

PVC ドレーン工法について (第5報)

齋藤 二郎 松尾 龍之
西林 清茂 細谷 芳巳

PVC Drain Method (Part 5)

Jiro Saito Tatsuyuki Matsuo
Kiyoshige Nishibayashi Yoshimi Hosoya

Abstract

The results of fundamental studies and a number of actual construction examples of the PVC Drain Method have been described in four previously published reports. These construction examples consisted of stabilization of organic soil at inland areas. The present report describes the results of in-situ soil stabilization tests on filled land consisting of a clayey waste layer (thickness 10 m, GL 0 ~ -10 m) and a silt layer (thickness 8 m, GL -10 ~ -18 m) which had been the waste disposal area of a factory. Although the main purpose of the in-situ tests was to study the stabilization effects on the clayey waste layer, since it is rare for such deep soft soil to be improved by the vertical drain method, the consolidation effect on the silt layer was also examined. In connection with actual construction, descriptions are given of a new improved driving equipment capable of efficiently driving PVC drain material into either firm or very soft ground.

概 要

PVCドレーン工法については、前4報までに基礎研究成果とともにいくつかの実施例を紹介したが、これらの実施例はいずれも内陸部の腐植土地盤(深さ6~7m)を主とするものであった。今回は某工場の廃泥処理場となっていた深さ18mに達する埋立地(廃泥層:10m,シルト層:8m)の地盤改良試験工事結果について述べる。当試験工事の主目的は廃泥の改良効果検討であったが、通常、今回のように深い地盤を圧密促進工法によって地盤改良することは少ないので、下層シルト層の圧密促進程度の検討にも重点を置いた。施工については硬質地盤用として開発した新しいドレーン材打設装置について紹介する。

1. まえがき

この軟弱地盤改良試験工事は旧海底軟弱地盤上に工場から廃出する廃泥を投棄処分して造成された広大な廃泥埋立地を工場敷地として再生させるために、本工事に先立って圧密促進工法を主体に実施したものである。埋立地の地盤は厚さ10mの廃泥層の下に旧海底のシルト層が8m分布しており、合計18mもの軟弱層で構成されている。

工事にあたっては、まず現地盤表面をファゴット工法を主体とした軟弱地盤表層処理工法によって約2m程度のサンドマット・山土層を造成し、各種施工機械のトラフィカビリティを確保した後、PVCドレーン

工法などの圧密促進工法を施工した。圧密促進工法に関する試験工事の目的は

- (1)通常の自然粘性土と異なった廃泥の改良効果、
- (2)一般に“問題あり”といわれている15m以深の圧密改良効果。

を各種の圧密促進工法について検討することにあつた。ここではPVCドレーン工法の試験工事結果について述べる。

なお、今回、当試験工事で適用した代表的ドレーン材について行なった室内長期圧密促進効果の実験結果を図-1に示す。袋詰サンドパイルはパイルの支持効果のために絶対沈下量が他のドレーン材より小さいが、圧密促進効果自体には変わりがない。又、支持力効果

についても実際規模ではほとんど問題ないものである。

2. 地盤状態と土質性状

2.1. 地盤状態

地盤表層処理後に実施した土質調査による地盤状態を図-2の代表土質柱状図として示す。これによると、試験地区の地盤状態は、サンドマットと山土が厚さ2m程度の表層部を形成して、その下にしゅんせつシルト、廃泥、旧海底シルトの軟弱層が合計層厚18m程度分布した後、砂層へと移行している。サンドマット下のシルトは廃泥を覆うことと地盤高調整を目的として海底シルトをしゅんせつしたものである。

廃泥およびしゅんせつシルトとも極軟な状態であったために、その上に施工した地盤表層処理層(サンドマット・山土)の厚さは必ずしも一定ではなく、1.5~3.5mとかなり大きく変化している。

2.2. 軟弱層の土質性状

土質調査は廃泥層についてはフォイルサンプリング、旧海底シルトについては深さの関係から、シンウォールサンプリングを適用して各々について物理・力学の各土質試験を実施した。主な土質試験結果を図-2に一覧にして示す。

2.2.1. 廃泥 この廃泥はシルト・粘土分が98%を占めており、完全な粘性土の範ちゅうに入る。ただし、物理特性については、比重が $G_s=3$ 程度と通常の粘性土の値よりもかなり大であるにもかかわらず、間隙比も $e=3$ 程度であるために、湿潤密度が $\gamma_t=1.55\text{g/cm}^3$ と沖積粘性土に近い値を示すなど、個々の土性については自然土とは異なった特徴を有している。

強度は、含水比が $W=90\sim 130\%$ 程度で液性限界 ($W_L=70\%$) 以上であるために、一軸圧縮強度で $q_u=0.05\sim 0.25\text{kg/cm}^2$ と小さく、深さ方向の変化も明確ではない。圧密促進工法の適否の判断資料となる圧密係数は $C_v=2.7\times 10^{-1}\text{cm}^2/\text{min}$ 程度で十分適用できる範囲の値である。なお、圧縮指数は $C_c=0.9$ で、沖積粘性土よりいくぶん大きな値である。

2.2.2. 旧海底シルト このシルトは通常の高成粘性土と同様の土質性状を示しており、一軸圧縮強度

$q_u=0.35\sim 0.5\text{kg/cm}^2$ と深さ方向への強度増加が見られ、圧密降伏応力も $P_y=0.6\sim 1.1\text{kg/cm}^2$ で工事前の土被り圧にほぼ等しい。

3. 試験工事 施工概要

試験工事の面積はおおよそ $50\times 50\text{m}$ である。工事は、まずファゴット工法を適用して厚さ0.60mのサンドマット(川砂)と山土1.30mから成る地盤表層を形成後、ピッチ1.30mの正方形配置、ドレーン材長さ20mのPVCドレーンを打設して、さらに山土を1.5m追加盛土した。

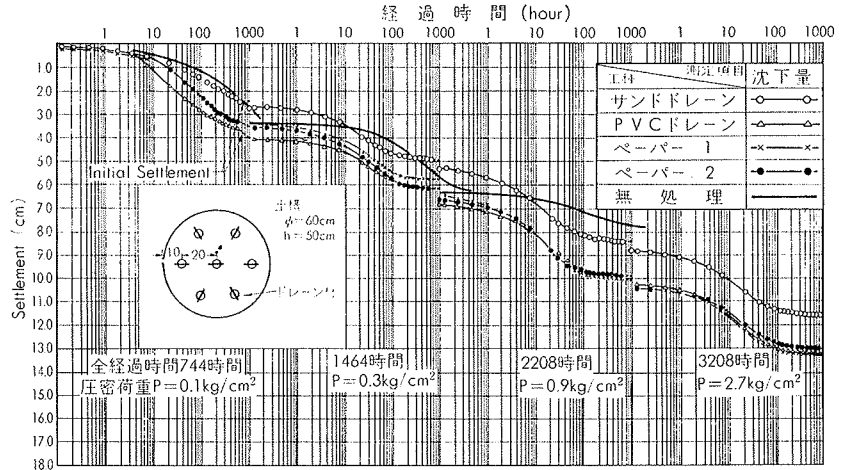


図-1 代表的ドレーン材の圧密促進効果

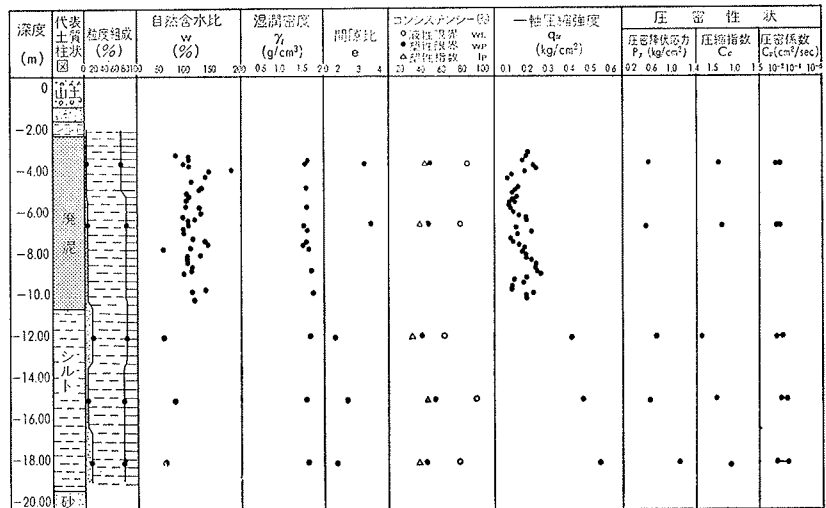


図-2 廃泥および旧海底シルトの土質性状

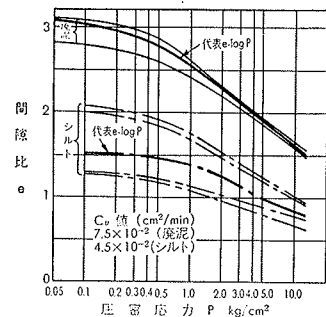


図-3 e-log P曲線

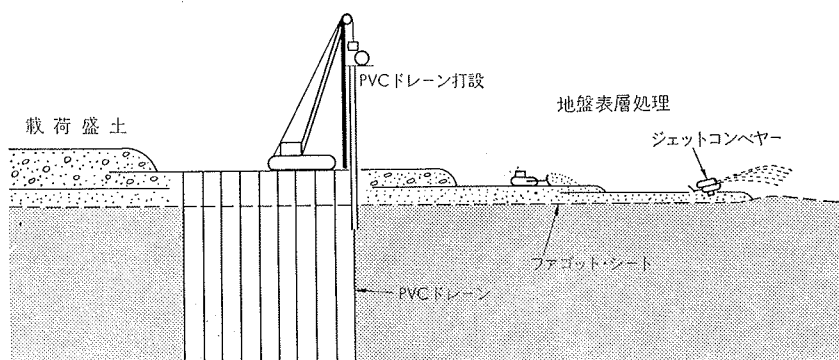


図-4 施工概略図

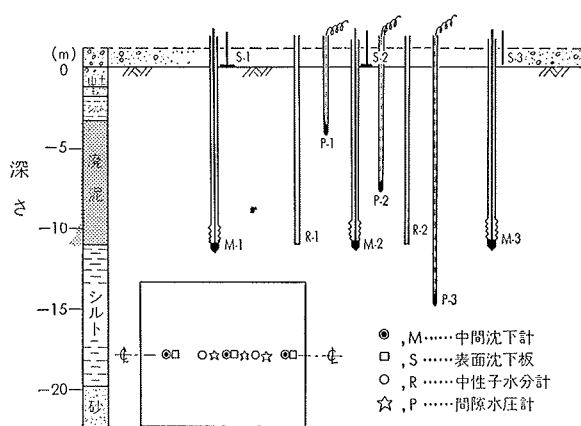


図-5 観測機器設置位置

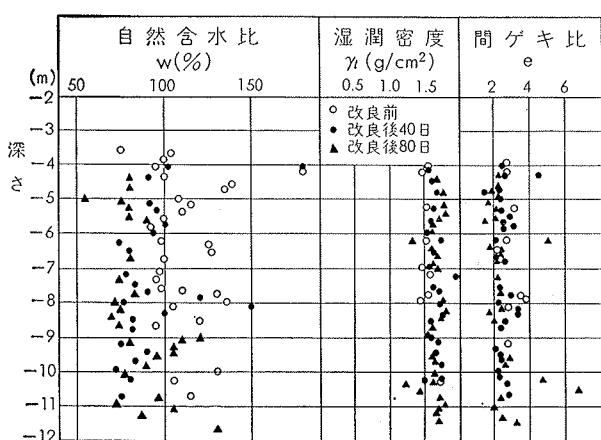


図-6 廃泥の物理性状変化

又、圧密促進効果の検討のために土質調査と、表面沈下板、中間沈下計、間隙水圧計、中性子水分計などの観測機器の設置・測定を実施した。

4. 試験工事結果

4.1. 物理・力学特性の変化

載荷盛土終了から40日（廃泥のみ）および80日経過

時に土質調査を実施した。（調査方法：廃泥層……フオイルサンプリング、旧海底シルト層……シンウォールサンプリング）

4.1.1. 廃泥層

図-6に施工前後の含水比、湿潤密度、間隙比の変化を示す。同図によると、性質上、湿潤密度、間隙比の変化量は小さいが、含水比については、明らかに圧密促進効果による低減が見られ、80日改良後の値は

施工前に比較して平均で20~30%減少している。この含水比の変化は中性子水分計による現位置試験結果（図-7）を見ても明瞭である。

詳細な検討結果では、80日経過後、湿潤密度が $\gamma_t = 1.60\text{g/cm}^3$ から 1.70g/cm^3 程度に、間隙比も $e = 3$ から 2.5 程度に減少して圧密による改良効果が認められた。

一軸圧縮強度の改良前後の変化を図-8に示す。

改良後の強度は、改良前 $q_u = 0.2\text{kg/cm}^2$ 以下であったものが、40日経過時点では $q_u = 0.36\text{kg/cm}^2$ 程度まで増加している。この時点の強度増加傾向は、上層部が良く、下層部が遅れがちである。しかし、80日経過時点では、40日時点に比較して全体的にさらに強度増加しており、とくに40日時点で増加程度の少なかった下層部も順調な強度増加を示している。

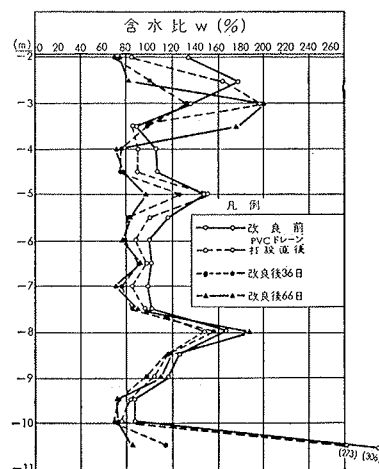


図-7 中性子水分計測定値

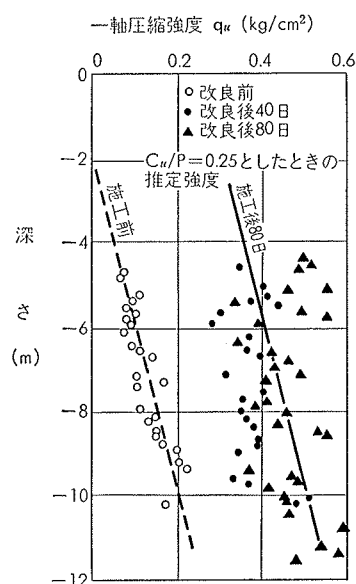


図-8 廃泥の強度変化

計算によると、80日経過時点は圧密度 $U=95\%$ 程度に相当しているが、圧密終了と仮定して80日経過後の強度分布の平均的な値について圧密強度増加率を逆算してみると、 $C_u/P=0.25$ に相当していた。このことから判断すると、廃泥の実際施工における強度増加率は沖積海成粘性土の値($C_u/P=0.25\sim 0.27$)に近いようである。

4.1.2. 旧海底シルト層 この層の代表的3点について実施した改良前後の土質試験結果を図-9に示す。ここに、改良後の値は80日経過時点のものである。含水比は当初 $w=48\sim 76\%$ であったものが $w=36\sim 64\%$ へと低減し、湿潤単位体積重量 γ_t 、間隙比 e との増減も明らかで、これら物理性状の変化からも圧密改良効果がうかがわれる。

圧密改良効果の直接的判断資料となる強度変化は、図-9に一軸圧縮強度分布を併示しているように、明らかな強度増加が認められる。しかも、深さ方向に増加しており、通常、強度発現の遅れる傾向のあるシルト層中位部の値を見ても、改良前 $q_u=0.4\text{kg/cm}^2$ が 0.8kg/cm^2 程度に増加している。又、同図中にある圧密降伏応力も $P_y=0.56\text{kg/cm}^2$ から 1.2kg/cm^2 程度へと増加が認められる。これらの強度に関する各値の増加程度は載荷重にほぼ対応したものであり、このことから、旧海底シルト層についてもPVCドレーン工法による圧密促進工法の改良効果が十分あったものと判断することができる。

4.2. 圧密沈下

図-10に表面沈下板、中間沈下計の測定結果を示す。

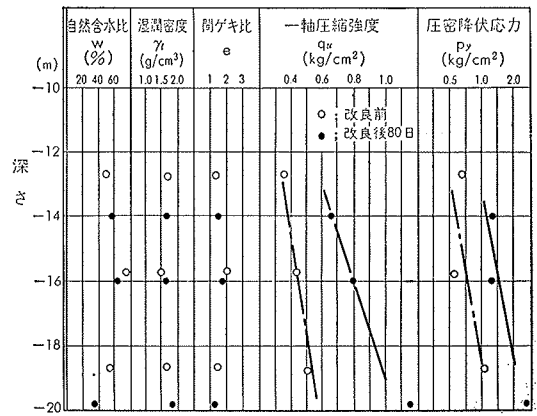


図-9 旧海底シルトの物理・力学性状の変化

当然のことながら、表面沈下板は廃泥と旧海底シルト両層の合計沈下量を、中間沈下計は旧海底シルト層の沈下量のみをあらわしている。併記している推定圧密沈下曲線は、参考までに図-3の $e\text{-log } P$ 曲線と圧密係数から概略算出したものである。

全体の実測沈下曲線を見ると、地盤表層処理層の荷重によってゆっくりと自然圧密しつつあった沈下量がドレーン材の打設によって急激に圧密促進され始め、追加盛土施工時点では沈下量 $S=85\text{cm}$ 、そして追加盛土施工終了80日経過時点では $S=170\text{cm}$ 近くに達している。

図-10の中間沈下計による旧海底シルトのみの実測沈下を見ると、経時変化は全体の実測沈下曲線と同様であるが、絶対沈下量は80日経過時点で $S=90\text{cm}$ に近づき全沈下量2分の1に到達している。このよう

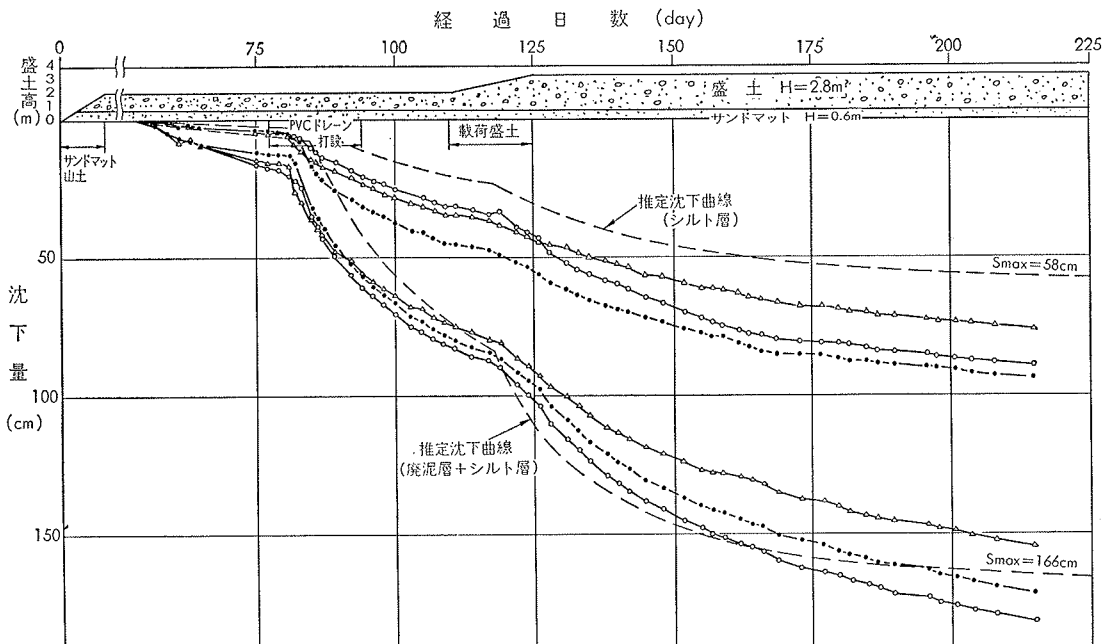


図-10 表面沈下板、中間沈下計測定結果

に旧海底シルトの沈下量が、層厚も圧縮性も大である廃泥の沈下量（全沈下量と旧海底シルト層の沈下量の差）よりも大であるのは過大沈下と思われる。このことは、旧海底シルトの推定沈下量が $S=58\text{cm}$ と廃泥の推定沈下量 $S=108\text{cm}$ の約2分の1強であることから推測できる。

恐らく、中間沈下計による今回の測定値は、中間沈下計の機構上の問題、設置位置がきわめて軟弱であるための設置技術の問題、沈下計ロッド部が圧縮性大な廃泥中にあることなどの原因が重なって旧海底シルト層の圧密沈下以外にロッドの摩擦を媒介とした廃泥の沈下分も加算したのではないかと推測される。

しかし、このような過大沈下分を修正したとしても旧海底シルトの圧密沈下は予想以上に大きかったものと推定され、強度と同様、沈下の面からも旧海底シルトの圧密促進効果はかなり大であったものと推測できる。

4.3 間隙水圧

間隙水圧計は廃泥層2ヶ所（GL-4m, -8m）、旧海底シルト層1ヶ所（GL-15m）に設置した。

これらの間隙水圧経時変化を図-11に示す。

PVCドレーンを打設するまでは緩慢であった間隙水圧は、PVCドレーンを打設した時点で $0.18\sim 0.26\text{ kg/cm}^2$ もの一時的な過剰水圧の上昇が見られた。この一時的に上昇した間隙水圧は5日間程度で急速に消散し、その後は本来の載荷重によって生じている過剰間隙水圧の消散が続いている。層厚1.5mの追加盛土（増加荷重 $\Delta P=0.27\text{ kg/cm}^2$ ）を施工すると、間隙水圧は、再び増加荷重の75~80%に相当する過剰水圧を加算した後、その後は順調に消散しながら、80日経過時点には、地盤表層処理表面を地下水面としたほぼ静水圧に近い値まで低減して、圧密が十分進行したことを示している。

圧密放置期間中の一時期（165日~190日）において間隙水圧の消散が一時的に停止あるいはゆるやかになっているが、この傾向は沈下測定結果にも現れており、排水不良による水位上昇の影響ではないかと思われる。

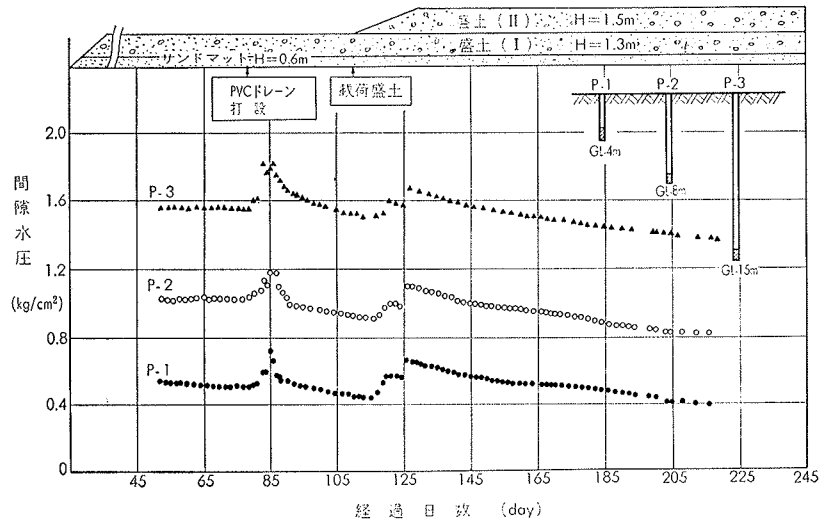


図-11 間隙水圧測定結果

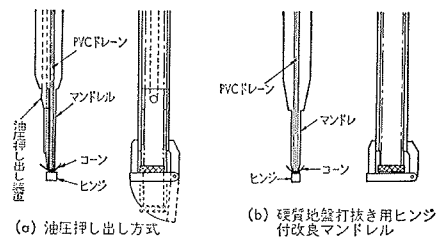


図-12 PVCドレーン工法改良打設装置

5. PVCドレーン打設装置の改良

PVCドレーン打設装置については、初めての長尺打設（実質20m）であるために、各種の改良を加えた新機材を用意してのぞんだが、実際の施工段階ではレキ、岩石を含んだ硬質表層地盤の打抜き困難および装置の損傷、中間砂層の打抜き時の先端コーン損傷による打設不良、超軟弱層でのコーンへの土圧不足による打設不良などが発生した。そこで、図-12に示す改良マンドレルや新しく開発した打設装置を使用して所期の目的を達成した。

6. あとがき

PVCドレーン工法としては初めての工場廃泥の改良、深層軟弱層の改良であったが、種々の有意義な結果を得た。その中でも15m以深の圧密促進工法による改良効果が当初の予想以上であったことは貴重な実績となるであろう。最後に、この工事を遂行された竹岡主任を始め工事関係者の方々に謝意を表す次第である。