

超軟弱粘土地盤に施工される PDF 工法における水平ドレーンの効果

福岡大学工学部 正会員 佐藤研一 福岡大学大学院 学生員 永岡修一
 福岡大学工学部 正会員 吉田信夫 錦城護謄 正会員 野村忠明
 不動建設 正会員 前田忠良 不動建設 正会員 原田健二

1. はじめに 著者¹⁾らは、これまでに通常覆土後に行うプラスチックボードドレーン(以下 PBD と略す)による鉛直ドレーン工法を、浚渫土投入直後に行うことにより高含水比で超軟弱な粘土の自重圧密を促進する PDF (Plastic-board Drain by Floating System) 工法に関する実験的な研究を行い、PBD による自重圧密促進効果が大いという知見を得てきた。そこで本研究では、図-1 に示すようにこの工法に真空圧を併用させ、さらなる圧密促進を図ることを考えた。真空圧を併用する本工法は、海中施工であるために従来の気密シートを用いることができず、浚渫土による覆土を用いたドレーン材上面の気密性の確保が要求される。そこで、まずこの状況を模擬した 1 次元圧密沈降筒を用いた真空圧負荷試験によって、浚渫土による気密性について、含水比、及びペーせん断強度に着目し、検討を行った。さらに、2 次元大型土槽を用い、浚渫土による気密性、鉛直・水平 PBD の接合形態の違いに着目して検討を行った。

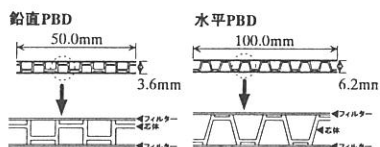


図-3 鉛直・水平 PBD の断面形状

表-1 実験条件 (真空圧負荷試験)

初期含水比	真空圧	初期層厚 d_0	含水比分布及びペーせん断強度測定時期 t (day)
w_0 (%)	(kPa)	(cm)	
200	60	50	14, 28, 56, 84

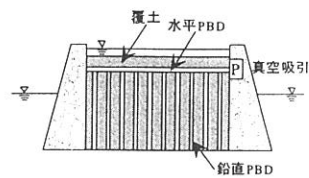


図-1 真空圧を併用した PDF 工法

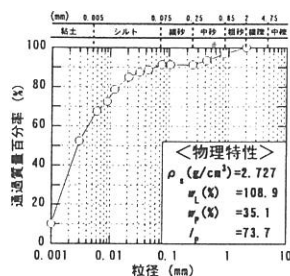


図-2 粒径加積曲線

2. 実験概要 実験に用いた試料は、博多湾より採取した浚渫粘土で、図-2 に示すような物理・粒度特性を有する。粒度分布からもわかるように、シルト分を多く含む粘土である。実験ではこの粘土に夾雑物を排除した海水を加え、液性限界の約 2 倍、初期含水比 $w_0=200$ (%) のスラリー状の超軟弱な粘土を作製した。また実験に用いた鉛直・水平 PBD は、図-3 に示すような寸法及び形状を有する、ポリエチレン製の溝型コアの両面に不織布を張り合わせた一体構造を有するものである。これらの PBD を、各実験条件にしたがって切断し用いている。

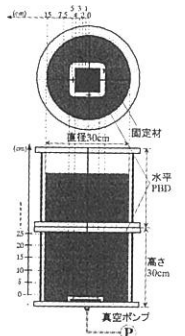


図-4 1 次元圧密沈降筒

表-1 に実験条件を、図-4 に 1 次元圧密沈降筒を示す。試験装置底部に、有効排水範囲が 8(cm)×8(cm) となるように水平 PBD を設置し、現場と同等の真空圧 60(kPa) を負荷させ、浚渫土の気密性について検討した。

図-5 に PDF 工法を模擬できる大型 2 次元土槽を、表-2 に実験条件を示す。今回は鉛直・水平 PBD の接合形態の違いに着目しているため、鉛直 PBD を 20(cm) ピッチで 6 本平行に打設し、水平 PBD と表-2 に示す 3 種類の接合器具 (type 1~type 3) にて接合している。接合形態の違いは、粘土粒子から接合部を保護する役割としての、スポンジの有無によるものである。また、粘土層 60(cm) の上部に覆土層としてさらに 30(cm) の泥土を投入しているので、初期層厚は 90(cm) である。水平 PBD は、鉛直 PBD が粘土層の沈下に追従するのを妨げないようにある程度下部方向に余裕を持たせ、設置している。泥面沈下量の計測は、図-5 に示すように a-1~c-13 の計 39 箇所にて行い、また各鉛直 PBD の最下部において負荷している真空圧を、経時的に計測している。

3. 実験結果及び考察 まず、図-6, 7 に含水比及びペーせん断強

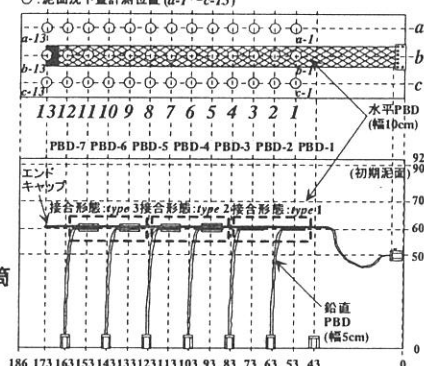


図-5 2 次元大型土槽

表-2 実験条件 (PDF2 次元土槽試験)

初期含水比	真空圧	初期層厚	初期層厚内訳	鉛直 PBD	水平 PBD
w_0 (%)	(kPa)	(cm)	粘土層 (cm) 覆土層 (cm)	本数 (本) 幅 (cm)	本数 (本) 幅 (cm)
204	60	90	60 30	6 5	1 10
PBD 接合形態					
type 1 ~ PBD-2, 3 ~		type 2 ~ PBD-4, 5 ~		type 3 ~ PBD-6, 7 ~	
針のみ		針+端部スポンジ		針+全周スポンジ	

度の経時変化を示す。図-6において、土層中心部の $z/z_0=1.0$ (z_0 は、計測時の層厚)、即ちPBD直上部の含水比は、実験開始から14日間で急激に減少し、その後ほぼ一定を保っている。一方で土層端部では、経時的に含水比が低下し、実験開始から84日目においてほぼ $w=80(\%)$ へと収束しているように見受けられる。また図-7より、せん断強度は全層にわたって経時的に増加しており、PBD近傍において特に顕著に増加していることが確認できる。次に、自重圧密及び真空圧による排水量を図-8に示す。図より、上方向への自重圧密による排水量と、下方向への真空圧による排水量がほぼ等しいことにより、両面排水と同様の状況が生じていることが伺える。図-9に実測沈下曲線を示す。図より、実験終了時において、21.0(cm)の沈下を生じていることがわかる。

図-10に、実験終了時における土層内の含水比分布を示す。土層内は約80(%)まで含水比が低下しており、ほぼ均一な土層が形成されている。そこで、別途行った遠心実験の結果から得られた体積比と透水係数から $w=80(\%)$ の時の透水係数を、図-11に示す。一般に、シルト層、粘土層の透水係数は $k=1.0 \times 10^{-4} \sim 1.0 \times 10^{-7}(\text{cm/s})$ 程度であり、これ以下の透水係数の値を有する地層は、実際問題として不透水層とされている。 $w=80(\%)$ の時 $k=1.7 \times 10^{-7}(\text{cm/s})$ であり、ほぼ不透水層が形成されている事が分かる。そこで、真空圧による含水比低下による改良面積から実験と現場との対応を考えたもの図-12に示す。

現場では、幅0.1(m)の水平PBDが1.0(m)ピッチで配置されているものとする。今回の実験では排水面積 S は $S=0.0064(\text{m}^2)$ 、改良面積 S' は $S'=\pi \times (0.3)^2/4=0.071(\text{m}^2)$ である。これに対し、現場想定モデルにおいては $S=0.1(\text{m}^2)$ 、 $S'=1.0(\text{m}^2)$ である。そして、単位排水面積当りの改良面積を求めると、実験モデルでは $S'/S=11.1(\text{m}^2)$ 、現場想定モデルでは $S'/S=10.0(\text{m}^2)$ であり、ほぼ同程度ある。すなわち、今回実施した層厚50(cm)、真空圧負荷時間84日間ではほぼ全層にわたり不透水層が形成されことを考えると、現場において覆土厚50(cm)以上で約3ヶ月後に十分な不透水層が出来る事が予測される。

次に、図-13に2次元大型土槽試験における沈下量曲線を、図-14に真空度の経時変化を示す。結果より、接合形態の違いによる沈下量の違いは殆ど見受けられない。また、鉛直PBD端部の真空度もほぼ0.8以上を保ち、かつ時間の経過に伴って真空度は徐々に増加している。このことより、水平ドレーンの効果が確認でき、かつ最も接合が簡便なtype 1を用いることにより現場施工が容易になることが示唆された。今後さらに継続的な実験を行い、PBDの圧密促進効果を明らかにする予定である。

4. まとめ 真空負荷に伴う覆土厚は、モデル実験の結果から50cm以上あれば十分であることが示された。また2次元大型土槽試験より、鉛直・水平PBDの接合形態の違いによらず圧密促進効果は一樣であり、覆土による真空気密性及び伝達性は経時的に増加することが明らかとなった。

【参考文献】佐藤研一、永岡修一、吉田信夫、野村忠明：PD材を用いた超軟弱粘土地盤の自重圧密促進効果に関する研究、粘土地盤における最新の研究と実際—微視的構造の観察から超軟弱埋立地盤対策技術まで—に関するシンポジウム発表論文集、pp.283-290,2002.5

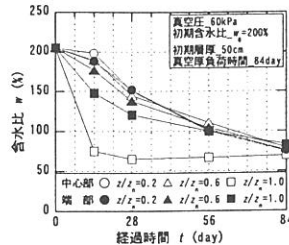


図-6 含水比の経時変化

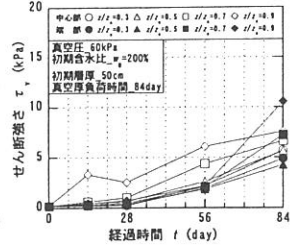


図-7 せん断強度の経時変化

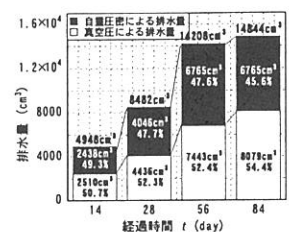


図-8 自重及び真空圧による排水量

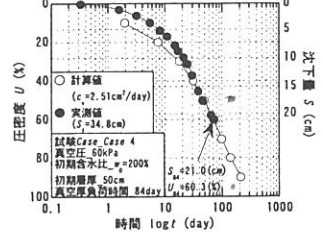


図-9 計算値と実測値の比較



図-10 実験終了時の含水比分布

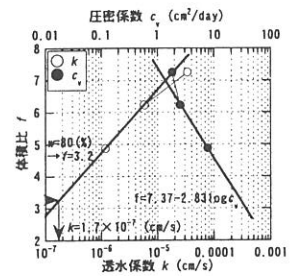


図-11 体積比と透水係数の関係

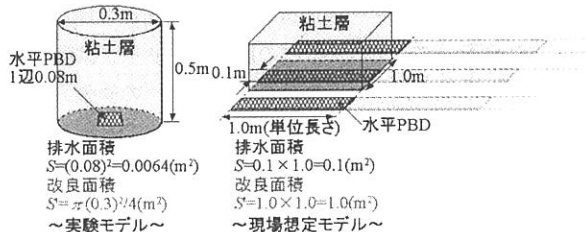


図-12 現場との関係

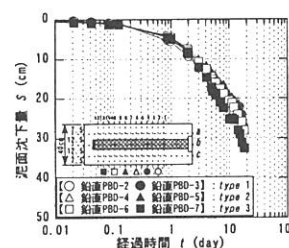


図-13 沈下量曲線

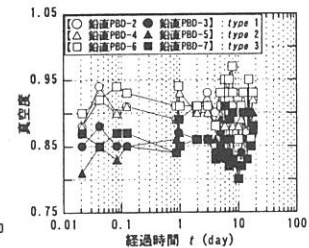


図-14 真空度の経時変化