

低土被り区間の施工対策報告

The Report of Construction Measures of Tunnel with Shallow Cover

吉永 浩二*
Koji Yoshinaga

要 約

本工事は、北陸新幹線の松ノ木トンネル全長6,720 mのうち北幹、松ノ木T(西)他1,他2工事として、L=3,120 mの工事である。

他2工事区間において、北陸新幹線の計画ルートに直行するように中ノ俣川が流れている。本区間の掘削作業に際しては河川直下でしかも低土被り(最小7 m程度≒0.7 D)であること、地盤の傾斜が高角度であり亀裂面が確認されていること、砂質層が挟在しており部分的に透水性が高いこと等が懸念された。これらの地山条件により施工時における河川水流入による切羽の崩壊、河川流量の減少等の問題点があった。

そこで、本工事はトンネル断面への河川水の止水と地盤改良を目的として、トンネル内部よりAGF-Rs工法と薬液注入を行った。

本報告は、上記工法採用への過程を報告するものである。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 低土被り部の施工における問題点
- § 4. 対策工の選定・範囲の設定
- § 5. 施工フロー
- § 6. 施工実績
- § 7. ま と め

§ 1. はじめに

本工事は北陸新幹線 長野ー富山間のうち、上越駅(仮称)ー糸魚川駅間のトンネルである(図ー1)。トンネルルート付近の地質構造は郷津背斜の他、桑取向斜・背斜・断層等があり、やや複雑な構造となっている。なお、上越ー糸魚川間はいわゆる堆積軟岩地域であり、地表では地滑りが比較的多い。

また、トンネル掘削はNATMによる機械掘削を採用し、ベルコン方式によるずり搬出を行っている。今回報告する中ノ俣川直下の施工は、本工事において一番の難所であり、慎重な計画・施工を余儀なくされた。

§ 2. 工事概要

名 称：北幹、松ノ木T(西)他1,他2

企 業 先：独立行政法人

鉄道建設・運輸施設整備支援機構

鉄道建設本部 北陸新幹線建設局

延 長：3,120 m (直線)

形 式：複線型 (新幹線)

施 工 者：西松・五洋・本間・相村

特定建設工事共同企業体

工 期：

他1 平成14年1月17日～平成18年1月16日

他2 平成16年11月9日～平成19年5月8日

§ 3. 低土被り部の施工における問題点

中ノ俣川交差部周辺の低土被り部の平面図および縦断図を図ー2、図ー3にそれぞれ示す。ここでは、本区間における施工上の問題点を、現地の状況を踏まえた対策



図ー1 松ノ木トンネル(西)位置図

* 北陸(支)松ノ木トンネル(出)

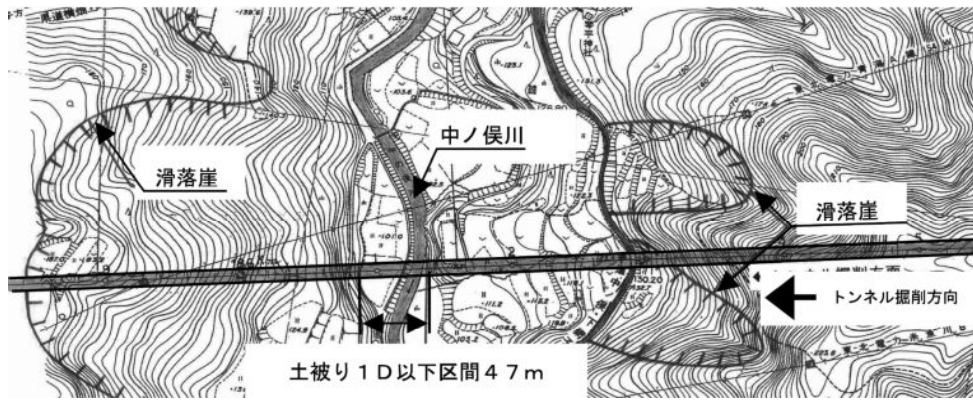


図-2 低土被り部の平面図

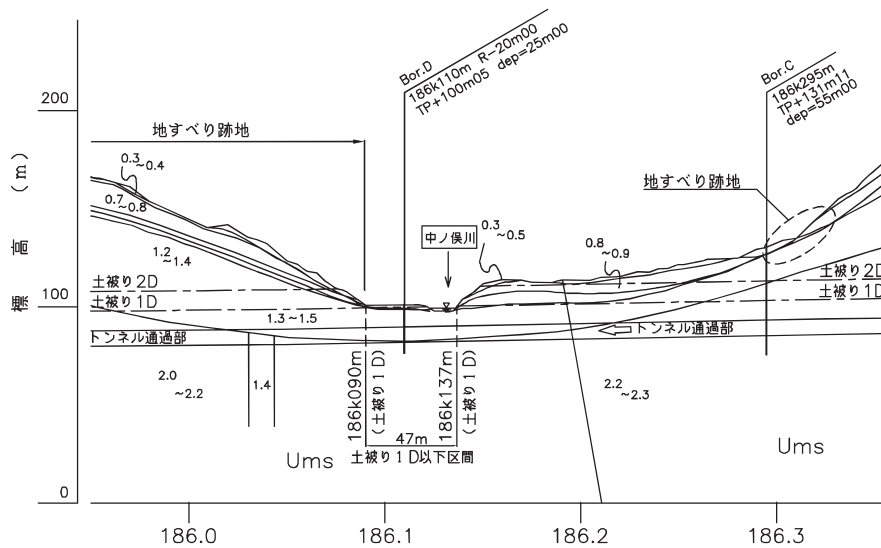


図-3 低土被り部の縦断面図

別に示す。

3-1 中ノ俣川との交差部における湧水対策

(1) 現地状況

- ① 河川直下では土被りが最小 7 m (0.7 D) である。
- ② 河川直下の掘削においてトンネル内への河川水の流入が予測される。

- ③ 地層の傾斜が高角度であり亀裂面も存在する。
- ④ 砂質層が挟在しており部分的に透水性が高い。

(2) 施工における問題点

- ① 河川水流入による切羽の不安定化 (切羽崩落, 天端崩落, 泥濘化による作業効率の低下)
- ② 河川流量の低下 (水利権の問題, 周辺環境への悪影響)

3-2 低土被り区間のトンネル安定対策

(1) 現地状況

- ① 土被り 1 D 以下の区間が約 47 m 存在する。
- ② 一軸圧縮強度が小さい。
($q_u = 3.3 \sim 5.3 \text{ N/mm}^2$)
- ③ 砂岩の固結度が特に低い。
- ④ 地下水位が高く多量の湧水が予想される。

(2) 施工における問題点

- ① 天端の不安定化 (切羽崩落, 天端崩落, 緩みによる土圧・湧水量の増大)
- ② 上半脚部沈下 (緩みによる土圧・湧水量の増大)
- ③ 鏡の不安定化 (切羽崩壊)

3-3 地すべり跡地の対策

(1) 現地状況

- ① 東側山腹に地すべり跡地が存在する。
- ② トンネル断面上方 2 D 以内にすべり面が存在する可能性がある。

(2) 施工における問題点

- ① 地すべりの発生による周辺環境への影響
- ② 地すべりによるトンネルへの偏圧作用

§ 4. 対策工の選定・範囲の設定

4-1 対策工の選定

(1) 中ノ俣川との交差部における湧水対策

まず中ノ俣川の止水性をどの程度確保するかにより対策が異なるため、以下の案の中で発注先と協議を行った。

- ① 中ノ俣川の水量を確保する。

② ある程度のトンネルへの流入を許容する。

③ 積極的な排水工法（水抜き、Bor など）を行う。

発注先との協議により、②のトンネル掘削に支障のない程度のトンネルへの流入は許容する事を決め、対策工として地上からの対策案、坑内からの対策案に分け比較検討を行った。

地上からの対策案を以下に示す。

- ① 地表から薬液注入を実施する。
- ② トンネル影響域に永久構造の三面水路を構築する。
- ③ コルゲートやマット工法等で河川を防護し河川水のトンネル内への流入を防ぐ。

しかし、中ノ俣地域へのアクセスの悪さや、施工ヤードの確保等が難しいため、地上からの対策は困難であると判断し、次の坑内からの対策案で検討する事とした。

坑内からの対策案を以下に示す。

- ① 長尺先受け工法（止水性注入材使用）による止水・天端対策兼用の補助工法を適用する。
止水工法効果を高めるために拡幅タイプの AGF 工法とする。
- ② 切羽前方の地山の止水性を薬液注入工法により向上させる。

その他の留意点として、覆工をウォータータイト（完全防水型）にする事を提案したが、企業先との協議の結果、一般部と同じ排水構造とした。ただし、中央排水の排水能力の再検討が必要となる（実施工においては、中ノ俣川への排水立坑を構築し排水能力を高めた）。

(2) 低土被り区間のトンネル安定対策

支保パターンについては基本的に坑口部（土被り 1D 以下）と同一とした。

また覆工構造については、河川の直接影響範囲と土被り 1D 以下の範囲を覆工補強区間とし、それを発注先と協議し 9 m×6 sp=54 m 間とした。

二次覆工は平面骨組み解析により構造計算を実施し、検討方法は以下の各区間において作用土圧が最大となる断面をそれぞれ抽出し検討した。

- ① 土被り 1D と最大土被り 22 m の断面においては、緩み土圧を考慮して解析。
- ② 最小土被り 7.5 m の断面においては、グラウンドアーチの形成が困難なことから、安全側の設計をするために全土被り荷重が作用するものとして解析。

検討の結果より、

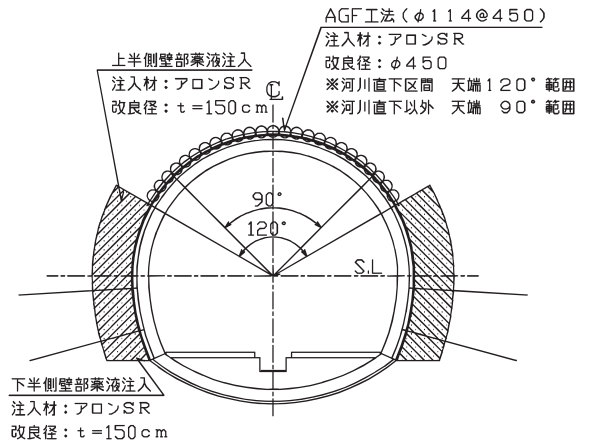
アーチ部：t=45 cm D16@300（内外配筋）

インバート部：t=60 cm D19@300（内外配筋）

とした。

次に、天端安定対策のポイントを以下に示す。

- ① 止水性向上の観点から先行変位を抑制する必要がある。
- ② 地質調査報告書より長尺系の先受け工法が必要であることが指摘されている。
- ③ 天端安定対策のみを目的とする場合は、天端 120°



図一 4 止水工併用型 AGF 断面図

範囲の打設が一般的である。

以上を踏まえて対策案としては AGF 工法（拡幅タイプ）が挙げられた。

次に、脚部沈下対策のポイントを以下に示す。

- ① 脚部沈下は緩みを助長し地山の止水性を低下させる危険性が高い。
- ② 地質が一軸圧縮強度の小さい砂岩泥岩互層であるため、支持面積を増やして荷重分散を図ることが有利である。

実施工において脚部沈下については、施工時の状況により支保工の連結、仮インバートの施工をすることとした（インバート部分には鉄筋が入ることで、インバート掘削後すぐに打設ができないため、低土被り部の 62 m 間においてはインバート吹付を施工した）。

以上の各対策工法をまとめ、要求性能に合った補助工法は、図一 4 に示す止水工併用型長尺先受け工法となった。

薬液注入材については、図一 5 の薬液注入材料選定フローにより決定した。

4-2 対策工の施工範囲の設定

対策工の施工範囲は「止水対策の施工区間」と「低土被り対策工の施工区間」の両方を抱合する範囲とした。

(1) 西側端部（富山側）の設定

- ① 止水対策面での範囲を河川水面より 45°とする。
- ② トンネル安定対策面での範囲を土被り 1D の境界とする。

(2) 東側端部（長野・上越側）の設定

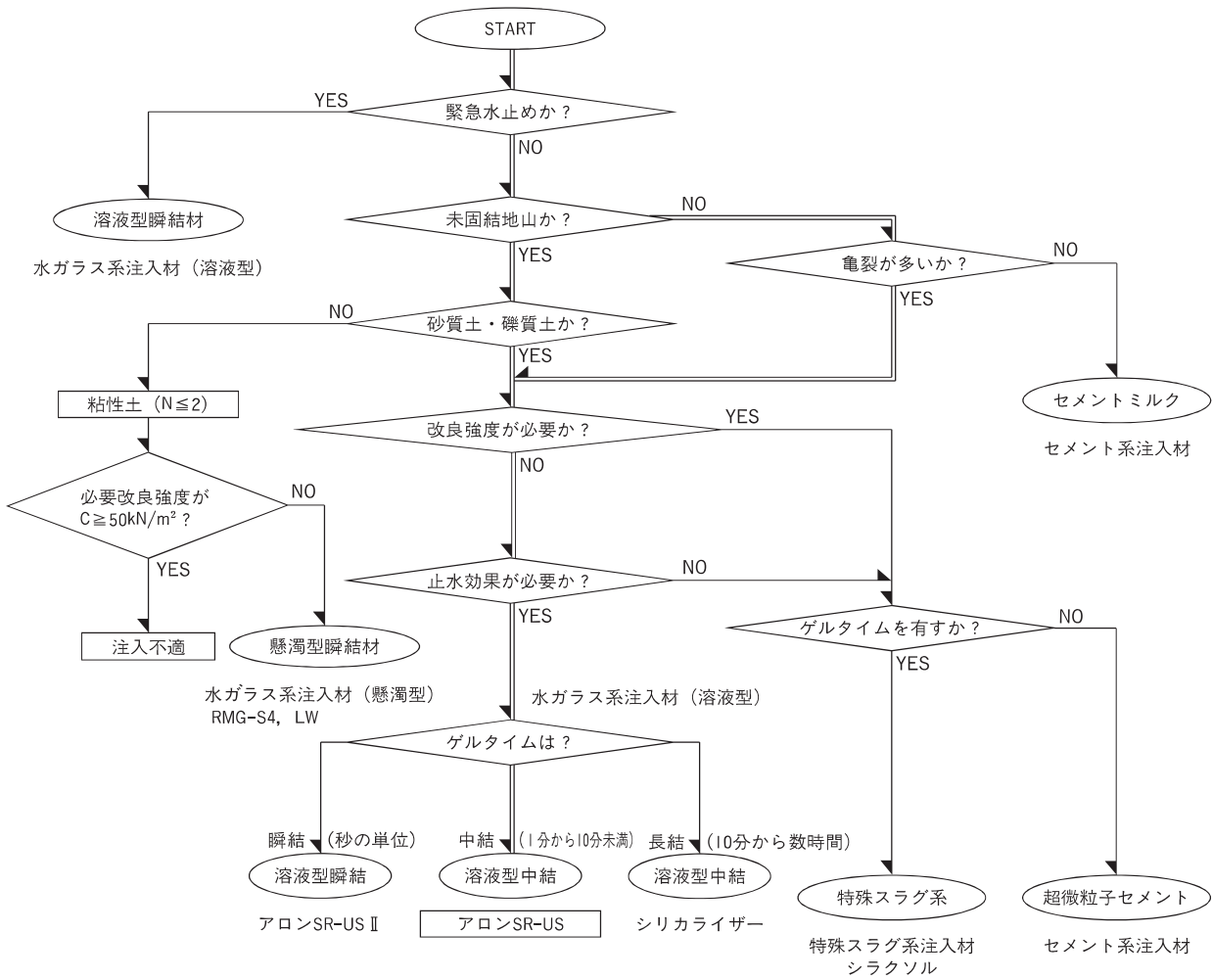
- ① 止水対策面での範囲を段丘堆積部より 45°とする。
- ② トンネル安定対策面での範囲を土被り 1D の境界とする。

以上を満たす 82 m を対策工施工区間とした。

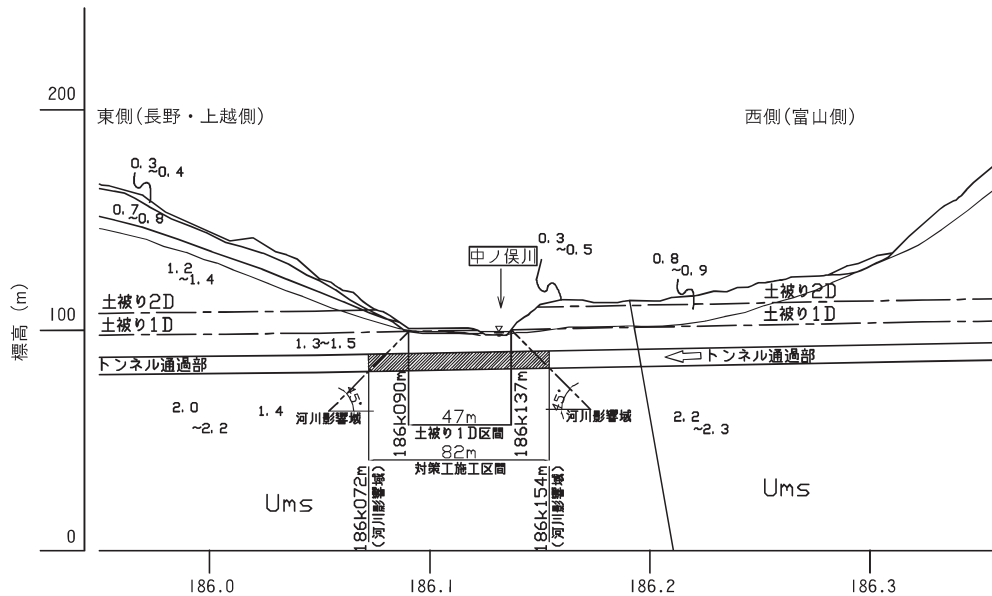
対策工施工区間を図一 6 に示す。

(3) 地すべり対策について

地質調査が当初不十分で、地すべりの活動状況や規模が分からない状況にあったため、以下の追加調査・計測



図—5 薬液注入材選定フロー



図—6 対策工施行範囲

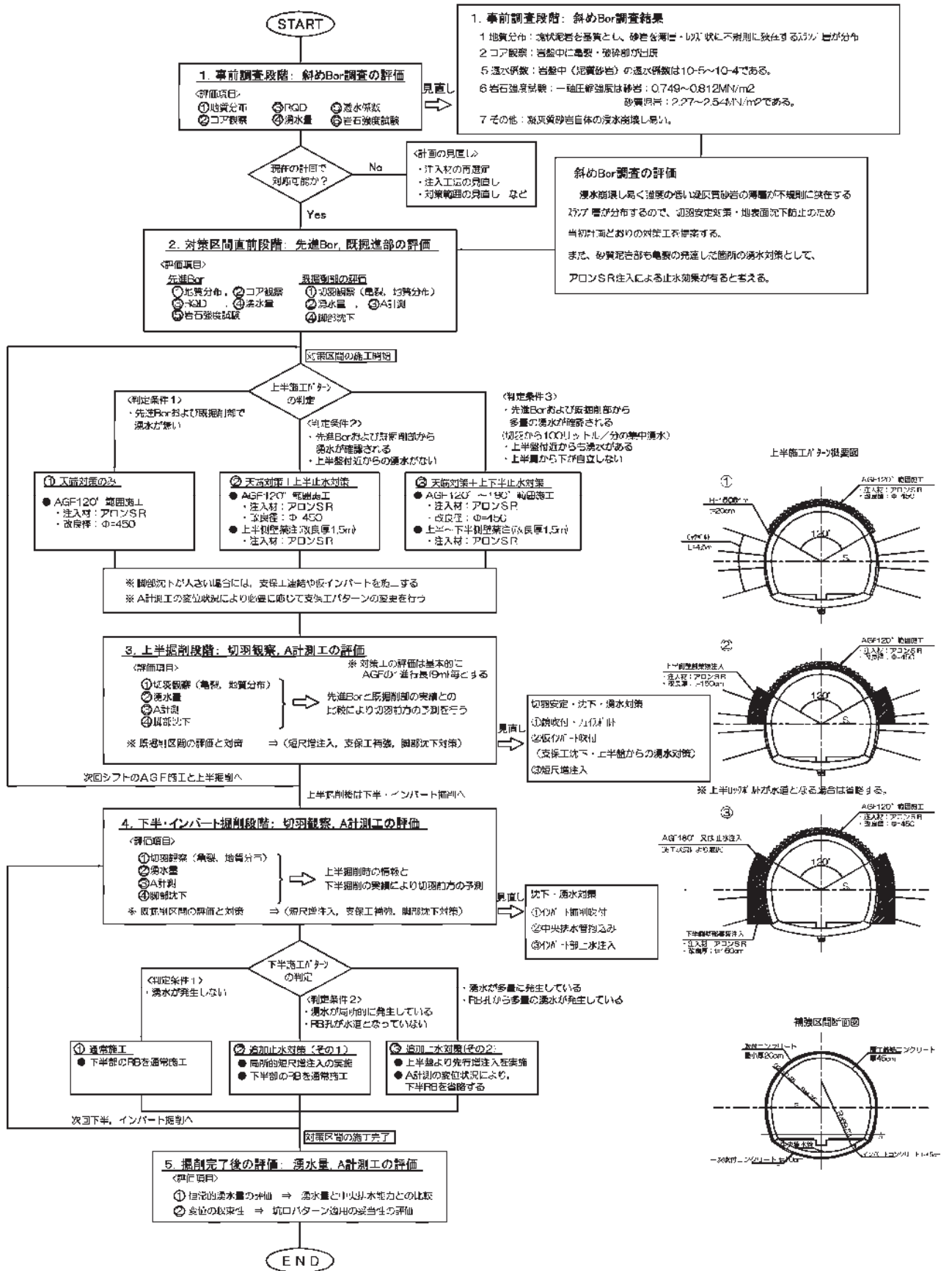
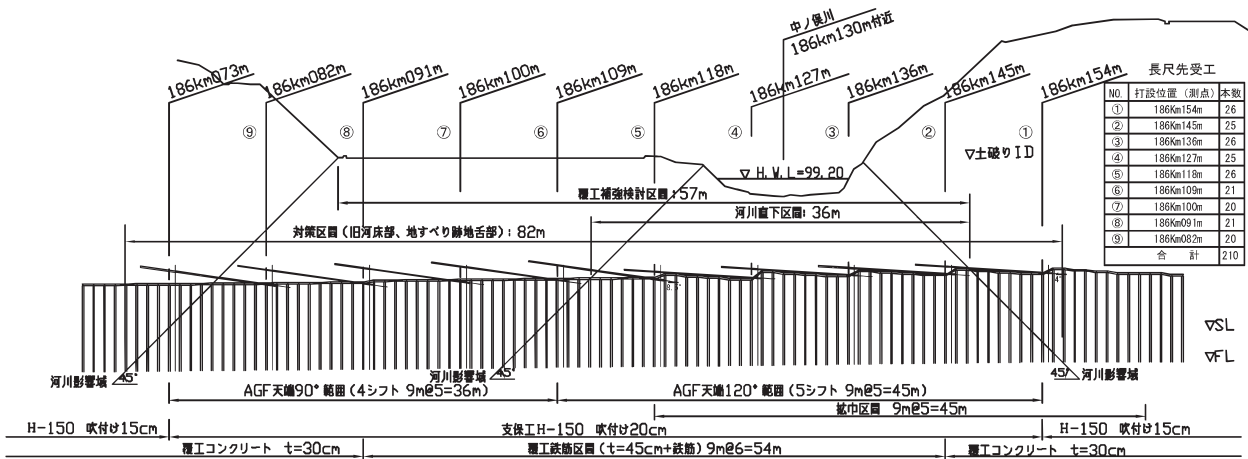


図-7 対策工施行フロー



図—8 中ノ俣 補助工法全体縦断図

表—1 AGF 鋼管からの湧水量

施行箇所	打設時の湧水量
①シフト	43.0 L/min
②シフト	56.0 L/min
③シフト	55.0 L/min
④シフト	39.0 L/min
⑤シフト	10.0 L/min

を提案し実施した。

- ① 現地踏査により、地すべりブロックの大きさ・深さ等を把握・想定し現在の地すべりブロックの安定性を概略的に評価する。
- ② 鉛直ボーリング調査により地すべりブロック内部の地質状況・すべり面の有無を把握する。
- ③ トンネル掘削前（現状斜面）、掘削時及び掘削後の斜面安定性を評価するため傾斜計の設置（鉛直ボーリング孔を利用）を行った。
- ④ トンネル A 計測（通常の管理項目）により、トンネル掘削中の地すべり荷重や偏土圧の作用を監視した。

§ 5. 施工フロー

以上の対策を踏まえ、図—7に対策施工フローを示す。

§ 6. 施工実績

6—1 トンネル掘削時の湧水

図—8に示すような河川直下での AGF 鋼管打設に伴い河川水を坑内に引き込む恐れがあったので、AGF 鋼管の打設を慎重に行うと共に、鋼管からの湧水量を常に監視しながら施工を行った（表—1参照）。鋼管からの湧水は、鋼管打設時に若干見られたものの、薬液注入に

よりほぼ止水できた。他に地山からの湧水はほとんど見られなかった。

これは注入材の効果の他に、透水性の高い砂岩が連続的でなく断片的にレンズ状に挟在していたことと、地山を緩めることなく施工できたからだと思われる。

6—2 計測結果

上下半掘削後の内空変位は、最も土被りの小さい 186 km 130 m 地点において、天端沈下 28 mm・内空変位 52 mm といずれも管理レベル内で施工することが出来た。

地表面沈下においては切羽到達 2 D 程度手前から見られ、最大箇所でも 20 mm で収束している。（下半・インバート施工後）

また、掘削による地すべりの誘発も無く、傾斜計もほとんど変位を示さなかった。

これらは AGF 工法による天端安定効果・薬液注入による止水効果が発揮された結果と、掘削作業において、切羽の状況に応じて鏡吹付・一次吹付の早期実施、慎重な施工を行った結果であると思われる。

§ 7. まとめ

当現場では、河川直下、低土被り、地すべり跡地などの複数の特殊性が複合していたが、安全かつ周辺環境に影響を及ぼすことなくトンネル掘削を完了することが出来た。

特殊条件下での施工では、まず施工上の問題点や課題を整理し、特殊工法や支保機能に求める目的および要求性能を明確化すること、また、補助工法の選定に際しては、その耐荷機構やメカニズムを正しく理解することが重要である。

本報告が同種工事計画の参考になれば幸いである。