

## 降雨涵養量を考慮した F E M地下水流動解析での収束性の検討

清水建設（株）技術研究所 正会員 白石 知成  
正会員 櫻井 英行

## 1. はじめに

筆者らは自由水面問題に対する地下水流動解析において、降雨涵養量を考慮する場合に不飽和領域の鉛直方向の透水性を飽和透水係数として取り扱う方法を提案し、その結果解析の収束性が向上することを示した。<sup>1)</sup>

一般的に、不飽和領域、浸出面付近（自由水面近傍）の要素分割を細かくすることにより、解析解の精度、収束性ともに向上することが期待されるが、今回、降雨涵養量を考慮した解析においては要素分割を細かくしても収束性が悪い場合があること、このような場合においても、前述の不飽和透水性の取り扱いにより収束性の問題を回避できること、について報告する。

## 2. 異なる要素分割によるモデル解析

簡易なモデル解析事例として、図1に斜面を有する2次元断面モデルを示す。図1の(a)は要素分割が粗い場合、(b)は要素分割が細かい場合のモデルである。両モデルに対して同一の境界条件で、図2に示す不飽和特性を用いた定常飽和・不飽和解析を行うと、どちらも収束解が得られない。要因としては、図3に示すように解析上地表面にて不自然な浸出面が発生し、水収支バランスが取れないためであることがわかった。

## 3. 収束性に影響を及ぼす要因

収束性に影響を及ぼす要因としては、不飽和特性曲線（不飽和領域の透水係数の非線形性）、要素形状・大きさ（F E Mモデル化）、降雨涵養量（境界条件）と地盤の透水性の関係、が考えられる。

## a. 不飽和特性曲線

降雨涵養量を考慮した解析を行った場合、地表面から地下水面までの不飽和領域内での浸透が発生するため、流動解析における不飽和流動が問題となる。そのため不飽和特性が重要となるが、本解析モデルによる解析結果（図3）から、不飽和領域での飽和度は約60%以上であることがわかった。すなわち、図2の不飽和特性曲線から、不飽和領域では飽和領域の1/100以下の透水性となる領域が存在している。

## b. 要素形状・大きさ

図3の解析結果の全水頭コンター分布、自由水面分布の比較から、要素分割が細かい方が自由水面付近のコンターラインが滑らかであり解析精度が高いことがわかる。しかし、収束性に影響を及ぼす地表面での浸出点の発生に対しては、要素分割を細かくしても回避できない。

## c. 降雨涵養量

本解析では境界条件として400mm/yを与えている。地盤の浸透能を考慮すると、不飽和領域での最大動水勾配1の場合、 $1.27E-8m/s$ の透水性が必要となる。本解析モデルでは地盤の飽和透水係数が $1.0E-6m/s$ であることから、不飽和透水性として飽和透水係数の1/100程度になると動水勾配が1より大きくなければ流動できないことになる。

上記より本解析において収束解が得られない理由は、以下に示す不飽和特性による影響であり、要素分割を細かくしても収束性の改善には寄与しない。

不飽和領域での透水係数が小さく、涵養量が流動できない

不飽和特性曲線から想定される透水係数が、境界条件である降雨涵養量が流動するために必要な透水性よりも小さくなるため、不飽和領域での浸透能がなくなっている。

---

キーワード 地下水流動、降雨涵養、不飽和特性、収束性、数値解析

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 清水建設（株）技術研究所 TEL(03)3820-5476

不飽和領域での下向き動水勾配が1より大きくなる

不飽和領域では圧力流れは発生しない。上記のように不飽和領域の透水性が小さく、解析結果から得られる動水勾配が1より大きな値になることが要因となって浸出面が発生し、解が収束しない。

4．不飽和透水係数の取り扱いによる効果

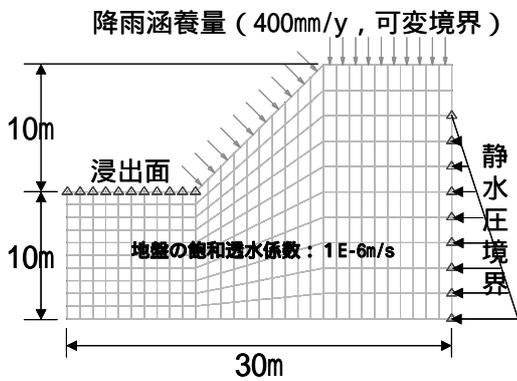
図1の解析モデルに対して、不飽和領域の鉛直方向透水係数のみ飽和透水係数と同様とした場合の解析結果を図4に示す。この場合、容易に収束解を得ることができるが、従来の不飽和解析手法と比較をすると、飽和領域（自由水面以下）の解析結果はほとんど同じであることがわかる。涵養地下水の下向き流動に対して、不飽和特性曲線の影響を受けないため、収束性に及ぼす不飽和特性曲線の影響を回避することができる。

5．まとめ

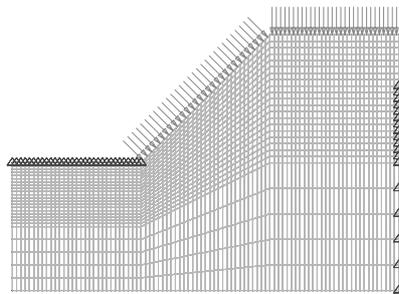
降雨涵養量を考慮した地下水流動解析では、不飽和特性曲線が解の収束性に与える影響が大きい。しかし、不飽和領域の透水係数の取り扱いによって不飽和特性曲線の影響による収束性の問題を容易に回避することができる。

参考文献

1)白石、櫻井：地下水流動解析における降雨涵養及び不飽和特性の取り扱いに関する提案，土木学会第58回年次講演会，CS7-066，2003



(a) 要素分割が粗い場合



(b) 要素分割が細かい場合

図1 2次元断面解析モデル図

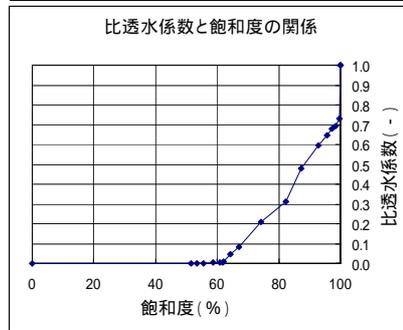
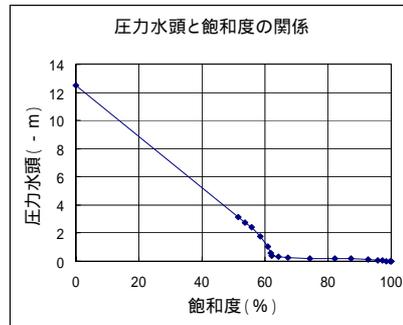
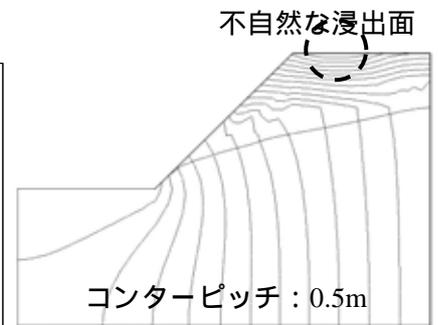
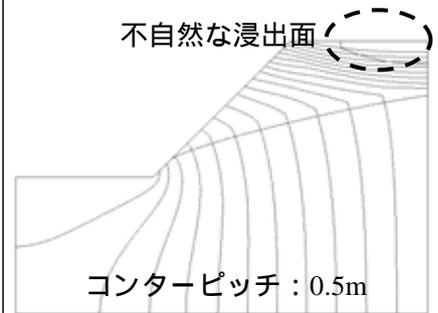


図2 不飽和特性曲線



(a) 要素分割が粗い場合



(b) 要素分割が細かい場合

図3 解析結果コンター図

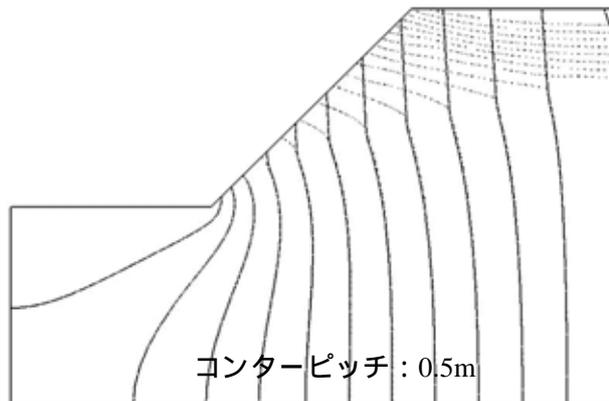


図4 解析結果の比較（要素分割が細かい場合）

図4について

破線：通常の飽和・不飽和解析

不飽和領域： $kh=kv=k_{unsat} (=kr \times ks_{at})$

実線：不飽和領域の透水係数を以下で考慮

不飽和領域： $kh=k_{unsat} (=kr \times ks_{at})$

$k_v=ks_{at}$

ここに、 $kh$ ：水平方向透水係数、 $k_v$ ：鉛直方向透水係数

$k_{unsat}$ ：不飽和透水係数、 $ks_{at}$ ：飽和透水係数

$kr$ ：不飽和領域での比透水係数 ( $0 < kr < 1$ )