

解説

# シールド坑内から発進した 推進施工事例

うえて てるひろ  
植手 照博

不動テトラ・徳倉・東海  
特別共同企業体  
ほのか作業所監理技術者



こもり だいすけ  
小森 大輔

機動建設工業(株)  
名古屋支店工事課



## 1 はじめに

本工事は、名古屋駅周辺を含む中川運河上流地域における名古屋市の浸水対策事業の一環として、笈瀬川幹線とほのか雨水調整池を接続し、笈瀬川幹線の排水能力を超えた雨水をほのか雨水調整池へ流入させるための施設を泥水式推進工法で敷設したものです。

施工箇所（中村区椿町地内：名古屋駅西側）は、名古屋駅隣接地であったために発進基地の確保が難しいことから、ほのか雨水調整池のシールド発進基地に地上設備（泥水処理設備等）を設置して、300m先のシールド坑内から分岐発進（推進）し、到達させて笈瀬川幹線と接続する計画でした（図-1）。

シールド発進基地から分岐発進箇所までの300m区間には、R=20m（CL=32.240m）とR=60m（CL=38.197m）の曲線区間がありましたが、シールド坑内を搬入路として使用し、掘進機や推進用資機材などの重量物を運搬し、設置しなければなりません。

本稿では、シールド坑内から分岐発進する推進施工の課題と対策を中心に、施工結果を報告いたします。

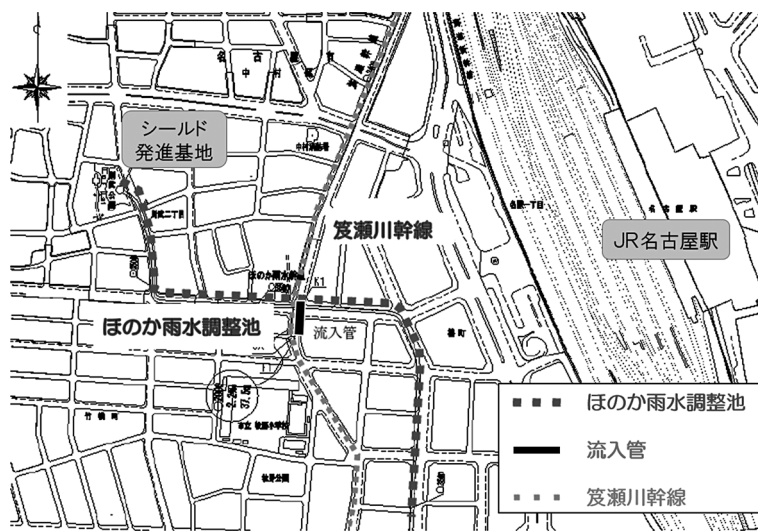


図-1 概要図

## 2 工事概要

工事名：ほのか雨水調整池流入管  
下水道築造工事

工事場所：愛知県名古屋市の中村区椿町地内

発注者：名古屋市上下水道局

施工者：不動テトラ・徳倉・東海特別共同企業体

施工期間：平成30年4月1日～10月31日

工法：泥水式推進工法

呼び径：2000

管 種：下水道推進工法用鉄筋コンクリート管  
(E形管) 2種 L=1.20m  
外殻鋼管付き推進工法用コンクリート管  
(E-MAX推進管) 2種 L=0.80m

推進延長：L=33.60m

曲 線：平面曲線 R=300m×1箇所  
曲線区間長 CL=11.37m

土 被 り：H=8.95m

土 質：砂質シルト (N値：15～25)

発進箇所：φ3,993mm 鋼製セグメント  
(シールド坑内一次覆工内径)

到達立坑：φ3,500mm ライナープレート

### 3 課題と対策

本工事における課題について、事前に検討し実施した対策を以下に記述します。

#### 3.1 シールド坑内推進設備の検討

##### 【課題1】推進用軌条レールの設置

シールド施工時に使用していた軌条設備を利用することは、推進設備機器を設置する高さや許容荷重に問題があり使用できないと判断し、あらためて推進用の軌条設備を設置しました。重量20tの掘進機を運搬するための許容荷重を確保するためには、H-200 (75kg/本)の枕木用鋼材を600mm以下の間隔で設置する必要がありますが、総数にして約500本程度必要でした。しかし、発進基地からレールの設置が完了した箇所までは枕木用鋼材を台車で運搬することはできますが、シールド坑内に吊り設備がなく、すべてを人力作業で設置することは大変な作業になると考えました。

##### 【対策1】

施工時は運搬用台車に吊設備を設置して枕木用鋼材を吊り下ろし、レール1本分の水平移動はローラベルコンを使用しました。微調整は人力で作業しましたが、順調に軌条レールを設置することができました(写真-1、2)。

##### 【課題2】シールド坑内の吊り設備

分岐発進地点には既存の吊り設備がなく、推進用資器材を設置するための吊り設備が必要でした。

緊急時の対応や推進管運搬等の作業性を考慮して、



写真-1 枕木用鋼材吊下ろし状況



写真-2 運搬・設置状況

還流機器以外の推進設備用資機材は分岐発進地点より奥側に作業床を設けて(幅3m、長さ20m)配置しました。

シールド坑内では掘進機と推進管の重量物揚重作業を行わない計画にしました。実際に本工事で設置した吊り設備は、水平移動距離30m、最大吊り荷重2.5t(油圧ユニット：約2.2t)の条件とし、吊り代を確保するために極力コンパクトな設備を選定する必要がありました。

##### 【対策2】

設置した吊設備は、セグメントの継手部(1.2m間隔)に固定金具を取付け、I型鋼100×200(L=3m)を10本差し込み、添接板でI型鋼を接続する吊りレール構造とし、ギヤードトローリーとチェーンブロックを荷役器具として使用しました。固定金具は継手部を両側から加工したプレートで挟み込み、ボルトで固定しました。またI型鋼の差し込み口が変形することを防止するため、プレート間にスペーサーブロックを挟み込みボルトで締め付けて一体化補強しました(図-2)。

その結果、油圧ユニットを設置する時は吊り代がわず

かしかなかったのですが、すべての推進設備を問題なく設置することができました（写真-3、4）。

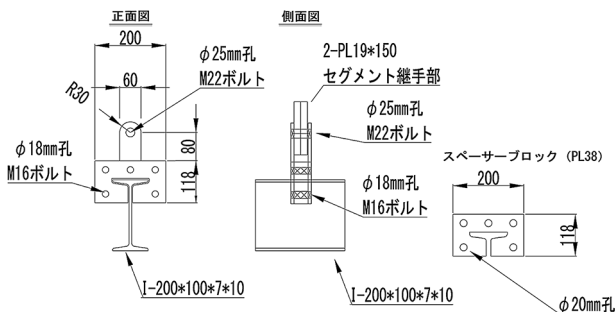


図-2 吊設備 概要図



写真-3 シールド坑内吊設備



写真-4 推進用資機材設置状況

### 【課題3】掘進機運搬台車と発進架台の検討

本工事で最も大きな課題は、シールド坑内で重量20tの掘進機を運搬することと、限られた空間の中で（内径3,993mm）、推進工事を施工することでした。シールド坑内では運搬台車から発進架台に掘進機を据付ける吊設備を設置することは難しく、さらに計画の推進管路中心高さが低かったためターンテーブルで据付けることもできませんでした。

### 【対策3】

施工方法を検討した結果、運搬台車に直接架台を組み付ける計画にしました（以下、運搬台車兼用架台）。

掘進機を運搬するシールド坑内は、運搬距離が300m、途中にR=20mの急曲線区間があり、仮にバランスを崩して転倒してしまうと大きな事故につながる懸念されました。しかしながら軌条レールの中央に掘進機重心をあわせて運搬すると、分岐発進地点で発進坑口が支障となる位置関係でした。そのため分岐発進地点の手前までは掘進機をバランスのよい位置に据付けて運搬し、発進坑口を交す直前に運搬台車兼用架台の上で移動させる計画にしました。

掘進機を架台の上で安全に移動させるために、掘進機を架台レールから5mm浮かせるようにチルトタンクを取付けて、荷重が直接架台レールに作用しない構造にしました。

その結果、架台レールと掘進機の摩擦抵抗力が軽減できたため容易に移動することができるようになり、掘進機据付後から発進坑口挿入までの一連の作業も3tレ



写真-5 運搬台車兼用推進架台

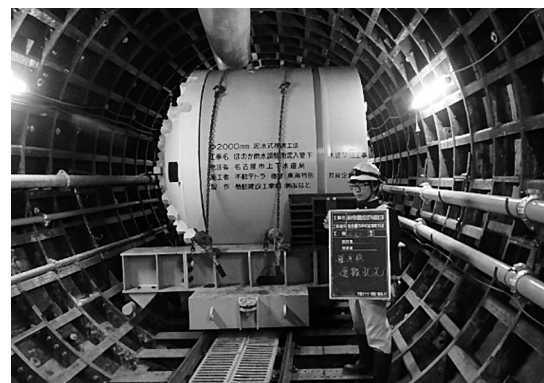


写真-6 掘進機シールド坑内運搬状況

パブロック2個で施工できました。また推進時も架台レールと推進管の摩擦抵抗力を軽減できたので、運搬台車兼用架台の固定設備を簡素化することができました。

さらなる転倒防止対策として、運搬中の振動や急曲線区間通過時にバランスを崩すことが懸念されたため、4本の転倒防止治具を架台前後に取り付けました。

実際の現場では掘進機を運搬する前にシールド坑内を試走させ、転倒防止治具の調整、軌条設備等の点検を実施して細心の注意を払って運搬作業を行ったため問題なく所定の位置へ設置することができました（写真-5～8）。

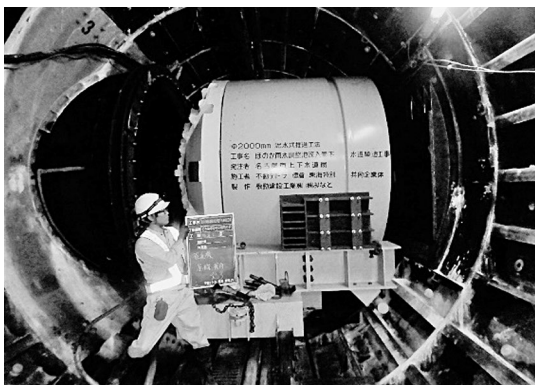


写真-7 掘進機据付完了



写真-8 掘進機坑口挿入状況

### 3.2 FFU (Fiber reinforced Foamed Urethane) 壁面切削(発進時)の検討

#### 【課題1】 面板と止水ゴムの接触

一般的な推進工事で鏡を切断して発進するときは、掘進機面板と止水ゴムが接触していると面板を回転させるとゴムを損傷させるため、発進坑口を進行方向に長くするか、もしくは地山を人力で先掘りして整形し、ゴムが

接触しない位置まで掘進機を挿入します。

しかし本工事ではFFU壁面を掘進機で直接切削して発進する計画のため、止水ゴムを損傷させない方法は発進坑口を長くするしかありませんでした。しかしながら支圧壁や元押ジャッキもできるだけ小さい機器を使用する計画にしましたが、推進管を据付ける空間を確保しておかなければならないので、発進坑口を最初から長くすることはできませんでした。

#### 【対策1】

発進坑口を可動構造にして、掘進機を挿入した後に止水ゴムを定着させている坑口金物を支圧壁側へ拡張させて(約150mm)、掘進機面板との接触を防止しました。そしてFFU壁面切削完了後に推進管を据付ける空間を確保できる位置(元の位置)まで縮納しました(写真-9、10)。

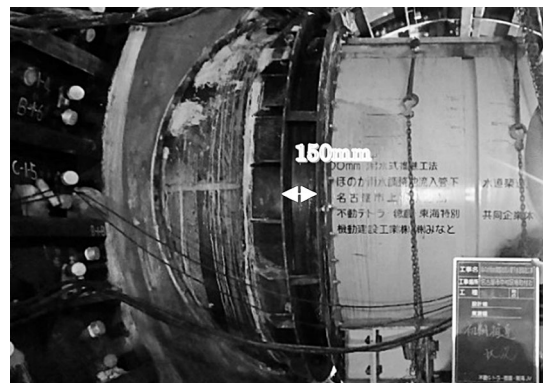


写真-9 発進坑口拡張時

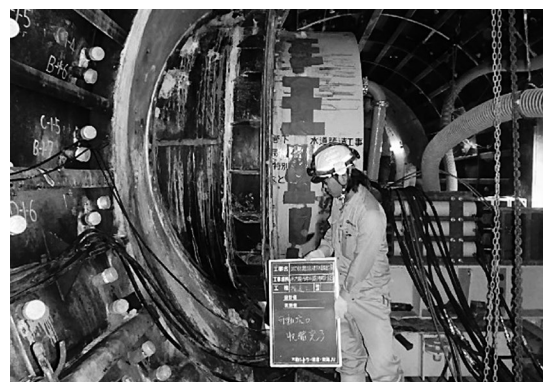


写真-10 縮納時

#### 【課題2】 円形壁面切削時の面板構造

円形のFFU壁面に対して一般的な平面形状の面板を使用すると外周を先行して切削してしまい中心付近の

FFU壁面を塊状で押し抜いてしまうことになり、面板の前で塊形状のFFUを抱え込み破碎ができずに取り込みに支障が出ることや、坑口外側のFFU壁面にひび割れ等の影響が出る懸念されました。

**【対策2】**

掘進機面板の切削断面をFFU壁面の曲面傾斜以上になるように製作して、鏡の中心から壁面外側に向けて切削できる形状にしました（写真-11、12）。

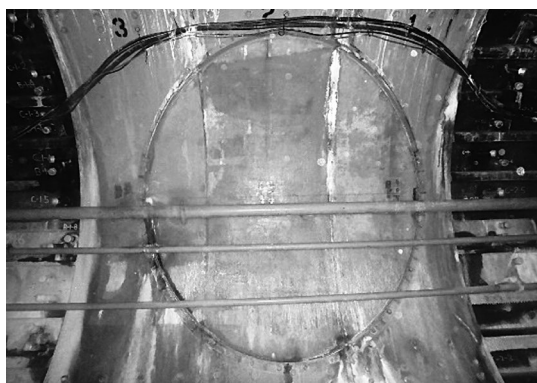


写真-11 FFUセグメント壁面

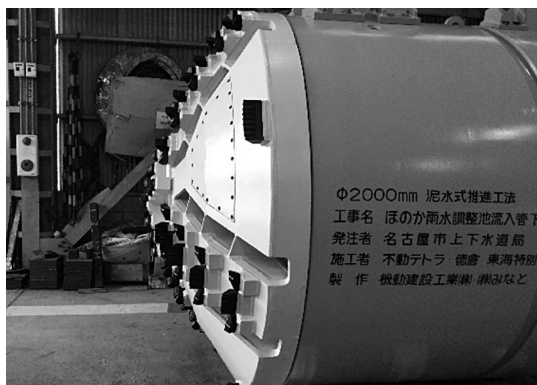


写真-12 掘進機側面（面板断面）

その結果、坑口周辺のFFU壁面にひび割れ等の影響が出ることもなく、切削できない塊状のFFU切削片も到達時に確認されませんでした。

**【課題3】FFU切削片による閉塞**

泥水式で施工した過去の壁面切削発進の施工事例から、FFU切削片が流体管路内部（排泥管、中継P等）で閉塞することが懸念されました。

FFU部材は切削に伴い薄くなると（20～30mm以下）切削片が大きく割れやすくなり、大きく割れた切削片は流体管路内部で閉塞します。流体管路内部で閉塞した

場合は、瞬間的な切羽圧力の上昇を引き起こすことや、切羽の安定を阻害することになります。また閉塞箇所も限定できないので閉塞解除に費やす時間と労力を要することになります。

**【対策3】**

シールド坑内に設置した坑内バイパスと掘進機の間にはFFU切削片の回収箱を設置して、排泥管ラインが完全に閉塞する前に掘進を中断して速やかに切削片を撤去できるように計画しました。また掘進機内部の排泥管閉塞を防止するために、機内排泥管は曲管を使用しない構造にしました。

実際の現場では、掘進機後方直後の曲管と回収箱の2箇所でのみ閉塞が発生しましたが、掘進機内部の排泥管や回収箱後方の閉塞を防止することができました。また閉塞箇所が限定されていたため閉塞解除を速やかに実施して効率よく壁面を切削することができました（写真-13、14）。

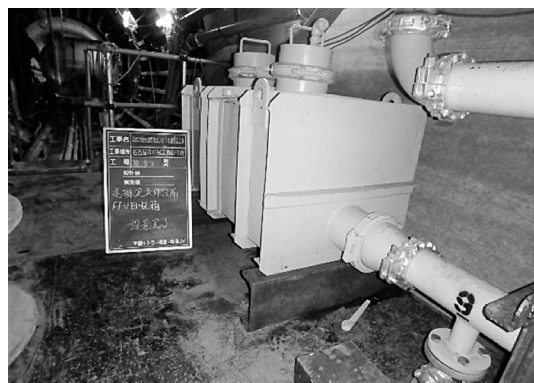


写真-13 FFU回収箱



写真-14 回収箱内部

#### 【課題4】 超低速制御が可能な元押ジャッキ

FFU切削時の元押ジャッキスピードは3mm/min以下にすることが推奨されていますが、ジャッキスピードが速過ぎると壁面が未切削の状態壁面を押し込むため、FFU壁面が大きく割れてしまうことや掘進機本体のローリング、カッタのトルクオーバが多発することが懸念されました。

#### 【対策4】

通常元押ジャッキに使用している油圧装置は油の流量が多く、低圧作動時に低速で安定したジャッキスピードの制御が難しいため、FFU壁面を切削完了するまでは低圧時でも超低速運転制御が可能な油圧装置を製作しました。

FFU壁面切削時はカッタトルクが50%前後に維持できるように、ジャッキスピードを毎分1.5mm程度に保ち掘進しました。

その結果、掘進機のローリングや大きな振動、壁面のひび割れ等が発生することなく、順調にFFU壁面を切削することができました（写真-15、16）。

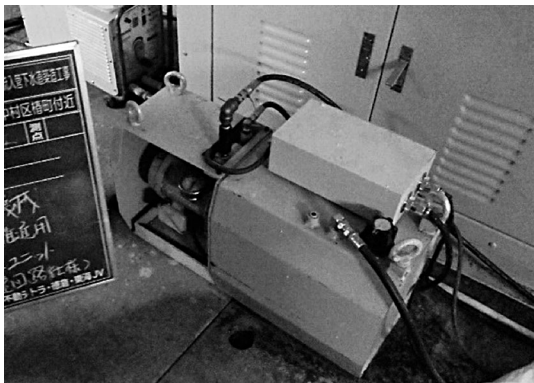


写真-15 微速制御油圧装置



写真-16 初期掘進用元押ジャッキ

### 3.3 掘進機および推進管の

#### 後退現象（バックング）の検討

#### 【課題1】 推進管反力金具の設置方法

本工事は計画時の検討でバックング力が300kN発生すると想定されましたが、閉所なシールド坑内作業では推進管を押切った時に発進坑口から推進管鋼製カラーの部分しか坑内に露出されていないため、推進管を据付ける時に支障とならない反力金具の設置方法が大きな課題でした。また推進管の浮き止め設備も必要になるため、バックング反力金具を取付けられる実質的な有効長さはわずか150mm程度しかありませんでした。さらに推進管鋼製カラーに反力金具を定着させるアンカボルトを設置することもできず、推進管と反力金具の摩擦抵抗力でバックングの反力を確保することも難しい状況でした。

#### 【対策1】

推進管カラーの周長方向に6mmの突起させた上下2分割構造のバックング反力鋼材を製作し、外側からボルトで締付けることで推進管に定着させました。

その結果、実際に現場ではバックング現象が発生しましたが、推進管に定着させた反力金具が動くことはありませんでした（図-3）。

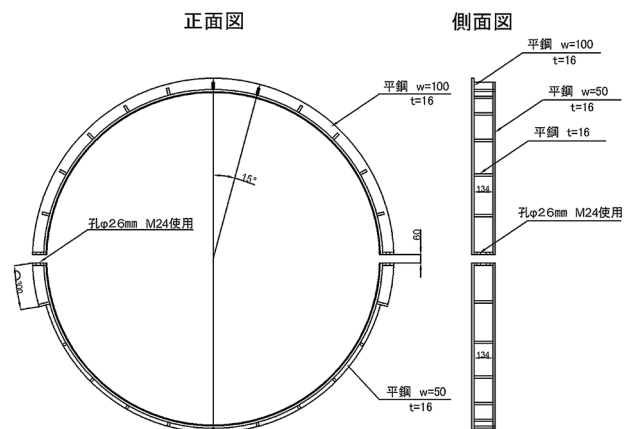


図-3 バックング反力金具

#### 【課題2】 推進管据付けに支障とならない

#### バックング反力鋼材の設置

バックング反力金具の支持枠は、推進管据付時に支障とならないように設置する必要がありました。

#### 【対策2】

推進方向に対して右側から推進管を運搬してくるので

反力金具を支持する柱の鋼材は上部と左側に設置しました。また下部方向はセグメントに溶接した鋼材で固定し、右側はレバブロックでセグメントと反力支持柱を固定させました。

推進管の運搬と据付けの時間は軌条設備が単線のために時間を要しましたが、問題なくバックリング現象を抑制することができました（写真-17、18）。

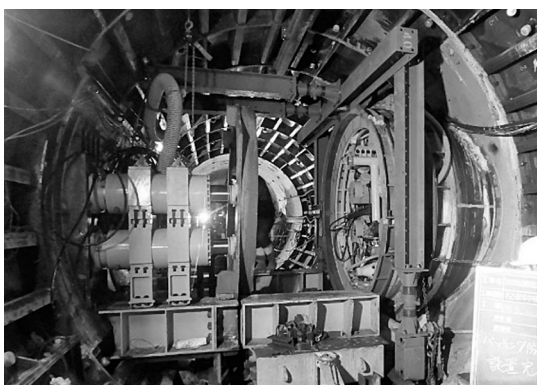


写真-17 バックリング防止状況



写真-18 推進管据付け状況

#### 4 施工の結果

シールド坑内分岐推進は、一般的な推進工事と異なり限られた空間内で工夫して作業する必要があります。発進坑口や支圧鋼材、その他の推進設備機器の設置作業など、すべての作業で吊り位置や玉掛方法などの作業手順を入念に事前検討しました。その結果、手戻り作業やトラブルもなく順調に施工することができました。

推進作業ではシールド内径にあわせて掘進機を短尺化する必要がありましたが、泥水式掘進機は遠隔操作が標準仕様のため、作業に支障をきたすことなく問題な

く制御することができました。また泥水式で採用されている流体輸送方式は、掘削した土砂の長距離輸送能力に優れていることや、狭い空間の中でも曲管を使用することに機構のうえで問題がなかったことなどが順調に施工できた大きな要因であると考えます。

到達作業では推進管種に短尺管（L=1.2m）を使用しており、1本の推進管で掘進機を押し出せないことが事前に判明していました。そのため推進管の運搬据付作業に時間を要するシールド坑内分岐推進の作業特性で、掘進機を押し出す時に鏡を開放している時間が長くなることから、その間に土砂が到達立坑に流入する状況を懸念して潜水作業で実施しました。

その結果、問題なく到達作業を完了することができました。

#### 5 おわりに

本稿では、作業空間の確保を目的とした横坑等の付帯工事を実施しないで、本坑シールド内部の空間のみを利用して発進した推進工事の施工事例を紹介しました。

事前に実施事例を検索しても確認できない施工条件であったため、参考となる文献等もなく難しい作業になりましたが、計画段階から入念な検討を繰り返して対策を講じたことや、作業手法を繰り返し検討したことが無事に施工できた要因になったと考えます。

今回の施工が、都市部などの類似した環境下における分岐推進工事の計画や施工方法の参考になることを期待します。

最後になりますが、ご協力いただいた関係者の皆様には誌面をお借りしてあらためてお礼申し上げます。

#### ○お問い合わせ先

機動建設工業(株)

[技術本部]

〒553-0003 大阪市福島区福島4-6-31

Tel : 06-6458-6183 Fax : 06-6454-0274

[関東支店]

〒101-005 東京都千代田区神田紺屋町38

エスポワールビル6階

Tel : 03-3289-4771 Fax : 03-5294-1281

<http://www.kidoh.co.jp>