

# 超大口径 P C 推進工法

## — 技 術 資 料 —

---

2023 年 5 月

超大口径 P C 推進工法研究会



# 目 次

まえがき	1
1. 工法概要	2
1.1 工法の概要	2
1.2 工法の特徴	2
1.3 適用範囲	3
1.3.1 適用内径	3
1.3.2 適用延長・曲線半径	3
1.3.3 用途	3
1.4 工法, 用語の定義	3
2. 分割型P C推進管	4
2.1 分割型P C推進管の概要	4
2.2 分割型P C推進管の構造	4
2.3 分割型P C推進管の特長	5
2.4 分割型P C推進管の仕様	5
3. 推進管の設計方法	6
3.1 荷重	6
3.1.1 土圧	6
3.1.2 水圧	6
3.1.3 活荷重	6
3.1.4 自重	6
3.1.5 地盤反力	6
3.1.6 施工時荷重	7
3.2 構造計算	7
3.2.1 構造計算の基本	7
3.2.2 断面力の算定	7
3.2.3 鉛直断面の設計	8
3.2.4 推進力	11
3.2.5 管の耐荷力	11
3.2.6 耐震設計	12
3.3 構造細目	12
3.3.1 管厚	12
3.3.2 管長	12

3.3.3	分割数と接合部の配置	12
3.3.4	接合部の構造	12
3.3.5	継手部の構造	13
3.3.6	緊張箇所	13
3.3.7	PC鋼材の緊張・定着	13
3.3.8	防水	14
3.3.9	注入孔, 吊り手	14
3.3.10	中押管	14
4.	施工方法	15
4.1	施工手順	15
4.2	施工フロー	16
4.2.1	推進管を地上で組み立てる場合	16
4.2.2	推進管を立坑内で組み立てる場合	16
4.3	分割型PC推進管の組立	17
4.3.1	準備工	17
4.3.2	下部分割管セット	18
4.3.3	上部分割管セット	18
4.3.4	PC鋼材挿入・緊張・切断	20
4.3.5	埋め込み鋼製カラーの溶接	22
4.3.6	仕上げ	23
4.3.7	管の回転	26
4.3.8	仮置き場への移設	27
4.3.9	ゴム輪の装着	27
4.4	推進工	28
4.4.1	推進管の接続	28
4.4.2	鏡切断工	28
4.4.3	推進工	28
4.4.4	後退防止工	29
4.4.5	滑材注入工	31
4.4.6	曲線推進工	32
4.4.7	裏込め注入工	32
4.4.8	目地工	32
4.5	掘進機	33
4.5.1	掘進機	33
4.5.2	掘進機輸送	34
4.6	発進基地計画	35
5.	対外発表文献	36

## まえがき

近年，推進工法は，長距離・曲線施工が可能となり，また，シールド工法に比べてコスト縮減や工程短縮が期待できるため，急速に発展しています．一方で，推進管の運搬上の制約から，内径 3000mm までが限度とされており，適用範囲の拡大が強く望まれてきました．

超大口径 P C 推進工法は，管材を分割することで，運搬上の制約を克服し，さらに，プレストレスを導入することで，一体管としての性能や品質を確保するとともに，管厚の低減にともなうコスト縮減を可能としています．

現在，合流式下水道の改善，良好な水環境の形成などとともに，河川事業と連携した都市浸水対策の促進が急務となっています．

本工法は，それら下水道雨水管渠を中心として，上水道，電力，通信，ガス，単線鉄道，共同溝，地下道など，幅広い用途への適用が期待されています．

## 1. 工法概要

### 1.1 工法の概要

超大口径PC推進工法は、あらかじめシース・定着体を埋め込んだ2等分割半円形の鉄筋コンクリート製推進管を工場で製作し、推進工事の現場まで運搬した後、プレストレスを導入して一体化し、推進管（以下、分割型PC推進管とする）として用いる新しい発想の推進工法である。推進管は、分割されたまま運搬されるため、積載高さの制約を受けることがなく、内径3000mmを超える推進管による施工が可能となる。図—1.1に工法の概要を示す。

### 1.2 工法の特徴

#### ① 推進工法の適用範囲を拡大

路上運搬の制限を受けることなく、内径3000mmを超える超大口径推進工が可能となる。

#### ② コスト縮減

施工延長が短い場合は、シールド工法に比べて、大幅なコスト縮減が期待できる。

#### ③ 工期の短縮

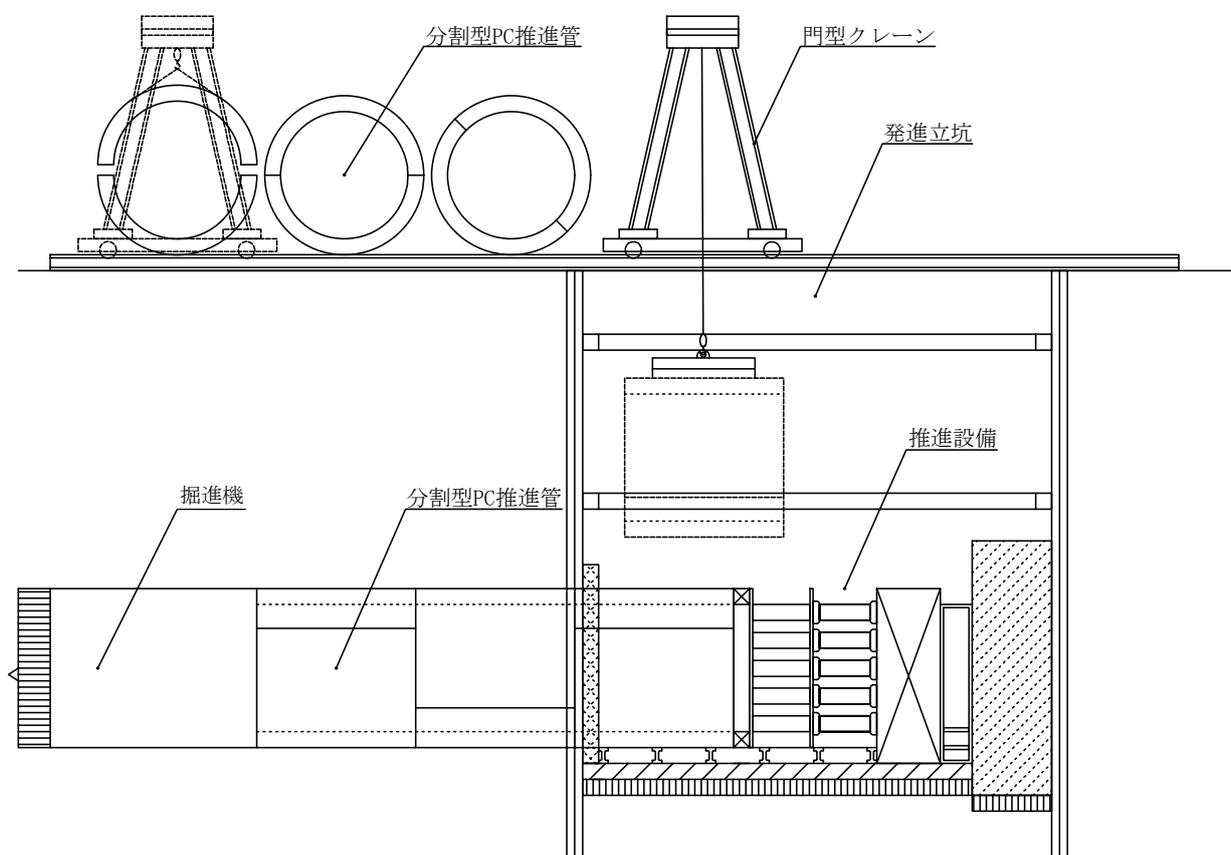
標準的なシールド工法と比べて、大幅な工期の短縮が可能となる。

#### ④ 品質の向上

プレストレスの導入で、一体管と同等の性能を有する推進管となるため、推進工法への適用が可能となる。また、真円性、止水性、耐久性に優れた管材が得られる。

#### ⑤ 内水圧対応

高い内水圧が作用し、引張力が卓越する場合でも、プレストレスの導入で、管材を安定した圧縮状態に保つことができる。



図—1.1 超大口径PC推進工法概要図

### 1.3 適用範囲

#### 1.3.1 適用内径

推進管の運搬重量や組立施工性を勘案して、内径 3500mm から内径 5000mm までを対象とする。

#### 1.3.2 適用延長・曲線半径

本工法の適用延長は、施工性、および経済性を勘案し、最大 500m 程度とする。また、施工可能な最小曲線半径は、実績に基づき 200m 程度とする。

#### 1.3.3 用途

従来の推進工法で計画可能なトンネルであれば、すべて適用できる。例えば、上下水道、電気、水道、ガスなどのライフラインがある、また、管径が大きくなることにより、共同溝や地下道、単線鉄道などへの適用も可能である。

### 1.4 工法、用語の定義

- ・ **分割型 P C 推進管**：プレストレスで一体化することを特徴とした本工法で用いる分割型の推進管。
- ・ **接合部**：分割された推進管の突き合わせ部分。
- ・ **継手部**：埋め込み鋼製カラー（受口）とコンクリート端部（差口）で接合される部分。
- ・ **鋳鉄製一体型定着体（X アンカー）**：緊張側と固定側の定着具を一体化した P C 鋼材の定着具。分割型 P C 推進管にあらかじめ埋め込んで使用する。
- ・ **アンボンド P C 鋼より線**：ポリエチレンシースにより被覆され、内部にグリースが充填された P C 鋼材。
- ・ **シース**：P C 鋼材を後から挿入できるように、分割型 P C 推進管にあらかじめ埋め込まれたポリエチレン製の筒材。
- ・ **遮熱版**：分割された埋め込み鋼製カラーを溶接する際に、溶接熱が管材内部に広く伝達されないように鋼製カラーの背面に埋め込まれた板材。
- ・ **接合キー**：接合部に作用するせん断力に抵抗する鋼製のピン。

## 2. 分割型PC推進管

### 2.1 分割型PC推進管の概要

分割型PC推進管は、2等分割半円形状をしており、現地でプレストレスを導入して一体化する。推進管の製作では、推進管完成後に真円性が確保できるように設計された円筒形鋼製型枠を使用し、1回のコンクリート打設で1本の推進管を製作する。推進管の厚さは、日本下水道協会規格「下水道推進工法用鉄筋コンクリート管」の標準管呼び径800～3000を参考にして、必要とされる鉄筋コンクリート管の性能を求め、プレストレス（軸力）を導入したうえで、同等の性能が得られるよう定めた。また、推進管の長さは、有効長さ2300mm～2500mmを標準とするが、曲線施工も考慮し、標準長さ以下となる場合は、別途検討を行う。図-2.1に分割型PC推進管の概要を示す。

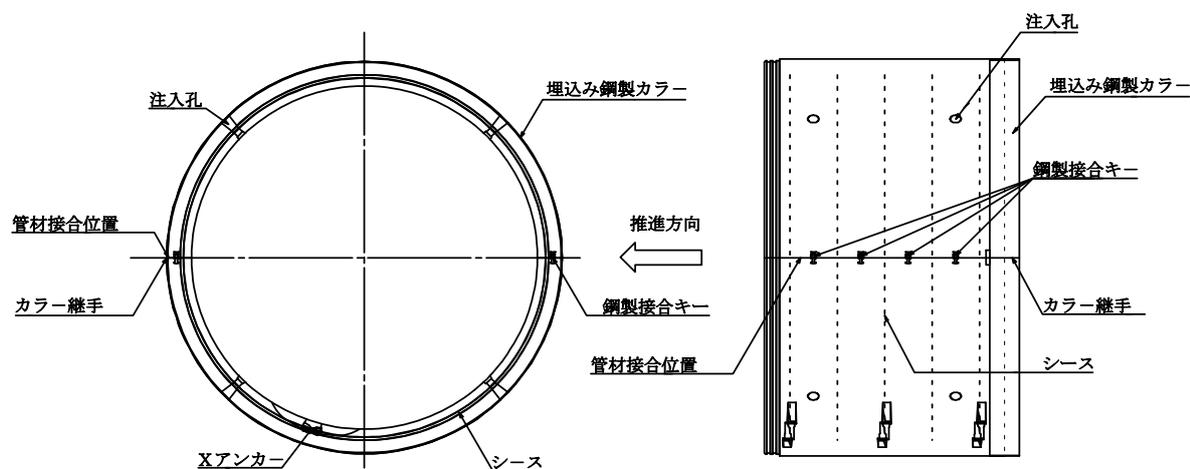


図-2.1 分割型PC推進管概要図

### 2.2 分割型PC推進管の構造

2等分割半円形状の推進管は、鉄筋コンクリート製で、アンボンドPC鋼より線を挿入するためのシース（波付き硬質ポリエチレン管）と鋳鉄製一体型定着体（Xアンカー）が埋め込んである。アンボンドPC鋼より線は、PC鋼より線をポリエチレンで被覆し、内部にグリースを充填してあるため、緊張時に生じるPC鋼より線とシースの摩擦が低減され、円周方向1周1箇所の片引き緊張で所要のプレストレスを導入できる。鋳鉄製一体型定着体（Xアンカー）は、緊張端と固定端が一体となっており、緊張時のジャッキ反力が直接管材に作用せず、定着具背面の補強鉄筋が不要となり、製作性が向上する。写真-2.1にアンボンドPC鋼より線、写真-2.2に鋳鉄製一体型定着体（Xアンカー）を示す。

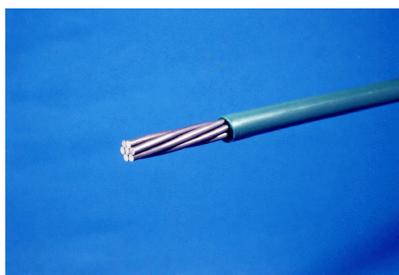


写真-2.1 アンボンドPC鋼より線

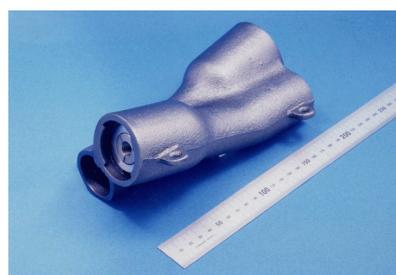


写真-2.2 鋳鉄性一体型定着体(Xアンカー)

## 2.3 分割型PC推進管の特徴

分割型PC推進管は、プレストレスを導入することにより、以下の特徴が得られる。

### ① 管厚の低減

プレストレスの導入により、鉄筋の発生応力を抑えることができるため、鉛直断面方向の検討において、鉄筋コンクリート構造に比べて、管厚を小さくできる。

### ② 高い曲げ剛性

接合部は、コンクリート面の突き合わせ構造でプレストレスにより締結されるため、接合部が全断面圧縮状態（フルプレストレス）では、本体部と同等の高い曲げ剛性を有している。このため、接合部を発生曲げモーメントの小さい頂部から45°近傍に配置することで、一体管と同等の高い剛性のリング構造となる。

### ③ 高い耐久性

プレストレスの導入で、管材のひび割れ発生を積極的に抑えることができるため、耐久性に優れた管材となる。

### ④ 高い耐震性

コンクリートとの付着のないアンボンドPC鋼より線を採用している。このため、地震時に接合部に目開きを生じても、PC鋼より線の応力度は、局部的に降伏に至ることはなく、弾性状態に保たれ、壊れにくく復元性の高いリング構造となる。

## 2.4 分割型PC推進管の仕様

表-2.1に、分割型PC推進管の仕様をまとめて示す。

表-2.1 分割型PC推進管の仕様

呼び径	内径	厚さ	外径	有効長	重量	埋め込み鋼製カラー			吊り具	
						厚さ	全長	受口長	上部	下部
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(ton/本)	(mm)	(mm)	(mm)	(個)	(個)
3500	3500	275	4050	2300	19.1	9	350	200	6	6
4000	4000	300	4600	2300	23.7	9	350	200	6	6
4500	4550	325	5200	2500	31.7	12	350	200	6	6
5000	5100	350	5800	2500	38.1	12	355	205	6	6

### 3. 推進管の設計方法

#### 3.1 荷重

##### 3.1.1 土圧

鉛直断面方向の耐荷力を検討するための土圧には、施工時の検討では、鉛直土圧のみを、完成時および地震時の検討では、鉛直土圧と水平土圧を考慮する。また、鉛直土圧は、土被りの大きさにより直土圧と緩み土圧を使い分ける。

##### ① 直土圧

土被りが掘削外径に比べて小さい場合には、土のアーチング効果が期待しにくいことから、砂質土では、土被りが  $1\sim 2D$  ( $D$ :掘削外径) 以下の場合には、直土圧を採用することを検討する。粘性土では、硬い粘性土 ( $N$ 値 8 以上) の良好な地盤で土被りが  $1\sim 2D$  以上の場合において緩み土圧を採用することが多いが、設計者が土被り、地盤条件により特性を考慮して判断する。

##### ② 緩み土圧

緩み土圧は、土のアーチング効果に信頼がおけると判断できる場合に採用する。緩み土圧の計算方法には、一般的にテルツァーギの式が採用され、均一地盤あるいは多層地盤として計算する。

土被りが 10m 程度以内であれば、土質定数を各層厚に対する加重平均値として採用し、均一地盤として計算することができる。一方、砂質土層と粘性土層が明確に互層となっている場合等には、多層地盤として互層を評価できる計算を採用する。

緩み土圧の計算にあたり、土の粘直力を考慮すると、緩み土圧が非常に小さくなったり負となる場合があり、かなり危険側の設計となるので注意を要する。特に  $N$  値が 2 未満の軟弱な粘性土地盤等では、粘着力を考慮することを避ける。さらに、 $N$  値が 2.5 以上の基盤層と判断される粘性土地盤以外では、土質調査結果による粘着力  $c$  をそのまま緩み土圧の計算式に用いるのではなく、安全率  $F_s$  ( $=2.0$  程度) で除した値を採用することなどを検討する。

##### 3.1.2 水圧

一般に従来の推進工法では、管の設計において水圧は考慮されていないが、本工法の場合、密閉式の機械推進を前提として、施工時の検討においても水圧を考慮する。なお、水圧は、トンネル中心方向に作用する不等分布荷重として載荷する。

##### 3.1.3 活荷重

直土圧を採用する場合は、活荷重を考慮するものとし、その算定方法は、「下水道推進工法の指針と解説 (P19)」による。

##### 3.1.4 自重

一般に従来の推進工法では、管の設計において、管の自重は考慮されていないが、本工法の場合、大口径となり自重の影響が相対的に大きくなる。このため、自重は、管材の図心線に沿って分布する鉛直方向の荷重として考慮する。

##### 3.1.5 地盤反力

鉛直方向の地盤反力は、施工時の検討では、鉛直荷重につりあうように支承角  $120^\circ$  の範囲に等分布に発生すると考える。また、完成時および地震時の検討においては、裏込め注入が完了しているものとし、シールド工法用セグメントの検討と同様に、鉛直荷重と同じ載荷幅で発生するものとする。

他方、水平方向の地盤反力は、施工時、完成時ともに、管の剛性が高いものとして考慮しない。ただし、完成時には、地盤条件や管の大きさによっては、別途考慮する。

### 3.1.6 施工時荷重

施工時荷重としては、仮設荷重、周面抵抗力、先端抵抗力、推進力などがある。これらは、「下水道推進工法の指針と解説」に準じ、施工時の検討において、必要により考慮する。

## 3.2 構造計算

### 3.2.1 構造計算の基本

分割型P C推進管の構造計算は、施工途中の各段階および完成後のそれぞれの状態に応じた荷重に対して行なうものとし、その設計荷重は、最も不利な条件を基として定める。その構造モデルは、「剛性一様のフレーム計算」を基本とし、特殊な条件の場合など必要に応じて「はりばねモデルによる計算」も行うものとする。

#### 【解説】

分割型P C推進管の接合部の継手構造は、所定断面の高さを有するコンクリート面の突き合わせ構造にプレストレス（軸力）を導入している。この継手に曲げモーメントが作用する場合、曲げモーメントによる偏心量（ $e=M/N$ ）が断面高さの核内にある状態では全断面圧縮であり、本体部と同等の曲げ剛性を有する。次に、偏心量が核内からはずれて部材端にいたる過程では、曲げ剛性は減少し、さらに部材端をはずれると急激に小さくなる。ただし、目開き発生によりP C鋼材の応力が増えるため、完全なヒンジとはならない。「はりばねモデル」によるフレーム計算は、継手位置にバイリニアの非線形回転バネを設定することで、上記の継手性能を再現できる手法である。ただし、本工法では、推進管の接合部を頂部から $45^\circ$ 近傍に配置することを前提としており、この場合、発生曲げモーメントが小さく、偏心量が核内に収まり、剛性一様のフレーム計算とほぼ同じ結果が得られる。このため、設計業務の簡素化の観点から、通常の構造計算では、「剛性一様のフレーム計算」を基本とし、特殊条件の場合は、必要に応じて「はりばねモデルによる計算」も行うものとした。

### 3.2.2 断面力の算定

分割型P C推進管の鉛直断面方向の断面力算定は、剛性一様のフレーム計算により行い、施工時（推進時）と完成時の荷重条件について算定する。図-3.1に構造計算モデルを示す。

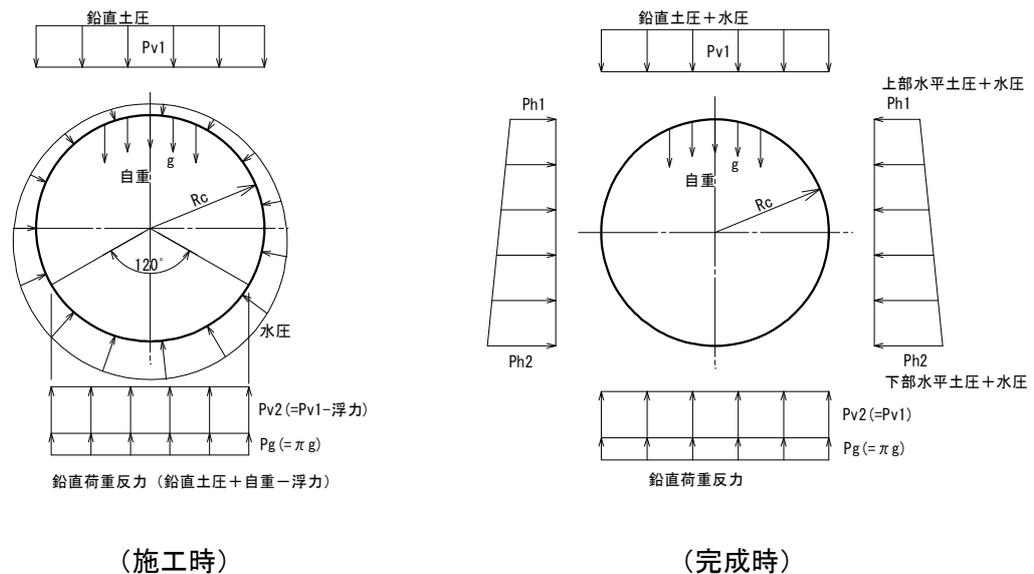


図-3.1 構造計算モデル

### 3.2.3 鉛直断面の設計

#### (1) 緊張力の計算

設計上考慮するプレストレス力は、緊張材端に与えた引張力によるプレストレス力から、各種損失を差し引いて求める。また、緊張材端に与える導入緊張力は、表-3.1の許容引張荷重から、曲げ半径により定まる素線外側の応力増加分を差し引いて決定する。

#### ① スtrand素線に生じる曲げ応力を考慮した引張強度

$$\sigma'_{pu} = \sigma_{pu} - \frac{d}{2R} E_p$$

ここに、 $\sigma'_{pu}$  : スtrand素線に生じる曲げモーメントを考慮した引張強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{pu}$  : 引張強度 (N/mm<sup>2</sup>)

d : 素線の直径 (mm)

R : 曲げ半径 (mm)

$E_p$  : ヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)

表-3.1 PC鋼より線の許容引張荷重

緊張材の呼び名	断面積	引張荷重	降伏点荷重	緊張作業中の 許容引張荷重	緊張作業直後の 許容引張荷重
	A (mm)	Pu (kN)	Py (kN)	0.8Pu, 0.9Py* (kN)	0.7Pu, 0.85Py* (kN)
1T 9.3	51.61	90.5	77	69	63
1T 10.8	69.68	122	104	94	85
1T 12.7	98.71	187	159	143	131
1T 15.2B	138.70	266	226	204	187
1T 17.8	208.40	395	336	303	277
1T 19.3	243.70	460	395	355	322
1T 20.3	270.90	505	430	388	354
1T 21.8	312.90	584	505	455	409

\*どちらか小さい方の値

#### ② 緊張作業中および直後に生じるプレストレス力の損失

- ・ PC鋼より線とシーソとの間の摩擦

一般に摩擦によるPC鋼より線の引張力の減少は、PC鋼より線の図心線の角変化に関する項と、PC鋼より線の長さに関する項とに分けて次式で表すことができる。

$$P = P_0 e^{-(\mu\alpha + \lambda L)}$$

ここに、P : 任意の位置の設計断面におけるPC鋼より線の引張力

$P_0$  : PC鋼より線のジャッキの位置の引張力

$\mu$  : 角変化1ラジアン当たりの摩擦係数

$\alpha$  : 角変化 (ラジアン)

$\lambda$  : PC鋼より線の長さ1m当りの摩擦係数

L : PC鋼より線の長さ (m)

なお、アンボンドPC鋼より線の摩擦係数は、表-3.2を目安とする。

表-3.2 アンボンドPC鋼より線の摩擦係数

	カタログ値	実験値*
角変化1ラジアン当たりの摩擦係数 $\mu$ (1/rad)	0.06	0.03
PC鋼より線の長さ1m当たりの摩擦係数 $\lambda$ (1/m)	0.002	0.001

※内径2.1mで、1T 12.7および1T 15.2BのPC鋼より線を使用した緊張試験での値

・PC鋼より線のセット量

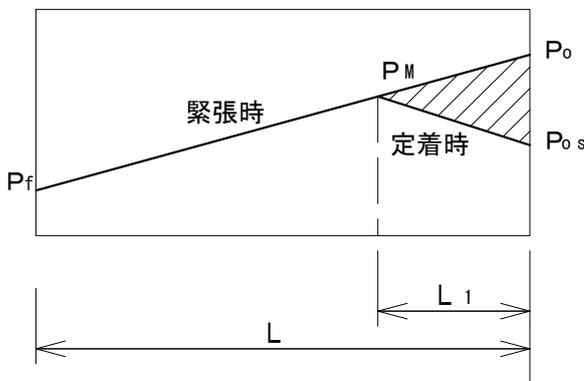
PC鋼より線を許容引張荷重で定着する時、PC鋼より線が引き込まれることによって生じるセット量は、緊張端での緊張応力の減少につながる。表-3.3にPC鋼より線のセット量を示す。

表-3.3 PC鋼より線のセット量

PC鋼より線 (mm)	定着具 (mm)	
	キャスティングプレート	グリップ
$\phi 12.4 \sim \phi 17.8$	3	3
$\phi 19.3$	—	3.5
$\phi 20.3$	—	4
$\phi 21.8$	—	4

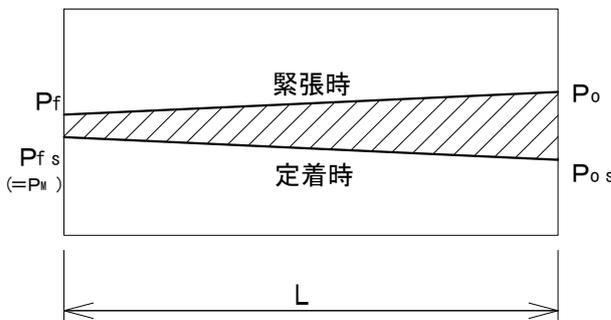
PC鋼より線とシースとの間に摩擦がある場合、セット量によるPC鋼より線の引張応力の減少は次のようになる (図-3.2)。

$L \geq L_1$  の場合



$$\begin{aligned} \Delta P_0 &= P_0 - P_{0s} \\ &= \frac{2\Delta S}{L_1} E_p A_p \\ L_1 &= \sqrt{\frac{\Delta S E_p A_p}{(\mu\alpha + \lambda)P_0}} \end{aligned}$$

$L \leq L_1$  の場合



$$\begin{aligned} \Delta P_0 &= P_0 - P_{0s} \\ &= \frac{\Delta S}{L} E_p A_p + P_0(\mu\alpha + \lambda)L \\ \Delta P_f &= P_f - P_{fs} \\ &= \frac{\Delta S}{L} E_p A_p - P_0(\mu\alpha + \lambda)L \end{aligned}$$

図-3.2 セットにより生じるPC鋼材引張力の減少量

ここに、 $P_o$  : PC鋼より線緊張端の引張荷重  
 $P_f$  : PC鋼より線固定端の引張荷重  
 $P_{os}$  : 定着後のPC鋼より線緊張端の引張荷重  
 $P_{fs}$  : 定着後のPC鋼より線固定端の引張荷重  
 $P_M$  : 緊張定着完了後のPC鋼より線の最大引張荷重  
 $\Delta S$  : セット量  
 $E_p$  : PC鋼より線のヤング係数  
 $A_p$  : PC鋼より線の断面積  
 $\Delta\alpha$  : PC鋼より線の1m当りの角変化  
 $L$  : PC鋼より線の長さ  
 $L_1$  : セット量による引張応力の減少の影響が及ぶ距離  
 ※緊張時の導入荷重は  $P_M$  が定着完了時の許容荷重である【 $0.80 \times$  (PC鋼より線の降伏規格荷重)】より小さくなるように設定する。

・コンクリートの弾性変形の影響

PC鋼より線を順次に緊張する場合、コンクリートの弾性変形による緊張材引張力の減少量を考慮する必要がある。この場合、引張応力減少量は次式で計算する。

なお、 $\sigma_{cpg}=1.0$  (N/mm<sup>2</sup>)程度の際は、 $\Delta\sigma_p$ は無視してよい。

$$\Delta\sigma_p = \frac{1}{2} n \sigma_{cpg}$$

ここに、 $\Delta\sigma_p$  : PC鋼より線の引張応力度減少量  
 $n$  : ヤング係数比 (=  $E_p/E_c$ )  
 $\sigma_{cpg}$  : 緊張作業による緊張材中心位置のコンクリートの圧縮応力度

③ プレストレス力の経時的減少量

コンクリートのクリープ、乾燥収縮、PC鋼より線のレラクセーションによって生じる引張応力の減少量は、緊張時材齢、PC鋼より線の使用量、偏心距離等により異なるが、概略設計に用いる場合、PC鋼より線の最終のプレストレス力の有効率 ( $\eta$ ) は、概ね、以下としてよい。

$$\eta = 0.85$$

(2) 本体部の設計

推進管の本体部の設計は、前項で求めた断面力を用いて許容応力度設計法により行う。プレストレスコンクリートとして扱う場合は、曲げモーメントおよび軸方向力によるコンクリートの応力度が引張応力度にならないように、同時に許容圧縮応力度以下になるようにプレストレスを導入する。この際、必要に応じて桁高さと最小かぶりから決まる余裕範囲内でPC鋼より線をだ円形状に配置して、偏心モーメントを導入することもできる。また、推進管の鉛直断面方向をPRC構造として扱う場合は、前項で求めた荷重による断面力にプレストレスによる軸方向力および偏心モーメントを足し合わせた断面力を用いて複鉄筋矩形断面として設計する。

(3) 接合部の設計

分割型PC推進管の接合部は、コンクリート面が突き合わされた形状で、プレストレスによる軸圧縮力が導入されている。したがって、外荷重による接合部位置の曲げモーメントと軸方向力(外荷重+プレストレス)に対して、コンクリートの縁応力度が許容圧縮応力度以下であることを照査する。次に、接合部のせん断力に対する検討は、接合部に配置したせん断キーのせん断応力度が許容せん断応力度以下であることを照査する。

### 3.2.4 推進力

#### (1) 推進力

推進力に対する検討は、従来の推進工法の設計法と同様に行なう。推進力の計算は、従来の中大口径管の泥水式・土圧式推進工法に適用されている「修正式Ⅰ」に準拠するものとする。

#### (2) 許容推進延長

許容推進延長は、管の推進方向耐荷力、推進設備の推力および支圧壁反力のいずれもが、許容値を満足するものとし、次式で求める。なお、周面抵抗力の算定は、許容推進延長に大きな影響を与えるので、選定された滑材注入工法により慎重に算定する必要がある。

$$L_a = (F_r - F_o) / f_o$$

ここに、  
 $L_a$  : 許容推進延長  
 $F_r$  :  $F_a$ と $F_m$ および $R$ を比較し小さい値  
 $F_a$  : 推進管許容耐荷力  
 $F_m$  : 元押ジャッキ推力  
 $R$  : 支圧壁反力  
 $F_o$  : 先端抵抗力  
 $f_o$  : 周面抵抗力

### 3.2.5 管の耐荷力

#### (1) コンクリートの許容平均圧縮応力度

推進管の管材コンクリートの圧縮強度 $\sigma_c$ については、50 N/mm<sup>2</sup>以上および70 N/mm<sup>2</sup>以上が規定されている。したがって、許容平均圧縮応力度 $\sigma_{mean}$ は、JSWAS A-2規格に準じて、50 N/mm<sup>2</sup>については13 N/mm<sup>2</sup>、70 N/mm<sup>2</sup>については17.5 N/mm<sup>2</sup>を使用する。

#### (2) 管の有効断面積

設計に用いる有効断面積 $A_e$ は、図-3.3に示す有効管厚で算出する。

#### (3) 管の許容耐荷力

管の耐荷力は、下式で表され、その計算結果を示すと表-3.4のようになる。

$$F_a = 1000 \cdot \sigma_{mean} \cdot A_e$$

ここに、  
 $F_a$  : 管の許容耐荷力(kN)  
 $\sigma_{mean}$  : コンクリートの許容平均圧縮応力度(N/mm<sup>2</sup>)  
 $A_e$  : 管の有効断面積(m<sup>2</sup>)

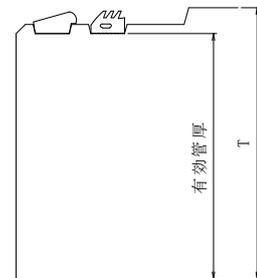


図-3.3 推進管の有効管厚

また、表-3.4において、コンクリート圧縮強度は、Fa5が50N/mm<sup>2</sup>、Fa7が70N/mm<sup>2</sup>を表す。

表-3.4 管の許容耐荷力

呼び径	管厚 (mm)	カラー厚 (mm)	有効管厚 (mm)	$A_e$ (m <sup>2</sup> )	W (kN/m)	Fa5 (kN)	Fa7 (kN)
3500	275	9	250	2.945	79.90	38288	51542
4000	300		272	3.650	99.29	47456	63883
4500	325	12	294	4.474	121.95	58163	78296
5000	350		318	5.413	146.82	70365	94723

### 3.2.6 耐震設計

分割型P C推進管の耐震性の検討は、管渠完成後の状態では従来の推進管と同様となるため、基本的には、「下水道施設耐震計算例—管路施設編—2001年版（（社）日本下水道協会）」に準拠し、必要によりレベル1地震動、レベル2地震動について、それぞれ、管本体鉛直断面の検討、マンホールと本管接合部の検討、管渠と管渠の継手部の検討を行なう。

## 3.3 構造細目

### 3.3.1 管厚

分割型P C推進管の管厚は、定着体や鉄筋が所定のかぶりを確保したうえで、施工時や完成後の鉛直方向や推進方向の基本的な荷重条件を満足する厚さとして管の呼び径ごとに定めている。ただし、特殊な荷重条件で前記管厚を満足しない場合は、個々に検討し、最低限必要な管厚に変更するものとする。

### 3.3.2 管長

分割型P C推進管の管長は、埋め込みカラーの突出長を含めてトラック横幅に収まる長さとして設定した。なお、運搬方法や施工条件により、変更することができる。

### 3.3.3 分割数と接合部の配置

分割型P C推進管の分割は、2分割を基本とする。これは、呼び径5.0mまでは、2分割することで、運搬上の制約を受けないためである。なお、本工法の場合、プレストレスにより一体化できるため、施工条件等により分割数を増やすことも十分対応可能である。接合部の配置は、2分割として、頂部から45°近傍の位置とし、1本ごとに左右に振り分けるものとする。これは、一般に鉛直荷重に対しては、45°近傍は、曲げモーメントの符号が変化する点となり、曲げモーメントの発生が小さく、接合部を全断面圧縮とできるためである。

### 3.3.4 接合部の構造

接合部は、コンクリート面の突き合わせ構造で、P C鋼材の緊張により得られるプレストレスが導入されている。接合部でのプレストレスの効率的な伝達には、接合精度の確保が重要になる。そこで、組立て時には、位置決めとずれ止めの機能を有し、完成時には、接合部に作用するせん断力にも抵抗できる接合キーを配置する。図-3.4に接合キーの形状、図-3.5に接合部の構造概要を示す。

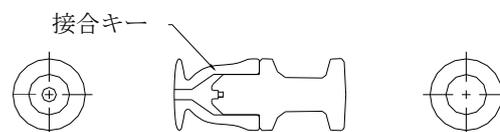


図-3.4 接合キーの形状

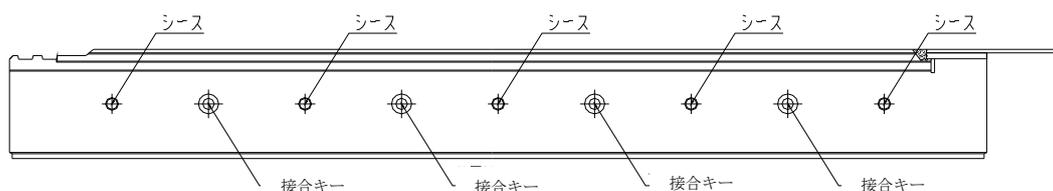


図-3.5 接合部の構造概要図

### 3.3.5 継手部の構造

継手部は、埋め込み鋼製カラー受口とコンクリート差口で構成される。差口側には、止水材としてゴム輪を装着する。埋め込み鋼製カラーは、溶接して一体化するが、加熱によって管材が損傷しないよう、背面に断熱効果の高い遮熱板を埋め込む。図-3.6に継手部の構造概要を示す。

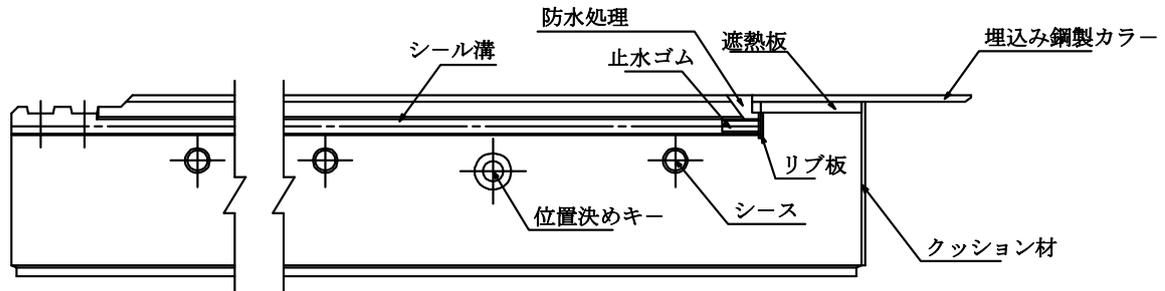


図-3.6 継手部の構造概要図

### 3.3.6 緊張箇所

リング一周あたりの緊張箇所数は、一箇所を原則とする。これは、アンボンドPC鋼より線を使用した場合、シースとの間の摩擦係数が極めて小さく、一周一箇所の片引き緊張でも十分均等なプレストレスを導入できるためである。なお、取り付け管との接合箇所などでは、必要により数カ所に緊張箇所を増やすことも可能である。

推進管の長さ方向の緊張本数は、プレストレスが推進管の長さ方向に均等に導入されるように配置する。一般に、50cmピッチ以内を基本とする。

### 3.3.7 PC鋼材の緊張・定着

PC鋼材の緊張・定着は、鋳鉄製一体型定着体（Xアンカー）をあらかじめ管材に埋め込んでおき、その両端部に切り欠きを設けて、PC鋼材を挿入して行なう。この切り欠き部は、管材の外側に設ける場合と内側に設ける場合とがある。図-3.7に鋳鉄製一体型定着体（Xアンカー）の形状を示す。

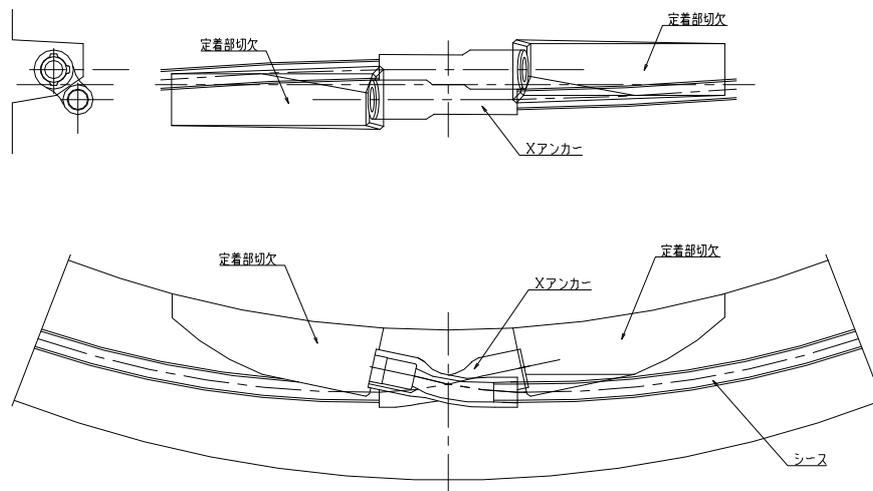


図-3.7 鋳鉄製一体型定着体（Xアンカー）の形状

### 3.3.8 防水

接合部の止水方法は、コンクリート表面にシール溝を設け、水膨張系シール材を貼る。このシール材は、埋め込み鋼製カラーの補強リブ板背面を周回する止水用ゴムと接合する。また、差込口側は、ゴム輪と重ね合わせ、継手背面からの地下水の浸入を遮断する。

継手部の止水方法は、従来の推進管と同様であり、埋め込み鋼製カラー受口とコンクリート差込口に装着したゴム輪を適用する。図-3.8に接合部の防水構造の概要を示す。

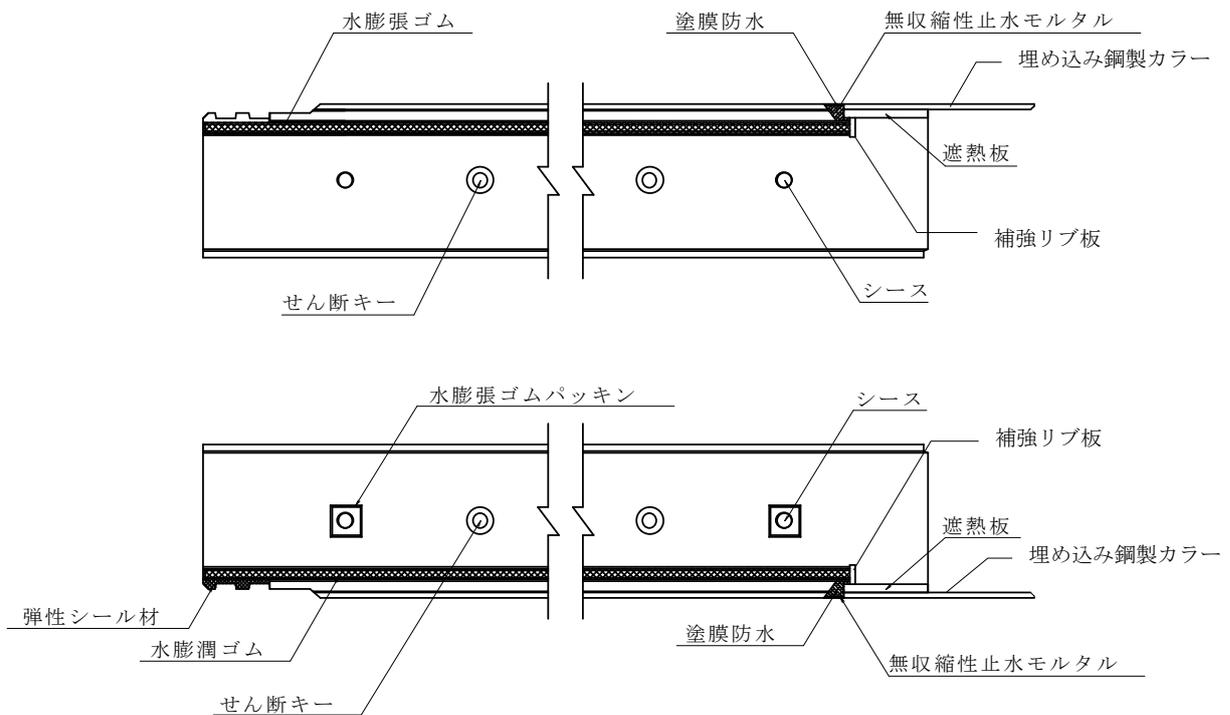


図-3.8 接合部の防水構造概要図

### 3.3.9 注入孔, 吊り手

裏込め・滑材用の注入孔は、従来の推進管と同様の構造として、管材の所定の位置に設ける。また、注入孔は、吊り手として兼用することもある。

### 3.3.10 中押管

長距離推進等において、総推進力が推進設備の推力や推進管、支圧壁の耐荷力を上回る場合は、中押推進を併用することで、負担を軽減できる。ただし、分割型の中押管は、構造が複雑となるうえ、大口径の場合、曲線施工に課題がある。このため、本工法では、一次・二次滑材注入方式の採用など、周面抵抗力低減による元押推進力の低減を優先し、中押管の採用は、基本的に行わないものとする。

## 4. 施工方法

### 4.1 施工手順

本工法の施工手順を以下に示す。

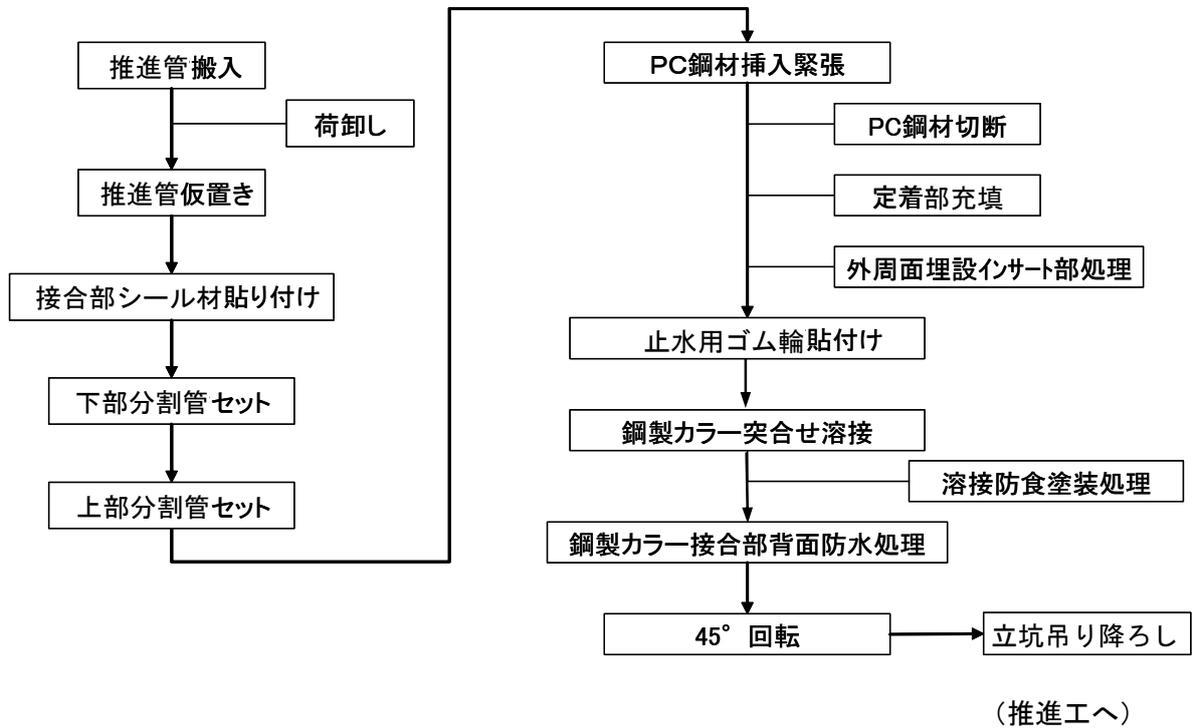
- ① 緊張定着体，シースを埋め込んだ2等分割半円形の管材を工場で作成する。
- ② 十分な養生を行い，低床トレーラー等により，施工現場まで運搬する（写真-4.1）。
- ③ 発進立坑周辺の仮置き場で，クレーンにより分割管を吊り下ろし，接合部に水膨張系シーリング材による防水工を施した後，円形に組み立てる。
- ④ アンボンドPC鋼より線を管内に設けた切り欠きから順番に挿入し，センターホールジャッキにより緊張定着を行い，管材を接合する。
- ⑤ 管材接合後，埋め込み鋼製カラー継手の溶接を行う。管材差口には，ゴム輪を取り付ける。アンボンドPC鋼より線とシースの間隙には，PCグラウトを注入し，定着部の切り欠きを無収縮モルタルで充填する（推進工完了後に行うことも可能）。
- ⑥ 完成した推進管を立坑上から推進架台上に吊り下ろし，推進管回転装置により，円周方向継手を頂部から $\pm 45^\circ$  近傍の位置に回転する（地上で回転させることも可能）。
- ⑦ 推進設備により，推進管を地中に圧入する。発進立坑周辺にスペースがない場合は，推進架台上で組み立てた後，緊張定着作業を行い，推進作業に移行する。



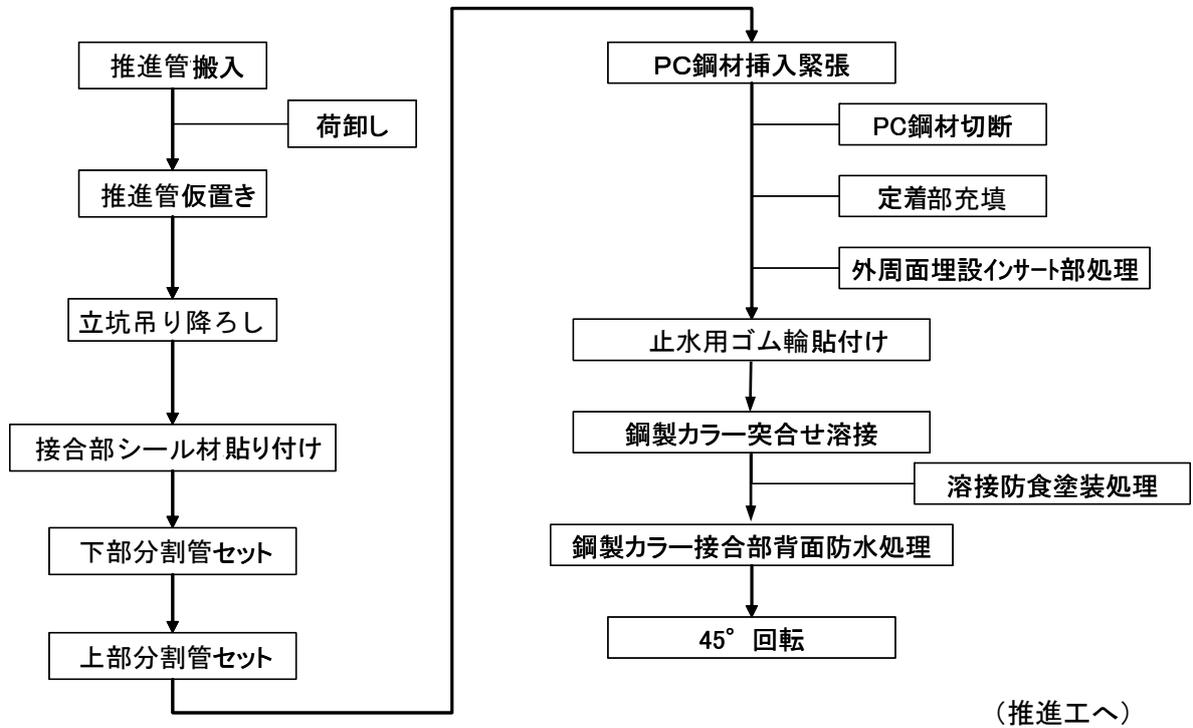
写真-4.1 分割型PC推進管運搬状況（トレーラーの場合）

## 4.2 施工フロー

### 4.2.1 推進管を地上で組み立てる場合



### 4.2.2 推進管を立坑内で組み立てる場合



## 4.3 分割型PC推進管の組立

### 4.3.1 準備工

#### (1) 組立・回転架台設置

分割型PC推進管は2つの管材に分割された状態で現場に搬入し仮置きする。仮置きされた推進管の組立は、鋼製の専用組立架台を利用して2つの分割管をPC鋼材により緊張することで一体化する。また、専用組立架台は、支点部に4箇所回転すべり材を設置することで自由に推進管の接合部を移動できる構造とする。図-4.1に組立・回転架台構造の例を示す。

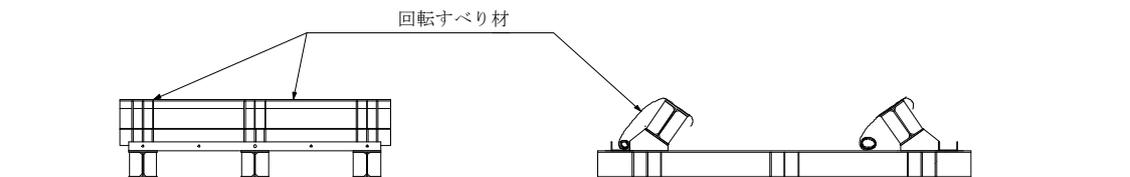


図-4.1 組立・回転用架台例

#### (2) 作業用足場設置

推進管の組立時の玉掛作業や各作業が円滑に行えるよう、組立・回転架台の両側に作業用足場を設置する。作業用足場の設置例を図-4.2に示す。

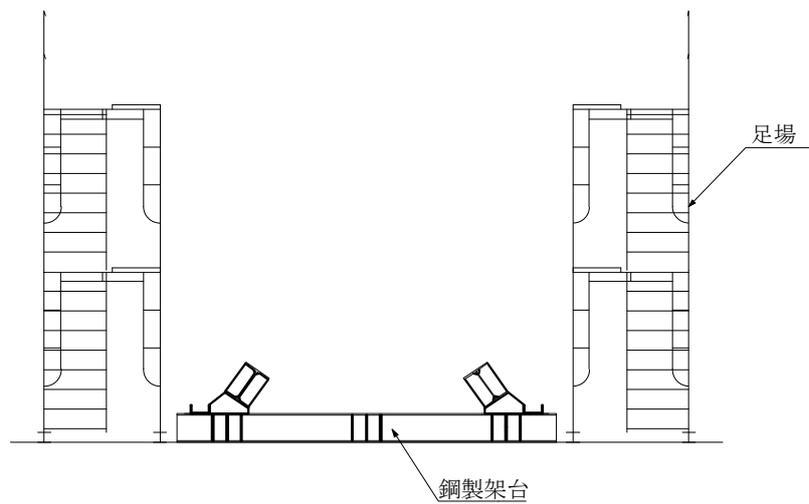


図-4.2 作業用足場の設置例

#### 4.3.2 下部分割管セット

下部分割管はPC鋼材を緊張定着するために用いるXアンカーが埋設された半円形部材で、接合部には接合キーの凸部が各4組埋設してある。下部分割管のセットは、管内面に埋設されたインサートを利用して吊り上げ、組立・回転架台上に設置する。設置に当たっては、回転すべり材が移動しないよう注意する。また、コンクリート差口は、ゴム輪装着を考慮し、架台に接触しないようにする。設置の要領を図-4.3に示す。

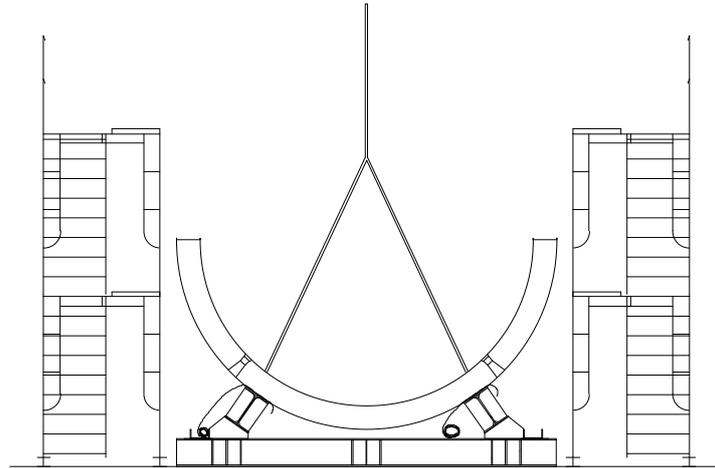


図-4.3 下部分割管の設置要領

#### 4.3.3 上部分割管セット

上部分割管の外面に埋設されたインサートをガイドにしてセットする。上部分割管の接合部には、接合キーの凹部が各4組埋設してあり、下部分割管に埋設された接合キーをガイドにゆっくり吊り下ろす。設置要領および設置状況を図-4.4、図-4.5、写真-4.2に示す。

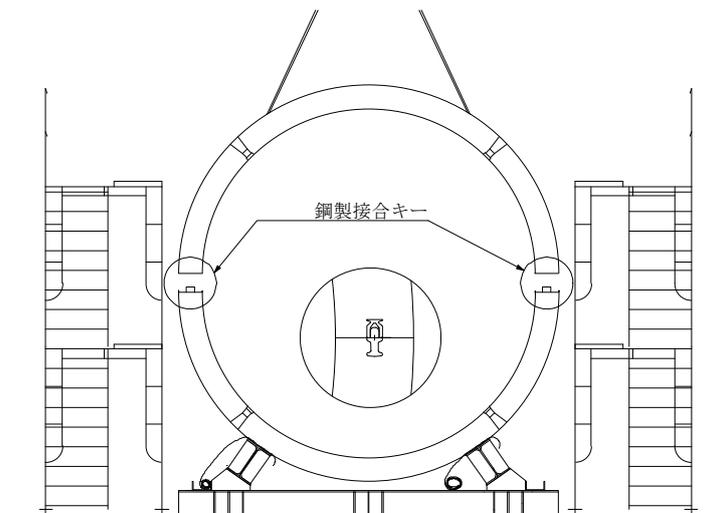


図-4.4 上部分割管の設置要領

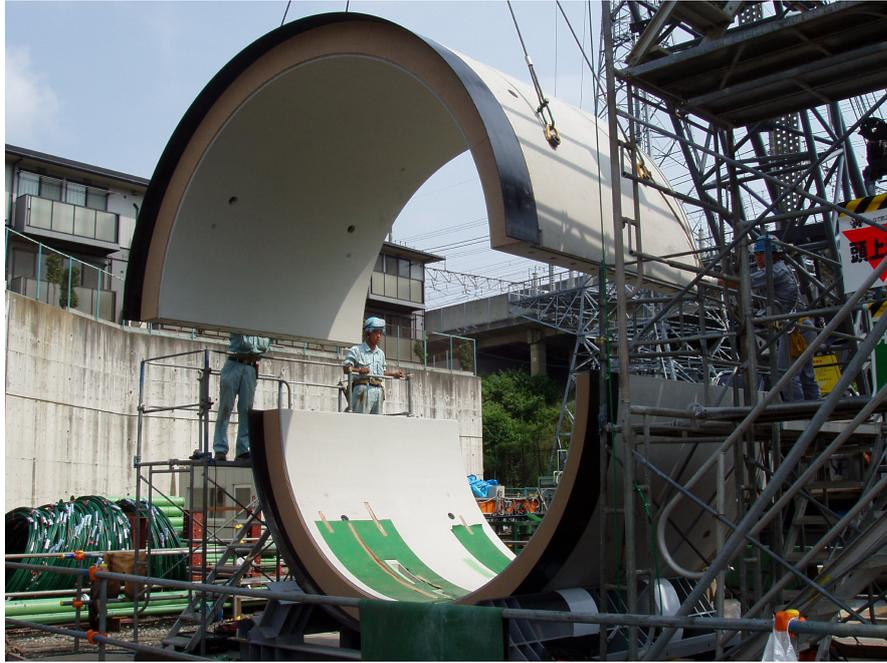


写真-4.2 上部分割管の設置状況

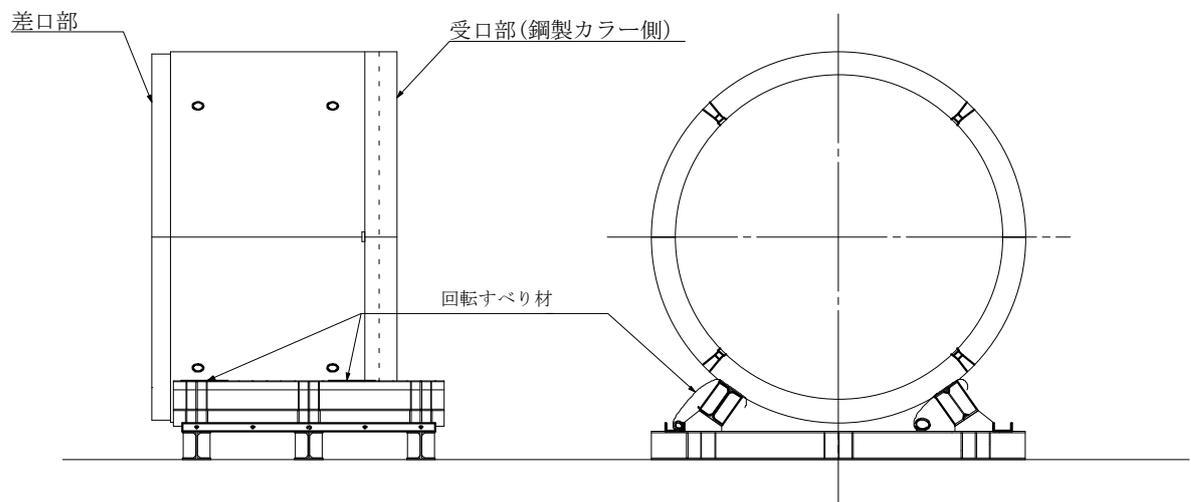


図-4.5 上下部分割管の設置状況

#### 4.3.4 PC鋼材挿入・緊張・切断

PC鋼材は、Xアンカーのある定着部切り欠きの挿入口から、人力により順次挿入する。挿入したPC鋼材は、管の中心から端部方向に交互に緊張し、所定のプレストレスを油圧ジャッキにて導入する。プレストレスの導入が完了した後、PC鋼材の余長部分は、専用のカッターにて切断する。その後、Xアンカーの両端部にPCグラウトに使用するプラスチック製のキャップを取り付け一連の作業を終了する。PC鋼材挿入・緊張の要領を図-4.6に示す。

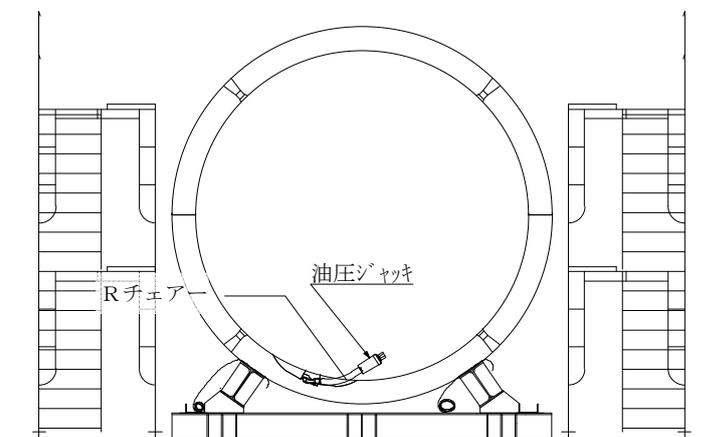
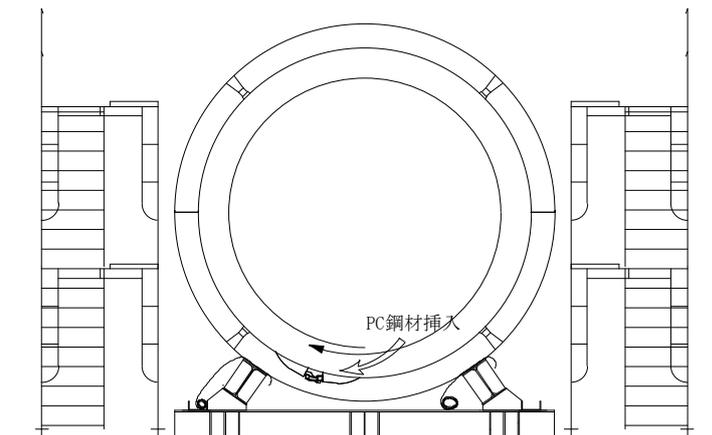


図-4.6 PC鋼材の挿入・緊張要領

### (1) 緊張作業の概要

PC鋼材は、アンボンドPC鋼より線を使用する。アンボンドPC鋼より線の仕様を表-4.1に示す。緊張作業はPC鋼材を人力によりシース内に配置し、センターホールジャッキを使用して片引き緊張を行う。

表-4.1 アンボンドPC鋼より線の仕様

種類	記号	呼び名	標準外径 mm	被膜厚さ mm	公称断面積 mm <sup>2</sup>	単位重量 kg/m	0.2%永久伸び に対する荷重 kN	引張荷重 kN
7本より線	SWPR7BL	7本より 15.2mm	18.7	1.25	138.7	1.219	222	261
19本より線	SWPR19L	19本より 17.8mm	21.8	1.50	208.4	1.797	330	387
		19本より 21.8mm	25.8	1.50	312.9	2.662	495	573

### (2) 緊張作業手順

- ① シースにPC鋼材を挿入し、Xアンカーの両端（緊張端、固定端）に定着具をセットする。
- ② 固定端に配置した定着具からのPC鋼材の突出長さを確認する。
- ③ 緊張端に取り付けた定着具の状態を確認後、Rチェアーおよびセンターホールジャッキ（油圧ジャッキ）をセットする（図-4.6）。
- ④ 油圧ジャッキのセットが完了すると、油圧ポンプの圧力を徐々に上げ、プレストレスを所定の値まで導入し油圧ジャッキの圧力とPC鋼材の伸び量を確認する。
- ⑤ PC鋼材の伸び量確認後、油圧ジャッキの圧力を開放することでPC鋼材を定着する。
- ⑥ 緊張作業は、①～⑤の作業を管の長さ方向の中心から順次外側に向かって交互に実施する。

### (3) 緊張管理

緊張の管理は荷重計の示度とケーブルの伸びによる管理とする。荷重計の示度およびケーブルの伸び量より緊張管理表を作成する。

#### 4.3.5 埋め込み鋼製カラーの溶接

埋め込み鋼製カラーの突合せ部は、図-4.7 に示す要領で行う。また、溶接は溶接工が行うものとし、その作業にあたっては、適切な溶接電流、溶接電圧および溶接速度を選定し、正しい運棒により欠陥のないよう溶接する。溶接完了後は、ゴム輪との水密性を確保するため、溶接部が平滑になるよう研磨する。また、溶接により埋め込み鋼製カラーの塗装が損傷した部分は、タールエポキシ樹脂を塗布する。

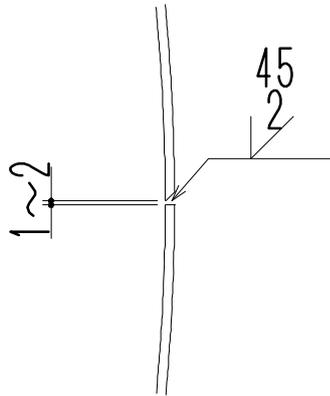


図-4.7 突合せ部の溶接要領

##### (1) 溶接要領

埋め込み鋼製カラーの溶接はアーク溶接、または半自動溶接を標準とする。

##### (2) 溶接部品質管理

溶接部は、溶剤除去性染色浸透探傷試験法により、肉眼で検出できない微細な欠陥を確認する。検査の結果、不良が確認された場合は、その部分を再度溶接により補修し、同様の検査を実施し再確認する。試験の手順は以下のとおりとする。

前処理 → 浸透処理 → 洗浄処理 → 現像処理 → 目視確認

#### 4.3.6 仕上げ

##### (1) PCグラウト

緊張されたPC鋼材とシースとの隙間にXアンカー部よりPCグラウトを充填する。また、施工にあたっては、コンクリート標準示方書およびPCグラウト施工マニュアル（(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会）に準じて品質管理を行う。

##### ① PCグラウトの配合

混和剤はノンブリーディング高粘性型を使用し、グラウト1バッチあたりの配合例を以下に示す。

表-4.2 PCグラウトの配合例

W/C (%)	混和剤 (%) マスターフロー152	単分量 (kg)	
		セメント	水
42.5	1.0 (250g)	25	10.63

##### ② PCグラウト設計数量（推進管1本あたり）

推進管1本あたりのシースとPC鋼より線との空隙部の体積を算出し、PCグラウトの設計数量とする。

##### ③ 使用機械

グラウトミキサー（ハンドミキサー） 回転数 1000rpm  
グラウトポンプ（電動式） 吐口量 5.2リットル/分

##### ④ 施工手順

###### 1) 注入前作業

注入に先立ち、Xアンカーに専用の注入および排出治具を取り付ける。

###### 2) PCグラウトの練混ぜ

PCグラウトの練混ぜは、水、混和剤、セメントの順に投入し、ハンドミキサーで攪拌する。練り混ぜ時間は材料投入後3分とする。

###### 3) 注入作業

注入は、グラウトポンプにて排出治具から、一様なコンシステンシーのPCグラウトが流出するまで中断せず連続して行い、グラウトの流出を確認後に排出口を閉じ、最後に注入口を閉じる。PCグラウトに使用したホースは、PCグラウト硬化後に除去する。

⑤ 施工管理

PCグラウトの日常管理基準を表-4.3に示す。

表-4.3 PCグラウトの品質管理基準

試験項目	試験方法	規格値
レオロジー試験	JSCE-F531 (JP 漏斗)	製品ごとに決められた 規格値
単位容積質量測定試験	JSCE-F536	製品ごとに定められた 水セメント比の推奨範 囲±1.5%かつ使用可 能範囲以内
塩化物イオン含有量試験	各使用材料の試験成績 表により算出する	0.3 kg/m <sup>3</sup> 以下
圧縮強度試験	JSCE-G531	$\sigma_{28} \geq 30\text{N/mm}^2$

※JSCE:土木学会規準

(2) 定着部他の処理

分割型PC推進管に設けられた定着部切欠きには、無収縮モルタルを充填し、埋設インサートは、ポリエチレン製キャップにて閉塞して内面を平滑にする。定着部の処理要領を図-4.8に示す。

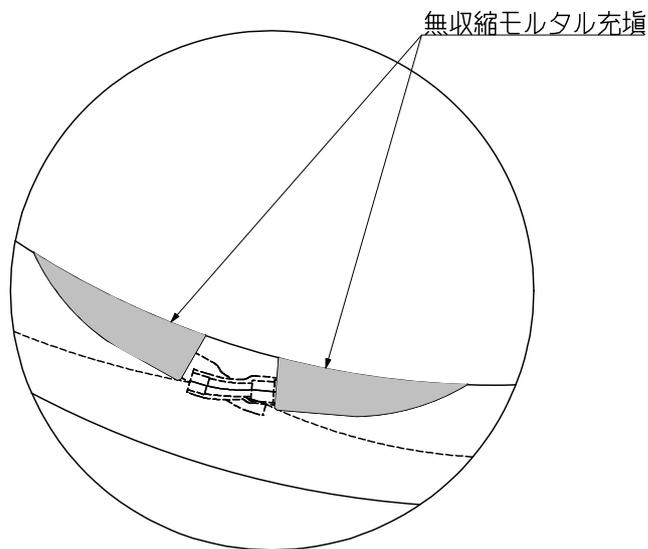


図-4.8 定着部の処理要領

### (3) 接合部止水処理

接合部には、角が欠けないよう切込みが設けてある。製品の組立完了後は、この部分の水密性能を向上させるために、弾性シーリング材によりコーキングを行う。また、埋め込み鋼製カラーの後部は、無収縮モルタルを充填後、表層部分は塗膜防水処理を行う。図-4.9 に止水処理の例を示す。

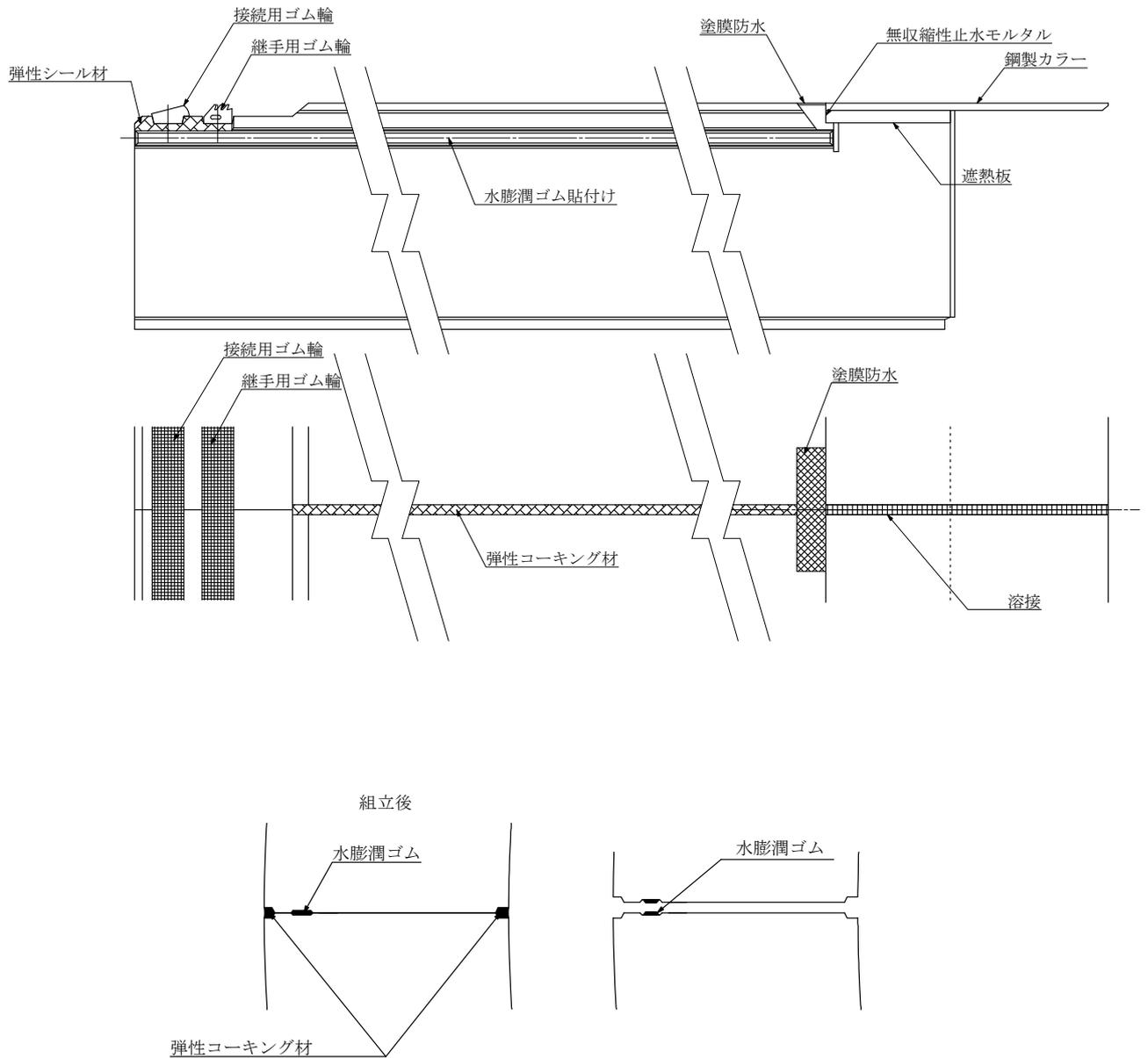


図-4.9 接合部の止水処理例

#### 4.3.7 管の回転

分割型PC推進管は、接合部が頂部から45°近傍の位置になるようクレーンで吊上げ回転させる。回転作業が容易に行えるように組立・回転架台と分割型PC推進管の間にすべり材（テフロンシート：2t×500×2000）を4ヶ所設置する。また、回転方向は連続する推進管の接合部が90°となるよう推進管1本ずつ反対方向に回転することを基本とする。推進管の回転要領を図-4.10に、回転状況を写真-4.3に示す。

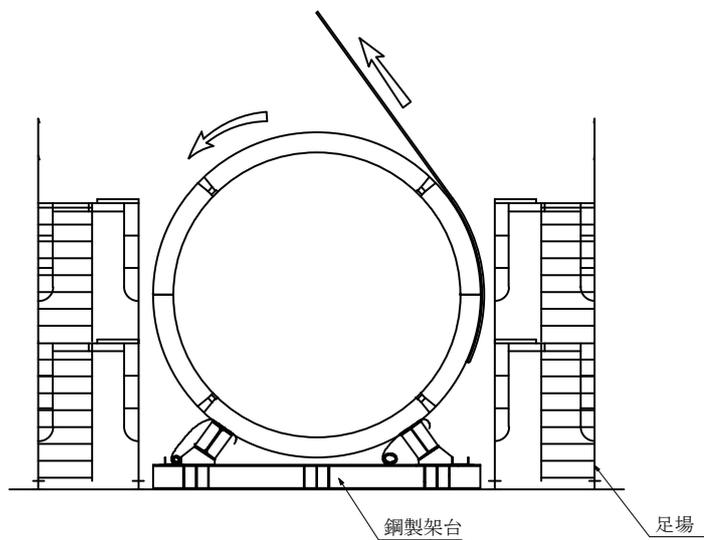


図-4.10 推進管の回転要領

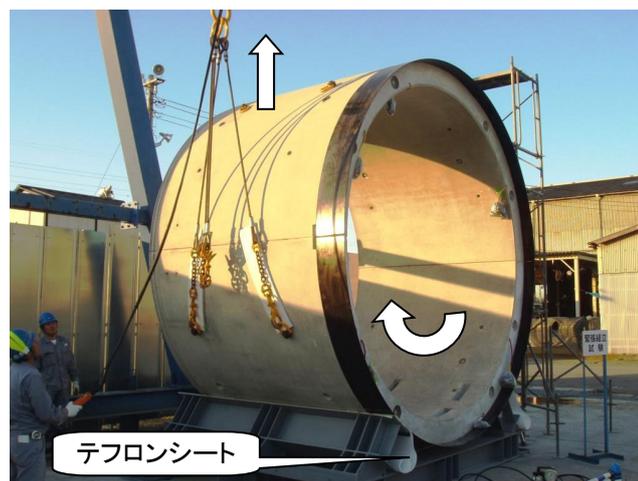


写真-4.3 推進管の回転状況

#### 4.3.8 仮置き場への移設

回転作業の終了した推進管は、専用の吊治具を使用して一次ストックできる仮置き場へクレーンにて移動する。

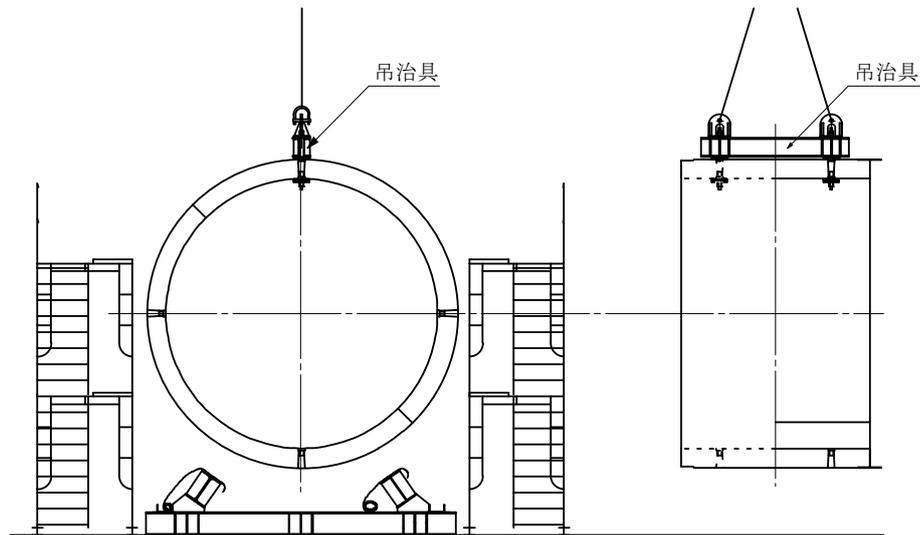


図-4.11 推進管の吊上げ要領

#### 4.3.9 ゴム輪の装着

推進管のコンクリート差口には、接合用ゴム輪と継手用ゴム輪の2種類のゴム輪を接着剤により貼り付ける。ゴム輪の長さは周長の85%程度とする。図-4.12にゴム輪の装着要領を示す。

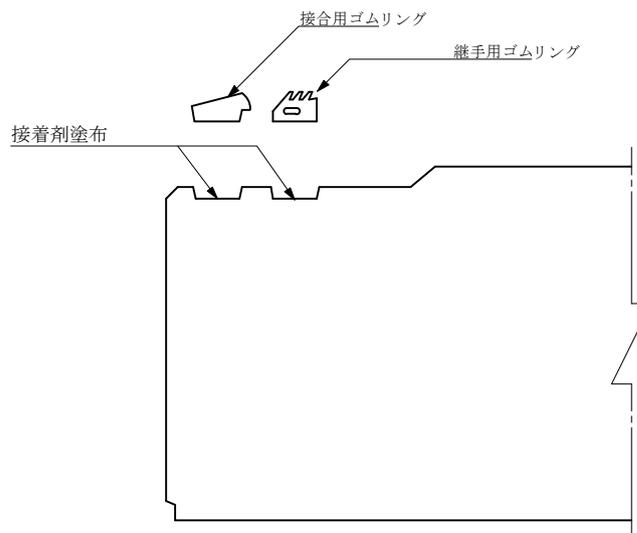


図-4.12 差口部のゴム輪装着要領

## 4.4 推進工

### 4.4.1 推進管の接合

推進管の接合は、次の順序で行なう。

- ① ゴム輪、埋め込み鋼製カラー等の推進管継手部の点検
- ② 推進管の立坑内への吊り下ろし
- ③ ケーブル、配管等の接続作業
- ④ 先行推進管と接合推進管の高さおよび方向の確認

#### (1) ゴム輪、埋め込み鋼製カラー等の推進管継手部の点検

推進管継手部は、現地でゴム輪の装着、また、埋め込み鋼製カラーの溶接接合が施されているため、立坑内吊り下ろし前に再度、異常の有無および異物等の付着のないことを点検し、損傷のないよう慎重に取り扱う。曲線施工の場合には、推進管継手部に取り付けるクッション材の装着が必要であるが、クッション材の厚さ、形状、取付け位置等を考慮し、施工条件に適した方法で取り付けなければならない。

#### (2) 推進管の立坑内への吊り下ろし

推進管の吊り下ろしは安全に、かつ、推進管に損傷を与えないように慎重に行なう。推進管吊り下ろし設備は、能力に余裕のあるものを使用し、玉掛け作業は有資格者が作業にあたり、推進管専用の吊り具を使用しなければならない。

#### (3) ケーブル、配管等の接続作業

推進管の接合時は、照明、動力、制御ケーブル、送排泥管、排土管、注入管、また、油圧ケーブル等の接続を行なうが、ケーブル、ホースの端部に水や異物が付着するとトラブルの原因になるので、これらの切り離し・接続作業においては付着防止に努めるとともに、電気ケーブルの取り扱いにおいては、電源のOFFが確認できる設備を考える。

#### (4) 先行推進管と接続推進管の高さおよび方向の確認

先行推進管に合わせて、吊り下ろした推進管の高さ、方向を確認し、吊り下ろし設備を使用して、推進架台の上に慎重にセットする。双方の推進管端部の位置が合っていないと、ゴム輪のめくれ、鋼製カラー端部の損傷が発生するため、十分な注意が必要である。双方の端部が接触するまで元押しジャッキでゆっくりと前進させた後、一旦停止し、継手部に異常がないことを再度点検し、接続させる。この時、接続を円滑に行うため、ゴム輪および埋め込み鋼製カラー内面側に、滑剤を十分塗布する。

### 4.4.2 鏡切断工

鏡部の地盤の安定を確認した後、鏡切断を行い掘進機を発進しなければならない。周辺の地盤の性状は、事前の土質調査では正確に把握できないことが多い。また、立坑周辺の地山は、立坑築造時にゆるんで地盤強度が低下していたり、予想外の湧水が生じることがある。したがって、鏡切断は、地盤の状態を確認しながら、作業を進めることが大切である。特に、大口径では、部分的に鏡切断を行い、状況を確認しながら進めていくことが肝要である。

### 4.4.3 推進工

#### (1) 初期掘進工

##### ① 鏡部の地盤状況

発進時は、立坑の施工により、定常の地盤状態に比べて切羽が崩壊しやすい。特に、掘進機の掘削トルクを支える条件が定常時に比べて劣っていることや、地盤改良された地山では掘削トルクが大きくなり、掘進機のローリングを生じる可能性があるため、低速度での掘進で対応する。

## ② 掘進機精度

発進時は、立坑周辺の地山のゆるみや、掘進機の重量により、掘進機が鉛直方向に狂いやすく、方向ずれが大きいまま発進すると、掘進に伴い浮上り現象が発生し、先行推進管と据付けた推進管の継手部に不具合が生じる恐れがある。したがって、掘進機が地山に入るまでは方向に注意し、慎重に掘進する必要がある。

## ③ 坑口部の止水

坑口リング止水ゴム部は、掘進機通過後、推進管が通過する。掘進機と推進管には外径差があるため、継手部や掘進機中折れ部の通過時、泥水、泥土、地下水が吹き出る恐れがある。よって、発進時は特に坑口部の通過状況をよく観察し、異常のないことを確認する必要がある。また、発進時点から推進距離の短い間は、元押しジャッキを引き戻す時に掘進機前面の土圧・水圧に押されて掘進機が後退することがある。この現象は、推進管外周の抵抗が前面の圧力を超えるまで継続し、坑口リングの止水ゴムのめくれ、損傷、空隙部の発生による地盤の陥没等の原因につながる。したがって、後退防止策を施す必要がある。

## (2) 本掘進工

掘進中において、推進状態に関する管理項目として、以下の項目がある。

- ・切羽の安定状態
- ・掘進機の掘進状態
- ・掘進の方向性（測量）の状態
- ・推進管の推進状態
- ・掘削土の状態、掘削土の搬送状態、掘削土処理の状態



写真－4.4 元押し推進状況

### 4.4.4 後退防止工

密閉型機械式の推進工事では、掘進機前面に常に水圧および主働土圧を受けており、推進停止時には掘進機を押し戻そうとする力が働く。特に発進直後においては、推進管外周の摩擦抵抗が小さいため、元押しジャッキを引き戻すときに掘進機・推進管が後退する現象が発生することがある。推進工法は、推進管を一本押し切るたび、元押しジャッキを一旦引き戻して推進管をセットしなければならないため、ある程度の時間、ジャッキを開放しなければならない。特に大口径では、水圧を考慮して、確実な後退防止装置が必要となる。主な後退防止装置としては、以下の方法がある。

① インサートアンカータイプ

推進管後方に、あらかじめ後退力に見合ったインサートアンカーを取り付ける。推進管押し切り位置に後退力に見合った鋼製支保工を設置し、アンカー部に加工材をボルトで締め付け、鋼製支保工で後退を防止する（図-4.13）。

② ジャッキ締め付けタイプ

推進管全周を油圧ジャッキ装置により締め付ける。締め付け装置は、①と同様に後退力に見合った鋼製支保工で防止する（図-4.14）。

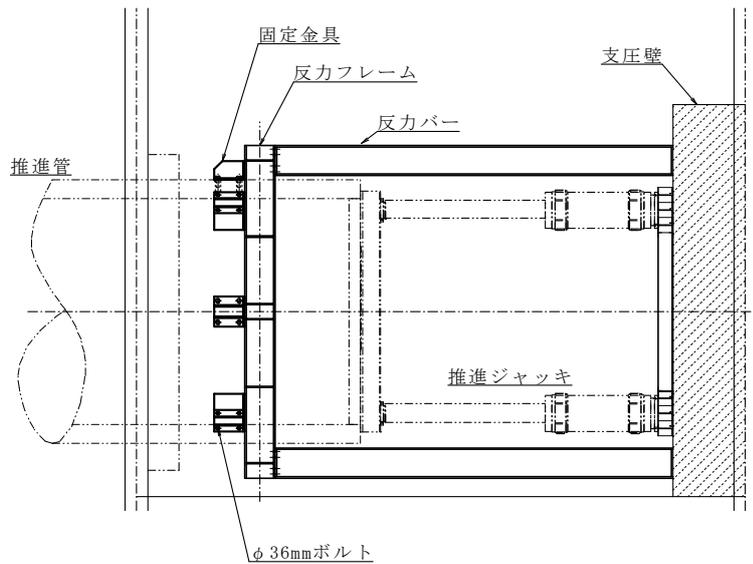


図-4.13 インサートアンカータイプ

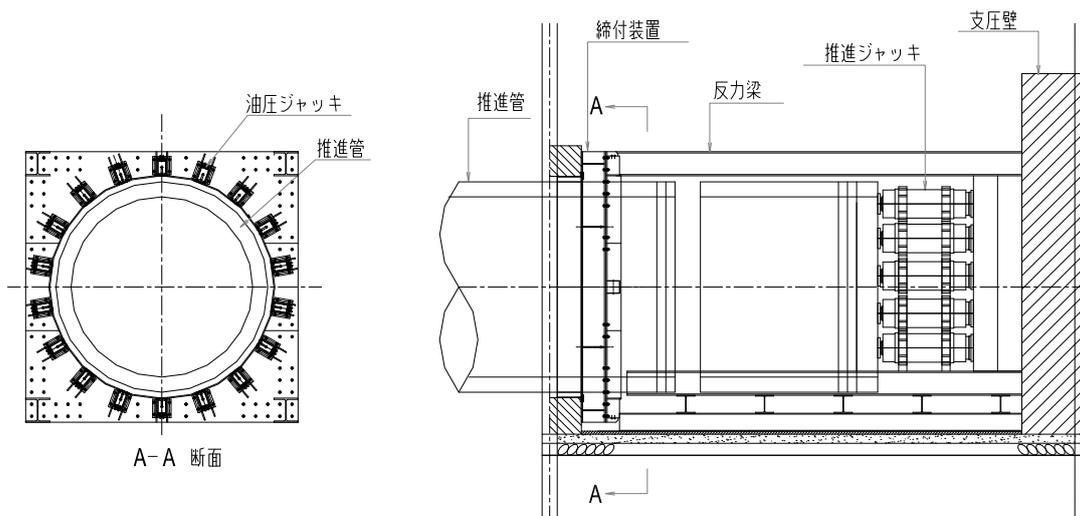


図-4.14 ジャッキ締め付けタイプ

#### 4.4.5 滑材注入工

滑材の注入にあたっては、以下に示す事項に留意しなければならない。

##### (1) 土質条件

特に超大口径PC推進工法において、滑材注入の良否は、推進力の上昇を左右するとともに、地盤沈下等を防止するうえで大きな役割を果たす。事前に十分検討し、土質の変化等に対応した適切な判断をして施工しなければならない。

##### (2) 注入孔

推進管の外周のボイドに沿って全周に充填するため、注入孔は、推進管1本に対し、複数(4箇所)の注入孔を検討する。

##### (3) 注入方法

注入は、掘進機もしくは先頭推進管から行なうが(1次注入)、後方の推進管からも追加注入を行なう必要がある(2次注入)。

##### (4) 注入材料

注入材料としては、一般に一液性の滑材が使用されているが、大口径においては、地山との摩擦面積が大きいいため、滑材の保持が重要となる。このため、少なくとも1次注入においては、二液性の滑材を標準とし、その後に液状の滑材を注入することが望ましい。表-4.4に主な二液性滑材をまとめて示す。

表-4.4 主な二液性滑材

会社	品名	溶解割合
立花マテリアル	クリーンFD	A剤 63kg/200L B剤 28kg/200L
松村石油	ネオモールC	α剤 63kg/200L β剤 25kg/200L
薬剤開発センター	コントロールS	A剤 63kg/200L B剤 28kg/200L

会社	品名	溶解割合
イセキ	遅硬性滑材グラパック	25kg/83.3L
ユニオンヒューム	自硬性滑材	25kg/50~83.3L

会社	品名	溶解割合
機動技研	アルティークレイ	A剤 18kg/200L B剤 3kg/200L

##### (5) 滑材の選定

滑材は、注入圧により地山に浸透していくが、浸透とともに地下水により希釈され、この現象が大きければ摩擦低減効果が阻害される。この現象は、滑材の物性と土質との適合性による。そのため、地盤条件に適合した滑材を選定することが大切である。

#### 4.4.6 曲線推進工

設定された曲線を施工するため、次の事項について適合性を検討し、最適な施工を行わなければならない。

##### (1) 掘進機の曲進性

掘進機を曲線推進させる方法として、掘進機の方向修正ジャッキを使用することと、余掘り量を確保することが必要である。掘進機を選定するうえで、計画曲線の折れ角に対して、ジャッキストロークも大きくなることを認識し、施工の際、土質条件や上下方向の修正も考慮して、余裕のあるジャッキストロークを有する掘進機を選定する必要がある。

##### (2) 推進管端部の推進力伝達方法

曲線の外側では継手部の目地が開いて管相互は内側で接触する状態となり、内側が推力の伝達経路となる。接触状態は点接触となるため、応力集中により推進管を損傷する可能性がある。この対策として次のような応力分散方法がある。

- ・ クッション材挿入方式
- ・ ネジジャッキ方式

現在は、一般的に《クッション材挿入式》が採用されている。

#### 4.4.7 裏込め注入工

裏込め注入材は、滑材と同様に地山への浸透を考慮して土質に最も適した硬化性のものを使用するが、耐腐食性、化学的安定性、低収縮性をもつ等の長期安定性が要求される。これらの要求性能に対し、セメント、フライアッシュ、ベントナイト等の配合材料が用いられるが、近年、プレミックスタイプの一体型が多く用いられている。

#### 4.4.8 目地工

推進完了後、管の継手部には目地工を施す。推進管の埋設位置は、通常、地下水位より下であるため、地下水の浸入を防止する必要がある。材料として、固練りモルタル(1:2)、急結セメント、無収縮モルタル等を用いる。目地を施す際には、目地溝部をよく清掃し、はく離しないよう処置し、十分に充填させ水の浸入を防止する。特に大口径では、充填量が多くなるため、二層ぐらいに分け充填することが望ましい。

## 4.5 掘進機

### 4.5.1 掘進機

掘進機は、分割型PC推進管と同様に道路運送上、掘進機外殻を長さ方向だけでなく、円周方向にも半円筒状に分割する必要があるため「上下分割型掘進機」の形態となる。図-4.15に掘進機の分割イメージ例、写真-4.5にボルト接合された掘進機の外殻構造、写真-4.6に掘進機の現地組立状況を示す。

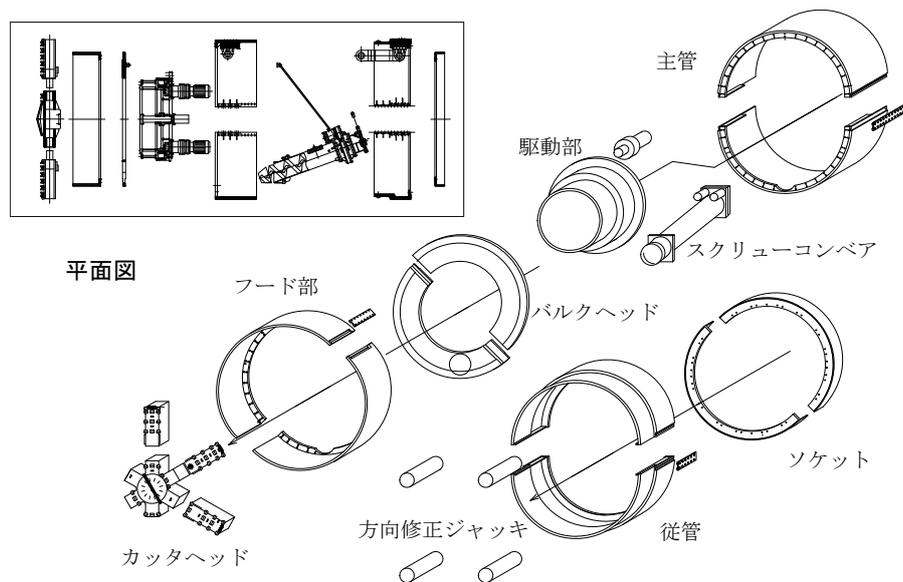


図-4.15 分割イメージ例

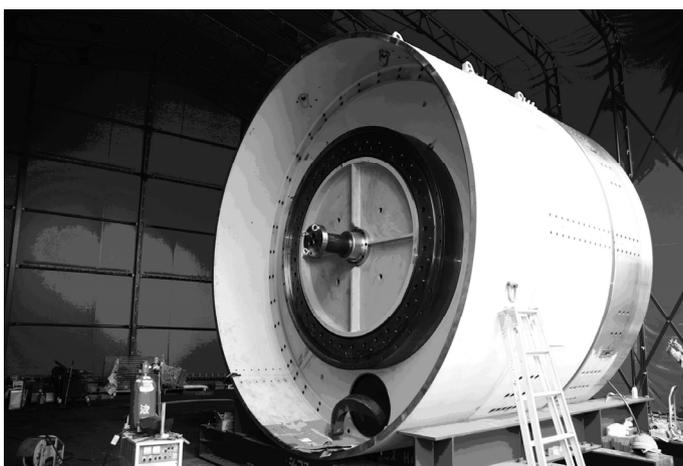


写真-4.5 ボルト接合された掘進機の外殻構造



写真-4.6 掘進機の現地組立状況

#### 4.5.2 掘進機輸送

推進管と同様、掘進機は、一体化した状態で輸送することができないことから、分割した状態で運搬する必要がある。施工条件により多少異なるが、路上での仮組作業や立坑のスペースを考慮して組立手順を立案し、必要な部品が必要な時点で搬入されるようなトラックへの積み込みを検討しなければならない。図-4.16 に分割された掘進機の積載例を示す。

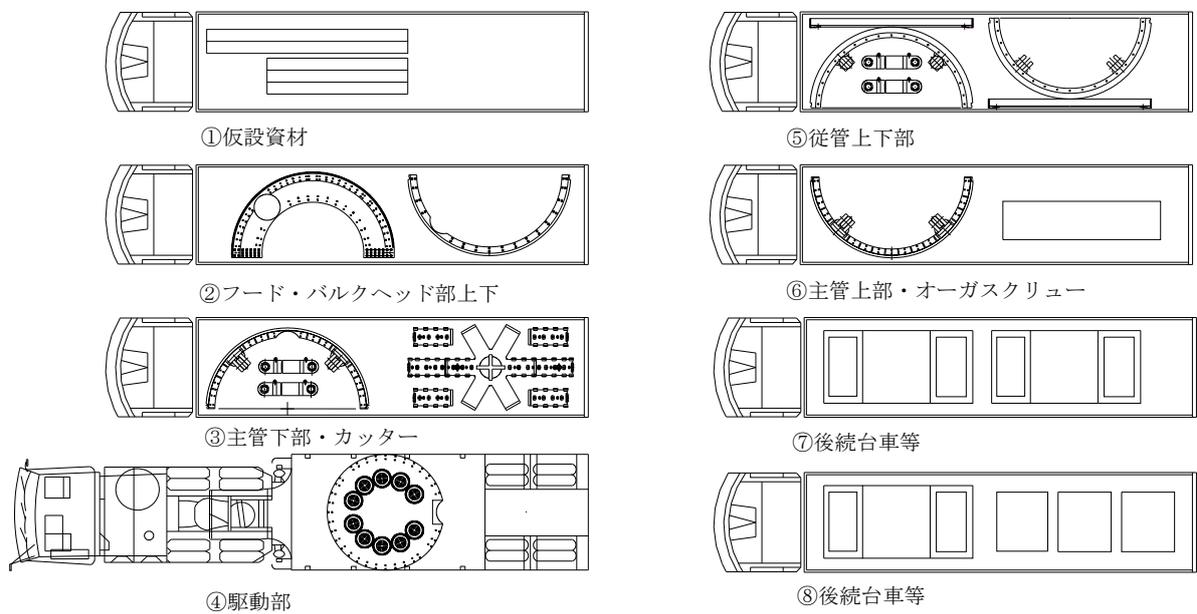


図-4.16 トラック積載例

#### 4.6 発進基地計画

図-4.17に発進基地のレイアウト例を示す。

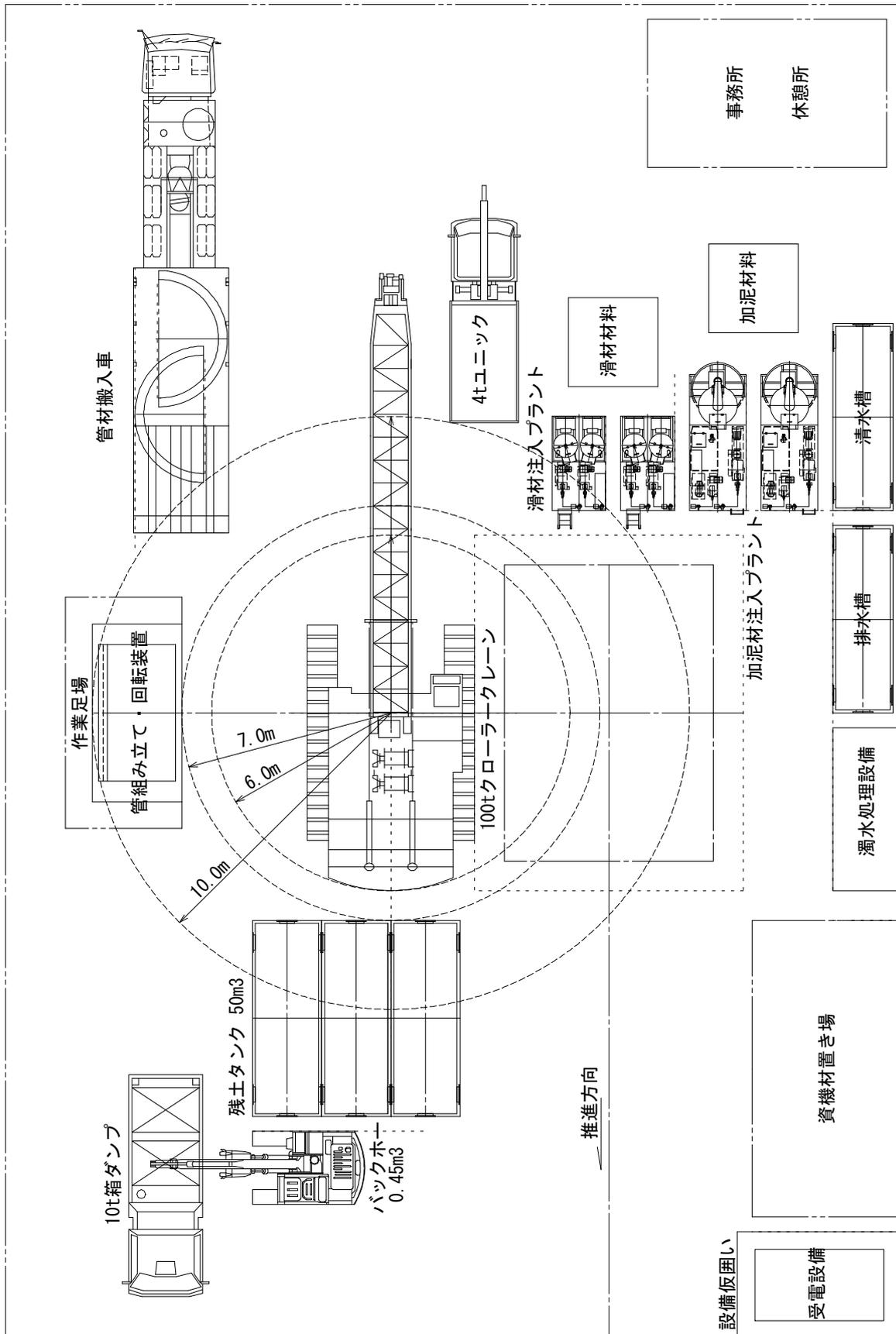


図-4.17 発進基地のレイアウト例

## 5. 対外発表文献一覧

表-5.1 対外発表文献一覧表

番号	タイトル	文献名	発表時期
1	大口径推進工法に対する分割型PC推進管の適用性	トンネル工学研究発表会論文・報告集第13巻	2003年11月
2	大口径分割型PC推進管の開発（その1）	第14回非開削技術研究発表会論文集	2003年11月
3	【解説】超大口径推進工法用分割型PC推進管	日本下水道管渠推進技術協会誌月刊推進技術5月号	2004年 5月
4	分割型PC推進管の基本性能と適用性について	土木学会論文集（第VI部門）	2004年 6月
5	分割型推進管による推進時の挙動特性について	トンネル工学研究発表会論文集第14巻	2004年10月
6	大口径分割型PC推進管の開発（その2）	第15回非開削技術研究発表会論文集	2004年11月
7	“新しい領域を切り開く” 推進工法最新技術	日本プロジェクトリサーチ第29回講習会テキスト	2005年 7月
8	分割型PC推進管の耐荷機構について（その1）（その2）	第60回土木学会年次学術講演会論文集（第VI部門）	2005年 9月
9	分割型PC推進管による曲線推進について	土木学会論文集（第VI部門）	2005年 9月
10	大口径分割型PC推進管の開発（その3）	第16回非開削技術研究発表会論文集	2005年11月
11	超大口径φ3500推進工事の施工	第16回非開削技術研究発表会論文集	2005年11月
12	超大口径PC推進管の推進工事における挙動計測（その1）	第16回非開削技術研究発表会論文集	2005年11月
13	分割型PC推進管を用いた超大口径推進工法に関する研究	下水道協会誌論文集	2005年12月
14	超大口径（内径3500mm）推進工事の計画と施工	日本下水道管渠推進技術協会誌月刊推進技術1月号	2006年 1月
15	ズームアップ [下水道] 世界最大径の推進工法を採用	日経コンストラクション2006年1月27日号	2006年 1月
16	千葉県下水道幹線大口径管Φ3500mm推進工事の計画と施工	日本非開削技術協会機関誌No-Dig Today 55号	2006年 5月
17	“推進工法技術”さらなる進化に向かって	日本プロジェクトリサーチ第30回講習会テキスト	2006年 7月
18	「時代のニーズより生まれた超大口径PC推進管」	日本下水道管渠推進技術協会誌月刊推進技術3月号	2018年 3月

## 超大口径P C推進工法研究会

●機動建設工業株式会社

●戸田建設株式会社

●日本国土開発株式会社

●三井住友建設株式会社

●エクシオグループ株式会社

●SMCテック株式会社

●SMCプレコンクリート株式会社

●藤村クレスト株式会社

●ラサ工業株式会社

(事務局) 〒104-0051 東京都中央区佃 2-1-6 三井住友建設株式会社内

TEL (03) 4582-3060 FAX (03) 4582-3217

(管材事務局) 〒104-0033 東京都中央区新川二丁目27番1号

東京住友ツインビルディング東館18階

SMCプレコンクリート株式会社内

TEL (03) 6458-1734 FAX (03) 6260-3716

