

新しい計測システムを用いたシールド機の 挙動計測結果と考察

Study of Shield Behavior Measured by a New Survey System.

小西真治¹⁾・新井 泰¹⁾・粥川幸司²⁾・津坂 治³⁾・杉本光隆⁴⁾

Shinji KONISHI, Yasushi ARAI, Koji KAYUKAWA, Osamu TUSUSAKA, Mitutaka SUGIMOTO

Because of limited underground space due to jamming structures, it is required to construct tunnels in unprecedentedly deep underground or in shallow underground with the accurate shield control technique. Thus, it is necessary to adopt a technique based on a theoretical model in place of the conventional technique to construct tunnels. To verify the validity of the theoretical model, precise data on shield behaviors were obtained from two tunneling sites of rail way by a newly developed survey system. This paper reports to measuring results and factors of shield behavior. As results, the followings were made clear: 1) When the jack pattern was changed frequently, the shield behavior obtained by the newly developed survey system had higher accuracy, compared with the shield behavior obtained by the conventional system. 2) When segments were erected on a curve section, the change of direction angle during advance returned to half due to the loss of jack moments, the copy cutter effect and the ground condition.

キーワード : shield-driven method, shield behavior, survey system, total station, in-site measurement

1 はじめに

都市域の地下開発が進み、トンネル建設においても、未知の条件となる大深度での施工や、浅深度での極めて正確な近接施工が要求される場合が増えている。例えば、深度が大きくなるに従って、セグメントの諸元はジャッキ推力等の施工時荷重に大きく依存する傾向にあり、シールド機の制御の最適化は、セグメントやシールド機のコスト縮減を図る上で不可欠な検討課題となりつつある。このような背景から、経験のみに基づいた従来のシールド機制御手法から、未知の条件でも適用可能な、理論に基づいた動力学モデルへの移行が必要となってきた。このため、動力学モデル完成に向けたシールド機挙動の正確な検証データの収集もまた大切な課題となっている。そこで、昨年度開発したシールド機挙動計測システム¹⁾(図1)を鉄道用トンネル工事現場(外径10m級の泥水式シールド工事)に設置し、掘進中のシールド機の挙動を計測して、動力学モデルの妥当性を検証出来る精度のよいデータを収集した。本報告では、この計測結果とシールド機の挙動に与える要因に関する考察について述べる。

1) 正会員 財団法人 鉄道総合技術研究所 技術開発事業本部 トンネル担当

2) 正会員 ハザマ 土木本部 都市土木統括部

3) 奥村組 技術本部 技術開発部

4) 正会員 長岡技術科学大学 環境・建設系

計測は、各条件を満たし、適切なカーブを有し、かつ挙動のわかりやすい単胴型シールドを使用する弘道トンネル（常磐新線）と桜町トンネル（埼玉高速鉄道）で行った。

3 弘道シールドトンネル（常磐新線）での挙動計測

3.1 トンネル概要

弘道トンネルの概要を表 1、路線平面図、縦断図を図 2、図 3 に示す。計測は左カーブ($R=600m$)区間の 17 リング (25.5m) 間で実施した。シールド機掘進の対象となる地盤は、 A_{C1} 層（有楽町層）と A_{S2} 層（七号地層）の一部である。 A_{C1} 層の層厚は約 12~13m で砂混じりシルトを主体とするが、下部ほど砂分が多くなり、 N 値も上部で 0~2、下部で 2~7 と増加する。 A_{S2} 層の層厚は 9m 前後で細~中砂を主体とするが、層全体にわたってシルトを混入する部分が多い。 N 値は 5~20 程度とばらついている。以上より、軟弱地盤内での掘進と言える。

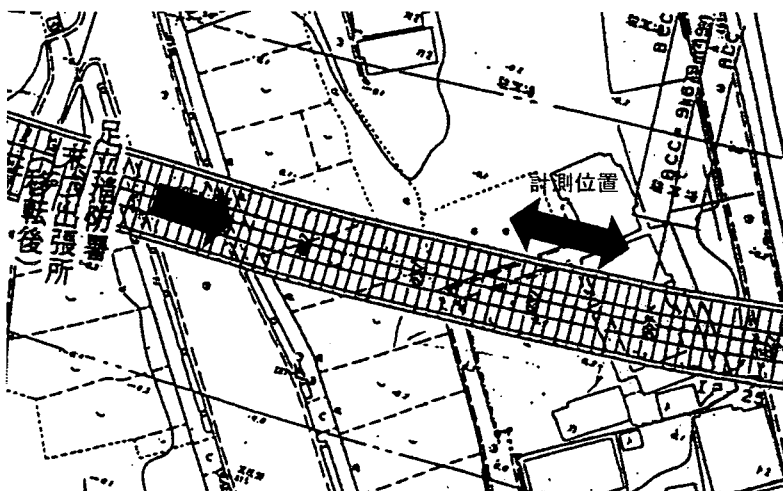


図2 弘道トンネル計測位置平面図

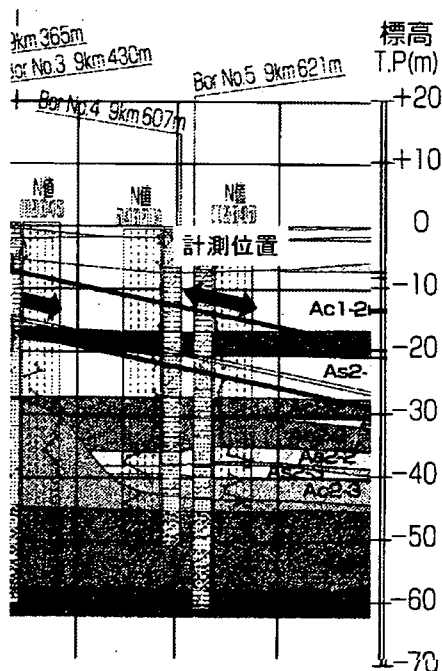


図3 弘道トンネル計測位置縦断図

3.2 計測概要

トータルステーションは作業性の問題から枕木下に設置し、ターゲットのプリズムはエレクターのローラー支床部に取付けシールド挙動を計測した（写真 1, 2）。

3.3 計測結果

弘道トンネルの計測結果全体を通した特徴は、①新システムとジャイロを用いた計測で、結果に差があるリングと差が無いリングがあること、②掘進時にカーブに沿って変化させた方位角が、セグメント組立て中に半分程度戻ること、である。

図 4 に新システムとジャイロで結果が異なっていた A リングの計測結果を示す。図中には人力による精密測量で求めた方位角も併せて示す。新挙動計測システムによる方位角は、掘進開始時の 26.290 度から終了時の 26.051 度までは、概ね均等かつ連続的な変化を示している。また、ジャイロによる計測値もほぼ近い値を示しているが、最終的な方位角について若干差があった。新挙動計測システムの計測結果は、A+1 リングにおけるシールド機掘削停止中の人手による方位角の精密測量結果と一致しており、新システムでより精度の良い測定が行われていると判断出来る。

地盤条件、ジャッキパターン、切羽圧等の方向制御に影響を与える様々な要因について調べたところ、このリングで最も特徴があったのが、ジャッキパターンの変更が多いことと、コピーカッターを使用していないことであった。ジャッキは32本のうち、主に左側のジャッキを適時はずして22~24本のジャッキを使用していた。当該リングにおけるジャッキパターンの特徴は、掘進中に5回パターン変更を行っており、このクラス（外径10mクラス）のシールド施工としては、変更が多い方だと考えられる。また、変更したのはシールド機の左右方向の制御に影響のあるスプリングラインに近いジャッキであった。なお、ジャッキ速度は25~30mm/sec程度、総推力は約2700tfであった。

図5に新システムとジャイロで結果が一致していたBリングの計測結果を示す。挙動計測システムによる方位角は、掘進開始時の25.137度から終了時の24.828度まで概ね均等に連続的な変化を示している。また、ジャイロによる方位角についても掘進開始時は25.14度、終了時は24.82度となり、挙動計測システムによる計測値と概ね等しい値を示し、変化の状況も同じであった。ジャッキは32本のうち主に左側のジャッキを適時はずして24~25本のジャッキを使用していた。ジャッキ速度は25~30mm/sec、総推力約3000tfで、Aリングよりも大きな推力となっている。掘進中のジャッキパターンの変更は3回で、1本だけの増減であり、Aリングより少なかった。また、変更を行ったジャッキはその位置が主に上下方向の挙動を与えるセンターラインに近いジャッキであった。総じて、ジャッキの使用本数が多いこと、

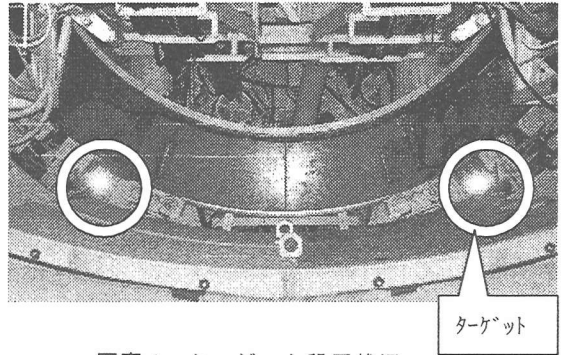


写真1 ターゲット設置状況

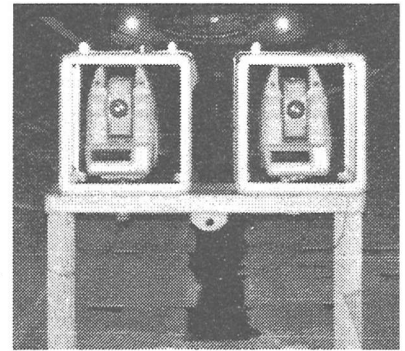


写真2 トータルステーション設置状況

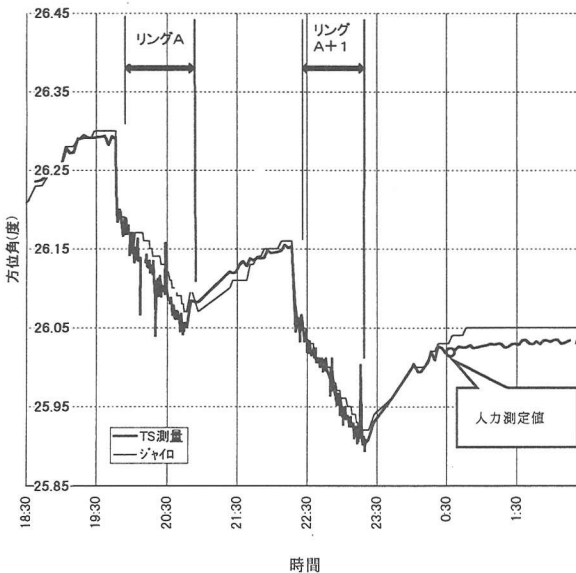


図4 弘道トンネルAリング計測結果

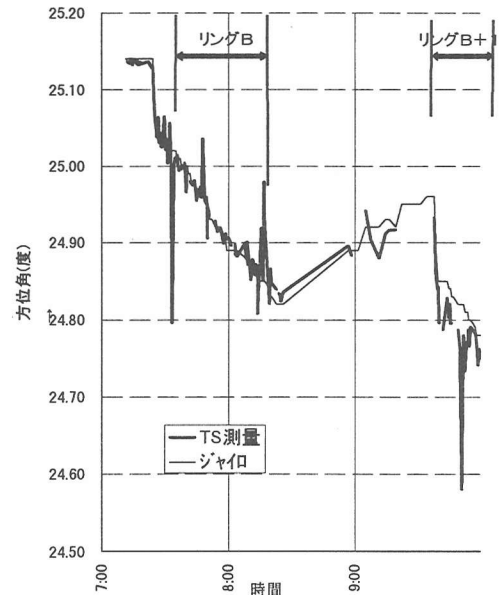


図5 弘道トンネルBリング計測結果

変更の回数が少ないことから、このリングにおいては安定した方向制御が行われていたと考えられる。

以上の結果から、弘道トンネル計測結果の特徴① Aリングにおける挙動計測システムとジャイロによる方位角の差異とBリングにおける両者の一致、に関する要因を推定すると、前者では、ジャッキ変更の回数が多く、特に左右方向に係わるジャッキを変更していることから、急激な方向変化速度の変化があったのではないかと推測される。また、切羽圧が若干小さく総推力が小さいことが、方向角変化速度が変化する原因となり、ジャイロでは追従が難しかったのではないかと推測される。ただし、今回のような特別な目的以外は、実用上は問題無いと考えられる。

弘道トンネル計測結果の特徴② 掘進時にカーブに沿って変化させた方位角がセグメント組立て中に半分程度戻る現象、については、停止時にもジャッキによる偏心力と地盤からの反力が釣り合っており、セグメント組立てでカーブ外側のジャッキを緩めた時に方位角が戻ったこと、地盤が軟弱なことからこの区間でコピーカッターが使用されなかったことが原因として考えられる。

4 桜町シールドトンネル（埼玉高速鉄道）での挙動計測

4. 1 トンネル概要

桜町トンネルの概要を表1に、路線平面図、縦断図を図6、図7に示す。計測は左カーブ(R=253m)区間の15リング(18m)間で実施した。シールド機掘進の対象となる地盤は、Os層(ヌカ砂層)の一部とTo層(東京層)である。Os層は、シルトの薄層を介在する細砂層であり、上部で20以下、下部で比較的締っており20~40と増加する。To層はシルト・粘土層からなり、上部はN値=5~28(平均値10)と比較的高く、下部はN=3~11(平均値6)と低い。弘道トンネルと比較して硬質地盤の推進となっている。

4. 2 計測概要

当該現場では、工程の都合上、シールド掘進に並行してインバート部に導水管(φ1,000mm他)の敷設作業があり、計測はトンネルの天端付近で行った。

4. 3 計測結果

桜町トンネルの計測結果全体を通した特徴は、①弘道トンネルと同様に新システムとジャイロを用いた計測で結果に差が出たリングと差が無いリングがあること、②弘道トンネ

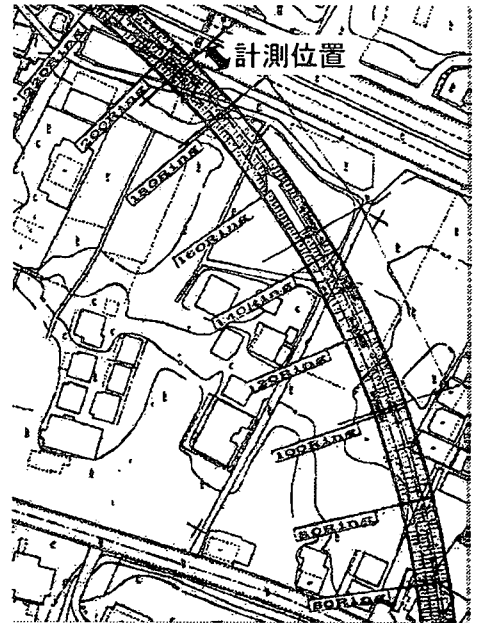


図6 桜町トンネル計測位置平面図

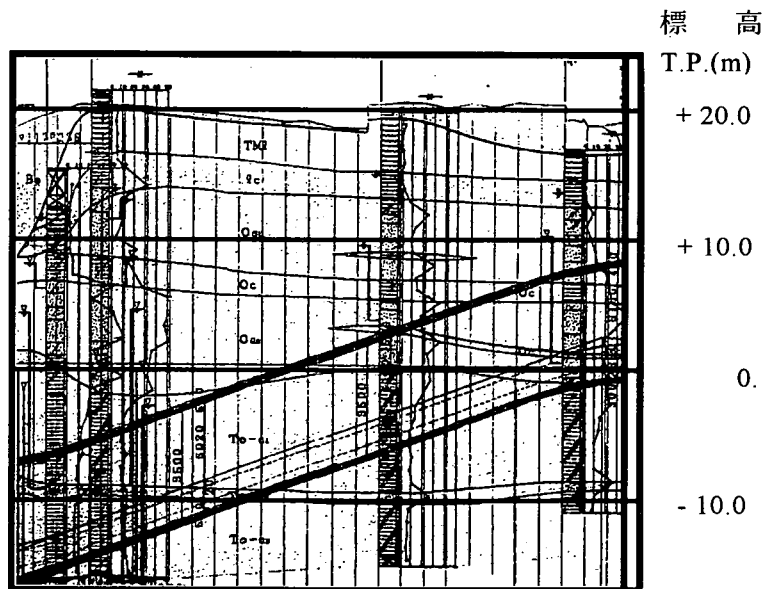


図7 桜町トンネル計測位置縦断図

ルと異なり、掘進時にカーブに沿って変化させた方位角がセグメント組立て中にほとんど変化していないこと、である。

図 8 に新システムとジャイロで結果が一致していた C リングの計測結果を示す。また、図 9 に結果に差が生じた D リングの計測結果を示す。D リングでは、最終時に 0.2 度程度の差異が生じている。ここで各リングにおけるジャッキパターンの変化に着目すると、C リングでは、掘進中のジャッキの変更が 1 回で 1 本減らしたのみであるのに対して、D リングでは 4 回もの変更を行っており、この影響でシールド機の方角変化速度の変化がジャイロと挙動計測システムの計測値の差異に表れたと推測できる。

方位角がセグメント組立て中ももどりに戻らない現象については、地盤が比較的硬いことからコピーカッターを使用しており、掘削地山も自立傾向であることから、地盤反力が小さかったこと、また掘進中の偏心力が小さかったためと考えられる。

5 まとめ

シールドの制御記録から判断すると、掘進中に使用ジャッキパターンの変更回数が多く、シールド機方向角の変更速度が変化する場合、ジャイロコンパスで計測した方向角と比較して、自動追尾型トータルステーションを複数台用いた計測システムで計測した方向角は、精度が良いことを確認した。また、弘道シールドではセグメント組立中に、掘進時に変化させた方向角の約半分の量で方向角がもとに戻っているが、桜町シールドでは組立中の方向角の戻りが少なかった。この現象は、掘進中に作用させていたジャッキモーメント、コピーカッターの使用状況と地盤の硬さによると考えられ、掘進時の方向角の制御方法を検討する場合に留意する必要がある。

今後、これらのデータを用いて、動力学モデルの検証を行う予定である。

現場計測について日本鉄道建設公団東京支社および関東支社に多大なるご協力をいただいた。本研究は、平成 10 年度運輸分野における基礎的研究推進制度「大都市部地下インフラストラクチャー整備のための動力学に基づくシールド機挙動の理論的・実証的解明」において行なったものである。

文献

- 1) 杉本 光隆, 小西 真治, 新井 泰, 粥川 幸司: 掘進中のシールド機に関する挙動計測システムの開発, 土木学会トンネル工学研究論文・報告集第 8 巻, 361-366, 1998.11.
- 2) 杉本 光隆: 講座「地盤工学における逆解析」第 12 章シールドトンネル, 土と基礎, Vol.44, No.4, 1996.4.
- 3) 森内 誠悟, 杉本 光隆, 岩田 孝信, 粥川 幸司: シールド機実測データのヨーイング角とピッチング角に関する検討, 第 53 回年次学術講演会概要集, 84-85, 1998.10.

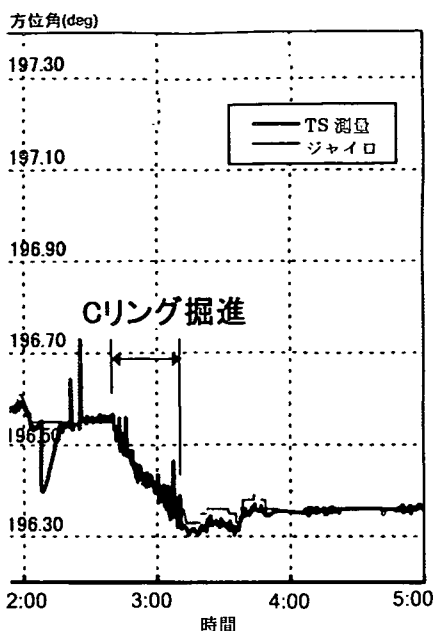


図 8 桜町トンネル C リング計測結果

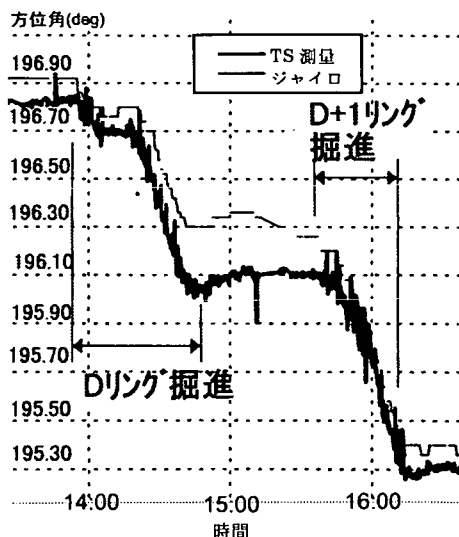


図 9 桜町トンネル D リング計測結果