

(VI-17) 超膨張性泥岩における中央導坑先進ミニベンチ工法（北越北線、鍋立山トンネル）

日本鉄道建設公団東京支社松代鉄道建設所 正会員 服部修一
日本鉄道建設公団東京支社松代鉄道建設所 正会員 鈴木恒男

1. 工 事 概 要

鍋立山トンネルは、上越線六日町駅より信越線犀潟駅に至る北越北線のほぼ中央に位置する延長9,117mの単線鉄道トンネルである。このトンネルは新第三紀の超膨張性を呈する軟弱な泥岩地帯を貫いており、さらに可燃性ガスが湧出するという条件も加わり施工は極めて難航している。このうちでも最も厳しい条件となっている645mの区間<中6工区>における中央導坑先進ミニベンチ工法について述べる。

2. 地 形 ・ 地 質

本トンネルは、東頸城丘陵北端部の標高200m～600mのゆるやかな丘陵地にあり、地表は大小の地すべり地形が発達している。また今回工事区間の土被りは150mである。地質は新第三紀の椎谷層（近年、有孔虫化石の研究から西山層とする説もある。）の泥岩を主体とし、凝灰岩・凝灰質泥岩を挟在する。泥岩は小断層を伴う複雑な褶曲運動により、岩片混り粘土層化や細片状の剝離性を有するなど極めて軟弱化している。また、高圧（16kgf/cm）の可燃性ガスを胚胎し、泥岩の一軸圧縮強度は4 kgf/cm前後（ポケットペネトロメーターによる。）、地山強度比は0.1 前後である。

3. ショートベンチ工法

工事始点から上半仮インバートにより一次閉合を行うショートベンチ工法を基本とし、計測結果等から適宜仮インバートの曲率、ロックボルト本数等の変更を行い、始点から174mまで施工を進めた。しかし、上半仮インバートの疊ぶくれ（30～50cm）に伴い、鋼製支保工の座屈、吹付コンクリートの剝離等、支保工の変状が生じた。そこで、地山の潜在応力の一部を開放することにより、支保に作用する応力を軽減することを目的として、上半に外径3mの導坑を先進させる工法（図-1）をとったが、3mに及ぶ仮インバートの疊ぶくれと0.7mの天端沈下による上半ベンチの破壊が発生し、92m 掘さくをしたところで、工法変更を余儀なくされることとなった。

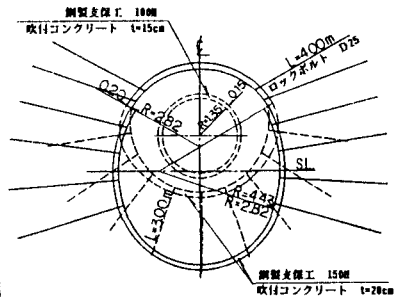


図-1 導坑先進ショートベンチ工法

4. 中央導坑先進ミニベンチ工法（図-2）

ショートベンチによる施工が困難となったため、本坑の全断面またはミニベンチによる切掘げを前提として、中央に小断面の導坑を先進させる工法を採用するに至った。中央導坑を先進させる目的としては、①トンネル掘さくに伴う地山応力の再配分が比較的単純であること。②本坑切掘げ時に導坑がアンカーとなって鏡の押し出しを抑制する効果が期待できること。③導坑掘さくに伴う地質、計測データ等を本坑切掘げ時に活用できること、などがあげられる。

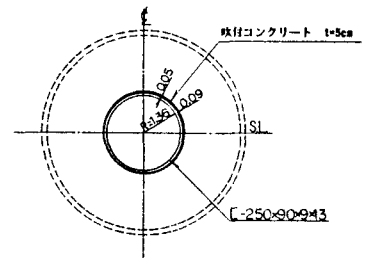


図-2 中央導坑先進ミニベンチ工法

(1) 中央導坑の設計

中央導坑の設計については、作業性、仮設構造物である点などを考慮して、径を2.9m、支保材として溝形鋼（[-250x90x9x13]）を円形（4ピース）に曲げ加工し、ボルト継ぎでベタ並べする方法をとった。支保工の設計にあたっては、支保工を剛性一様なリングとしてモデル化し、支保工は地盤バネで拘束されているものと考え、側圧係数をパラメーターとして計算し、支保耐力を計算した。なお、地盤反力係数は本坑の内空変位から逆解析を行って得られた地山の変形係数 $E=500\text{kgf/cm}^2$ をもとに $k=3.56\text{kgf/cm}^2$ と設定した。

(2) 施 工

中央導坑の掘さくは、上下二分割の人力掘さくとし、鏡の押し出しが激しいため、FRP による先受工（ $\ell=3\text{m}\times 8$ 本）、鏡押えロックボルト（ $\ell=3\text{m}\times 4$ 本）を施工したが、1サイクル（25cm）当たりの押し出しは50cm～100cmであった。また二重管ボーリングを行いケーシングパイプ（ $\phi 95$ 、 $\ell=21\sim 24\text{m}\times 4$ 本）によるアンカー効果を期待したが129m掘り進んだところで、1サイクル当たり200～300cmの鏡の押し出し、支保工の座屈、ヘドロ状と化した泥土のガスを伴う噴出に遭い、掘さくを中止せざるを得なくなった。

(3) ミニベンチによる切掘げ掘さく

中央導坑の掘さく中止により、現在はベンチ長1.5～2.0mのミニベンチ工法による本坑切掘げ掘さくを行っている。中央導坑は当初厚さ30cmのコンクリートで覆工を行ったが、切掘げの進行に伴い破断したため、さらに内側に $\phi 32\text{m}$ 鉄筋100本入りの厚さ40cmの覆工鉄筋コンクリートで補強した。切掘げ断面の支保工は175H鋼製支保工と22.5cm厚さの吹付コンクリートによっている。

5. 計 測

(1) 内空変位測定

導坑内の内空変位は天盤沈下量で最大15mm、水平変位は最大25mmで、1～1.5D（約5日間）掘さく後収束に向かっている。本坑切掘げ掘さくでは、天盤沈下量で最大250mm、水平変位は最大550mmに達し、支保工の座屈変状がしばしば発生している。

(2) 背面土圧測定と支保工応力測定

中央導坑支保工背面に作用する土圧（図-3）は25～30kgf/cm²で、地山の単位体積重量約2g/cm³から計算すると全土被り150mに匹敵する。土圧は支保工建込み後急激に増加し、1.5D掘さくが進んだ時点で収束に向かう。

支保工の断面力分布（図-4）については、軸力は1リング（25cm）当たり50～100tfで、土圧を270t/m²として計算した軸力90tfと概ね一致している。曲げモーメントは-0.6tfm～0.6tfmであり、この値は側圧係数 $k=0.95\sim 1.05$ 程度に相当し、極めて静水圧に近い土圧分布となっているものと推定される。

6. ま と め

中央導坑の補強鉄筋のひずみ測定から得られた、本坑切掘げ時の導坑引張り力は2,000～3,000kgfに達し（図-5）、導坑施工の主目的である本坑切掘の安定保持としてのアンカー機能を十分果たしているものと考えられる。しかしながら約250mの導坑未掘さく区間が残っており、これに対しては導坑掘さく用T.B.M.を開発し、現在掘さくを行っている。

今後も、導坑及び本坑切掘げ掘さくの効率化を目指して研究を進めて行く所存である。

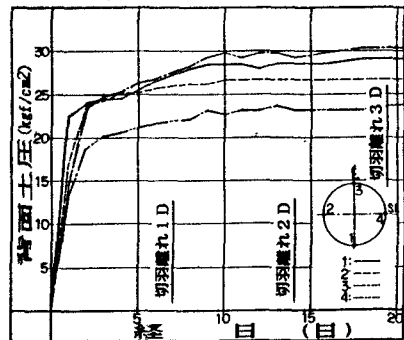


図-3 中央導坑背面土圧

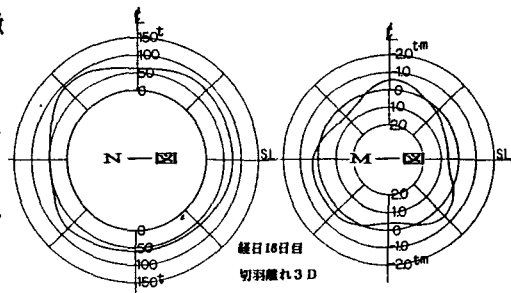


図-4 支保工応力測定

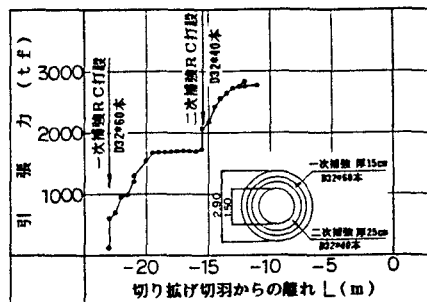


図-5 中央導坑引張り力