

# 都市型トンネル施工技術検討会

## 第3回検討会

資料  
(概要版)

平成20年10月7日

東日本高速道路株式会社 関東支社 横浜工事事務所

財団法人 高速道路技術センター

## 目 次

1 . 前回検討会での検討結果	1
2 . 検討条件の整理	2
3 . 解析手法について	3
4 . 解析結果	5
5 . 施工計画検討	5
6 . 地下水への影響検討	8
7 . シールド工法の評価	9

検討フロー

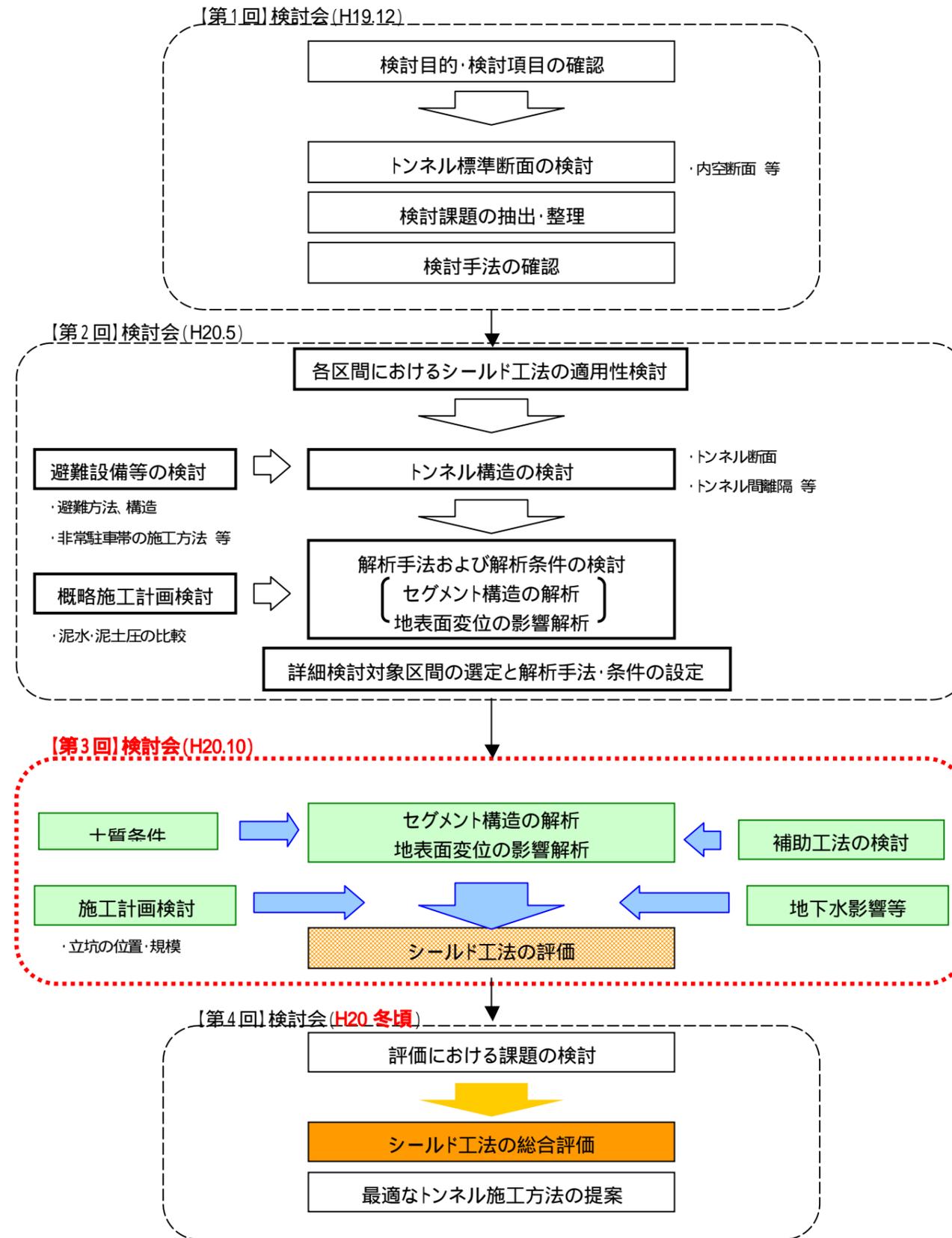


表-1.1.1 検討結果一覧表

1. 前回検討会での検討結果

第2回検討会において、釜利谷～笠間間のトンネル区間について、シールド工法適用の可能性について検討を行った結果、桂台トンネル、公田トンネル、笠間トンネルについてはシールド工法の適用性があるとの結果となった。  
 ただし、引き続き地表面あるいは近接施工への対応について影響解析等を行うこと、また、笠間トンネルについては、あわせて沖積層や埋設物等への対応について検討を行うこととなった。

区間	シールド工法の適用性	備考
釜利谷地区	<ul style="list-style-type: none"> <li>シールド工法での施工には適さない。</li> <li>NATMによる施工が妥当と考えられる。</li> </ul>	
庄戸トンネル区間	<ul style="list-style-type: none"> <li>シールド工法での施工には適さない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>非開削工法の適用可能性について、別途実施している「庄戸トンネル検討会」において引き続き検討していく。</li> </ul>
桂台トンネル区間	<ul style="list-style-type: none"> <li>シールド工法の適用性があると考えられる。</li> <li>引続き地表面への影響解析等の詳細な検討を行う。</li> <li>あわせて、近接施工への対応についても検討を行う。</li> </ul>	
公田トンネル区間	<ul style="list-style-type: none"> <li>シールド工法の適用性があると考えられる。</li> <li>引続き地表面への影響解析等の詳細な検討を行う。</li> </ul>	
笠間トンネル区間	<ul style="list-style-type: none"> <li>シールド工法の適用性があると考えられる。</li> <li>引続き地表面への影響解析等の詳細な検討を行う。</li> <li>あわせて、沖積層や埋設物等への対応について検討を行う。</li> </ul>	

1

## 2. 検討条件の整理

### 2.1 解析に用いる土質定数について

本解析に用いる土質定数は、土質試験結果に基づいて、下表のとおり設定した。

#### a) 桂台トンネル区間

表 - 2.1 桂台トンネル区間土質定数一覧表

	地層	N値 (回)	単位体積 重量 (kN/m <sup>3</sup> )	変形係数 E 50 (kN/m <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$	粘着力 c (kN/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角 ( $^{\circ}$ )
盛土	bs層(桂台)	21	18.6	21,000	0.33	126	0.0
砂岩・泥岩互層	Nalt層	(210)	19.8	510,000	0.30	1,058	23.5
砂質泥岩、砂質泥岩主体層	Ns-m層	(167)	20.2	647,000	0.30	590	23.1
凝灰質砂岩主体層	Nts層	(137)	19.7	462,000	0.30	1,667	18.6
砂岩層	Ns層	(212)	19.7	370,000	0.30	622	27.5
泥岩～ 泥質砂岩主体層	Nm-s層	(185)	20.2	1,107,000	0.30	459	29.3

( )換算値

#### b) 公田・笠間トンネル区間

表 - 2.2 公田・笠間トンネル区間土質定数一覧表

	地層	N値 (回)	単位体積 重量 (kN/m <sup>3</sup> )	変形係数 E 50 (kN/m <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$	粘着力c (kN/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角 ( $^{\circ}$ )
盛土・埋土・表土	Ts層	4	14.0	2,900	0.38	25.6	0.0
粘性土層	Ac層	2	16.6	1,100	0.44	32.0	0.0
粘性土上部層	Ac1-U層	2	13.9	2,500	0.44	11.9	0.0
有機質粘性土層	Ap層	2	12.1	1,900	0.44	30.0	0.0
粘性土下部層	Ac1-L層	2	16.7	3,300	0.44	28.3	0.0
第1砂質土層	As1層	5	18.4	1,700	0.40	0.0	20.0
第2粘性土層	Ac2層	4	16.1	3,000	0.41	38.0	0.0
第2砂質土層	As2層	17	18.4	12,000	0.33	0.0	30.7
粘性土層	Nc層	15	18.1	4,000	0.33	35.0	0.0
風化泥岩	Oc-w層	24	18.5	61,000	0.30	870.0	16.6
泥岩・砂質泥岩	Oc層	(105)	18.8	292,000	0.30	1,100.0	10.0

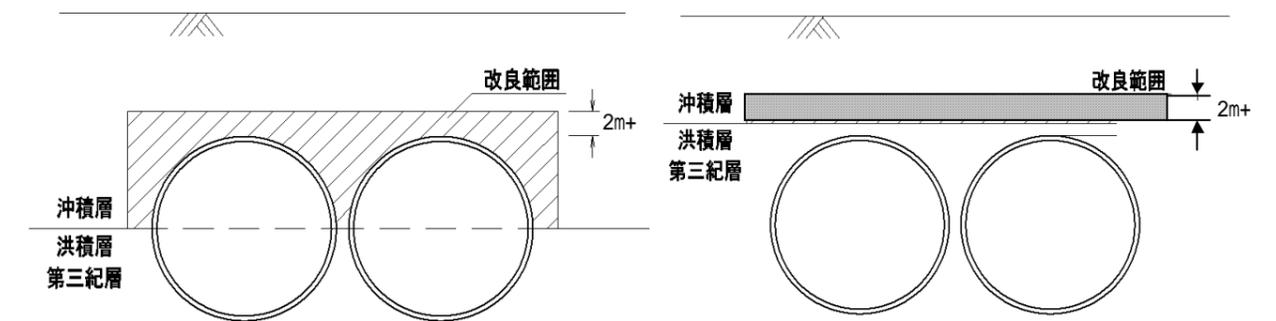
( )換算値

### 2.2 地盤改良範囲の設定方法について

地表面変位の影響解析の結果、無対策のままでは管理目標値を満足できない場合は、地盤改良等の防護工の検討が必要となる。

シールド断面の通過部の地盤改良については、シールド機で改良地盤を切削しながら掘進することに配慮し、実施工上は地山の安定を確保しつつ切削可能な程度の強度に改良することが望ましい。ただし、FEM解析上では、トンネル断面内の改良強度の違いによる影響が小さいと考えられることから、トンネル断面内の地盤改良は考慮しないこととした。

防護工として十分な効果が期待できる地盤改良体の最小厚は施工面から、2m程度であることから、ここでは**最小改良厚を2m**と仮定した。必要改良厚は、FEM解析により地表面変位に対する許容値を満足する厚さを決定する。



(1)頂部に洪積層が存在しない場合

(2)頂部に洪積層が存在する場合

図 - 2.1 南線での地盤改良範囲の設定方法

#### a) 地盤改良する場合の物性値

表 - 2.3 地盤改良する場合の物性値一覧表

工法	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	変形係数 E (kN/m <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$	粘着力 c (kN/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角 ( $^{\circ}$ )
高圧噴射攪拌	現地盤の	100,000	0.4	32.0	0.0

### 3. 解析手法について

#### 3.1 セグメントの構造解析

シールドトンネルの覆工構造は、土・水圧荷重ならびに併設施工の影響（施工時の付加荷重）等を考慮して検討を行う必要がある。このため、単設時および併設時の影響を考慮したセグメント構造の解析を行うこととした。

##### (1) セグメント構造の解析モデル

セグメントの設計に用いる構造解析モデルとして、はり - ばねモデルを適用する。

はり - ばねモデルは、セグメントの構造解析に用いられる一般的な手法であり、セグメント本体を梁に、セグメント継手を回転ばねに、また、リング継手をせん断ばねにそれぞれモデル化し、千鳥組による添接効果も考慮できることから、様々な地盤条件に対しても各セグメントの有する特徴を活かした形で、且つ合理的なセグメントを採用することが可能となる。

以上の特徴から、大断面道路シールドトンネルの設計では「はり - ばねモデル」を採用する事例が多い。

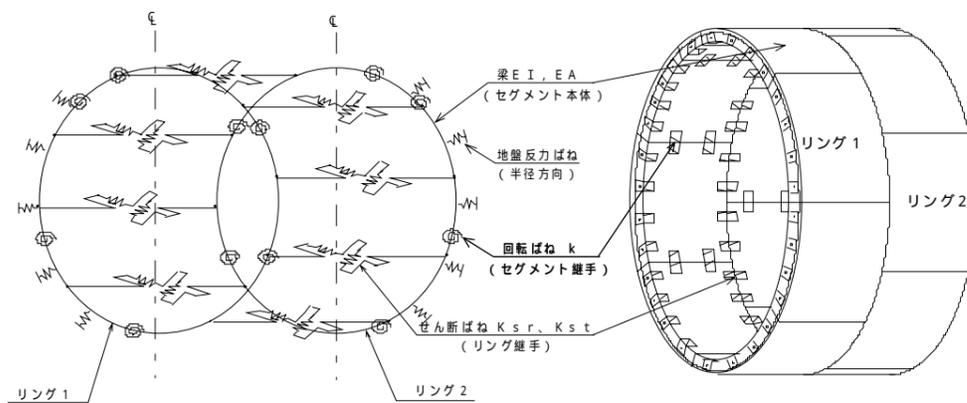


図 - 3.1 構造解析モデル図

##### (2) 併設施工の影響検討

併設トンネルの場合、近接程度によっては後行トンネルの施工にともなって先行トンネルに断面力の変動（増加）が発生すると考えられる。外径 15.0m の併設トンネルで計画されている桂台トンネルは、トンネル間の離隔が非常に近接していることから、その影響はより顕著であるものと予想される。後行トンネルの施工にともなう先行トンネルの増分断面力の算定は、二次元線形弾性 FEM 解析により算定した。

また、併設施工の影響によるトンネル間地盤の弾性状態の判定を、非線形弾性 FEM 解析より塑性に対する安全率を算定し照査を行った。弾性領域ではない（非線形領域または塑性状態）地盤については地盤反力を低減し、これをはり - ばねモデルによる構造解析に反映させた。

#### 3.2 地盤変位の影響検討

密閉型シールド工法は、切羽地山を安定させながら地盤変形を抑制し掘進することから、地盤の変位を最小限に抑えることのできる工法である。しかし、当該シールドトンネルは外径が 15m の大断面を非常に近接して施工するとともに、住宅地に近接（一部は直下を通過）する計画であることから、シールドトンネルの施工にともなう周辺地盤への影響を二次元線形弾性 FEM 解析により定量的に検討した。

#### 3.4 解析フロー

地盤変位の影響検討およびセグメントの構造検討は、以下の解析フローにしたがって実施した。

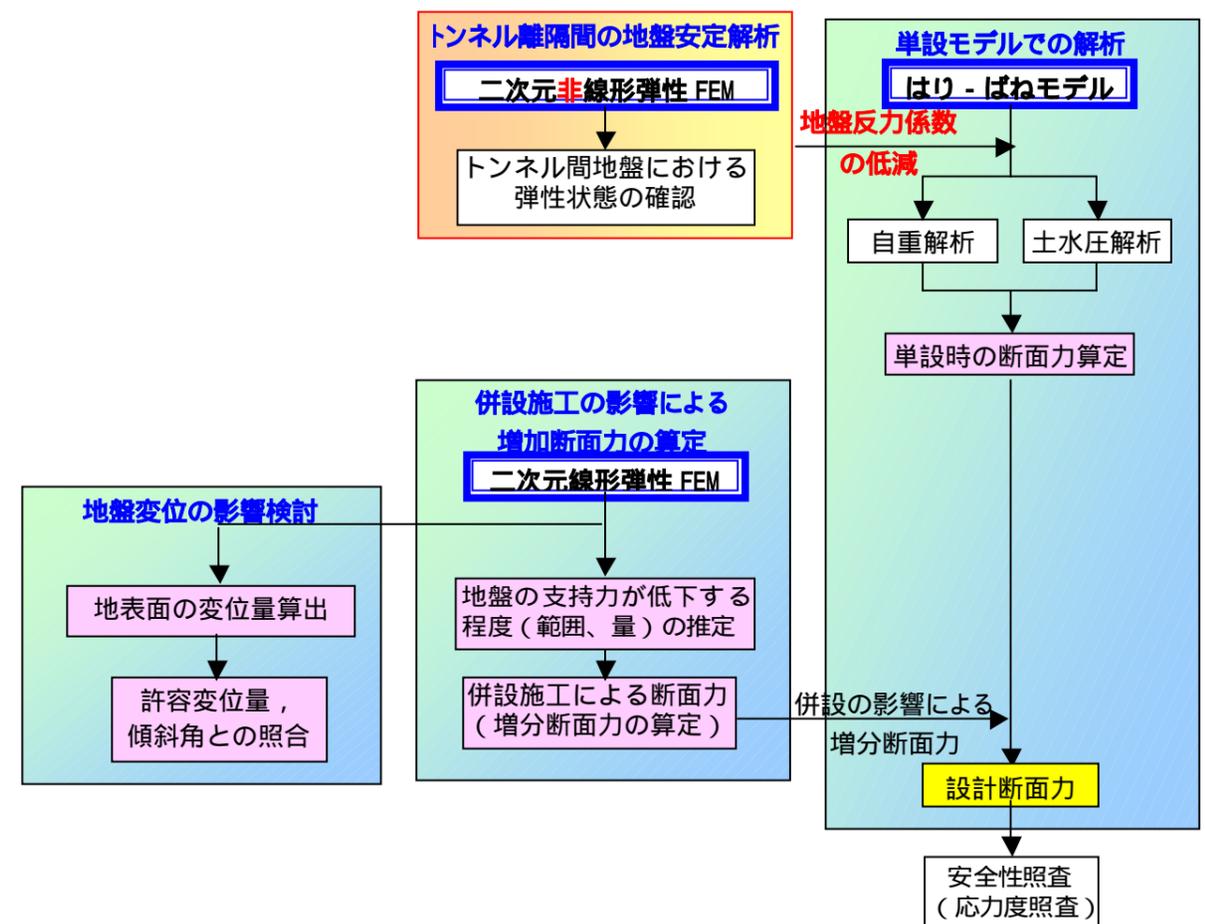


図 - 3.2 影響解析フロー図

### 3.5 検討断面の選定

解析断面の選定にあたっては、当該トンネルの施工区間の中から地層構成やシールド通過部の地盤条件を考慮して、周辺地盤への影響ならびにセグメント構造上で最も厳しい条件となる断面を選定した。

各トンネルの検討断面位置は、図-3.3に示すとおりである。  
 なお、各トンネルの検討断面の選定方針は以下のとおりである。

#### 桂台トンネル区間

- ・トンネル間の離隔が小さい区間
- ・トンネル上部にトンネルへの作用荷重が大きくなる盛土層が存在する区間

**トンネル間離隔が小さく、鉛直土圧が大きくなる STA23+5m【検討断面-1】を選定**

#### 公田トンネル区間

- ・住宅地の直下を通過する区間
- ・土被りが大きく、地下水位の高い区間

**土被りの大きい STA41+40m【検討断面-2】を選定**

- ・トンネル上部に沖積層が存在する区間

**沖積層の存在を考慮し、鉛直土圧が大きくなる STA43+0m【検討断面-3】を選定**

#### 笠間トンネル区間

- ・トンネル上部に沖積層が厚く存在する区間
- ・トンネルの通過する層の地盤強度（変形係数）が小さい区間

**沖積層の存在を考慮し、鉛直土圧が大きかつトンネル断面の地盤強度が小さい STA49+0m**

**【検討断面-4】を選定**

- ・土被りが小さい区間

- ・トンネル上部の硬質地盤が薄く、かつ沖積層が厚く存在する区間

**小土被りで、トンネル上部の地盤強度が小さい STA53+60m【検討断面-5】を選定**

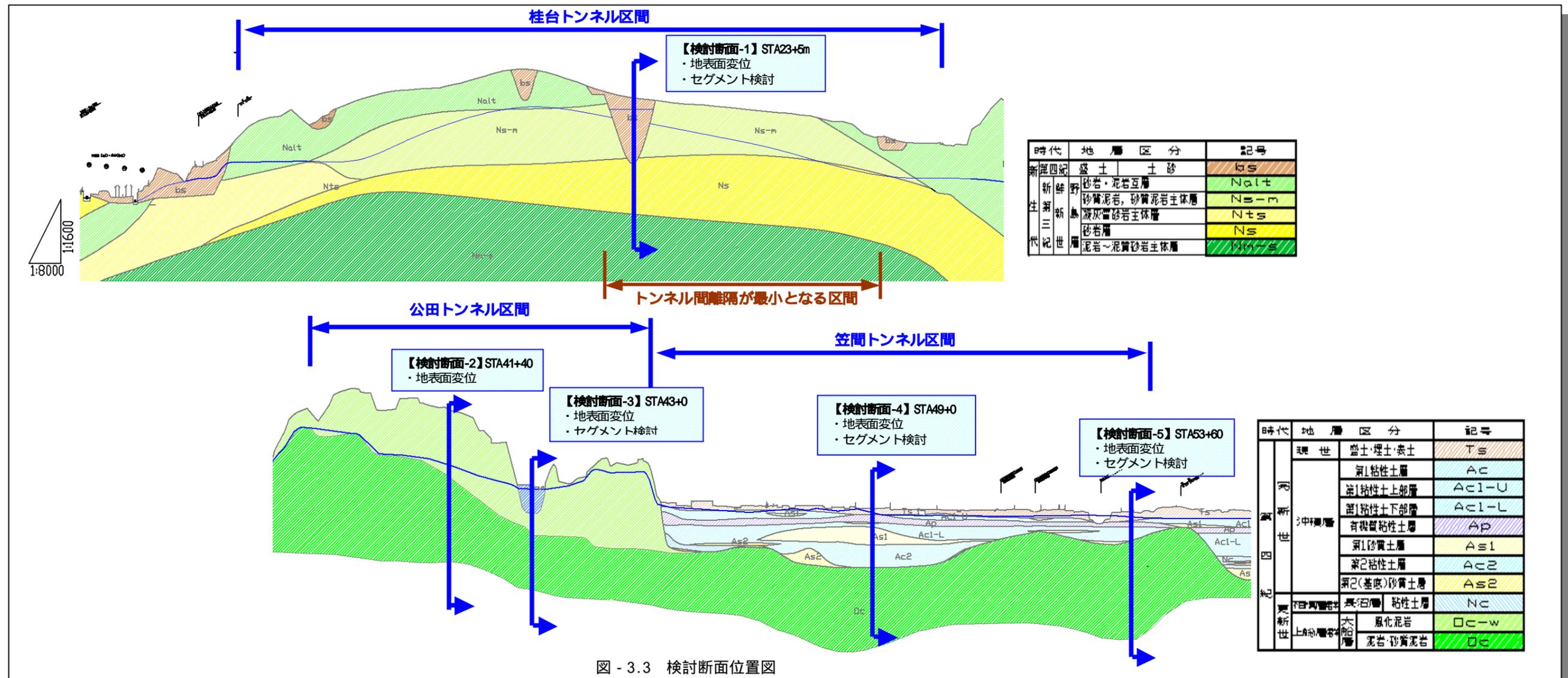


図-3.3 検討断面位置図

#### 4. 解析結果

##### 4.1 地表面変位

解析の結果、各検討断面ともに用地境界での変位量は許容値を十分に満足するものとなった。

ただし、非常駐車帯等の拡幅部については、施工方法等の詳細な検討を行い、別途解析により地表面への影響を検討し、必要な対策を講じるものとする。

##### 4.2 セグメントの構造検討

トンネル単設時については、はり-ばねモデルより算出された断面力に対して、先行トンネルに対しては、単設時断面力と増加断面力を合成した断面力に対して、それぞれ照査を行った。

この結果、各検討断面ともに、近接併設の影響等を考慮しても覆工構造が成立するものとなった。

##### 4.3 解析結果の評価

検討の結果、周辺地盤への影響は変位量、傾斜角ともに許容値を満足する水準であり、当該シールドの構築による影響は軽微であると判断される。また、近接併設の影響等を考慮しても覆工構造が成立すると判断される。

#### 5. 施工計画検討

##### 5.1 土砂搬出計画について

海外では 15m クラスのシールドで約 400m/月の施工実績があり、このような高速施工を可能にするには、連続的かつ効率的な掘削土砂の運搬方法を検討する必要がある。

また、当該路線は住宅地に近接しているため、周辺環境への影響に配慮した土運搬のルートおよび運搬方法を検討する必要がある。

土砂運搬方法については、ベルトコンベヤによって搬送した事例等もあることから、今後の詳細検討では、このような事例等の調査を行い、周辺環境への影響の低減、工期短縮等を目指した土運搬計画の検討を行う。

##### 5.2 立坑位置及び周辺の基地設備用地について

一般部での必要最小土被りは一般に 1.0D ~ 1.5D 程度といわれているが、立坑近傍での土被りとしては、実績から約 0.5D 程度となっている。(D : トンネル外径)

これより、縦断図から土被りが 0.5D 程度になる付近を立坑位置と仮定して、発進基地としての必要面積を整理し、当該立坑付近での設置の可否について検討を行った。

外径 15.0m クラスのシールド発進基地の面積は、泥水式で約 8,000 m<sup>2</sup>、泥土圧式で約 5,000 m<sup>2</sup>以上が必要である。以下に一般的な作業ヤードの配置例を示す。

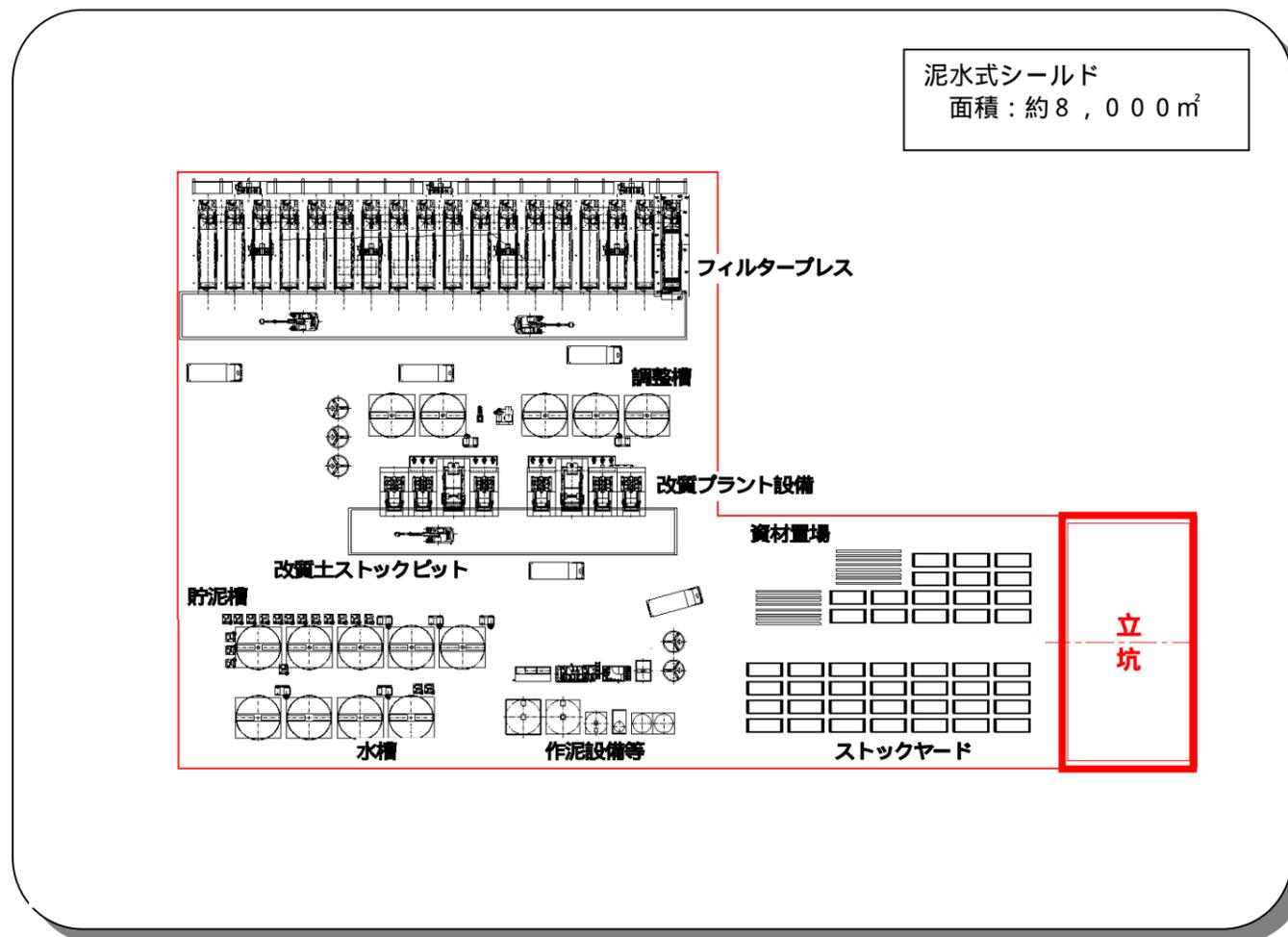


図 - 5.1 発進基地設備配置例 (泥水式シールド)

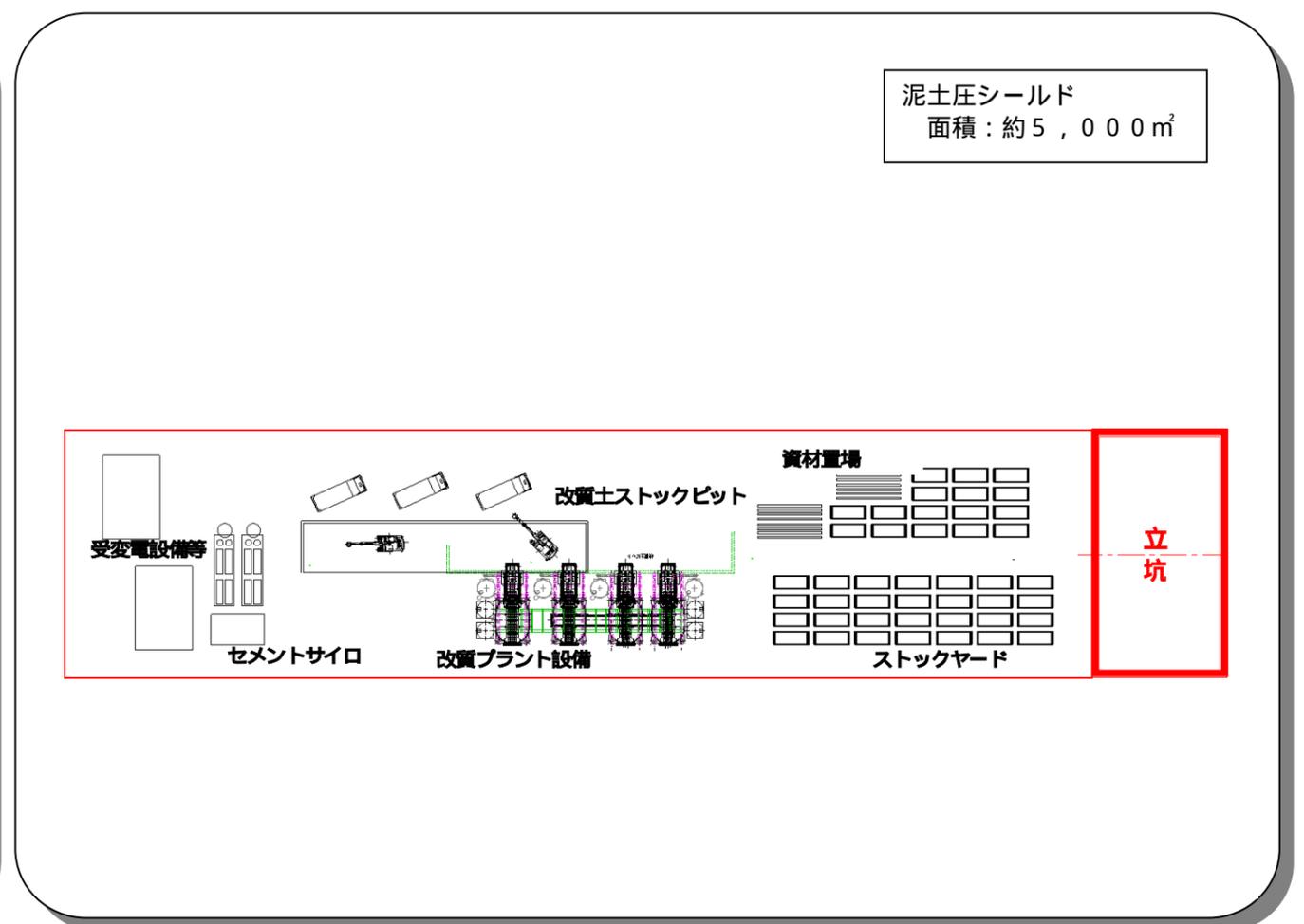


図 - 5.2 発進基地設備配置例 (泥土圧シールド)

発進立坑の候補地は、図 - 5.3 に示す 4 箇所（桂台トンネル：2 箇所、公田トンネル：1 箇所、笠間トンネル：1 箇所）が考えられる。それぞれの箇所において、発進基地として利用できる用地を整理し、発進基地としての利用の可能性を検証した。なお、ここでは必要面積が大きい泥水式シールド（8,000 m<sup>2</sup>）を想定している。

検証の結果、事業用地内の土地を発進基地として利用できることが確認された。立坑および発進基地設備の位置および規模については、今後、詳細に検討を行う必要はあるが、いずれの工法を採用しても発進基地の設置は可能であると判断される。

なお、立坑および発進基地内では、低騒音、低振動型の機械等の採用や防音ハウスの設置など、適切な対策を実施することにより、騒音等の周辺への影響を抑制することが可能であると考えられる。

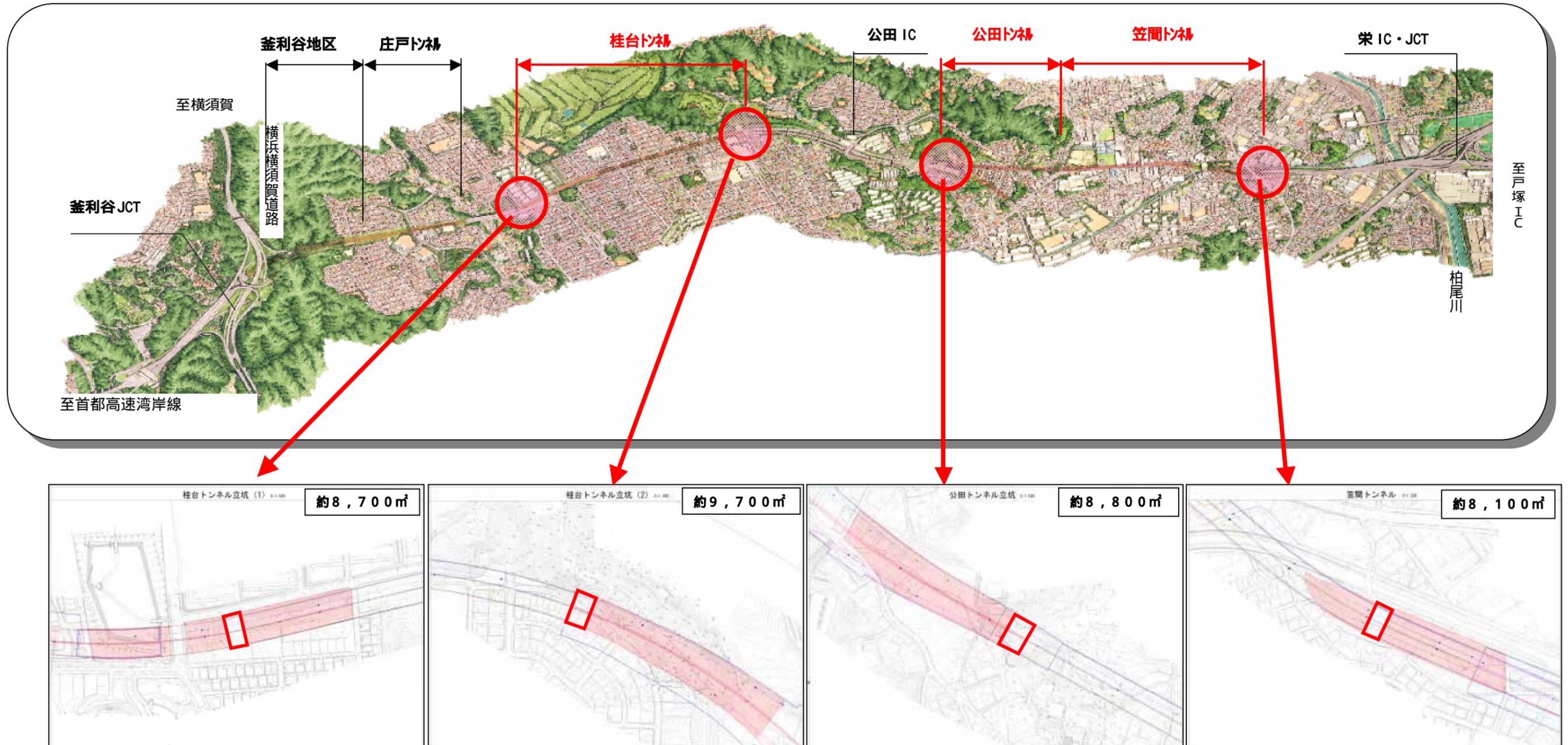


図 - 5.3 発進基地用地検討図

## 5.2 概略工程(案)の検討

当初設計案(NATM+開削工法)とシールド工法を採用した場合の概略工程の比較検討を行った。当初の計画では桂台、公田および笠間トンネルはほぼ同時期に施工を開始する工程であった。これに対して、シールド案はシールド機を1台で施工する案(桂台トンネル施工後、シールド機を転用して公田・笠間トンネルを施工する案)と、シールド機を2台で施工する案(桂台トンネルと公田・笠間トンネルを同時に施工する案)を比較対象とした。これを、図-5.4に示す。

この結果、シールド機1台案では当初設計案と同等程度の工期となった。また、シールド機2台案は工期が3割程度短縮される結果となった。ただし、シールド案についてはまだ概略検討の段階であり、今後、詳細な構造検討および施工計画検討を実施するなどして、精査する必要がある。

ケース	施工方法		桂台トンネル (L=1320m)	公田IC (L=1060m)	公田トンネル (L=660m)	笠間トンネル (L=920m)	トンネル工事期間 (比)
当初設計案	NATM + 開削	掘削 順序  各トンネル 平行して施工		公田IC			1.0
シールド案	シールド 1台案	掘削 順序  桂台トンネル ↓ マシン転用 ↓ 公田・笠間トンネル		公田IC			0.9
	シールド 2台案	掘削 順序  桂台トンネル (1台) ↓ 公田・笠間トンネル (1台)		公田IC			0.7

図-5.4 概略工程の比較検討図

## 6. 地下水への影響検討

### 6.1 シールド工法の場合の地下水への影響

シールド工法は、土・水圧に対してバランスを保ちながら掘削する密閉型の非開削工法であるため、施工中も水を抜かない工法である。完成後のトンネルは、セグメント構造により、高い止水性能を有している。地下水に影響を与える恐れがある状況としては、以下のケースが考えられる。

それぞれのケースについて、シールドトンネル施工に伴う地下水への影響の有無について検討を行った。

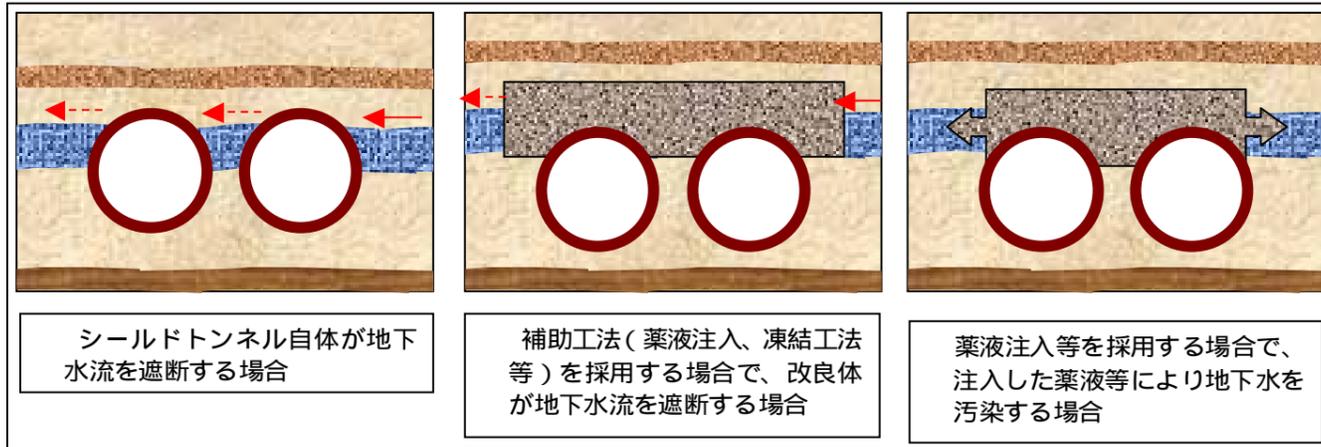


図 - 6.1 シールドトンネルが地下水に影響を与えるケース

#### (1) シールドトンネル自体が地下水流を遮断する場合

- ・ 桂台トンネル、公田トンネル、笠間トンネルいずれのトンネルも地下水位以下をトンネル本線が通過する。
  - ・ 地下水の流向と計画路線とが並行している。
- したがって、シールドトンネルによる地下水流の阻害による影響はほとんど無いと考えられる。

#### (2) 補助工法の改良体が地下水流を遮断する場合

- ・ 解析結果では地盤改良が必要となる区間はいずれのトンネルにも無かった。
  - ・ 今後の検討によっては、地盤改良が必要となった場合でも、その範囲は小さいと考えられる。
  - ・ 地下水の流向と計画路線とが並行している。
- したがって、補助工法の改良体による地下水流の阻害による地下水環境への影響はほとんど無いと考えられる。

#### (3) 薬液注入等を採用する場合で、注入した薬液等により地下水を汚染する場合

地下水への影響については、「薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針」に従い、必要な工法を選定し、施工時には十分な地下水管理を行うことにより、影響はほとんど生じないと考えられる。

以上の結果より、当該地区ではシールド工法を採用することによる地下水への影響はほとんど無いと考えられる。

ただし、今後詳細に検討を進めていく上で地下水への影響が懸念される場合には、改めて地下水への影響について検討を行う必要がある。

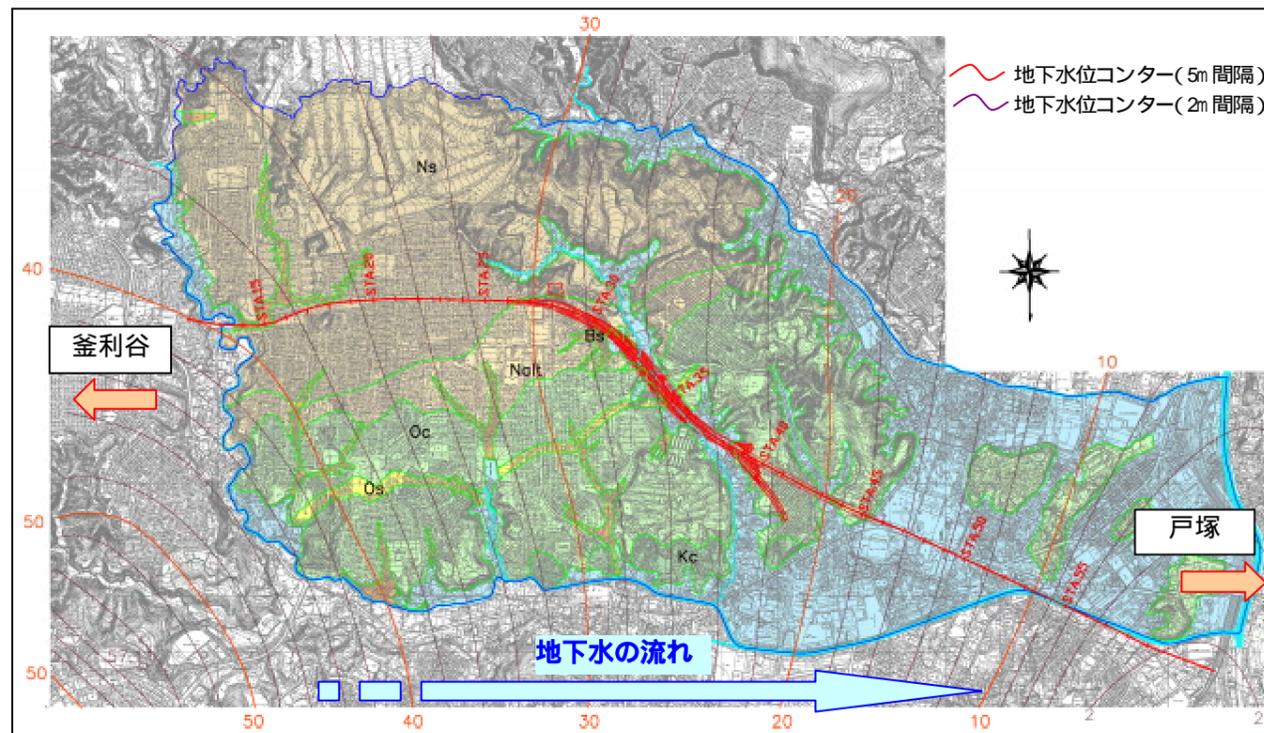


図 - 6.2 地下水位コンター図 出典：平成 16 年度 横浜環状南線設計施工基本検討業務報告書 平成 16 年 7 月 (財) 高速道路技術センター

## 7. シールド工法の評価

### 土質について

- (1) 桂台トンネル  
全線にわたり地盤強度の大きい地盤を通過し、土被りも十分確保されており、シールド工法での施工に問題はない。
- (2) 公田トンネル  
全線にわたり地盤強度の大きい地盤を通過し、土被りも十分確保されており、シールド工法での施工に問題はない。
- (3) 笠間トンネル  
地盤強度の大きい地盤を最大限通過する線形とすることで、一部区間において沖積層を通過するが、シールド工法での施工に問題はない。

### 地表面変位について

- (1) 桂台トンネル  
許容値を十分に満足するものと考えられ問題はない。
- (2) 公田トンネル  
許容値を十分に満足するものと考えられ問題はない。
- (3) 笠間トンネル  
許容値を十分に満足するものと考えられ問題はない。

### セグメント構造について

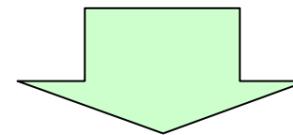
近接併設の影響等を考慮しても覆工構造は成立し、事業用地幅内での施工が可能である。

### 地下水について

シールド工法は止水構造であるので、施工中も含め完成後も地下水を低下させることはほとんど無いと考えられる。  
また、地下水の流向と計画路線とが並行しており、シールド本線による地下水流遮断の心配はほとんど無いと考えられる。

### 施工計画検討について

- (1) 立坑について  
計画用地内での発進基地ヤードの確保は可能である。立坑構造等については、今後詳細な検討を行う必要がある。
- (2) 概略工程について  
概略検討では、シールド工法を採用した場合でも、シールド機1台案では当初設計案と同等程度の工期で施工が可能である。今後、周辺環境への影響に配慮しながら、詳細な検討を行う必要がある。



### シールド工法の評価

- ・ シールドトンネル技術の進歩により、都市部における開削工法およびNATMとの比較の対象となってきた。
- ・ シールド工法を採用することにより、周辺環境への影響を大幅に軽減することが可能である。
- ・ 今後、構造および施工計画等の詳細な検討を行うことにより、工期短縮の可能性はある。

「周辺環境への影響の軽減」については、詳細な施工計画等の検討を行ったうえで、軽減効果の照査を行う必要があるが、シールド工法を採用することによるメリットは大きいと考えられる。