

# 球体シールド工法

－技術資料－

令和 2年 8月

シールド工法技術協会

はじめに

シールド工法技術協会では取り扱っている工法はいずれも多くの実績があり、信頼できる最先端技術及び工法であります。現在の社会的要求である地上や地下施設への影響が少なく地球環境にもやさしい技術として、さまざまな地盤やトンネル形状にも対応できるものであります。

これらの工法による工事におきましては、当該工事の目的や構造物の内容、施工期間や施工条件、施工環境などを十分に考慮した上で、設計および施工方法を検討しなければなりません。

前回の改定では、「下水道用設計積算要領 管路施設（シールド工法）編（社会法人）日本下水道協会（2010年版）」の改訂を受けて、その改訂内容との整合性を図るとともに、最新技術の知見を反映して各工法の計画、設計および施工に携わる方々が分かりやすくまた活用しやすい内容としました。

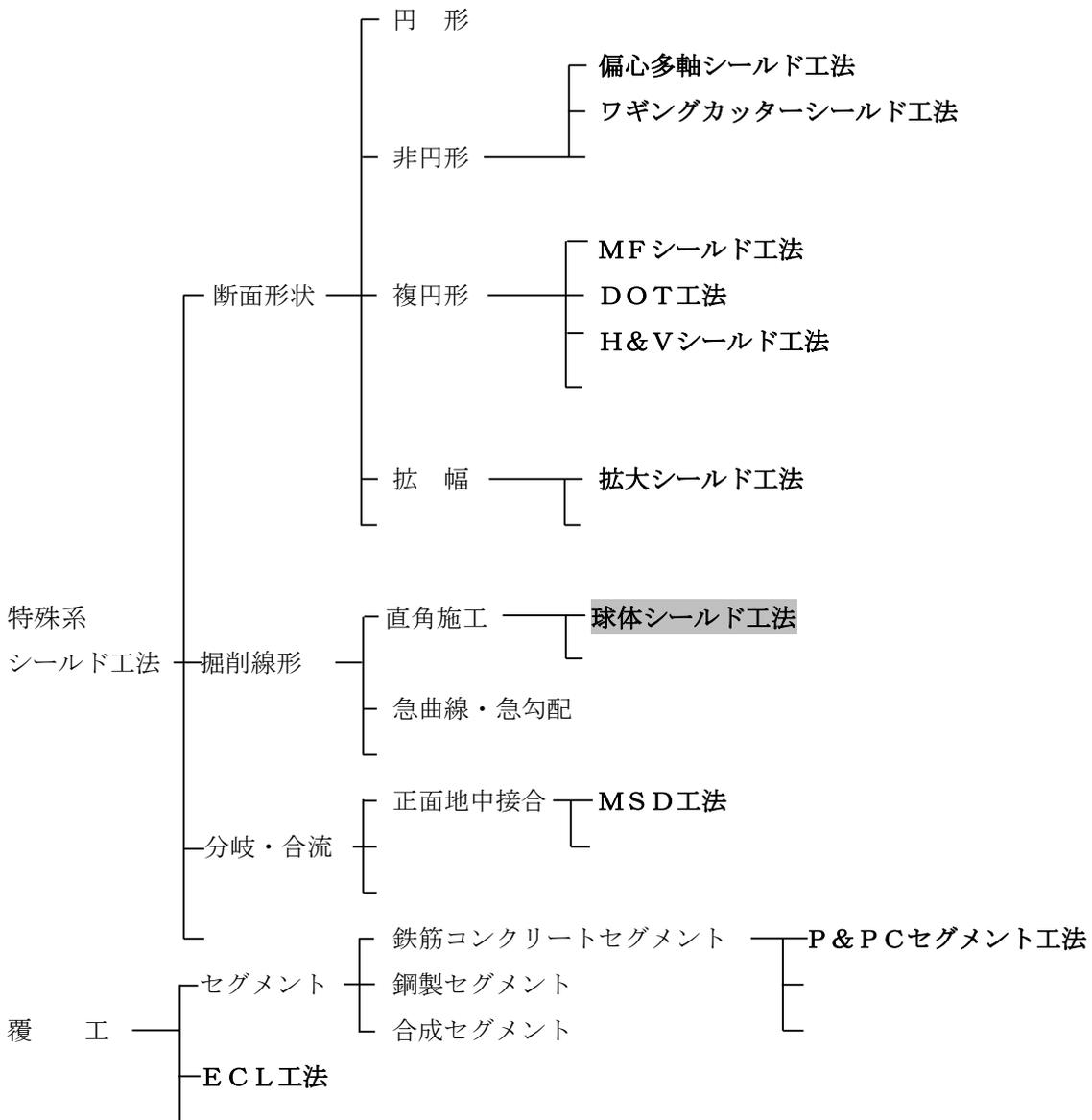
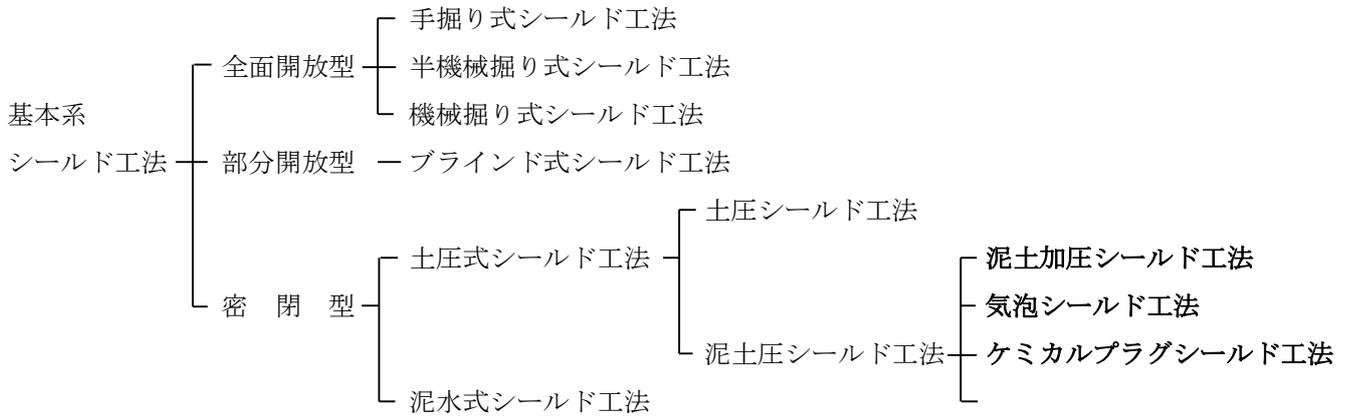
今回の改訂では、協会登録工法の位置付けを更新致しました。（「省面積立坑システム工法」追加）

皆様がシールド工法技術協会に登録しているシールド工法の採用にあたり、適正かつ合理的な計画、設計および施工を行うための資料として本書を大いに活用していただければ幸いに存じます。

令和2年8月

[球体シールド工法の位置付け]

シールド工法における球体シールド工法の位置づけを下記に示す。



施 工 —— 施工設備 —— 省面積立坑システム工法

## 目 次

1. 球体シールド	
1. 1 工法概要	1
2. タテヨコシールド	
2. 1 工法の特徴	2
2. 2 工法の適用範囲	4
2. 3 シールド	8
2. 3. 1 全体構造と名称	8
2. 3. 2 基本機能	1 2
2. 3. 3 球体および球体回転部構造	1 2
2. 3. 4 球体シール	1 3
2. 3. 5 底部球体シール	1 4
2. 3. 6 サヤ管スライド機構	1 4
2. 3. 7 外周カッタ脱着機構	1 5
2. 3. 8 カッタスライド機構	1 6
2. 3. 9 タテシールドエレクタ装置	1 7
2. 3. 10 タテシールドずり出し装置	1 8
2. 3. 11 シールドマシン掘進時の支持機構	1 9
2. 3. 12 掘進時のジャッキ反力の抵抗機構	2 0
2. 3. 13 立坑完成時の建築物の安定	2 2
2. 4 立坑セグメント	2 2
2. 4. 1 立坑セグメントの構造	2 2
2. 4. 2 立坑セグメントの組立	2 2
2. 4. 3 立坑セグメントの設計	2 2
2. 4. 4 地震対策	2 3
2. 4. 5 立坑底部構造	2 3
2. 4. 6 立坑底部構造の設計	2 4
2. 5 施工	2 5
2. 5. 1 施工手順	2 5
2. 5. 2 タテシールド発進	2 7
2. 5. 3 タテシールド掘進	2 9
2. 5. 4 球体回転	3 1
2. 5. 5 ヨコシールドテール組立	3 3
2. 5. 6 ヨコシールド発進	3 5

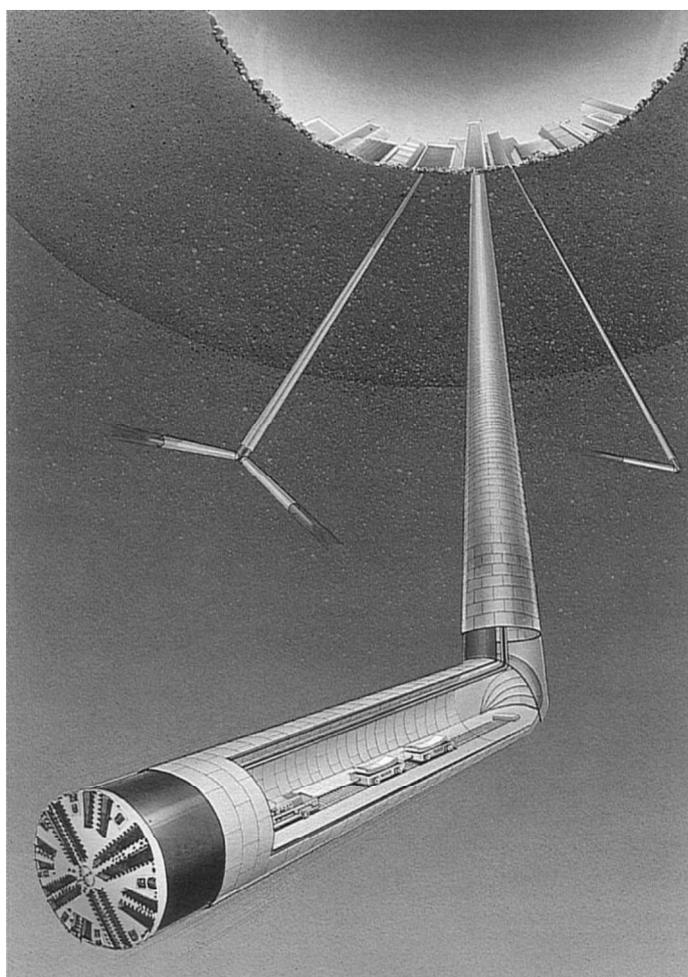
2. 6	仮設備	3 6
2. 6. 1	地上仮設備	3 6
2. 6. 2	坑内仮設備	3 6
2. 7	施工事例	3 9
3. ヨコヨコシールド		
3. 1	工法の特徴	4 0
3. 2	施工事例	4 0
4. クルンシールド		
4. 1	工法の特徴	4 0
4. 2	工法の適用範囲	4 2
4. 3	シールド	4 2
4. 3. 1	シールドの全体構造	4 2
4. 3. 2	カッタ伸縮機構	4 4
4. 3. 3	球体回転機構	4 6
4. 3. 4	球体シール	4 6
4. 4	施工	4 7
4. 4. 1	カッタビット交換時期の推定	4 7
4. 4. 2	カッタビット交換の作業手順	5 0
4. 5	施工事例	5 4

## 1. 球体シールド

### 1. 1 工法概要

球体シールド工法は、球体を利用することで止水性を保ちながら回転を容易にするシールド機を用いた施工法の総称で、シールド機またはカッタ装置を球体に内蔵し、その球体を包含するスキンプレートで構成する掘削機を使用する。

地上から立坑を掘進し、所定の深さで回転、発進する縦横連続掘進機（愛称「タテヨコシールド」）、回転立坑の設けられない交差点下で直角に曲がる直角掘進機（愛称「ヨコヨコシールド」）、ビット交換の容易な長距離掘進機（愛称「クルンシールド」）、到達部のシールド機から地上に顔を出す上向掘進機（愛称「デルンシールド」）等バリエーションが豊富である。（表－1. 1）



表－1. 1 球体シールド工法の種類

球体シールド法	
ホルン工法	縦横連続掘進機 (タテヨコシールド) 直角掘進機 (ヨコヨコシールド)
クルン工法	長距離掘進機 (クルンシールド)
デルン工法	上向掘進機

図－1. 1 球体シールド工法

## 2. タテヨコシールド

### 2. 1 工法の特徴

#### (1) コンパクトな立坑

立坑をコンパクトにすることにより、支障物や将来の地下利用計画に対処しやすくなるばかりでなく、立坑用地の確保が容易になる。また、立坑が小さくなることは掘削土量及び残土処理量が少なくなる等、経済的メリットがある。

覆工は、セグメントで行うため従来の工法と比較して薄くなり、立坑外径も小さくなる。

#### (2) 立坑工期短縮

シールド工法で築造するため高速施工が可能である。

現地での準備作業開始から、ヨコシールドが鏡を破って発進するまでの工期を比較すると、おおよそ半分で済む。立坑工期の短縮は、現場経費の低減につながるばかりでなく、道路占用をはじめとする近隣に対する影響を低減する効果大きい。

#### (3) 大深度地下で経済的

工事費の中でマシーン費の占める割合が大きく、立坑深度が浅い場合、経済的とはならない。深さによる工事費の増加が少ないため、立坑が深くなるほど経済的メリットが発揮される。

これに対しケーソンとか地下連続地中壁等従来工法による場合、深くなるほど壁厚が厚くなり、掘削も難しくなるばかりか、圧気・地盤改良等補助工法にかかる金額が増大する。

#### (4) 大深度における信頼性

シールド工事のなかで最も危険作業である仮壁撤去、発進作業が不用なため、大深度における信頼性が高い。増加する水圧に対しても機械的に確実に止水できる構造となっている。地下連続壁のように根入長の増長や底盤改良等の補助工法が必要なく、ニューマチックケーソンのように圧気による作業員の健康問題や周辺への漏気を発生させない。



写真－2. 1 タテヨコ連続掘進機

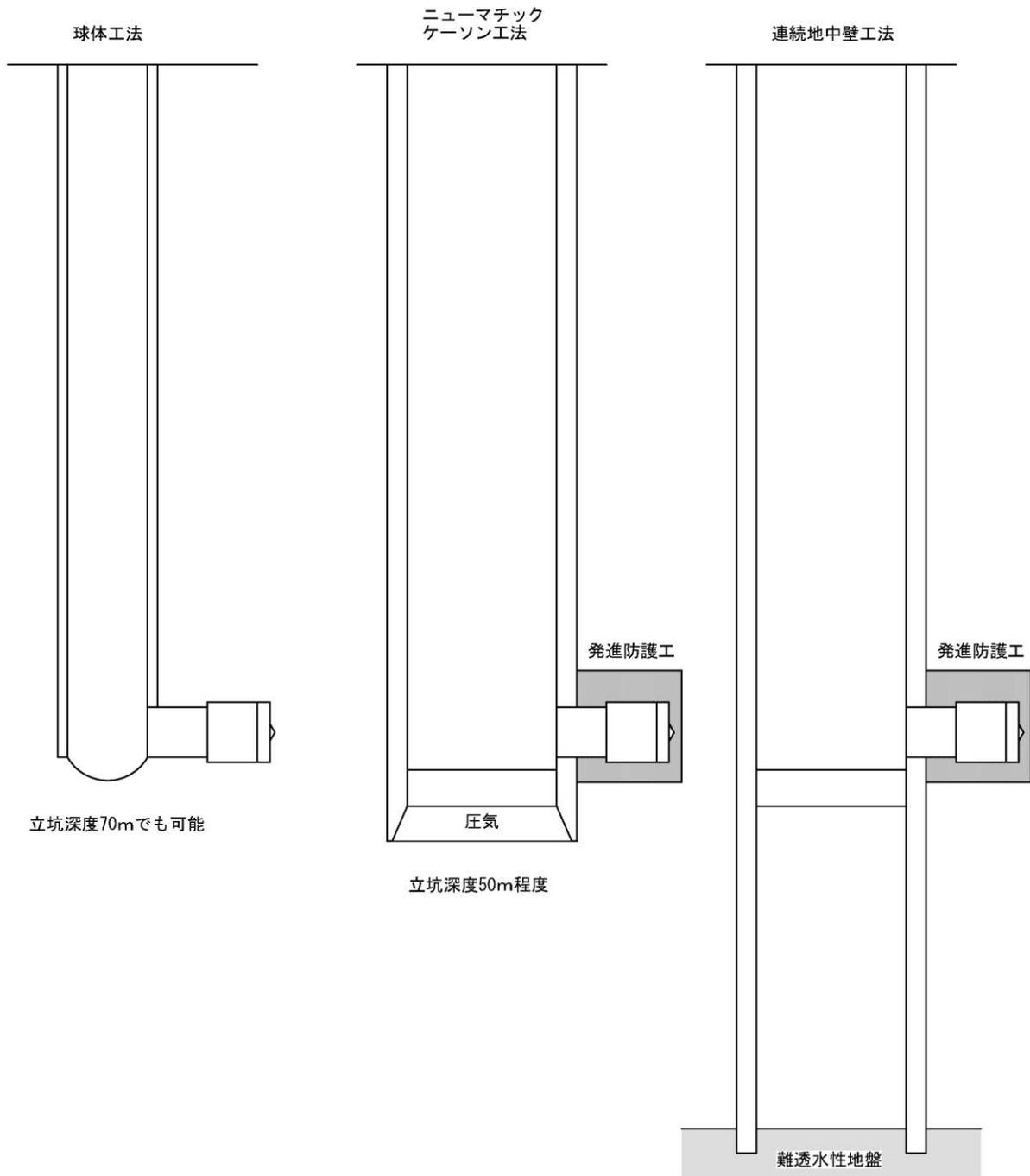


図-2. 1 工法比較

## 2. 2 工法の適用範囲

### (1) 立坑断面

球体シールドは、テールを除いたヨコシールドを球体に内蔵していることから、ヨコシールドの外径あるいはテールを除いた機長により球体の必要外径とタテシールドの下限外径が決まる。

さらに、球体シールドのタイプは最終立孔構造の形状により、以下の2タイプがある。

①底部シール型：ヨコシールドの発進後に球体の底部を残して上部構造を撤去するための底部球体シールと球体上部の球体シールを併設する。

②球体シール型：球体上部の球体シールのみで球体周りの止水を行い球体のほとんどを残置する。

これらのシールと球体との取り合い関係により必要な球体の外径は異なり、それぞれのタテシールドの下限外径が変わってくる。図-2. 2のグラフに各タイプのタテシールド下限外径を示す。

これに対し、タテシールドの上限外径は、カッタ駆動装置をタテシールドとヨコシールドの掘進時に兼用するため、タテシールド掘進時に必要なカッタトルクとヨコシールドに装備可能なカッタトルクとの関係で決まる。タテシールドの必要カッタトルクは掘削土質により異なり、実績から粘土および砂層でのトルク係数を $\alpha = 3.0 < T_c \text{ (kN}\cdot\text{m)} / D \text{ (m)}^3 >$  (以下全て同単位) と設定した。一方、ヨコシールドの装備可能な最大トルク係数は $\alpha = 30.0$  に設定した。この条件からタテシールド上限外径を算出した結果を図-2. 2のグラフに示す。

ヨコシールドの最小適用外径は、機内のメンテナンススペース、テールの継ぎ足しの作業性などを考慮すると、ヨコシールドのセグメント外径 2350 mm (仕上がり内径 1650 mm) が限界といえる。

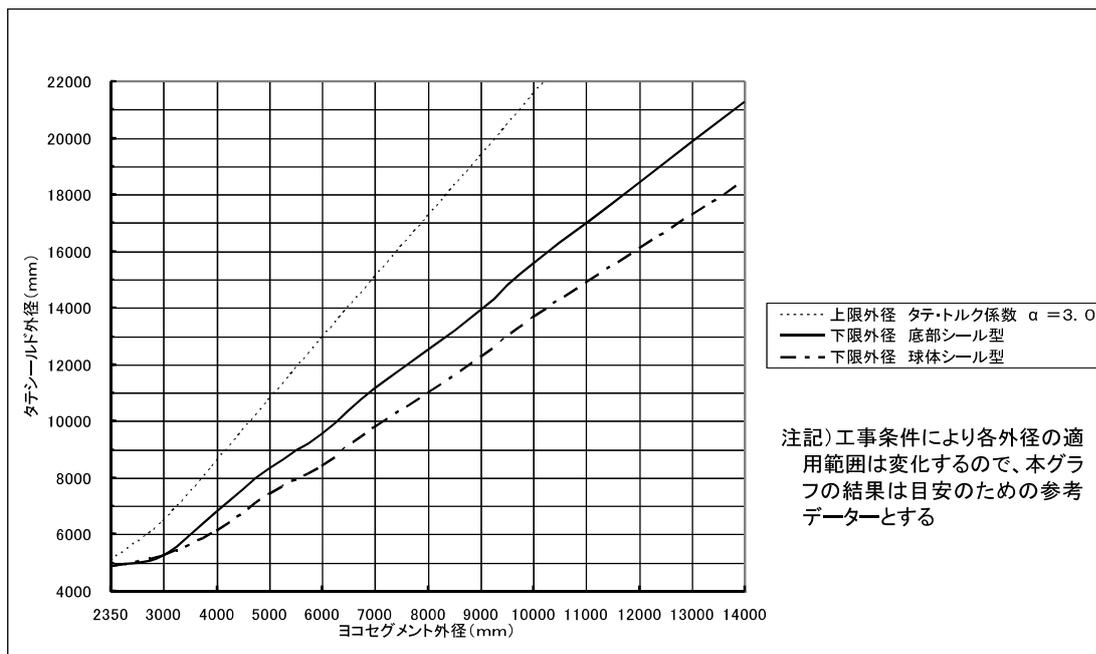


図-2. 2 球体シールドの製作範囲

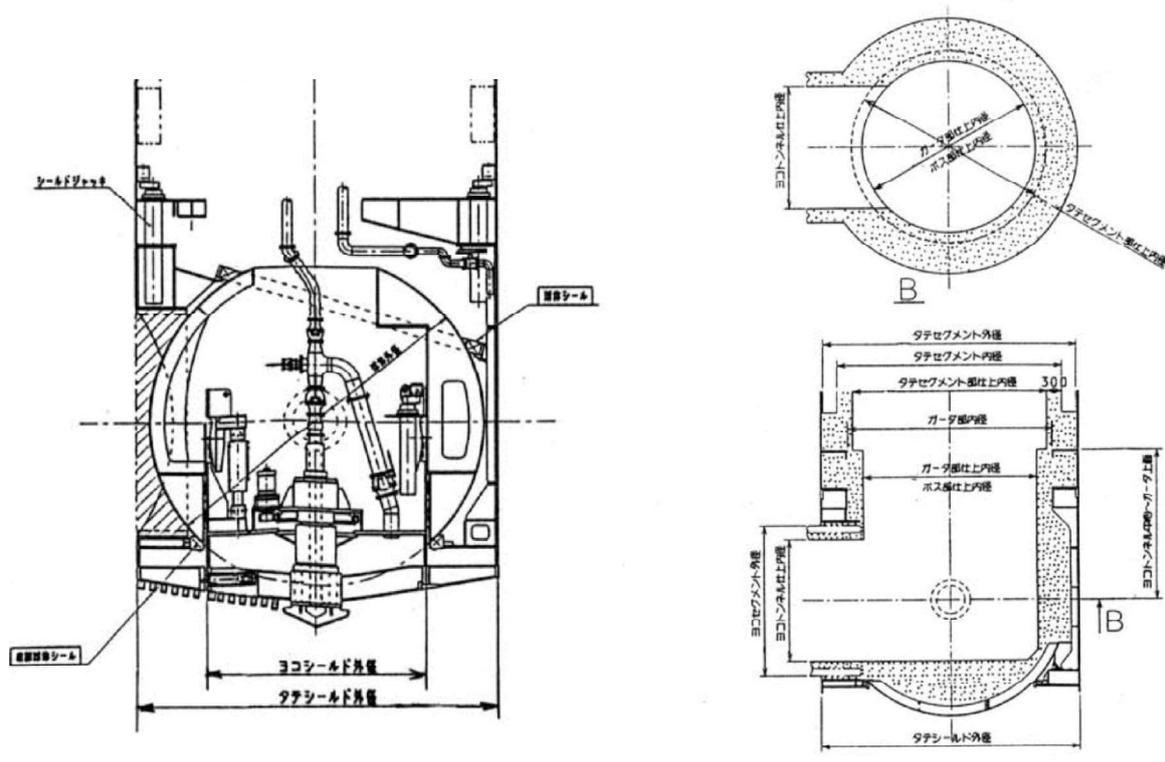


図-2. 3 底部シールド型の最終立坑構造

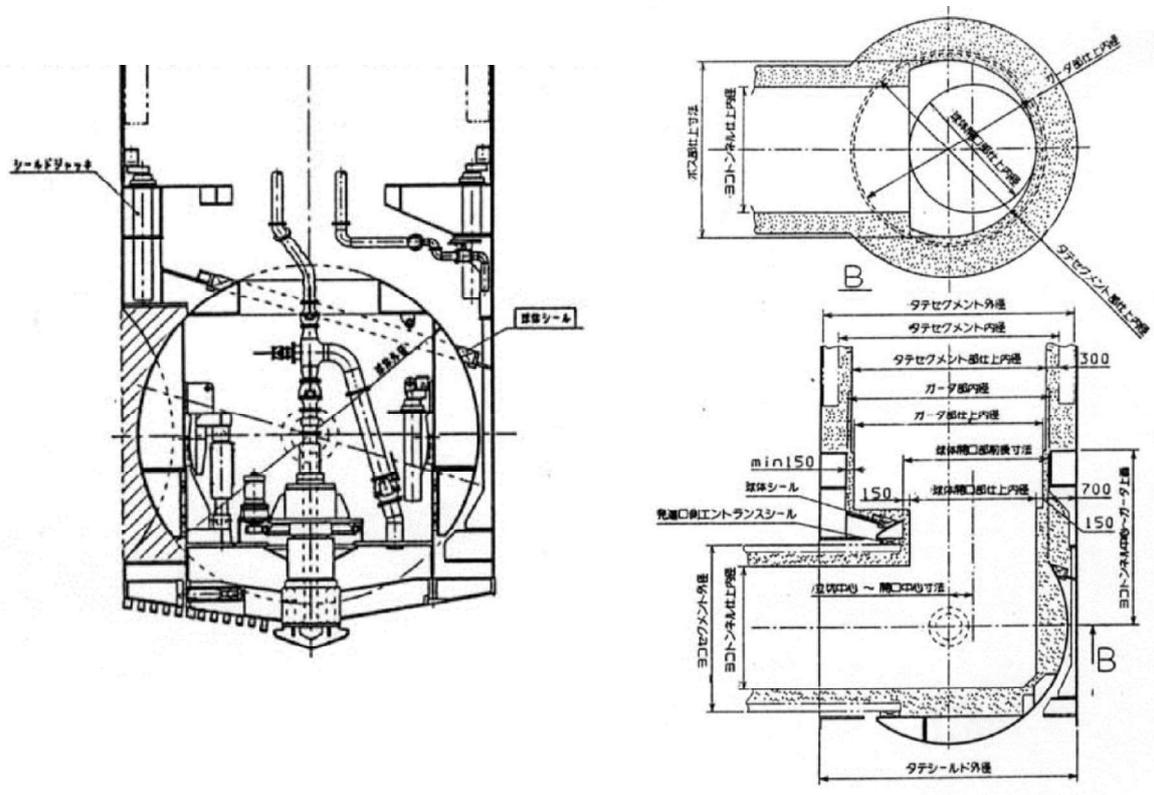


図-2. 4 球体シールド型の最終立坑構造

(2) 標準工期

球体シールドによるタテ坑の施工は大幅な工期短縮をもたらす。しかし、工事発注から比較すると、多少長くなる場合が多い。これは、マシーンの製作がクリティカルパスとなるためである。しかし、本格的な現地作業は、次例に示すように極めて短く、とくに本掘進は、タテ坑規模、土質によって異なるものの、1日1リング（1m程度）の進行が標準である。

このような現地での作業時間短縮の結果、現場経費の低減ばかりでなく、道路占有期間の短縮、近隣に対する迷惑の解消等、数字に表せないメリットが大きい。条件によって異なるが、φ8mクラス、深度50mの立坑工事の標準的な工程を図-2.5に示す。

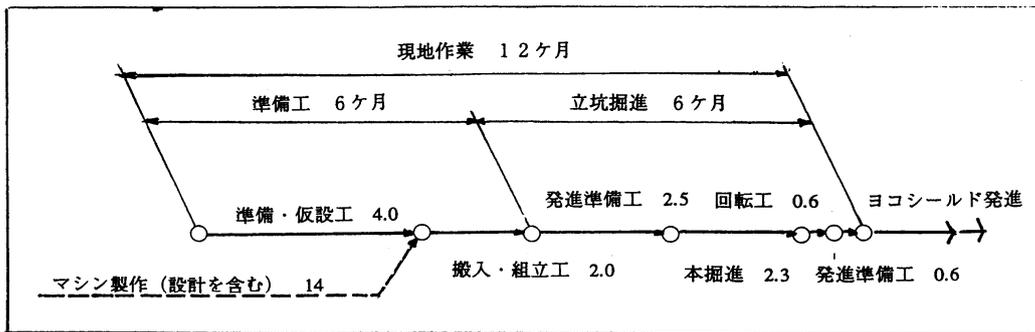


図-2.5 球体シールドによるタテ坑工事工程（例）

(3) 工事費

球体シールドによる立坑施工によって、コンパクト化と機械的に信頼性のある施工等のため種々の経済的メリットを生じる。従来工法と比較する場合、単に立坑築造費のみを比較するのではなく、表-2.1に示す項目を加えることで、より明確になる。

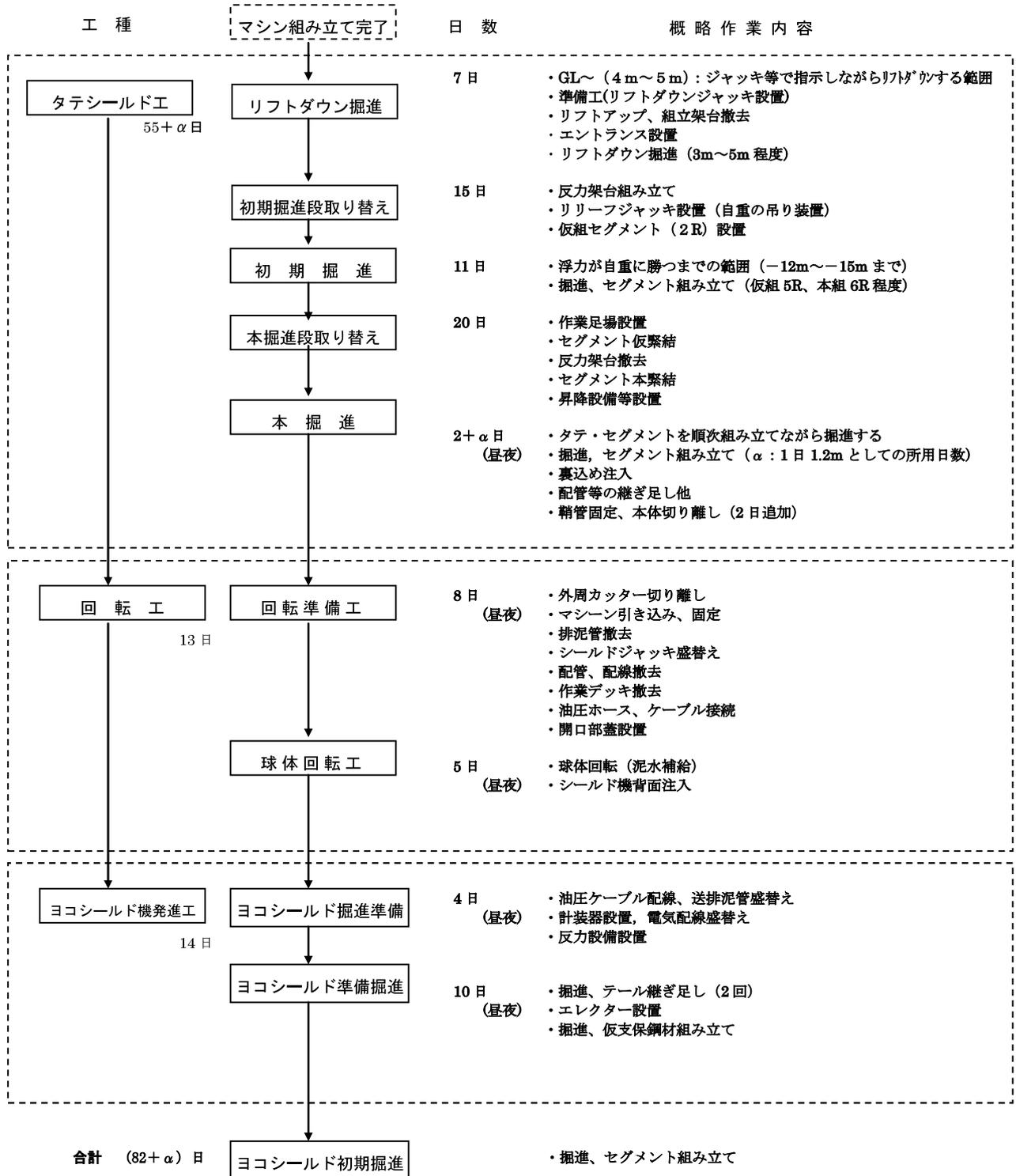
表-2.1 比較のために考慮する項目

	球体工法	従来工法
用地費		用地取得費の差額
直接工事費	立坑築造費	立坑築造費+シールド機価格 鏡切断費 発進坑口部地盤改良費 発進設備費（発進架台、坑口、反力受） □底盤改良費 ■ケーソン周辺地盤改良費 △ディープウェル費 △環境対策にかかる費用 □躯体が小さくなった分の差額
間接工事費		工期短縮分の現場経費

□：連壁 ■：ケーソン △：共通

表—2. 2 タテ・ヨコシールド施工フロー例 (φ 5 m～8 m)

(タテシールド掘進工・球体回転・ヨコシールド発進工)



## 2. 3 シールド

### 2. 3. 1 全体構造と名称

タテヨコシールドの基本的な全体構造と名称を以下に示す。(サヤ管有りの場合)

#### (1) 底部シールド型

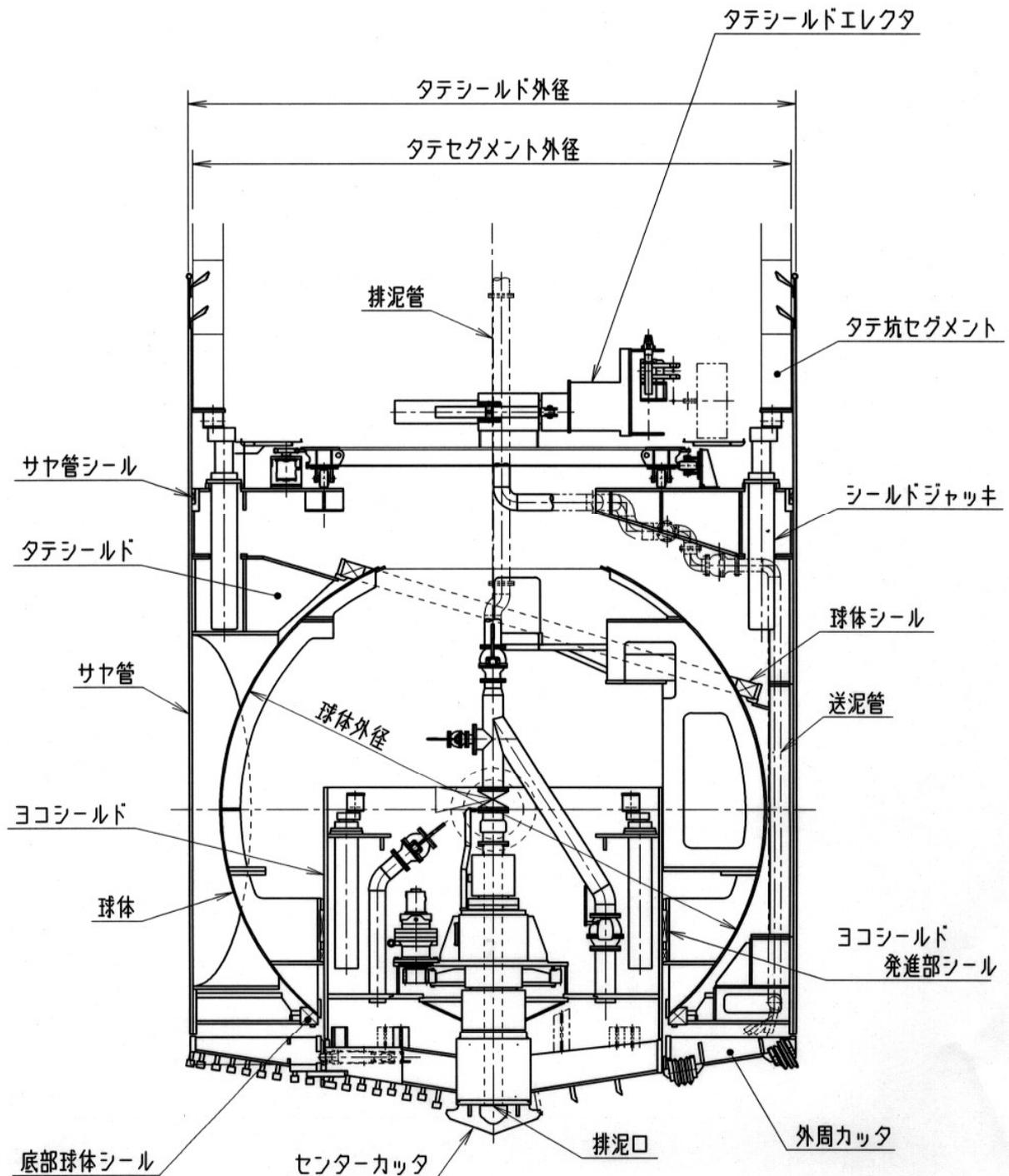


図-2. 6 底部シールド型 (タテシールド掘進)

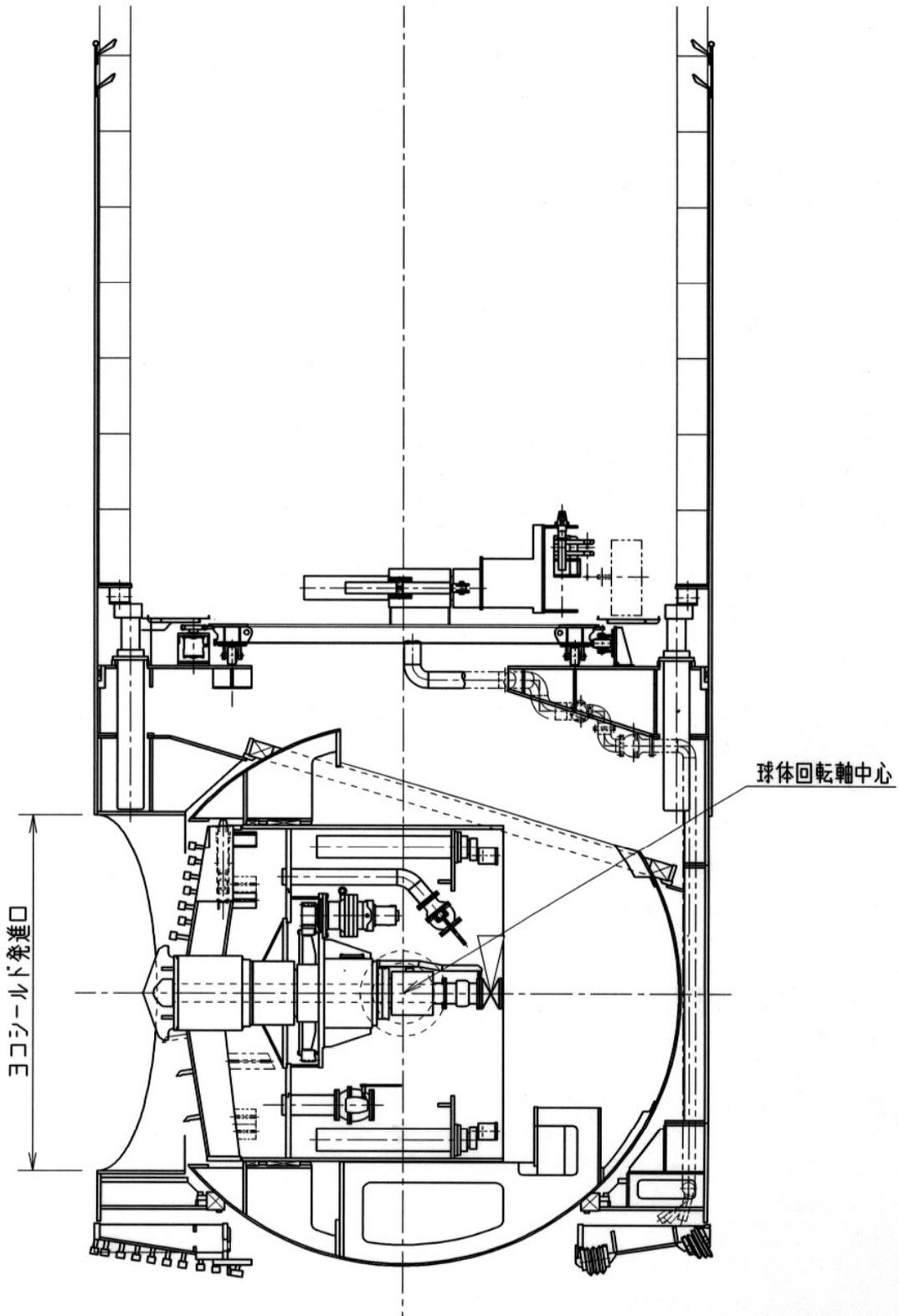


図-2. 7 底部シール型（ヨコシールド発進）

(2) 球体シール型

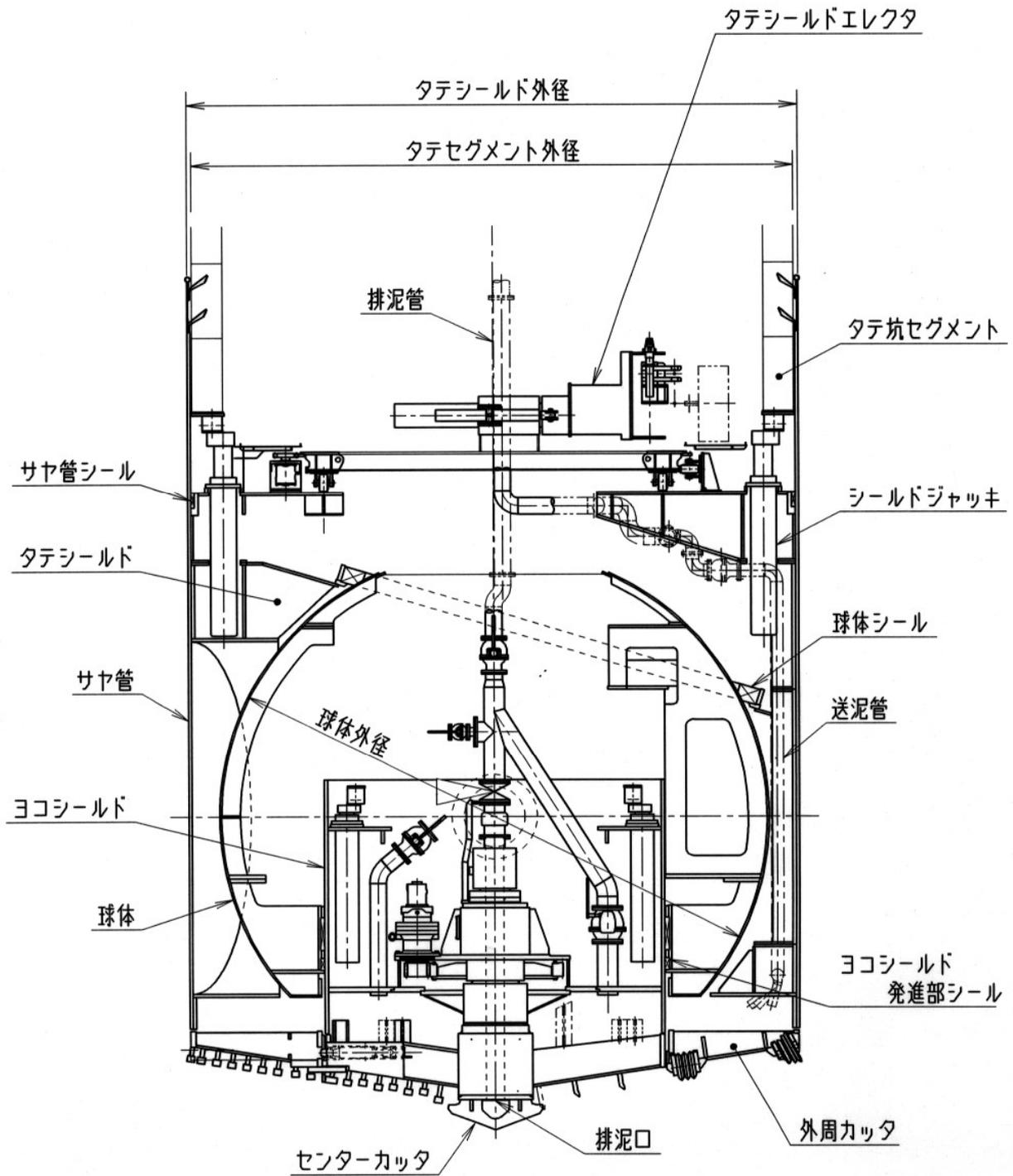


図-2. 8 球体シール型 (タテシールド掘進)

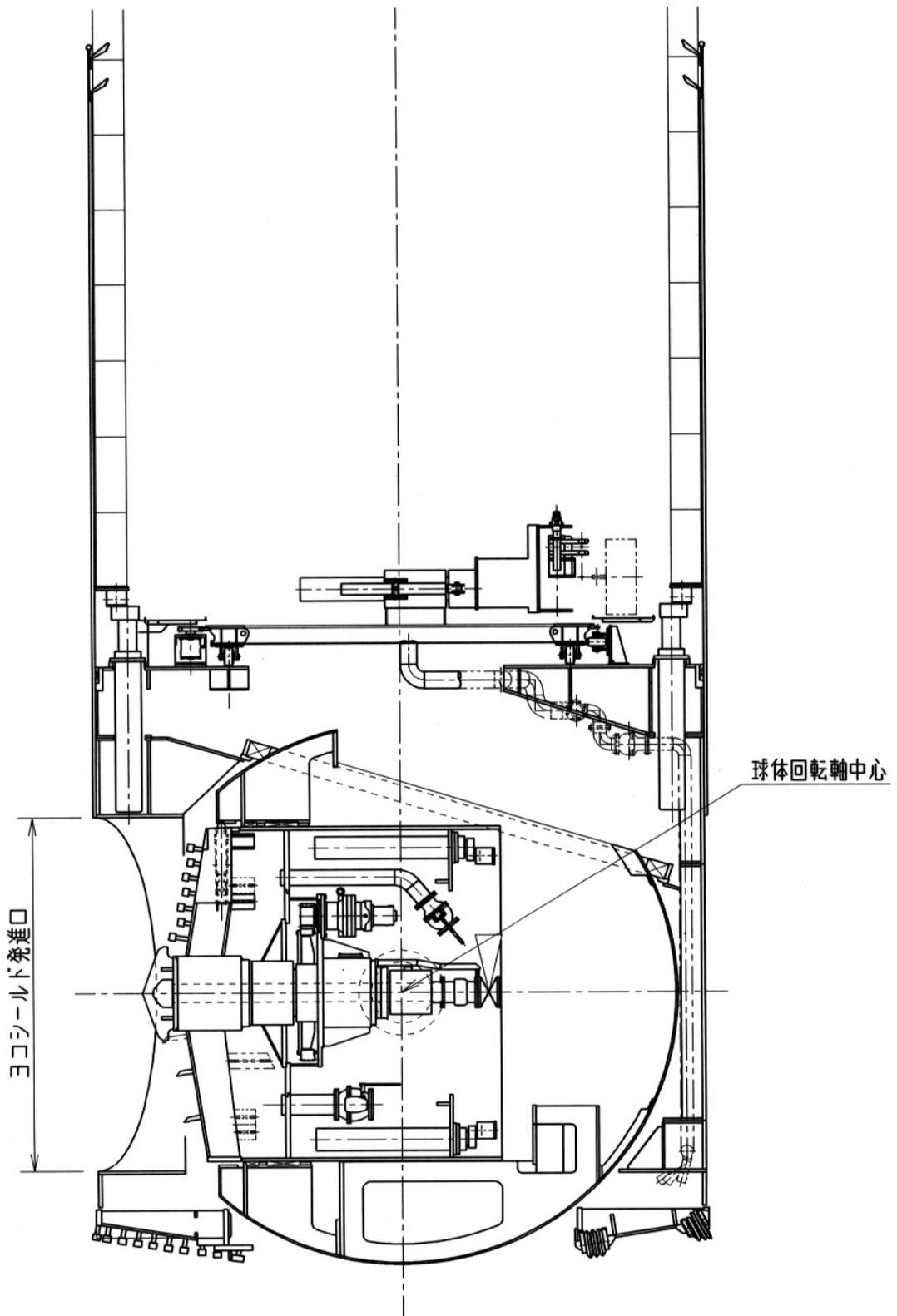


図-2. 9 球体シール型 (ヨコシールド発進)

## 2. 3. 2 基本機能

タテヨコシールドの基本機能を以下に示す。

- ① タテシールドは、テール内でタテ坑セグメントを組立て、セグメントを反力にシールドジャッキにて降下する。
- ② タテシールドには球体を内蔵し、所定位置で球体を回転することができる。
- ③ ヨコシールドは球体に内蔵され、カッタおよびカッタ駆動装置はタテ・ヨコ兼用する。
- ④ 球体を回転させる時、ヨコシールドは球体内に引き込む。外周カッタは、ヨコシールドから切り離し残置する。
- ⑤ 球体シールは、球体周囲から地下水が機内に侵入するのを防止し、底部球体シールは球体解体時、立坑床付け部から坑内へ地下水が侵入するのを防止する。
- ⑥ タテシールドの排土は、センターカッタ中央部より排泥する。
- ⑦ タテシールドスキンプレートにはヨコシールド発進口を設ける。
- ⑧ タテシールド掘進時の操向性への影響等を防止するため、タテシールドの外側をサヤ管でおおう。
- ⑨ サヤ管を省き、発進部にモルタルを充填する場合もある。

## 2. 3. 3 球体および球体回転部構造

タテヨコシールドの球体および球体回転部構造を以下に示す。

- ① 球体はタテシールドから回転軸で支持し、回転可能な構造とする。
- ② 球体上部開口からヨコシールドへ電源、油圧の供給、送排泥管敷設を行う。
- ③ 球体の一部は、球体回転後、作業空間確保のため取りはずせる構造とする。
- ④ 球体の回転はタテシールドと球体の間に設けられた球体回転ジャッキを用いる。
- ⑤ 球体と内蔵されたヨコシールドの間には、ヨコシールド発進部シールを設ける。

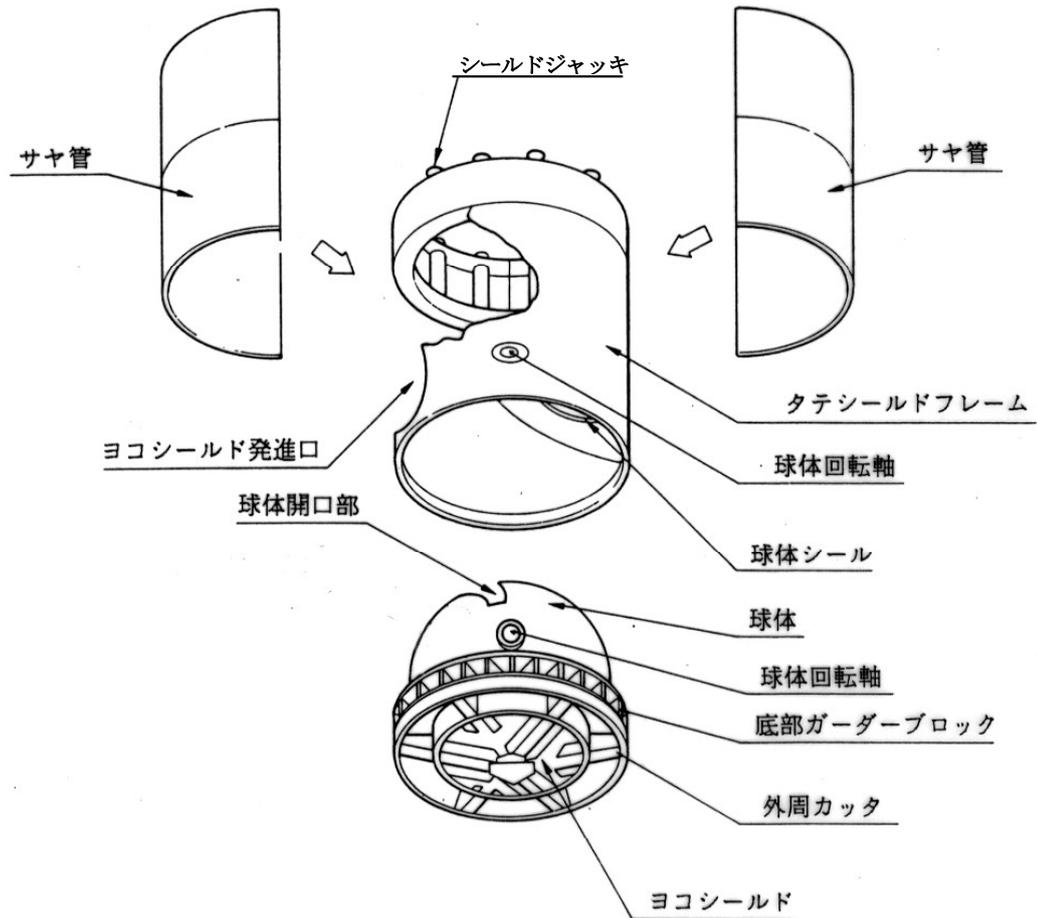


図-2. 10 球体及び球体回転部構造

### 2. 3. 4 球体シール

球体シールは次の機能を必要とする。

- ① 球体の静止時と回転時に耐圧性能が確保できる。
- ② 球体の製造精度に追従し、耐圧性能が確保できる。

図示されている球体シール（図-2. 11）は、実験により水圧 0.98MPa での耐圧性能が確認されている。

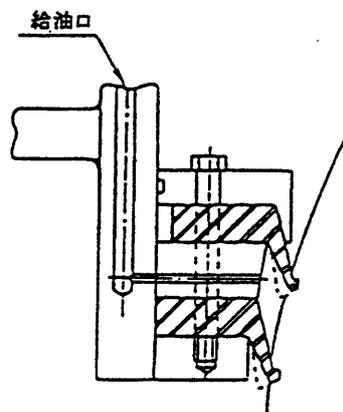


図-2. 11 球体シールの形状

### 2. 3. 5 底部球体シール

底部球体シールは次の機能を必要とする。

- ① 球体の静止時に耐圧性能が確保できる。
- ② カッタがシール部を通過することに耐える。

図示されている底部球体シール（図-2. 11）は、実験により水圧0.98MPaでの耐圧性能が確認されている。

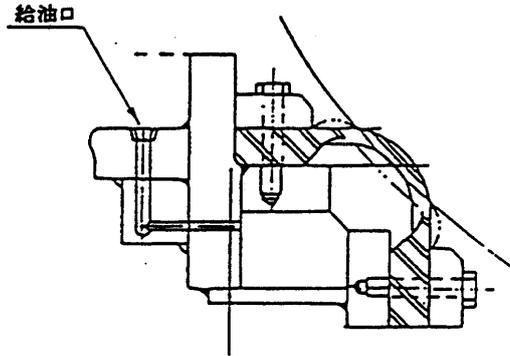


図-2. 11 底部球体シールの形状

### 2. 3. 6 サヤ管スライド機構

サヤ管のスライドは立坑セグメントに取り付けた固定リングにサヤ管を固定し、タテシールドが降下することにより行われる。ただし最近ではサヤ管を使用せず、ヨコシールド発進用開口部に繊維混入モルタルを充填する方法が主流となっている。

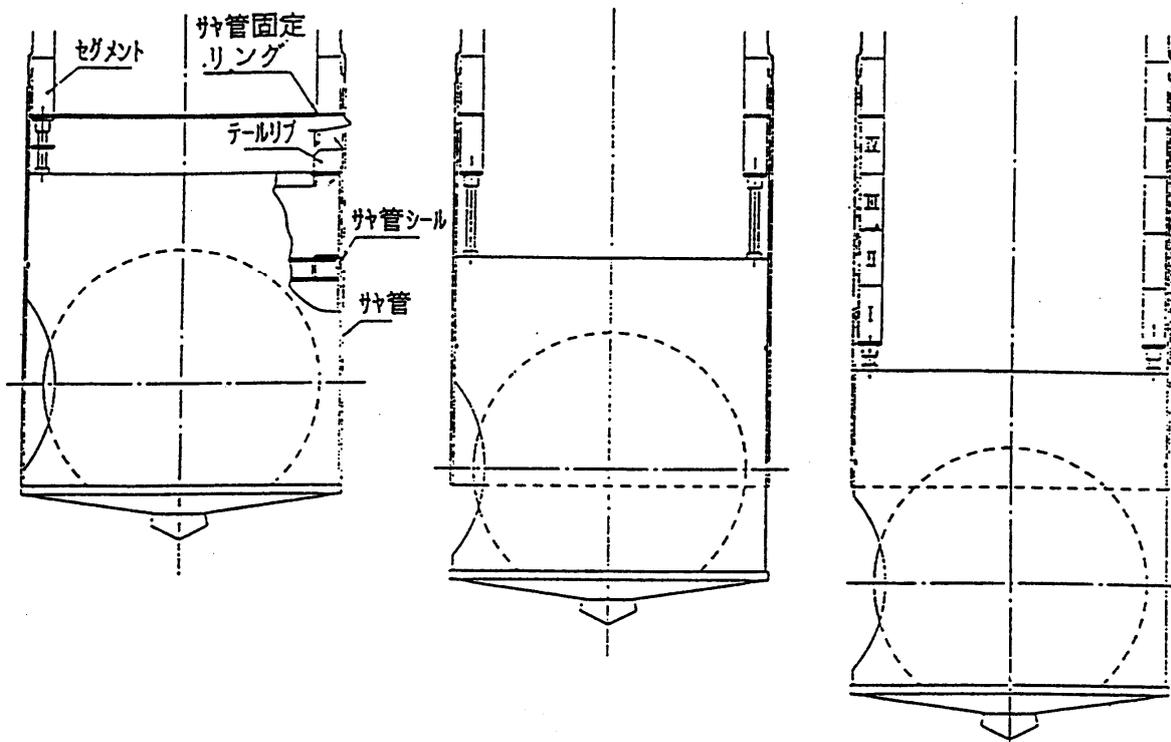


図-2. 12 サヤ管スライド方法

### 2. 3. 7 外周カッタ脱着機構

外周カッタとヨコシールドカッタは、ストッパーピンにより結合しており、油圧ジャッキによりストッパーピンをヨコシールドカッタ側に抜くことで外周カッタを切り離す。

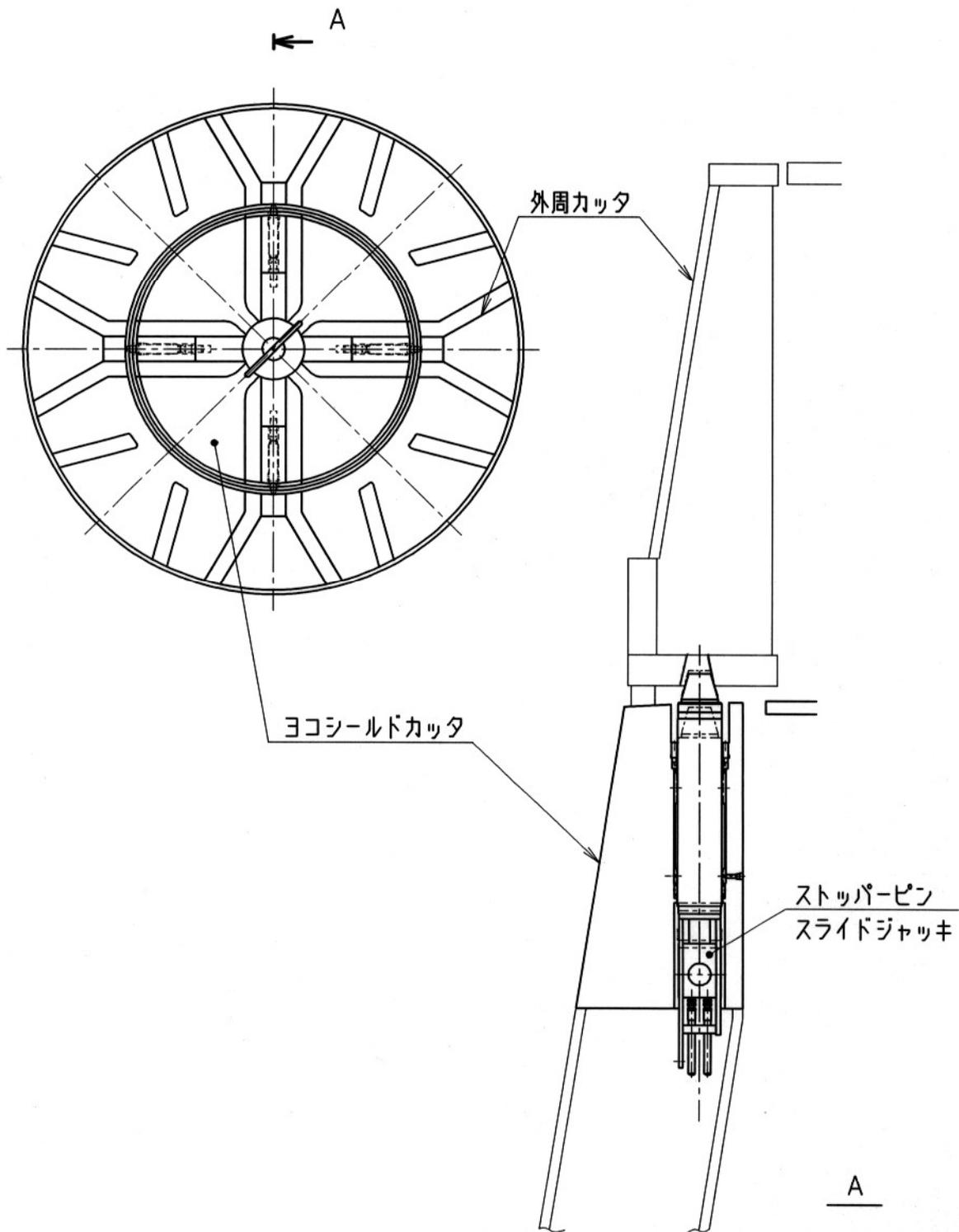


図-2. 13 外周カッタ脱着機構

### 2. 3. 8 カッタスライド機構

球体を回転させるには、ヨコシールドのカッタヘッドを球体中央方向へスライドさせ球体軸跡内に収める必要がある。このためヨコシールドジャッキをスライドジャッキとして用い、ヨコシールド全体を球体中央方向へスライドさせる。

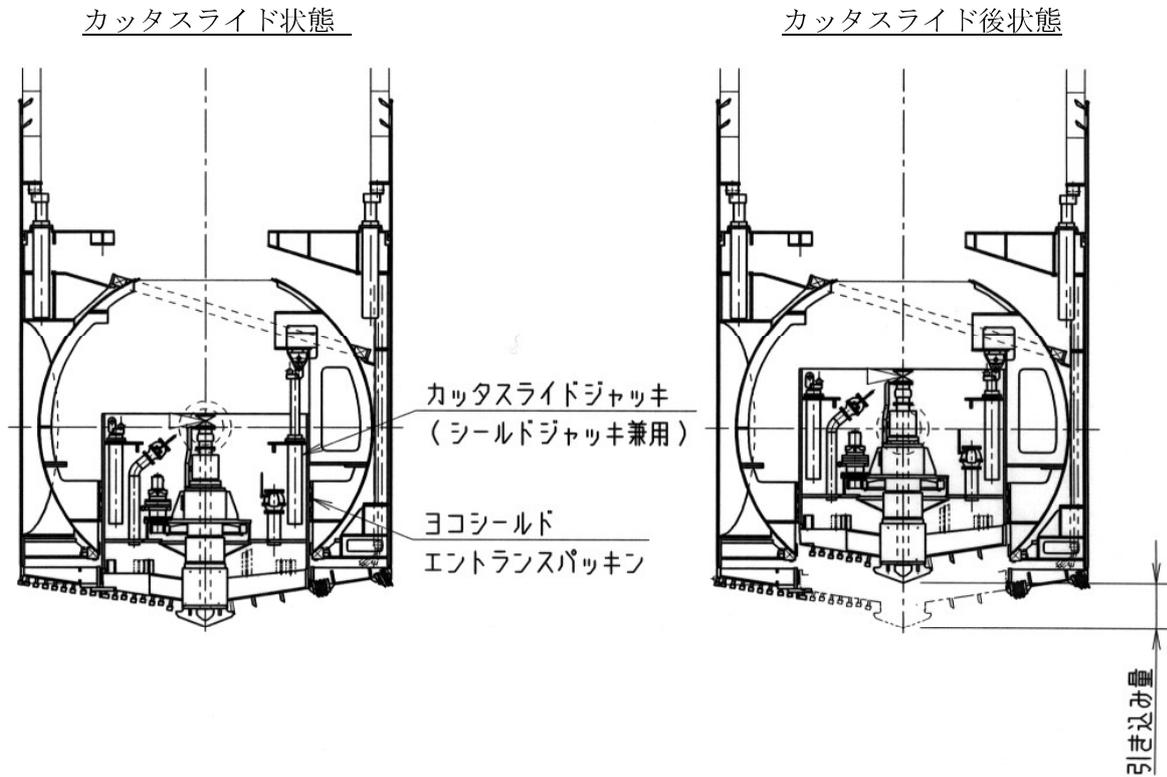


図-2. 14 カッタスライド機構

### 2. 3. 9 タテシールドエレクトタ装置

立坑セグメントを組み立てるエレクトタ装置は回転リングと周方向押付けフレームと上下スライドフレームからなり、タテシールドのガーダ部上側に設ける。

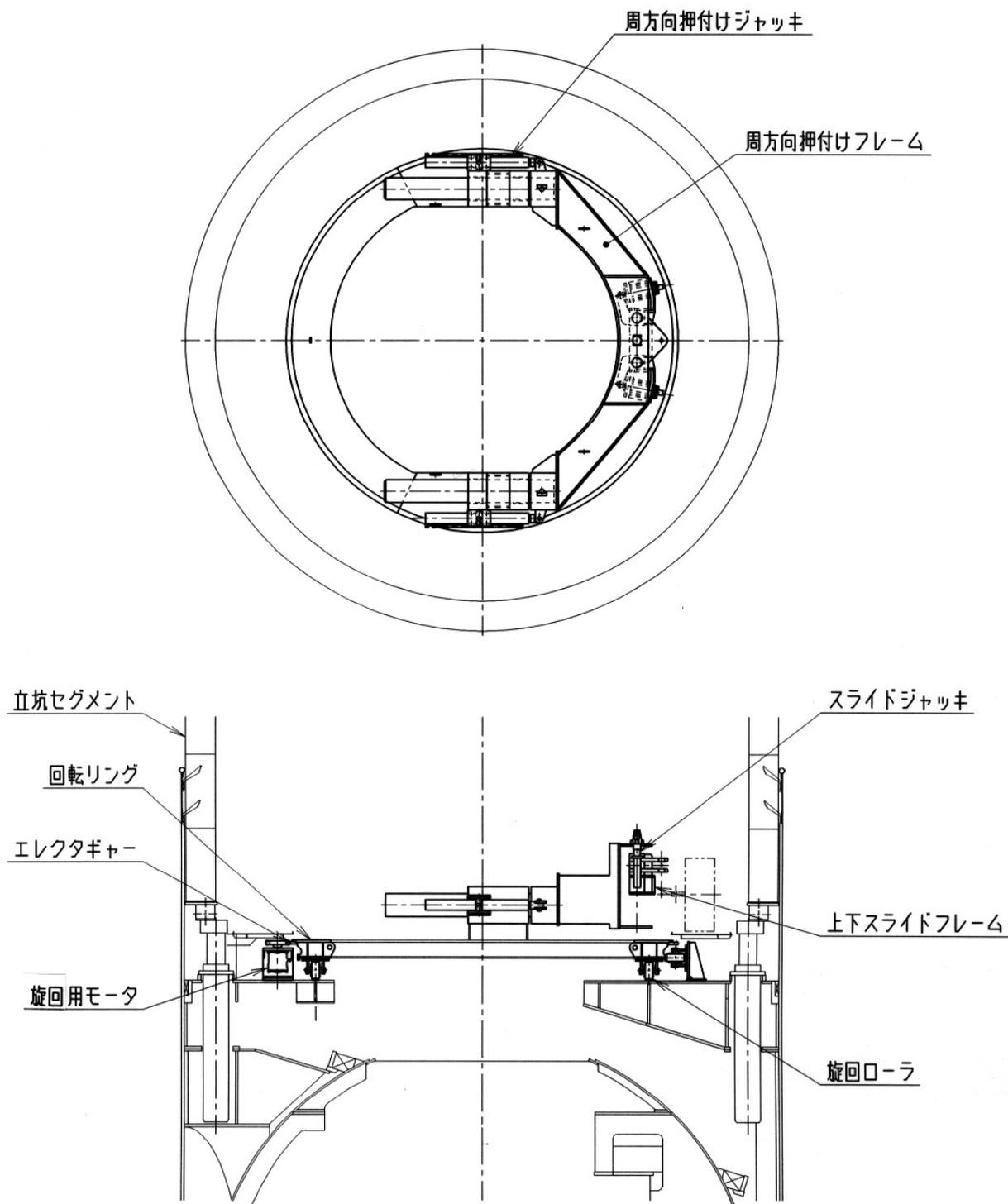


図-2. 15 タテシールドのエレクトタ装置

### 2. 3. 10 タテシールドずり出し装置

タテシールドずり出し機構は泥水式を基本とし、送泥管は球体の外側を通し極力外周側に配設し、中央に向けて送泥する。排泥は、カッタのセンターシャフトを通して中央部より行う。

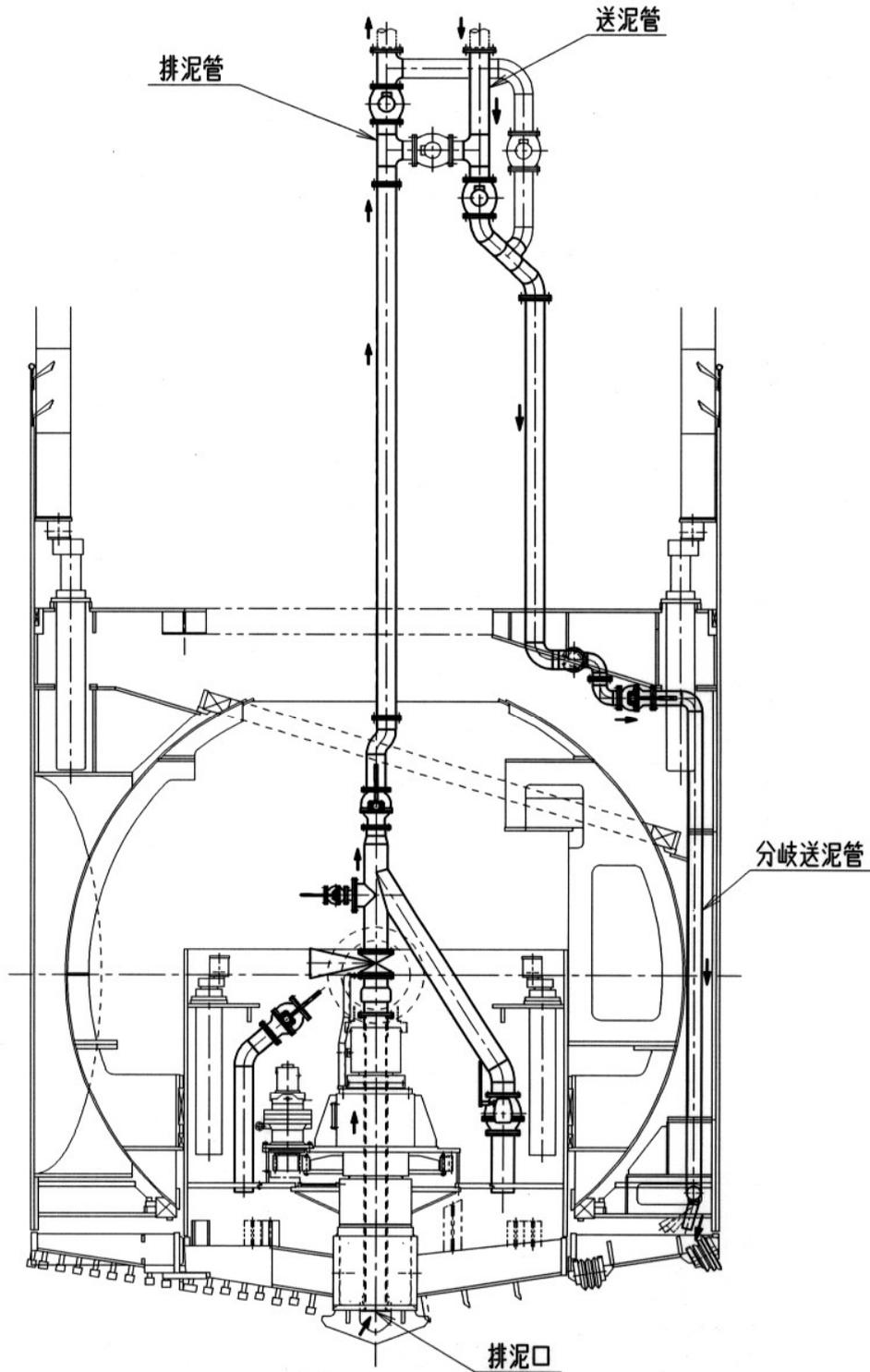


図-2. 16 タテシールド送排泥配管

### 2. 3. 1 1 シールドマシン掘進時の支持機構

タテシールド機を垂直下向きに掘進する際、タテシールド機には、上下方向に次の力が作用する。

- 上方向力 : 浮力 (U)
- : 掘進抵抗 (R<sub>m</sub>)
- 下方向力 : マシン自重 (W<sub>m</sub>)

なお、掘進抵抗 (R<sub>m</sub>) は、マシンの周辺摩擦または粘着抵抗、および、先端抵抗力等から成り立ち、マシン静止時に0、掘進時に最大値 (R<sub>m(max)</sub>) を示す。

ここで、下方向力が上方向力よりも大きな場合、 $T = W_m - (U + R_m)$  の力でマシンを吊り下げながら掘進し、上方向力が下方向力よりも大きな場合は、 $P = (U + R_m) - W_m$  のジャッキ反力で後方のセグメントを押し付けながら掘進する。

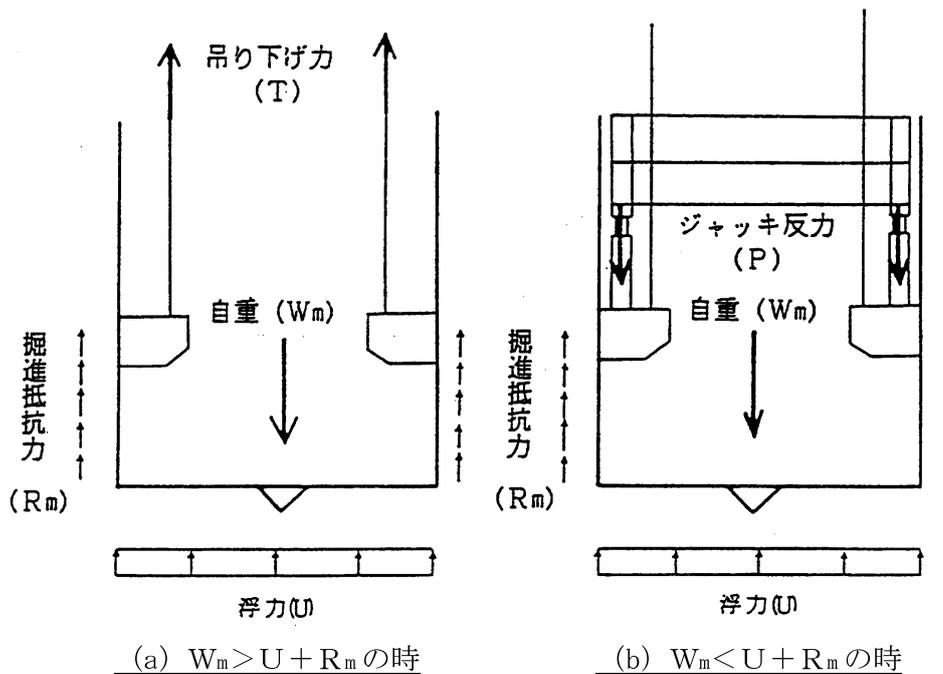


図-2. 17 タテシールドマシン内のつり合い状態

このマシンへの作用荷重は、下図に示すように掘進深度と共に変化する。

まず、PC鋼線を介して上部架台にて支持をする吊り下げ力 (T) は、掘進抵抗が作用しないマシン静止時に最も大きく、掘進当初マシン全自重を吊り下げるが、掘進が進み浮力が作用するにつれて減少し、無くなる。

これに対して、ジャッキ反力 (P) は、掘進抵抗が作用する掘進時に最も大きく、掘進深度が大きくなり浮力が増大するとともに増加して行く。

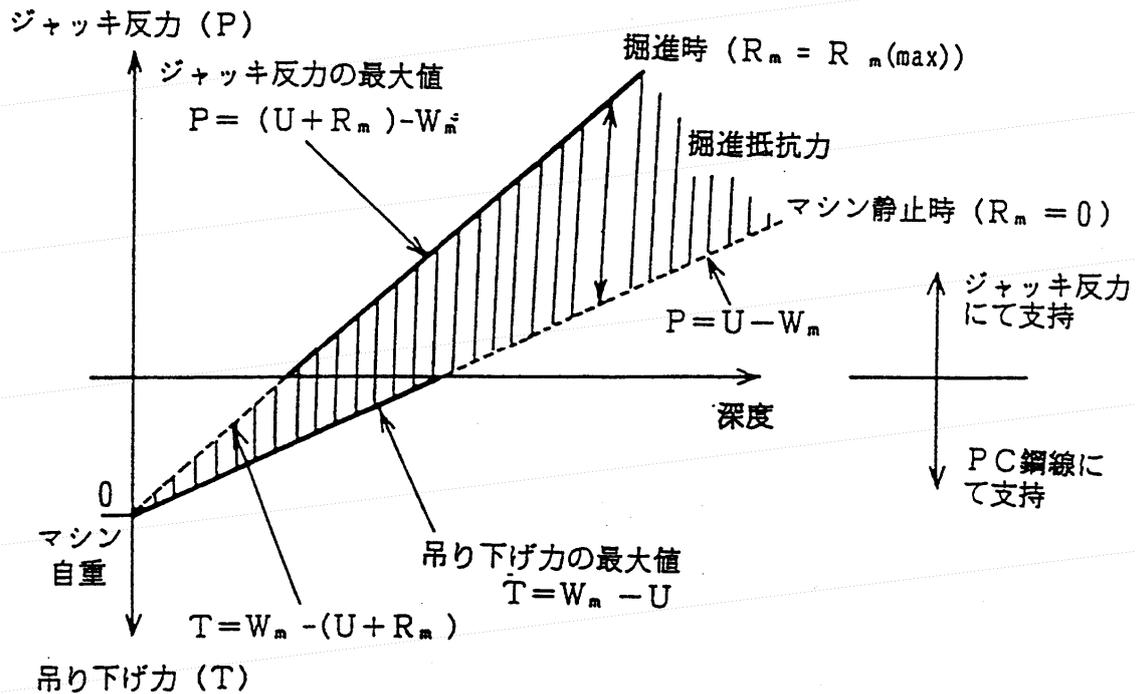


図-2. 18 タテシールドマシンの作用力図

以上より、タテシールドの掘進は、初期状態においては、PC鋼線の索引力を緩める事により掘進させるが、ある深度に達した状態より、ジャッキ反力にて掘進し、その反力は深度と共に増大していくことが特徴である。

### 2. 3. 12 掘進時のジャッキ反力の抵抗機構

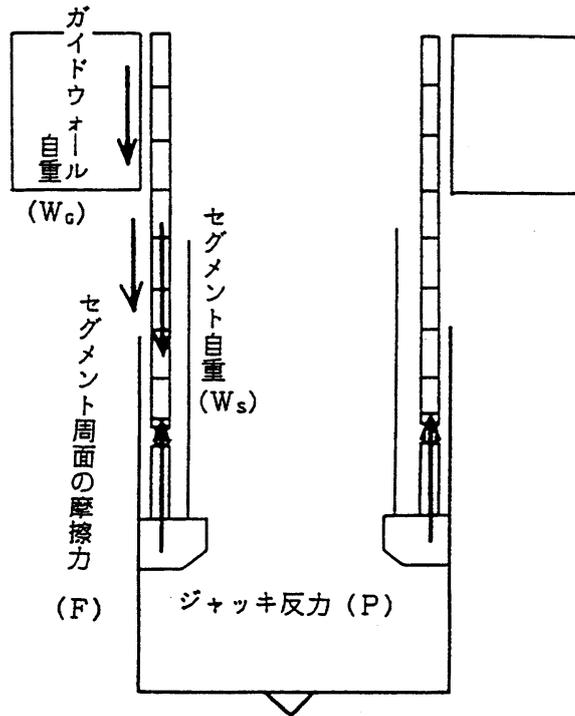
セグメントにシールドマシンのジャッキ反力が作用した場合、セグメントは、次の力の総和にてジャッキ反力 (P) に抵抗する。

$$\text{複合抵抗力 (R}_T\text{)} = W_s + F + W_G$$

セグメント自重 ( $W_s$ )

セグメント周面の摩擦力 ( $F$ )

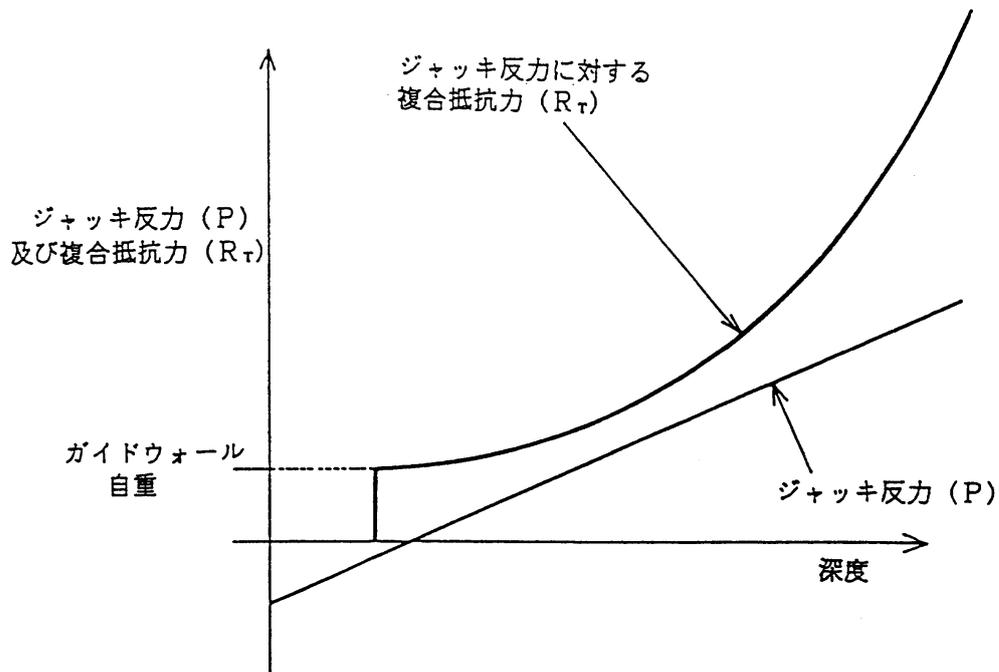
ガイドウォール自重 ( $W_G$ )



図—2. 19 ジャッキ反力と抵抗力

この場合抵抗力も、ジャッキ反力と同様に、シールドマシン掘進が進み、セグメント自重、及びセグメント周囲の摩擦力が大きくなるとともに増加するが、この値は、マシン諸元、土質等、各種パラメータによって異なる。

掘進深さの関数となるこのジャッキ反力 (P) と複合抵抗力 (R<sub>r</sub>) の関係を、下図に示す。



図—2. 20 ジャッキ反力と複合抵抗力の関係

ジャッキ反力に対する抵抗力は、あらゆる深度において、個々の抵抗力をチェックすると共に、複合の抵抗力で安定させる場合は、その連結状態を含めて安定を確認しなければならない。

ここで、複合抵抗力がジャッキ反力を下回る状態が発生する場合は、各諸元の変更、または補助工法の併用にて、抵抗力が常にジャッキ反力を上回る構造系を検討する。

### 2. 3. 1 3 立坑完成時の構築物の安定

完成時の立坑構造物に対しても、非常に大きな浮力が作用する可能性があるため、これに対しても安定な構造体となるよう照査、検討しなければならない。

## 2. 4 立坑セグメント

### 2. 4. 1 立坑セグメントの構造

立坑セグメントは、従来のセグメントと同様にA型、B型および円環結合用のK型セグメントで構成されている。また、施工時および完成後の浮力に対応するために、重量の大きな鉄筋コンクリート製セグメントを標準とし、さらに構造計算で必要とされる桁高以上の断面とする場合もある。

### 2. 4. 2 立坑セグメントの組立

セグメントは、クレーンでマシン内の作業床に吊り降ろし、エレクターにてA型セグメントより順次組立、K型セグメントを挿入して閉合する。

### 2. 4. 3 立坑セグメントの設計

立坑セグメントの設計は、完成後、施工時および地震時について検討を行い、断面の決定を行うものとする。完成後および施工時の検討は、偏圧も考慮した骨組構造解析により、地震時の検討は応答変位法にて行うのが適当と考えられる。

表-2. 3 検討ケース

	解析断面	作用荷重	偏 圧	許 容 応 力 度
完成後	横断面	土圧：静止土圧 水圧：間隙水圧	元撓み*1)	長期許容応力度
施工時	横断面	土圧：静止土圧 水圧：間隙水圧	10%割増し荷重 (1方向)*2)	50%割増し
地震時	縦断面	地盤応答変位	—————	50%割増し
	横断面	縦断面の解析で 得た地盤反力	—————	50%割増し

### (1) 元撓みについて

セグメントで構成されたリングは、真円に組立てられれば設計上は曲げモーメントが発生しない。しかし、組立誤差や不測の事態を考えれば必ずしも真円は保証されず、そのために曲げモーメントが付加されることが考えられる。従って、真円ではなく元撓みをもつ楕円管としてセグメント半径の 0.5～1.0 %の撓み量を想定する。

元撓みによる最大セグメント  $M^{+max}$

$$M^{+max} = \frac{\delta o}{1 - \frac{q}{P c r}} \cdot N^{+}$$

$$N^{+} = q \cdot R c$$

ここに、 $q$  : 外圧

$P c$  : セグメント軸芯半径

$\delta o$  : 初期楕円最大ずれ量

$P c r$  : 円弧形アーチ座屈荷重

$$\left( = \frac{3 E I}{R c^3} \right)$$

### (2) 10%割増し荷重について

施工時の横断面の検討において、10%の割増し荷重を考慮したのは、地質の不均一、掘削によるゆるみなど施工の段階において予測できない一時的偏土圧が作用するおそれがあると考えたためである。

また、過去の立坑設計例を参照しても、施工時の偏圧も 5%～10%としていることから、これにならったものである。

## 2. 4. 4 地震対策

立坑セグメントを地盤急変部に構築する場合は、地震時の検討において、縦断方向の継ぎボルト(リング間ボルト)等の応力度が許容値を越えることが十分考えられる。このような場合には、地震動、地山条件、立坑の形状寸法等を考慮して、地震による影響の検討を行う必要がある。

## 2. 4. 5 立坑底部構造

タテシールド機により施工される立坑底部の最終的な構造は、タテシールド外板(シールド機のスキンプレート、補強リブ材)、球体および球体セグメントの一部で構成される。

立坑底部構造は用途に応じて異なる構造とし、立坑底部を広く利用する場合は、タテシールドの底部は底部球体シールにより止水し、ヨコシールド初期掘進完了後、球体に作用する揚圧力をタテシールド外板に受け替え、球体シールおよび球体の軸受けピン構造を撤去する。(図-3. 2 1) また、配管等のためのスペースのみが必要な場合は、タテシールドの底部に止水構造を設けず、球体シールおよび球体の軸受けピン構造を撤去しないものとする。(図-3. 2 2)

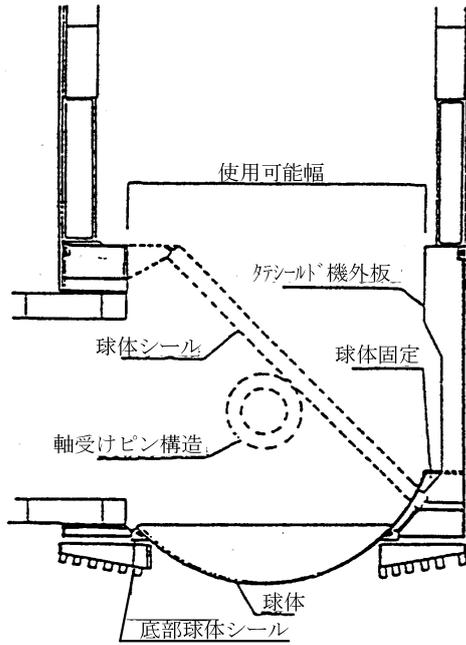


図-2.21 立坑底部構造  
(底部を広く利用する場合)

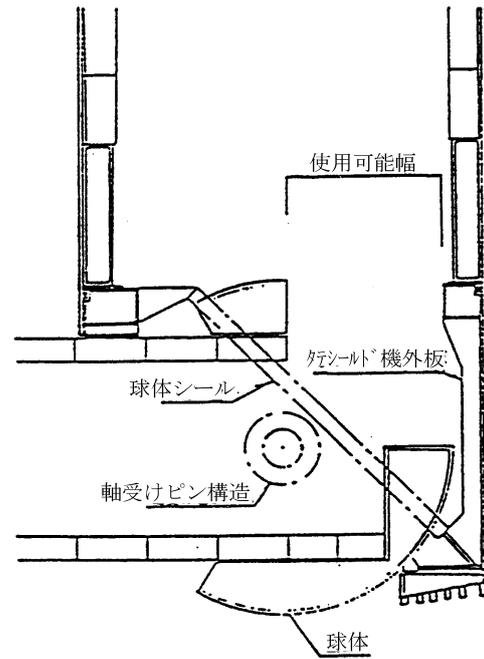


図-2.22 立坑底部構造  
(有効スペースのみが必要な場合)

#### 2.4.6 立坑底部構造の設計

立坑底部構造の設計は、検討モデルとして、

- ① 外圧に対して、タテシールド外板、球体および球体セグメントの鋼構造で抵抗すると考える場合。
- ② 外圧に対して、鋼構造および内巻鉄筋コンクリートの合成構造で抵抗すると考える場合。
- ③ 外圧に対して、内巻鉄筋コンクリート構造のみで抵抗すると考える場合。

と3つのケースが考えられるが、外圧に対する鋼構造と鉄筋コンクリート構造の荷重分担を決定するのは困難であり、また鉄筋コンクリート構造とした場合、構造的に下床版厚さを十分確保できず、水圧による大きな揚圧力に抵抗できないため、①の考え方を基本とする。

解析は常時荷重および地震時荷重について検討を行い、構造の安全性を確保する。

## 2.4 施工

### 2.5.1 施工手順

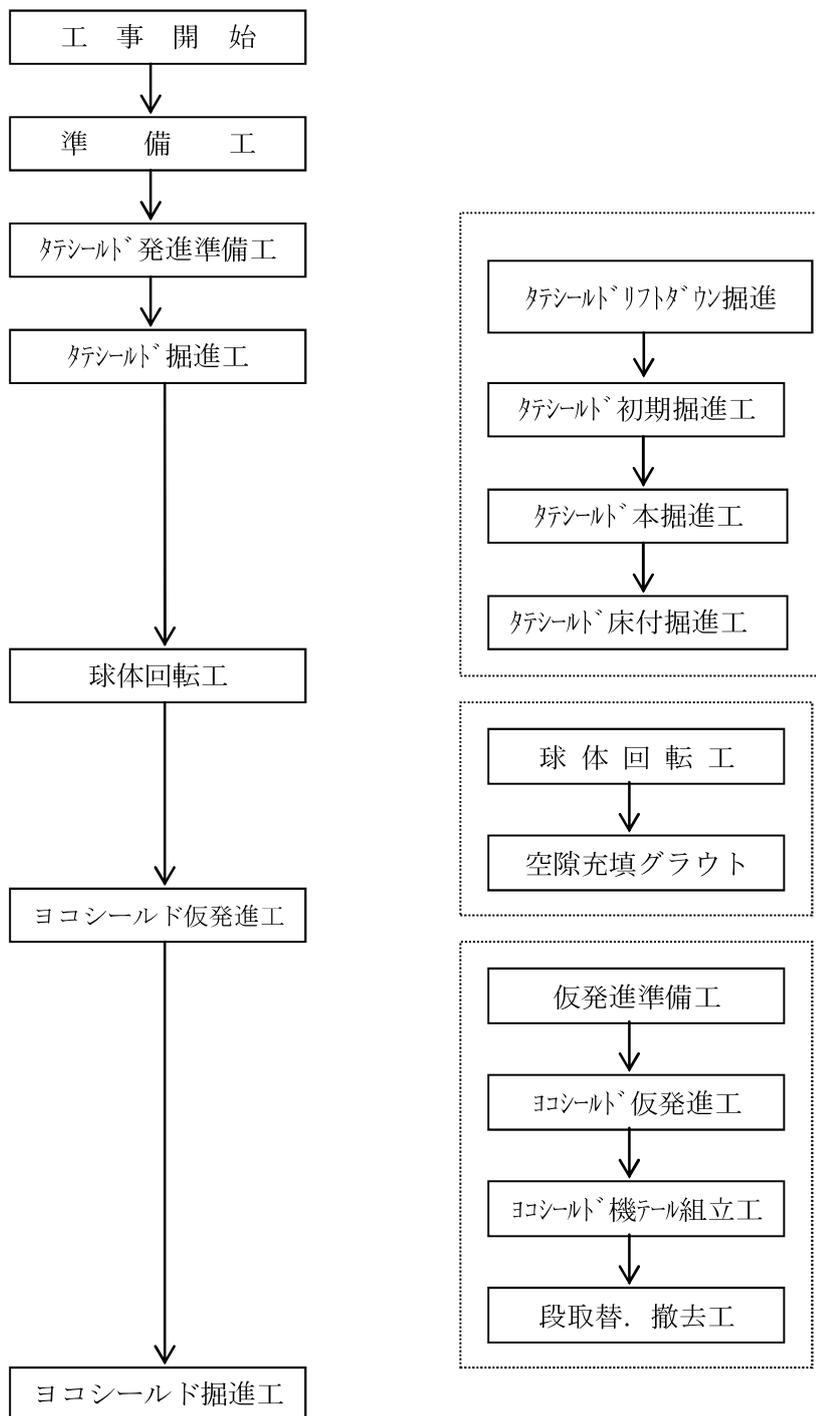
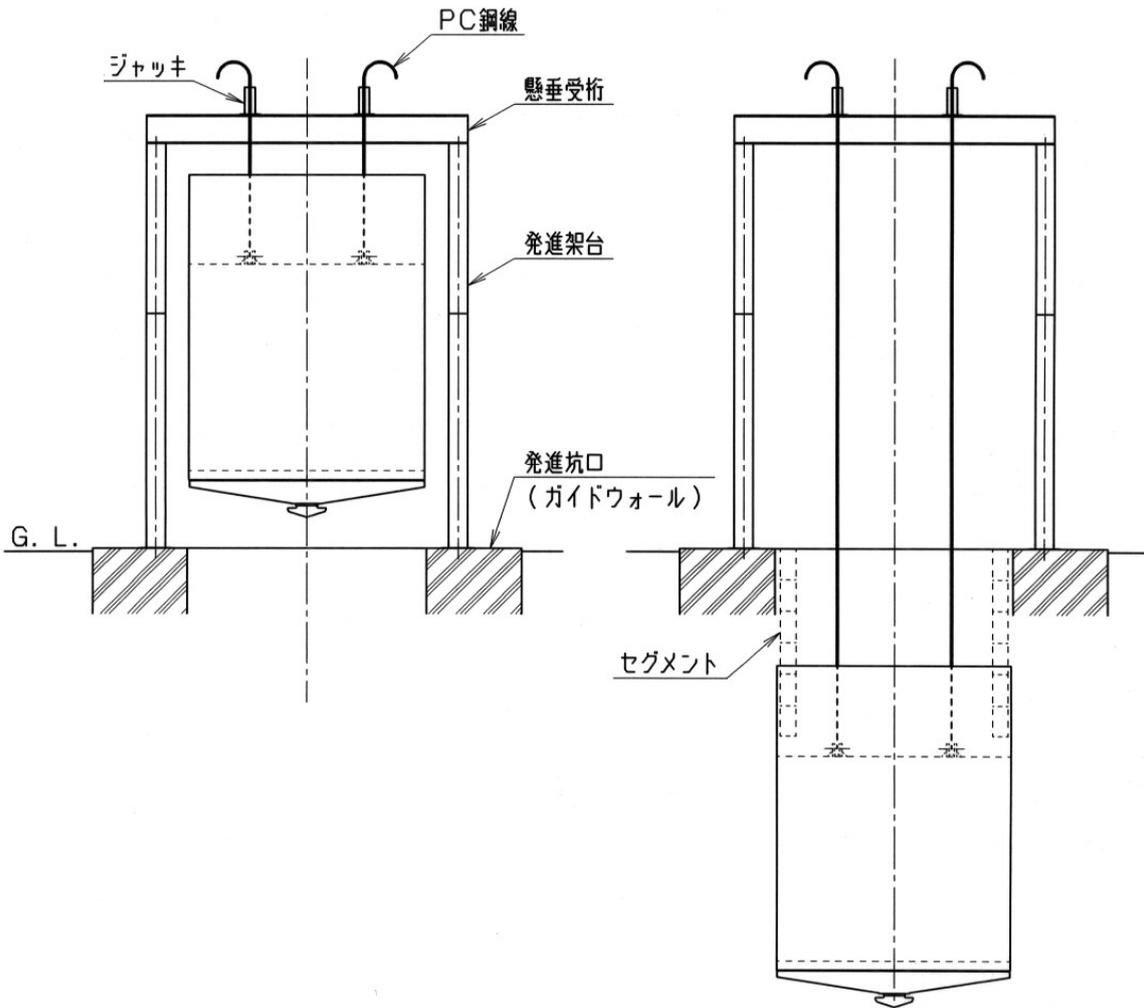


図-2.23 施工ステップ図

① タテシールド発進準備工

② タテシールド初期掘進工



③ タテシールド本掘進工

④ 球体回転工

⑤ ヨコシールド工

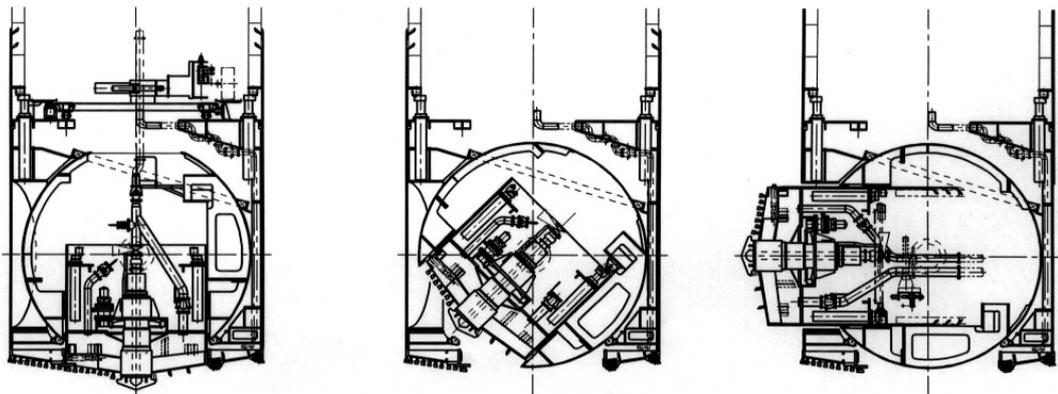


図-2.24 施工手順図

2. 5. 2 タテシールド発進

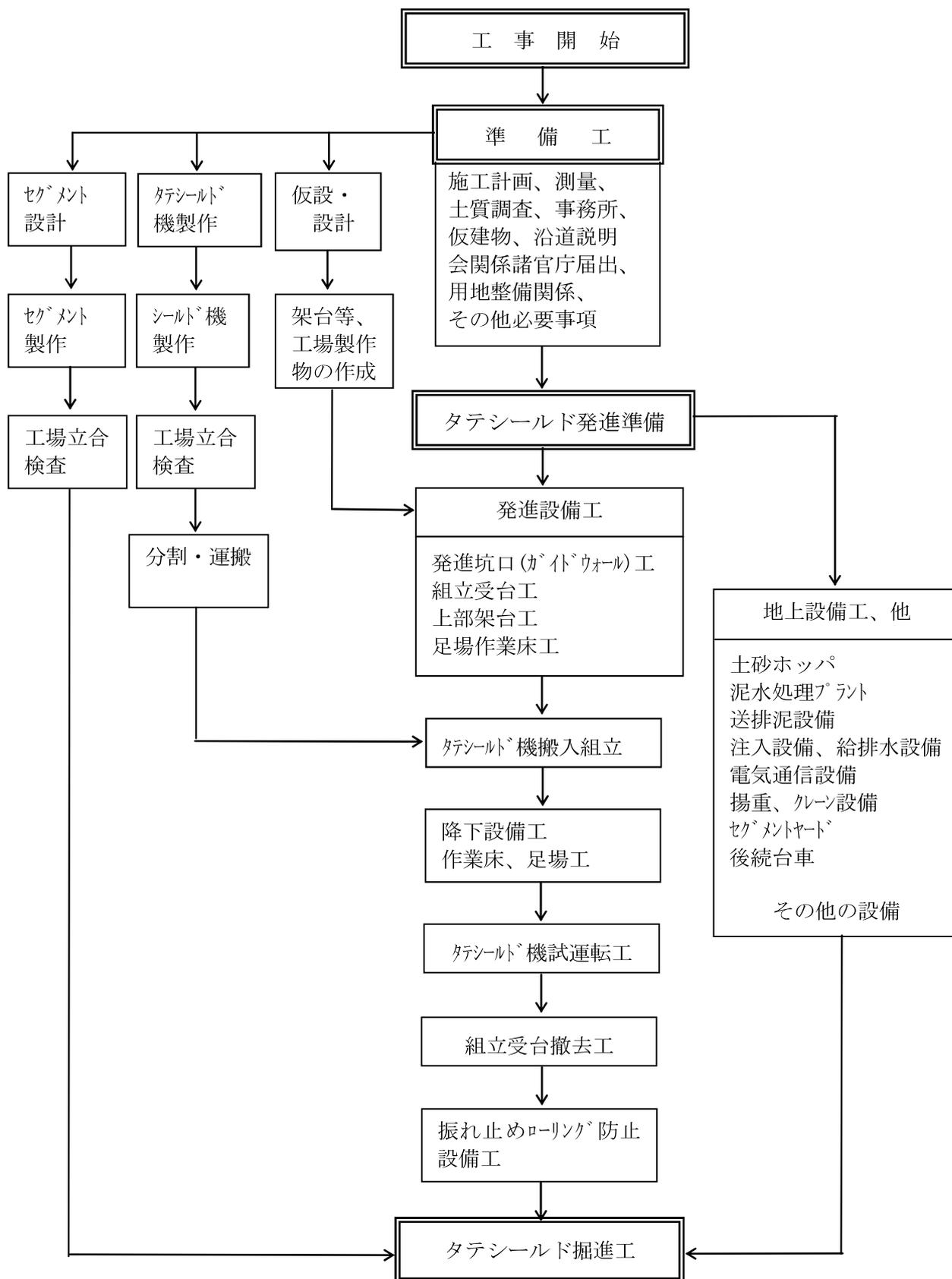
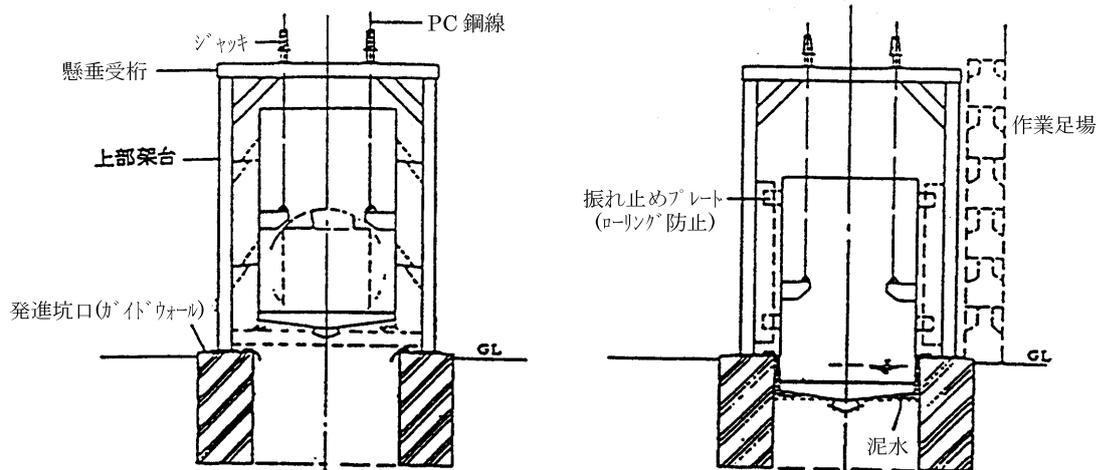


図-2. 25 タテシールド発進フロー



図—2. 26 発進坑口（ガイドウォール）、上部架台概念図

#### ① 発進坑口（ガイドウォール）の構築

発進坑口はシールド機の上部架台の基礎でもある。初期掘進後、セグメントと一体化することにより、浮力に対するカウンターウェイトとしての役割を果たす。

発進坑口は、土質条件により設計され、上部架台、セグメントとの固定方法を考慮して施工する必要がある。

#### ② 上部架台の設置

上部架台はシールド機の組立、試運転、また発進時の降下およびローリング防止の架台となると共に、初期掘進時のジャッキ反力をガイドウォールへ伝達する部材となる。

上部架台に伴う周辺足場、作業床の計画は作業内容、手順、安全性を考え、行わなければならない。

#### ③ シールド機の組立

シールド機は、垂直に倒立した状態に組立てられる。よって、組立受台、固定方法等、充分検討し、計画しなければならない。マシンの分割、運搬、組立は、球体、サヤ管等の構造、各シールド機構を考慮する。

#### ④ シールド機の発進（懸垂降下）

シールド機の発進は、シールド機を懸垂した状態で姿勢制御しながら降下させる。懸垂にはジャッキと、PC鋼線を使用する方法とリンク状の連結金具でシールド機を懸垂する方法がある。

2. 5. 3 タテシールド掘進

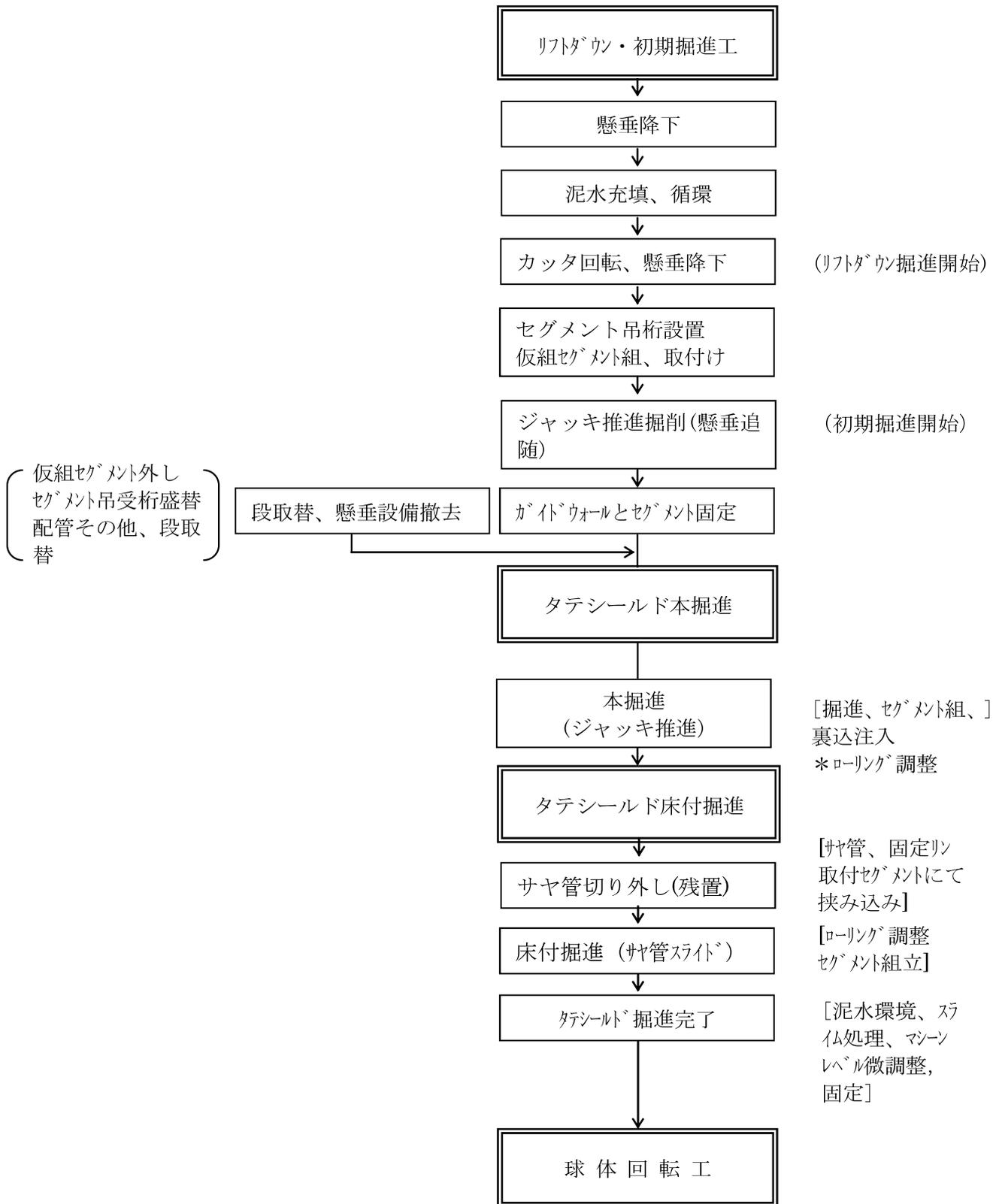


図-2. 27 タテシールド掘進フロー

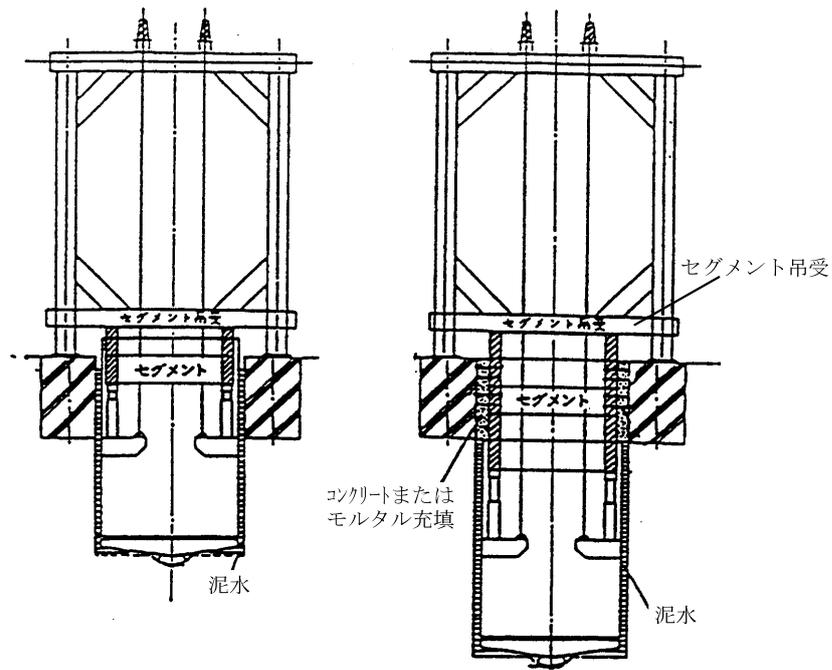


図-2.28 初期掘進図

- ① リフトダウン及び初期掘進は、シールド機を懸垂降下させながら掘進する。セグメント吊受桁を上部架台に取付け、セグメントを組立てる。テール部がガイドウォールより下がった時点でセグメントとガイドウォールを一体化する。不用となった仮設材を撤去し、本掘進へと移行する。
- ② 本掘進は、セグメントを反力にジャッキで掘進する。ヨコ坑の上端レベル付近まで来た時点で、床付掘進へと移る。
- ③ 床付掘進は、計算されたレベル位置で、サヤ管に固定リングを取付け、そのリングをセグメントにて挟み込み、サヤ管とセグメントを固定する。サヤ管とタテシールド本体を切離し、サヤ管を残置してタテシールド本体のみを掘進する。ヨコシールドの発進孔が現れて立坑部の掘進が完了する。(図-2.12)

## 2. 5. 4 球体回転

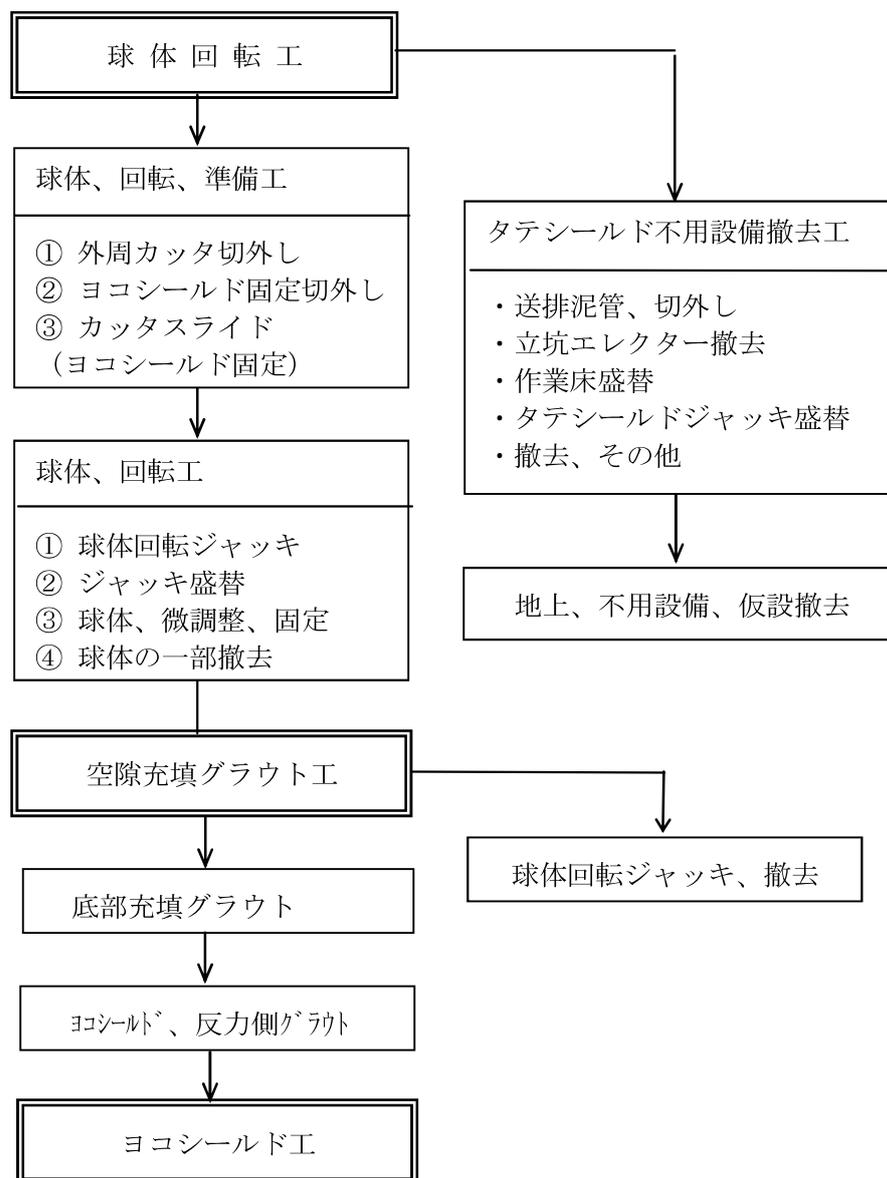


図-2. 29 球体回転フロー

タテシールドの掘進完了後、球体を回転し、ヨコシールドを掘進方向（水平）に向きを変える。作業手順を以下に示す。

- ① カッタ脱着機構のジャッキを縮め、外周カッタとのストッパピンをはずし、外周カッタを離脱する。
- ② ヨコシールドのシールドジャッキを縮め、ヨコシールド全体を上方へスライドさせ、球体の軌跡内へ収める。
- ③ 球体回転ジャッキを使用して球体を回転させる。
- ④ ヨコシールドが、掘進方向に向いたところで回転完了、球体を固定する。

- ⑤ 球体を回転させた後、球体の一部を撤去し、作業空間を確保する。
- ⑥ 底部球体シールに給油し、底部からの止水を図る。(底部シール型の場合)
- ⑦ 底部空隙に充填グラウトを行う。

球体外側は泥水で満たし、地山崩壊が起こらないようにする。

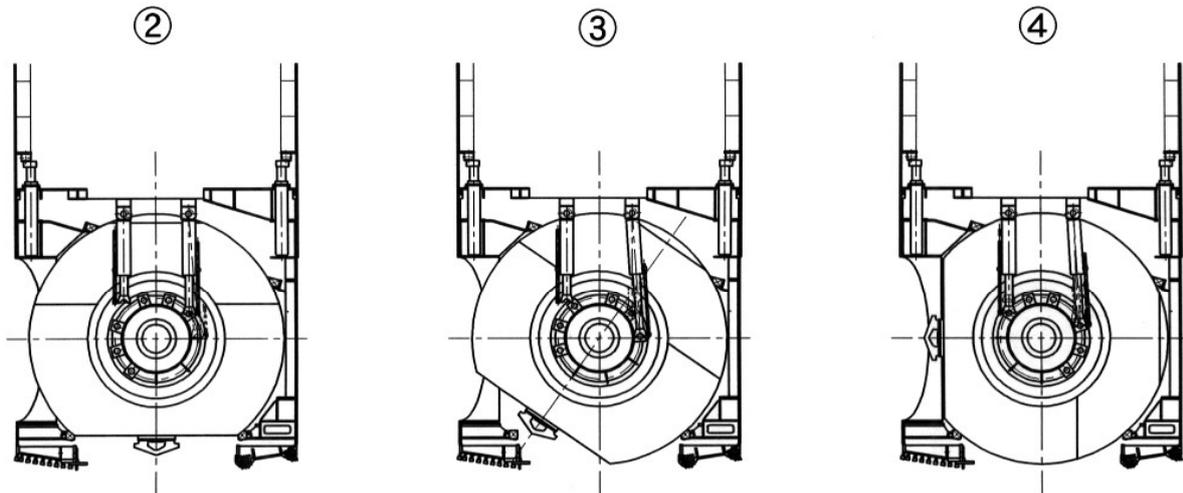


図-2.30 球体回転手順図

## 2. 5. 5 ヨコシールドテール組立

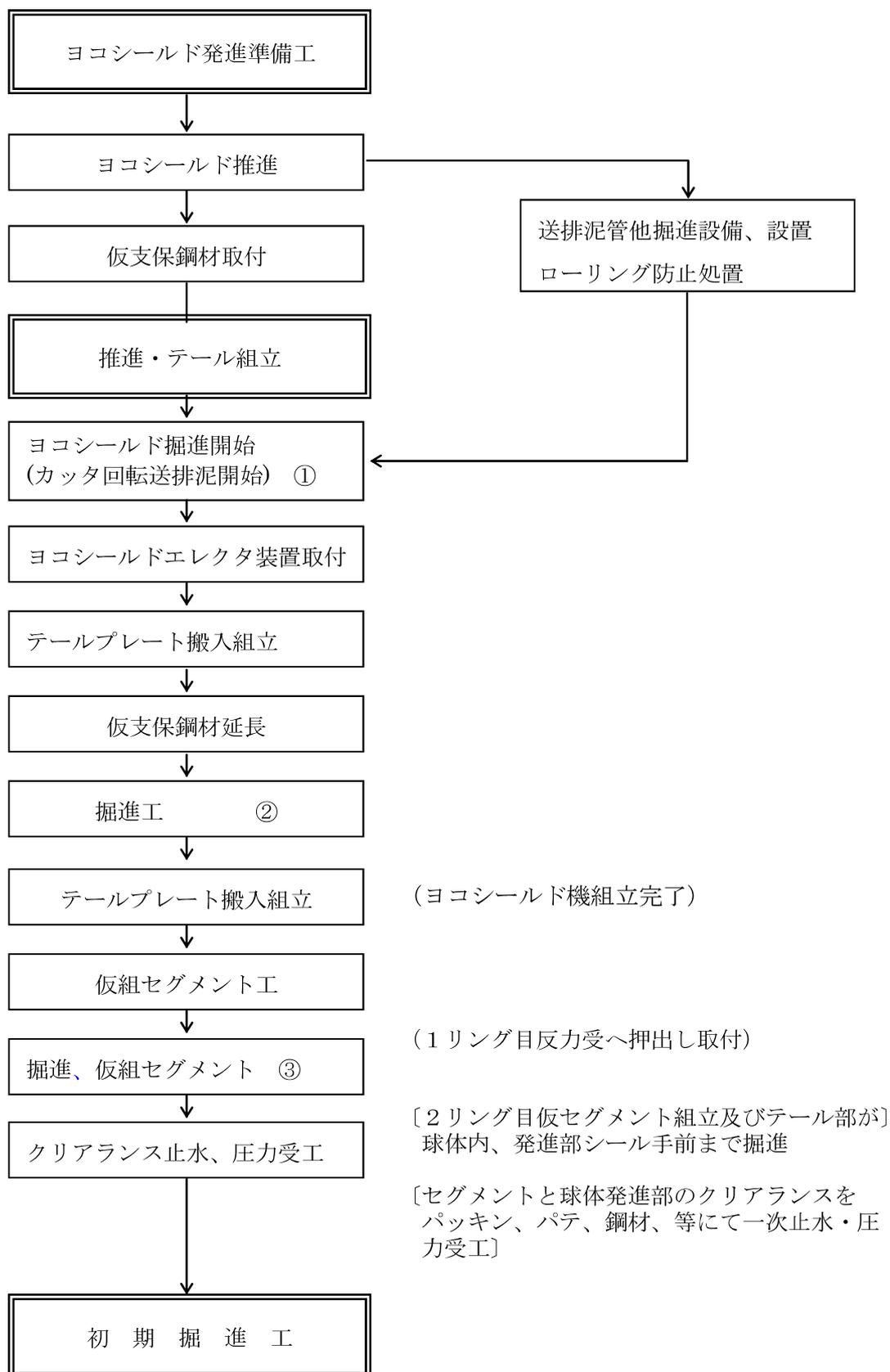


図-2. 31 ヨコシールド組立フロー

回転完了後、ヨコシールドのエレクターの組立およびテールプレートを継ぎ足し、発進する。反力受台は当初より球体に組み込んでおく。反力受台に伝達された力は、球体軸を中継し、タテシールド外殻全体で、地山に伝達される。テールプレートは、分割搬入され、シールド機の内側より裏波溶接し、組立てられる。継ぎ足し手順は以下のとおり。

- ① 掘進ジャッキを伸ばし推進し作業空間を確保する。エレクターを組立、分割されたテールプレートを搬入、溶接する。
- ② ジャッキと反力受台の間に仮支保鋼材を挿入し、掘進する。残りのテールプレートを継ぎ足し、ヨコシールドを完成する。
- ③ 仮支保鋼材を延長し掘進する。ジャッキを縮め、セグメントを搬入し、テール内で組み立てる。
- ④ ヨコシールドの初期掘進を行う。

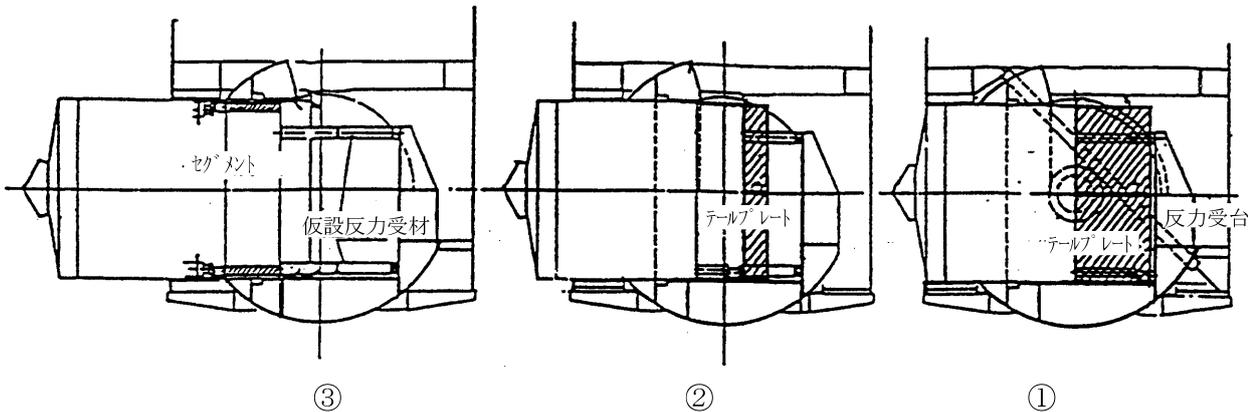


図-2. 32 ヨコシールド、テール組立手順図

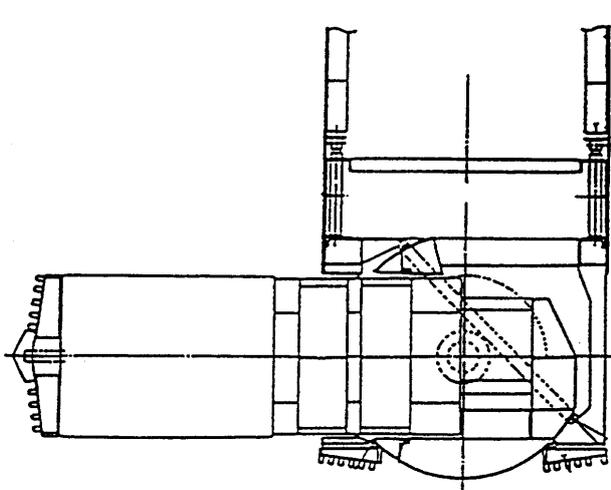


図-2. 33 初期掘進図

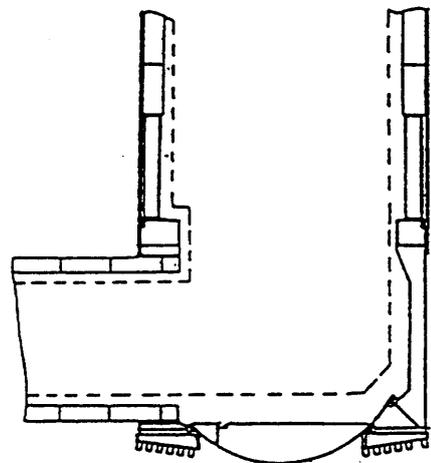


図-2. 34 立坑底部最終構造図(例)

2. 5. 6 ヨコシールド発進

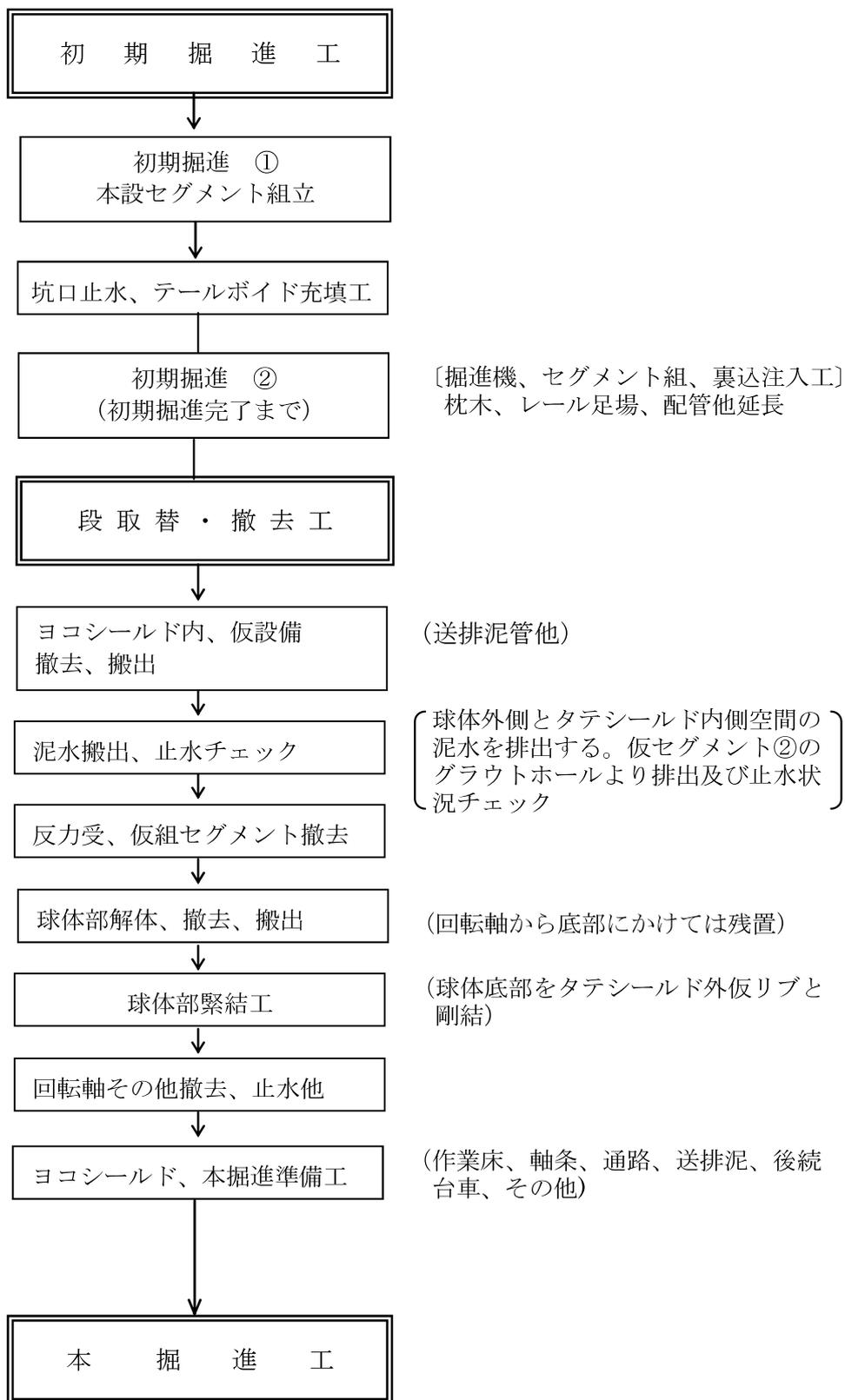


図-2.35 ヨコシールド発進フロー

## 2. 6 仮設備

### 2. 6. 1 地上仮設備

本工法の地上設備を以下に示す。

- ① 発進坑口（ガイドウォール）
- ② 上部架台（足場共）
- ③ 発進（懸垂）設備
- ④ 泥水処理設備（土砂ホッパー共）
- ⑤ 流体輸送設備
- ⑥ 裏込注入設備
- ⑦ シールド機後続設備（仮置場）
- ⑧ 揚重荷役設備
- ⑨ セグメントヤード他資材置場
- ⑩ 受電設備
- ⑪ その他（排水、給水、換気、通信、防音ハウス、事務所、倉庫、等）

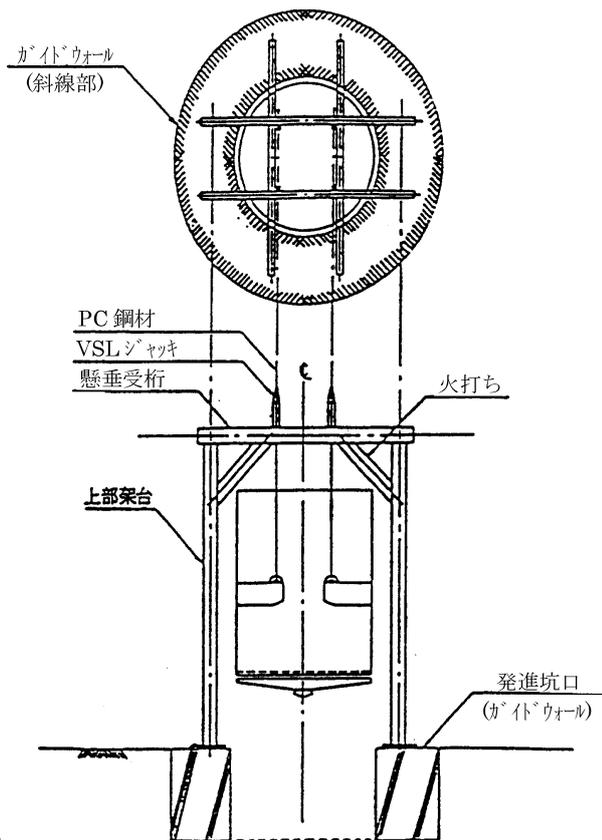


図-2. 36 発進設備概念図

タテシールドの特徴的な設備は①～③の発進設備である。発進設備は、地上におけるマシン組立及び掘進初期において、マシンを吊下げ、また施工荷重を支持するためのものである。この上部架台及びガイドウォールは施工中のあらゆる作用外力に対して、安全性を照査しなければならない。

その他の設備は、通常の泥水シールド設備と同様である。1日の掘進土量（処理土量）がタテ部分よりも、ヨコ部分の方が多いため、ヨコシールドの処理土量に合わせた設備規模となる。

### 2. 6. 2 坑内仮設備

本工法の坑内設備を以下に示す。

- ① 昇降設備
- ② 送排泥管、ポンプ設備（ガイド、吊装置共）
- ③ 換気設備
- ④ 足場（セグメント組、裏注用、他）
- ⑤ 給排水、電機、通信、油圧ホースの吊り及び固定設備
- ⑥ 荷役スペース
- ⑦ その他（閉塞解除装置、ローリング防止装置、他）

狭い坑内においては、作業のしやすさと、飛来落下等に対する安全面を考慮し、配置する必要がある。基本的には荷役スペースと配管・配線・昇降スペースに分けて配置する。

- ① 昇降設備には階段式（スーパーラダー、螺旋階段、セグメントへの階段取付等）から深度によってはエレベーター式もある。
- ② 送排泥管は鋼管部分と耐圧ホースとを組合せ、掘進に伴い地上から耐圧ホースを送り出すことで坑内での配管継足しを無くすと良い。また、ポンプの振動、ローリング等に対処する必要がある。排泥ポンプについては専用の台に載せ懸垂しておく必要があり、セグメントに取りつけたガイドに沿って降下させる。
- ③ 搬出入資材としては、主としてセグメント関係と昇降設備、ガイド材等である。数量は1日にセグメントが1～2リング分と少ない。

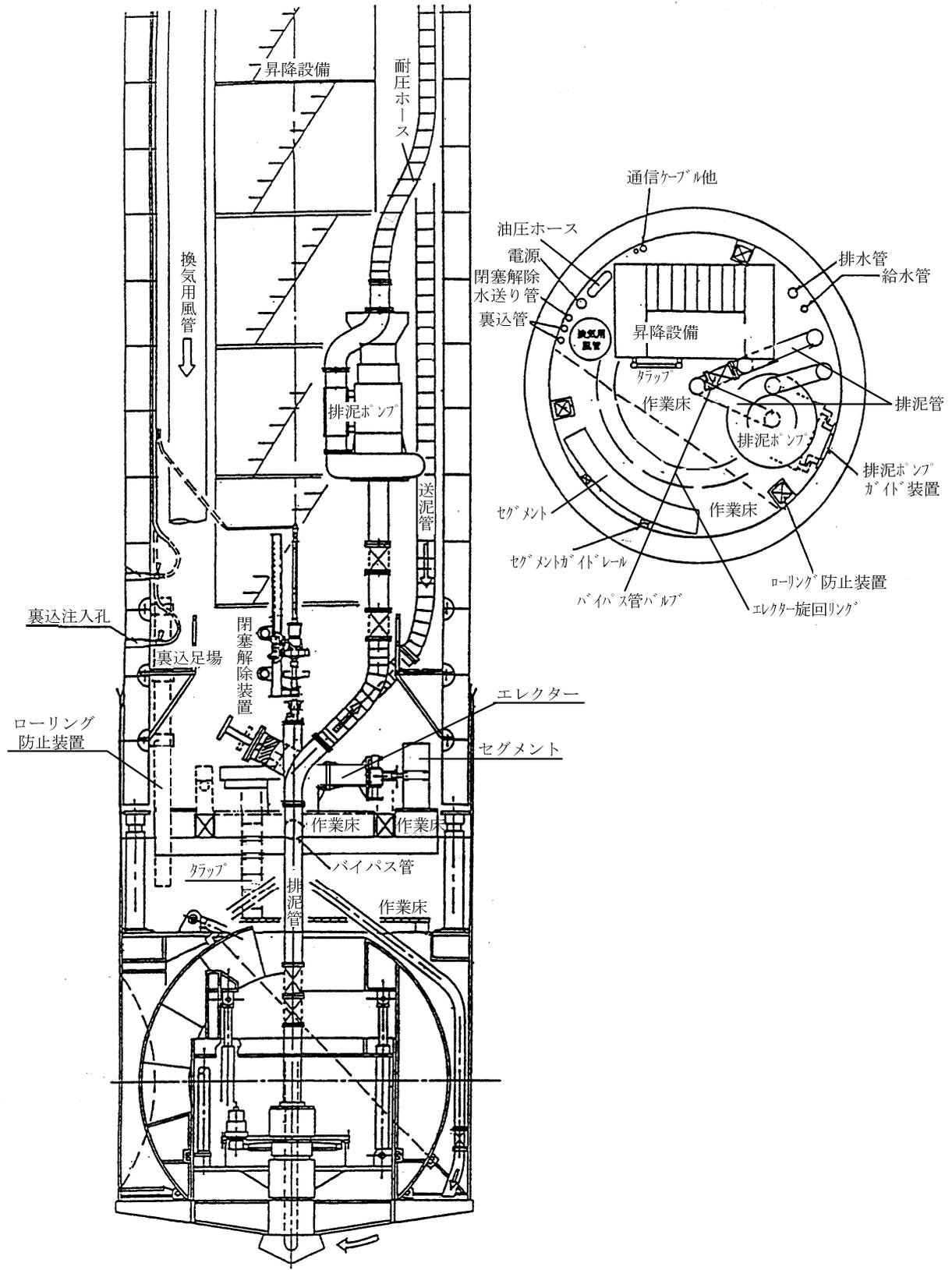


図-2. 37 坑内仮設備図 (参考図)

## 2.7 施工事例

工 事 名	発 注 者	親 機		子 機		形 式
		ｼｰﾙﾄﾞ 外径(mm)	延長 (m)	ｼｰﾙﾄﾞ 外径(mm)	延長 (m)	
足立区花畑七・八丁目付近枝線工事	東京都下水道局	φ 5,820	38.0	φ 2,890	434	泥水
荒川幹線工事	〃	φ 7,920	39.3	φ 4,840	2,396	泥水
第二十二社幹線工事	〃	φ 7,400	46.6	φ 4,450	985	泥水
万代～阪南幹線下水管渠築造工事	大阪市下水道局	φ 5,900	19.3	φ 4,200	2,017	泥水 泥土圧
弥生町幹線工事	東京都下水道局	φ 5,950	44.1	φ 3,940	190	泥水
第二浅草幹線工事	〃	φ 3,930	37.7	φ 4,450	1,950	泥水
千島～此花雨水滞水池工事	大阪市都市環境局	φ 5,450	32.1	φ 3,580	1,100	泥水

### 3. ヨコヨコシールド

#### 3. 1 工法の特徴

1台のシールド機で、水平面に対して直角に曲がりながら連続的に掘進することができ、回転立坑が不要となる。交差点や地下埋設物のために回転立坑を設けることができない場合などに大きな威力を発揮する。シールドマシンの構造は、タテヨコシールドと同様に、球体内にシールド掘進機を内蔵している。掘進方法は、最初は通常のシールド機と同様に掘進し、所定の位置で球体を90°回転し、内蔵したシールド機を再発進させる。

#### 3. 2 施工事例

工事名	発注者	親機		子機		形式
		シールド 外径(mm)	延長 (m)	シールド 外径(mm)	延長 (m)	
観音川雨水滞水池工事	日本下水道事業団	φ5,530	259	φ3,680	65	泥土圧
公共下水道築造工事(2工区)	豊橋下水道局	φ3,930	579	φ2,680	898	泥水

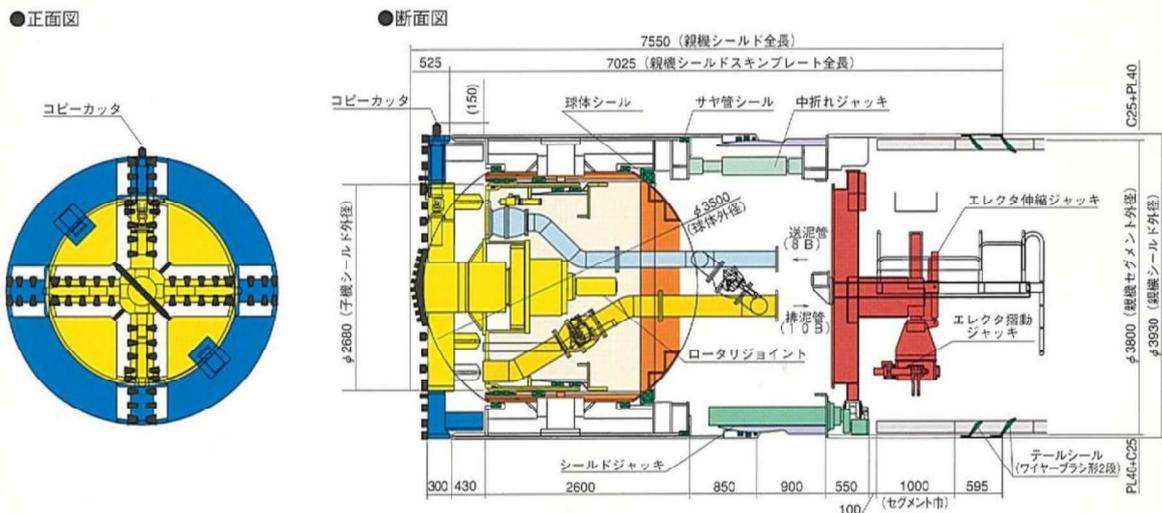


図-3. 1 ヨコヨコシールド構造図(豊橋の例)



写真-3. 1 親機掘進時(球体回転前)



写真-3. 2 球体回転後

## 4. クルンシールド

### 4. 1 工法の特徴

#### (1) 概要

近年、都市部においては立坑用地の確保が難しくなり、シールド工事は長距離化の傾向にある。従来のシールド工事は、トンネル延長が1～2 km程度のもが多かったが、平成6年には横浜市で4 kmを超える工事が発注され、その工事にクルンシールドの1号機が採用されている。

長距離のシールド工事の技術的な課題として工期の短縮とシールドマシン躯体の耐久性があげられる。工期短縮、すなわちシールド施工の高速化のためには、ボルトレスセグメントあるいはセグメント供給、組立装置のロボット化といった一次覆工関連の工程合理化技術への注力がある。

一方、シールドマシンの耐久性向上について云えば、最もトラブルが多いのがカッタビットの摩耗である。このため耐摩耗性の高いビットの開発と、これと並行してビットの交換技術の開発が行われている。

従来のビット交換は、あらかじめトンネル計画線上にビット交換のための中間立坑を構築し、シールドのカッタフェースを立坑内で点検しながら交換する方法が行われている。

この方式では立坑を新設するために工事費用が高くなること、立坑の位置が事前計画で設定されたものであり、実際にビット交換が必要な時期と一致しないことがあると云った問題点がある。

また突然、ビットの交換が要求される場合には地上またはマシン内部から切羽の地盤改良を行い、カッタの前面に出て交換したり、バルクヘッド内より交換作業を行う方法がとられている。この場合、準備作業からビット交換までの時間が数ヶ月から1年もの長期間となる場合がある。このケースでは当然ながら切羽に出て作業することになり十分安全とは言い難い。

そこで切羽に出ない交換作業が考案され、ビットに段差をつける方法、遠隔操作で新しいビットを回転あるいは押し出しにより交換するカートリッジ方式等が提案されている。

しかし、これらの技術では母材の摩耗等に対処できず、交換回数に制限があり、実際の交換状況を確認できない。

ここに紹介する「球体式ビット交換可能型シールド機」（通称クルンシールド機）は、坑内に於て「安全にカッタの状況を点検しながらビット交換作業を行える」といった特徴を有し、複数のビット交換が可能である。

#### (2) 工法の特徴

「ヨコヨコシールド」と「クルンシールド」の違いは、前者は親子シールド、つまりシールドが掘進途中で断面を小さくして掘進するシールドである。すなわちメインシールドで掘進後、球体を90°回転し、球体内から径の小さなサブシールドを発進させるものである。

後者は球体を回転することでカッタ前面を坑内に向け、ビットを点検・交換した後に球体をも

との方向に戻し、最初と同一の掘削径で掘進を続ける。

このため、クルンシールドには以下の性能が要求される。

- ① カッタが縮小して球体の内部に収納可能なこと
- ② 球体の回転作業が複数回可能なこと
- ③ 球体を 90 度以上回転しても、シールされていること
- ④ 全数のビットが交換可能なこと



写真－4. 1 クルンシールド

#### 4. 2 工法の摘要範囲

クルンシールドはシールド形式が土木学会標準仕様書の分類による土圧式ならシールド外径 5000mm 以上、泥水式ならシールド外径 3000mm 以上のシールド工事の範囲を目安としている。

このように規定している理由は、土圧式の場合、球体でスクリーコンベアの配置が制限されること、泥水式では、球体の内部にカッタをスライドさせるための引き込みジャッキの配置から標準的なクルンシールドの最小径が決まるためである。しかし、引き込みジャッキを球体の外側に配置することで外径 2500mm 程度のクルンシールドが成り立つなど、最小径として規定したものではない。また、土質は粘性土、砂質土、砂礫を対象とし、岩盤および巨礫（おおむね 60～70cm 以上）を含む砂礫は適用範囲から除く。ただし、クルンシールドはわが国では山岳トンネル工法として区別している TBM にも応用ができるものであり、改善改良により適応範囲は広げられる。クルンシールドは、球体を内蔵するために通常のシールドと比較してシールド機長が 50～80% 程度長くなる。このため、立坑の内空寸法に注意する必要がある。クルンシールドの標準寸法を表－4. 1 に参考として示す。立坑の施工が行われている時点でクルンシールドに変更した場合、クルンシールドを発進させるためには、立坑の内空寸法が小さい場合がある。このようなケースでは、一旦、シールドの前胴を立坑内から地山に掘進後、後胴を接続する施工方法等の検討をする必要がある。

## 4. 3 シールド

### 4. 3. 1 シールドの全体構造

クルンシールドは従来のシールドと異なり、シールドの内部に球体を内蔵していることが特徴である。球体を、上下の回転軸（特に、上下である必要はない）で支持し、回転自在な構造にしている。

この球体を回転自在にするために、カッタ全体が球体の内部に収納される構造になっている。カッタの外径が縮小可能なばかりでなく、カッタは前後にスライド可能な構造とする。シールドが掘進中はカッタフェースを掘進方向に向け、ビット交換時には球体を回転することでカッタフェースを坑内側に向ける。土圧式の場合はスクリーコンベアも縮小可能な構造とする。

シールド本体と球体の間には、掘進時とビット交換時に、作業室内に漏水が無いようにシールをする。このシールは、従来のシールドにおける使用条件と異なり、球体の回転時に、チャンバ内の泥水あるいは泥土に暴露されるため、高水圧に耐えるだけでなく、土砂の噛み込みにくい構造のシールを用いる。

標準的なシールドの全体構造を図-4. 1に示す。図は、球体を 120° 回転して、カッタフェースを坑内側に向けた状態である。

なお、球体回転およびビット交換時には泥水により切羽の崩壊を防止する必要がある。このため、土質および地下水の状況により、泥水の圧力、濃度、粘性、および逸水防止のための添加材料を選定する。特に、カッタの伸縮、カッタヘッドのスライドおよび球体回転時には切羽の体積が変化するため、これらの作業時にも泥水の量を調節できる装置を装備する必要がある。

表-4. 1 クルンシールドの標準寸法

シールド形式	シールド外径 (mm)	シールド機長 (mm)
泥水式	3,000	6,000~7,600
	4,000	7,000~8,200
	5,000	8,000~9,200
	6,000	9,300~10,400
	7,000	10,600~11,600
	8,000	11,800~12,800
	9,000	13,200~14,000
土圧式	10,000	14,500~15,200
	5,000	8,000~9,200
	6,000	9,300~10,400
	7,000	10,600~11,600
	8,000	11,800~12,800
	9,000	13,200~14,000

注) シールドは中折れ付、テールシールは2~3段、セグメントは幅1000mm、軸挿入タイプとした。土圧式の場合、スクリーコンベアが機長より外に出る場合がある。

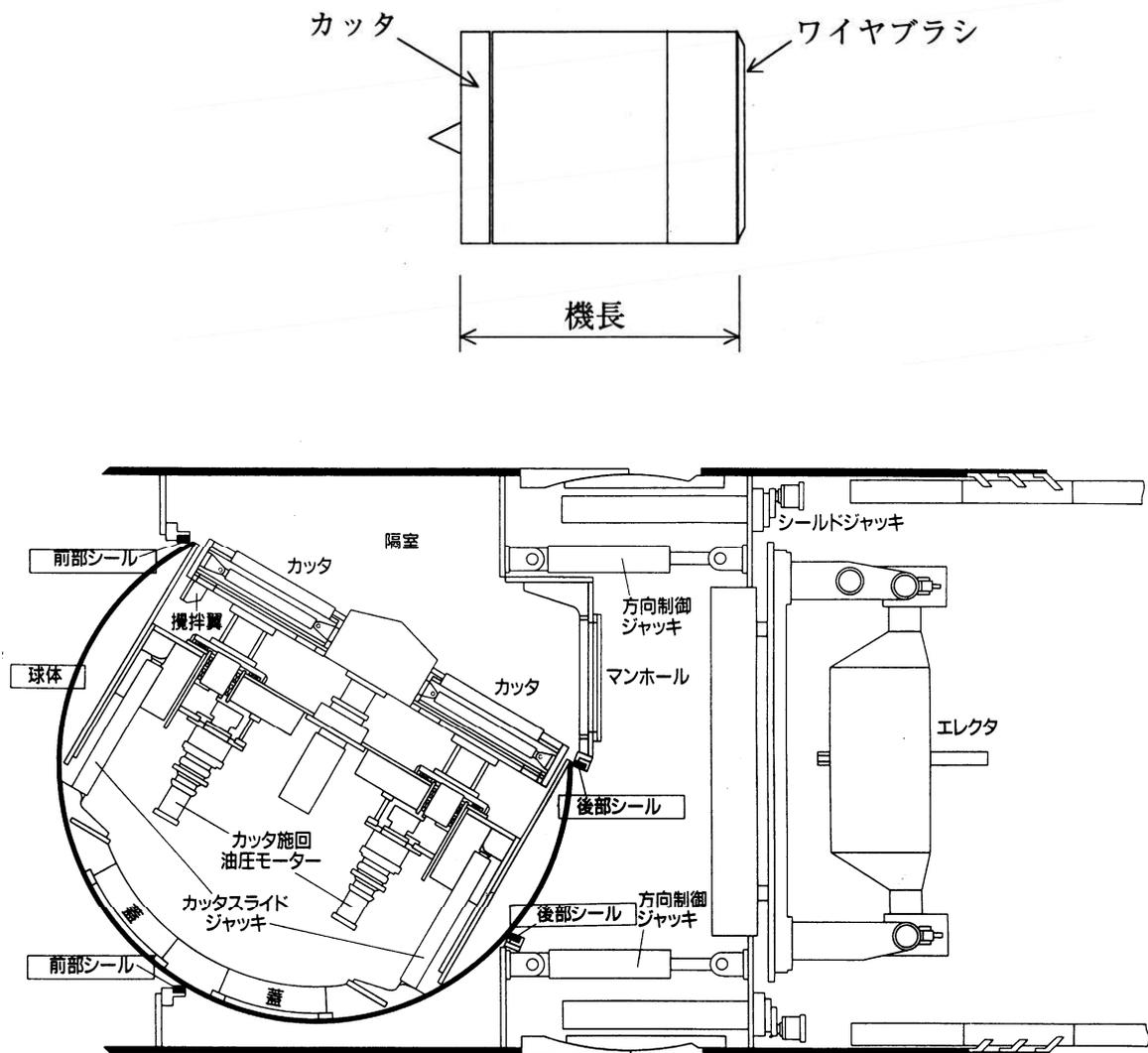


図-4. 1 シールドの全体構造 (120° 回転タイプ)

#### 4. 3. 2 カッタ伸縮機構

##### (1) カッタの伸縮

カッタを球体内部に収納するために、カッタの外径を球体の内部に引き込み可能な寸法まで伸縮可能な機構とする。このためには、カッタをスポーク構造とした方が対処しやすい。伸縮可能なスポークカッタを2例、図-4. 2、図-4. 3に示す。

図-4. 3では、摩耗したビットがスポーク内部に収納されるため、蓋を開けてビットの交換が可能な構造にしている。

##### (2) カッタヘッドのスライド

カッタを球体内部に収納するために、あらかじめカッタの引き込みジャッキを装備する。カッタを引き込むためのジャッキの能力は、ビット交換のために掘進停止する地盤中の水圧に対抗できる推力が必要である。

掘進中は、引き込みジャッキだけでは掘進抵抗力に対抗できないため、引き込みジャッキ間にストッパを設置する。このストッパは、着脱可能な構造とすることが望ましい。

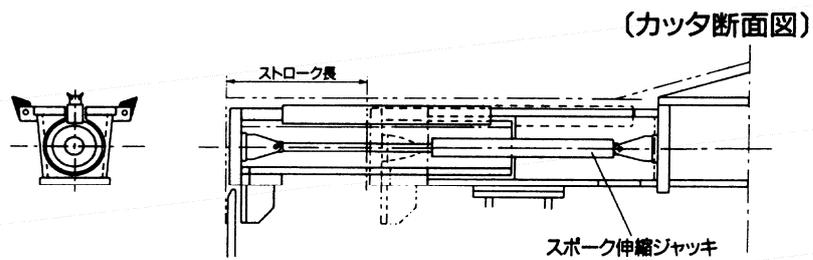
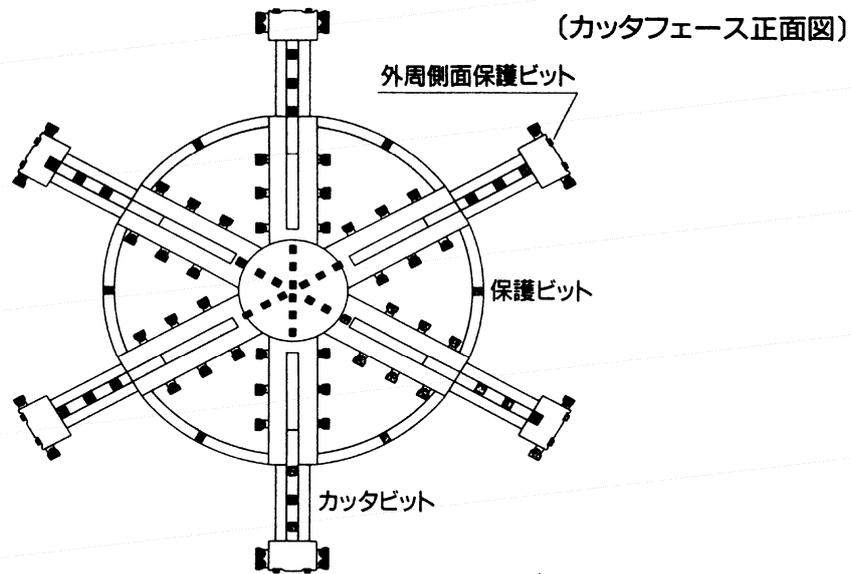


図-4. 2 カッタの構造 (その1)

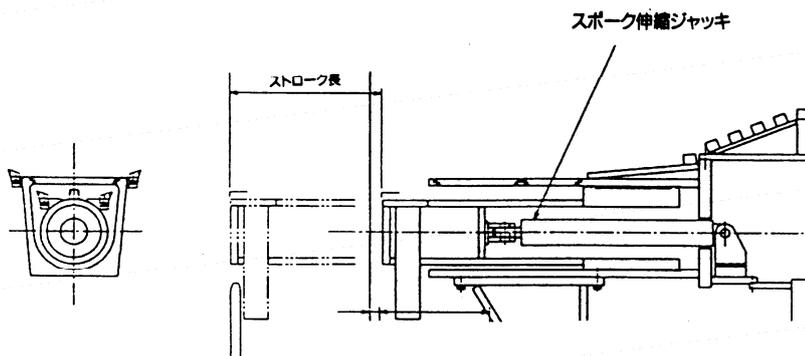


図-4. 3 カッタの構造 (その2)

### 4. 3. 3 球体回転機構

球体の回転作業は、ビットの交換前と交換後の二回行う。数回のビット交換が必要な場合には、球体の回転作業の回数も増えるため、あらかじめ球体を回転させる機構を取り付けておくことが望ましい。ホルンシールドと異なり、球体が露出していないため、直接、ジャッキで球面を押す方法は取れない場合が多い。

球体の回転機構としては、ワイヤとウインチによるもの、ピニオン・ラック機構とするもの、油圧ジャッキを盛り替えながら回転させる機構等がある。

掘進中に球体が回転しないようにストoppを取り付けておくことが望ましい。また、シールド本体と球体間のシールのためには、球体が回転の前後で正確な位置にある必要が有る。

### 4. 3. 4 球体シール

図-4. 1に示す前部シールは、シールド本体と球体の間をシールするものであり、掘進中およびビットの交換時の状態でシールされている。球体の回転時に、前部シールと球面との接触が外れ、再度、接触する。この間、前部シール上をカッタが接触しながら通過する場合もある。シールはインフレートタイプのシールとすることが望ましい。インフレートタイプのシールを図-4. 4に示す。

地盤条件によっては、安全のため、二段に設置したり、さらにバックアップのシールを設置する場合が有る。二段に設置する場合、シール間に球体の回転中に土砂が堆積して、シール機能が損なわれないように、油脂を充満させて土砂の堆積を防止したり、高圧水で洗浄する装置を設ける。

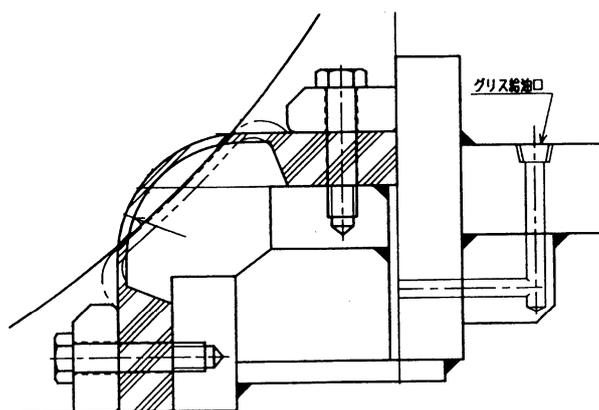


図-4. 4 球体シール

#### 4. 4 施工

##### 4. 4. 1 カッタビット交換時期の推定

###### (1) カッタビット摩耗量の計算

ビットの欠損やチップの剥離等を予測することは困難であるが、チップの摩耗量は、以下の式によって推定する。

$$\delta = K \cdot \pi \cdot D \cdot N \cdot T$$

$$T = L / v$$

ここに、 $\delta$ ：摩耗量 mm

$K$ ：摩耗係数 mm/km

$D$ ：シールド外径 m

$N$ ：カッタ回転数 rpm

$T$ ：総掘削時間

$L$ ：掘進距離 km

$v$ ：掘進速度 m/min

ビットを交換する目安として、20mm に設定している例が多いが、ビットおよびチップの形状と寸法により判断する。ビットおよび補助ビットの数量の増加、あるいは段差ビット等の採用等により、ビットの寿命を延す対策を行うことで交換回数を低減することは可能である。

摩耗係数の例を表-4. 2 に示す。土圧系シールドではカッタチャンバ内が、切削土砂で充滿されているため、泥水系に比べカッタビットの摩耗量は大きい。

表-4. 2 摩耗係数の例（超硬チップE5の例）

土質		摩耗係数 $K$ (mm/km)	
		泥水式	土圧式
シルト・粘土		0.005	0.012
砂質土	細砂	0.009	0.018
	粗砂		0.023
砂礫	小礫	0.011	0.026
	中礫	0.015	0.039
	大礫	0.019	0.052

###### (2) カッタビット摩耗量の計測

ビットの摩耗量は摩耗検知ビットを設置することで管理する。代表的な検知ビットとしては油圧式摩耗検知ビット（図-4. 5）、超音波式摩耗検知ビット（図-4. 6）があげられる。この他、電気の配線を利用したもの、光ファイバーを利用したものがある。

より、正確な摩耗量を把握するために、複数の検知ビットを取り付けることが望ましい。

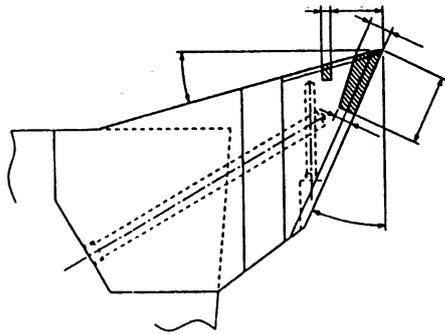


図-4. 5 油圧式摩耗検知ビット

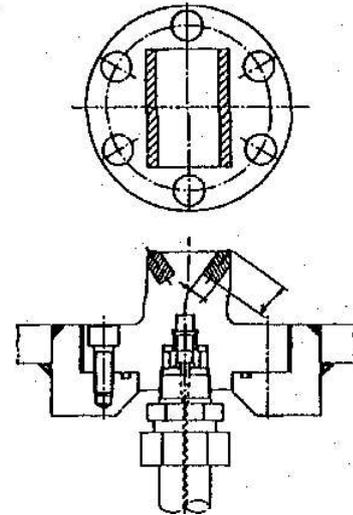


図-4. 6 超音波式摩耗検知ビット

### (3) カッタビットの数量

#### 1) カッタビットの種類

通常、シールドのカッタビットは、図-4. 7に示すティースビットが使用されている。取り付け方法として、ピンタイプ、ボルトタイプ、溶接タイプがある。

土質によっては、カッタビットに補助ビットとしてフェースビット、先行ビット、シェルビットが用いられている。砂礫層で、礫が大きい場合、ローラカッタを併用することが多い。これらのビットを図-4. 8に示す。

クルンシールドは、カッタビットの交換を目的としているため、これらは溶接式のものよりピンまたはボルトにて着脱可能に取り付けることが望ましい。

カッタビットは図-4. 9に示すように、母材部（シャンク）と刃先部（チップ）から成り、チップの取り付け方から貼付タイプと差刃タイプに分類される。一般的に、粘性土および砂質土の場合は貼付タイプ、砂礫層を含む場合には差刃タイプが多い。差刃タイプは、溝加工した母材（シャンク）のなかに超硬チップを埋め込むため、貼付タイプと比較してチップが脱落することが少ない。

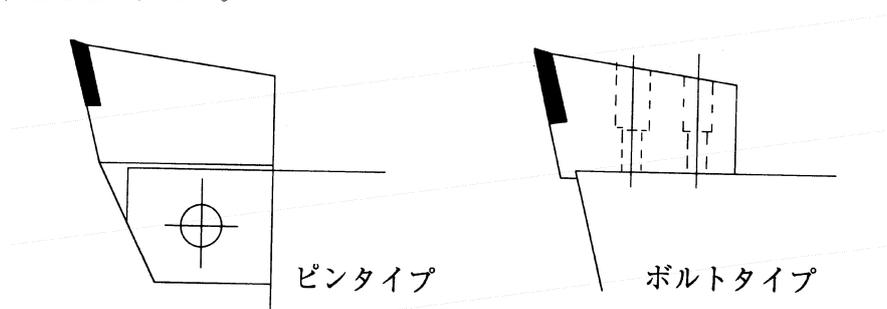


図-4. 7 ティースビットおよびビットの取り付け方法

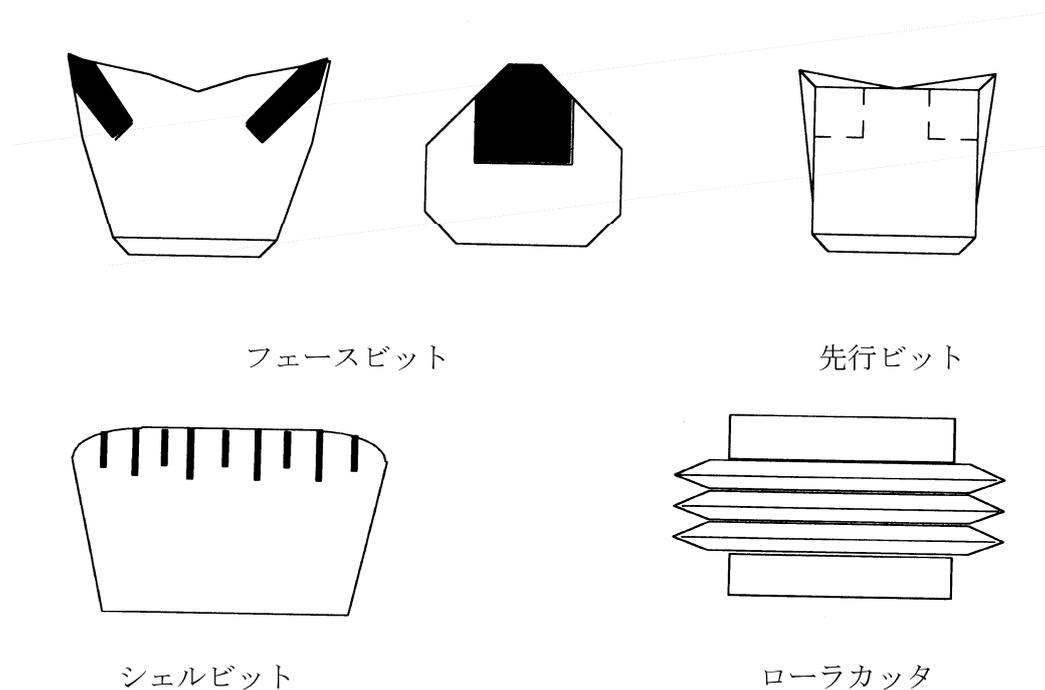


図-4. 8 補助ビット



図-4. 9 超硬チップの取り付け方による分類

## 2) カッタビットの材質

カッタビットの母材にはNi、Cr、Mo 鋼 (SNCM) または、それに相当する合金鋼が使用されている。チップはWC-Co 系超硬合金材で作られる。チップは、JIS にM3916「鉋山工用具用超硬チップ」として規定されている。(表-4. 3)

チップは、一般的にはE3～E5が使用される。摩耗量はCo含有量の少ないE3が有利だが、抗折力が弱く、礫層を含む場合には抗折力の大きなE5が使用されている。

また、新素材による長情距離対応のカッタビットも開発され、実用化されつつある。しかし、ビットの機能はチップの摩耗、欠損、剥離で損なわれるばかりでなく、母材 (シャンク) の摩耗、欠損により損なわれることも多い。

表－4. 3 超硬チップの分類

JIS 分類 番 号	特 性 値		化 学 成 分		
	硬度(HRA)	抗折力 (KN/mm <sup>2</sup> )	W%	Co%	C%
E1	90 以上	120 以上	87～90	4～8	5～6
E2	89 以上	140 以上	85～89	5～10	5～6
E3	88 以上	160 以上	83～87	7～12	5～6
E4	87 以上	170 以上	82～86	8～13	5～6
E5	86 以上	200 以上	78～85	9～17	5～6

### 3) ビットの数量

3. 1 (1) 項の計算により、ビットの摩耗量 $\delta$ を求め、限界磨耗量 $\lambda$ で除した値の整数部分が交換回数 $n$ となる。

$$\text{交換回数 } n = [\delta \div \lambda]$$

限界磨耗量 $\lambda$ は通常 20mm とすることが多いが、ビットの形状によっては 15～25mm としても良い。これらの計算は、最外周部のビットについて計算したものであり、クルンシールドの場合、第 1 回目のビット交換時に、全数のビット交換の必要性および今後の交換時期の推定が行える。クルンシールドの実績として、新羽末広幹線工事におけるビットの数量を表－4. 4に参考として示す。外径 9450mm の 6 本スポークカッタで泥水式シールドである。

表－4. 4 新羽末広幹線工事におけるビットの数量

ビット種類	個数	交換回数	合計個数	単価	金額	備考
カッタビット	166	1	166			ボルト接合
保護ビットA	192	1	192			ピン接合
保護ビットB	88	1	88			溶接
コピーカッタビット	2	1	2			溶接
油圧式磨耗検知ビット	2	1	2			溶接
超音波式磨耗検知ビット	2	1	2			ボルト接合
合 計	452		452			

### 4. 4. 2 カッタビット交換の作業手順

#### (1) 作業手順

摩耗したビットを交換するための作業手順を図－3. 6に示す。

#### ■ 1 掘進停止

ビットの摩耗を検知後、掘進作業を停止する。

#### ■ 2 回転準備

①切羽の状態によっては前面の泥水を高濃度に置換したり、薬剤を利用して固化する場合もあ

る。土圧式の場合は泥土を泥水に置換する作業を行う。

- ②切羽に泥水を注入しながらカッタを縮小する。
- ③スペースブロックを外し、カッタを球体内に引き込む。
- ④配管、電源ケーブルをはずす。

### ■ 3 球体回転

- ①球体および隔壁のハッチを閉める。
- ②作業室内に空気を抜きながら泥水を充満する。
- ③球体シールの内圧を開放後、ストッパを解除し、球体を回転する。
- ④球体回転停止後、球体シールを加圧して、作業室内の泥水を抜き、洗浄する。
- ⑤漏水のないことを確認後、隔壁のハッチを開ける。

### ■ 4 カッタ整備

- ①足場を組み立て、カッタフェースを洗浄する。
- ②ビットを交換する。
- ③足場を解体する。

#### □球体回転～発進準備

■ 1 ～ ■ 3 の逆の手順を行い、掘進を再開する。主な手順としては、以下の①～④があげられる。

- ①隔壁のハッチを閉め、作業室内に泥水を充満し、球体を逆回転し、元に戻す。
- ②作業室内の水を抜いたあと、ハッチを開き、洗浄する。
- ③球体のハッチを開け、配管、電源ケーブルを接続する。
- ④カッタを切羽へ押し出し、ストッパを設置し、カッタを拡張する。

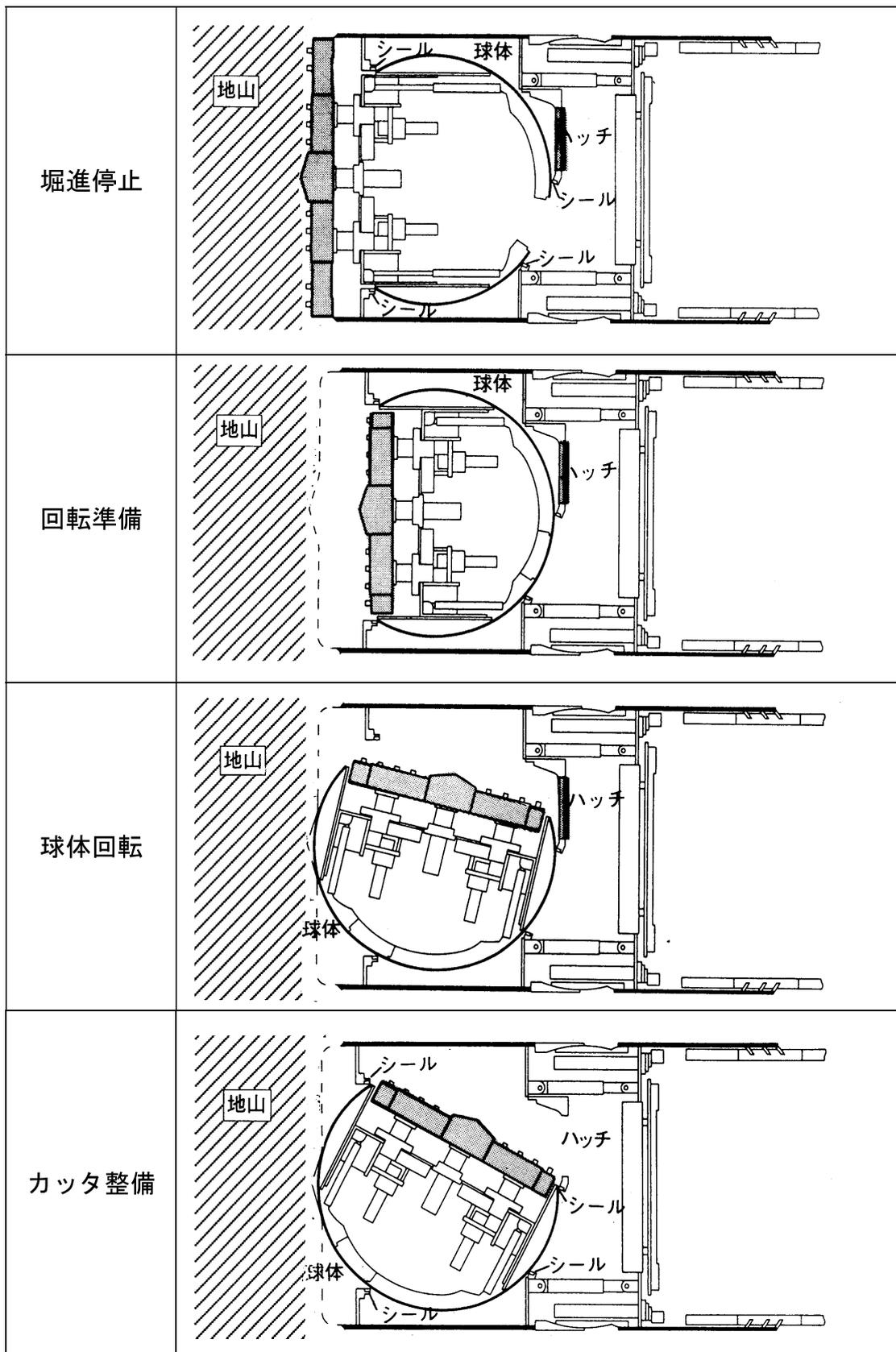


図-4. 10 ビット交換手順

(2) 作業期間

泥水式クランシールドで、ビットを全数替える場合の、標準的な作業期間を表-4.5に示す。作業時間は、1日昼夜2交代作業（実働16時間）とする。

表-4.5 泥水式シールドの標準的なビット交換日数

シールド機外径 (m)	回転準備工	球体回転工	カッタ整備工	球体回転工	発進準備工	合計日数
3~4	3	2	6	2	3	16
5~6	4	3	10	3	3	23
7~8	5	4	12	4	4	29
9~10	6	5	14	5	5	35

(3) 泥水の性状

長期間にわたるビット交換作業時の切羽の崩壊を防ぐために、球体の回転前に、シールド掘進中よりも良質の泥水にする必要がある。土圧式の場合は、球体の回転をスムーズに行うため、泥土を泥水に置換する作業が加わる。

泥水は地盤の性状に応じて選定する。掘削を伴わないため、掘削土の混入による泥水の性状の変化は少なく、一旦、良好な泥壁が形成されると、シールド掘進中と比較して切羽の崩壊は少ない。一例として、地中連続壁工法で使用されている泥水（安定液）の配合の表-4.6に示す。

表-4.6 泥水の配合例

(単位：g)

材 料	規格仕様	土 質		
		一般土・砂質土	土 丹	砂 礫
水		1,000	1,000	1,000
ベントナイト		30	40	80
C M C	中粘度	3	2	3
	低粘度	0	4	0
分散剤		1.5	2	2
加重材	粉末粘土	0	60	0
逸液防止材		0	0	4

#### 4. 5 施工事例

##### (1) クルンシールド1号工事の概要

横浜市水道局では、横浜市港北区にある樽町ポンプ場から鶴見区駒岡町までの仕上がり内空8.0m、施工延長4435m（今回発注延長420m）の超長距離下水管渠構築工事に、掘削外径9.45mのクルンシールド1号機を採用した。当地の土質は固結シルトと砂の互層で土丹と呼ばれるN値が50以上の硬い地質を土破り52～60mの条件で掘進した。

シールドの全体図を第3図に示す。機種は泥水加压式でカッタは6本の伸縮カッタスポークと固定カッタスポークで構成されている。（図-4. 11）

工 事 名	発 注 者	シールド 外形(mm)	延長 (m)	形式
北部処理区新羽末広幹線下水道整備工事(その3)	横浜市下水道局	φ9,450	4,435	泥水

・施工者：奥村、五洋、トピーJV

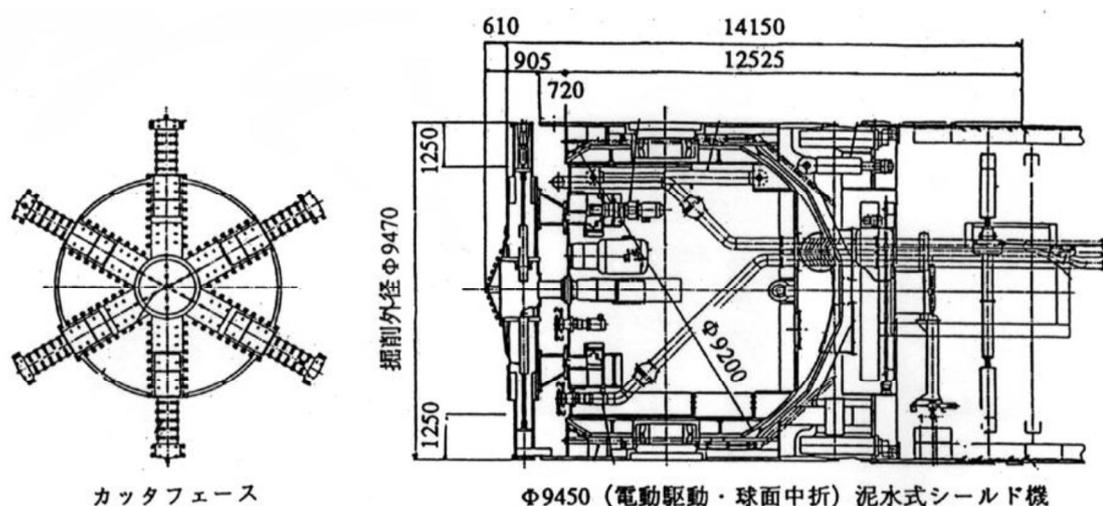
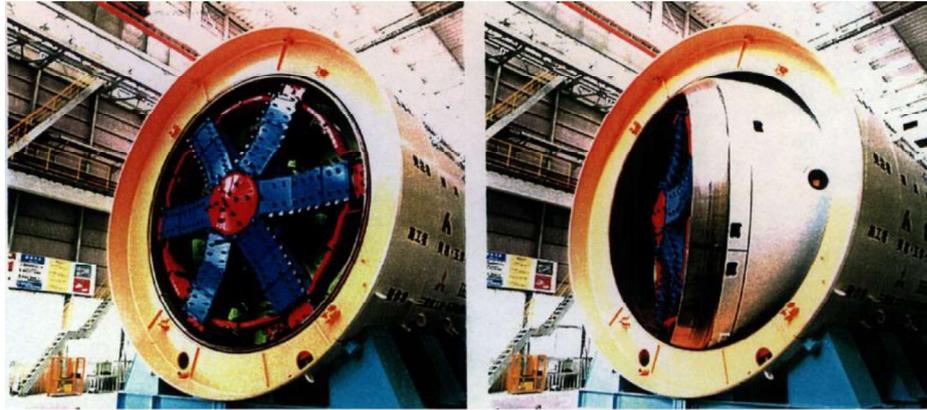


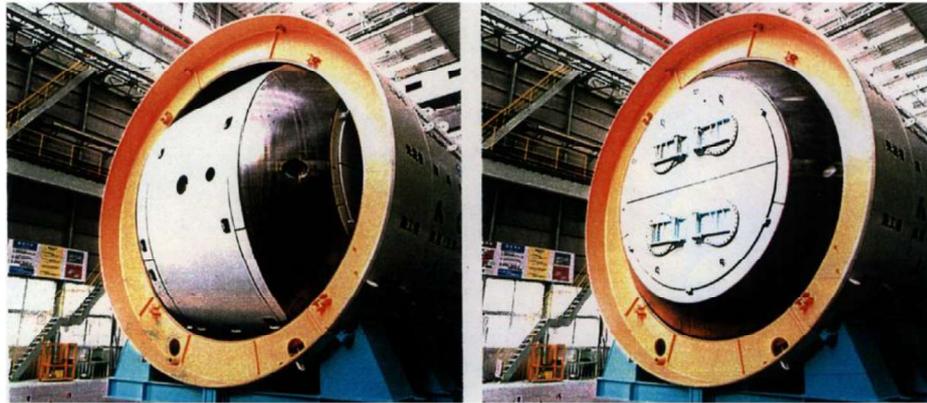
図-4. 11 新羽末広幹線シールドの概要

伸縮カッタスポークのスライド量は1250mmである。曲線部があるため中折れ構造となっており、機長は14.15m（中央コーン部を除く）である。ビットの摩耗量を測定するために、油圧式の摩耗検知ビットが2ヶ所、超音波式の摩耗検知ビットが2ヶ所装備している。



カッタ縮径・引込

球体回転→→



球体回転→→

180° 回転終了

写真-4. 2 球体の回転（このケースでは180°回転）

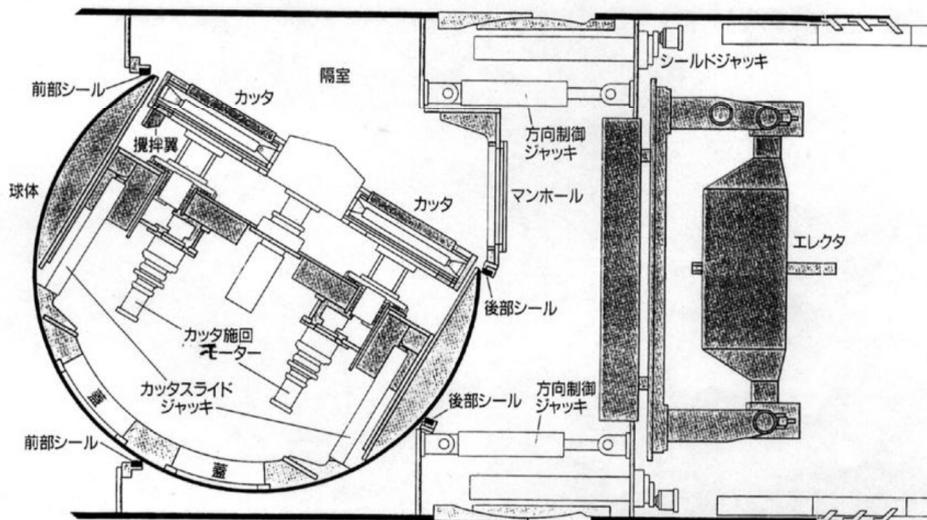


図-4. 12 クルンシールド機の構造概要

球体シールド工法技術資料

---

平成13年 3月 発行第1版  
平成13年 7月 発行第2版  
平成15年 3月 発行第3版  
平成18年 4月 発行大4版  
平成19年 6月 発行第5版  
平成20年12月 発行第6版  
平成23年 8月 発行第7版  
令和 2年 8月 発行第8版

---

シールド工法技術協会

URL : <http://www.shield-method.gr.jp>