

テールクリアランスを組み込んだシールド自動方向制御システム

Development of Automatic Shield Driving System based upon Tail Clearance Monitor

清水建設（株） 河野 重行
清水建設（株） 後藤 徹
清水建設（株） 阿部 昌明
清水建設（株） ○西川 泰司

By Shigeyuki Khouno, Toru Gotou, Ysaushi Nishikawa

地下開発の大深度化、大断面化、長大化に伴い、従来以上の困難な施工条件下での高精度で施工の高速化が求められており、施工の機械化・自動化は不可欠な技術となっている。当社においても、シールド機の自動方向制御システムを開発し、現場に導入してきた。

しかしながら従来の自動方向制御システムでは、あくまでシールドマシンを掘進計画線にすり付ける制御のみを行っている。従って、掘進計画線のみを考慮した自動掘進においては、テールクリアランス値が徐々に小さくなり、シールドマシンとセグメントにセリが生じる可能性があるため、従来の自動方向制御システムにシールドマシンのテールクリアランス値を取り込み計測管理するシステムを開発、実証し、その有効性を確認した。

【キーワード】 テールクリアランス、セグメント、掘進計画線、自動方向制御システム

1. はじめに

地下開発の大深度化、大断面化、長大化に伴い、従来以上の困難な施工条件下での高精度で施工の高速化が求められており、建設現場においては、厳しい施工管理が求められている。しかし、近年、熟練者の高齢化や若者の建設業離れなどに起因する労働力不足が深刻化しており、建設現場においては、従来以上の人員削減が予想され、現場施工管理の合理化が求められる。従って施工の機械化・自動化は不可欠な技術となっている。当社においても、シールド機の自動方向制御システムを開発し、現場に導入してきた。しかしながら従来の自動方向制御システムでは、あくまでシールドマシンを掘進計画線にすり付ける制御のみを行っている。従って、掘進計画線のみを考慮した自動掘進においては、テールクリアランス値が徐々に小さくなり、シールドマシンとセグメントにセリが生じる可能性があるため（図-1 参照）、従来の自動方向制御システムにシールドマシンのテールクリアランス値を取り込み計測管理する

必要に迫られた。また昨今、施工品質の確保のためテールクリアランスの計測値の制御への取り込みが試みられてきた。

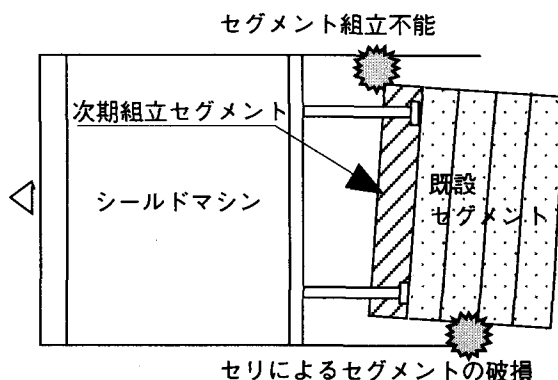


図-1 テールクリアランス概念図

特に、昨今施工例が増加している大断面シールドにおいては、従来のシールドに比較して掘進管理項目の重点が、シールド機を計画線にのせていくことと

共に、セグメントに対してマシンをまっすぐに掘進させることにある。この理由としては、シールド径に対するテールクリアランス値の割合が非常に小さいことがあげられ、せりの発生を防ぐためには必然的にテールクリアランスの管理が重要となるためである。また、セグメントが組立ロボット等によって非常に精度よく組み立てられ、断面も大きい為、セグメント全体の剛性が大きく、変位も小さいと考えられる為、セグメントさえ計画線にのせるような割り付けで組み立てれば所定の線形を確保できるからである。筆者らは、従来の掘進計画線を管理する従来のシールド自動方向制御システムに加え、テールクリアランスの管理、すなわちセグメントの品質を管理するシステムを開発し、現在シールド掘進中の数現場に導入している。

2. システムの目標

このシステムの開発にあたり、次の事項を目標とした。

- ① シンプルなシステム構成を目指し、なおかつ既存の計測器等を流用した。すなわち基本的には自動方向制御システムに機能を追加する形式であり、データ伝送経路を共有する。またテールクリアランス計も既存のものを使用し、計測誤差等はソフト的に対処する。
- ② 従来の掘進計画線に対するシールドマシンの位置情報からフィードバックし、テールクリアランス情報を組み込みセグメントの位置を演算し、セグメント管理機能を高める。
- ③ すべての制御を自動化するのではなく段階的に自動制御ができるようにする。制御モードが手動であっても常に画面にコンピューターの演算結果を表示することにより、オペレーターの判断を助ける。

3. システム概要

本システムは従来からの自動方向制御システムに機能を付加すものである（図-2 参照）。

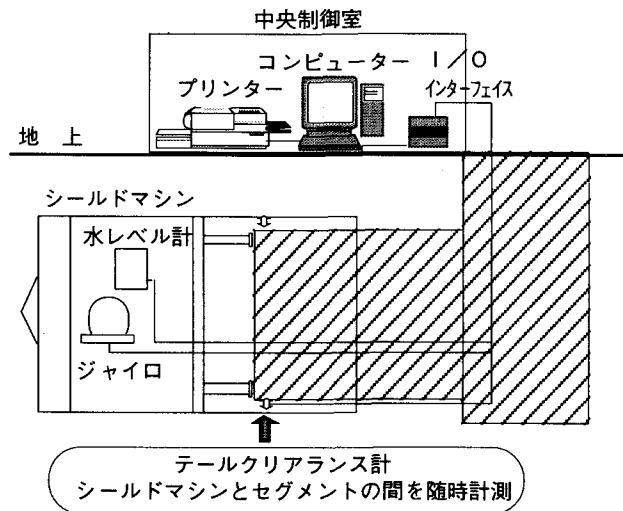


図-2 システム概要図

(1) 機器構成・概要

使用機器

- ① ワークステーション 1 台（位置計測用+自動方向制御用+テールクリアランス制御用）
- ② ジャイロコンパス、レベル計、テールクリアランス計等のセンサー類

(2) 演算手順

シールド機内のジャイロコンパス、レベルセンサー、ピッチング計、ローリング計等のセンサーからの情報を中央のワークステーションで受け取りシールド機の位置を 40 mm 掘進するごとに自動算出し、その位置情報から現在のシールド機の偏差量、偏差角等を基にシールド機を計画線にのせる為の最適なジャッキパターンを演算し、シールド機に出力し自動方向制御を行う。この手順と並行して、テールクリアランス計から随時テールクリアランス値を取り込み、次期組立セグメント先端部分及びシールド機テールエンド部分の 2 断面、計 8 箇所のテールクリアランス値を演算する（図-3 参照）。本システムはセグメント情報（セグメント種別、テーパー量、セグメント幅、セグメント径、Kセグメントの組立位置等）を、次期組立セグメントの情報として入力することによりあらゆる種類のセグメントに対応することができる。

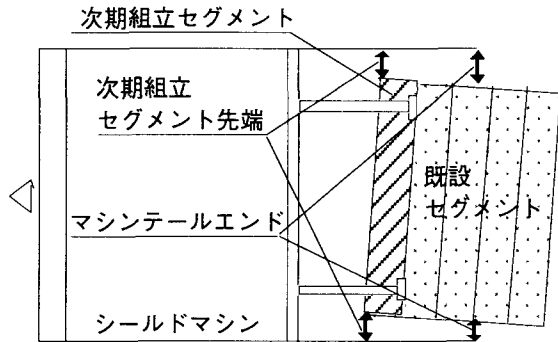


図-3 テールクリアランス演算位置

(3) テールクリアランスの予測方法

演算された8箇所のクリアランス値を一定距離ごとに横軸がストローク、縦軸がクリアランス値のグラフにプロットしていく。そのプロットされたデータをもとに一次回帰直線を引き、その増減の傾向を統計解析により掘削終了時におけるクリアランス値をリアルタイムに予測する。掘進終了ストローク時に設定された管理値を下回る結果であると予想された場合には、自動方向制御モードからテールクリアランス制御モードに切り替わる（図-4 参照）。

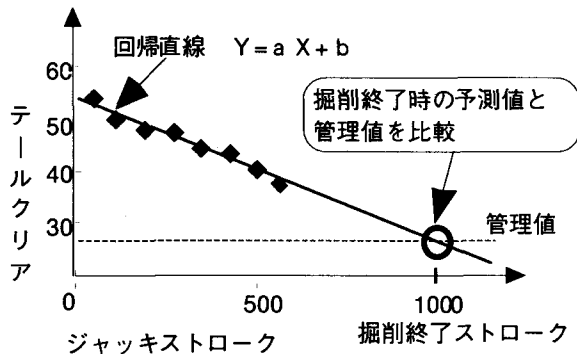


図-4 回帰直線による予測

その場合計画線を設定範囲内で無視し、テールクリアランスを確保できる方向にマシンを段階的に制御する。クリアランスの予測はそのまま継続し、予測クリアランス値が管理値を上回らない限り、クリアランスが厳しい方向にシールドマシンを制御し続ける。予測クリアランス値が回復した時点で再び自動方向制御モードに切り替わる（図-5 参照）。

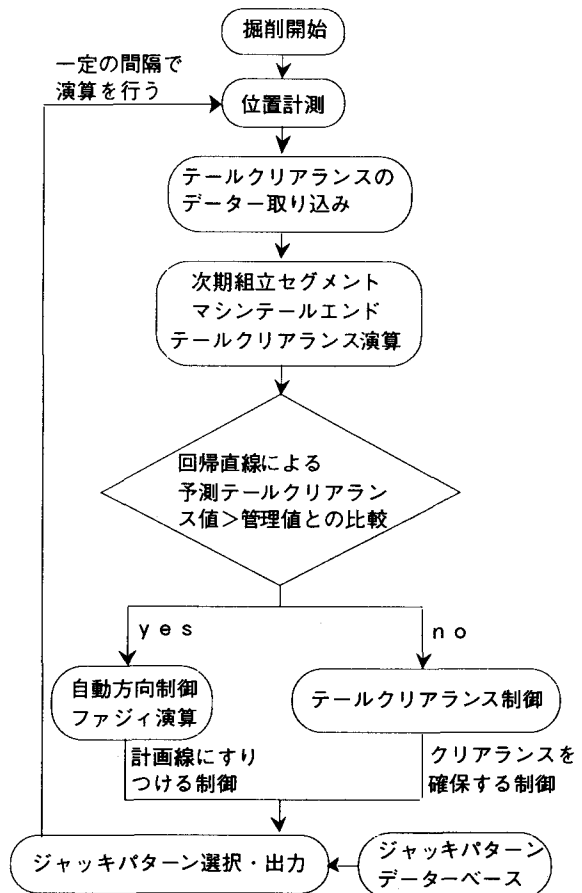


図-5 システムフロー

(4) セグメント割り付け予測

一般的にシールドマシンを計画線形に沿って掘進することに加えて、セグメントを計画線形に合わせて組み立てることは所定の品質を達成するために重要である。本システムではシールドマシンの位置情報とテールクリアランス値をもとにある時点のセグメントの位置を演算する。その位置情報を原点としてこれから組み立てるセグメント10リング程度の計画線に対する最適なセグメントの割り付けの演算を行い表示することができる。

写真1～3にこのシステムの代表的な画面を示す。

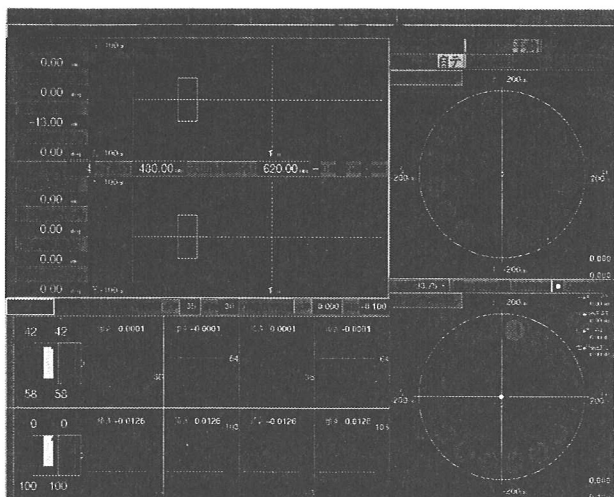


写真-1 標準画面

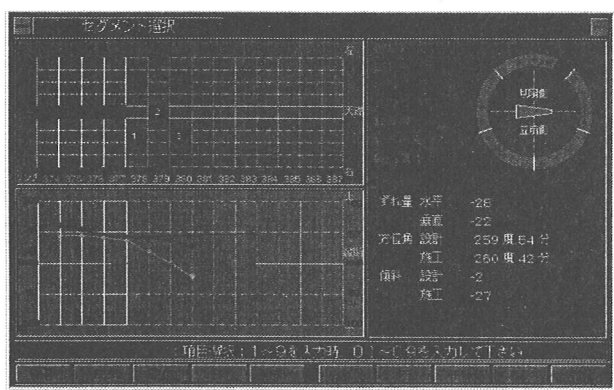


写真-2 セグメント情報入力画面

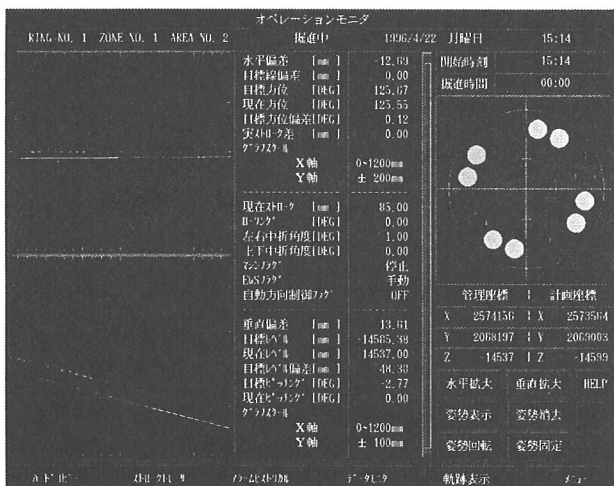


写真-3 シールドマシン位置計測画面

4. システムの効果、特徴

シールド機自動方向制御システムは、今まで数多

くの現場で採用されてきたが、テールクリアランスがきつくなった場合は手動モードに戻してクリアを測定しながら掘進し、せりを回復をするのが一般的であり、その際に計画線にすり付ける制御とクリアを確保するための制御との効率的な制御が難しかった。このシステムでは、テールクリアランスを自動計測・演算することによりその傾向が制御に反映されるため従来と比較してシールド機とセグメントにせりが発生し次のセグメントが組みにくくなったり、せりを回復する為に掘進スピードを落す等の施工上のロスを極力少なくできる。同様の理由により、シールド機とセグメントとのせりが発生したことによる、セグメントへの影響を低減できる。

5. 今後の展開

今後大断面シールド以外にも地下開発の大深度、長大化に伴い、下記の施工事例が増大する傾向にあり、ますます本システムが有効になるものと考えられる。

(1)急曲線施工

急曲線施工時はシールド機とセグメントとの相対角度が大きくなるために上下左右のテールクリアランス量のバランスが悪くなり易く、密な管理が必要となる。

(2)急速施工

急速施工によりシールド機長、セグメント長が増加し、なおかつ掘進スピードそのものも速い為、テールクリアランスの計測を頻繁に行い、管理する必要があると考えられる。

(3)大深度・長距離施工

テールクリアランスを常に一定に保ち掘進することは、テールブラシに過大な力をかけない為、この耐久力を上げることに寄与する。

6. 今後の展開

昨今、テールクリアランス管理に対する要求は高まり、今後このようなシステムの有効活用が望まれると思われる。筆者らは今後もこのシステムの更なる適正化を図り、生産性、品質の向上に貢献できるよう努力する次第である。