

## 12. 高水圧対抗シールド工法の開発

(株)奥村組：脇田 恒夫・\*畑山 栄一

### 1. まえがき

シールド工法は地下鉄、電力、通信、下水道などの都市におけるトンネル工事の施工法である。都市での施工条件の厳しさが増すにともなう、この工法はこの20年位の間に工事量が急増した。それとともにより厳しい施工条件に遭遇し、それが施工技術の進展をうながした。今後多様な施工条件に対応した技術開発が進められると思われる。

その一つに地下空間の高度利用にともなう大深度での施工があげられる。トンネルの設置位置が大深度になれば、一般に地下水圧が高くなり従来の技術では対応できない。そこで高水圧条件下での施工を可能にするために耐圧性の向上に関する技術を開発した。

### 2. 加泥シールド機の掘削機構

加泥シールド機の掘削方法は、カッターヘッドで掘削した土をチャンバの内部と、チャンバ内から外部に取り出すスクリーコンベアの内部に溜め、この土の圧力で切羽の崩壊を防ぎながら掘削することがその特徴である。この方法では、切羽の水圧が高ければ土を押し流して土圧の保持が難しくなるため、切羽の崩壊をまねいて掘削ができなくなる。したがって、切羽からの地下水の流入をいかにして防ぎながら、土を大気圧下の外部に取り出すかが問題になる。その方法としてサンドプラグ方式（図-1参照）を案出し、 $15\text{kgf/cm}^2$ の耐水圧を目標にした実験を行った。サンドプラグとは、スクリーコンベアの一部に形成させた止水性の高い土の区間のことをいい、その区間の止水性により地下水圧を遮断するものである。コンベアの中を移動中の土は空隙があるため止水性が低いのが、この区間にくると圧縮されて空隙が少なくなり、この区間をすぎると再び圧縮から解放される。土の移動をともないながらこのような状態を安定して維持することが要求される。そこで案出したサンドプラグ方式について、実験によりその形成状態や止水性を調べた。

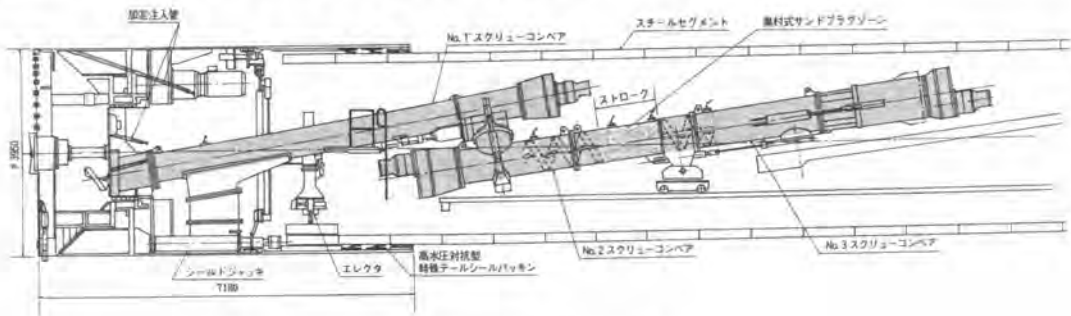


図-1 高水圧加泥シールド機

#### (1) 実験内容

サンドプラグの形成方法は、2台のスクリーコンベアを直列に配し、その接続部およびその付近にサンドプラグゾーンを設けるもので、この機構について、図-2のような実物大の実験装置を用いて実験した。この装置はチャンバタンクの土を2台のコンベアで搬出する構造になっており、コンベアはそれぞれ別に駆動されるようになっている。

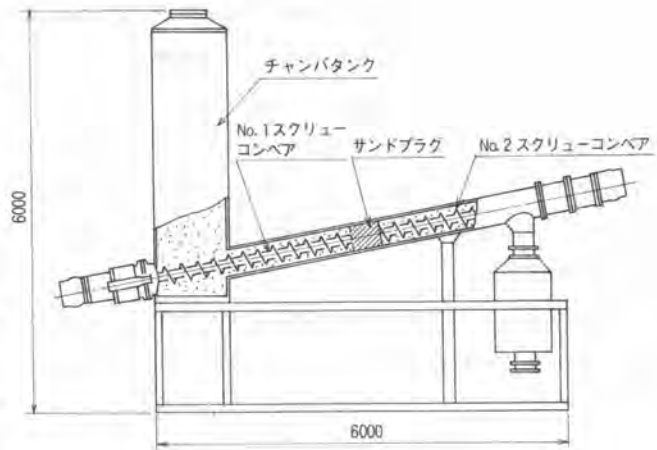


図-2 サンドプラグ実験装置

サンドプラグの形成状態は、チャンバタンク内に水圧をかけ、コンベア排土口に至るまでのコンベア各部の水圧を測定

することにより調べた。サンドプラグの形成は、コンベア回転数、土質、加泥材の配合や注入率などの要因の影響を受け、また、止水性はサンドプラグの長さとその透水性の影響を受ける。なお、加泥材の注入は、土の透水性を減じるため、またチャンバ内の土に流動性を与え、掘削の安定性を向上させるためのものであり、れきまたは砂質土の場合に注入する。

実験に用いた土は、大きな透水性をもつ砂とれきを用い、あらかじめ加泥材と混ぜたものをチャンバタンクに投入した。また、加泥材は、ベントナイト、粉末粘土、増粘剤などを水に混ぜたもので、10000cP程度の高粘度である。

## (2) 実験結果

サンドプラグの止水性が高いので、この部分の圧力勾配は他の部分より大きい。したがって、コンベアの圧力分布からサンドプラグの形成を知ることができる。

サンドプラグが形成される部位により、図-3のように大別して4種のタイプが観測された。タイプ-Aは、コンベア接続部の前方にあるコンベアにおいて形成されるタイプである。タイプ-Bは、前方のコンベアおよび接続部に、タイプ-Cは、接続部および後方のコンベアに、タイプ-Dは、後方のコンベアにそれぞれ形成される。いずれも接続部とその付近で形成されている。

2台のコンベアのスクリー回転数の比によりサンドプラグの形成部位が決り、回転数の少ないほうのコンベアに形成されるとともに、そのトルクが上昇した。スクリートルクが機械能力を越えないように、回転数の調節により接続部付近で形成

させることが望ましい。チャンバタンクの水圧を変えても、この水圧分布の特徴は各パターンとも共通しており、サンドプラグの形成は安定性を示した。

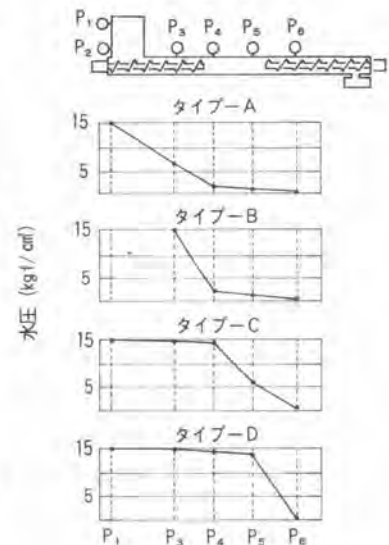


図-3 形成パターン

なお、サンドプラグの形成に影響を与える土の性状は、通常に加泥シールド工法における管理水準値と同様の土になるように配合した。この指標として、生コンクリートの硬さの指標であるスランプ値を用い、この値が15~25cmのものを用いた。

2台のスクリーコンベアの回転数とトルクの関係について、回転数の比( $N1/N2$ )が0.8~1.2のときにトルク( $T1, T2$ )は小さい。この理由は、回転数の比が1に近いときには、サンドプラグの位置がコンベア接続部の付近に形成されるので、水圧による土の圧力を接続部で支える割合が多くなるためと思われる。

このようにコンベアの回転数制御によりサンドプラグの形成は可能であり、 $15\text{kgf/cm}^2$ の圧力下で掘削できることがわかった。

### 3. テールシールパッキンの止水性

シールド機とセグメントとの間を止水するテールシールパッキンは、高い水圧に対して止水性と耐力を有するものでなければならない。止水性は、パッキンおよびセグメントの材質や形状などの相互の性質による影響を受ける。そこで、セグメント外径が2000mmの模型実験装置を用いて耐圧実験を行った。

#### (1) 実験内容

耐圧実験には図-4に示す装置を用いた。セグメントを圧入ジャッキで移動しながら、その外側に $15\text{kgf/cm}^2$ の水圧をかけ、パッキンの動的状態での止水性を調べた(写真-1参照)。

パッキンの形状は図-5に示すようなウレタンゴム製のリップ型のものを用いた。また、セグメントは鋼製のものを用いた。セグメント継手部の止水性に与える影響を調べるため、円周方向継手の形状はi機械加工を施して平滑に仕上げたタイプ、ii溶接構造による従来タイプの2種類にした。

#### (2) 実験結果

止水性は漏水量の測定、漏水状況の観察により調べた。i型セグメントでは漏水がほとんど見られなかったが、ii型ではかなり生じた。漏水箇所はセグメント円周継手部での接触面であり、パッキンとの接触不良が漏水原因と思われる。

水圧によりパッキンが押出される現象は当初から予想されたので、高弾性のゴム材を用いること、十分な長さや厚さをもつリップ形状にすることなどの対策をとった。この現象を調べるためにパッキンの変形を測定し、押出しによるパッキンが反転する可能性を検討した。この結果、実験に用いたタイプは安定した形状を保つことがわかった。ただし、外径やテールクリアランス

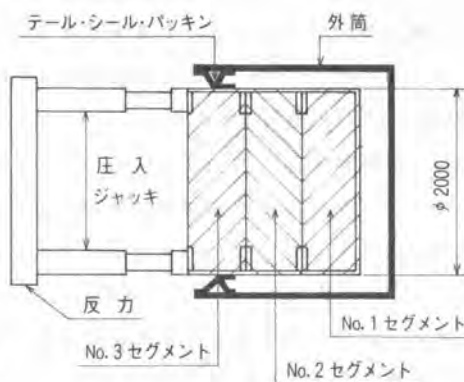


図-4 止水実験装置



写真-1 止水実験装置

などの大きさにより形状の安定性は影響を受けるので、実施設計では考慮をはらう必要がある。

この実験により、テールシールパッキンに $15\text{kgf/cm}^2$ の耐圧性があると判断できた。

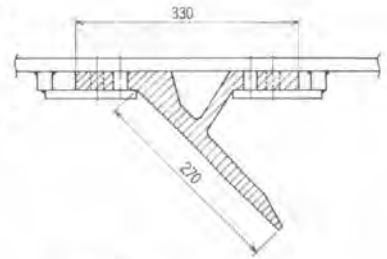


図-5 テールシールパッキン

#### 4. セグメント継手部の止水性

トンネルの構造体となるセグメントは、地下水の侵入を防ぐ役割をあわせもっており、そのためにセグメントの現場組立て時にその継手部を止水する。その方法はシール材を装着して継手を締結する方法が通常用いられる。この方法の高水圧下での止水性を調べるために、図-6に示す実験装置を用いて実験を行った。

##### (1) 実験内容

継手部の止水性はシール材の材質と、シール材装着部の形状による影響を受ける。ゴムの材質と硬度との組み合わせについて数種類のタイプを、シール装着部の形状および継手面の目開きの組み合わせについて数種類のタイプをそれぞれ準備し止水性を比較した。なお、シール材には天然ゴム、ブチルゴムおよび水膨潤ゴムを用いた

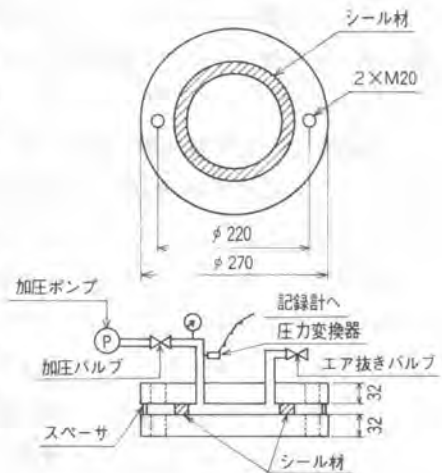


図-6 継手部止水実験装置

##### (2) 実験結果

止水性はシール面の押しつけ力に支配されるので、シール材が圧縮された状態になるように装着する。押しつけ力の要因はこの圧縮率と材料の硬さである。

ショア硬度が50の天然ゴムでは、圧縮率を30%にすれば $15\text{kgf/cm}^2$ の耐圧性をもつことがわかった。硬度の低い水膨潤ゴムでは、圧縮率を50%にしても耐圧力は $6\text{kgf/cm}^2$ であった。この理由は、初期締め付けにより変形を大きくしても必要な押しつけ力を得られないことがあげられる。

セグメントのシール材装着部位にシール溝を設ける場合には、硬度が50の天然ゴムでは圧縮率が10%であっても耐圧力は $70\text{kgf/cm}^2$ あり、シール溝を設けることは有効であった。このことは一般機械におけるシール構造と同じ止水機構であることを示すと思われる。

この実験で得たデータをもとに、3. で述べたテールシールパッキンの実験装置に用いたセグメントのシール構造を決め、この実験と並行してセグメント継手部の止水性を調べ、実用上の問題のないことを確認した。

#### 5. あとがき

加泥シールド工法の高水圧適応性を高めるうえで必要な機能は、以上に述べた実験により実用性が確かめられた。現在、この工法は奈良県下の導水路工事に採用され、 $11\text{kgf/cm}^2$ の高水圧下で順調に稼働している。この結果は別の機会に紹介したいと思っている。