泥土圧シールドにおける自動掘進制御

錢高組　会員　○多島　秀司，齋藤　優，清水　友博，非会員　津賀　克巳

1.はじめに

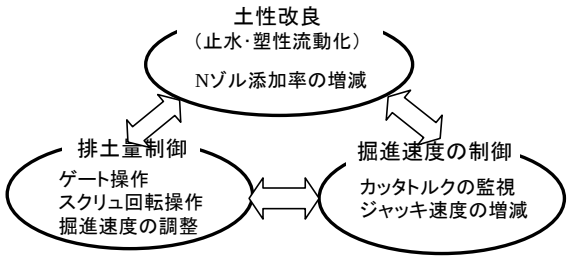
近年のシールド工事においては地下構造物の輻輳化，厳しい土質条件下での施工，急曲線・急勾配による基線の複雑化等により、施工が困難で高度な管理を要求される工事が増加している。そこで、労働環境の改善，掘進の安定化，掘進の包括的管理システムの構築を目的とし、自動掘進システムの開発を行った。

以下に掘進の安定化を目的とした泥土圧シールド自動掘進システムの実証実験を行ったので、その結果を報告する。

2.システムの概要と実証実験方法

2.1 制御の概念と特徴

従来多く見られた自動土圧制御システムの場合、専用の計測器や制御機器を設置する機械的制御により切羽の安定化を図るシステムが中心となってきた。その場合、計器の誤作動や制御操作の遅延等の問題や非常時の安全性が指摘されてきた。当システムはシリカシールド工法を併用することにより切羽の安定化を図るため､特別な計器類の設置を必要とせず、誤作動による影響が少ない。シリカシールド工法とは地盤件によって添加材 N ゾル（天然鉱物シリカを主成分）を使い分けることにより切羽の安定を図る工法である。N ゾルによる切羽安定機構の概念図を図－2.1 に示す。



図－2.1　切羽安定化概念図

また同時にマニュアル操作への切り替えが容易で、非常時の安全対策はマニュアル操作による危険回避が可能となっている。

2.2 制御方法

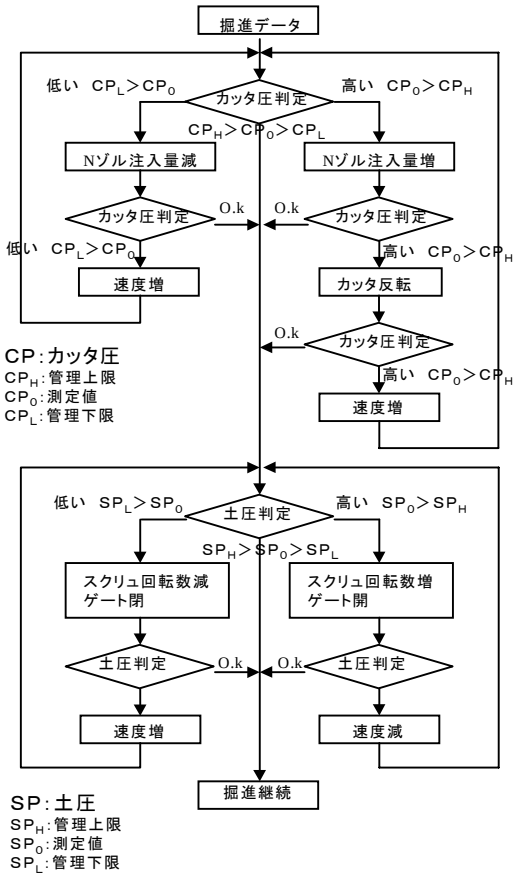
制御方式は地下水の豊富な地盤や、軟弱地盤等で切羽土圧が安定しない場合に用いる土圧制御型と、掘進が安定し速度を優先させて掘進する場合に用いるカッタトルク制御型の 2 方式を有する。

図－2.2 にメイン制御フローを示す。N ゾルによりカッタ圧の安定化を図り、土圧をスクリュ回転やゲート操作により、土圧を安定化させ掘進を持続する。この掘進持続のための操作としてゲート操作，スクリュ回転操作，掘進速度調整等により行うが、これらの操作は図－2.1 に示すように相互に影響を及ぼし合うため、掘進機の操作が煩雑となり、熟練工を要する操作でもある。特に軟弱地盤および地下水の豊富な地盤ではそう傾向はより顕著なものとなってきた。等システムはこれらの操作をフィードバック制御により自動で行うため、掘進の安定維持が得られやすい。

2.3 実証実験方法

(1) シールドマシン

シールド外径 2140mm で開口率 30%,リボンスクリュを採用し、ゲージカッタおよびローラビットを配置し 250mm 以上の巨礫が取り込める構造とした。

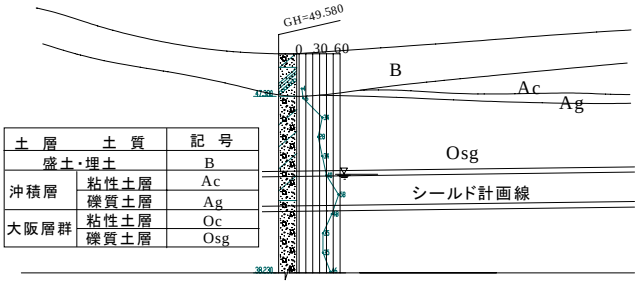


図－2.2　制御フロー

キーワード　土性改良　切羽安定化　シリカシールド工法
連絡先　東京都新宿区西新宿 3-7-1　**新宿パークタワー**11F　TEL(03)5323－3861　FAX(03)5323－3860

（2）土質条件

地質的には主として大阪層群および段丘体積層が分布しており、締まりの良い砂礫･砂混じり粘土の互層から形成されている。N 値は 50~60 の引き締まった地盤でφ30~70 のチャート質礫を多数有し、礫径 250mm の玉石も確認された。地下水位については GL－0.42～－0.62m となっている。図－2.3 に地質縦断図を示す。



図－2.3　地質縦断図

(3)導入方法

京都府内の下水道工事において実施した。初期掘進の際にモニタリングを行い表－2.2 に示す初期値を設定した。この値は操作指令を出す値を示し、例えば表－2.2 のカッタ圧力の場合、18MPa に達すると図－2.2 に示した制御指令を出す。

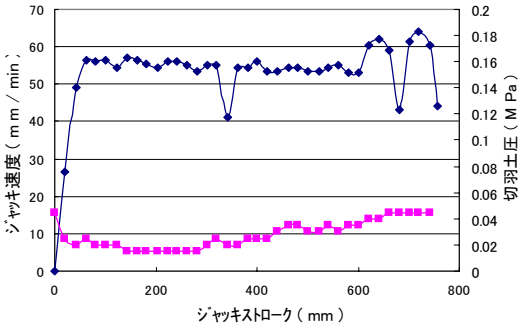
表－2.2　初期設定値

設定項目	設定値	定　格
カッタ圧力	18ＭＰａ	21ＭＰａ
ジャッキ圧力	29ＭＰａ	29ＭＰａ
切羽土圧	1ＭＰａ	2ＭＰａ
スクリュウ回転数	10rpm	10rpm
ジャッキ速度	58mm/min	56mm/min 全数

次節に土被り 7.4m，改良土のスランプ 11.5cm，N 値 50 の地盤で土圧制御を自動で行った結果を示す。フィードバック機構に関与する切羽土圧，添加材注入率，カッタトルク，ジャッキ速度等が、掘進に応じて遅滞なく変化するかに着目し、システムの安定性の検証を行った。

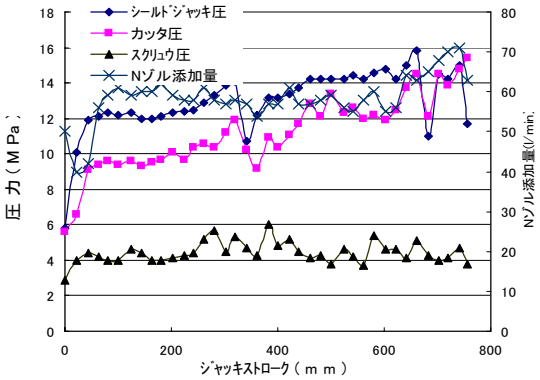
3.結果と考察

図－3.1 にカッタトルク制御型におけるジャッキストロークおよび切羽土圧と掘進速度との関係を示す。500mm までは 52～58mm で推移している。一方図－3.2 に示すようにカッタ圧力は 9～14ＭＰａ で推移し、カッタ圧力による速度制限値まで達していない。したがってこの領域の速度安定は表－2.2 に示した速度上限に達したことによるものである。600mm および 700m 付近で速度の上昇が見られるが、この上昇は方向制御のためにジャッキ本数を減らしたことに起因し、直後に降下していることから、速度降下指令に応じた結果となっている。



図－3.1　ジャッキ速度

図－3.1 に示す土圧は土圧制限値（0.05ＭＰａ）まで達していないため、スクリュウ回転増，ゲート開，速度減等、土圧低下のための制御は働かず、上昇傾向が見られた。添加材注入量については 700mm 以降で速度上昇に伴い増加しているため、速度変化に対応していることが確認できる。



図－3.2　計測結果

4.おわりに

今回の実施では地盤条件が良好で、約 60mm/min の高速条件下での実施となったが、土圧，カッタトルク，添加材注入量などの主要なパラメータは制御のための入力値に準じた変化をしている。今回の実証実験により、得られた知見を以下にまとめる。

(1)60mm での高速条件下で対応可能であったことから、フィードバックの制御フローは妥当なもので、また、高速化にも対応可能である。

(2)運転操作の大幅な簡易化が可能になった。

今回の実施で、プログラムのバグや画面設計上の不備など基本的な問題は解消され、高速条件下でも可能であることが確認できた。今後は軟弱地盤などに採用し、スクリュウ回転数やゲート操作等、土圧安定化の制御性を確認することが課題といえる。

[**参考文献**]　**齋藤　優他，泥土圧シールド工法における掘削礫質土の土性改良，土木学会論文集VI，**1998.3.