

庄戸トンネル施工技術検討会

第6回検討会  
資料

令和 4年 12月 6日

東日本高速道路株式会社 関東支社 横浜工事事務所

鹿島建設・前田建設工業・佐藤工業 横浜環状南線 釜利谷庄戸トンネル工事特定建設工事共同企業体

## 目 次

|              |    |
|--------------|----|
| 1. 検討会の目的    | 1  |
| 2. 施工状況      | 3  |
| 3. 今後の施工方法紹介 | 18 |
| 4. 今後の課題     | 20 |

# 1. 検討会の目的

## 1-1. 全体概要

高速横浜環状南線は、横浜都心から半径約10～15kmを環状に結ぶ横浜環状道路の一部であり、横浜都心部の慢性的な交通渋滞を緩和するとともに環境の改善へ寄与し、さらに、横浜市の経済活動と暮らしを支える社会資本として重要な役割を果たす道路である。

また、都心から半径約40～60kmの位置に計画されている総延長約300kmの自動車専用道路である圏央道の一部であり、都心から伸びる放射状の道路を環状に連絡することにより、都心への交通を分散し、渋滞の緩和等に寄与する。当路線は、横浜横須賀道路の釜利谷ジャンクションと国道1号を結ぶ延長約9kmのうち、約7割がトンネルなどの地下構造となっている。

## 1-2. 検討会の目的

高速横浜環状南線のトンネル群の一部を構成する「庄戸トンネル」は、開削工法で施工する計画となっていたが、第1種低層住居専用地域・風致地区等の当該地域の特殊性を考慮し、工事中の環境負荷を低減することを目的に非開削工法の適用可能性について「庄戸トンネル検討会」（平成19年～21年）を設置して検討を実施してきた。

分合流、4連近接、低土被りなど、庄戸トンネル固有の条件を考慮しながら、現地の調査結果を踏まえた地盤条件に基づいてトンネル構造及び環境に与える影響について検討した結果、分合流区間及び4連近接区間は馬蹄形断面、低土被り区間は矩形断面を基本構造とし、より詳細な設計や施工計画の検討を進めて行くこととした。

庄戸トンネル施工技術検討会（平成24年～）では、これら検討結果等を踏まえ、庄戸トンネルの実施工に向けた施工方法及び環境に与える影響・対策について、より詳細な検討を行うものであり、第5回検討会においては、施工時の「安全性の向上」と「周辺環境への影響低減」について、トンネルの断面形状や施工計画の主な検討について取り纏め、その内容が妥当であることを確認した。

今回の第6回検討会は、第5回検討会で確認した施工計画等を踏まえ、釜利谷庄戸トンネル工事における令和3年4月から令和4年11月までの工事状況を報告するものである。

## 1-3. 庄戸トンネルの概要

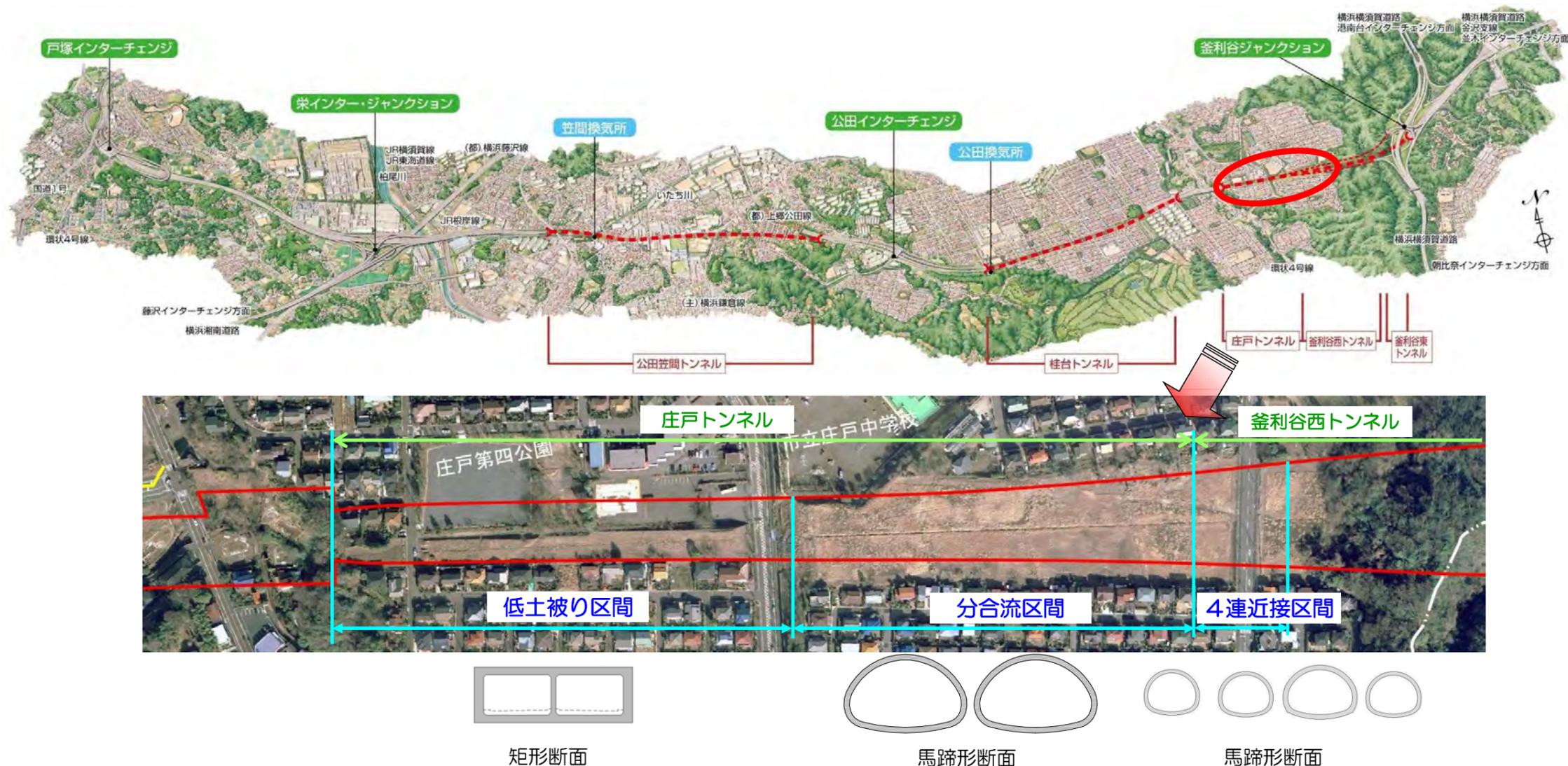


図1.1 庄戸トンネル・釜利谷西トンネル全体位置

1-4. 検討フロー  
以下に検討フローを示す。

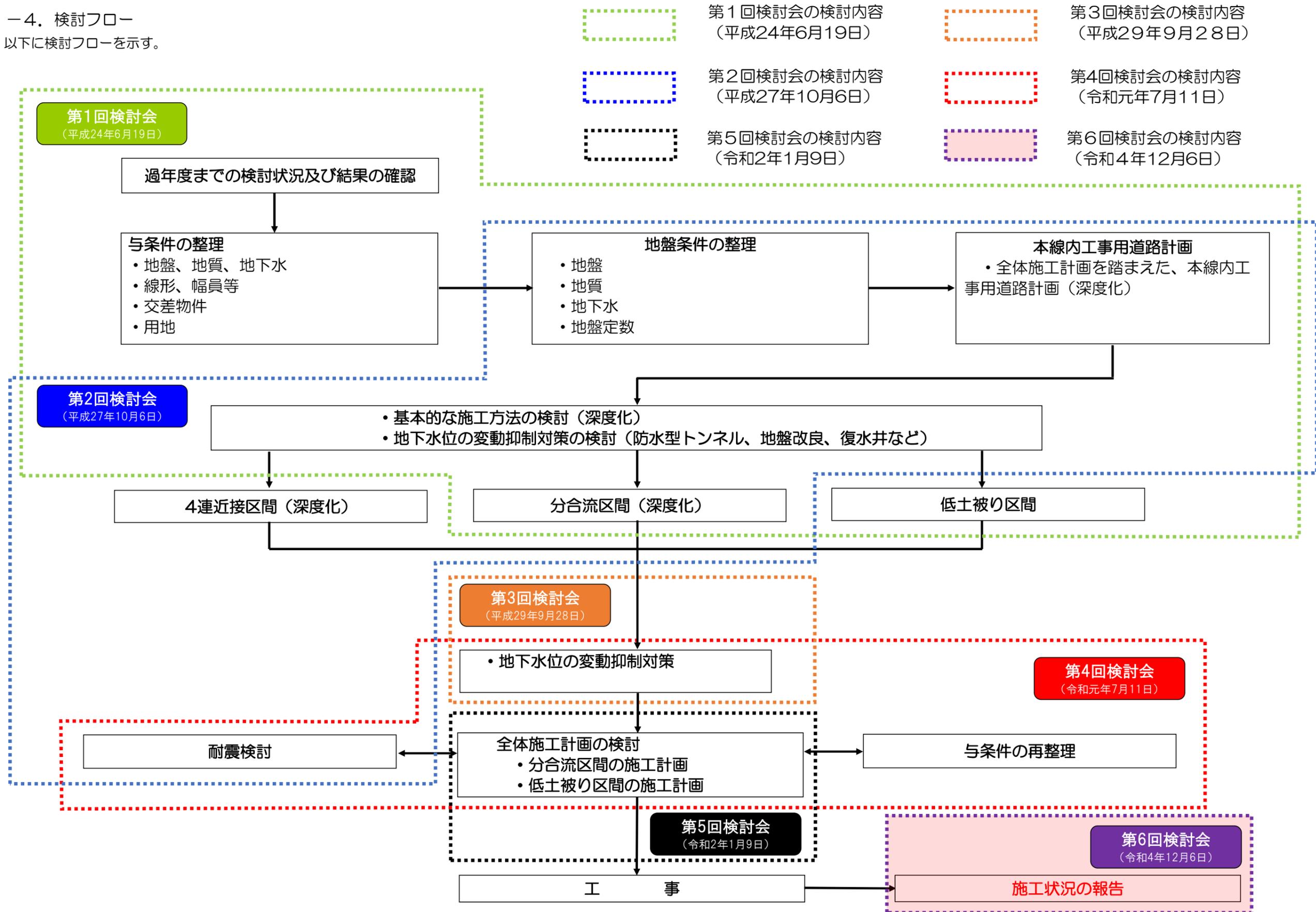


図1.2 検討フロー図

2. 施工状況

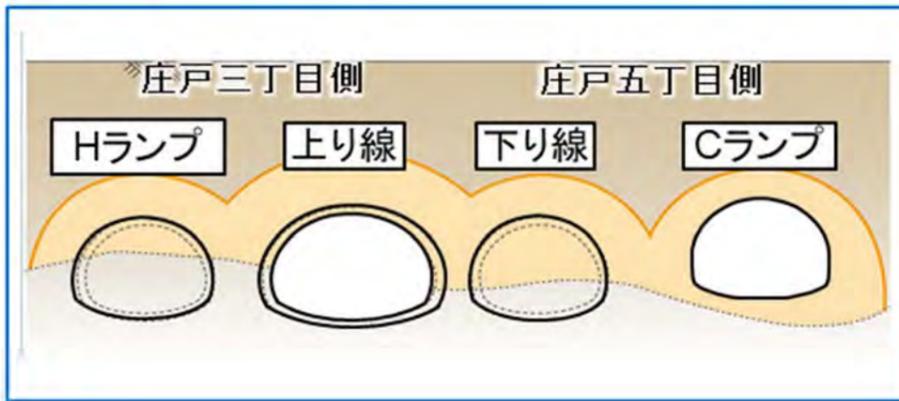
2-1. 工事進捗状況 (令和4年11月末現在)

2-1-1. 進捗平面図

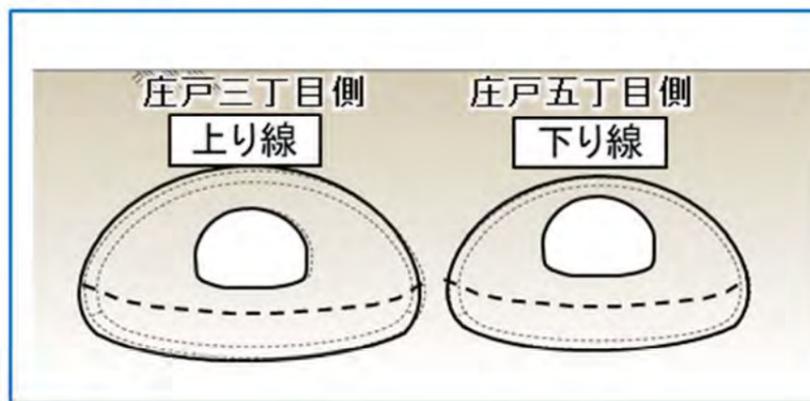


断面図

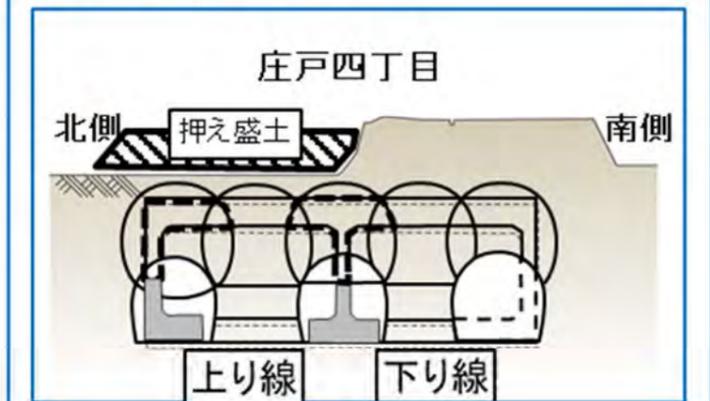
① 4連区間



② 分合流区間



③ 低土被り区間



釜利谷西トンネル (下り線)



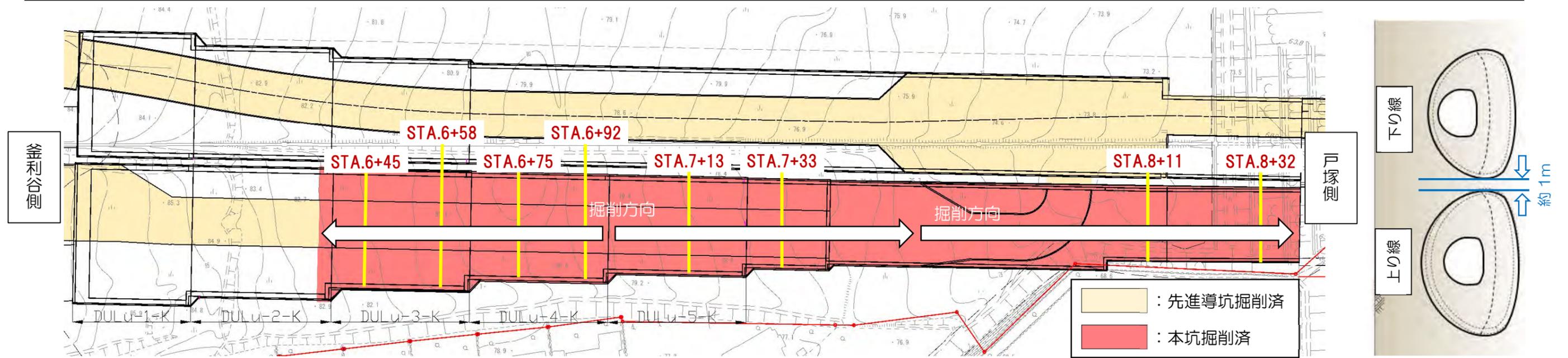
庄戸トンネル (上り線)



防音ハウス内

2-1-2. 掘削の施工実績（分合流区間（上））の切羽状況推移

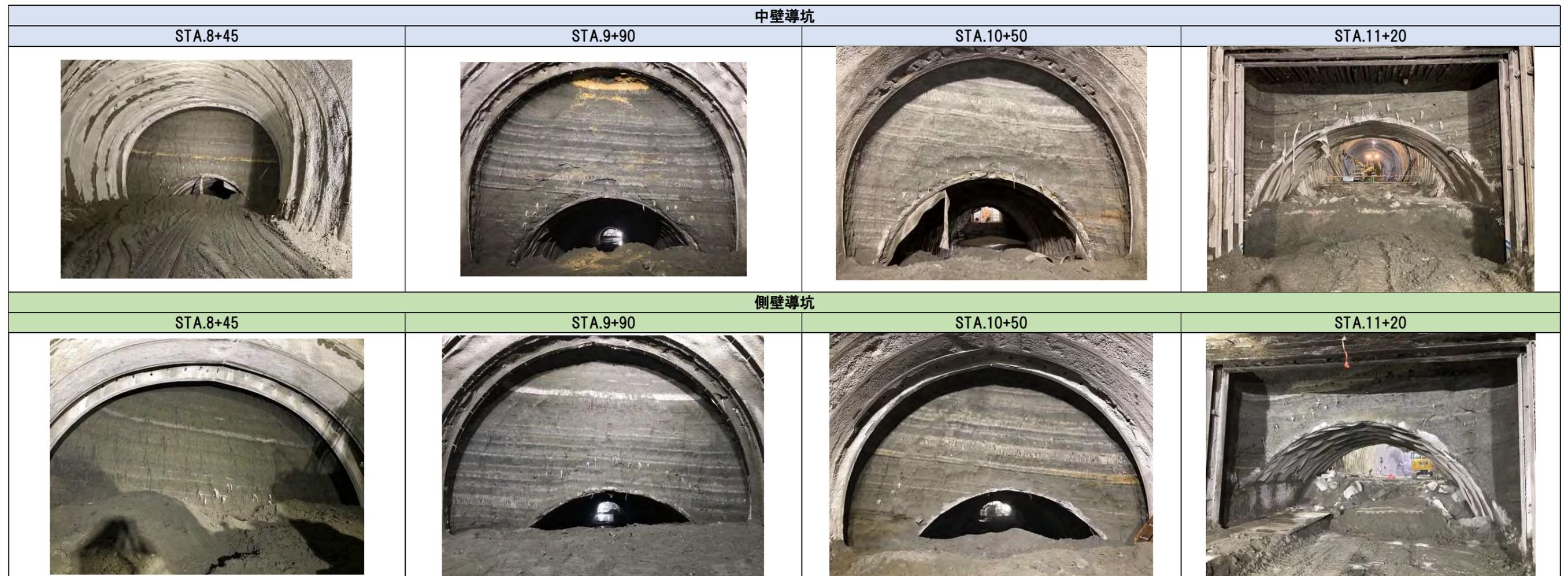
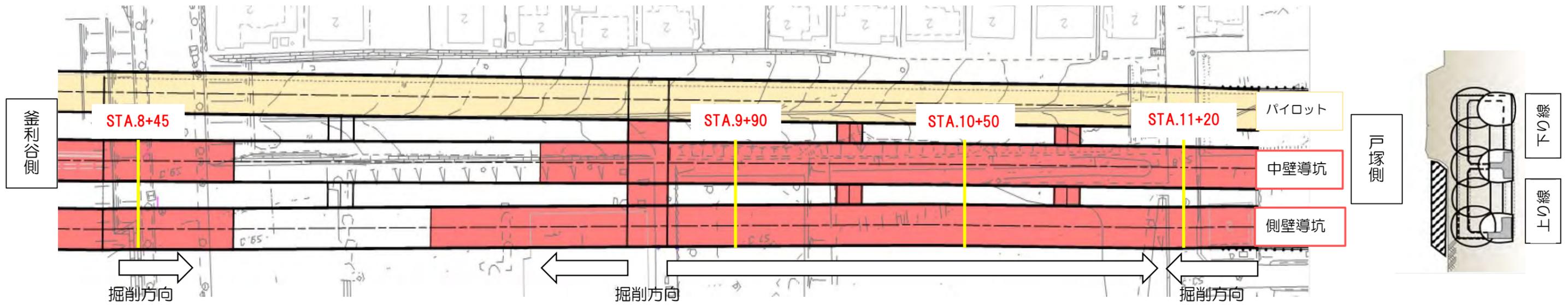
凝灰質砂岩を主体とした互層が広がっており、白色の砂質層や褐色の風化層が薄層として介在しているものの、湧水もほとんどなく滴水程度で、当初想定どおりの地質が出現している。当該エリア内で大きな地質の変化はない。



| STA.6+45 | STA.6+75 | STA.7+13 | STA.8+11 |
|----------|----------|----------|----------|
|          |          |          |          |
| STA.6+58 | STA.6+92 | STA.7+33 | STA.8+32 |
|          |          |          |          |

2-1-2. 掘削の施工実績（低土被り区間（上）） 頂部導坑の切羽状況推移

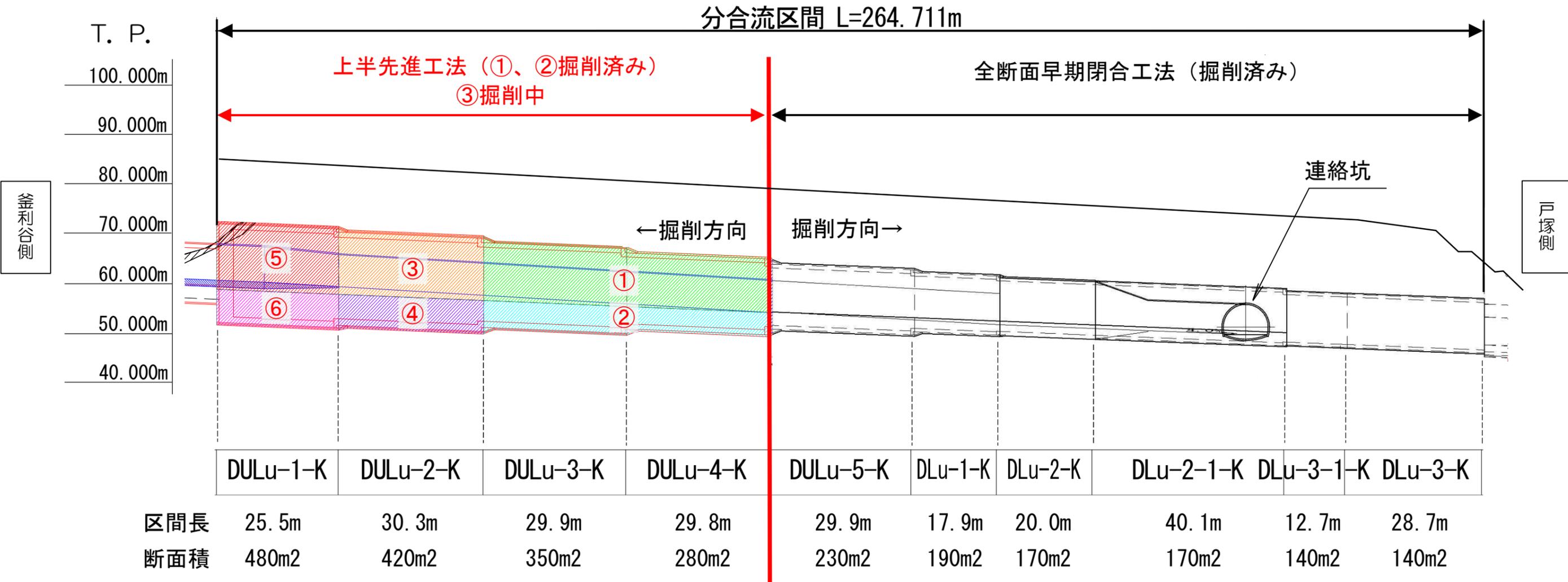
凝灰質砂岩を主体とした互層が広がっており、白色の砂質層や褐色の風化層が薄層として介在しているものの、当初想定どおりの地質が出現している。  
当該エリア内で大きな地質の変化はない。



2-2. 分合流区間

2-2-1. 掘削計画

- 超大断面となる DULu-1-K~DULu-4-K については上半先進工法にて掘削を行い、可能な限り閉合を早めるために上半先進工法区間を3区間に分けて施工。
- 大断面である DULu-5-K~DLu-1-K については、全断面早期閉合法で掘削。



- (1) DULu-1-K~DULu-4-K 区間 (上半先進工法 (上半仮インバート併用))
- 分合流区間の中でも断面が大きく、下半盤から施工機械が届かないため上半先進工法かつ変位抑制のために上半仮インバートを採用。
  - 上図のとおり、当該区間を3区間に分けて上半・下半・一次インバートを順次施工。
  - 変位抑制を目的として、上半仮インバートについては、上半切羽と上半仮インバート施工位置との距離を最大1D未満 (=22m (DULu-4-K 断面の掘削幅)) で設定。
  - 掘削時のトンネル安定性の向上と坑内変位抑制を目的として、大型機械を導入し加背割りを3分割から2分割に変更し施工。

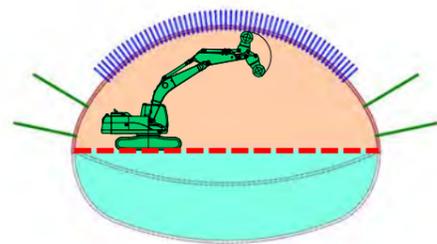
- (2) DULu-5-K~DLu-1-K 区間 (全断面早期閉合法)
- 分合流区間の中でも比較的断面が小さく、下半盤から施工機械が届くため全断面早期閉合法が採用。  
→変位抑制効果を得るためには、上半切羽と一次インバート施工位置を近付けることが有効。  
→一方で、近付け過ぎた場合には安全面・施工効率面で問題がある。  
→計測データを見ながら、上半切羽と一次インバート施工位置との距離を6m~1Dの範囲で施工し、発生変位を制御するのが一般的。
  - 変位抑制を目的として、上半切羽と一次インバート施工位置との距離を最大1D (=18m (DLu-1-K 断面の掘削幅)) で設定。

■掘削計画（機械編成の増）

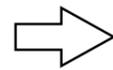
- ①庄戸トンネル施工技術検討会（第5回）にて検討された掘削時のトンネル安定性の向上及び坑内変位抑制を目的とした加背割断面において、大型機械（施工可能高 13.8m）を導入。  
 ②掘削時間を短縮し坑内変位を抑制することを目的に、上半先進工法区間においては同位置切羽に対して左右2セット編成（掘削機、2ノズル吹付機、3Bジャンボ）による施工を実施。

①加背割断面の変更

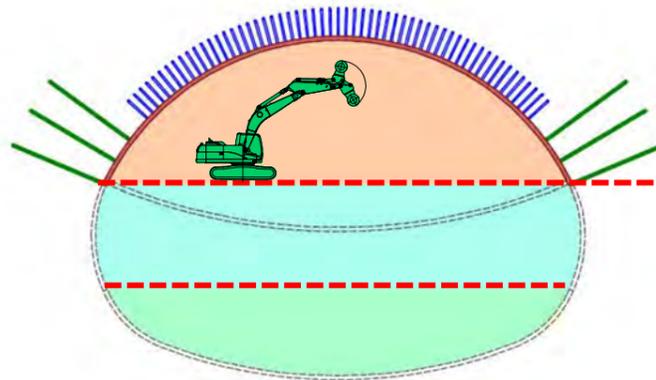
<2車断面>  
掘削断面：約80m<sup>2</sup>



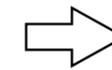
- 油圧切削機（施工可能高8.8m）
- 掘削時間：約3時間/m



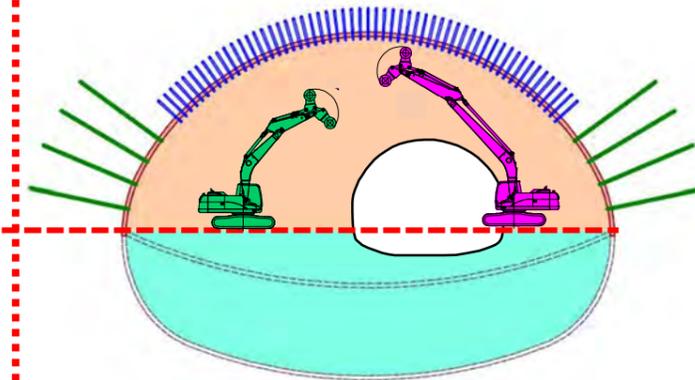
<3+2車断面>※当初計画案  
掘削断面：約480m<sup>2</sup>



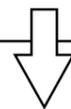
- 油圧切削機（施工可能高8.8m）
- 掘削時間：約17時間/m



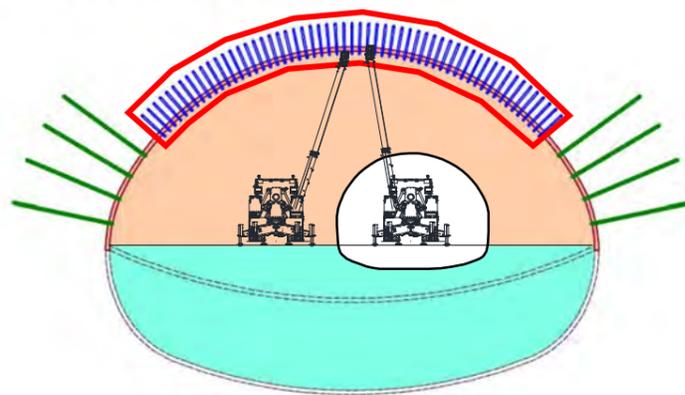
<3+2車断面>※今回採用案  
掘削断面：約480m<sup>2</sup>



- 油圧切削機（施工可能高8.8m）
  - 油圧切削機（施工可能高13.8m）
  - 掘削時間：約7.5時間/m
- 2セット編成

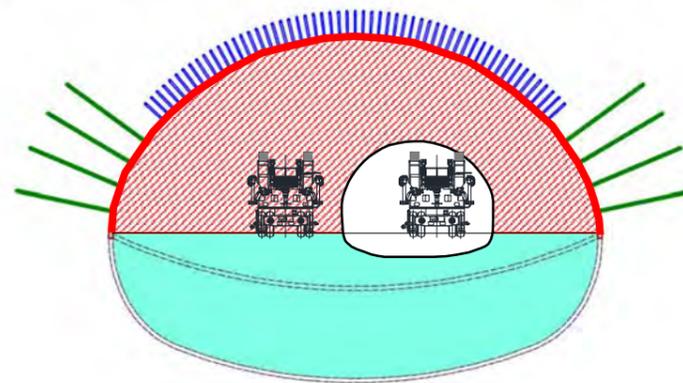


②左右2セット編成による施工状況（掘削以外）  
【先受け工打設時の編成】



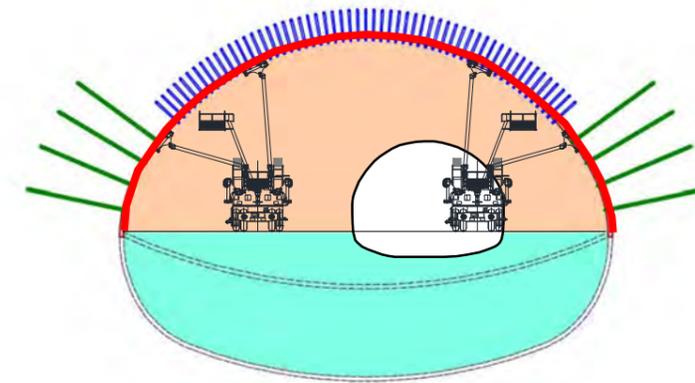
3ブームコンピュータージャンボ×2台

【吹付コンクリート（1次・2次）施工時の編成】



エレクター付2ノズルコンクリート吹付機×2台

【支保工建込時の編成】



エレクター付2ノズルコンクリート吹付機×2台

■騒音・振動に配慮した施工計画

①無打撃による先受工・ロックボルトの削孔

・先行工事において、先受工・ロックボルト打設の削孔時に騒音・振動等が生じている事象を確認したため、無打撃（回転のみの力）削孔を可能とするビットを開発し採用。

②鉄骨切断機の採用

・先行施工した先進導坑の支保工や吹付コンクリートの撤去において、大型油圧ブレーカー等で取り壊すと振動が沿線の住宅に伝わってしまう懸念があったため、鉄骨切断機にて圧力による切断をしながら撤去する方法を採用。

③周辺地域の安全・安心を高める取り組み

・騒音・振動等の状況を確認することを目的に、沿線住民へのヒアリングを実施。  
 ・工事の進捗状況（今週の施工箇所）を現地のデジタルサイネージに表示。

①無打撃による先受工・ロックボルトの削孔

＜無打撃削孔＞

※水を加えながら、回転の力で削孔



＜標準ビット（例）＞



＜無打撃対応ビット＞  
（今回採用）



②鉄骨切断機の採用

＜鉄骨切断機＞



＜先進導坑（支保工・吹付コンクリート）撤去時＞



③周辺地域の安全・安心を高める取り組み

＜施工箇所と周辺家屋との近接状況＞



＜工事の進捗状況をデジタルサイネージで表示＞



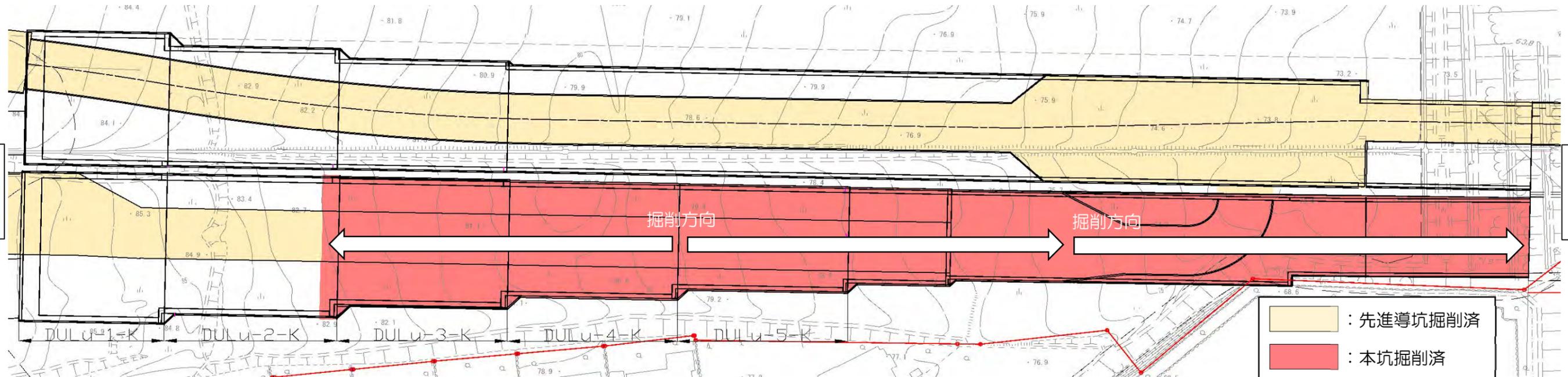
2-2-2. 分合流区間 モニタリング状況

①坑内変位・地表面沈下計測

- ・トンネル掘削が完了した断面において、トンネル坑内の変位状況を確認。1回/時間の頻度で計測を実施。
- ・先行して掘削した先進導坑において、本坑掘削による局所的な変位等が生じていないかを3Dスキャナにて確認。1回/時間の頻度で計測を実施。
- ・トンネル掘削箇所において、地表面に設置した基準点を観測し、掘削による地表面への影響を確認。1回/時間の頻度で計測を実施。  
⇒掘削が完了した区間において、周辺の家屋に対する管理基準値以下であることを確認し、掘削による変状・異常は発生していない。

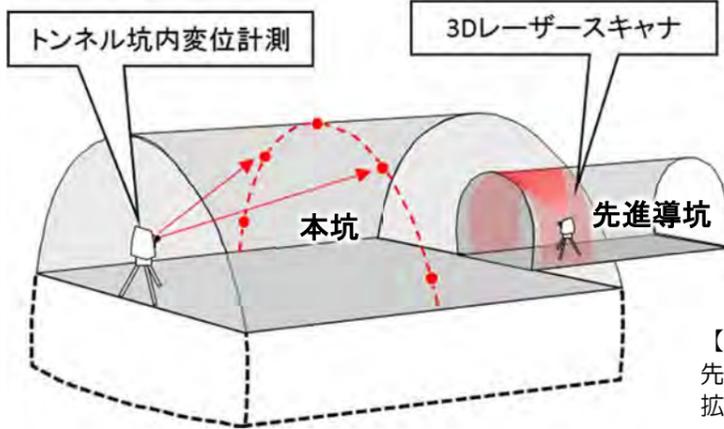
②騒音・振動の測定

- ・トンネル掘削期間は、騒音・振動計を設置し測定。庄戸地区内に騒音・振動値を掲示。
- ⇒掘削による騒音・振動について、計測値の現地掲示や沿線住民の方へのヒアリングを踏まえ、施工状況の振り返りを行いながら慎重に施工を進めている。

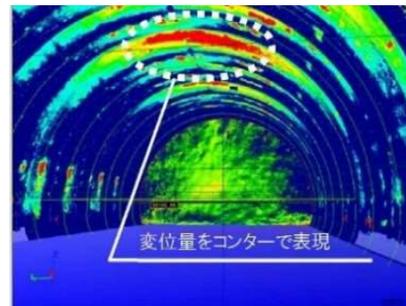


①坑内変位・地表面沈下計測

<坑内変位計測イメージ>



<3Dスキャナ変位計測イメージ>



【目的】  
先進導坑に発生する変位の傾向・分布を確認し、  
拡幅掘削切羽前方の局所的な地山不良部を推定

<地表面沈下計測状況>



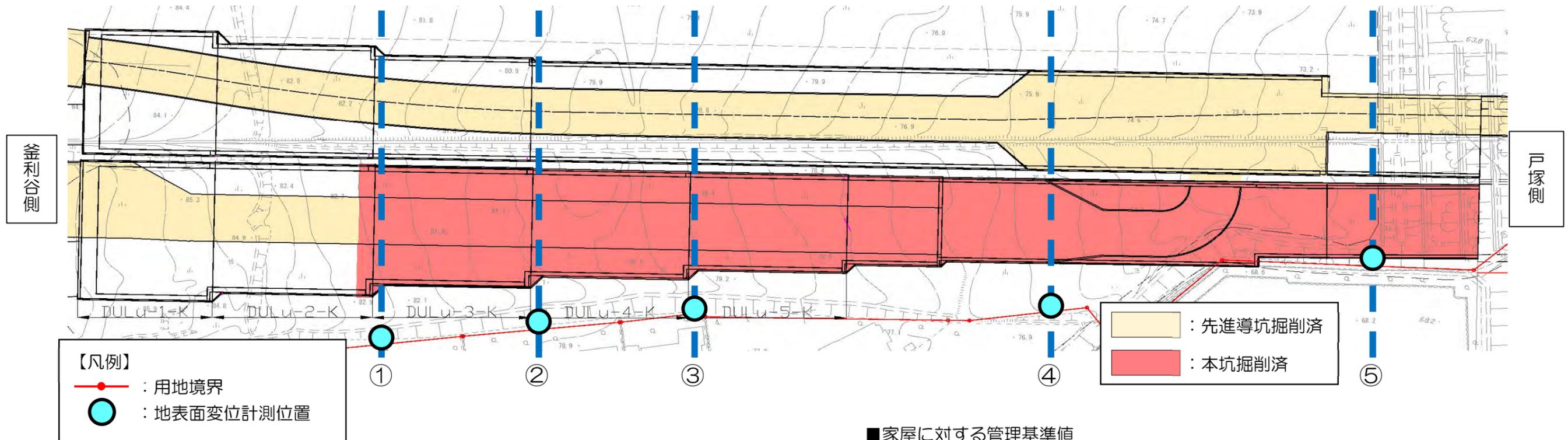
②騒音・振動の測定

<現地掲示状況>



■周辺の家屋に対する影響のモニタリング

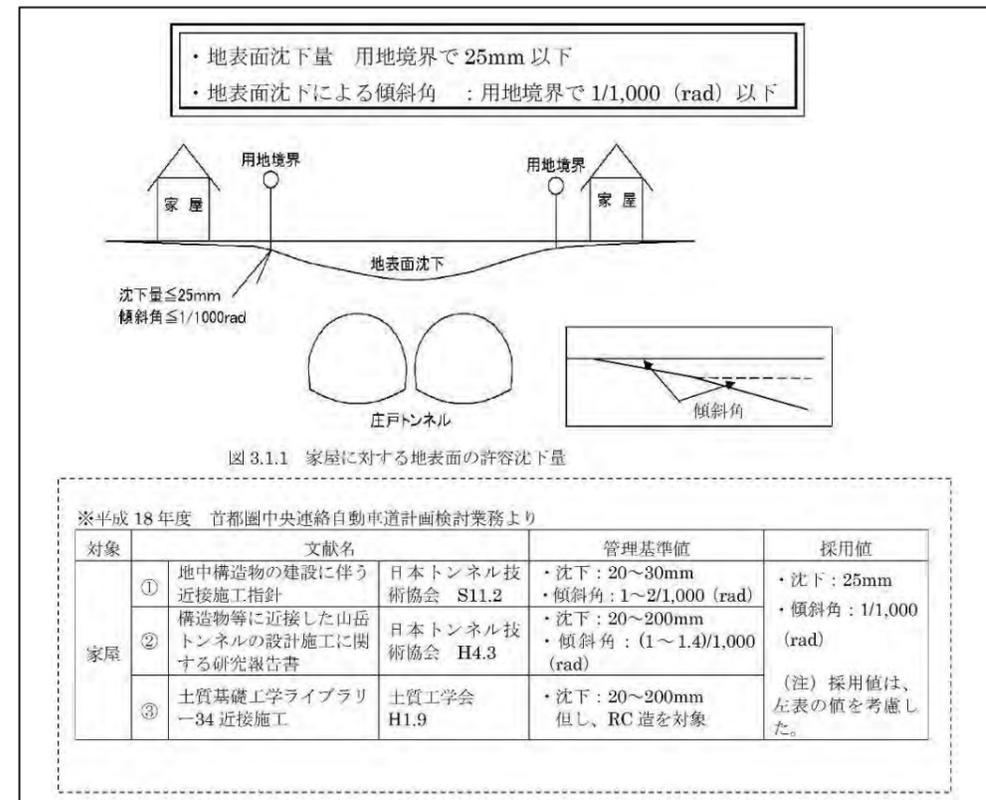
- 上り線の掘削が完了している区間において、用地境界での地表面沈下量は最大で 4.8mm、地表面沈下による傾斜角は最大で 0.3/1000rad。  
⇒庄戸トンネル検討会（平成 19～21 年）で設定した家屋に対する管理基準値を下回っていることを確認した。



■地表面変位の計測結果（令和 4 年 10 月 31 日時点）

| 測線  | 地表面沈下量 (mm) | 傾斜角 (rad) |
|-----|-------------|-----------|
| 測線① | 1.9         | 0.1/1000  |
| 測線② | 4.8         | 0.3/1000  |
| 測線③ | 0.9         | 0.1/1000  |
| 測線④ | 0.7         | 0.1/1000  |
| 測線⑤ | 1.9         | 0.1/1000  |

■家屋に対する管理基準値



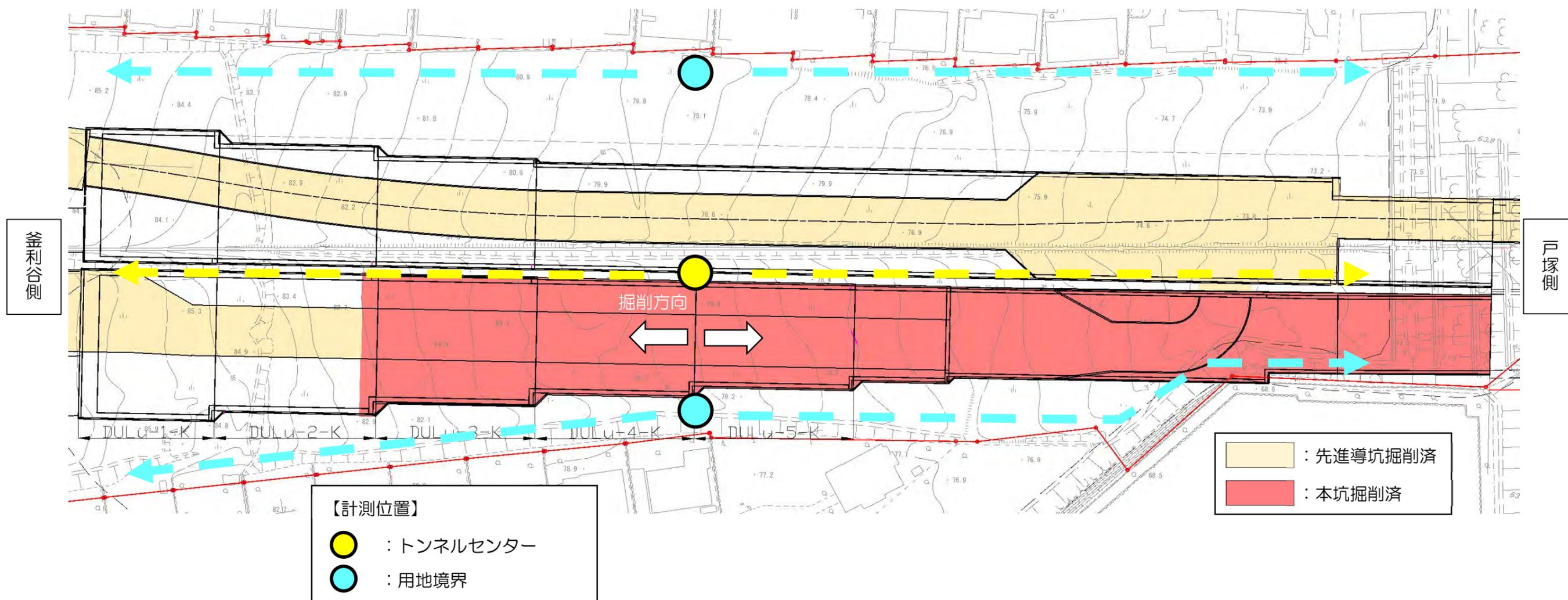
出典：庄戸トンネル検討会（平成 19～21 年）資料より（抜粋）

■騒音・振動低減に向けた取り組み（分合流区間）

- 掘削進捗に合わせて、トンネルセンター及び用地境界に計測器を設置し、騒音・振動の測定を実施。
- 沿線住民へのヒアリングを実施し、騒音・振動等について状況を確認。
- 沿線住民の方から騒音・振動に関するご意見をいただいた際には、申し出のあった時間帯の施工状況を振り返り、作業内容を特定することでその作業については改善を検討し、騒音・振動等による影響を低減するよう対応を図っている。

【改善した作業内容】

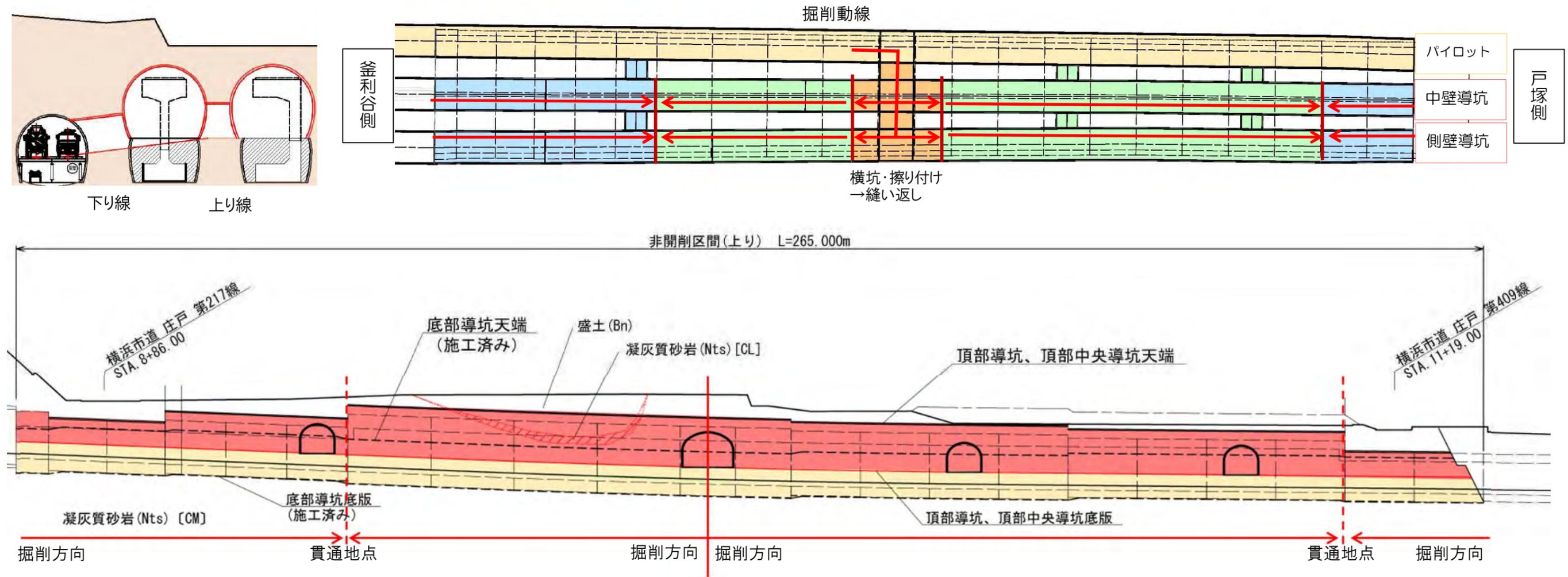
- 油圧切削機の回転速度の調整、油圧切削機の先端を地山に押し当てすぎないようにすることで騒音・振動を低減。
- 先行施工した先進導坑の吹付コンクリートや鋼アーチ支保工と油圧切削機の先端が接触しないよう改善。



2-3. 低土被り区間

2-3-1. 掘削計画

- 上り線と下り線を繋ぐ連絡横坑を設置し、釜利谷側及び戸塚側と連絡横坑の間をそれぞれ双方向で掘削。
- 低土被り部の断面変化部を大きい断面から小さい断面に向けて掘削することにより、縫返しを回避する事で地表面沈下リスクの低減と確実な先受け工による安全性と品質の確保が可能。



- (1) 一般部 (円形近似断面)
- 頂部導坑を円形近似断面で掘削。境界側の両頂部導坑は仮インバートで早期閉合を実施し、地表面沈下の抑制を図る。
  - 上半切羽と仮閉合施工位置との距離を最大  $2D$  ( $=20m$ ) とし、計測データを判断材料として活用し、この距離を調整しながら施工。
  - 盛土部においては補助工法 (注入式FPとAGF) 及び鏡ボルトを採用し、地表面沈下・坑内変位を注視しながら施工。
  - 湧水が生じた場合には止水材を注入し、止水しながら掘削。
- (2) 市道交差部
- 市道に水道管・ガス管等のライフラインが埋設されており、アーチ形状で掘削が出来ないため角導坑で掘削。
  - 角導坑は先受け工を梁で受ける構造とし、両者間には瞬結吹付けコンクリートを間詰めして地山と密着させる。また、先受け工として高い精度を持って打設可能なテレビチューブを採用。

■騒音・振動に配慮した施工計画

①無打撃による先受工・ロックボルトの削孔（※分合流部同様）

・先行工事において、先受工・ロックボルト打設の削孔時にて騒音・振動が生じている事象が確認できたため、無打撃（回転のみの力）削孔を可能とするビットを開発し採用。

②鉄骨切断機の採用（※分合流部同様）

・先行施工した底部導坑の支保工や吹付コンクリートの撤去において、大型油圧ブレーカー等で取り壊すと振動が沿線の住宅に伝わってしまう懸念があったため、鉄骨切断機にて圧力による切断をしながら撤去する方法を採用。

③低振動掘削機の採用

・振動低減を目的に、油圧切削機よりも機械質量が大きく、低速掘削により振動を抑制できる自由断面掘削機を採用。

④施工順序の工夫

・頂部導坑の掘削において、夜間の騒音・振動等の低減を目的に、住宅に近接している中壁を昼間に施工し住宅からより離れた側壁を夜間に施工。

⑤周辺地域の安全・安心を高める取り組み（※分合流部同様）

- ・騒音・振動等の状況を確認することを目的に、沿線住民へのヒアリングを実施。
- ・工事の進捗状況（今週の施工箇所）を現地のデジタルサイネージに表示。

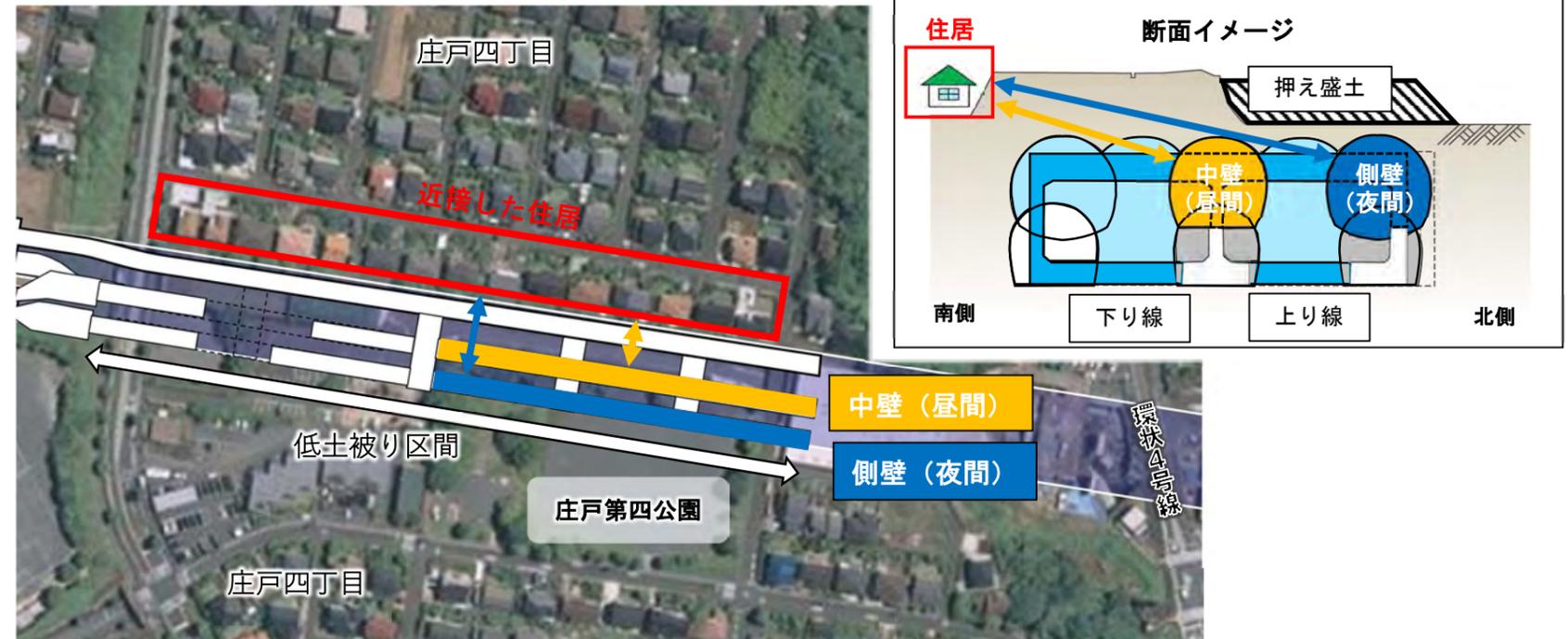
③低振動掘削機の採用

<自由断面掘削機>



④施工順序の工夫

<施工箇所と周辺家屋との近接状況>



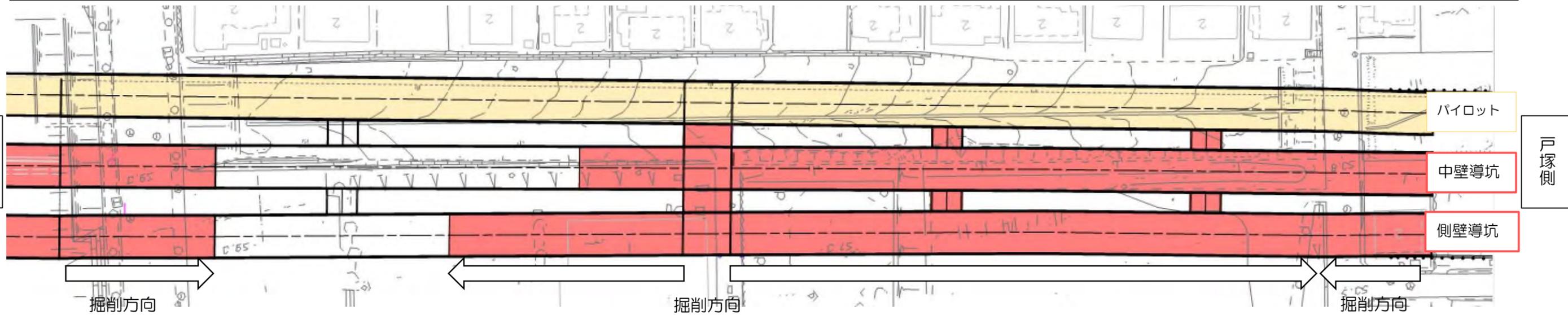
2-3-2. 低土被り区間 モニタリング状況

①坑内変位・地表面沈下計測

- ・トンネル掘削が完了した断面において、トンネル坑内の変位状況を確認。1回/時間の頻度で計測を実施。
- ・トンネル掘削箇所において、地表面に設置した基準点を観測し、掘削による地表面への影響を確認。1回/時間の頻度で計測を実施。  
⇒掘削が完了した区間において、周辺の家屋に対する管理基準値以下であることを確認し、掘削による変状・異常は発生していない。

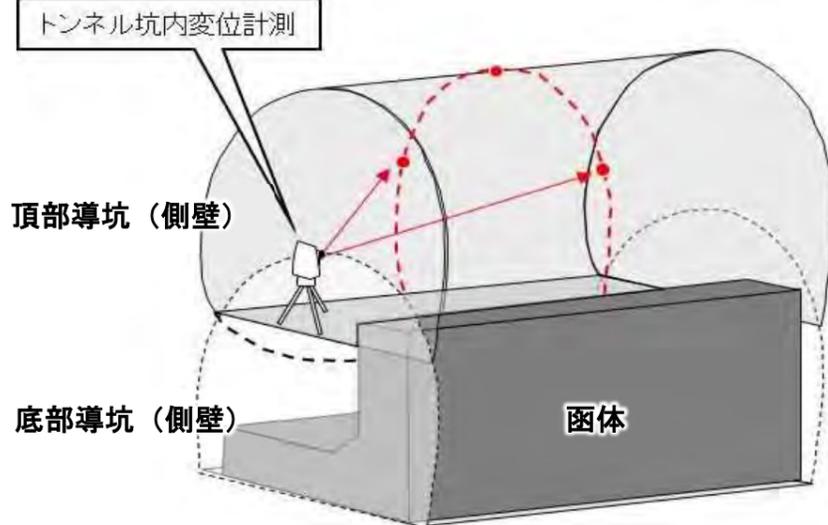
②騒音・振動の測定

- ・トンネル掘削期間は、騒音・振動計を設置し測定。庄戸地区内に騒音・振動値を掲示。
- ⇒掘削による騒音・振動について、計測値の現地掲示や沿線住民の方へのヒアリングを踏まえ、施工状況の振り返りを行いながら慎重に施工を進めている。



①坑内変位・地表面沈下計測

<坑内変位計測イメージ>



<地表面沈下計測状況>



②騒音・振動の測定

<現地掲示状況>

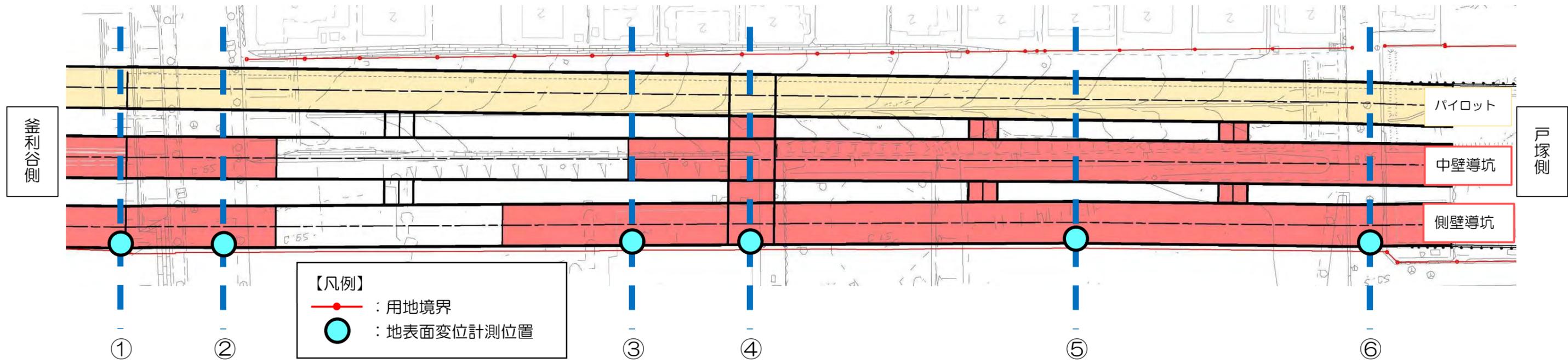


<振動計>



■周辺の家屋に対する影響のモニタリング

- ・上り線の掘削が完了している区間において、用地境界での地表面沈下量は最大で 3.6mm、地表面沈下による傾斜角は最大で 0.4/1000rad。  
⇒庄戸トンネル検討会（平成 19～21 年）で設定した家屋に対する管理基準値を下回っていることを確認した。



■地表面変位の計測結果（令和 4 年 10 月 31 日時点）

| 測線  | 地表面沈下量 (mm) | 傾斜角 (rad) |
|-----|-------------|-----------|
| 測線① | 3.3         | 0.4/1000  |
| 測線② | 0.2         | 0.1/1000  |
| 測線③ | 3.6         | 0.2/1000  |
| 測線④ | 2.8         | 0.2/1000  |
| 測線⑤ | 1.5         | 0.3/1000  |
| 測線⑥ | 1.3         | 0.2/1000  |

■家屋に対する管理基準値

・地表面沈下量 用地境界で 25mm 以下  
・地表面沈下による傾斜角 : 用地境界で 1/1,000 (rad) 以下

図 3.1.1 家屋に対する地表面の許容沈下量

※平成 18 年度 首都圏中央連絡自動車道計画検討業務より

| 対象 | 文献名                             | 管理基準値   | 採用値                                |
|----|---------------------------------|---|------------------------------------|
| 家屋 | ① 地中構造物の建設に伴う近接施工指針             | 日本トンネル技術協会 S11.2<br>・沈下 : 20～30mm<br>・傾斜角 : 1～2/1,000 (rad)     | ・沈下 : 25mm<br>・傾斜角 : 1/1,000 (rad) |
|    | ② 構造物等に近接した山岳トンネルの設計施工に関する研究報告書 | 日本トンネル技術協会 H4.3<br>・沈下 : 20～200mm<br>・傾斜角 : (1～1.4)/1,000 (rad) |                                    |
|    | ③ 土質基礎工学ライブラリー34 近接施工           | 土質工学会 H1.9<br>・沈下 : 20～200mm<br>但し、RC 造を対象                      | (注) 採用値は、左表の値を考慮した。                |

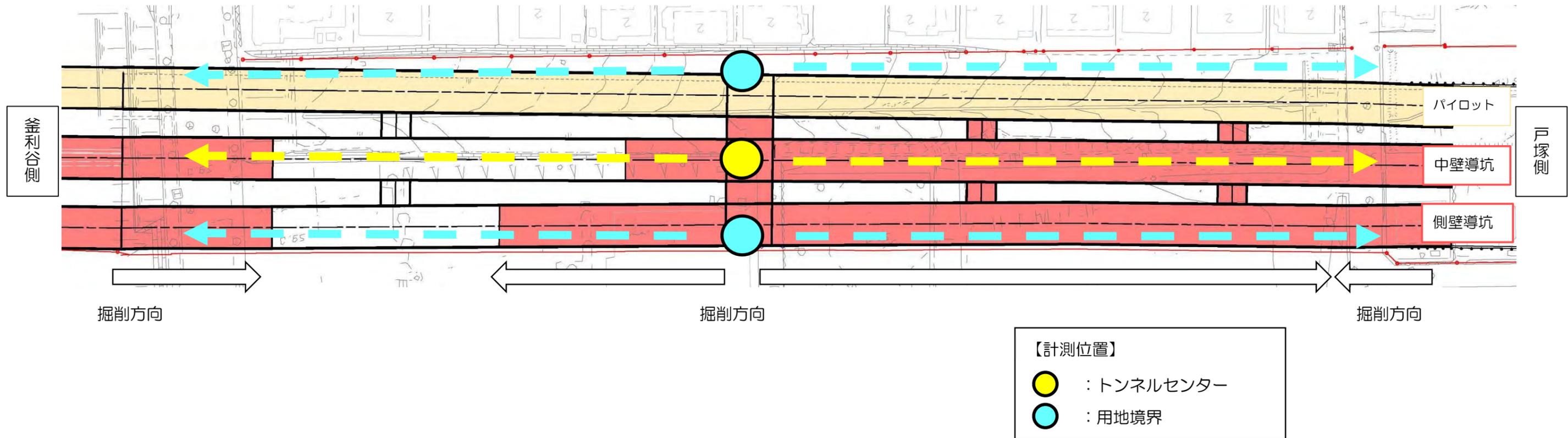
出典：庄戸トンネル検討会（平成 19～21 年）資料より（抜粋）

■騒音・振動低減に向けた取り組み（低土被り区間）

- ・掘削進捗に合わせて、トンネルセンター及び用地境界に計測器を設置し、騒音・振動の測定を実施。
- ・沿線住民へのヒアリングを実施し、騒音・振動等について状況を確認。
- ・土被りが小さく、一部作業において、地上部でも感じられる騒音・振動を確認。
- ・沿線住民の方から騒音・振動に関するご意見をいただいた際には、申し出のあった時間帯の施工状況を振り返り、作業内容を特定することでその作業については改善を検討し、騒音・振動等による影響を低減するよう対応を図っている。

【改善した作業内容】

- ① 掘削ずり積み時にホイールローダーのバケットが地山に当たってしまった際に騒音・振動を確認したため、バケットを地山に当てないように改善。
- ② 先行施工した底部導坑の吹付コンクリートや鋼アーチ支保工と自由断面掘削機の先端が接触しないよう改善。



2-4. 施工中の観測状況

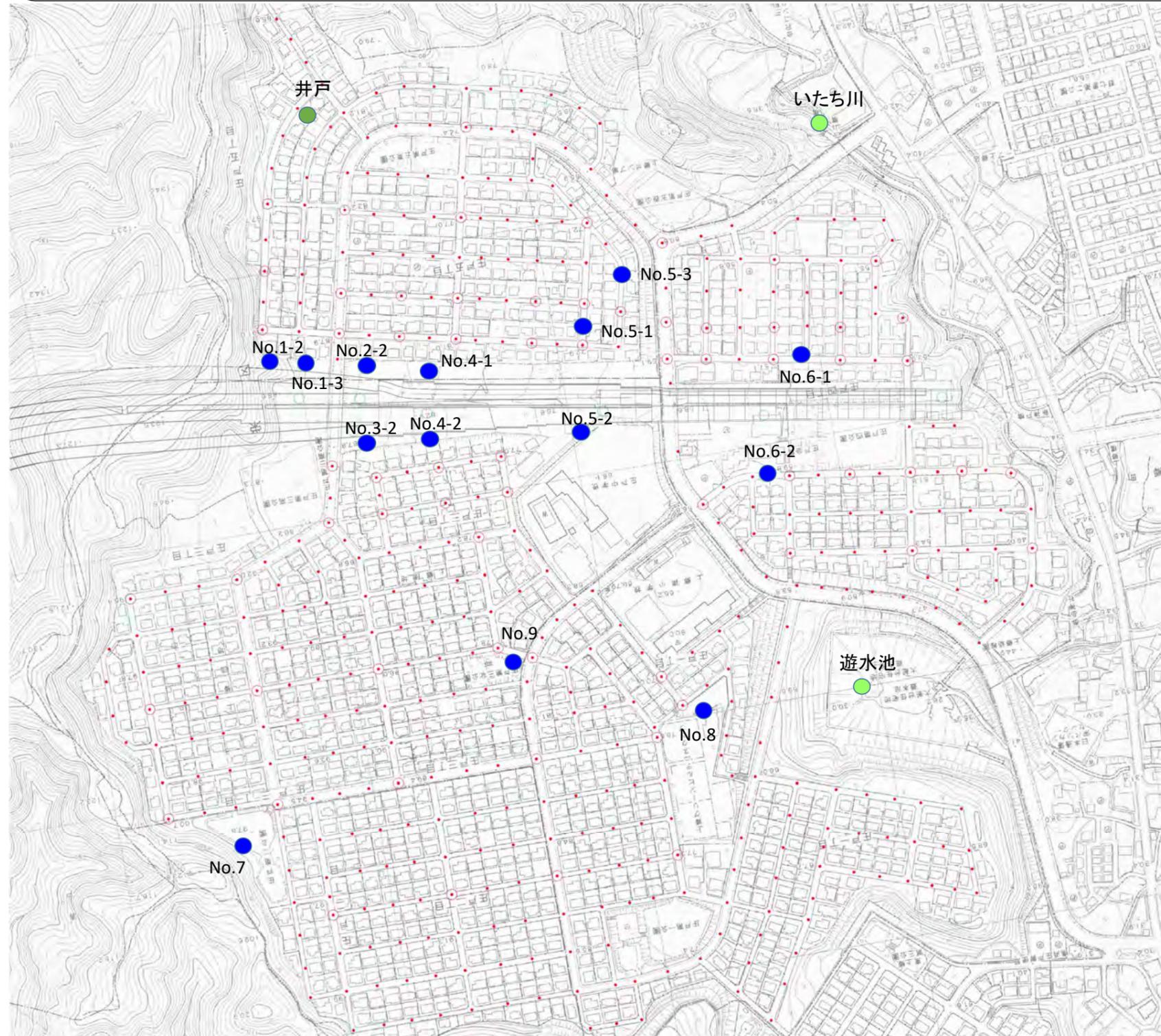
地表面高さ、地下水等について観測計画に基づき測量を定期的を実施。

①地表面高さ測定

- 調査地点 : 457点 (内、継続調査地点: 67点)
- 調査項目 : 道路現況高さ測定

②地下水観測

- 調査地点 : 17箇所
- 調査項目 : 地下水位測定、流向・流速測定  
流量・水質測定(地下水流末)、水質測定(既存井戸)



- 地表面高さ測定  
(道路現況高さ測定(水準測量))
  - 計測箇所(457点)
  - 継続的に測定する代表点(67点)

- 地下水観測  
(地下水位等の観測)
  - 地下水位
  - 流量・水質
  - 水質(既存井戸)

■ 観測状況

- 地表面高さ測定  
(道路現況高さ測定(水準測量))  
地表面には大きな変位は見られていない。  
今後も測定を継続し、注視していく。

- 地下水観測  
(地下水位等の観測)  
地下水位の変動は降雨量の影響が見られ、各調査点は概ね同じ水位変動傾向を示している。  
それ以外の項目についても、工事着手前後で傾向の変化はみられていない。  
今後も観測を継続し、注視していく。

3. 今後の施工方法紹介

■展張機付シート台車の採用（分合流区間）

分合流区間は周辺地下水位変動抑制対策のため非排水（全周防水）構造を採用しており、耐水圧の確保等から厚さ 2mm の防水シートを使用するが、150kg / ロールもの重量を有し人力での施工が困難であるため、展張機付防水シート台車を採用。

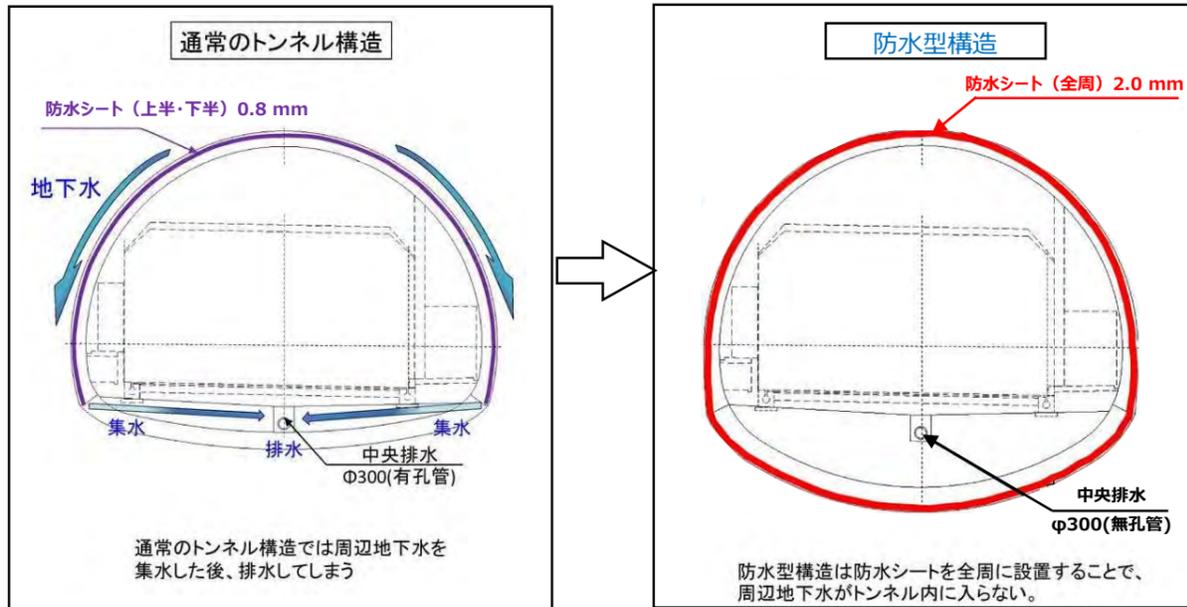
【防水シート】

通常：0.8mm（上半・下半）

今回採用：2.0mm（全周）

当初：枠組み足場

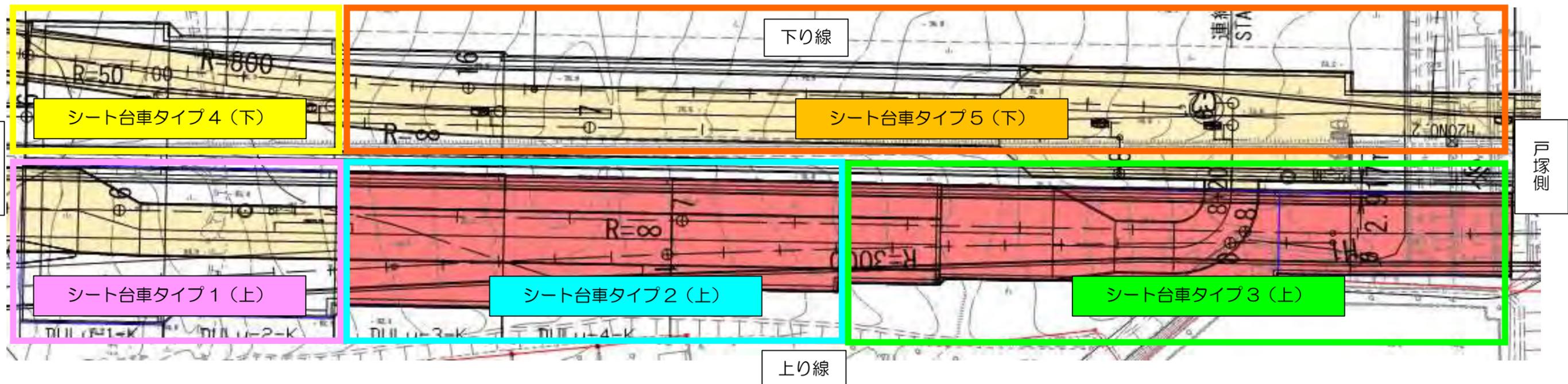
今回採用：展張機付シート台車



＜現場設置イメージ＞



分合流区間は断面の大きさがパターン毎で異なるため、改造を施しながら大きく5つの区間に分けて、展張機付シート台車を使用。



■鉄筋のユニット化（低土被り区間）

導坑内狭小空間で鉄筋組立を行う場合、導坑掘削が完了してからでないと組立が始められないこと、また狭小空間での作業となるため効率が悪くなり工程に対する懸念があったため、外部（坑外）ヤードであらかじめユニット鉄筋を組み立て、それを坑内へ運搬・据付する方法を採用。

＜ユニット鉄筋組立＞



＜運搬（坑外ヤード⇒トンネル坑内）＞



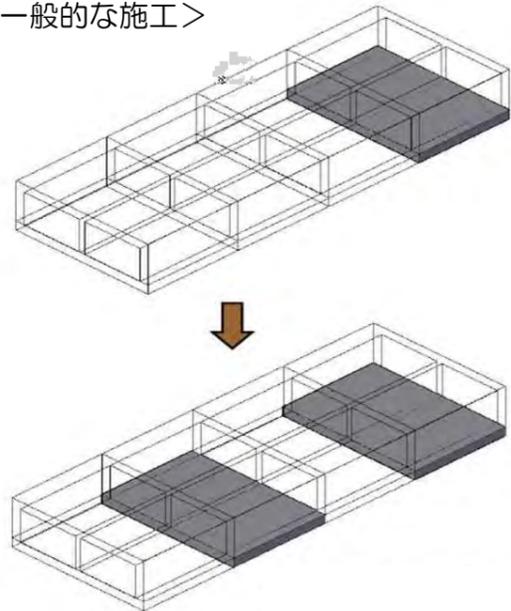
＜据付＞



■埋設型枠の採用（低土被り区間）

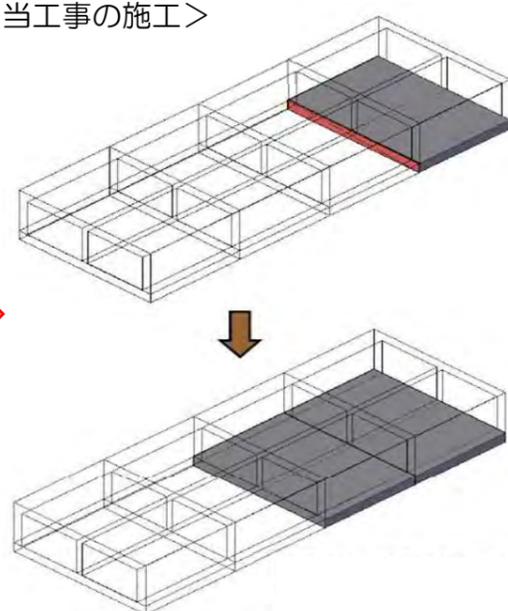
襍型枠に埋設型枠を採用することで、襍型枠の脱型が不要となり、隣接するブロックを連続的に施工することが出来るため、連絡横坑を活用した多数班による片押し施工を可能とした。また、埋設型枠は強度・耐久性等を考慮した上で、環境配慮型埋設型枠を採用。

＜一般的な施工＞



• 襍型枠の脱型が必要のため、一つ置きに施工される。  
⇒人や資材の移動が煩雑になり、生産性が悪い

＜当工事の施工＞



• 襍型枠の脱型が不要となり、隣接するブロックを連続的に施工できる。  
⇒人や資材の移動が簡易になり、生産性が向上

＜環境配慮型埋設型枠＞

＜型枠加工＞



＜組立＞



【特徴】

- CO<sub>2</sub> と反応して硬化する性質を持つ特殊混和材を使用しており、かつ特殊混和材は工場等から発生する産業副産物を原料としている。
- 一般的なコンクリートと同等以上の強度、耐久性を有する。

#### 4. 今後の課題

##### ①日本最大断面の掘削管理について

分合流区間の上り線において、これまで地表面変位等に変状・異常等なくここまで掘削を進めてきた。

⇒今後過去に例のない最大断面の掘削を行うため、「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン」に基づき、切羽監視員の配置、鏡吹付の確実な施工を行うとともに、トンネル坑内変位や地表面変位等をより一層注視しながら、これまで同様、安全に十分配慮した施工管理を行っていく。

##### ②騒音・振動対策について

庄戸トンネルは全区間において住宅が近接していることから、沿線住民の方へのヒアリングを実施しながら、作業内容の改善を図ることで騒音・振動等の低減に努めてきた。

⇒今後、低土被り区間下り線の頂部導坑（側壁）の掘削時に最も住居に近接しての施工となるため、トンネル坑内変位や地表面変位等に注視し、騒音・振動についても細心の注意を払うとともに、沿線住民に対しての情報提供やコミュニケーションを図っていく。

##### ③周辺地域の安全・安心を高める取り組みについて

⇒今後の掘削においても、地表面変位等の計測結果を踏まえた施工管理や沿線住民へのヒアリングを継続し、情報提供や現場見学会等の取り組みを行っていく。

