

中央環状品川線五反田出入口 非開削仮設構造の設計施工概要

平野 秀一¹・松崎 久倫²・須田 久美子³・中川 雅由⁴

¹首都高速道路株式会社 東京建設局設計グループ (〒141-0032 東京都品川区大崎1-6-3)
E-mail:s.hirano711@shutoko.jp

²正会員 首都高速道路株式会社 東京建設局設計グループ (〒141-0032 東京都品川区大崎1-6-3)

³フェロー 鹿島建設株式会社 (〒141-0032 東京都品川区大崎1-6-3)

⁴正会員 鹿島建設株式会社 (〒141-0032 東京都品川区大崎1-6-3)

中央環状品川線五反田出入口は、幅員30mの環状6号線直下に計画されており、横併設のシールドトンネル2条を新設後にその一部を切開き、トンネル間にコの字型断面の非対称形RC躯体を構築して接続し、狭い幅員の中に本線4車線および出口（または入口）1車線を構成するセンターランプ式トンネルである。交差点直下などの非開削工法適用範囲における工程短縮、施工合理化を図るために、パイプルーファーチ工法を開発し、現在、鋭意施工を進めているところである。本稿は、新しく開発したパイプルーファーチ工法の設計施工概要と五反田出入口工事への適用事例について報告する。

Key Words : underpinning, temporary structure, pipe-roof method, FEM

1. はじめに

五反田出入口は、中央環状品川線全線9.4kmのうちのほぼ中間に位置し、幅員30mの環状6号線直下に計画されている。横併設のシールドトンネル2条を新設後にその一部を切開き、トンネル間にコの字型断面の非対称形RC躯体を構築して接続し、狭い幅員の中に本線4車線および出口（または入口）1車線を構成するセンターランプ式トンネルである。工事対象範囲の約960mには、「かむろ坂下交差点」および「羅漢寺交差点」を含んでいる。道路形状・地下埋設物の状況から全区間を開削工法で施工するには、夜間作業帯が大きくなり交通への影響が大きいこと、大規模な地下埋設物の移設・防護が必要であることから、2箇所にて坑を設け、「かむろ

坂」「目黒不動方」「大鳥方」の3箇所にて非開削工法（パイプルーフ工法）を採用した（図-1）。

非開削工法については、中央環状新宿線において実績のある直線パイプルーフ工法とした。図-2 (a) に示すとおり、従来工法は直線パイプルーフを断面内に矩形配置しパイプルーフ支持杭・受桁により支持する構造であるが、本工事では五反田出入口工事の工程短縮および工程遅延リスク回避の必要性から、直線パイプルーフを断面内にアーチ状に配置して構造的に一体化することによりパイプルーフ支持杭・受桁を省略する新しい非開削工法（図-2 (b)）。以下、パイプルーファーチ工法と略記）を検討した。追加ボーリング等各種調査により地盤・地下水条件の詳細を明らかにし、工事対象箇所での適用性、構造成立性などの各種課題の解決のために解析および実証実験を行った結果、五反田出入口工事に全面採用することとした。

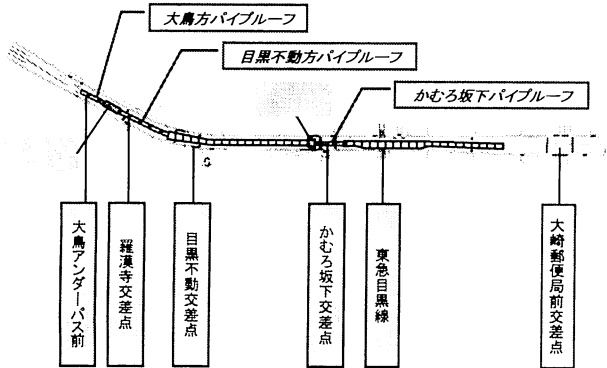


図-1 非開削工法の適用範囲

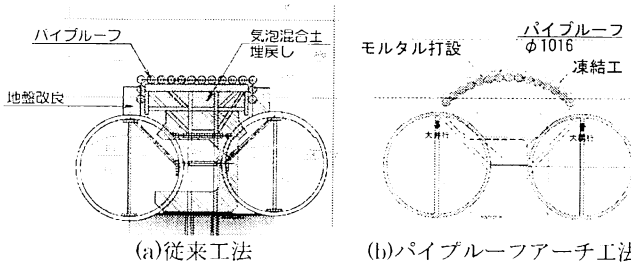


図-2 直線パイプルーフ工法の比較

本稿では、新しく開発したパイプルーフアーチ工法の概要と五反田出入口工事への適用事例について報告する。

2. パイプルーフアーチ工法の概要

(1) 特徴

図-3に施工イメージを示す。当該工法は、ルーフ（屋根）を形成するパイプ材（鋼管）をアーチ状に打設し、一定間隔で配置されたパイプ間をモルタル（以下、アーチモルタルと略記）により連結してアーチ構造体を形成させ、パイプルーフ上部、側部の荷重を無支保構造でアンダーピーニングして掘削を行い、本設構造物の構築に必要な地下空間を提供する。パイプルーフ支持杭、桁受の大幅低減による工程短縮効果が期待できる。アーチ構造構築時の止水は凍結工法により、アーチ構造体形成後はアーチ脚部のみ凍土維持運転を継続する。

アーチ構造体は、地中部の土圧および水圧を主とする作用荷重による発生断面力が、曲げモーメント M に比べて軸力 N が卓越し、全圧縮応力状態となるようにする必要がある。また、アーチ構造体に発生する圧縮力を確実に隣接する鋼管に伝達するために、鋼管内に充填するモルタルおよびアーチモルタルは所定の強度が必要である。特にアーチモルタルは、 -10°C の低温下で短時間に強度発現し、かつ施工性に優れた材料を選定する必要がある。

(2) 成立条件（検討項目）

パイプルーフアーチ工法の成立条件を整理すると次のとおりである。

- パイプルーフ上部および側部の荷重を全てアーチ脚部で支持することになるため、脚部周辺が堅固な支持地盤に配置され、周辺地盤および近接構造物への影響がないこと。
- シールドトンネル本体に影響がないこと。
- パイプルーフ上部の止水は凍結工法によるため、地下水流の流速が緩やかで凍土造成が可能であり、凍土造成・維持・解凍期間において周辺地盤・近接埋設物・近接地上構造物への影響がないこと。
- アーチ構造体の構築精度として、直線パイプルーフの掘進精度を上下左右30mmで管理できること。
- 直線パイプルーフ工の工程短縮のために、施工性に優れ、凍結工法と併用可能なパイプルーフ鋼管継手を開発すること。
- アーチモルタルをパイプ間の狭隘な空間（想定される最小隙間は40mm程度）に密実に充填するため、凍土および土砂を効率良く除去し、鋼管側面を洗浄する方法を確立すること。
- アーチモルタルは止水凍土造成後に充填するため、

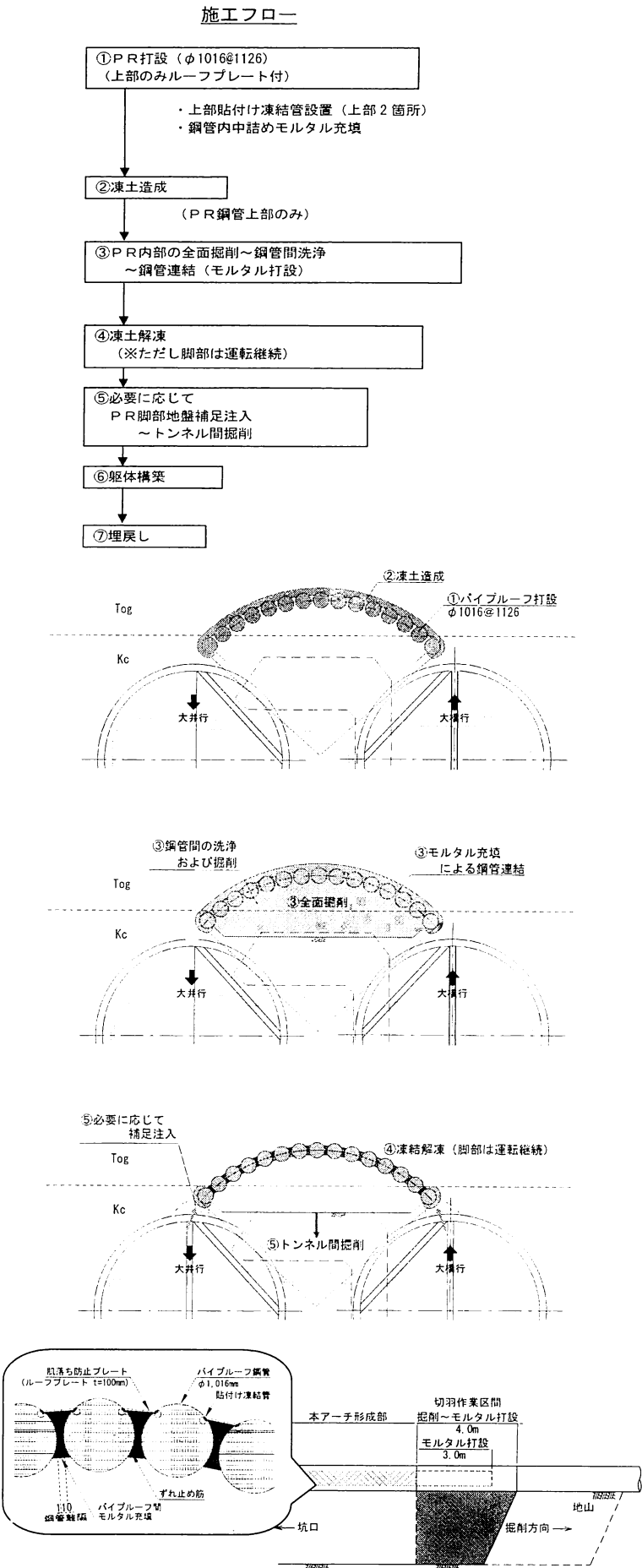


図-3 施工イメージ（フロー、鋼管間拡大図）

パイプルーフ下部の掘削およびアーチモルタル打設工の施工サイクルを確保しつつ所定の設計強度が得られ、施工性に優れた材料を選定し、品質管理方法を確立すること。

図-4に五反田出入口工事への適用イメージを示す。

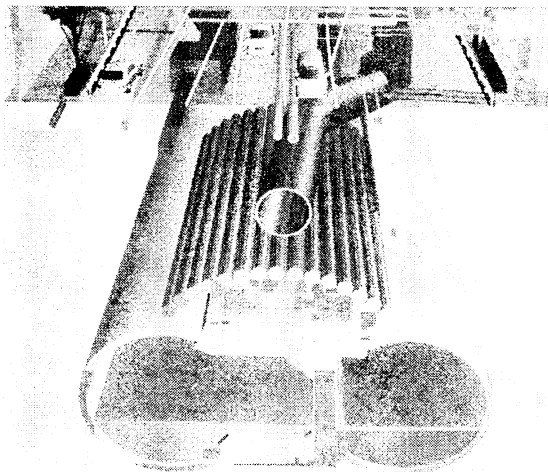


図-4 五反田出入口工事への適用イメージ

3. 構造設計概要

(1) アーチ構造体横断面方向の検討

アーチ構造体は、図-5に示す2次元フレームモデル（脚部は地盤ばねで支持）にて部材照査を行った。作用荷重は水圧、鉛直土圧（全土被り荷重）、水平土圧および自重であり、アーチ構造体の部材剛性はアーチモルタ

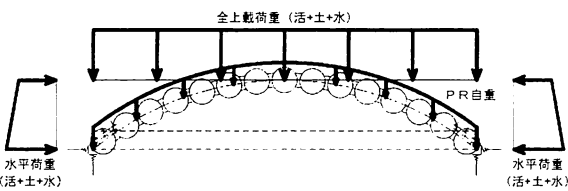


図-5 2次元フレームモデル

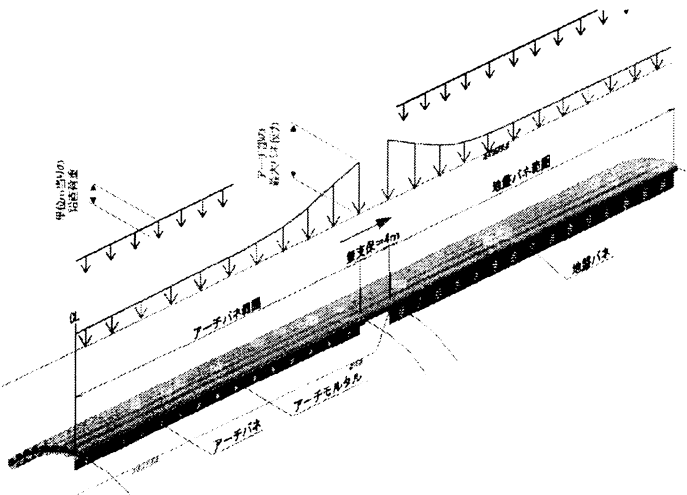


図-6 縦断方向の施工手順を考慮した作用荷重評価

ルの設計有効厚さ550mmとして評価する。アーチ構造体に作用する荷重については、図-6に示すとおり、縦断方向の施工手順を考慮した縦断方向解析で算出される最大荷重および一般部作用荷重の2ケースについて照査した。なお、横断方向の設計モデルにおいてアーチ上部の止水凍土の剛性および強度は考慮していない。

表-1に横断方向の設計ケースを示す。構造体の安定および部材安全性の検討については、アーチ脚部地盤の剛性（地盤ばね）、作用荷重のアンバランス（偏圧作用）などに着目し、4ケース（ケース1：基本設計ケース、ケース2：土圧が作用しない場合、ケース3：脚部地盤の緩みを考慮して地盤ばね値を1/2、ケース4：水平震度 $K_h=0.2$ 相当の地震発生を考慮）を実施した。各ケースともアーチモルタルの圧縮、せん断、脚部支持力は全て許容値内であり、全圧縮状態であることを確認した。最大たわみは11mmであった。

表-1 横断方向設計ケース

CASE	作用荷重	脚部地盤の剛性評価	設計結果の概要	備考
ケース1 (基本ケース)	水圧：地下水頭圧 鉛直土圧：全土被り圧 水平土圧：側方土圧	脚部地盤の「設計地盤ばね値」による支持	アーチモルタルの圧縮・せん断、脚部支持力は許容値内（最大たわみ9mm、全圧縮）	基本設計ケース
ケース2	水圧：地下水頭圧 鉛直土圧：なし 水平土圧：なし	脚部地盤の「設計地盤ばね値」による支持	アーチモルタルの圧縮・せん断、脚部支持力は許容値内（最大たわみ9mm、全圧縮）	土圧が作用しない場合を想定したケース
ケース3	水圧：地下水頭圧 鉛直土圧：全土被り圧 水平土圧：側方土圧	脚部地盤の「設計地盤ばね値の1/2」による支持	アーチモルタルの圧縮・せん断、脚部支持力は許容値内（最大たわみ11mm、全圧縮）	脚部地盤の緩みを考慮して地盤ばね値を1/2としたケース
ケース4	水圧：地下水頭圧 鉛直土圧：全土被り圧 水平土圧：側方土圧 (水平土圧を片側2割増・片側2割減とした偏圧考慮)	脚部地盤の「設計地盤ばね値」による支持	アーチモルタルの圧縮・せん断、脚部支持力は許容値内（最大たわみ9mm、全圧縮）	水平震度 $K_h=0.2$ 相当の地震発生を考慮

(2) アーチ構造体縦断方向の検討

アーチ構造体は、図-7に示すとおり縦断方向3.0m毎に、無支保で掘削・アーチモルタル充填を順次繰り返して形成する。縦断方向の設計ではパイプルーフ鋼管をアーチ構造ばね（アーチ構造体完成区間）および地盤

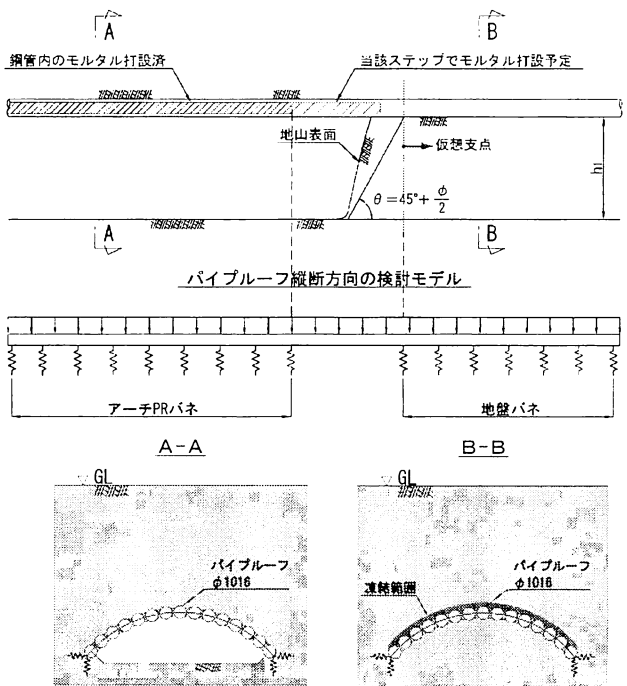


図-7 縦断方向の設計モデル図

ばね（未掘削区間）で支持された「弾性床土上の梁」としてモデル化し、施工ステップを考慮して検討した。縦断方向の検討では安全側に、アーチ上部の止水凍土および鋼管内部の充填モルタルは無視し、パイプルーフ鋼管のみで応力の照査を行った。たわみ量については鋼管内部の充填モルタルを考慮した。「標準掘削スパン3.0m」時のパイプルーフ無支保区間長は4.0mとしているが、パイプルーフ支持地盤の緩みを考慮して無支保区間長5.0mとして部材照査を実施し安全性を確認した。

4. アーチ工法実証実験概要

(1) パイプルーフ掘進機先端位置予測精度確認試験

パイプルーフアーチ工法によるパイプルーフの掘進施工では、隣接する鋼管を一定間隔に保ち、アーチ構造体が成立する形状とする必要があり、従来工法よりも高精度の掘進管理が求められる。一般的に、パイプルーフの施工に用いられる測量システムは、レーザートランジットをたて坑に設置し、掘進機ターゲットにレーザを照射することで計画線に対する掘進機位置の把握を行っている。しかし、この方法では掘進機の後方部に設置したターゲット位置における計画線との相違しか検出することができないため、鋼管推進の精度を上下左右それぞれ30mm以内で施工することは、困難と考えられる。

そこで、パイプルーフアーチ工法では、実機試験により計測精度を確認した上で、小口径長距離曲線推進のジャット工法に適用されているCCDカメラによる掘進精度管理システムを採用した。当該システムでは、掘進機の後続する管に、CCDカメラを備えた中継ユニットを複数設置し、施工に伴って変化する掘進機の姿勢位置変化を3次元の位置座標として認識することができる。また、掘進機の姿勢を演算処理することによって掘進機先端位置における計測線との離隔を算出することが可能である。

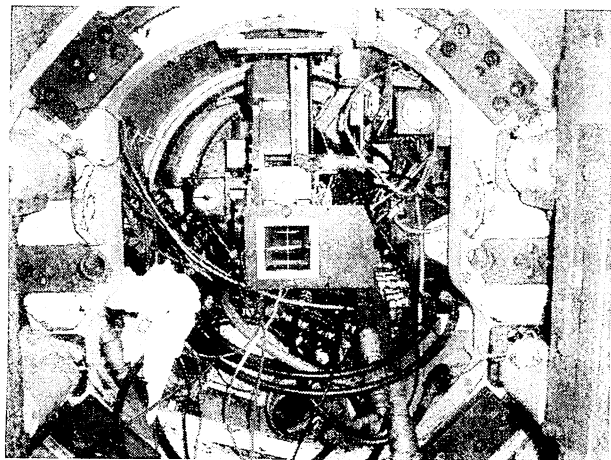


写真-1 実機試験時の CCD カメラ取り付け状況

CCDカメラによる掘進機先端位置予測精度を確認するため、実機試験を行った。写真-1は実機試験時のCCDカメラ取り付け状況である。10mm以内の精度で掘進機先端位置を予測できることを確認した。

(2) 新しいパイプルーフ鋼管継手の性能確認試験

パイプルーフアーチ工法では、凍結工法との併用が可能であり、施工時間を短縮できる継手構造の開発が望まれた。そこで、止水機能付きピン継手を新たに開発し、継手曲げ試験、組立性・止水性確認試験を行って採用した。図-8に止水機能付きピン構造を示す。

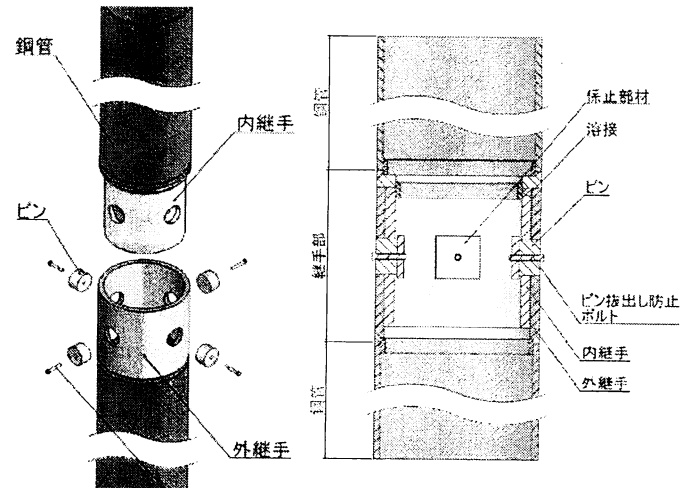


図-8 止水機能付きピン構造

(3) アーチモルタル打設工施工試験

パイプルーフアーチ工法では、アーチ構造を形成する上においてアーチモルタルの品質を確保することが重要である。アーチモルタルの品質確保に当たっては、パイプルーフ下部の掘削後にパイプ間に残った土砂および凍土を残さず除去し、 -10°C 程度に冷却されている鋼管間に充填された無収縮モルタルが所定の設計強度を所定の施工サイクル内で発現することである。実物大供試体による施工試験の結果、1スパン3m当たりのサイクル工程において、パイプ間の土砂・凍土の除去洗浄に約1日、無収縮モルタルは材齢1日で所定の設計強度を満足できる材料選定が可能であることが確認できた。

5. おわりに

追加ボーリング等各種調査により地盤・地下水条件の詳細を明らかにし、工事対象箇所での適用性、構造成立性などの各種課題の解決のために解析および実証実験を行った結果、五反田出入口工事に全面採用することとした。

THE UNDERPINNING TEMPORARY STRUCTURES DESIGN OF GOTANDA ENTRANCE/EXIT IN CENTRAL CIRCULAR SHINAGAWA ROUTE

Syuichi HIRANO, Hisanori MATUZAKI, Kumiko SUDA,
and Masayoshi NAKAGAWA

The Gotanda on/off ramp structure of the Central Circular Shinagawa Route, Tokyo Metropolitan Expressway Ltd., Tokyo Japan is under construction. Most of the reinforced concrete structure of the Gotanda on/off ramp is constructed by the open cut method from the surface. Due to traffic restrictions, however, open cut methods are not applicable to three major intersections of the surface road. To solve this issue, a newly developed arch-shaped steel pipe roof along with soil freezing method is applied. This paper introduces the structural design evaluations including FE analysis of the arch-shaped steel pipe roof, and studies of constructability including an alignment control of the arch-shaped steel pipe roof.