

軸対称浸透解析による粘土層の圧密の予測に関する研究

岡山大学環境理工学部 正会員

西垣 誠

岡山大学大学院

学生会員

○新堂 充彦

1. はじめに

地下水位低下による地盤の挙動をよりの確に予測するには浸透-変形の連成解析が用いられている。しかし、莫大な記憶容量と演算時間が必要なため、大型コンピュータに頼っており、まだまだそれほど簡単ではない。この問題に対して、従来より用いられているマイクロコンピュータによる飽和-不飽和浸透流解析を改良し、地下水位低下によって起こる粘土層の圧密沈下に適用可能な解析手法(解析コード UNSAF-C)を提案する。そして理論解や連成解析との比較検証を行い本解析手法の妥当性を述べる。

2. 浸透解析による圧密の取扱い

1次元の場合、粘土層内の土粒子と間隙水は非圧縮であると考えられ、排水された水の体積は沈下により減少した体積と等しくなる<sup>1)</sup>。この理論を浸透解析に取り入れるために、粘土層における浸透流は鉛直1次元方向のみと仮定した。

解析に用いたモデルの例を図-1に示す。要素分割は浸透解析と同じように行う。圧密計算時のみ粘土層の上下境界の節点で解析を行えば、浸透解析と同じ要素分割で1次元的な取扱いが可能である。

圧密を予測するために、粘土層(圧密を解析する層)境界からの流出量を別途計算した。

各地点での沈下量の計算は、図-1のA, A'点を参考にとすると、浸透解析より得られるそれぞれの点での流出入量 $Q_A, Q_{A'}$ から、軸対称解析の場合、直線AA'上の沈下量 $S_A$ は次式で求められる。ここで、 $r_A$ は中心からA点までの半径で、 $r_{A+1}, r_{A-1}$ はA点の前後の節点のr座標である。

$$v_A = -(Q_A + Q_{A'}) / \pi \left[ \left\{ \frac{r_{A+1} + r_A}{2} \right\}^2 - \left\{ \frac{r_A + r_{A-1}}{2} \right\}^2 \right] \quad (1)$$

$$S_A = \int_0^t v_A dt \quad (2)$$

3. Terzaghi の1次元圧密理論解との比較

用いた解析モデルを図-2に示す。両面排水で圧密の計算を行い、沈下の経時変化を知るために圧密度と最終圧密沈下量について比較を行った。UNSAF-Cについては節点数は123、要素数は120で、初期のタイムステップを0.05sec、最大のタイムステップを2000secとして鉛直2次元解析を行った。図-3、表-1に示すように、平均圧密度の経時変化、最終沈下量共に理論解とよく一致しており、本解析手法の妥当性が証明された。

4. 連成解析との比較

解析に用いたモデルを図-4に示す。連成解析は土を弾性体として扱っているため比貯留係数(Ss)については次に示す関係を用いた。

$$S_s = 1000 \rho_g \frac{3(1-2\nu)}{E} \quad (3)$$

ここで、 $\rho$ : 水の密度 ( $\text{kg/m}^3$ ),  $g$ : 重力加速度 ( $\text{m/sec}^2$ )  
 $E$ : 弾性係数 (Pa),  $\nu$ : ポアソン比

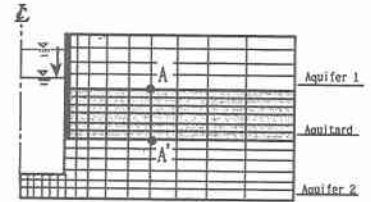


図-1 解析モデル

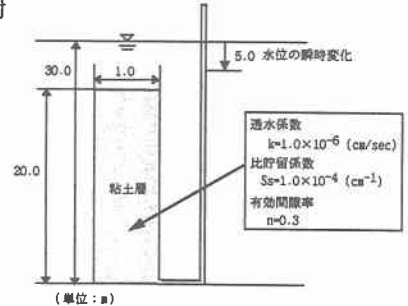


図-2 1次元圧密モデル

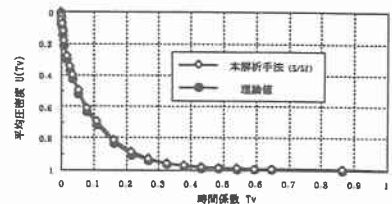


図-3 理論値とUNSAF-Cの平均圧密度の比較結果

表-1 理論値との最終沈下量の比較

|       | 理論値 (cm) | UNSAF-C (cm) |
|-------|----------|--------------|
| 最終沈下量 | 50.0     | 50.0         |

解析には表-2の物性値を用いた。連成解析では側面の境界において水平方向の変形を固定し、各節点についても条件を合わせる目的で $r$ 方向の変形を拘束した。なお本解析手法の計算には富士通株式会社製 FMV-590T2sp(Pentium 90) を、連成解析には SUN マイクロシステム社製 SPARC STATION 20を使用し、その CPU タイムと結果を表-3に示す。

また、各地点での両解析手法による沈下量の経時的変化を図-5に示す。

表-3 最終沈下量とCPUタイムの比較

|               | 本解析手法      | 連成解析  |
|---------------|------------|-------|
| 最終沈下量<br>(cm) | $r=10$ (m) | 1.748 |
|               | $r=20$ (m) | 1.529 |
|               | $r=50$ (m) | 1.337 |
| CPU タイム (min) | 16         | 65    |

沈下の経時的変化については、相対的によく一致している。しかし連成解析が時間対数に対して直線的に沈下が進んでいるのに対して UNSAF-C では直線的でない時間領域が存在する。この原因は次節で検討する。なお、一般に軸対称で浸透解析を行う場合、半径方向の地下水位の低下は  $\log r$  に比例しているため要素分割も対数的に分割するとよい。縦方向に関しては、沈下量を計算す粘土層内を小さく分割すべきである。

#### 5. 浸透解析による圧密現象の解析限界

本解析手法はあくまで簡便法であり、圧密の予測に関して以下に示す解析限界がある。

- 荷重による圧密に関しては予測できない。
- 沈下を計算する層が完全に飽和であることが条件となる。
- 粘土層下部の帯水層からの揚水しか取扱うことはできない。
- 粘土層内の浸透が鉛直方向と仮定できる時に有効である。

ここでは、(d) の条件について検討する。

図-6に図-4のモデルの10日後の全水頭コンター図を示す。この図より、粘土層と下部帯水層の間で透水係数に2オーダー以上の差があれば粘土層においてほぼ1次元に浸透している様子がうかがえる。図-5に示した連成解析との差はこの条件を満足していない所が生じているためである。

実地盤において圧密沈下が懸念される粘土層は下部の帯水層に対して3オーダー以上小さい場合が多い。従って本解析手法は妥当なものと言える。

なお、揚水井の近傍では下部帯水層との透水係数の差に関わらず、浸透が1次元的でなく、解析結果の信頼性に問題がある。しかし、水位低下による地盤沈下において留意すべき点は水位低下をはかる地点の近傍ではなくその周辺の地盤である。本解析手法は周辺の地盤に関しては良好な結果が得られており、この点についても本解析手法の妥当性を損ねるものではない。

#### 6. おわりに

本解析手法は確かに解析領域が狭いという欠点があるが、地下水位低下による周辺の地盤沈下に関して連成解析を用いた場合と同様の予測が可能であり、しかも連成解析と比べて非常に簡便な手法である、という点から本解析手法には十分な妥当性があると言える。

【参考文献】1) 西垣 誠：掘削と周辺地盤の変状、4.掘削と水理条件の変化、土と基礎、

Vol.43, No.3, pp.55-60, 1995.

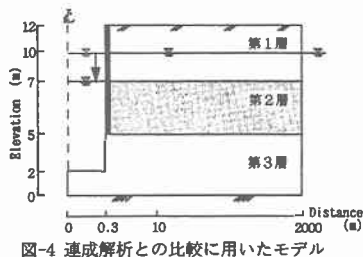


図-4 連成解析との比較に用いたモデル

表-2 各層の物性

|     | $k$ (cm/sec)         | $S_s$ (cm <sup>-1</sup> ) | $E$ (Pa)            | $\nu$ | $n$ |
|-----|----------------------|---------------------------|---------------------|-------|-----|
| 第1層 | $1.0 \times 10^{-2}$ | $1.0 \times 10^{-6}$      | $1.2 \times 10^7 g$ | 0.3   | 0.3 |
| 第2層 | $1.0 \times 10^{-5}$ | $1.0 \times 10^{-4}$      | $6.0 \times 10^3 g$ | 0.49  | 0.3 |
| 第3層 | $1.0 \times 10^{-2}$ | $1.0 \times 10^{-6}$      | $1.2 \times 10^7 g$ | 0.3   | 0.2 |

\*  $g$ : 重力加速度

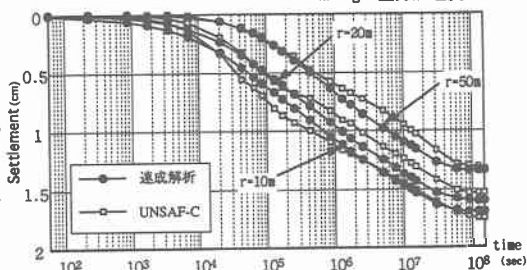


図-5 連成解析との比較

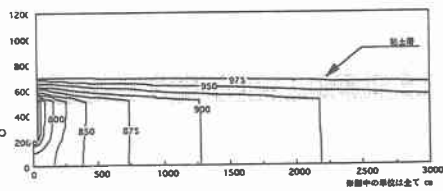


図-6 全水頭コンター図 ( $t=10$  day)