

横浜環状南線 都市型トンネル施工技術検討会

第 5 回 検 討 会

資 料

令和元年9月19日

東日本高速道路株式会社 関東支社 横浜工事事務所
大成・フジタ・銭高 横浜環状南線 桂台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. 住環境ならびに周辺地盤への影響抑制		2
3. 既設重要構造物に対する影響		3
4. 工事中のモニタリングの実施		5
5. セグメント細部構造検討		7
6. 耐震性の検討		10
7. 特殊構造部とその施工に伴う周辺への影響抑制		11
8. 気泡漏出事象対応		16

1. 検討会の目的

1-1. 検討会の目的

横浜環状南線は、住宅が密集する横浜市南部地域（一部は鎌倉市域）を通過するため、全体の約7割が地下構造で計画されている。

そのため、トンネル工事の施工にあたっては、より安全で信頼性が高く、周辺地域に及ぼす影響を最小化できる、最適なトンネル施工方法を採用する必要がある。

近年、都市型トンネルの施工技術の進展は目覚ましく、特に周辺地域に及ぼす影響を最小化できるシールド工法については、都市部の住宅密集地域におけるトンネル施工方法として期待できる技術の一つである。

これまで本検討会では、学識経験者及び専門技術者の指導・助言を受けながら、最新の技術的知見を踏まえたシールド工法の適用性に関する技術検討を実施した。この結果、桂台トンネル、公田笠間トンネルにおいて、周辺地域に及ぼす影響を最小化できるシールド工法の適用性が高いと判断されたが、適用に際しては幾つかの設計・施工上の課題が残されている。

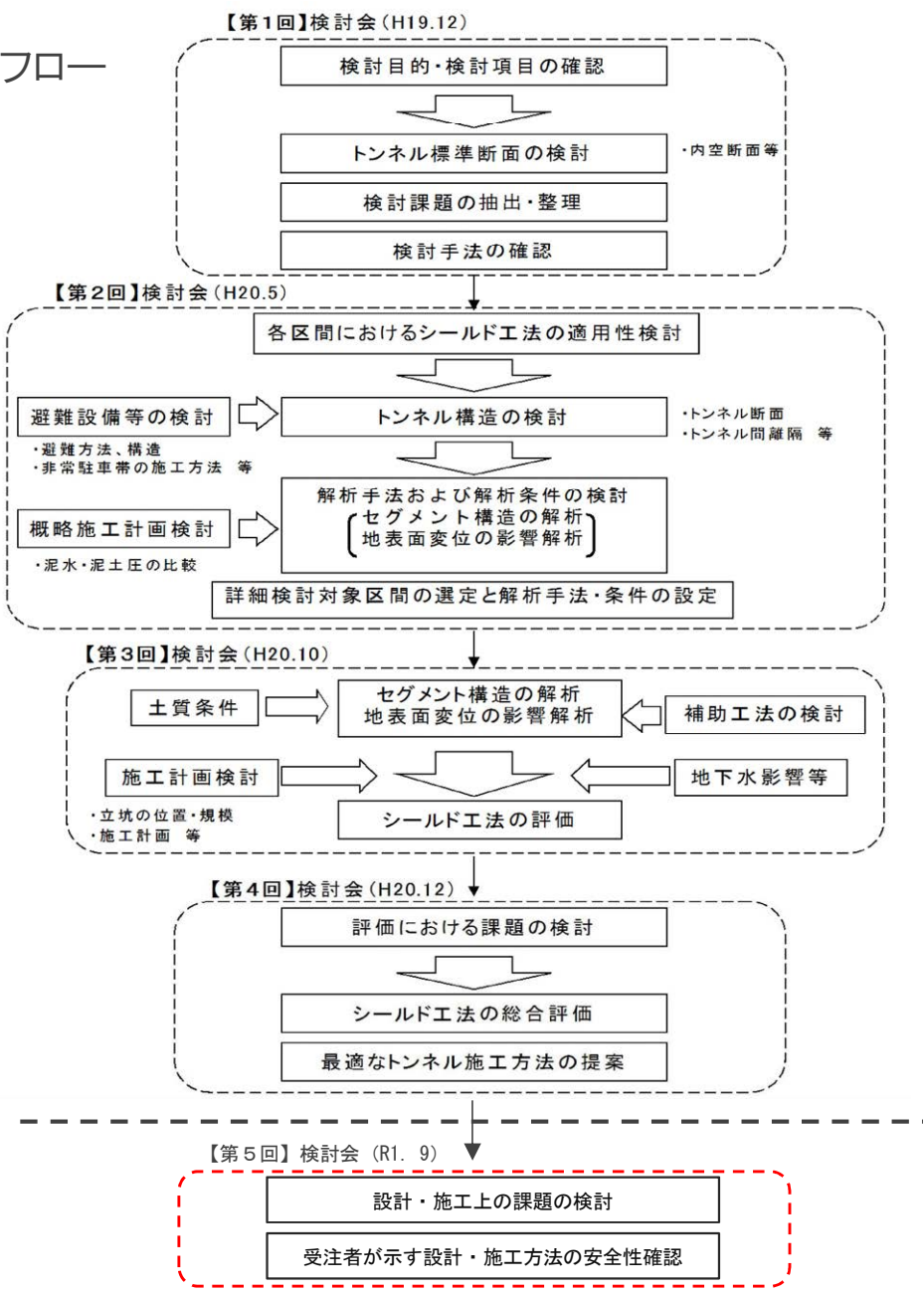
また、シールドトンネル工事においては、近年の災害事例を踏まえた「シールドトンネル工事に係る安全対策ガイドライン（平成29年3月21日）（以下、ガイドライン）」が策定され、受注者が示すシールドトンネル設計・施工方法の安全性の確認を実施する必要がある。

今回、既往の検討会にて示された設計・施工上の課題に対する詳細な検討、及びガイドラインに示された設計・施工方法の安全性に関する項目に対し検討を行うものである。

1-3. 検討会での検討項目

検 討 項 目	内 容	備 考
住環境ならびに周辺環境への影響抑制	大気汚染、水質汚濁、騒音・振動抑制対策等	既往検討会での設計・施工上の課題
既設重要構造物に対する影響	影響検討、対策工の検討等	既往検討会での設計・施工上の課題
工事中のモニタリングの実施	ITを活用した計測施工監理体制、計測・観測方法の検討	既往検討会での設計・施工上の課題
セグメント細部構造検討	施工時荷重の影響等	既往検討会での設計・施工上の課題
耐震性の検討	当該地域の地盤特性を考慮した耐震検討の必要性評価、耐震設計	既往検討会での設計・施工上の課題
特殊構造部と施工に伴う周辺への影響抑制	非常駐車帯の配置、影響予測解析、対策工の検討	既往検討会での設計・施工上の課題
気泡漏出対応	気泡漏出事象対応に対する検討	-
シールドトンネル施工に関する安全対策	ガイドラインに基づく安全性に関する項目	ガイドライン記載

1-2. 検討フロー



2. 住環境ならびに周辺地盤への影響抑制

- ・施工に際しては環境影響評価に基づく環境基準を遵守し、必要に応じて周辺環境への影響抑制対策を講じるものとする。
- ・当該事業の「工事中」において影響を予測・評価すべき環境項目、シールド工事・関連工事において環境保全を遵守するための措置等を以下に記す。

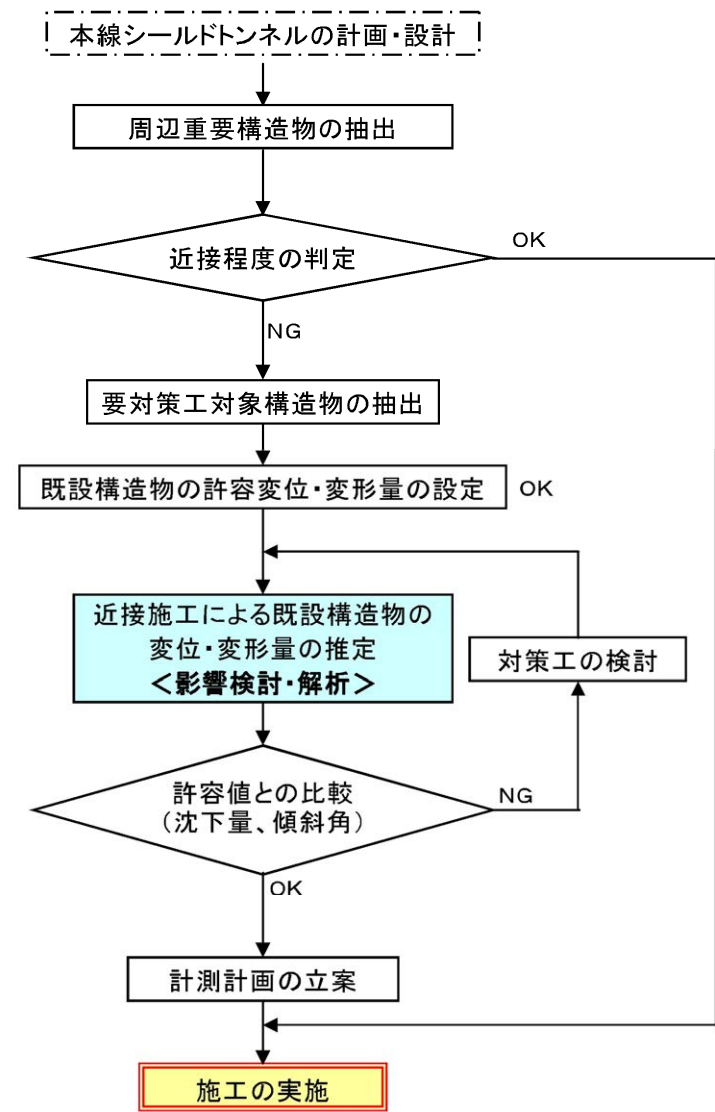
工事中の影響を予測・評価すべき環境項目*	環境保全目標*	工事中の環境保全措置	具体的な対策例	備考
「大気汚染」	・ 現況大気質の保全に努める。	・ 工事用車両通行台数を極力抑制する。 ・ 工事用車両通行経路を民家から極力離れた経路とする。	・ 立坑から仮置き場までの残土運搬にベルトコンベアを採用 ・ セグメント運搬等の工事用車両通行経路を市道ではなく工事用ヤード内に設置 ・ デジタル無線を工事用車両に搭載し、専任の運行管理者により通行台数を把握 ・ 排出ガス対策型機械の使用 ・ 粉塵対策(工事用車両の洗浄、散水等)	
「廃棄物」	・ 適切な廃棄物の処理・処分が行われること。	・ シールド工事から搬出される掘削土砂は法令等に基づき適切な処理を行う。 ・ 一般残土及び産業廃棄物については他事業への有効活用を含めて処分量の低減を図る。	・ 専門家による検討会の実施 ・ 土壌分析試験 ・ 添加材添加によるシールド掘削土の一般残土として活用	
「水象」	・ 水利用に著しい影響を生じないこと。	・ シールド工法は止水性に非常に優れた工法であり、地下水の坑内排出はほぼないこと、地表面から深い位置まで広範囲に連続して壁を構築することはないため、地下水脈の遮断による影響も非常に小さいと考えられるが、工事着手前及び工事中には路線周辺の井戸調査等を行い、工事の影響を把握する。	・ 井戸調査 ・ 水位観測 ・ 水質成分分析	・ 水位観測は「工事中モニタリング」計測対象とする。
「地域社会」	・ 地域住民等の安全性の確保 ・ 道路交通の安全性の確保 ・ 工事中の事故防止 ・ 工事中の地域分断の回避	・ 工事用車両の出入口付近では、第三者への安全性を確保するため、適切な対策を行う。	・ 交通誘導員の配置 ・ デジタル無線等を使用した、専任の運行管理者による運行状況の一元管理 ・ 人感センサー・回転灯の設置	
「騒音・振動」	・ 騒音(振動)規制法に基づく「特定建設作業に伴って発生する騒音(振動)の規制に関する基準」を遵守する。また、特定建設作業以外及び工事用車両についても極力影響を生じないようにする。	・ 防音設備により影響を抑制する。 ・ 工事施工中の騒音・振動調査を行い、基準を遵守する。	・ 立坑ヤードに防音壁、防音ハウスを設置 ・ 立坑ヤードに騒音測定、振動測定を設置 ・ 低騒音型・低振動型の機械の使用	・ 騒音・振動測定は「工事中モニタリング」計測対象とする。
「地盤沈下」	・ 住居等に有害な影響を与えないこと。	・ シールド掘進中の地山状況モニタリングに基づき対策を講じることで、地盤沈下につながる事象を防止する。 ・ 工事の影響を確認するため、日常管理として工事着手前から工事終了まで地下水位の計測、地表面の沈下計測を行う。	・ 電磁波レーダ探査による地山空洞モニタリング等 ・ 地表面変位測定 ・ 水位観測 ・ 家屋調査 ・ 地中変位及び傾斜計測(非常駐車帯拡張時)	・ 計測に関する詳細は「工事中モニタリング」項目を参照 ・ 家屋調査に関する詳細は「既設重要構造物への影響」を参照 ・ 地表面変位測定・水位観測等は「工事中モニタリング」計測対象とする。
「水質汚濁」	・ 公共用水域の水質保全上支障を及ぼすものでないこと	・ 環境影響評価に基づき必要な対策を講じ、神奈川県公害防止条例に基づく排水基準を遵守する。 ・ 汚濁処理設備を設置し、適切な処理(PH調整、SSの除去)を行う。	・ 水質成分分析 ・ 濁水処理設備	

* 参考文献:「高速横浜環状南線[金沢区釜利谷町～戸塚区汲沢町(横浜市域)] 環境影響評価書」(平成6年12月、神奈川県)

3. 既設重要構造物に対する影響

3. 1 既設重要構造物に対する近接施工の影響検討方針

・桂台トンネルに近接する主な既設重要構造物に対して、下記に示すフローに従い施工による影響を検討し、重要構造物に対する安全性を評価した。



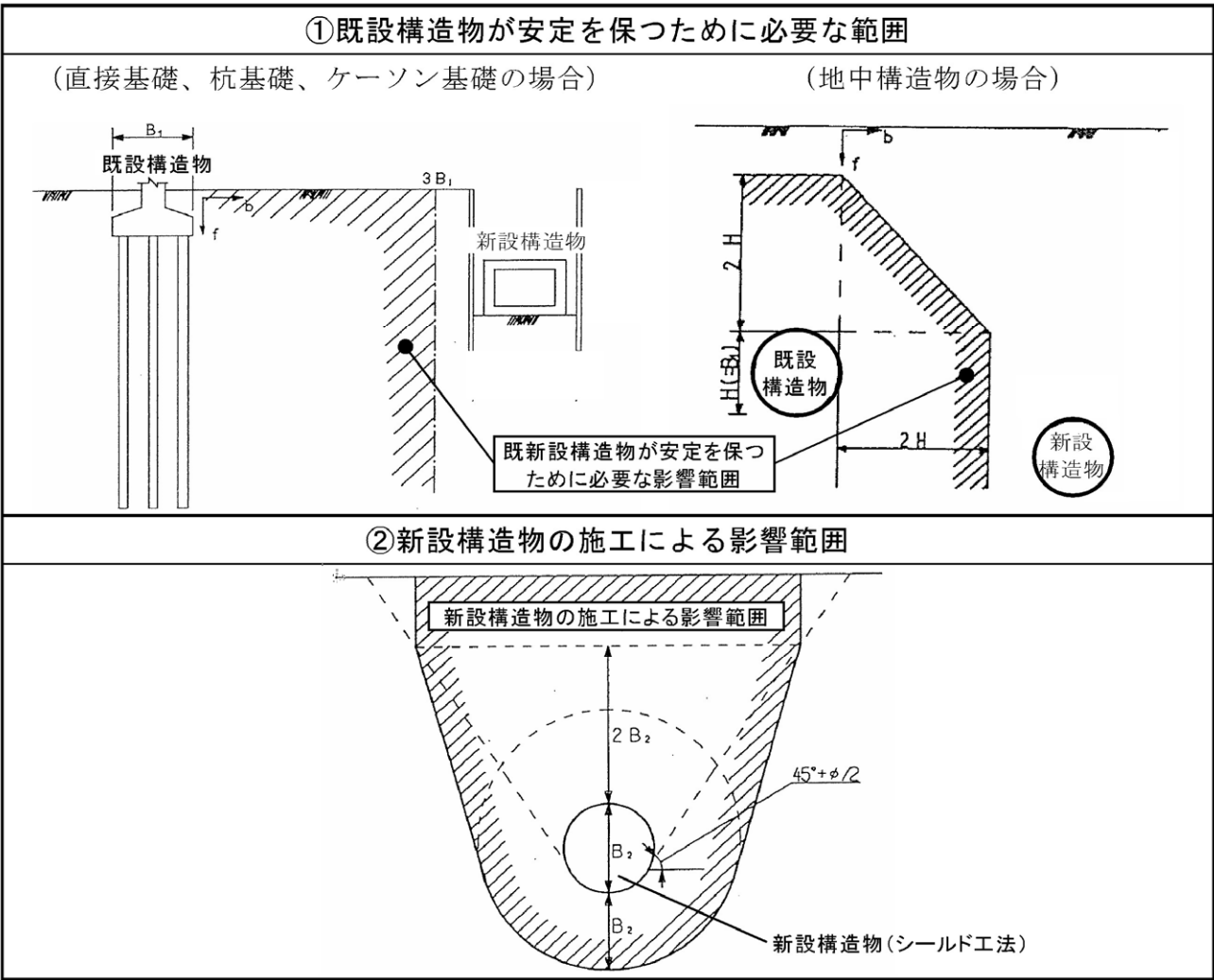
＜既設重要構造物に対する近接施工の影響検討方針＞
（出展：「都市型トンネル施工技術検討会 第4回検討会」）（平成20年12月25日）

3. 2 近接程度の判定

・近接程度の判定は、「地中構造物の建設に伴う近接施工指針（平成11年2月）（社）日本トンネル技術協会」に準拠し、次の2つの判定条件のどちらか一方でも該当した場合は「要検討範囲」にあるものと判定した。

- 判定条件①：既設構造物が安定を保つために必要な範囲に、新設構造物を設置する。
- 判定条件②：新設構造物の施工による影響範囲に、既設構造物が存在する。

▶ 桂台トンネルに近接する要対策工対象構造物は家屋及び地下埋設物となる。



＜既設構造物が安定を保つために必要な範囲及び新設構造物の施工による影響範囲＞
（出展：「都市型トンネル施工技術検討会 第4回検討会」）（平成20年12月25日）

3. 3 許容値の設定

・影響解析にあたっては、許容変位・変形量を設定し、解析結果がこれを超える場合にはこれを満足するよう対策工を検討する。

＜許容変位・変形量の設定値＞

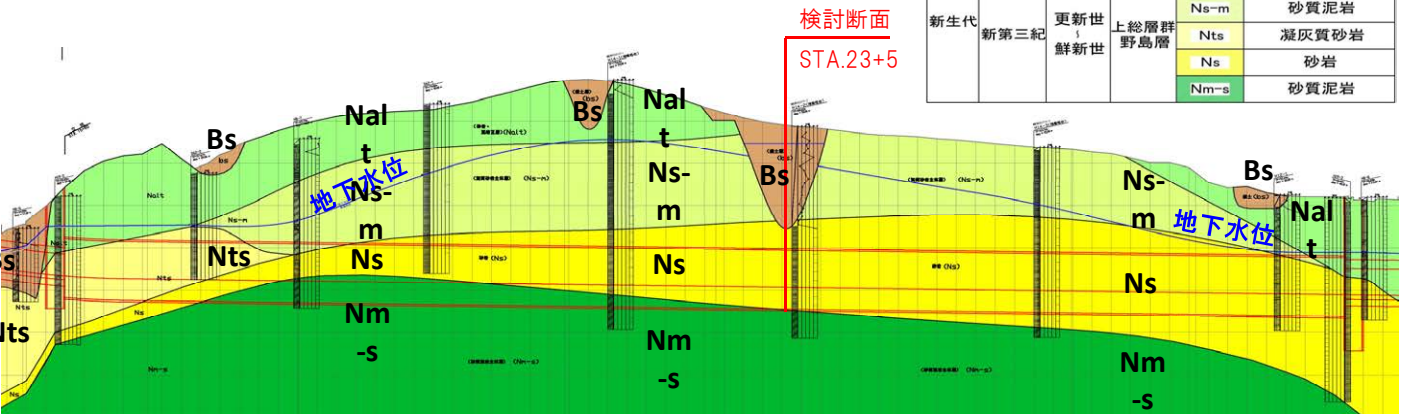
対象物	許容変位・変形量		備考
家屋	・鉛直変位量	25 mm	「第2回都市型トンネル施工技術検討会」(平成20年5月7日)に準拠
	・傾斜角	1/1000 rad	
地下埋設物	・鉛直変位量	25 mm	「地中構造物の建設に伴う近接施工指針(平成11年2月(社)日本トンネル技術協会)」を参照 ※管理値については、埋設企業者と協議決定

3. 既設重要構造物に対する影響

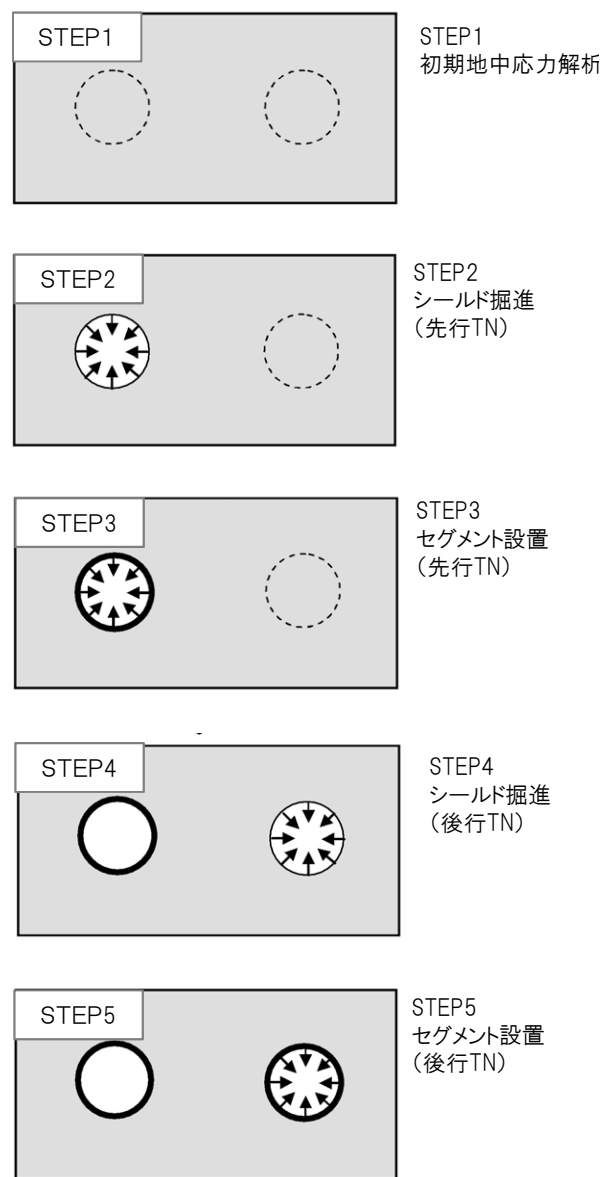
3.4 影響検討の結果

・シールド施工時における地表面への影響について、二次元FEM解析による地盤変状解析を行い検討した。解析の結果、地表面鉛直変位量は許容値以下であり、シールドトンネル施工による影響は微小であると判断される。

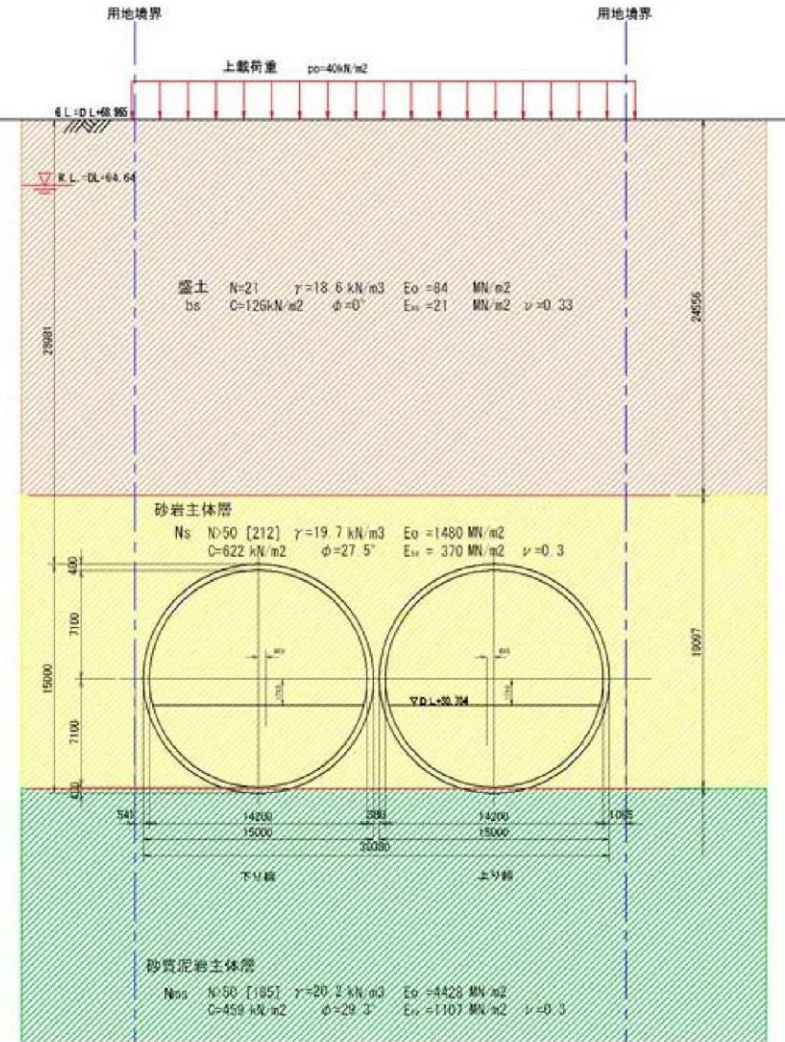
■ 検討位置図



■ 検討ステップ



■ 検討断面



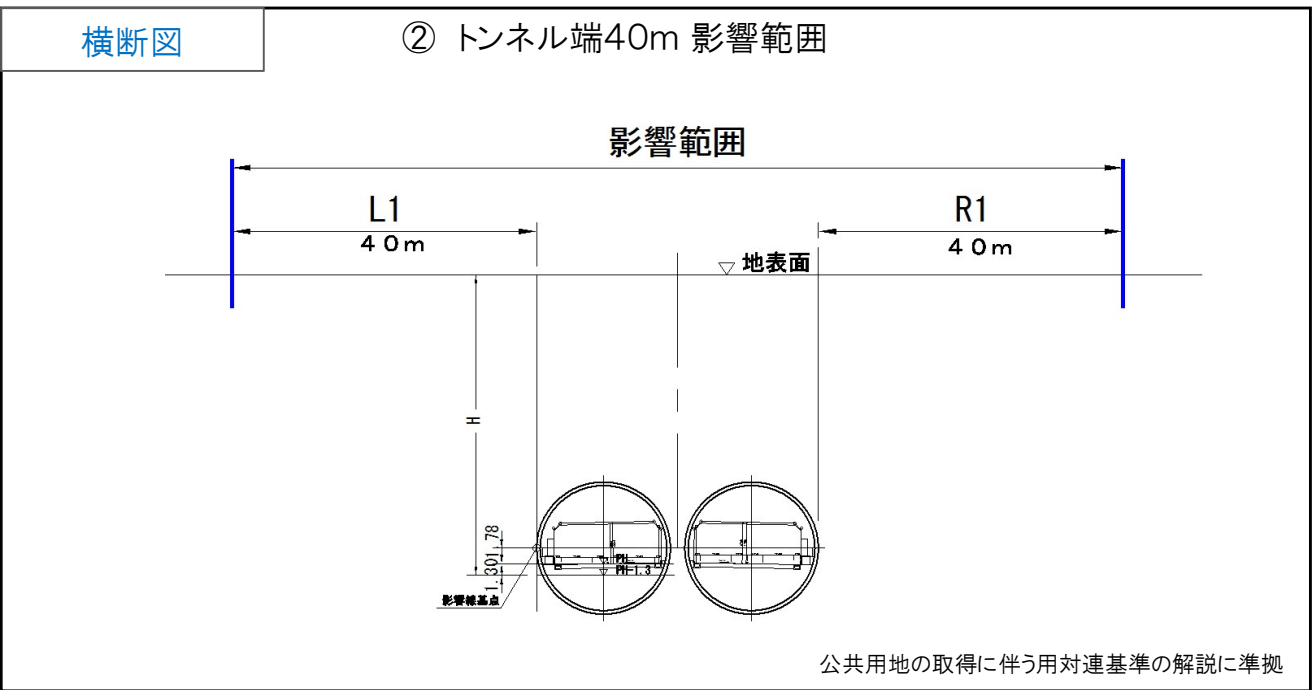
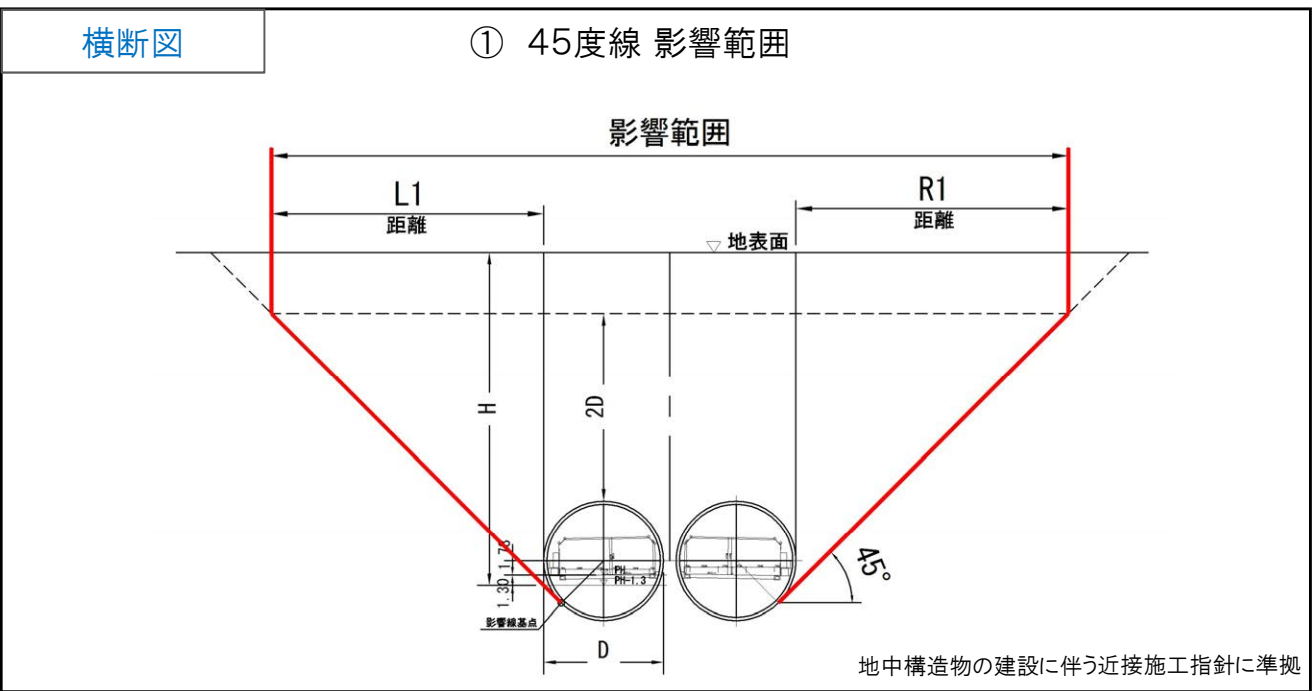
3.5 家屋調査

・シールドトンネル施工による影響は微小であるが、家屋への影響把握のため、家屋調査を実施する。
・家屋調査実施範囲は、「地中構造物の建設に伴う近接施工指針(平成11年2月)(社)日本トンネル技術協会」及び「公共用地の取得に伴う用対連基準の解説(用地補償実務研究会)」をもとに決定した、トンネル掘削に伴う影響範囲とする。

＜影響範囲の考え方＞

・①、②のうち、広い範囲とする。

- ①:トンネル基部付近から45°で立ち上げ、天端からの離隔2D(トンネル外径の2倍)以浅は直上に立ち上げた範囲
- ②:トンネル端から40mの範囲



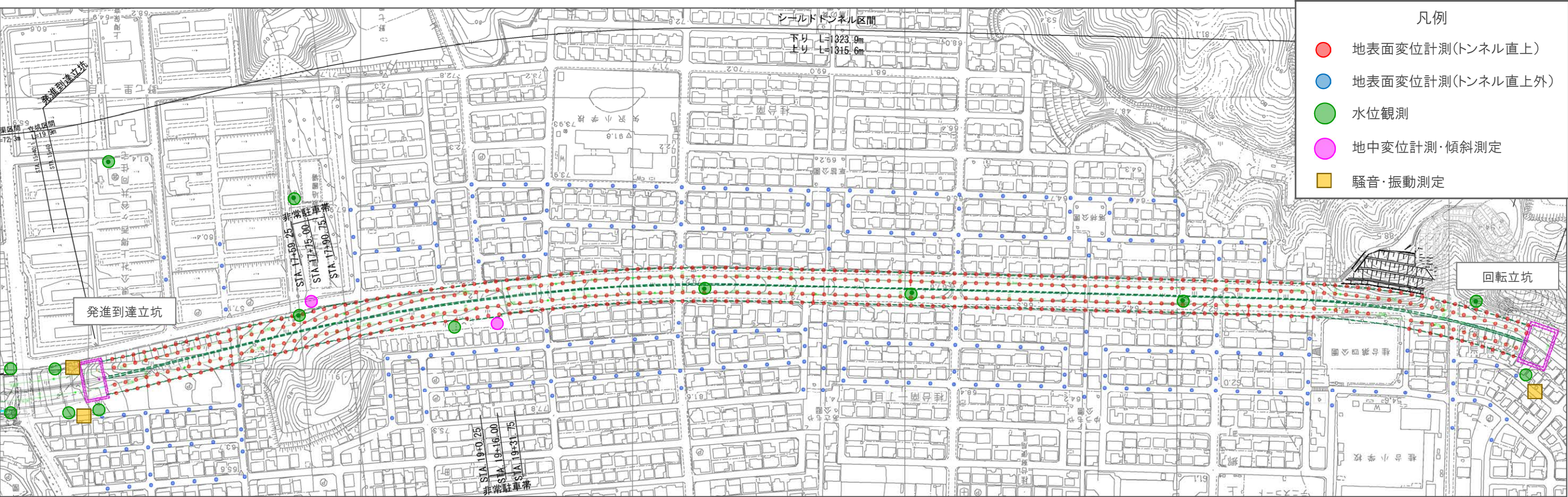
4. 工事中のモニタリング

4.1 工事中のモニタリング実施項目

・「環境影響評価書」の「工事中」における影響を予測・評価すべき環境項目について、モニタリングの実施項目及び計測位置を以下に示す。

＜工事中のモニタリング実施項目＞

項目			調査項目	計測・観測方針	
				計測方法	計測位置
環境影響評価項目	生活環境	大気汚染	・ 工事用車両台数の把握	・ 交通量測定 （専任の運行管理者による測定）	・ 発進到達立坑ヤード
		水質汚濁	・ 濁水処理施設等の排出口での処理水の水質	・ 水質成分分析	・ 排出口付近
		騒音	・ 工事用車両の走行及び建設機械の稼働による騒音レベル	・ 騒音測定	・ 発進到達立坑、回転立坑近傍
		振動	・ 工事用車両の走行及び建設機械の稼働による振動レベル	・ 振動測定	・ 発進到達立坑、回転立坑近傍
		地盤沈下	・ トンネル区間周辺の地下水の水位、地盤変位 ・ 既設重要構造物等への影響確認	・ 地表面変位計測 ・ 水位観測 ・ 家屋調査	・ トンネル区間直上及び周辺 ・ 対象構造物
	自然環境	水象	・ 生活井戸及びトンネル区間周辺における地下水の水位、水質	・ 井戸調査 ・ 水位観測 ・ 水質成分分析	・ トンネル区間直上及び周辺
特殊構造		非常駐車帯	・ 拡幅施工時の地盤変位、地下水の水位	・ 地表面変位計測 ・ 地中変位、傾斜測定 ・ 水位観測	・ 非常駐車帯拡幅部近傍



＜工事中のモニタリング全体平面図＞

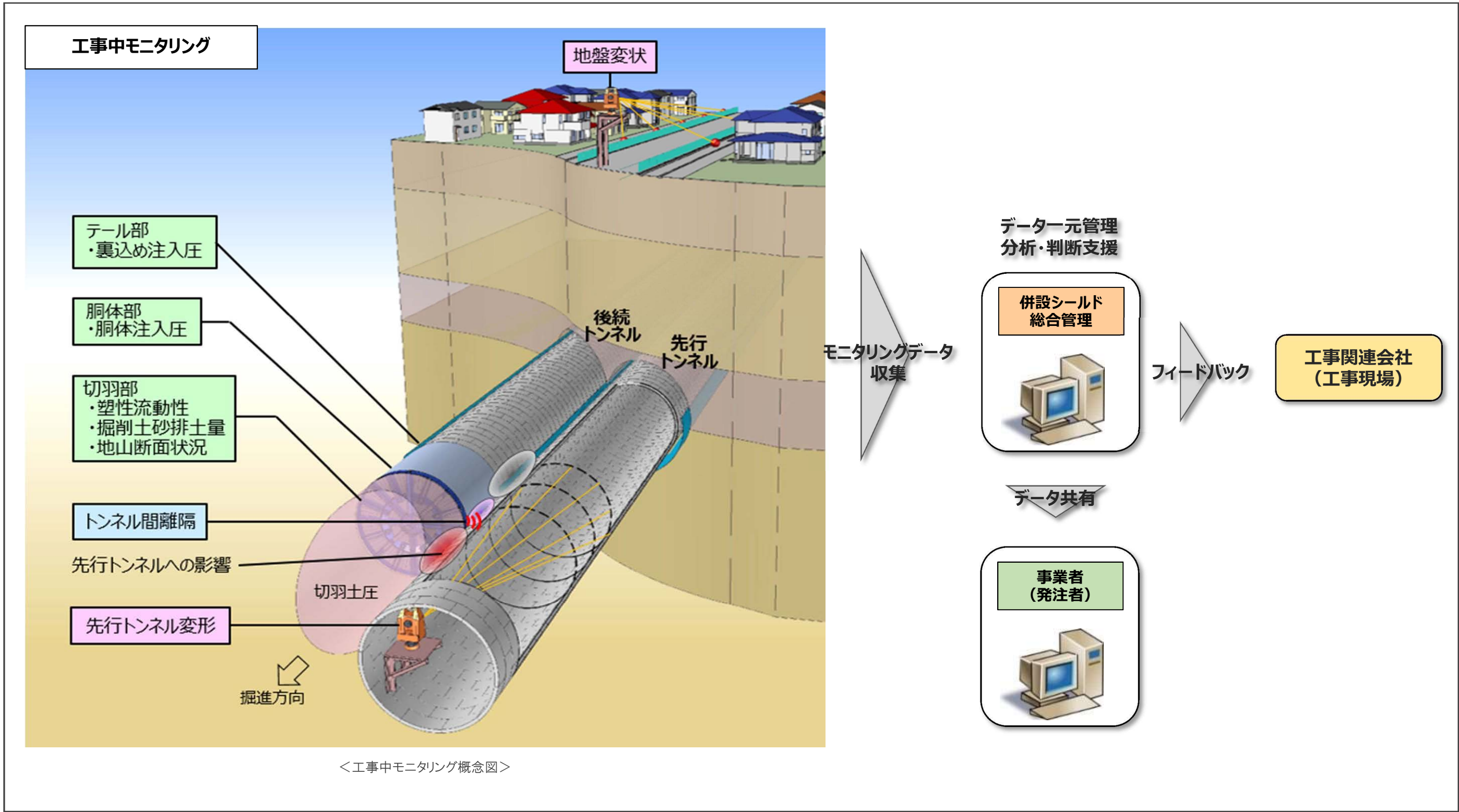
4. 工事中のモニタリング

4.2 計測施工管理システム

■ 計測施工管理システム「併設シールド総合管理システム」概要

- ・工事中モニタリングとして、掘進管理・線形管理等に関するモニタリングをリアルタイムに実施し、モニタリングデータは「併設シールド総合管理システム」により収集・一元管理化する。
- ・収集したデータは、総合管理システムにより統合・分析後、施工へフィードバックを逐次実施する。

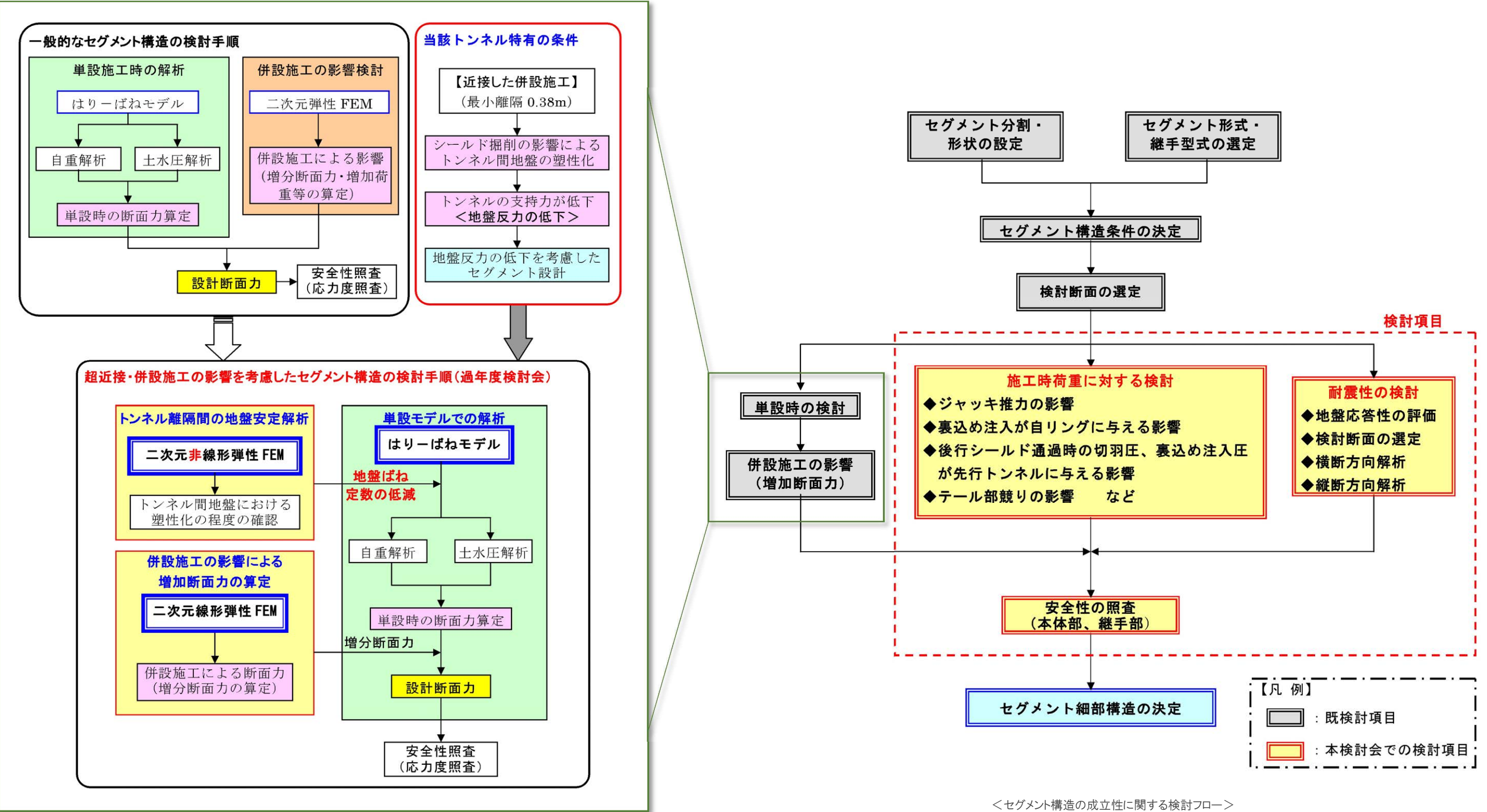
<計測施工管理システム概念図>



5. セグメント細部構造検討

5.1 検討方針

- ・過年度に実施された「都市型トンネル施工技術検討会(平成20年12月)」では、当該トンネル特有の超近接かつ併設施工の条件を考慮したセグメント構造の成立性を評価した。
- ・しかしながら、シールドトンネルの施工中には、切羽圧、裏込め注入圧などの施工時荷重が一時的ながらセグメントリングに作用するため、これらの影響に対して構造上において安全性を確保できるセグメントの構造とすることが必要であり、施工時荷重に対する検討を実施した。
- ・その結果、施工時荷重に対してセグメントの安全性を確保できる結果となった。



＜近接・併設施工の影響を考慮したセグメント構造の成立性に関する検討フロー＞
(出展:「都市型トンネル施工技術検討会」)

＜セグメント構造の成立性に関する検討フロー＞
(出典:「シールドトンネル施工技術検討会」)

5. セグメント細部構造検討

5.2 施工時荷重の選定

(1) 施工時荷重の選定

・セグメントリングへの影響が大きいと考えられる施工時荷重を以下に選定した。

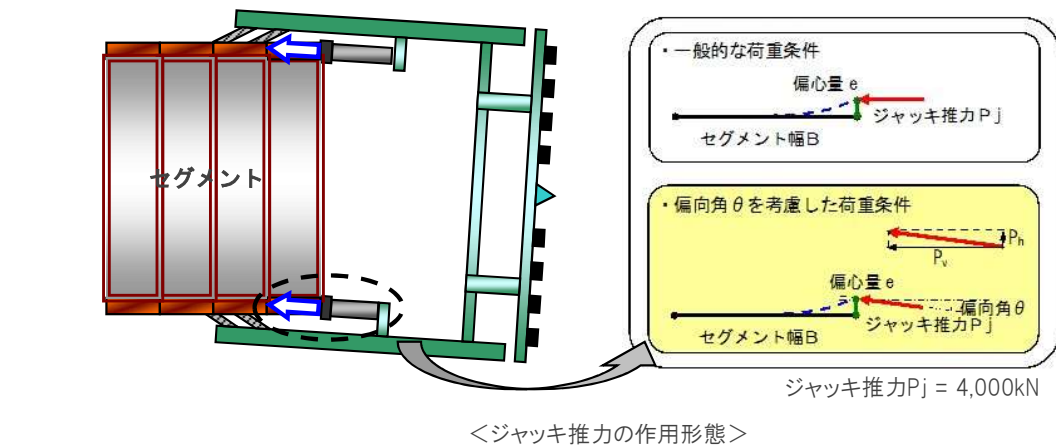
対象構造物	荷重種別	荷重内容	モデル
先行トンネル及び後行トンネル	自らのセグメントリングに作用する施工時荷重の影響	シールドジャッキ推力に対する影響	縦断方向
		裏込め注入に対する影響	横断方向
先行トンネル	後行シールドの施工時荷重が先行トンネルに与える影響	裏込め注入および切羽圧に対する影響	横断方向
		裏込め注入および切羽圧に対する影響	縦断方向

5.3 ジャッキ推力に対する検討＜自セグメントへの影響＞

(1) セグメントに作用するジャッキ推力の形態

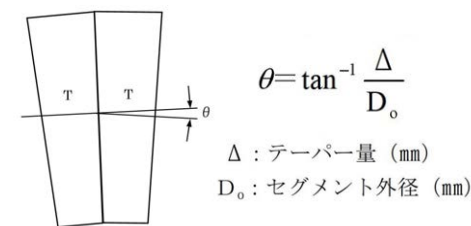
- ・曲線施工またはシールドの蛇行修正等に伴い、シールドジャッキとセグメントには偏向角 θ が発生し、これに相当する曲げモーメントがセグメントの幅方向に作用するものと想定する。
- ・偏向角 θ については、次のケースを想定し設定する。

- ① 曲線施工区間において、計画線形に応じて次の1リング分の掘進が完了した段階
- ② シールドの蛇行または蛇行修正

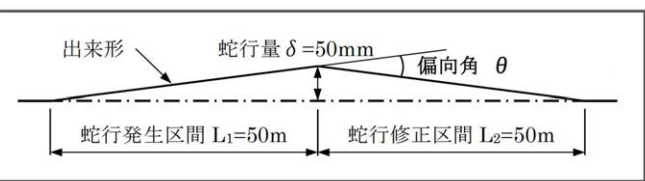


(2) 偏向角の設定

① 曲線施工区間における偏向角



② シールドの蛇行修正における偏向角



(3) 検討結果

・応力度はセグメント許容応力度を満足し、ジャッキ推力に対する合成セグメントの安全性は確保される結果となった。

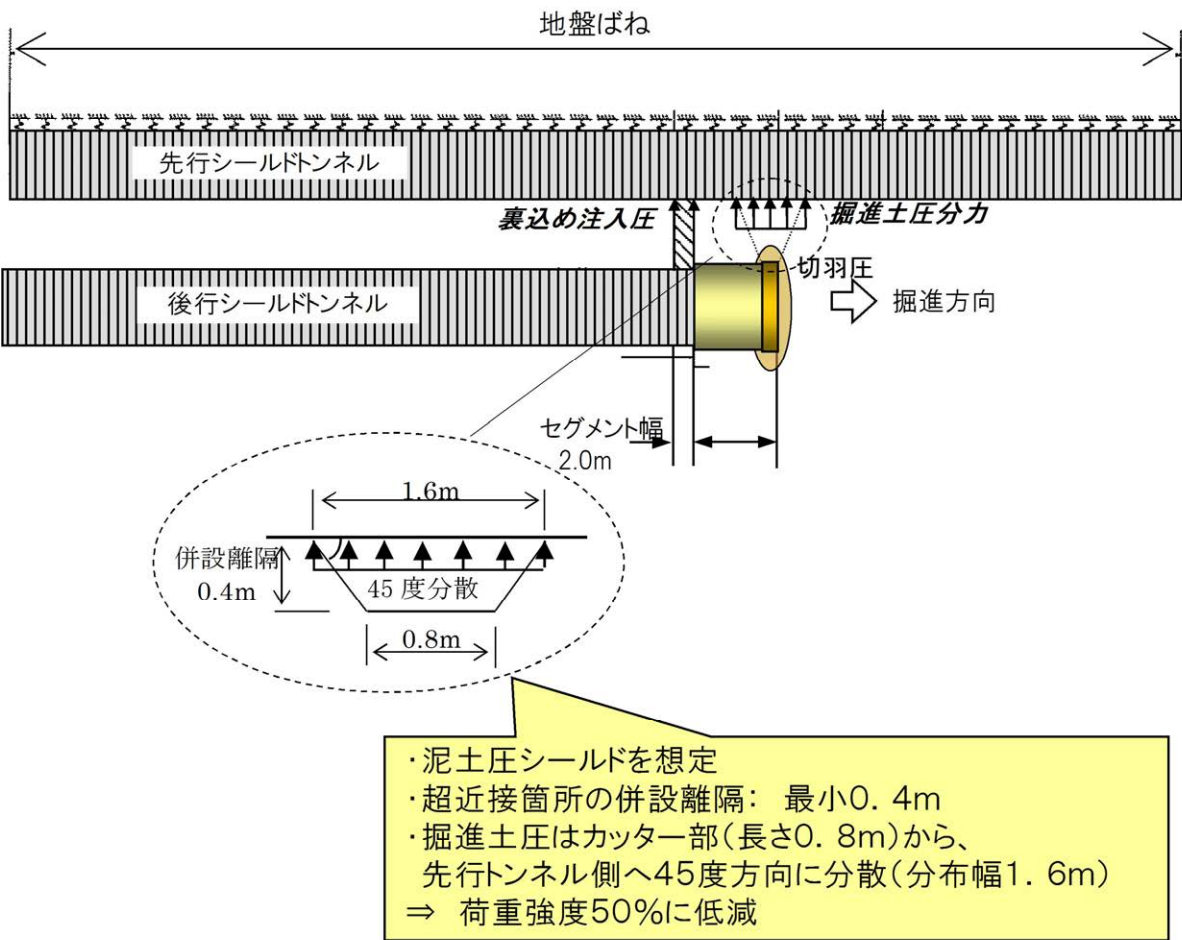
5.4 縦断方向における荷重に対する検討＜先行トンネルへの影響＞

(1) 検討内容

・後行シールドの施工時荷重が先行トンネルに与える影響として横断方向で検討を行った後行シールドの裏込め注入圧及び切羽圧(掘進土圧)について、トンネル縦断方向モデルを用いて検討する。

(2) 検討モデル

- ・先行トンネルの梁部材、トンネル周辺の地盤反力を分布ばねとする弾性床上の梁モデル
- ・裏込め注入圧は、シールド機の背面からセグメント幅(2.0m)に作用するものとする
- ・先行トンネルに作用する掘進土圧は、横断方向の検討時と同様に超近接した併設離隔(最小0.4m)を考慮した荷重分散により、分布幅1.6mに掘進土圧の50%の荷重強度で作用するものとする
- ・後行トンネルの掘進土圧は、切羽水圧のみのケースより影響荷重が大きくなる切羽土圧+水圧を対象



＜後行シールドの裏込め注入圧/掘進土圧に対する縦断方向の影響検討モデル＞

(3) 照査項目

・トンネルの縦断方向に対する検討では、本体部よりもリング継手部に負荷がかかることから、本検討ではリング継手部を対象に照査を実施した。

(4) 検討結果

・リング継手の引張応力度は許容応力度を満足しており、縦断方向における施工時荷重に対する合成セグメントの安全性は確保される結果となった。

5. セグメント細部構造検討

5.5 横断方向における荷重に対する検討

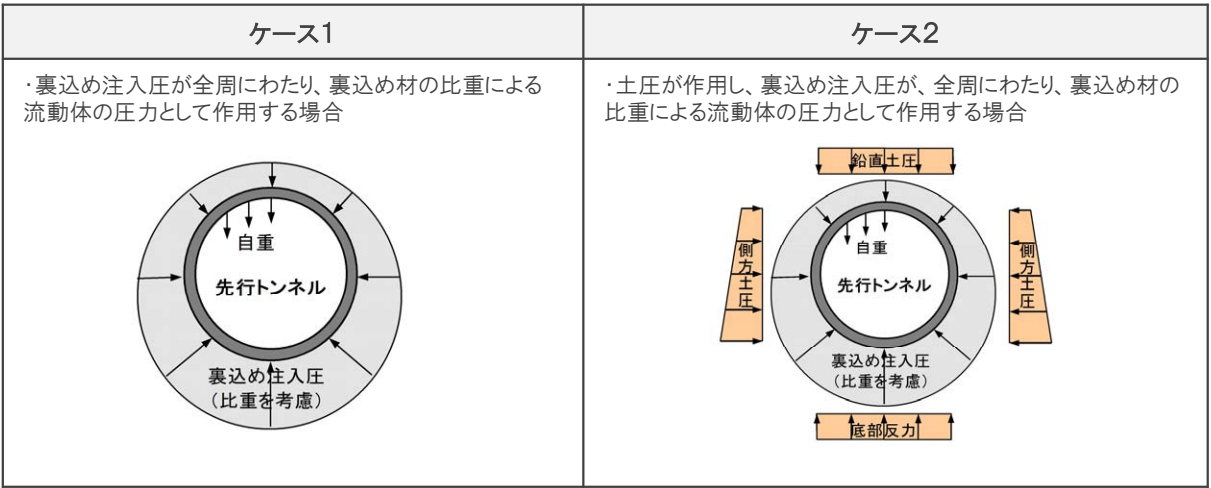
■ 裏込め注入圧に対する検討＜自セグメントへの影響＞

(1) 自セグメントリングに作用する裏込め注入圧の形態

・裏込め注入圧の形態は、テールボイド全体に裏込め材が充填されたセグメントリングに全周にわたって裏込め材の比重(1.2~1.3)による流動体の圧力が作用するものを想定する。

(2) 荷重の組合せ

・裏込め注入圧と同時に、自らのセグメントリングに作用すると想定される荷重の組合せのうち、実施工で発生しない荷重ケースを除き検討を実施する。



■ 裏込め注入圧及び切羽圧に対する検討＜先行トンネルへの影響＞

(1) 後行トンネルが先行トンネルに及ぼす施工時荷重

・後行シールド施工時に先行トンネルのセグメントリングに作用する施工時荷重は以下とする。

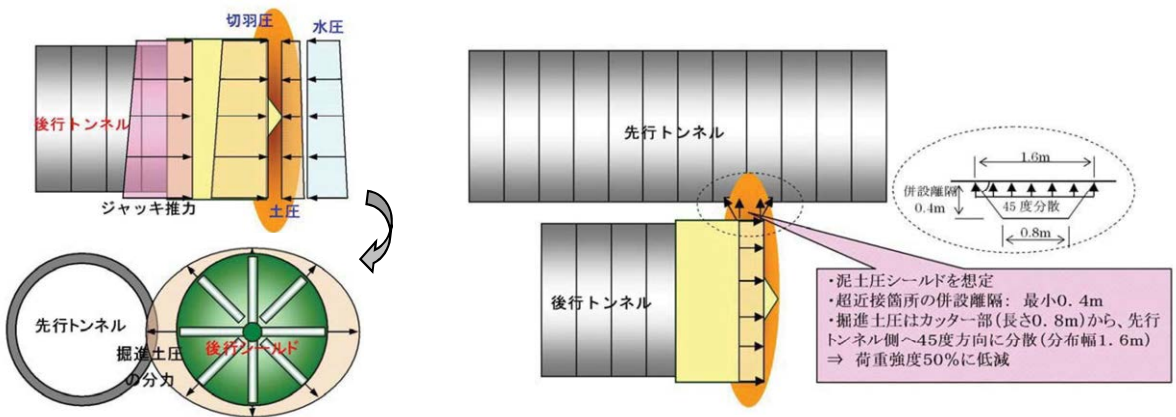
- A：裏込め注入圧（後行シールドの施工時に作用する荷重）
- B：掘進土圧（後行シールドの切羽圧（切羽圧=掘進土圧））

(2) 先行トンネルに伝達される後行シールドの掘進土圧による施工時荷重

・掘進土圧は「主動土圧+水圧」より大きく、「受働土圧+水圧」より小さい値で管理され、自立性地山では「水圧+20~50kN/m²」程度であるため、「水圧+50kN/m²」に設定。

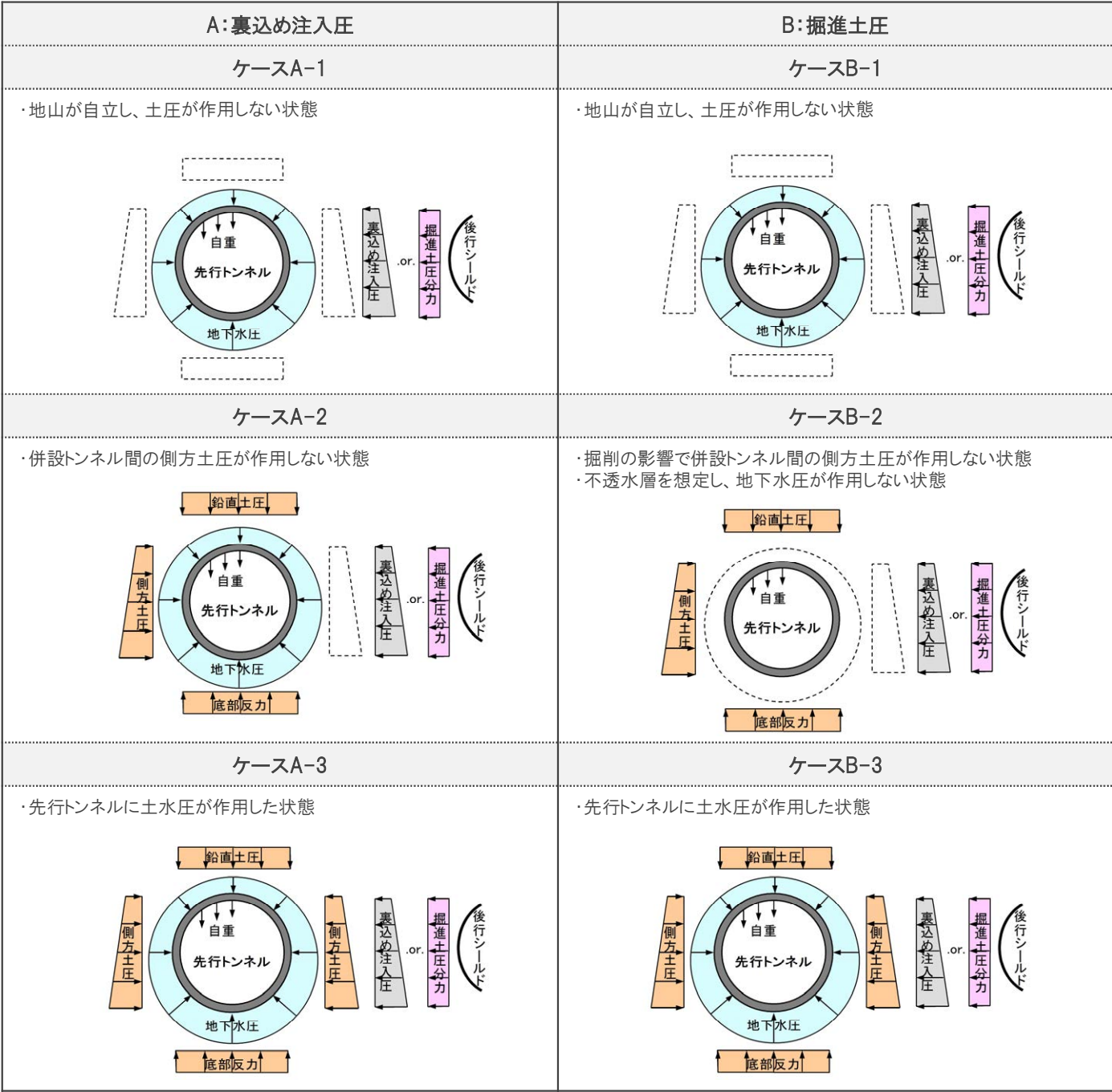
・掘進時の切羽には、「水圧」のみ働くケースと「土圧+水圧」が生じるケースとする。

・先行トンネルへの掘進土圧の分力としての伝達荷重は、超近接した併設離隔を考慮した荷重分散により、「掘進土圧の50%」と仮定。



(3) 荷重の組合せ

・発生し得る荷重の組合せケースを、裏込め注入圧・掘進土圧毎に整理し、実施工時において発生しないケースを除き検討を実施する。



■ 横断方向における荷重に対する検討結果

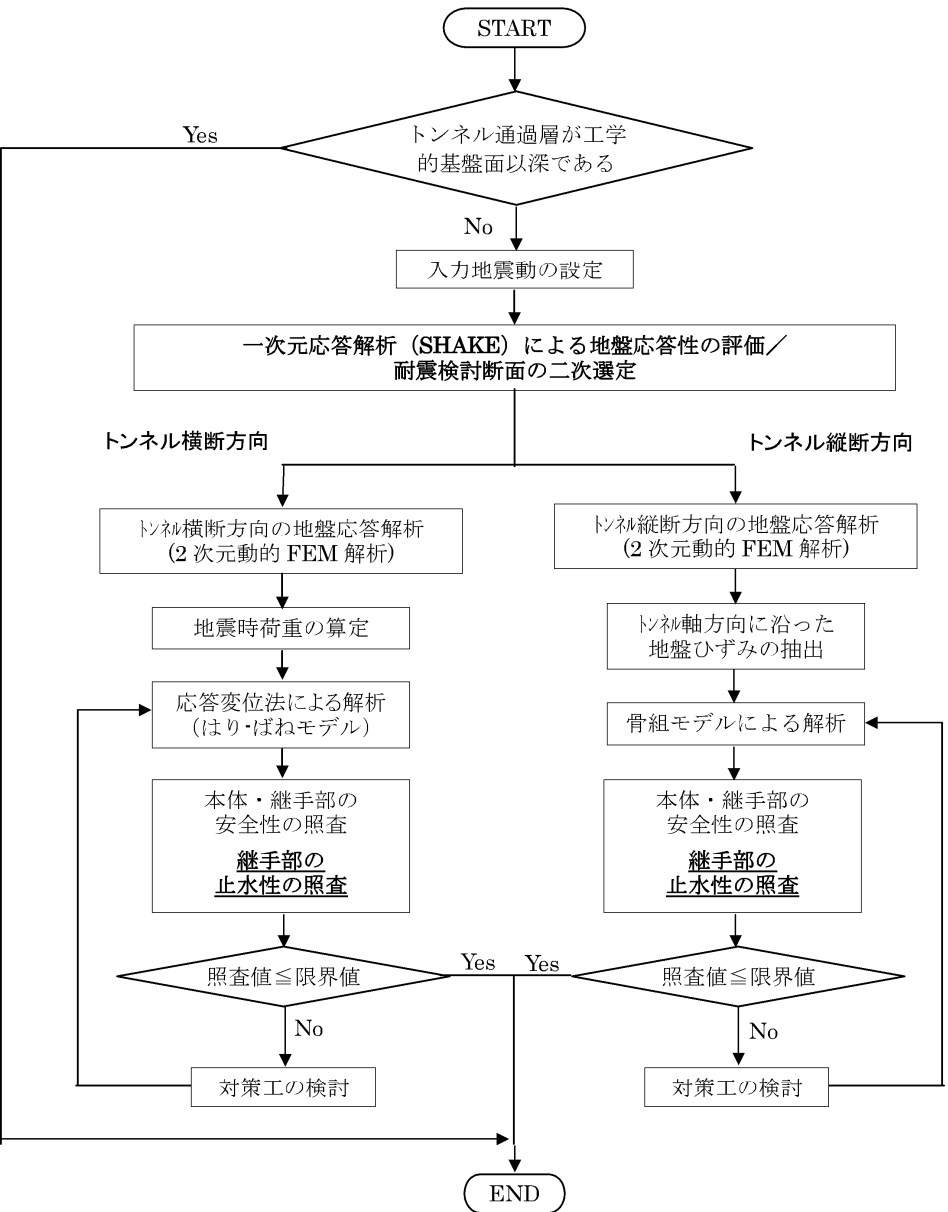
・応力度はすべてのケースにおいて、セグメント許容応力度を満足しており、横断方向における施工時荷重に対する合成セグメントの安全性は確保される結果となった。

6. 耐震性の検討

6.1 耐震性の検討

(1) 本耐震検討の必要性

- ・当該地域は、三浦半島断層群や伊勢原断層帯を震源とするM7以上の直下型地震ならびにプレート境界型地震の発生が予想される地域であるため、「第4回都市型トンネル施工技術検討会」にて「周辺環境に対して適切な配慮が必要」との観点から、シールドトンネルの耐震性について検討することが設計上の課題とされた。
- ・桂台トンネルはトンネル通過層が工学的基盤面以深であるため、耐震検討は不要であると考えられるが、耐震性を評価し、必要に応じて、対策工の検討を実施することとする。

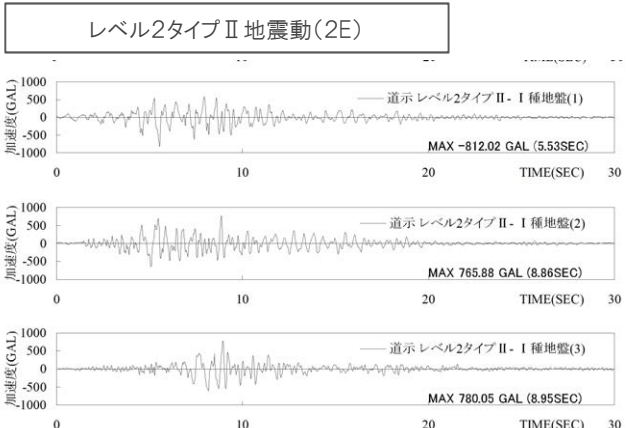
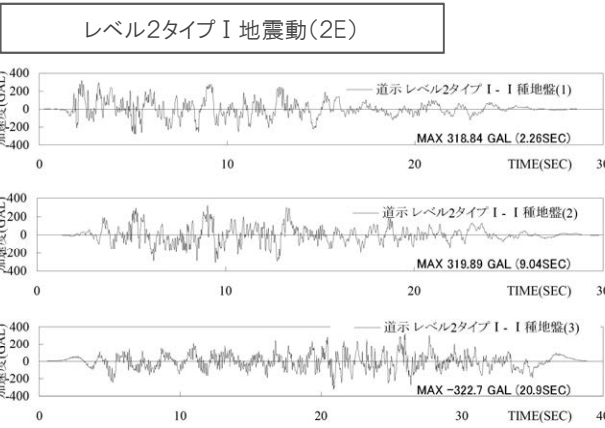
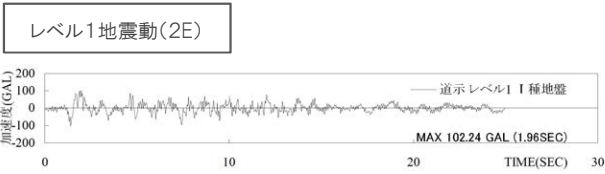


＜検討フロー＞

(出典:シールドトンネル施工技術検討会)

(2) 耐震検討で考慮する地震動

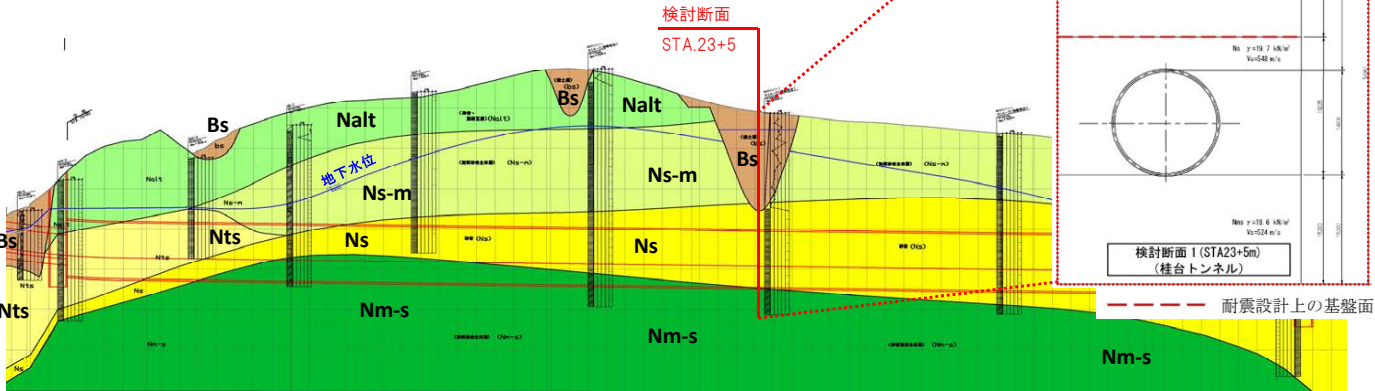
- ① 供用期間中に発生する確率の高い地震動(レベル1地震動)
 - ② 供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度を持つ地震動(レベル2地震動)
- ・タイプⅠの地震動: プレート境界型の大規模な地震動(3種類)
 - ・タイプⅡの地震動: 内陸直下型地震による地震動(3種類)



＜入力地震動波形＞

(3) 検討断面

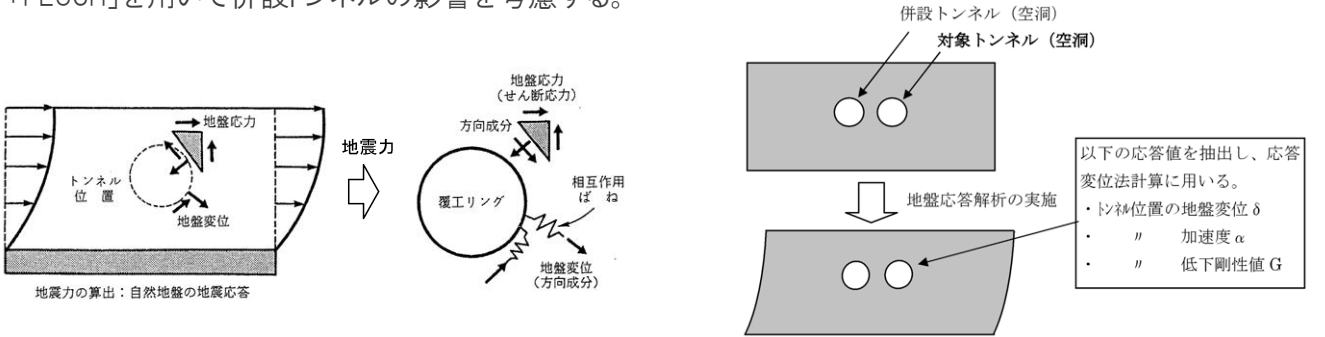
- ・検討断面として、上部に盛土層が厚く存在しており、周辺地盤に比べて表層地盤全体の地震動の増幅が大きくなる可能性がある断面とする。



＜検討断面＞

(4) 検討手法

- ・トンネルの横断方向の耐震検討は、シールドトンネルの標準的な耐震検討手法である応答変位法とする。応答変位法の解析では、継手の特性が解析結果に反映されるように、セグメントをはり、継手をばねでモデル化したはり・ばねモデルによってモデル化する。また、等価線形化法を用いた2次元地盤応答解析プログラム「FLUSH」を用いて併設トンネルの影響を考慮する。



＜応答変位法による作用荷重の概念図＞

＜併設トンネルの影響を考慮した地盤応答解析＞

(5) 地震応答性の評価

- ・トンネル上下端深度の地盤歪み(相対変位/トンネル高さ)は0.01～0.07%であり、極めて小さい
- ・地震時の地盤変位がトンネルへ及ぼす影響は極めて小さく、耐震検討は不要と考えられる。

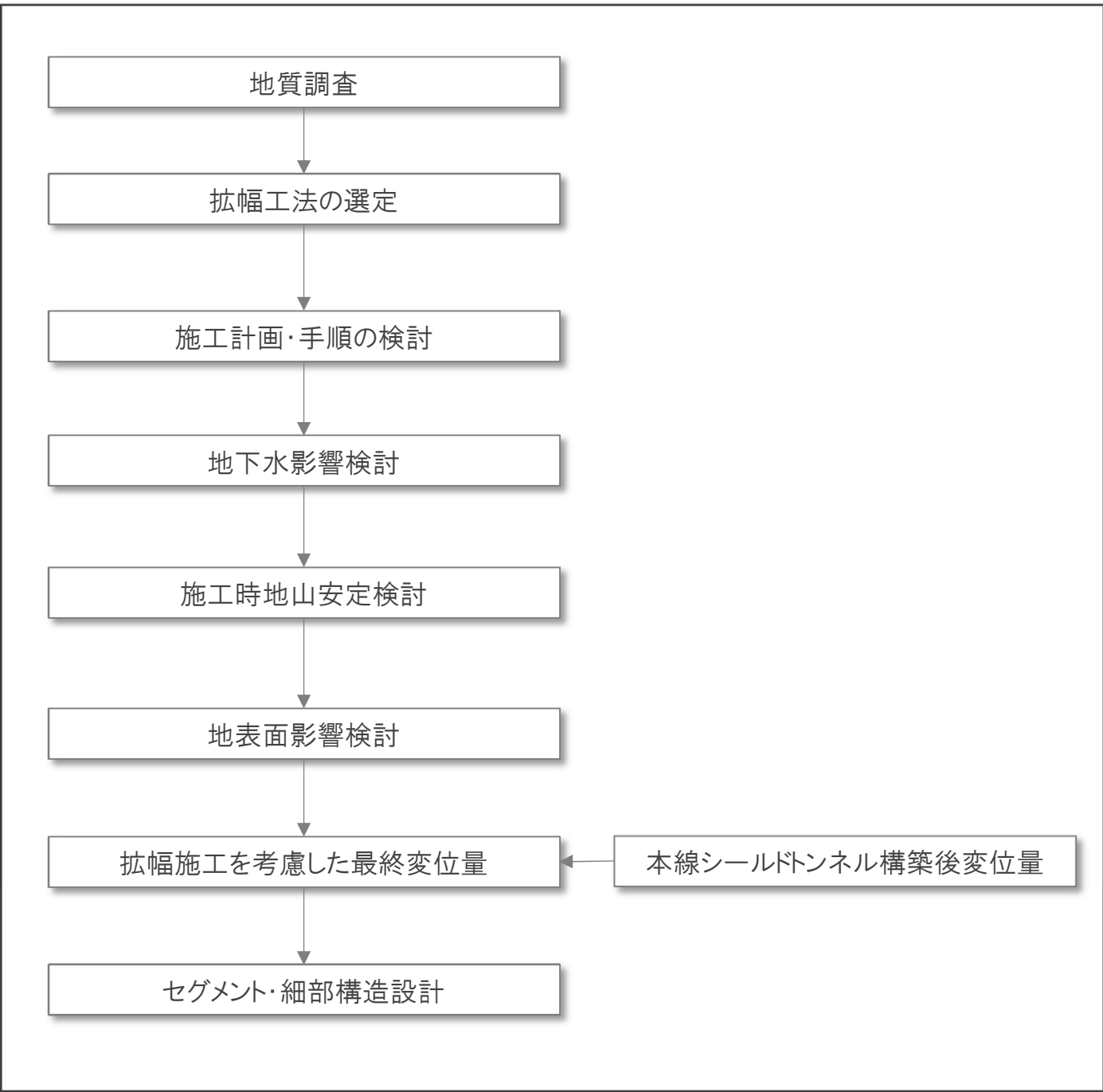
7. 特殊構造物とその施工に伴う周辺への影響抑制

7.1 非常駐車帯拡幅部における検討フロー

(1) 検討フロー

- ・非常駐車帯の施工は本線シールドトンネルの構築後に拡幅施工を行うなどして対処する必要がある。この拡幅施工に伴う影響は本線シールド施工による影響に付加されるため、非常駐車帯周辺地域では地盤へ与える影響が大きくなると考えられる。
- ・非常駐車帯の拡幅施工法を選定するにあたっては、拡幅に伴う周辺への影響を考慮した代表的な施工法を選定し、施工中ならびに完成後における非常駐車帯部構造を考慮したFEM解析を実施し、周辺への影響を把握するとともに必要に応じて適切な対策工の検討を実施する。

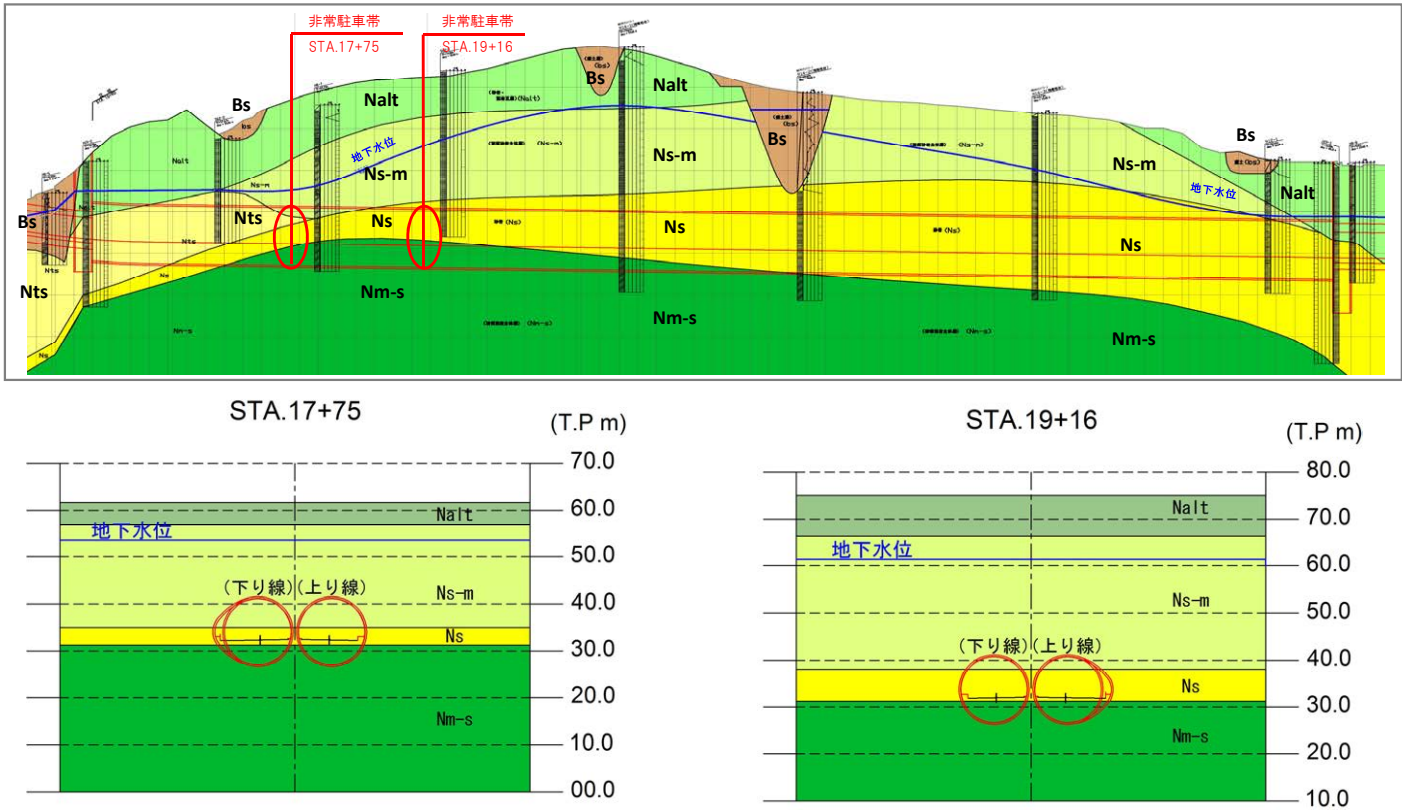
＜非常駐車帯の拡幅施工における検討フロー＞



7.2 非常駐車帯拡幅部の地質概要

(1) 地質概要

- ・当該地の基盤層は、鮮新世～前期後新世の上総層群であり、横浜市の南部に広く分布する「野島層」に属する。
- ・野島層の岩相は、スコリアや軽石を多く含む凝灰質砂岩(Nts)及び泥質砂岩(Ns-m)、砂岩(Ns)、砂質泥岩(Nm-s)などで構成される。



STA17+75

番号	地質記号	地質	透水係数 _(m/s)	帯水層	被圧地下水
①	Nalt	野島層 砂岩・泥質砂層	1.9×10 ⁻⁵	非帯水層	なし
②	Ns-m	野島層 砂質泥岩	1.9×10 ⁻⁷	帯水層	自由水面
③	Ns	野島層 砂岩	1.9×10 ⁻⁶	帯水層	なし
④	Nm-s	野島層 砂質泥岩	5.53×10 ⁻⁶	帯水層	なし

STA19+16

番号	地質記号	地質	透水係数 _(m/s)	帯水層	被圧地下水
①	Nalt	野島層 砂岩・泥質砂層	1.9×10 ⁻⁵	非帯水層	なし
②	Ns-m	野島層 砂質泥岩	4.31×10 ⁻⁶	帯水層	自由水面
③	Ns	野島層 砂岩	7.16×10 ⁻⁶	帯水層	なし
④	Nm-s	野島層 砂質泥岩	5.53×10 ⁻⁶	帯水層	なし

7. 特殊構造物とその施工に伴う周辺への影響抑制

7.3 非常駐車帯拡幅工法の選定

(1) 非常駐車帯拡幅工法の選定

・非常駐車帯の拡幅工法として、非開削拡幅工と開削拡幅工法にて比較し、周辺地盤への影響が最も小さい、NATMによる非開削拡幅工法のプレキャストセグメント覆工工法を採用

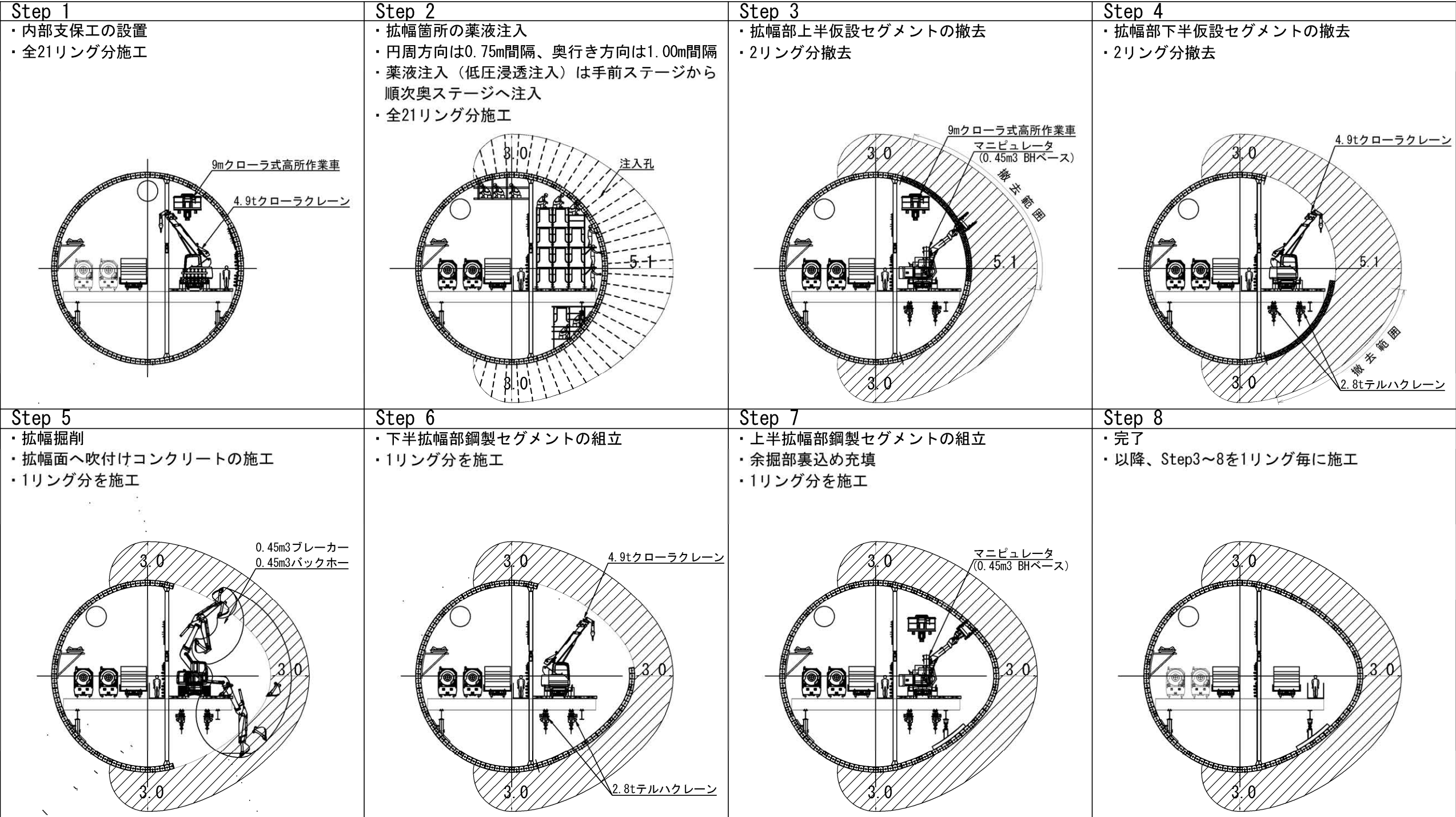
<非常駐車帯拡幅工法比較表>

項 目	NATMによる非開削拡幅工法			曲線パイプルーフによる 非開削拡幅工法	立坑を利用した開削拡幅工法
	現場打ちRC部分覆工工法	プレキャストセグメント覆工工法+薬液注入工	プレキャストセグメント覆工工法+凍結工法		
概要図					
施工概要	・ 非常駐車帯設置側のみを切り抜け、現場打ちRC構造として部分的に覆工を構築する案。 ・ 施工時の止水性を確保するため、トンネルの外周部に薬液注入を行う。 ・ 拡幅掘削後、拡幅箇所防水シートを施工し、覆工コンクリートを打設する。	・ 非常駐車帯設置部のみ切り抜け、プレキャストセグメントを利用して部分的に覆工を構築する案。 ・ 施工時の止水性を確保するため、トンネルの外周部に薬液注入を行う。 ・ 既設セグメントと拡幅セグメントとの接続部の止水性は、シール材や止水材の注入により確保する。	・ 非常駐車帯設置部のみ切り抜け、プレキャストセグメントを利用して部分的に覆工を構築する案。 ・ 凍結により確実な止水性を確保し、造成した凍土壁により地山の安定を行う。 ・ 凍結管を埋設し、凍土壁を造成し、凍結管を盛り替えながら、掘削・セグメント設置を繰り返し施工する。	・ 円弧状パイプルーフを用いて支保工を施工し、現場打ちのRC構造により部分的に覆工を構築する案。 ・ 施工時の止水性を確保するため、凍結工法を併用する。	・ 地上から拡幅範囲を囲うように土留め壁を設置し、本線シールド通過後に立坑の掘削を行い、セグメント補強後に拡幅部セグメントの撤去、拡幅覆工の構築を行う。 ・ セグメントと立坑土留め間の止水を行うために、接続部に薬液注入を行う。
施工性	○ 拡幅部にあたるセグメントのみ撤去。本線シールドとの平行作業は、坑内に防護壁等を設置できれば可能。 ○ 拡幅施工に要する工期は、プレキャストセグメント覆工工法に比べ長い。 ▲ 止水性の確保や、施工時の仮設方法等の詳細な検討を行う必要がある。	○ 拡幅部にあたるセグメントのみ撤去。本線シールドとの並行作業は、坑内に防護壁等を設置できれば可能。 ◎ 拡幅施工に要する工期は非開削拡幅工法案の中で最も短い。 ▲ 止水性の確保やセグメントの組立方法、施工時の仮設方法等については詳細な検討を行う必要がある。	○ 拡幅部にあたるセグメントのみ撤去。本線シールドとの並行作業は、坑内に防護壁等を設置できれば可能。 ◎ 拡幅施工に要する工期は非開削拡幅工法案の中で最も短い。 ▲ 凍結工に要する工期は非常に長い。 ▲ セグメントの組立方法、施工時の仮設方法等については詳細な検討を行う必要がある。	○ 拡幅部にあたるセグメントのみ撤去。本線シールドとの並行作業は、坑内に防護壁等を設置できれば可能。 ○ 拡幅施工に要する工期は、現場打ちRC部分覆工工法に比べても短い。 ▲ 硬質地盤に対して、曲線パイプルーフを施工することが困難(曲線とならず、坑内に戻ってこない可能性が非常に高い)	○ 拡幅部にあたるセグメントのみ撤去。本線シールドとの並行作業は、坑内に防護壁等を設置できれば可能である。 ▲ 埋設物や道路の切回しが必要であり、地上条件によっては段階施工をとるため工期は長い。 ▲ 地上もしくは路下に作業ヤードが必要である。
周辺環境への影響	○ 地上作業が発生しないため、交通流、地下埋設物等への影響は小さい。 ▲ プレキャストセグメント覆工工法に比べて拡幅範囲が大きい。	○ 地上作業が発生しないため、交通流、地下埋設物等への影響は小さい。 ○ 掘削範囲は非開削拡幅工法案の中で最も小さく、周辺地盤への影響は最も小さい。	○ 地上作業が発生しないため、交通流、地下埋設物等への影響は小さい。 ○ 掘削範囲は非開削拡幅工法案の中で最も小さく、周辺地盤への影響は最も小さい。 ◎ 止水性は他案の中で最も確実に確保できる。 ▲ 凍結による凍上により、地表面に隆起が生じる可能性が高い	○ 地上作業が発生しないため、交通流、地下埋設物等への影響は小さい。 ▲ プレキャストセグメント覆工工法に比べて拡幅範囲が大きい。	▲ 埋設物や道路の切回しが必要であり、地上を占有しての施工となるため、騒音・振動、交通流への影響が最も大きい。 ▲ 土留めの変形にともない、大規模・広範囲にわたる地盤沈下が懸念される。 ▲ 掘削中における本線トンネルの安定性について詳細な検討を行う必要がある。
適用性評価	▲ 砂岩・泥岩等が厚く存在するが、他工法に比べ拡幅範囲が大きく、又、施工に要する工期も長いことから、周辺地盤への影響に課題があり、適用性は低い。	○ 砂岩・泥岩等が厚く存在し、他工法に比べ掘削範囲が最も小さく、又、施工に要する工期も短いことから周辺地盤への影響が最も小さく、適用性は高い。	▲ 砂岩・泥岩等が厚く存在し、他工法に比べ掘削範囲が最も小さく、又、掘削施工に要する工期も短いことから周辺地盤への影響が最も小さいが、凍上による地表面への影響がある適用性は低い。	▲ 硬質地盤に対して工法適用が困難。砂岩・泥岩等が厚く存在するが、他工法に比べ拡幅範囲が大きく、又、施工に要する工期も長いことから、周辺地盤への影響に課題があり、適用性は低い。	▲ 地上での作業は不可。砂岩・泥岩等が厚く存在するが、地上からの掘削による大規模な地盤沈下の懸念がある、又、地上からの作業のため、工期も長く、騒音・振動等の周辺環境への影響に課題があり、適用性は低い。

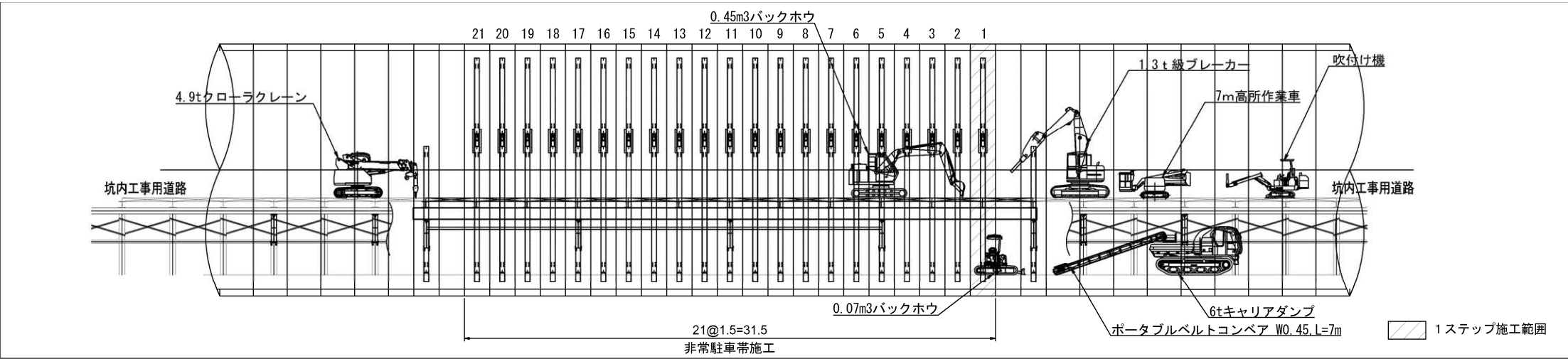
7. 特殊構造物とその施工に伴う周辺への影響抑制

7.4 施工計画・手順

横断図



縦断図



7. 特殊構造物とその施工に伴う周辺への影響抑制

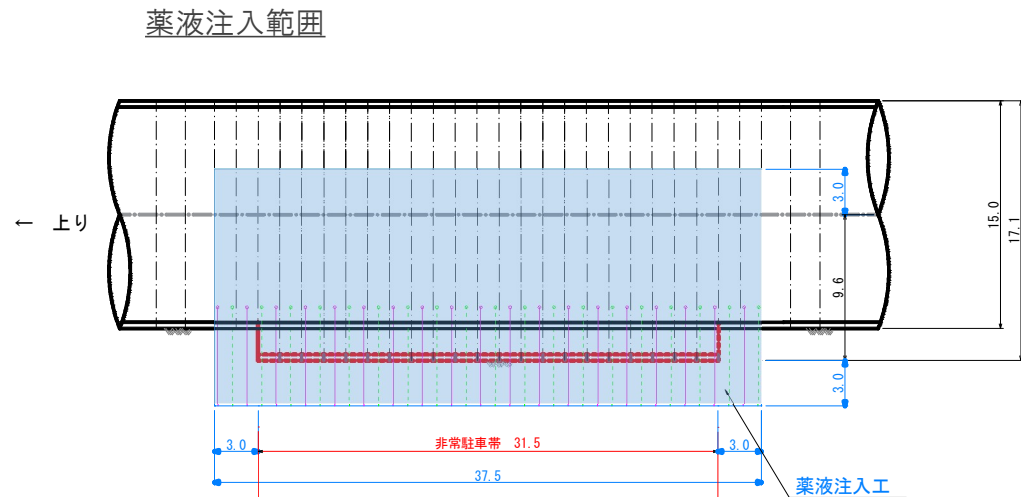
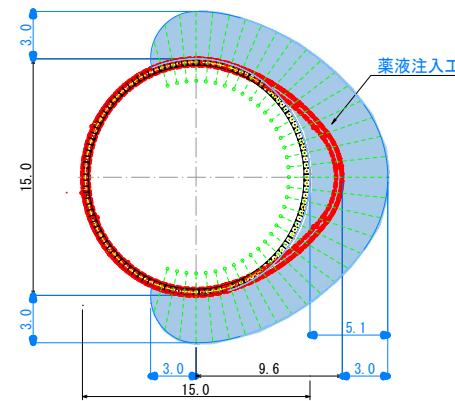
7.5 地下水影響検討

- ・ 拡幅施工ステップを考慮した三次元浸透流解析により、施工に伴う出水量・地下水低下量の算定、及び地盤沈下量の算定を実施。
- ・ 施工ステップ毎の地盤沈下量は許容値を満足する結果となった。

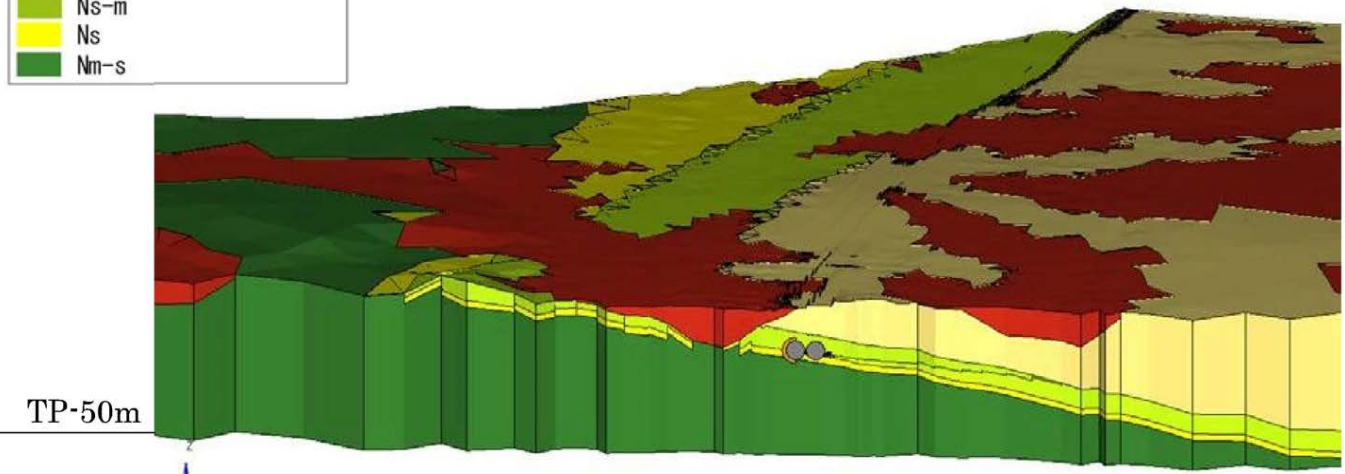
■ 解析条件

- ・ 解析手法：三次元浸透流解析(非定常解析)
- ・ 薬液注入範囲：拡幅部周囲3.0m
- ・ 薬液注入範囲透水係数： 1.0×10^{-7} (m/s)

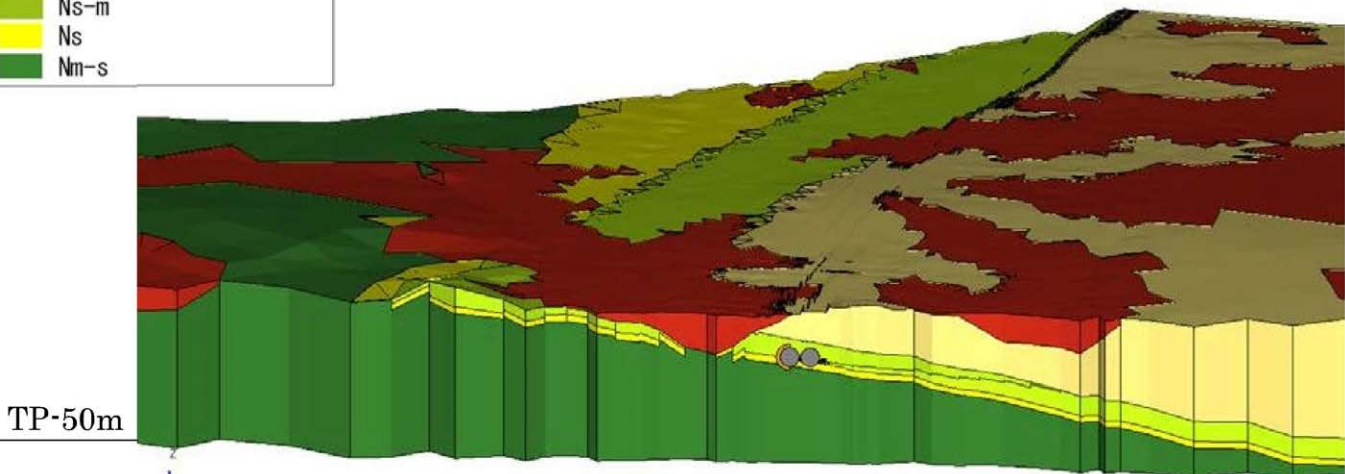
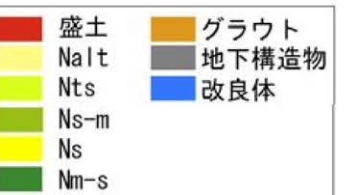
■ 解析モデル



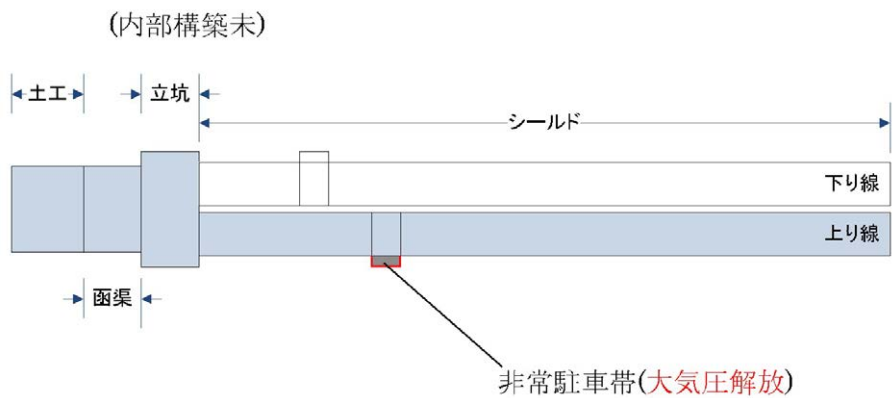
断面図(STA.19+16)



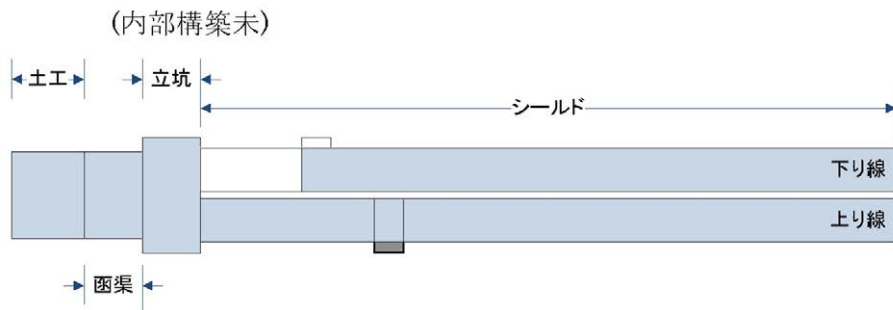
断面図(STA.17+75)



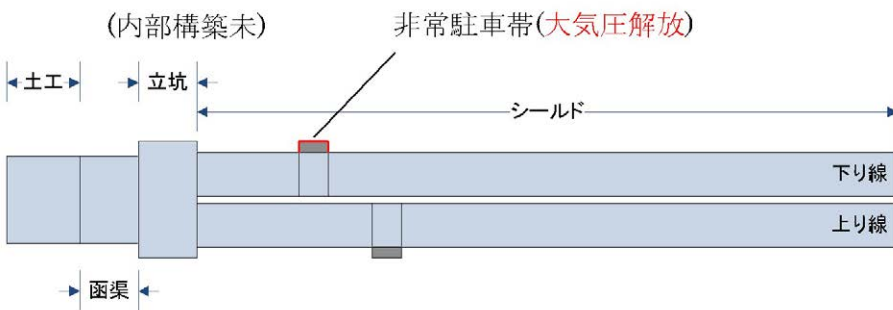
<STEP①>非常駐車帯(STA.19+16)施工



<STEP②>シールド掘進(下り線)施工



<STEP③>非常駐車帯(STA.17+75)施工



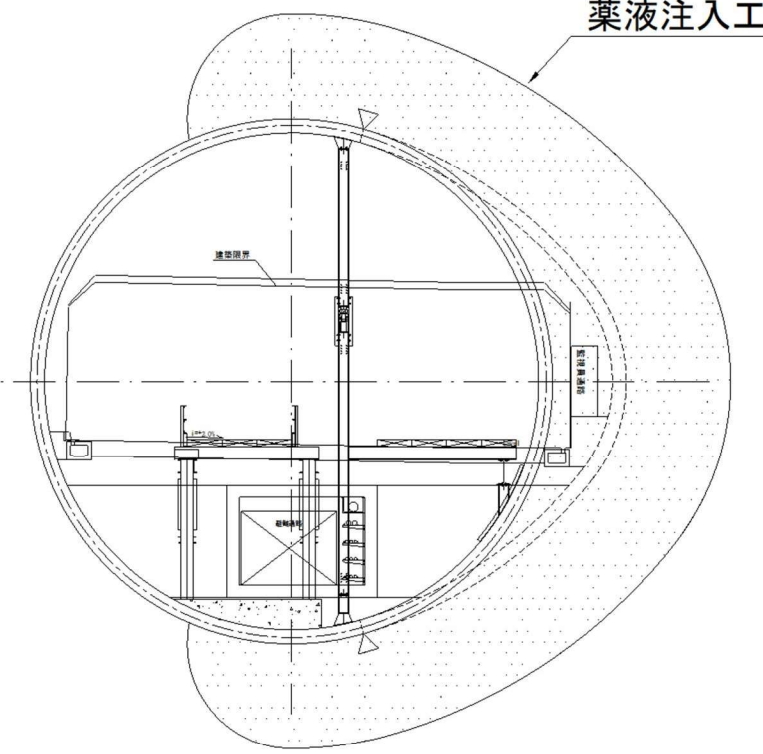
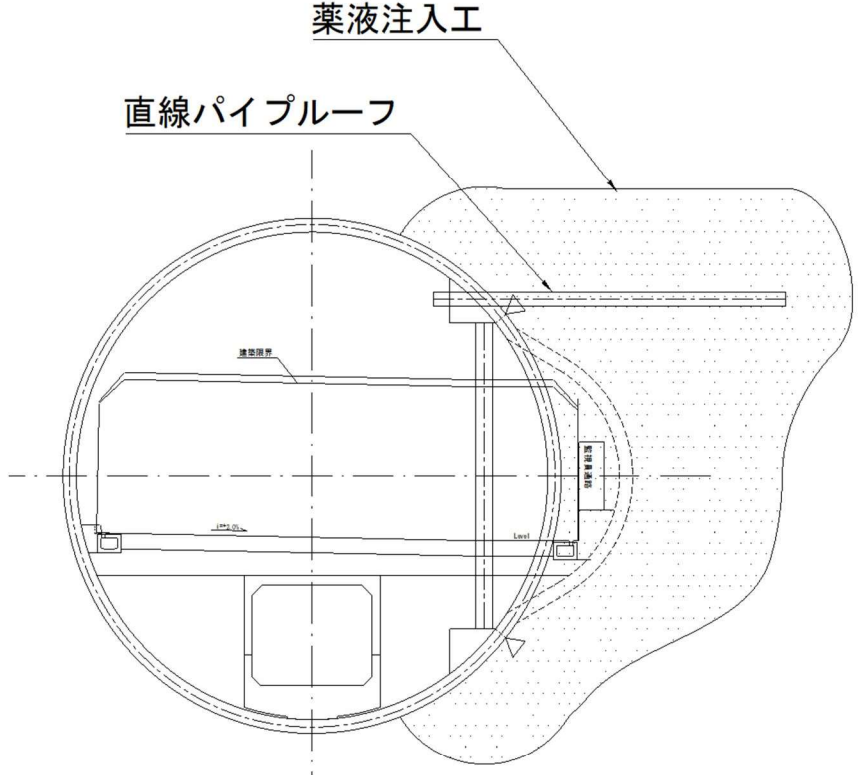
7. 特殊構造物とその施工に伴う周辺への影響抑制

7.6 施工時地山安定検討

■ さらなる安全性確保のための補助工法の検討

- ・掘削範囲を縮小し、かつ、パイプルーフにて先行支保することにより、地山の安定をより一層図ることができる
⇒地表面への影響を最小化することができる。
⇒万が一の地山崩落などのリスクを小さく、安全かつ確実に施工できる。

▶ 以後の施工時地山安定解析及び地表面影響検討は、補助工法として直線パイプルーフ工法を採用し検討する。

		①原設計	②直線パイプルーフ工法案
概要図			
概要		・坑内からの低圧浸透注入工法により、遮水壁を造成する。 ・縦断方向のセグメント撤去・掘削スパンを3m（2R）以下とし掘削および拡幅部セグメントの設置を繰り返し施工する。 ・切掘げ時の地山保持は、地山強度のみに期待する。	・坑内からの低圧浸透注入工法により、遮水壁を造成する。 ・縦断方向のセグメント撤去・掘削を3m（2R）以下とし掘削および拡幅部セグメントの設置を繰り返し施工する。 ・地山を掘削する前に水平の直線パイプルーフにて先行支保させ、地山の安定を図る。
止水性確保		・薬液注入工法	・薬液注入工法
覆工構造	形状	・卵型セグメント	・凸型セグメント（拡幅範囲縮小型）
	特徴	・曲線が連続した卵型でセグメント構造に有利な形状である。	・屈曲部を有するため、曲げモーメントが大きくなる。パイプルーフの支点反力が作用する。

8. 気泡漏出への対応について

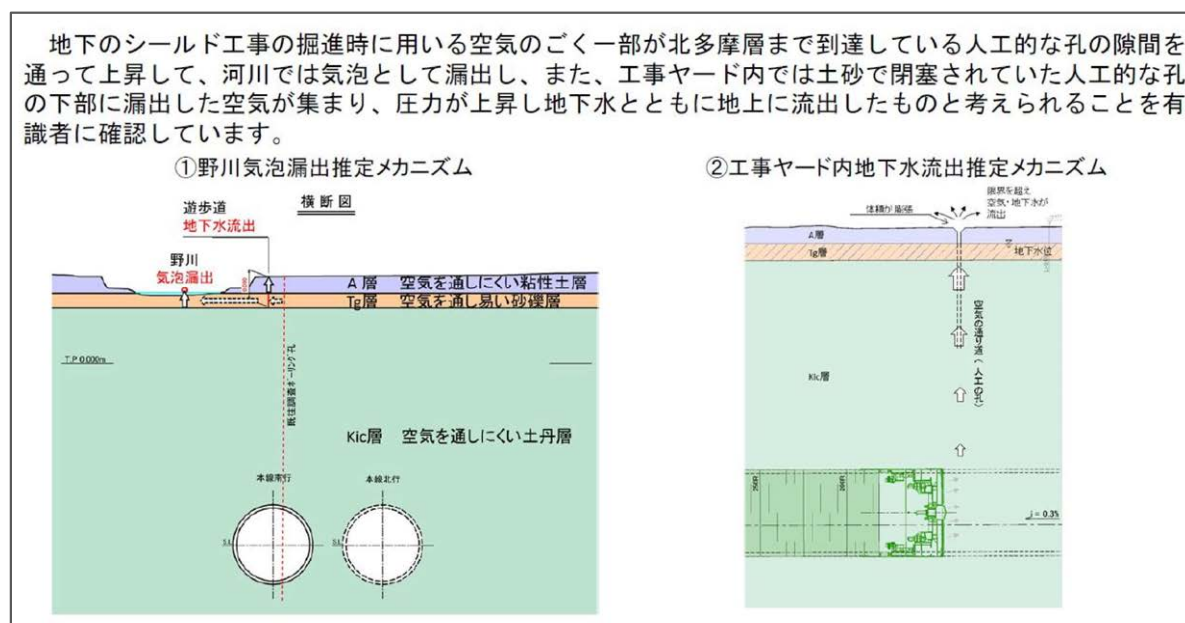
8.1 東京外環自動車道気泡漏出メカニズムとその対応

(1) 東京外環自動車道工事における気泡漏出事象

- ・東京外環自動車道工事において東名JCT(仮称)周辺河川水面で観察された気泡や工事ヤード内で発生した地下水の流出が発生

(2) 気泡漏出メカニズム

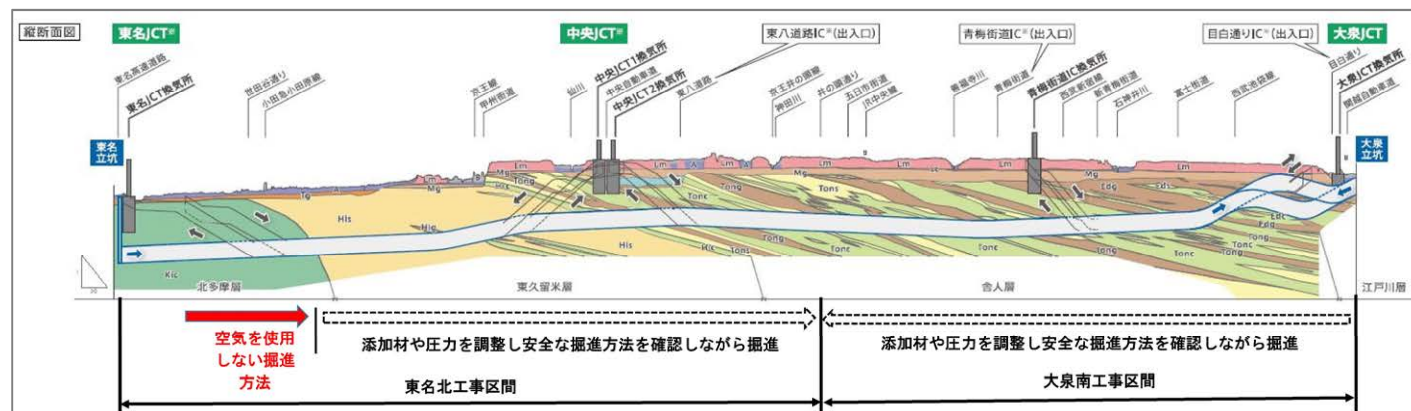
- ・東名JCT(仮称)部の北多摩層においては、掘削面の水量が少ないことから、シールド工事の掘進時に使用する気泡の水分が奪われ、破泡しやすく、また、水や空気を通しにくいことから、人工的な孔があるとそこを空気が通りやすい。
- ・これらの特徴を有する北多摩層において、大深度地下の大断面のシールド工事の掘進時に使用する空気の一部が、北多摩層まで到達している人工的な孔の隙間を通して上昇し、地上に漏出するメカニズムが確認された。



＜気泡漏出及び地下水流出推定メカニズム＞
(参照:第18回 東京外環トンネル施工等検討委員会)

(3) 今後の対応

- ・北多摩層においては、空気を使用しない掘進方法で掘進する。
- ・砂主体の東久留米層、砂礫・砂・粘性土が交互に分布する舎人層や砂礫主体の江戸川層においては、地質状況に応じて掘進時に使用する添加材や圧力を調整し、安全な掘進方法を確認しながら掘進を進める。



8.2 桂台トンネルにおける対応

(1) 桂台トンネルにおける気泡漏出メカニズムに基づく対応方針

- ・桂台トンネルを構築する土質は、東京外環自動車道工事にて気泡漏出が確認された北多摩層のような土丹で水量の少なく、水や空気を通しにくい層と違い、滞水した砂岩(Ns層)が主体であり、その他の土質についても砂質泥岩層であることから、気泡は破泡しづらく、気泡が破泡した場合でも圧力は地盤内に拡散し、空気や水が地表面へ漏出することは考えづらい。
- ・ただし、安全を考慮し、以下を実施し対応する。

気泡径を小さくするなど製品開発された起泡材を使用する対応

■ 起泡材での対応

- ・気泡径が小さいと流動性の向上や止水性が向上するとともに破泡しづらくなる効果が期待できる
- ・気泡が破泡しづらいと、破泡する前に掘削土とともにトンネル坑内へ取り込みやすくなり、地上への漏出を抑制できると考えられる

気泡	従来気泡 濃度 3%		改良気泡 濃度 0.4%		改良気泡 濃度 5%	
	発泡倍率 8倍		発泡倍率 10倍		発泡倍率 20倍	
経時(分後)	液化量(ml)	破泡率(%)	液化量(ml)	破泡率(%)	液化量(ml)	破泡率(%)
0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
10	47	47	0	0	0	0
20	75	88	15	21	0	0
30	80	94	20	29	0	0
40	85	100	35	50	0	0
50	85	100	45	64	0	0
60	85	100	60	86	15	43
120	85	100	70	100	30	86
泡の細かさ	荒い (従来起泡剤)		細かい (改良起泡剤)			
濃度			薄い		濃い	
破泡の度合	破泡しやすい				破泡しにくい	

＜気泡破泡測定の結果＞
(参照:第19回 東京外環トンネル施工等検討委員会)

＜気泡破泡測定＞

- ・発砲した起泡材が経時においてどのくらい液化するか測定
- ・従来気泡と比較し改良気泡は破泡するまでの時間が長い