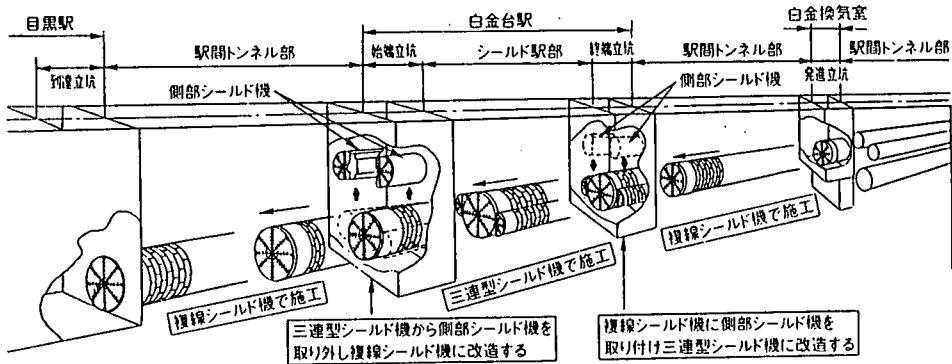


2. 泥水着脱式三連型駅シールド工法概要

2.1. 工法概要

本工法の概要は次の通りである。(図－ 2 参照)



図－ 2 着脱式泥水三連型駅シールド工法

- ①白金換気室から複線（円形）シールド機で掘進する。
- ②白金台終端立坑（三連型発進立坑）にシールド機を引き出して、ホーム部となる側部シールド機の取付改造を行う。
- ③三連型シールド機にて駅部を掘進する。
- ④白金台始端立坑（三連型到達立坑）にシールド機を引き出して、側部シールド機の取り外し改造を行う。
- ⑤複線シールド機で目黒駅まで掘進する。

以上、総延長 1.5 5 km を一台のシールド機で掘進するものである。

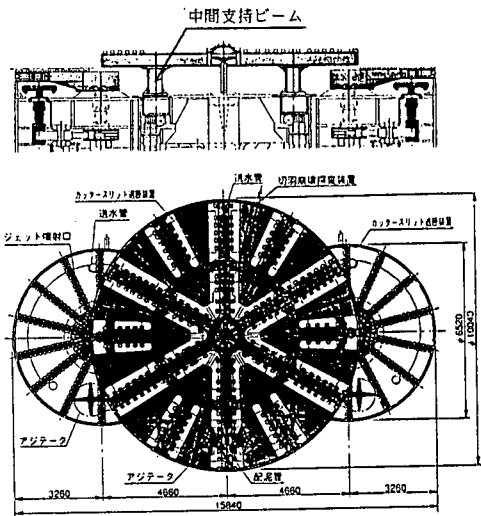
2.2. シールド機開発の概要

側部カッター揺動掘削方式の採用：

機械的制約からの問題点として、中央部カッターと側部カッターが相互干渉することがあげられる。中央部シールド機は外径φ 1 0.0 4 mと大断面であり、また掘進総延長 1.5 5 km と長距離施工であることから、カッターの支持力及び耐久性を考慮するとセンターシャフト方式では無理があるため、中間支持方式を採用した。

側部カッターは、中間支持ビームと干渉するため半円形型の揺動方式とし、支持構造はセンターシャフト方式とした。またカッターフェイスは開口率約 6 0 % のスポーク構造とした。その理由としては、揺動掘削といった特殊な掘削方式であるため粘性土の付着による切削トルクの上昇及び、側部チャンバ内の土砂滞留などが懸念されたこと、また側部シールド部分が掘削する地層は、洪積粘性土の安定した地山であることなどである。シールド機構造図を図－ 3 に示す。

さらに、揺動掘削方式は過去にも例が無いことより、事前に模型及び実機による実証実験を行ない必要装備トルク等の確認を行った。



図－ 3 三連型駅シールド機構造図

3. 施工上の問題点と対策及び実施結果

3.1. 発進部特殊エントランス

問題点：

1. 多円形シールド機の場合、円と円の交差部がくびれた形状となり、その部分のエントランスパッキンは、自身の張力によりマシンと隙間をあける方向に力が働き、止水効果が期待できない。
2. またくびれた部分のマシンテール板厚は150mmであり、一般部の板厚80mm対し70mm厚いことより、テール通過の瞬間パッキンが非常に不安定な状態となり、出水の危険性がある。

対策：

1. くびれた部分のパッキン背面にゴムチューブを設置し、エアーにて加圧し膨らませることにより、背面からパッキンを押しつけ、マシンと密着させ止水性を向上させる。
2. マシンテールがエントランスパッキンを通過する直前に、抗口止水鉄板を取付けて、その空隙に止水材を填充する事により完全止水する。

以上の対策案を、模型による実証実験にて効果確認したところ、次の結果を得た。

- ① ゴムチューブのエアー圧力が泥水圧以下となると漏水する。エアー圧と泥水圧の差圧が 0.10 N/mm^2 未満の範囲では、若干の漏水が見られる。差圧が 0.10 N/mm^2 以上となると、漏水は見られない。
- ② マシンの僅かな段差部からの漏水はゴムパッキンだけでは止まらない。段差のあるところはマシン本体にスポンジを貼ることにより止水できた。
- ③ 実験で用いたゴムチューブの大気圧中での耐圧性能は 0.20 N/mm^2 であった。そこでゴムチューブを2重に強化して試験を行ったところ耐圧性能は 0.65 N/mm^2 となった。

結果：

実施工においては、①安全性を考慮してエントランスパッキンはエアーチューブ付きの2段構造とした。（図-4参照）②マシン外面に段差がある部分はスポンジシートを張り付け養生を行った。更にエントランスパッキンのマシン側にもスポンジをはり、止水性能を高めた。③ゴムチューブは 0.65 N/mm^2 の耐圧性能を確認したうえで、さらに自動圧抜き弁を設置し 0.35 N/mm^2 以上の圧力がかからないよう設定した。

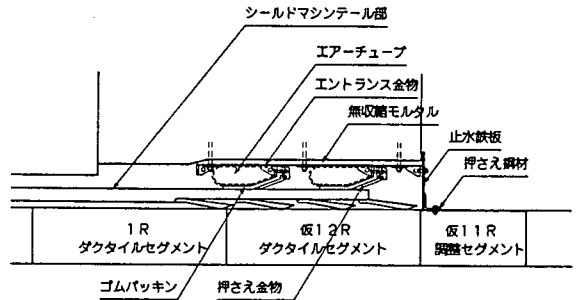


図-4 特殊エントランス構造図

ゴムチューブのエアー圧力の管理値は設定泥水圧 $+0.05\sim0.10\text{ N/mm}^2$ とした。設定理由としては、過剰圧によるバーストの危険性を無くす事、押付け力過剰により養生スポンジが剥がれる事が懸念された事、またスポンジを併用することにより泥水圧 $+0.05\sim0.10\text{ N/mm}^2$ でも十分止水ができた事による。計画泥水圧はマシン中心高さで 0.15 N/mm^2 であったため、管理エアー圧は上側チューブ（SL+4m）にて $0.16\sim0.21\text{ N/mm}^2$ 、下側チューブ（SL-4m）にて $0.24\sim0.29\text{ N/mm}^2$ とした。

以上の設定のもとに、中央制御室内の調圧弁にて、8箇所のゴムチューブのエアー圧力を集中制御することにより、ほとんど漏水のない状態で 0.15 N/mm^2 の泥水圧を保持した状態で発進することができた。

また止水鉄板取付においては、調整セグメント側に予めナットを仕込んでおくことにより、仮に出水があった場合にも溶接を使わず取付可能とするとともに、作業時間も短縮することができた。止水鉄板取付完了後、直ちに裏込め注入による填充を行い完全止水を行った。

3.2. 泥水圧管理

問題点：

掘削断面の直上部にNTTとう道（ $\phi 3,700\text{ mm}$ ）が平行に埋設されており、事前に計器を設置し変状

の自動計測管理をおこなった。そのほかにも多数の地下埋設物が輻輳しているため、沈下を最小限に抑えなければならない。

沈下を発生させる要因として、切羽泥水圧不足あるいは泥水圧の変動による切羽前面地山のゆるみ及び取込み過多が考えられるため、地山にあった最適な管理泥水圧を設定し、変動の無いよう維持していく必要がある。

対策：

シールドマシンにより掘削された地山は開放面に向かって変形をおこそうとする。この変形を抑える為に開放力に対し泥水圧で抵抗する必要があるが、泥水圧設定法としての明確な基準が確立されていないのが現状である。今回の泥水圧の設定にあたっては、切羽における土圧・水圧・予備圧を考慮し上限と下限を設定した。土圧の算定として、下限はゆるみ土圧による主動土圧、上限は静止土圧とした。水圧は切羽面あるいはその直上部の被圧水頭を切羽の間隙水圧と算定した。予備圧としては、切羽において泥膜を形成するため、土圧及び地下水圧より高い圧力で泥水を地山に浸透させ、間隙を目詰まりさせる必要があること、また機械的要因による圧力変動があることを考慮し 0.02 N/mm^2 の圧力を加算した。

以上のことより、計画泥水圧下限値は、ゆるみ土圧による主動土圧+水圧+ 0.02 N/mm^2 、上限値は静止土圧+水圧+ 0.02 N/mm^2 と設定した。

結果：

土質試験結果より求められた管理泥水圧は、シールド中心位置において、上限値 0.34 N/mm^2 、下限値 0.13 N/mm^2 であった。NTTとう道の変状を監視しながら段階的に泥水圧を上げていき、若干の逸泥（掘削偏差流量が、 $\pm 0 \sim -0.5\text{ m}^3/\text{min}$ の間で変動）状態となった 0.25 N/mm^2 で維持し掘進した結果、切羽の安定が保持され、周辺地盤への影響は無かった。（図－5参照）逸泥気味にて管理したのは、圧力変動時も安全側であること、そして泥水を地山に浸透させるためである。

3.3. 一体型チャンバ土砂回収方法

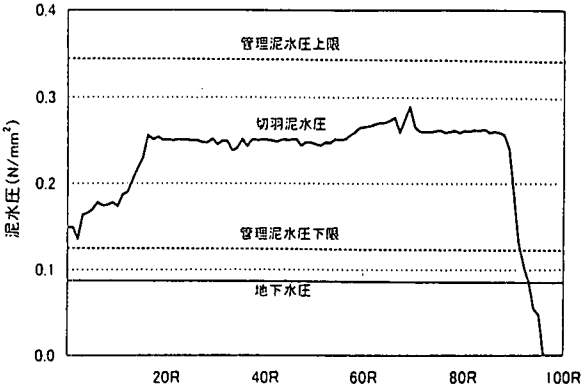
問題点：

独立チャンバ方式であれば従来工法の延長として掘削管理できることや、切羽の地質に応じた管理が行える反面、カッター数の増加に伴い操作すべき箇所が増え制御が困難となるうえ、切羽前面で泥水がカッター間を移動する回り込みが複雑に起こり、輸送システムの自動コントロールが困難になるため、一体型チャンバの方が、より安定した管理が可能である。しかし一体型チャンバとした場合、側部掘削土砂の中央移動方法及び回収方法が確立されていない。

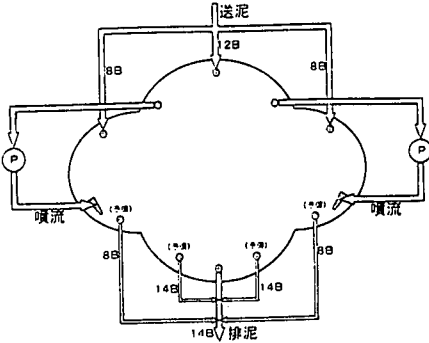
対策：

実機の1/6の模型を製作し、以下の項目について検証した。

- ①チャンバ内泥水送泥・環流実験：チャンバ内泥水が滞留せず安定した状態になる送泥・環流状態を明らかにするため、管口位置、力所数及び流量をそれぞれ変化させ効果を確認した。
- ②掘削土砂回収実験：1系頭からの排泥において、効率的な土砂の回収を行うための環流・噴流及び



図－5 切羽泥水圧



図－6 一体型チャンバ流体ライン図

アジテータの効果を明らかにするため、それぞれの位置、方向、回転数、流量を変化させ確認した。

結果：

実験結果より以下の設定とした。(図－ 6参照)

- ①送泥口は3ヶ所とし、送泥流量比は側部：中央：側部＝1：2：1とした。
- ②側部から中央部へ向けての噴流流量は $6\text{ m}^3/\text{min}$ とした。
- ③6台のアジテータを装備し、側部の2台は先端をスクレーパ型にし攪拌効果をたかめた。アジテータの回転数は96rpmとした。回転は下方が中央に向かう方向とした。
- ④環流口は予備排泥管として使用した。

以上の設定の元に掘進を行った結果、カッタートルク上昇及びシールド総推力上昇などの傾向は全く無かった。到達後チャンバ内を確認したところ粘性土の付着等も見られなかった。また掘削乾差量もほぼ 80 m^3 で一定していたこと等より、チャンバ内に掘削土砂が堆積せず掘進が行われたといえる。掘削土砂量及び乾差量の推移グラフを図－ 7に示す。

3.4. 覆工

問題点：

セグメントは15個のピースと2本の柱で構成される。(図－ 8参照)組立に当たり、側部の作業性及び中柱の挿入方法が問題となった。

- イ. 側部シールド機側の内空が少ないため、側部に旋回式エレクターを設置する事が困難である。またセグメントの供給も側部から行うのは困難である。
- ロ. セグメント組立時の作業スペースが限られており、従来のスライドデッキ等では全断面の作業をカバーできない。
- ハ. 中柱建て込み時、上下のカモメセグメント間に必要なクリアランスが確保されず、挿入ができなくなる可能性が考えられる。

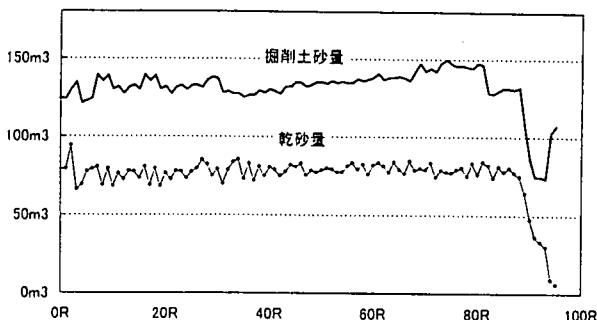
対策：

- イ. 中央部に2本の多関節アームを装備したエレクターを開発、採用した。
- ロ. 中央部から側部まで作業全域移動可能の高所作業台(ムーブバスケット)を採用した。また近接するエレクターや中柱と接触の無いようインターロック及びタッチセンサを装備した。
- ハ. カモメセグメント落下防止装置及びエレクターアームによるセグメント押上装置を装備した。

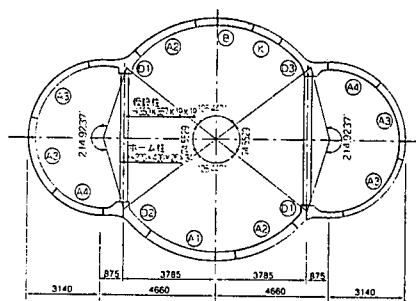
結果：

多関節エレクターとムーブバスケットの使用により、セグメントの供給から組立及びボルト締結までの作業の設備、足場が一箇所に集約できた。また高所においてもバスケット内の作業であり、安全性は極めて良好であったといえるが、反面ボルトの再締め作業等において同時に複数箇所の施工ができない、また掘進作業時は中柱が障害となりムーブバスケットの使用ができない等の問題もあった。

中柱の建て込みに関しては、上部のクリアランスが少なくなると、現状の装置だけでは十分にカモメセグメントを押し上げることができず、挿入に時間を要したこともあった。そのため上部クリアランスを確保しながら設計線形を維持するようマシンの姿勢制御に細心の注意をはらった。



図－ 7 掘削土砂量及び乾差量



図－ 8 駅シールドセグメント配置図

3.5. シールド機引き出し

問題点：

シールド機引き出し側のパッキンは、マシンの移動と共に反転する方向に引っ張られるため、通常の形状のパッキンでは止水できない。そして到達後でなければマシンの正確な位置が確定されないため、マシン本体に合わせての設置となる。マシンには多数の突起がある。(同時注入管4ヶ所、自動給脂管12カ所、側部シールドスキンプレート溶接部4カ所 図-9参照)

また到達位置での地層は下部がレキ層で、被圧水圧はマシン下端で 1.4 N/mm^2 あり、僅かな漏水が土砂流出につながる恐れがある。

対策：

今回は、マシンに多数の突起があること、また発進時のように事前にすり付け養生ができないこと等より、追従性を重視し、スポンジをパッキンとして使用した。またスポンジを土木養生シートで包み補強し、引きちぎれの防止とした。

またスポンジ全体の飛び出し防止として、鉄板によるストッパーを前面に取り付けた。ストッパーはシールド到達時の鋼製隔壁の鋼材をマシンより50mmの離隔で切断し、さらに3.2mmの薄鉄板を内側に取付けマシンに追従するようにした。(図-10参照)

さらに出水時に備え抗口まわりに裏込め注入用の配管を2mピッチで設置した。

結果：

万全の監視体制のもとシールド機の引き出しを行ったところ、多少の漏水は見られたが、直ちに

漏水位置に裏込め注入を填充する事により、止水することができた。注入口を数多く設置しておくこと、十分な注入体制を整えることにより、スポンジによるパッキンは効果を発揮するものといえる。

4. おわりに

複線シールドより改造をおえた三連型駅シールド機は平成9年9月末に発進し、同年12月末に引き出し完了した。その間の進捗は掘進日あたり平均で2R(2.4m)/日、最大で3R(3.6m)/日であった。

着脱式泥水三連型駅シールドの施工に当たり、そのチャンパ内の泥水の流れ及び土砂の動きを実験により確認したことにより、通常の泥水シールドと同様の掘進管理が行なうことができた。また発進部のエントランスパッキンの実験および各実験にもとずき仕様及び管理値を定めたことにより、順調に掘進を完了させることができたといえる。

今後の課題として、セグメント組立時の中柱挿入作業をスムーズにする対策をとることにより、作業時間が短縮され、組立精度をさらに向上させることが可能と考える。また、到達引き出し部のパッキンを耐圧実験等により実証すること、及びシールドマシンの外面突起を極力少なくする検討を行うことにより、引き出し作業の安全性が向上し、工期的にも経済的にも有利な引き出し工法が確立されることが考えられる。

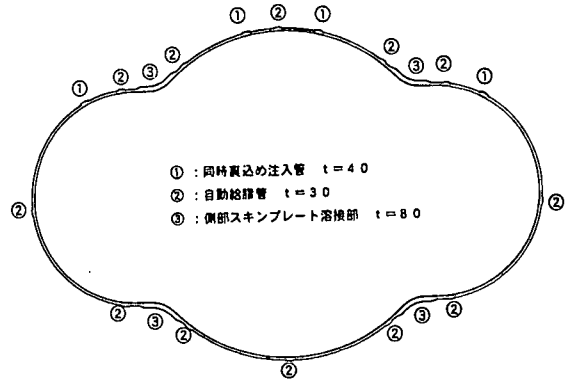


図-9 駅シールド機外面突起形状図

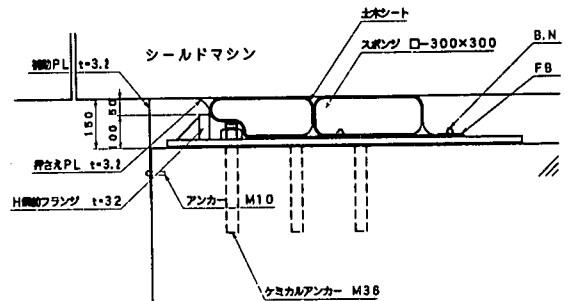


図-10 引き出しパッキン構造図