

重要鉄塔直下における掘削防護計画 —北陸新幹線、高丘トンネル(南)工区—

鉄道・運輸機構 北陸新幹線建設局 計画課 正会員 ○瓜生 良知
 鉄道・運輸機構 北陸新幹線建設局 飯山鉄道建設所 遠藤 秀雄
 鉄道・運輸機構 北陸新幹線建設局 飯山鉄道建設所 松本 浩司

1. はじめに

北陸新幹線、高丘トンネル(南)工区は長野県中野市に位置する長丘丘陵を縦断する高丘トンネル（高崎起点 131km568m～138km512m，全長 6,944m）の起点側の工区であり，トンネル延長 2,932m，土被りは 1D～5D の小土被りトンネルである。また，本線地上付近には多数の保安物件が存在しており，これら構造物への影響を最小限に抑えることが最重要課題である（図-1）。

本論では，近接構造物の中でも重要物件である中部電力 116 号鉄塔（以下、鉄塔）直近での掘削時における切羽の崩落防止および鉄塔の変状防止を目的とした対策工の施工計画、および施工結果について報告する。

2. 鉄塔部概要

本トンネルと鉄塔が最接近する箇所では，土かぶりが約 15m，鉄塔基礎との離隔が 15.6m，と直近を掘進するため，トンネル掘削に伴う鉄塔への影響が懸念された。鉄塔付近の地質は，第四紀更新世の南郷層と豊野層で構成されている。この豊野層は傾斜した砂層とシルト層との互層からなり，砂層が鉄塔基礎の支持面まで達しているため掘削時の砂層の崩落や流出が鉄塔基礎へ影響を及ぼす可能性の高い地質構成となっている（図-2）。さらに当該箇所の 3 つの砂層（S5，S6，S7 層）の物性値から，各砂層の自立性は低く，掘削時に流砂現象が発生することが予測された。

一方，当該箇所における地下水位はトンネル S.L 付近に存在し，現状の水位のまま掘削を行うと切羽からの湧水が流砂の発生を助長することが懸念されたため，対策工を講じる必要があると判断した。

3. 対策工の検討

前章で述べた地質・地下水の状況などを考慮し対策工の検討を行った結果，水抜きボーリングにより地下水位低下を図るとともに，地盤改良により砂層の安定性の向上を図ることとした。

4. 水抜きボーリング

坑外より水抜きボーリング（L=130m）を実施した結果，当該箇所付近の観測井戸において 3m 程度の水位低下が確認され，地下水位はインバート付近で安定した。

5. 地盤改良の計画

当該砂層における地盤改良では，砂の粘着力を高め，砂層の自立性の向上を図ることが有効である薬液注入工法を採用することとした。なお，本施工に先立ち，注入率を変えた 2 ケースの試験注入を行い，改良効果，鉄塔への影響を確認し注入仕様を設定することとした。決定した注入の仕様については表-1 のとおりである。

表-1 注入の仕様

注入材	一次注入	セメントペントナイト（以下、CB）
	二次注入	シリカライザー（以下、SL）
注入範囲	厚さ	3m
	延長方向	50m（鉄塔脚部より 2D の範囲）
注入工法	二重管ダブルバック工法	
注入率	一次注入：10.0%	二次注入：26.5% 計 35.0%
注入圧	上限値 3MPa	

キーワード：山岳トンネル(NATM)，未固結地山，地表面沈下対策，薬液注入工法

連絡先：〒380-0936 長野県長野市大字中御所字岡田 45-1 鉄道・運輸機構 計画課 TEL 026-223-9649

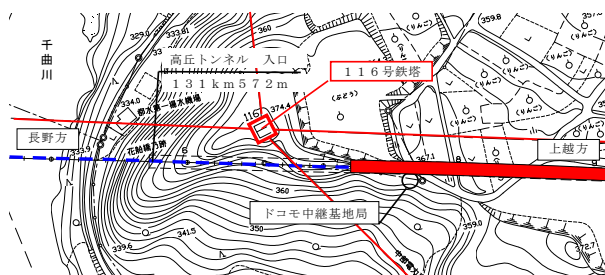


図-1 位置平面図

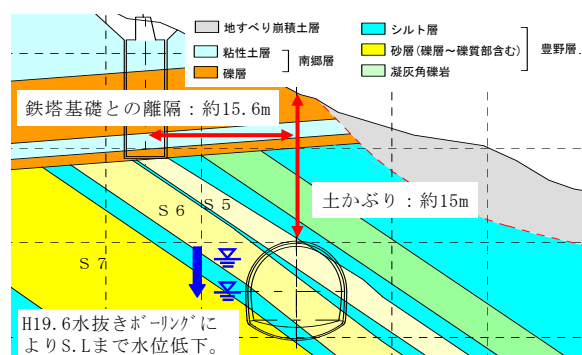


図-2 鉄塔部地質図

6. 試験注入工

(1) 概要

試験注入は、終点方に向かって左脚部（鉄塔基礎側）の砂層とシルト層を改良範囲に含む位置にて実施した。試験注入時における鉄塔の計測管理値は、中部電力との協議により管理限界値 20mm と設定し、自動計測により計測監視を行うこととした。

改良効果の判定基準としては、鉄塔防護のため事前に実施した FEM 解析において、改良体の入力物性値としている粘着力 $C=80\text{KN/m}^2$ 以上であることを確認する。さらに、透水係数については、一般に薬液注入が不要となる 10^{-5}cm/s 程度を期待する。

(2) 結果

試験注入の改良効果確認のため、チェックボーリングを実施し、前述の目標値を満足するか確認した。粘着力に関しては、全て目標値を満足している。一方、透水係数に関しては追加試験注入の S5 層のみ目標値を満足しているが、S6, S7 層についても 1 オーダー程度の低下がみられ、改良効果があったと判断できる（表-2）。

試験注入および追加試験注入施工時における鉄塔計測では、追加試験注入において最大 2 mm の隆起が観測されたが、管理値に対しては問題ない値であり、地表面の隆起も観測されなかった。よって、薬液注入による鉄塔への影響は問題ないと判断できる。

表-2 試験注入チェックボーリング結果

		粘着力C	透水係数	記 事
目 標 値		80 KN/m ² 以上	10^{-5} 程度	
S 5 層	改良前	0.06 KN/m ²	$1.1 \sim 5.1 \times 10^{-5}$	追加試験注入
	改良後	97 KN/m ²		
S 6 層	改良前	32 KN/m ²	$4.6 \sim 8.18 \times 10^{-5}$	試験注入
	改良後	90.6 KN/m ²		
S 7 層	改良前	53 KN/m ²	9.73×10^{-5}	試験注入
	改良後	296 KN/m ²		

7. 本注入工

(1) 概要

試験注入の結果を踏まえて、本注入時の基本方針を以下のように決定した。

- ・注入仕様は、試験注入と同様とした。
- ・注入順序は、注入による鉄塔への影響を抑制するため、鉄塔から離れていく順序で注入を行うこととした（図-3）。
- ・注入管理、改良効果の確認については、試験注入と同様とした。

(2) 結果

本注入時におけるチェックボーリング結果を表-3 に示す。

粘着力、透水係数ともにほぼ目標値を満足している。ボーリングにより採取したコアの状況は、指圧でややへこむ程度であるなど明確な改良状況が確認された。また、設計改良範囲外においても試薬による反応が見られ、薬液による改良の痕跡が見られた。

鉄塔計測結果については、本注入において鉄塔基礎への影響は観測されていない。

以上のことから、確実な地盤改良が成されたと判断し、本坑掘削を開始することとした。

8. 施工結果

本坑掘削による鉄塔の変位量は最大で 2.4mm という結果となり、若干の沈下は見られるものの、トンネル掘削による鉄塔への影響はほぼ抑止できたといえる。鉄塔への影響を最小限に留めることができたのは、積極的に地下水位の低下を図った上での地盤改良を実施し、さらにトンネル掘削中も短尺水抜きを併用するなど、徹底して流砂の発生を抑制した結果と考えている。

9. おわりに

入念な対策工の検討、計測体制および慎重な施工によって、本トンネル最後の重要保安物件である 116 号鉄塔の影響範囲を無事突破し、平成 20 年 11 月 28 日に高丘トンネルの全貫通を迎えることができた。

今回の施工に際し、ご指導、ご協力頂いた関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

表-3 本注入チェックボーリング結果

項 目	粘着力	透水係数
目標値	80 KN/m ²	10^{-5} オーダー
No1	82.3～82.9 KN/m ²	$3.12 \sim 3.36 \times 10^{-5}$
No2	70.9～87 KN/m ²	$1.49 \sim 1.80 \times 10^{-5}$

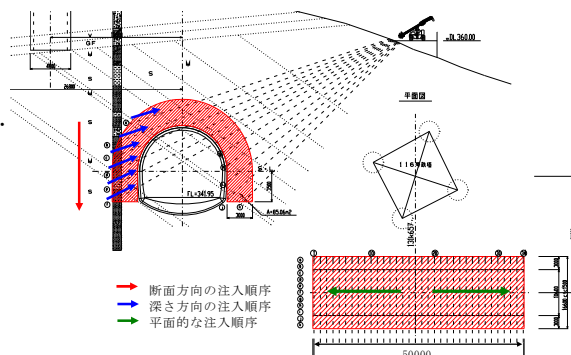


図-3 本注入時の注入順序