

33. 球体シールド(ビット交換用シールド)の開発

大成建設(株)：*金子 研一

石川島播磨重工業(株)：伊藤 広幸

三菱重工業(株)：井上 年史

1. はじめに

シールド工法における技術開発の方向の一つに、長距離掘進があげられる。大深度、あるいは海底横断といった特殊条件下での工事が数多く計画され、1台のシールドの能力に、従来とは遥かに超えた掘進距離が要求され始めている。長距離掘進に伴い、各種部材の耐久性と迅速な交換方法が求められている。特に摩耗の激しいビットについては緊急の課題である。

このような状況の中で開発した「ビット交換用シールド」(写真-1)は、シールドトンネルの掘進方向に対して、内部に球体を有することで、直角に方向転換可能なシールドとして川崎市で採用された「直角シールド」(写真-2)の応用技術である。球体を、直角よりさらに多く回転することで、カッタ前面をトンネル内部に向け、安全にビット交換が可能になるというものである。

本報告は、すでに実用化された「直角シールド」の実施例と、開発の完了した「ビット交換用シールド」の概要について報告する。

2. 直角シールド

川崎市で採用されたシールドは、 $\phi 5.53\text{m}$ のシールド(以下メインシールドと呼ぶ)で260m掘進後、地下で直角に向きを変え、 $\phi 3.68\text{m}$ のシールド(以下サブシールドと呼ぶ)で65m掘進するものである。図-1に全体組み立て状況を示す。メインシールド内部に球体を内蔵し、その球体内部にサブシールドを収納する。球体は上下方向の軸で支えられる。

サブシールドはテール部を切り放した状態で球体に収め、メインシールド掘削時に、サブシールド

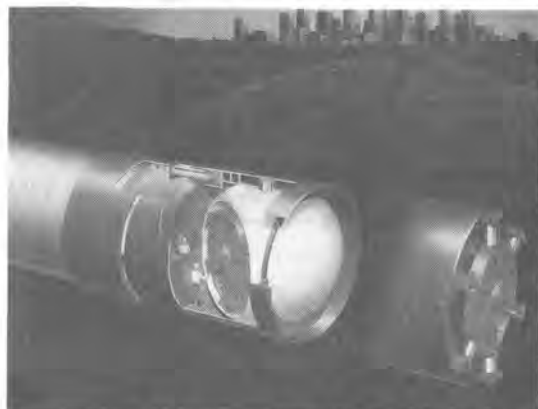


写真-1 ビット交換用シールド



写真-2 直角シールド

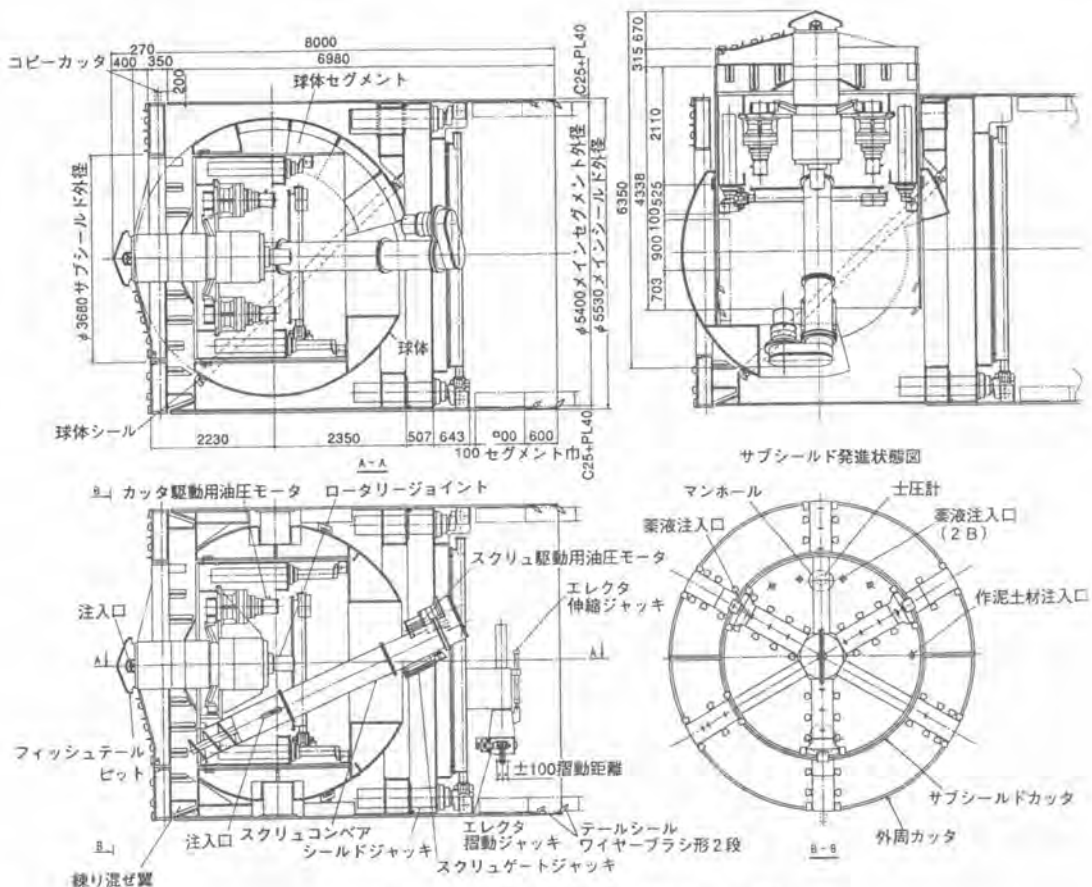


図-1 直角シールド全体組み立て図

のフード部が掘削土の取込みに支障とならないように、メインシールドのチャンバを確保してスキンプレートを組み込んでいる。カッタの駆動はサブシールドで行う。メインシールド外径を掘削するために、サブシールドのカッタの外側に円環状の外周カッタをピンにて脱着可能に設ける。装備カッタトルク185.8t・m、掘削形式としては土圧式である。排土はスクリーコンベアにて行う。スクリーコンベアは、回転時に短縮できるように3分割の構造とした。また、外周カッタの攪拌翼は球体回転時に支障とならないよう配置した。

施工手順は、メインシールドが所定の位置まで掘進後、スクリーコンベアを縮小する。次に外周カッタを切放し、サブシールドを球体の内部に引き込む。この時、体積変化により切羽が崩壊しないように、切羽に削泥材を注入する。続いて球体を90度回転する。球体の回転は油圧ジャッキにて行う。引き続き、サブシールドをテールプレート長さ分掘進し、テールを継ぎ足し整備する。

サブシールドの発進は従来のシールドの立坑からの発進と同様に行われるが、発進坑口部の地盤改良が不要なこと、鏡開け作業が不要であることが特徴である。メインシールド、外周カッタはその場に置き去られる。なお「直角シールド」は、土質条件により泥水式または土圧式が選択可能である。

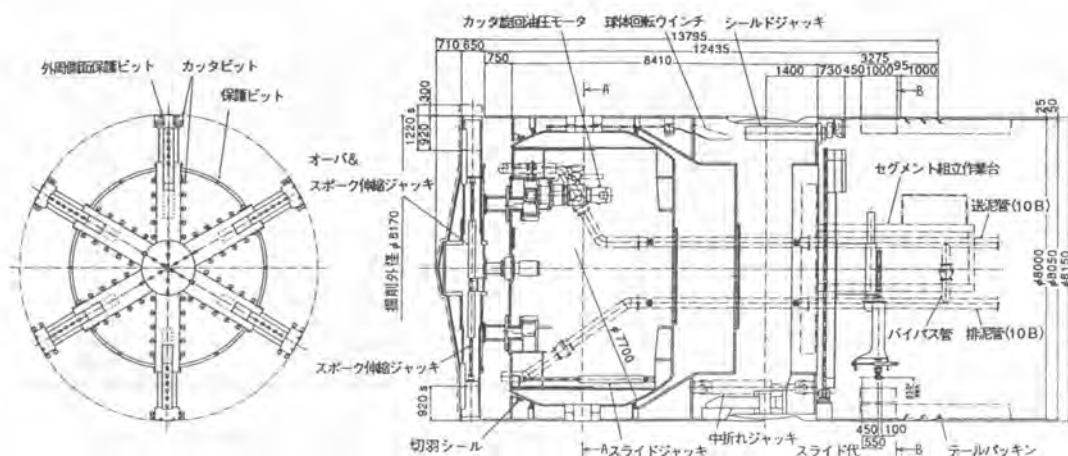


図-2 ビット交換用シールド全体組み立て図

3. ビット交換用シールド

計画的にビット交換のための中間立坑を設けた場合を除くと、従来のビット交換は切羽の地盤改良した地山の中で行うという不安全な作業であった。掘進途中でビット交換の必要性が生じた場合、その時点から地盤改良するには、掘進工程が大幅に送れることは必至である。このような状況の中で遠隔操作によるビット交換技術が提案され始めたが、これらの方法と比較して、本シールドはトンネル内という安全な作業空間内で、直接目で確かめながら、ビット交換を摩耗状況に応じて選択的に行えるという利点を有する。また、母材に対しても硬化肉盛溶接等による修理が可能である。

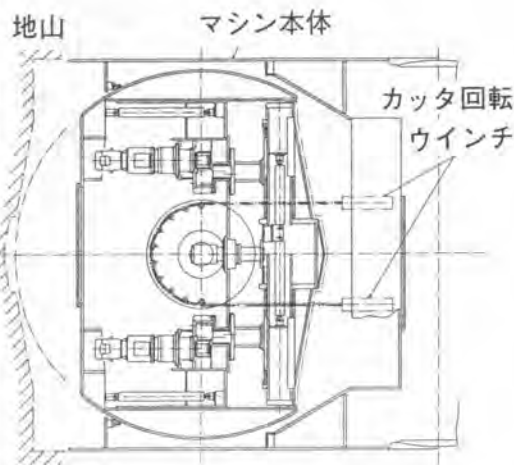


図-3 球体回転機構

3.1 シールド構造

全体組み立て状況を図-2に示す。シールドの内部に球体を有し、上下の軸で支持する。

カッタは伸縮スポーク方式とした。伸縮スポークのピストン部にビットが配置され、シリンダ部には収納のための溝が切られている。カッタ装置として外周カッタ方式が採れない理由は、「直角シールド」の球体回転は1回であり、二度と外周カッタを利用してメインシールドが掘進することなく、縮径したサブシールドだけが掘進するためである。「ビット交換用シールド」は、メインシールドに当たるシールドが球体回転によるビット交換後、もとの径で掘進を続ける必要がある。球体回転も数回の作業となるため、ピニオン・ラック方式またはワイヤによる引張り方式(図-3)にて行う。

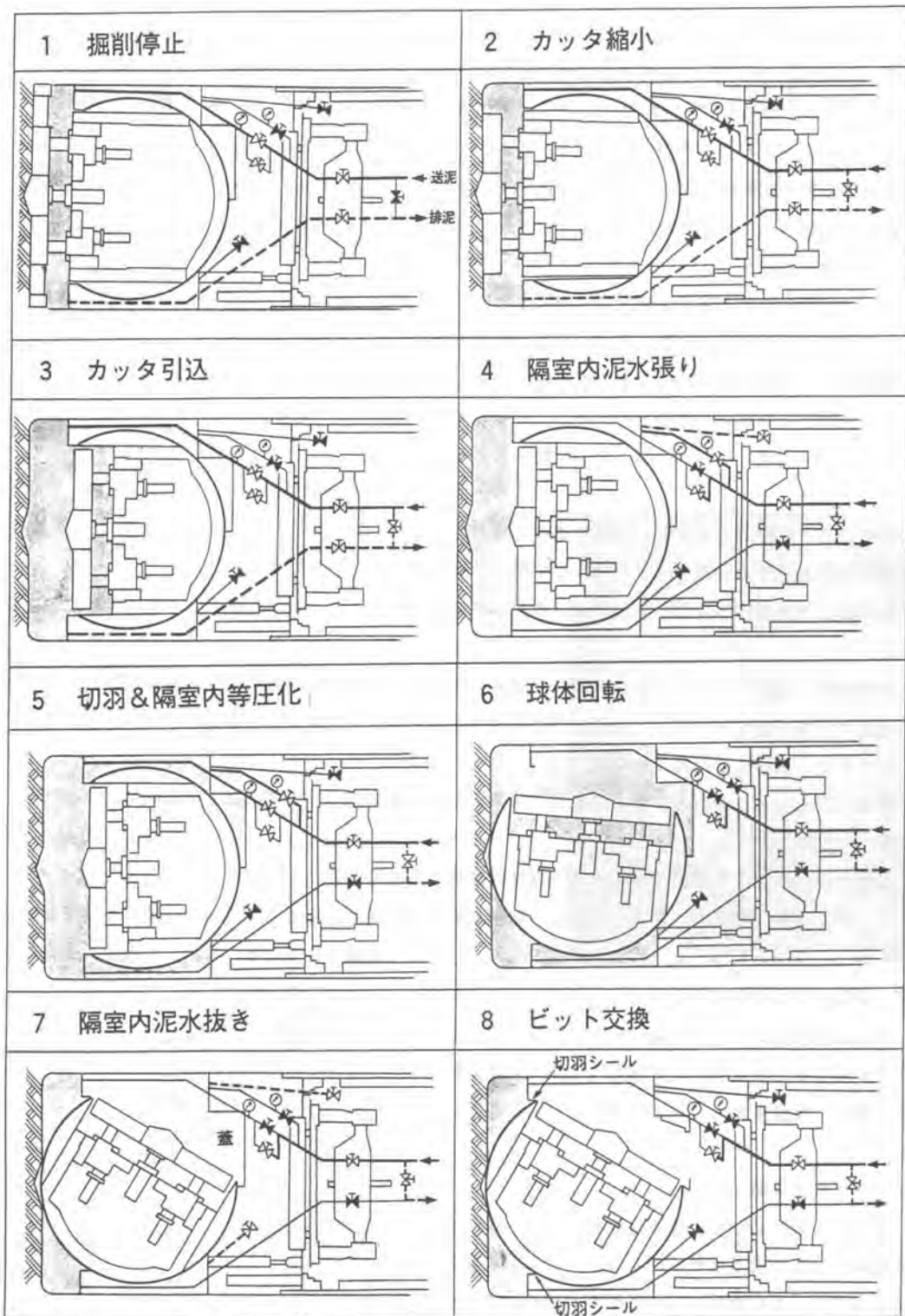


図-4 ビット交換手順図

図-2は球体を180度球体を回転した状態でビット交換するタイプであり、ビット交換を行う作業空間（以下隔室と呼ぶ）を球体後方に有する。隔室とトンネル間および球体と隔室間の壁には蓋を設置する。また、球体とシールド本体とは隔壁部のシールによって止水する。

図-2はシールドの分類では泥水式であるが、土圧式でも可能である。ただし、スクリーコンベアを球体の中に配置するため、外径 ϕ 5m以上のシールドに限られる。これに対して泥水式の場合、土質によるが、カッタの伸縮量から ϕ 3m以上のシールドに適応可能である。

3. 2 施工手順

ビット交換のための施工手順を図-4に示す。図は球体を120度回転することにより交換作業を行うタイプで、上から見た状態を表す。以下、図面の番号に従って説明する。

- ①掘削停止：摩耗等によりビット交換の必要が生じた場合、掘削を停止する。
- ②カッタ縮小：スポーク伸縮ジャッキによりカッタ径を縮める。この時、カッタ体積が減少することにより切羽が崩壊しないように、切羽に泥水を送る。
- ③カッタ収納：カッタスライドジャッキによりカッタ全体を球体の内部に引き込む。②同様、泥水を切羽に送る。配管等はずし、球体に蓋をする。
- ④隔室内泥水張り：排泥ラインのバルブを閉じ、隔室内に泥水を注入する。
- ⑤切羽および隔室内等圧化：送泥ラインのバルブを開けることで、切羽と隔室内を連通させ、等圧にする。
- ⑥球体回転：送泥ラインのバルブを閉じ、球体を回転する。回転開始直後にシールがはずれ、切羽と隔室間の泥水が混じり合う。この時、切羽圧が下がらないように泥水圧を管理する。さらに、球体がシールを塞ぐ状態まで回転を行う。
- ⑦隔室内泥水抜き：各室内の泥水を抜き、マンホールの蓋を開ける。清水にて隔室内の洗浄を行う。
- ⑧ビット交換：

足場を設けビットを交換する。カッタ母材の修理も可能である。

ビット交換後、隔室内に泥水を注入し、切羽と隔室内の泥水を連通させてから、逆の手順で元の状態に戻し、掘進を開始する。作業が容易であり、短期間で交換可能である。また、交換場所を選ばず、深度による影響も少ない。

以上は泥水式シールドの場合の手順であるが、土圧式の場合もチャンバおよび隔室内に注入できる配管を設け、高濃度泥水で泥土を置換して回転作業を行う。

3. 3 止水実験

本シールドにおいて、最も重要なポイントの一つに切羽シールの確実性があげられる。シールド掘進時およびビット交換時に止水性が要求されるばかりでなく、回転時の耐久性も要求される。シール形状

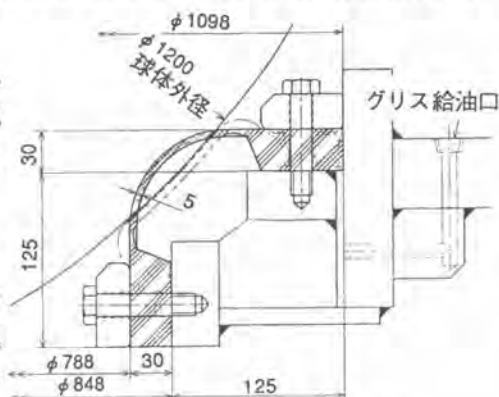


図-5 切羽シール形状

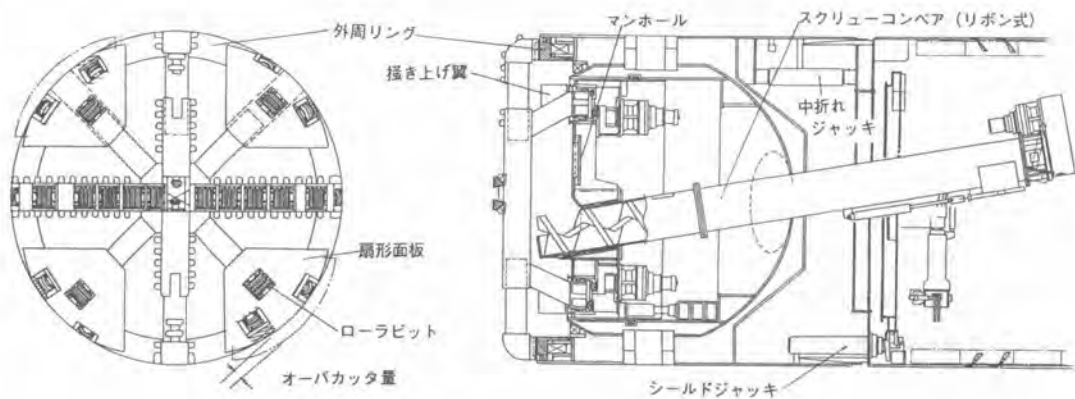


図-6 大礫対応型ビット交換用シールド

としてはインフレートタイプ（図-5），材質としてはウレタンを選定し，写真-3に示す実験装置で，水圧10kg/cm²における止水性と，回転による耐久性を確認した。

3. 4 大礫対応型シールド

ビット交換回数予測は経験に頼らざるを得ない。実験の結果および経験からすると，シルト，砂と比較して礫が混じることによるビットの摩耗および欠落は急激に多くなるといわれている。予想される大礫地盤での対策を図-6に示す。大礫混じりの地盤において，礫を破碎する目的でローラカッタの装備は必要となる。しかし，伸縮型のスポークカッタにはローラカッタを配置することは困難であり，装備できたとしてもスポークタイプのカッタでは構造的に弱い。このため，



写真-3 止水実験装置

スポーク端部に扇形の面板を取り付け，ローラカッタを装備可能な形状にした。また，スポーク端部をリングで結合することで，強固な構造とした。リングはシールド本体側より回転可能に支持され，リングに設けられた溝に伸長したスポーク背面がはまり込む構造である。全体として，ドーム型のカッタ形状を呈する。

4. おわりに

より深く，より長く，より大きくなる傾向にある地下開発の分野において，球体シールドを利用することで，従来にないシールドの可能性が展開すると思われる。すでに実績のあるものもあり，今後のシールド工事の計画に役に立てば幸である。