

# 軟弱地盤かつ低土被り区間の トンネル掘削における地表面沈下対策について

安藤 綾香<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中部地方整備局 北勢国道事務所 工務課 (〒510-8013 三重県四日市市南富田町4-6) .

国道1号北勢バイパス坂部トンネルは、トンネル通過位置の直上にゴルフ場があり、土質は埋土・沖積層の脆弱な区間を通過する。土被りは最小厚約3mであり、ゴルフ場の営業に支障がないようにするための地表面沈下対策を中心とした様々な工法を報告する。

キーワード 北勢バイパス、坂部トンネル、地表面沈下対策

## 1. はじめに

国道1号北勢バイパスは、国道1号・23号等の渋滞緩和、災害に強い道路機能の確保、地域活性化の支援を目的に計画された、三重郡川越町南福崎（国道23号）から四日市市采女町（国道1号）に至る延長21.0kmの幹線道路である。現在、みえ川越ICから市道日永八郷線までの延長8.5kmが開通しており、日永八郷線から国道477号バイパスまでの延長4.1kmにおいては、令和6年度開通に向け、坂部トンネルの本線掘削等、鋭意工事を進めている。（図-1）



図-1 位置図

## 2. 坂部トンネルについて

坂部トンネルは、標高70～80mの尾根が北西-南東方向に延びる丘陵地を約870mの延長で貫くトンネルである。（写真-1）

終点側坑口よりトンネル掘削工568.15m、覆工コンクリート工313.0m、インバート工323.5m（I期工事）が施工済みである。現在、トンネル掘削工177.0m、覆工コンクリート工及びインバート工約403.0m（II期工事）を施工中であり、残区間について、III期工事を契約済みである。

トンネル掘削の対象となる地質は主に粘性土、砂質土であり、これらを被覆して脆弱な崖錐堆積物、沖積層、埋土がトンネル中央の谷間及び坑口部に分布し、トンネルはその直下を通過する。（図-2）



写真-1 坂部トンネル

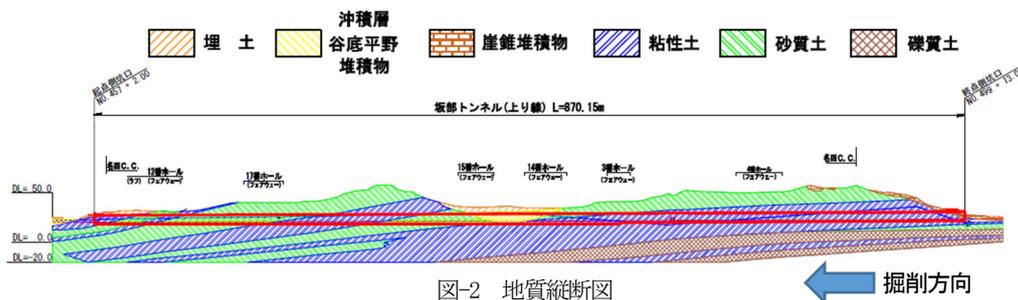


図-2 地質縦断面

地質が安定している通常の地山では標準支保パターンによる設計が一般的であるが、本トンネルの地山分類はEとされており、トンネル中央の低土被り区間では標準支保パターンが採用できない場合に適用するEAパターンが選定されている。

トンネル上部は営業中のゴルフ場で、未固結地山を土被り最小厚3mの低土被りで施工する非常に厳しい条件下での工事である。当初より地表面沈下量の管理基準値を50mmと定めているが、I期工事では200mmを超える地表面沈下が発生している。ゴルフ場の営業に支障がないよう、適切な掘削工と掘削補助工の施工、計測管理を徹底し、地表面の沈下対策を講じることが求められた。

### 3. 地表面沈下対策

坂部トンネルにおける地表面沈下対策として、地表面沈下の要因として考えられる、トンネル掘削による地山の緩みと地下水位の低下に対する対策、計測管理について以下に示す。

#### (1) 掘削

当初、急速施工で緩み拡大の防止に有利であり、地表面沈下を抑制させる必要がある場合に用いられる補助ベンチ付き全断面掘削工法（インバート早期閉合）での掘削であったが、ベンチ長2～4m程度の補助ベンチでは上半鏡部分の安定が低下する事象が生じた。そのため、上半先進ミニベンチカット工法へと変更することで、上下半掘削時の鏡面及び側壁部の安定性確保と、断面早期閉合による支保工変位抑制の両立を図った。ミニベンチ（ベンチ長 $\leq D$ ）は内空変位を抑制させる必要がある場合に用いられ、インバートの早期閉合がしやすい。

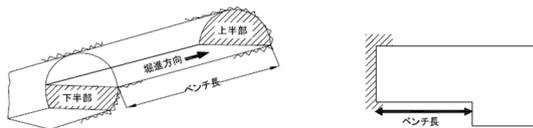


図-3 ベンチカット工法

#### (2) 補助工法

掘削による地山の緩み・崩落防止のため、トンネル上部に鋼管を補強材兼ケーシングとして削孔した後、鋼管を残置して注入材で囲う注入式長尺鋼管フォアパイリング（AGF）と、掘削面に注入式長尺鏡補強工を施工している。（図-3）

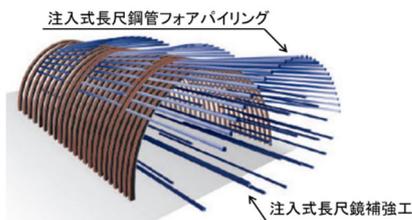


図-3 掘削補助工法 施工イメージ

#### (3) 地下水位低下対策

トンネル掘削による恒久的な地下水位の低下に伴う地表面沈下も想定されたため、トンネル中央部の低土被り区間においてはトンネル全周に防水シートを設置する非排水型のウォータータイト（WT）構造により、地下水位の低下対策を行った。（図-4）

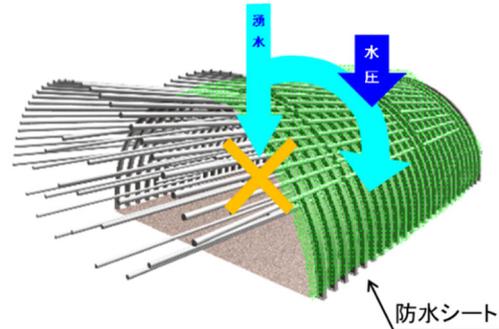


図-4 ウォータータイト構造

ウォータータイト構造では、覆工コンクリート工の強度が発現するまでは通常の排水型と同様に吹付け面からの湧水は仮排水工へと導かれるが、覆工コンクリート工の強度発現後は仮排水工が閉塞され、地下水位が徐々に回復し、防水シートの裏側に地下水が充満していく。従ってトンネルが地下水の中に浸された状態となる。（図-5）

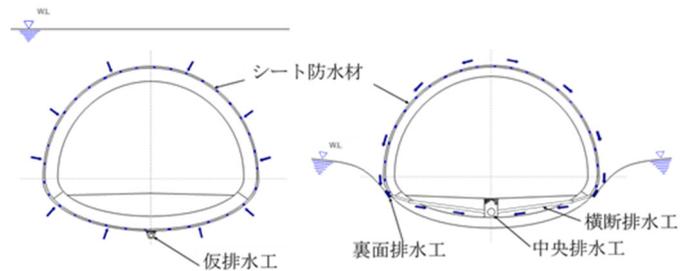


図-5 左:ウォータータイト構造(非排水型) と 右:通常の排水型(右)

#### (4) 計測管理

トンネルは線状構造物としての特殊性から、事前に得られる地山・地盤の情報が常に十分なものであるとは言い難く、設計の段階でトンネル掘削による地山の挙動や支保工の効果などを正確に予測することは困難なことが多い。このため、施工時に地質状況を観察し、計測により確かめ、設計・施工方法を修正していくことが重要となる。

坂部トンネル工事では、a) 日常の施工管理のために実施する項目（計測工A）と地山条件や設計の内容に応じて追加する項目（計測工B）、これらに加えて、b) 地表面沈下自動計測、c) 切羽前方地山性状の事前評価、またゴルフ場内の井戸水位及び水質観測を実施している。

#### a) 計測工(A), (B)

計測工(A)では坑内観察、内空変位・天端沈下・脚部沈下の測定及び縦断方向の地表面の直接測定を実施している。また、土質の脆弱な箇所は薬液が浸透し圧力で隆起が発生する可能性があるため、縦断方向だけでなく横断方向についても計測する必要があり、計測工(B)では埋土及び土被り1D以下の箇所において、横断方向の地表面の直接計測を実施している。

地表面は営業中のゴルフ場であり、営業時間中に地表面の確認や測定をすることは困難であったことから、開場前とプレー終了後の1日に2回計測している。プレーの障害となる固定物(ミラーなどのターゲット)は設置できないことから、コース上に配置した目印にその都度プリズムをセットし、測定している。

地表面沈下、内空変位、天端沈下、脚部沈下の各項目に設定した管理基準値を超過した場合に、作業所全体で速やかに共有するため、坑内及び現場事務所内には3段階の警告灯を設置している。

#### b) 地表面沈下自動計測

一部区間では上記計測の補完及び休工中の状況を確認することを目的に縦横断方向の自動計測を実施している。事前に設定した視準点をノンプリズムにて計測しており、ゴルフ場の芝生上では精度が劣ることを想定し、1時間に1回の計測としている。(写真-2)



写真-2 地表面沈下自動計測計

#### c) 切羽前方地山性状の事前評価

事前に切羽崩落の要因となる情報を入手することが重要と考え、穿孔を行い、穿孔エネルギーの定量評価と、穿孔によって得られた土砂を採取し前方地山の状況を推察することにより、切羽前方の地山性状を事前に評価・把握している。

また切羽前方の緩み領域を把握し、切羽の崩壊を防ぐ施工へ反映することを目的に、長尺鋼管フォアパイリングの打設後に地中変位計を挿入し、先行沈下量を計測している。地表面沈下量との相関も確認することができ、地表面沈下前兆が分かるようになると思われる。

地表面沈下について、Ⅱ期工事での最大沈下量は10mmであり、管理基準値を超えることなく、井戸水位・水質についても、大きな変動なく工事を進めている。

## 4. BIM/CIMの活用

上記の計測結果は、設計地質縦断図、切羽観察記録など各種情報と併せて3次元モデルにて一元的に管理している。(図-6)

厳しい条件下での施工であることから、元請会社と協力会社間では施工検討を頻繁に行う必要があることが想定された。切羽状況の変遷や計測結果を迅速に3次元モデルに統合し、共有できる使い勝手の良いBIM/CIMを目指して作成している。トンネル掘削時の施工性や安全性の向上を図ることに活用しており、後の維持管理にも活用することを前提として属性情報を付与している。

受発注者間では切羽判定時にこのデータを活用し、情報共有と合意形成の迅速化を図っている。

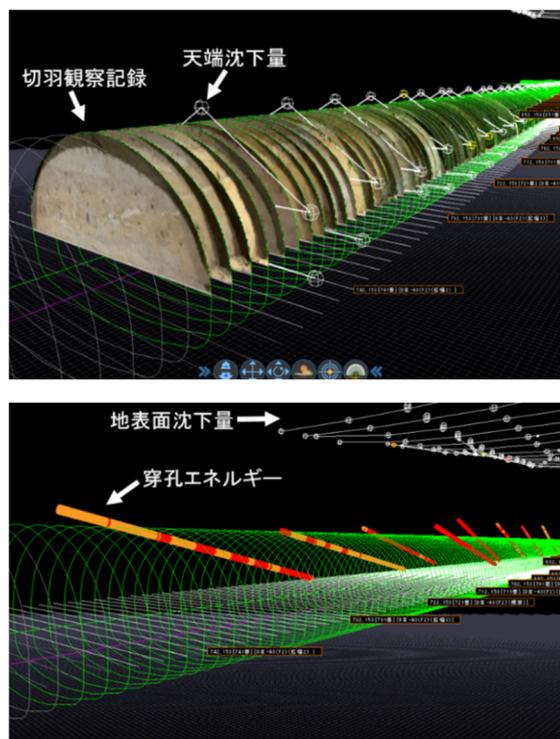


図-6 坂部トンネルの3次元統合モデル

## 5. おわりに

北勢バイパス坂部トンネル工事では、様々な工法を用いた地表面沈下対策と、地上は営業中のゴルフ場であるという条件下での徹底した計測管理により、ゴルフ場の営業に支障をきたすことなく工事を進めている。

今後、最小土被り厚3mでの施工となるⅢ期工事においてはパイプルーフ工法による掘削予定である。引き続き課題に対する適切な対策を講じ、開通に向けて施工を進めていく。

謝辞：本報告の作成にあたりご協力いただきました、Ⅱ期工事施工者の大日本土木株式会社ならびに関係の皆様へ厚く御礼申し上げます。