

<計算手法 (GETFLOWS) の説明資料>

1. 3次元陸水解析手法の主な特徴

3次元陸水解析手法とは、図-1に示すように、降雨による地表流出、伏流、地下への涵養および地下水流動といった水循環系を1つのモデルで同時に解析が可能な手法であり、タンクモデルでは扱えない地質情報がある程度反映させることができるとともに、トンネル等の地下構造物を3次元的にモデルに組み込むことができる。

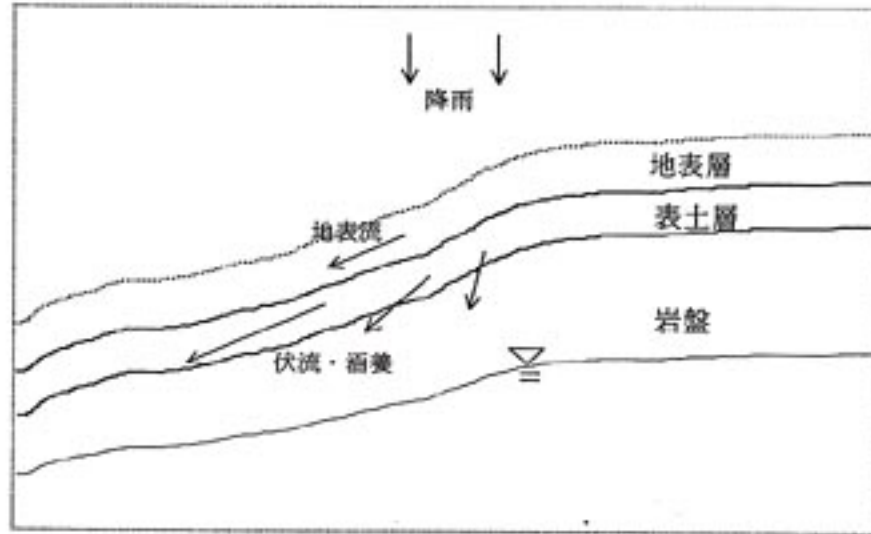


図-1 モデル概念図 (鉛直断面)

2. 空気-水の2層流れ

解析の基本となっているのは、空気-水の2相浸透流解析手法である。地表面近傍の不飽和帯から、地下深部の飽和帯までの領域に対し、空隙中の水および空気の質量保存を定式化すると以下ようになる。

$$\nabla \cdot \left[\frac{Kk_{rw}}{\mu_w B_w} \nabla \psi_w \right] - q_{ws} = \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{\phi S_w}{B_w} \right] \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \left[\frac{Kk_{rg}}{\mu_g B_g} \nabla \psi_g \right] - q_{gs} = \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{\phi S_g}{B_g} \right] \quad (2)$$

ここで、Kは地盤の絶対浸透率、 $k_r(w,g)$ は、飽和度によって決定される相対浸透率 (より一般的な飽和・

不飽和浸透流解析では比透水係数に相当)、 μ は水および空気の粘性係数、Bは、水および空気の容積係数、すなわち、基準状態と圧力下状態での同一質量の流体の体積比である。また、 ψ は各成分のポテンシャル、Sは各成分の飽和度、 ϕ は空隙率 (空隙率) である。

ここではポテンシャルと飽和度を未知数として解析を行う。その際に、ポテンシャルと圧力、飽和度の間に以下の関係式がある。

$$S_w + S_g = 1 \quad (3)$$

$$\psi_w = P_g - P_{cw} - \rho_w g Z \quad (4)$$

$$\psi_g = P_g - \rho_g g Z \quad (5)$$

ここで、 P_{cw} は飽和度の関数である毛管圧力である (飽和・不飽和浸透流解析における体積含水率の関数であるサクションに相当)。従って、基本方程式中に、飽和度の関数として、相対浸透率と毛管圧が導入されている。

本解析手法では、空気自体の流れも考慮されることで、従来法である飽和・不飽和浸透流解析とは大きく異なる。飽和・不飽和浸透流解析との相違点を表-1にまとめる。

表-1 飽和・不飽和浸透流解析との相違点

	飽和・不飽和浸透流解析	3次元陸水シミュレーション
空気の取り扱い	圧力は常にゲージ圧0	空気の流れも考慮 (空気-水の2相流れとして定式化)
地表流	考慮しない	マニング型の地表流をカップリング

3. 地表流のモデル化

地表流に関しては、開水路の運動方程式から近似される地表流の流速式を考え、それに、飽和度 $S_w (=h/H)$ 、疑似浸透率 K^* 、疑似相対浸透率 k_{rw}^* 等を導入することによって、2相ダルシー型の式と同形式に変形する。

具体的には、流量は以下の式で定式化される。

$$Q = v_x h W = \frac{1}{n} \frac{R^{2/3}}{|\alpha|^{1/2}} h W I$$

$$= \frac{1}{n |\alpha|^{1/2}} \left[\frac{h W}{2h + W} \right]^{2/3} h W I$$

$$= - \frac{1}{\rho_w g n |\alpha|^{1/2}} \left[\frac{W H}{2H + W} \right]^{2/3} \cdot S_w^{5/3} \left[\frac{2H + W}{2S_w H + W} \right]^{2/3} W H \frac{\partial \psi_w}{\partial x}$$

$$= - \frac{K^* k_{rw}^*}{\mu_w B_w} A^* \frac{\partial \psi_w}{\partial x} \quad (6)$$

ここで、

$$K^* = \frac{\mu_w B_w}{\rho_w g n |\alpha|^{1/2}} \left[\frac{W H}{2H + W} \right]^{2/3}$$

$$k_{rw}^* = S_w^{5/3} \left[\frac{2H + W}{2S_w H + W} \right]^{2/3}$$

$$A^* = W H \quad (7)$$

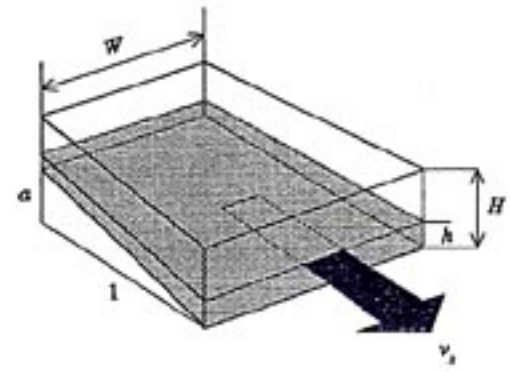


図-2 地表面上の離散格子モデルの概念図