

近接した2トンネル坑口部の設計と 施工について

高野 正光^{1*}・田村 勝博¹・吉田 敦²

¹正会員 東海旅客鉄道株式会社 建設工事事務局東京建設部（〒108-8204 東京都港区港南二丁目1番地85号）
*E-mail:m-takano@jr-central.co.jp

²正会員 大成建設株式会社 東京支店土木第三部（〒163-6008 東京都新宿区西新宿六丁目8番1号）

JR東海においてNATMによるトンネル掘削が進行している中，坑口部で2本の近接したトンネルの計画で中壁を有する構造を採用した．近接トンネルの施工に中壁を伴う事例は多数あるが，その多くは両側に本体構造物を伴う仮設物として機能するものである．本事例では，仮設物として施工されることの多い坑口部の中壁を本体利用していることから，その設計と施工について報告する．

Key Words : double-arch section, pilot tunnel, center pillar, AGF, FIT

1. 工事概要

JR東海において計画している延長約4kmのトンネルのうち，西側から掘削するトンネルは，約2,900mと約700mの2本になっている．

掘削はNATM工法により進めているが，土被りの小さい坑口部においてはこの2本のトンネルが計画線形上近接しており，さらに上部に公道（新旧県道）が交差しているため，施工にあたってはいくつかの検討を必要としてきた．ここでは，多くの事例で仮設構造物として採用されることの多い中柱を本体構造物として採用したこと，ならびに，その中柱の施工について報告する．

2. 坑口部トンネル構造

本トンネルの坑口部は，用地上の問題から2本のトンネルの離隔が坑口部で最小約600mmと非常に近接しているため，両トンネルの側壁部を支柱構造として共用させるめがねトンネルとして計画された（図-1参照）．

坑口部直上では，土被り約2mで一般道と交差していることから，坑口工の範囲を坑門から一般道を越える15mとし，中央導坑掘削および支柱構築を行った．両トンネルは，坑口から徐々に離れる線形を取るため，支柱の形状は15m奥で約2,400mmまで広がる形状となる．

3. 坑口部の設計

施工に先立ち，坑口構造を梁ばねにてモデル化し，限界状態設計法により構造を決定した．

断面力算定モデルには，はり-全周ばねモデルを使用し，地盤ばねは側壁部45°範囲を含めて設定した¹⁾．検討断面は，坑口部，支柱中央部（TD=7.5m），最奥部（TD=15m）の3断面とした．

設計荷重は図-2の通りである．

4. 施工実績

坑口部の施工フローを図-3に示す．両トンネルが共用する中央支柱構築後，本坑掘削を行った．

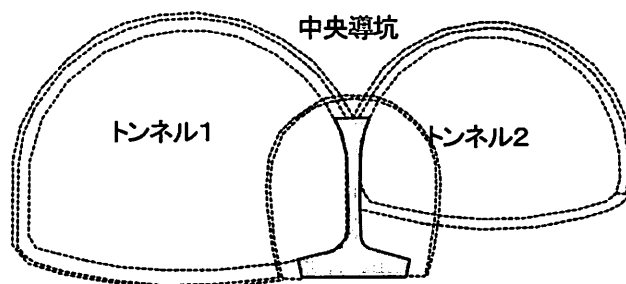


図-1 トンネル坑口部概略図

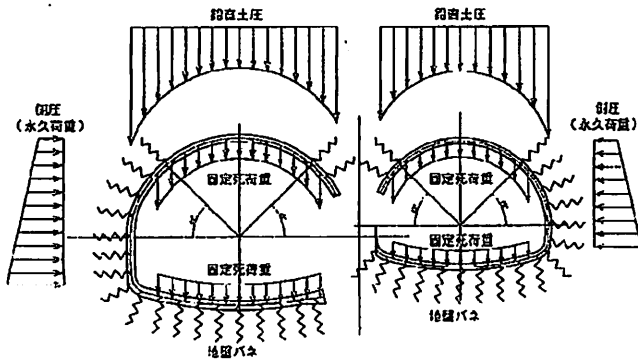


図-2 設計モデルイメージ図



図-3 施工手順

(1) 切土工

中央導坑坑口付に先立ち、斜面の切取りを行った。掘削箇所の地質は、未固結な崖錘堆積物および軟岩であり、掘削には0.7m³級バックホウと油圧式ブレーカを用い、H=約1.5mごとに吹付け (t=10cm, 金網入) およびロックボルトを施工し、トンネル施工基盤まで切下げた。

(2) 中央導坑掘削

中央支柱を構築する15m区間は中央導坑を掘削した。掘削対象地山が強風化した安山岩であることから、注入式フォアポーリングによる先受工を行い、13 t級ブレーカにより上半先進で掘削した (図-4、写真-1 参照)。なお、本坑幅を考慮し、GFRPロックボルトを使用した。

(3) 中央支柱構築

中央導坑掘削後、施工基面を整形して岩着にて均しコンクリートを打設し、内部に中央支柱を構築した。中央支柱は、隣接した2本のトンネルの覆工内空 (半径), および掘削基準高が異なる為、左右対称とはならず、また両トンネルが奥に行くに従い離れる線形を取ることから、徐々に広がる形状となる (図-5 参照)。

施工はL=15mを7.5mずつの2スパンとし、側壁と曲線部からなる壁部とベース部の上下2分割とし、計4ブロックに分けて施工した。まず、ベース部を2スパン構築後、

壁部の施工を行った。壁部の型枠には、専用のスチールフォームを使用した。このスチールフォームは導坑天端部に取付けたレールに沿って移動できる構造となっており、2スパン目打設時には所定の位置までスライドさせて使用した。

本坑の覆工コンクリートおよびインバートの鉄筋と、支柱天端部およびベース端部の鉄筋の継手には、機械式継手を使用した。

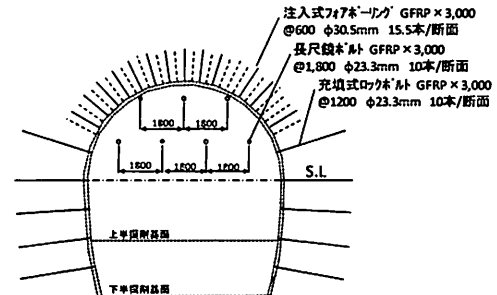


図-4 中央導坑掘削における補助工法

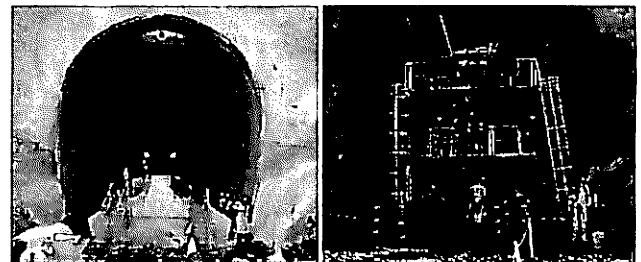


写真-1 中央導坑施工状況

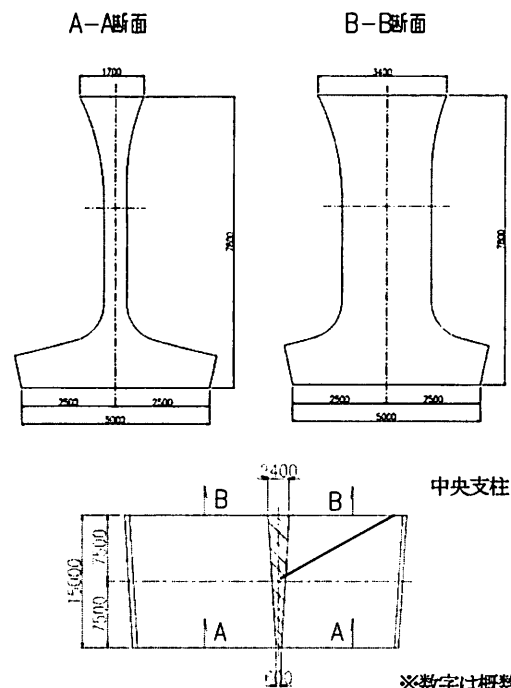


図-5 中央支柱形状

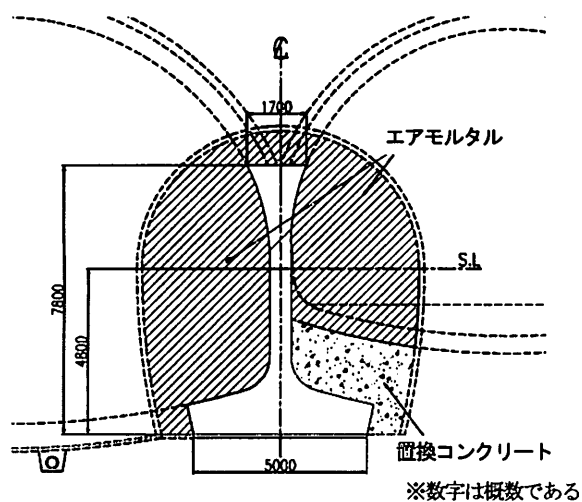


図-6 中央導坑埋め戻し状況

(4) 中央支柱埋戻し

中央支柱構築後、本坑掘削時の支柱の変位抑制および掘削時の接触等からの防護を目的として、導坑内の埋戻しを行った。埋戻しには、トンネルのインバート下になる箇所は置換コンクリートを、その他の部分は本坑掘削時に撤去が容易となるようエアモルタルを使用した（図-6参照）。

エアモルタル製造手順として、まず生コン工場で混練りしたモルタルをアジテータ車で現場搬入し、気泡発生装置で発生させた気泡をアジテータ内に計量投入・混練して製造した。品質管理項目は、空気量、圧縮強度、湿潤密度試験、フロー値であり、希釈した起泡材の発砲倍率が25倍程度になるように調整して使用した。

エアモルタルは高さ約2mずつ、坑口部に足場、桟型枠を組立ながら5層に分けてスクイーズポンプ車にて圧送した。なお、埋め戻す前に、エアモルタルと接する部分の中央支柱表面を保護シートで養生を行った。

(5) 坑口掘削補助工

本坑掘削に先立ち、坑口直上の地表面沈下を抑制するために、天端部120°範囲に対し、注入式長尺先受工法（AGF工法）および長尺鏡ボルト（FIT工法）による補強を行った（図-7参照）。施工延長は、事前に実施されたボーリングデータを基に、崖錘から軟岩へ移行する岩線を予測し、鋼管先端部が軟岩部へ確実に到達する、 $L=9\sim 19\text{m}$ とした。注入材には、セメント系より岩塊間を結合させる接着力が大きく、靱性にも優れており、坑口部での採用実績も多いシリカレジンをとした。風化岩を対象としていることから、目標注入量を 10.0kg/m とし、初期圧 $+2.5\text{MPa}$ まで昇圧した場合は次孔へ移行することとした²⁾。

(6) 本坑掘削

当初、トンネルは坑口から終点方向へ掘削する計画であった。しかし、坑口近傍に民家が点在しており、環境への配慮から坑口付近では発破工法が使えないことから、両トンネルともに坑口からの掘削は機械掘削可能な約20m範囲とし、以奥は坑口から約200mで本坑上へ取付く横坑から坑口方向へ掘削することとした。

坑口部で計画されている他構造物施工との兼ね合いにより、断面の大きいトンネル1を先行坑として掘削した。掘削には、13t級ブレイカを使用し、上記近隣への影響を配慮し、H形鋼、キーストンプレート、吹付けコンクリートよりなる防音ドームを坑口部に組立て、その中で掘削を行った（写真-2参照）。

掘削手順は、まず通常通り1掘進長分掘削を行い、一次吹付け、鏡吹付けにより切羽の安定性を確保させ、次に掘削断面内に出現した中央導坑の鋼製支保工を切断、撤去し、バックホウおよび人力にてピラー周辺のエアモルタルを取り除いてピラー上部を露出させ、その上に鋼製支保工を設置した。なお、支柱側壁部については掘削時の飛石等から防護するため、極力エアモルタルは残置することとし、掘削最終段階で取り除くこととした（写真-3参照）。

一般道直下を低土被りにて通過することから、掘削に際しては地表面の目視観察、沈下量測定等、細心の注意を払った。掘削中は吹付け作業を常時行えるよう、吹付け機、生コン車を現場に配置し、ブレイカのノミ先が触れるだけで崩れるような脆弱な箇所においては、ブレイカと吹付け機を切羽に並べ、吹付け作業を同時に行いながらの掘削した。上述した掘削補助工の補強範囲を過ぎたTD=20m地点において、 2m^3 程度の天端付近の小崩落が生じたものの、掘削補助工法および早期の普請の効果により、天端沈下量は最大22mmに収まり（図-8参照）、道路上にはクラック等の異常は観察されず、無事掘削を終えることができた。

5. おわりに

土被り2m以下という非常に厳しい条件の中で、離隔1

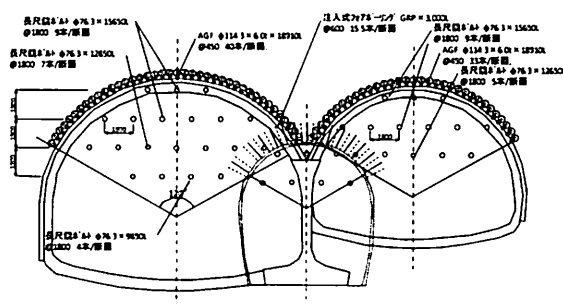


図-7 本坑掘削における補助工法

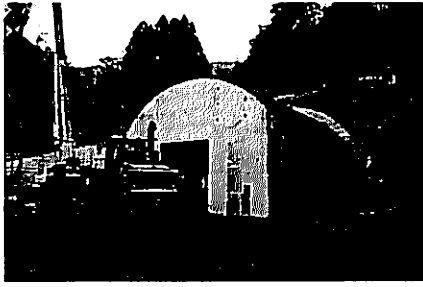


写真-2 坑口部防音ドーム

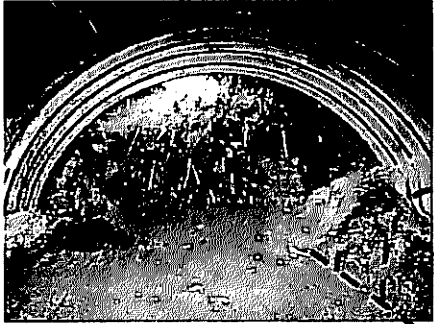


写真-3 本坑掘削状況

中央導坑

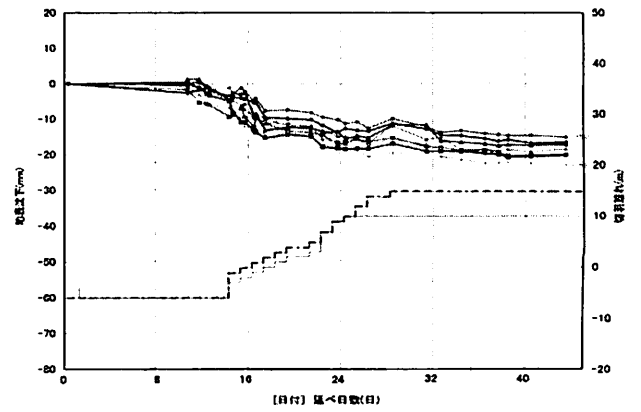


図-8 地表沈下計測結果

m以下の双設トンネルを中央導坑先進によるめがねトンネルにより施工を行った。本工事を進めていくにあたり、各関係者の皆様からご指導・ご協力いただいたことに対し、厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 鉄道総合研究所(財),鉄道構造物設計標準(都市山岳工法トンネル),2006.
- 2) ジオフロンテ研究会,注入式長尺先受工法(AGE 工法)技術資料,pp.80-92, 2006.