

「 EW 工法及びトレール工法 」によるコスト縮減

Direct Start of Shield Machines by Electric Pile Core Corrosion (Electric Corrosion Wall Method) and a Cutter Bit Exchanging System (Trail Method)

南 條 克 正^{※1} 喜 樂 洋 三^{※1}
Katsumasa Nanjou Yozo Kiraku

【要旨】

京都市交通局は、京都地下鉄東西線延伸工事（六地藏～醍醐間）において、公共工事のコスト縮減を目指し契約後 VE 提案を募集して建設工事を行った。

本稿では、石田北工区において契約後 VE で採用された電食技術を用いた仮壁撤去を行う EW 工法と、シールド機内からビット交換を行うトレール工法のコスト縮減技術について概要と実績について報告する。

【キーワード】 電食 杭芯材 直接発進 電解液

1 はじめに

京都市における高速鉄道網は、都心部を南北に貫通する烏丸線と、都心部を東西に横断し、山科醍醐方面と西部洛西方面を結ぶ東西線からなる総延長 50km が計画されている。このうち、烏丸線の竹田～国際会館間 13.7km、東西線の醍醐～二条間 12.7km が営業中であり、合わせて日約 35 万人が利用している。

2 概要

高速鉄道東西線建設工事（石田北）工区は、六地藏～醍醐間延伸工事（2.4km）の内、石田駅～醍醐駅間を施工するものである。当工区は、伏見区石田森東町（石田駅工区）～醍醐高畑町（醍醐駅）間の延長 L=1,159m を、外環状線直下に泥土圧式シールド工法で単線並列トンネル（外径 5.7m×2 列）を築造する工事である。

2-1 工事概要

工事件名：高速鉄道東西線建設工事（石田北工区）
発注者：京都市交通局

工事場所：京都市伏見区石田森東町 55-1
～京都市伏見区醍醐高畑町 30-3 番地先
工期：平成 11 年 10 月 1 日～平成 16 年 5 月 31 日
施工者：飛島・西松・森本・公成・ケイコン JV
工事延長：東行き線 L=1,141.8m
西行き線 L=1,146.8m



図-1

2-2 地盤概要

当工区は、山科盆地の南端部から巨椋池北端部に位置する。地盤を構成するのは、古性層を基盤とし洪積層下部（大阪層群）同上部（段丘堆積物）及び沖積層（盛り土含む）であり、それぞれ不整合に堆積している。シールド土被りは8m～19mで主に洪積層の砂礫、粘性土層中を掘進する。透水係数は、 10^{-2} ～ 10^{-6} のオーダーであり、礫調査（ベノト）から最大礫径190mmが確認された。

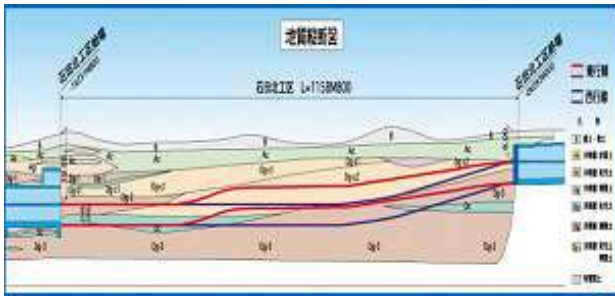


図-2

2-3 契約後 VE 提案技術

当工事は、特記仕様書で契約後 VE 提案を記述しており、発注者である京都市交通局は公共工事のコスト削減を目指し、VE 提案技術を積極的に採用している。

このような状況をふまえ、企業体も京都市交通局のニーズに応えるべく VE 技術を提案すると共にコスト削減技術を積極的に採用した。

2-3-1, 電食壁切削工法である EW 工法の採用

作業用連絡横坑の発進坑口及び地下鉄シールドの到達坑口で採用した。「EW 工法」とは発進部、到達部の地中連続壁内の中空鋼材を内側より電食技術を利用して溶解することにより薄肉化し、シールド機や推進機による直接切削を可能とした新工法であり、大深度化に対応した環境に優しい工法である。

「EW」工法をシールド工事の到達部及び推進工事の発進部に採用することで、シールド機及び推進機での土留め壁の直接切削が可能となり、シールド工の到達防護及び推進工の発進防護の補助工法が大幅に削減できる。また、鏡切等の狭い空間での作業が省略され施工の安全性と共に、トータルコストも大幅に低減できる。

3 コスト削減技術

コスト削減技術として企業体が採用した技術は、表題で記述した「EW 工法及びトレール工法」である。「EW 工法」は坑口の山留め材（鋼材）を電食技術により薄肉化した後、シールド機で坑口を直接切削し、従来必要であった地盤改良工及び人力による坑口撤去を省略してコスト削減を図る新技術である。トレール工法はビット交換技術の一つで、摩耗したカッタービットを機内に引き込んだ後、カッタービット交換を機内から行い、従来必要であった地盤改良工あるいは立坑を省略してコスト削減を図る新技術である。

3-1 EW 工法（電食による仮壁撤去）

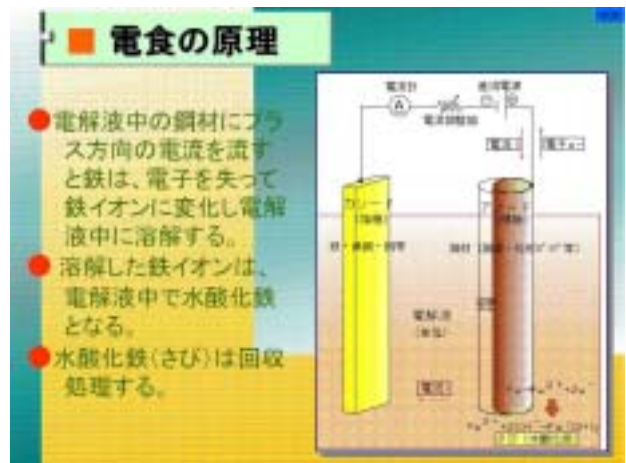


図-3

3-1-1 施工計画

当工区のシールド機は醍醐南換気所に設けた坑口への到達となるため、換気所山留め SMW 芯材として電食用矩形杭芯材を事前に設置した。

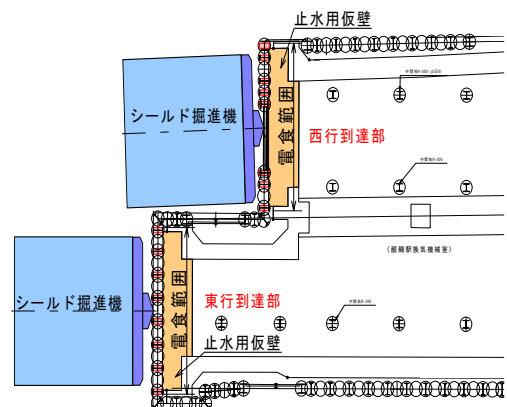


図-4 到達部EW平面図

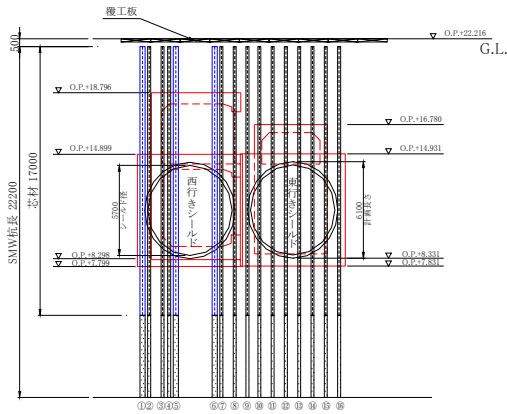


図-5 到達部 EW 正面図

到達部の電食用杭芯材は、電食の効率化のため非電食部（小判型の150mm×100mm）を設計電食面積42%とした。



写真-1 矩形間絶縁部



写真-2 矩形管建て込み状況

3-1-2 施工設備

仮設備は、路下施工となるため、地上に送液槽と送液ポンプを設置し、換気所地下一階に監視室・電源装置、地下二階に廃液槽・廃液ポンプを設置して施工した。

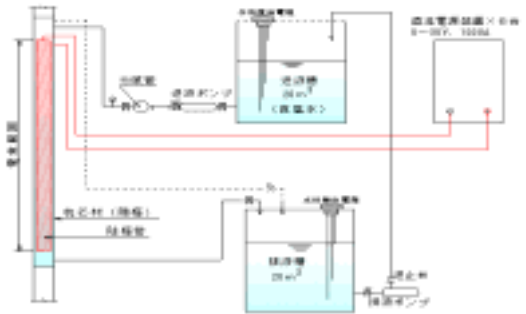


図-6 EW 設備図

3-1-3 施工管理

施工管理は、杭芯材を安定的に且つ均一に電食するため下記的项目について実施した。

| 管理項目 | 設定値 | 測定方法 |
|---------|-----------|-------|
| 電解液濃度 | 1%～3% | 塩分計 |
| 電解液循環速度 | 0.3m/秒以上 | 流量計 |
| 直流電流値 | 1000A | 電流計 |
| 直流電圧値 | 30V (最大) | 電圧計 |
| 水素ガス濃度 | 1.23 以下 | ガス検知器 |
| 電食状況 | A・V 特性グラフ | 通電積算計 |
| 計測頻度 | 4回/日 | |

3-1-4 工程表

到達部における EW 工法の実施工程は下記のとおりである。電食開始時期はシールド機の到達を考慮し、坑口に耐圧壁を設置して土水圧に耐える構造を確保してから開始した。運転管理（電食の設備管理）は、西行き線37日、東行き線30日で電食を完了した。

到達部 EW 実施工程表

| 平成 15 年 | 2 月 | 3 月 | 4 月 | 5 月 | 備考 |
|---------|-----|-----|-----|-----|---------|
| 仮壁西行線 | ■ | | | | |
| 仮壁東行線 | | ■ | | | |
| 仮設備 | ■ | | | | EW 仮設備 |
| 電食西行線 | | ■ | | | 37 日間運転 |
| 電食東行線 | | | ■ | | 30 日間運転 |
| 仮設備撤去 | | | | ■ | |
| シールド掘進西 | ■ | ■ | ■ | | |
| シールド掘進東 | ■ | ■ | ■ | ■ | |

3-1-5 電食管理データ

電食終了の判定は、技術マニュアルによると矩形管側面の IR 計測による電位上昇が顕著になった場合とある。当現場では、IR 特性グラフによると電食率が 55% で電食が完了した。

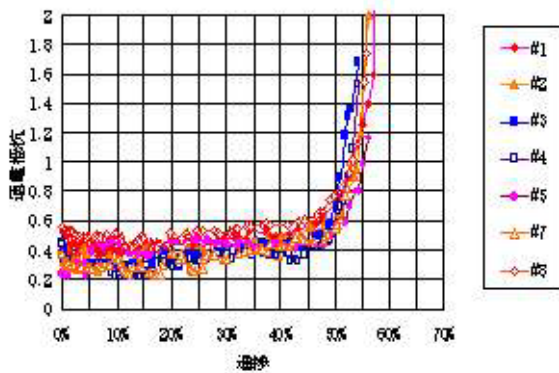


図-7 IR 特性グラフ



写真-3 EW 工法による非電食片



写真-4 非電食片 (左) と絶縁ゴム (右)

3-1-6 EW 工法によるコスト縮減効果

EW 工法によるコスト縮減額は、地盤改良工 (到達部噴射攪拌杭工を 2 列から 1 列に減らした減額 + 薬液注入工の範囲拡大による増額) の減額と、シールド仮設工 (鏡切りの省略) 及び山留め工 (ソイルミキシングウォールへの EW 工法取り付け) の増額、さらに、EW 工法の運転費用の増額を合計すると総額約 6% の縮減を実現した。

3-2 トレール工法

トレール工法 (スライド式ビット交換システム) は、シールド工法の長距離化において必要不可欠なカッタービット交換をシールド機内から複数回交換できる工法である。

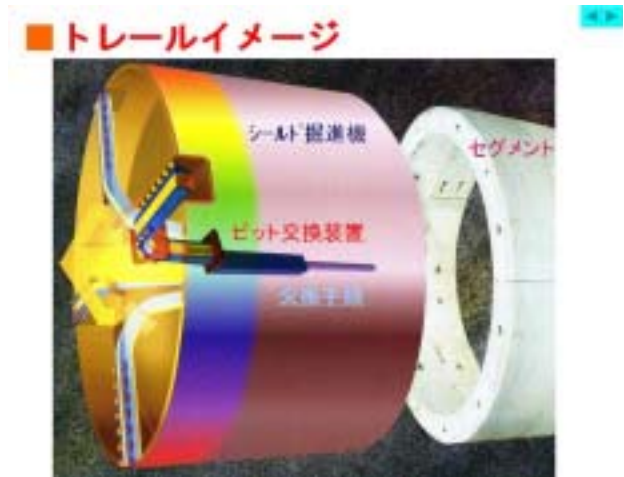


図-8



写真-5 工場仮組み立て状況

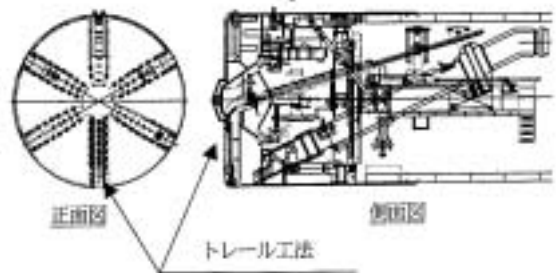


図-9

3-2-2 交換手順

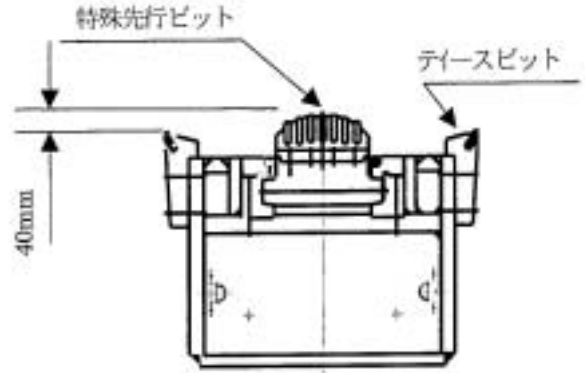
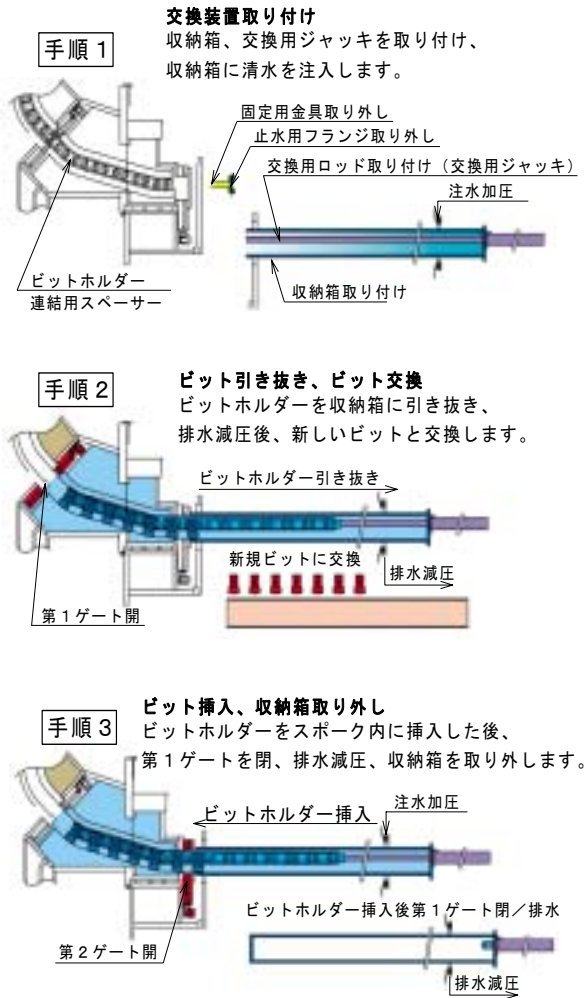


図-11 特殊先行ビット取り付け図

(1) ビット交換位置

トレール工法による特殊先行ビットの交換は、カッター摩耗量の計算（テースビットの許容摩耗量 15mm）に基づき、西行き線 No.781 リング L=937.2m, 東行き線 No.807 リング L=968.4m で実施した。

(2) 実施工程

特殊先行ビット交換は、不測の事態への対応を考慮し昼間施工とした。

交換に要した日数は計画とおりの4日間で実施した。

作業工程詳細表

| 延日 | 作業内容 | 備考 |
|-----|-----------|-------------|
| 1日目 | シールド機部品解体 | ロータージェョイント他 |
| 2日目 | 交換装置取付 | |
| 3日目 | ビット交換 | 1スポーク 12個 |
| 4日目 | シールド機部品組立 | ロータージェョイント他 |

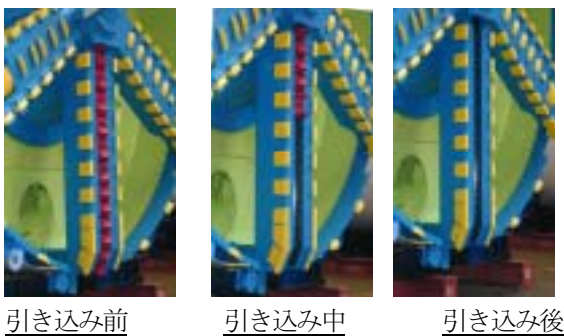


写真-6 工場におけるスライド機構作動確認

3-2-4 トレール工法のビット交換

トレール工法は、シールド掘進に伴う摩耗したビット交換を地盤改良工や立坑築造によらず、機内から短期間・安全に行なう工法であり当工事ではビット交換用立坑等が不可等ため採用した。計画はトレール装置を特殊先行ビットの1スポークに組み込み、摩耗を特殊先行ビットで負担しテースビットを保護する仕組みとした。



取り外し装置設置



ビット交換

写真-7 カッタービット交換状況

(3) カッタービットの新旧比較

ビット交換後、新旧の比較を行なうと摩耗量が一目瞭然となる



写真-8

(4) 特殊先行ビット摩耗状況

- a. 特殊先行ビットは交換時点で最大 48.5mmと摩耗限界 (50mm) 近くまで摩耗しており、交換を実施しなかった場合摩耗限界を超えテイスビットへの保護効果が無くなり、テイスビットが摩耗限界に達して掘削不可能になった可能性も考えられる。
- b. テイスビットは最外周及び 2 列目で摩耗限界 (15mm) を超えており、特殊先行ビットの交換をしなければさらに摩耗が進んでいたと考えられる。
- c. ローラーカッターはいずれもチップがなくなるまで摩耗していたが、装着目的であるテイスの欠落防止とカッターヘッドの摩耗防止には効果をあげた。

ビット摩耗量一覧表

| ビットNo. | ビット種類 | 摩耗量 (mm) | | 備考 |
|--------|-------|----------|------|-----|
| | | 西行き線 | 東行き線 | |
| 1 | 特殊先行 | 25.0 | 16.0 | 最外周 |
| 2 | 〃 | 48.5 | 31.0 | |
| 3 | 〃 | 42.5 | 29.0 | |
| 4 | 〃 | 37.5 | 28.0 | |
| 5 | 〃 | 35.5 | 26.0 | |
| 6 | 〃 | 33.0 | 26.0 | |
| 7 | 〃 | 34.5 | 25.0 | |
| 8 | 〃 | 30.0 | 21.0 | |
| 9 | 〃 | 25.0 | 19.0 | |
| 10 | 〃 | 20.0 | 14.0 | |
| 11 | 〃 | 16.0 | 9.0 | |
| 12 | 〃 | 4.5 | 3.0 | 内周 |

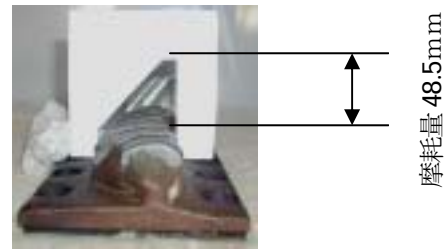


写真-9 摩耗量測定

3-2-5 トレール工法コスト削減効果

トレール工法によるコスト削減額は、シールド機へのトレール工法組み込みによる機械費の増額、地盤改良工の省略による減額、ビット交換工の簡略化 (チャンバー内の土砂搬出等の省略) による減額を合計すると、従来工法に比べ約 10% のコスト削減を実施した。

4. おわりに

京都地下鉄東西線延伸工事 (六地蔵～醍醐間) は、平成 16 年 11 月 25 日に開通式を挙行し翌 11 月 26 日に無事開通した。



写真-10 開通式でのテープカット

当工区においては、京都市交通局のコスト削減方針に VE 提案で応へ、EW・トレール工法でコスト削減を実現するとともに、当工区への引渡し時点で発生していた 5 ヶ月の工程遅延を挽回し、当初の開業工程を確保することが出来た。このことは、今回採用したコスト削減技術が工事のみに留まらず、地下鉄営業面へも好結果をもたらすことが出来たと確信している。

最後に、VE 提案技術採用に英断を下して頂いた京都市交通局、ならびに厳しい工程を処理していただいた関係各位に感謝の意を表します。