

高圧送電鉄塔直下の断層破碎帯におけるトンネル掘削工法と情報化施工

国土交通省中部地方整備局高山国道工事事務所工務課長
清水建設株式会社名古屋支店土木部猿投山トンネル作業所長
清水建設株式会社名古屋支店土木技術部技術グループ長 正会員
清水建設株式会社名古屋支店土木部猿投山トンネル工事課長

内藤幸美*1
岡山 徹
仲佐俊之
真下義章

1. はじめに

名古屋市を中心とした 30～40km 圏の諸都市を環状に結ぶ東海環状自動車道（総延長約 160km）の一部を成す猿投山トンネルは、愛知県豊田市と瀬戸市の地境に位置する猿投山の山麓を貫く上り線(4,434m)、下り線(4,335m)の長大双設トンネルである。そのうち瀬戸市側工区(瀬戸工事)では、坑口から約 300m の位置で活断層である猿投山北断層と幅約 70m に渡って交差し、更に断層に隣接した下り線トンネルの直上約 35m に中部電力の高圧送電鉄塔基礎が位置するという悪条件下での施工であった。本稿では断層破碎帯でのトンネルの安定性確保及び鉄塔の変位抑制を目的としたトンネル掘削工法と、周辺地山の挙動をリアルタイムで観測し、鉄塔への影響を予測して迅速に施工に反映させるための情報化施工の取組みについて報告する。

2. 工事概要と地形・地質条件

猿投山トンネル瀬戸工事の概要を表-1 に示す。猿投山の地質は全般に花崗岩及び粗粒花崗岩で構成され、一部強風化帯が挟在する。坑口から 300m 程度までは土被りの小さい箇所が続き地山強度も低い。断層を挟んで 400m 以奥では一軸圧縮強度 30～80MPa の中硬岩層が主体となる。断層破碎帯では断層粘土とカタクラサイト化した花崗岩が出現し非常に脆弱な状況で、切羽の自立性と支保工脚部地耐力の不足が懸念された。図-1 の下り線トンネル縦断面図に猿投山北断層と送電鉄塔の位置を示す。

表-1 猿投山トンネル瀬戸工事概要

工事名称	平成 11 年度東海環状猿投山トンネル瀬戸工事
発注者	国土交通中部地方整備局名四国道工事事務所
工期	H11.12.～H15.3.28
トンネル延長	上り 1824.6m 下り 1758.6m
掘削断面	88m ² (CIIA [※] ターン)

3. 掘削工法の検討

断層破碎帯の掘削工法選定に当っては以下の要件を満足する必要がある。①切羽での天端、鏡面の安定性が確保できること。②支保工脚部沈下等に起因する後方での変位を抑制できること。③送電鉄塔の不同沈下等の変位を許容値内に収められること。検討の結果、以下の工法を採用した。(図-2 参照)

①への対応：FEM 解析による照査の結果、注入式フォアポーリング等の短尺の先受け工法では切羽前方の先行変位による緩みの抑制が困難であると判断し、剛性の高い鋼管式の長尺先受け工法の中から、坑内からトンネル汎用機械で施工ができ、採用事例も多く信頼性の高い注入式長尺鋼管先受け工法(AGF-P 工法)を採用した。工法の諸元を表-2 に示す。その他、高強度吹付コンクリート($\sigma_{ck}=36\text{Mpa}$)による支保強度の増強やリングカット+鏡吹付による鏡面の安定対策も併せて採用した。

②への対応：鋼製支保工をウィングリブ付として接地圧の軽減を図るとともに、地耐力補強策として注入式鋼管打設による先行脚部補強を実施した。

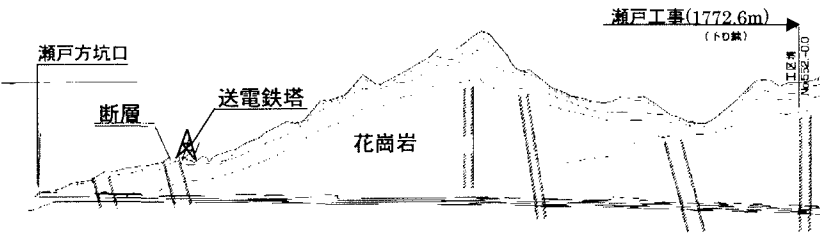


図-1 猿投山トンネル縦断面図(下り線)

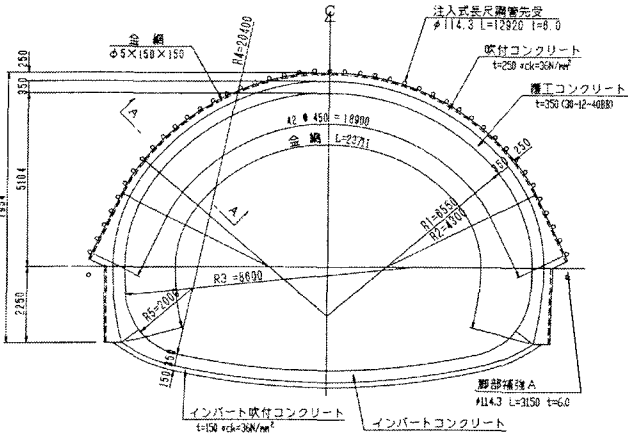


図-2 断層部標準断面図(DIV a-5)

*1：前国土交通省中部地方整備局名四国道工事事務所主任監督官（H11.4.1～H14.3.31）

これは切羽前方の支保工脚部に対して水平方向に AGF 鋼管を打設し薬液注入を行なうことで支保工の荷重を受けるものである。

③への対応：トンネルの挙動と鉄塔の変位との関係を明らかにするために、地形・地質の性状、トンネル進行方向と鉄塔基礎の位置関係などの 3 次元性を最大限考慮した 3 次元 F E M 解析を実施した。その結果から、上記掘削工法により鉄塔の変位が許容値以下に収まることを確認し、更に計測管理基準値の設定にも活用した。

4. 情報化施工

本工事で実施した情報化施工の概要を以下に示す。

- ① 断層区間のトンネルの変位、支保の発生応力を把握しトンネルの安定性を確認するとともに今回採用した工法の妥当性を評価することを目的に、坑内 A 計測(10m 毎、計測項目：天端沈下、内空変位)と B 計測(3 断面、計測項目：地中内変位、吹付応力、鋼製支保工軸力)及び切羽地質観察を実施する。
- ② トンネル周辺地山の挙動を把握し鉄塔への影響を評価するために、人力による地表面沈下測定と地中沈下計、傾斜計による自動計測を実施する(計測箇所：測点No.483=鉄塔直前位置、測点No.482=鉄塔の後方約 20m、図・4 参照)。計測データは通信線を介して事務所のパソコンに随時取込み即時処理して結果を表示・蓄積し、異常データを感知した際に迅速に対応できる体制をとる。
- ③ 断層区間前半までの A 計測及び B 計測で得られた変位データより逆解析を実施し、事前予測解析時の物性値を再評価して計測管理基準値の妥当性を検証する。(逆解析で得られる見掛けの変形係数使を使用した再解析の実施。)

5. 施工時の対応

最初に断層直前の切羽から水平ボーリング調査(L=97.2m)を実施し、採取コアによる破碎帯の性状と断層内の滞水状況を直接確認した後、第 1 シフト目の AGF・P を施工し、断層区間の掘進を開始した。

切羽が断層区間の中間付近に達した段階での計測値を用いた逆解析の結果、見掛けの変形係数(約 100MPa)と事前解析値との間に有意な差は無く計測管理基準値の訂正は必要無いことを確認した。

その後、上半掘削→下半掘削と順調に進行し、計測値も概ね予想の範囲内であったが、傾斜計④の値が下半掘削時に管理基準Ⅱに達したため対応を検討し、インバートの早期閉合を実施することで収束を図った。最終的に切羽の崩落や送電鉄塔の過剰変位など生じることなく、約 2 ヶ月を費やして無事に断層破碎帯の突破に成功した。

6. おわりに

上記のように猿投山トンネル瀬戸工事では断層破碎帯の掘削と送電鉄塔直下の近接施工という難度の高い問題を同時に克服することが求められ、検討の結果、AGF・P 工法を始めとする補助工法を駆使した施工工法、及び自動計測を活用した鉄塔周辺地山の挙動観測体制と計測結果の評価・施工へのフィードバックを柱とした情報化施工を採用した。また、施工中において生じた種々の問題を克服し、無事掘削を終えることができた。本工事に尽力頂いた関係各位に謝意を表する次第である。

表-2 AGF-P 工法諸元

AGF 管径・長	φ114mm, L=12.92m/本 (鋼管 9.87m, 塩ビ管 3.05m)
1 シフト長	6m/シフト
注入材・注入量	シリカレジンー140kg/本
打設本数	42.5 本/断面

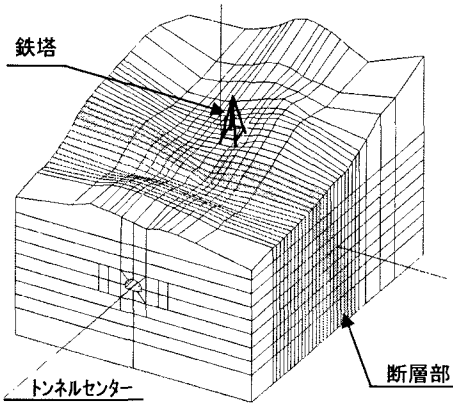


図-3 3次元 F E M 解析モデル図

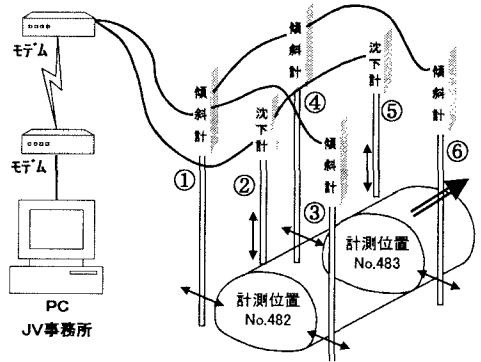


図-4 自動計測模式図

表-5 計測結果 (自動計測)

計測断面 測点No.	計測器 No.	計測値 (mm)	管理 区分
No.482	傾斜計①	4.0	—
	沈下計②	12.0	I
	傾斜計③	7.5	—
No.483	傾斜計④	20.0	Ⅱ
	沈下計⑤	10.0	I
	傾斜計⑥	5.5	—