

Q

井戸計画時に水位低下量は、どの程度に計画すればいいのですか？

A

不圧帯水層における計画水位は、帯水層 H の 1/3 を限界水位低下量とし、その 0.7~0.8 を適正水位低下量として水位低下量を設定すればよいと考えられます。

(1) 井戸の適正揚水量と限界揚水量

通常、適正揚水量は限界揚水量の 70% (水道協会)¹⁾ ~80% (工業用水)²⁾ といわれています。安全率に直せば、70%は $F_s=1.43$ で、80%は $F_s=1.25$ になります。計画時に求めたいのは、その井戸で長期的に取水できる適正揚水量ですが、限界揚水量から求める必要があります。しかし限界揚水量は井戸施工後の段階揚水試験で決定される井戸固有の値となるため、計画時に決めることは通常できません。

【水道施設設計指針(2012)】¹⁾

「③適正揚水量：限界揚水量の 70%以下の揚水量」

【工業用水道施設設計指針・解説(1989)】³⁾

「この限界揚水量の 70%以下の量を適正な揚水量とすることを一応の目安とし、」

【工業用水道施設設計指針・解説(2004)】²⁾

「この限界揚水量の一定値（たとえば 8 割）などを適正揚水量などと経験的に言うこともあるが、地域全体の・・・」

(2) 事例で求めた限界水位低下量

限界揚水量が井戸固有とはいえ、経験的には、帯水層の 1/2 か 1/3 程度まで井戸の水位を低下させると、限界揚水量になることが多かった気がします。そこで過去の段階揚水試験の事例を 21 収集し、帯水層厚 H と限界揚水量の水位低下量 S_c から限界水位低下率 α_c を求め、表-1 に示しました。その平均値の限界低下率 $\alpha_c=0.33$ となり、帯水層の 1/3 まで水位を低下させると、限界揚水量になると平均的に考えられます。

表-1 浅井戸の限界水位低下率の事例

限界水位低下率 αc

$$\alpha c = S_c / H$$

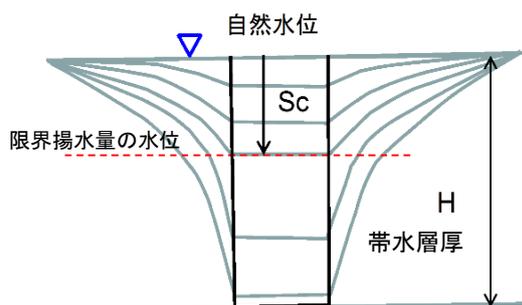


図-1 水位地下モデル (浅井戸)

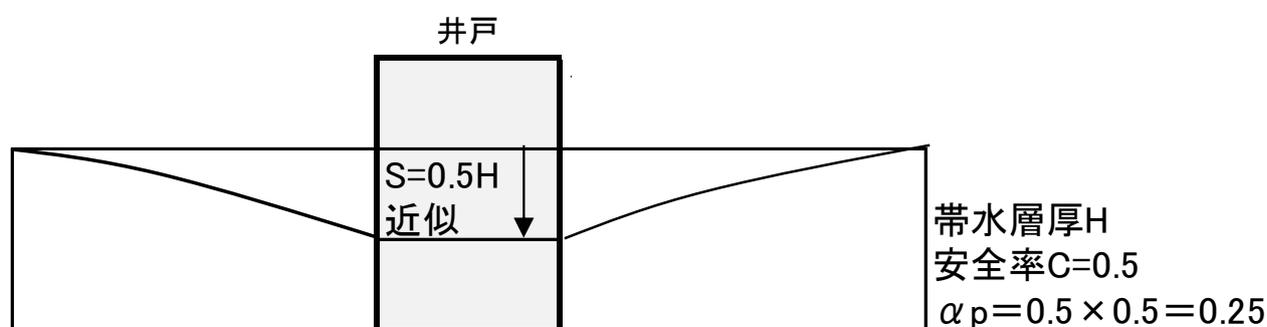
No	帯水層厚 H(m)	限界揚水量での 水位低下量 Sc(m)	透水係数 k(cm/s)	限界水位低下率 $\alpha c (=S_c/H)$
1	3.40	0.93	1.16E+00	0.27
2	3.50	0.95	1.28E+00	0.27
3	1.35	0.32	6.69E-01	0.24
4	1.34	0.35	2.70E-01	0.26
5	4.00	1.20	1.72E-01	0.30
6	4.65	1.96	2.00E+00	0.42
7	7.80	1.79		0.23
8	15.60	5.53		0.35
9	13.00	4.99		0.38
10	4.00	1.28		0.32
11	4.90	1.53		0.31
12	6.07	1.07		0.18
13	4.10	1.20		0.29
14	7.43	3.93		0.53
15	9.20	4.25	1.00E-02	0.46
16	6.78	2.38		0.35
17	11.20	4.30		0.38
18	10.00	1.07		0.11
19	8.80	3.86		0.44
20	30.00	13.50		0.45
21	9.00	2.50		0.28
平均	7.91	2.80	0.79	0.33

(3) 消えた安全率から推定される適正水位低下率と限界水位低下率

「工業用水道施設設計指針・解説」の1989年版にあった安全率の記載「井戸公式での計算に井戸効率 $c \doteq 0.5$ を乗じる必要がある。」³⁾が2004年版では消えて、「土木学会水理公式等を参考にする」としか記載されていません。理由は高開口率スクリーンが広く使用されるようになったため、井戸損失が昔ほど致命的でなくなったことによります。しかし、逆に計算上は井戸を空にするような計算をする人も出て来ていて、適正な水位低下という概念が無視される例も現れ始めました。水位低下の目安についての記載がないためです。

文章で記載されていませんでしたが、1989年版の井戸公式の例では、ちょうど帯水の半分に水位低下線が記載されており³⁾、図を解釈すると、井戸効率 0.5 を乗じるので適正揚水量に対応する適正水位低下率 αp は、帯水層 $H \times 0.5 \times 0.5$ で 0.25 になっていたのです。

つまり、解釈として適正水位低下率 $\alpha p = 0.25$ 、限界水位低下率 $\alpha c = 0.25 / 0.75 (0.7 \sim 0.8) = 0.33 (0.31 \sim 0.36)$ となり、事例平均値と同じになります。

図-2 1989年版の井戸公式の適用例³⁾

なお、「工業用水道施設設計指針・解説」の2004年版にまだ残っている放射状井戸の安全率は、「井戸効率を少な目(1/3以下)に抑えるべきである。」とされています²⁾。通常は、放射状井戸の集水管の位置は帯水層の3/4程度に設置されることが多いので、解釈として適正水位低下率 α_p は、帯水層 $H \times (3/4) \times (1/3)$ で0.25になります。

つまり、解釈として適正水位低下率 $\alpha_p=0.25$ 、限界水位低下率 $\alpha_c=0.25/0.75(0.7\sim0.8)=0.33(0.31\sim0.36)$ となり、事例と同じです。ただ、放射状井戸の方が、構造が複雑であり鉛直流を期待しているので、より厳しく設定する必要があると考えられます。

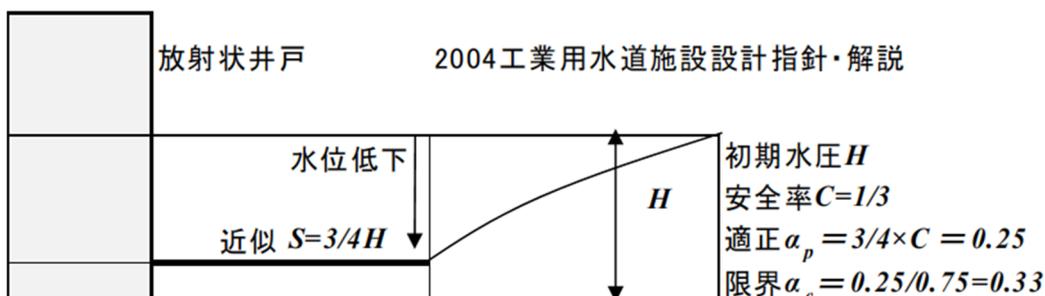


図-3 2004年版の放射状井戸公式の適用例²⁾

(4) 図解法で確認できる限界水位低下率

井戸公式を用い、帯水層10mの水位低下量と揚水量の相関図を作成したのが図-4です。また、透水係数は、3方向が等方の場合と、鉛直流1方向が1/10で帯水層の水位低下比率に応じて影響度を案分した異方性を考慮した平均透水係数の場合の2種類で試算しています。この場合の図解法では数点で結ぶ直線の交点は、線のひき方に左右され、限界水位低下率は0.3~0.4に分布するようになります。

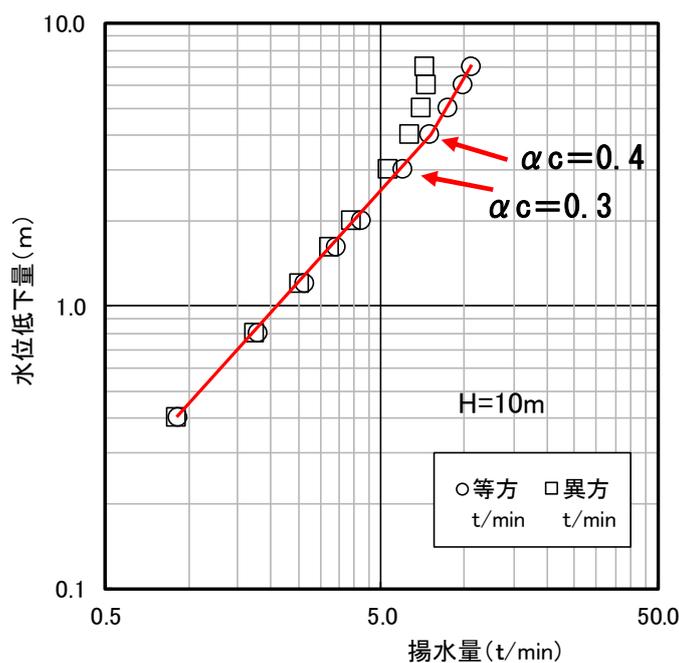


図-4 10m帯水層の図解法の限界水位低下率

現実の段階揚水試験は数点なのですが、帯水層 $H=9\text{m}$ で水位低下を 0.1m ピッチで揚水量 Q を試算したのが図-5~6 です。ほぼ 3m 、つまり帯水層厚 H の $1/3$ が限界揚水量の交点と考えられます。これは事例平均値 0.33 と同じであり、井戸公式からも限界水位低下率 $\alpha_c=1/3$ で想定すれば良いことがわかります。実はこれは H^2-h^2 の式上の特性に左右されています。

機能診断としての比湧水量を求める場合、「井戸の改修及び更新の事例集 (2000)」には、不圧地下水の「揚水量は最大揚水量の $1/2$ 程度の一定量に調整すること」とあります⁴⁾。また、被圧地下水は適正揚水量 (限界揚水量の 70%) とあり、同じように扱われています。下図で示す最大揚水量の半分の水位低下量は 2.6m であり、限界水位低下量 3m に対し 86% であり多少過大ですが、最大揚水量の半分程度が、適正揚水量に近似していると考えられます。

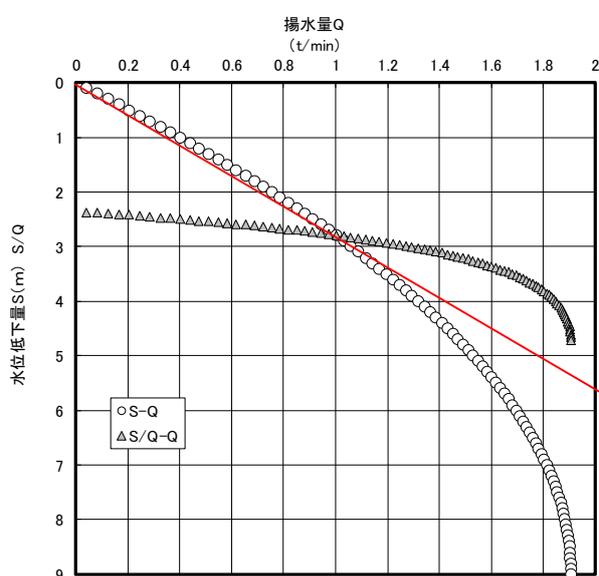


図-5 9m帯水層の図解法

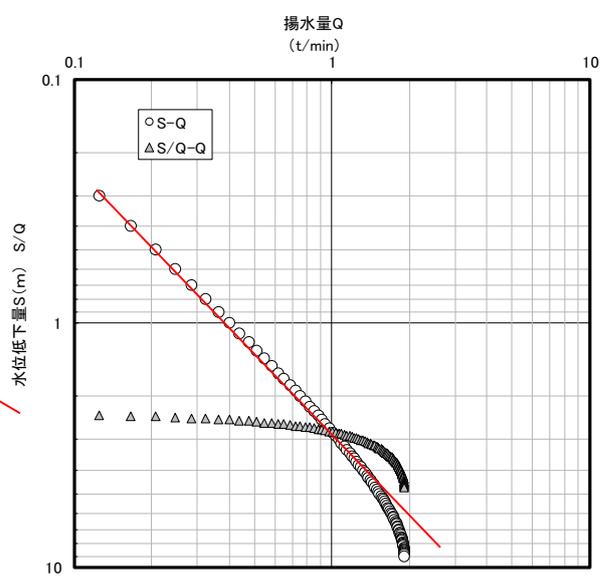


図-6 9m帯水層の図解法 (両対数)

以上のように、事例や計算式上から、過去の安全率の解釈からも、不圧帯水層において、計画時には、帯水層 H の $1/3$ を限界水位低下量とし、その $0.7\sim 0.8$ を適正水位低下量として水位を設定すればよいと考えられます。

【引用文献】

- 1) 日本水道協会 (2012) : 水道施設設計指針 2012, p. 92.
- 2) 日本工業用水協会 (2004) : 工業用水道施設設計指針・解説, p. 34, p. 60.
- 3) 日本工業用水協会 (1989) : 工業用水道施設設計指針・解説, p. 41, p. 79.
- 4) 日本水道協会 (2000) : 井戸の改修及び更新の事例集, p. 59, p. 60.