

降雨供給を考慮した影響圏半径の推定式に関する一考察

大成基礎設計(株) 正○進士喜英

〃 正 平山光信

〃 正 大丸修二

はじめに：掘削地盤における排水計画や地下水挙動解析においては，地下水の影響範囲をあらかじめ設定する必要がある．一般に影響範囲は影響圏半径で考えられており，影響圏半径は多孔式揚水試験結果に基づく他に，経験的・理論的な予測公式や土質毎の代表値でも与えられている．しかしながら，これらの推定方法は理論的・実験的な背景が明確になっていないものもあり，適用にあたっては注意を要するものである．このような観点から筆者らは，影響圏半径推定式の理論的誘導を進めており(進士ら,1996)，本報では降雨供給を考慮した影響圏半径の推定方法を理論的に誘導したので報告する．

一定供給と影響圏半径の関係：降雨涵養のように，対象とする帯水層に均一に一定の割合で供給のある場合を考える．この時，供給強度 I は単位面積・単位時間あたりの供給量で表し，その次元は $[L^3/L^2T] = [L/T]$ となり，透水係数と同じものである(I は降雨強度ではなく地盤中に浸透する供給を示す)．本研究では，基盤高さが一定である不圧帯水層を考え，半径 $r_w[L]$ の井戸から流量 $Q[L^3/T]$ で揚水したとき，降雨供給を考慮した影響圏半径 R_I (添字 I ：降雨による影響を示す) は以下の関係をもつ(土質工学会,1991 を若干修正)．

$$Q = \pi(R_I^2 - r_w^2)I \quad (1)$$

これに対して，井戸から離れ r の円周を通過する流量は，半径 r から R_I までのドーナツ形状の面積に供給のあった流量に一致すると考え，以下の微分方程式で表すことができる．

$$2\pi khr \frac{dh}{dr} = \pi(R_I^2 - r^2)I \quad (2)$$

ここで， k ：帯水層透水係数 $[L/T]$ ， h ：半径距離 r の円周上での水位 $[L]$ ， r ：井戸からの距離 $[L]$

さらに，これを整理し半径 r から R_I まで積分すると以下の形になる．ここで， H ： $r=R_I$ での水位高さ $[L]$

$$2\pi k \int_r^{R_I} h dh = \pi I \int_r^{R_I} \frac{R_I^2 - r^2}{r} dr \quad (3) \quad \text{よって，} \frac{\pi k}{\pi I R_I^2} (H^2 - h^2) = \ln\left(\frac{R_I}{r}\right) - \frac{1 - r^2/R_I^2}{2} \quad (4)$$

さらに，(1)式より， $\pi I R_I^2 = Q + \pi I r_w^2$ を代入すると以下となる．

$$\frac{\pi k (H^2 - h^2)}{Q + \pi I r_w^2} = \ln\left(\frac{R_I}{r}\right) - \frac{1 - r^2/R_I^2}{2} \quad (5)$$

また， r が R_I に対して十分の小さいとき， $r^2 \ll R_I^2$ とみなされ， $r^2/R_I^2 \approx 0$ となり，(5)式は以下となる．

$$\frac{\pi k (H^2 - h^2)}{Q + \pi I r_w^2} \cong \ln\left(\frac{R_I}{r}\right) - \frac{1}{2} = \ln\left(\frac{R_I}{r\sqrt{e}}\right) = \ln\left(\frac{R_T}{r}\right) \quad (6)$$

$$\text{ここで，} e = 2.718281828, R_T = R_I / \sqrt{e} = 0.6065 R_I \approx 0.6 R_I \quad (7)$$

式(6)は，不圧帯水層における定常井戸公式(Thiem 式)である．影響圏半径に R_I を用いたときの水位低下分布図を図1に示した．

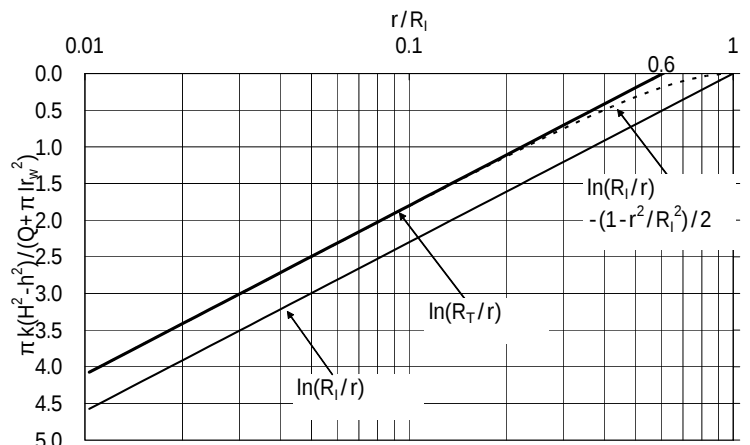


図1 影響圏半径と水位低下量分布

キーワード：影響圏半径，降雨強度，井戸理論

〒113-0022 東京都文京区千駄木 3-43-3 千駄木ビル tel：03-5832-7182/fax：7414

図1の結果を *Thiem* 式の適用を前提に考察すると、式(1)で定義される R_I は影響の有無と言う点では問題ないが、*Thiem* 式の直線分布では実際より大きな値を評価することになる。*Thiem* 式には R_I の 60% の値を用いることが適当であるといえる。また、図1から式(6)が式(5)を満たすのは $r < 0.2R_I$ である。

さて、揚水流量と降雨などから決まる供給強度 I の関係式(1)から影響圏半径 R_I は算定できるが、実務で多用されている予測式は井戸内水位低下量に対して与えられている。そこで、式(4)を変形して井戸内水位低下量 ($H-h_w$) と R_I の関係を評価する。式(4)から R_I を誘導することは容易ではないが、試行錯誤により得ることが可能である。図2はいくつかの透水係数と降雨強度の比 (I/k) について整理したものである。算定には計算結果の汎用性を持たせるため式(4)を以下の無次元化表記に書き換えた(ここで、 h_w は井戸内水位)。

$$\left(\frac{k}{I}\right)\left(\frac{r_w}{R_I}\right)^2\left(\frac{H^2-h_w^2}{r_w^2}\right)=\ln\left(\frac{R_I}{r_w}\right)-\frac{1-(r_w/R_I)^2}{2} \quad (8)$$

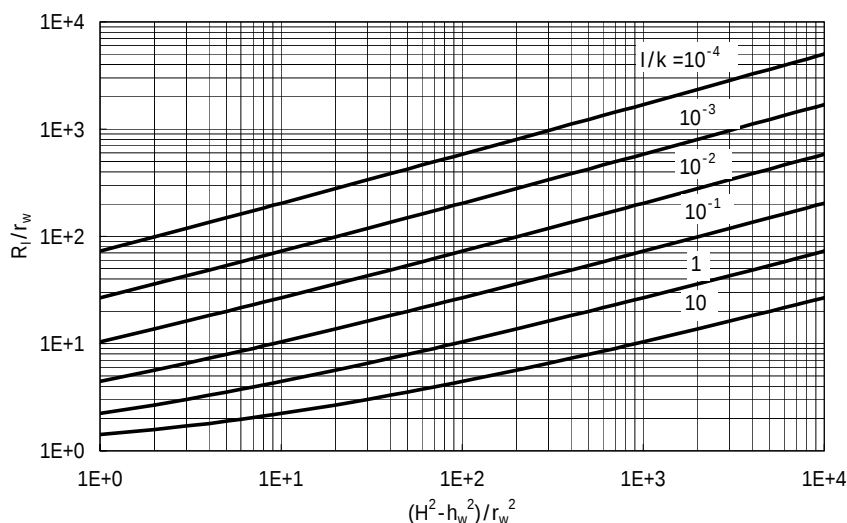


図2 水位低下量と R_I の関係

ここで、 I は地下水への供給強度であり、ここでは降雨強度に相当する。実際には地表面への降水の全てが地下水への涵養とは考え難く、概略で 1/3 程度と言われている。さらに、都市開発や道路舗装が進んでいるところでは、地下水への涵養はさらに少なくなる傾向があり、供給強度を明確に設定することは容易ではない。これに対して、図2より、仮に I の推定値が 1/10 倍になったとしても、 R_I の推定値は約 3 倍になる程度である。影響圏範囲の評価としては無視し難いが、*Thiem* 式による水位低下量や排水流量の予測では式中で対数関数の作用を受けさらに小さい差異しか見せないと考えられる。

まとめ：以上の検討結果をまとめると以下ようになる。

不圧帯水層における地下水への供給強度 I を用いた影響圏半径 R_I の評価を行ない、揚水流量 Q および水位低下量 ($H-h$) のそれぞれに対する R_I の関係式を示した。

($H-h_w$) - R_I の関係式は R_I に対して示し難いので、数値を計算しモノグラフにした。

Thiem の定常式を用いる場合、式(1)による R_I をそのまま影響圏半径値として用いることは適切ではなく、 $r < 0.2R_I$ では *Thiem* 式に適切な影響圏半径は $R_T = 0.6R_I$ であること示した。

参考文献：(1)進士喜英,西垣誠,古田直(1996): 漏水性帯水層モデルによる影響圏半径に関する一考察, 1996 年秋季講演会要旨, 日本地下水学会, pp.22-27., (2) 土質工学会(1991): 根切り工事と地下水, pp.101-103.