

河川直下のトンネル掘削時の対策

西松建設株式会社 新幹線久山西出張所 正会員○井内 厚志
西松建設株式会社 新幹線久山西出張所 正会員 永田 謙一郎
西松建設株式会社 土木設計部 正会員 鈴木 健

1. はじめに

「九州新幹線（西九州）、久山トンネル（西）他」工事は、工事延長 2,481m（トンネル延長 2,425m）のトンネル工事である。本工事のうち、武雄温泉起点 52km940m～53km090m（L=170m）は、地表面に 3 面水路で構築された河川（以下、河川と称す）が近接（横断測点：52km960m）しており、かつこの区間の土被りは 10m 程度（1D）で最小土被りは、3m であった。当該部の土質は、旧河川部の埋戻しによる土砂地山および安山岩である。安山岩は、比較的硬質であるものの、非常に亀裂質であった。このことから、当該部の掘削時には天端部の抜け落ちや、河川への悪影響が懸念された。

そこで本工事では、当該部の掘削開始前に管理基準値の設定、数値解析および長尺鋼管先受け工（以下、AGF と称す）の仕様について検討を実施した。本稿では、これらの検討結果と対策の施工結果について報告する。

2. 管理基準値の設定

最初に河川の沈下に対する管理基準値を設定した。沈下に対する管理基準値は、河川管理者の基準値を考慮して 24mm をレベルⅢとした（表-1）。

表-1 地表面沈下量管理基準値

	レベルⅠ 管理レベルⅢ×50%	レベルⅡ 管理レベルⅢ×75%	レベルⅢ (30mm の 80%)
地表面沈下	12mm	18mm	24mm
対応	レベルⅠ未満：通常体制 レベルⅠ超過：監視強化	レベルⅡ超過 監視強化・対策工実施	レベルⅢ超過 支保パターン見直し

3. 2次元 FEM 解析による沈下量の検討

トンネル掘削時の地表面沈下量が設定した管理基準値内で収束するかを確認するため、2次元 FEM 解析¹⁾を実施した。検討断面は、トンネルが河川直下を通過する 52km960m（地山：安山岩）とした。この断面の土被りは H=4.5m である。解析では、AGF の対策有無および仕様をパラメータとして、case1：鋼管なし、case2：鋼管φ76.3mm、case3：鋼管φ114.3mm の 3 ケースを実施して、対策効果の差について検討した。解析結果を図-1 に示す。

数値解析の結果、AGF を打設することにより、地表面沈下量は設定した管理レベルⅠ以下となることがわかった。また鋼管径によって、発生する地表面沈下量の差にほとんど変化はないこともわかった。以上より、AGF 鋼管は経済性を考慮してφ76.3mm を選定することとした。

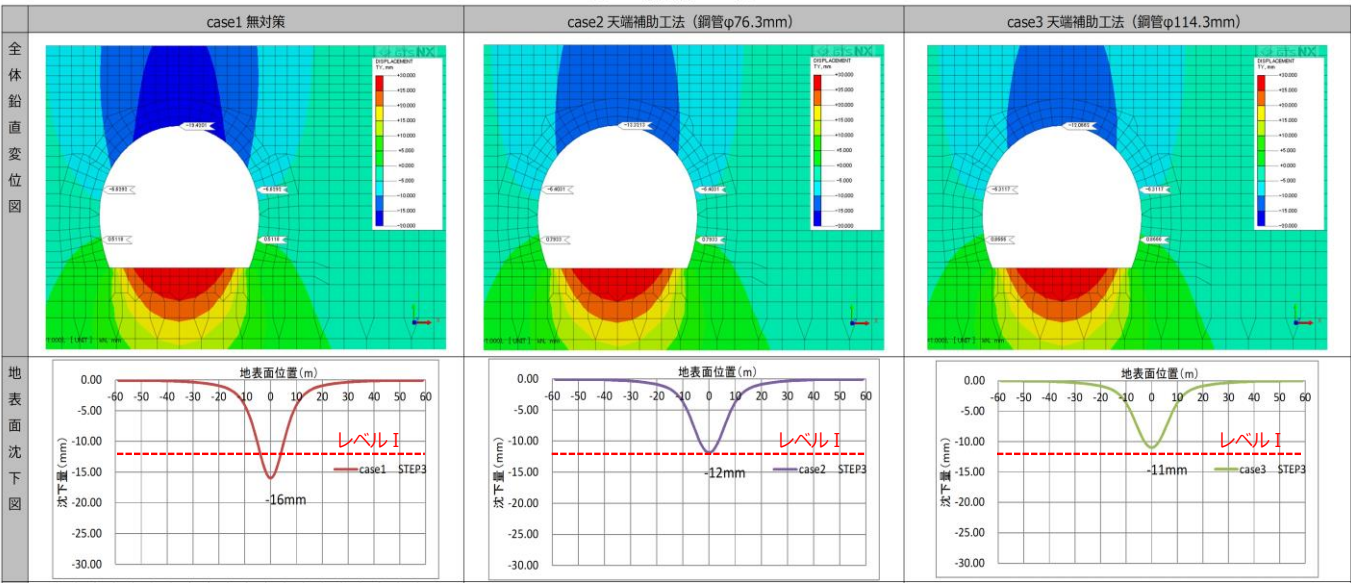


図-1 数値解析結果（地表面沈下量・地中変位）

キーワード トンネル，沈下対策，小土被り，数値解析，管理基準値，補助工法

連絡先 〒854-1111 長崎県諫早市飯盛町平古場 1448 番 1 TEL 0957-48-2530

4. 長尺鋼管の仕様に関する検討

52km940m～53km090m (L=170m) のうち, 53km016m～53km052m (L=36m) 区間は, トンネル上部の地山が旧河川部の埋戻しによる土砂地山であり, かつ土被りが3m程度である. そこで, 当該部については, 鋼管に全土被り荷重が作用すると想定して, 鋼管の仕様について検討した.

検討では, 図-2のように鋼管を梁モデル²⁾とし, 全土被り荷重 pf が鋼管に作用するとして, 鋼管に発生する応力度照査を行った. 鋼管径は $\phi 76.3\text{mm}$ と $\phi 114.3\text{mm}$ で検討した. 検討した結果, $\phi 76.3\text{mm}$ の鋼管では, 発生応力度 $\sigma_{\max}=466\text{N/mm}^2$ となり, 許容応力度 $\sigma_{sa}=235\text{N/mm}^2$ を超過した. 一方, $\phi 114.3\text{mm}$ の鋼管では $\sigma_{\max}=145\text{N/mm}^2$ となり, 許容応力度を超過しなかった. よって, この $L=36\text{m}$ 区間の鋼管は $\phi 114.3\text{mm}$ を採用することとし, その他は, 2次元 FEM 解析で決定した $\phi 76.3\text{mm}$ の鋼管を採用した.

なお, AGF に注入する注入材は, 地表面に河川構造物があることを考慮して, ゲルタイムが短く, 湧水の影響を受けにくく, かつ, インターバル注入でリークを抑制できるウレタン系注入材とした.

掘削は, 小土被りと地表面の河川を考慮して, ブレーカによる機械掘削を計画・実施した. 掘削工法は, 変位が大きくなった場合の一次インバートの施工を速やかに実施できることを考慮して, 補助ベンチ付き全断面工法とした.

5. 実施工の記録

切羽観察写真 (52km959.6m) を図-3 に示す. 切羽に出現した地山は, 想定通り全体が比較的硬質であるが, 非常に亀裂質の安山岩で構成されていた. 安山岩は, 切羽大部分において黄褐色を呈し, 湧水による風化が観察された. 特に切羽右側は節理が発達し一部強風化が観察され, 容易に切羽から剥がれ落ちる状況であった. 湧水は切羽左肩部から湧水 5 ㍓/分 程度, 所々から滴水程度観察された.

AGF 鋼管打設時の注入材の注入量は, 特にリークすることなく設計通りの注入量を注入 ($\phi 76.3\text{mm}$: 117kg/孔 , $\phi 114.3\text{mm}$: 135kg/孔) することができた. このことから, 掘削している地山は想定通り亀裂質であったと推察される. なお注入時は, 昼夜ともに地表面に監視員を配置し, 切羽と連絡を取りながら地表面へのリークがないことを確認しながら施工した.

トンネルセンター直上の地表面沈下量の計測結果例として, 52km960m (水路直下で水路天端を計測) および 53km025m (土砂地山部) を図-4 に示す. 地表面沈下量は, 4mm 程度の沈下で収束した. これは, 地山性状は亀裂質であったものの, 想定より硬質であったことと, 補助工法の効果と考えられる. また図-5 に河川直下付近の A 計測結果 (52km964.6m) を示す. トンネル天端沈下量は 3mm 程度で収束した.

6. まとめ

小土被りで, かつ地表面に河川が存在する区間に対し, 管理基準値の設定, 数値解析による管理基準値に対する妥当性の確認および土被りに応じた鋼管の仕様変更を検討してから掘削を行った. この結果, 地表面および河川に変状を発生させることなく安全に掘削を完了することができた.

7. 参考文献

- 1): (独) 鉄道施設・運輸施設整備支援機構: 山岳トンネル設計施工標準・同解説, 平成 20 年 4 月
- 2): 例えば, ジェオフロンテ研究会: 長尺鋼管先受工法 (AGF 工法) 技術資料 (六訂版), 平成 24 年 3 月

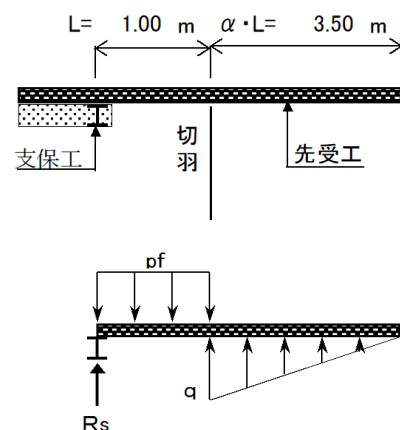


図-2 鋼管検討モデル



図-3 切羽観察 (52km959.6m, 河川直下)

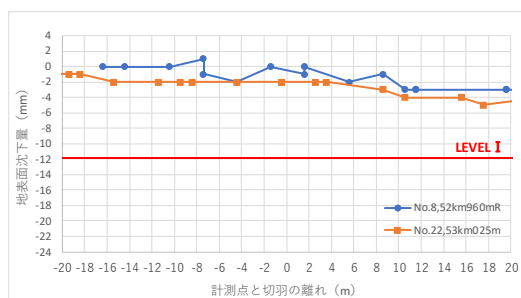


図-4 地表面沈下計測結果

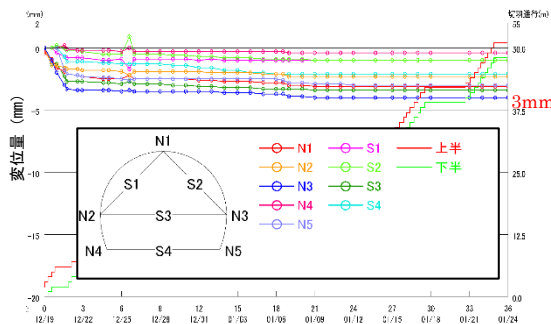


図-5 A 計測結果 (52km964.6m)