

東京地下鉄13号線千駄ヶ谷工区シールド工事におけるセグメント挙動計測 ～ 幅広セグメントに作用する施工時荷重の考察 ～

東京地下鉄株式会社

高橋 聡

塩川太司

飛島建設株式会社

真保正吾

稲田義和

日本シビックコンサルタント（株） 斉藤正幸

○奥尾展保

1. はじめに

近年、セグメントの幅広化によって、ジャッキ推力やテールブラシ圧に代表される施工時荷重の影響が大きくなる傾向にあり、これらに対する設計、施工時の管理方法の確立が課題となっている。とりわけ、セグメントがシールド機のテール部を通過するときには、姿勢制御にともなうテールクリアランスの偏りにより局所的な荷重が作用して、セグメントに悪影響を与えることが分かっている。

本稿では、大断面シールドトンネル工事における施工時荷重の実態把握を目的に、特にセグメントの外周面に作用する圧力変化に着目した現場計測結果と、それらの関連から得られた設計、施工上の留意点を述べる。

2. トンネル概要

対象のシールド工事は、**図-1**に示す地下鉄13号線千駄ヶ谷工区シールドで、施工延長912m、トンネル外径 $\phi 9.8\text{m}$ の複線トンネルである。セグメント構造は鉄筋コンクリート平板形を標準とし、セグメントの厚さを400mm、セグメント幅を緩和曲線および直線部で1.6m、曲線部で1.2mとなっている。土被りは1.5～2Dと比較的浅く、地質構成はシールド通過土層全線にわたり硬質地盤である。

シールド機は、外径 $\phi 9.98\text{m}$ 、機長9.76mの泥土圧式シールドで**図-2**に示すようにテールブラシは3段、設計図面上のテールクリアランスは40mmである。その他、テール部スキムプレートには自重によるセグメントリングの変形抑制等の目的で、膨張収縮自在な膨張体(TKS)を装備している。

3. 計測概要

計測位置は、**図-1**に示す位置に3断面を設けている。初期掘進区間に位置する断面①は緩和曲線部、断面②は直線部、断面③はR250mの曲線部に設けられている。各断面における計器配置は、**図-3**に示す通りであり、今回主に報告する土圧計とテールクリアランス計は45度間隔の1リングあたり8測点に配置している。鉄筋計は、周方向の内・外縁主鉄筋に図示の通りに設置している。

4. 計測結果

(1) テールクリアランスと圧力の関係

図-4は、各計測断面の施工時荷重影響期間に土圧計がピーク値を示した測点の経時変化を示す。図より、テールブラシ接触時の作用圧力は、各断面、全期間を通して最も大きくなることを確認できる。

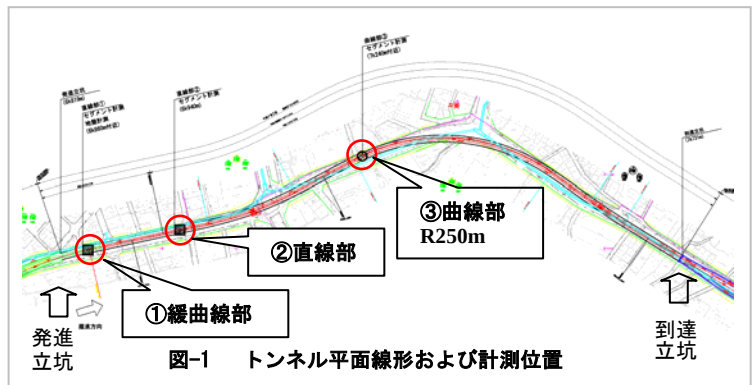


図-1 トンネル平面線形および計測位置

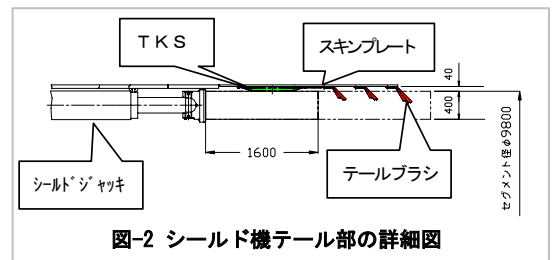


図-2 シールド機テール部の詳細図

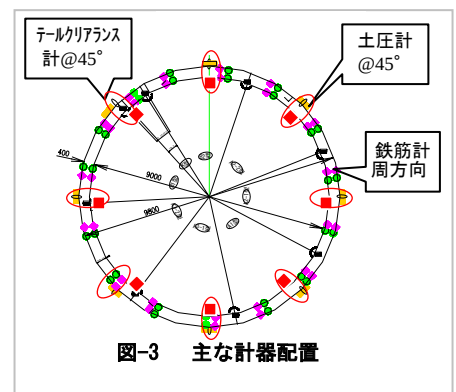


図-3 主な計器配置

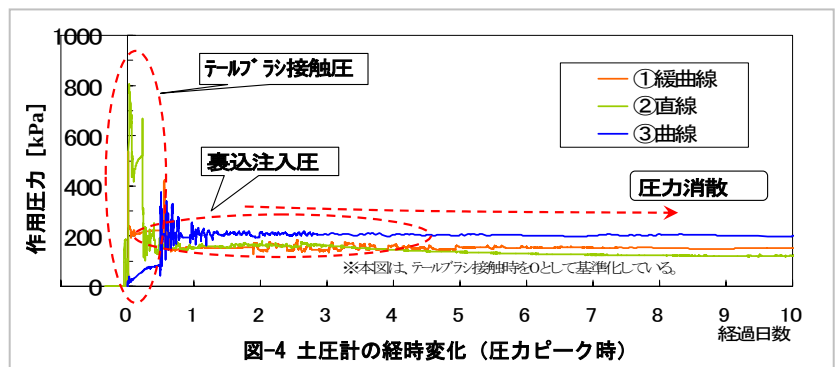


図-4 土圧計の経時変化（圧力ピーク時）

キーワード：シールドトンネル、硬質地盤、現場計測、施工時荷重、テールブラシ圧

連絡先 〒116-0013 東京都荒川区西日暮里 2-26-2 日本シビックコンサルタント事業統括本部 構造技術ソリューション部
-163-

TEL:03-5604-7551 FAX:03-5604-7558

図-5は、圧力ピーク時のテールクリアランスとテールブラシ接触圧力の関係を示す。この結果から、所定のクリアランスが確保されていれば、概ね裏込注入圧相当値(200kPa)以下となることがわかる。また、データに若干のばらつきは認められるものの、クリアランスが設計値の半分(20mm)以下になると接触圧は3~4倍に増大する。逆にクリアランスが広がると接触圧力は漸減する傾向にあることを確認した。

また、幅広セグメントを用いた直線部(▲)と緩和曲線部(●)は、従前より施工時荷重の影響を受けやすいとされてきたセグメント幅 1.2m の曲線部(◆)より影響が大きい。これは、幅広セグメントにおいては、蛇行修正時のテール内でのセグメント挙動が大きくマシンテールとセグメントの離隔に起因する局所的な接触圧力を受けやすいためと考察される。

(2)テール部離脱前・後の内部応力の変化

経時変化図より、テールブラシ接触時に発生したセグメント内部応力は、次セグメントの掘進によるシールド機からの離脱で軽減する。図-6は、圧力ピーク時とテール部離脱後の圧力とセグメント断面力の変化を調べた結果を示す。なお曲げモーメントは、内・外縁鉄筋応力計測値より実弾性係数比($n=4.95$)を用いて算定した。①はブラシ接触時、②はテール離脱直後で図中には設計値を点線で併記している。

直線部(▲)は、設計荷重を大幅に上回る圧力が作用した結果、圧力が低下しても内部応力は元の零の状態には戻らない。緩和曲線部(●)、曲線内側(◇)においては、ピーク圧力は設計値の1.5倍程度以下に収まっており、ほぼ弾性的な挙動を示している。なお、曲線部外側(◆)については、圧力の減少が顕著に見受けられない。これは、ジャッキ推力の水平分力の影響を受けて地盤反力が作用したためと考えられる。

(3)テール部離脱後の圧力および応力変動

裏込注入時の作用圧力は、図-4に示すようにマシンテールを離脱した直後に最大となる。以降、掘進時に若干の増減はするが、高まった圧力は徐々に消散し一定値に収束する。

水圧については、図-7に示すように3断面とも土圧計で測定された土水圧はほぼ等しく、有効土圧はほとんど零である。該当地区の地盤は極めて良好で、シールド掘進時は自立あるいはそれに近い状態にあると言える。

5. まとめ

上述の計測結果から得た設計、施工上の留意点を以下に整理する。

- ① テールクリアランスとテールブラシ接触時圧力の関係にある程度把握することができた。今後、さらに分析を進め、設計モデル作成のための資料とする考えである。
- ② クリアランスが極端に減少すると作用圧力は倍増する。曲線、直線のいずれの施工にかかわらず、幅広セグメントを用いる場合にはテールクリアランスの管理が重要である。今後、テールクリアランスの極端な偏りを防止できるようにテール内形状保持装置の改良が望まれる。
- ③ 良質地盤中のセグメントの設計は軸力圧縮力が卓越した応力状態となり、鉄筋量も少なく済むが、今回収集されたセグメント内部応力データからは、設計荷重を超える圧力が一時的にでも作用すると、その影響は残存する傾向にある。施工時荷重の低減およびそれを考慮した設計荷重の設定が今後の課題としてあげられる。

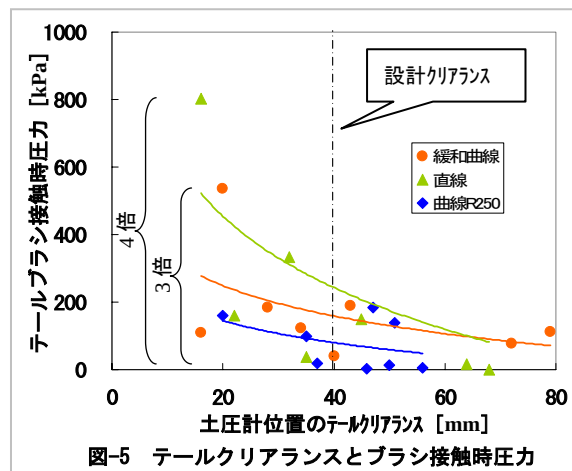


図-5 テールクリアランスとブラシ接触時圧力

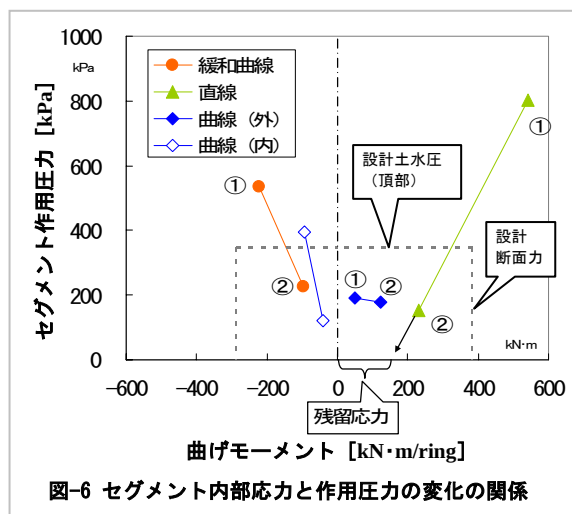


図-6 セグメント内部応力と作用圧力の変化の関係

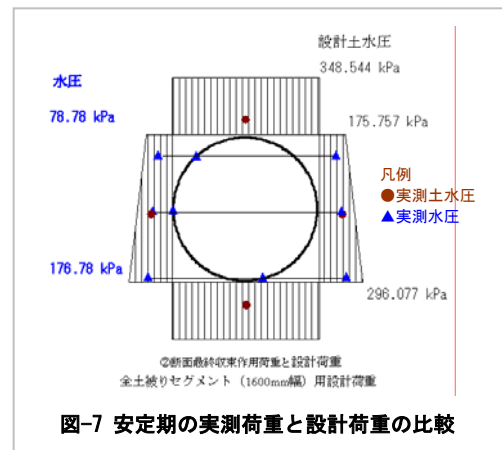


図-7 安定期の実測荷重と設計荷重の比較