

山岳トンネルの制水工法による地表面沈下対策（その1）

（株）熊谷組 正会員 ○緒方 明彦

（株）熊谷組 正会員 中出 剛

（株）熊谷組 正会員 鬘谷 亮太

1. はじめに

本工事は変電所直下の閃緑岩マサの地山を土被り 45m で掘削する山岳トンネル工事であるが、施工の進行に伴い地表面沈下が発生し変電所への影響が懸念された。施工中の挙動分析から、地表面沈下の主要因は地下水位低下に伴う有効応力増加により閃緑岩マサ内の微細な割目が即時的に閉塞したためと推定された。

本報告は、山岳トンネルにおける地下水位低下抑制対策として、薬液注入による対策手法とその効果について報告するものである

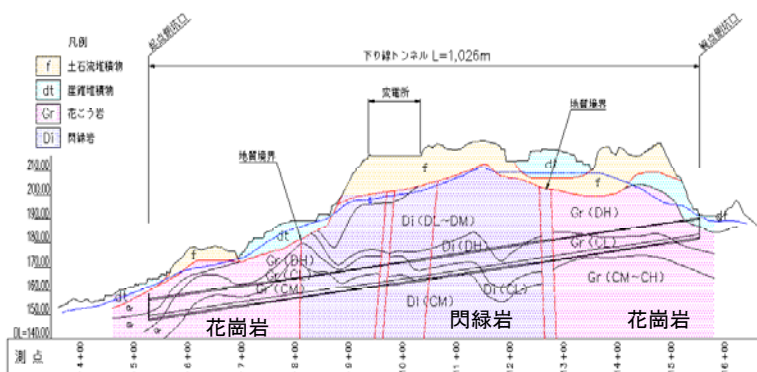


図-1 地質縦断面図

2. 対策工の検討

無対策の場合、トンネル下端まで地下水位が低下するため水位低下量は 35m 程度となり、地表面沈下は、事前の挙動分析から約 90 mm 発生すると予想された。これを目標値内とするためには、地下水位低下量を 13m 以下とすることが必要であった。そこで、対策工として制水効果・経済性等を総合的に評価し、トンネル外周部に薬液注入による難透水ゾーンを形成し、坑内湧水を抑制することで地下水位低下を制御する制水工法を採用することとした。

所要の水位低下量を満足するための改良厚さの決定は、改良部の透水性を既往の実績から原地盤の 1/10 とした二次元浸透流解析により算定した。この結果から、改良厚さとしてトンネル外周 2m を設定した。なお、トンネル周囲の改良部には恒久的な効果が求められるため、注入材には長期的な劣化が極めて少ない溶液型活性シリカ系注入材を用いることとしてトンネル完成後も改良効果が持続するようにした。また、施工は 7m/シフトとし、各シフトにおいて切羽前面にも溶液型水ガラス系注入材による仮設グラウトを実施した。（図-2）

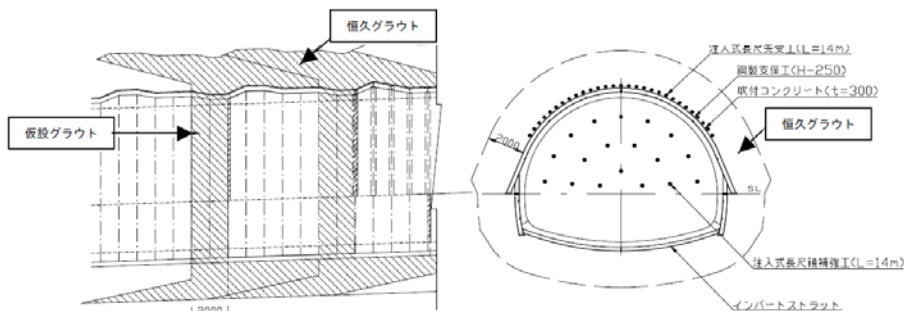


図-2 対策工施工パターン図

3. 試験施工結果

変電所直下における対策工の施工に際し、対策工の効果及び施工手順の確認を目的とした試験施工を実施した。

試験施工区間における地下水位低下量から、二次元浸透流解析により改良部の透水性能について検証した。試験施工開始前の観測井戸水位を初期水位とし、改良部の透水性能をパラメータとして地下水位低下量をフィッティングした結果、改良部の透水係数は原地盤の 1/30 程度と推定された。また、この結果を基にトンネル上下線掘削に伴う最終的な地下水位低下量を予測した（図-3）。この結果、最終的な地下水位低下量は 12.4m と推定され、設定した改良仕様により所定の地下水位低下量に制御できると評価された。なお、坑内への湧水量は $1 \frac{\text{m}^3}{\text{min/m}}$ 程度と推定された。

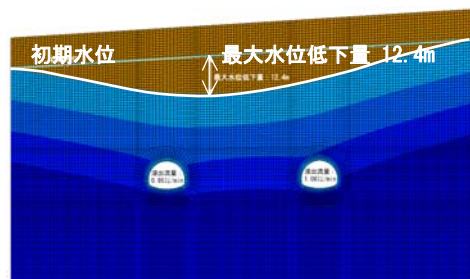


図-3 予測解析結果

キーワード 山岳トンネル 浸透流解析 薬液注入

連絡先 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1 (株)熊谷組 土木事業本部 土木設計部 TEL 03-3235-8622

4. 施工結果

対策区間の施工にあたっては、変電所区域内及び周辺の地下水位や地表面沈下量、坑内湧水量等の計測による動態観測を行いながら施工を進めた。図-4に対策工施工区間及び観測井戸設置位置を示す。

5. 浸透・沈下解析による挙動予測

施工の進捗により観測データが蓄積されるのに伴い、工事終了後の長期的な水位変動と沈下挙動を予測することが求められた。

このため、予測解析手法として地下水浸透に基づき広域の3次元的地盤沈下を予測できる解析手法①（UNSAF-3D-C、本稿では「浸透・沈下解析」という）を用いた予測解析を行うこととした。本手法は、地下水浸透流解析から得られる間隙水圧の変化を有効応力の増分に置き換えて沈下量を算定する手法である。図-5に浸透・沈下解析に用いたモデル地盤の範囲を示す。ここで、水理特性は事前解析と同様とし、施工前2年分の地下水位とのフィッティングにより境界条件を設定した。また、圧密に関するパラメータとしては、対象となる地盤の採取試料における圧密試験で得られた e - $\log p$ 曲線を用いた。予測解析結果と実測値を比較した結果の一例として、地下水位と地表面沈下量の経時変化図をそれぞれ図-6～7に示す。地下水位については、大きな季節変動を再現できていないものの、最低地下水位を概ね捉えることができています。一方、地表面沈下は、対策初期の位置(TD497m)では実測値が予測値とほぼ一致するものの、施工がさらに進行した位置(TD600m)では実測値が小さい値を示し、また、施工途中に収束する傾向がみられる。このような地表面沈下の予測との違いの要因は、場所毎に地盤条件が異なることに起因していると考えられ、このような地盤条件を精度良く把握することで予測精度も向上するとする。この解析結果も長期的にも50mmを超えるような沈下が発生することはなく、実測値は予測値より小さな沈下量を示していることから予測値以上の沈下が発生することは考えにくい。

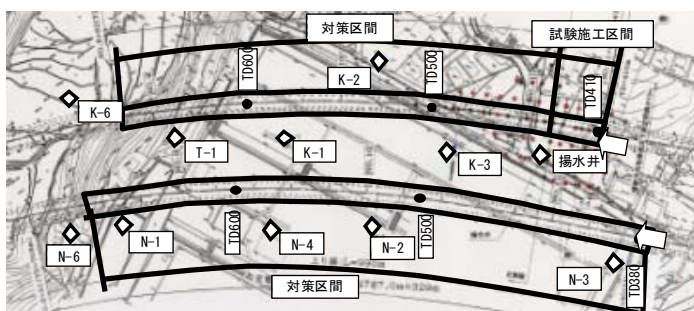


図-4 対策区間と観測井戸設置位置 ◇・観測井

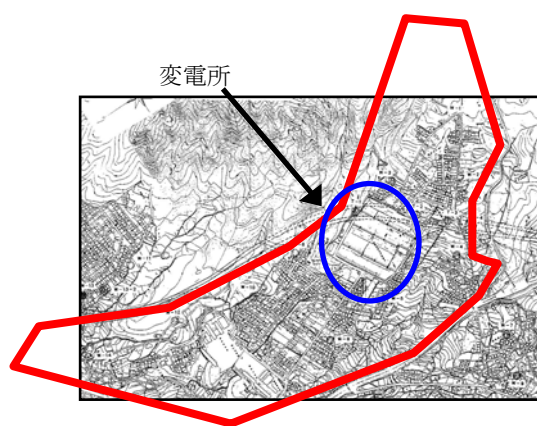


図-5 浸透・沈下解析モデル範囲

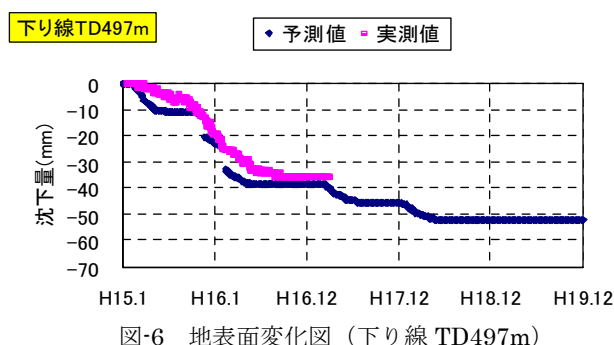


図-6 地表面変化図（下り線 TD497m）

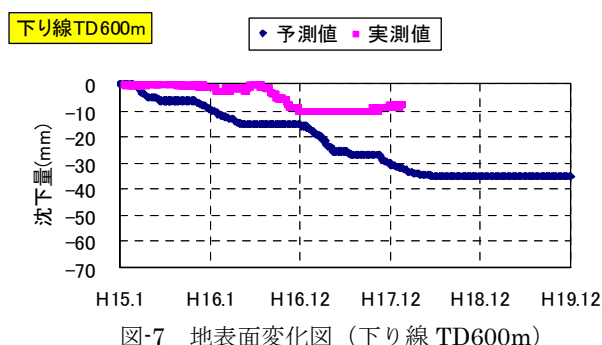


図-7 地表面変化図（下り線 TD600m）

9. まとめ

トンネル掘削終了後の現在の対策区間における最大地下水位低下量は 10～15m 程度となり、事前の予測結果とほぼ一致している。地表面沈下量は、変電所区間における目標値（50mm）を満足することができた。

本工事ではトンネル掘削に伴う地下水位低下対策として薬液注入による制水工法を採用し、実施工において良好な結果を得ることができた。今後山岳トンネル工事においても周辺環境配慮の観点から同様な状況下での施工が増加するものと思われるが、比較的経済的で合理的な施工方法の一つとして本工法の適用性を確認できたと考える。

参考文献1) 西垣誠・今井紀和・小松満・長井いづみ：圧縮に伴う比貯留係数の変化を考慮した地下水浸透に基づく地盤沈下解析手法，土木学会論文集NO.799，2005.9