

設備用ずい道の設置に伴う鉄道用推進管の適用に向けた設計および施工

越前 沙紀¹・岡ノ谷 圭亮²・橋口 弘明³・大塚 努⁴

¹ 非会員 東京地下鉄株式会社 改良建設部 (〒110-8614 東京都台東区東上野三丁目 19-6)
E-mail: s.echizen.b4w@tokyometro.jp

² 正会員 東京地下鉄株式会社 改良建設部 (〒110-8614 東京都台東区東上野三丁目 19-6)
E-mail: k.okanoya.y7b@tokyometro.jp

³ 非会員 東京地下鉄株式会社 改良建設部 (〒110-8614 東京都台東区東上野三丁目 19-6)
E-mail: h.hashiguchi@tokyometro.jp

⁴ 正会員 東京地下鉄株式会社 改良建設部 (〒110-8614 東京都台東区東上野三丁目 19-6)
E-mail: tsu.ootsuka@tokyometro.jp

トンネル換気の吸排気口や変電施設と鉄道本線トンネルを結ぶ設備用ずい道は、旅客が供用する構造物ではないため幅員や内空高さといった制約がなく断面形状の自由度が高い。本工事における設備用ずい道の築造は、設置位置やずい道周囲の既設地下埋設物の状況から非開削工法によることとし、設備用ずい道の施工延長や工事費用を考慮して推進工法を採用した。推進工法で使用する推進管は、「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」に適合しなければならず、標準規格の推進管の形状および寸法等を考慮しながら省令に適合する鉄道用推進管を設計し、現場施工に適用した。

Key Words: tunnel, railroad, subway, trenchless method, pipe jacking method, jacking pipe

1. はじめに

現在、東京メトロでは、銀座線の輸送改善施策の一環として、朝ラッシュピーク時に上野駅～浅草駅間の列車増発および遅延防止を図るため、浅草駅において折返し線の延伸工事を行っている。

新設折返し線整備に伴い、二つの鉄道施設の整備が必要となる。

一つ目はトンネル延長が伸びることによって必要となるトンネル内の排煙および列車の空調排熱のための換気設備の整備（換気塔、換気設備）である。

二つ目は変電所の新設である。変電所の新設により、折返し線の列車運行に必要な電力を確保することが可能となる。

本報告は、新たに整備する換気棟および変電所と折返し線を結ぶ排煙・換気ダクト、電力ケーブルおよび維持管理空間として必要である設備用ずい道について、鉄道用推進管の適用に関する設計および施工について述べる。

2. 工事概要

折返し線の延伸工事および設備用ずい道設置工事の施工位置は図-1 に示すとおりである。浅草駅の既存折返し線の奥に折返し線約 205m 延伸・新設するとともに、施設工事で施工中の換気棟を含む新設建物と変電所建物を接続する設備用ずい道 4 本を築造する（図-2 (a) 平面図）。

設備用ずい道の施工方法は、設置位置や周辺条件を考慮して選定することになるが、地下埋設物が輻輳している場合、路面交通や騒音・振動による周辺環境への配慮

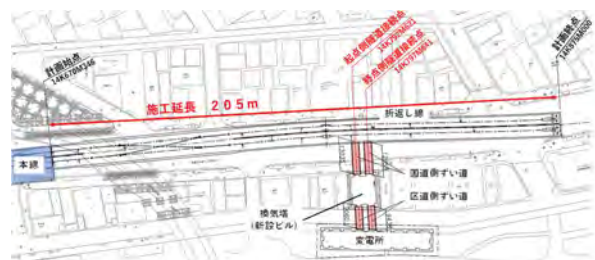
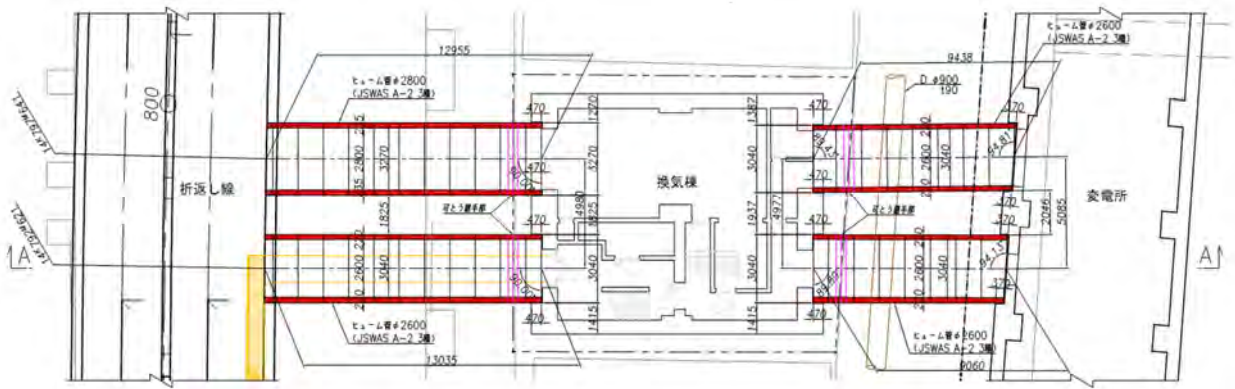
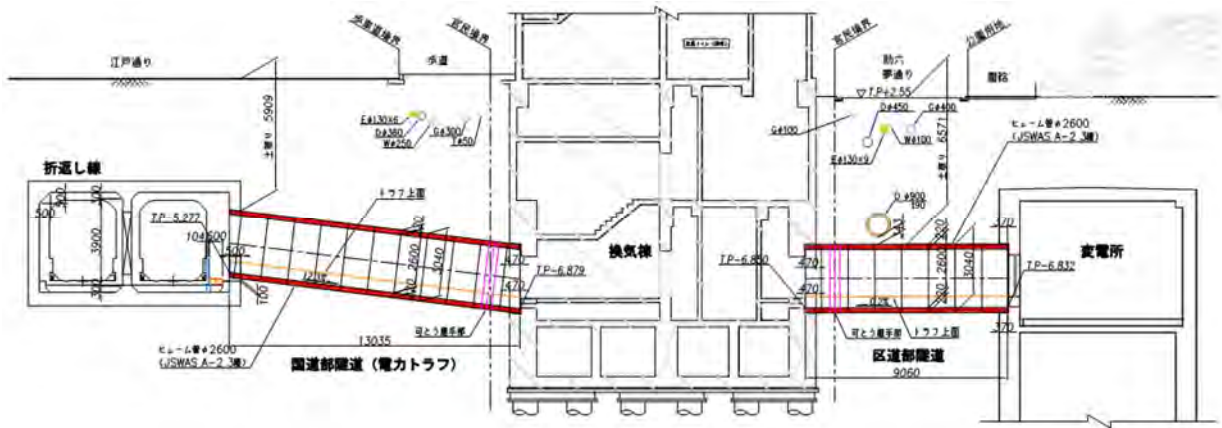


図-1 銀座線浅草駅折返し線延伸工事平面図



(a) 平面図



(b) A-A 断面図

図-2 設備用ずい道工事平面・断面図

が必要な場合等には非開削工法を適用することとなる。

本工事は図-2 (b) A-A 断面図に示すとおり、特に区道部ずい道の設置位置直上に水道管・ガス管・下水管等の地下埋設物が輻輳していた。そのため、本工事の施工では非開削工法を適用することとし、その中でも経済性および施工性の観点から刃口式推進工法を適用することとした。

3. 鉄道用推進管

(1) 設備用ずい道に適用する推進管の形状

設備用ずい道の形状は、図-3 に示すとおり円形とし、関係各所と必要な空間について調整を行い乗務員通路および電気ケーブル等配線用のトンネル（内径φ2600）、およびトンネル内換気用のトンネル（内径φ2800）とした。

(2) 推進管の鉄道施設への適用に向けた課題

一般に、推進管を経済的に施工する場合には、既製品

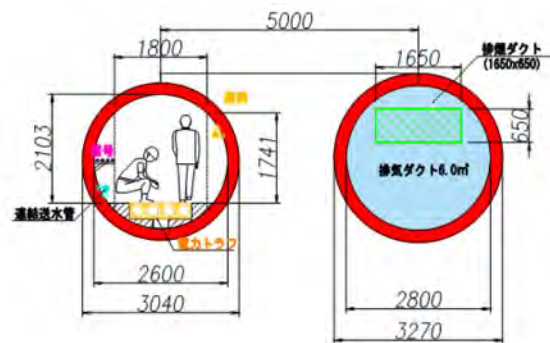


図-3 設備用ずい道横断面図

としての推進管を選定し、それに定められた施工機械を使用する。しかし、既製品の推進管は、設計条件や性能に関する情報が、「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」を確認できるものとして開発されているとは限らないため、十分な性能の確認が行えないことが課題となった。そこで今回は、既製品の推進管のサイズであるφ2600およびφ2800を選定し、それに対応した刃口推進機を適用するため、φ2600およびφ2800の既製の推進管に対して、鉄道基準による照査を実施し、鉄道用推進管

(以下推進管とする)として適用するものとした。なお、本稿ではφ2800の推進管の照査結果について述べる。

(3) 鉄道用推進管の設計

a) 常時設計

設計断面は、対象区間のうち最も深度が深い換気塔接続部に設定する。図-4に土質条件および推進管の計算断面を示す。鉄道用推進管は、図-4に示すとおり埋土と礫層の間に位置していることが分かる。

推進管は横断方向に継手を設けない1リングで構成される形状であることから、剛性一様の円環モデルとした。

推進管に発生する断面力は、自重による発生断面力と外荷重作用時の発生断面力を足し合わせることで評価する。外荷重に対しては、地盤ばねで推進管を支持するが、自重計算時は、推進管の築造方法を鑑みて、自重相当の反力で支持することを想定する。図-5に自重計算時および外荷重計算時の作用荷重と支持条件を示す。

応力度照査は許容応力度法により実施し、発生応力度が許容応力度以下であることを確認する。

使用材料とその許容応力度については表-1に示す。

ヤング係数は鉄筋コンクリート系セグメントに準じ、 $f'_{ck}=50.0 \text{ N/mm}^2$ の値を補間計算した 40.3 kN/mm^2 とした。

推進管の断面諸元は、部材厚 h を既製品と同じ 0.235 m 、部材幅 b は単位幅(奥行き 1.0 m あたり)とする。

構造解析から得られた変位図および断面力図を図-6に示す。なお、実際の奥行きは 1.2 m であるため、計算結果から得られた断面力を 1.2 倍としたものを設計用値として表-2に示す。照査断面の配筋については、図-7に示すとおりとして応力度照査を行う。

応力度照査の結果を表-3に示す。応力度照査の結果から、コンクリート圧縮応力度、鉄筋引張応力度、鉄筋圧縮応力度およびコンクリートせん断応力度が各許容応力度より小さくなることを確認し、推進管の性能が鉄道の設計基準を満たすことを確認した。^{1), 2)}

b) 耐震設計

推進管の耐震設計については、L1地震動およびL2地震動において断面力照査を行い、鉄道の設計基準を満たすことを確認した。

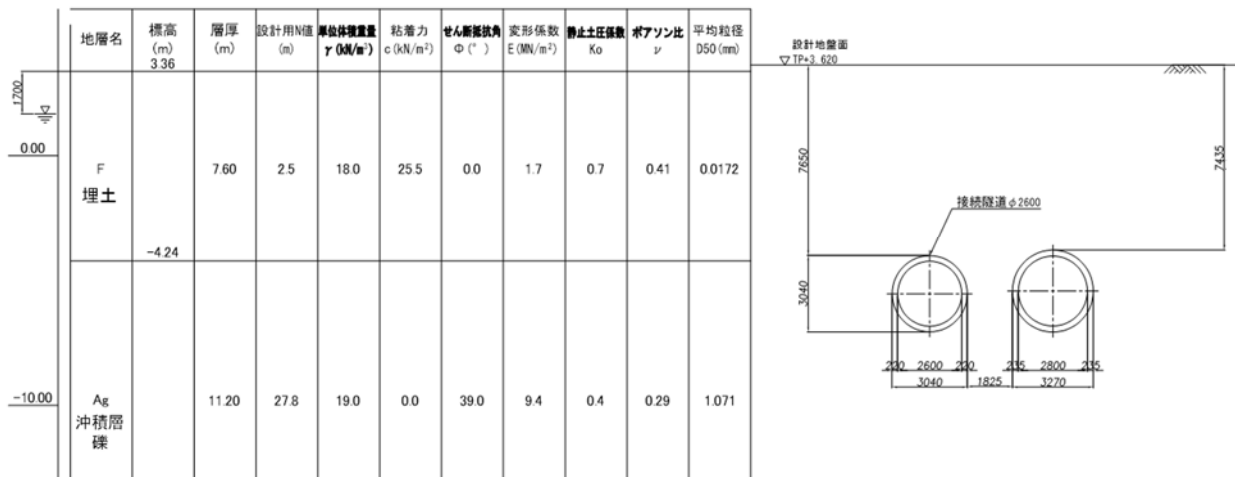


図-4 土質条件および円形ずい道の設計断面

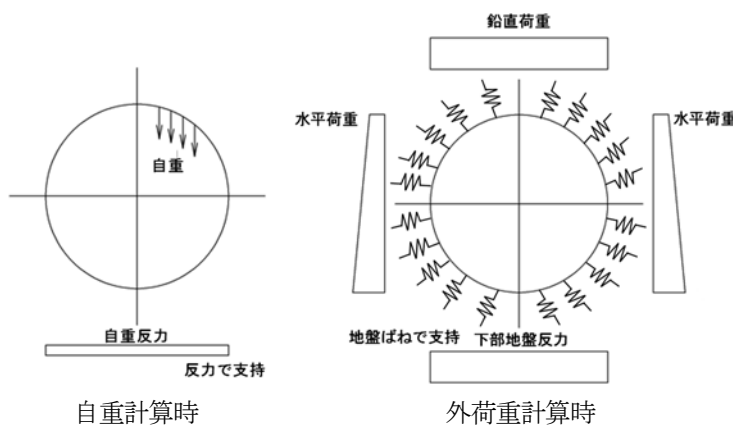


図-5 作用荷重および支持条件

表-1 使用材料と応力度

コンクリート	設計基準強度 f'_{ck}	50.0 (N/mm ²)
	曲げ圧縮応力度 σ_{ca} ^{※1}	18.7 (N/mm ²)
	せん断応力度 τ_a ^{※2}	0.71 (N/mm ²)
鉄筋 (SD345)	許容応力度 σ_{sa}	200.0 (N/mm ²)

※1 $f'_{ck}=50.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ の値を補間計算

※2 有効高および引張鉄筋比による補正

(4) 性能試験

今回設計を行った鉄道用推進管の適用にあたっては、東京メトロの規程で定められている性能であることを確認するために、試作品検査を行った。試験は、(3)で確認した断面条件の推進管を実際に試作して実施した。

a) 形状・寸法・外観検査

製作した推進管が所定の形状および寸法であるか、また有害なひび割れ・欠けの有無を確認した。

b) 外圧強さ試験

図-8 に示す外圧強さ試験は、推進管に荷重を載荷し、

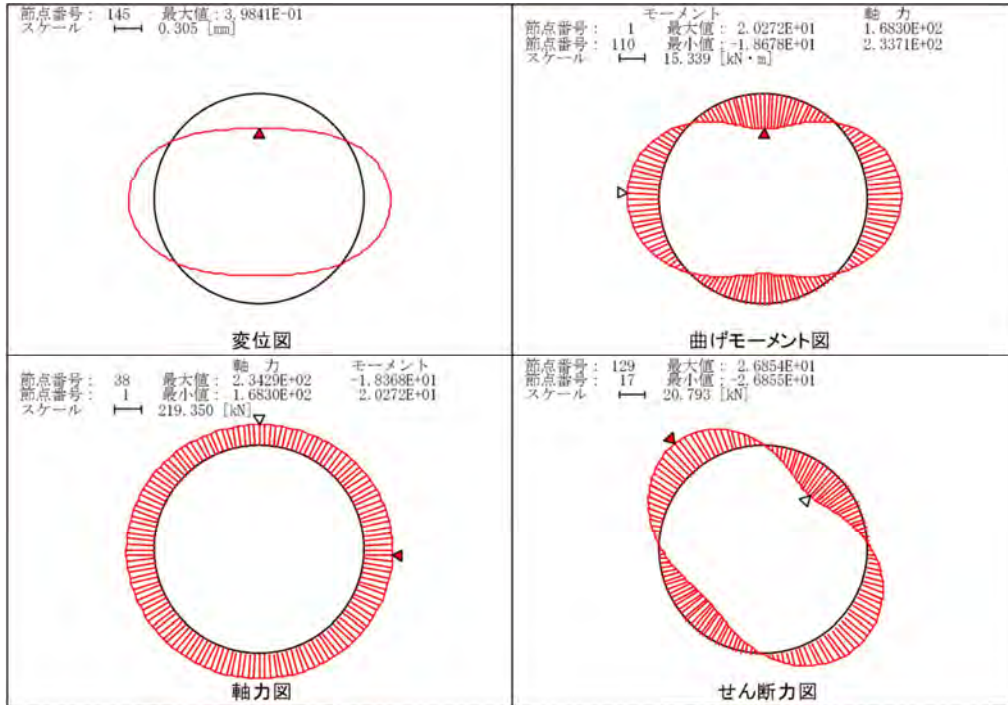


図-6 断面力図一覧

表-2 設計断面力

項目		計算値	設計用値
Mmax	M (kN・m)	20.27	24.33
	N (kN)	168.30	201.96
Mmin	M (kN・m)	-18.68	-22.41
	N (kN)	233.71	280.45
Smax	S (kN)	26.85	32.22

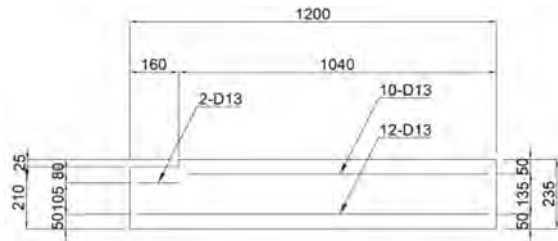


図-7 照査断面配筋図

表-3 応力度照査結果一覧

項目			照査値	許容値	判定	
Mmax	断面力	曲げモーメントM	M (kN・m)	24.33	—	—
		軸力N	N (kN)	201.96	—	—
	応力度	コンクリート圧縮応力度	σ_c (N/mm ²)	3.57	18.7	OK
		鉄筋引張応力度	σ_s (N/mm ²)	37.81	200.0	OK
Mmin	断面力	曲げモーメントM	M (kN・m)	-22.41	—	—
		軸力N	N (kN)	280.45	—	—
	応力度	コンクリート圧縮応力度	σ_c (N/mm ²)	3.10	18.7	OK
		鉄筋引張応力度	σ_s (N/mm ²)	15.88	200.0	OK
Smax	断面力	せん断力	S (kN)	32.22	—	—
	応力度	コンクリートせん断応力度	τ (N/mm ²)	0.19	0.67	OK

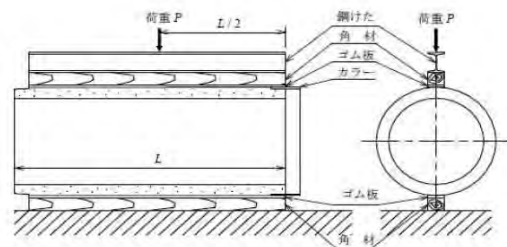


図-8 外圧強さ試験方法

外圧（曲げ）に対する強度を確認する。なお、外圧強さ試験における載荷荷重は、設計最大曲げモーメント相当を試験装置の1点載荷で発生させることを考慮して50kNと設定した。また、計測項目は図-9に示すとおり、推進管内外面のコンクリート表面ひずみ（頂部が載荷位置になることから頂部より10度ずらした位置の内外面と頂部内面）、推進管の鉛直および水平変位とし、5kNごとに50kNまで測定した。外圧強さ試験状況を写真-1に示す。

c) 試験結果

形状・寸法・外観検査では、製作した推進管が所定の形状および寸法であること、また、ひび割れ・欠け等がなく良好であることを確認した。

外圧強さ試験では、載荷中のひび割れ発生等の異常もなく試験を終了した。ここで、図-10に頂部よりずらした位置のコンクリートひずみ測定結果を示す。外面側の平均ひずみと内面側の平均ひずみの絶対値はほぼ同等で弾性挙動を示していることを確認した。なお、設計最大曲げモーメント相当載荷時のひずみの値は、3章(3)における断面力から理論的に求めたひずみとほぼ同等の値を示していることも確認した。

4. 実施工

(1) 刃口推進工法

刃口推進工法は、切羽が安定した地盤で推進管の先端に刃口を装備し先導体として用い、立坑に設置した元押しジャッキの推進力により推進管を圧入する工法である。本工法は切羽が全面開放されているため、地盤の自立が必要条件となるが、本工事の地盤には崩壊性地盤（砂礫層等）や地下水を含む地盤が含まれていた。そのため、地山の地盤強化と推進施工時の止水を目的として高圧噴射攪拌工法（SUPERJET工法）による地盤改良を実施し、刃口の安定を図った（写真-2）。

推進方向は、折返し線掘削坑内から新設ビルに到達する方向とした。推進工にあたっては、内径2,600mmおよび内径2,800mmの推進管を各1本ずつ刃口推進工法で押し込んだ。掘削残土は切羽よりベルトコンベアにて後方の推進管内に輸送し人力および機械掘削で切り崩し、折返し線掘削坑内より地上に搬出した。

(2) 推進設備工

刃口推進工法においては、推進反力を確実に立坑背面の地山に伝えるため、管の推進方向に直角でかつ平面となるように鋼材で推進架台（バックロック）を設置する（写真-3）。推進架台を設置したのち、推進機械の設置を行う。推進機械については150t×3000mmストローク

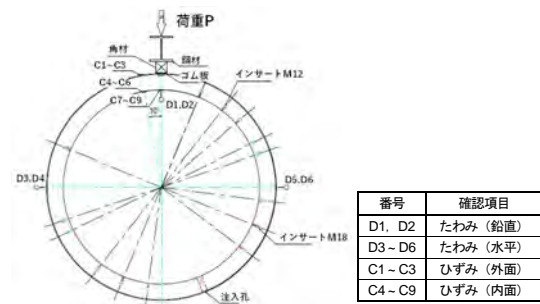


図-9 ひずみおよびたわみ測定位置



写真-1 外圧強さ試験状況

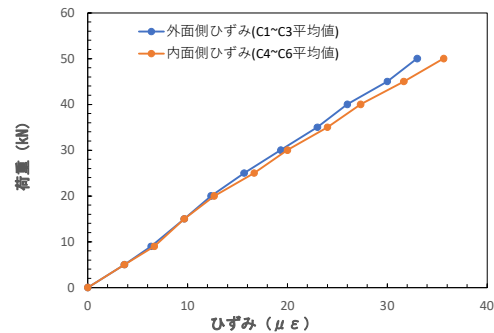


図-10 荷重-ひずみ関係



写真-2 推進状況

の油圧ジャッキを4基用いた（図-11）。

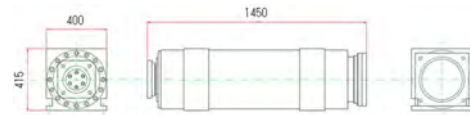
ジャッキ推力の算定については、推力が管の許容耐力以下であることを確認した。

(3) 施工結果

φ2600およびφ2800の推進管について、推進管の現場搬入から推進完了までの施工期間はどちらも約1か月程度であった。施工は地表面および隣接構造物の異常の有無を確認しながら行い、異常無く推進工事を終えることができた（写真-4、5）。



写真-3 推進架台



規格	長さ(mm)	標準圧力(Mpa)	標準油量(ℓ)	重量(kg)
150×3脚-3000ps†	1450	46.5	100	1200

図-11 油圧ジャッキ諸元

5. まとめ

設備用ずい道の現場条件から非開削工法となるため、推進管構造とした。今回設計した推進管は、構造解析および性能試験より鉄道に関する技術基準を満たすことを確認し、鉄道用推進管として使用することが可能となった。

最後に、本稿が鉄道施設に関する非開削工事の計画、設計および施工の参考となれば幸いである。



写真-4 路上作業状況

参考文献

- 1) 鉄道に関する技術上の基準を定める省令，平成13年国土交通省令第151号
- 2) 鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準，平成14年国鉄技第157号



写真-5 推進管設置完了

DESIGN FOR THE APPLICATION OF A JACKING PIPE FOR RAILWAY EQUIPMENT TUNNEL AND ACTUAL CONSTRUCTION WORK

Saki ECHIZEN, Keisuke OKANOYA, Hiroaki HASHIGUCHI and Tsutomu OTSUKA

The tunnel for equipment connecting tunnel ventilation and substation facilities to the main railroad line tunnel is not a structure used by passengers, so there are no restrictions in terms of width or internal height, and the cross-sectional shape has a high degree of freedom. The construction of the equipment tunnel was decided by the non-excavation method due to the location of the tunnel and the existing underground structures around the tunnel, and the pipe jacking method was adopted in consideration of the construction length of the equipment tunnel and the construction cost. The jacking pipes used in the pipe jacking method must conform to the "Ministerial Ordinance on Technical Standards for Railways," and we designed jacking pipes for railroads that conform to the Ministerial Ordinance, taking into consideration the shape and dimensions of standard jacking pipes, and applied them to on-site construction.