

泥土圧シールド工法による鉄道直下横断施工について

戸田建設株式会社	正会員	○相澤	涼太
戸田建設株式会社	正会員	日向	利行
戸田建設株式会社	正会員	小林	修
戸田建設株式会社	正会員	中村	太三

1. はじめに

当該工事は国営岩手山麓農業水利事業のうち、川前地区の地上部を東西に横断している老朽化が目立つ岩洞用水路のほぼ直下を泥土圧シールド工法によって地下トンネル化するものである。本工事では、いわて銀河鉄道の列車運行を阻害しない、既設構造物や法面を崩壊・倒壊させないという使命のもとで特に土被りの小さい IGR いわて銀河鉄道直下のシールドマシン横断区間の施工について、横断時の施工における条件、問題点、対策とその解決方法と施工報告をする。

2. 施工における条件

IGR いわて銀河鉄道下を横断する箇所の地形は図-1 に示す通り、高低差約 10m の谷のような形状、土被りはその地形に応じて約 15m→6m→17m となっている。地質については巨石が点在している Vsg1 層であることをボーリング調査で確認していた。

2-2 特別仕様書の施工条件（抜粋）

IGR の昼間制限区間(L=26.0m)においては、夜間 21:00～6:00 の線路閉鎖間合い(概ね 4 時間程度)の作業とする。IGR 等の影響を常時計測監視し、列車運行の安全を確保すること。計測項目はレール(高低、通り、水準)、下り線側の擁壁(傾斜、沈下)、上下線両側の法面(地滑り)及び軌道敷地両側の地中変位(地中側方変位)とする。

3. 施工における問題点と対応結果

3-1 問題点

鉄道直下横断施工において、隆起や沈下により IGR いわて銀河鉄道の営業を阻害しないために、シールドマシンの掘進管理(切羽土圧や裏込め注入)が重要であった。

3-2 施工における対応結果

3-2-1 トライアル施工の実施

鉄道横断区間より手前に層別沈下計を 1 箇所設置し、切羽圧や裏込め注入圧による沈下計への影響を把握するためのトライアル施工区間を設けた。トライアル施工の施工方法は、施工区間において、測点に地表面および地中変位計を設け、設定した掘進管理値での施工を行い地表面および地中変位量を計測した。計測した変位量をもとに各計測点での二次元 FEM 逆解析を実施し、沈下量に相当する実応力解放率を求めた。また、応力解放率による二次元 FEM 解析を IGR 横断部にて再度実施して、軌道の変位量が許容値以内であるか判定することで、掘進管理値の設定値が適切であるか判断した。施工フローを図-3 に示す。各項目については以下のように決定した。

工事件名： 岩手山麓農業水利事業導水路建設工事

工事場所： 岩手県滝沢市大崎地内他

工期： 2017年8月22日～2021年3月24日

発注者： 農林水産省東北農政局

主要工事概要：

○水路トンネル工

・シールドトンネル工(泥土圧シールド工法)L=1,065m

一次覆工：φ2950mm 二次覆工φ2400mm

○立坑築造工 2 箇所

・発進立坑：鋼矢板Ⅲ型 8.4m×9.6m×12.9m

・到達立坑：アーバンリング工φ5.0m×22.8m

○その他工事 1 式

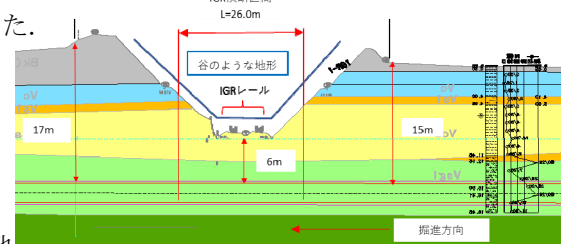


図-1 地質縦断面図

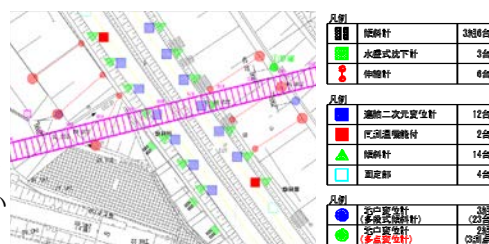


図-2 計測装置配置

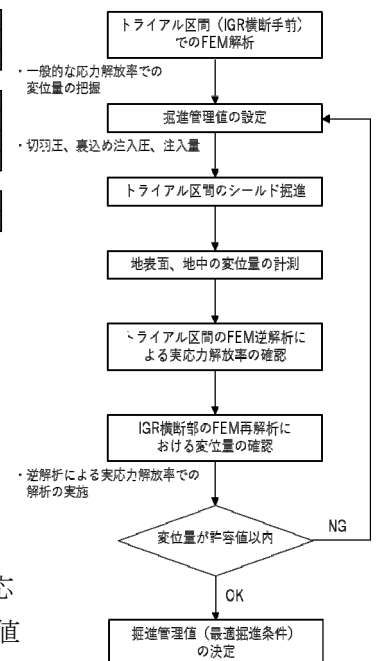


図-3 トライアル施工フロー

キーワード：泥土圧シールド工法 鉄道横断

連絡先：戸田建設株式会社 東京都中央区八丁堀 2-8-5 TEL 03-3551-8905

(1) 切羽圧

切羽圧は、土質調査報告書による地下水位、主働土圧、静止土圧から地下水圧+40 kPa程度の値で推移していた。IGR横断面でも掘削対象土が同じVsg1層であることから、切羽圧は同様の値が作用すると考え、ケース1-1として下限値を「60kPa（地下水圧）」、上限値を「80kPa（地下水圧60kPa+20kPa）」とし、ケース1-2は20kPa高い値を設定し、ケース1-3では、ケース1-1、1-2の結果をもとに最適と判断される掘進管理値を設定した。

(2) 裏込め注入圧・注入量

裏込め注入圧の上限値は「切羽圧上限値+100kPa」とした。切羽圧の上限値は、ケース1-1～1-3の結果をもとに設定する。裏込め注入量の上限値は、「計算から求まるテールボイドの130%」とした。ただし、裏込め注入圧が上限値に達した場合、裏込め注入量が上限値に達していなくても注入を終了することとした。

(3) FEM解析

トライアル施工前に、鉄道直下の断面についてFEM解析を実施した。一般的な応力開放率30%で変位量の把握を行った。解析結果は表-1の通り。トンネル上部で鉛直最大-8.34mm、直上地表面右4m地点で最大-2.03mmの沈下が生じる解析となった。トライアル施工時の切羽圧、裏込め注入圧の実績を図-4に示す。一部大きな巨石等の遭遇もあり、一時的に設定値を超えることもあったが、それによる各測定点の変位は見られなかった。最終ケースでは1,2の中間値である切羽圧を70～80kPaとした。トライアル掘進の結果、変位量は最大でも0.02mmという結果であった。

3-2-2 施工時間の問題について

シールド工事で発生する沈下を抑制する方法は切羽を極力不安定にさせることなく、速やかに掘進させることが先決であると考え、24時間施工（10時間労働+2時間測量他）×2方をIGRいわて銀河鉄道に提案し、24時間で対応することができた。

4. 施工結果

トライアル施工から、切羽土圧、裏込め注入設定をし、列車の徐行手続きを行い、常時自動計測で監視しつつ、軌道に関連する工事管理者等の24時間配置や人力による軌道計測を実施しながらIGRいわて銀河鉄道の施工に臨んだ。令和3年10月16日（土）8:00からIGR施工区間（L=26.0m）の掘

進を開始し、令和3年10月21日（木）1:19に完了した。軌道計測において、変位及び裏込めの噴出はなかった。裏込め注入材のゲルタイムを筒先で20秒以下になるようA液とB液の配合にその都度調整しながら掘進したことも要因の一つであると考え。変位については、自動計測、人による計測も±2mm以内で軌道整備をかけなければならない±4mm以内であった。計測結果を図-5に示す。過掘りに対する地盤沈下の抑制を目的として掘削土砂の計測をベルトウェイヤー式の重量とレーザースキャンによる土量での確認に加え、人による掘削土量の確認も実施し土量管理を厳格に行ったことも要因の一つと考える。

また、切羽土圧保持装置をボタン一つで稼働できる準備状態にして対応した。さらにマシンに地山空洞探査装置を取り付けていたので空洞を確認しながら施工やフリクションカット部分にはクレーショックを充填できる設備を設けた。連絡体制は、トンネル坑内Wi-Fiを使用し、LINEにて、現場内にいる全員が一斉に情報を共有できるように対応した。

5. おわりに

綿密に計画を行い、トライアル掘進を経て詳細な情報の確認、決定を行った。万が一の場合の対応策も事前にリスクアセスメントを行い準備したことで無事に低土被り部の線路直下横断を成功させることができた。

検討断面	変位	
	鉛直方向(mm)	水平方向(mm)
① 直上地表面	-3.12	0.00
② トンネル上部	-8.34	0.00
③ 直上地表面+4.0	-2.03	-1.44
④ 直上地表面+8.0	-0.93	-1.28
⑤ 直上地表面+12.0	-0.05	-0.79
⑥ 直上地表面+16.0	-0.39	-0.36
⑦ 直上地表面+20.0	-0.35	0.00
⑧ 直上地表面-4.0	-2.03	1.43
⑨ 直上地表面-8.0	-0.93	1.28
⑩ 直上地表面-12.0	-0.52	0.79
⑪ 直上地表面-16.0	-0.39	0.36
⑫ 直上地表面-20.0	-0.35	0.00

表-1 FEM解析結果（施工前）

検討断面	変位	
	鉛直方向(mm)	水平方向(mm)
① 直上地表面	-0.01	0.00
② トンネル上部	-0.03	0.00
③ 直上地表面+4.0	-0.01	-0.01
④ 直上地表面+8.0	0.00	0.00
⑤ 直上地表面+12.0	0.00	0.00
⑥ 直上地表面+16.0	0.00	0.00
⑦ 直上地表面+20.0	0.00	0.00
⑧ 直上地表面-4.0	-0.01	0.01
⑨ 直上地表面-8.0	0.00	0.00
⑩ 直上地表面-12.0	0.00	0.00
⑪ 直上地表面-16.0	0.00	0.00
⑫ 直上地表面-20.0	0.00	0.00

表-2 FEM解析結果（施工後）

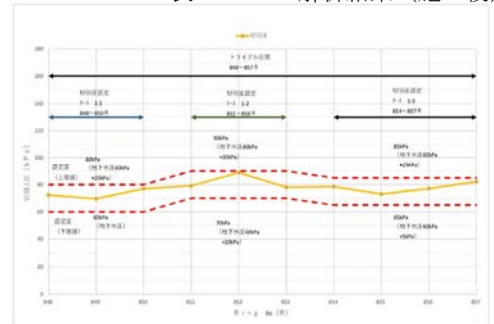


図-4 トライアル施工時切羽圧・裏込め注入圧

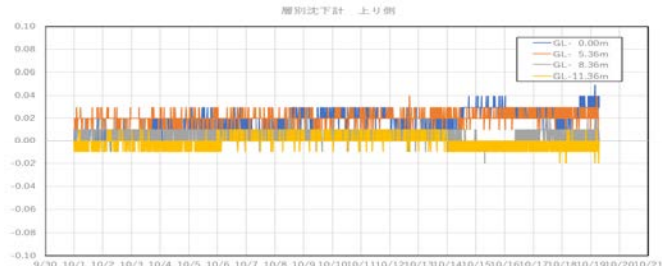


図-5 軌道計測結果