

2. 3連トンネル部の掘削・覆工について

- 1. パイプルーフの施工 P 1～ 5
- 2. 3連トンネル部左右坑掘削・覆工 P 6～16

令和3年8月23日(月)

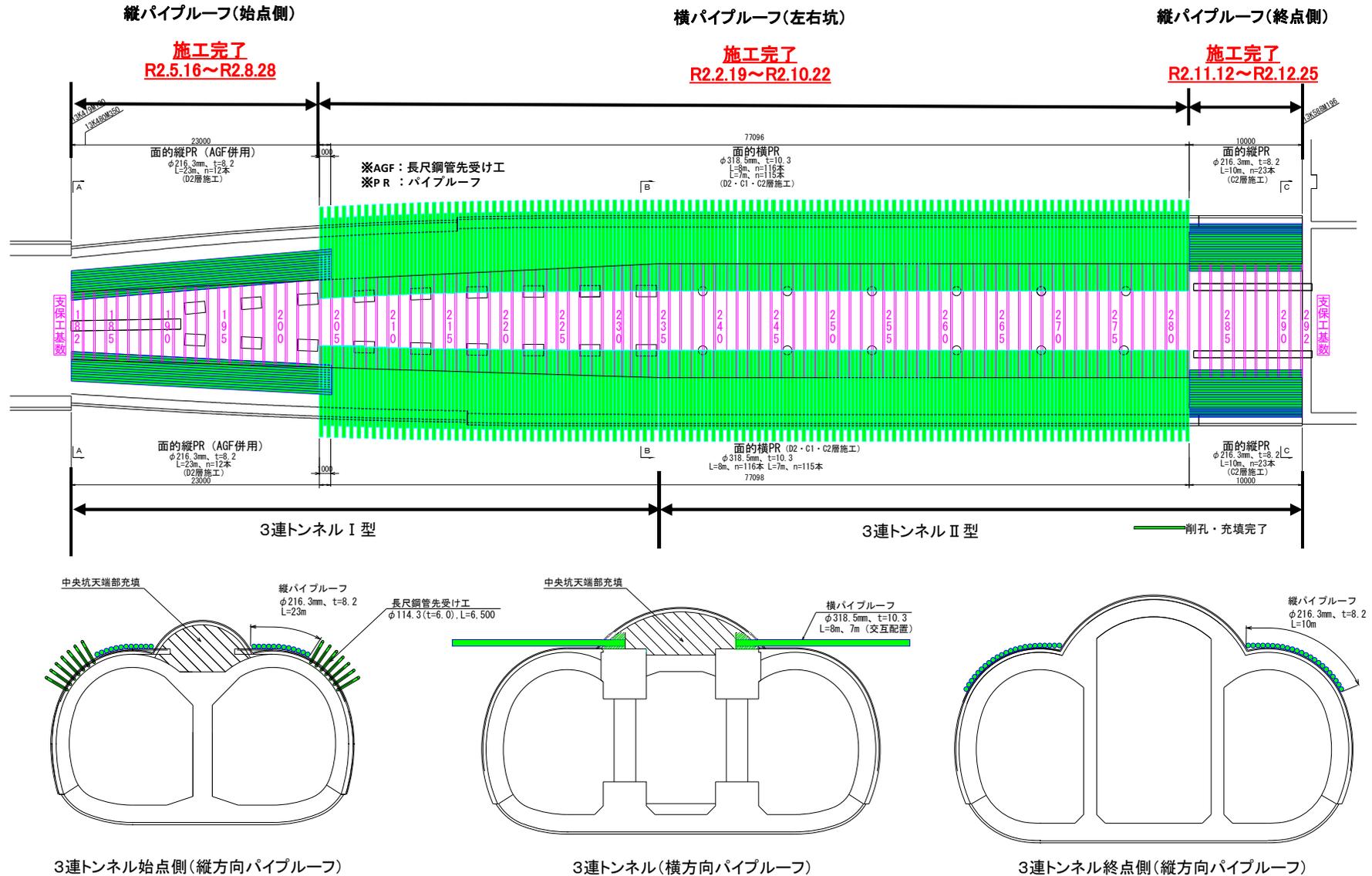
福岡市交通局

1. パイプルーフの施工

1. パイプルーフの施工

(1) 施工図

- ・実施工において、安全性や施工管理面を総合的に考慮し、**全て面的施工**とした。
- ・令和2年2月19日から削孔開始し、令和2年12月25日に**完了**した(横パイプルーフ462本、縦パイプルーフ70本)。



1. パイプルーフの施工

(2) 施工状況写真

- ・排土される岩（頁岩・泥岩）の性状は、概ねコア状であった。
- ・炭質頁岩については、排土時の衝撃により一部破碎された状態となった。
- ・施工中に顕著な湧水は見られなかった。
- ・排土された岩の性状や色等の目視確認結果から、概ね設計時の想定とおりの岩盤層の状況であることが確認された。

縦パイプルーフ(始点側)
【D2層】



左坑-4 コア状排土

横パイプルーフ(左坑)
【D2・C1・C2層】



N214 排土(8m付近)

横パイプルーフ(右坑)
【D2・C1・C2層】



S131 排土(2m付近)

縦パイプルーフ(終点側)
【C2層】



右坑-3 排土(2m付近)

凡例

頁岩・泥岩

炭質頁岩



左坑-10 排土12m付近



N81 排土(2-3m付近)



S58 排土(2-3m付近)



左坑-9 排土(8m付近)



右坑-3 排土(炭質頁岩)



N21 排土(1-2m付近)



S9 排土



左坑-21 排土状況(8m付近)

1. パイプルーフの施工

(3) 計測結果

- ・パイプルーフ施工期間中（R2.2.19～R2.12.25）において各種計測管理を行った。
- ・計測結果から、顕著な変位・変化は認められず、パイプルーフ施工により、周辺環境には影響を与えていないと考察される。

| 計測項目 | 計測値 | 管理値 | 評価 |
|------------------------|--|--|-------------------|
| 内空変位（天端沈下） | +1.0～-1.0mm | - （管理値無し） | 顕著な変化は みられなかった |
| 地表面沈下量 | +3.0～-3.0mm （季節変動による地下水位など の変化による影響） | 一次管理値：15mm 二次管理値：24mm 三次管理値：30mm | |
| 層別沈下量 | 0mm | - （管理値無し） | |
| 土砂部水位 | 顕著な変化無し （季節変動のみ） | - （管理値無し） | |
| 岩盤水頭 | 顕著な変化無し （季節変動のみ） | - （管理値無し） | |
| 鋼製支保工のひずみ （曲げモーメント） | 0 kN・m | - （管理値無し） | |

1. パイプルーフの施工

(4) まとめ

| 施 工 結 果 | | |
|-----------|---|---------|
| 縦・横パイプルーフ | | |
| 排 土 | 排土される岩（頁岩・泥岩）の性状は、概ねコア状 炭質頁岩については、排土時の衝撃により一部破碎された状態 | |
| 湧 水 | 顕著な湧水無し | |
| 岩盤層 | 概ね設計時の想定どおりの岩盤層の状況であることを確認 | |
| 計 測 | 坑内変位 | 顕著な変化無し |
| | 土砂層水位・岩盤水頭 | |
| | 地表面沈下・層別沈下 | |



・パイプルーフ工は、周辺的环境への影響や施工精度等にも問題無く、完了した。

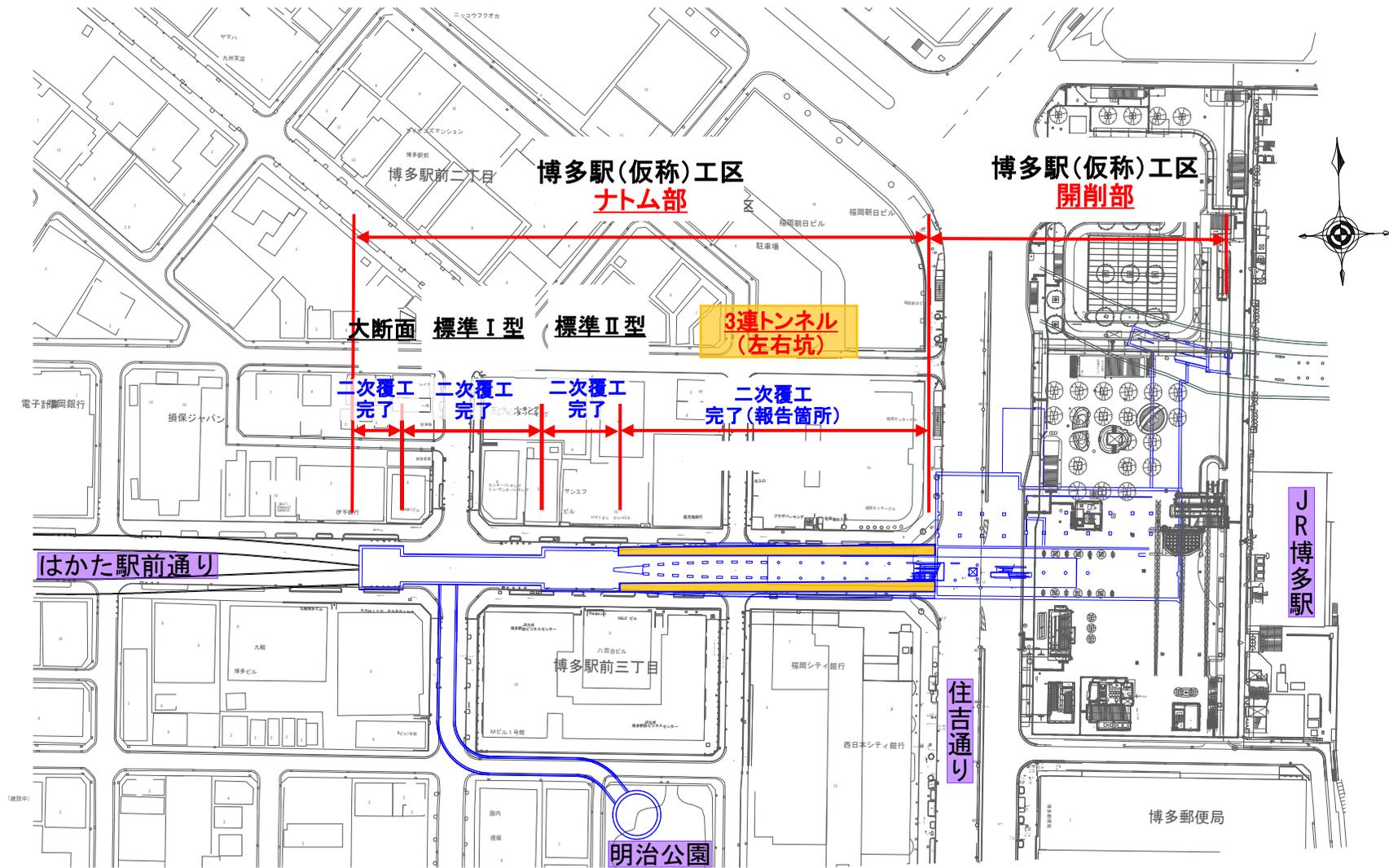
2. 3連トンネル部左右坑掘削・覆工

2. 3連トンネル部左右坑掘削・覆工

令和3年7月3日時点

(1) 施工平面図

福岡市地下鉄七隈線博多駅(仮称)工区 全体平面図

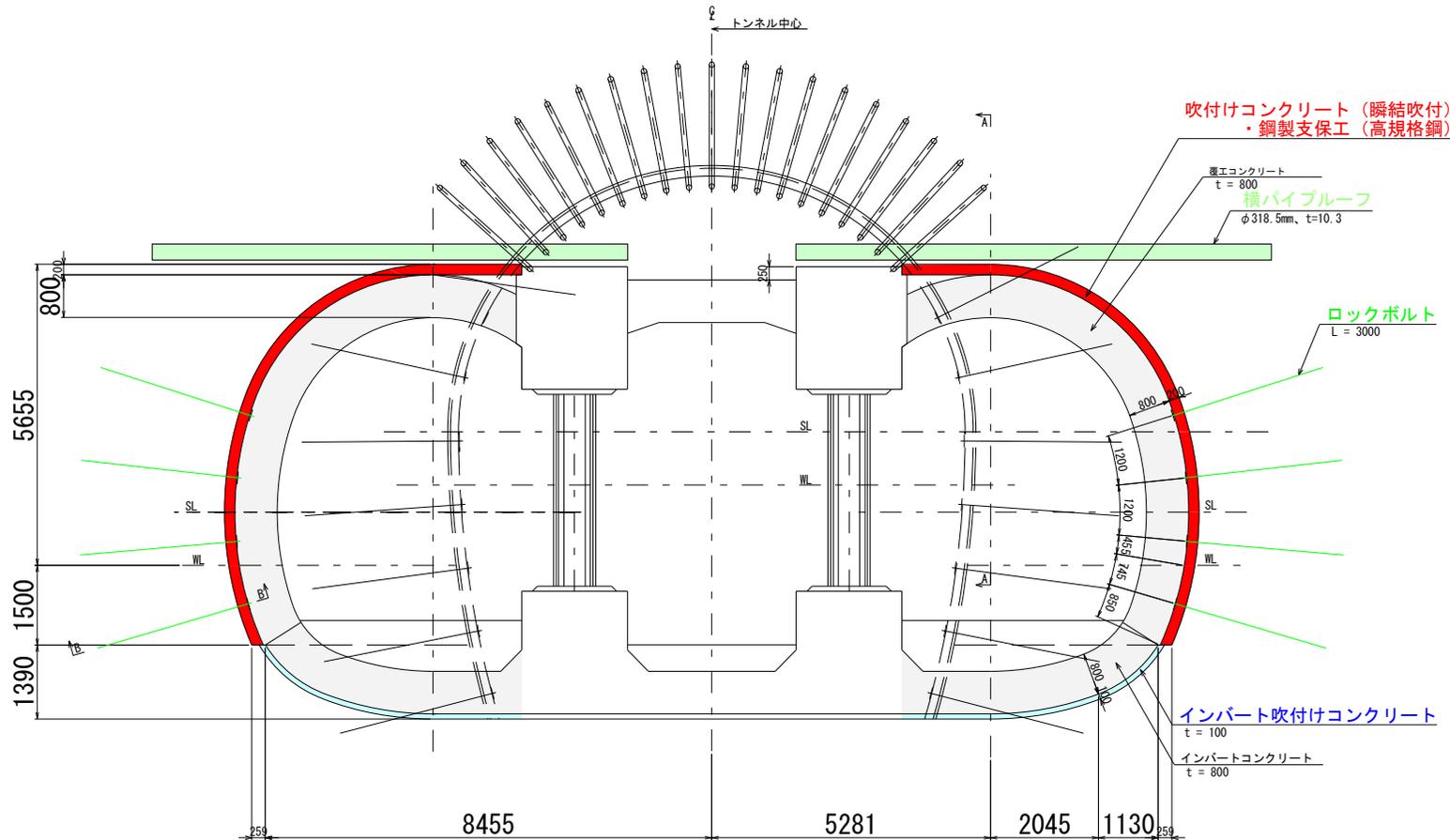


2. 3連トンネル部左右坑掘削・覆工

(2) 支保パターン図

支保パターン図(9)

3連トンネル(Ⅱ型 鋼管柱部)
左右坑



補助工法等一覧

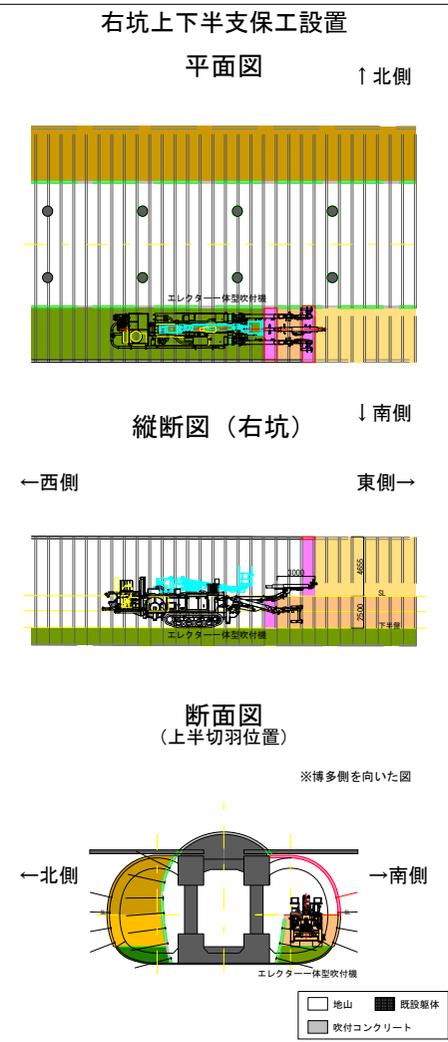
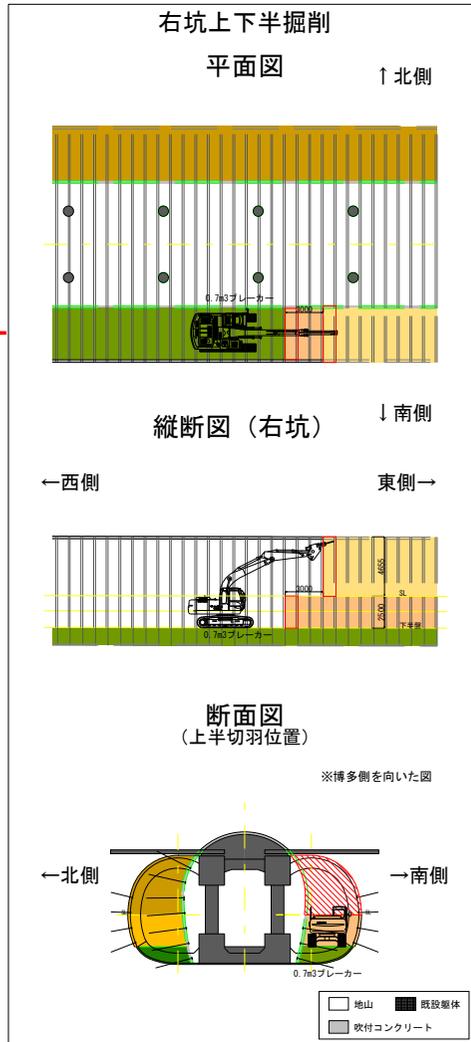
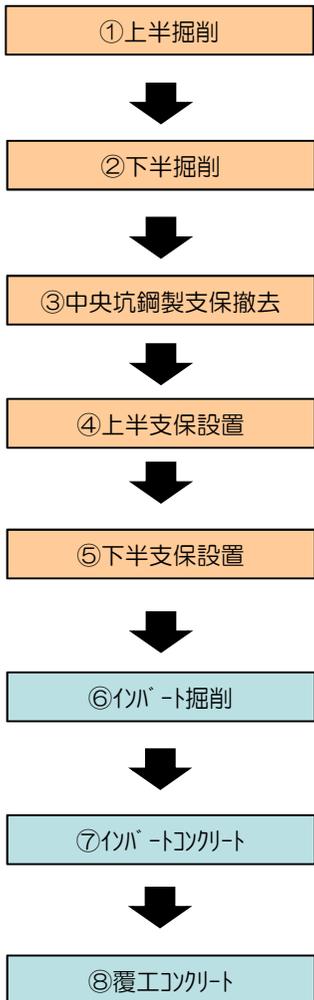
| 名称 | 形状寸法 | 規格 | 摘要 | 施工範囲 |
|----------------|------------------|---|-----------|--------------------|
| 縦パイプルーフ | L=23000 | Φ216.3mm t=8.2mm | | 支保工No182~205 |
| 横パイプルーフ | L=8000, 7000 | Φ318.5mm t=10.3mm | 交互配置 | 支保工No205~282 |
| 縦パイプルーフ | L=10000 | Φ216.3mm t=8.2mm | | 支保工No282~292 |
| 長尺鋼管先受け(AGF) | L=6500, 3500 | Φ114.3mm t=6.0mm | 注入材:ウレタン | 支保工No183~201(Φ3.0) |
| 鏡吹付けコンクリート | t=50 | δ ₂₈ =36N/mm ² (瞬結吹付) | 上半鏡 | 左右坑掘削範囲全て |
| 吹付けコンクリート | t=200 | δ ₂₈ =36N/mm ² (瞬結吹付) | 下半半 | 左右坑掘削範囲全て |
| インパット吹付けコンクリート | t=100 | δ ₂₈ =18N/mm ² | インパット | 左右坑掘削範囲全て |
| 鋼製支保工 | 高規格鋼 | H154×151×8×12 | 上半半 | 左右坑掘削範囲全て |
| 鋼製支保工(AGF部) | 無拡幅方式 | H200×200×8×12 | 下半半 | 支保工No183~201(Φ3.0) |
| ロックボルト | L=3000 TD24ねじり棒鋼 | 耐力176.5kN | モルタル全面接着式 | 左右坑掘削範囲全て |
| 長尺鏡ボルト | L=12500 | Φ76.3mm STK400 | 注入材:ウレタン | 支保工No254(左)264(右) |

吹付コンクリートについては、より安全性を高めるために
瞬結吹付コンクリート(材令10分で3N/mm²以上)を使用した。
なお、中央坑掘削時に小剥落が発生した支保工No.265付近に
おいては、長尺鏡ボルト(L=12.5m、片側7本)を追加施工した。
(参考資料P1~P4を参照。)

2. 3連トンネル部左右坑掘削・覆工

【①～⑤上下半掘削ステップ】 ※補助ベンチ付全断面掘削

(3) 施工ステップ



※土質や計測結果の状況に応じて適宜パターンを見直したが、その際にはより安全なパターンを選定しており、掘削後半では上記の3m補助ベンチ付全断面掘削を採用した。

※中央坑小崩落箇所付近では探りボーリングによる前方探査及び鋼管長尺鏡ボルト工を実施し、より慎重に掘削を進めた。

2. 3連トンネル部左右坑掘削・覆工

【⑥インバート掘削ステップ】

(4) 施工ステップ

①上半掘削



②下半掘削



③中央坑鋼製支保撤去



④上半支保設置



⑤下半支保設置



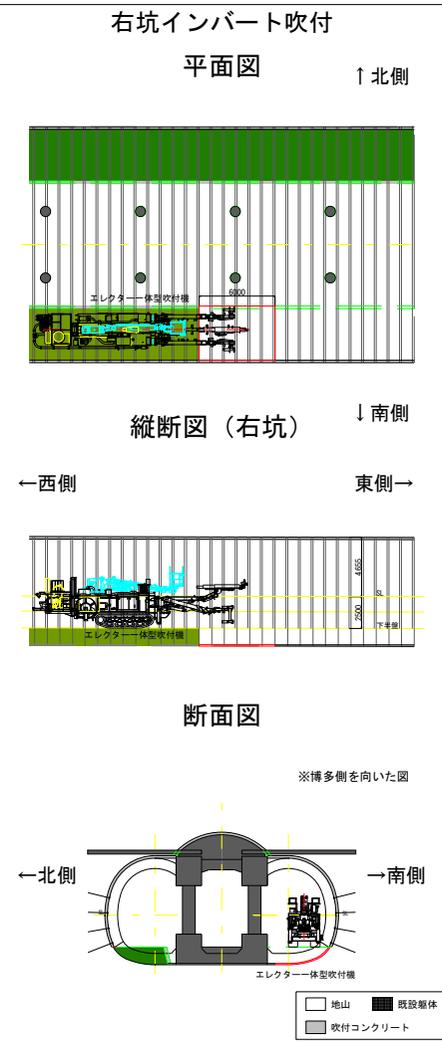
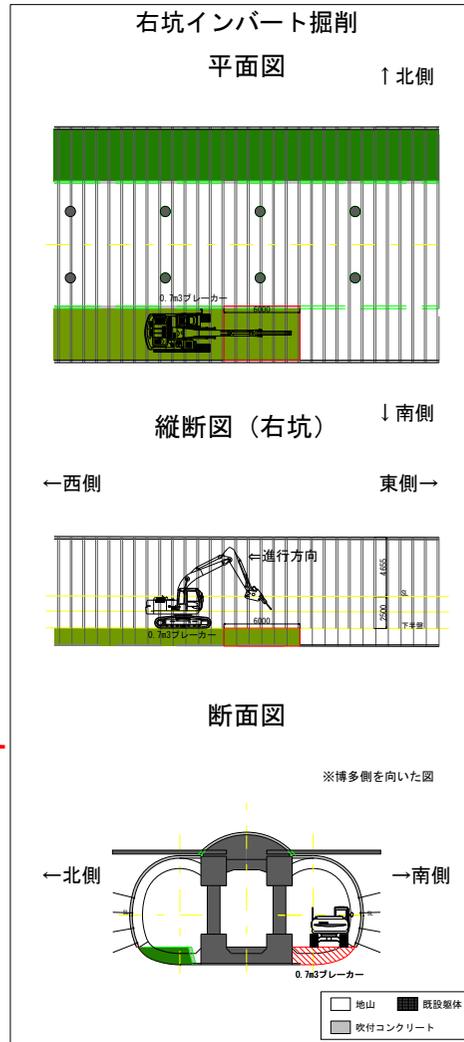
⑥インバート掘削



⑦インバートコンクリート



⑧覆工コンクリート



左坑290基インバート掘削状況
(R3.1/27)



右坑205基インバート吹付状況
(R3.2/10)



右坑270基インバート吹付完了
(R3.2/3)



- ・左右坑の掘削は、令和2年9月12日に着手し、令和3年2月13日に完了した。
- ・炭質頁岩が存在するものの掘削による剥落等は無かった。
- ・湧水は岩盤の層境付近からのしみ水程度であったが、開削部との接合箇所付近においては湧水量が増えた。
なお、掘削期間を通して土砂部と岩盤部に相関性のある水頭の変化は無かったことから、土砂部と岩盤部の水の分離が出来た状態で掘削が完了したと考察される。

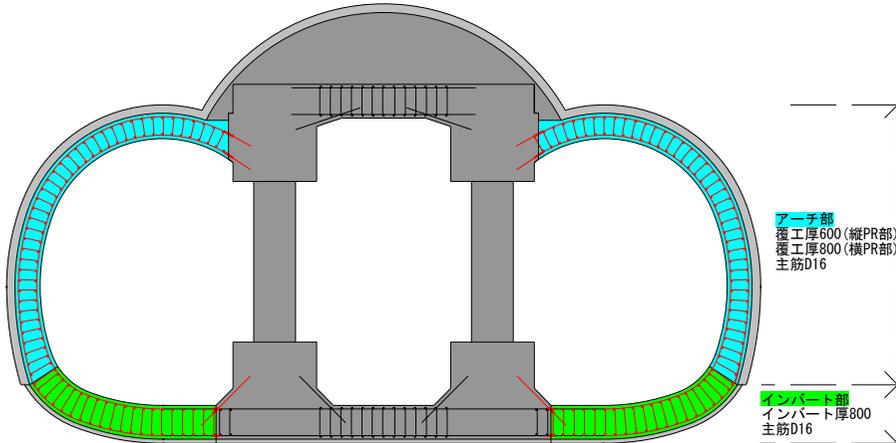
2. 3連トンネル部左右坑掘削・覆工

(5) 覆工計画図

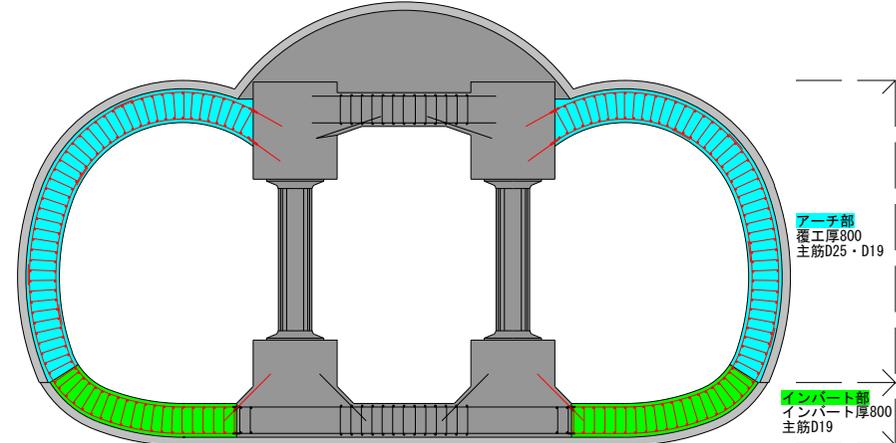
| 覆工箇所 | 覆工厚 | インバート厚 | 主筋径 | コンクリート設計基準強度 |
|------------------|-----|--------|---------|---------------------|
| 3連 I 型左右坑(縦PR部) | 600 | 800 | D16 | 24N/mm ² |
| 3連 II 型左右坑(横PR部) | 800 | 800 | D19・D25 | 24N/mm ² |
| 3連 II 型左右坑 | 800 | 800 | D19・D25 | 24N/mm ² |

覆工計画図 (左右坑)

3連トンネル I 型 (RC 2柱式 縦PR部)



3連トンネル II 型 (鋼管柱式 横PR部)



左右坑スライドセントル仮組状況



右坑スライドセントル組立状況



左坑スライドセントル組立状況



2. 3連トンネル部左右坑掘削・覆工

(6) 施工ステップ

①上半掘削



②下半掘削



③中央坑鋼製支保撤去



④上半支保設置



⑤下半支保設置



⑥インバート掘削



⑦インバートコンクリート



⑧覆工コンクリート

【⑦～⑧インバート・覆工コンクリート】施工写真

右坑インバート鉄筋施工状況
(R3.2/13)



左坑覆工鉄筋施工状況
(R3.4/15)



左坑覆工施工状況
(R3.4/19)



左右坑インバートコンクリート施工状況
(R3.3/18)



右坑防水施工状況
(R3.4/9)



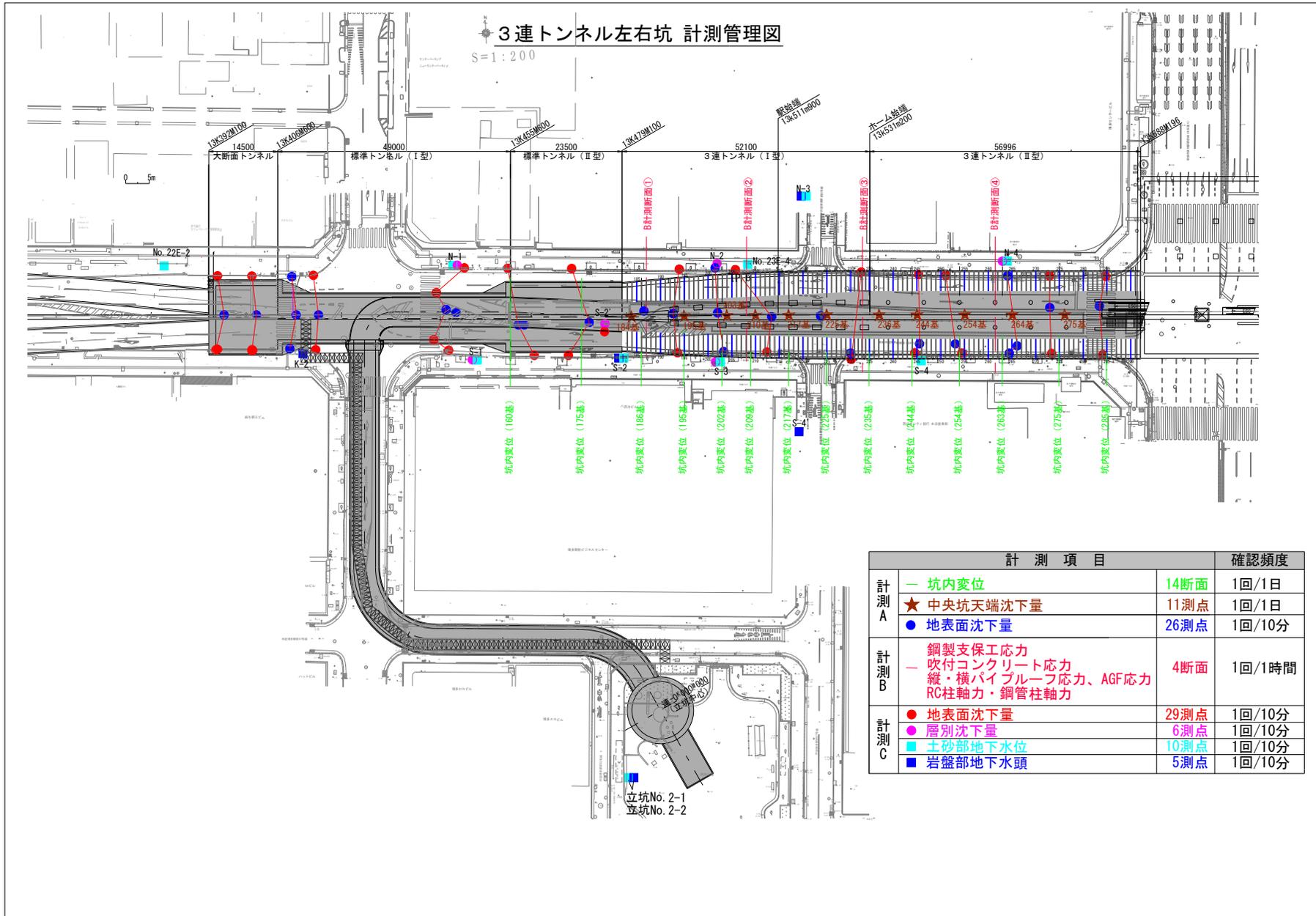
左右坑覆工完了
(R3.6/29)



- ・左右坑覆工は、令和3年3月から着手し、令和3年6月29日に完了した。
なお、トンネル全線の覆工について令和3年7月3日に完了した。
- ・湧水量は覆工が進捗するとともに減少した。

2. 3連トンネル部左右坑掘削・覆工

(7) 計測管理計画



2. 3連トンネル部左右坑掘削・覆工

(8) 計測結果1 (A・C計測)

- ・各種計測値は、予測値と比較して、非常に小さく、すべて1次管理値以内であった。
- ・岩盤水頭が掘削の影響により低下したが、現状は土砂水位・岩盤水頭ともに安定している。

| 項目 | 計測値 | 1次管理値 (許容値の50%) | 予測値 |
|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 坑内変位 (右坑天端沈下量) | 縦パイプルーフ区間 -3.7mm 横パイプルーフ区間 -3.6mm | 縦パイプルーフ区間 -21mm 横パイプルーフ区間 -9mm | 縦パイプルーフ区間 -29.4mm 横パイプルーフ区間 -9.6mm |
| 坑内変位 (左坑天端沈下量) | 縦パイプルーフ区間 -4.0mm 横パイプルーフ区間 -3.9mm | 縦パイプルーフ区間 -21mm 横パイプルーフ区間 -8mm | 縦パイプルーフ区間 -30.0mm 横パイプルーフ区間 -7.8mm |
| 坑内変位 (中央坑天端沈下量) | -3.0mm | -4mm ~ -16mm | — (予測値無し) |
| 地表面沈下量 (下半掘削完了迄) | +1.5mm ~ -5.0mm | 縦パイプルーフ区間 -8mm 横パイプルーフ区間 -6mm | 縦パイプルーフ区間 -13mm 横パイプルーフ区間 -8mm |
| 層別沈下量 (D2層天端) | 縦パイプルーフ区間 -0.7mm 横パイプルーフ区間 +0.8mm | 縦パイプルーフ区間 -8mm 横パイプルーフ区間 -6mm | 縦パイプルーフ区間 -13mm 横パイプルーフ区間 -8mm |
| 層別沈下量 (Dh層天端) | 縦パイプルーフ区間 -4.6mm 横パイプルーフ区間 +0.9mm | 縦パイプルーフ区間 -6mm 横パイプルーフ区間 -13mm | 縦パイプルーフ区間 -9mm 横パイプルーフ区間 -13mm |
| 土砂部水位 | 顕著な変化無し (季節変動のみ) | — (管理値無し) | — (予測値無し) |
| 岩盤水頭 | -2.0m | — (管理値無し) | — (予測値無し) |

※計測値は最大値を示す

2. 3連トンネル部左右坑掘削・覆工

(9) 計測結果2 (B計測)

・各種計測値は、予測値と比較して同程度もしくは小さく、概ね1次管理値以内であった。

| 項目 | ①断面右坑 | ①断面左坑 | ②断面右坑 | ②断面左坑 | ③断面右坑 | ③断面左坑 | ④断面右坑 | ④断面左坑 | 1次管理値 (許容値の50%) | 予測値 |
|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---|----------------------|
| 鋼製支保工 応力 (引張り) | 14.0N/mm ² | 31.4N/mm ² | 35.2N/mm ² | 12.6N/mm ² | 11.5N/mm ² | 39.2N/mm ² | 17.1N/mm ² | 0.0N/mm ² | 220N/mm ² | 146N/mm ² |
| 吹付コンク リート応力 (圧縮) | 4.5N/mm ² | 4.7N/mm ² | 0.8N/mm ² | 2.2N/mm ² | 4.4N/mm ² | 2.2N/mm ² | 0.6N/mm ² | 0.6N/mm ² | 9N/mm ² | 4.5N/mm ² |
| RC柱軸力 | — | — | 3942kN | 3265kN | 1663kN | 2063kN | — | — | 6872kN | 8465kN |
| 鋼管柱軸力 | — | — | — | — | — | — | 10578kN | 10236kN | 9428kN | 12698kN |
| ロックボルト 軸力 | 9.6kN | 14.3kN | 6.0kN | 12.1kN | 3.9kN | 17.6kN | 2.7kN | 12.8kN | 管理値無し ※参考 (降伏応力227kN) | 予測値無し |
| 縦パイプ ルーフ応力 | 81.3N/mm ² | 46.4N/mm ² | — | — | — | — | — | — | 管理値無し ※参考 (降伏応力315N/mm ²) | 予測値無し |
| AGF応力 | 130.2N/mm ² | 56.1N/mm ² | — | — | — | — | — | — | 管理値無し ※参考 (降伏応力235N/mm ²) | 予測値無し |
| 横パイプ ルーフ応力 | — | — | 60.5N/mm ² | 145.3N/mm ² | 161.6N/mm ² | 34.2N/mm ² | 41.6N/mm ² | 72.4N/mm ² | 管理値無し ※参考 (降伏応力315N/mm ²) | 予測値無し |

※計測値は最大値を示す

2. 3連トンネル部左右坑掘削・覆工

(10) 左右坑掘削・覆工の総合的評価

| 施 工 結 果 | | | |
|-----------|-----------|----------------------------------|------------------------|
| 項 目 | | 結 果 | |
| 切 羽 | 剥 落 | 肩 部 | 無し |
| | | 天 端 | 無し |
| | | 鏡 | 無し (押し出し無し) |
| | 湧 水 | | 滲み水程度 (開削部接合部は湧水量増) |
| 計 測 | 坑 内 変 位 | | 予測値より小さく 1次管理値以内 |
| | 地 表 面 沈 下 | | |
| | 層 別 沈 下 | | |
| | 土 砂 部 水 位 | | 顕著な変化無し |
| | 岩 盤 水 頭 | | 掘削の影響で低下 するが切羽通過後安定 |
| 各 種 B 計 測 | | 予測値と同程度 もしくは小さく、 概ね1次管理値以内 | |



- 左右坑掘削は、パイプルーフや瞬結吹付コンクリートなどの補助工法が効果をもたらしたことで、**顕著な出水や剥落が起こることなく**、各種計測結果も安定した状態であった。
左右坑掘削・覆工完了までの全期間で**計測値も概ね一次管理値以内**となり**安全に施工が完了した**。