

新しいトンネル工法による都市 NATM の設計と施工 (その2)

一土砂 NATM における地下水対策工の実例一

鹿島建設(株) 関東支店 ○正会員 大屋 博史
 茨城県 水戸土木事務所 非会員 上遠野和夫
 非会員 大森 満
 鹿島建設(株) 土木技術本部 正会員 鬼木 剛一
 関東支店 正会員 藤本 和義

1. はじめに

本工事は市街地における幹線道路直下の NATM によるトンネル工事である。トンネル上部には不圧地下水をもつ帯水層(砂礫層)が存在することから、トンネル掘削時の湧水による切羽の崩壊、それにとまう過大な地表面沈下の発生を防止するためには地下水対策工が必要不可欠である。しかし、帯水層が不均質な場合には地下水の流れが一樣でなく、局所的な「水みち」が多数存在する。このような「水みち」の存在位置を事前の地下水調査のみで確認し、湧水量を予測して最適な地下水対策工の選定を行うことは困難である。ここでは、施工開始後の地質状況・地下水状況に応じて実施した地下水対策工(帯水層に対する注入式長尺鋼管先受け工、脚部補強ジェットグラウト工の造成延長による遮水壁の構築、および孔内からの水抜きポーリング)について報告する。

2. 砂礫層(Dg1)の特性

(a) 事前調査による砂礫層(Dg1)の評価

トンネル上部に存在する砂礫層(Dg1)の地下水位は、Dg1層下端から2~4m上りの位置にある。そこで事前にDg1層の水理特性を把握し最適な地下水対策工を選定するために、Dg1層を対象とした揚水試験を実施した。揚水試験で得られたDg1層の透水係数は $k = 7.5 \times 10^{-4} \sim 5.1 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ となり、井戸理論式を用いて求めた切羽からの湧水量(予測値)は、最大でも30 l/min以下であった。

(b) 施工開始後の砂礫層(Dg1)の再評価

ところが、施工が開始後に、地表からの施工による脚部補強ジェットグラウト工の追加注入材の逸走や、7ブロック(坑口より58m地点)から始まる高圧噴射攪拌式先受け工の削孔時における大量湧水(湧水量300 l/min)の発生など、Dg1層の水理特性は事前調査での評価とは異なっていた(図-1参照)。

事前調査と施工開始後の地下水状況を総合的に検討すると、Dg1層は次のような水理特性を有していることがわかった。

- ・ Dg1層中には局所的な水みちが存在し、掘削に際して水みちに遭遇した場合、数十~数百 l/min の湧水が発生する可能性が高い。
- ・ Dg1層中の水みちは広範囲に分布するが、その平面位置の特定は困難である。

3. 帯水層での注入式長尺鋼管先受け工

当初設計において掘削時におけるDg1層からの湧水量は比較的少ないと予測されたことから、先受け工としては高圧噴射攪拌式先受け工を採用した。しかし、湧水が多く発生する場合、高圧噴射攪拌式先受け工では均質な改

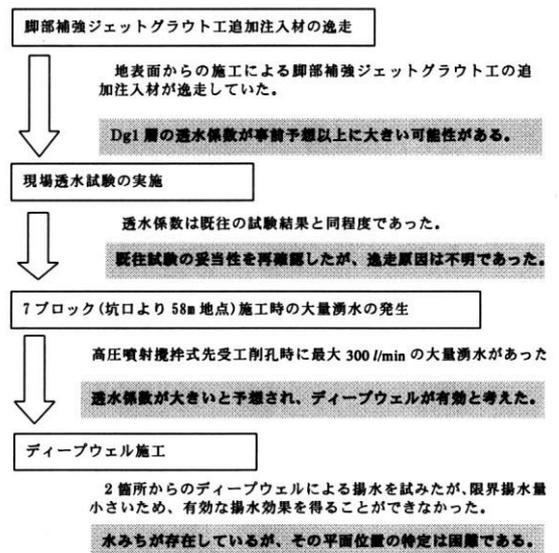


図-1 施工開始後に得られた砂礫層(Dg1層)の状況

キーワード：NATM、注入式長尺鋼管先受け工、遮水壁、水抜きポーリング、ウレタン系注入材

連絡先：鹿島建設 水戸トンネルJV工事事務所 TEL 029-222-0320 FAX 029-222-0322

良体の造成が困難となり、先受け工としての機能が期待できない。

そこで、湧水が発生した場合でも施工可能な注入式長尺鋼管先受け工に変更し、注入材としては湧水に対して希釈・流出の少ないウレタン系注入材を採用し地山の改良とある程度の止水効果を期待した。ただし、ウレタン系注入材は材料費が高価であることから、湧水量に応じてウレタン系とセメント系の注入材を使い分けコストダウンを図った。つまり鋼管が打設された後、鋼管からの湧水量を1本毎に測定し、湧水量が10 l/min 以下の場合にはセメント系注入材を、10 l/min を超える場合にはウレタン系注入材を用いることとした（表-2 参照）。

掘削後の切羽観察および計測工の結果から判断すると、ウレタン系注入材の注入効果により、完全な止水効果は期待できないものの、湧水地山の剛性の強化にはある程度の効果があり先受け工としての機能を十分果たしたと考えられる。

4. 地下水対策工

(a) 遮水壁の造成と水抜きボーリング

地下水対策工法としては、まず脚部補強ジェットグラウト工の天端を砂礫層の境界よりも1m上まで造成して遮水壁とし、切羽内に流入する水量を低減するとともに、坑内より湧水量に応じて1~3本の水抜きボーリングを打設する。なお遮水壁の造成は地下水の上流側である右側のみとした（図-2 参照）。

水抜きボーリングの構造は図-3 に示すように、外管に先受け工と同じ鋼管を用い、その中に先端部 3.5m間にストレーナを設けたVP管を挿入する二重管構造とした。さらに、地山と鋼管、鋼管とVP管の間の空隙部には、速硬化性のセメント系硬化材を充填し、切羽面における空隙部からの地下水の湧出を防止することとした。

(b) 地下水対策工の効果

地表面よりDg1層の地下水位観測井を9~20m間隔で設置した。また、観測井戸は遮水壁の効果を確認するため遮水壁の外側にも設置している。代表的な観測井戸における地下水位変化を図-4 に示す。遮水壁の外側では地下水位は低下していないが、遮水壁の内部では地下水位が切羽到達までに1.5~2m程度低下しており、その後の低下量は0.5m程度である。つまり遮水壁の地下水流入抑制効果が大きいことが確認できる。

5. まとめ

地下水状況に応じた地下水対策工を採用することにより、地下水に起因するトラブルの発生を防止することができた。帯水層に対しての先受け工としては注入式長尺先受け工が有効であり、注入材としてウレタン系注入材が効果的であった。また、特に存在位置を事前に確認することが困難である局所的な「水みち」からの湧水に対しては、遮水壁が効果的であったといえる。

表-2 注入式長尺鋼管先受け工の仕様

鋼管の仕様	鋼管外径:139.8mm, 肉厚: 6.6mm 鋼管長:12.5m
打設仕様	打設ピッチ:45cm, 1断面あたり23~39本 施工シフト長:9m, ラップ長:3.5m
削孔方式	トップハンマー方式
設計注入量	(鋼管からの湧水量が10 l/minを越える場合) ウレタン系注入材: 1本あたり333 kg
	(鋼管からの湧水量が10 l/min以下の場合) セメント系注入材: 1本あたり 854 l

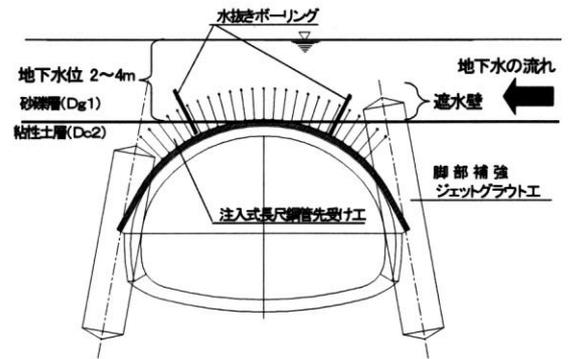


図-2 地下水対策工

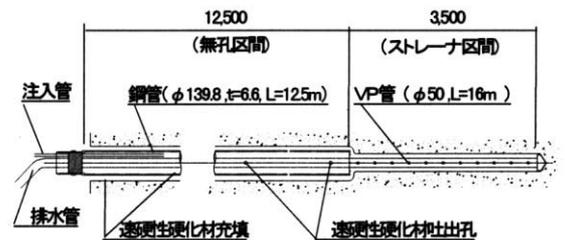


図-3 水抜きボーリング構造図

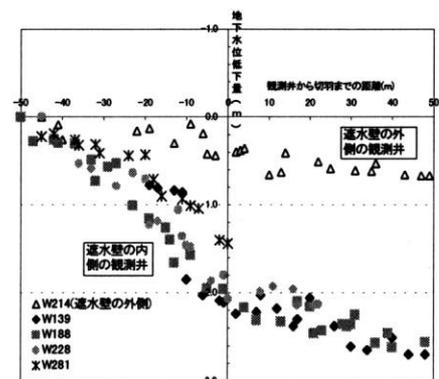


図-4 地下水対策工の効果