

地下水位低下工法を併用した PBD 打設の浚渫粘土地盤の沈下予測

神戸市 ○正 岡田広久 山本卓生
 大阪市立大学大学院 正 大島昭彦
 神戸大学大学院 正 澁谷 啓

1. まえがき

臨海地域では、泊地の確保、水深維持、環境改善などのため、大量の浚渫粘土が発生している。この浚渫粘土は、一般に海上の人工島へ埋立処分されているが、超軟弱であるため大きな沈下が長時間にわたって生じることになる。また、処分地となる人工島造成には限りがあるので、投入した浚渫粘土を鉛直排水（バーチカルドレーン）工法などによる地盤改良を行って減容化させ、処分地の延命化を図る必要がある。浚渫粘土地盤に対する鉛直排水工法には、PBD（プラスチックボードドレーン）工法が多く用いられており、その沈下計算方法には、一般に Barron 解が用いられている。しかし、Barron 解は粘土地盤の深さ方向の圧密特性の変化を考慮しておらず、実際の粘土地盤を反映されているとは言い難い。特に、浚渫粘土地盤では圧密特性が深さ方向に大きく変わるため、その変化を考慮した沈下計算方法が必要であると考えられる。また、浚渫粘土地盤は高含水比かつ超軟弱であるため、その圧密特性は低応力域での値が必要であり、かつ初期含水比状態によって変化する。そこで、浚渫粘土の圧密特性を正確に捉え、それを反映した沈下予測計算を行うことが重要である。

圧密特性は一般的に、体積比 f を算術目盛りにとった $f \sim \log p$, $f \sim \log k$, $f \sim \log c_v$ 関係として表されているが、浚渫粘土において、体積比 f を対数目盛りにとった $\log f \sim \log p$, $\log f \sim \log k$, $\log f \sim \log c_v$ 関係の方が合理的であることを既に報告した^{1)~3)}。本稿では、対数 f で表した圧密特性を用いて、地下水位低下工法を併用した PBD 打設の浚渫粘土地盤の沈下予測計算を行い、実測値と比較した結果を報告する。なお、沈下予測の対象地区は図-1 に示す神戸空港島の北側に位置する埋立地である。

2. 計算方法

浚渫粘土は投入時期が異なる二層からなる。下部の一次浚渫粘土は 2001 年 8 月から 2007 年 2 月まで断続的に投入され、上部の二次浚渫粘土は 2008 年 9 月～2009 年 9 月に投入されている。二次浚渫粘土の圧密特性は文献 3) で求めた初期含水比 280% の $\log f \sim \log p$, $\log f \sim \log c_v$ 関係を用いた。一次浚渫粘土には川や運河の浚渫土砂も混じっているが、大部分は神戸港の浚渫粘土であるので、その圧密特性は二次浚渫粘土と同じとした。計算は、まず一次、二次浚渫粘土の埋立履歴をシミュレートするために、次式の三笠の有限ひずみ圧密理論を用いて自重圧密計算を行った。

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = c_v \exp(2\varepsilon) \left\{ \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial z_0^2} + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial z_0} \right)^2 \right\} + \exp(2\varepsilon) \frac{dc_v}{d\varepsilon} \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial z_0} \right)^2 - \exp(\varepsilon) \frac{d(c_v m_v \gamma')}{d\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z_0} \quad (1)$$

ただし、投入土量が不明であるので、浚渫粘土投入後の実測標高に合うように投入層厚を繰返し計算で求めた。

図-2 に浚渫粘土層の状況と発生する有効応力の状態を表した模式図を示す。処分地内の水位は K.P.+7.2m、下面のサンドマット（敷砂）の水位は K.P.+2.0m で、浚渫粘土層の上面と下面の水位差は 5.2m である。この地盤に PBD



図-1 対象地区（神戸空港島埋立地区）

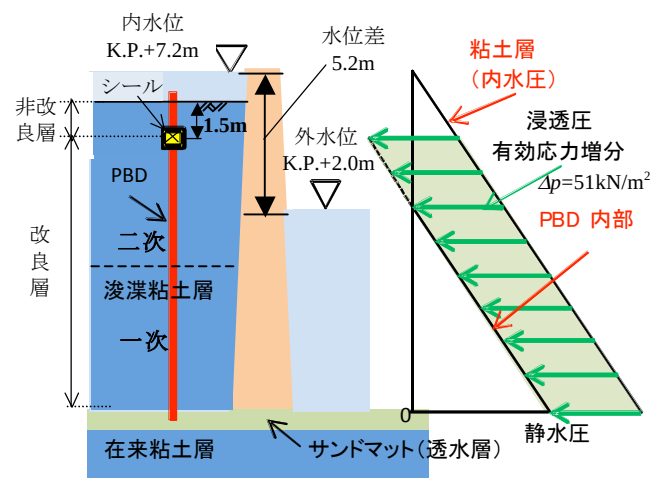


図-2 浚渫粘土層の状況と発生する有効応力

Key Words: 浚渫粘土, 圧密特性, 自重圧密, 圧密計算, 現場計測

〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 TEL 06-6605-2996 FAX 06-6605-2726

(ピッチ 1.3m の三角形配置) を打設することにより、粘土層の排水距離が短くなるため圧密が促進される。さらに、この PBD は先端 1.5m でシール (遮水) している (PDF 工法⁴⁾)、粘土層の上面と下面で水位差 ($\Delta H=5.2\text{m}$) が発生し、粘土層内の有効応力が増大 ($\Delta p=51\text{kN/m}^2$) するため、地下水位低下による圧密促進も図ることができる。

PBD 打設地盤の計算は Barron 解を用いたが、自重圧密場では一次元圧密の影響が無視できないので、次式の Carrillo の方法を採用して、Barron の圧密度 U_r と式(1)による一次元圧密の圧密度 U_z を合成して圧密度 $U(t)$ を求めた。

$$U(t) = 1 - (1 - U_z(t))(1 - U_r(t)) \quad (2)$$

本研究では、Barron 解で用いる水平方向の圧密係数 c_h は、軟弱粘土であるため $c_h = c_v$ とした。また、Barron 解では本来圧密中の c_h の変化を考慮できないが、今回のように自重圧密がある程度進行した地盤に対するドレーン打設では、深度方向に粘土の状態が異なるので、深度方向の c_h の変化を考慮する必要がある。そこで、図-3 に示すようにドレーン打設前の粘土層を 1m ごとに分割して層状地盤として扱い、ドレーン打設前の体積比 f_{ij} と、打設後の圧密が終了する時の f_{ij} の平均値 $\bar{f}_j$ に対応する c_h を $\log f \sim \log c_v$ 関係から求め、深度方向の c_h の変化を擬似的に考慮した。なお、水位差による有効応力増分を上載荷重 ($\Delta p=51\text{kN/m}^2$) として与え、粘土層上部 1.5m はドレーンに対する不透水層の役割を果たすものなので、その沈下は無視した。

3. 計算結果と実測値の比較

図-4 に二次浚渫粘土上面の標高として計算値と実測値の比較を示す。横軸は一次浚渫粘土投入開始 (2001/8/18) からの経過時間である。図中に示す計測地点は埋立地区中央付近の 6 地点である。実測値からドレーン打設と水位低下による圧密促進効果が確認できる。実測値には少し幅があるが、計算値とほぼ一致している。

図-5 に代表例として B 地点の圧密曲線の計算値と実測値の比較を示す。横軸は二次浚渫粘土上面の標高を計測し始めた 3092 日 (2010/2/4) からの経過時間である。図中には B 地点のドレーン打設時点を明記しているが、計算は埋立地区中央に PBD が打設された 5/20~6/8 間に Δp を漸増载荷させている。計算値と実測値はほぼ整合しており、本計算手法の妥当性が確認できる。なお、3367 日で実測値の方が大きいのは、新たに投入された三次浚渫粘土の影響と考えられる。

なお、神戸空港島埋立地区ではこの沈下予測に基づいて予定された三次浚渫粘土が無事に投入された。この三次浚渫粘土も含めた沈下予測、および浚渫粘土層内の含水比分布の経時変化の実測値と計算値の比較も行っているが、別の機会に発表する予定である。

参考文献 1) 大島, 岡田: 粘土の圧密特性の表し方の再検討, 第 46 回地盤工学研究発表会(投稿中), 2011.

2) 岡田, 大島: 浚渫粘土の算術 f と対数 f による圧密特性の表し方の比較, 第 46 回地盤工学研究発表会(投稿中), 2011.

3) 大島, 岡田: 浚渫粘土の圧密特性の表し方が自重圧密過程に与える影響, 土木学会第 66 回年次学術講演会(投稿中), 2011.

4) 木山, 他: 地下水位低下工法と PDF 工法を併用した新しい圧密促進工法, 第 4 回地盤改良シンポジウム, pp.15-22, 2000.

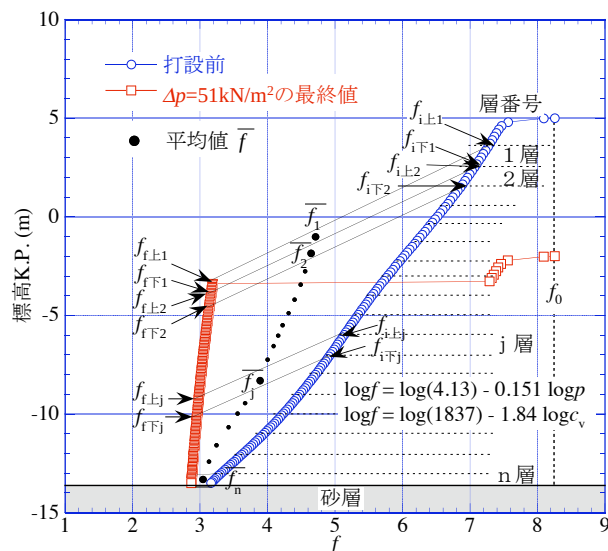


図-3 c_h を求めるための平均 $\bar{f}_j$ の求め方

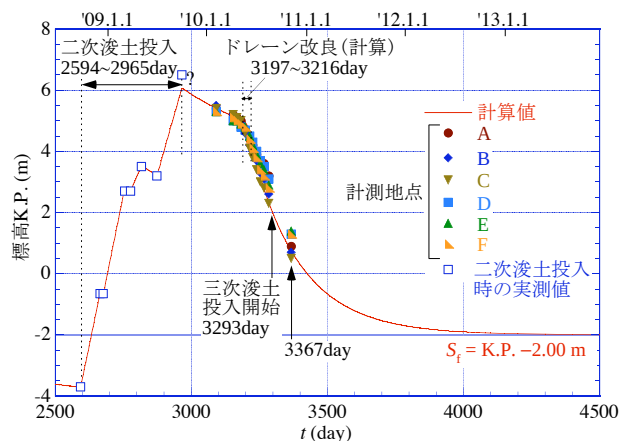


図-4 ドレーン打設後の計算値と実測値の比較

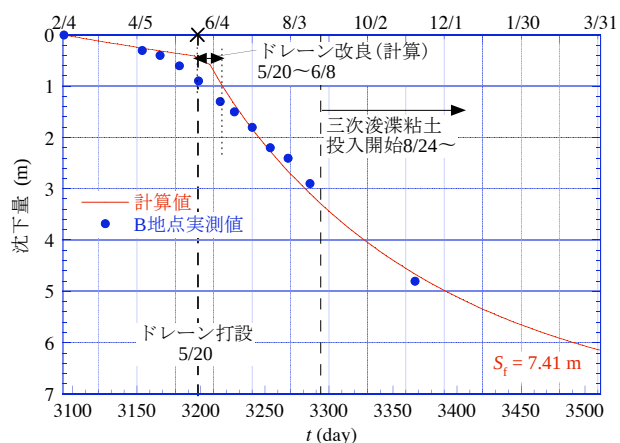


図-4 B 地点の圧密曲線の比較