

38. シールド自動方向制御システム(FLEX)の開発

飛鳥建設(株)：滝本 幸夫・*岡 利博
西 明良

1. はじめに

近年シールド工事は、トンネルの大断面化・長距離化・近接施工等の厳しい条件下での施工技術が求められている。さらには技能労働者不足・苦渋作業からの作業員の解放といったニーズから、自動化・ロボット化の開発は不可欠なものとなっている。今回これらニーズに応えるために、熟練オペレータに代わって、経験の少ないオペレータでも容易にシールド機の方向制御がおこなえるシステム「FLEX」を開発した。本システムでは、自動測量装置によりシールド機の位置・姿勢を常に正確に把握し、当社独自の推進ジャッキ圧力制御方式を採用したことにより、円滑で高精度な姿勢制御が可能となった。本システムを適用した下水道幹線工事で良好な施工結果を得ることができた。

本報告では、システムの概要を紹介するとともに、掘進精度の向上に特に有効であった推進ジャッキの圧力制御によるシールド機姿勢制御結果について報告する。なお本システムは建設省による建設技術評価課題「シールドトンネル掘削機の姿勢制御システムの開発」に応募し、平成3年8月同技術評価を取得した。

2. シールド自動方向制御システムの概要

本システムは①自動測量システム②姿勢制御システム③路線管理システム④余掘り制御システムから構成されている。自動測量システムはレーザ光波式の自動測量装置により位置計測を行い、ジャイロコンパスと傾斜計により姿勢を把握する。姿勢制御システムはシールド機の挙動特性を把握し、計画線上を正確に掘進するために目標姿勢角を設定の後、シールド機が目標姿勢角となるように推進ジャッキを自動操作する。路線管理システムでは測量等の誤差により偏位・偏角が生じた場合、基本計画線に無理

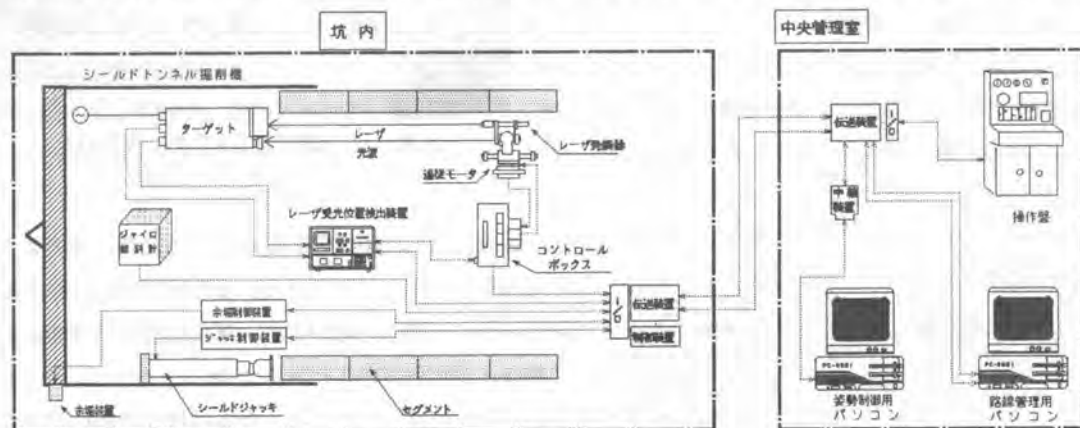


図-1 システム全体構成図

なくすりつける掘進計画線を設定する機能である。余掘り制御システムはシールド機が円滑に曲線施工を行なえるように自動的に余掘りを行う装置であり、余掘り量の過不足をファジィ理論により補正する機能を持っている。全体のシステム機器構成を図-1に示す。

3. 推進ジャッキ圧力制御

推進ジャッキの自動操作には、当社独自の圧力制御システムを採用している。本システムはオペレータによるジャッキパターン選択方式とは異なり、シールド推進ジャッキをグループ別に圧力制御するものである。

従来のシールド機の姿勢制御は、その姿勢を維持するのに最も適したと思われる推進ジャッキをオペレータが過去の経験から選択し、それらを電磁切替弁により作動させるか停止させるかによっていた。すなわち複数の推進ジャッキの内、姿勢制御に最も適したと思われる作動ジャッキを過去の掘進データなどを基に選択していた。この方法には以下のような問題点があった。①ジャッキパターンの変更に制約があるため自由な操作が行えない。②水平と鉛直方向とを別々に操作できないため独立した制御が行えない。③単位操作量が大きく不連続な値であるため、微量な操作が難しい。特に小口径のシールド機においては顕著である。④選択されるジャッキパターンが過去の掘進実績を基にしているため、土質変化などの外乱に弱い。これらジャッキパターンの選択にファジィ理論やAIを利用し、自動化を達成した報告例もある。

本システムは推進ジャッキ圧力を単純なフィードバック制御することで、シールド機の水平・鉛直方向の姿勢を合理的にかつ無段階に制御できる特長がある。

3-1 ジャッキ圧力制御方法

図-2に制御構成図を示す。この図によりジャッキ圧力制御方法の説明をする。

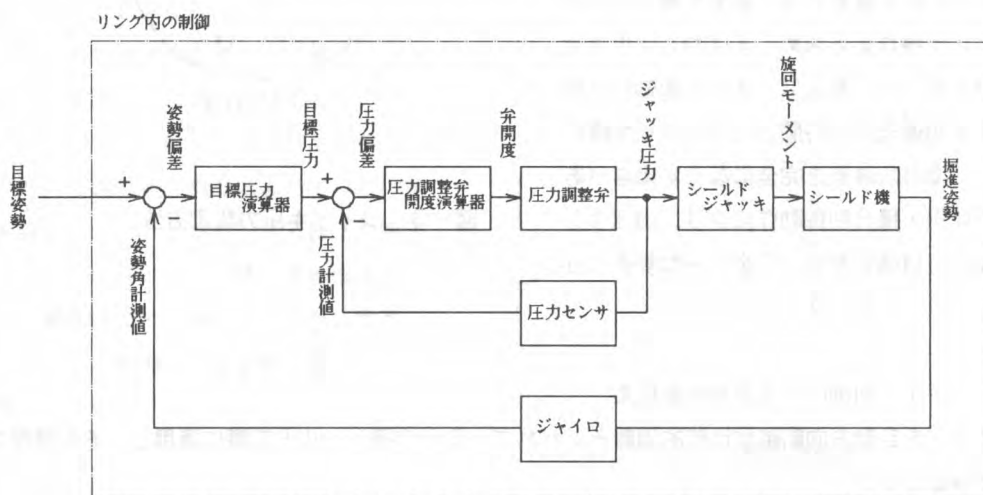


図-2 制御構成図

図-2の制御構成図は、ジャイロコンパスを使い姿勢角偏差をなくすフィードバック系と圧力センサを使い圧力偏差をなくすフィードバック系の2つのフィードバック系から構成されている。

- ①ジャイロコンパスによりシールド機の姿勢を検出し、目標姿勢角と比較し、姿勢角偏差を目標圧力演算器にデータを引き渡す。
- ②目標圧力演算器では、姿勢角偏差がなくなるような各ジャッキの目標圧力を演算する。
- ③目標圧力と圧力センサにより検出した圧力測定値とを比較し、その圧力偏差データを圧力調整弁開度演算器に引き渡す。
- ④圧力調整弁開度演算器では、圧力偏差が無くなるような圧力調整弁開度を演算し、各シールドジャッキの圧力を制御する事で圧力フィードバック系を形成する。
- ⑤シールド機は各シールドジャッキの圧力差により回転モーメントが発生し、それにより姿勢角偏差がなくなるような方向に姿勢が変化する。
- ⑥変化した姿勢を再びジャイロにより検出し、姿勢のフィードバック系形成する。
上記動作をほぼリアルタイムに繰り返す。

3-2 ジャッキ圧力の設定

ジャッキ圧力の設定は、図-3に示すように上下左右の4つに分割したグループ毎に行う。

各グループのジャッキ圧力は水平・鉛直方向のジャッキ操作量から演算され、上下左右の目標圧力が設定される。

水平・鉛直方向のジャッキ操作量は、シールド機の目標とする姿勢角からの偏差から求められるもので、比例制御動作と積分制御動作から計算される。比例制御動作は、姿勢角偏差に比例したジャッキ操作量を求め、すばやく収束させる働きがある。積分制御は、比例制御動作で残留した姿勢角偏差を、時間と共にジャッキ操作量を増し、姿勢角偏差を完全になくす働きがある。この比例・積分制御動作により、迅速なジャッキ操作で目標姿勢角に完全に一致するように制御を行うことができる。

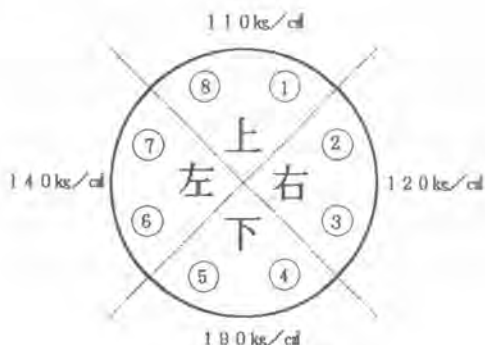


図-3 ジャッキ圧力設定方法

4. ジャッキ圧力制御による姿勢制御結果

本システムを自動方向制御が比較的困難といわれている小口径シールド工事に適用し、その精度などについて検証した。

実証工事の現場概要は以下の通りである。

①工事件名：印旛沼流域下水道豊砂幹線(その2)工事

②発注者：(財)千葉県都市公社

- ③工事期間：平成2年7月～平成2年12月
- ④工法：泥水加圧式シールド工法
- ⑤土質：砂質粘土(N値10～50)
- ⑥シールド外径：φ2,870mm
- ⑦施工延長：1,736m

4-1 制御特性

図-5は1リング掘削中における水平・鉛直方向の姿勢角偏差とジャッキ操作量の変化について示したものである。鉛直方向で掘進開始当初-0.06度有った姿勢角偏差が、掘進ストローク280mmでほぼ0度に修正され、掘進終了までその値を維持するように正確に制御が行われている。また、この時のジャッキ操作量は姿勢角偏差

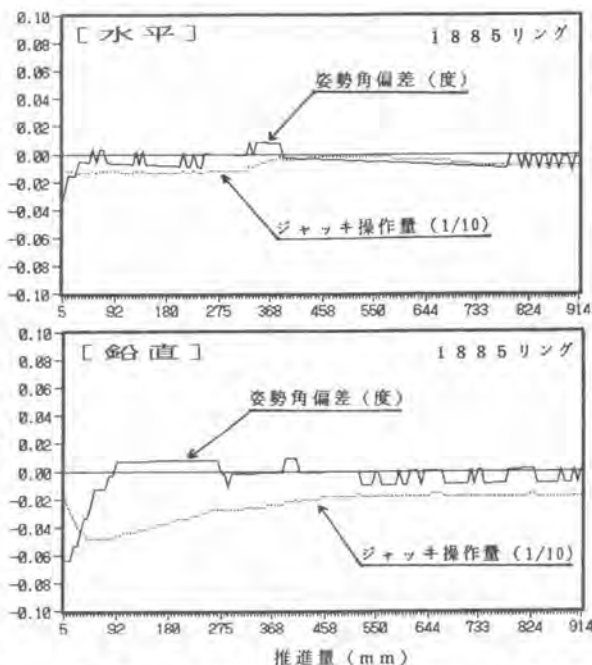


図-5 リング内の姿勢角偏差とジャッキ操作量

が大きいと姿勢を修正させる方向にその量を増加させ、修正されてくると増加の量が減少し、偏差0度になってからはその値を維持するようほぼ横ばいになっている。同様に水平方向も-0.03度あった偏差が50mmで修正され、掘進終了までほぼ維持されている。ここでジャッキ操作量は最大±1の値を取る無次元量であり、グラフ中では1/10スケールで示している。以上のことにより、的確で円滑なジャッキ制御が行われていることがわかる。

4-2 掘進結果

図-6に1690～1750リングの直線区間の自動掘進結果を示す。水平・鉛直とも±10mm以内の蛇行に収まった。1729リングではレーザ盛替え誤差より、水平方向に路線補正機能によるすりつけ路線を設定し、1750リングで修正を完了した。ここにおいても目標とする修正路線からの偏差は±10mm以内であり、推進ジャッキの圧力制御による姿勢制御の有効性を示している。

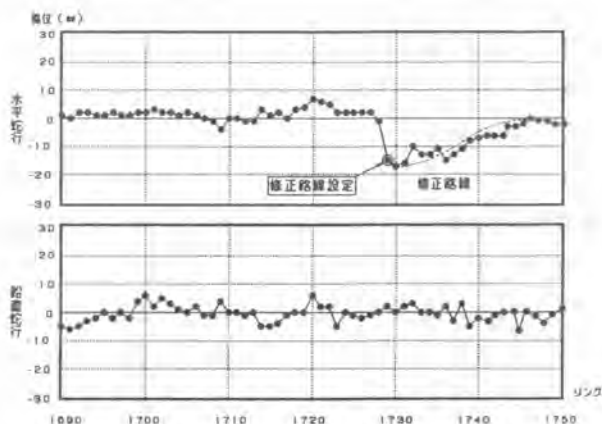


図-6 自動掘進軌跡

5. おわりに

推進ジャッキ圧力制御によるシールド機の姿勢制御が有効であることが実証できた。今後は他の地質および施工線形での適用を行い、完成度を高める所存である。