

## III-342 変形を考慮したダム基礎岩盤浸透流におけるドレーン孔の効果について

埼玉大学 工学部 正員 佐藤 邦明  
 (株) 熊谷組 正員 清水 昭男  
 (株) 熊谷組 正員 伊藤 洋  
 (株) 熊谷組 正員 ○坂口 雄彦

## 1. はじめに

ダム基礎岩盤における浸透流の解析は従来より数多く行われているが、ダム構築・湛水時における地山の応力変化に起因する透水性への影響や止水グラウト、ドレーン等の効果など、いまだ未解明の問題も残されている。著者らは、既に岩盤地山を岩ブロックモデルの集合体としてモデル化し、地山応力と地下水挙動を連成させて解析することに成功している。<sup>1), 2)</sup>

本論では、ダム基礎岩盤浸透において、その止水対策としてカーテングラウトとドレーンを設けた場合の水理解析を試み、それらの効果について検討を加えたのでここに報告する。

## 2. 基礎式

岩盤地山は一般にそれ自体の透水性が小さい岩質(岩石)と浸透流を支配する割れ目系によって構成されるが、同時に各岩石の凹凸は互いに凸な部分で接触し、この接触点は応力の変化に伴って変形し易く、割れ目幅も動的に変化すると考えられる。図-1の岩ブロックモデルは、このような性質をもつ岩盤を岩石部は不透水性弾性立方体ブロックの集合として、また各々の岩石が弾性介在柱をはさみ割れ目系を形成するとみなしてモデル化したものである。岩ブロックの単一割れ目中の透水係数は、基本的に平行間隙を流れる粘性流の式 ( $k_r = 2/3 \cdot g/\nu \cdot d^3/S$ ,  $g$  :

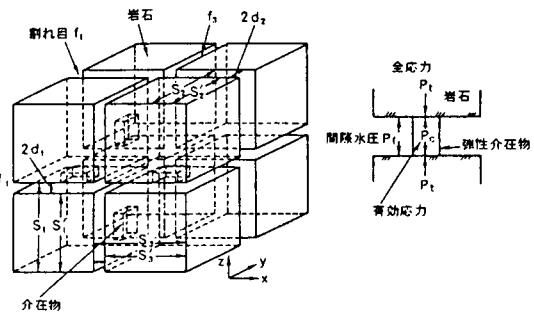


図-1 岩ブロックモデル

重力加速度,  $\nu$  : 水の動粘性係数,  $2d$  : 割れ目間隙幅,  $S$  : 割れ目の分布間隔)に従い、割れ目幅の微小変化量 $\Delta 2d_i$  およびブロックの辺長 $S_i$  の変化量 $\Delta S_i$  を次式により考慮すると、

$$\left. \begin{aligned} \Delta 2d_i &= -2d_{oi}/a_i \cdot E_c \cdot \Delta P_{ci} + 2d_{oi} \cdot M_c/E_c \cdot \Delta P_f \\ \Delta S_i'/S_{oi}' &= -1/E_r (\Delta P_{ti} - M_r \Delta P_{tj} - M_r \Delta P_{tk}) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

岩盤の透水係数および流れの基礎式は結果的に次のように表される。

$$\left. \begin{aligned} k_i &= k_{oi} \frac{\{1 + 1/a_i e_c (\Delta P_t/E_r - \Delta P_{ti}/E_r)\}^3}{1 + S_{oi}'/S_{oi} \{ \lambda_i \Delta P_t/E_r - (1 + \lambda_i) \Delta P_{ti}/E_r + M_r \Delta P_{tj}/E_r + M_r \Delta P_{tk}/E_r \}} \\ k_{oi} &= 2/3 \cdot g/\nu \cdot d_{oi}^3/S_{oi}, \quad \lambda_i = 1/a_i e_c \cdot 2d_{oi}/S_{oi}', \quad e_c = E_c/E_r \\ k_x &= k_1 + k_2, \quad k_y = k_1 + k_3, \quad k_z = k_2 + k_3 \quad (i, j, k = 1, 2, 3, i \neq j \neq k) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (k_x \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k_y \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (k_z \frac{\partial h}{\partial z}) = S_f \frac{\partial h}{\partial t} - S_{ta} \frac{\partial h_{ti}}{\partial t} - S_{tb} \frac{\partial h_{tj}}{\partial t} - S_{tc} \frac{\partial h_{tk}}{\partial t} \quad (3)$$

ここに、 $a_i$  : 介在物の断面積が割れ目の面積に占める割合 ( $a_i \ll 1$ ),  $E_r$ ,  $E_c$  : 岩質, 介在物の弾性係数,  $M_r$ ,  $M_c$  : 岩質, 介在物のポアソン比,  $P_{ti}$ ,  $P_{ci}$ ,  $P_f$  : 岩盤地山の全応力, 有効応力, 間隙水圧,  $h$  : ピエゾ水頭,  $h_t$  : 全応力の水頭値,  $S_f$ ,  $S_t$  : 貯留係数,  $\Delta$  : 微小変化量, であり添字 0 は基底状態での値であることを示している。

解析は、式(2), (3) と応力解析(線形弾性解析)をcouplingして行うことになる。

## 3. 結果と考察

2. で示した理論をダム基礎岩盤の浸透流解析に適用し、図-2に示した解析モデルを用いて、変形地山

でカーテングラウトとドレーン孔を併設した場合の止水効果について検討を行う。このモデルは、不透水性基盤上に無数の割れ目系をもつ岩ブロック集落地山があってその上にダムを建設後湛水したものであり、ダム底には止水対策としてカーテングラウトとドレーン孔を設けるものとする。解析条件は、同図中に示すようにダム寸法は、ダム底面幅  $B=100\text{m}$ 、高さ  $H_0=100\text{m}$ （湛水深さに同じ）、グラウト長さ  $l_g=60\text{m}$ 、ドレーン孔長さ  $l_d=20\text{m}$  であり、地山に係る主な物性は、 $k_{oi}=1\times 10^{-5}\text{m/s}$ 、 $E_r=3.92\text{GN/m}^2$ 、 $aE_c=5.88\text{MN/m}^2$ 、 $r_r=21.56\text{kN/m}^3$ 、 $M_r=0.3$  とし、カーテングラウトは、透水性が一様に  $k_g=1.0\times 10^{-7}\text{m/s}$  に改良されたものとする。

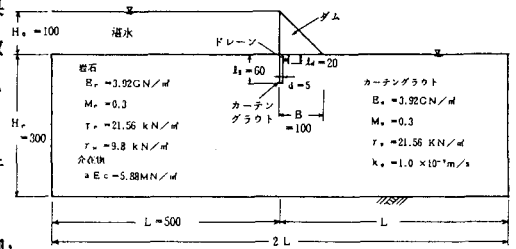


図-2 解析モデル（単位：m）

まず、図-3は  $k_x$ 、 $k_z$  の無次元分布を示したもので実線は  $k_x/k_{x0}$ 、破線は  $k_z/k_{z0}$  のそれを表しているが、透水係数は全体的に深度が増すにつれて小さくなり、湛水側のそれは下流側に比べて大きくなっている。またドレーン孔近傍では若干透水係数は小さくなる傾向にある。ダム建設・湛水、さらにグラウト、ドレーン孔による地山の応力・間隙水圧の変化が岩盤地山の透水性に大きな影響を与えていることが伺える。つぎに、このような透水係数分布をもつ岩盤地山における無次元ピエゾ水頭および流速ベクトルの分布を示したものが図-4である。図には不変形均質地山とした場合の水頭分布も同時に載せてあるが、変形地山でのそれとはかなり異

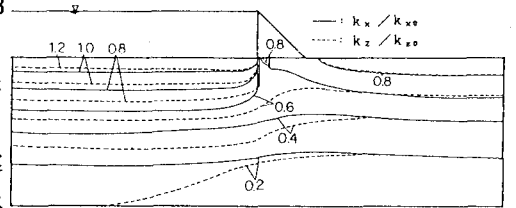


図-3 無次元透水係数分布

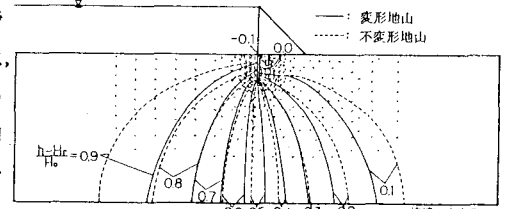


図-4 無次元ピエゾ水頭、流速ベクトルの分布

った様相を呈していることがわかる。つまり、変形地山での水頭はダム底直下地山を中心として急激に変わることになり、グラウト壁・ドレーン孔付近では複雑に変化している。一方、流れは全体的にはダム底の比較的狭い領域をまわり込むように下流側に向かうが、ドレーン孔付近では上流側に向かう流れも見られる。図-5は、ダムの安定性に係る揚圧力  $P_v$  の無次元分布を示したものであるが、同時に前報の結果<sup>2)</sup>から無対策の場合、グラウトのみある場合、についても提示している。これより、揚圧力はカーテングラウトやドレーン孔を設けることにより低減されることが認められるが、カーテングラウトによる止水効果は、深度が深くなるにつれ地山透水係数とそれとの差が小さくなってその効果が乏しくなり、またその施工状況によっても変るなど不明確な点も多い。また、ドレーン孔の効果については、本解析ではそれを2次元的に取り扱ったために集水による水頭の低下が実際よりも過大に評価された可能性があるが、本解析を通じ集水により揚圧力が低下すると同時に間隙水圧の減小、有効応力の増大を生み、その結果透水係数が小さくなって、集水効果が乏しくなる傾向があることが示唆された。

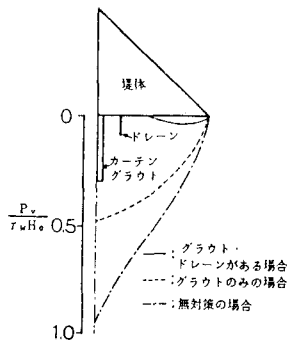


図-5 無次元揚圧力の分布

最後に、本研究を進めるに当たり適切な御助言をいただいた建設省土木研究所フィルダム研究室山口嘉一氏に心よりお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 佐藤・伊藤：岩塊モデルによる地下空洞の地下水解析，土木学会論文集，第369号，1986.5.
- 2) 伊藤ほか：地盤の変形を考慮したダム基礎岩盤の浸透流解析，第30回水理講演会論文集，1986.2.