

大深度におけるシールドトンネル工事の施工時荷重の現場計測結果について

東京都下水道局 中村益美 正会員 松浦将行 佐藤裕明
日本工営(株) 正会員 栗木 実

1.はじめに 東京都下水道局では、昭和37年にシールド工法を管渠工事に初めて採用して以来、同工法による累積工事件数は平成13年度で1300件を超すまでに増加した。この間、初期の頃の最大土被りが20m程度であったのが、年々大深度化する傾向にあり、近年では60mを超えるまでに至っている。大深度地下を対象とするシールドトンネルは、良質な地盤内に構築され高い地下水圧を受けることから、軸圧縮力が卓越した応力状態となりセグメント厚が薄くても設計断面力に耐えることとなる。その一方で、ジャッキ推力や裏込め注入圧に代表される施工時荷重が大きくなる傾向にあり、施工時荷重を要因とするセグメントの損傷事例も報告^{1) 2)} される中、大深度地下を対象としたシールド工事の安全確保に向けた設計・施工技術の構築が急務な課題となっている。

本稿は、大深度の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とした現場計測結果について報告するものである。

2.計測概要 現場計測を行った管渠工事は、杉並区及び中野区の一部の雨水を集水し和田弥生幹線(仕上がり内径φ8,500mm)に接続する連結管を泥水式シールド工法で施工するものである。

土被りは約50mと深く、地盤条件はN値50以上の固結した砂混じりシルト層と礫混じり粗砂の互層を掘進し、地下水圧は451kPaの高水圧が作用する。管渠の平面線形は、地上用地の制約から曲線半径R=30mとR=40mの2箇所の急曲線部がある。

こうした土被りの大きい急曲線施工に対応した本工事のシールド機は、高水圧対応としてテールシールはワイヤブラシを3段装備し、また急曲線対応としてX型球面中折れ装置を装備している。

現場計測は、図-1に示す曲線半径R=40mの急曲線部を対象に、曲線部入口、曲線部、曲線部出口の3断面を計測断面とし、セグメントの主桁応力、縦リブ応力、ピース間継手ボルト軸力、セグメント背面圧力、土中間隙水圧を自動計測すると共に、シールド機鋼殻とセグメントのテールクリアランスを手動で計測している。

3.計測結果

(1)急曲線施工時のシールド掘進制御

図-2は掘進リング番号とセグメントに作用する推進ジャッキパターンによる左右回転モーメントの関係を示したものであるが、平面線形に応じた正負交番は顕著でない。中折れ装置を装備した後胴押しタイプのシールド機の特徴が良く現れており、曲線部も含めて「全押し」に近い掘進制御であったことによる。

一方図-3は、掘進リング番号とシールド機の水平方向中折れ角度との関係に、スプリングラインに配置された推進ジャッキ左右のストローク差から求めたジャッキ推力作用方向角を併記したものである。シールド機面板が曲線部B.Cに入る107Rから中折れを使用し始め、掘進リングがB.Cに達した時点で約5度の中折れ角度を保持して曲線部を掘進し、シールド機

表-1 工事概要

項目	諸元
施工延長	131.75m
曲線半径	R=30m, 40m, 70m
最大土被り	50.23m
地下水圧	451kPa
掘進対象地盤	固結した砂混じりシルト層と礫混じり粗砂の互層
シールド形式	泥水式
シールド機外径	φ4,430mm
シールド機長	6,650mm
中折れ装置	左右9度, 上向1度
装備推力	19,200kN(1,200kN×16本) 後胴押しタイプ
テールシール	ワイヤブラシ型テールシール3段
セグメント	鋼製セグメント
	Do4,300φ×B1000×h175×12(直線部)
	Do4,300φ×B750×h175×12(R=70m 曲線部)
	Do4,290φ×B300×h175×12(R=40m 曲線部)
	Do4,280φ×B300×h175×12(R=30m 曲線部)

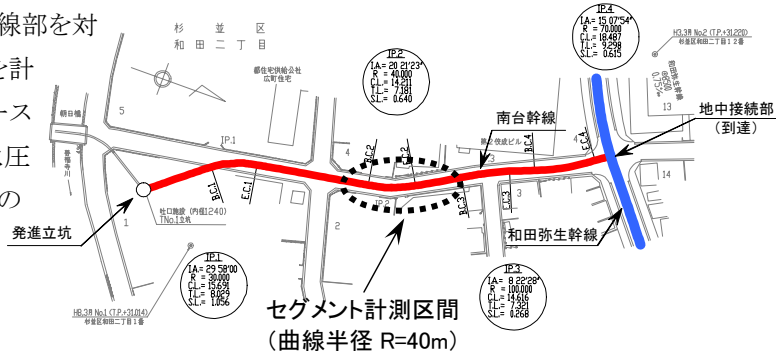


図-1 管渠平面図

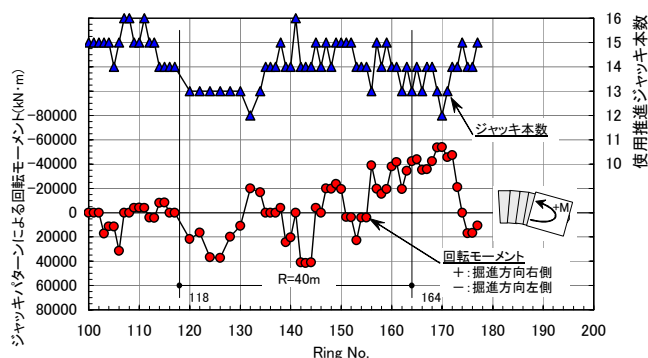


図-2 推進ジャッキパターンによる左右回転モーメント

キーワード シールドトンネル、大深度、急曲線、施工時荷重、現場計測

連絡先 〒102-8539 東京都千代田区麹町 5-4 日本工営(株)首都圏事業部都市基盤部 TEL03-3238-8356

面板が直線部に入る 151R から中折れを戻す掘進制御が講じられている。また、ジャッキ推力の作用方向角は、曲線内側に作用角が生じている状態から、中折れ同様にシールド機面板位置が B.C 付近から曲線外側に作用角を向け、掘進リングが B.C に達した時点で最大値を記録した後は徐々に低下し、B.C 通過後は作用角が曲線内側に戻っている。

(2) ジャッキ推力の偏心率

図-4 は掘進リング番号とテールクリアランスの実測値から求めたジャッキ推力作用位置の偏心率(主桁中心からのトンネル半径方向距離)を示したものであるが、全般に推力作用位置は外縁側(一)に偏心しており、設計偏心率の 10mm を超えている。シールド機の掘進モードが「直線→曲線」、「曲線→直線」に移行する曲線部前後の曲線外側(掘進方向右側)の偏心率が大きく、外縁側に-46mm (105R) の値が記録された。

(3) テールグリス圧

図-5 は、セグメントに設置した圧力計に記録されたテールグリス充填時の圧力分布である。各孔からのグリス充填に伴い圧力計が反応しているが、必ずしも充填孔に近い圧力計が反応してはいない。また、一時的な荷重としてグリス充填圧は高く 800kN/m^2 を超え、その分布は均等に作用していない。ただし、グリス充填終了と共に圧力は低下し、残留圧力は地下水圧と概ね一致している。

(4) テールブラシによる推進抵抗

図-6 は、リング間継手部(主桁)がテールブラシを通過する際のジャッキ推力の経距変化図である。同図によると、切羽側から 1 段目と 2 段目のテールブラシ通過時にジャッキ推力の上昇が見られる。上昇量はテールブラシの位置で異なり、例えば図-6 の実績では切羽側から 1 段目のテールブラシで 1140kN 、2 段目で 1687kN の上昇が記録され、テールエンド側のテールブラシ通過時の上昇量が高いのが特徴的である。

4.おわりに 施工時荷重に着目した本現場計測結果を以下にまとめる。

- ・曲線部前後の直線部も含めて推進ジャッキ作用位置と主桁中心の偏心率の実態は大きく、設計値を上回る値が記録された。中でも、掘進モードが移行する曲線部前後の直線部の偏心率が大きい。
- ・テールグリス充填圧は高く、 800kN/m^2 (地下水圧 $+400\text{kN/m}^2$) を記録した。また、テールグリスの粘性が高いこともあって、圧力分布は必ずしも均等に作用しない。
- ・リング間継手部(主桁)がテールブラシを通過する際、テールクリアランスの大きさが制限され推進抵抗が増大する。また、テールエンド側ブラシ通過時の推進抵抗が大きい。これの原因として、シールド機内に漏洩した裏込め注入材がテールブラシ背面に付着、またテールブラシが硬化することでテールブラシの押付け荷重が増加すると共に、推進抵抗が大きくなった可能性が考えられる。

これらの施工時荷重に対し、さらに実測値の蓄積と分析を図り、設計と施工の両側面から課題区分を整理の上、設計・施工技術における対応策の検討が今後の課題である。

参考文献

- 1) 大迫健一・中坊正義・前田 博・黒住光浩: 大深度シールドの施工時荷重によるセグメント損傷事例と解析的検証, 下水道協会誌 Vol.38 No.461, pp144-pp151, 2001
- 2) 中村益美・松浦将行・沢里能雄: 大深度シールドの施工時荷重とその対策, トンネルと地下 Vol.34 No.1, pp35-pp41, 2003

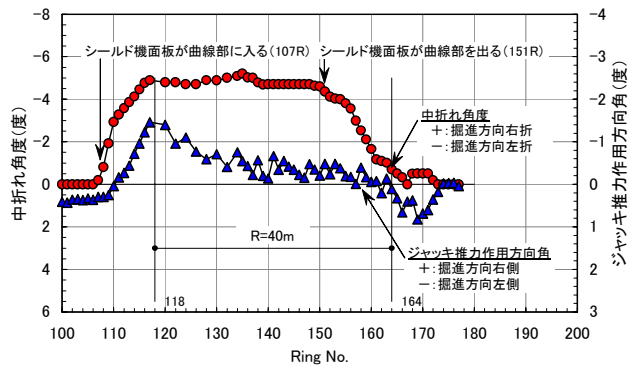


図-3 中折れ角度とジャッキ推力作用方向角(水平方向)

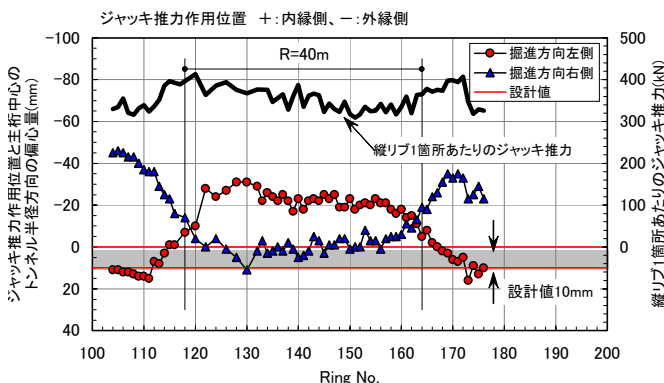


図-4 ジャッキ推力作用位置と主桁中心との偏心率

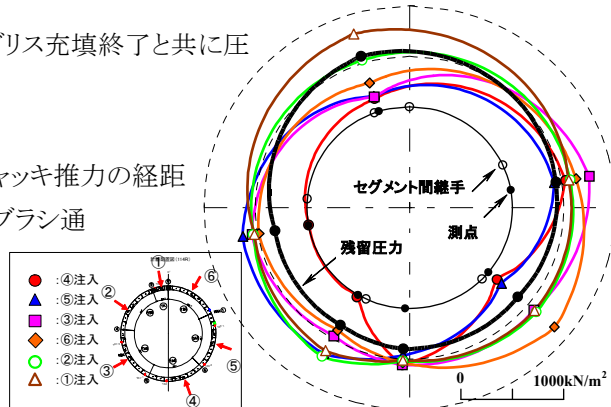


図-5 テールグリス充填時の圧力分布図

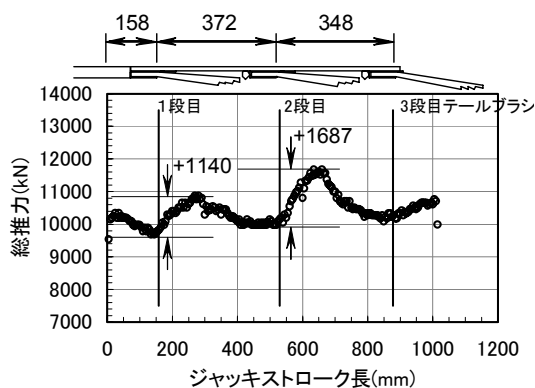


図-6 テールブラシによる推進抵抗