

堀割構造物建設における地下水状態保全対策工の設計および解析方法

名古屋大学大学院	学生会員	関口貴志
名古屋大学工学部	正会員	大東憲二
中部大学工学部	正会員	植下 協
岡崎市	正会員	市川悦男

1. まえがき

本報告では、堀割構造物建設に伴う地下水流動阻害の程度が、周辺の地下水利用状況から設定した許容範囲を超える場合に必要となる地下水状態保全対策工の一つである地下水連通パイプを取り上げ、その設計方法について考察した。そして、地下水連通パイプの効果を予測するための著者らの方法を示した。この方法は、堀割構造物が建設される地域の三次元地盤モデルに地下水連通パイプを一次元直線要素でモデル化して重ね合わせる三次元地下水流動解析法である。

2. 地下水連通パイプの設計方法

地下水状態保全対策は帯水層や地下水流の状況と堀割構造物との位置関係からその要否が検討される¹⁾。地下水連通パイプを地下水状態保全対策として用いた場合の模式図を図-1に示す。

まず、直径 D の地下水連通パイプの透水係数 k_p は、次式で表される²⁾。

$$k_p = \frac{\gamma_w D^2}{32\eta} \quad (1)$$

ここに、 γ_w は水の単位体積重量、 η は水の粘性係数である。工事後の堀割構造物部分の上下流間の許容水位差から求めた動水勾配 I_e を維持するためには、工事前の浸透流量に等しい量を地下水連通パイプによって流してやればよい。堀割構造物を横切る工事前の浸透流量 Q_i と工事後の地下水連通パイプによる浸透流量 Q_e は、それぞれ次式で表される。

$$Q_i = A_i k_g I_i \quad (2)$$

$$Q_e = \frac{n\pi D^2 k_p I_p}{4} \quad (3)$$

ここに、 n は地下水連通パイプの本数、 A_i は工事前の通水断面積、 k_g は帯水層の透水係数、 I_p は地下水連通パイプ区間の動水勾配である。そして、 $Q_i = Q_e$ とおくと次式が得られる。

$$\frac{I_p}{I_i} = \frac{4A_i k_g}{n\pi D^2 k_p} = \frac{128A_i \eta k_g}{n\pi \gamma_w D^4} \quad (4)$$

この I_p/I_i を用いて地下水連通パイプの直径 D は次式で求められる。

$$D = 2 \left(\frac{8\eta A_i k_g}{n\pi \gamma_w} \cdot \frac{I_i}{I_p} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (5)$$

しかし、実際には地下水連通パイプの端面で発生する水頭損失や目詰まりのために地下水連通パイプ端部で動水勾配が大きくなり地下水連通パイプ区間の動水勾配が小さくなることが予想される。地下水連通パイプ区間の動水勾配が小さくなると、必要な流量を流下させるために地下水連通パイプの直径を大きくしなければならない。そのために適切なフィルター材を用いて水頭損失や目詰まりを小さくする必要がある。

そこで、図-2に示すような地盤モデルを用いて、地下水連通パイプの通水能力や設置間隔およびフィルター材の透水係数の組合せを変化させた三次元有限要素解析を行い、どのようにすれば地下水位を工事前の状態に戻すことができるかを検討した。この解析では堀割構造物の上下流間の地下水位を工事前の状態に戻すことを仮定している。なお、図-2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し、かつ堀割構造物下の帯水層残存率がゼロであるために、そのままでは地下水位変化の許容値を満足できず、堀割構造物下に地下水連通パイプを設置した場合を示している。この解析から求められた地下水連通パイプの直径 D 、設置間隔および帯水層とフィルター材の透水係数比 k_f/k_g の関係を図-3に示した。図-3からは、仮に $k_f/k_g = 10^4$ のような透水係数の大きなフィルター材を用いると、地下水連通パイプの設置間隔を大きくしても地下水連通パイプの直径をそれ程大きくする必要がないことが分かる。しかし、透水係数の大きなフィルター材を用いると細粒土がフィルター材内に流れ込み、目詰まりを起こす可能性もある。一方、 $4 < k_f/k_g < 30$ 程度のフィルター材を用いた場合には、地下水連通パイプの設置間隔が大きくなると、地下水連通パイプの直径を著しく大きくする必要があることが分かる。したがって、地下水連通パイプの設置間隔を10mとすれば $10^2 \leq k_f/k_g \leq 10^4$ 程度のフィルター材と直径が $D > 0.5$ mの地下水連通パイプを用いることに

より、地下水状態保全の効果が期待できると思われる。なお、地下水連通パイプの維持管理を考慮すれば、通水能力が過大ではあるが、直径が $D \geq 1\text{m}$ の地下水連通パイプを用いることも考えられる。

3. 地下水連通パイプを考慮した三次元地下水流動解析法

地下水状態保全対策としての地下水連通パイプの効果予測法を以下に述べる。地下水連通パイプを三次元地下水流動解析に組み込むための地下水連通パイプのモデル化の手順を図-4に示した。まず、地下水連通パイプは、一次元直線要素を用いてモデル化し、この要素に想定した地下水連通パイプの通水係数（式(1)参照）を与える（直接モデル）。そして、堀割構造物を表す三次元要素に重ね合わせて左右の三次元地盤要素との境界に繋ぐ（図-2参照）。しかし、解析対象領域が地下水連通パイプに比べて大きい場合には、地下水連通パイプを直接モデル化せず、堀割構造物を表す三次元要素に含めた方が解析上有利である。したがって、この要素の透水係数を地下水連通パイプを含んだ値にすることで地下水連通パイプを間接的にモデル化する（間接モデル）。この間接モデルに与える透水係数（等値換算透水係数）は、以下のようにして求めることができる。まず、地下水連通パイプを直接モデル化した場合の三次元地下水流動解析モデルを用いて地下水流動解析を行い、この解析結果から得られる堀割構造物の縦断方向鉛直断面の飽和部分の平均断面積 A 、地下水通過流量 Q および地下水連通パイプ設置後の堀割構造物区間の地下水位勾配 I_c を $\bar{k} = Q/(AI_c)$ に代入することにより等値換算透水係数が求められる。

4. あとがき

今回示した著者らの方法の有効性については、別途報告³²⁾しているので参照されたい。

参考文献

- 1) 大東憲二・植下 協・市川悦男：堀割構造物周辺の地下水状態保全に関する研究，土木学会中部支部平成六年度研究発表会講演概要集，pp. 343-344，1995。
- 2) 河野伊一郎：地下水工学，鹿島出版会，pp. 18-19，1989。
- 3) 大東憲二・植下 協・市川悦男・高木利則・安江勝夫：堀割道路建設における地下水状態への影響評価に関する研究，土と基礎，Vol. 43，No. 9，1995（掲載予定）。

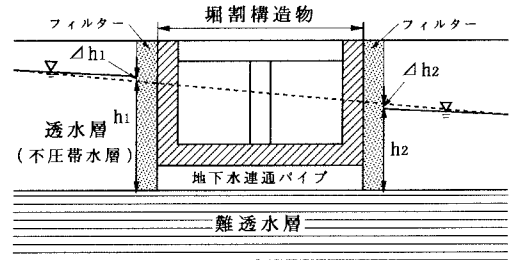


図-1 地下水状態保全対策として地下水連通パイプを設置した場合の模式図

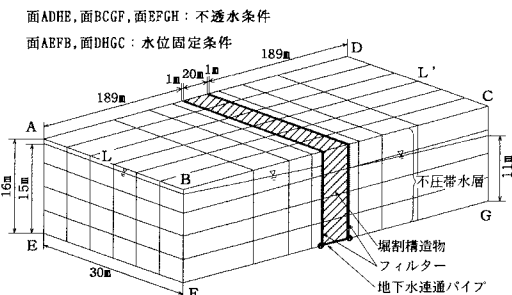


図-2 解析モデルの有限要素メッシュ分割と境界条件

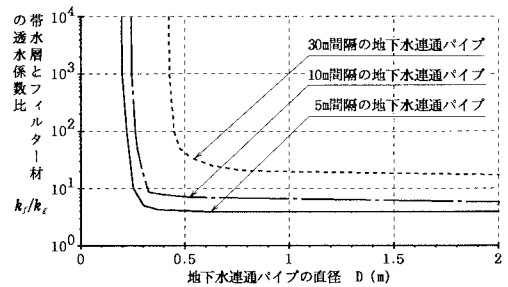


図-3 地下水位を工事前の状態に戻すと仮定した場合の地下水連通パイプの直径，設置間隔および帯水層とフィルター材の透水係数比の関係

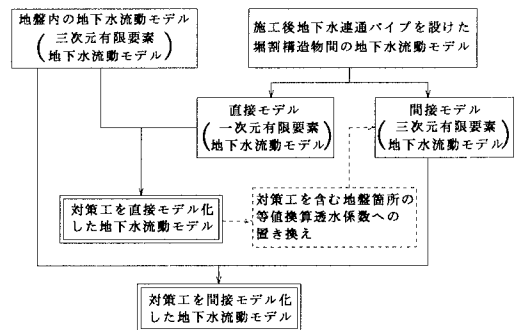


図-4 三次元地下水流動解析における地盤と地下水状態保全対策工のモデル化の手順