

ポストグラウチングによる山岳トンネルの減水対策工とトンネル挙動について

鹿児島県土木部道路建設課 木佐貫 浄治

(株)熊谷組 正会員○中出 剛 正会員 鈴木雅文 正会員 手塚 仁

正会員 古田島 信義 正会員 片山 政弘

1. はじめに

山岳トンネル工事において、地下水位が高いわが国では、古くから施工の安全性、経済性の面から高压湧水や大量湧水への対策がとられてきているが、環境影響の制約がある場合は地下水環境の保全を目的に、トンネル周囲全域を先行して止水注入することで坑内湧水の抑制を図る例がある¹⁾。これらは、トンネル掘削前に先行してプレグラウチング工法により止水改良を行うとともに、トンネル構造を非排水型構造（ウォータータイト）とする場合が多い。これに対し筆者らは、トンネルの減水対策として、排水型トンネル構造において、掘削後に止水注入を行うポストグラウチング工法を適用し、トンネル内への湧水量抑制を図った²⁾。本稿では、工事において適用した減水対策の設計手法や対策効果の概要について報告する。

2. 適用工事の概要

減水対策を適用した北薩横断道路北薩トンネル（出土工区）では、貫通後も恒常的に約 600t/h の湧水が発生し、一部区間では高濃度のヒ素を含むことから、公共用水域における環境基準を満足するために、恒久的な湧水抑制対策工が求められた。なかでも、花崗岩と四万十層群の境界で亀裂の発達した低速度帯に相当する、坑口から 1,800m～1,900m の 100m 区間は高濃度ヒ素を含有した大量湧水が発生した。このため、トンネル外周部に止水注入による難透水ゾーンを形成し、坑内湧水量を抑制する減水対策工を実施した(図-1)。

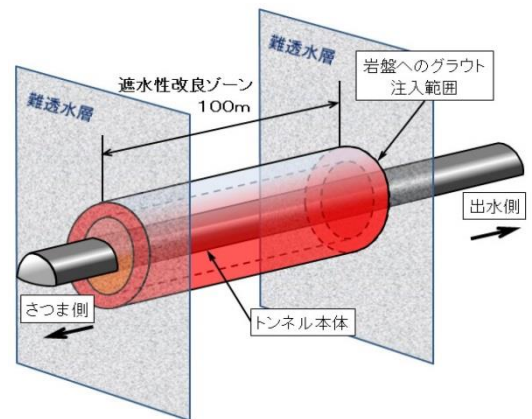


図-1 減水対策工の概要図

3. 地盤改良仕様の設定

本工法による湧水低減量は地盤改良部における透水特性により決定されるが、ここでは二次元浸透流解析により地盤改良仕様を設定した。トンネル周囲の地盤改良厚さを 1m～5m、改良部の透水係数を原地盤の 1/100～1/400 の範囲でパラメータとした解析により、減水効果を試算した(図-2)。改良厚が 3m を超えると減水効果が低いことから、減水対策工の改良厚を 3m とし、ヒ素処理施設の規模や工事費等を踏まえて、改良部の透水係数は 4×10^{-6} (cm/sec) 程度にすることを目標とした。なお、坑内からトンネル全周方向に改良を行う工法については、ダムのコソリデーショングラウチング工法を採用し、試験施工により有効性を確認のうえ本施工を実施した²⁾。

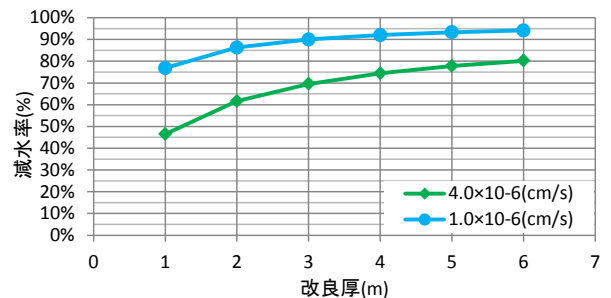


図-2 改良厚および改良部透水係数と減水率

4. トンネル構造への影響

減水対策工により湧水量を抑制することで、事前の解析検討ではトンネル直上の地下水位が 170m 程度まで上昇すると予測された(図-3)。減水対策工はトンネル坑内への湧水を許容しており、トンネル自体は排水型構造であるが、地下水位回復に伴う水圧作用がある場合は地山やトンネル構造への影響が懸念された。

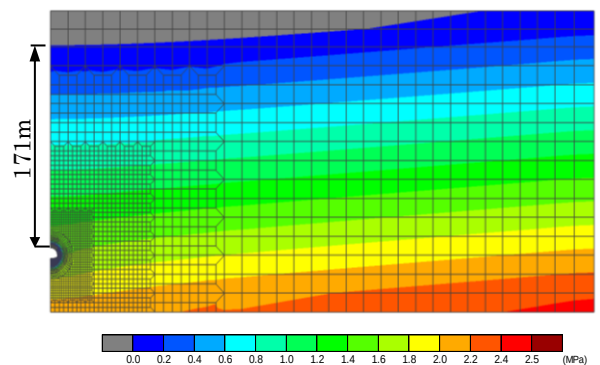


図-3 減水対策後の間隙水圧分布図

キーワード 山岳トンネル, 湧水対策, ポストグラウト, 止水注入, 内空変位

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 TEL 03-3235-8622

このため、水と応力・変形の連成解析により地下水回復に伴う周辺地山やトンネル支保工の挙動について解析検討を行った。対象とした岩盤はCL級の四万十頁岩で、変形係数は1,000MPaである。図-4に解析における地下水位とトンネル内空変位の関係を示す。今回の連成解析に加えて、止水注入領域外側に水圧を作用させた全応力解析結果を併せて示すが、後者に比較して連成解析では水圧上昇に伴う大きな変位増加はみられない。対策後は改良域外側で間隙水圧の増加による有効応力の変化がみられたが、全応力の大きな増加は生じず、地山安定や支保工応力についても有意な増加挙動は生じない結果となった。

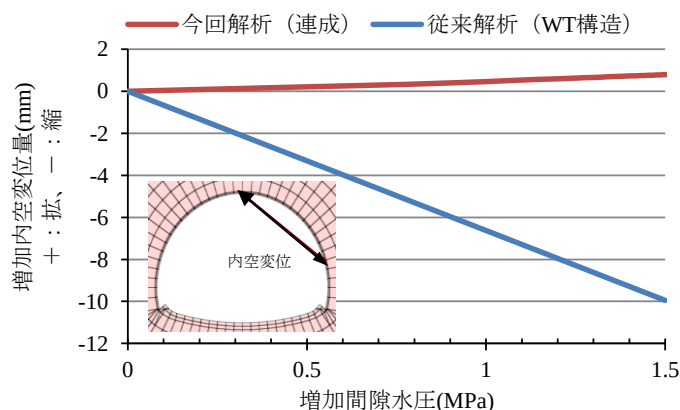


図-4 解析における地下水位と内空変位

5. 施工結果

(1) 湧水量と地下水位

図-5に減水対策区間(1,800~1,900m)における湧水量とトンネル天端からの水頭の経時変化挙動を示す。グラウト工の施工が進み対策区間全域が改良ゾーンに覆われた時期(H28.1)から、湧水量や地下水位に急激な変化がみられた。140~180t/hで推移していた湧水量は40t/h程度にまで大きく減少するとともに、梅雨の降雨期においても顕著な増加がみられず、

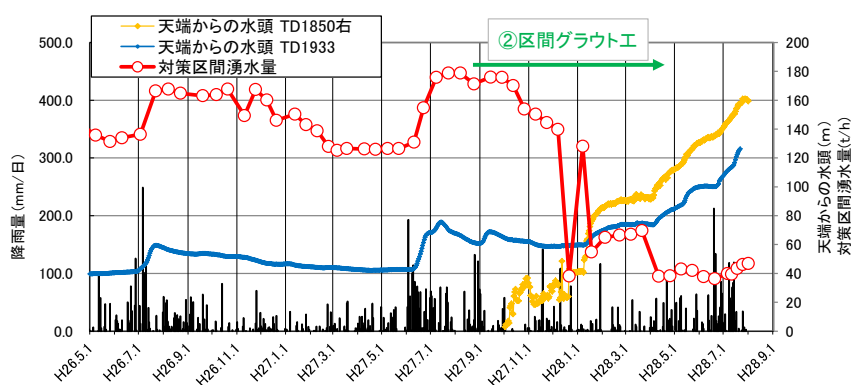


図-5 対策区間湧水量とトンネル天端からの水頭の経時変化

減水対策工により抑制効果が十分図られていることが確認できる。地下水位は湧水量が減少するのに伴い上昇し、降雨期においてトンネル天端から最大160m程度にまで達した。事前の解析検討では、対策後の湧水量が50t/h、地下水位が171mまで回復すると予測しており、浸透流解析による事前検討の妥当性を確認することができた。

(2) トンネル内空変位

図-6にトンネル内空変位と地下水位の経時変化図を示す。地下水位の上昇に対して、トンネル内空変位には有意な変形挙動は生じていない。また、併せて計測したトンネル周辺地山の地中変位計においても、同様に地下水上昇に伴う変形はみられていない。これらの挙動は事前の解析検討による挙動と概ね一致しており、高水頭下においても、トンネル構造に影響を与えることなく本減水対策工を適用できることが確認できた。

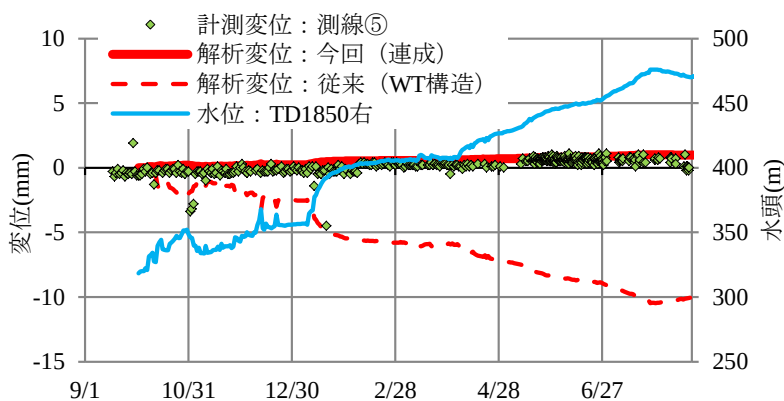


図-6 トンネル内空変位と地下水位の経時変化

6. おわりに

地下水位回復に伴うトンネル挙動については、支保工応力の計測結果等も含めて今後さらに分析のうえ報告する予定である。本工事の検討にあたり、北薩トンネル技術検討委員会の委員の皆様から多くの貴重なご助言をいただきましたことを、ここに深く感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 坂巻俊次, 柏谷光晴, 齋藤宏樹, 伊達健介, 成田望: 地下水環境保全を目的とした非排水構造トンネルの地上注入工と掘削工, トンネル工学報告集第23巻, pp.189-196, 2013.
- 2) 木佐貫浄治, 宮本裕二, 鈴木雅文, 辰巳勇司: 自然由来のヒ素を含む大量湧水の減水対策試験—北薩横断道路 北薩トンネル(出土工区)—, トンネルと地下, Vol.46, No.10, pp.19-24, 2015.