

急曲線シールドの品質確保に関する計画と実施報告

株式会社大林組

正会員

○清水 俊友

株式会社大林組

正会員

小林 峻也

株式会社大林組

正会員

橋本 渉

1. はじめに

福岡市天神周辺地区は平成 11 年 6 月と平成 19 年 7 月の大雨による甚大な浸水被害を受け、集中豪雨からの浸水被害軽減を図る目的で「雨水整備レインボープラン」を策定し、雨水管の整備を進めている。本工事はこのうち 635.1m の区間において、泥土圧シールド工法により仕上り内径 1,800mm の雨水貯留管を構築するものである（図-1、表-1）。路線は市役所周辺の地下街や地下鉄などの地下利用が高度に進んだ区域に位置しており、最小曲線半径 15m からなる急曲線を 5 箇所含んでいる。さらに、一次覆工完了後、地上から推進工法による流入人孔の接続を行うため、正確な出来形品質管理が求められた。本稿では、急曲線シールドの計画内容と実施状況を報告する。

2. 本工事の技術的課題

(1) 急曲線施工におけるセグメントの変形防止

急曲線施工時はジャッキとセグメントが角度をもった位置関係となり、セグメント法線方向の分力で曲線の外側へセグメントを押し出す力が作用する。一方、切羽側のセグメントはシールド機との競りにより継手に曲げが発生し、リング継ぎボルトの破断やセグメントリングの変形が生じることがある。よって、これらを考慮したセグメント設計が必要である。

(2) セグメント止水構造

本工事の場合、内水圧作用トンネルで二次覆工が構造部材ではないため、供用後に二次覆工にひび割れが生じる可能性があり、補助的な止水を期待することができない。よって、一次覆工の止水性が重要であるが、急曲線ではリング継手の目開き・目違いが大きくなり、シールド材の反発力が不足して十分に止水できない可能性がある。また、裏込め注入等の施工時荷重により、スキンプレートが孕んで溶接が切れると漏水に繋がる可能性もあるため、これらを考慮したセグメント構造とする必要がある。

(3) 余掘り保持とセグメントの早期安定性の両立

急曲線ではシールド機が中折れ装置で屈曲し、地山から受ける抵抗が増加する。また、使用するジャッキも偏るため、直線区間よりもジャッキ 1 本あたりの推力が増加し、大きな抵抗が発生する。これらの負荷を低減するため、余掘り装置で十分な余掘りを確保し、シールド機が通過するまでほぐされた状態を保持する必要がある。一方、シールド機通過後は余掘り部を裏込め材で置換し、セグメントと地山を早期に一体化させることで掘進に必要な反力を得る。従って、余掘り確保とセグメント安定性を両立させることが課題である(図-2)。

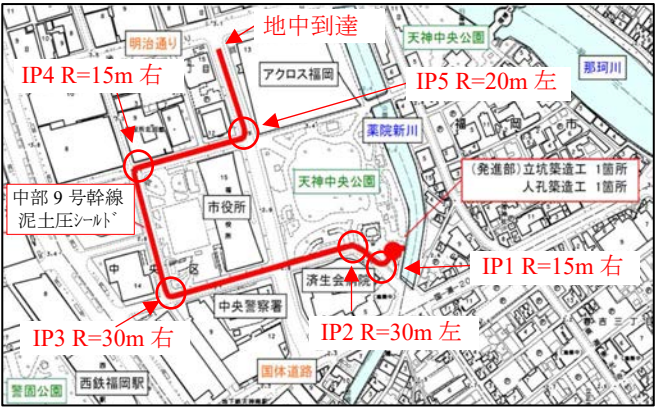


図-1 工事位置及びシールド線形

表-1 シールド工事の概要

工事名称	中部 9 号幹線築造工事
発注者	福岡市道路下水道局
施工場所	福岡市中央区天神一丁目地内
工期	2020年7月18日～2024年3月15日
主要工種	泥土圧シールド 掘削外径2,720mm
中折ジャッキ	V型 装備中折れ角11.6° 上下角2.0°
排土方式	土砂圧送、スクリュー375 (9t/分)
主要数量	掘進延長635.1m、流入人孔5箇所

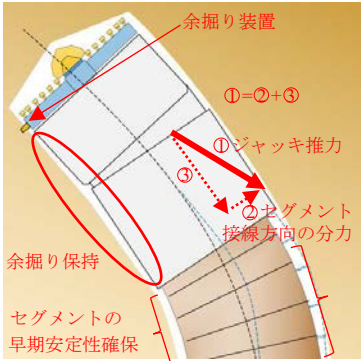


図-2 余掘り保持とセグメントの安定性

キーワード

急曲線シールド、鋼製セグメント、余掘り充填、裏込め注入

連絡先

〒810-0003 福岡市中央区春吉 3-21-21

中部 9 号幹線 JV 工事事務所

TEL092-401-1875

3. 課題に対する解決策

(1) 設計変更によるセグメント変形防止策

急曲線部の施工時荷重を考慮した設計として、モーメントのつり合いによりリング継手部に作用するせん断力 S_T を算定する(図-3)。急曲線施工時のジャッキ推力を装備推力の50%として3,500kNに設定し、構造解析による応力度照査を行った。解析モデルはセグメントリングを梁とし、リング継手を模擬したばねで連結した。また、トンネル軸直角方向と軸方向の地盤ばねを考慮した。検討の結果、リング継ぎボルトの本数を倍増し、主桁・継手板は部材厚さを増やすことで許容応力度内に収まった(表-2)。

(2) 止水性向上策

急曲線施工時に懸念される継手部の目開き・目違いに関しては、セグメントにシール溝を設けることで、シール材のずれを防止するだけでなく、自封作用による接面応力の増加、水膨張時の膨張方向の制御による止水性向上を図った。また、スキンプレートと主桁の溶接に対しては、一般的には外側のみが溶接されていることが多いが、内面溶接を追加することで、施工時荷重による溶接の切れを防止した。さらに、縦リブの空気孔C11を溶接棒が入るようにR30に変更することで、内面も連続溶接が可能となり、さらなる止水性の向上を実現した(図-4)。

(3) 余掘り充填と裏込め注入対策

余掘り部の保持を目的としてマシン外周の余掘り充填注入孔よりベントナイトと高分子を混合した可塑性充填材を注入した。シールド機外周が充填され、地山との摩擦抵抗を軽減する効果や切羽への裏込め材のまわり込みを防止する効果も期待できる。裏込め材は単位セメント量を増やした曲線部配合を計画し、早期強度(σ_{1h})の管理値を直線部の5倍と設置した(表-3)。

表-3 裏込め材配合比較

	A液						B液	早期強度
	硬化材	助材	気泡剤	安定剤	水	空気量	塑強調整剤	(σ_{1h})
直線部	230kg	33kg	0.3kg	2.3kg	719L	143L	50L	0.02N/mm2
R=20~30m部	270kg	33kg	0.3kg	2.7kg	698L	141L	60L	0.10N/mm2
R=15m部	300kg	33kg	0.3kg	3.0kg	651L	140L	71L	

4. 施工結果

R=15mの急曲線部では、中折れ角10.5~11.0°とし偏荷重をかけたが、セグメントの変形や継手からの漏水も無く施工できた。裏込め注入によりスキンプレートの孕みは見られたが、溶接部は健全で漏水も無かった。さらに、最大100mmの余掘りを全周行い、充填材で余掘りを保持することで、シールド機の方

5. まとめ

本稿では、急曲線シールドの出来形品質確保のための計画と施工結果を報告した。急曲線での施工時荷重を考慮して、セグメントや施工方法を工夫することで、良好な出来形品質を確保することができた。本実績が類似施工の参考になれば幸いである。

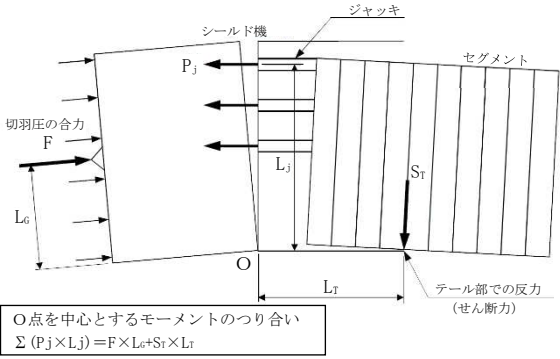


図-3 テール部のせりによる力のつり合い

表-2 セグメント変更項目

	当初	変更後	変更後の応力度 (R=15m部)
リング継ぎボルト	M20(4.6)×26本	M20(4.6)×52本	118.9N/mm2≦135N/mm2
主桁・継手板厚さ	10.0mm	12.0mm	254.0N/mm2≦322.0N/mm2

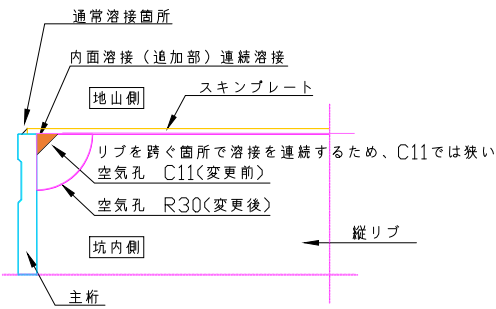


図-4 空気孔の拡大