている。

(2) Singh and Shakya の方法

彼らは非 Darcy 流れの抵抗則を使用するとスクリーン内外の水頭差を(2)式で表わす事ができるとし、室内試験から n の値として 1.911 を求めている。

一方、オリフィスの考え方によればスクリーンの水理伝導率はその開口率に比例することになるが、試験の結果からはそのような傾向が見られないことから、地下水がスクリーンに流入する状況を表現するのにオリフィスの考え方を適用するのは適切でないとした。

$$\Delta h_{pz} = 2 \frac{\cosh \frac{CL}{D} + 1}{\cosh \frac{CL}{D} - 1} \times \frac{V^2}{2g} \quad (1)$$
$$C = 11.31 C_c A_p$$

Δh_{pz} : スクリーン内外の水頭差 [L]

L : スクリーン長 [L]

D : スクリーン直径 [L]

A_p : スクリーン開口率 [無次元]

C_c : 収縮係数 [無次元]

V : スクリーン内の流速 [$L T^{-1}$]

g : 重力加速度 [$L T^{-2}$]

$$h_s - h_w = \frac{d}{(2\pi r_w K_s b)^n} Q^n \quad (2)$$

h_s : スクリーン外側の水頭 [L]

Q : 揚水量 [$L^3 T^{-1}$]

h_w : 井戸内水頭 [L]

K_s : 非 Darcy 流れ領域に

r_w : 井戸半径 [L]

おけるスクリーンの

b : 帯水層厚 [L]

水理伝導率 [$L T^{-1}$]

d : スクリーン厚 [L]

キーワード 井戸、スクリーン、水頭損失

連絡先 〒151-8512 東京都渋谷区代々木 2-2-6 Tel 03-3379-4353 Fax 03-3372-7980 E-mail narita@tokojreast.co.jp

そしてスクリーンの存在を考慮に入れた井戸周辺の水頭分布を求めるために、円柱座標系での支配方程式(3)を境界条件(4),(5)式のもとで解き、(5)式中の n が 2.0 の場合の解として(6)式を提案している。

$$\frac{d}{dr}\left(r\frac{dh}{dr}\right)=0 \tag{3}$$

$$h(r)|_{r=R}=h_0 \tag{4}$$

$$\lim_{r\rightarrow r_s}\left\{\frac{dh}{dr}-\frac{R_s}{d^{1/n}}(h-h_w)^{1/n}\right\}=0 \tag{5}$$

$$(h_0-h)=A\ln\left(\frac{R}{r}\right) \tag{6}$$

$$A=\frac{-\frac{R_s^2r_s^2}{d}\ln\left(\frac{R}{r_s}\right)+\sqrt{\left\{\frac{R_s^2r_s^2}{d}\ln\left(\frac{R}{r_s}\right)\right\}^2+4\frac{R_s^2r_s^2(h_0-h_w)}{d}}}{2}$$

$R_s=K_s/K_a$

(6)式から井戸内外の水位差を求めると(7)式となる。

$$h_s-h_w=\left(\frac{A}{R_sr_s}\right)^2d \tag{7}$$

h : 水頭 [L] d : スクリーン厚 [L]
 h_0 : 影響圏位置での水頭 [L]
 K_s, K_a : スクリーン水理伝導率, 帯水層透水係数 [L T⁻¹]
 R, r_s : 影響圏, スクリーン半径 [L]

3.損失量の計算と考察

土木工事で実際に使用される規模の井戸について上記の算定式(1),(2),(7)より損失値を計算する。計算に使用した数値を表 - 1 に示す。

A は透水性の高い地盤で揚水量を変化させた場合、B は透水性の低い地盤を模擬した。
結果井戸内外の水頭差は以下の様になった。

- (1)式より求まる値
- A-1 : 5.68mm A-2 : 0.23mm B : 0.23mm
- (2)式より求まる値
- A-1 : 4.67mm A-2 : 0.22mm B : 0.22mm
- (7)式より求まる値
- A-1 : 4.57mm A-2 : 1.00mm B : 0.0008mm

表-1 井戸・帯水層等の諸元

	A-1	A-2	B
スクリーン長 (m)	5.0	5.0	5.0
スクリーン半径 (cm)	15.0	15.0	15.0
スクリーン厚 (mm)	5.0	5.0	5.0
スクリーン水理伝導率 (cm/sec)	0.4	0.4	0.4
スクリーン開口率	0.103	0.103	0.103
収縮係数 ³⁾	0.64	0.64	0.64
揚水量 (m ³ /min)	1.0	0.2	0.2
帯水層厚 (m)	5.0	5.0	5.0
帯水層透水係数 (cm/sec)	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻³
影響圏半径 (m)	2000	500	200
井戸内水位降下量 (m)	5.0	2.0	5.0

3 種類の方法で求まった損失水頭は最大で 5.68mm と揚水等による水位変動と比較して小さな値であり、今回検討した程度の諸元の井戸ならば地下水がスクリーンを通過する際に生ずる損失水頭は無視してよいと思われる。また A-1,2 の結果から、揚水量を変化させると損失水頭も変化するものの値としては小さい。そのため段階揚水試験の結果から、Jacob や Rorabaugh の方法により、井戸損失を表わす係数 (C) を算出する際にもスクリーン損失について考慮しなくてよいと考えられる。

4.今後の課題

Petersen らが述べているように、スクリーン内には水が軸方向に流れている部分と軸直角方向に流れている部分の境界領域があると思われる。さらに軸直角方向の流速は軸方向の流速と比較してかなり早いので、境界領域では開水路で見られる跳水と類似した現象によりエネルギー損失が発生している可能性があり、この部分についての検討も必要であると考えられる。

【参考文献】

1)Petersen,J.S.,Rohwer,C. and Albertson,M.L. : Effect of well screen on flow into wells
Transactions American Society of Civil Engineers Vol.120 Paper No.2755 pp.563 1955

2)Singh,S.R. and Shakya,S.K. : A nonlinear equation for groundwater entry into well screen
Journal of Hydrology Vol.109 pp.99 1989

3)松梨 順三郎 : 水理学 p93 朝倉書店 1981