

高水位を有する岩盤内トンネルの挙動に対する注入改良効果の比較検討

長崎大学工学部 学生会員 ○大勝 恵輔 長崎大学大学院 学生会員 公 彬 呉 学雲
 長崎大学大学院 フェロー会員 蔣 宇静 (株)熊谷組 正会員 手塚 仁 青木 宏一

1. はじめに

トンネルの湧水対策はトンネル周囲に防水シートを敷設または、水圧に耐えられる覆工コンクリートを打設することが一般的である。高土被り・高水位を有する岩盤下の非排水構造トンネルの設計法は確立されておらず、個々のトンネルの対応となっている。トンネルの減水対策としては、トンネル周囲の地山においてセメントグラウトの注入を行うことで、岩盤の細かい亀裂まで塞ぎ、ドーナツ状の改良帯を形成させ湧水を遮断するものがある¹⁾。このような減水対策を施したトンネルの周辺地山やトンネル支保工の安定性の評価を行った事例は少ない。

本研究では、減水注入領域とトンネルとの間の応力・変位を数値解析により算定し、減水注入の有無によるトンネルの挙動の変化を確認することを目的とする。

2. 解析モデルについて

2.1 概要

本研究は材料非線形および幾何学的非線形性をともに考慮した大変形理論に基づくFLAC3Dを用いて数値解析を行った。本研究で用いる解析モデルを図1に示す。地表面からトンネル天端までの深さは200mで、トンネルの右上側に亀裂をモデル化した。減水対策領域は、トンネル外周にリング状に幅3mの地山の透水係数改良域としてモデル化した。また境界条件としては、モデルの底面は鉛直変位を固定、モデル左右の境界は水平変位を固定した。水理境界条件については、モデル左右両側面は水位を固定し、初期水位は地表面に設定した。

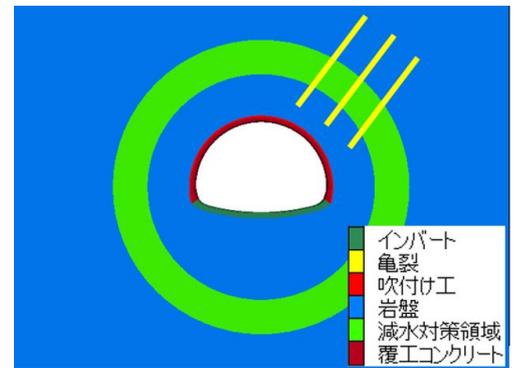


図1 解析モデル

解析用物性値は文献2を参考にしている。透水係数 k は、地山部を $4 \times 10^{-6} \text{m/sec}$ 、減水注入領域部を $4 \times 10^{-8} \text{m/sec}$ 、亀裂部を $4 \times 10^{-4} \text{m/sec}$ とした。鋼製支保工は H125、吹付けコンクリートは厚さ20cmとし、インバートはコンクリート厚さ45cm、覆工コンクリートは厚さ30cmに設定した。

2.2 解析ケースと解析手順

本研究では、注入による減水対策の有無に分けて解析を行った。減水注入無し（ケース1）では減水対策を行わずに覆工コンクリートを設置した場合に、減水注入有り（ケース2）では減水対策を行ってから覆工コンクリートを設置した場合に分けた。解析手順としては、トンネル掘削から支保工設置まで行い、支保工設置後に減水対策を実施する。減水対策後は、覆工コンクリートを設置し、水位が回復するまで解析を実施する。

3. 解析結果と考察

流量ベクトルを図2に示す。減水注入有りと比べると減水注入無しは最大流量ベクトルが大きく、減水対策を行っていないため亀裂方向からのベクトルが大きい。減水注入有りは減水対策を施しているため、亀裂方向から支保工・覆工コンクリートに作用する力が低減される。減水注入無しは減水対策が施されていないため、透水係数が低い亀裂方向から流れてくる流量ベクトルは非常に大きくなる。そのため支保工・覆工コンクリートに甚大な影響を与えてしまう可能性が高い。減水注入有りに比べると、減水注入無しのトンネル天端の方

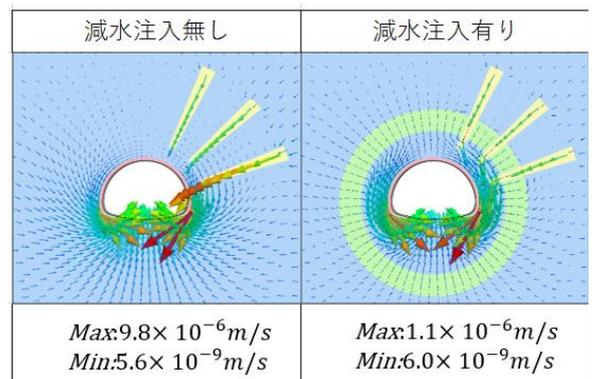


図2 流量ベクトルの比較

が流量ベクトルは小さい。その要因としては岩盤より亀裂の透水係数が低いため、地下水が亀裂方向に流入してしまうためと考えられる。これよりトンネル天端に減水対策を施さなければ透水係数の低い場所に地下水が集まりやすくなり、トンネルに多大な影響を与えてしまうことが考えられる。

間隙水圧と鉛直変位の分布を図3に示す。減水注入無しに比べて減水注入有りの方がわずかに間隙水圧は低い。間隙水圧に差があるのは、減水対策を施しているためと考えられる。一方、減水注入有りのインバート下方領域に着目すると、減水注入領域内より高い間隙水圧の上昇を抑制している。このことから減水対策を施すことにより、減水注入領域に地下水が侵入しにくくなり、その分間隙水圧が低減していると考えられる。

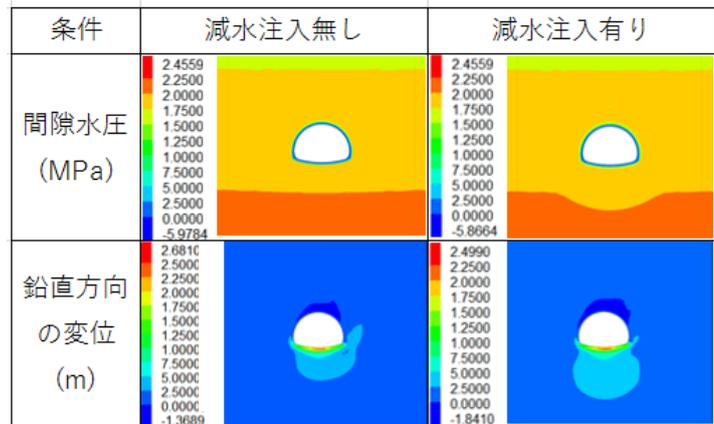


図3 間隙水圧と変位の比較

解析領域において鉛直方向に最大で減水注入無しでは約0.27m、減水注入有りでは約0.25mの変位が発生した。図2に示す流量ベクトルから分かる通り、減水注入有りはトンネル周辺全体に均一にベクトルが生じているため、減水注入無しに比べて注入効果が読み取れる。一方、減水注入無しのインバート周辺の変位分布が乱れているのは、亀裂からの流入により変位ベクトルが非常に大きいため、減水注入有りに比べて変位が大きく生じている。

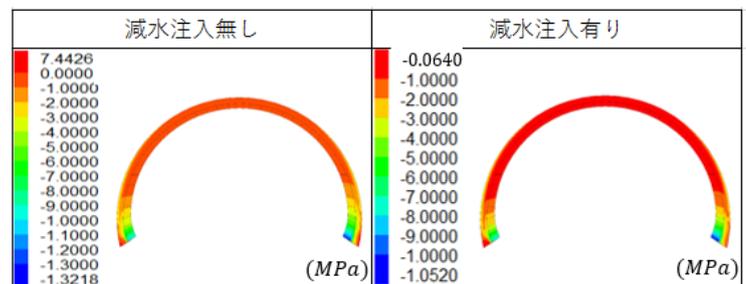


図4 覆工コンクリートに生じる鉛直応力の比較

覆工コンクリートに生じる鉛直応力を図4に示す。減水注入無しでは最大約132MPa、減水注入有りでは最大約105MPa という値が算出された。図5は覆工コンクリートの支保工側から算出した鉛直応力の分布を示す。トンネル天端から右側に離れていくほど亀裂に近づき、両ケースの分布曲線がほぼ同様になっていくようであるが、左側より減少していることが伺える。これより、亀裂に近づくほど覆工に生じる応力に差異がないのではないかと考える。

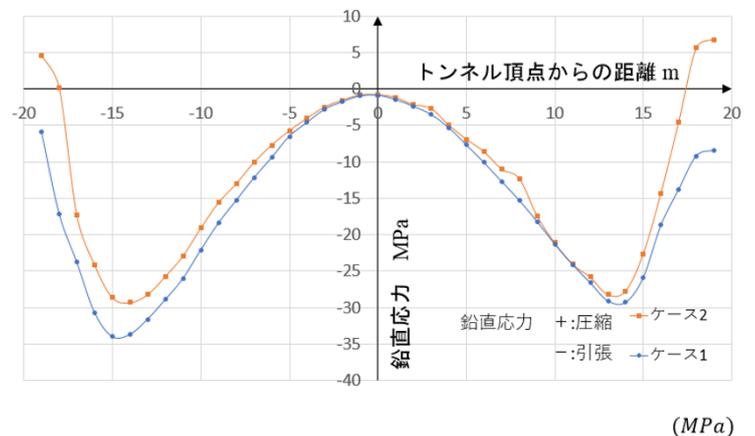


図5 覆工コンクリートの支保工側から算出した鉛直応力分布の比較

4. おわりに

本研究では、トンネル周辺の地山の挙動や覆工コンクリートの応力と変位の変化について注入の有無による比較・解析を行った。その結果として減水注入領域内の亀裂に減水注入を施せば、その附近の覆工コンクリート内の応力が減少することを明らかにした。

参考文献

- 1) 木佐真浄治, 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, トンネルと地下, 第46巻10号, pp.19-24, 2015.
- 2) 前野克治, 蔣宇静, 手塚仁, 青木宏一, 王肖珊, 劉楷: 高水位を有する岩盤における非排水性構造トンネルの挙動解析, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, III071, pp.394-395, 2017