地下水位回復に伴う地盤隆起に関する研究

# その2 解析

徳島大学	学生会員	日下拓也
日本工営(株)	正会員	スレン ソッキアン , 杉山 仁實
徳島大学	正会員	望月 秋利

1.はじめに

筆者らは地下水位回復に伴う地盤隆起の予測法および対策法の開発を目的として,遠心力模型実験装置を用いた 再現実験を行ってきた<sup>1)</sup>.本稿では,予測法確立のために,地下水位変動を考慮した一次元圧密解析手法を開発し, 遠心力模型実験結果との比較を行い,本解析手法の妥当性を検証した.

#### 2.解析手法

実地盤では自重応力のために,地盤の深度方向に応力状態(有効土被り応力)が変化するため,透水係数,動水 勾配及び浸透圧も変化する.そのため,地下水位低下過程で生じる浸透圧による厳密な圧密沈下計算を行うために は,それらのパラメータの変化を考慮する必要がある.また,地下水位回復による地盤の膨張計算は過圧密地盤特 性を適用することになるが,深さ方向に圧密降伏応力が変化するため,各深度の点におけるf-logP関係は異なる.三 笠<sup>2)</sup>は自重及び圧密諸係数の変化を考慮した圧密理論を導き,高田<sup>3)</sup>は,三笠の圧密理論をf-logP関係の異なる不均 等地盤に適用できる様に拡張した圧密方程式を導いた.本研究では,高田が導いた圧密方程式を用いて,地下水位 変動に伴う地盤変動の圧密解析手法の開発を行った.解析に用いた不均等地盤の圧密方程式を式(1)に示す.

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = c_{vr} \left[ \left( \frac{f_0}{f} \right)^2 \left\{ \frac{\partial^2 \varepsilon_r}{\partial z_0^2} + \frac{f - f_2}{f} \left( \frac{\partial \varepsilon_r}{\partial z_0} \right)^2 \right\} - \left( \frac{f_0}{f} \right) \frac{d}{d\varepsilon_r} (m_{vr} \cdot \gamma') \frac{\partial \varepsilon_r}{\partial z_0} \right] + \left( \frac{f_0}{f} \right) \frac{\partial c_{vr}}{\partial z_0} \left\{ \frac{\partial \varepsilon_r}{\partial z_0} \left( \frac{f_0}{f} \right) - m_{vr} \cdot \gamma' \right\}$$
(1)

ここに,相対ひずみ:  $\varepsilon_{vr} = \ln\left(\frac{f_1 - f_2}{f - f_2}\right)$ ,相対体積圧縮係数:  $m_{vr} = \frac{f}{f - f_2}m_v$ ,相対圧密係数:  $C_{vr} = \frac{f - f_2}{f}C_v$ で,  $f_1$ ,  $f_2$ は任意に選んだ応力 $P_1$ ,  $P_2$ における体積比である.また,浸透圧は透水係数(k)に依存して変化するため,kより圧密係数を求める.kは,標準圧密試験より得られたf-log k関係より式(2)で,体積圧縮係数( $m_v$ )は,f-log P関係より式(3)で求める. 表1 解析パラメータ

$$k = 10^{\frac{f-B_k}{A_k}}$$
 (2) ,  $m_v = \frac{0.4343C_c}{f} \cdot 10^{\frac{f-f_b}{C_c}}$  (3)

#### 3.解析条件

解析条件は、遠心力模型実験(地盤高さ 30cm×遠心力加速度 40G)と同様に, 初期地盤高さを 12m,地表面水位をGL-2mとし,両面排水とした.初期地盤

初期地盤高さH (m)	12
分割数 n	100
土粒子比重 G <sub>s</sub>	2.679
圧縮指数 C。	0.22
$P = 1 \text{kgf/cm}^2$ 時の体積比 $f_b$	2.04
膨張指数 C <sub>s</sub>	0.02
透水係数の定数 A <sub>k</sub>	0.539
透水係数の定数 <sup>B</sup> <sub>k</sub>	3.342

は,安定な解を得るため,自重と上載荷重 2.0kN/m<sup>2</sup>による圧密が十分終了した時点の正規圧密状態の地盤とした. 解析手順は,実験と同様に, 水位を粘土地盤の底面まで下げて圧密計算を行う, 実験の条件に合わせて水位低 下後 106 日で初期水位まで戻して圧密計算を行う,とした.この際,地下水の変動速度は一瞬で行うものと仮定す る.解析パラメータは,実験で使用した試料を用いて行った土質試験結果より求めた(表-1).

### 4.解析結果

図-1 は,実験結果と解析結果の時間-沈下関係を比較したもので,A-B 間は地下水位低下過程,B-C 間は地下水位 キーワード 地下水位回復,地盤隆起,一次元圧密理論

連絡先 〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1 徳島大学工学部建設工学科 TEL 088-656-7343

16

≣<sup>12</sup>

8

0

В

低下過程

回復過程

回復過程である.低下及び回復過程で両者はほぼ一致したが,回復 過程の膨張量は実験よりも解析結果の方がわずかに小さくなった。

図-2(a)は,地下水位回復過程の実験結果,及び解析結果の間隙水 圧の等時線を比較したものである.水位低下開始時の間隙水圧分布 はよく一致しており、その後、両者とも底面から上面に向けて徐々 に圧密が進行している.しかし,圧密の進行に伴って解析結果は実 |験結果よりも進行が遅れる.これは、実験では予圧密荷重(40kN/m<sup>2</sup>)

を除荷したため,地表面から地盤中心付近ま でが過圧密状態となったことで圧密速度が速 くなったと考えられる.一方,図-2(b)の地下 水位回復過程では,回復開始時には違いがあ るもののも両者とも静水圧に向かって回復し ており,最終状態はほぼ一致する.

い施業業 図-3(a)は,地下水位低下過程の解析から得 4 られたひずみの等時線である.間隙水圧と同 様に底面から圧縮ひずみが進行していること 0 がわかる.一方,図-3(b)の地下水位回復過程 0 では,底面から膨張ひずみが進行しているが, 地盤高さ 4~6m 付近で,水位回復にもかかわ らず圧縮ひずみが発生している.これは,十分沈下が進 行する前に水位が回復したため、沈下が遅れて進行した と考えられる、このような沈下と膨張の境界付近にある 地中内構造物には,圧縮力がかかることが予測される.

次に,地下水位低下過程の最終状態を確認するために, 水位低下過程の圧密を十分終了させてから回復させる。 という解析を行った。図-4 に時間-沈下関係を示す.地 下水位低下過程では 365.9mm 沈下しており,実験条件に 合わせた場合と比べて約7倍の差がある.また,回復過 程でも約10倍の33.2mm 膨張し、変化量が大幅に増加す ることがわかった.

### 5.まとめ

地盤の沈下量と隆起量に関しては,実験結果を解析でよく説明 できたが,間隙水圧やひずみについて詳細に検討すると問題点も 見つかった.今後,遠心力模型実験と解析の初期条件等を検討し, 更なる解析精度の向上を図りたい.

謝辞 本研究の実施にあたり,協力して頂いた徳島大学大学院の 前川峰夫氏と久米敦氏には記して感謝の意を表します.

## 参考文献

- 日下拓也・スレン ソッキアン・杉山仁實・望月秋利:地下水位回復に伴う地盤隆起に関する研究-その 1 遠心 1) 力模型実験- , 土木学会第 64 回年次学術講演会公演概要集(投稿中) , 2009.
- 三笠正人:軟弱粘土の圧密, 鹿島出版会, 1963. 2)
- 笠正人・高田直俊・東田淳:層状地盤の圧密,土木学会年次学術講演会講演概要集第3部,pp.59-62,1972. 3)

