

III-408 三次元浸透流の簡便解析法とトンネル掘削時の地盤沈下解析への適用

(財)電力中央研究所	正員	中川 加明一郎
(株)住商コンピュータサービス		黒金 信博
同 上		山崎 淳一

1. はじめに

地下水挙動は元来三次元的であるが、解析する上では、鉛直断面での二次元流れ、あるいは、平面的な二次元流れを仮定することが多い。これまでに有限要素法による三次元浸透流解析法¹⁾が提案されているものの、計算に要する時間が多大なものであることを主な理由として、実際の適用例は極めて少ないように思われる。そこで筆者らは三次元浸透流問題の比較的簡便な解析法について検討し、開発することとした。

2. 解析法の基本概念

地下水の三次元流れを解析するに際して、ここでは、地盤の多層構造を仮定する。すなわち、三次元流れを、各層ごとの平面二次元流れとともに、層間の鉛直流れを仮定することによって表すことにする（ただし、ここでいう多層構造は、いわゆる帯水層、加圧層といったものに限定されるものではなく、可能な限り幾層に分割してもよい）。このような流れの仮定にもとづく三次元解析法の内容は基礎的には、西垣・松本²⁾によって表されているものであるが、ここでは帯水層、加圧層の区別なく、層内平面二次元流れを考えること、また、各層毎に二次元浸透流解析を行うものではなく、全体を一度に解くこととした。

3. 基本式

今回の解析法では、自由水面の現われる場合を想定して、飽和・不飽和浸透流を対象とし、また、地盤の変形を考慮することとして以下のように基本式を表すこととした³⁾。ただし、有効応力・ひずみ関係としては、間隙水圧の変化による間隙率の変化のみ考える。

$$\dot{n} S_r + n \frac{\partial S_r}{\partial p} \rho g \dot{h} - (k h_{,j})_{,j} + q = 0 \quad \cdots (1)$$

$$\dot{n} = \alpha \frac{\rho g \dot{h}}{K} \quad \cdots (2)$$

ただし、 n ：間隙率、 S_r ：飽和度、 p ：間隙水圧、 ρ ：水の密度、 g ：重力加速度、 h ：全水頭、 k ：透水係数、 K ：体積弾性係数、 α ：有効応力に関するパラメータ（ $p < 0$ の時 $\alpha = 0$ 、 $p \geq 0$ の時 $\alpha = 1$ ）、 q ：涵養量、をそれぞれ表す。そして、本手法では、涵養量 q を、たとえば、地表から i 番目の層においては、 $q_i = Q_i + Q_{i+1} \cdots (3)$ とする。ここで、 Q_i 、 Q_{i+1} は、それぞれ、上層および下層と i 層との収支量であり、 Q_i は次式のように表される。

$$Q_i = \frac{2 k_{i-1} k_i}{l_{i-1} k_i + l_i k_{i-1}} (h_{i-1} - h_i) \quad \cdots (4)$$

ただし、 l は層厚であり、また、指標 i は層を表す。

以上の基本式より、各層に有限要素法を適用して、解こうとするのが本手法の概要である。本手法によれば、層間の涵養で、鉛直成分の流れを仮定することにより、最終的な連立方程式のマトリックスのバンド幅を小さくすることができる。

4. 適用例

今回導いた解析手法の妥当性を一次元圧密問題および二次元応力・浸透流連成解析との比較により確認したのち、トンネル掘削による地下水位低下および地表面沈下の三次元解析に適用した。解析モデルの概略を図1に示す。ここでは、トンネルの掘進速度を5m/日とし、覆工は考えないこととした。各層の入力条件を表1に示す。また、解析結果として、掘削開始10日後（掘進長50m）、20日後（掘進長100m）、

40日後（掘進長200m）の地下水位分布および地表面沈下量分布を図2および図3にそれぞれ示す。三次元性を考慮した解析を行う上で本手法が有用であることが示されたものと思われる。なお、このモデルの計算には、CPUが16ビットのミニコンピュータ（HP-1000、内部メモリ1Mバイト）で6時間を要した。

参考文献： 1) 駒田、大町、大ダム、第86号、p.p1-15、1978 2) 西垣・松本：多層地盤における地下水流の準三次元解析、第20回土質工学研究発表会、p.p. 1509-1510 1985 3) 中川・駒田、電力中央研究所報告NO.381031、1982

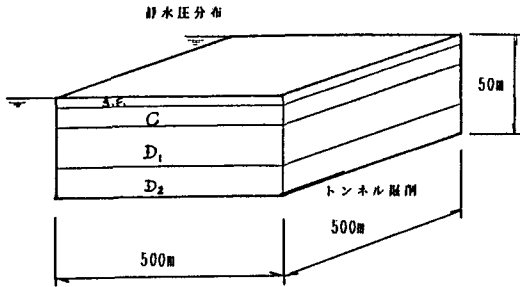
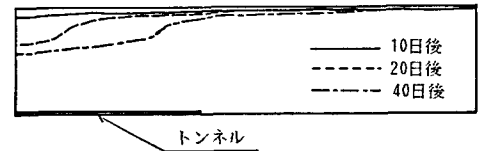


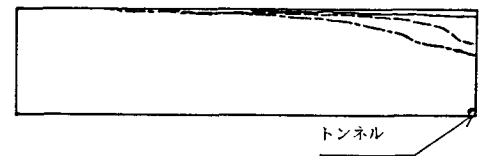
図1 解析モデルの概略



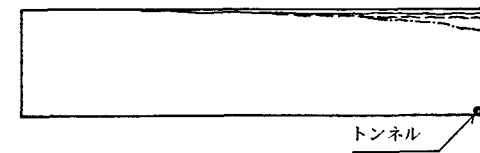
(a) A-A断面

表1 各層の入力条件

層名	層厚 (m)	体積弾性係数 (t/m^2)	透水係数 (cm/sec)	間隙率
Sf	5	3000.0	1.0×10^{-3}	0.75
C	10	1000.0	1.0×10^{-6}	0.833
D1	20	3000.0	1.0×10^{-3}	0.75
D2	15	50000.0	1.0×10^{-3}	0.444



(b) B-B断面



(c) C-C断面

図2 解析結果（地下水位）

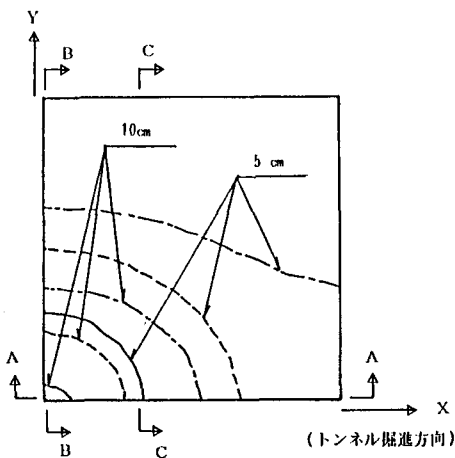


図3 解析結果（地表面沈下量）