高水位土石流下におけるトンネル施工

中日本高速道路（株）敦賀工事事務所　釘野　公寿
（株）鴻池組　高田　幸延　田中　寿
（株）鴻池組　正　富澤　直樹　正　若林　宏彰
（株）鴻池組　正○長沼　諭

１．はじめに

本工事は，舞鶴若狭自動車道敦賀線の三方 IC～美浜 IC の間に位置しており，山岳トンネルである矢筈山トンネル（全長 2,418 m）のうち，東側の坑口および本坑（延長 421m）を NATM 工法により施工するものである．

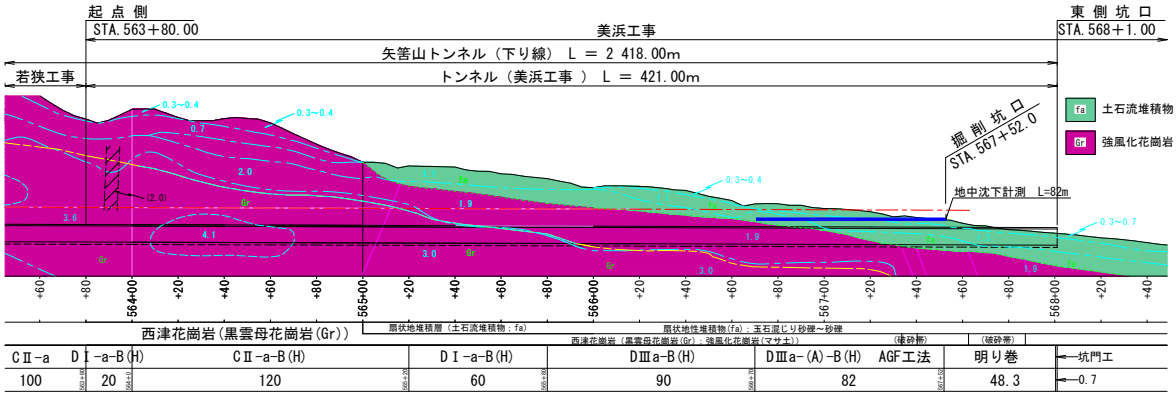
当該トンネル施工箇所は，土石流堆積物による扇状地形を呈し地下水位が高く，また土被りも薄い．本稿では，高水位土石流下を低土被りで行ったトンネル施工について報告する．

図－１　トンネル位置図

２．地質概要

本トンネル東側坑口付近は 10%程度の緩斜面で，トンネル上部の沢からの土石流による扇状地形を呈している．坑口はこの土石流扇状地の下端に位置し，このため土被り 1.5D 以下の低土被り区間が掘削坑口から約 170m 続く．

土石流堆積物は玉石～巨礫（径 20～80 cmを主体とし，最大径は 2mに及ぶ）を混入する砂礫層で構成される．土石流堆積物の下位の花崗岩は，上部は強風化しておりマサ土化が進行しており，岩級区分は D 級で土砂である．また，地下水位は地表面下 3～5m に観測され，土石流堆積物層内で地下水流動層を形成していると予想された．

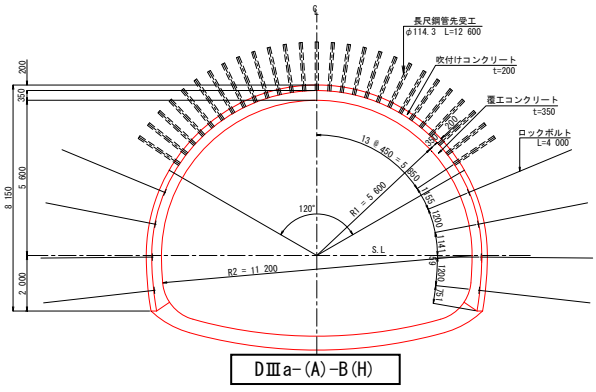


図－２　地質縦断図（設計当初）

３．補助工法概要

切羽およびトンネル天端部に未固結の土石流堆積物が出現する区間では，天端の安定対策のためにＡＧＦ（長尺鋼管先受け工）が設計されていた．

当初設計では，注入材はセメント系注入材が計画されていたが，試験施工を実施した結果，セメント系注入材ではマサ土に対し浸透性が小さく鋼管口元からリークしてしまい所定の量を注入できなかった．このため，より浸透性および地山の拘束力が優位であると判断されたウレタン系注入材のシリカレジン（高浸透タイプ）に変更した．

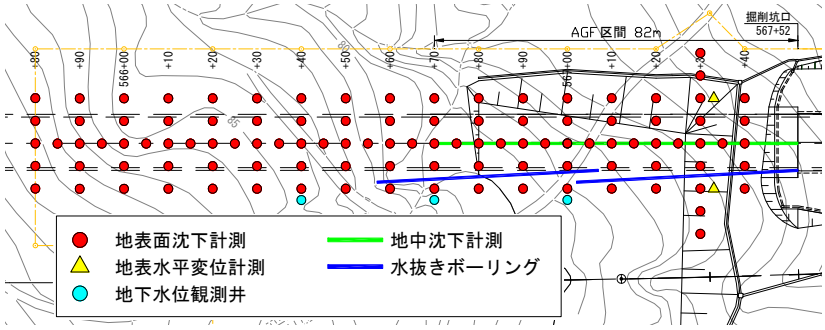


図－３　支保パターン図

キーワード　低土被り，土石流堆積物，高水位，補助工法，計測
連絡先　〒530-8517　大阪市北区梅田 3-4-5 毎日インテシオ　㈱鴻池組 土木技術部　TEL (06)-6343-3290

４．水抜きボーリング

切羽到達前に地下水位を低下させるため，坑口および坑口から 45m の位置でトンネル側壁部より水抜きボーリング（φ115mm，L=50m）を実施した．また，地下水位の変化を把握するため，観測井を 3 箇所設け，水位計による自動計測を実施した．



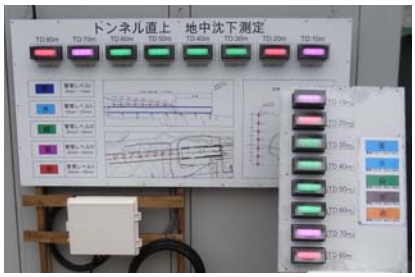
図－４ 計測点平面図

５．計測システム

土石流により形成された軟弱な地山の挙動に対して，迅速に対応するために計測工を強化した．以下に計測項目および管理体制について示す．

5.1 坑内計測および地表面沈下計測

坑内変位計測の内，天端沈下の計測を 5m 間隔とし，地表面変位計測は変位杭を 5m メッシュで追加設置し 105 測点とした．坑内及び坑外変位は自動追尾トータルステーションにより 6 時間毎(1 日 4 回)に自動計測を行った．



写真－１ 地中沈下計測表示板

5.2 地中沈下計測

トンネル直上 3.5m の位置に坑口から水平ボーリング（φ165 ㎜，AGF 区間 L=82m）を行い，その孔内に水圧式沈下計を 10m 間隔で 8 点設置し，1 時間毎に自動計測を行った．また，その計測結果を坑口および切羽付近に設置する光る表示計で，変位量を 5 色で表示した．

5.3 地中水平変位計測

トンネル周辺地山の挙動を把握するため，AGF 区間の初期断面でトンネル左右に鉛直ボーリング（φ115mm，L=25m+18m）を行い，その孔内に傾斜計を 3m～3.5m の間隔で計 13 点設置し，1 時間毎の自動計測を行った．

写真－２ 巨礫

5.4 管理基準値と管理体制

各計測の管理基準値は，限界ひずみより求められる許容変位量とした．事前に FEM 解析により挙動予測を行ったが，予測変位は管理基準値内で収まっており，実際の計測結果も解析結果と比較的整合がとれていた．

計測結果はインターネットを通して関係者間で同時に共有し，管理値を超過した時には，関係者に警報メールを自動送信するシステムを採用した．

写真－３ 水抜きボーリング

６．施工と計測結果

実際の施工においては鏡吹付けを実施しながら掘削を行ったが，切羽の肌落ちや天端の抜け落ちが頻発した．このため，ＡＧＦ鋼管長を 12.6m から 9.6m に，１シフト長を 9m から 6m に変更し，切羽には注入式鏡ボルト（ＧＲＰ製，L=4m）を実施した．また，特に切羽の自立性の悪い箇所では半断面ずつ掘削，鏡吹付けを行い掘削した．当初，予定していたＡＧＦ施工区間は坑口から約 80m であったが，地山が良化せず，更に 150m 延伸した．

坑内の水抜きボーリングでは約 170ℓ /min の湧水が観測され，近接した観測井の地下水位が約 13m 低下した．これにより切羽からの湧水を低減することができ，切羽の自立性を確保することができた．

以上の対策により，各計測結果の最大値は天端沈下が 27mm，内空変位が 44mm，地表面沈下および地中沈下が 47 mm，地中水平変位が 7 ㎜といずれも管理基準値内で収めることができた．

７．おわりに

今回，高水位土石流下かつ低土被りという条件でのトンネル掘削において，計測を強化することで地山の挙動を監視し，適切な補助工法や地下水位低減対策を施すことで，管理基準値内でトンネルを掘削することができた．本稿が今後，類似した環境におけるトンネル施工への参考になれば幸いである．