

薬液注入圧に対するシールドトンネル開口部の計測施工

西松建設(株) 土木設計部 正会員 ○齋藤 勇樹
 西松建設(株) 土木設計部 正会員 村上 初央
 西松建設(株) 九州支社 正会員 久米 満里

1. はじめに

本工事は、シールド機が地中到達した後に、地上部より鋼製ケーシング工法にて立坑を掘削し、シールド上部を開口して、人孔と接続する計画であった(図-1)。立坑接続の補助工法としてシールド機到達後にシールド機内より、薬液注入(以下、薬注)を行うが、注入圧により開口補強材、シールド鋼殻および鋼製セグメント(以下、一次覆工)に想定以上の荷重が作用することが懸念された。本稿は、薬注によるトンネルへの影響を計測し、薬注の施工法および部材補強に反映した事例について報告する。

2. 工事概要

本工事は、福岡市博多区住吉地区の浸水対策のための雨水幹線築造工事である。

シールド概要：泥土圧シールドφ2,680mm, 施工延長 L=682.0m

セグメント外径φ2,550mm, 仕上がり内径φ1,800mm

到達立坑：【土留】鋼製ケーシングφ2,000mm, t=16mm, H=13.700m

【躯体】現場打ち 内径φ1,500mm, H=13.700m

3. 薬液注入工法

薬注は、シールド機到達後に機内より二重管ストレーナー工法で行う計画であった。対象土層は礫混じり砂層であり、注入順序は図-2に示すように、中心から外側に注入することで、注入圧力の分散を図った。

4. 計測計画

計測は開口補強部材に設置したひずみ計を用いて行った。開口補強は、図-3に示すように欠損リング、柱部材および梁部材から成る構造である。ひずみ計設置位置は、図-3に示すように、開口両側2断面の柱部材および欠損リング①～④の位置において、各位置の外側フランジと内側フランジの計16箇所とした。

5. 計測値の補正

ひずみ計の計測結果から得られる応力値に以下の補正を行い、評価した。

(1) 既応力の考慮

ひずみ計を設置した時点で、シールド鋼殻および一次覆工には土水圧による応力が作用している(図-5)。この既応力は構造計算から得られる理論値を用いた。

(2) 応力の縁端補正

ひずみ計は図-4に示すようにフランジの内側に設置したため、最も応力の厳しい縁端部の応力は、比例計算で算出した。

(3) 梁部材への応力伝達と一次覆工への応力分担

ひずみ計は、柱部材と欠損リングに設置したため、梁部材への薬注による増分応力(図-6)は、欠損リングに作用する軸圧縮力から計算にて算出した。

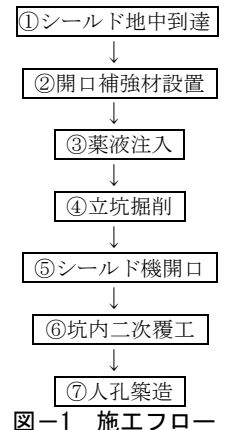


図-1 施工フロー

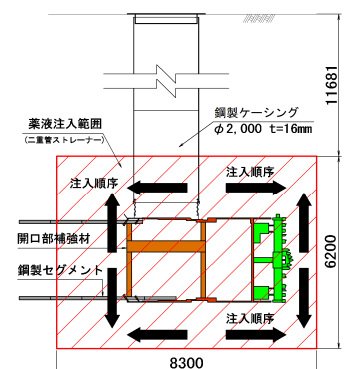


図-2 薬液注入範囲

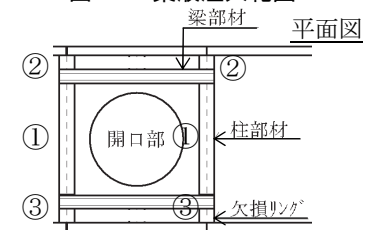


図-3 開口部補強材

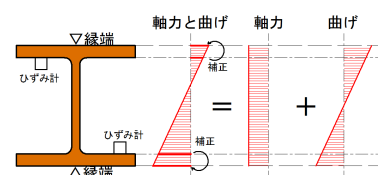


図-4 応力補正

キーワード シールド, 薬液注入, 計測施工, 開口補強

連絡先 〒105-6310 東京都港区虎ノ門 1-23-1 虎ノ門ヒルズ森タワー10階 西松建設(株)土木設計部 TEL 03-3502-7560

一次覆工への増分応力のうち、軸力による応力は開口補強材と一次覆工の断面積比より、曲げモーメントによる応力は断面二次モーメント比より算出した。

(4) 将来増分応力の考慮

薬注完了後に立坑接続するためφ1500の開口を設ける。この開口施工による増分応力(図-7)を考慮し、開口補強部材と一次覆工の構造照査を行う。開口による増分応力は理論値を用いた。照査は、表-1に示すように合成応力で行った。

表-1 照査に考慮する合成応力

照査対象	照査時の合成応力
一次覆工	土水圧による応力 + 薬注による増分応力 + 開口施工による増分応力
開口補強部材	薬注による増分応力 + 開口施工による増分応力

6. 計測管理値の設定

計測時の管理値は、施工時および完成時の応力が許容応力度内に収まるように、薬注による増分応力に対して、表-2に示す管理値を設定した。注入流量を抑えるとひずみ増幅が抑えられると考え、ひずみが1次および2次管理値を超えた場合の対策は注入流量を低下させることとした。限界管理値を超えた場合は、対象部材の補強を行うこととした。

表-2 計測管理値

	判定基準	対策
1次管理値	許容応力度の60%	注入流量低下(16L/min→12L/min)
2次管理値	許容応力度の80%	注入流量低下(12L/min→8L/min)
限界管理値	許容応力度	補強

7. 施工結果

計測施工結果から得られた梁部材の応力推移を図-8に示す。注入に伴って応力が増加したため、管理基準に従い対策を行った。終盤では梁部材が限界管理値を超えたため、注入を中止し、以下の補強対策を行った。

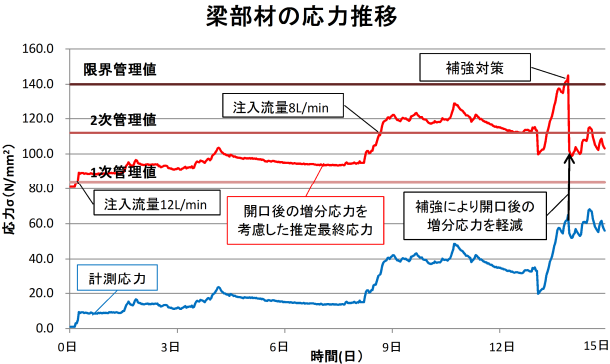


図-8 梁部材の応力推移(薬注期間)

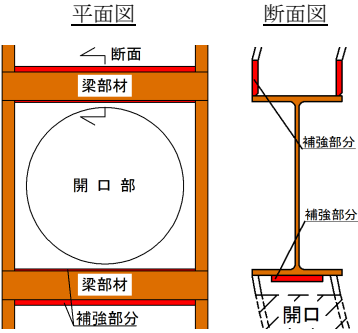


図-9 補強対策

補強対策としては、図-9に示すように、梁部材に厚さ12mmの鋼板を溶接して、荷重に耐えられる構造とした。補強を行ったことで、開口施工することにより梁部材に発生する増分応力が約6割に低減でき、開口施工時と完成時の応力が許容値以下となった。

8. まとめ

本工事は、地上の交通への影響を抑制するため、シールド到達後にシールド機内から薬注を行った。薬注によるトンネルへの影響を事前に推定することは困難であるため、計測施工により以下の対応を行った。

- ①計測結果で各部材の応力状態を把握し、注入流量を調整したことで、各部材への薬注による応力増加を最小限に抑えることができた。
- ②開口施工時および完成時の応力状態を計測結果から予測することで、その都度必要な追加補強することができた。

その結果、薬注時および開口後においても、シールド鋼殻や開口補強部材が損傷することなく、安全に施工を完了することができた。今回の一例を今後の同様工事の参考になれば幸いである。

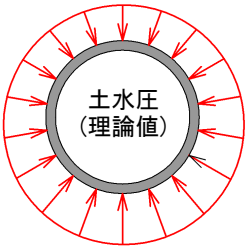


図-5 土水圧概念図



図-6 注入圧概念図

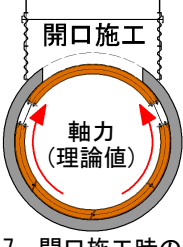


図-7 開口施工時の影響