

# 月刊推進技術



<http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/>

月刊推進技術

検索

公益社団法人 日本推進技術協会

<http://www.suisinkyo.or.jp>

e-mail:[info@suisinkyo.or.jp](mailto:info@suisinkyo.or.jp)

3

Vol.26 No.3  
2012(平成24年)

特集

管路構築方法の新しい時代を切り拓く  
**自在型推進工法**



OKUMURA CORPORATION

解説

# 自在型推進

## 推進工法とシールド工法の融合 京都市における推進・シールド併用工事 設計から施工準備について



ひねだ やすひろ  
檜皮 安弘

ESS 工法協会  
事務局 技術・積算

### 1 はじめに

近年の推進技術は、以前は不可能とされていた難易度の高い工事を克服し、現在も発展を遂げている。しかし、推進工法にも、弱点は存在する。その弱点を補うために、自在型推進工法が、今後の切り札と考えられる。

国道、軌道、河川横断、重要構造物の近接施工においては、推進工法で多くの実績を挙げているにもかかわらず、信頼性が危惧され、シールド工法が採用されているケースがある。シールド工法と推進工法を比較した場合、シールド工法では、裏込を同時または即時注入するため、地山の安定が確保される。一方、推進工法では、施工中のテールボイドの保持が最も大きな課題である。周辺地域に配慮した施工環境化では、施工時間、休日等の制約を受ける。そのため、テールボイドの劣化を防止するために、休日にも滑材注入や地切り作業を行い、不安要素を抱えたまま施工を余儀なくされている。また、到達から急曲線までの延長が長い場合、急曲線を通過する推進管材の経済性、通過時の施工性および安全性を配慮すれば、推進工法が最善ではな

いケースがあり、推進・シールド併用のメリットが活用できる。これ以外にも、推進・シールド併用の様々な用途が存在し、本稿ではその1つである京都市の事例を紹介する。

今回、設計者(発注者・コンサルタント)、使用材料メーカー(推進管・セグメント)、施工者(元請・施工業者)、それぞれの立場の視点から意見をいただき本稿の作成が実現した。さらに、当協会の立場からも、本工事の計画から施工準備までの留意点について、私見を交えて、報告するものである。

### 2 設計

#### 2.1 設計概要

工事名：大手筋北幹線(その1)

公共下水道工事

工事場所：京都市伏見区聚楽町地内

発注者：京都市上下水道局

#### 【1工区(下流側)】

呼び径：1800

施工延長：L = 344.48m

線形：R = 200 + 80m

土質条件：砂礫土 N = 22 ~ 78

礫率34 ~ 41%

最大礫径200mm

土被り：14.51 ~ 15.06m

地下水位：GL - 4.22m

特殊事項：既設シールド到達  
(FFUセグメント切削)

#### 【2工区(上流側)】

呼び径：1100

施工延長：L = 275.12m

線形：R = 150 + 50 + 50m

土質条件：砂礫土 N = 22 ~ 78

礫率34 ~ 41%

最大礫径200mm

土被り：13.78 ~ 14.91m

地下水位：GL - 3.93m

特殊事項：掘進機残置

本稿では、1工区(下流側)呼び径1800のスパンについて、報告する。

#### 2.2 発注者の視点<sup>※1</sup>

##### (1) 京都市伏見処理区合流式下水道

###### 改善計画について

本市では、下水道区域の約40%に当たる約6,000haについて、合流式で整備されており、一定以上の降雨時に、し尿を含む未処理の下水の一部が雨水吐等から河川に放流され、公衆衛生上や水質保全上の問題となっているとともに、観光等の面からも早急に解決すべき課題となっている。

伏見地区においても約800haが合

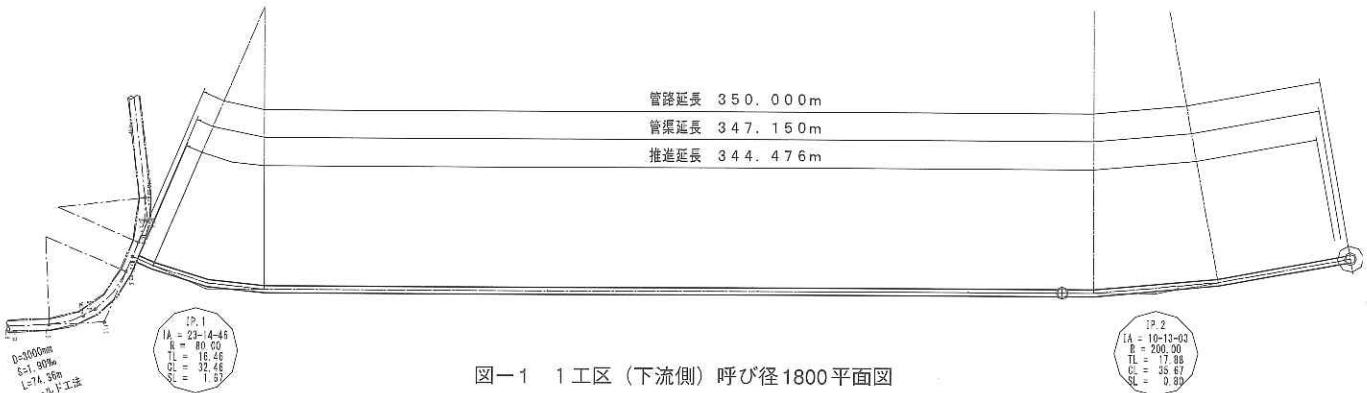


図-1 1工区（下流側）呼び径1800平面図

流式で整備されており、すでに第Ⅰ期事業として、伏見北部地域において、平成14年度から伏見幹線を供用開始しており、また、第Ⅱ期事業として、伏見大手筋地区においても、同18年度から大手筋幹線・大手筋南幹線・大手筋北幹線等の整備を進め、合流式下水道の改善事業を精力的に推進している。

この大手筋北幹線は、先行して整備を完了している大手筋幹線に接続し、大手筋地区内で近年観光スポットとなっている濠川、宇治川派流に設けている雨水吐口の合流式下水道改善対策を促進するものである。

## (2) 現場の状況・特筆する条件

本工事を行う伏見地区は古くから城下町として栄えており、全般に道路幅員が狭く、屈曲も多い。そのため、道路を掘削する場合には、作業の実施や占用帯の確保が難しい箇所が多く存在する。

今回の施工箇所である竹田街道は道路幅員が歩道を含め11～15mで、工事区間の道路平面線形として、直角に曲がる部分が2箇所存在し、クランク形状となっている。また、交通量が多く、路線バスも通行する幹線道路であり、加えて、地下埋設物が輻輳しているという難しい条件であった。

管路敷設の平面線形および特長としては、2工区（上流側）呼び径1100の施工区間では、曲線半径R=50m、

1工区（下流側）呼び径1800の施工区間では、曲線半径R=80mの曲線施工を必要とした。

また、大手筋幹線との接続点である1工区（下流側）呼び径1800の到達部分については、幹線道路（竹田街道大手筋交差点）であり、地下埋設物が輻輳しており、到達立坑の設置が困難であるため、既設管である大手筋幹線（シールド工法、Φ3,000mm）の施工時に到達部分のセグメントをFFU（硬質ウレタン樹脂をガラス長纖維で強化したもの）で製作し、推進機にて直接切削できる構造としていた。

今回の施工条件に基づく推進工法の比較検討では、1工区（下流側）呼び径1800、2工区（上流側）呼び径1100の推進延長および曲線施工等の条件より、全体として泥漿式推進工法が適当と考えられるが、1工区（下流側）呼び径1800については、曲線半径R=80mの曲線施工の直後に既設管への到達となることから、標準的な元押ジャッキのみによる推進方法では、推進機まで推進力が到達するまでのタイムラグによって、過剰な推進力が掛かり、到達部分のFFUセグメントを押し抜き破壊することが懸念されるため、到達部分における微動掘進が可能な工法を採用する必要があった。

## 2.3 設計者の視点<sup>\*2</sup>

本設計は、汚濁改善および浸水対策

として呼び径1800と1100の下水道管きよの実施計画であった。特異な条件として、既設Φ3,000mmシールド管への管中心接合、河川横断（橋梁縦断）等を含んでいた。

### (1) 特異な条件

既設Φ3,000mmシールド管に接続する竹田街道大手筋交差点は、非常に交通量が多く道路上での施工は不可能であった。また、交差点を直角に敷設されている既設Φ3,000mmシールド管は、1工区（下流側）呼び径1800シールド管への到達を考慮して、掘進機で直接切削可能なFFUセグメントが到達口に設けられていた。

### (2) 工法選定条件

基本計画では、既設Φ3,000mmシールド管に直接接合することから、呼び径1800シールド工法で計画が行われていた。

今回の設計では、工法選定条件として、以下のことが挙げられた。

- ①砂礫層を長距離推進後にFFUセグメントの切削が可能であること
- ②急曲線施工に対応が可能な工法
- ③機内（外）薬液注入孔設置
- ④FFUセグメント切削時の押付力管理が容易にできること
- ⑤FFUセグメント切削時の掘進速度管理が容易にできること
- ⑥曲線推進直後の到達坑口への到達誤差のない工法

呼び径1800の掘進機が既設シールド管への到達時に、元押ジャッキからの推進力では、掘進機までの推進力伝達のタイムラグや微動掘進が困難であった。さらに、既設管へ垂直に到達させるために、到達直前の曲線区間内から、掘進機本体に装備されたシールドジャッキでの到達が不可欠であった。

現在では、推進技術の発達により、推進工法およびシールド工法のメリットを融合させた、推進・シールド併用タイプが開発され、推進工法からシールド工法へ切り替えが可能な工法が開発されていた。

呼び径1800の推進に関しては、既設φ3,000mmシールド管に接続する時のみ掘進機の性能を持った工法が要求され、それ以外では一般的な推進工法で満足できた。

### (3)まとめ

そこで、経済的な推進工法と推進力の作用が掘進機に限りなく近いシールド工法の利点を生かし、シールド掘進に切り替えることでFFUセグメントへの押付力が管理しやすく、ミリ単位での掘削速度の調整が可能である推進・シールド併用タイプを採用した。

推進工法は、コストが安価である反面、急曲線への対応や特殊な既設管への到達等が難しいという特性がある。そこで、特殊な既設到達や推進工法では困難な急曲線を含む区間においてシールド工法とし、それ以外の区間を推進工法とすることで、全体の工事費を下げることが可能である。

## 3 使用材料

### 3.1 メーカーの視点<sup>\*3</sup>

本工事は、周辺環境への配慮が重要な課題のひとつであった。

一般的な推進管やセグメントは、コンクリートを主材料として、継手など

の部材に鉄を使っている。鉄は大気や水に触れることによって、化学反応をおこし錆が発生する。錆が発生した推進管やセグメントは、やがて漏水などをおこす恐れがあることから、推進管およびセグメントの部材として耐腐食性能の高いステンレスを採用した。ステンレスの採用にあたっては、これまで一般的に用いられてきた鉄とは熱膨張率が異なるため、事前に溶接試験を行い、寸法精度の確認を行った。

推進管とセグメントの接続には、推進管側にインサートを埋め込み、セグメント側からボルトで接続する特殊先頭管を新たに開発した。特殊先頭管とセグメントの接続は、一般的なセグメント間の接続方法と考え方は、同様であり、管軸方向に圧縮が作用した場合、セグメント本体ならびに推進管の剛性により評価し、管軸方向に引張力が作用した場合、セグメント継手の剛性により評価する。

### 3.2 材料のまとめ

環境への対策の一環として今回は、推進管のカラーをステンレス、セグメントでは外殻、主軸、継手などの部材をステンレスに変更し、腐食対策を行ったが、下水道の性質によっては、内面のライニングなどの腐食対策も考えていく必要があるといえる。

また、材質だけではなく構造的な面からも漏水や破損により環境へ影響を及ぼさないように対策を考える必要があると考えられる。

## 4 工法の概要と特長

### 4.1 工法の概要

エコスピードシールド工法（以下、本工法）は、呼び径1000～2400を対象とした非開削による管きょ構築工法である。推進工法によって、管耐荷力の限界もしくは急曲線手前の任意の

地点まで施工を行って、立坑を築造することなくシールド工法に切替え可能な「推進・シールド併用タイプ（特殊推進工法）」と全区間をシールド工法によって施工する「シールドタイプ（小口径シールド工法）」の2種類から、施工条件に応じて選択することが可能である。推進・シールド併用タイプは、推進工法とシールド工法の両方の利点と欠点を補い合うことで、全区間を推進工法で施工することが困難な場合に、推進工法からシールド工法に切替える方式である。図-2に概要図を示す。

### 4.2 工法の説明

本工法は、泥濃式を採用しており、推進区間では、通常の推進工法に比べてテールボイドが大きいため、特殊な固結型滑材を注入することで、ゲル体がテールボイド内で任意に変形し、劣化を抑制することで、テールボイドの保持を行う。

さらに、推進区間の施工完了直後に、裏込注入を行うことで、地盤沈下を抑制する。一方、シールド区間では、裏込注入を掘進即時注入することで、地盤沈下を抑制する。

本工法用セグメントは、ヒューム管と同様の遠心力製法を採用することで、一般的な振動製法によるセグメントと比べて、強度、水密性、耐久性が高い。掘進完了後は、二次覆工が必要なため、坑内設備を搬出撤去し、推進管目地・セグメント目地および注入孔等を、無収縮モルタルにて仕上げを行う。

### 4.3 工法の特長

推進・シールド併用タイプの特長を下記に示す。

- ①仕上り内径1,000mmから、1スパン1,000m以上、超急曲線R=10mが可能

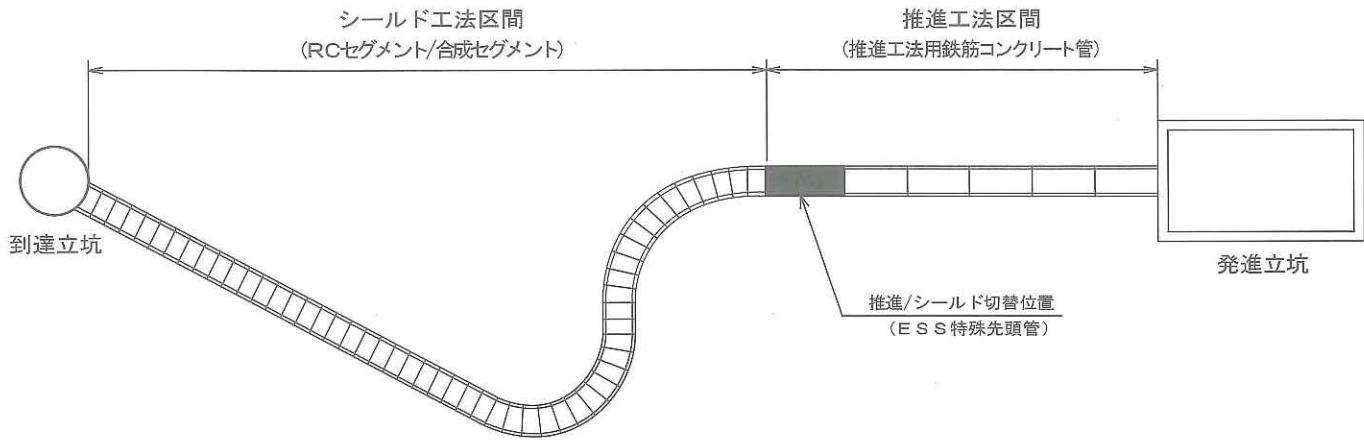


図-2 工法概要図

- ②推進工法からシールド工法への切替えが容易
- ③掘進機内からビット交換および障害物の撤去が可能
- ④シールド区間において、二次覆工を省略することで、大幅な工期短縮が可能
- ⑤全区間シールド工法に比べて、経済性に優れている
- ⑥シールド工法に切替えることで、安全性が向上

## 5 施工準備

### 5.1 施工概要

2.1 設計概要1工区（下流側）呼び径1800で示しているので、ここでは省略する。

### 5.2 施工者の視点<sup>\*\*4</sup>

近年、進化発展した推進技術を駆使すれば、到達箇所に確実に到達することは当たり前となっている。本工事の最大の課題は、到達側の既設シールド管きょに組み込まれているFFUセグメントを切削掘進し接合する際に、既設シールド管きょに損傷を与えないことである。

#### (1) 課題に対する対応策

その重要課題に対する対応策について、以下に示す。

- ①掘進に伴う既設シールド管きょの損傷防止対策  
・既設シールド坑内到達部に予め歪センサを取付けておき、掘進圧力等によるFFUセグメントの変形や歪を常時監視する体制および連絡体制を整えておく。

連絡方法については、既設シールド坑内到達部と掘進機オペレータとの連絡は、既設シールド坑内到達部から既設シールド坑内入坑口（L=350m）までは有線通話+既設シールド坑内入坑口から発進立坑（L=500m）までは簡易無線通話+発進立坑から掘進機オペレータまでは構内用電話とする。

・既設シールド管きょ到達手前の掘進方法として、掘進速度をミリ単位で微速度制御ができるシールドジャッキを用い、常時監視を行いながら速度調整の管理を行う。

なお、既設シールド管きょ外側には、裏込層があるために、特に注意し管理を行う。

・既設シールド管きょに損傷を与えないためには、掘進機の位置を正確に測量する必要がある。測量方法としてトラバース測量にジャイロコンパスを併用し、綿密に行う。

②既設FFUセグメント切削時の損傷防

### 止対策

- ・FFUセグメントを掘進機ビットで切削する際に、破損を起こしたりまたは、変位を起こさないように、予め既設シールド管きょ坑内到達部に隔壁を設けセグメントの防護を行う。  
※隔壁は、既設シールド管きょ坑内到達部の両端（L=3.6m）に鋼製型枠で仕切を入れエアーモルタルを充填したものである。
- ・掘進速度は、1~3mm/minの範囲でカッタトルクを一定に保ち、土圧および排出物（FFUセグメントの切削屑等）を常時監視しながら掘進し、隔壁部モルタル充填区間の所定の位置まで掘進する。また、既設シールド管きょ坑内では、セグメント歪み計測によって常時監視し、異常があった場合は、速やかに地上発進部と連絡を取り、オペレータに掘進停止を指示する。

### ③その他

- ・既設シールド管きょ到達部でFFUセグメント切削部と掘進機外殻との隙間からの流入水および土砂流出防止対策として、掘進機本体よりシールド用裏込注入が行えるように、グラウト孔を周囲に配列設置しておく。また、同時に薬液注入もできるよう、自在式プリベンダ付きの注入孔

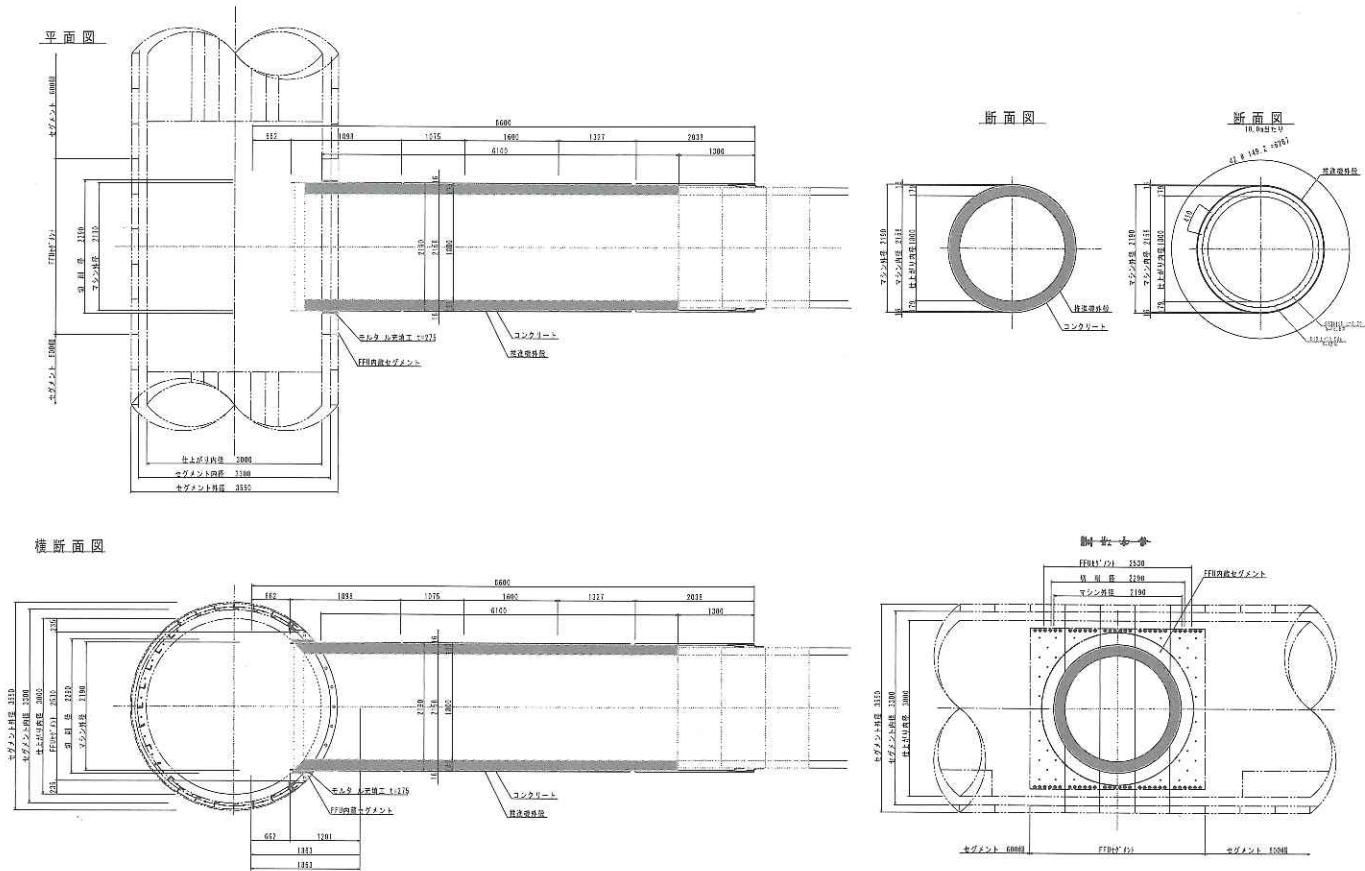


図-3 既設シールド到達図

を全周および面盤部に設置しておく。FFUセグメントの切削は、切削要素試験からビットの形状や摩耗がFFUセグメントの切削に影響がないことを確認した。

以上、重要課題に対する対策を述べたが、小さな課題点はまだまだ多くあり、少しでも疑問点が生じた場合は解決を行い、元請JVおよび協力業者が一体となり知恵を出し合い無事に到達、完了することを目指している。

なお、到達予定は平成24年6月としている。

### 5.3 施工者の視点<sup>※5</sup>

本工事は、本工法（推進・シールド併用タイプ）での初めての施工であり、シールド工法への切り替え目的が従来と異なり、FFUセグメントの確実な切

削および破損を防止し、既設シールドに到達させるためであった。

これまで携わった工事経験からも、FFUセグメントの切削到達という当工事での最大の課題があったため、製作工場に何度も足を運んで、綿密な打ち合わせを行った課程を報告する。

### (1) ビット形状の選定

FFUセグメントを確実に切削するためには、カッタビットの形状と適正配置がポイントであった。FFUセグメントのサンプルを取り寄せ、FFUという性状を考慮し、図-4および写真-1の形状とした。FFUセグメントを最初に切削するフィッシュテールには、切断効果の高いビットを配置し、軌跡図のように等間隔にビットを配置させるこ

とで、確実に切断が行える。

ビットの形状が有効であることと適切な切削（押し付け）速度を確認するため検証実験を行った。FFUのサンプルを使用し、最も回転速度が小さく、FFUセグメントに最初に接触するフィッシュテール部で実験を行った。押し付け速度が早くなるに連れて、切削したFFUがさざれ状態となることから、速度は1～1.5mm/min程度が妥当であった。これらの実験結果を踏まえ、さらに実施工では、歪み測定を併用し、確実な施工を目指す。

### (3) まとめ

これらの難題を克服し、無事故・無災害で、施工を完了させることに努めたい。

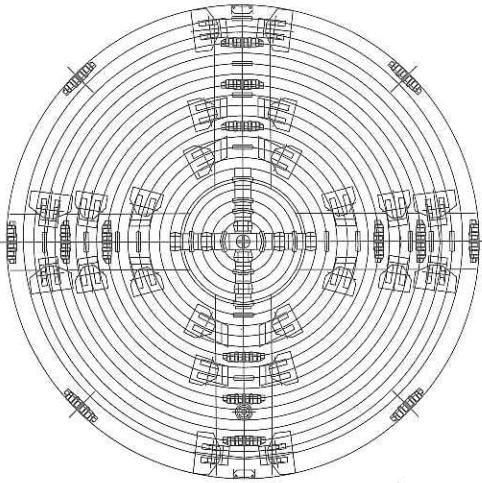


図-4 ビット軌跡図

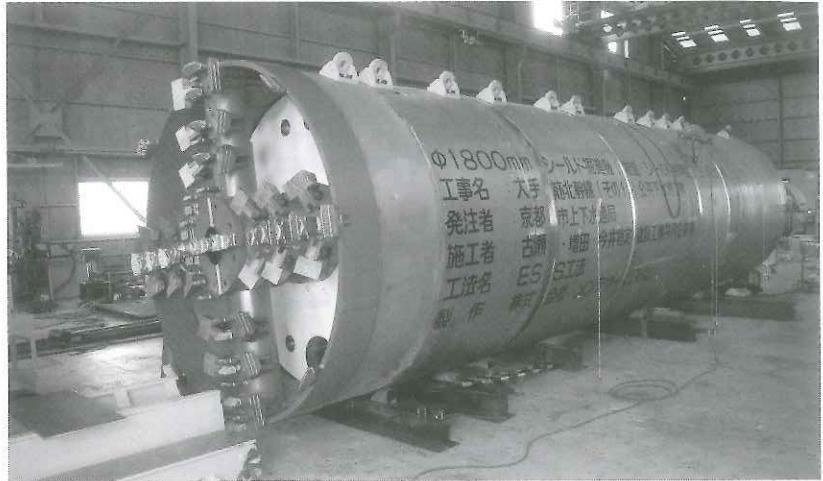


写真-1 カッタヘッド

## 6 おわりに

本稿では、設計から施工準備までのプロセスを通じて、それぞれの立場での役割の重要性を、多くの方々に認知していただくとともに、設計および施工に従事している方々には、それぞれの視点となって、改めて取り組んでいただきたいと考える。施工においては、各自の責務を全うし、安全に工事を完了させることを望む。また、機会があれば施工報告を行いたい。

最後に、今回の執筆に協力をいただきました方々には、深く感謝し、敬意を表す所存である。

### 執筆協力者紹介

- ※1 橋本 佳郎 (はしもと よしお)  
京都市上下水道局
- ※2 石川 孝夫 (いしかわ たかお)  
第一建設設計㈱
- ※3 浦 尚樹 (うら なおき)  
栗本コンクリート工業㈱
- ※4 赤井 日出男 (あかい ひでお)  
古瀬・増田・今井JV
- ※5 太田 永周 (おおた えいしゅう)  
太田建設㈱
- 阪口 勝澄 (さかぐち かつすみ)  
中川企画建設㈱

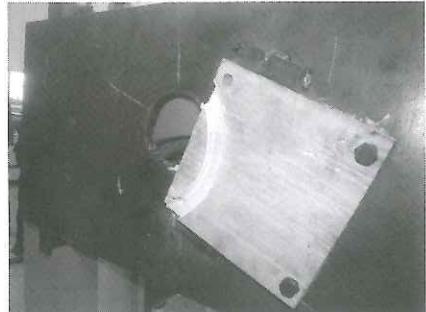


写真-2 FFU 切削状況

### ○お問い合わせ先

- ESS工法協会  
〒 581-0038  
大阪府八尾市若林町1-76-3  
朝日生命ビル1階  
Tel: 072-920-2533  
Fax: 072-920-1588  
<http://www.eco-speed-shield.com>  
E-mail: info@eco-speed-shield.com

