軟弱地盤の盛土造成による圧密沈下における PBD 工法の圧密促進効果

株式会社フジタ　建設本部　　ﾌｪﾛｰ会員　○福島伸二
株式会社フジタ　技術センター　正会員　　北島　明・堀田崇由
株式会社フジタ　首都圏土木支店　非会員　　道下朋広・小野健司

§1. まえがき

伊勢原市東部第二土地区区画整理事業は軟弱粘土地盤上の盛土による用地造成であり，伊勢原市下糟屋字蔵の下～字棚田他地区にある県道 22 号横浜伊勢原線の両側にまたがった歌川に沿う細長い敷地に，外部からの搬入土約 57 万 m^3 により盛土厚平均 2m の産業用地約 21.8ha を造成したもので，圧密沈下対策が必要になった。計画地は層厚が最大 10m を超える一部に有機質土層を含む軟弱地盤で，過大な一次圧密沈下と，その後に長期間にわたる二次圧密沈下の発生が想定された。そこで，軟弱地盤の一次圧密沈下対策としてプラスチックボードレーン（PBD）工法[1]，二次圧密沈下対策としてサーチャージ工法[2]を併用することになった。本稿は一次圧密沈下対策として採用した PBD 工法の圧密促進効果を観測された圧密沈下から調査した結果を報告するものである。

§2. 造成計画地の地層構成概要

計画地は東名高速道厚木 IC の南西方向約 4km に位置し，愛甲台地と伊勢原台地に挟まれた相模川低地西側縁辺の歌川沿いに発達した歌川低地の延長約 1300m，幅 50～350m の細長い用地である。付近一帯の台地部は第四紀鮮新世の上総層群を基盤とし，その上に台地面を形成する相模層群 SG が分布し，表層部を新期ローム層 Lm が覆っている。低地部は Lm 層や SG 層の上部が侵食された埋没谷を第四紀完新世の沖積層が埋積している。

沖積層は粘性土層を主体に砂層や砂礫層を所々に挟んでいるが，計画地では主に最大層厚 10m を超える上層に有機質土層 Apt を含む沖積粘土層 Ac が堆積し，表土 B が覆っている。計画地の歌川に沿った長手方向の各層厚は，B 層が一部に盛土を含み 1～5m で変化し平均 2m，Ac 層が上層部に砂層や砂礫層を挟み層厚 2～10m で変化し平均約 8m である。Ac 層は表層に含水比 w_n=300%近い Apt 層も含むものの平均的に w_n=170～200%であった。B 層と Ac 層は長手方向の横断方向への層厚変化は比較的少ない。したがって，B 層と Ac 層の各層厚は計画地内を全体的で見れば変化しているものの，大小 13 街区に区分された各街区内では比較的一様であった。**図 1** は計画地内の軟弱地盤が最も厚い第 1 街区の典型的な土層構成を示し，地下水位が地表面付近にある。

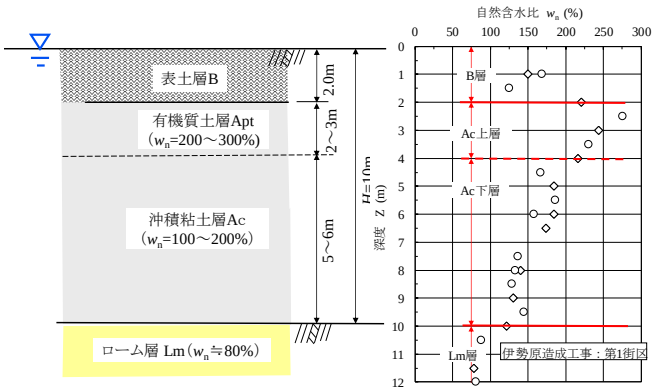

図 1 軟弱層厚が大きい第 1 街区の典型的な土層構成

§3. PBD 工法による一次圧密沈下対策

PBD 工法の効果確認は軟弱粘土層厚が最も厚く沈下収束までの期間が長いと想定された第 1 街区とした。B 層と Ac 層はボーリング調査では区別されていたが，B 層が田圃耕土を含む粘土層で，その下の Ac 層と明確に区別できないので，B 層と Acp 層を含む Ac 層を区別せずに層厚 H=10m の同一層として扱った。盛土は第 1 街区（約 80m×200m）の計画高 3.5m，サーチャージ盛土を Ac 層内の中間位置で過圧密比 OCR≧1.35 となるように一律計画高の 0.5 倍の 1.75m とした。Ac 層の圧密係数は土質試験結果から深さ方向の c_V=0.03～0.10m^2/day の範囲にあり特に層状の相違がみられなかったので，平均 0.065 m^2/day の同一層とした。Ac 層の c_V 値が比較的大きな値にあるが，下面の Lm 層が排水層として期待できないことから一次圧密沈下が U≒93%（T_V=1.0）に至るまでに要する期間が瞬時載荷条件でも $t=H^2/c_V=10^2/0.065$≒1540 日と長期間となり，工期的に問題となった。そこで，一次圧密沈下の促進のために PBD 工法を採用することになった。

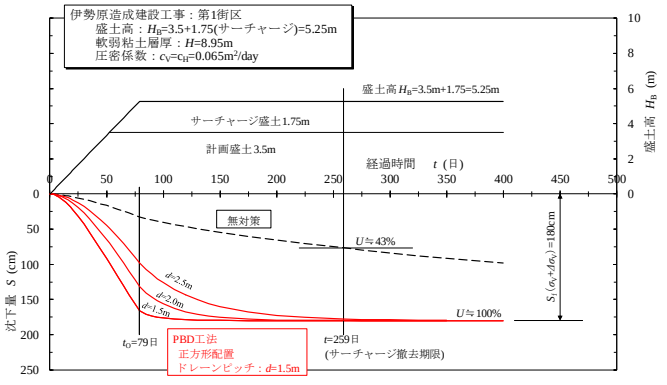

図 2 PBD 工法による一次圧密沈下促進対策

図 2 は**図 1** に示した土層断面を対象に鉛直ドレーンの配置間隔 d を決めるために，正方形配置（有効円直径 d_e=1.128･d）で，PSB の砂杭換算径を d_w=5cm（ドレーン比 n は $n=d_e/d_w$=1.128･(d/d_w)）としてドレーン間隔を d=1.5，2.0，2.5m と変えて沈下促進効果の相違を調べた結果を示す（Ac 層の c_H は c_H= c_V=0.065m^2/day）。盛土速度は 1 日当り盛土層厚 10cm，日曜や祭日，雨天など天候を考慮

キーワード：軟弱地盤　盛土　圧密沈下　PBD 工法　一次圧密
連絡先　〒151⁻⁸⁵⁷⁰　渋谷区千駄ヶ谷 4－25－2　株式会社フジタ 建設本部 土木エンジニアリングセンター　☎ 03－3796－2299

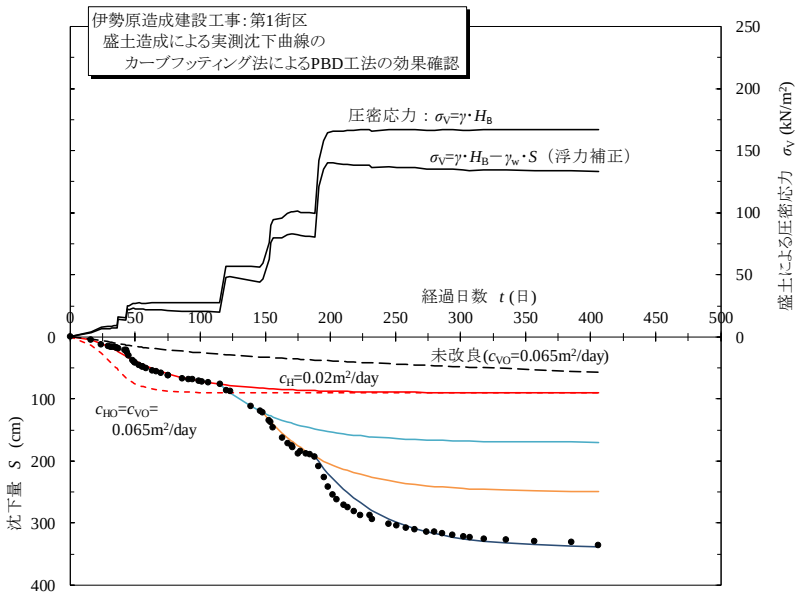

図3 PBD 工法の改良効果確認

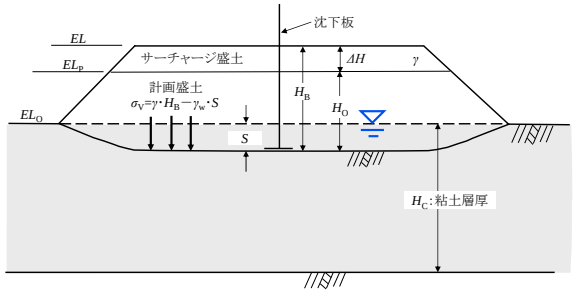

図4 盛土による圧密応力 σ_V（盛土水没による浮力補正）

して 1 カ月の稼働日を 20 日とおいて 10cm×20/30=6.67cm/day を想定した。なお，地下水位は地表面とした盛土の沈下分に作用する浮力の影響は無視した。PBD 工法には，後続する建築物工事において鉛直ドレーンが障害にならないように，土中で 2 年程度のうちに分解される生分解性材料を用いた，すなわち構造体芯材に生分解性プラスチック，フィルター材に生分解性不織布を使用するエコジオドレーン工法を採用した。また，圧密沈下層から排出水を処理するための水平ドレーンはサンドマットの代用に鉛直ドレーンと同じ材質からなる BSB ドレーン（幅 30cm）を使用した。図中の一点破線は，無改良の場合の沈下曲線であり，サーチャージ撤去期限において U≒43%で残留沈下が大きいことがわかる。図から，ドレーン間隔はサーチャージ盛土の撤去期限を盛土造成後半年以内として，この時までにサーチャージ盛土状態での Ac 層の平均圧密度が確実に U=95%以上となるように d=1.5m に決定した。U=50%までに要する日数で 345 日→50 日の約 1/7 に短縮される。Ac 層の高い圧密度を目指したのは，深部においても高い圧密度にして，サーチャージ盛土の撤去によるリバウンドや二次圧密沈下が少ない過圧密状態にするためである。

§4. 実測沈下による PBD 工法の圧密促進効果

図 3 は計画地内の 1 街区の Ac 層厚 H=8.95m からなる地盤に盛土した時に，圧密応力 σ_V（=$\gamma\cdot H_B$，ここで γ は盛土の単体密度，H_B は盛土厚）と原地盤の盛土前の地表面に設置した沈下板により測定した圧密沈下 S（●印）の経過時間 t に対する関係をそれぞれ示す。地下水位が図 4 に示すように地表面にあるとして，水の単体密度を γ_w として水没した盛土に作用する浮力 $\gamma_w\cdot S$ を補正した σ_V（=$\gamma\cdot H_B-\gamma_w\cdot S$）も併せて示してある。盛土が計画高を大きく超えることになったのは，盛土材の外部からの搬入時期が計画よりも集中し，サーチャージ盛土分の撤去が遅れ，圧密が進行してしまったため，Ac 層を過圧密状態にするために盛土をさらに継続せざるを得なかったためである。図 3 から，盛土は σ_V の増加状況から 4 段階で行われ，これに応じて S の経時変化も段階的に生じていることがわかる。また，第 1 段階目の盛土を比較的ゆっくり盛り立てたのは，軟弱地盤の破壊が生じないようにするためである。

PBD 工法の効果を調べるために，実測された各盛土段階における S～t 関係を水平方向圧密係数 c_H（= $T_H\cdot d_e/t$）と最終沈下量 S_f を試行錯誤的に変化させて理論曲線 $S=S_f\cdot U$～t 関係

$U=1-\exp\{-8\cdot T_H/F(n)\}$，$F(n)=n^2\cdot\ln(n)/(n^2-1)-(3\cdot n^2-1)/(4\cdot n^2)$

をカーブフィッティングし，現場での圧密速度 c_H を逆算して求めた [3]。載荷条件は第 1 段階目を漸増載荷とし，それ以降の盛土段階を瞬時載荷とした。2 段階目以降の各 S～t 関係はそれぞれの前の段階の S～t 関係と重ね合わせたものである。図中の各段階の実測した S～t 関係は室内試験による値 $c_V=c_H$=0.065m²/day より実効値として c_H=0.020m²/day の方がうまくカーブフィッティングできた。すなわち，第 1 段階の S～t 関係は c_V=0.065m²/day としてカーブフィッティングすると，実測値より沈下が速く進行することがわかる。これは，Ac 層の c_V 値が試験値より小さいことに相当し，ドレーン打設時の周辺土層の撹乱による透水性低下が関係しているかもしれない。なお，図中の長い一点破線は未改良とした場合の第 1 段階盛土の c_H=0.065m²/day に対応する S～t 関係を示しているが，実測値の方が U=50%までの日数で約 4.6 倍速く圧密が進行しており，これが PBD 工法の圧密促進効果であるといえよう。

§5 あとがき

本稿で対象とした PBD 工法は，無改良地盤との直接的な比較ではないが，実測された S～t 関係が試験で得られた c_V 値により推定された S～t 関係より早期に沈下が進行していることから，例えば第 1 段階盛土において U=50 %までの圧密速度で，期待した 1/7 ほどの短縮ではないにしても，約 1/4.6 短縮の圧密促進効果があったと結論できる。PBD 工法による圧密促進効果が得られたのは，載荷条件が軟弱地盤厚約 9m に対して載荷面積が約 80m×200m と広く一次元圧密状態が達成されていたためと思われる。

【参考文献】1) 嘉門雅史，三浦哲彦監修：プラスチックボードドレーン工法その理論と実際，鹿島出版界，2009. 2) 網干寿夫，松田博：層別計測による事前圧密工法の基礎的研究，土木学会論文報告集，No.340, pp.139-144, 1983. 3) 吉国 洋：バーチカルドレーン工法の設計と施工管理，技報堂出版，p.149, 1979.