3.4 施工データの調査結果

鹿島建設(株)から提供のあった自動計測データと坑内測量結果から、以下の整理を行った。

①ジャッキストロークの経時変化(自動計測データ)

- ②セグメント組立時のジャッキストロークの経時変化(自動計測データ)
- ③セグメント組立時のシールドの姿勢の経時変化(自動計測データ)
- ④シールドの切羽土圧の経時変化(自動計測データ)
- ⑤セグメントとシールドの水平、鉛直偏差とテールクリアランスの推移(自動計測データ、 坑内測量結果)

⑥シールドとセグメントの縦断方向の変化(坑内測量結果)

(1) ジャッキストロークの経時変化

図 3.4.1 に、108 リング、111 リング、112 リングの掘進時ならびにセグメント組立時のジャ ッキストロークの経時変化を示す。これらの図から、以下の点が確認できる。

- ①掘進完了時から組立完了時までにジャッキストロークが 1410~1430mm 縮小している。これは、セグメントを組立てたことによるものであるが、セグメント幅が 1400mm であるにもかかわらず 1430mm 縮小していることからシールドがセグメント組立中に後退していることが考えられる。
- ②ずり鋼車の入替えに伴う待機時間を除いた掘進時間は概ね 25~30 分程度であり、各リング で概ね一定の値を示している。
- ③施工のサイクルは各リングで概ね一定であり、112 リングについて特異な作業が行われた ことは確認できない。



図 3.4.1(1) ジャッキストロークの経時変化(108 リング)



図 3.4.1(2) ジャッキストロークの経時変化(111 リング)



図 3.4.1(3) ジャッキストロークの経時変化(112 リング)

(2) セグメント組立時のジャッキストロークの経時変化

図 3.4.2 に、108 リング、111 リング、112 リングのセグメント組立時のジャッキストロークの経時変化を示す。これらの図から、以下の点が確認できる。

- ①左右のジャッキ位置のセグメントを組立終わった後は 1~2mm のジャッキストロークの縮 小が認められる。全体のジャッキストロークの縮小と比較すると小さい値である。
- ②ジャッキを縮小した後にセグメントの組立を行っているが、108 リングと 111 リングでは 一旦縮小した後にジャッキを再操作した跡は見られないが、112 リングでは右のジャッキ を縮小した後に再度 30mm 程度の縮小操作を行っている。



図 3.4.2(1) セグメント組立時のジャッキストロークの経時変化(108 リング)



図 3.4.2(2) セグメント組立時のジャッキストロークの経時変化(111 リング)



図 3.4.2(3) セグメント組立時のジャッキストロークの経時変化(112 リング)

(3) セグメント組立時のシールドの姿勢の経時変化

図 3.4.3 に、108 リング、111 リング、112 リングのセグメント組立時のシールドの姿勢を水 平偏角と鉛直偏角で表し、その経時変化を示す。これらの図から、以下の点が確認できる。

- ①水平偏角は組立中に 0.1 度から 0.2 度程度変化している。シールドが停止中の水平偏角の 変化であるので、組立に伴うジャッキの操作によってシールドが水平方向に動いていると 考えることができる。
- ②鉛直偏角は組立中に 0.05 度程度変化している。水平偏角と同様に、組立に伴うジャッキの 操作によってシールドが鉛直方向に動いていると考えることができる。
- ③シールド機長が約 7m であることから、水平方向に 12~24mm*1)程度、鉛直方向に 6mm 程度 動いている可能性がある。

これらのことから、スプリングラインのシールドジャッキで 8~16mm*2)程度伸縮している可 能性がある。

- *1) 7000mm×tan 0.1°=12.2mm (図 3.4.4 参照)
- *2) 4500mm (ジャッキ位置の径) ×tan 0.1°=7.9mm (図3.4.4参照)



図 3.4.4 シールドの姿勢変化のイメージ



図 3.4.3(1) セグメント組立時のシールドの姿勢(108 リング)



図 3.4.3(2) セグメント組立時のシールドの姿勢(111 リング)



図 3.4.3(3) セグメント組立時のシールドの姿勢(112 リング)

(4)シールドの切羽土圧の経時変化

図 3.4.5 に、108 リング、111 リング、112 リングのシールドの切羽土圧の経時変化を示す。 これらの図から、以下の点が確認できる。

①掘進中に上昇した切羽土圧は掘進終了後に徐々に低下して概ね一定値に安定する。(108 リング:約 220kPa, 111 リング:約 240kPa, 112 リング:約 240kPa)

- ②掘進中の切羽土圧は変動しているが、108 リングでは 325kPa 程度、111 リングでは 340kPa 程度、112 リングでは 370kPa 程度を最大値としていることから、掘進時と掘進停止時との 切羽土圧の差は最大で 130kPa 程度となる。
- ③セグメント組立時には切羽土圧が約10kPa、複数回低下している。
- ④112 リングでは組立中に約 100kPa の切羽圧の低下が見られる。このとき、No. 16~22 のジャッキを伸長してセグメントに当てた後に No. 1, 2, 25, 26 の4本のジャッキを縮小し始め、1分後に No. 3, 4 の2本のジャッキの縮小を追加している。
- ⑤112 リングの切羽土圧は 12:08 以降のデータは全て同一値を示している(他のデータも全て変化が見られない)ことから、測定システムが正常に作動していない可能性があるが、 12:07 以前のデータは信頼できるものと考えられる。よって、切羽土圧が急激に低下したことは確認できる。



図 3.4.5(1) 切羽圧の経時変化(108 リング)



図 3.4.5(3) 切羽圧の経時変化(112 リング)

図 3.4.5(2) 切羽圧の経時変化(111 リング)



(5) セグメントとシールドの水平、鉛直偏差とテールクリアランスの推移

図3.4.6 にセグメントとシールドの水平偏差の推移を、図3.4.7 に左右のテールクリアラン スの推移を示す。なお、水平偏差については、施工関係者へのヒアリングにおいて、シールド マシン設置前に実施した基線測量と初期掘進完了後に実施した基線測量に差が生じていたこと が確認されており、坑内測量によるセグメントとシールドの偏差は、25R 付近で基線の方位角 を変更していることが確認できる。これに対して自動計測によるシールドの偏差(補正前)は、 基線の変更が行われていないと思われるため、基線の差を方位角0.11deg、初期座標-60mm と 仮定してシールド偏差の補正を行った(補正後)。

これらの図から、以下のことが確認できる。

- ①基線を変更した 25R 付近から 95R 付近までは、セグメントとシールド(坑内測量、自動計測ともに)の偏差の推移の傾向は一致しているが、95R 付近以降で、自動計測によるシールドの偏差が坑内測量によるセグメント、シールドの偏差とずれが生じている。
- ②坑内測量によるセグメントとシールドの偏差から、シールドは、基線を変更した 25R 付近 から 80R 付近までは右にカーブしているが、80R 付近で左にカーブし、その後は、ほぼ直 線で推移していることが分かる。
- ③左右のテールクリアランスの推移は、テールから裏込め注入材の漏出が確認された 85R までは、右側のテールクリアランスが大きい傾向で推移してるが、裏込め注入材が漏出した 85R 以降では、左右でほぼ同じテールクリアランスとなっている。

これらのことから、以下のことが考えられる。

- ①95R 付近以降で、坑内測量によるシールド偏差とセグメント偏差の推移の傾向は一致して いるため、自動計測によるシールド偏差に誤差が生じていることが考えられる。
- ②基線に差が生じていたため、変更した基線にシールドを戻そうと右に曲げていたが、80R 付近以降ではシールドは基線から離れる挙動となっていることから、シールドの制御が適 切に行われていなかったことが考えられる。
- ③85R 以前で右側のテールクリアランスが大きい傾向となっているのは、シールドを右に曲 げていたためと考えられる。85R 以降で左右でほぼ同じテールクリアランスとなっている のは、裏込め注入材のテールシールへの回り込み、固着によりシールドの挙動が制約され たことが考えられる。



図 3.4.6 セグメントとシールドの水平偏差の推移



図 3.4.7 左右のテールクリアランスの推移

図 3.4.8 にセグメントとシールドの鉛直偏差の推移を、図 3.4.9 に上下のテールクリアラン スの推移を示す。

これらの図から、以下のことが確認できる。

- ①30R 付近までは、セグメントとシールド(坑内測量、自動計測ともに)の偏差の推移の傾向は一致しているが、30R 付近以降で、自動計測によるシールドの偏差が坑内測量によるセグメント、シールドの偏差とずれが生じている。
- ②坑内測量によるセグメントとシールド偏差から、シールドは、上下に変動を繰返し、80R 付近以降から事故の直前までは、基線から+20mmでほぼ直線で推移しており、事故直前で は、シールドはセグメントに対して下がっている傾向である。
- ③上下のテールクリアランスの推移では、上側のテールクリアランスが大きい時と、下側の テールクリアランスが大きい時が交互に現れている。

これらのことから、以下のことが考えられる。

- ①30R 付近以降で、坑内測量によるシールド偏差とセグメント偏差の推移の傾向は一致して いるため、自動計測によるシールド偏差に誤差が生じていることが考えられる。
- ②事故直前では、シールドがセグメントに対して下がっている傾向であるため、トンネル上 部をシールドのテール部で抑える力が働いていた可能性が考えられる。
- ③上側のテールクリアランスが大きい時と、下側のテールクリアランスが大きい時が交互に 現れているのは、シールドが上下に変動していたためと考えられる。



図 3.4.8 セグメントとシールドの鉛直偏差の推移



図 3.4.9 上下のテールクリアランスの推移

(6)シールドとセグメントの縦断方向の変化

図 3.4.10 に、掘進指示書に記載されているシールドとセグメントの標高偏差、上下のテール クリアランス、セグメントの真円度の測量結果より、シールドとセグメントの縦断方向の変化 を整理したものを示す。なお、標高の偏差は変化を分かりやすく示すために 30 倍で表現してい る。これらの図から、以下のことが確認できる。

- ①2月3日夜(99R 掘進完了時)では、シールドとセグメントの鉛直偏差はほぼ同じである。 セグメントの真円度は、上下に2mm 拡大する変形状態である。
- ②2月6日昼(104R 掘進完了時)では、シールドは、2/3夜に比べ9~10mm 下がり、セグメント高さより 8mm 低くなっている。セグメントの真円度は、2/3夜とは異なり左右に 1mm 拡大する変形状態である。
- ③2月6日夜(109R 掘進完了)では、シールドは、2/6 昼に比べさらに 4~7mm 下がり、セグ メント高さより 11mm 低くなっている。セグメントの真円度は、2/6 昼の左右に拡大する変 形状態が 1mm から 6mm に大きくなっている。

これらのことから、2月7日の施工では、トンネル上部をシールドのテール部で抑える力が 働いていた可能性がある。



図 3.4.10(1) シールドとセグメントの縦断方向の変化(2月3日夜)







図 3.4.10(3) シールドとセグメントの縦断方向の変化(2月6日夜)