

親子シールド工法による長距離掘進と 多数の分岐シャフトの設計と施工

石田主悦¹・榎本教隆²・増田浩二³・名倉 浩⁴

¹株式会社間組 大阪支店太閤シールド(出)

² 同上 大阪支店天満堀川シールド(作)

³正会員 同上 土木事業本部技術第一部(〒105-8479 東京都港区虎ノ門2-2-5)

⁴正会員 同上 土木事業本部技術第一部(同上) E-mail:nack@hazama.co.jp

大阪北共同溝交野寝屋川地区工事は、高度技術提案型(Ⅱ型)による設計施工一括発注方式が試行された工事である。区間延長が約3.9kmと長距離で、かつ、必要内空が変化する共同溝に対し、2つの異なる断面を1台のシールドで施工する親子シールド工法で施工した。また、7基の分岐シャフトをセグメントリングを圧入しながら内部を掘削するアーバンリング工法により施工し、そのうち6基については共同溝シールドトンネルと同じサイズのコンクリートセグメントを本体構造物として利用した。

Key Words : multiple use tunne, long distance shield tunneling, double-structure shield tunneling method,,branch shaft

1. はじめに

平成22年3月に供用開始された第二京阪道路下に整備される大阪北共同溝は、電線、電話線およびガスを収容する幹線共同溝である。このうち、交野市星田北から寝屋川市高宮に至る交野寝屋川地区工事は、延長約3.9kmの共同溝をシールド工法により築造する工事であり、その契約形態は高度技術提案Ⅱ型の設計施工一括発注、総価契約単価合意方式であった。

長距離かつ参画企業の収容条件により必要内空が変化する共同溝に対し、2つの異なる断面(外径φ3.78m、φ3.45m)を1台のシールド機で施工できる親子シールド工法を採用した。また、路線上には、発進、中間立坑(到達立坑は別途施工)のほかに、7基のアーバンリング工法による分岐シャフトがあり(図-1)、1基は鋼製セグメント、残りの6基は共同溝トンネルと同じサイズのコンクリートセグメントを本体構造物として利用した。

2. 工事概要

工事概要を表-1、共同溝の標準断面図を図-2に示す。

(1) 線形計画

路線上には、近接構造物(第二京阪道路のトンネルおよび高架橋、河川の護岸基礎、水道管等の大型埋設物など)が多数存在しており、それらの構造物との離隔を1D以上確保したうえで、直線を多くし、曲線施工によるロスが生じない平面線形(最小曲線半径R=200m)とした。また、縦断線形は、完成時の排水勾配と近接構造物との離隔を確保し、施工時に軌条設備が適用できるよう5%以下の勾配としたうえで、立坑、シャフトをできるだけ浅くするように計画した。

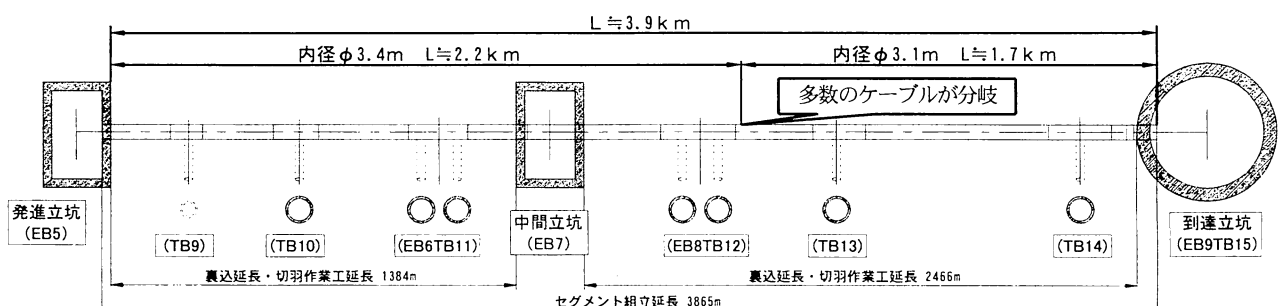


図-1 路線概要

表-1 工事概要

工事名	大阪北共同溝交野寝屋川地区工事
工期	平成20年2月7日～平成23年2月28日
場所	大阪府交野市星田北～寝屋川市高宮
発注方式	高度技術提案(Ⅱ型)設計施工一括発注方式
発注者	国土交通省 近畿地方整備局
工事内容	親子シールド(泥水式), 延長:L=3,874m セグメント: 内径φ3.40m(外径φ3.78m) 内径φ3.10m(外径φ3.45m) 土被り: 9.3～35.5m 縦断勾配 +4.8%～-3.0% 発進, 中間立坑: 各1箇所(到達立坑別途) 分岐シャフト: 5ヶ所7基(アーバンリング工法)

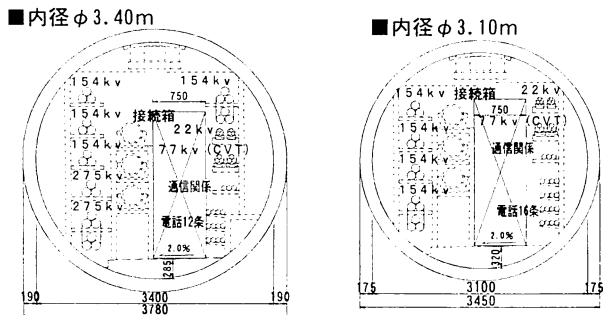


図-2 共同溝標準断面

(2) 地質概要

シールド掘進地盤の主体となる土質は、発進立坑～3,250m付近までについては大阪層群と呼ばれる新生代第4紀洪積世に堆積した半固結～固結状の砂(Os), 粘土(Oc), 砂礫(Og)から構成される。それ以降の区間では大阪層群の深度が急に大きくなり、到達立坑付近では上部に緩い砂層を主体とした沖積層が存在する洪積砂質土(Ds), 粘土(Dc)の段丘堆積物となる。

(3) シールドトンネルの施工法

共同溝の必要最小内空は、多数のケーブルが分岐するEB8/TB12分岐シャフトを境にφ3.4mとφ3.1mに分けることができる。そこで、施工法の比較検討(表-2)を行い、二重構造の1台のシールド機で異なった2断面の施

工ができる親子シールド工法を採用した。なお、シールド工法としては、汚泥量の低減、掘削残土の第二京阪道路への流用や長距離掘進時の掘削土砂の坑内搬送、ビット摩耗の観点等から泥水式シールド工法を採用した。

(4) シールドトンネルの覆工構造

最大地下水圧が0.3MPa程度であり腐食性環境でないことから、二次覆工省略型コンクリートセグメントを採用した。なお、分岐シャフトとの接続部は開口補強型の鋼製セグメントとし、二次覆工を行うこととした。

コンクリートセグメントの継手形式は、KLセグメント(緩衝キー+曲りボルト)を採用した。また、セグメントの幅は、内径φ3.1m(外径φ3.45m)では従来と同じ幅1.2mであるが、内径φ3.4m(外径φ3.78m)では幅1.3mに幅広化し、施工効率と止水性の向上を図った。

さらに、コンクリートセグメントの一部は、陸上から海上輸送によるモダルシフトを採用し、CO2排出量を削減した。

3. 親子シールド工法

(1) 親子シールド

親機(シールド外径φ3.91m)でEB8/TB12分岐シャフトまでの約2.1kmの掘進を行ったのち、地中で子機(同外径φ3.58m)を分離、発進させ、子機で残りの区間の掘進を行った。なお、分離地点の土質は平均N値50以上の硬質な砂(Os)であり、約0.14MPaの被圧を有していた。親子シールド工法の基本方針を以下に示す。

- ①子機にカッター、ジャッキ、エレクター、中折れ等主要機械を内蔵し、その外側に親機外筒を設置する。
- ②地中分離であるため、子機テール部は、分離時に親機内で組み立てる。
- ③分離時には親子の各断面に対応可能な分離用鋼製セグメント(桁高290/140mm)で断面変化に対応する。

表-2 シールド施工法の比較

項目	2つの異なる断面の施工法			C案: 大断面の1台のシールド機
	A案: 2台のシールド機	B案: 1台の親子シールド機		
概要	中間 EB8/TB12 ① 発進 φ3.78m ② 発進追加 φ3.45m ③ 到達	中間 EB8/TB12 ① 発進 φ3.78m ② 地中分離 φ3.45m ③ 到達		中間 EB8/TB12 ① 発進 φ3.78m ② φ3.78m 到達
発進立坑	・2箇所	・1箇所		・1箇所
掘削土量	・少ない	・少ない		・多い
工期	・最も短い(併行して掘進)	・短い		・短い
経済性	・高価(シールド機: 2台, 土量: 少)	・最も安価(親子シールド: 1台, 土量: 少)		・安価(シールド機: 1台, 土量: 多)
評価	・立坑用地がなく施工困難、経済性に劣る ×	・経済性に優れる、掘削土量: 少 ○		・経済性に劣る、掘削土量: 多 △

- ④ジャッキ推力，カッタートルク能力は親機に合せる。
 - ⑤カッターは伸縮スポーク装置により親子の各掘削断面に対応させる。
 - ⑥前胴の本体固定装置により，親機と子機の外筒を連結し掘進する。
 - ⑦親機と子機の間は止水シールで止水性を確保する。
 - ⑧シールドジャッキは子機に内蔵し，スプレッダー部分の交換で断面変化に対応する。
- これらをふまえ，決定したシールドを図-3に示す。また，親子分離手順を表-3に示す。

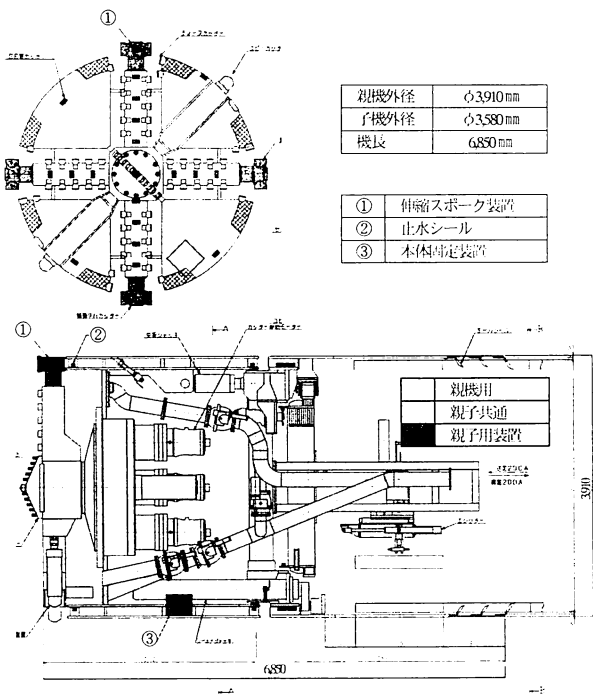


図-3 親子シールド

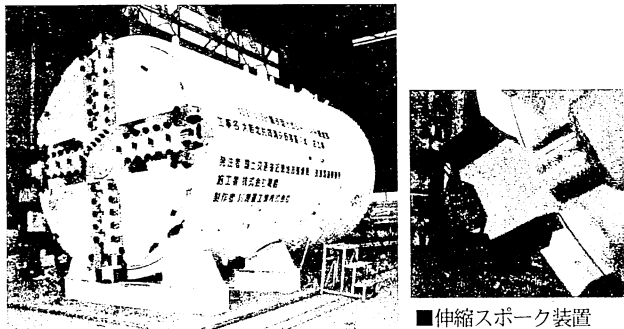


写真-1 親子シールド

表-3 親子シールド分離手順

①	・親機通常掘進完了 ・分離用鋼製セグメントリング掘進，組立 ・仮設用鋼製セグメントリング掘進，組立	
②	・前胴後退防止装置にて親機前胴のバックリング防止	

③	・止水アートを仮設用ゲートと親機後胴へ溶接 ・推力受材撤去，シールドジャッキ偏芯金物を子機用へ交換 ・子機連結材を撤去，子機テールプレート搬入	
④	・子機テールプレートの組立 ・親機前胴を前胴固定装置にて後胴へ固定 ・子機テールプレートを搬入	
⑤	・子機テールプレート（後部）の組立 ・子機テールプレート（前部）と一体化 ・エレクタ支持ローラーを子機後取付け	
⑥	子機用セグメントを搬入，組立，分離用鋼製セグメントへボルト締結実施。本体固定装置を解除，注入管の盛替え，子機姿勢調整。	
⑦	伸縮スポークを縮小，子機掘進を行い親機との分離を開始。親機から抜出した時点で裏込注入。	

(2) 分離用セグメント

a) 分離用鋼製セグメント

分離地点の覆工の断面変化に対応するため，セグメント外径φ3.78mに対し到達（親機）側140mmと発進（子機）側290mmの前後で異なった桁高を有する特殊鋼製セグメントを利用した（図-4）。

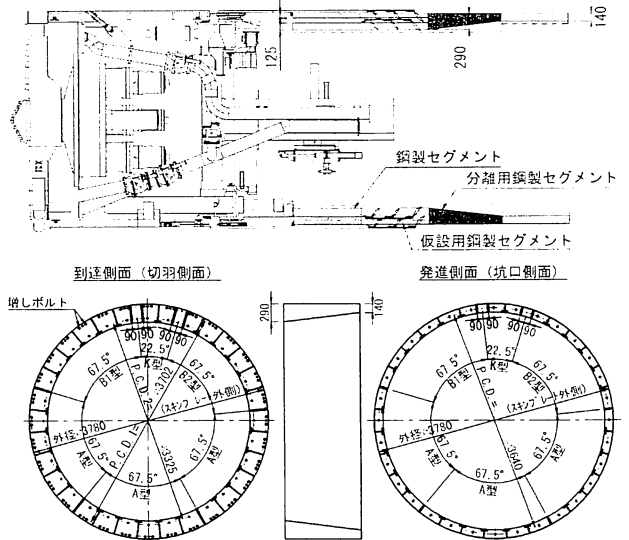


図-4 分離用鋼製セグメント

[illegible]

b) 仮設用薄型鋼製セグメント

[illegible]

図-6 仮設用薄型鋼製セグメント

a) 親機掘進工

最外周部の土砂の流れ カッタの改造

図-7 親子シールドのカッタの改造

b) 親子分離工

分離掘進は5~10mm/min程度の低速掘進とし、ノーズダウンに注視しながらシールドジャッキの選択を行った。子機後胴部が親機前胴部を通過する際、異音等が発生することもなく、予定通りの分離掘進を行うことができた。また、推力も制限値の半分程度で、分離用鋼製セグメントに有害な変形などは生じなかった。

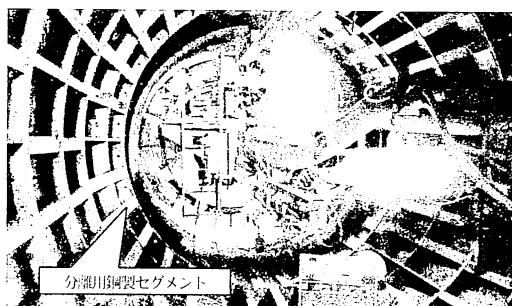


写真-2 子機組立完了時の状況

4. 分岐シャフト

(1) 施工法の選定

シールドトンネルとは短い横坑で接続する内径がφ3.1~3.4m (TB10のみφ3.5m) , 掘削深度が約20~27mの分岐シャフトの施工法として, PCウェルとアーバンリング工法で施工法の比較を行った. 推進工法用ヒューム管と同様に内径φ3.0mを超えるPCウェルの函体は, 道路交通法上, 函体の分割輸送と現地組立が前提となるため, 割高になってしまう.

一方, アーバンリング工法は, 仮設構造物としての鋼製セグメントを圧入, 沈設しその内側に鉄筋で補強された本体躯体(二次覆工)を設ける構造を基本としており, 必要内空に対しかなり大きな掘削断面になる. そこで, 共同溝シールドトンネルと同じ内径であることから, コンクリートセグメントの本体構造物としての利用と, シールドトンネルと同様にその内面の二次覆工の省略とにより, 掘削外径の縮小を図り, かつ, セグメントの型枠の転用によって同じ形状のセグメントを利用することで, 工期, 経済性の改善が大幅にできるアーバンリング工法を採用した(図-8参照).

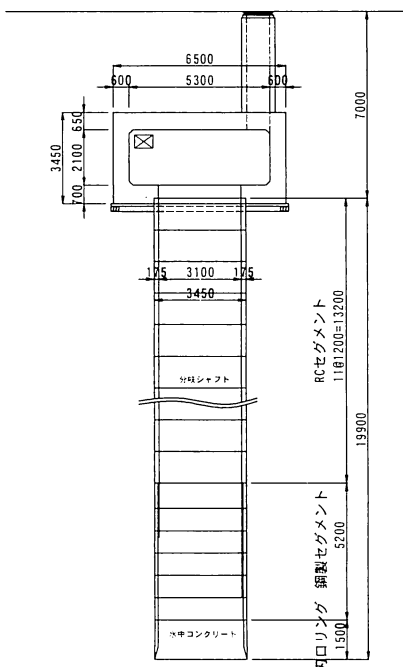


図-8 分岐シャフトの構造例 (TB13)

(2) セグメントの設計

a) 常時及び施工時の検討

アーバンリング工法のセグメントの本体利用の設計については明確な指針類がないことから, 「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 ケーソン基礎の設計」を基本に, 完成時の荷重については静止土圧と静水圧を均等に作用させると同時に静止土圧の20%を偏圧として考慮した. また, コンタクトグラウトとは別にセグメント注入孔から裏込め注入を行なうことで, 地盤バネを考慮し

た. 一方, 施工時荷重は, シャフト全周の主働土圧と施工時水圧(外水圧-内水圧)に加え, 最大主働土圧の1/3を偏圧として考慮した. 構造解析にはシールドトンネルと同様に, コンクリートセグメントには継手を考慮した「はり-ばねモデル」を, 開口補強部に使用する鋼製セグメントには「剛性一様リングモデル」を用いた(図-9参照).

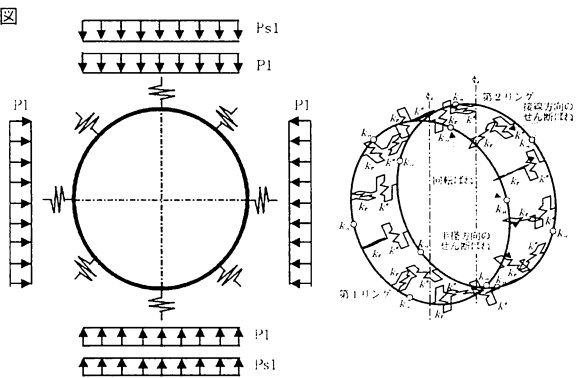


図-9 分岐シャフトの完成時荷重と
コンクリートセグメントの構造解析モデル

b) 耐震検討

耐震検討としては, セグメントのリング継手を考慮できる軸方向の2次元「はり-ばねモデル」でシールドトンネルと分岐シャフトを一体としてモデル化を行った. そして, L1およびL2地震動に対し動的解析を行い, 応力, 変形などを照査した. なお, シールドトンネルとシャフトの間には短い横坑があることから, 横坑も対象とした3次元モデルによる動的解析も併せて実施し, 横坑とシールドトンネル, シャフト接続部の拔出し量や横坑用鋼製セグメントの照査を行なった(図-10参照).

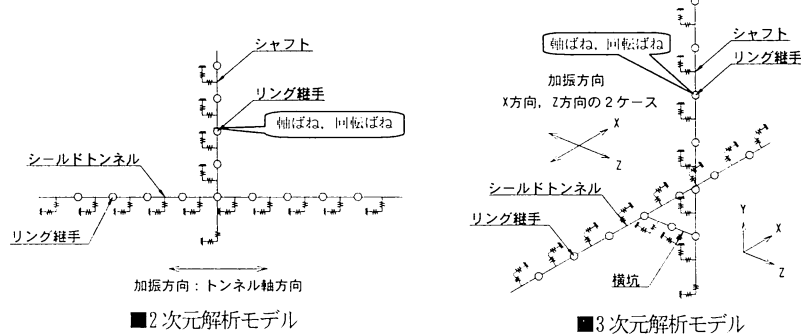


図-10 分岐シャフトの耐震検討モデル

一方, 水平方向には, 鉛直方向の解析で得られた分岐シャフトと周辺地盤間に発生する地盤反力を各セグメントの水平リング構造に偏圧として作用させ, 本体ならびに継手の照査を行なった.

(3) 止水性, 耐久性の向上

コンクリートセグメントの本体利用に対して, 止水性, 耐久性を確保するため, 以下の対策を実施した.

①継手部にはシールドトンネル用セグメントと同じ仕様で水膨張性の継手シール等を貼付し, さらに, 背面側の

継手部には組立て時に外周側から弾性エポキシ樹脂によるコーキングを行なった。

②掘削、沈設時のバケットによる損傷を防止するため、耐アルカリガラス繊維シートをセグメント内面に貼付けた。また、コンクリートセグメント本体にはPP繊維を混入し、製作時の収縮ひびわれを抑制した。

③底版の止水対策として、水中コンクリートと刃口リング間に水膨張シーンを併用したL型止水板を設置した。

(2) 施工

掘削、沈設時には刃口および調整リングの8ヶ所の滑材注入孔から毎リング滑材注入を行うことで周面摩擦力の低減を図り、施工時の損傷の要因となる圧入力の高減に努めた。さらに、セグメントの組立管理、姿勢制御管理（傾斜、偏心、回転）を精度良く行い、コンクリートセグメントにひび割れ等の損傷を与えることなく、設計圧入力以下で、かつ、1/300以下の施工精度を確保しながら沈設することができた（写真-3参照）。

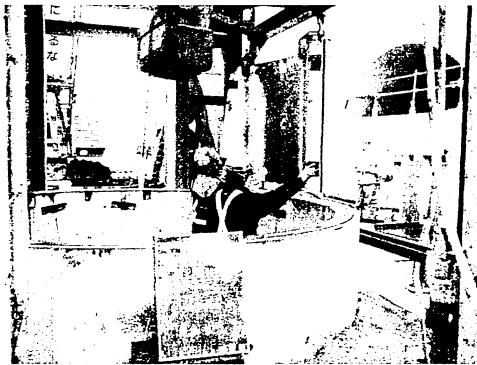


写真-3 コンクリートセグメントの組立状況

なお、分岐シャフト底部の水中コンクリートには低熱セメントと膨張材等を利用することで、水中コンクリートの打設、養生時のひび割れの発生を抑制した。

5. おわりに

本工事は、異なる2つの断面を有した約3.9kmの長距離施工に対して、1台の親子シールド機で施工したものである。大深度化、立坑用地の制約および工期、工費の低減などのため、シールドトンネルは長距離化する傾向にあり、断面変化への対応は必要とされる技術の一つである。一方、分岐シャフトのような小型立坑についても大深度化や用地の制約などから、より合理的な構造や、設計、施工法のいっそうの充実が求められている。本報告がこれら類似の工事の参考になれば幸いである。

最後に、本工事を設計、施工するにあたり、ご指導、ご意見をいただいた関係各位の皆様に深く感謝を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 水野・石田，第二京阪道路直下の長距離・親子シールドによる共同溝の施工，基礎工，2011.3.

LONG DISTANCE SHIELD TUNNELING BY A DOUBLE-STRUCTURE SHIELD TUNNELING METHOD AND DESIGN AND CONSTRUCTION OF SEVERAL BRANCH SHAFTS

Tikara ISIDA, Noritaka, Koji MASHUDA and Hiroshi NAGURA

Osaka-Kita Common Utility Duct Project, Katano-Neyagawa District Work Section, has adopted a trial procuring system, packaging design and construction contracts together with an advanced technology proposal, Type 2.

We executed the construction by a double-structure, “parent and child” shield machine, which can adjust the two different diameters of the sections with a single machine through the 3.9 km long distance tunnel. We also adopted “Urban Ring Construction Method” for the excavation of the seven branch shafts, pressing the segment rings in the shafts. As for the 6 of 7 branch shafts, we used the concrete segments as the permanent structure which has the same size of the common duct shield tunnel.

We report the design and construction method of the above-mentioned tunnel and branch shafts.