

III-197

丘陵地造成工事に伴う地下水状態変化の解析法について

名古屋大学工学部 学生会員 若 杉 直 彦

名古屋大学工学部 正会員 大 東 憲 二

1. まえがき

丘陵地における造成工事では、丘陵部を切土し、谷部を盛土することにより平坦地を作るが、その際、地下水状態の変化を十分把握した工事を行わないと、造成した地盤の安定が損なわれたり、周辺の水利用に影響を及ぼしたりする。一般に造成工事の対象となる丘陵地の地下水は、地表面からの降雨浸透によって涵養される不圧地下水であることが多い。近年このような不圧地下水の浸透解析には、飽和-不飽和浸透解析が多く用いられてきているが、解析に用いる要素分割の仕方によっては、地下水面が正しく求まらない場合もある。そこで、著者らは、造成工事に伴う地下水状態の変化を予測するための手法として、地形の変化による地表面から地下水面までの降雨浸透状態の変化を考慮できる鉛直一次元不飽和浸透解析と、不圧帯水層の三次元飽和浸透解析を組み合わせた解析法を提案した。そして、まず簡単な三次元モデルを用いて、提案した解析法で用いる飽和浸透解析結果と従来の飽和-不飽和浸透解析結果とを比較し、飽和浸透解析による解の妥当性を検討した。次にこの解析法を、ある丘陵地の造成計画に適用して地下水状態の現状を再現し、さらに造成工事後の地下水状態の解析を試みた。以下に、これらの研究成果について報告する。

2. 提案した解析法の概要

今回提案した解析法のモデルを図1に示す。この解析法では、地表面から地下水面までの不飽和帯の鉛直一次元不飽和浸透解析と不圧帯水層の三次元飽和浸透解析を別々に行い、地下水面上で両解析における流量の連続条件を満足させるようにしており、切土や盛土による地形の変化は、不飽和帯の鉛直一次元モデルの上端節点の標高を、地形の変化に合わせて変化させる事によって表される。

この解析法で用いた鉛直一次元不飽和浸透解析と三次元飽和浸透解析の基礎式は、それぞれ以下のとおりである。

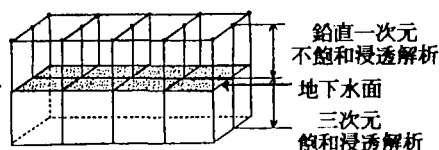


図1 解析法のモデル図

鉛直一次元不飽和浸透解析¹⁾

$$\frac{\partial}{\partial z} \{k_z k_r(\psi) \frac{\partial(\psi+z)}{\partial z}\} = C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad ; \psi = h - z \quad \dots (1)$$

三次元飽和浸透解析²⁾

$$\frac{\partial}{\partial x} (k_x \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k_y \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (k_z \frac{\partial h}{\partial z}) = s_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad \dots (2)$$

上記の基礎式は、Galerkin法を用いて有限要素法に適用できるように展開した。

3. 簡単な三次元モデルによる解析方法の検討

この解析法では、地下水面の形状を求める不圧帯水層の三次元飽和浸透解析の精度が重要である。そこで、まず図2に示す簡単な三次元モデルを用いた定常計算において、同じ要素分割を行った飽和浸透解析結果と飽和・不飽和浸透解析結果、およびDupuitの仮定を用いた理論解の3ケースを比較して解の精度を検討した。飽和浸透解析で求めた地下水位(計算結果①)と、飽和-不飽和浸透解析で求めた地下水位(計算結果②)および、Dupuitの仮定を用いた理論解を図3に示す。図3から分かるように、計算結果①は、理論解に良く一致していることが分かる。それに対して計算結果②は、要素分割線の高さである10m付近で大きく折れ曲

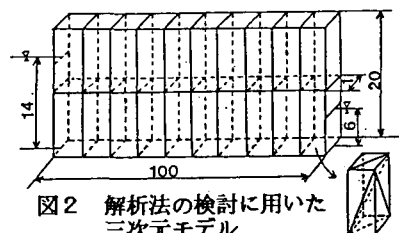


図2 解析法の検討に用いた三次元モデル

がり、理論値とかなりずれている。飽和—不飽和浸透解析では、各要素に与える透水係数が、節点の飽和度に応じた透水係数を平均化したものであるため、一つの要素内に飽和部と不飽和部があり、しかも要素分割が粗い場合には、その要素の透水係数が全体の解析結果に大きな影響を及ぼすことがある。計算結果②は、このような状況になっていると考えられる。

以上より、不圧帯水層の飽和浸透解析が、飽和—不飽和浸透解析より精度の面で有効であることが検証された。なお、不圧帯水層の三次元飽和浸透解析の詳細については、参考文献2)を参照されたい。

4. 造成工事に伴う地下水状態変化の予測の試み

造成工事が計画されているある丘陵地に、著者らの提案した解析法を適用する前に、不圧帯水層の三次元飽和浸透解析によって、造成工事前の地下水状態が求められるかどうかの試算を行った。解析対象地域における不圧帯水層の三次元モデルの要素分割平面図を図4に示す。鉛直一次元不飽和浸透解析に用いる地盤の不飽和透水特性は、現場試験の実験値から推定した。まず、降雨浸透量を一定とした

不圧帯水層の定常計算によって求めた、造成工事が始まる前の地下水位分布を図5に示す。また、このときのボーリング孔内水位の計算値と実測値の比較を表1に示す。図5および表1より、不圧帯水層の三次元飽和浸透解析によって求められた地下水面は、実際の地下水面をかなり良く再現できていることが判る。次に、この地下水位分布を初期値として、降雨に伴う地下水位の変化を鉛直一次元不飽和浸透解析を組み合わせて求めようとしたが、不飽和帯下端的流速が適切に算定できなかったため、地下水面が大きく振動してしまった。この点は、現在検討中である。また、仮定した造成計画をこの地域に適用して、不圧帯水層の定常計算によって造成工事に伴う地下水状態の変化を求めたところ、降雨浸透量を造成工事前と同じにしたため、地下水面の変化はほとんど生じなかった。

5. あとがき

著者らの提案した解析法は、飽和—不飽和浸透解析において要素分割の粗い時に生じる問題点を解決することができ、しかも造成工事に伴って地形が変化した場合でも降雨の鉛直浸透状態の変化を考慮できる点に特徴がある。しかし、不飽和帯下端的流速が現在適切に求まっていないことや、不飽和浸透解析においてサクシオンと体積含水率のヒステリシスの影響が無視されていることなど、まだ多くの課題が残されているので、この解析法が造成工事に伴う地下水問題解決にとって有力な武器となるように今後も研究を続けていく予定である。本研究を遂行する上で協力して頂いた本学卒業生岡野健司君（現岐阜県教員）に感謝いたします。

参考文献

1) 赤井浩一、他：有限要素法による飽和—不飽和浸透流の解析、土木学会論文報告集、第264号、pp.87-96、1977。

2) 大東憲二、他：山岳トンネル掘削に伴う

地下水状態変化ならびにトンネル出水の予測、土と基礎、34-11、pp.39-44、1986。

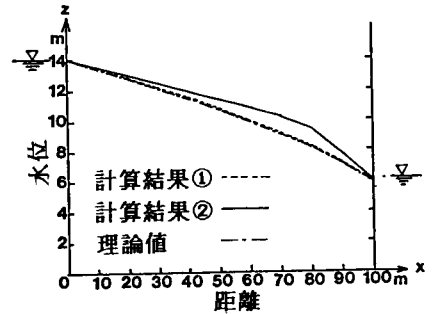


図3 解析結果の比較

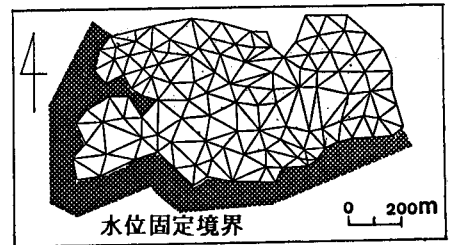


図4 三次元モデルの要素分割平面図

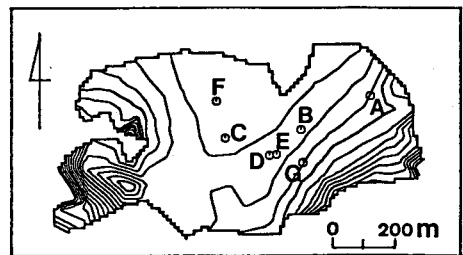


図5 造成工事前の計算地下水位等高線

表1 ボーリング孔内水位の実測値と計算値の比較

ボーリング No.	A	B	C	D	E	F	G
水位実測値 (m)	220.0	224.0	228.0	226.0	226.0	226.0	223.0
水位計算値 (m)	222.0	224.9	226.4	225.3	225.0	227.0	222.2