

トレンチャー式機械攪拌による矩形改良体の施工と

複合改良地盤を対象とした試験盛土

杉本 悠¹・○松井秀岳²・堀越研一²・上野恭宏¹・池尻一仁¹

1. まえがき

近年、わが国のインフラ整備においては、これまで未利用であった湿地帯などの非常に軟弱な地盤に、大規模な盛土造成等の計画をする事例が増えており、信頼性が高くかつ経済的な軟弱地盤対策工が求められている。

筆者らは、軟弱地盤における廃棄物埋立処分地整備工事において、圧密沈下による遮水シートの損傷を防ぐことを目的として表層改良併用型の低改良率（16.7%）かつこれまでに事例のない矩形・千鳥配置の杭式の地盤改良を適用した。

このような形式の地盤改良の杭と杭間の未処理地盤の荷重分担の方法には、盛土のアーチ効果を考慮して塑性角と呼ばれるパラメータにより荷重分担を決める方法（低改良率セメントコラム工法）や杭と杭間の無処理地盤の面積や剛性比によって荷重分担を決める方法（建築基礎のための地盤改良設計指針案）などがあるが、経験的に応力分担比（杭と杭間の無処理地盤の分担する応力度の比率）を10～20として設計されることが多く、設計の更なる合理化が求められている。

本工事においては、前述のアーチ効果を見込む方法により荷重分担を決定し、改良率、改良体の仕様を決定した。スラリー噴射型のトレンチャー式機械

攪拌工法で造成した1m×2mの矩形杭を3m×4mピッチで千鳥状に配置し、表層改良はスタビライザ工法で施工を行った。

本稿では、杭と杭間の未処理地盤の荷重分担を明らかにするための基礎的データの収集や圧密沈下の抑制効果の確認などを主な目的として、本設の地盤改良を対象として実施した実物大の試験盛土について報告する。

2. 工事概要

本工事は、新潟市西区の赤塚において、隣接する第1, 2, 3赤塚埋立処分地に続く第4の最終処分場を建設するものである。

本処分場は、埋立容量が492,000 m³、埋立面積が99,600 m²のオープン型（屋根なし）の処分場である。平地に建設される処分場としては国内最大規模であり、2007年（平成19年）に政令指定都市となった新潟市の約15年分の廃棄物を受け入れる計画である。

3. 土質概要

標準的な土層断面図を図-2に示す。

建設地は平坦な水田地帯でN値0～6の軟弱粘性土層（Ac1層、Ac2層）が最大で約15mの厚さで分布している。地下水位は地表面付近に分布している。

キーワード：地盤改良，試験盛土，遮水シート，処分場，低改良率

¹正会員 大成建設株式会社 土木本部土木設計部（〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1）

²正会員 大成建設株式会社 技術センター（〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬 344-1）



図-1 処分場完成時イメージ

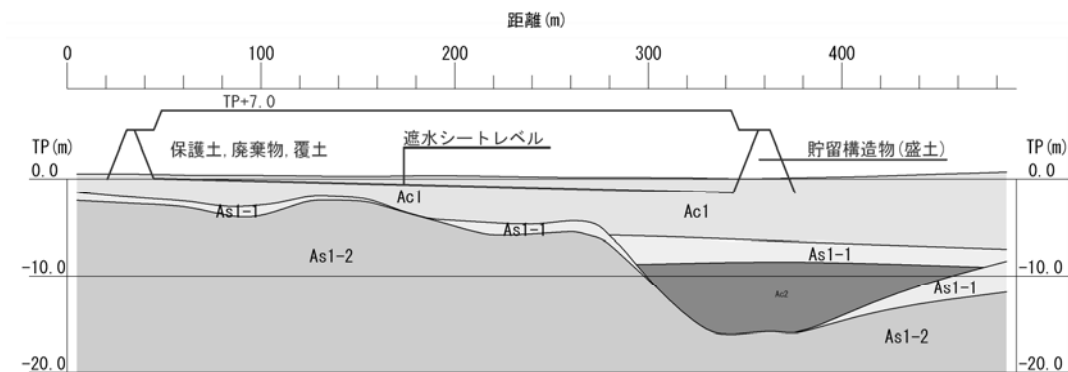


図-2 標準土層断面図

4. 地盤改良概要

軟弱地盤の沈下による遮水シートの損傷を防止することを目的として、地盤の許容沈下量（保証値）を 15cm と設定した。この許容沈下量を満足させる工法として、真空圧密＋サーチャージ工法との比較検討をした結果、主に工期的に優位性のあった表層改良併用型の低改良率杭式地盤改良を採用した。

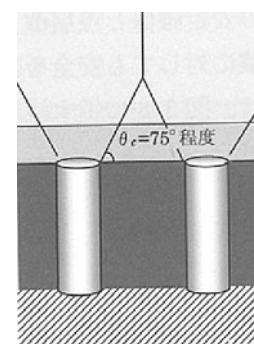
設計は「ALiCC 工法マニュアル」¹⁾を参照して行った。本マニュアルでは、図-3 に示すように、杭と杭間の無処理地盤の荷重分担を盛土材（廃棄物）のアーチ効果を考慮して塑性角により決定するとされており、今回の設計では表層改良併用型かつ着底型の場合の塑性角 75° を適用した。この時、杭間の無処理地盤が分担する荷重は約 30kN/m^2 と計算される。

地盤改良の仕様を表-1 に示す。地盤改良の標準平面・断面を図-4 に示す。

杭体の平面形状はトレンチャー式機械攪拌工法による施工を前提として $1\text{m} \times 2\text{m}$ の矩形形状とした。

杭長は Ac 層の厚さに応じて $0.5 \sim 9.5\text{m}$ とし、N 値 20 以上の支持砂層 As1-2 層に着底させた。改良地盤

には、合計 $6.9 \sim 8.4\text{m}$ の遮水シート保護土、廃棄物、覆土などによる鉛直土圧（最大で 93kN/m^2 ）が作用する。



着底型

図-3 杭と杭間の無処理地盤の荷重分担¹⁾

表-1 地盤改良仕様

工種	寸法	q_{uck} (kN/m^2)	改良率 (%)
表層改良	$t=0.8\text{m}$	750	100
杭式改良	$\square 1\text{m} \times 2\text{m}$	750	16.7

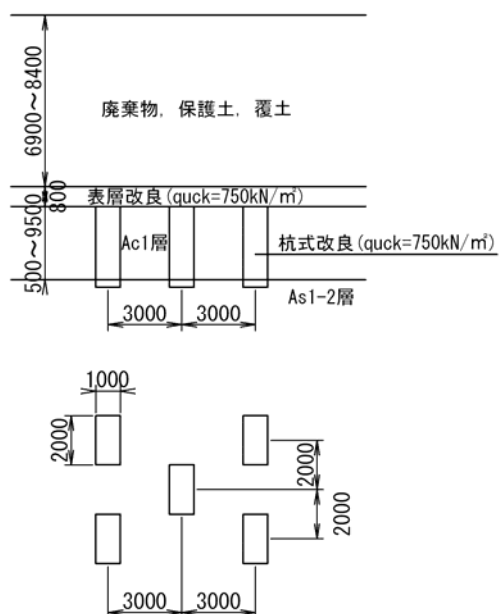


図-4 地盤改良標準平面・断面

写真-1 に杭式改良の施工状況を示す。改良はスラリー噴射方式のトレンチャー式機械攪拌工法により行った。

写真-2 に表層改良の施工状況を示す。改良はスタビライザ工法により行った。



写真-1 杭式改良施工状況



写真-2 表層改良施工状況

5. 地盤改良の試験盛土

図-5 に試験盛土の範囲を、図-6、図-7 に計測計器設置位置（平面および断面）を示す。

試験盛土では購入砂を約 5m 盛土することにより廃棄物埋立後の設計荷重に相当する荷重を載荷した。

盛土高の経時変化を図-8 に示す。60 日程度で盛土を完了させた後、沈下の収束状況を見るために 200 日程度放置した後、130 日程度の期間で盛土を除去して改良地盤のリバウンド状況を確認した。

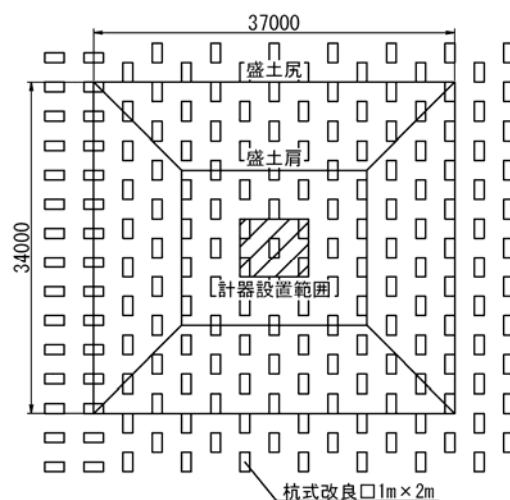


図-5 試験盛土範囲平面図

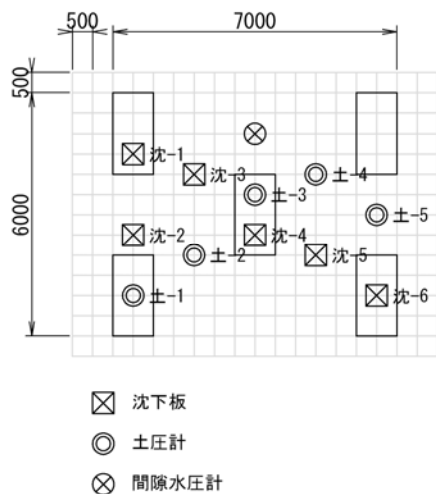


図-6 計測計器設置平面位置図

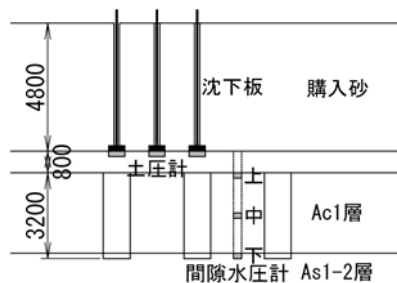


図-7 計測計器設置断面位置図



写真-3 試験盛土状況（盛土完了時点）

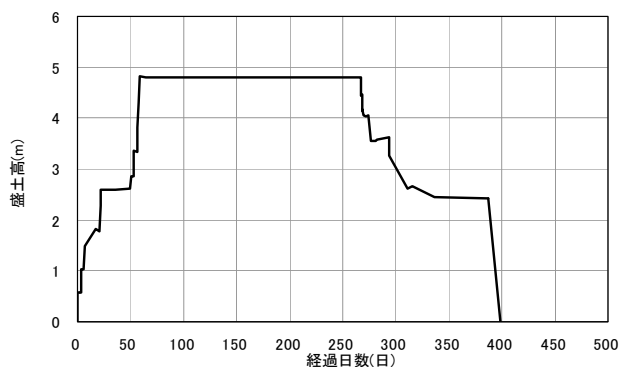


図-8 盛土高の経時変化

図-9 に土圧計計測値の経時変化を示す。また、図-10 に杭上（No.1, 3）と杭間（No.2, 4, 5）の計測値の平均の経時変化を示す。

盛土高さが 2m 程度までは杭上と杭間の土圧は同等であったが、2m を超えたあたりから両者の差が広がり、両者の平均の最大値を比較すると（杭上： 131kN/m^2 ，杭間： 93kN/m^2 ），杭上の土圧が杭間の土圧より約 40%大きくなっている。これは、盛土自体のアーチ効果が発現したためと考えられる。

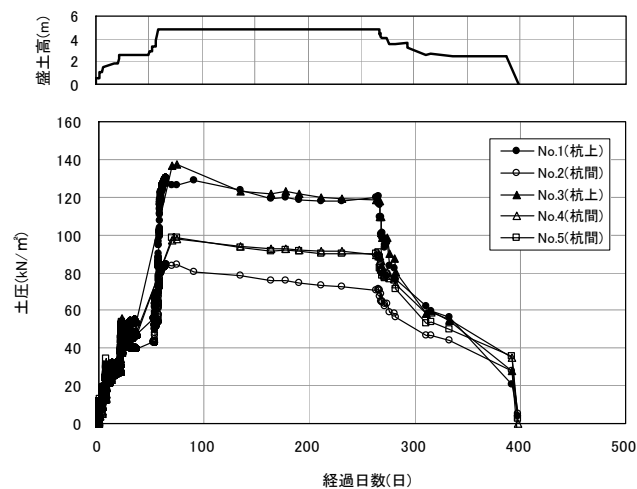


図-9 土圧計計測値の経時変化

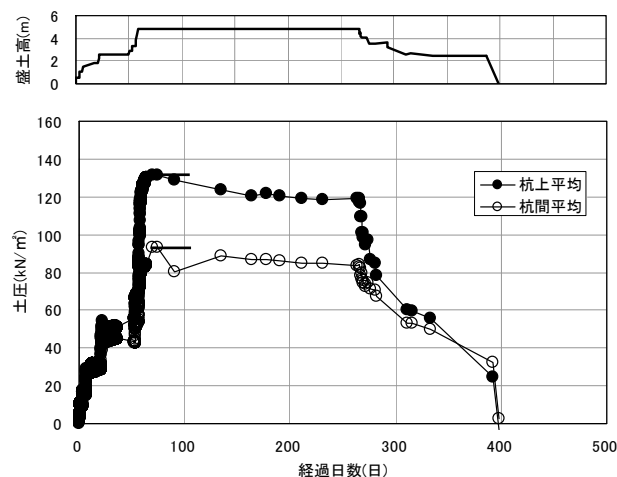


図-10 土圧計計測値の経時変化（杭上・杭間平均）

図-11 に間隙水圧計測値の経時変化を示す。試験盛土箇所の地下水位はほぼ表層改良の上面レベルであり、間隙水圧計の初期値はこの地下水位より計算される静水圧とほぼ等しく、盛土をしても初期値からほとんど変化がなかった。表層改良直下の水圧計-上の間隙水圧が最大で初期値から 3kN/m^2 程度増加しているが、水位の季節変動による可能性もあり、仮に試験盛土による過剰間隙水圧だとしても土圧計による盛土荷重実測値の 2~3%程度にしか相当しない。すなわち、表層改良下面では杭間の無処理地盤はほとんど荷重を分担せず、盛土自体のアーチ効果や表層改良の剛性により杭体が大半の荷重を分担する支持機構になっていると考えられ、塑性角 75° として計算される荷重（約 30kN/m^2 ）を無処理地盤は分担していないことになる。

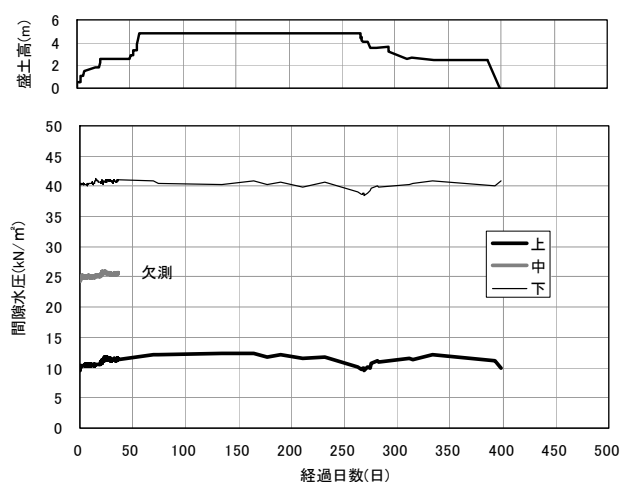


図-11 間隙水圧計測値の経時変化

図-12 に沈下板沈下量の経時変化を示す。また、図-13 に杭上（No.1, 4, 6）と杭間（No.2, 3, 5）の計測値の平均の経時変化を示す。さらに図-14 に沈下板沈下量（平均）と盛土荷重の関係を示す。

盛土の進行とともに沈下量が増大し、盛土完了時点（60 日）の沈下量は杭上、杭間ともに 17mm 程度であった。その後、除荷を始める 260 日までに 5mm 程度の経時変化が確認された。これは、前述の通り表層改良下面で盛土荷重に相当する過剰間隙水圧が発生していないことから、杭間の無処理地盤の圧密現象ではなく、杭と杭間の無処理地盤の下部の支持砂層の圧密沈下と考えられる。すなわち、杭に伝達された荷重は杭の周面摩擦により杭間の無処理地盤

へ分担され、杭と杭間の無処理地盤が一体として複合地盤のような挙動を示している。

その後、盛土を除去したことにより沈下の大半はリバウンドし、最大で 10mm の沈下が残留する結果となった。これは、前述の圧密沈下が残留したものと考えられる。

無処理の場合に想定される沈下量が 300mm 程度（e-logp 法による一次元圧密理論により試算）であるのに対し、沈下量の最大値は No.3 において 31mm であり、良好な沈下量の抑制効果が確認できた。

また、杭上および杭間の平均沈下量の最大値はそれぞれ、 25mm 、 26mm であり表層改良には顕著なたわみが生じていないが、前述の通りアーチ効果は発現することが分かった。

除荷後に表層改良を目視観察した結果、亀裂などの損傷は確認されず、表層改良の健全性を確認することができた。

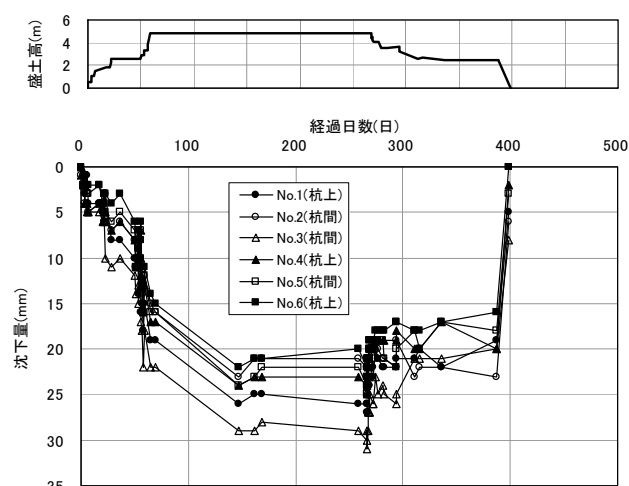


図-12 沈下板沈下量の経時変化

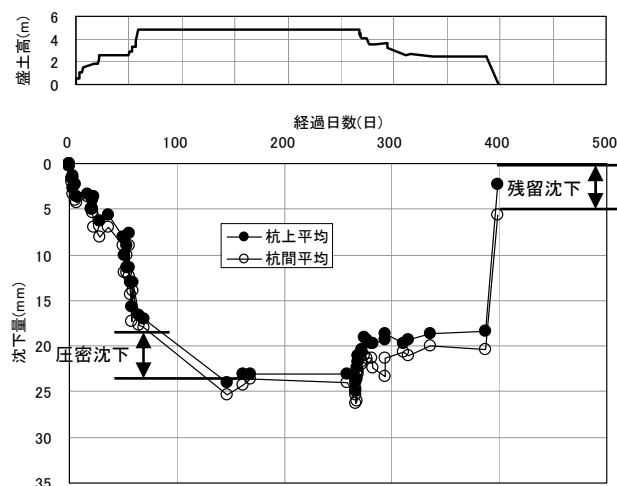


図-13 沈下板沈下量の経時変化（杭上・杭間平均）

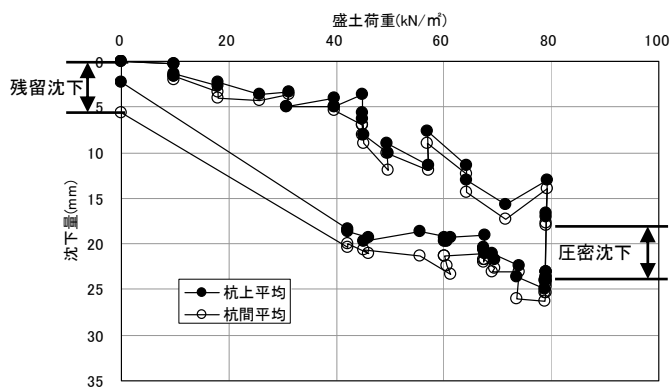


図-14 沈下板沈下量と盛土荷重の関係(杭上・杭間平均)

参考文献

- 1) 土木研究所：地盤改良のための ALiCC 工法マニュアル，2007
- 2) 日本建築学会：建築基礎のための地盤改良設計指針案，2006

6. あとがき

試験盛土により以下のことが明らかになった。

- ① 表層改良併用型の低改良率かつこれまでに事例のない矩形・千鳥配置杭による地盤改良が所定の耐荷能力，沈下量の抑制能力があることが実証された。
- ② 処分場の遮水シートの不等沈下による損傷を防止する工法としての有効性が実証された。
- ③ 比較的安価なトレンチャー式機械攪拌工法を盛土基礎地盤改良杭に用いた場合の有効性が実証された。
- ④ 今回の地盤改良仕様，地盤条件では，表層改良下面において，塑性角 75° から計算される荷重が杭間の無処理地盤に作用していない可能性が示された。
- ⑤ すなわち，杭間の無処理地盤の圧密はほとんど生じていないことから杭と杭間の無処理地盤は一体となって複合地盤として挙動することが明らかになった。

今後の課題としては以下の項目が挙げられる。

杭と杭間の無処理地盤の荷重分担は地盤改良の仕様（表層改良の厚さ・剛性，杭の長さ・剛性，杭の配置）や杭間の無処理地盤の変形特性，圧密特性などの種々のパラメータに影響されると考えられる。また，一般的な円形の杭と今回適用した矩形の杭の形状の違いも影響を及ぼす可能性がある。合理的な設計のためにこれらのパラメータの影響を定量的に明らかにしていく必要がある。