

横浜環状南線 都市型トンネル施工技術検討会

第6回検討会

資料

令和3年6月9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・竹中土木・佐藤工業 横浜環状南線 公田笠間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環境への影響抑制	.....	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	.....	6
6. 耐震性の検討	.....	9
7. 特殊構造部とその施工に伴う周辺への影響抑制	.....	10

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・助言等を受けながら、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。

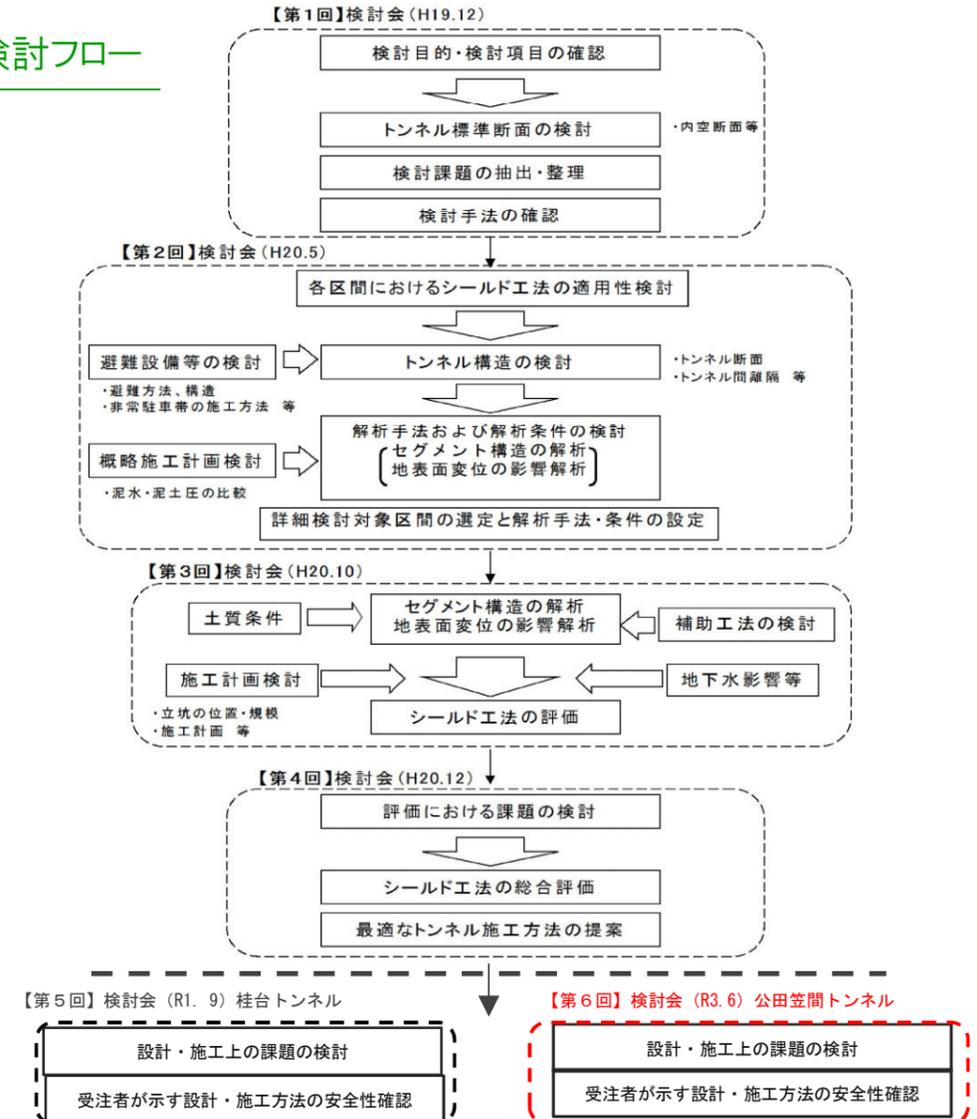
また、シールドトンネル工事においては、近年の災害事例を踏まえた「シールドトンネル工事に係る安全対策ガイドライン(平成29年3月21日)(以下、ガイドライン)」が策定され、受注者が示すシールドトンネル設計・施工方法の安全性の確認を実施する必要がある。

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

検討会における位置づけ	検討項目	内容
既往検討会での設計・施工の課題	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
	既往重要構造物に対する影響	影響検討、対策工の検討等
	工事中モニタリングの実施	計測施工管理体制、計測・観測方法の検討
	セグメント細部構造検討	施工時荷重の影響等
	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
	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
ガイドラインに基づく安全性の確認	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

1.2 検討フロー



2. 住環境ならびに周辺環境への影響抑制

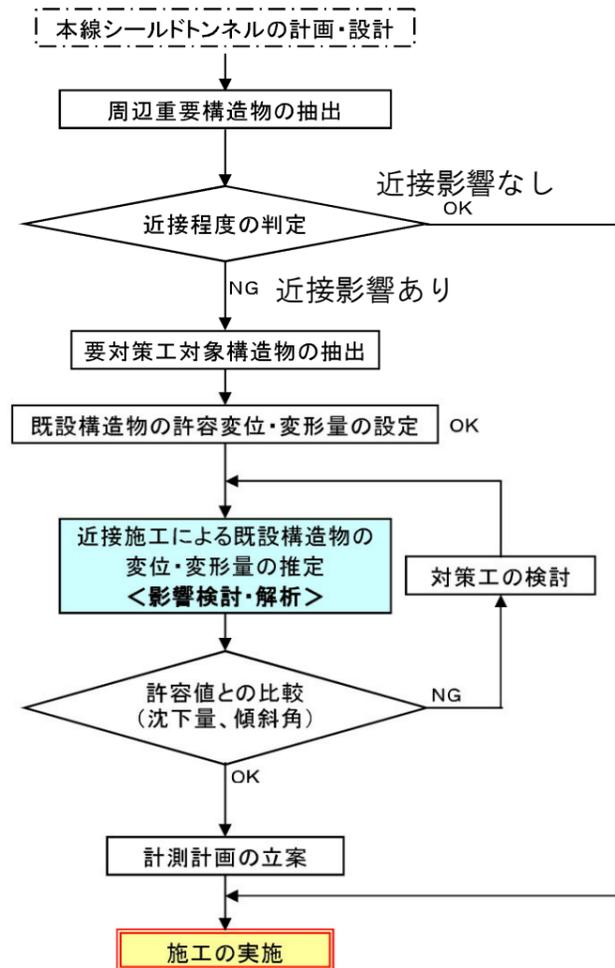
- ・施工に際しては環境影響評価に基づく環境基準を遵守し、必要に応じて周辺環境への影響抑制対策を講じるものとする。
- ・当該事業の「工事中」において影響を予測・評価すべき環境項目、シールド工事・関連工事において環境保全を遵守するための措置等を以下に記す。

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。 ・排土量低減に努め運搬車両数を抑制する。	・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 ・工事用仮橋を設け住宅地を迂回 ・GPS付携帯電話を用いた車両運行管理システムにより、運行効率化・最適配車および一般交通への混雑助長回避に努める。 ・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水位観測等を行い、工事の影響を把握する。	・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。 ・地元利便性を踏まえた迂回路の設置	・交通誘導員の配置 ・GPS付携帯電話を用いた車両運行管理システム等を使用した、運行管理者による運行状況管理 ・地域利便性を考慮した迂回路の配置	
【 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。	・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。	・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(非常駐車帯拡幅時)	・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	

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

・公田笠間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))

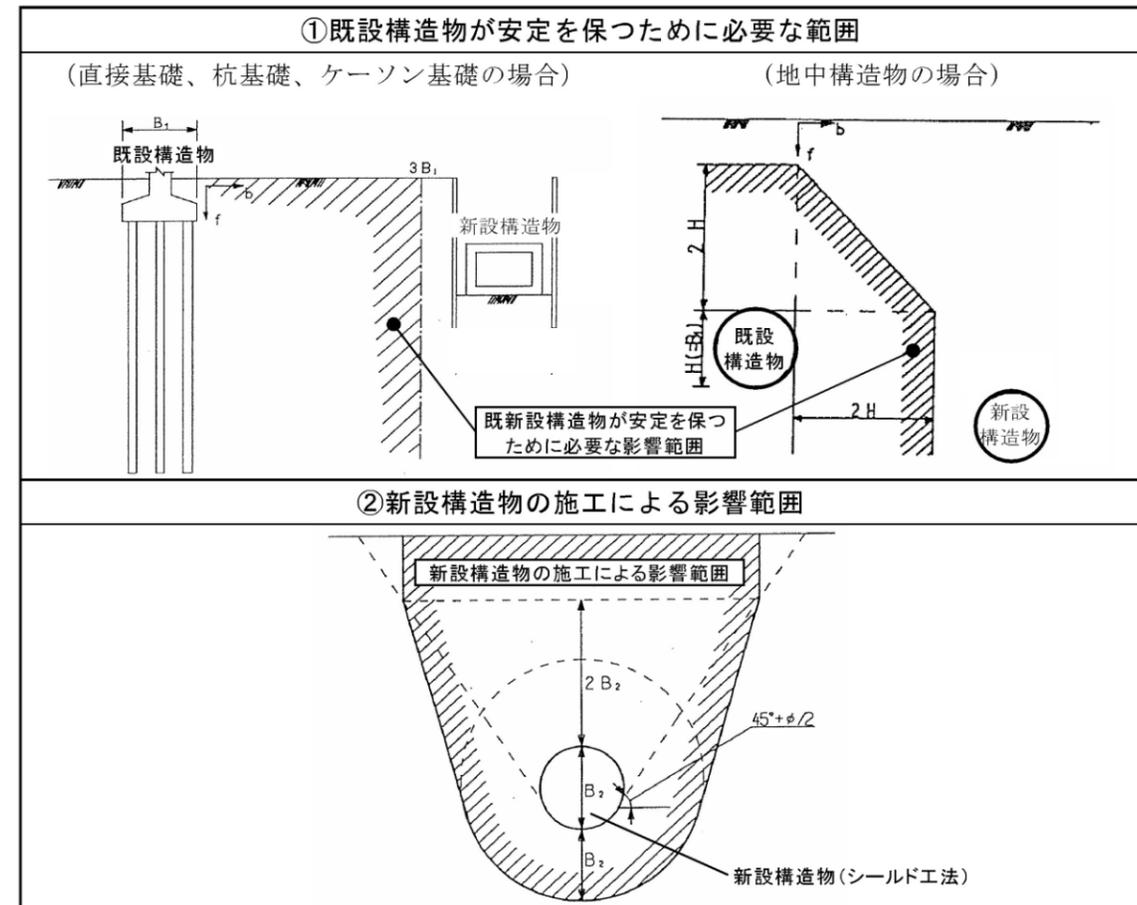
3.2 近接程度の判定

・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。

▶ 公田笠間トンネルに近接する要対策工対象構造物は家屋、地下埋設物及び構造物基礎となる。



< 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。

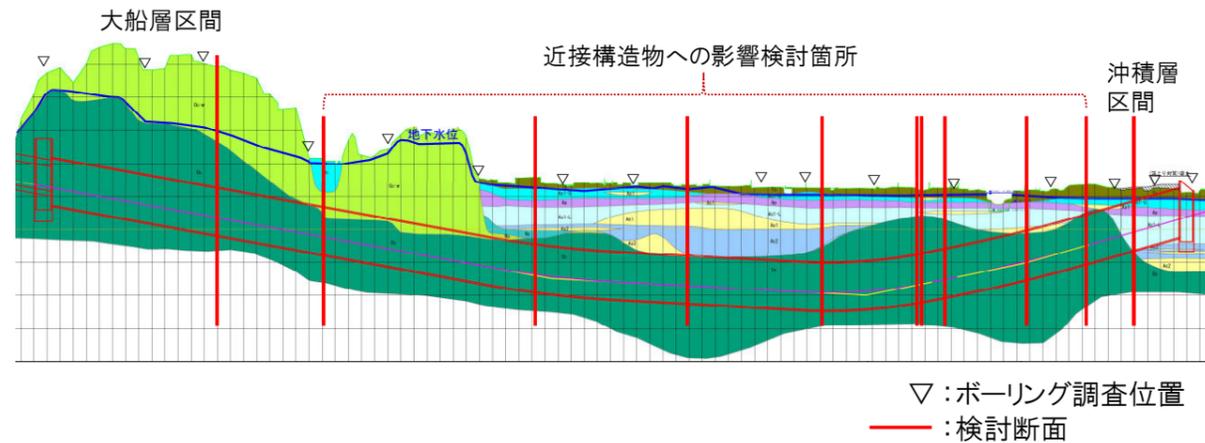
< 許容変位・変形量の設定値 >

対象物	許容変位・変形量	備考
家屋等	・鉛直変位量 25 mm ・傾斜角 1/1000 rad	「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
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

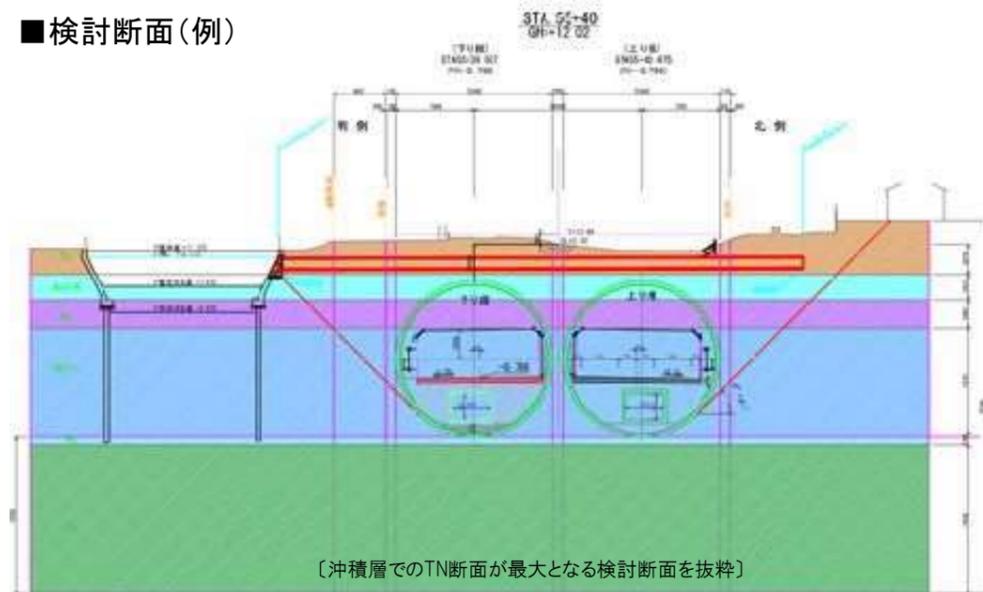
・シールド施工時における地表面および近接構造物への影響について、二次元FEM解析による地盤変状解析を行い検討した。解析の結果、地表面鉛直変位量及び傾斜角は許容値以下であり、シールドトンネル施工による影響は微小であると判断される。



■解析ステップ(例)



■検討断面(例)

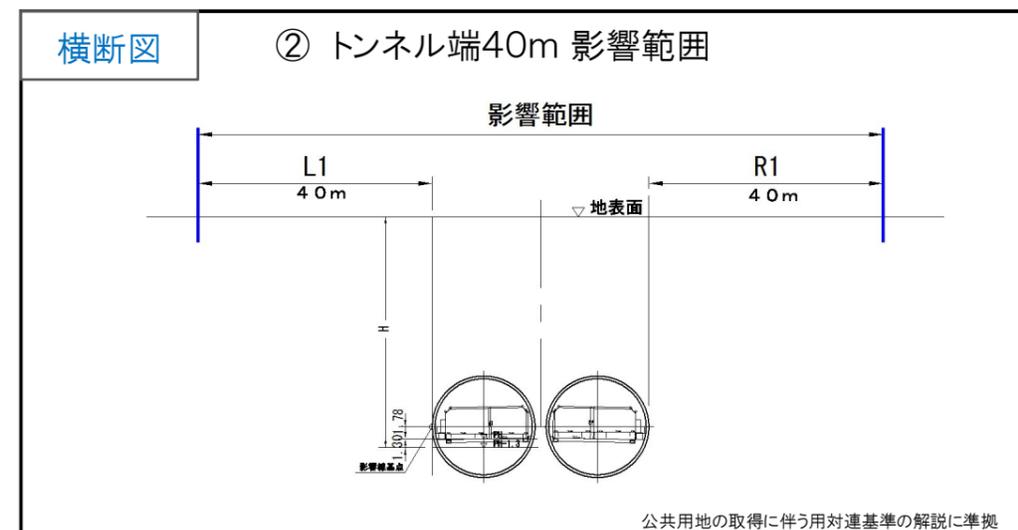
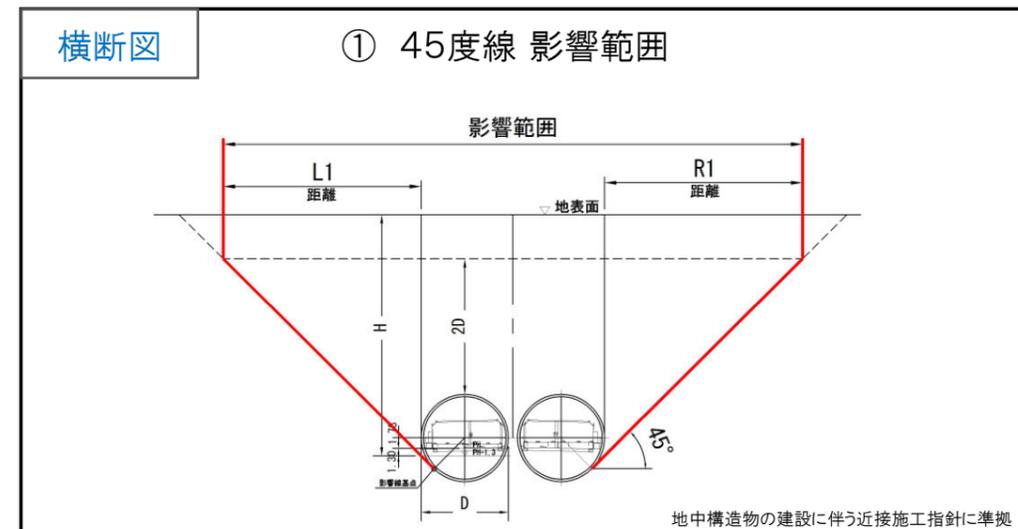


3.5 家屋調査の実施範囲

・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)以下は直上に立ち上げた範囲
- ②:トンネル端から40mの範囲

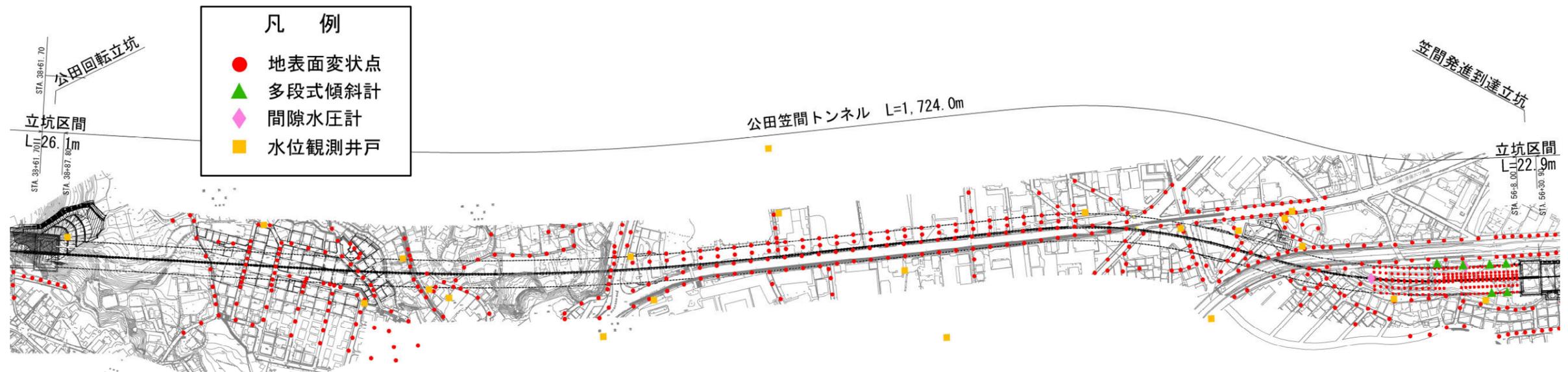


4. 工事中のモニタリングの実施

4.1 工事中のモニタリング実施項目

環境影響評価書の「工事中の影響を予測・評価すべき環境項目」等について、モニタリングの実施項目および実施箇所を以下に示す。

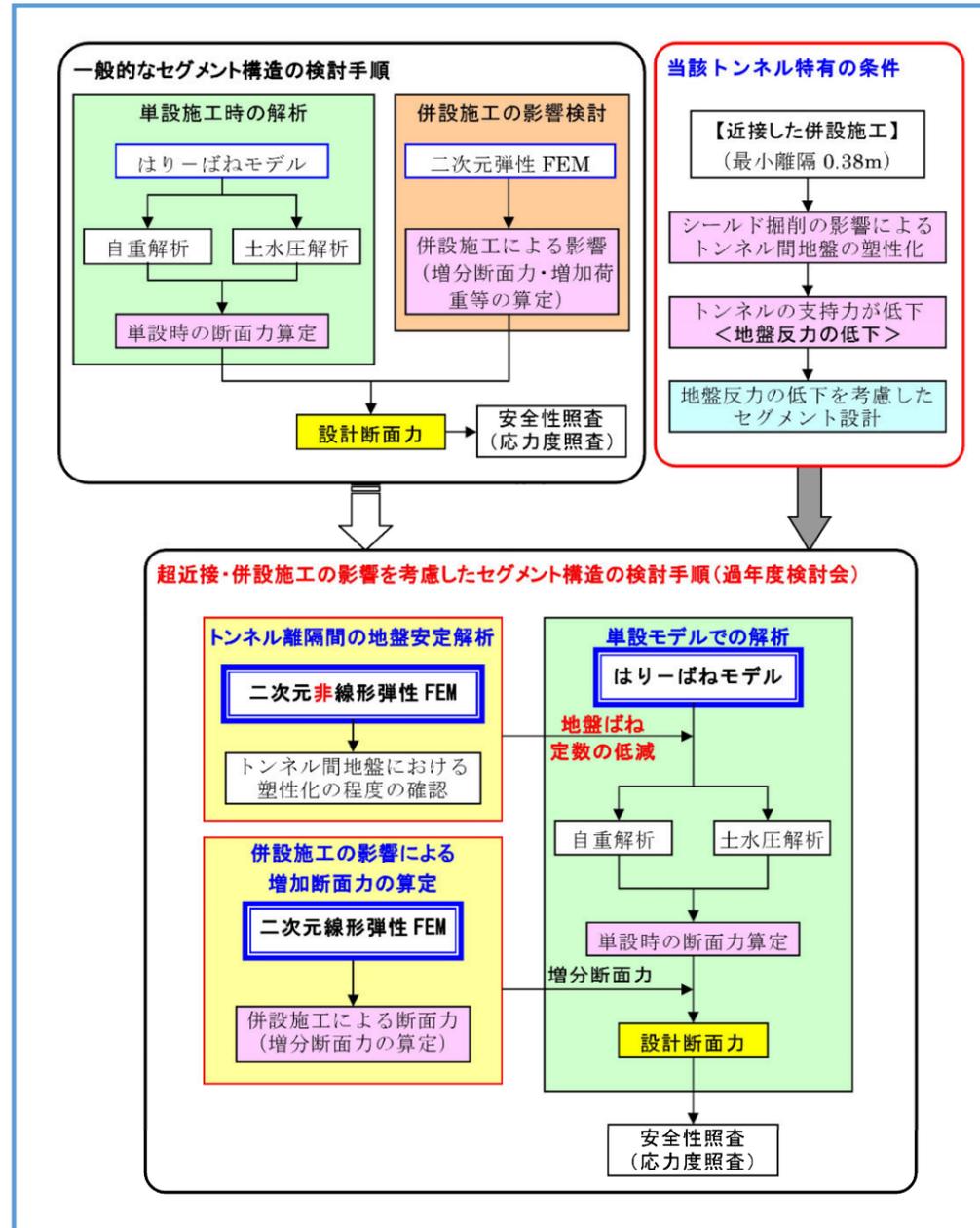
項目	調査項目	計測・観測方針			
		測定方法	実施箇所		
環境影響評価項目	生活環境	大気汚染	・ 工事用車両台数の把握	・ 交通量調査	・ 発進到達立坑ヤード
	水質汚濁	・ 濁水処理施設等の排出口での処理水の水質	・ 水質成分分析	・ 排出口付近	
	騒音	・ 工事用車両の走行および建設機械の稼働による騒音レベル	・ 騒音測定	・ 発進到達立坑、回転立坑近傍	
	振動	・ 工事用車両の走行および建設機械の稼働による振動レベル	・ 振動測定	・ 発進到達立坑、回転立坑近傍	
	地盤沈下	・ トンネル区間周辺の地下水の水位、地盤変位 ・ 構造物ならびに家屋等の影響確認	・ 地表面変位計測 ・ 地中変位、傾斜測定 ・ 水位（水圧）測定 ・ 家屋状況調査	・ 沿線の任意箇所 ・ 家屋状況調査は「3.5家屋調査の実施範囲」を参照	
自然環境	水象	・ いたち川ならびに生活井戸、およびトンネル区間周辺における地下水の水位、地下水の水質等	・ 水位（水圧）測定 ・ 水質成分分析	・ 立坑近傍の河川（いたち川） ・ 地下水位は路線周辺の任意箇所	
その他	影響監視	既設構造物	・ 既設構造物への影響確認	・ 変位	・ 金井污水幹線、東俣野幹線、NTT幹線、笠間変電所
	河川	・ いたち川護岸への影響確認	・ 護岸変位	・ いたち川横断部	
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	



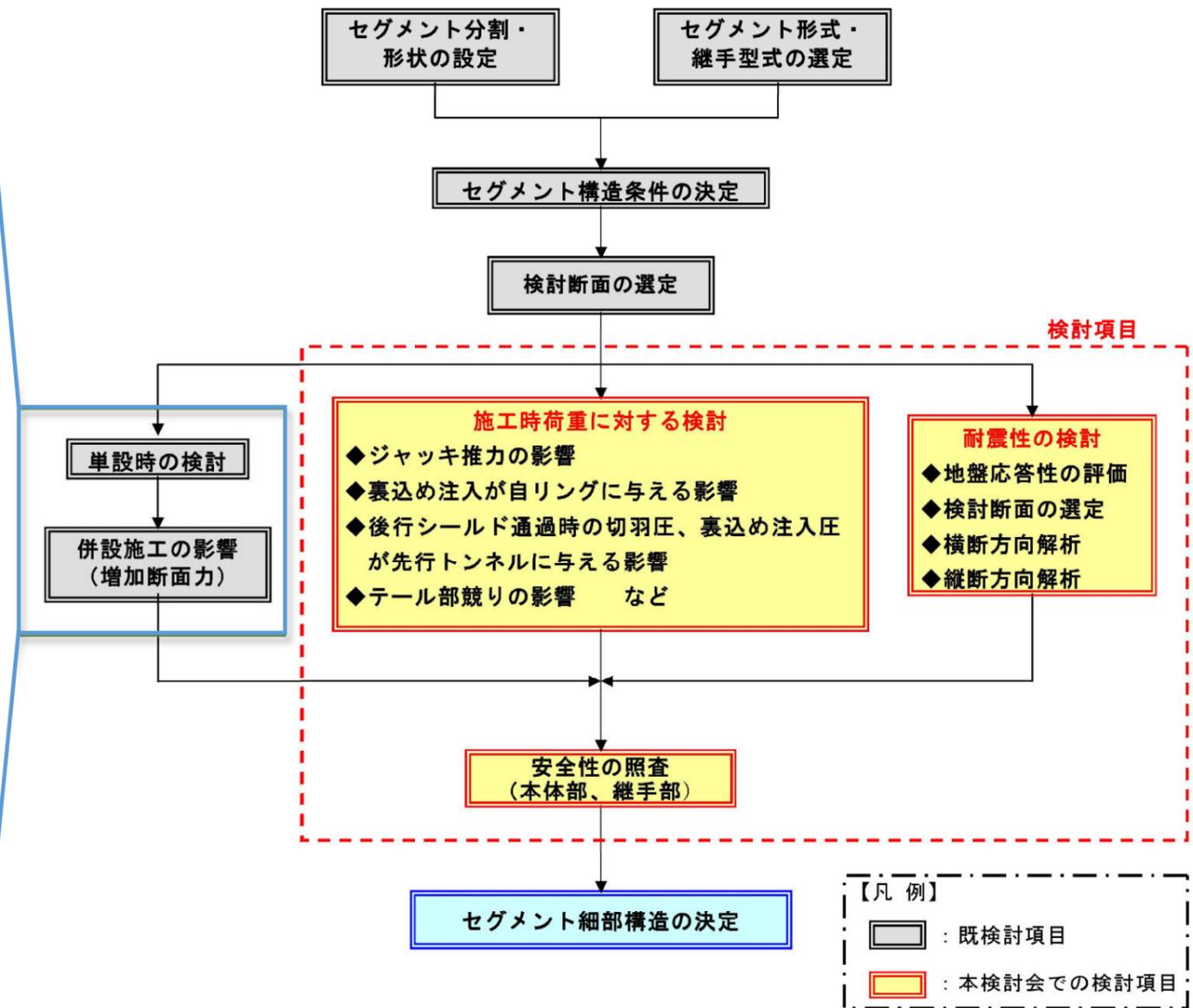
5. セグメント細部構造検討

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必要があり、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>
(出典:「都市型トンネル施工技術検討会(平成20年10月)」)



<セグメント構造の成立性に関する検討フロー>
(出典:「都市型トンネル施工技術検討会(平成20年12月)」)

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。

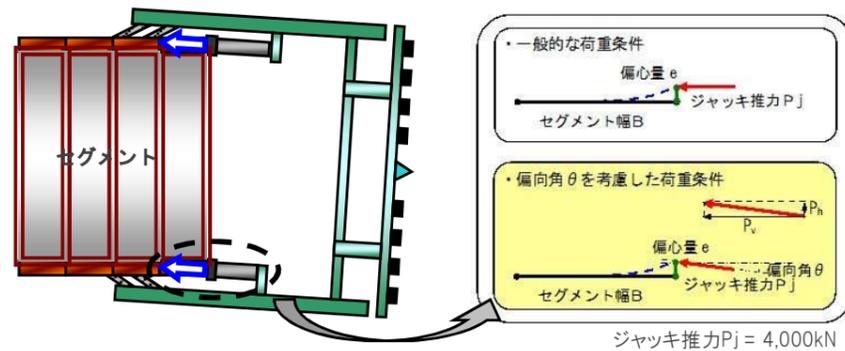
対象構造物	荷重種別	荷重内容	モデル
先行トンネル及び後行トンネル	自らのセグメントリングに作用する施工時荷重の影響	シールドジャッキ推力に対する影響	縦断方向
		裏込め注入に対する影響	横断方向
先行トンネル	後行シールドの施工時荷重が先行トンネルに与える影響	掘進土圧および裏込め注入圧に対する影響	横断方向
		掘進土圧および裏込め注入圧に対する影響	縦断方向

5.3 ジャッキ推力に対する影響検討<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。

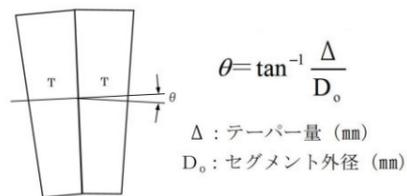
- ① 曲線施工区間において、計画線形に応じて次の1リング分の掘進が完了した段階
- ② シールドの蛇行または蛇行修正



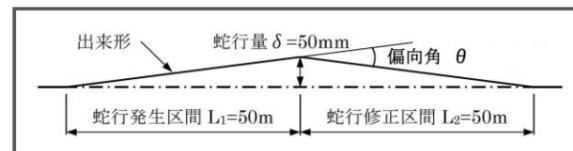
<ジャッキ推力の作用形態>

(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

・セグメントリングに作用する応力度は、セグメント許容応力度を満足しており、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 裏込め注入圧に対する影響検討<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として、以下の2ケースで検討を行った。

ケース1	ケース2
<p>・裏込め注入圧が全周にわたり、裏込め材の比重による流動体の圧力として作用する場合</p>	<p>・土圧が作用し、裏込め注入圧が、全周にわたり、裏込め材の比重による流動体の圧力として作用する場合</p>

(3) 検討結果

・セグメントリングに作用する応力度は、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、裏込め注入圧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 掘進土圧および裏込め注入圧に対する影響検討<先行トンネルへの影響>

■ 横断方向に対する検討

(1) 施工時荷重の種類

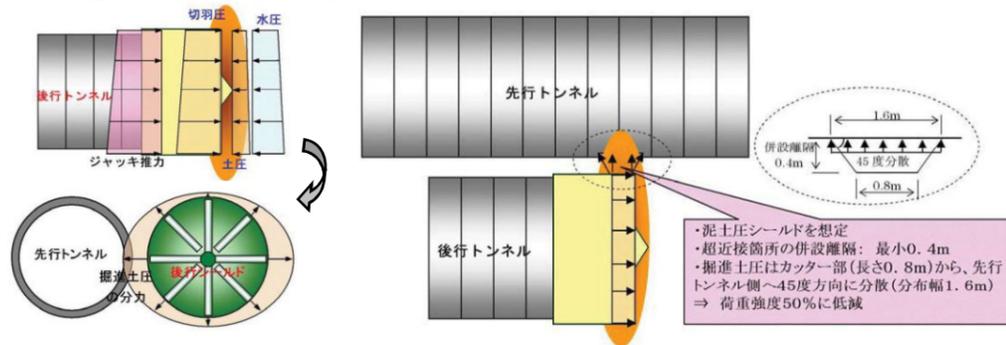
・後行トンネル施工時に先行トンネルのセグメントに作用する施工時荷重は以下とする。

A : 掘進土圧 (後行トンネルの切羽圧 (切羽圧=掘進土圧))

B : 裏込め注入圧 (後行トンネルの施工時に作用する荷重)

(2) 先行トンネルに伝達される後行トンネルの掘進土圧

- ・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

・施工時荷重の組合せとして、影響が大きいと思われる以下の6ケースで検討を行った。

A: 掘進土圧		B: 裏込め注入圧	
ケースA-1 ・地山が自立し、土圧が作用しない状態 	ケースB-1 ・地山が自立し、土圧が作用しない状態 		
ケースA-2 ・併設トンネル間の側方土圧が作用しない状態 ・不透水層を想定し、地下水圧が作用しない状態 	ケースB-2 ・併設トンネル間の側方土圧が作用しない状態 		
ケースA-3 ・先行トンネルに土水圧が作用した状態 	ケースB-3 ・先行トンネルに土水圧が作用した状態 		

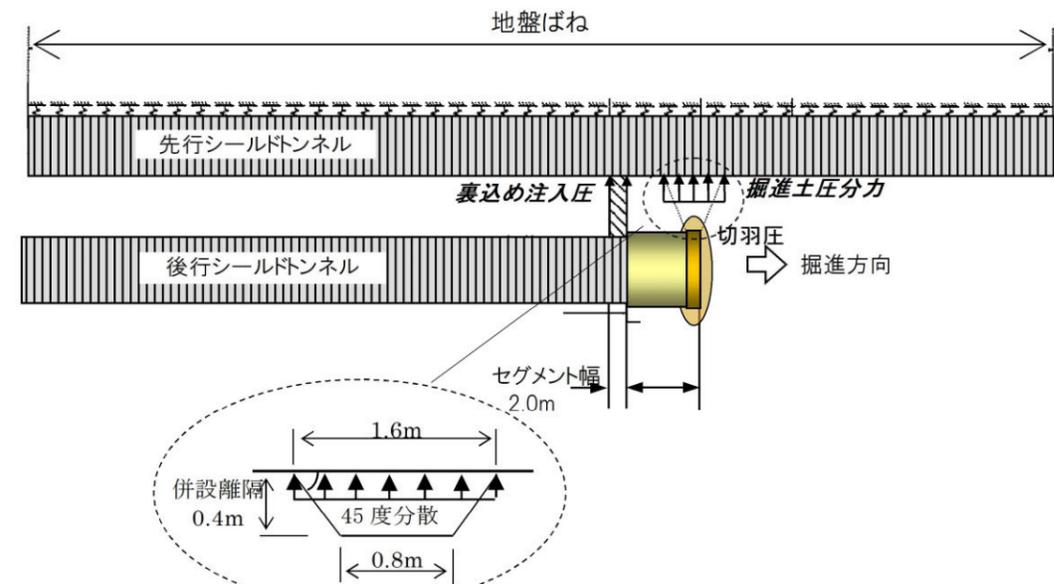
■ 縦断方向に対する検討

(1) 検討内容

・後行トンネルの施工時荷重が先行トンネルに及ぼす影響について、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

- ・先行トンネルを梁部材、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を適用
- ・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とする
- ・後行トンネルの掘進土圧は、影響荷重が大きくなる切羽土圧+水圧を対象とする
- ・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



(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。

■ 検討結果

・横断方向に対する検討の結果

先行トンネルに作用する応力度は、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、掘進土圧および裏込め注入圧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。

・縦断方向に対する検討の結果

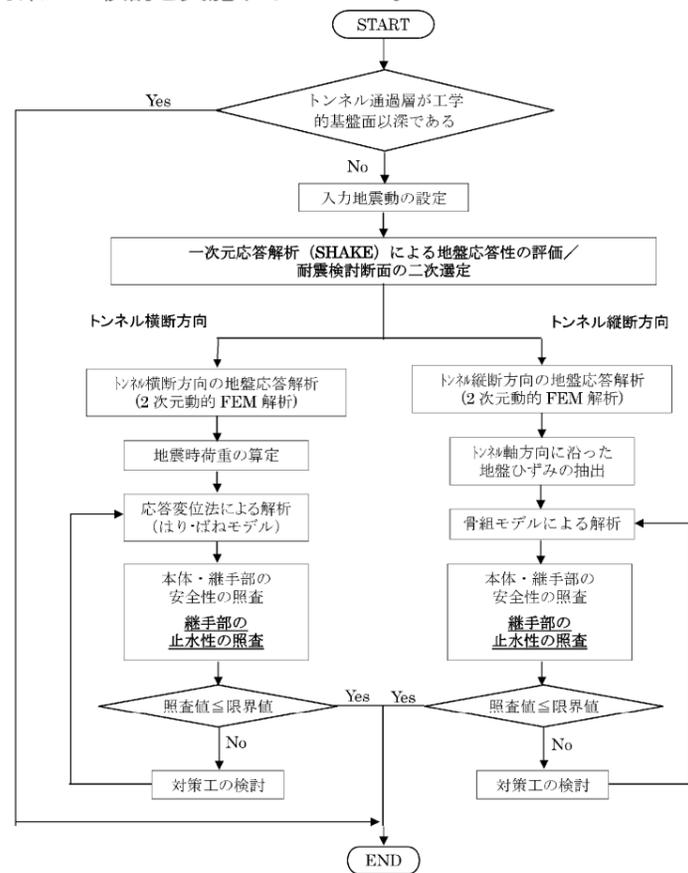
先行トンネル作用する応力度は、リング継手の許容応力度を満足しており、掘進土圧および裏込め注入圧に対する合成セグメントの安全性は確保される結果となった。

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。
- ・公田笠間トンネルはトンネル通過層の大半が工学的基盤面以深であること、円形であり、耐震性が高い形状であるため、耐震検討は不要であるとも考えられるが、一部区間で軟弱な沖積層を通過するため、当該区間の耐震検討を実施し、必要に応じて、対策工の検討を実施することとした。



< 検討フロー >

(出展:「シールドトンネル施工技術検討会 第2回検討会」(平成22年5月))
 (参考:「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」(平成14年3月)日本道路協会)

(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)

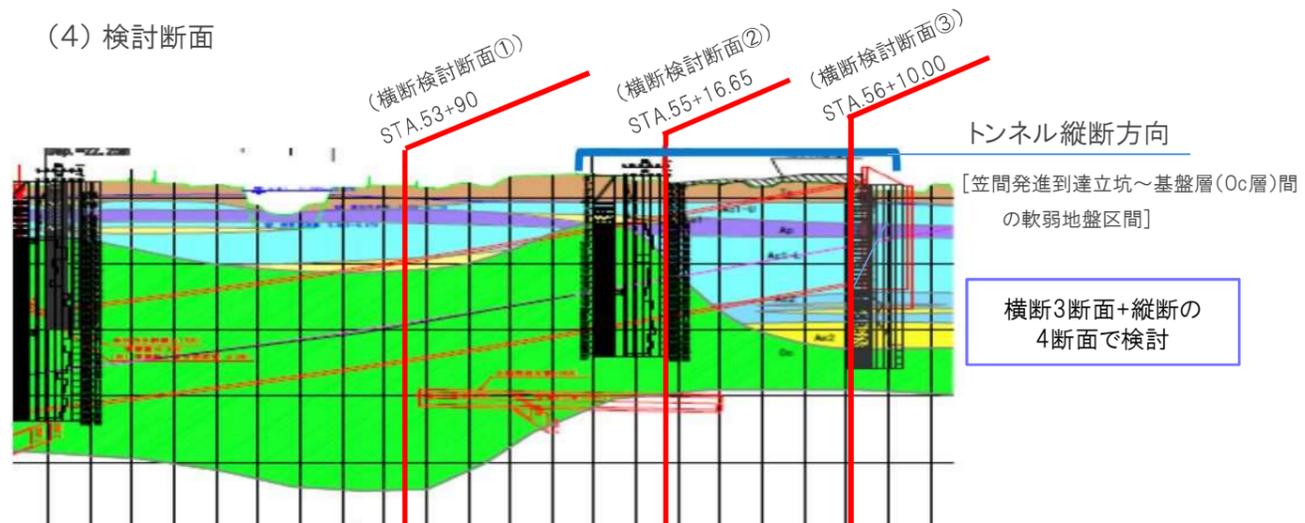
(3) 当該トンネルの耐震性能

- ・レベル1地震動・・・地震によってトンネルとしての健全性を損なわない性能とし、トンネル構成部材が弾性的挙動を示す範囲内の状態に留めることとする。
- ・レベル2地震動・・・地震による損傷が限定的なものにとどまり、トンネルとしての機能の回復が速やかに行える性能とし、トンネル構成部材が破壊に至らない状態を確保する。継手部は止水性を確保する。

部 材	レベル1地震動 限界値	レベル2地震動 限界値
合成セグメント本体	許容応力度 (割増し考慮)	終局耐力(RC部材)
鋼製中詰セグメント本体		降伏耐力
継 手 部		降伏耐力(スチール部材)※

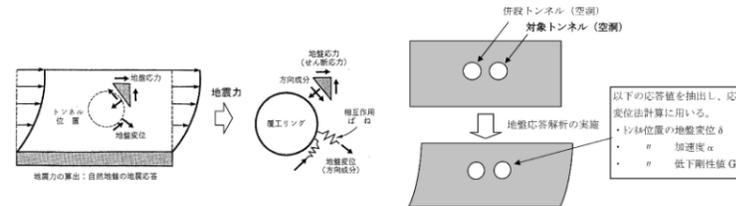
※地震動により継手部に生じる応力等が降伏耐力以下であれば、残留ひずみ及び残留目開きが生じないため、止水性は確保されると判断する。

(4) 検討断面



(5) 検討手法

解析プログラムは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」を用いた。断面①では標準的な耐震検討手法である応答変位法を用いる。断面②③では土質が変化している複雑な構造の解析に適している動的解析手法を用いる。



< 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 >

(6) 検討結果

トンネル横断方向での検討結果として、(3)に示す耐震性能を満足することを確認した。トンネル縦断方向での検討結果として、対策工(可とうセグメント)を採用することにより、(3)に示す耐震性能を満足することを確認した。

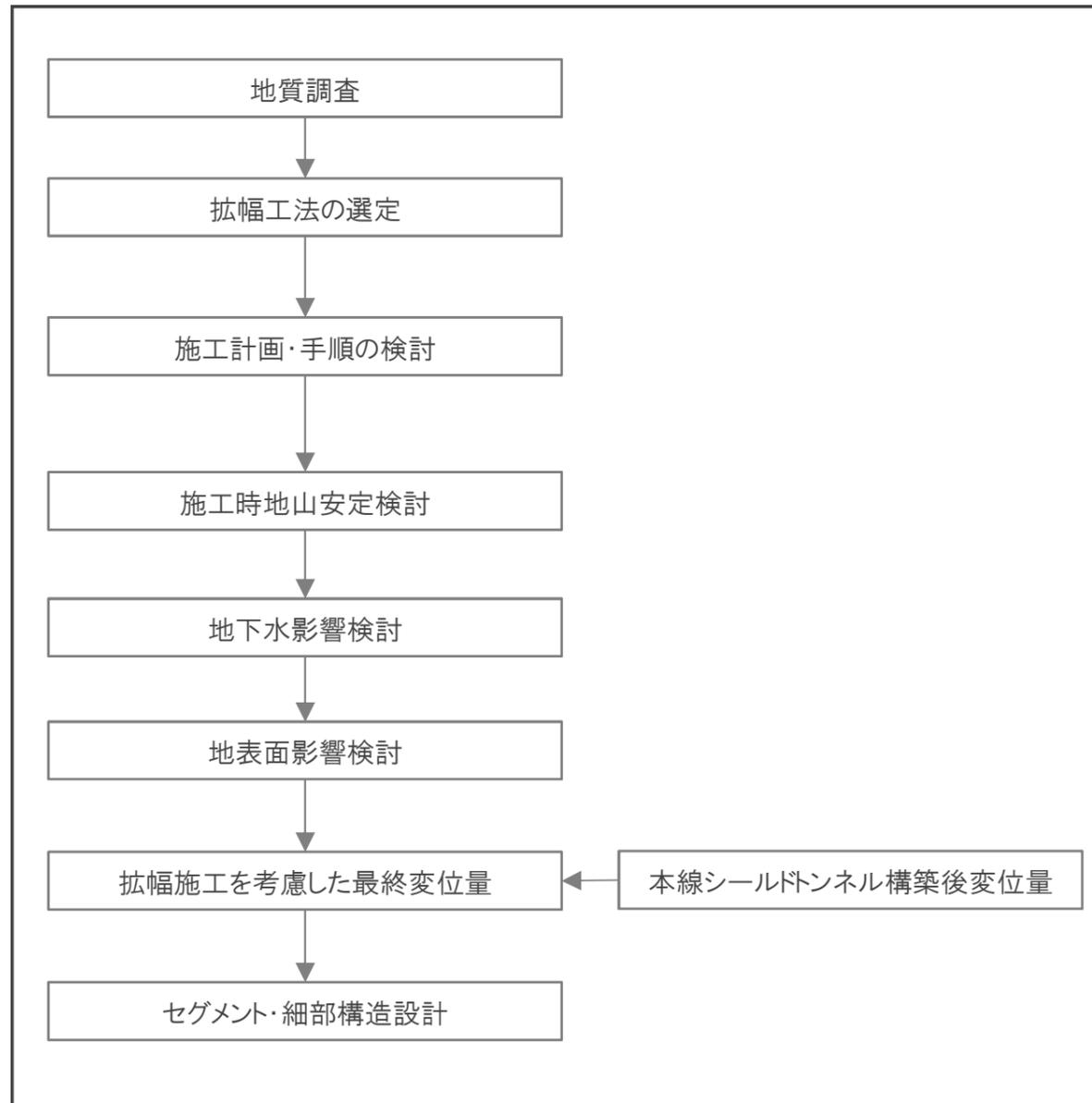
7. 特殊構造部とその施工に伴う周辺への影響抑制

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相対的に大きくなる可能性が考えられる。
- ・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。

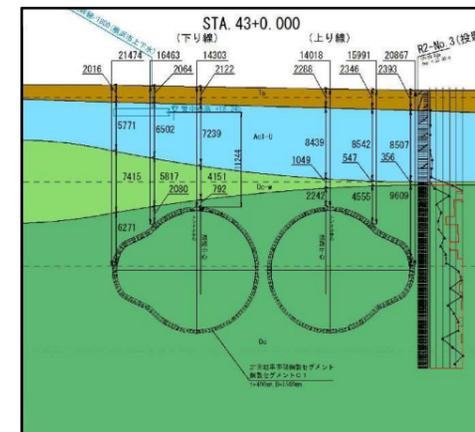
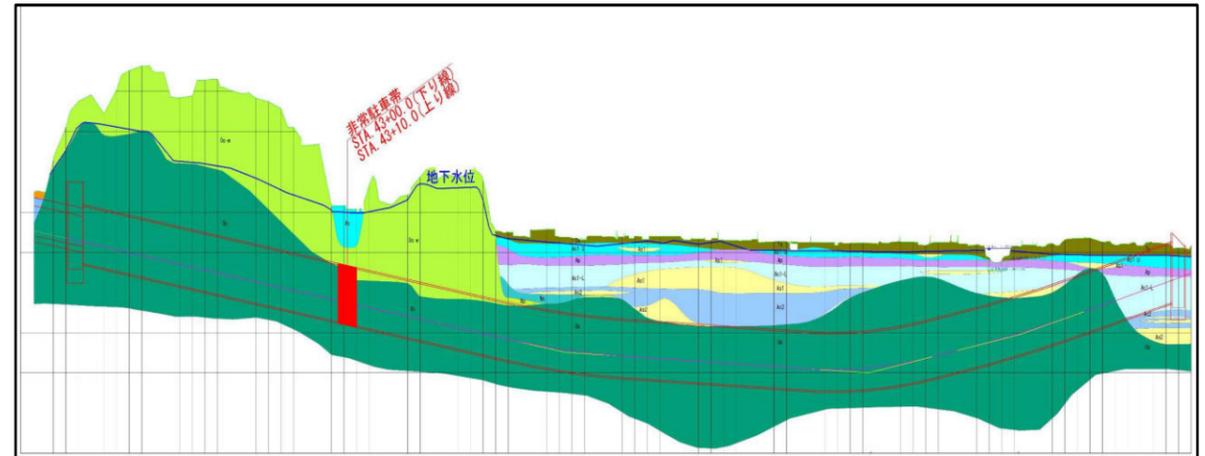
＜非常駐車帯の拡幅施工における検討フロー＞



7.2 非常駐車帯拡幅部の地質概要

(1) 地質概要

- ・非常駐車帯が位置する範囲は地質横断面図に示すように、トンネル本体部が位置する大部分が大船層の泥岩(Oc)であり、非常に硬質な地盤となっている。
- ・一方、追加地質調査結果より、非常駐車帯箇所における地層厚は箇所により変化する事が認められ、トンネル上部のOc-wの出現も懸念される。



地質記号	地質	透水係数 (m/s)	帯水層	被圧地下水
Ts	盛土・埋土・表土	1.0×10^{-5}	帯水層	自由水面
Ac-1u	沖積層 粘性土層	1.0×10^{-7}	帯水層	なし
Oc-w	大船層 風化泥岩	8.9×10^{-6}	帯水層	なし
Oc	大船層 泥岩・砂質泥岩	5.25×10^{-8}	帯水層	なし

7. 特殊構造部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>

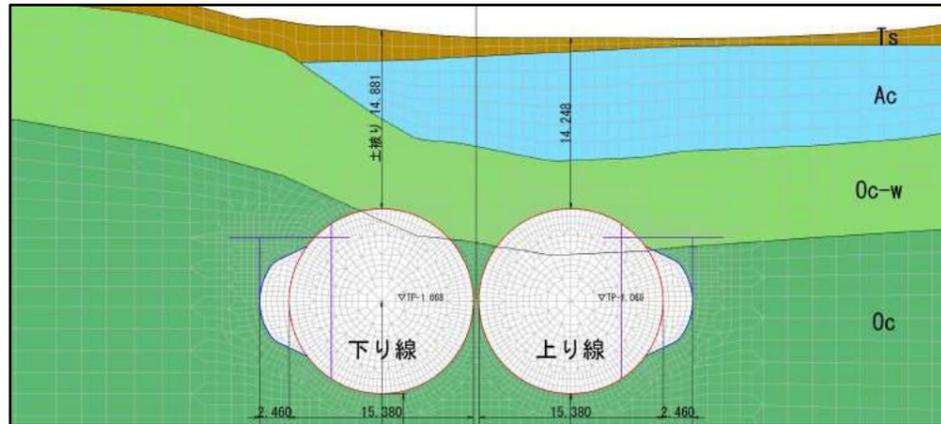
項目	NATMによる非開削拡幅工法			曲線パイプルーフによる非開削拡幅工法	立坑を利用した開削拡幅工法
	現場打ちRC部分覆工工法	プレキャストセグメント覆工工法+薬液注入工	プレキャストセグメント覆工工法+凍結工法		
概要図					
施工概要	<ul style="list-style-type: none"> ・非常駐車帯設置側のみを切り抜け、現場打ちRC構造として部分的に覆工を構築する案。 ・施工時の止水性を確保するため、トンネルの外周部に薬液注入を行う。 ・拡幅掘削後、拡幅箇所防水シートを施工し、覆工コンクリートを打設する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ○ 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。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 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。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 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。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 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) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 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	<ul style="list-style-type: none"> ○ 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。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 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。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 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 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 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。 	<ul style="list-style-type: none"> ▲ 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. 特殊構造部とその施工に伴う周辺への影響抑制

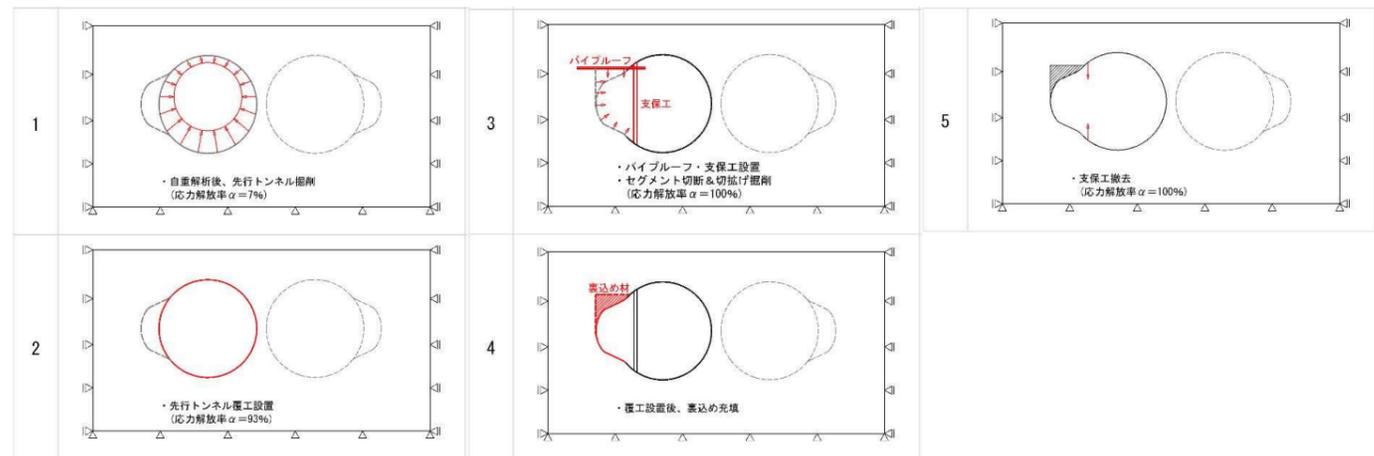
7.4 施工時地山安定検討および施工計画・手順

- ・ 拡幅部掘削に伴う周辺地山の安定解析を実施。
- ・ 解析の結果、地表面変位量は許容値を満足する結果となった。
- ・ 一方、掘削断面にOc-w層を含む場合、地山の安定を図るために補助工法を併用することが有効であることを確認した。
- ・ 地層面が変化している可能性を踏まえ、補助工法として直線パイプルーフ工法を検討する。

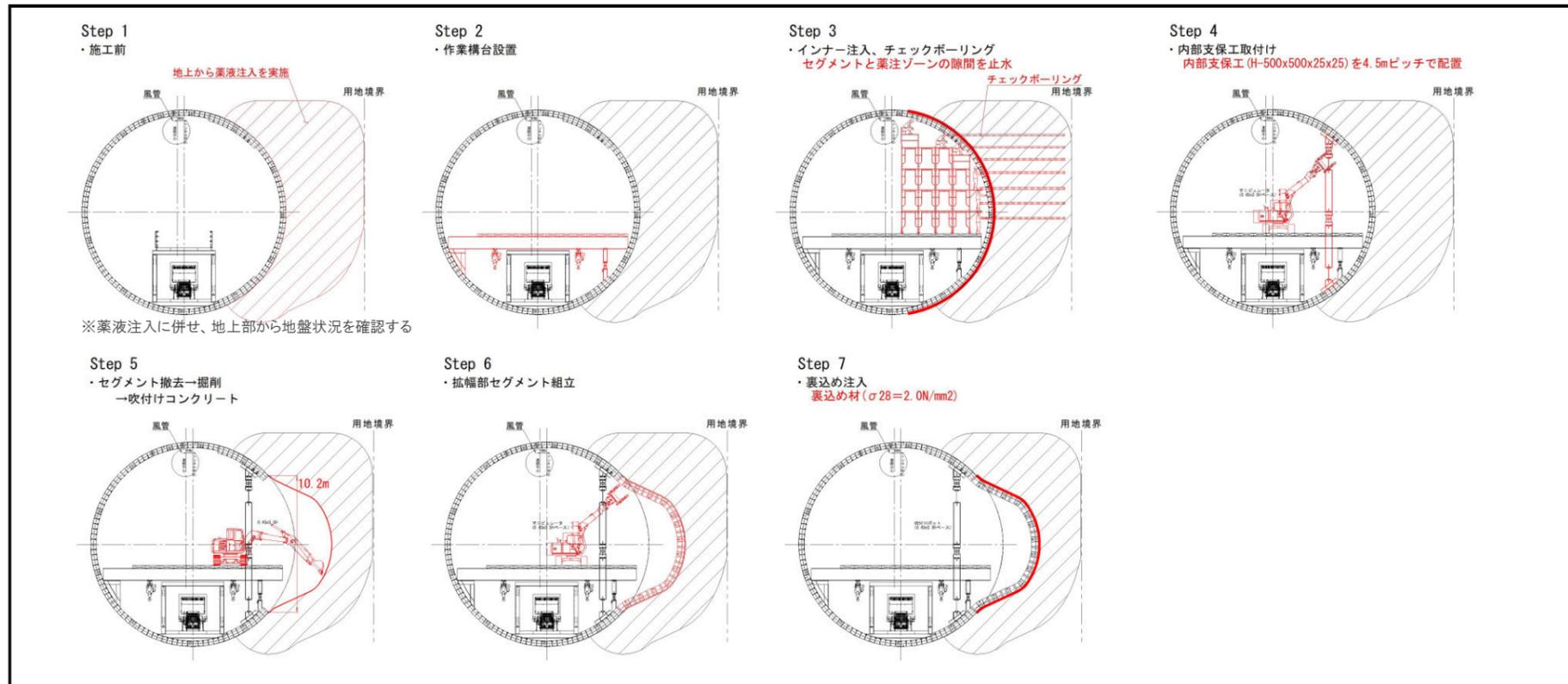
■ 解析モデル(掘削断面にOc-w層を含むケース)



■ 解析ステップ



■ 施工計画・施工手順[※]



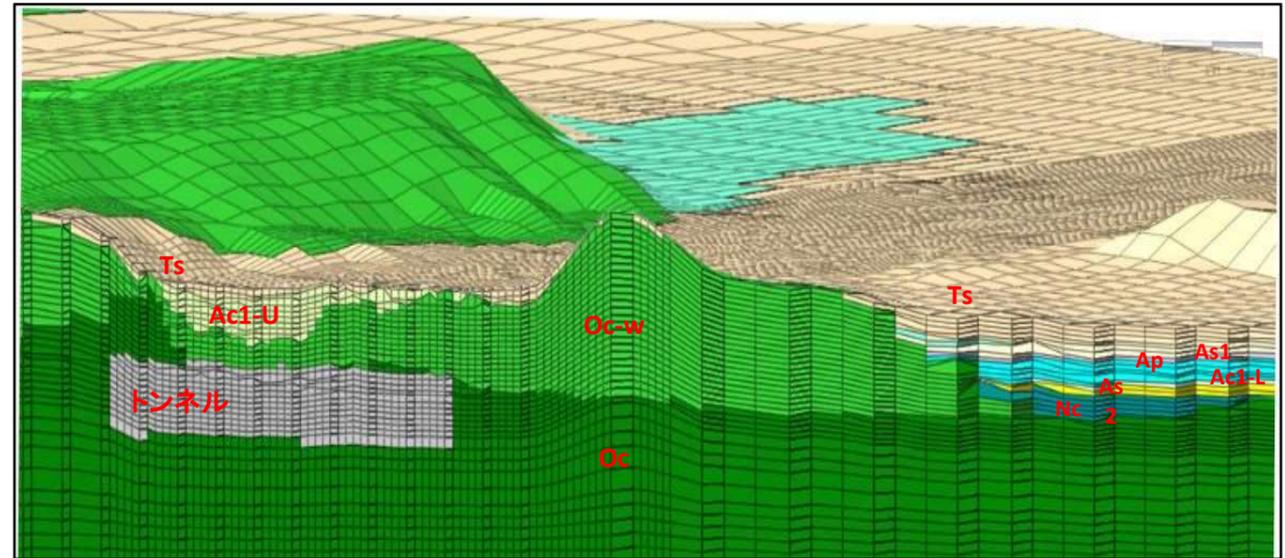
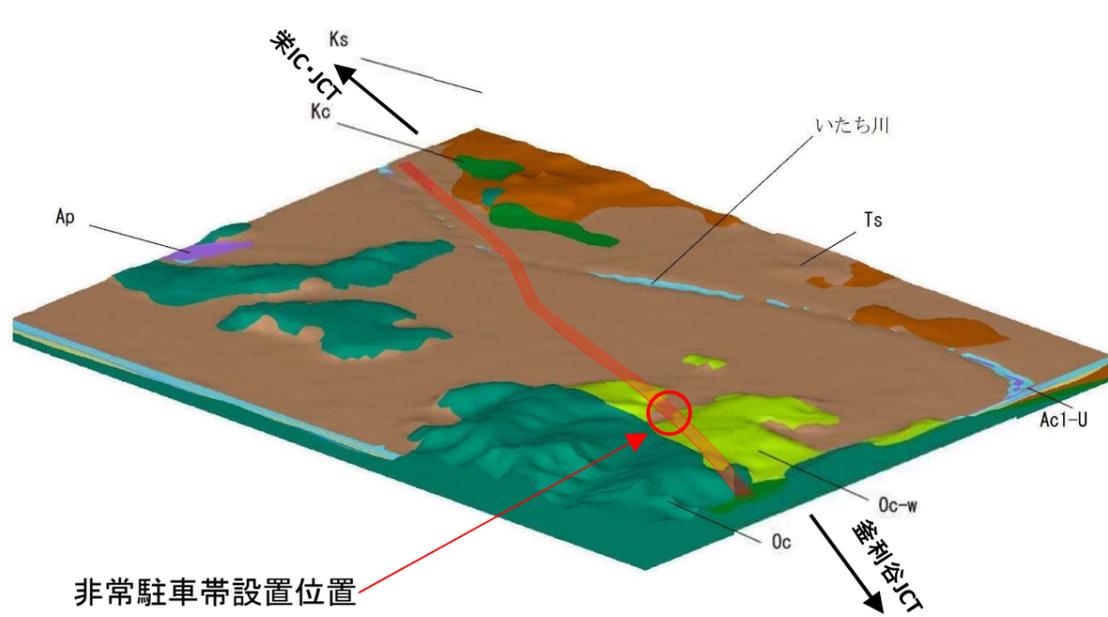
※原位置での調査を踏まえ、補助工法の要否および最終的な施工計画を決定予定

7. 特殊構造部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。
- ・ 解析の結果、地表面変位量は許容値を満足する結果となった。

■ 解析モデル



Ts	Nc
As	Ns
Ac	Oc-w
Ap	Oc
	トンネル

■ 施工サイクル

(範囲 1,2: 吹付けまで完了)

①範囲 3: セグメント撤去

	1R	2R	3R	4R	5R	6R	7R
上半	1	3	5	7			
下半	2	4	6	8			

← 開放 →

②範囲 3: 掘削

	1R	2R	3R	4R	5R	6R	7R
上半	1	3	5	7			
下半	2	4	6	8			

← 開放 →

③範囲 3: 吹付け

	1R	2R	3R	4R	5R	6R	7R
上半	1	3	5	7			
下半	2	4	6	8			

← 開放 →

④範囲 4: セグメント撤去

	1R	2R	3R	4R	5R	6R	7R
上半	1	3	5	7			
下半	2	4	6	8			

← 開放 →

⑤範囲 4: 掘削

	1R	2R	3R	4R	5R	6R	7R
上半	1	3	5	7			
下半	2	4	6	8			

← 開放 →

⑥範囲 4: 吹付け

	1R	2R	3R	4R	5R	6R	7R
上半	1	3	5	7			
下半	2	4	6	8			

← 開放 →

⑦範囲 2→1→4→3: セグメント組立

	1R	2R	3R	4R	5R	6R	7R
上半	1	3	5	7			
下半	2	4	6	8			

開放

①' 範囲 5: セグメント撤去 (以降、②~繰り返す)

	1R	2R	3R	4R	5R	6R	7R
上半	1	3	5	7			
下半	2	4	6	8			

← 開放 →

	セグメント撤去
	掘削
	吹付け
	セグメント設置
	セグメント撤去前