

高水圧下で曲線パイプルーフを利用した 地下接続工（Uターン路）の同時施工

中野正晴

首都高速中央環状品川線のうち、東京都建設局発注の中央環状品川線シールドトンネル工事—2では、約8kmの長距離シールドの掘進工事に並行して、道路床版、Uターン路、横連絡坑を同時施工することで全体工期の短縮を実現した。大深度、高水圧の条件下におけるUターン路や横連絡坑の施工を実現するための方策について報告する。

キーワード：大深度、高水圧、同時施工、接続工、曲線パイプルーフ

1. はじめに

首都高速中央環状品川線は、全長約47kmの中央環状線の南側部分を形成する路線であり、このうち東京都建設局発注の「中央環状品川線シールドトンネル工事—2」は、品川区八潮に位置する大井北立坑を発進基地として、泥土圧シールド工法により延長約8kmの道路トンネル（大井ジャンクション方向）を1台のマシンでシールド掘進を行い、このトンネル内で道路床版、Uターン路、横連絡坑を構築するものである。全体図を図—1に、主な工事内容、数量を次に示す。

- ・トンネル外径：φ12300mm（セグメント外径）
- ・トンネル延長：L=7995m
- ・工事数量：シールド延長7995m、道路床版55581m²、横連絡坑11箇所、Uターン路3箇所

本工事では、月進500m以上の高速施工を行うシールド掘進と道路床版の施工に並行して、地下-40m

～-50mの高水圧条件下において、11箇所の横連絡坑と3箇所のUターン路を施工した。本稿では、この同時施工を実現するための工夫や取り組み、完成構造物としての品質、機能を確保するための防水構造などについて紹介する。

2. 接続工の概要

本工事の接続工は、供用時に人が避難するための横連絡工と、緊急時に車両の転回路となるUターン路の2種類ある。品川線トンネル全線では横連絡工が24箇所、Uターン路が5箇所となっている。そのうち当工事で施工するのは横連絡坑が11箇所、Uターン路が3箇所であり、トンネル全長約8kmのうち坑口側から4kmの範囲である。

シールド掘進ならびに道路床版を施工するための資機材搬入路を確保しながら、接続工を実施しなければならず、施工はトンネル断面のうち半分のみを利用したの施工となった。



図—1 品川線路線平面図（全体概要図）

(1) 横連絡坑の概要

横連絡坑 11 箇所の施工場所は、目黒川または山手通りの直下 GL-40.0 m~GL-50.9 m に位置し、いずれの地盤も N 値 50 以上の固結粘性土層 (Kc 層) に砂層 (Ks 層) が介在する土層であるため、大深度、高水圧下における出水リスクへの対応が必要であった。

本工事では、横連絡坑の躯体構造をボルト組立式の矩形鋼殻構造とし、これを推進工法により構築する施工方法を採用した。推進方法は坑内搬入路を確保するため、センターホールジャッキによる牽引方式とした。掘削前面が開放される刃口推進を安定的に行うため、事前の止水対策として低圧浸透方式による薬液注入を補助工法として施工した。図-2 に横連絡坑の概要図および土質柱状図 (横連絡坑-1) を示す。

(2) U ターン路の概要

供用時の緊急車両の転回路となる U ターン路は、2 つのシールドトンネルを、それぞれ高さ約 8 m × 幅約 10 m の断面で切開き接続するものであり、本工事では 3 箇所の U ターン路いずれにも矩形の鋼構造形式を採用した。鋼製セグメントの開口部にはセグメン

ト形状に合わせた補強梁、補強柱を配し、トンネル間にはビルト H 鋼による矩形鋼製枠を適用した。なお、最終的な構造体はコンクリートで巻き立て、その背面には吹付防水を施した。図-3 に U ターン路の概要図および土質柱状図を示す。

3. U ターン路の施工

(1) U ターン路の施工ステップ

仮設工から鋼製枠構築までの施工ステップを図-4 に示す。掘削段階での止水性を確保するため、低圧浸透方式による薬液注入を補助工法として採用した。トンネル間の土留めとして天井部にはφ 267 mm の曲線パイプルーフを、側面には同径の直線パイプルーフを設置することで、掘削開放時の地山安定性を確保した。また、セグメント切開きのための内部支保工はビルト H 鋼と 500 kN の油圧ジャッキを組み合わせ、掘削前に初期プレロード載荷を行うことで、セグメントの変形抑制を図った。

各ステップともに、シールド掘進と道路床版施工の資機材搬入路を確保する必要があった。このため、覆

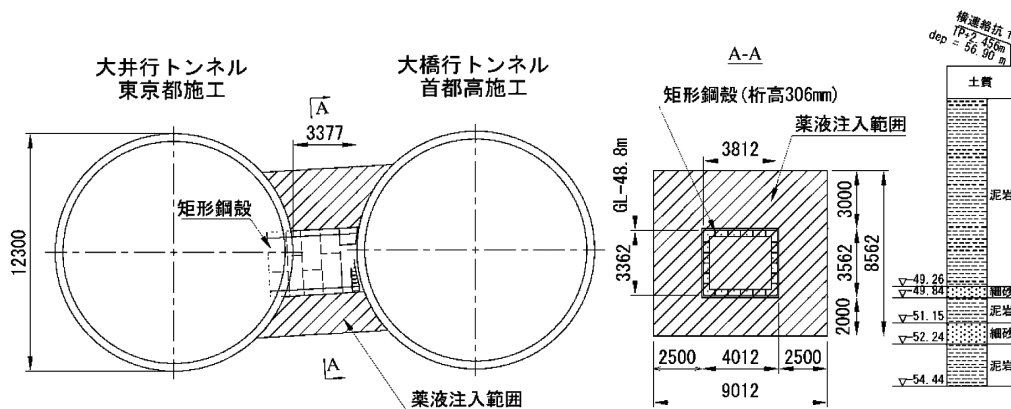


図-2 横連絡坑概要図

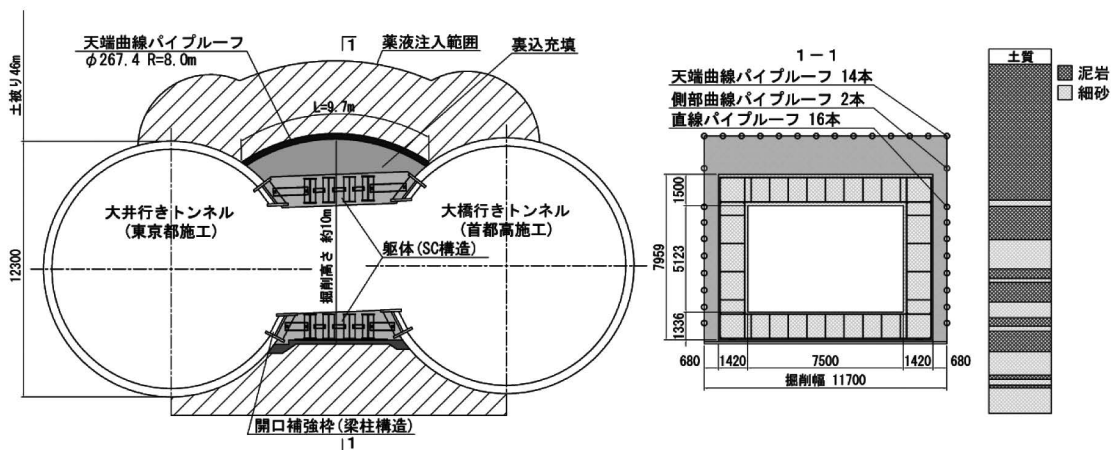
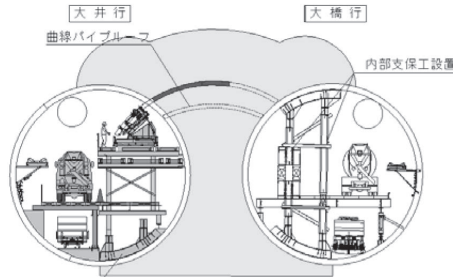
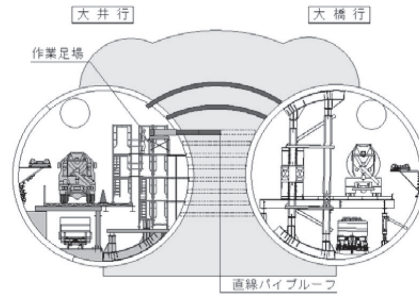


図-3 U ターン路概要図

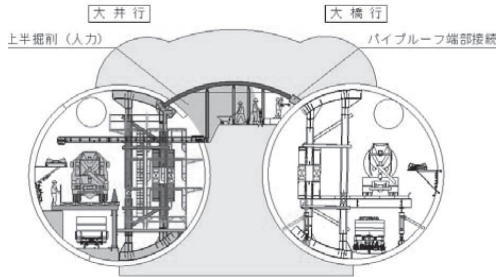
◆曲線パイプルーフ



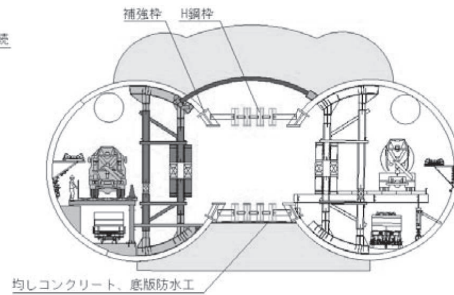
◆直線パイプルーフ



◆頂部掘削工、パイプルーフ接続工



◆補強枠およびH鋼枠架設工



図一4 Uターン路主要施工ステップ図

工下部では軌道を用いて、シールドセグメント等の資材搬送を行った。また、覆工上部では、φ2000mmの換気用風管やシールド掘削土砂搬出用のベルトコンベヤが設置されているが、施工設備の形状や配置を工夫して大型車両の通路を確保した。

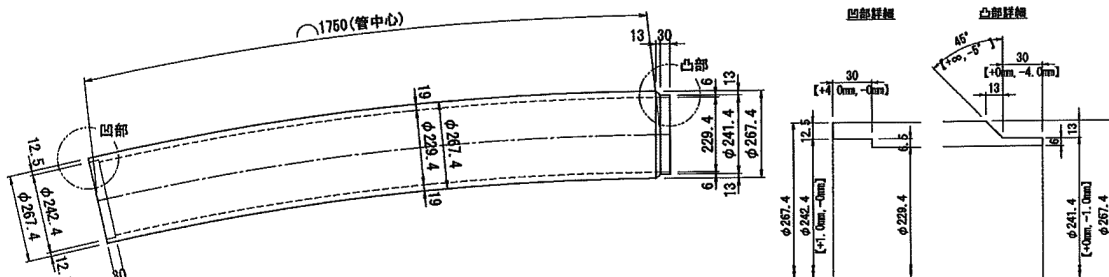
(2) 曲線パイプルーフの採用

上述の通り、本工事ではトンネル間掘削部の防護、土止め工法として小口径φ267mmの曲線パイプルーフ工法を採用した。構造仕様としては、曲率R=8.0m、延長約10m、配置間隔0.9m、総本数14本で、鋼管仕様は、外形φ276.4mm、板厚19.0mm、鋼材種SM570-Hである。作業スペースの条件から搬入する鋼管の長さを2m未満として、各ジョイント部は部分溶接により接合した。なお、継手部の精度がパイプルーフ全体の施工に大きく影響することから、凹凸はめ込み式の機械加工を施し、継手部での屈曲を防止できる構造とした(図一5)。他の工種と並行して工事を進めるため、パイプルーフの施工設備は可能な限

りコンパクトな設備とし、トンネルの半断面で施工可能なものとした。曲線パイプルーフの掘進装置による施工状況を写真一1に示す。掘進装置は、曲線パイプルーフを把持して地山側に貫入させる推進装置と、先頭管と称するパイプルーフ先端を掘り進める泥水式掘削装置で構成される。先頭管の切削ビットは拡張機能を備えており、発進側に機械を回収できる機構を備えている(図一6)。また、この曲線パイプルーフは、



写真一1 曲線パイプルーフ施工状況



図一5 曲線パイプルーフ構造概要図

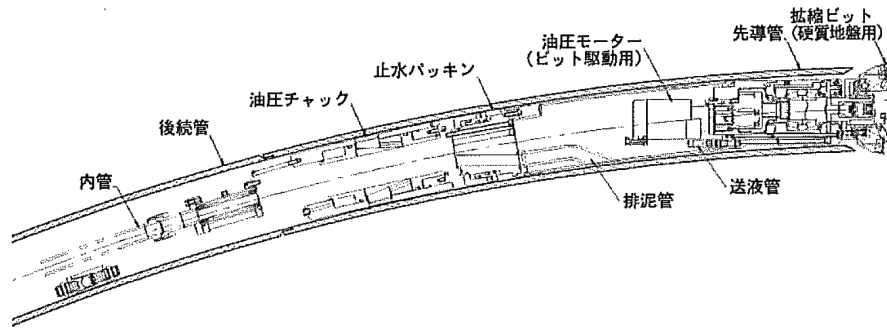


図-6 曲線パイプルーフ掘削先端装置

トンネル掘削段階における上層地盤の土留めの役割を担うものである。その荷重は主として曲線パイプルーフに軸力として作用し、セグメントおよび内部支保工にその軸力が伝達されるため、パイプルーフの端部固定については、施工誤差を吸収した上で確実かつ合理的な固定方法が求められた。パイプルーフ発進側ではセグメント縦リブとパイプルーフ端部を一体化する支持梁方式を考案し採用した(図-7, 写真-2)。一方、到達側は他工区のセグメントへの固定となるため、セグメントの切断、貫通を一切行わずに接続できる方法とした。この方法は、パイプルーフ数本毎に小断面の掘削を進め、到達側セグメントの外側(地山側)から順次半割のジャケット鋼管を溶接固定し、その内部に無収縮モルタルを充填することで固定するものである(図-8, 写真-3)。到達側でのパイプルーフ施工精

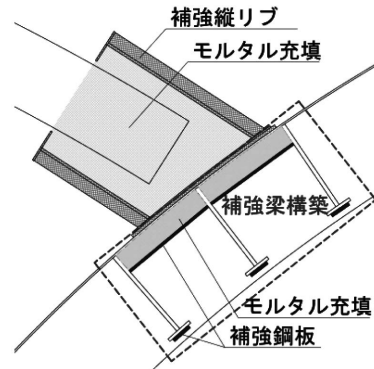


図-8 パイプルーフ固定方法 (到達側)

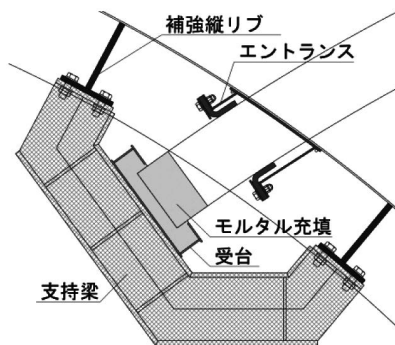


図-7 パイプルーフ固定方法 (発進側)



写真-3 パイプルーフ到達側固定状況

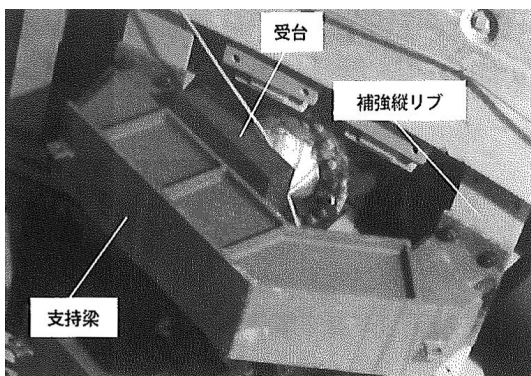


写真-2 パイプルーフ発進側固定状況

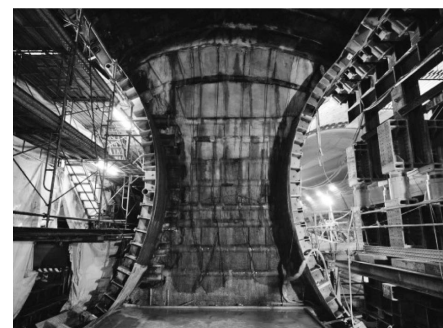


写真-4 Uターン路掘削完了全景

度は 50 mm = 1/200 以下であったが、上記 2 つの固定方法はこの誤差を十分に吸収した上で、合理的かつ確実な施工を可能とした。掘削完了状況を写真-4 に示す。

(3) 鋼構造躯体の構築方法と防水構造

Uターン路3箇所は極厚板の鋼製枠で構成される鋼構造形式を採用しており、狭隘かつ厳しい空頭制限下での重量物架設となった。内部支保工の設計段階で10mの長尺鋼材の引込みが可能な仮設計画とし、上部鋼製枠については、全体約60tを一体化してセンターホールジャッキ4台によるジャッキアップ架設する等の工夫を行ったことで、合理的かつ安全な施工を実現した(図-9、写真-5)。

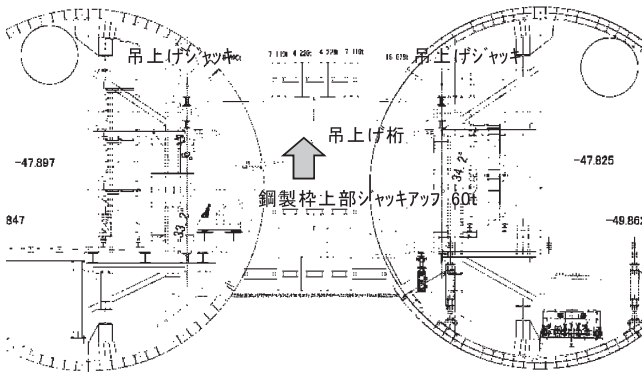


図-9 Uターン路鋼製枠組立仮設図

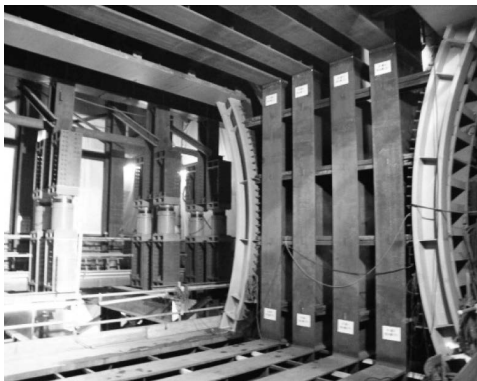


写真-5 Uターン路鋼製枠組立完了全景

また、横連絡坑と同様にUターン路施工箇所における地下水圧は0.4MPa～0.5MPaと高く、確実な防水構造と施工が求められた。前述の通り、Uターン路の基本構造は鋼構造であるが、防水および防食の観点から、SC構造同様に鋼材をコンクリートで覆う形式としている。

鋼製セグメントと鋼製枠の接続部は全周止水溶接を施し、コンクリート打設面と各接合部には追従性に優れたウレタン系樹脂吹付防水を施工した(図-10、写真-6、表-1)。また、躯体背面=防水施工面と地山の境界面にはコンクリートおよび可塑性裏込注入材を充填し防水性の向上を図った。

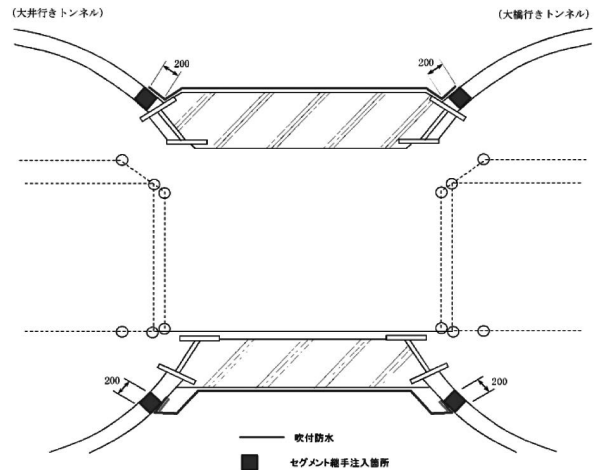


図-10 Uターン路防水計画図



写真-6 Uターン路ウレタン吹付防水施工状況

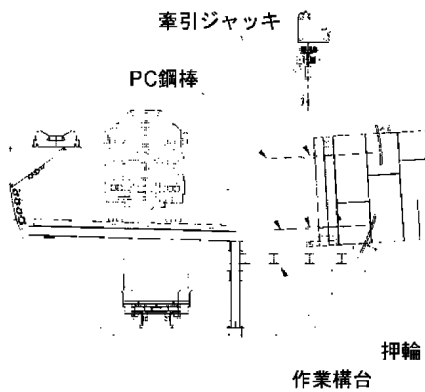
表-1 Uターン路防水仕様

防水工程	材料種別等	使用量・厚さ等
下地プライマー	水溶性プライマー	標準塗布量0.2kg/m ²
防水塗膜層	ポリウレタン樹脂系塗膜材	平均厚さ2.0mm以上
保護材層	モルタルまたはコンクリート	設計厚さ80mm以上
セグメント継手目地処理	エポキシ系接着材	—
セグメント継手接合面注入	ウレタン系注入材	—

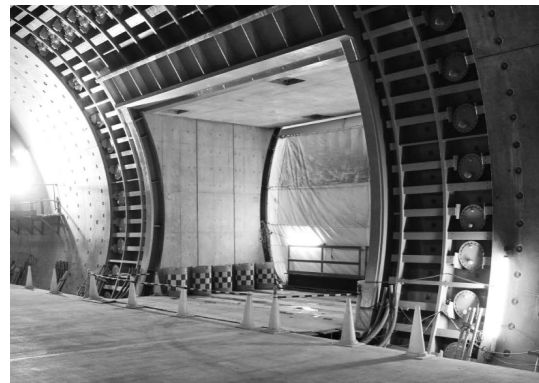
4. 横連絡坑の施工

横連絡坑の施工では、トンネル内で同時に進行しているシールド掘進、道路床版はもとより、複数箇所の横連絡坑の同時施工を実現するため、推進反力の固定点を前方に置く牽引ジャッキ方式を採用し、トンネル半断面で推進工事が可能となる施工方法を考案した。牽引反力を得るための固定部材を推進開口部のセグメント内面両側に設置、固定し、推進函体となる矩形鋼殻の後方には鋼製の押輪フレームとその四隅に牽引用のセンターホールジャッキ(350kN)と牽引用PC鋼棒各4組を配置した(図-11、写真-7)。推進時はこのPC鋼棒の牽引ストローク量を管理することで推進体の方向制御を行った。

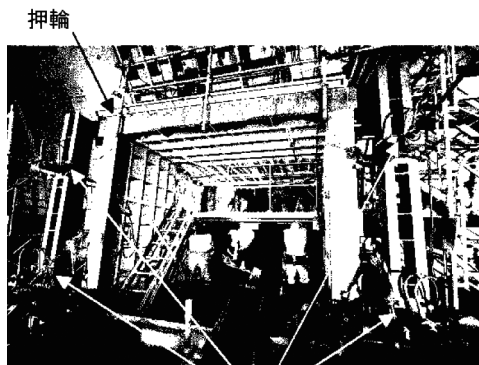
横連絡坑1箇所当りの施工期間は、薬液注入等の補助工法から仕上げまで全工程で約3ヶ月、推進の発進から到達までは約1週間であった、合理的で確実性の高い本工法の考案が、工事全体の工程短縮に大きく寄



図一11 横連絡坑施工状況断面図



写真一8 Uターン路全景



牽引ジャッキ
写真一7 横連絡坑推進施工状況



写真一9 横連絡坑全景

与した。

5. おわりに

中央環状品川線シールドトンネル工事は、大断面では日本最長となる8kmの長距離掘進や、500m/月以上の高速掘進など、シールド掘進工事が注目されたが、道路トンネルのプロジェクト全体工程を短縮し、早期供用を目指す上では、道路床版や横連絡坑、Uターン路などの後続工事を如何に合理的かつ安全に進めるかが大きなポイントとなる。また、大深度、高水圧下でセグメントの切開きを行う接続工事では、その構造の複雑さゆえ、構造安定性、防水性、耐久性等を踏まえた品質、機能の確保が重要であることは言うまでもない。本工事では、Uターン路の小口径曲線パイプルー

フの採用やその工程方法の工夫、鋼製枠構造体の採用とその架設方法の工夫、横連絡坑の牽引ジャッキ方式の鋼殻推進のように、合理的で確実性のある施工方法を考案し、構造物の品質、機能向上を図った上で、シールド掘進、道路床版との同時施工を進め、過去のトンネル工事では例を見ない工程短縮を実現することができた。

JICMA



【筆者紹介】
中野 正晴 (なかの まさはる)
大成建設株式会社
東京支店 首都高品川線作業所
作業所長