

大断面シールド発進防護地盤改良の計測施工

Tamia Triandini* 野本 雅昭**
 タミアトリアンディニ Masaaki Nomoto
 村上 初央*** 吉田 航****
 Hajime Murakami Wataru Yoshida

1. はじめに

外径約 13.5 m のシールド工事における発進防護工として、ダブルパッカー工法にて薬液注入を行う計画である。薬液注入は、施工済みケーソン発進立坑および下水道に近接して行うため、注入圧力が高くなり過ぎると悪影響を及ぼす可能性がある。しかし、十分な改良効果が得られないと、シールド機が安全に発進できなくなる。このため、ケーソンおよび下水道への影響を考慮した注入計画を行うとともに、計測機器を設置し、リアルタイムに観測しながら地盤改良を行った。施工時には、計測結果を加味して施工速度および施工順序を調整し、適切な管理を行うことで、ケーソンと下水道に悪影響を及ぼすことなく、かつ十分な改良効果を得た。本稿では、上記の計画、管理および施工結果を報告する。

2. 地盤改良の計画

今回の薬液注入は、地盤の粒子間空隙の充填、水みちや地層境の閉塞を図り、止水性の高い改良体を形成することを目的とするものである。改良深度は、GL-18 m から GL-45 m と大深度であるため、適切な施工法の選定が重要である。注入対象地盤は、N 値 5 の沖積粘性土層 (Ac)、N 値 16 の沖積砂層 (As)、N 値 100 の泥岩層 (SLm)、N 値 100 の洪積砂質土層 (SLs) の互層である。SLm 層、SLs 層は硬質であるため、高圧噴射攪拌工による改良は困難である。また、改良深度が GL-25 m 以深となるため、二重管ストレーナー薬液注入工法は、適用外となる。以上より地盤改良（発進防護工）は、二重管ダブルパッカー工法を選定した。

図-1 に地盤改良範囲と既設埋設管の位置関係図を示す。薬液注入工に伴う、ケーソンおよび下水道への影響を低減するため、注入速度を 6~10 l /分にて管理する計画とした。注入順序としてはケーソンおよび下水道に近

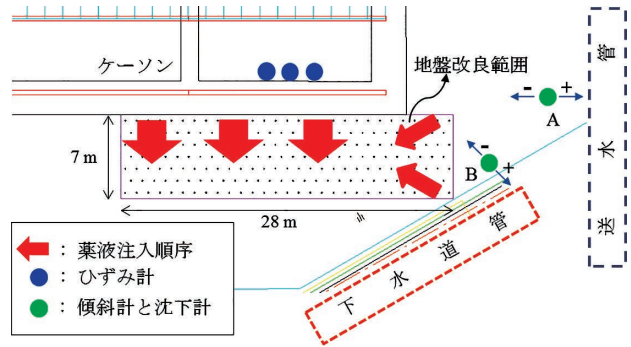


図-1 地盤改良範囲と既設埋設管の位置関係図

接する位置から徐々に離れていくように計画した。地盤改良は 3 ステップで行い、削孔した孔内へシールドグラウトを充填し、外管設置後に一次注入を行い、溶液型注入材になる二次注入にて浸透改良を行う。

薬液注入の設計数量は、シールドグラウト 108 m³、一次注入 297 m³、二次注入 1397 m³ である。薬液注入の効果を確認するため、設計注入量を全注入し、目標透水係数 $k=1 \times 10^{-4}$ cm/s および計画数量を満足する必要がある。

3. 計測計画

地盤改良により立坑背面に注入圧力が作用するため、立坑側壁内面側に引張力が発生する。この影響をひずみ計により計測管理する。薬液注入は地盤の土粒子間空隙にある地下水を薬材に置換えるものであるが、空隙体積以上の薬材を注入すると、地盤変位が発生し、近傍下水道管渠へ影響が生じることになる。そのため、ひずみ計・傾斜計・沈下計を設置し、自動計測を実施する。

計測位置を図-2 に示す。側壁内面ひずみ計を 6 台設置し、傾斜計は 2 箇所を設置する。傾斜計の測点は深度方向に 2 m ピッチで設置し、各位置における傾斜角を計測する。層別沈下計は 2 箇所を設置する。本計測システムは自動計測システムとする。計測値が管理基準値を超えた場合には、予め登録した担当者にメールにて連絡が送られるシステムとした。今回、薬液注入施工に伴って 5 分毎に計測し、地盤変位の監視を行う計画とした。

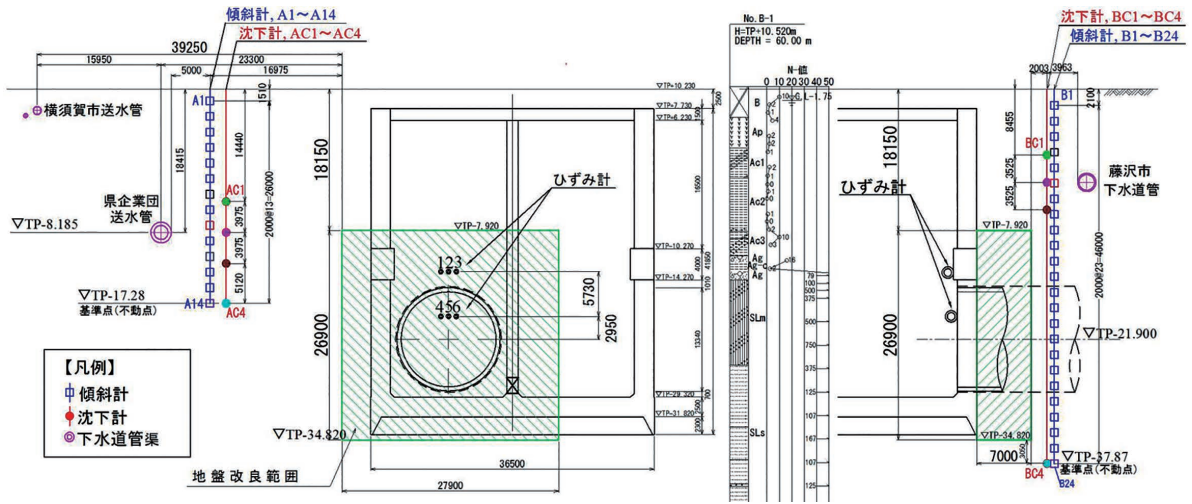
4. 計測施工の結果

ひずみ計および地盤変位の管理基準値を表-1 に示す。施工完了まで管理基準値内に収まるように、ひずみ計の増分が 5 μst / 5 分未満に収まるように管理した。地盤変

表-1 管理基準値

管理項目	一次管理値 (限界値の 60%)	二次管理値 (限界値の 60%)	限界管理値
ひずみ 1-3 (TP-13.27)	217.8 μst	290.4 μst	363.0 μst
ひずみ 4-6 (TP-19.00)	231.0 μst	308.0 μst	385.0 μst
地盤変位	10 mm	16 mm	20 mm

* 関東土木（支）横浜湘南道路工事事務所
 ** 関東土木（支）横浜湘南道路工事事務所
 （現：土木計画部計画課）
 *** 土木設計部設計二課
 **** ライト工業株式会社



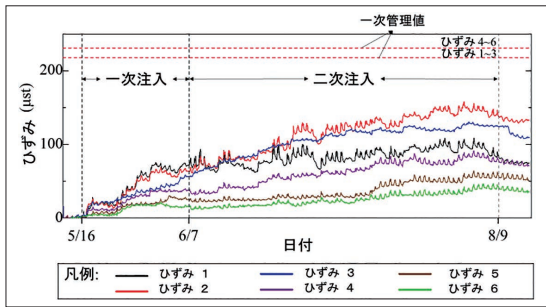
図一 計測位置断面図

位の増分も 0.3 mm/5 分以下にて管理した。立坑および埋設管へ悪影響を与えないため、注入速度および注入本数の調整を行った。ひずみ計測結果と計測日の関係を図一三に示す。一次注入で約 300 m³ の CB を注入し、ひずみは約 80 μst となった。ひずみのグラフから、施工完了後、増加したひずみは戻らないことが判る。これは、土粒子の空隙体積以上の薬材が充填され、固化したためと

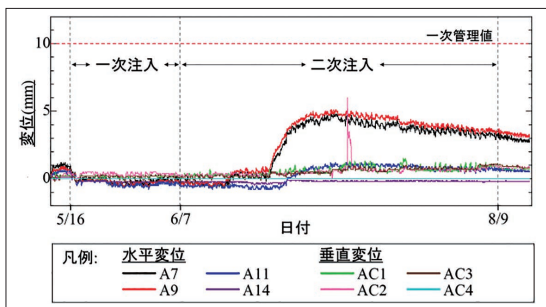
考えられる。したがって、一次注入の結果を考慮し、二次注入の管理を強化する必要があった。

地盤変位の計測グラフを図一四、図一五に示す。一次注入完了時、A 点（図一参照）の水平変位は 1 mm 未満、A 点より施工範囲と隣接している B 点の水平変位は 1 mm～2 mm であった。約 700 m³ の二次注入材を注入した後、A 点と B 点の水平変位が急激に約 5 mm まで増加した。これは、土粒子間の比較的大きな空隙が薬材で充填され、注入圧の解放が少なくなったためと推定される。そのため、同時に注入する本数および注入速度を減らして、変位の上昇を抑制した。また、ケーソン沈設時に周辺地盤が乱された影響で注入前半は、その空隙に薬材が浸透していた可能性も考えられる。

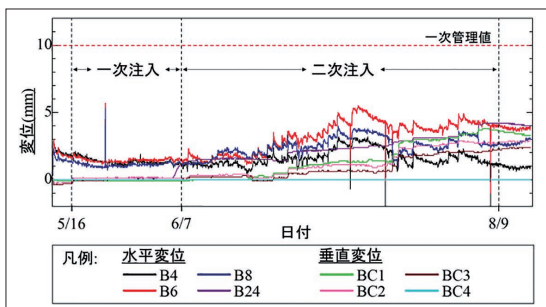
注入完了後の効果確認のため、立坑内から水平チェックボーリングを行い、止水性が確保できていることを確認して、発進防護工を無事完了した。



図一三 ひずみ計のグラフ



図一四 A 点の地盤変位グラフ



図一五 B 点の地盤変位グラフ

5. まとめ

既設ケーソン発進立坑および下水道管渠の安定性を維持しながら地盤改良の有効性を確保するため、注入量と透水係数の考慮が必要である。注入設計では、約 1800 m³ の薬材を注入する計画に対して実量は約 1850 m³ の薬材を注入した。これは、ケーソンに近接する位置で、ケーソン沈設時に生じたと推定される地盤の緩みが確認されたことから立坑側壁周りに注入材を多めに注入したためである。注入完了後の透水試験では、沖積砂層 (As) の透水係数は 7.84 × 10⁻⁶ cm/s、泥岩層 (SLm) は 3.77 × 10⁻⁵ cm/s、洪積砂質土層 (SLs) は 2.51 × 10⁻⁵ cm/s となり、目標透水係数を満たしたため、改良効果が得られたと判定した。

リアルタイム計測結果を反映して注入箇所を調整し、施工管理した結果、発進立坑および既設埋設管に悪影響を及ぼすことなく発進防護工を完了することができた。本報告が今後の工事の参考となれば幸いである。