

金沢大学 正員 高瀬信忠

石川高専 同 〇布本 博

1. はじめに

地中に浸透した雨水や融雪水は、地下の土砂の間隙を満ちし、重力の作用で抵抗の少ない地層を流れることになり、もし不透水層に出会うと、水はその上に停滞して滞水層を作るわけであるが、これが地下水である。水理学では深さの大小に関係なく、井戸の底が不透水層に達するものを深井戸、達しないものを浅井戸といっている。また、上下の不浸透層にはさまれた含水層から被圧地下水を汲み上げる井戸を掘抜井戸というが、井戸の水を連続的に汲み上げると地下水水面が低下し、やがて一定の水位となって汲み上げ量も一定となり、これが井戸の揚水量といわれるものであるが、ここでは地下水揚水に伴う影響圏について水理学的検討を試みたものである。

2. 揚水量公式

浅井戸、深井戸、掘抜井戸の揚水量の算出には一般に次式が用いられる。

浅井戸 (Forchheimer公式)

$$Q = \frac{\pi k}{2.30 \log_{10} \frac{R}{r_0}} \cdot \frac{H^2 - h_0^2}{\left(\frac{h_0}{x + 0.5 r_0}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{h_0}{2 h_0 - x}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{----- (1)}$$

深井戸

$$Q = \frac{\pi k (H^2 - h_0^2)}{2.30 \log_{10} \frac{R}{r_0}} \quad \text{----- (2)}$$

掘抜井戸 (井壁が滞水層を貫通している場合)

$$Q = \frac{2\pi k b (H - h_0)}{2.30 \log_{10} \frac{R}{r_0}} \quad \text{----- (3)}$$

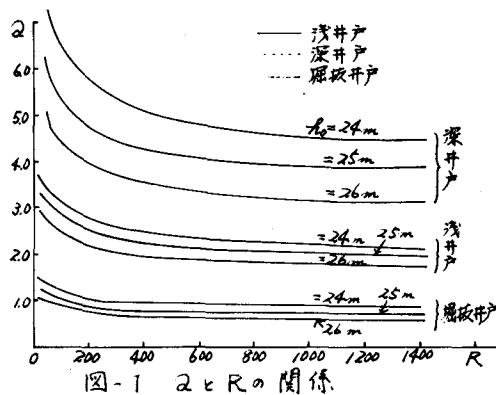


図-1 QとRの関係

ここに、Q; 揚水量, R; 影響圏(影響半径), k; 透水系数, r_0 ; 井戸の半径, H; 滞水層の下端から最初の井戸水面までの高さ, b ; 掘抜井戸における被圧滞水層の厚さ, h_0 ; 井戸の水位, x ; 浅井戸における井底から水面までの高さである。

井戸の直径 ($2r_0$) = 30cm, 地下水位 (H) = 30m, 透水系数 (k) = 0.4×10^{-4} m/s, x = 5m, b = 5m として水理学的検討を行なってみる。

3. 揚水量 (Q) と影響圏 (R) との関係

井戸の水位 h_0 が 24m, 25m, 26m の場合における各井戸の $Q \sim R$ の関係を図-1に示す。傾向としてはどの井戸も同じで、Rの小さい間はQの変化が大きく、Rが大きくなるに従ってQの変化は非常に小さくなっている。揚水量Qは深井戸が最も大きく、次に浅井戸で、掘抜井戸が最も小さい。

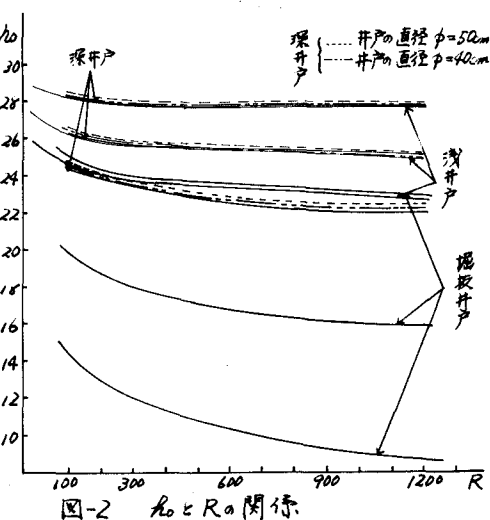


図-2 h_0 と R の関係

井戸への地下水流入量は深井戸が不透透層まで達しているのが最も大きいのは当然であり、浅井戸、掘抜井戸の場合はむしろ及ぶに大きく左右されることがわかる。もし、浅井戸、掘抜井戸の揚水量 Q が同じになるには(1)、(3)式より、

$$b = \frac{H + h_0}{2 \left(\frac{h_0}{t + 0.5 r_0} \right)^2 \left(\frac{h_0}{2 h_0 - t} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{----- (4)}$$

の関係が満足しなければならず、例えば井戸の水位 h_0 が24mの場合には b は14.36mもなければ浅井戸の揚水量に等しくならないことになる。

4. 井戸の水位(h_0)と影響圏(R)との関係

図-2は $h_0 \sim R$ の関係を示したもので浅井戸、掘抜井戸では Q が1 $\frac{1}{2}$ s, 2 $\frac{1}{2}$ s, 3 $\frac{1}{2}$ sの場合、深井戸では Q が2 $\frac{1}{2}$ s, 4 $\frac{1}{2}$ s, 6 $\frac{1}{2}$ sの場合のものである。傾向としては同じであるが同じ R , Q に対する h_0 の値はかなり違っており、例えば $Q=2\frac{1}{2}$ s, $R=10000$ mに対する h_0 の値は浅井戸では25.12m, 深井戸では27.55m, 掘抜井戸では16.0mである。

5. 井戸の水位(h_0)と揚水量(Q)との関係

図-3は R が100m, 300m, 600m, 900m, 1200mの場合について h_0 と Q の関係を示したもので、浅井戸は t が5mで一定で H , h_0 が変化する場合のものであるが h_0 の変化は揚水量 Q にほとんど影響を及ぼさないことがわかる。図-4は $H=30$ m, $t=5$ m, $a=5$ mが一定で h_0 が変化する場合のもので、何れも h_0 の減少につれて流量が増加の傾向を示している。浅井戸では凹曲線の下降、深井戸では凸曲線の下降、掘抜井戸では直線的な下降を示しているが、深井戸の場合には、井戸の径が大きくなるに従って Q に対する h_0 の値は大きくなっていることがわかる。図-5は浅井戸における H が30mで一定、 t は h_0 と共に変化する場合のもので水位 h_0 の減少につれて Q は増大するが、 h_0 が23mをピークとして減少する傾向のあることもわかるであろう。

6. 影響圏 R に関する考察

井戸を中心として任意の半径 r_0 をもつ1つの円筒を考えると、この円筒の周囲の面を通して井戸に流れ込む水量は、井戸から汲み上げる水量に等しいわけであるが、汲み上げる水量が多くなれば井戸付近の水面勾配が大きくなって、これに対応するものと思われる。影響圏 R の値を正確に知ることは難しいのであるが(1)、(2)、(3)式からもわかる通り、 R は式中において対数関数として入っているため Q の値にそれ程大きな影響を与えないように考えられるが、一般に R は r_0 の約3000~5000倍、または約500~1000m位といわれている。しかし、あくまでもこれは影響の少しでも及ぶ区域内であって、大きな影響の及ぶ区域は地下水の流れる水面勾配などから考えて、小範囲に限られるであろうと思われる。なお、地下水揚水に伴う影響が人家などに及ぼす影響がとくに心配であれば 人家などを少し離れて地下水揚水機場などを保つことを考えなければならぬであろう。

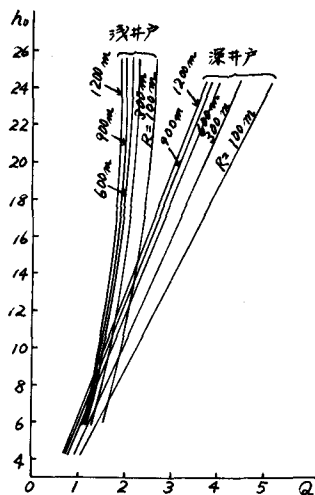


図-3 h_0 と Q の関係

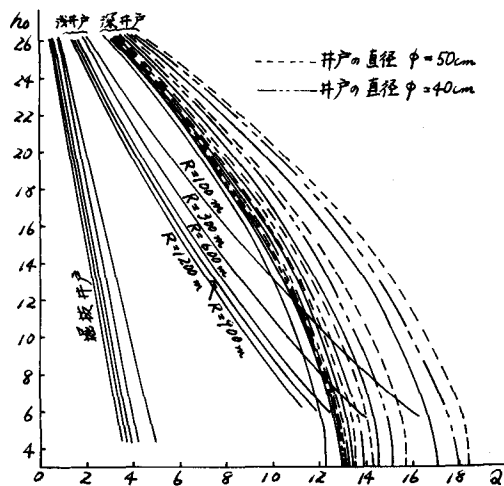


図-4 h_0 と Q の関係

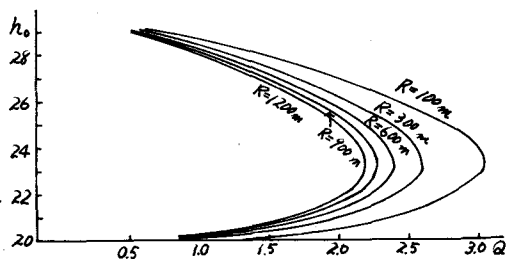


図-5 浅井戸における h_0 と Q の関係