

都市型トンネル施工技術検討会

第2回検討会

資料

平成20年5月27日

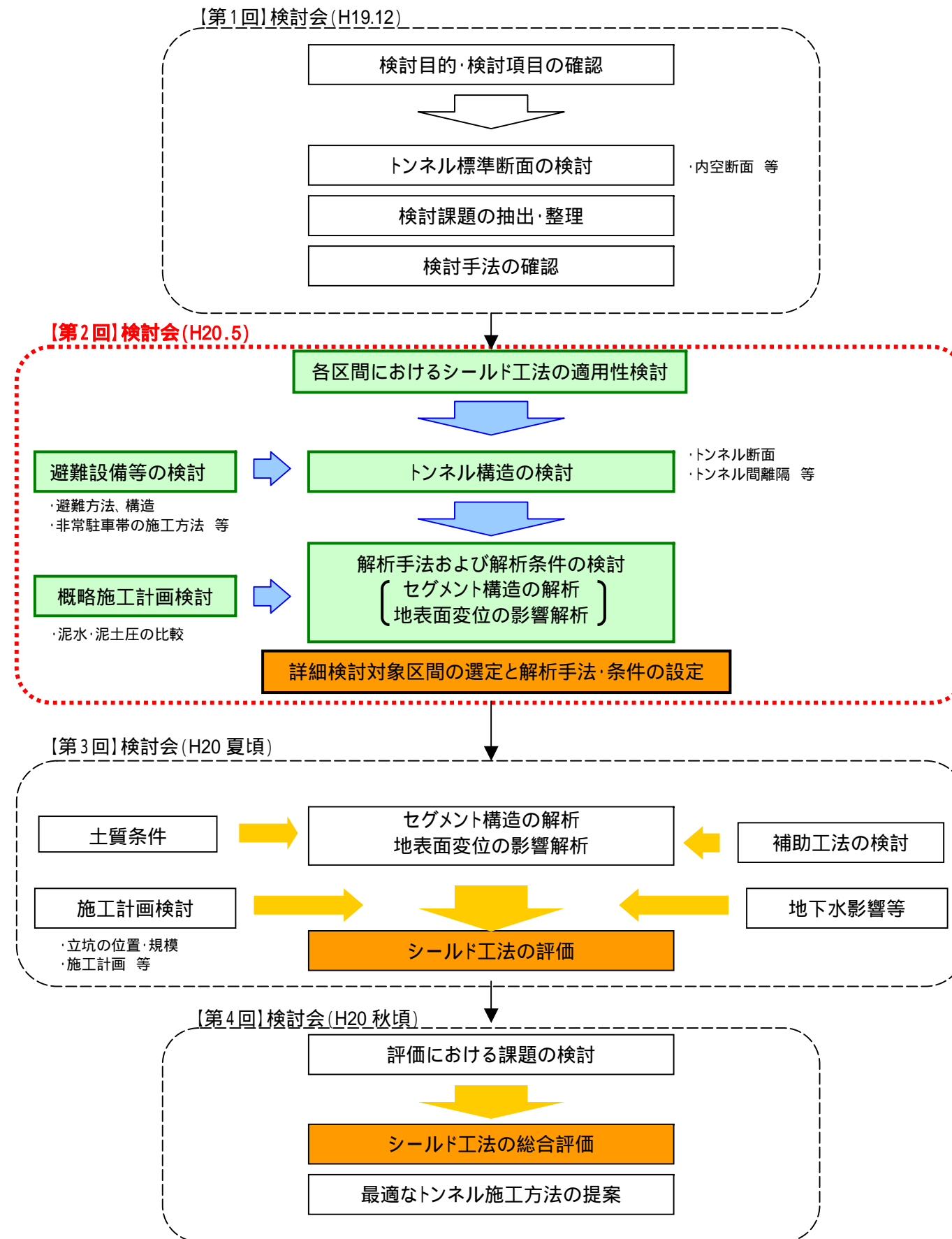
東日本高速道路株式会社 関東支社 横浜工事事務所

財団法人 高速道路技術センター

目 次

1 . シールド工法の適用性の検討	2
2 . 非常駐車帯および避難設備等の検討	9
3 . 解析手法および解析条件の検討	10
4 . シールド工法の比較検討（泥水式・泥土圧式）	13

検討フロー



1. シールド工法の適用性の検討

1.1 検討結果

1.1.1 全体概要

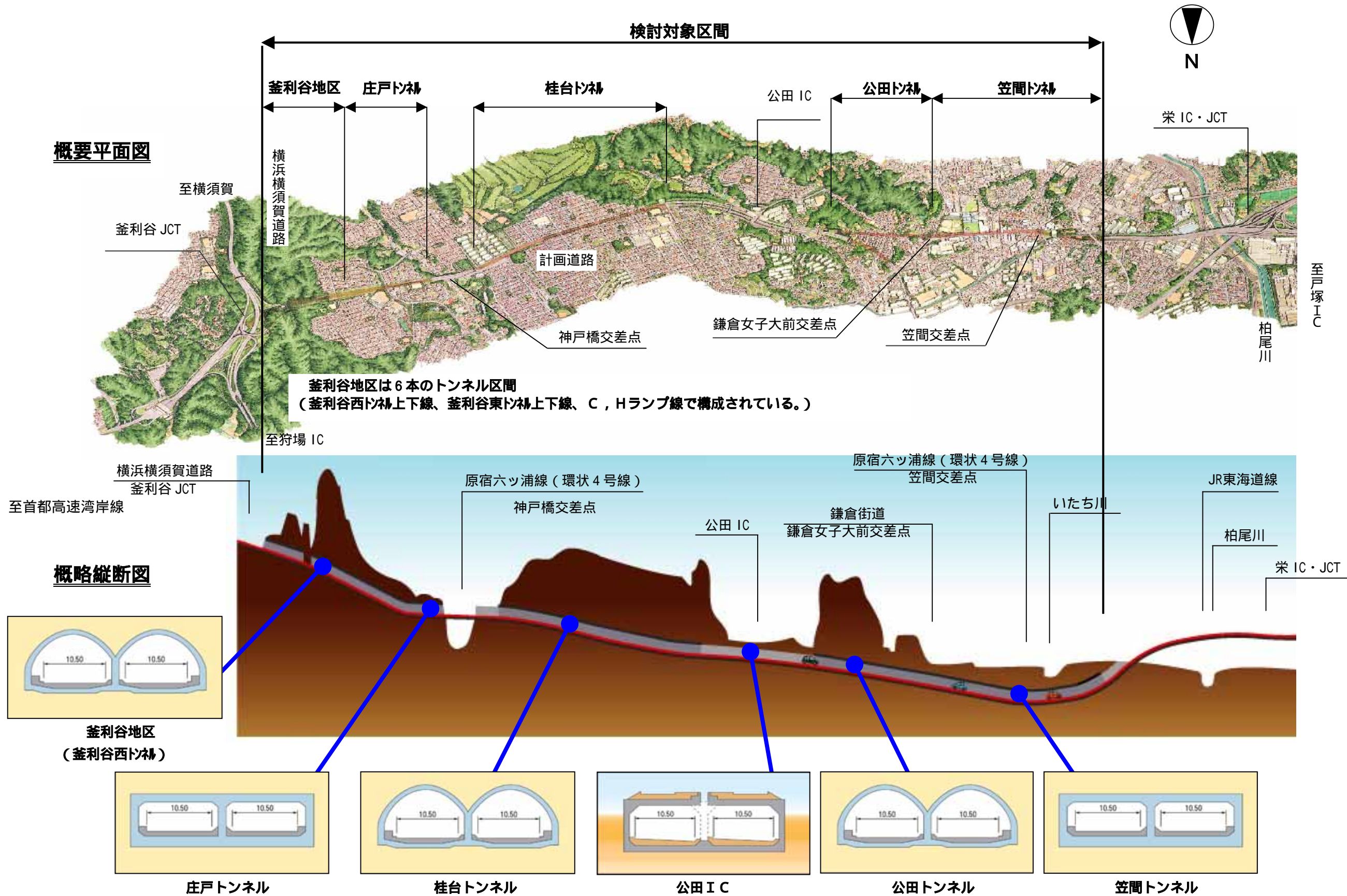
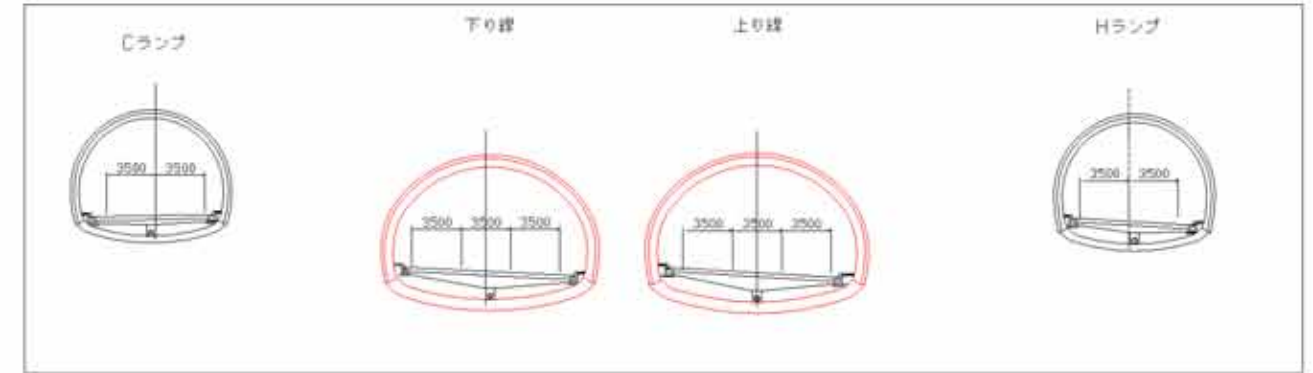


図-1.1 全体概要図

1.1.2 各区間の検討結果について

(1) 釜利谷地区（当初設計：NATM工法）

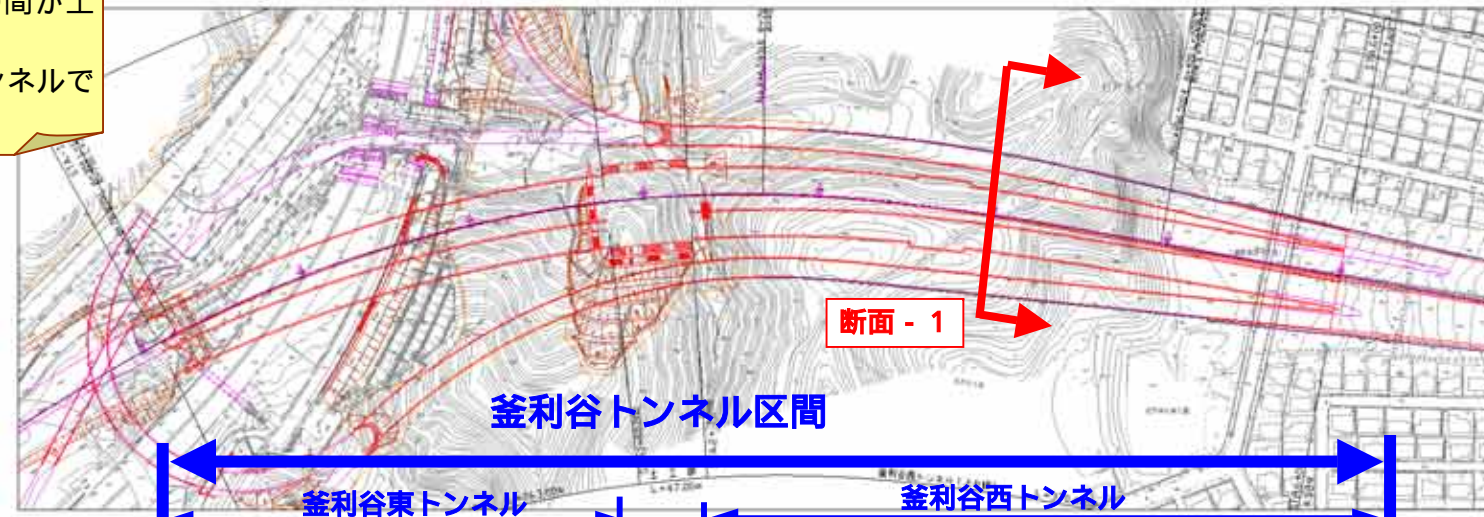
- ・ 区間のほとんどが丘陵地を通過し、一部の区間で住宅地に隣接する。
- ・ 本線4本、ランプ2本の比較的短いトンネルに分割されており、シールド工法を採用した場合、以下の点から施工の合理性、効率性が非常に低い。
 それぞれのトンネルごとに発進・到達設備が必要となる。
 本線とランプとは断面が異なるため別のシールドマシンが必要となる。
- ・ シールド工法を採用した場合には、下方掘削断面が大きくなることから、日野ずい道により近接する。



・ 釜利谷西トンネルと釜利谷東トンネルの間が土工部となる。
 ・ 延長が短い本線4本、ランプ線2本のトンネルで構成されている。

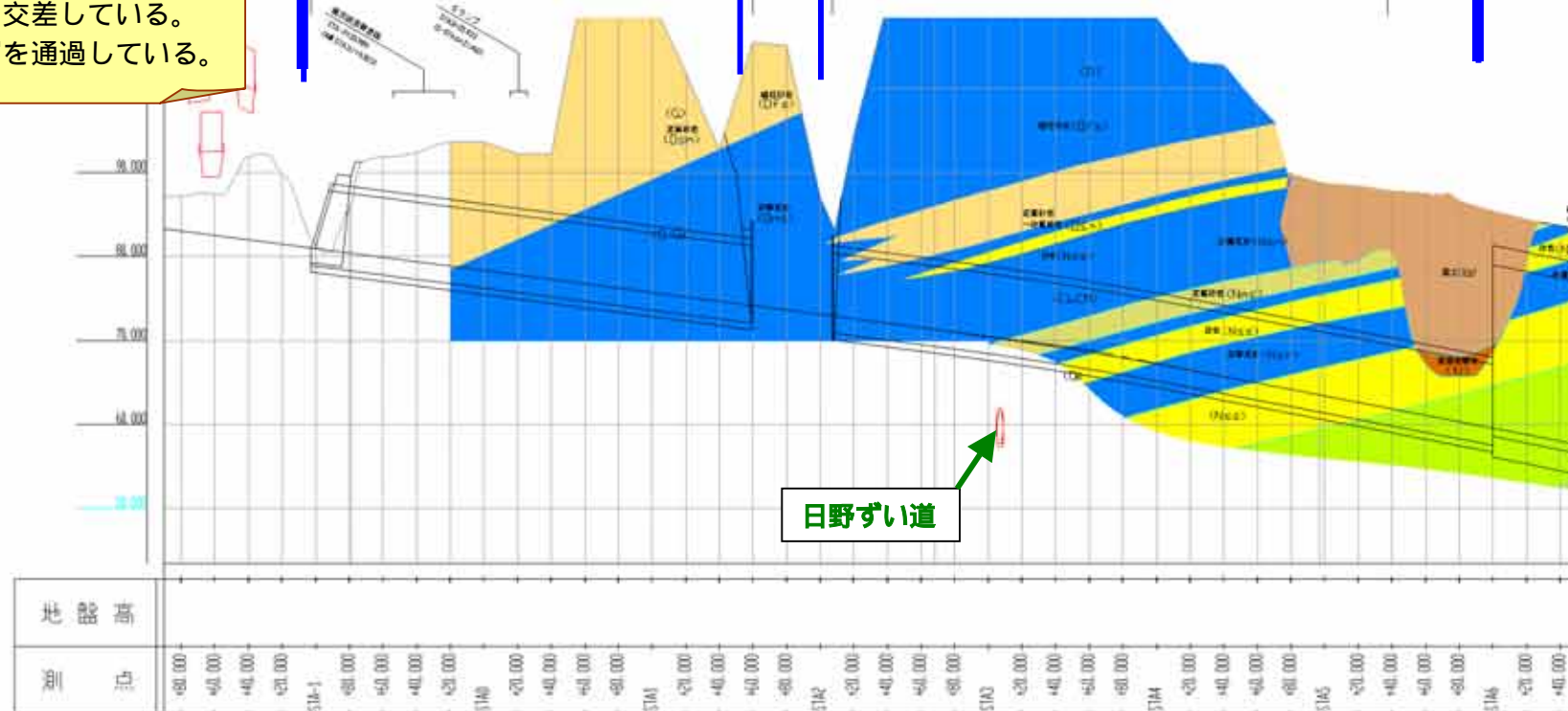
平面図

- ・ 釜利谷東トンネル(上り、下り) : 263m, 271m
- ・ 釜利谷西トンネル(上り、下り) : 370m, 376m
- ・ 釜利谷ジャンクション
 Cランプトンネル : 405 m
 Hランプトンネル : 582 m



・ 日野ずい道と近接して上越し交差している。
 ・ 主に良質な砂質泥岩、砂岩層を通過している。

縦断面図



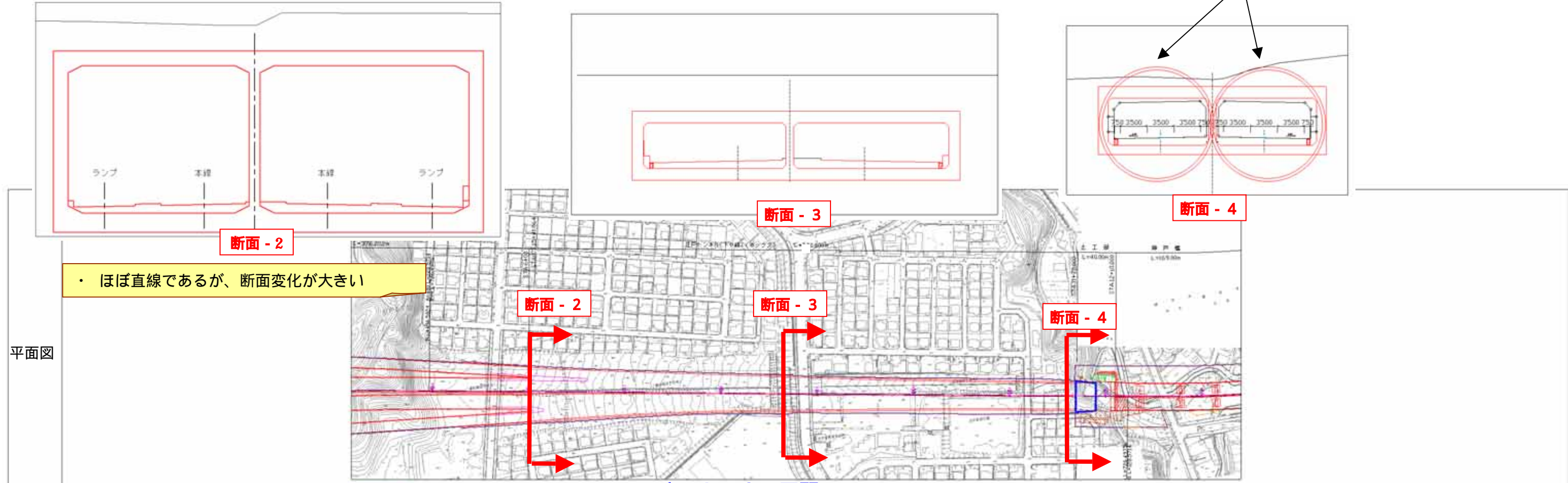
地質時代	地層名	岩相・層相	記号
第四紀 更新世	盛土	土砂	bs
	崖錐堆積物	シルト、砂礫等	tl
	沖積層	シルト、砂	al
	ローム層	風化火山灰、黒ボク	im
	小栗層	砂質泥岩	kss
		細～中粒砂岩	kfs
		貝殻混り粗粒砂岩	kcs
	大船層	泥岩、凝灰質泥岩	on
		砂質泥岩	om
		泥質砂岩、泥質砂岩～砂質泥岩	oms
第三紀 鮮新世	野島層	泥岩、泥岩主体層	fn
		砂質泥岩、砂質泥岩主体層	Wm
	泥岩～泥質砂岩主体層	Nms	
	砂岩・泥岩互層	Nalt	
	砂岩主体層	Ns	
砂岩層	Nss		

縦断線形は当初設計のものである。
 地層構成・層厚は想定である。

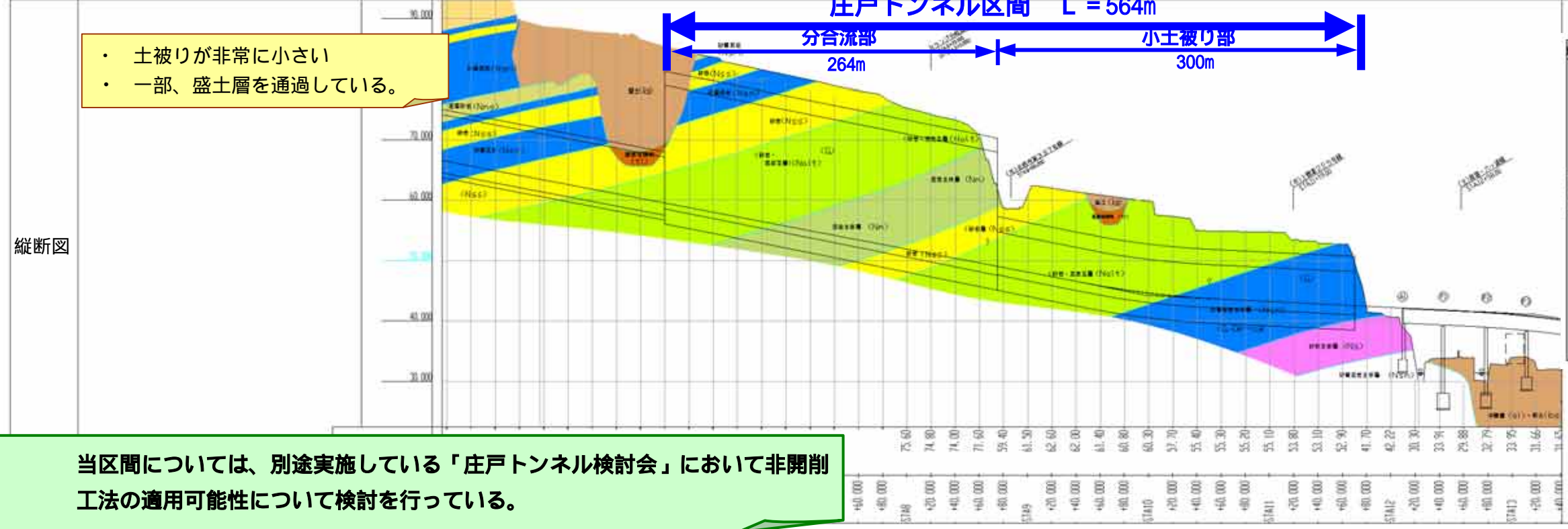
(2) 庄戸トンネル区間（当初設計：開削工法）

- ・ 区間全体にわたり、住宅地に隣接している。
- ・ 土被りが非常に小さく、一部区間ではシールド断面が地上に出てしまうことから、円形シールドによる施工ができない。
- ・ 一部区間ではトンネル間離隔を確保することができず、円形シールドによる施工ができない。
- ・ 釜利谷ジャンクションでの分岐・合流のため、断面変化を行う必要があり、単一断面のシールド工法で施工することができない。

- ・ シールド断面が地上に出てしまう。
- ・ トンネル間離隔が確保できない。



平面図



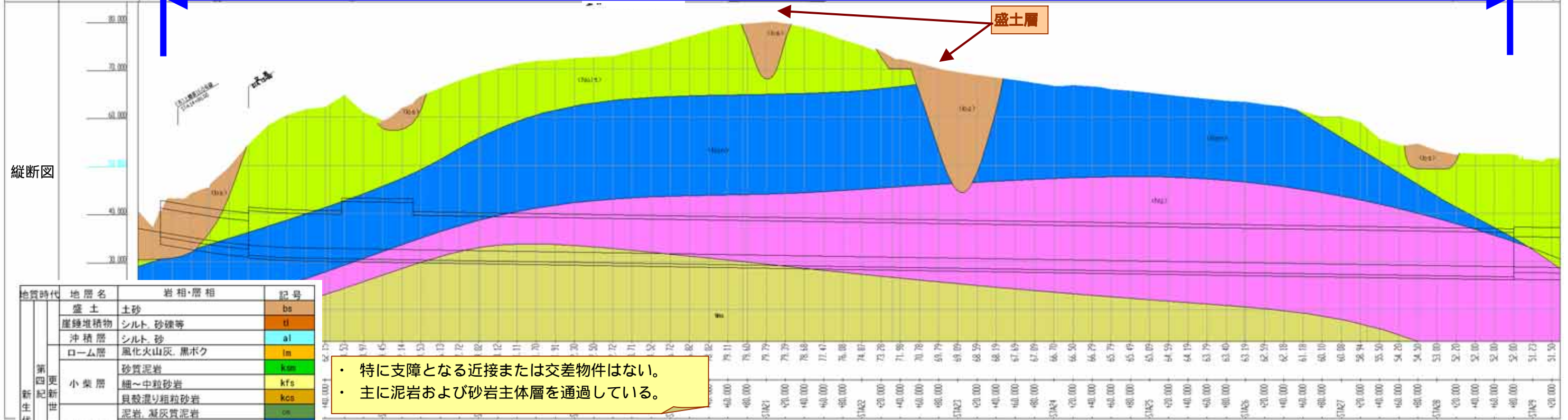
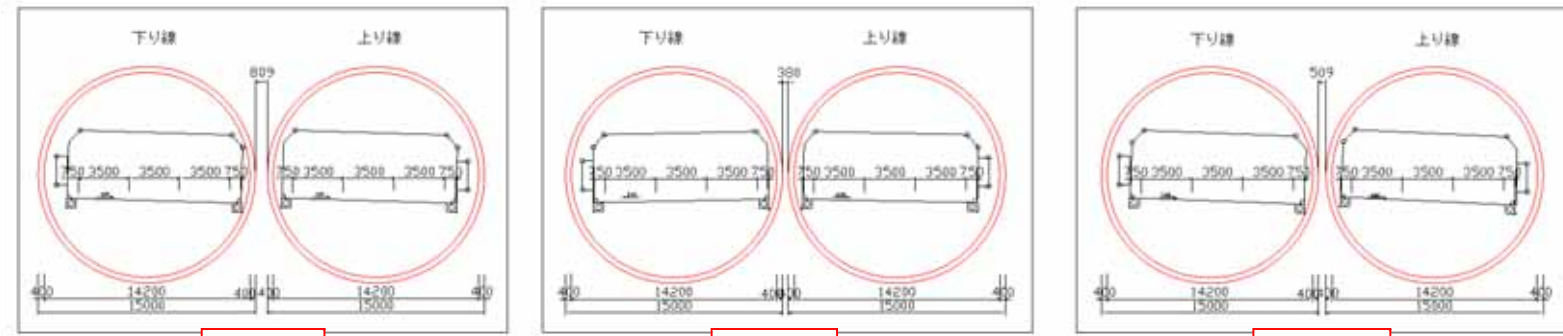
縦断図

地質時代	地層名	岩相・層相	記号
第四紀 更新世	盛土	土砂	bs
	崖錘堆積物	シルト、砂礫等	ti
	沖積層	シルト、砂	ai
	ローム層	風化火山灰、黒ク	lm
第四紀 新世	小柴層	砂質泥岩 細～中粒砂岩	kam kfs
	大船層	貝殻混り粗粒砂岩	kcs
		泥岩、凝灰質泥岩	on
第三紀 鮮新世	野島層	砂質泥岩 泥質砂岩、泥質砂岩～砂質泥岩	osb ams
	野島層	泥岩、泥岩主体層	ns
		砂質泥岩、砂質泥岩主体層	nsm
		泥岩～泥質砂岩主体層	nms
		砂岩・泥岩互層	nsit
砂岩主体層	ns		
砂岩層	nsa		

縦断線形は当初設計のものである。
地層構成・層厚は想定である。

(3) 桂台トンネル (当初設計 : NATM 工法)

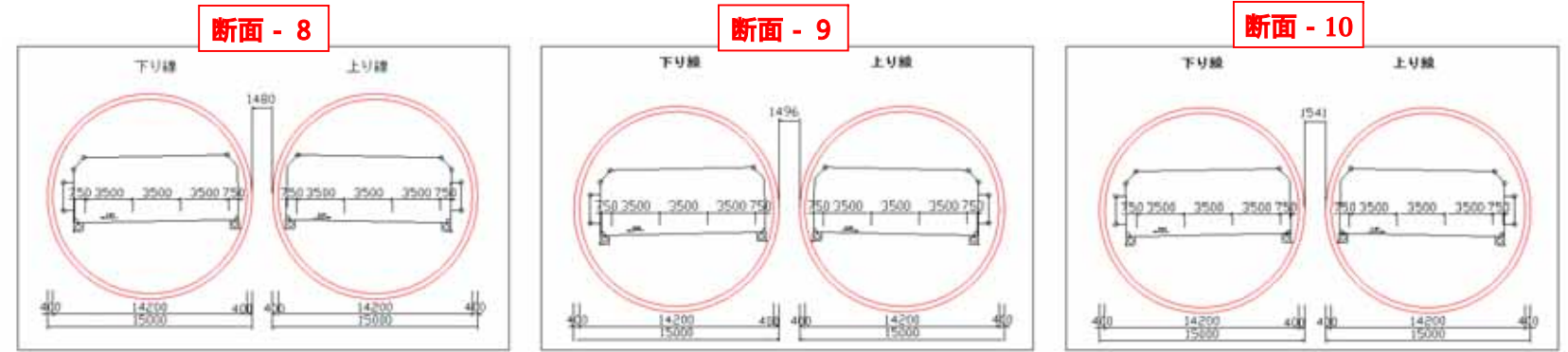
- ・ 区間のほぼ全体が、住宅地に極めて近接している。
- ・ 一定断面で連続して施工することが可能である。
- ・ ただし、2本のトンネルを非常に近接して配置する必要がある。



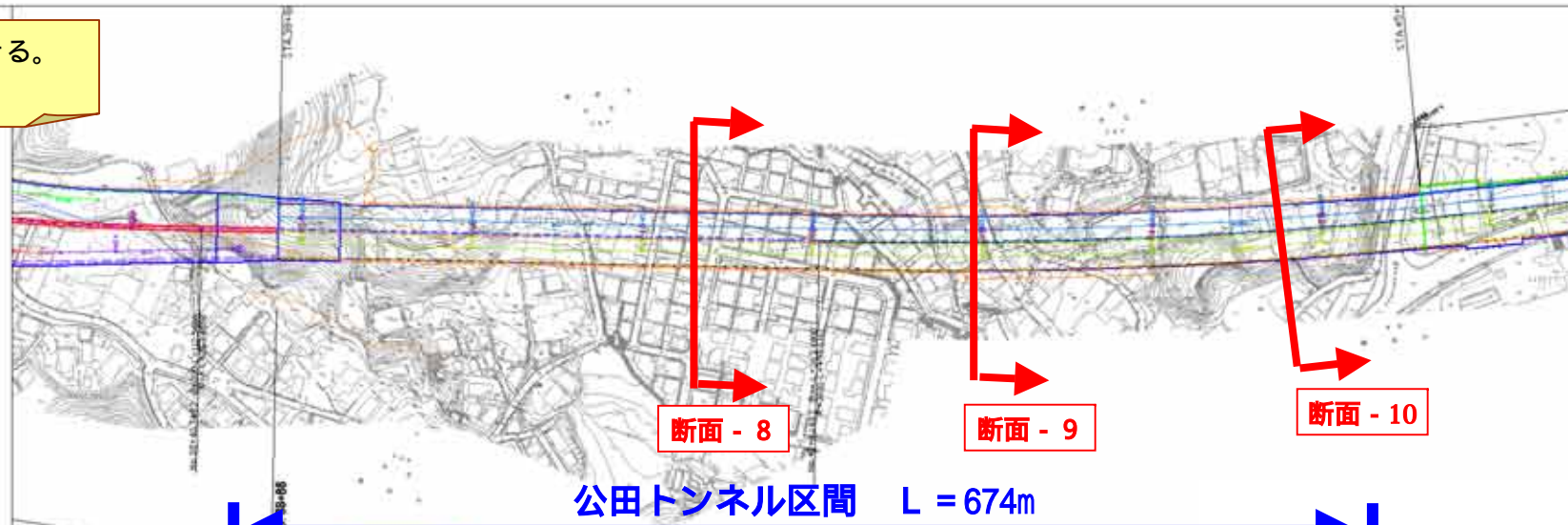
縦断面は当初設計のものである。
地層構成・層厚は想定である。

(4) 公田トンネル区間（当初設計：NATM工法）

- ・ 区間の一部において、住宅地の直下を通過する。
- ・ 公田トンネル区間と笠間トンネル区間とを、一定断面で連続して施工することが可能である。
- ・ トンネル間離隔は約 1.5m 確保して配置することができる。

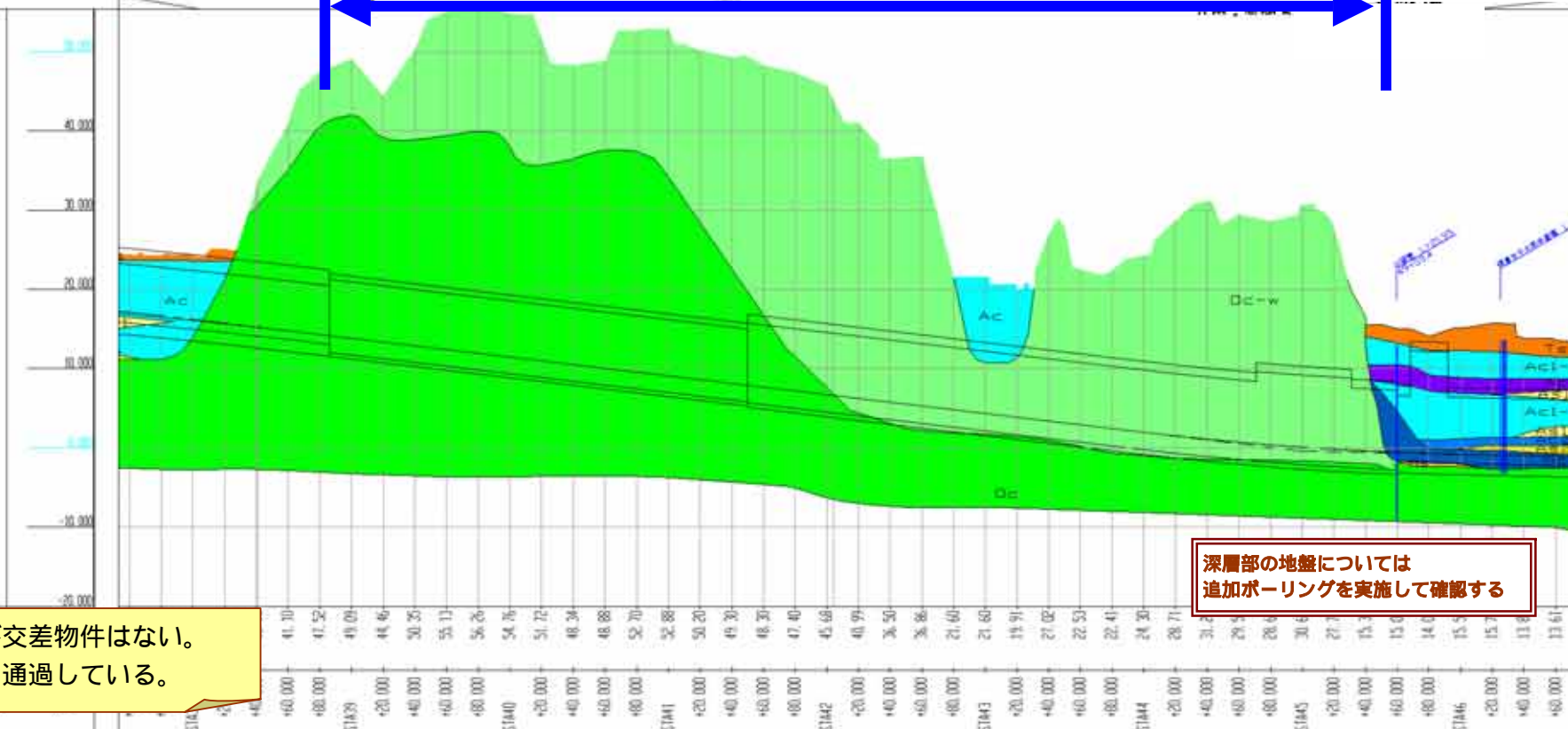


平面図



- ・ トンネル間離隔は約 1.5m 確保できる。
- ・ 住宅地の直下を通過する。

縦断面



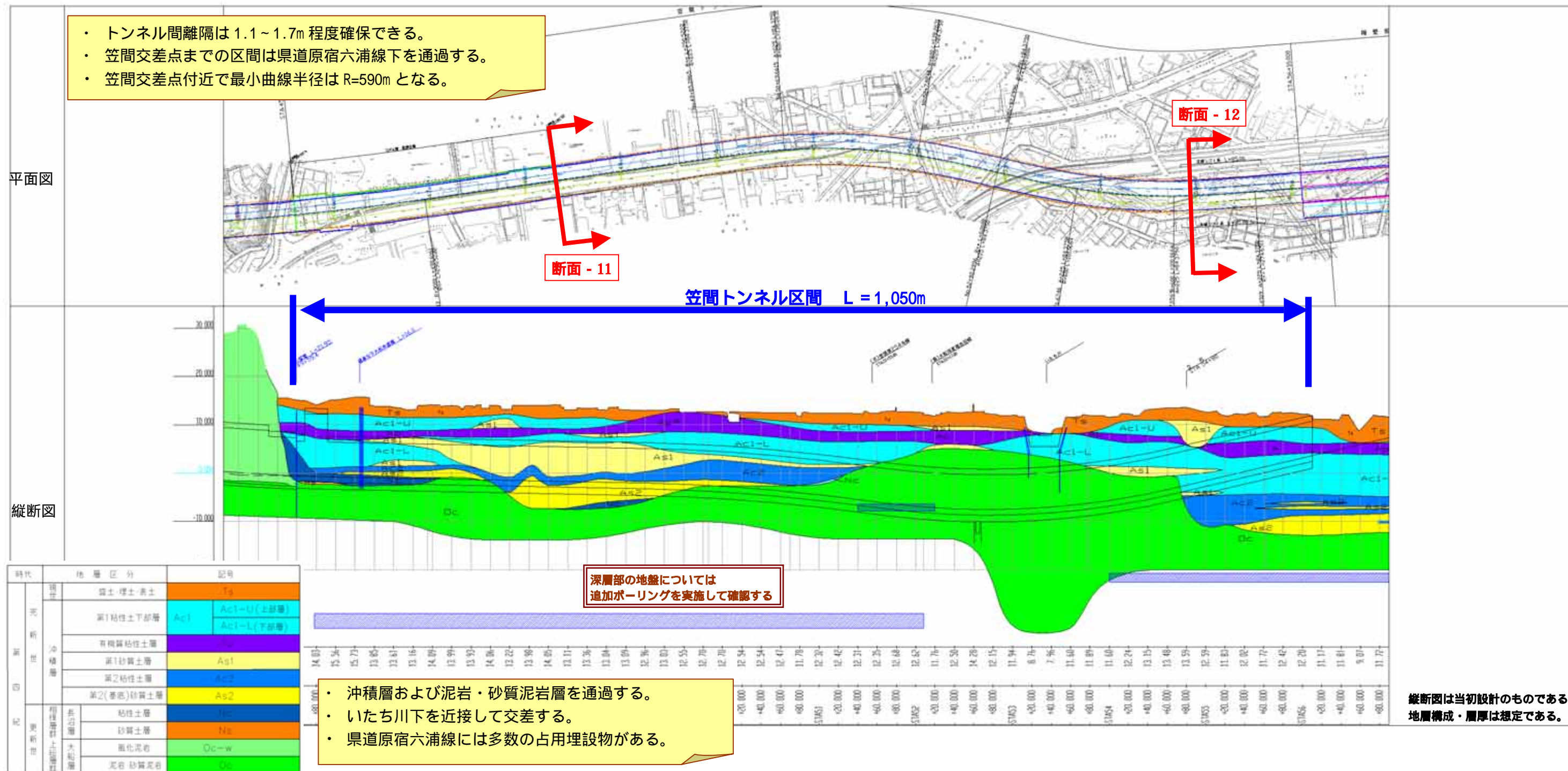
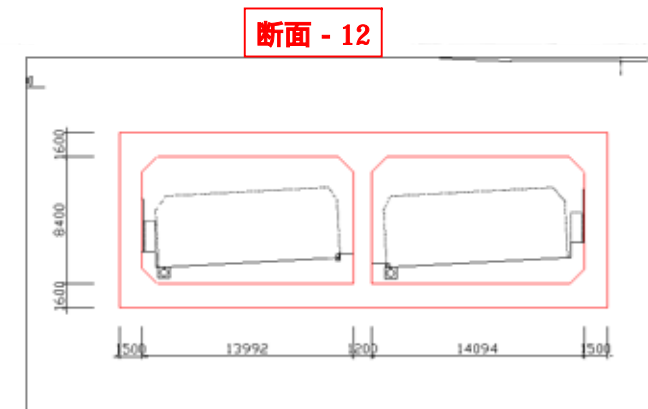
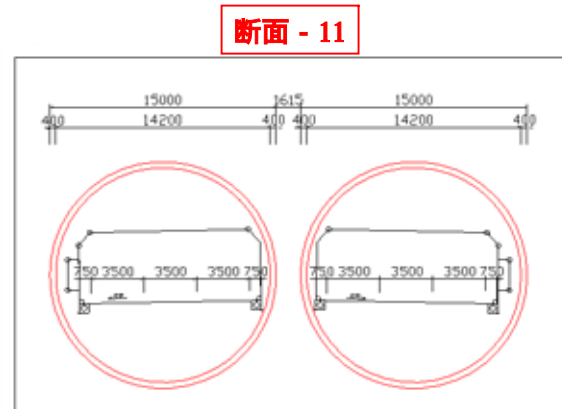
- ・ 特に支障となる近接及び交差物件はない。
- ・ 主に泥岩・砂質泥岩層を通過している。

時代	地層区分	記号
更新世	礫土・埋土・黄土	Ts
	第1粘性土下部層	Ac1-U(上部層)
		Ac1-L(下部層)
	有機質粘性土層	As
	第1砂質土層	As1
	第2粘性土層	Ac2
第2(基底)砂質土層	As2	
更新世	粘性土層	Nc
	砂質土層	Ns
	風化泥岩	Oc-w
	泥岩・砂質泥岩	Oc

縦断面は当初設計のものである。
地層構成・厚層は想定である。

(5) 笠間トンネル区間（当初設計：開削工法）

- ・ 幹線道路下、河川下を通過する。また、一部区間では住宅地に近接する。
- ・ 公田トンネル区間と笠間トンネル区間とを合わせて一定断面で連続して施工することが可能である。
- ・ トンネル間隔は 1.1～1.7m 程度確保して配置することができる。
- ・ シールド工法を採用した場合、道路やライフラインの切り回しを削減できる。（一部、地下埋設物との近接施工や支障移設等は必要）
- ・ 沖積層に留意する必要がある。



(6) 検討結果

各トンネルの諸条件から得られるシールド工法の適用性は以下の通りである。

今後は、シールド工法の適用性があると考えられる桂台トンネル、公田トンネル、笠間トンネルについて、さらに詳細な検討を進めていく。

表-1.1 検討結果一覧表

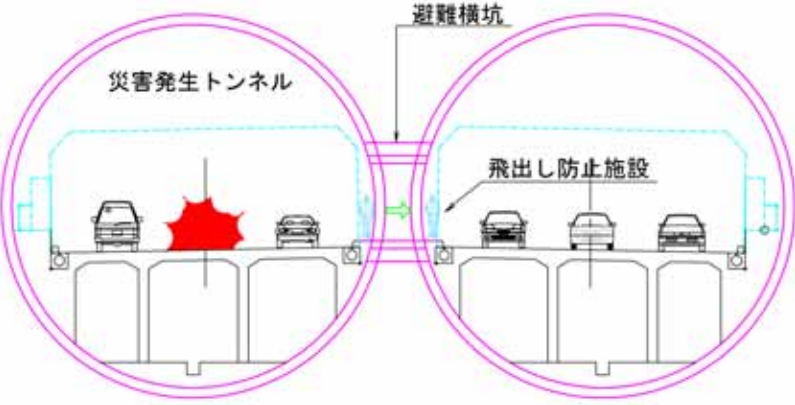
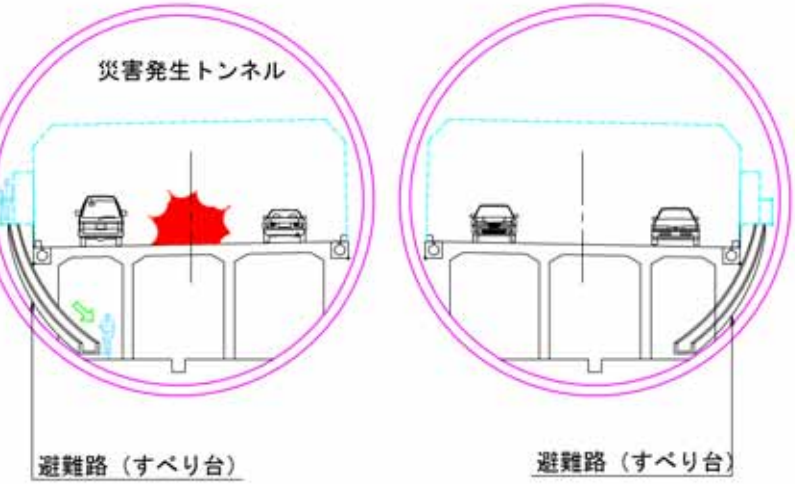
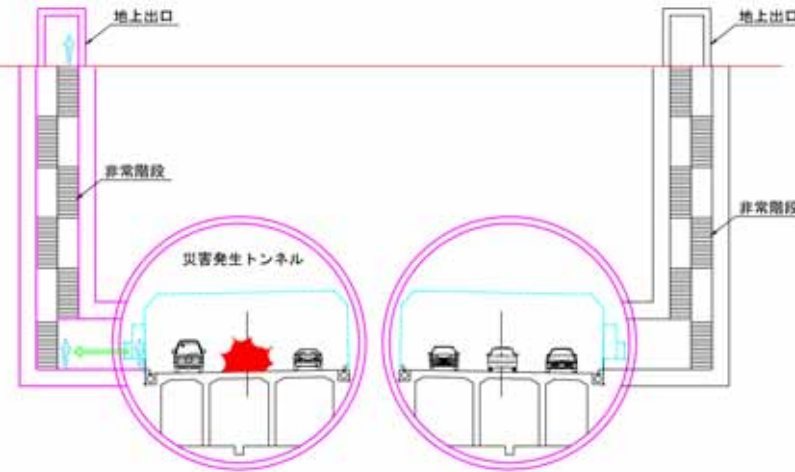
区間	シールド工法適用に関する各区間の状況	シールド工法の適用性	備考
釜利谷地区 釜利谷西トンネル 釜利谷東トンネル 釜利谷ジャンクションCランプトンネル 釜利谷ジャンクションHランプトンネル	<ul style="list-style-type: none"> 区間のほとんどが丘陵地を通過し、一部の区間で住宅地に隣接する。 本線4本、ランプ2本の比較的短いトンネルに分割されており、シールド工法を採用した場合、以下の点から施工の合理性、効率性が非常に低い。 それぞれのトンネルごとに発進・到達設備が必要となる。 本線とランプとは断面が異なるため別のシールドマシンが必要となる。 シールド工法を採用した場合には、下方掘削断面が大きくなることから、日野ずい道により近接する。 	<ul style="list-style-type: none"> シールド工法での施工には適さない。 NATM工法による施工が妥当と考えられる。 	
庄戸トンネル区間	<ul style="list-style-type: none"> 区間全体にわたり、住宅地に隣接している。 土被りが非常に小さく、一部区間ではシールド断面が地上に出てしまうことから、円形シールドによる施工ができない。 一部区間ではトンネル間離隔を確保することができず、円形シールドによる施工ができない。 釜利谷ジャンクションでの分岐・合流のため、断面変化を行う必要があり、単一断面のシールド工法で施工することができない。 	<ul style="list-style-type: none"> シールド工法での施工には適さない。 	<ul style="list-style-type: none"> 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」において引続き検討していく。
桂台トンネル区間	<ul style="list-style-type: none"> 区間のほぼ全体が、住宅地に極めて近接している。 一定断面で連続して施工することが可能である。 ただし、2本のトンネルを非常に近接して配置する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> シールド工法の適用性があると考えられる。 引続き地表面への影響解析等の詳細な検討を行っていく。 あわせて、近接施工への対応についても検討を行う。 	
公田トンネル区間	<ul style="list-style-type: none"> 区間の一部において、住宅地の直下を通過する。 公田トンネル区間と笠間トンネル区間とを、一定断面で連続して施工することが可能である。 トンネル間離隔は約1.5m確保して配置することができる。 	<ul style="list-style-type: none"> シールド工法の適用性があると考えられる。 引続き地表面への影響解析等の詳細な検討を行っていく。 	
笠間トンネル区間	<ul style="list-style-type: none"> 幹線道路下、河川下を通過する。また、一部区間では住宅地に近接する。 公田トンネル区間と笠間トンネル区間とを合わせて一定断面で連続して施工することが可能である。 トンネル間離隔は1.1~1.7m程度確保して配置することができる。 シールド工法を採用した場合、道路やライフラインの切り回しを削減できる。 (一部、地下埋設物との近接施工や支障移設等は必要) 沖積層に留意する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> シールド工法の適用性があると考えられる。 引続き地表面への影響解析等の詳細な検討を行っていく。 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。 	

2. 避難設備および非常駐車帯等の検討

道路シールドトンネルにおける災害時の避難方式としては、これまでの適用事例等から、「横坑方式」、「床版下へのすべり台方式」、「地上避難方式」等の方法が考えられる（表-2.1）。避難方式の選定にあたっては、設置箇所の地形特性、周辺環境、施工性等を考慮する必要がある。

また、非常駐車帯を設置する場合には、局部的な断面の拡幅を行う必要がある。局部地中拡幅工法については、今後工事の実施段階において、現地条件、近接施工等を勘案の上、既存の工法だけでなく新たな技術の採用も含めて、幅広く施工方法の選定を行うことが望ましい。非常駐車帯の地中拡幅工法の施工案を参考資料に示す。

表-2.1 避難方式

方式 項目	横坑方式（連絡坑）	床版下へのすべり台方式	地上避難方式
避難方式 概要図	 <p>災害発生トンネル</p> <p>避難横坑</p> <p>飛出し防止施設</p>	 <p>災害発生トンネル</p> <p>避難路（すべり台）</p> <p>避難路（すべり台）</p>	 <p>地上出口</p> <p>非常階段</p> <p>災害発生トンネル</p> <p>非常階段</p> <p>地上出口</p>
概要	<ul style="list-style-type: none"> 上下線を避難横坑でつなぎ、災害発生時には避難横坑を利用して他のトンネル内へ避難する方法。 	<ul style="list-style-type: none"> 災害発生トンネル内の床版下へ、すべり台を利用して避難する方法。 	<ul style="list-style-type: none"> 上下線各々の非常口から地上へ直接非常階段で避難する方法。
適用例	<ul style="list-style-type: none"> 首都高速中央環状新宿線、品川線（計画中） 	<ul style="list-style-type: none"> 東京湾横断道路 	<ul style="list-style-type: none"> 首都高速中央環状品川線（計画中）

3. 解析手法および解析条件の検討

3.1 セグメントの構造解析

本検討におけるシールドトンネルの覆工構造については、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。

3.1.1 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こととする。

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生かした形で、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。

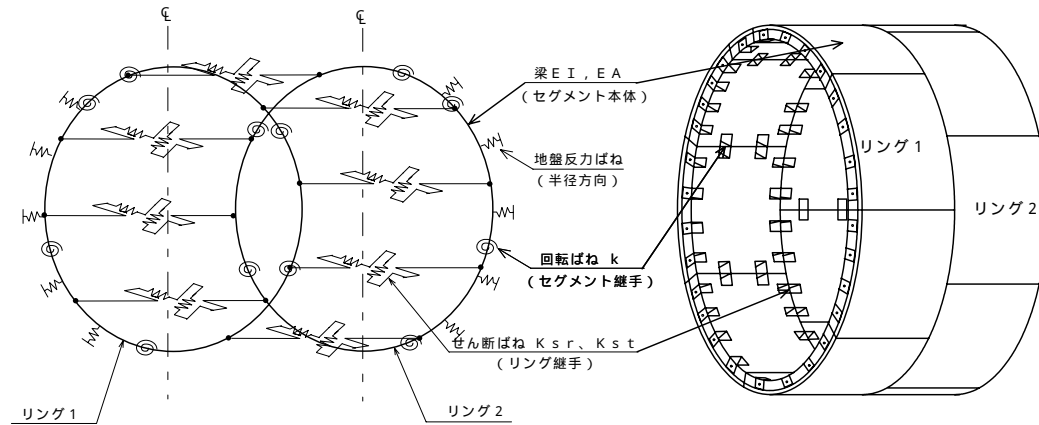
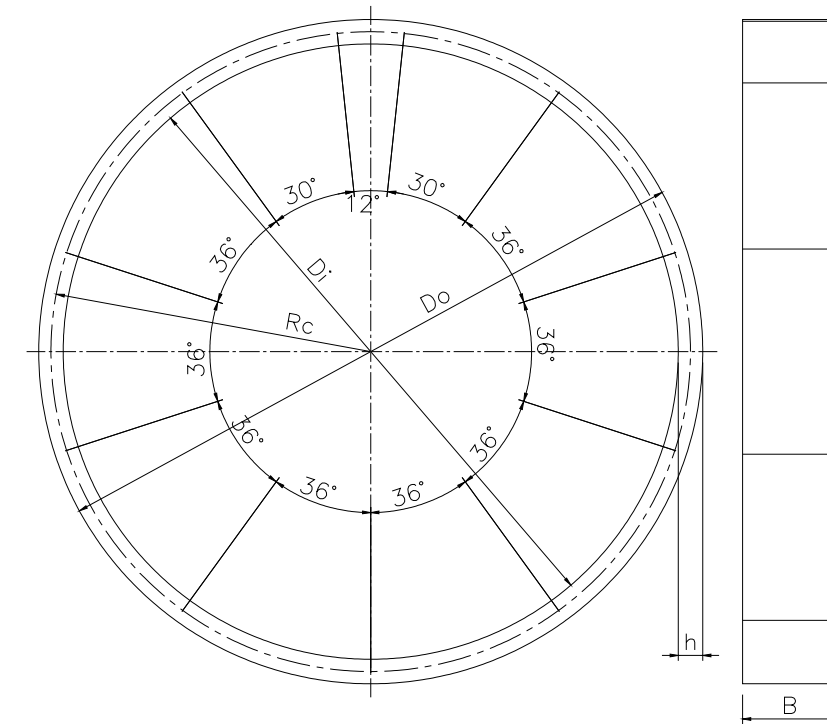


図-3.1 構造解析モデル



断面構造	幅 B (mm)	高さ H (mm)	外側フランジの幅 F1 (mm)	外側フランジの厚さ t1 (mm)	内側フランジの幅 F2 (mm)	内側フランジの厚さ t2 (mm)	ウェブの厚さ t3 (mm)
	1500.0	400.0	310.0	39.0	310.0	40.0	25.0
造	外面フランジ腐食代1mm考慮						

図-3.2 合成セグメント形状

3.1.2 セグメントの構造条件

本検討では、トンネル間離隔の非常に小さい近接施工となることから、セグメント厚を薄くする必要がある。このため、セグメントの構造解析においても、合成セグメントの構造諸元を用いて解析を行うこととする。

以下に、合成セグメントの形状および諸元を示す。

表-3.1 合成セグメント構造寸法諸元

セグメント内径	14,200mm
セグメントの形状	軸方向挿入型
セグメント分割数	11 分割 (10+K)
セグメント幅	1,500mm

3.1.3 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ため、併設施工の影響を FEM 解析等により算定する。

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が、当該シールドはトンネル外径 15mの大断面併設シールドであり、住宅地に近接（一部は直下を通過）することから、シールドトンネルの施工にともなう地盤への影響について二次元 FEM 解析により検討する。

3.2.1 解析フロー

以下に、解析フローを示す。

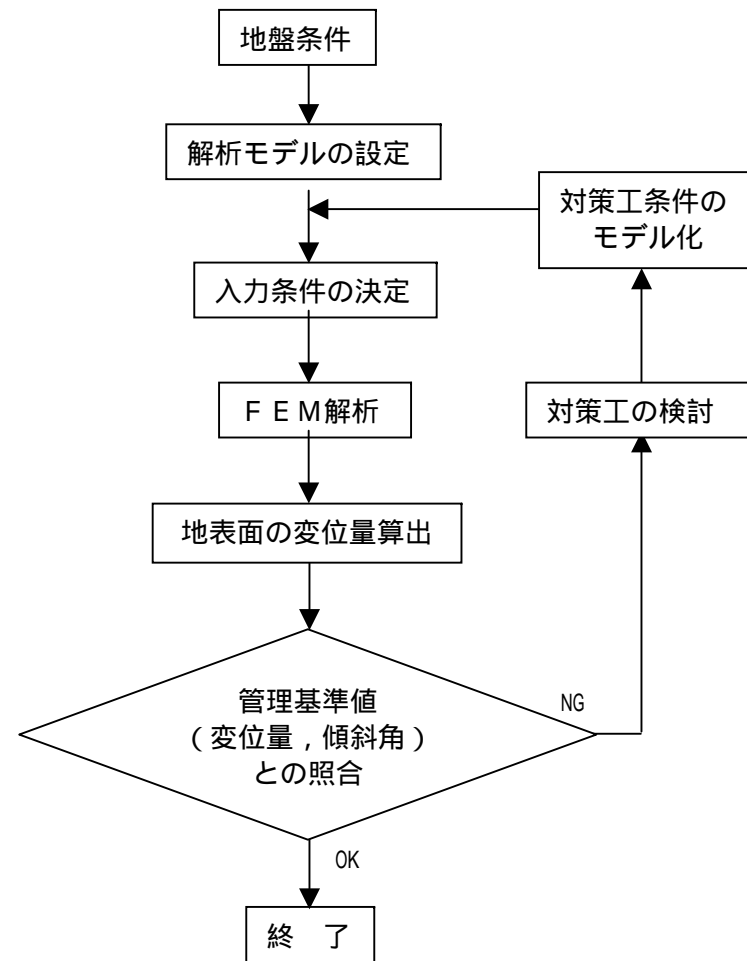


図-3.3 解析フロー

3.2.2 管理基準値の設定

解析にあたっては、地表面変位の管理基準値を設定し、解析結果が管理基準値を超える場合には対策工を検討の上、再度解析を行うこととする。

管理基準値は、家屋等への被害が発生しないと考えられる範囲として、事例等を参考に表-3.2の通り設定する。

表-3.2 管理基準値

対象物	基準値	
	鉛直変位量	傾斜角
家屋	25mm	1/1000 rad

なお、参考とした管理基準値の事例を表-3.3に示す。

表-3.3 管理基準値設定一覧表

文献名			管理基準値
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 H11.2	鉛直変位： 20～30 mm 傾斜角： 1～2/1000 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	鉛直変位： 20～200 mm 傾斜角： (1～1.4)/1000rad
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	鉛直変位： 20～200 mm 但し、RC造を対象

3.3 解析断面の選定

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、セグメント構造上、また、地盤変位を解析する上で最も厳しい条件となる断面を選定することとする。各トンネルの検討断面位置は、図-3.4 および図-3.5 に示すとおりである。なお、各トンネルの検討断面選定の考え方は以下のとおりである。

桂台トンネル区間

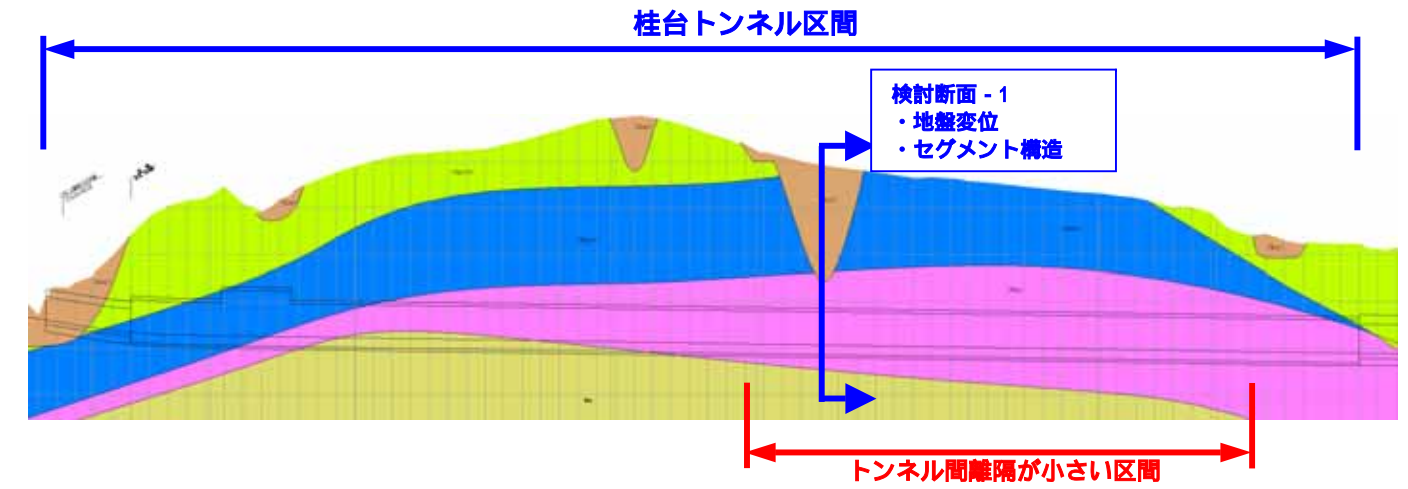
- ・トンネル間隔が小さい区間
- ・トンネル上部に盛土層が存在する区間
- ・トンネルの通過する層の地盤強度（変形係数）が小さい区間

公田トンネル区間

- ・トンネル上部に沖積層が存在する区間
- ・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
- ・住宅地の直下を通過する区間 地盤変位の検討時のみ選定

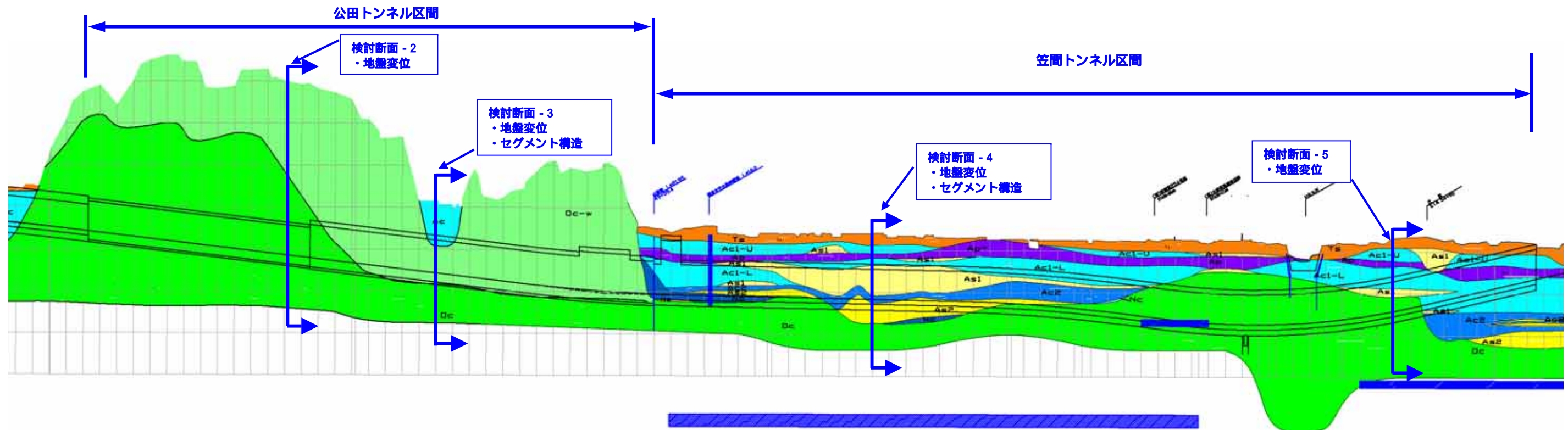
笠間トンネル区間

- ・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
- ・土被りが小さい区間 地盤変位の検討時のみ選定



縦断面は当初設計のものである。
地層構成・層厚は想定である。

図-3.4 検討断面位置図（桂台）



縦断面は当初設計のものである。
地層構成・層厚は想定である。

図-3.5 検討断面位置図（公田・笠間）

4. シールド工法の比較検討（泥水式・泥土圧式）

近年のシールドは密閉型であり、地山の土水圧に対抗する方式の違いにより、泥土圧式シールドと泥水式シールドに分類される。

泥土圧式シールドは、流動化させた掘削土により地山の土水圧に対抗し、泥水式シールドは、泥水により地山の土水圧に対抗する。

表-4.1 に泥水式シールド工法と泥土圧式シールド工法の概要を整理した比較表を示す。近年では泥水式および泥土圧式ともに大断面での施工実績もあり、いずれの工法でも施工は可能である。

今後、設計・実施段階において、作業ヤード等の諸条件を勘案の上、工法の選定を行うこととする。

表-4.1 シールド工法比較表

比較項目	構造概要図 (東京外かく環状道路調査事務所HPより添付)	概要
泥水式 シールド工法		<ul style="list-style-type: none"> ・ 切羽面に難透水性の泥膜を形成し、泥水圧力を切羽面に有効に作用させる。 ・ 地山への泥水の浸透に伴い、泥水中の細粒分が地山の隙間に入り、地山の強度を増加させる。 ・ 切羽との間にチャンバを設け、チャンバ内に送り込まれた泥水を加圧することにより、地山の土水圧に対抗させ、切羽の安定を図る。 ・ 大断面トンネルの施工実績としては、14.18m(営団地下鉄 8 号線)、14.87m (オランダ : グリーンハートトンネル) がある。
泥土圧式 シールド工法		<ul style="list-style-type: none"> ・ 掘削土砂に添加材を加え、カッターヘッドおよび練混ぜ翼で強制的に攪拌混合し、塑性流動性と止水性を有する泥土に改良する。 ・ 切羽との間にチャンバを設け、チャンバ内に充満させた土砂を加圧して地山の土水圧に対抗する泥土圧を発生させ、切羽の安定を図る。 ・ 大断面トンネルの施工実績としては、12.04m(首都高新宿線)、14.93m (スペイン : マドリットトンネル) がある。