

新海面処分場の延命化対策 —真空圧密工法による減容化効果—

直井恒雄¹・渡部要一²・新舎 博³・日高征俊⁴・白神新一郎⁵

¹東京都港湾局東京港建設事務所 (〒163-8001 新宿区西新宿2-8-1)
E-mail: Tsuneo_Naoi@member.metro.tokyo.jp

²正会員 (独)港湾空港技術研究所 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)
E-mail: watabe@ipc.pari.go.jp

³正会員 五洋建設(株)技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)
E-mail: Hiroshi.Shinsha@mail.penta-ocean.co.jp

⁴五洋建設(株)東京土木支店 (〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)
E-mail: Masatoshi.Hidaka@mail.penta-ocean.co.jp

⁵正会員 錦城護謨(株) (〒581-0068 大阪府八尾市跡部北の町1-4-25)
E-mail: shinichirou.shiraga@kinjogomu.jp

東京都の新海面処分場Cブロックにおいて、真空圧密を利用した粘性土層の減容化事業を実施した。対象となる粘性土層は、均質な在来粘土層とその上に処分した砂分を多く含む浚渫土層である。本減容化事業では事前予測沈下量の90%以上の沈下量为目标として工事を実施しているが、浚渫土層の中に存在する中間砂層の堆積分布を正確に把握し、沈下量の評価に反映する必要があった。そこで、本文ではドレーン打設時のマンドレル貫入抵抗値から中間砂層の堆積分布を詳細に把握した。また、減容化のための圧密挙動に関しては、中間砂層を排水層とみなした圧密理論と実際の沈下挙動を比較し、予測沈下計算方法が十分に適用できることを明らかにした。

Key Words: life-prolongation, disposal facility, vacuum consolidation, settlement, capped prefabricated drain

1. はじめに

わが国では浚渫土の処分場が不足しており、現存の処分場の延命化対策が多く、多くの場所で模索されている。東京都の新海面処分場では、粘性土地盤に真空圧密工法を適用して沈下させることにより、処分場の延命化を図っている。

新海面処分場は東京都内で整備できる最後の最終処分場であり、東京23区から発生する廃棄物や浚渫土・建設発生土などを埋立処分している。また、この限られた容積の処分場を延命化するために、写真-1に示すCブロックにおいて、真空圧密を利用した粘性土の減容化事業が実施されている。真空圧密工法は1940年代にKjellman¹⁾により提案され、近年実用化された工法であり、粘性土に負圧を作用させて圧密改良するものである。新海面処分場で適用された真空圧密工法は、図-1に示すように、排水ホースを連結したプラスチックボードドレーン材 (PBD) を粘性土層内に打設し、真空ポンプを稼働して排水ホースおよびドレーン材を通じて粘性土に負圧を作用させ、圧密沈下を生じさせるものである²⁾。ドレーンの打設に関しては、写真-2に示す専用のドレーン打設船「VCD-Triton」(幅24m×長さ60m、喫水1.5m、打設可能深度：水面下43m)を用いて、幅150mm×厚さ3.9mmのPBDを1.8mの正方形配置で

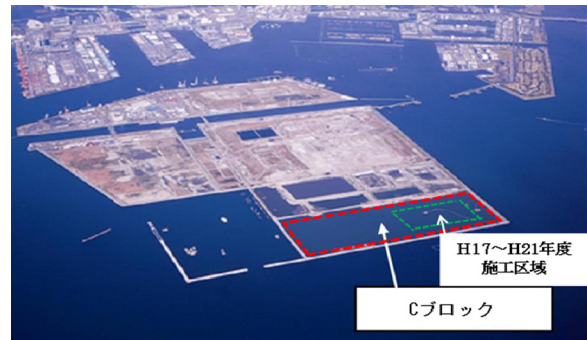


写真-1 施工位置図

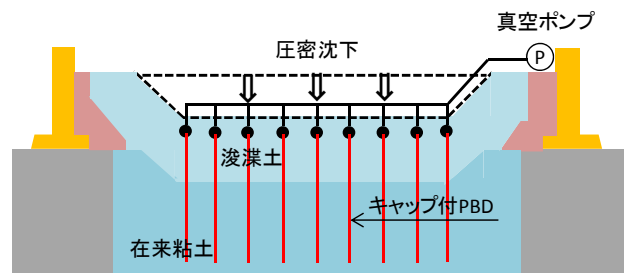


図-1 真空圧密による粘土地盤の減容化施工



写真-2 ドレーン打設船「VCD-Triton」

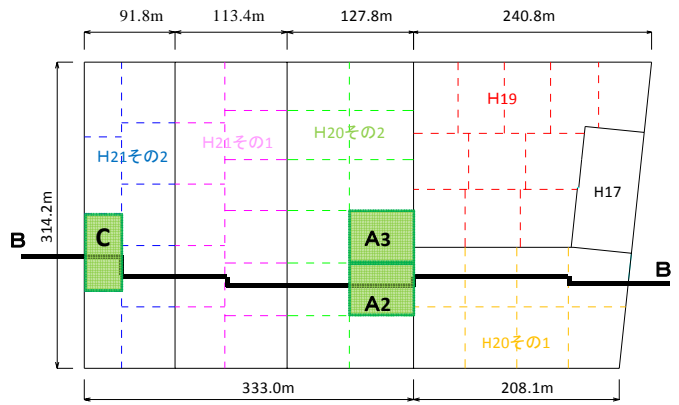


図-2 平成17～平成21年度の改良区画

地盤内に打設した³⁾。

本事業は、図-2に示すように、平成17年度の試験施工から始まり、平成19年度～平成21年度までに44区画の施工を終了し、引き続き平成22年度以降の工事を実施中である。ここで、1区画は真空ポンプ1台当たりの改良区域を示し、その面積は約3000m² (約50m×60m) である。

本工事の特徴は、図-3に示すように、砂分を多く含む河川浚渫土を処分場の護岸外側から土砂送泥船(浚渫土に加水)を用いて処分場内に管路輸送し、処分地内では浚渫土のまき出し船を随時移動させながら浚渫土をほぼ均一な厚さで堆積させたことが挙げられる。この影響により、浚渫土層の中には中間砂層が広範囲に存在している。したがって、中間砂層の影響を考慮した沈下量の評価を行う必要がある。もうひとつの特徴は、沈下の管理方法として、実測沈下量と予測沈下量を比較し、平均圧密度90%以上の沈下量を目標として負圧停止時期を決定していることである。

平成17年度の試験施工および平成19年度の最初の工事については、工事結果を既に報告しているので文献^{4),5)}を参照されたい。本文は、平成20年度以後の工事における沈下量の管理方法、沈下量に大きな影響を及ぼす中間砂層の分布、沈下測定事例、および粘性土の減容化効果について述べる。

2. 沈下量の管理フロー

沈下量の管理に関する流れを図-4に示す。沈下量の管理は次のように実施している。

最初に、各区画の中央部において、三成分コーン貫入試験とRIコーン貫入試験⁶⁾を実施し、この調査結果を基に砂層と粘土層を区分する。この区分は、三成分コーン貫入試験から得られた先端抵抗、周面摩擦、間隙水圧の結果とRIコーン貫入試験から得られた湿潤密度(飽和度を100%として間隙比 e_0 を算定)の結果を考慮して決定しているが、最近では実

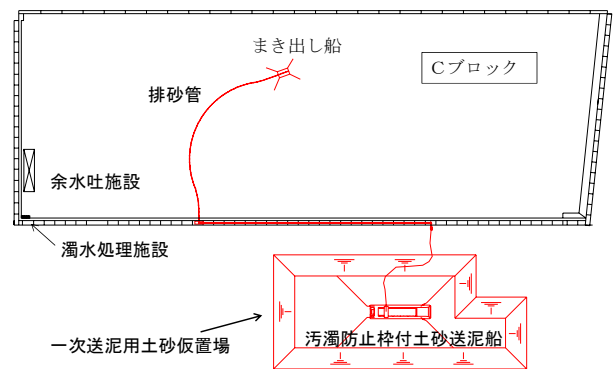


図-3 浚渫土に投入方法

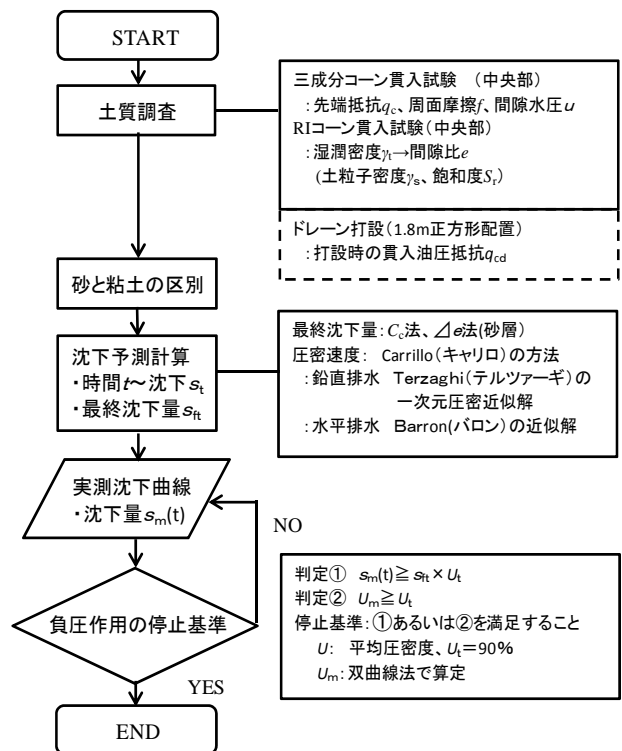


図-4 沈下量の管理フロー

測沈下曲線と理論とのフィッティング結果などを考慮して、 $e_0 < 1.6$ を砂層とみなすことが多い。次に、得られた間隙比 e_0 分布を用いて予測沈下計算を実施し、最終沈下量と時間～沈下曲線を求める。その方法では、沈下量が C_c 法、沈下速度がTerzaghiの一次元圧密（中間砂層による鉛直方向の排水効果）とBarronのドレーンによる二次元圧密（水平方向の排水効果）をともに考慮できる(1)式のCarrilloの方法⁷⁾を用いている。

$$U(t) = 1 - \{1 - U_v(t)\} \{1 - U_r(t)\} \text{-----}(1)$$

ここに、 $U(t)$ ：全体の平均圧密度、 $U_v(t)$ ：鉛直方向の平均圧密度、および $U_r(t)$ ：水平方向の平均圧密度である。また、予測沈下量の算定には平成17年度の試験施工の際に得られた圧密特性（圧縮指数 C_c 、圧密降伏応力 p_c 、圧密係数 c_v ）を採用している⁴⁾。

実測沈下量が得られると、①実測沈下量の最新データが圧密理論で求めた予測最終沈下量の90%以上か、あるいは②双曲線法近似で求めた実測沈下量の平均圧密度が予測最終沈下量の90%以上か、などを判断基準として負圧の停止時期を決定する。設計での負圧の作用期間は310日間である。このような沈下量の管理を実施することにより、各区画において、事前に予測した沈下量に相当する実測沈下量を得ることができる。

3. 中間砂層の堆積分布

沈下量の管理には、先に述べたように、予測沈下量を事前に算定する必要があるが、予測沈下量は中間砂層の厚さによって大きく変動すると考えられる。

中間砂層の分布を詳細に、かつ広範囲に調べる目的で、ドレーン打設時の貫入抵抗値（油圧）に着目した。ドレーンは1.8m間隔の正方形配置で打設しているため、非常に密な地盤情報が得られていることになる。ドレーン打設時のマンダレル貫入力 P は、図-5と(2)式に示すように、マンダレルの先端抵抗力 P_t 、周面摩擦力 P_f 、間隙水圧による揚圧力 U と負のマンダレル自重 W の和になる。また、貫入抵抗 P_M は(3)式で示すように、貫入力 P をマンダレルの断面積 A で除したものであり、マンダレル貫入時の油圧抵抗に等しい。

$$P = P_t + P_f + U - W \text{-----}(2)$$

$$P_M = P/A \text{-----}(3)$$

図-6は、マンダレル貫入抵抗 P_M の測定結果の例を同一地点で実施した三成分コーン貫入試験の先端抵抗 q_t とともに示している。図-6に基づけば、 P_M は q_t が大きい所、すなわち中間砂層とみなせる深度で大きくなっており、 P_M の結果から中間砂層を判定することが可能であると考えられる。

砂層と粘土層の区別は、図-7のフロー図に示すよ

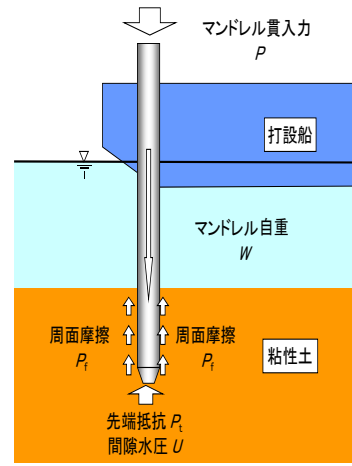


図-5 マンダレル貫入時の力の釣り合い

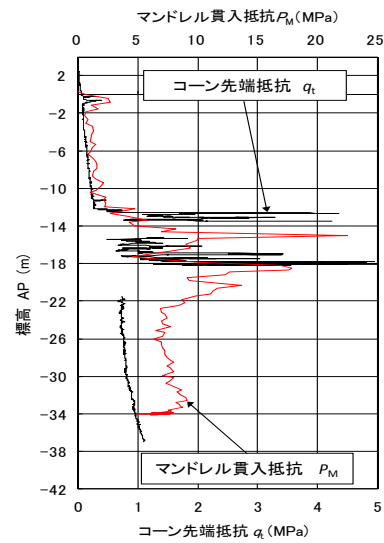


図-6 P_M の測定例 (A-2地点)

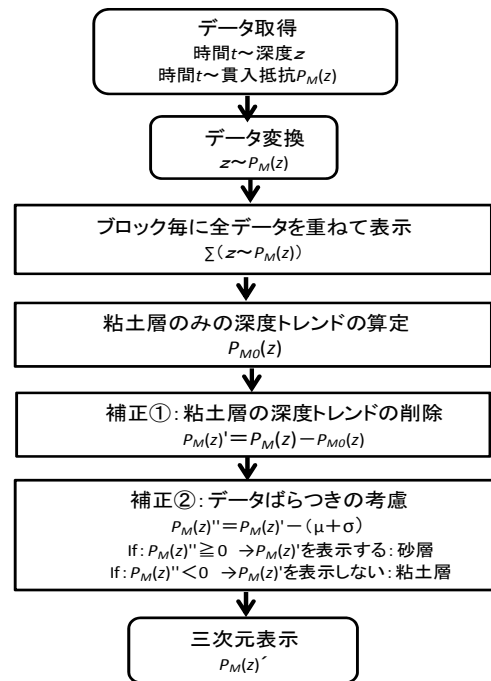


図-7 砂層の判定フロー

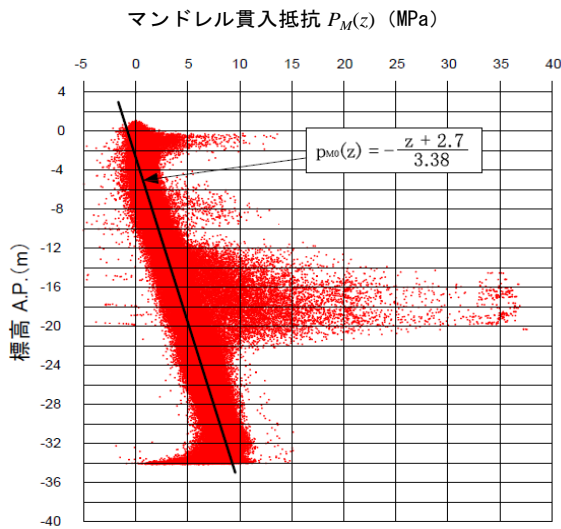


図-8 トレンド成分の近似

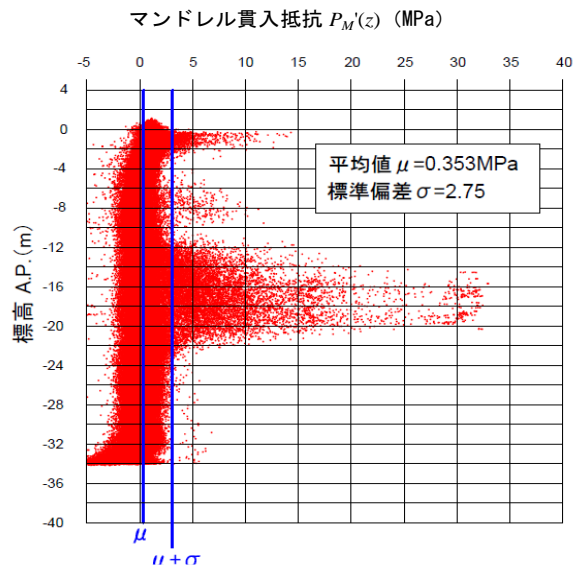


図-9 砂層データの判断

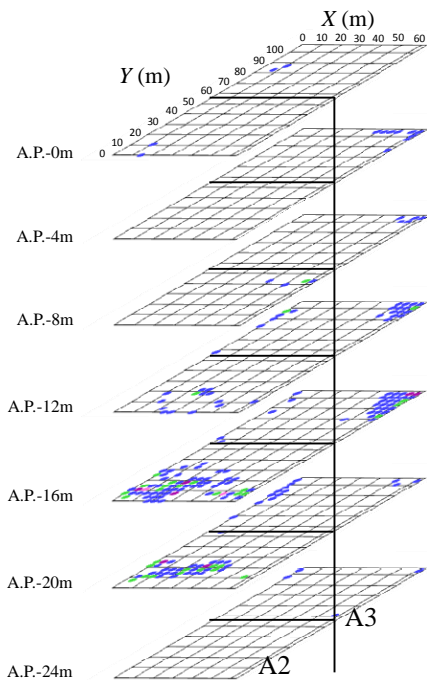


図-10 中間砂層の分布 (A2~A3ブロック)

うに、ドレーン打設時の貫入抵抗値から粘土層のみの場合の貫入抵抗値 $P_{M0}(z) + P_M'(z)$ の平均値 μ および標準偏差 σ を差し引き、その結果が正の深度に砂層が存在すると判断した。なお、平均値 μ と標準偏差 σ を差し引いたのは、データのばらつきを考慮するためである。

図-8と図-9は、図-2内のA2とA3区域について、全2160本のマンデルル貫入抵抗のデータを対象として中間砂層の深度を調べた結果である。図-9に基づけば、マクロ的にはA.P. $\pm 0 \sim -2$ m, -8 m付近、および、 $-12 \sim -21$ m付近に砂層が存在していると考えられる。平面的な砂層の堆積場所に関しては個別のデータから調査地点ごとにその場所を判断する必要がある。

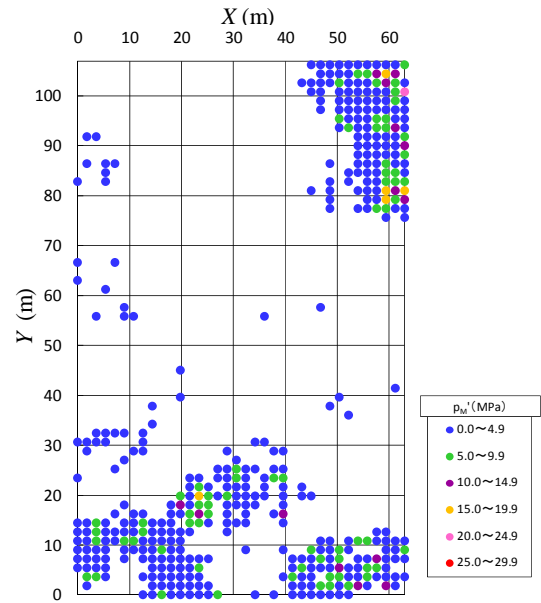


図-11 A.P.-16mの砂層断面図

図-10は中間砂層の三次元堆積状況を示したものである。この図によると、中間砂層は極めて局所的に堆積していることが分かる。また、図-11は-16.0 mの深度における砂層の分布を示している。砂層は $X=0 \sim 30$ mで $Y=0 \sim 20$ m, $X=50 \sim 60$ mで $Y=0 \sim 10$ m, および $X=50 \sim 60$ mで $Y=80 \sim 100$ mの区域に確認することができる。なお、図内に表示した値は図-9内の P_M' である。

図-12は、図-2に示すB-B断面において、上記の方法で求めた中間砂層の分布を示している。図内に表示しているデータ数はドレーン306本分である。図-12によると、中間砂層は水平方向には連続して形成されておらず局所的に厚く堆積しており、砂層が確認されない場所もある。また、砂層が厚い場所では、中間砂層厚は15m程度にも及ぶことがわかる。

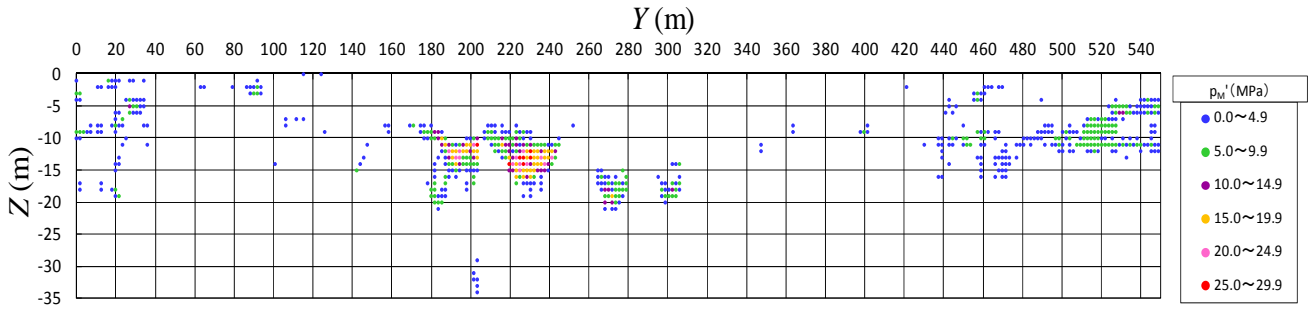


図-12 B-B断面における中間砂層の堆積分布

この理由は、先にも述べたように、砂分を多く含む浚渫土を、まき出し船を適宜移動させながら投入したことによる影響であると考えられる。

4. 沈下事例

沈下事例を一つ紹介する。図-13および図-14は、図-2のCブロック中央部における土質構成と沈下曲線をそれぞれ示している。Cブロックの土質構成は、下部砂層の上に均一な在来粘土層（有楽町層）があり、その上部に浚渫土層が存在している。中間砂層は浚渫土層内に2か所あり、その層厚は4.5mと6.0mで、合計層厚は10.5mである。この地盤内にPBDを打設し、 -65kN/m^2 の負圧を継続して作用させた。

図-14内の実測沈下曲線を見ると、ドレーンの打設により、負圧作用の開始までに約2.0mの沈下が生じている。この沈下は主に在来粘土層が浚渫土層の自重によって圧密沈下したものであり、この中の初期の0.5mの沈下は、ドレーンの打設が遠方から当区画の中央部付近（沈下板設置位置）に来るまでの間に生じた沈下である。負圧を作用させると、在来粘土層は浚渫土層の自重と負圧、および浚渫土層内の粘土層は負圧（初期は自重圧密終了状態と想定）により圧密沈下し、中間砂層は負圧による圧縮沈下が生じる。負圧を310日間作用させた時の沈下量は5.0mであり、双曲線法で求めた平均圧密度は90.0%である。

また、実測沈下曲線を青実線で図-14内に示した。予測沈下曲線（赤破線）と比較すると、両者はよく一致していると考えられる。

5. 44区画における粘性土の減容化効果

図-15は、平成17～21年度に実施した44区画において、負圧停止時の沈下量 S と中間砂層の合計厚さ H_s との関係を示したものである。この図によると、 S と H_s の間には負の相関があり、 H_s が増加すると、 S は減少する。平均沈下量は4.5m（最大沈下量は7.5m）、標準偏差は1.13mおよび変動係数は0.25である。データがややばらついている要因として、図-15の H_s （改良ブロック中央での測定値）が改良区画内の平均値でない可能性がある。

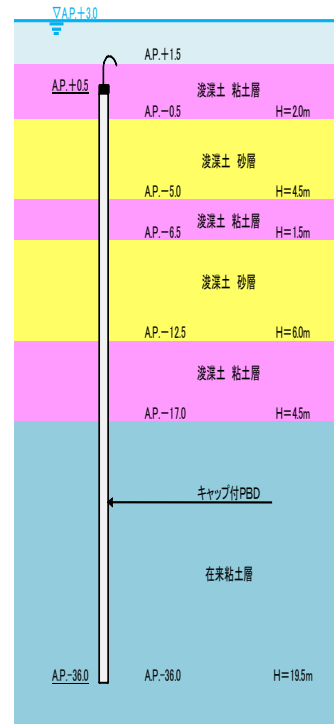


図-13 土質構成（Cブロック中央部）

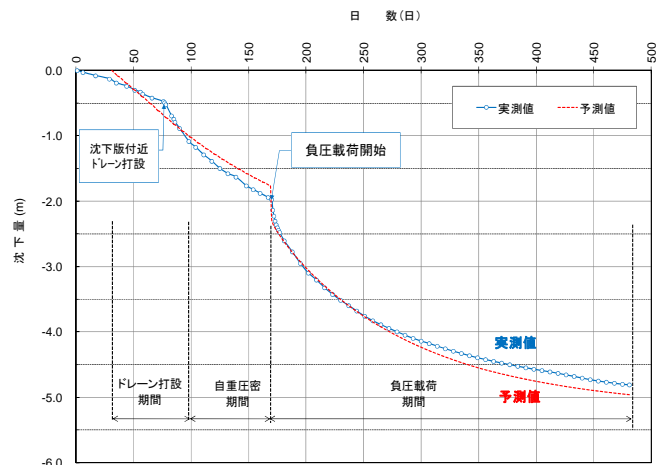


図-14 地表面沈下曲線（Cブロック中央部）

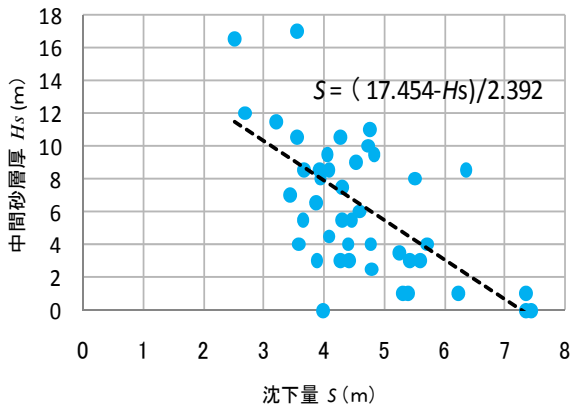


図-15 中間砂層厚と負圧停止時の沈下量との関係

6. 結論

本文では、東京都の新海面処分場で実施されている粘性土層の減容化事業について記述した。本事業は平成17年度から現在まで継続して実施されており、これまでも施工結果をいくつか報告^{4),5)}している。本文は平成17年度～平成21年度までの工事について、真空圧密による粘性土の減容化効果を取りまとめたものである。主な結果は次のようである。

- (1) 中間砂層の堆積状況をPBD打設時の貫入抵抗値から求める方法を当現場で適用した結果、中間砂層は水平方向には連続して形成されておらず、局部的に厚く堆積していることが判明した。
- (2) 中間砂層の厚さと真空圧密による沈下量（減容化量）との間には反比例の関係がある。
- (3) 平成17年度～平成21年度までに実施した44区画（1区画の面積は約3000m²）の真空圧密工事に

において得られた平均沈下量は4.5m（最大沈下量は7.5m，標準偏差は1.13m）である。

- (4) 負圧の停止時期は、実測沈下量の最新データが圧密理論で求めた予測最終沈下量の90%以上か、あるいは双曲線法近似で求めた実測沈下量の平均圧密度が予測最終沈下量の90%以上か、などを判断基準として負圧の停止時期を決定したが、このような沈下量の管理を実施することにより、事前に予測した沈下量に相当する実測沈下量を得ることができると考えられる。

参考文献

- 1) Kjellman, W.: Accelerating consolidation of fine grain soils by means of cardboard wicks, Proc. 2nd ICSMFE, pp.302～305, 1948
- 2) 真空圧密ドレーン工法技術資料：真空圧密ドレーン工法研究会，平成23年5月
- 3) 角 俊行・大久保泰宏・中川大輔・多賀正記：新海面処分場における真空圧密ドレーン工法の選定と施工方法，44回地盤工学研究発表会，pp.833～834，2009
- 4) 手塚博治・竹谷健一・新舎 博・山下 徹：新海面処分場の延命化対策-真空圧密による軟弱地盤の減容化-，地盤工学会誌，Vol.56, No.9, pp.14～17, 2008
- 5) 鈴木和実・新舎 博・山下 徹・椎名貴彦：真空圧密による新海面処分場の減容化対策，第54回地盤工学シンポジウム，pp.551～556，2009
- 6) 和田光邦・新舎 博・池野勝哉・吉村 貢：RI コーンによる真空圧密改良地盤の状態測定，第43回地盤工学研究発表会，pp.149～150，2008
- 7) 吉国 洋：バーチカルドレーン工法的设计と施工管理，技報堂出版，pp.37～40,1979

LIFE-PROLONGATION FOR THE NEW WASTE DISPOSAL FACILITIES USING THE VACUUM CONSOLIDATION METHOD

Tsuneo NAOI, Yoichi WATABE, Hiroshi SHINSHA, Masatoshi HIDATA and Shinichirou SHIRAGA

The new waste disposal site is the last place left in Tokyo bay which can dispose of municipal/industrial wastes, construction waste soil, dredged soil and so on carried from the Tokyo's 23 wards. Therefore, a life-prolongation project for utilizing this area for a long period is on going from 2005 to the present. Its purpose is to increase a capacity of the disposal area by reducing the volume of disposed dredged soil by using the vacuum consolidation method. In this project, there were two geo-technical features. One was a necessity to evaluate the settlement considering the influence of the intermediate sand layers widely existing in a clayey layer. The other was a necessity to determine the vacuum consolidation period with ensuring the average consolidation degree of over 80% based on a comparison of the actual settlement with the predicted one. This paper describes about management methods of consolidation settlement, an intermediate sand layers distribution, the settlement properties and the volume reduction effect of clayey soil by using the vacuum consolidation method.