

東海大学 学員 前原弘光
東海大学 正員 星田義治
東海大学 正員 市川 毅

1. まえがき

先般において、著者等は井戸の非定常二次元放射流れに井戸材の抵抗を考慮した解析法を示している。しかし、不圧地下水の場合、井戸材の抵抗による井戸損失がない場合でも水理的必然として鉛直流による井戸内外水位の不連続が発生する。従って、不連続水位差のすべてが井戸材の抵抗による損失ではないことになる。以上のことから今回、井戸壁における不連続水位における鉛直流の影響、及び近似的に井戸材の抵抗による井戸損失と見なしした場合の抵抗係数について考察を行なう。

2. 有限要素法による定常三次元放射流解析

Fig-1 において、均質等方（全要素について Z, r 方向の透水係数一定）な帯水層内の定常三次元放射流れの支配方程式は次のように表わされる。

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial h}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(r \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad (2-1)$$

但し、 $h = p/\omega + z$

ここに、 p : 水圧、 ω : 水の単位体積重量。

境界条件は次のようになる。

二点境界値問題として扱うと境界 A_1, A_3 は静水圧となる。

$h = h_w$ on A_1 , $h = H_c$ on A_3

境界 A_2 は浸出面を表わす。

$$h = z \quad (p = 0)$$

境界 A_4 は不透水層であり、境界 FS は自由水面を示す。

$$\frac{\partial h}{\partial z} = 0 \quad \text{on } A_4, \quad \frac{\partial h}{\partial n} = 0 \quad \text{and } p = 0 \quad \text{on } FS$$

浸出面の位置は揚水が近傍の要素分割に大きく左右される。従って、要素分割については十分留意性を検討し、Fig-2 のようなモデルで解析し。

3. 井戸材の抵抗を考慮した井戸壁における運動方程式

近似的に井戸壁における不連続水位を抵抗によるものとし、乱流型の運動方程式を用いると以下のように導かれる。Fig-3 において、井戸材の抵抗を $K = \sqrt{2g/Z_f}$ とおき、 $h_s - h_w$ 区間からの浸み出し量を Q_1 , h_w 区間からの浸み出し量を Q_2 とすると井戸壁における乱流型の運動方程式は次のようになる。

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 = 2\pi r_0 K (h_s - h_w)^{\frac{1}{2}} \frac{2h_s + h_w}{3} \quad (3-1)$$

ここに、 g : 重力加速度、 Z_f : 損失係数。式(3-1)を無次元化すると式(3-2)となる。

$$Z_0 = \alpha (g_s - g_w)^{\frac{1}{2}} \frac{2g_s + g_w}{3} \quad (3-2)$$

ここに、 $Z_0 = Q_0 / 2\pi R H_c^{\frac{1}{2}}$, $\alpha = r_0 K / R H_c^{\frac{1}{2}}$, $g_s = h_s / H_c$, $g_w = h_w / H_c$, k : 透水係数。

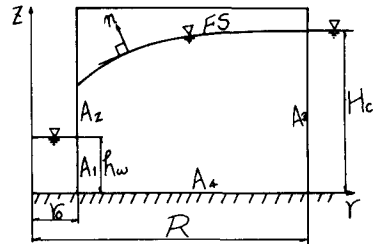


Fig-1

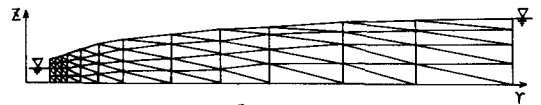


Fig-2

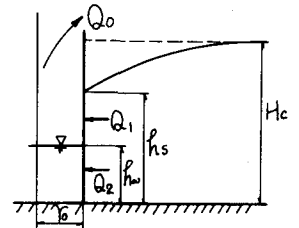


Fig-3

4. 模型實驗概要

実験装置は円型の $\frac{1}{4}$ の扇型水槽を用いた。Fig-4は模式断面図を示す。サテ壁外の水位は板厚1cmのストレーナに接して中々mmの観測孔を設け、他のサテ同様にサテ底から逆サイフォンでマニータに導いて測定する。揚水サのストレーナとして、開孔率の異なる4ケースのサテ材を用いる。開孔率は帯水層内のサテ壁側面積に占める開孔面積の割合を示し、この値にmesh(120 μ)は考慮しない。充填材料は有効粒径0.43mm、均等係数1.49の零川産砂、及び豊浦標準砂を用いる。汲養半径は2.0mと1.0mを採用する。各ケースにつき揚水サの水位降下量と変化させて定常実験を行った。

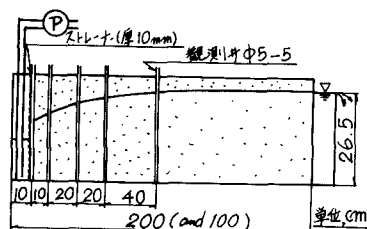


Fig.-4

5. 實驗結果及考察

一般に動水勾配が大きくなると Dupuit-Forchheimer の準一様流の仮定は成り立たない。鉛直流を考慮したサテ理論式に野満の一次解⁽¹⁾がある。野満の式、F.E.M.による三次元放射流の数値解、及び準一様流の仮定による Thiem の式に実験データを適用すると、Fig-5 のような関係になる。鉛直流によって生じる浸出面の不連続水位差とサテ内水位の関係に実験値をプロットすると Fig-6 のようになる。実験値はストレーナの開口率 100% のデータであり、最大水位降下とその Reynolds number は粍川砂に対して 1.5、標準砂に対して 0.04 である。Re 計算に用いる流速は揚水量とサテ外水位の流断面積 ($2\pi R h_0$) で割ったものである。野満の解と F.E.M. の数値解に差違が認められるが、野満の解は一次解であり十分議論できない。F.E.M. の数値解においては比水位 (h_w/h_0) 0.5 付近より鉛直流による不連続水位差が急激に大きくなるが実験値もほぼ同様の傾向が認められる。実験値と理論値が一致しない理由に測定精度 (サテ枠に接して観測身を設けている)、サテ枠の抵抗等が考えられる。また実験値の涵養半径による変化が少ないことから要方性 (k_z と k_r の比を要する) の解析も必要かと思われる。

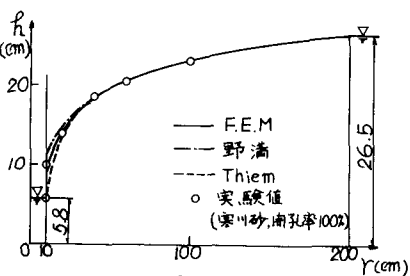


Fig. - 5

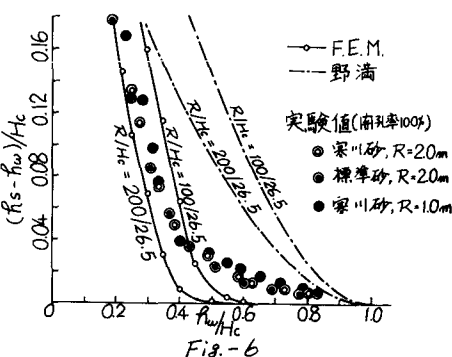


Fig. - 6

近似的に不連続水位差が抵抗によって主として薄いた式
(3-2) の関係を示すと Fig. 7 のようになる。この図によると開
孔率が大い場合、流量(水位降下量)が大きくなると比例関係が
くずれている。この位置を比水位示すと 0.4 位である。この値
は Fig. 6 において鉛直流の効果が大くなる位置とほぼ一致し
ていることから鉛直流の影響によるものと思われる。開孔率が小
さい場合、つまり、不連続水位差に占めるサナリの抵抗の影響が
大きい場合、ほぼ比例関係が保たれている。図のように 2 種の媒
体による傾向が一致していることから、鉛直流の影響が卓越した
範囲(開孔率が大い場合は比水位 0.4 位まで)の現場において
は近似的に抵抗係数(不連続水位差)を推定可能と思われる。

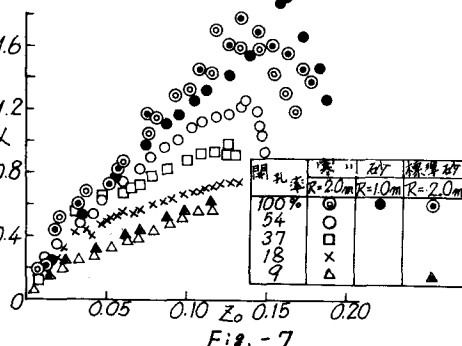


Fig. - 7

参考文献

- (1) Takahara Nomitsu; An Advance in the Theory of Wells, I Steady State, 地球物理, Vol. 12, No. 2
(2) 狩野徳太郎; 井壁内外の水位差, 農業工本研究, Vol. 6, No. 3, 1934 P. 159-171, 1935