

# 堀割構造物周辺の地下水状態保全に関する研究

名古屋大学 正会員 大東 憲二  
 名古屋大学 正会員 植下 協  
 名古屋大学 学生会員 市川 悦男

## 1. まえがき

本報告では、まず、堀割式の道路や鉄道などの堀割構造物の位置と地下水の流動方向に着目し、どのような場合に不圧地下水の流動阻害が生じるのかについて考察した。そして、不圧地下水の流動阻害が最も大きくなる地下水の流動方向と堀割構造物が直交する場合について、帯水層の残存率と地下水流動阻害の関係を求めるための理論解を誘導した。また、地下水の流動方向と堀割構造物が直交しない場合には、この理論解の適用が困難であるために、三次元有限要素法を用いた数値解析によって、帯水層の残存率と地下水流動阻害の関係を求めた。

## 2. 堀割構造物建設時の地下水状態保全対策の要否

堀割構造物を建設する場合には、常に地下水状態保全対策が必要となるのではなく、帯水層や地下水流の状況と堀割構造物との位置関係によっては、地下水状態保全対策が必要でない場合もある<sup>1)</sup>。

まず、地下水の流動状況と堀割構造物との位置関係については、(1) 堀割構造物建設前に地下水の流動がほとんどなかった場合は、地下水障害とならない。(2) 地下水流と堀割構造物が同方向の場合は、地下水流の遮断とならない。(3) 地下水流と堀割構造物が交差する場合は、地下水流の遮断の可能性を検討する必要がある。

また、上記(3)の場合には、図-1(a)のような帯水層と堀割構造物との位置関係について検討する必要がある。このような場合、堀割構造物が地下水流を阻害するので、堀割構造物箇所での通水面積は  $2b/(h_1+h_2)$  の比率で減少する。しかし、その結果生じる地下水位変動量  $\Delta h_1$ 、 $\Delta h_2$  が  $|\Delta h_1| \leq \Delta h_{s1}$ 、 $|\Delta h_2| \leq \Delta h_{s2}$  の条件を満足するならば、地下水保全対策は特に必要がない。ここで、 $\Delta h_{s1}$ 、 $\Delta h_{s2}$  は地下水位変化の許容値である。もし、地下水位変動量が許容値を満足できなければ、図-1(b)に示すように、堀割構造物の下に地下水連通パイプなどの通水施設を設け、地下水位変動量が許容値以下になるようにする必要がある。

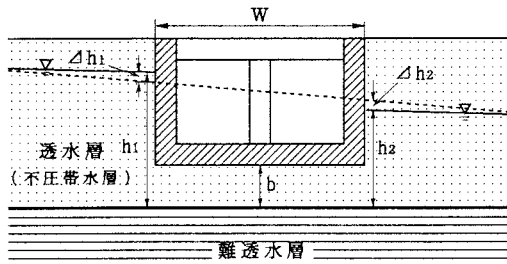


図-1(a) 不圧帯水層を部分的に遮断する場合

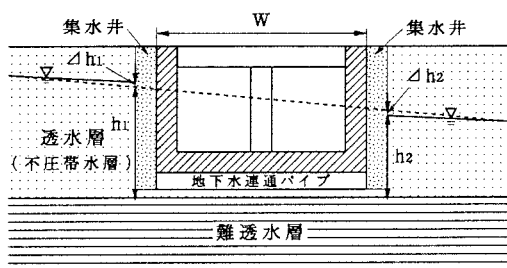


図-1(b) 不圧帯水層を部分的に遮断する場合  
(地下水連通パイプを設置)

## 3. 不圧帯水層中の堀割構造物の地下水状態への障害度の評価

ここでは、地下水の流動阻害が最も大きくなる地下水の流動方向と堀割構造物が直交する場合において、不圧帯水層の残存率と地下水流動阻害の関係を求めるための理論解を誘導した。今回は、図-2に示すような不圧帯水層モデルを仮定し、地下水流動の基礎式としては、一次元浸透流の基礎式を用いた。

まず、堀割構造物建設前の  $x=x_1$  および  $x=x_2$  における自然地下水位は、次式で表される。

$$h_{1i} = \sqrt{\frac{h_0^2(x_3-x_1)+h_2^2(x_1-x_0)}{x_3-x_0} + \frac{N}{k}(x_1-x_0)(x_3-x_1)} \quad (1), \quad h_{2i} = \sqrt{\frac{h_0^2(x_3-x_2)+h_2^2(x_2-x_0)}{x_3-x_0} + \frac{N}{k}(x_2-x_0)(x_3-x_2)} \quad (2)$$

式(1)、(2)を用いて図-2中の堀割構造物建設箇所(領域Ⅱ)の自然地下水位勾配  $I_i = \frac{h_{2i}-h_{1i}}{x_2-x_1}$  を求めることができる。

次に、堀割構造物建設後の  $x=x_1$  における地下水位  $h_{2e}$  は、次式に図-2中の  $x_0, x_1, x_2, x_3, h_0, h_2, b, k, N$  の値を与えることによって求められる。

$$\left[ \frac{x_2-x_1}{2b(x_1-x_0)} \right]^2 h_{1e}^4 + \frac{x_2-x_1}{b(x_1-x_0)} h_{1e}^3 + 2 \left[ 1 - \left[ \frac{x_2-x_1}{2b(x_1-x_0)} \right]^2 \left\{ h_0^2 + \frac{N}{k}(x_1-x_0)^2 \right\} \right] h_{1e}^2 - \frac{x_2-x_1}{b(x_1-x_0)} \left\{ h_0^2 + \frac{N}{k}(x_1-x_0)^2 \right\} h_{1e} + \left[ \frac{x_2-x_1}{2b(x_1-x_0)} \right]^2 \left\{ h_0^2 + \frac{N}{k}(x_1-x_0)^2 \right\}^2 - h_0^2 - h_2^2 - \frac{N}{k} \{ (x_1-x_0) + (x_3-x_2) \}^2 = 0 \quad (3)$$

また  $x=x_2$  における  $h_{2c}$  は、この  $h_{1c}$  を用いて次式で求められる。

$$h_{2c} = h_{1c} + \frac{x_2 - x_1}{2b(x_1 - x_0)} \left( h_{1c}^2 - h_0^2 - \frac{N}{k}(x_1 - x_0)^2 \right) \quad (4)$$

式(3), (4)より求めた  $\Delta h_{1c}$ ,  $\Delta h_{2c}$  を用いて図-2中の掘割構造物建設箇所(領域Ⅱ)の地下水位勾配  $I_c = \frac{h_{2c} - h_{1c}}{x_2 - x_1}$  を求めることができる。

掘割構造物建設に伴う地下水状態への障害度を表す指標としては、掘割構造物と地盤の境界における地下水位変動量  $\Delta h$  が最もわかり易い指標であり、この値が設定した許容値以内であるかを判断すればよい。しかし、自然地下水位勾配の大小によって、許容地下水位変動量  $\Delta h_c$  は変化すると考えられるので、より一般的な地下水状態への障害度の指標として、地下水位勾配変動係数  $\alpha = I_c / I_1$  を提案する。この地下水位勾配変動係数  $\alpha$  は、掘割構造物建設区間の地下水位勾配が、建設前後でどの程度変化したかを示す指標である。

地下水流と掘割構造物が交差する場合には、地下水流が複雑な挙動をするために、前述の理論式は適用できない。そこで、図-3に示すような地盤モデルを用いた三次元有限要素法によって、帯水層の残存率と地下水流動阻害の関係を求めた。地下水の流動方向と掘割構造物の交角  $\theta$  と帯水層残存率  $\beta$  をパラメータとして、地下水位勾配変動係数  $\alpha$  の変化の状況を有限要素法による数値解析によって求めた結果を図-4に示す。また、地下水の流動方向と掘割構造物の交角  $\theta$  が  $90^\circ$  の場合について、式(1), (2)および(3), (4)を用いて求めた結果も同図に示した。図-4より、帯水層残存率  $\beta$  が小さいときには、解析領域の境界地下水位の大きさに  $\alpha$  が大きく影響を受けるが、 $\beta > 20\%$  の範囲では、 $\alpha, \beta, \theta$  の関係がほとんど等しいことがわかる。

#### 4. 結論

本報告では、まず、掘割構造物の位置と帯水層の構造および地下水の流動方向に着目し、どのような場合に地下水の流動阻害が生じるかについて考察した。そして、地下水の流動阻害が最も大きくなる地下水の流動方向と掘割構造物が直交する場合について、不圧帯水層の残存率と地下水流動阻害の関係を求めるための理論解を示した。さらに、地下水の流動方向と掘割構造物が直交しない場合の、帯水層の残存率と地下水流動阻害の関係を三次元有限要素法を用いた数値解析によって求め、地下水位勾配変動係数  $\alpha$  と帯水層残存率  $\beta$  との関係が分かる図を作成した。この図により、掘割構造物による地下水状態への障害度を事前に評価できるものとする。

#### 参考文献

- 1) 大東憲二・植下 協・市川悦男：掘割道路周辺の地下水状態保全に関する研究，土木学会第49回年次学術講演会講演概要集3-A，pp. 176～177，1994

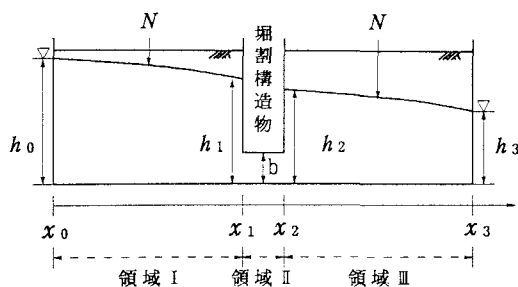


図-2 掘割構造物の存在する不圧帯水層モデル

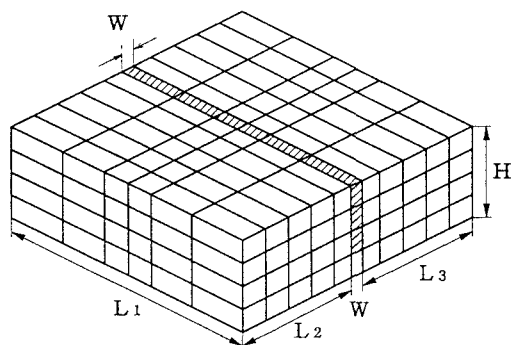


図-3 不圧帯水層中の掘割構造物の地下水状態への障害度の検討に用いた三次元有限要素地盤モデル  
(斜線部分が掘割構造物)

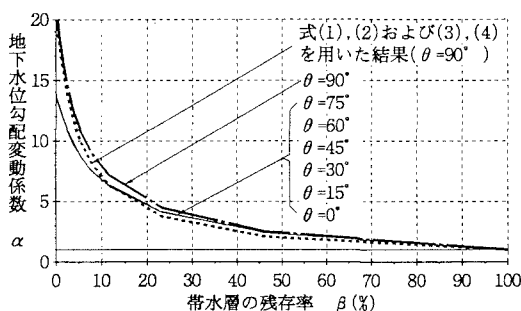


図-4 地下水の流動方向と掘割構造物の交角をパラメータとした掘割構造物の地下水位勾配変動係数  $\alpha$  と帯水層残存率  $\beta$  との関係  
(自然地下水位勾配  $I_1=1.0\%$ ，掘割構造物の幅  $W=20\text{m}$ ，掘割構造物の長さ  $L_1=400\text{m}$ ，掘割構造物解析境界までの距離  $L_2=L_3=190\text{m}$  の場合)