

ハイブリッド式親子シールドによる 長距離掘進と親子分離方法

駒路勝男¹・福井重明¹・美馬健作²・河田利樹³

¹ 正会員 京都府流域下水道事務所施設整備室（〒617-0836 京都府長岡京市勝竜寺樋ノ口1）

² 正会員 株式会社大林組 本店土木工事計画部（〒540-8584 大阪市中央区北浜東4-33）

³ 正会員 株式会社大林組 東京本社生産技術本部シールド技術部（〒108-8502 東京都港区港南2-15-2）

京都府では、桂川流域の雨水対策事業として河川が雨水で溢れる前に雨水を貯留するために地下トンネル「いろは呑龍トンネル」の整備を行っている。その事業のうち、今回の工事では、延長が3,993mという長距離であり断面の大きさが異なるトンネルをハイブリッド式（親機：泥土圧式工法，子機：泥水式工法）の親子シールドにより築造した。

本論文では、ハイブリッド式親子シールドを採用した経緯，長距離・高速施工にあたっての対策，親子シールドの分離作業の手順について述べる。

キーワード：親子シールド，ハイブリッド式，長距離掘進，高速施工

1. はじめに

京都市，向日市，長岡京市にまたがる桂川右岸流域は、昔から浸水被害に見舞われてきた地域で、約1200年前にこの地で栄えた長岡京も桂川の二度に渡る氾濫等により、わずか10年で平安京遷都に至ったという歴史がある。

近年では急速に都市化が進み、アスファルトの道路などが急激に増えたため、今までは土の中にしみ込んでいた雨水が下水管を通過して一気に河川に流れ込むようになり、行き場を失った雨水が溢れ、頻繁に浸水災害が発生するようになった。

そこで京都府は、平成7年度から桂川流域の雨水対策事業として、河川が雨水で溢れる前に雨水を取

り込むために延長約9.2km、対策量約24万m³の地下トンネル「いろは呑龍トンネル」の整備を始めた。これは、雨水が流入して増水した河川から水をトンネル内に取り込んで一時的に貯留し、河川や水路の水位が下がって安全を確認してから排水を行い、浸水被害を防ごうというものである。

2. 工事概要

工事概要を表-1に示す。

表-1 工事概要

工事名称	桂川右岸流域下水道幹線管渠工事（雨水北幹線第3号・第2号管渠）
発注者	京都府（工事監理者：京都府流域下水道事務所）
施工者	大林・鴻池・三井住友・ケイコン特定建設工事共同企業体
工期	平成16年3月17日～平成20年3月25日
施工延長	3,993m（親機1,120m，子機2,873m）
掘削外径	親機φ6,810mm，子機φ3,550mm
掘削工法	ハイブリッド式親子シールド工法（親機：泥土圧式工法 子機：泥水式工法）
セグメント	RCセグメント 親機（ワンパスセグメント2）外径φ6,650mm，桁高275mm，幅1,300mm 子機 外径φ3,400mm，桁高200mm，幅1,300mm
最小曲率半径	親機：R=30m，子機：R=50m
土かぶり	19m～23m



図-1 工事全体平面図

いろは呑龍トンネルの全体計画のうち、北西端部の北幹線第1号管渠（仕上り内径 8.50m、延長 935 m）については、既に平成 13 年 6 月 1 日に供用が開始され、25m プール 100 杯分に相当する約 5 万³m³の水を貯留することができるようになっている。

当工事は、これに続く北幹線第2号管渠と第3号管渠の総延長 3,993mの雨水貯留管渠をシールド工法により築造するものであった。今回の工事と流入施設や排水ポンプ場の完成により、さらに約 5 万³m³の水を貯留することができるようになる。

シールドは向日市鶏冠井町地内に建設(他社施工)

された発進立坑から発進し、国道 171 号を京都市内に向かって北上し寺戸川を横断、上久世交差点より府道中山稻荷線に入る。その後、JR 東海道新幹線・JR 京都線・阪急京都線を順次横断して、向日市寺戸町地内の既設到達立坑(北幹線第1号管渠発進立坑)に到達する工事である。当工事では、断面の異なる管渠を親子シールドにより施工した。掘削工法としては、親機区間は泥土圧式工法、子機区間は泥水式工法というハイブリッド式工法を採用した。二次覆工省略型トンネルとして、一次覆工(親機区間)は「ワンパスセグメント2」(先付けコッター継手+プッシュグリップ継手)を採用しボルトレスとした。

3. 入札時VE相互提案型競争入札

本工事は「入札時VE相互提案型競争入札」の試行工事であり、入札前に応札者からコスト削減にかかわるVE提案を受け付け、技術的な審査を行った後、承認された提案項目についてはそれに基づいて入札することとされていた。また、さらに発注者からのコスト削減提案があり、それらの採用の可否を応札者が判断した上で入札する形式であった。なお、本工事においてはVE提案を行った項目は、それに基づいて施工を行うこととされており、受注後の変更は認められない。

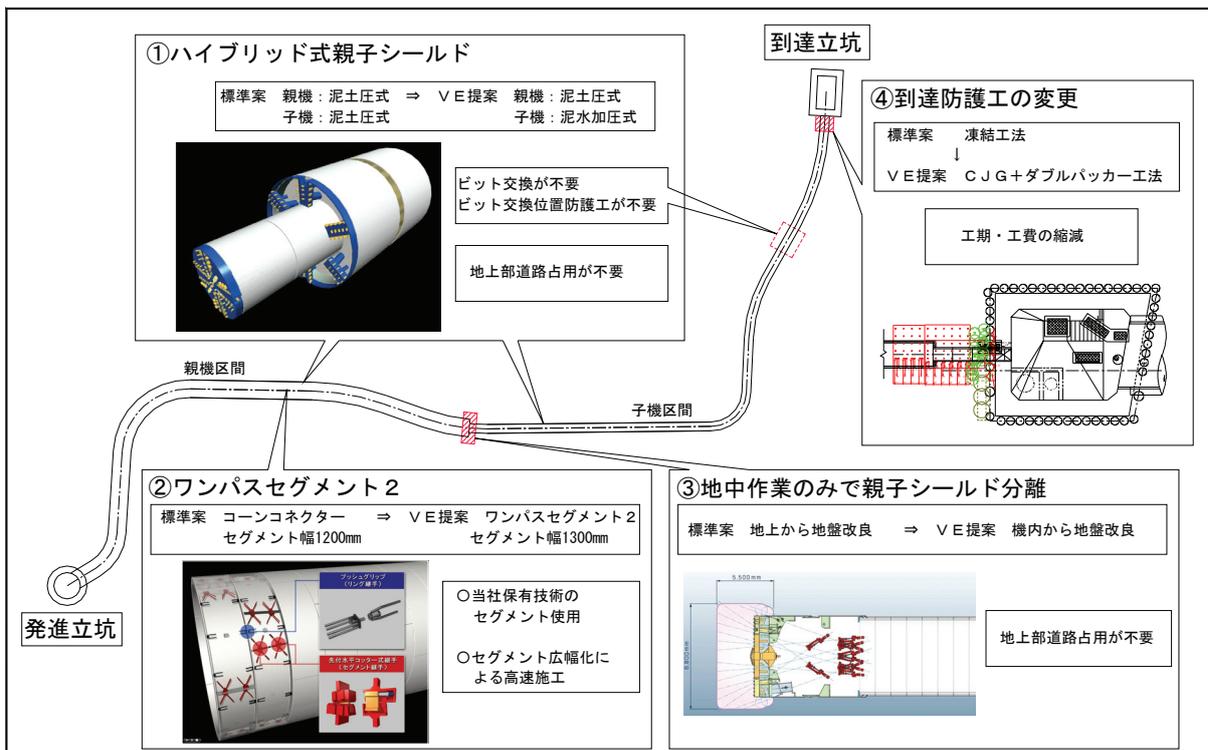


図-2 VE提案概要図

表-2 シールド工法比較表

	当初設計 (標準案)		案1 (親子とも泥水)		案2 (ハイブリッド式)	
工 法	親：泥土圧式 子：泥土圧式		親：泥水式 子：泥水式		親：泥土圧式 子：泥水式	
ビット交換	あり (1回)	△	なし	○	なし	○
地盤改良工	あり (地上からCJG)	△	なし	○	なし	○
掘削設備	小	○	大	×	中	△
親子分離作業	簡易な手順	○	簡易な手順	○	複雑な手順	△
経済性	1	○	1.2	×	1	○
評 価	△		×		○	

4. ハイブリッド式親子シールド採用の経緯

当シールド路線は、非常に交通量の多い幹線道路直下に位置しており、地盤改良等のために地上道路部を占有して作業することが困難であった。当初設計では、親機・子機ともに泥土圧式工法となっており、子機区間でビット交換を1回実施し、それに伴う地上からの地盤改良が計画されていた。そこで入札時VE提案の際、応札者（請負者）には、ビットの磨耗が少ない泥水式工法を採用することで、ビット交換を省略できないかを技術的および経済的な面から検討を行うことが求められた。通常、泥水式工法は泥土圧式工法に比べ設備が大掛りになることから工費が増大するが、今回の工事条件では掘進距離が長く断面が比較的小さい子機区間のみを泥水式工法とした場合、設備費の増加が地盤改良およびビット交換を省略することで打ち消された。そして請負者の総合的な判断によりハイブリッド式親子シールドが提案され、発注者の承認の後に採用に至った。表-2 に比較検討一覧表を示す。

5. 長距離・高速施工の対策

(1) シールドマシン

長距離掘進のために、シールドマシンについては、

- ①カッタービットの配置数の増加
- ②強化型先行ビットを段差配置
- ③磨耗検知ビットの配置
- ④テールブラシの設置段数の増加
- ⑤テールグリスの自動給脂

といった対策を施した。



図-3 ハイブリッド式親子シールド

また、通常の子機シールド（親子とも同工法）では親機のカッターフェイスをそのまま子機に流用できるが、今回は親機（泥土圧）と子機（泥水）で工法が異なりカッターフェイスもスポークタイプから面盤タイプへ交換する必要があった。そのため親機バルクヘッドの内、子機発進部分を機内へ引き込んでから新たに子機を発進させる手順としたため、親機内部にはバルクヘッド引き込み用のリングを装備した。

(2) セグメント

セグメントについては、当初設計で幅 1,200mm であったが、さらに幅を大きくすることで組立回数を減らし施工速度の向上が図れないか、入札時VE提案の際に請負者において検討された。シールド機長と急曲線部での余掘り量の検討を行った結果、幅 1,300mm に幅広化できると判断され、採用に至った。また、親機区間では、位置決めと同時に締結を完了

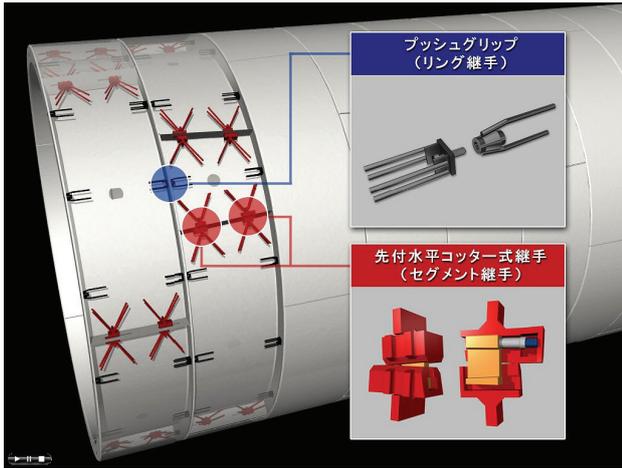


図-4 ワンパスセグメント2 概要図

し、ボルトボックス閉塞作業の必要のない内面平滑の「ワンパスセグメント2」を採用し、施工サイクルの向上を図った。ただし、子機区間についてはセグメントの桁高が小さく（H=200mm）、組立時の継手の拘束によるクラックの発生が懸念されたため、ピース間は通常のボルト継手とした。また、子機区間のボルトボックスの充填については、樹脂パネルと発泡ウレタンを使用した工法を採用し、工期短縮を図った。

(3) 掘進サイクル

長距離施工にあたっては、セグメントを始めとする資材の搬入や掘削した土砂の搬出をいかに早く行うかが課題となるが、坑内での離合ポイントの配置計画および立坑下でのトラバサーを使用したズリ鋼車（親機泥土圧区間）の入替方法等について事前

に綿密な検討を行ない、切羽で資材やズリ鋼車待ちの時間ができないような最適な施工サイクルを確保できるようにした。

6. 掘進実績

(1) 長距離掘進

長距離掘進については、シールドマシンのカッタービットやシールドの耐久性といった機械・設備上の問題はなかった。子機のカッタービットの磨耗量は、強化型先行ビットで実測最大 30mm（許容 40mm）、ツールビットで実測最大 6mm（許容 15mm）であり、ビット数の増加や多段配置の効果があつたと思われる。

(2) 高速施工

親機区間のシールド線形は、発進直後に曲率半径 30mの急曲線区間が約 80mあるため、本掘進が開始できるまでかなりの日数が要したが、本掘進開始以降は、日進量 10m前後で順調に進捗した。

子機区間については発進時から本掘進設備での掘削が可能であったため、掘進開始当初は日進量 20mを超える高速施工を実現できた。掘進距離が伸びるとともに流体輸送ポンプや配管の磨耗にとまなう交換等の維持管理の頻度が多くなり、少しずつ進捗は落ちることとなったが、磨耗部材の厚みを頻繁に測定し、破裂等の不具合が発生する前に、掘削サイクルの支障にならないタイミングを見計らって交換することで、進捗の低下を最小限に留めるよう努めた結果、最終的には日進量 17mを確保することができた。

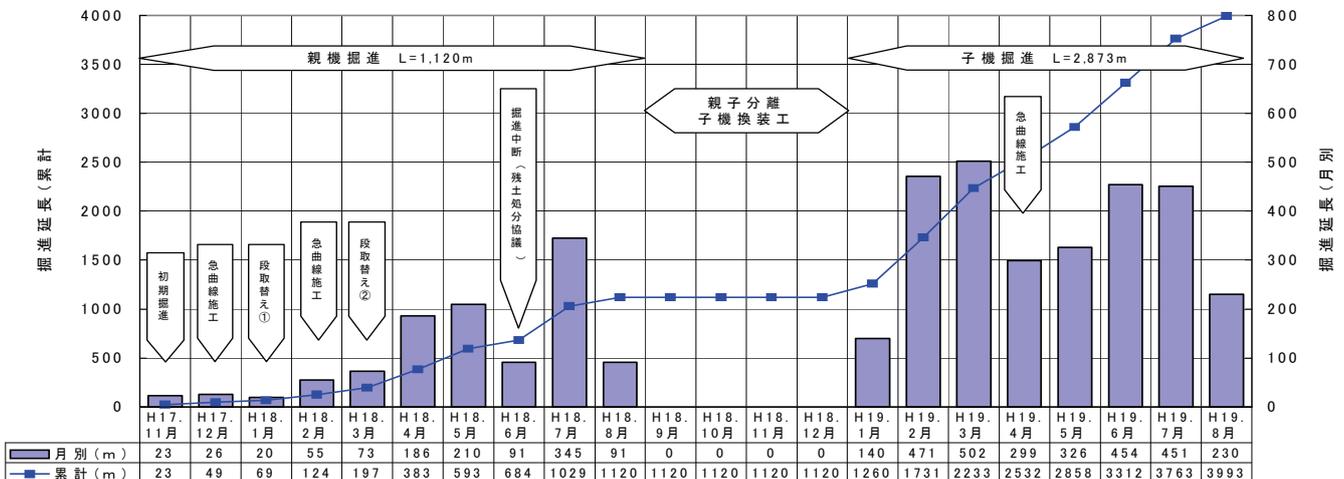


図-5 シールド進捗実績

7. 親子分離工

(1) 親子分離方法

親子シールドの分離手順を図-6 に示す。

今回の親子分離作業の特徴点を以下に挙げる。

①親機バルクヘッドのうち子機発進部分を機内へ引き込む

親機と子機で工法が異なる（泥土圧、泥水）ため、子機（泥水）については面盤タイプの Cutter フェイスを持ったシールドマシンを新たに発進させた。親機バルクヘッドの内、子機発進部分を機内へ引き込んでから子機を発進させるまでの間、切羽が開放されるので、地山を自立させるための地盤改良が必

要とされた。地盤は地下水が豊富な京都特有の砂礫地盤であり、透水係数が大きく被圧されており、止水性の確保上、非常に厳しい条件であった。

②切羽部の地盤改良（薬液注入）を機内から実施

地上からの薬液注入が困難な条件（国道の直下）であったため、機内から注入を実施した。親機のバルクヘッドおよびスキムプレートにあらかじめ注入用のバルブを装備しておいた。また、完全止水を目的として、親機バルクヘッド引込み時に前面に固化材（非水ガラス系セメントミルクグラウト剤）を充填した。

③子機を立坑下で組立てた後、一体で坑内を搬送

切羽の開放時間を短縮するため、切羽部での作業

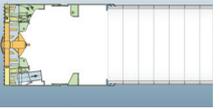
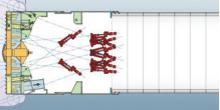
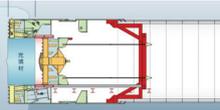
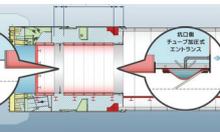
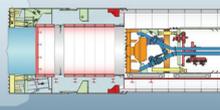
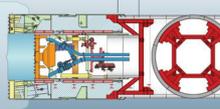
①		親機シールド到達後、チャンバー内を低強度の薬液注入により固結する（これは手順③で実施する薬液がチャンバー内に入りCutterヘッドが引き抜けなくなるのを防ぐために実施）。
②		マシンの機内設備を解体撤去する（スクリーコンベア撤去前に前端部に固化材を注入。シールドジャッキ、中折れジャッキ撤去前に固定用ブラケットを設置）。
③		バルクヘッド隔壁および外周スキムプレートにあらかじめ取付けた注入管より薬液注入を実施する（二重管ストレーナ工法（複相式）による注入。ミゼットドリルにより削孔）。
④		バルクヘッド引込み用リングを隔壁に設置する（鋼製φ3,830、幅750×2リング）。また、引込み時の反力受およびスライド用のレールを設置する。
⑤		トルク伝達ジャッキを縮めた後に、引込みジャッキを用いてバルクヘッドを引き込む。引き込む際、切羽からの漏水を完全に防ぐため、Cutter前面にできる空隙に固化材を充填する（二液性可塑性充填材、打設厚=2,100mm）。
⑥		開放された切羽面に土留壁を設置する。エントランスおよび子機発進用リング（引込みリングと同じもの）を設置し、マシンスキムプレートとの空隙を裏込材で充填する（エントランスは2段。切羽側：フラップ式、坑口側：チューブ加圧式）。
⑦		発進立坑下で組み立てた子機シールドを、一体で坑内を搬送してくる。
⑧		土留壁を撤去後、子機シールドをエントランス内に貫入する（引込み用ジャッキ使用）。その後、発進用反力受を設置する（シールド掘進時の反力は親機区間のセグメントから取るようにする）。
⑨		泥水用の配管設備他を接続した後、掘進開始（子機シールドと残置した親機シールドカッタースポークとの最小離隔は40mm）。

図-6 親子分離手順

と並行して立坑下で子機を組立て一体化した後、坑内を専用の台車で搬送した。そしてバルクヘッド引込み後、速やかにマシンをエントランス内に貫入させた。

④種類の異なる2段のエントランスパッキンを採用子機区間においては鉄道3路線という重要構造物の直下を通過するため裏込注入については掘進と同時にテールボイドを充填することができる同時注入方式を採用した。そのため子機のスキムプレート外周に注入管とその防護用ビットといった突起物が存在している。シールド発進時にこれら突起物まわりからの泥水噴発を防止するため、2段のエントランスパッキンを距離をおいて設置し、パッキンが常にマシンやセグメントの円形部分にきれいに当たるようにした。また、坑口側のパッキンは突起物をかわしてから作動できるようにチューブ式を採用した。

(2) 施工実績

切羽部の薬液注入工において、当初計画していた範囲を一旦施工したが止水が完全にできなかった。これは、シールドマシン周囲に沿った水みちあるいは改良厚の小さい外周部の水みちが残っていることが原因であると考え、当初の注入計画範囲の外周を取り巻く形で追加注入を実施した。この追加注入により完全に止水することができた。

バルクヘッド引込みから子機貫入・発進の作業については大きな問題もなく順調に施工できた。

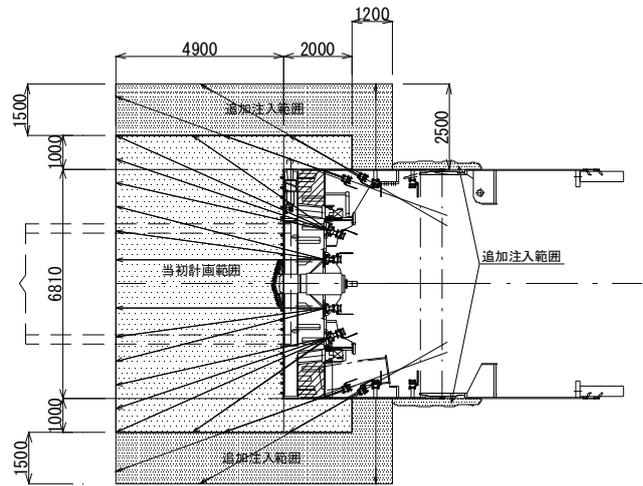


図-7 親子分離部薬液注入実施図

8. まとめ

今回の工事は、路線途中の地上からの作業が困難であるという条件の下、技術的・経済的な検討の結果、ハイブリッド式親子シールドという特殊な工法を採用した。また、工法の異なる親子シールドの分離作業もすべて地中で実施したことで、掘進延長3,993mのシールド掘進を路線途中の地上作業を全く行なうことなく、文字通りの長距離掘進を実現できた。

今後、同様な厳しい条件下での長距離掘進あるいは親子シールド工事において、今回の事例が役立てば幸いである。