

III-404 高水圧対抗シールド工法の開発

橋奥村組技術本部土木部 榊本 正 正会員 佐々木猛

橋奥村組技術研究所 清水浩也 正会員○脇田恒夫 畑山栄一

1. まえがき

都市部の地下空間の有効利用に伴う地下鉄、地下道路、上下水道、電力や通信などのサービストンネル、海洋埋立部へのアクセストンネル、山岳部の導水路トンネルなど、最近のシールドトンネルの埋設位置は大深度になることが多い。この場合、一般に切羽水圧は高水圧になり、従来の技術の延長では対応できない問題点が発生する。今回、切羽水圧 15kgf/cm^2 の高水圧を対象に、これらの問題点について一連の実験を実施したので報告する。

2. カッターヘッドシール

(1) 実験概要 シール材の材質はニトロブタジエンゴムとウレタンゴム、形状はV型とリップ型を用いた。水圧は 30kgf/cm^2 とし、背圧は $0 \sim 30\text{kgf/cm}^2$ に変化させた。シール材と接触するシャフト（シールド機のカッターヘッドに対応）の回転数は 13rpm 、回転時間は160時間とし、シール材の止水性や摩耗状況、回転トルクなどを調べた。

(2) 実験結果 水圧と背圧の差圧と回転トルクの関係を図-1に示す。i) V型シール材は、 30kgf/cm^2 の水圧に対して十分な止水性を示した。ii) 従来の多段リップ型は、 30kgf/cm^2 の止水性がみられない。iii) 差圧が止水性に大きく影響する。iv) 差圧が大きくなると回転トルクも大きくなるので、グリスなどの連続注入が必要になる。

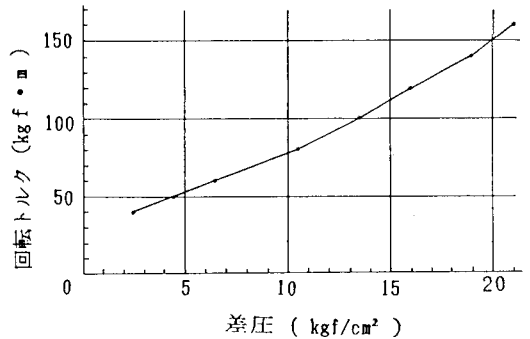


図-1 差圧～回転トルク

3. ずり出し装置

高水圧対抗の加泥式のシールドについて、掘削土のずり出し装置は、いかにして切羽からの地下水の流入を阻止しながら大気圧下にずり出しかが最大のポイントになる。実験に用いたスクリーコンベア(SC)は、SCを2台使用し、この中間にサンドプラグゾーン(SPZ)を形成させる方式である。2台のSCは個別駆動とし、かつ、少なくとも1台は軸方向に移動可能とした。切羽や排出土砂の状況に応じて、SCを前後に移動させてSPZの長さを調節したり、2台のSCの回転数をそれぞれ調節することにより、チャンバの高圧水を抑えながら土砂を排出することができるようにした。

(1) 実験の種類 SCは、i) 軸付きSC、ii) 開放型リボンSC、iii) 密閉型リボンSCの3種類にした。iii) の密閉型リボンSCとは、ii) のリボンSCの中空部に、羽根に沿って密閉板を取付けたものである。排出土砂の砂分率やスランプ、加泥材の配合や添加率、SPZの長さ、SCの回転数などを組合せて実験を行った。

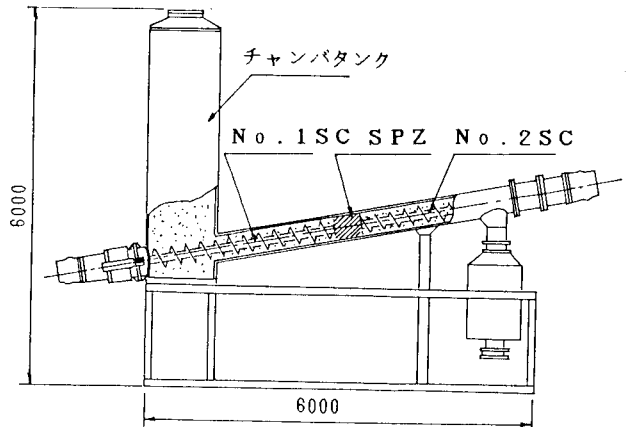


図-2 実験装置

排出土砂は十津川産川砂利と城陽産山砂とし、砂分率は、排出土砂に対する砂分の重量百分率を示す。

（２）実験装置 実験装置の機器構成を図-２に示す。チャンバタンクは内径φ1200の円筒、容量は約 4 m³であり、シールド機のチャンバに相当する。SCケーシングの内径はφ350 であり、羽根径はφ324、羽根ピッチは、軸付きで 210mm、リボンで 264mmである。SPZ の長さは 300～1000mmに調整できる。SCの排土口には、排出された土砂を計量する計量槽が設けられている。

（３）実験結果 SPZ で15kgf/cm² の水圧を遮断しながら土砂の排出が行われているときにはSC内の水圧分布は、図-３のいずれかのタイプを示す。

- a. タイプ-A 砂分率が30～40%と低く、スランプが高い場合にみられる。水圧が遮断される位置はP₂～P₃である。
- b. タイプ-B 同じ状態が続くことはなく、タイプ-Aまたはタイプ-Cに移行する過程の中間的なものと考えられる。
- c. タイプ-C 砂分率が低い場合に多くみられ、50%以上ではみられない。このタイプではP₅の水圧が安定した状態と不安定な状態が観察されたが、土砂の排出状況はいずれも良好であった。SCの回転トルクも小さく、最も望ましいタイプと思われる。
- d. タイプ-D 砂分率が高い（50～60%）場合にみられ、他のタイプに比べて、長時間同じ状態が続いている。

SPZ の長さやSCの回転数を調節することによって、任意のタイプの水圧分布にすることが可能である。したがって、タイプ-C以外を示したときには、SPZ の長さやSCの回転数を調節し、タイプ-Cになるように制御すれば、ずり出し装置の負荷を少なくすることができる。また、SCの種類については、軸付きSCが排出土砂に対する適応性が大きいことが確認された。

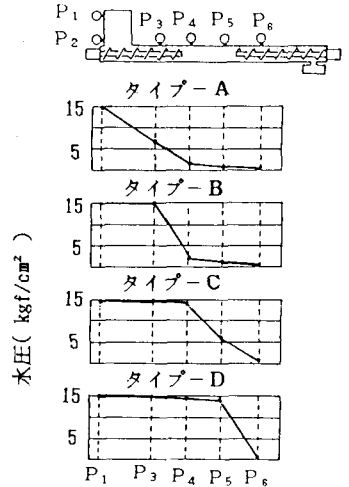


図-３ 水圧分布

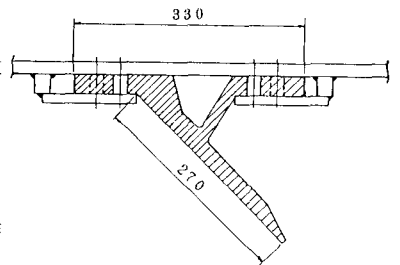


図-４ テールシールパッキン

４．テールシールパッキン

図-４に示す形状の、ウレタンゴム製テールシールパッキンを試作し、φ2000のセグメントリングを対象にした実験の結果、15kgf/cm²の耐水圧性があることが確認された。しかし、下水道標準タイプのスチールセグメントでは、ピース間（トンネル軸方向）の継手面から漏水するので、端面の機械加工などにより、この継手面の空間をなくすることが必要である。

５．セグメント継手部の止水性

シリンダテストとφ2000のセグメントリングによる実験の結果の一例を図-５に示す。製品-aは天然ゴム、製品-cはブチルゴム、製品-dとeは定形型水膨潤ゴムである。15kgf/cm²の高水圧に対しては、シール材の硬度は高いこと、シール材の変形を拘束し圧縮力が作用してもシール材の弾性を残存させるためにシール溝が必要なことなどが明らかになった。

６．あとがき

本報告が高水圧シールドトンネルの計画や施工に参考になれば幸いである。

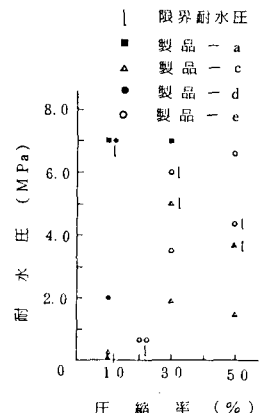


図-５ 圧縮率～耐水圧