

# 導坑から地山改良を行い脆弱な盛土直下を掘削したトンネルの事例報告

加藤 翔<sup>1</sup>・田中 富博<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 河川部 河川工事課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

<sup>2</sup>近畿地方整備局 道路部 道路工事課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

平成 29 年 8 月に開通した京奈和自動車道大和御所道路御所区間（御所南 IC～五條北 IC 区間）では、盛土部（厚さ約 40m）の直下を元地山の土被り 1D(D：本坑掘削幅)以下でトンネルが通過する低土被り区間(延長 144.0m)があったが、事前の地質調査が十分出来なかったこともあり、工事契約後に追加調査を行った結果、想定よりも地山の状態が悪いことが確認されたことから、上記区間において地山の変位を抑制(コントロール)しながら安全で確実な進捗が見込める施工を進める必要性があった。本稿は当区間に追加の事前調査を実施して地山の状態をより詳細に把握した結果をトンネル設計に反映し、同時に学識者の意見を聞きながら安全で確実な施工を実施してコスト削減を図った事例について報告するものである。

キーワード トンネル, 先進導坑, E 区間, 京奈和自動車道 安全対策

## 1. はじめに

京奈和自動車道は京都、奈良、和歌山を結ぶ約 120km の高規格幹線道路で、近畿圏の外郭環状を形成し、大阪を経由せずに行き来できる新たなルートとして、アクセス性の向上による経済・観光の活性化・広域ネットワークの形成等大きな整備効果が期待されている。大和御所道路は京奈和自動車道のうち



図-1 京奈和自動車道概要図

ち奈良県大和郡山市から五條市まで延長 27.2km の道路であり、そのうち平成 27 年度までに 15.6 km が既に供用している。南側の五條道路と接続する当該区間の御所南 IC～五條北 IC

についても早期の供用開始が望まれていた。



図-2 大和御所道路 御所南 IC～五條北 IC 間

新田東佐味トンネル（現：風の森トンネル）は奈良県五條市と御所市をつなぐ全長 1,831m のトンネルであり、当該箇所では北側 1,351m, 南側 480m を分割発注し、施工した。本施工箇所は設計当初から建設発生土の盛土直下を通過する区間であった。



写真-1 風の森トンネル（終点側）

なお、計画段階では盛土区間を除去し、明かり部を形成してトンネルを設ける計画も存在したが、コスト比較の結果、トンネル内に導坑を設け、地山改良を施した方が有利であることから先進導坑掘削による地山改良工法が採用された。本稿は盛土直下を改良し、トンネル掘削した事例を報告する。

## 2. 工事概要及び盛土直下区間について

大和御所道路新田東佐味トンネル南工区工事（受注者：前田建設工業(株)）は、延長 L=480m 区間のトンネル掘削・支保、覆工の施工を行うものである。本工区（測点 No. 122+60～No. 125+10）には、先述の通りトンネル直上に脆弱な盛土が存在する。この箇所の盛土は過去の地質調査結果より建設残土が締め固めも行われずに埋め立てられたものであり、N 値 5～10 程度の非常に脆弱な粘性土や砂質土、礫質土、碎石等で構成されていることが判明していた。



図-3 新田東佐味トンネル南工区工事 概要図

こうした状況から設計成果では地山分類表（出典：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説）に当てはまらない劣悪な分類として E 区間(L=144m)とし、対策工の検討を行い、盛土部分を取り払い明かり部を形成する案、地表面から地山を改良する案、坑内からのパイプルーフを施工する案等と比較検討した結果、施工性、安全性、改良の確実さ、コストを踏まえてトンネル内部から先進導孔により地山を改良する工法が選択された。

E 区間は、本トンネルのトンネル土被り 1.0D の範囲に盛土が存在している区間を指し、さらにトンネルから 0.5D の範囲に盛土が存在する場合は E' 区間、1.0D～0.5D の範囲については E'' 区間と区別し、それぞれの性状に応じた補助工法が検討されていた。

しかし、設計段階では、盛土区間トンネル直上の用地買収が未了で関係者の了解が得られなかったため、盛土範囲の状況をより詳細に得るためのボーリング調査が不足し、トンネル中心線直上での盛土と元地山との境界確認が不明であった。

この境界位置が想定と大きく異なっている場合、トンネル周辺地山に未改良域が生じる恐れがあり、本坑切り上げ時の地山の不安定化が懸念され、最悪の場合崩落の危険性があった。上記の理由及び先進導坑が通常の発破掘削に比べて工期が大幅に増えるため、施工業者から地上部からの地山改良の提案がなされた。

しかし、当初設計時に地上部からの地山改良案は一度廃案となっているため、それが可能なのかを確かめることが必要であった。

## 3. 盛土部ボーリングによる事前調査の実施

盛土、地山、トンネル本坑の境界位置をより正確に把握するため、主にトンネル直上で追加ボーリング調査(n=11 本)を実施することとした。ボーリングの位置及び本数については受発注者及び設計者の 3 者間で協議を行い、最低限把握しなければならない断面を網羅出来る 20m ピッチにて調査を行うことと

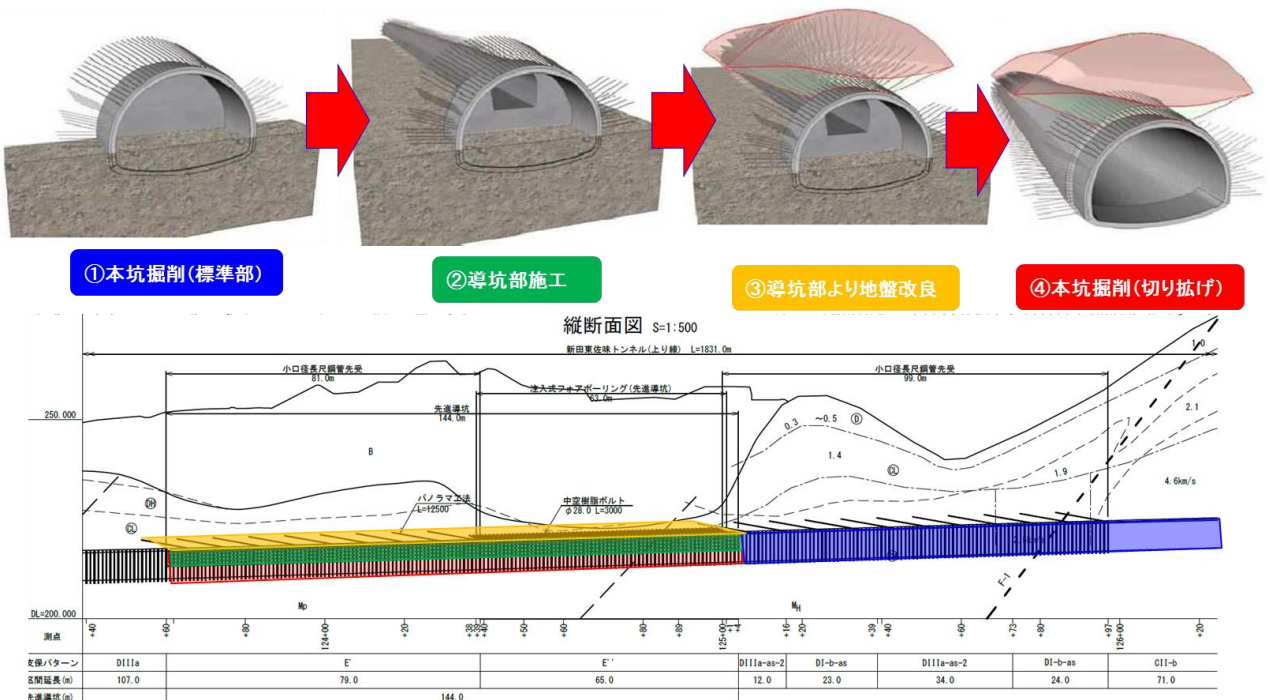


図-4 先進導坑施工ステップ図 (イメージ)



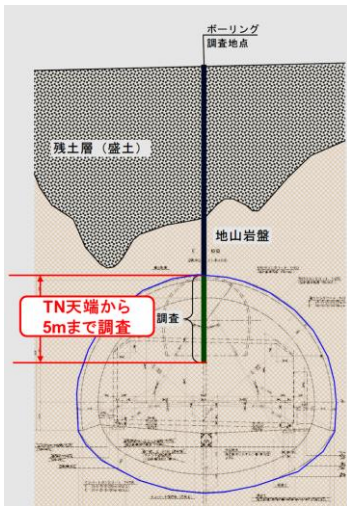


図-5 ボーリング調査模式図

した. また地山土被りとトンネル切羽に出現する地山状況を確実に確認するため, トンネル天端高から 5m 程度の余裕長さを掘進するものとした. 調査の結果, 深さ方向について一部盛土がトンネル断面内に出現することが判明し, さらに盛土内にコンクリート殻, 煉瓦, 木片等の産廃が含まれていることがわかった. そのため薬液が行き渡らない可能性があるため施工業者から提案のあった地上部から地山を改良することが困難であることが判明した.

よって地山及び盛土の改良方法について再度精査する必要が生じた. 一方で盛土分布と地山との面的な境界が事前の想定とは大きく異なることはなく, アーチ部側方の改良範囲の見直しは必要ないことが確認できた.

#### 4. 調査の結果を踏まえた施工方法の変更

これらの調査結果から盛土及び地山の詳細な位置関係が判明したため, 効果的な安全対策を検討することとなった. その際に学識者の意見を確認しながら確実に地山を改良し, 掘削することとした.

当初設計では, 先述の通り E 区間全線 (L=144m) を先進導坑とする計画となっていたが, ボーリング調査によって地山, 盛土, トンネル本坑の位置関係が推定できるようになり, 改良区間の一部削減を図った.

具体例として, 先述の E' 区間 (土被り 1.0D~

0.5D) については当初設計時には調査箇所が少なかったことから, 盛土がどのように出現するかが想定できなかったため, 全体区間を先進導坑で施工することとしていたが, ボーリング調査によりトンネルから 0.5D 範囲に盛土が出現しないことがわかったため導坑の施工を削減した.

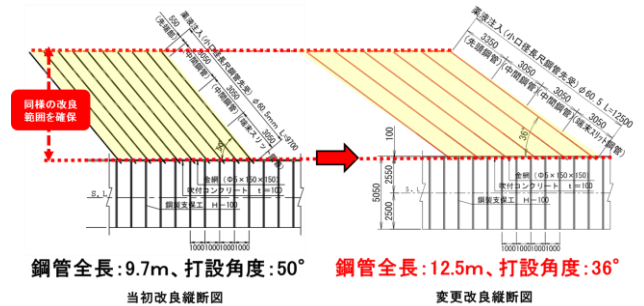


図-7 薬液注入打設角度の変更

さらに, 補助工法による改良時に鋼管の打設角度を 50° から 36° に変更することで方が一の鋼管滑り落ちを回避でき, かつ薬液注入が手前の導坑から行える区間が形成され, 導坑の削減対象となった. そのため, 先進導坑区間の延長を当初計画していた 144.0m から 53.0m にまで削減することができた.

また, 学識者より「盛土部分に滞水していることが考えられることから水位観測は必ず行いながら施工」との助言により, 先述のボーリング調査時に掘削した調査孔を施工時の水位観測孔として利用し, 施工時も水位を確かめながら施工を行った.

#### 4. 設計変更に基づく先進導坑の実施

先述の施工方法の変更を踏まえた上で元地山の土被り厚 0.5D 未満の E' 区間から, 以下の手順で掘削

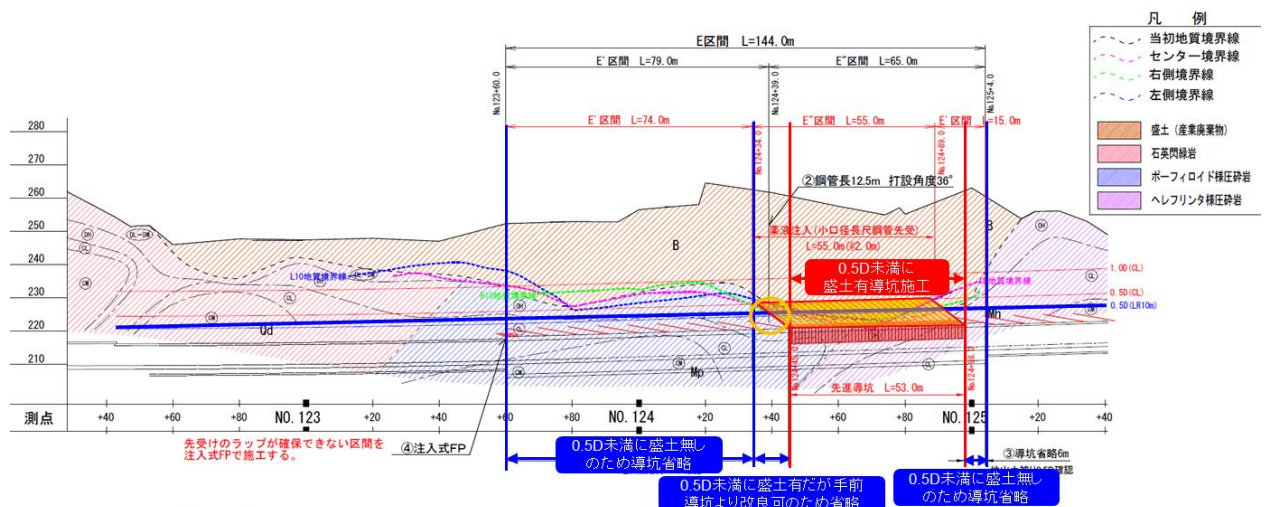


図-6 ボーリング調査結果に基づく先進導坑施工範囲の見直し

作業を行った。

- ① 先進導坑掘削
- ② 先進導坑からの薬液注入による  
本坑外周 0.5D 範囲の改良
- ③ 本坑切り上げ

(1)掘削方法

当初発注時は先進導坑の掘削はレール工法により計画されていた。しかし、軌条設備の設置・撤去や掘削機械(スキッド型ワンブームパーカッション)の搬出入等の段取り替え作業に時間を要し、計画時の施工サイクルの確保が困難であった。そこで、協議により導坑断面の高さを 0.5m 拡大し、施工方法をレール工法からタイヤ工法に変更した。



写真-2,3 2ブームドリルジャンボ及びタイヤショベル

これにより、2ブームドリルジャンボによる施工や本坑で使用したタイヤショベルでの作業が可能となり、導坑の掘削進捗は、昼夜作業で 3~5m/日となったため工程短縮に寄与した。設計では導坑掘削時の天端からの崩落対策として導坑の全線で 3.0m の中空樹脂ボルト(φ28.0mm)による注入式フォアボーリングが計画されていた。しかし、前述のボーリング調査により、上部の盛土が導坑の天端から露出する箇所があることが確認されていたことから、導坑掘削時における盛土地山の天端の抜け落ちを確実に防止するため、当該箇所については長さ 6.0m (継足し長)の注入式中空樹脂ボルトに変更し、先進導坑の掘削は発破掘削が主であったが、発破振動による抜け落ち防止のため、同箇所は機械掘削に変更して施工を行った。



写真-4 先進導坑内盛土露出状況

また、追加調査のボーリング孔を利用して E' 区間(土被り 5D 未満) 近傍の地下水位を観測していたが、地下水が本坑天端の 10m 以上上方まで滞水していた。先進導坑掘削後から徐々に地下水位が低下してきたものの、依然として地水位が導坑の天端よりも高く、天端の抜け落ちや掘削盤が泥濁化することによる鋼製支保工の支持力低下、ロックボルトのモルタル洗流が懸念された。

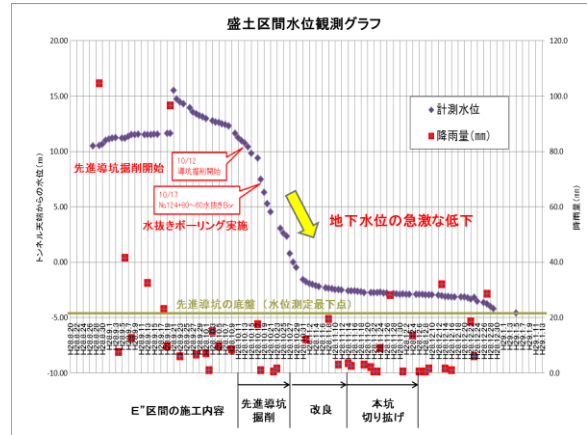


図-8 盛土区間水位観測状況

そこで、先進導坑掘削面に水抜きボーリング(L=20.0m, 先進導坑の両土平付近に 1 本ずつ、計 2 本)を実施したところ、水抜きボーリング実施後から地下水位が先進導坑底盤まで低下した。(図-8) これにより、切羽からの湧水も減少し、以降安定して先進導坑の掘削を行うことができた。



図-9 水抜ボーリング施工位置 写真-5 水抜実施状況

6. E 区間本坑切り上げの施工

(1)掘削及び先受け工

先進導坑からの改良により、本坑天端部に出現した盛土に注入材が脈状に分布していることが観察された。

また導坑掘削時に区間全域に渡って亀裂に富んだ圧砕岩が分布していることがわかり、ブレイカー等で容易に掘削できるほど柔らかいものだった。こうした状況から、当初設計で本坑天端部で、改良範囲から外れる図-10 の B 部分については、小口径長尺先受け(L=9.0m)を追加施工した。



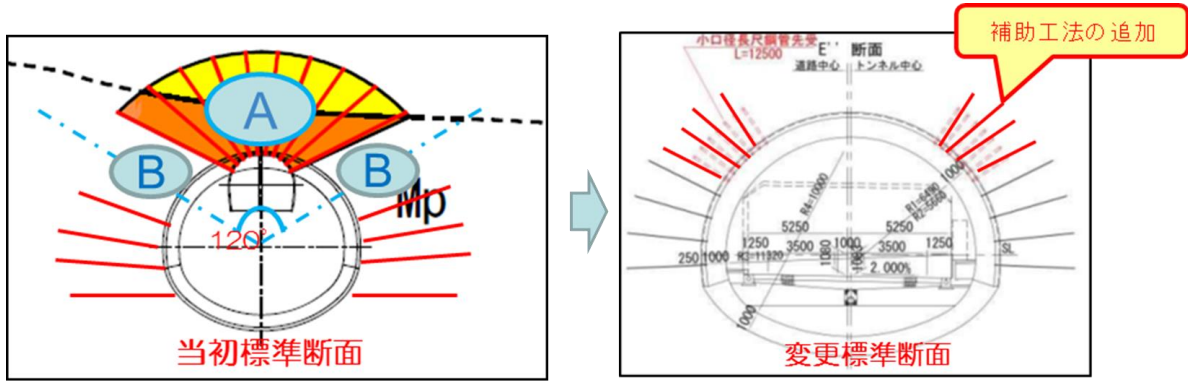


図-10 導坑改良範囲外の補助工法の追加

なお、切り払げは切羽の天端状況を観察しながら発破掘削を行い、先進導坑の鋼製支保工は発破に先立ち、ブレーカを使用して撤去した。切羽には亀裂が発達したポーフィロイド様圧砕岩が分布していたが、先受け工や導坑からの改良の効果もあり、安定した状態であった。

(2) 早期閉合の実施

E 区間は元の地山土被りが 1.0D 以下であるため、地山のグランドアーチが期待できない。そのため当初設計から二次覆工を RC 構造とし、将来荷重を受け持つ構造としていた。しかし、覆工及び仮インバートコンクリートの施工が完了し、構造体として機能するには掘削後に時間がかかるものとなっていた。この際に沈下が生じると盛土及び周辺地山に緩みが生じる恐れがある。そこで、一次支保の状態をトンネルを早期に閉合し、耐荷力を、向上させておくことが非常に重要であると判断し、当初計画されていなかった仮インバートを施工することとした。仮インバート吹付けの強度は 18N/mm<sup>2</sup>、厚さは t=25cm、スパン長は追加した小口径長尺先受けと同様に L=9.0m とし、吹付けによる閉合箇所との離隔距離は、切り払げ掘削の上半切羽から 16m、下半切羽から 11m とした。

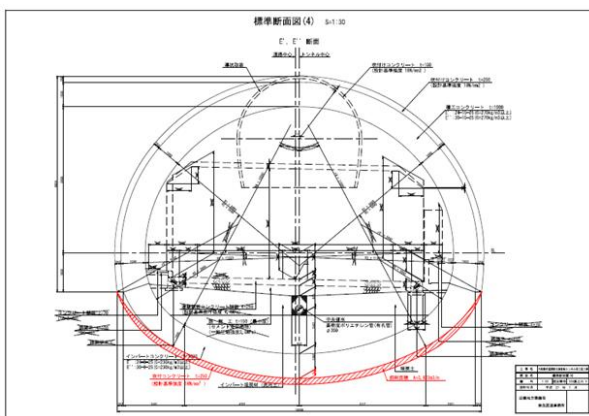


図-11 仮インバート図面 (赤書き部分)



写真-6,7 仮インバート吹付状況及び施工完了写真

7. おわりに

本工事では、当初設計のみではわからなかった地山の性状把握についてボーリングの追加調査を行い、学識者の助言を頂きながら検討することにより対策工の見直しを図った。以上の結果をふまえて施工方法を検討・変更することで、切羽の抜け落ちや崩落、直上盛土部の沈下を防ぐことができた。

また、現場内の工夫や工法の変更等により極力工程に影響を与えない施工とすることもできた。

今後の教訓として設計段階から事前調査を効果的に行う事で、全体としての工期の削減及びコスト削減、ひいては施工時の安全確保に寄与することと考えられる。本トンネルは平成 29 年 3 月に無事貫通(到達)し、覆工コンクリート施工後、平成 29 年 6 月に後続の Co 舗装工事に引渡しを行い、平成 29 年 8 月 19 日には供用開始となった。今後は国道 24 号の渋滞解消及び緊急輸送路として地域に寄与することとなる。

最後に、本稿が、類似のトンネル工事の参考となれば、幸いです。

※本稿は著者が奈良国道事務所工務課所属時の担当内容である。

謝辞：本論文の執筆にあたってトンネル施工業者の前田建設工業(株)の関係者には資料提供等様々な面でご協力頂きました。また関係職員の皆様には多方面からご指導、ご助言を受け作成することができました。本紙面をお借りして、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) トンネル標準示方書 山岳工法 同解説
- 2) 道路トンネル技術基準 (構造編・同解説) H15.4 版