

13. 大断面シールドにおける掘進管理について

前田建設工業(株)：星野 晃次・北川 滋樹・*中川 富夫

1. まえがき

この論文は、大断面泥水式シールドにおける掘進管理の方法として“墨田8号線隅田川工区”の計画及び実績を紹介するものである。

“墨田8号線隅田川工区”は、有楽町線の延伸工事に伴い新富町～月島間(隅田川横断)を結ぶ外径9.8Mの複線トンネルを築造するもので、路線延長930Mと中10Mの泥水式シールドで施工するものである。

平面線形は、佃大橋基礎を避ける為、両駅間と中間換気室を半径353M、503Mの背向曲線で結んでおり、縦断線形は、隅田川護岸基礎との隙間と河底部の土被りを確保する為、最急勾配の85%となっている。

路線環境は、事務所、商店等の立ち並ぶ密集地であり、民地ビル基礎、隅田川護岸、佃大橋基礎、芝浦幹線下水道、補助153号ボックスカルバート等に接近しており、これ等重き都市構造物に影響を与える事なく工事を完成させなければならない。

構成地層は、上部に沖積世の有楽町層が挟横し、下部に洪積世の東京層、東京礫層さらに第三紀世の上総層が分布して起伏に富んだ複雑な地形をなしている。

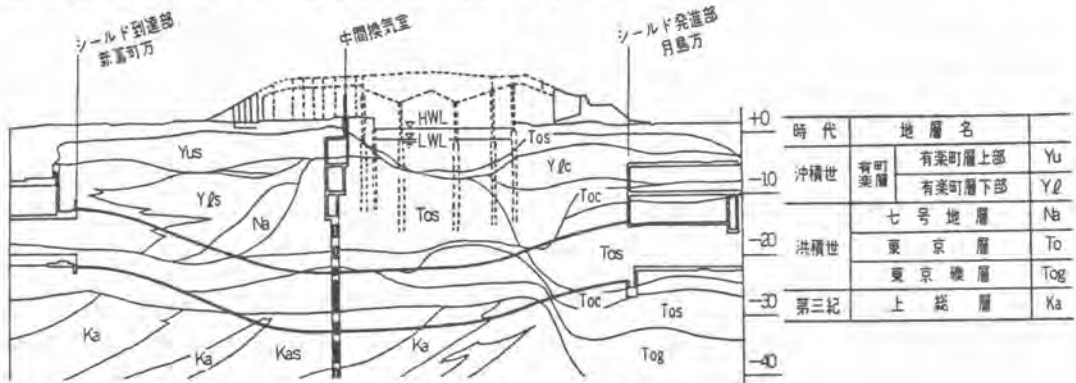


図-1 地質縦断面図



図-2 路線平面図

2. シールド機械

シールド機械の設計にあたり、工区全般に亘って存在する重要都市施設物に支障のない様に切羽の安定をばかり、高い地下水及び複雑な地質条件下での安定した掘削を主眼とし更に、施工延長の約60%が曲線区間の為、線形精度を確保する上でのステアリング性についても十分考慮した。

2-1. 本体仕様

シールド機械は、外径 $D=10\text{M}$ 、機長 $L=8.99\text{M}$ でありステアリング比(L/D)は0.899となる。装備推力は、 $P=8.250\text{T}$ であり切羽単位面積当りの推力(P/A)は 105T/M^2 となり、装備トルクは、常用 $T=1,051\text{T}\cdot\text{M}$ 、最大 $T=1,577\text{T}\cdot\text{M}$ であり α 値(T/D^3)は、 $1.05\sim 1.58$ となる。

2-2. 特記仕様

本機は、カッター駆動方式を電動駆動とし洪積砂礫、粘土層及び軟弱粘性土層の掘削を考慮して2段交連型とした。又、カッタービットについても耐磨耗性、耐じん性及び切削性を考慮し交換可能な構造とした。土砂シールドについては、本機の計画泥圧(5.7kgf/cm^2)に耐えられる耐高圧土砂シールド(ウレタン・タリツアシールド)を装備した。

更に、切羽の糸掘量及び崩壊状況の調査装置として土圧計調査装置をディスク外周面に装備し、全周任意点での調査をタイムラグなしに測定可能な構造とした。

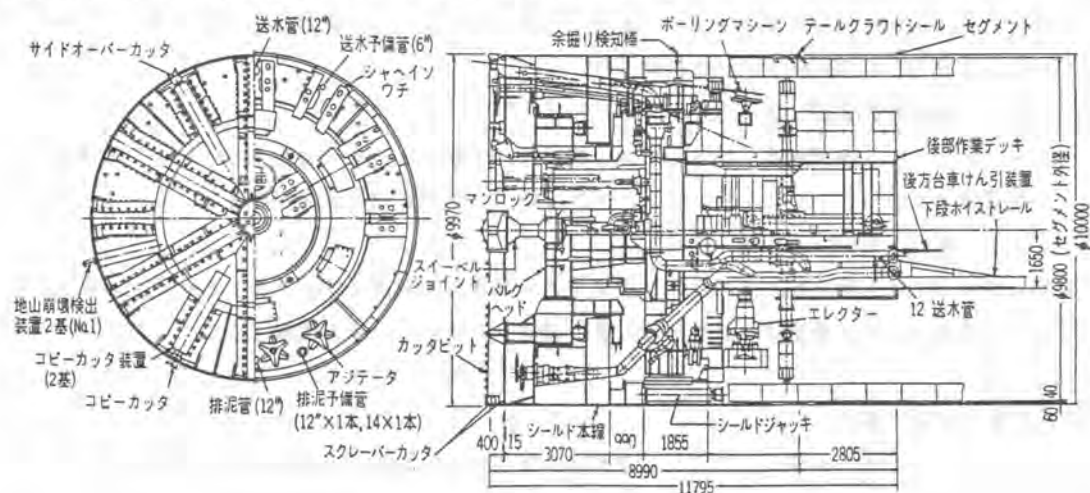


図-3 径10.0mの泥水式シールド機

3. 掘削管理

当工区の施工管理は、シールド掘削に伴う地表面の変状防止とトンネルの線形確保を目標にして、掘削管理、泥水管理、裏込め注入管理、線形管理を実施した。

3-1. 泥水管理

泥水シールドは、基本的に掘削土を安定液として使用する為掘削対象土の粘土組成により泥水の物性性状が大きく異なる。したがって、シールド掘削前に工区内で粘土を採取し室内試験(①レオロジー特性試験、②透過試験、③安定性試験、④土粒子保持能試験、⑤モールド濾過試験)を実施し、基本的に泥水性状を明らかにするとともに掘削時の泥水管理基準値を決定した。

3-2. 掘削管理

掘削管理の中心となるもので、掘削に伴う計測値が各センサーを通して施工情報として中央管理室に送られ、コンピュータのリアルタイム処理により管理グラフとして編集、表示される。

管理項目は、以下の4項目で、各々のグラフは任意に選択でき各項目をチェックしながら掘削が進められ、これ等管理グラフにより、シールドの施工状況が迅速に且つ的確に判断出来るシステムとした。



図-4 掘削管理システム構成図

3-2-1. 掘削土量管理 (取込み量, 送泥量)

取込み土量 (掘削乾砂量)、送泥量は、電磁流量計による送排泥流量と差圧密度計による送排泥密度から得られる値を積算して求められるが、これ等の値は過去10リングのデータを統計処理した平均値と標準偏差より求められた管理グラフ上で、随時掘削条件の適合性がチェックされる。

3-2-2. 泥水輸送管理 (泥水圧, 密度, 流量)

取込み土量、送泥量に直接関係する泥水密度、流量と切羽泥水圧の推移を表わすグラフで、ポンプ負荷測定値と合わせて泥水輸送状況を判断する。

3-2-3. 機械制御管理 (掘削速度, 推力, トルク等)

ダミージャッキより掘削速度、ストロークを検出し、稼働ジャッキ、油圧よりジャッキ総推力及びカッター電流値よりカッタートルクを算出し、これ等の値より機械的な状況を判断する。

3-2-4. 裏込め管理 (注入量, 注入圧)

裏込め注入は、注入率と最大注入圧力を設定する自動裏込め装置を用いたが、この裏込め注入フラットよりの流量、圧力の履歴より裏込め注入量が適当であるかどうかを判断する。

3-3. 裏込め注入管理

使用材料については、地質圧力によって注入材の管理特性を考慮して配合設計を行った。

材料の基本的な考え方は、①早期強度材 ($\sigma_{1-3H} = 1 \sim 2 \text{ kg/cm}^2$)、②早期ゲル材 (ゲルタイム = 5~10秒)、③材料強度と止水性 ($\sigma_{28} \geq 30 \text{ kg/cm}^2$) を目標値として強度発現曲線を定め決定した。

注入管理は、圧力管理を基本として注入量を管理し、実注注入量と前線探査による実空隙量を対比して予定注入量を定め、単リング、マスリング、系掘探査量との照会を行い注入の終圧基準と設けて管理した。

4. 施工実績

泥水管理においては、切羽泥水圧を基本的に間隙水圧 + 0.4~0.8 kg/cm^2 としたが、砂層及び礫層区間における泥水に加え礫閉塞、障害物切断等のトラブルにより比重粘性低下を示し、破運搬機能外なくなり泥水の入換、作泥、CMC添加等が必要となった。

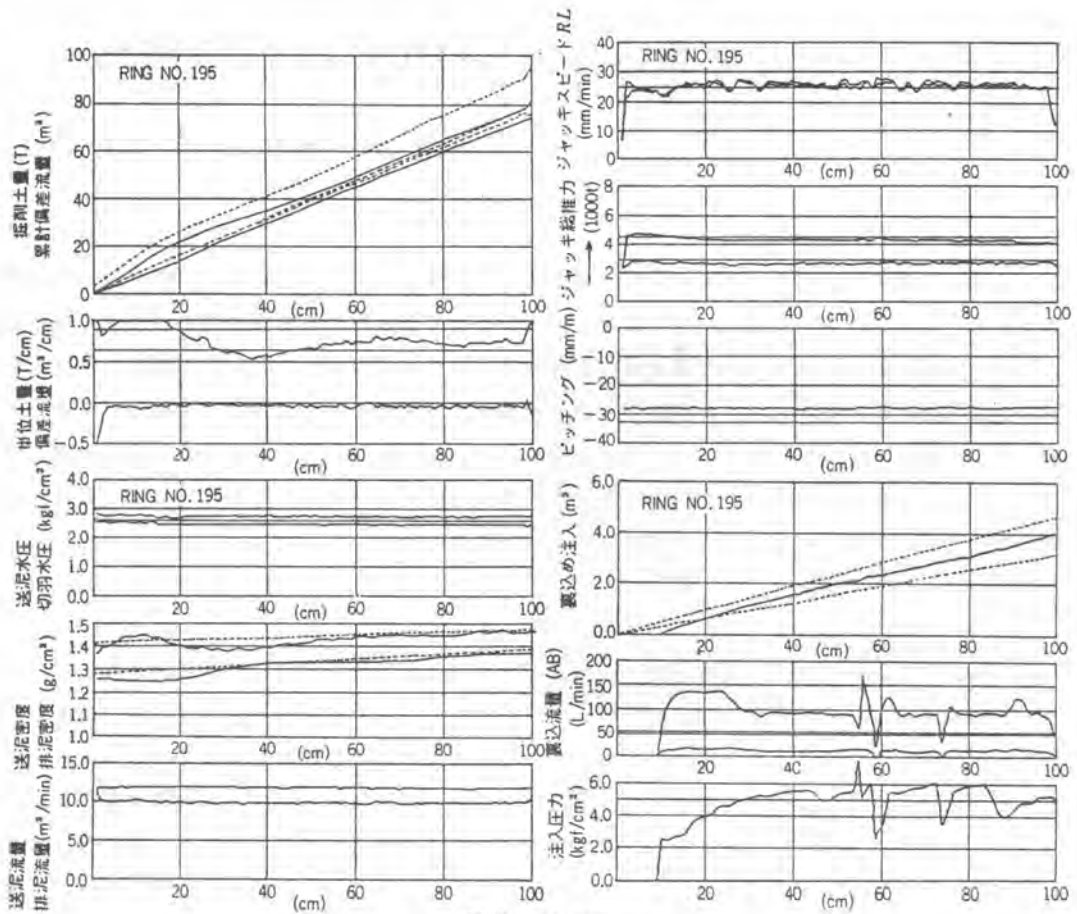


図-5 掘削管理

掘削管理においては、掘削工量は土質試験による推定工量とほぼ一致していたが、変動幅は計測区間により異なる施工条件（掘削時間、閉塞回数等）によるものと考えられ、礫層、洪積粘土層の場合は要注意となる。又送泥量は、砂層で 5 M³/ring、礫層で 20 M³/ring 程度であった。

ジャッキ総推力は、3,000~4,000 T でカットトルクは、250~350 T-M であり、これ等の値は安定しており地質及び距離による影響（ビット欠損、摩耗等）は見られなかった。

裏込め注入管理においては、終圧設定値で 4.5~5.0 kg/cm² であったが沖積シルト層で 3.0~4.0 kg/cm² と低い値を示し、注入量は、設計値に対して砂層で 130%、礫層で 140%、沖積層で 190% であり、糸振り調査結果と比較すると夫々、110%、120%、160% となった。

5. おわりに

当初の予測より大口径（30 cm 程度）の礫がほぼ全線に亘って出現し、疎閉塞、泥水性状劣化等に悩まされたことから掘進時の規制、管理基準を守り重要施設物、地表面への変状もなく無事に工事を終了出来た事は、データ管理と施工へのフィードバックが的確であったものと考えられ、これによって得られた経験とデータが今後の泥水シールドの施工に於いても寄与出来ればと考える次第である。