

高速横浜環状北西線 シールドトンネル工事の設計施工

YOKOHAMA CIRCULAR NORTHWESTERN ROUTE DESIGN AND CONSTRUCTION OF SHIELD TUNNEL

熊田 政典¹・森 亮²・内海 和仁³・上村 健太⁴

Masanori KUMADA¹, Ryo MORI², Kazuhito UCHIUMI³, Kenta UEMURA⁴

Yokohama Circular Northwestern Route connects Tomei Expressway, Yokohama Circular North Route and Daisan Keihin Road, which is intended to strengthen the connection between the north western area and the coastal area as well as the central area of Yokohama City. The whole length of the route is approximately 7.1km, which includes a pair of shield tunnels. The length of the tunnels is 3.9 km and inside diameter is 11.5m and up and down traffic will be separated into each of them. Two slurry shield machines of which the outside diameter is 12.6m are used to construct these tunnels. This report aims to introduce brief information and the planning process of the shield tunnel and give an outline about the method in both planning and construction phase to proceed construction quickly and to achieve sufficient durability of the tunnel parts such as the RC segment.

Key Words : Public Involvement, Slurry Shield Machine, Reinforced Concrete Segment, Sectional Excavation

1. はじめに

(1) 高速横浜環状北西線事業の概要

高速横浜環状北西線（以下、北西線）は、東名高速道路（横浜青葉IC・JCT）と第三京浜道路（横浜港北JCT）を結ぶ、延長7.1kmのうち4.1kmをトンネル区間とする自動車専用道路である（図-1、図-2参照）。

本事業は、平成29年3月に開通した首都高速神奈川7号横浜北線（首都高速神奈川1号横羽線～第三京浜道路）と一体となり、横浜港から東名高速道路を結ぶことで、横浜港の国際競争力の強化をはじめとする首都圏のアクセス性の強化等をはかるため、横浜市と首都高速道路（株）が平成24年度から進めている事業である。

現在の横浜市域では、横浜港と東名高速道路をつなぐ主要な幹線道路は保土ケ谷バイパスのみとなっており、その交通量は約16万台／日（全国1位：H27道路交通センサスによる結果）と非常に多く、慢性的な渋滞が発生している。これにより、周辺地域では、コンテナトレーラー等大型車の一般道での走行や住宅地域への通過交通の流入が生じており、市民生活に大きな影響を与えてい

る状況にある。これらの改善、解消のための対策としても北西線の整備効果には、大きな期待がかかっており、できるだけ早い完成を目指して事業を進めている。

(2) 計画段階における取組みとルート選定

大規模道路事業においては、事業規模や周辺環境への



図-1 高速横浜環状北西線の概要

キーワード：PI, 泥水式シールド, RCセグメント, 切開き工法

¹非会員 横浜市道路局 City of Yokohama (E-mail:ma01-kumada@city.yokohama.jp)

²非会員 横浜市道路局 City of Yokohama

³正会員 首都高速道路株式会社 Metropolitan Expressway Co. Ltd.

⁴非会員 首都高速道路株式会社 Metropolitan Expressway Co. Ltd.



図-2 高速横浜環状北西線の路線平面図

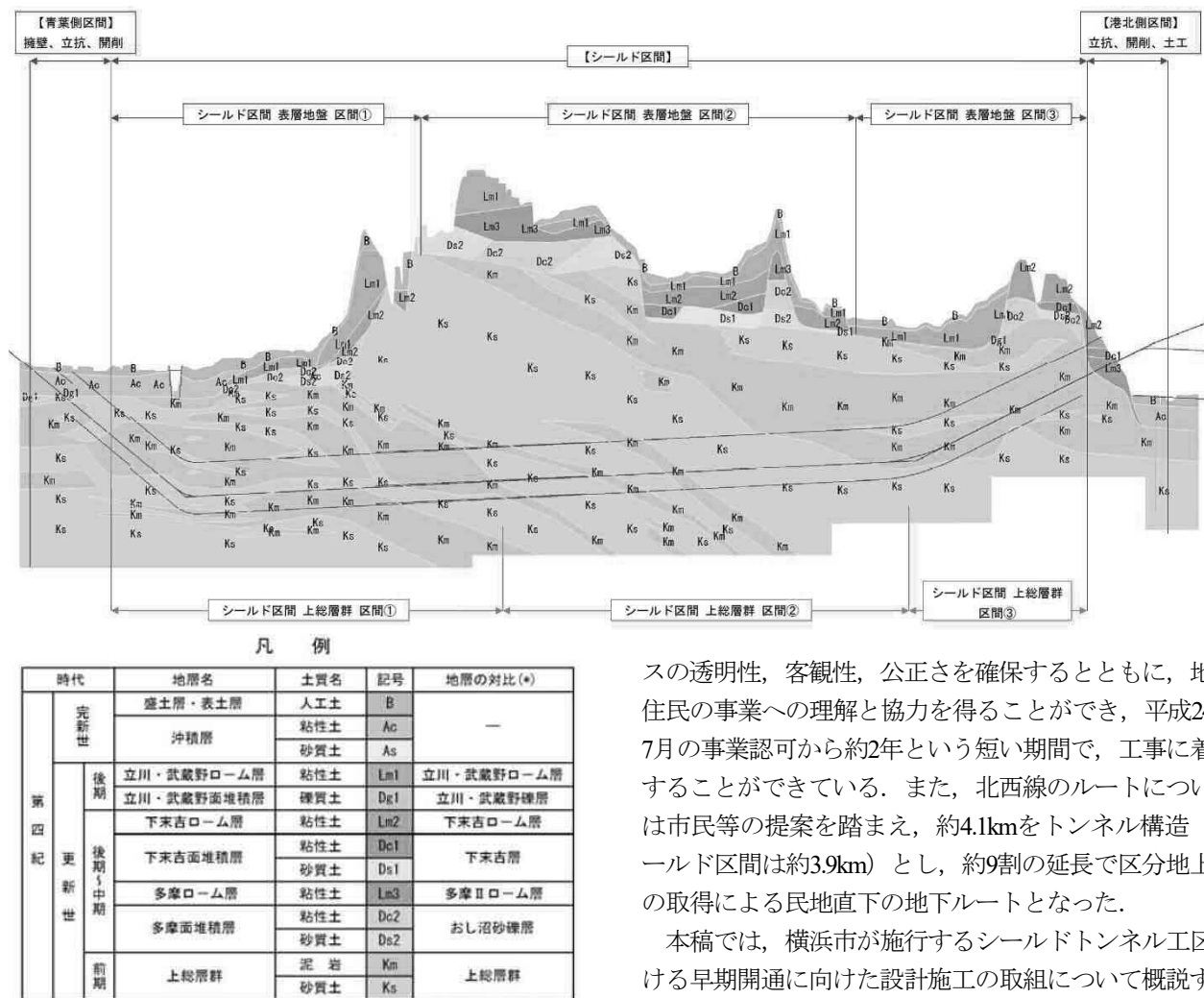


図-3 トンネル部の地質縦断面図

影響など様々な理由により、地域との合意形成に多大な時間を要することが多い。本事業では、早期開通を目指すにあたり、計画づくりの初期段階から市民等に情報提供しつつ、広く意見を聴き、それらをルート選定等の計画に反映させるP I（パブリックインボルブメント）手法を導入している。P Iの成果により、計画決定プロセスの透明性、客観性、公正さを確保するとともに、地域住民の事業への理解と協力を得ることができ、平成24年7月の事業認可から約2年という短い期間で、工事に着工することができている。また、北西線のルートについては市民等の提案を踏まえ、約4.1kmをトンネル構造（シールド区間は約3.9km）とし、約9割の延長で区分地上権の取得による民地直下の地下ルートとなった。

2. シールドトンネル区間における設計・施工

(1) 地質条件

トンネル区間における地質縦断面図を図-3に示す。シールド区間の掘削対象地盤は、上総層泥岩(Km)と上総層砂質土(Ks)の互層で、Km及びKsは一軸圧縮強度が

1,000kN/m²以上、推定N値100以上の硬質な地盤である。また、せん断弾性波速度Vs=300(m/sec)を超える工学的基盤面以深を通る線形であり、耐震性能上は優位な条件となっている。また、シールドトンネルの設計に先立ち、掘削発生土の土壤環境を把握するため土砂検定試験を行った結果、一部区間の土壤に土壤汚染対策法で定められた許容値「0.01mg/l」を超えるヒ素が含有されていたため、適正に処理する必要がある。詳細は「(6-a)個別指定制度」において後述する。

(2) シールドトンネルの概要

シールドトンネルの概要を以下に示す。また、シールド断面を図-4に示す。シールド断面は中央から上部にかけては道路空間、下部を避難空間としている。

- ・工事場所：横浜市緑区北八朔町（発進）
～同都筑区東方町（到達）
- ・工 法：泥水式シールド工法 外径12.64m
- ・土 被 り：12.6m(発進)～8.6m(到達)，最大約67m
- ・掘進延長：約3,900m
- ・曲線半径：248m～∞ ・縦断勾配：0～5.0%

(3) 本工事の特徴

本工事の特徴は以下のようにまとめられる。本工事はこれらの特徴を踏まえた設計と施工を求められた。

- ・計画月進328m/月と高速施工を計画している。
- ・切羽水圧が最大約0.5MPaと高水圧である。
- ・最少平面曲線半径は248mである。
- ・縦断勾配は最大5%と急勾配である。
- ・ほぼ全線にわたって民地の下を掘進し、一級河川や鉄道等の重要構造物直下での施工となる。
- ・2台の大断面シールド機が並行して掘進する。

(4) シールド工法の選定

シールド工法は、地下水による高水圧への対応可能な密閉型シールド工法である。泥水式シールド工法並びに泥土圧式シールド工法について、当該トンネルの計画条

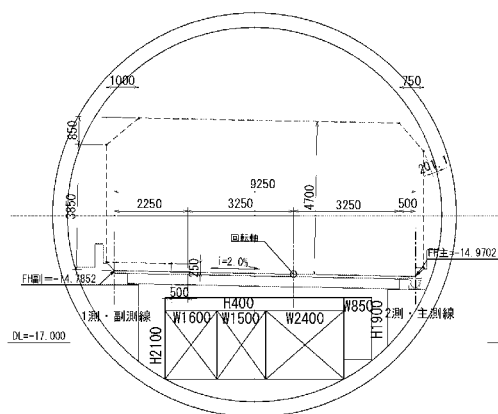


図-4 シールドトンネルの標準断面

件を考慮して比較検討を行い選定した。比較検討は、主に下記の項目に着目した。

- ・施工条件に対する適応性 ・周辺環境への影響
- ・施工規模による課題 ・経済性

a) 施工条件に対する適応性

泥水式、泥土圧式ともに当該地質条件である泥岩地山や最大水圧約0.5Mpaに対して施工実績があり、対応可能である。泥水式シールド工法の場合、小土被り部は泥水の噴出や逸泥に対して慎重な掘進管理が必要となるが、当該線形は発進部と到達部に限られる。

b) 周辺環境への影響

両工法ともに発進基地に防音設備を設置するが、泥水式シールド工法は泥水処理設備のうち、一次処理設備（振動ふるい）からの振動、低周波対策を講じることとなる。

c) 施工規模による課題

今回の大断面長距離シールドから発生する掘削土は115万m³と多く、その処理がシールドの掘削工程へ大きな影響を及ぼすことが懸念された。

泥土圧式シールド工法では、発生土全てが建設汚泥（産業廃棄物）となり、これらの受入地の確保が課題となる。今回、計画している速度のシールド掘削に伴い発生する建設汚泥量に対し、首都圏域の最終（焼成）処分場のほぼ全てを用いても処分が間に合わないことが確認された。これに対し、泥水式シールド工法では、一次処理設備により良質な砂質土を分離することで約58%の掘削土を一般建設発生土として処理することができ、受入地の確保が課題となる建設汚泥を約42%の48万m³まで削減することができる。これにより、発生土処理の影響を受けることなく、計画通りの工程でシールド掘削を進めることができることが確認された。

d) 経済性

泥水式シールド工法は泥水処理設備の騒音・振動対策の仮設備費用が高価となるが一方で、泥土圧式シールド工法は建設汚泥の残土処理費が高価となるため、これらのシールドに経済性の差はなかった。比較検討の結果、工程上特に大きなリスクが懸念された残土処理において優位となる泥水式シールド工法を採用した。比較結果を表-1に、製作したシールドマシンの写真を図-5に示す。

表-1 シールド工法比較

	泥水式	泥土圧式
施工性	○	○
騒音振動	△※	○
残土処理	○	×
経済性	666億円	664億円
判定	○	-

※当該シールド工事では周辺環境への影響を考慮し、防音壁等の騒音振動対策を実施。



図-5 シールドマシン（上：青葉行き（横浜市施行），
下：港北行（首都高施工））

(5) セグメントの概要

本シールドトンネルでは施工箇所特性に応じてRCセグメント、合成セグメント、鋼製セグメントを使い分けている。RCセグメントは幅2,000mm（合成セグメント、鋼製セグメントは1,500mm）、厚さ450mmであり、外径12,400mm、内径11,500mmとなる。セグメントの周囲にはシール溝を設け、セグメント周方向に継ぎ目のないシール材を2段で貼付けることで止水する構造としている。

RCセグメントは本シールドトンネルで最も使用割合が高く（1967リング中1880リング）、一般部用として使用されている。RCセグメントには応力条件によりコンクリート強度 $\sigma_{sk}=48\text{N/mm}^2$ および 57N/mm^2 の高強度コンクリートを用いており、耐火用にポリプロピレン繊維（パルプチップPW・Jr）を体積比で0.3%添加している。また、ポリプロピレン繊維を添加することで、耐火性能の付与と同時に、乾燥収縮により内外径面に発生しやすい微細なひび割れの抑制を図っている。土被り等の施工条件の違いから、地点によってセグメントが受ける荷重条件が異なるため、一般部用、曲げ卓越部用、重荷重部用の3タイプのRCセグメントを採用した。

RCセグメントはセグメント継手、リング継手ともにワンパスタイプの挿入形式の継手を採用することで、シールドジャッキで押し込むだけで締結され、組立時間の



図-6 スクリューボルト継手

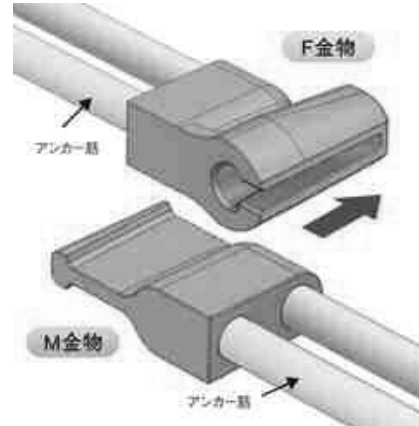


図-7 コーンコネクター継手



図-8 耐火試験後の供試体

削減が可能な構造を採用している。リング間継手を雌雄の金物が偏心して組み立てられた場合にも抜け出しが少ないスクリューボルト継手（図-6）とし、セグメント間継手はコーンコネクター継手（図-7）としている。

(6) セグメントの耐火性能確認

セグメントの耐火性能の確認としては、RC、合成の各セグメント（一般部、継手部）を模した供試体に対してRABT曲線（火災温度時間曲線）に従った耐火試験を実施しており、コンクリート、鋼材の最高温度や爆裂がないこと等を確認している。図-8にRCセグメント供試体の耐火試験後の写真を示す。供試体には茶色の斑点模様が一樣についているものの、爆裂等の大きな損傷は見られない。この結果はRCセグメント（一般部、継手部）、合成セグメント（一般部、継手部）に共通して確

認でき、耐火性能を確保している。

また、鋼製セグメント部では、耐火パネルを配置することで耐火性を確保している。

(7) Uターン路の概要

トンネル防災を検討した結果、シールドトンネル区間に2カ所のUターン路を計画している。2本のシールドトンネルを構築後に、非開削切開き工法にて連結するものである。切開きの施工箇所が上総層砂質土（Ks）に位置しており、十分な止水を行った後にシールド構内からセグメントを撤去し、地山を掘削後、Uターン路躯体を構築する。施工法としては、曲線パイプルーフ工法及

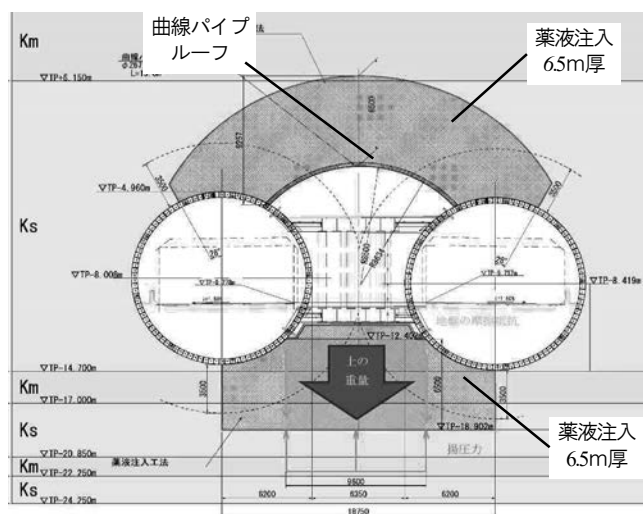


図-9 曲線パイプルーフ工法+薬液注入工法

び薬液注入工法による施工法（図-9、図-10）と、矩形開放シールド工法及び凍結工法による施工法の2種類を計画中である。切開き工法の詳細は別途の機会に報告したい。

3. シールドトンネル区間における施工上の課題と早期完成に向けた取り組み

(1) 建設発生土等の処理

建設発生土の処理プラントを図-11に示す。北西線の2本のシールドトンネル工事では、約115万m³もの発生土を見込んでいる（表-2）。処理プラントで分離される2次処理土は、約48万m³であり産業廃棄物としての処理が必要となる。この多量の土を通常の工事と同様に、首都圏全域の最終処分場に分散して処分する場合、運搬距



図-11 シールド発生土処理プラント

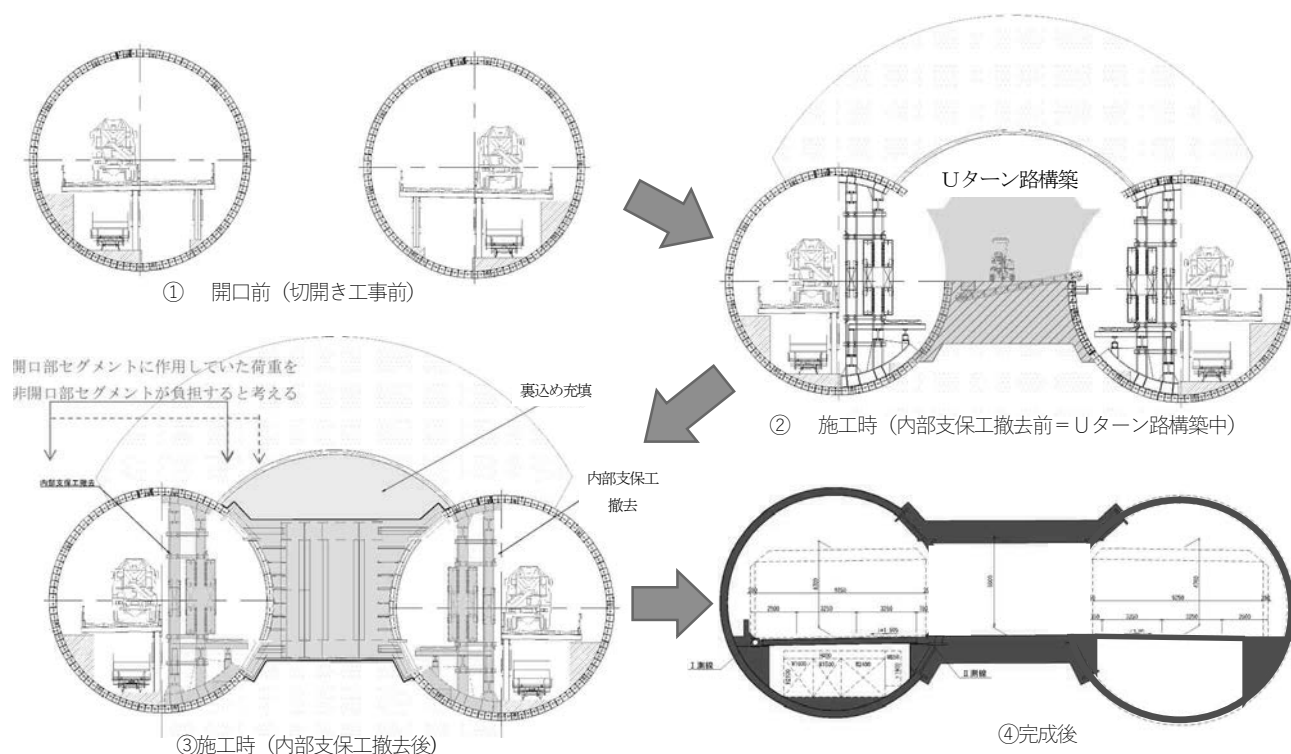


図-10 Uターン路②施工ステップ図（曲線パイプルーフ工法+薬液注入工法）

表-2 シールド発生土量(m3)

	1次処理土 (建設発生土)	2次処理土 (産業廃棄物)
健全土	260,000	64,000
超過土※	404,000	420,000
小 計	664,000	484,000
合 計	1,148,000	

※土壌汚染対策法の基準 (0.01mg/L) を超過するヒ素を含む

離が長いうえに各処分先の受入条件に合わせた計画が必要となるため土の搬出に時間を要することが懸念された。また、運搬台数も多くなることから、周辺地域における渋滞の発生や環境の悪化など、市民生活への影響も生じることが危惧される。本事業では、「個別指定制度」の活用や GPS を駆使した運搬計画を策定することで、効率的な発生土の処理を行っている。

a) 個別指定制度の活用

本工事の2次処理土については、「個別指定制度」を活用し、現場から近い南本牧の埋立事業へ有用物として搬出することで、効率的な搬出計画が可能となり、施工期間の短縮ができています。ここで、個別指定制度とは、環境省の定める建設汚泥の再生利用指定制度であり、シールド工法等で発生した産業廃棄物（建設汚泥を処理したもの）を適正に再生利用するための制度である。

なお、トンネル区間からは基準を超過するヒ素が発生しており、本制度の活用にあたっては不溶化処理が必要となった。不溶化の確認のための検査試験には、通常10日程度の期間を要するが、地域の試験機関と個別調整し本事業のための受入・検査体制の拡充を図ることで、中1日で試験結果を得ることができ工事進捗への影響を最小に抑えている。

b) GPS等を駆使した運搬計画

シールド工事によるダンプトラックの運搬車両は最大1,000台/日にのぼることから、運搬ルートは幹線道路を中心とした走行ルートを定めるだけでなく、円滑な残土運搬を目的として、GPSを用いた車両の運搬管理システムを導入し、工期遅延のリスク低減を図るとともに周辺地域への影響を最小限に抑えている。

(2) セグメント組立ての高速化

本工事では、掘進中にセグメントの組み立てを行う「半同時掘進・組立方式」を採用することで、ワンパス施工とともに高速施工月進328mを実現している。「半同時掘進・組立方式」については図-12に概要を示す。

(3) 異工種の同時施工

通常、道路施設物（照明、防災設備、換気設備、電気

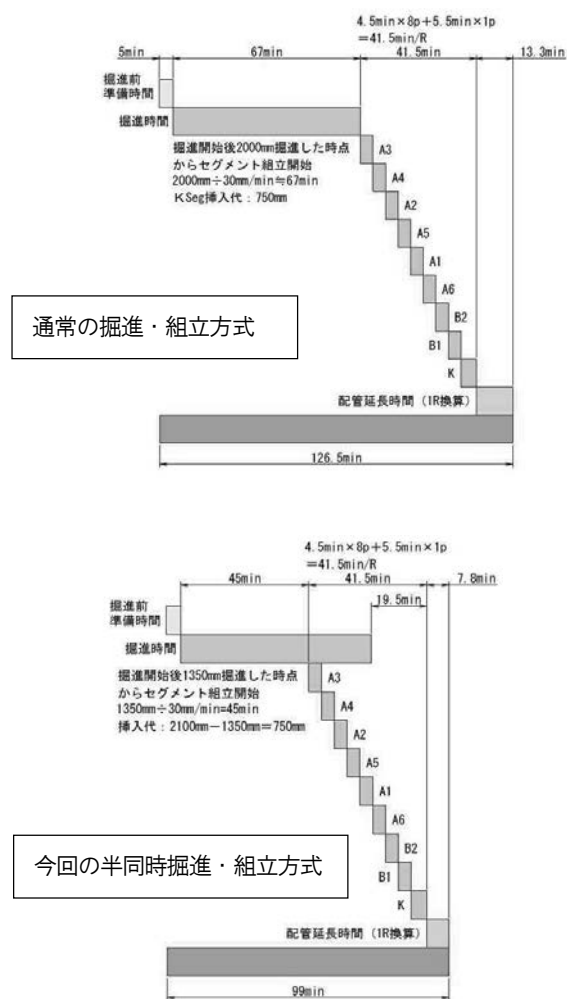


図-12 半同時掘進・組立方式

・通信設備等）は、シールド掘進が完了した後に施工開始するが、本工事では、シールド掘進中に設備工事が同時に着手できるように、タイヤ式搬送装置(MSV)等の技術を導入し、狭隘なシールド断面内を分け合って同時施工可能としている。また、資機材の搬入動線や工事中の仮設備の配置の見直し等を徹底化した。本格的な施工はこれからであるため、詳細及び施工状況については別の機会に報告する。

4. おわりに

本稿では、高速横浜環状北西線事業の背景及び計画について概説し、その中から地下空間の利用事例としてシールドトンネル工事に着目し、その設計施工について報告した。今後は、早期開通に向けた更なる取組みとして、プレキャスト部材の活用など予定している。また、シールドの掘進やUターン路の切開き工事に関して、施工の進捗に合わせて、別途報告することとしたい。