

III-106

超軟弱粘土の自重圧密解析

運輸省港湾技術研究所

小林正樹・○山川匠・小川富美子

1. まえがき

超軟弱な液状粘土の自重圧密解析を行おうとすると、通常の圧密解析手法では取り扱うのが難しい問題が生じる。これは、非常に含水比が高いような粘土を自重圧密させると、圧密の前に沈降が生じるために、通常の圧密解析ではこの沈降過程を再現することが非常に困難となるためである。従来は、沈降とその後の自重圧密はまったく別個の手法で取り扱われてきた。しかし実際には、沈降過程でも部分的には自重圧密が進行していることはこれまで認められてきたことであり¹⁾、液状粘土の自重圧密解析において、沈降と圧密を統一的に解析できる手法の必要性は大きい。今回は、このような観点から従来の圧密理論に基づいて、沈降過程と自重圧密の両者を解析できるような手法を開発したのでここに報告する。

2. 液状粘土の沈降試験と圧密試験

超軟弱な液状粘土の沈降特性と圧密特性を調べるために、直径10cm、高さ180cmの大型沈降円筒を用いて、沈降試験およびその後の圧密試験を行った。用いた試料は、東京湾において採取された攪乱試料を調整したものであり、その物理特性は、 $w_L=140.8\%$ 、 $w_p=53.4\%$ 、粘土含有量 $=59.0\%$ 、シルト含有量 $=40.9\%$ 、砂含有量 $=0.1\%$ である。

沈降試験においては、初期含水比を種々に変化させて実験を行っている。ただしここでは、水と土との間に明瞭な境界が生じる、いわゆる界面沈降に焦点を絞って実験を行っている。今回用いた試料では、界面沈降が生じるのは初期含水比が1,000%~4,000%の範囲であったので、ここでは、990%、1,422%、2,000%、および3,370%の4種類の初期含水比に対して試験を行った。図-1は、4種類の初期含水比に対して、時間と界面の沈下量の関係を示したものであり、図-2は、時間の対数に対して沈下量を示したものである。ただし、初期含水比が3,370%のものは、ごく短期間に沈下が収束しているのので長期間の計測は行っていない。したがって、図-2にはこの結果は示していない。図-1から明らかなように、初期段階においては、沈下は時間にほぼ比例して進行する沈降現象が認められ、この勾配が沈降速度となる。沈降が終了すると、沈下の速度は急激に減少し、圧密段階に移行する。

3. 自重圧密解析

沈降過程から圧密過程に変化する様子を再現するのは従来の自重圧密解析では困難であった。沈降過程は、土粒子が液体中を自由落下するものであり、その速度がいわゆる沈降速度と呼ばれるものである。しかし、この現象を別の観点から見ると、液体が粘土を流れていくとも考えられ、沈降速度は透水係数を表わすものともいえる。三笠の圧密理論²⁾によると、沈降速度 v と透水係数 k の関係は次式で表わされる。

$$v = k \cdot \gamma' / \gamma_w$$

ここに、 γ' は土の有効密度であり、 γ_w は水の密度である。上式を用いると、沈降速度から透水係数が求められる。また今回は、沈降およびその後の圧密が終了した粘土に対して圧密試験を行っている。その結果からも、透水係数が求められ

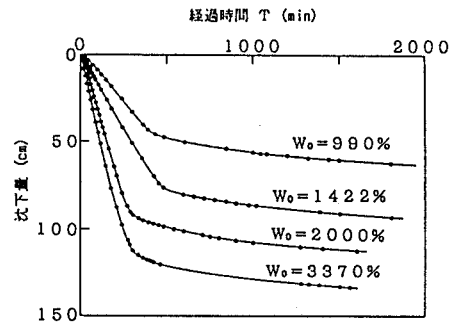


図-1 沈下と時間の関係

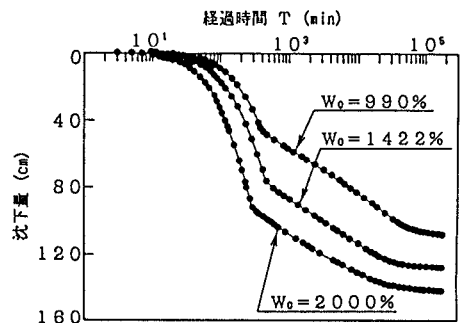


図-2 沈下と時間の対数の関係

る。図-3は、このようにして求めた透水係数と間隙比の関係を示したものである。この図では、沈降試験の沈降速度から求めた透水係数と圧密試験から求めた透水係数を区別して示している。図をみると、沈降試験および圧密試験の両者において、透水係数と間隙比は両対数のプロットにおいて直線的な関係が認められる。ただし、それぞれの関係は大きく異なり、沈降試験の結果から得られた透水係数の方が圧密試験の結果より大きい。沈降過程では、粘土の有効応力がゼロであり、透水係数が大きいものに対して、圧密過程に入ると有効応力が作用し透水係数も減少してくるものと思われる。

自重圧密解析を行うためには、透水係数のほかに、間隙比と圧密圧力の関係が必要となる。今回の試験では、沈降試験を行った後に、自重圧密終了後の堆積した粘土の含水比を測定している。したがって、その結果から間隙比と圧密圧力の関係が求められる。図-4は、このようにして求めた沈降試験による間隙比と圧密圧力の関係を圧密試験の結果とともに示したものである。この図をみると、通常仮定されているような直線的な e - $\log p$ 関係を用いるのは無理であることが分かる。図-5は同じ結果を $\log f$ - $\log p$ 関係で整理したものである。 f は体積比と呼ばれ、 $f=1+e$ である。図-4と図-5を比較すると、図-5の方が直線関係が認められやすく、今回は $\log f$ - $\log p$ 関係を直線として自重圧密解析を行った。

解析においては、有限要素法を用いている³⁾。今回のような $\log f$ - $\log p$ 関係を直線と仮定するような計算では、 p が負になると計算が不可能となるので、 a, b をパラメータにして次式のような関係を用いた。

$$p = e \times p \{ (\log f - a) / b \}$$

実際の計算では、仮想的な弾・粘塑性理論を用いて上式を満足させるようにして収束計算を行った。なお、透水係数と間隙比の関係は図-6の実線の関係を用い、ある間隙比で透水係数が急激に変化するものとしている。図-6は解析結果と実験結果を比較したものである。この図より分かるように、実測値と計算値には相違がみられるが、初期の沈降過程とその後の圧密過程が比較的良好に再現できている。したがって、透水係数を不連続的に変化させることにより、圧密理論を用いて沈降過程と自重圧密過程を統一的に再現できることが示された。

参考文献

- 1) 今井五郎：液状粘土の一次元圧密特性に関する基礎的研究、東京大学博士論文、1978年。
- 2) 三笠正人：軟弱粘土の圧密、鹿島出版会、1963年。
- 3) 小林正樹：非線形一次元圧密沈下の解析法とその適用、港湾技術研究所報告、第21巻、第1号、1982年。

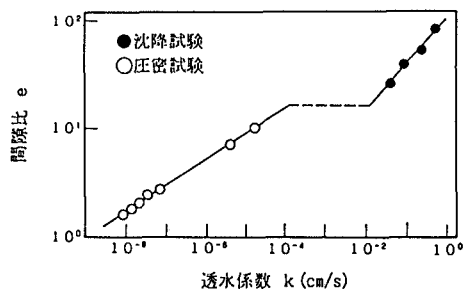


図-3 透水係数と間隙比の関係

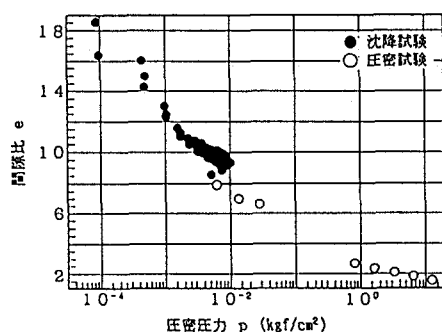


図-4 間隙比と圧密圧力の対数の関係

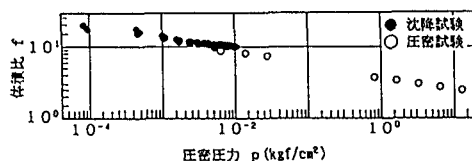


図-5 体積比の対数と圧密圧力の対数の関係

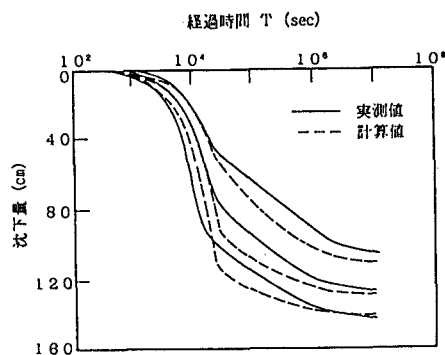


図-6 沈下-時間関係の実測値と計算値の比較