

3. 地震時の影響検討

3.1 検討の目的

地震が地下構造物におよぼす影響は小さいとされているが、外環は都市内における大断面・長距離トンネルであるということに留意し、地震がトンネルにおよぼす影響の検討を行う。

3.2 地震が地下構造物におよぼす影響について

一般に地震がトンネルにおよぼす影響は小さいと考えられる。

地震がトンネルにおよぼす影響の事例

トンネルは施工法により、シールドトンネル、山岳トンネル、開削トンネルに大別される。兵庫県南部地震では地上の被害は甚大であったのに対し、これらのトンネルの被害は軽微であったと言える。

		被害事例	
地上	出典：土木が遭遇した阪神大震災 日経BP社（阪神電鉄・大原 新在家間）		橋梁、ビル等で大きく崩壊するような甚大な被害が多発
	シールドトンネル 出典：阪神・淡路大震災調査報告 土木学会（鳴尾御影西汚水幹線）		二次覆工コンクリートにひび割れが生じる程度
トンネル	山岳トンネル（NATM） 出典：阪神・淡路大震災調査報告 土木学会（六甲トンネルのアーチ部）		覆工のひびわれ、打継目剥落程度
	開削トンネル 出典：阪神・淡路大震災調査報告 土木学会（神戸市営地下鉄上沢駅）		柱がせん断破壊したものもあったが、トンネルが崩壊したものは極めて稀

一般に地震動は地下深くなれば小さい

1972年12月4日の八丈島東方沖地震（M=7.2）時に神奈川県川崎市浮島公園において観測された記録では、図 3.2.1 に示すように、地表下 67m 以深における最大加速度は地表の約 1/3 になっている。

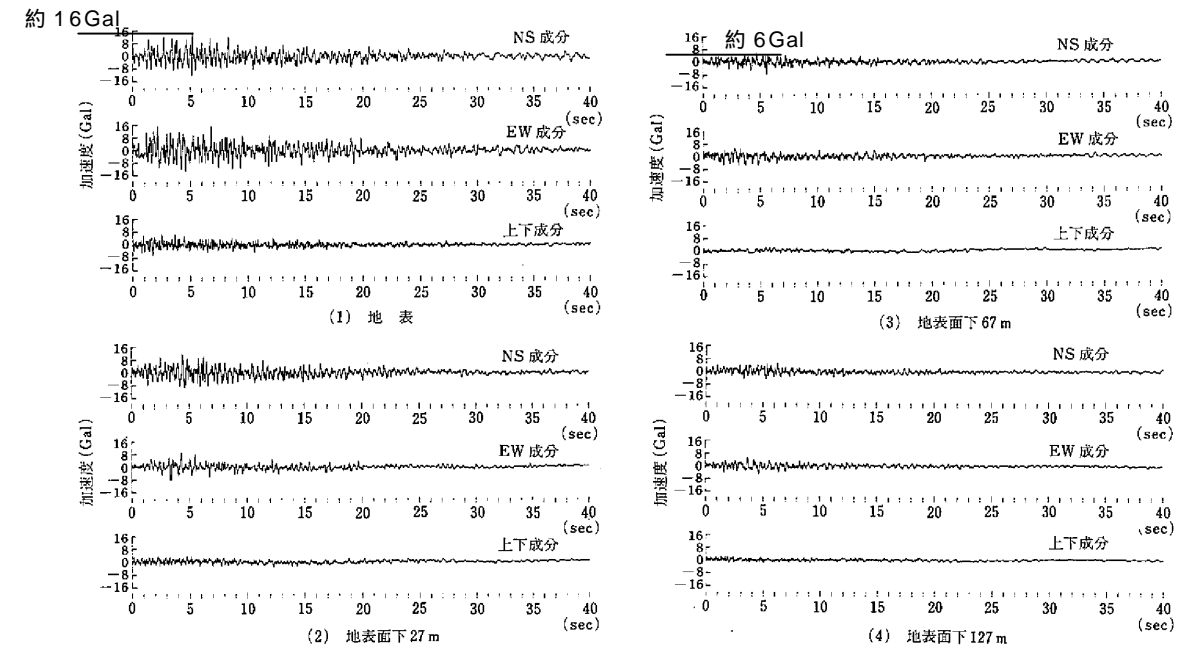


図 3.2.1 地盤内の加速度（川崎市浮島公園）

トンネルは地盤の変位・変形に追随して振動する

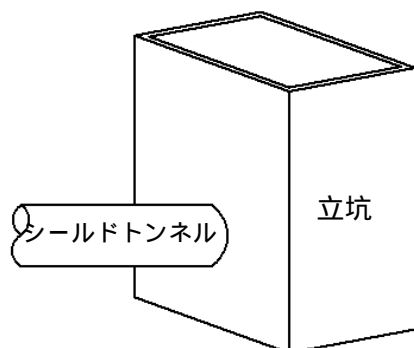
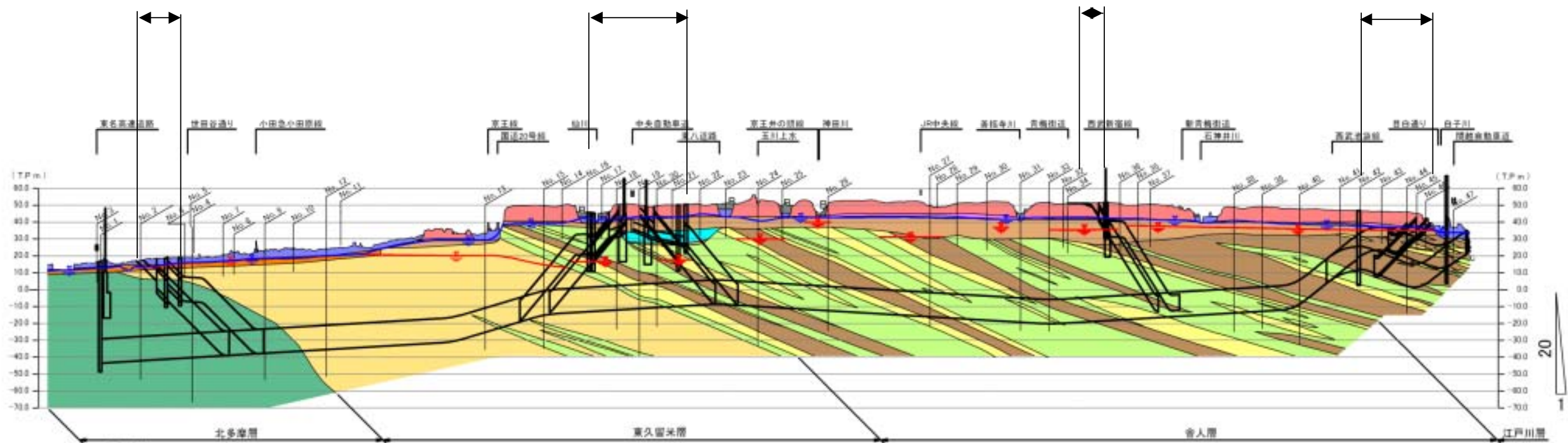
地上構造物は、慣性力により振動するのに対し、トンネルの慣性力は周囲の地盤に作用する慣性力よりも小さく、地盤の変位・変形に追随して振動するものであり、地上構造物に見られる振動の増幅等の現象は生じにくいと考えられる。

特にシールドトンネルはセグメント同士を継手で繋いだ構造であるため、地盤の変位・変形に追随しやすく、地震の影響は小さいと考えられる。

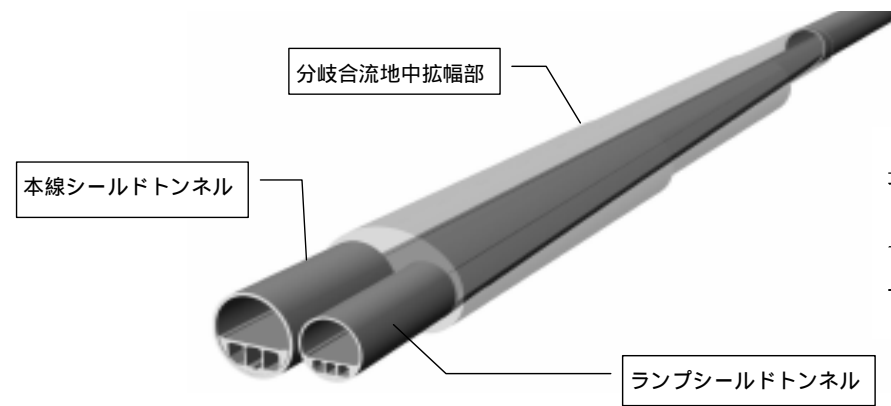
3.3 今後の課題

一般に地震がトンネルにおよぼす影響は小さいものの、外環の構造・地質を考慮すると、次に示すような条件の箇所において地震の影響を大きく受ける可能性があるため、設計の段階で十分な検討が必要である。また、検討が必要な箇所を図 3.3.1 に示す。

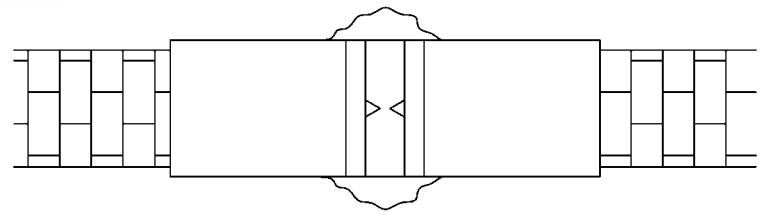
検討ケース		要 因	外環における検討の必要な箇所	対応策の例
シールドトンネル	構造が急変する場合	トンネルの地震時挙動が一様ではなく構造変化部に断面力が集中する。	立坑、分岐合流地中拡幅部、連絡坑とシールドトンネルとの接合部。 地中接合部	可とうセグメント、弾性ワッシャ等により地震時の地盤の変形に追随しやすくする。
	地盤条件が急変する場合	トンネル縦断方向あるいは横断方向に地盤条件が急変した場合、地盤変位が一様とならず断面力が発生する。	急変部とみなされるか否かの検討が必要。	
分岐合流地中拡幅部		大断面となる分岐合流地中拡幅部では、耐震検討の必要性について検討する必要がある。		
開削トンネル		耐震検討が必要と考えられる。		



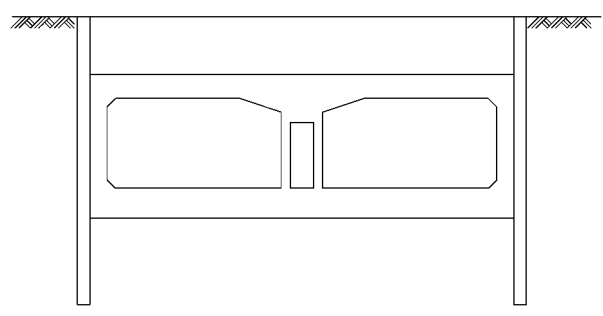
立坑とシールドトンネルとの接合部



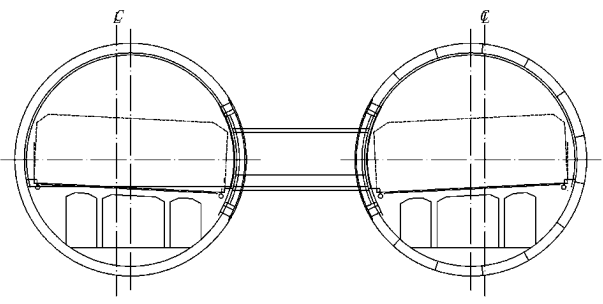
分岐合流地中拡幅部
シールドトンネルと分岐合流地中拡幅部の接合部



地中接合部



開削トンネル



連絡坑部 (連絡坑を設置する場合)

図 3.3.1 耐震検討の必要の可能性がある箇所の一例

4. 交通振動の検討

4.1 検討目的

供用後、トンネル内を走行する車両の振動が地上に与える影響について検討する。

4.2 実績調査による検討

首都高速道路の東京港トンネル等で行われた地上における振動調査事例では、各箇所とも 50dB 以下であり、トンネル内を走行する車両の振動が地上に与える影響はほとんどないとの結果が得られている。

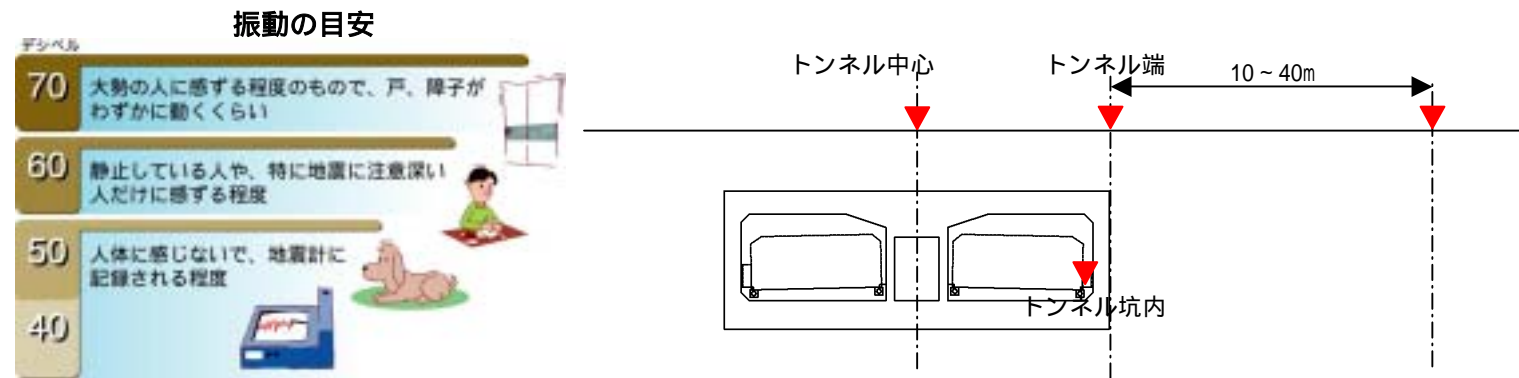
このときの土被りは 6m 以下であったことを考慮すると、シールド部で土被りが約 8m (0.5D) 以上ある外環では振動が地上に伝わることにより問題となるような影響は生じないと考えられる。

表 4.2.1 開削トンネル上部の振動調査結果 (L₁₀) の事例

トンネル名	土被り (m)	トンネル断面積 (m ²)	車線数	地盤卓越振動数 (Hz)	時間区分	トンネル坑内	振動レベル (L ₁₀)					
							トンネル中心	トンネル端	10m	20m	30m	40m
東京港トンネル (13号地側)	4.0	330	6	3.15 ~ 4	昼間	51	32	32	33	32	< 30	32
					夜間	46	30	30	32	31	< 30	< 30
東京港トンネル (大井側)	6.0	330	6	4	昼間	35	40	36	38	35	36	37
					夜間	32	39	34	35	33	34	35
東横浜トンネル	1.5	190	4	16	昼間	49	32	34	34	32	33	33
					夜間	48	30	31	30	< 30	< 30	< 30
千代田トンネル	4.0	165	4	40	昼間	41	40	37	-	-	-	-
					夜間	39	39	35	-	-	-	-

単位：dB

出典：「環境影響評価書 都市高速道路中央環状品川線 (品川区八潮～目黒区青葉台間) 建設事業」平成 16 年 10 月 東京都



L₁₀：ある実測時間内に振動レベルを一定個数サンプリングした場合、全ての測定値を大きさの順に並びかえて大きい方から 10%目の数値を 80%レンジ上端値といい、90%目の数値を 80%レンジ下端値という。この上端値を L₁₀ という。

外環における地盤卓越振動数観測結果

エリア	地点	対象道路	地盤卓越振動数 (Hz)
世田谷	喜多見3丁目②	多摩堤通り	22.5
	成城3丁目	世田谷通り	16.4
三鷹布	西つつじヶ丘3丁目	甲州街道	15.0
	北野4丁目③	吉祥寺通り	18.5
	牟礼2丁目	東八道路	14.4
杉並	上井草4丁目	青梅街道	16.5
練馬北	東大泉2丁目③	目白通り	14.8

観測期間
平成 16 年 11 月 20 日 (土)
～11 月 21 日 (日)

4.3 トンネル内を走行する車両の振動が地上に与える影響

都市内の道路トンネルの実績から、トンネル内を走行する車両の振動が地上におよぼす影響はほとんどないと考えられる。

なお、舗装の平坦性を確保するなど、舗装の維持管理を適切に行っていくことが望ましい。

※1 地盤卓越振動数は、自動車が行く際に発生する振動の大きさに影響を与える要因のひとつで、地盤条件と相関があり、地盤固有の特性 (地盤の固さなど) を表すひとつの指標です。

※2 各地点の値は、単独走行中の大型車 10 台による観測値を平均して算出したものです。

5. 火災等発生時の検討

5.1 検討目的

火災等が生じた場合にも、トンネル利用者が危険にさらされ、地上に影響を与えることがないように施設、設備面での対策が必要である。

ここでは、「大深度地下の公共的使用における安全の確保に係る指針」を踏まえ、外環における検討の基本方針を定める。

「大深度地下の公共的使用における安全の確保に係る指針」では、火災・爆発に対して以下の配慮を求めている。

1-1 施設の不燃化、可燃物の減少等の火災・爆発発生抑止

可燃物の減少等の火災・爆発発生抑止

1-2 線的施設及び点的施設での火災対策

利用者等の避難

火災の覚知及び火煙への対策

円滑な消防活動の実施

火災時の設備等の作動等

火災・爆発の施設周辺への影響の防止

は予防措置として危険物の持ち込みを制限し、火災・爆発の発生そのものを抑制することが重要とされている。道路トンネルにおいても危険物の持ち込みの制限や交通運用等で対応してきている。

～ は施設利用者の安全確保について述べられており、道路トンネルでは事故が発生した場合の被害を最小限にとどめるために、非常用施設設置基準により各種非常用施設を設けることとしている。また、これらの非常用施設が十分な効果を発揮することができるように、施設の運用方法、交通運用についても十分な配慮が必要である。

外環は、道路トンネル非常用施設設置基準のA A等級に相当する施設（表5.3.1参照）を設置し、安全確保を図ることとしている。避難誘導設備については、第2回委員会において技術的に対応可能な避難方式の紹介を行っている。

一方、地上や他の施設への安全対策としては、他施設に影響を与えない、構造物を崩壊させないといった配慮が必要であり、上記指針の火災・爆発の施設周辺への影響の防止において示されている。

しかし非常用施設設置基準においては具体的に示されていないため、検討を行って行く必要がある。

以上をふまえると、外環では火災等に対し、以下のような検討の項目がある。

<火災・爆発発生抑止について>

道路法および同・施行令に示された危険物の持ち込みを、禁止、又は制限し、火災等を未然に防止することについて検討を行う。

<施設利用者への配慮について>

避難安全性の確保や救急・消火支援施設の設置に加え、換気を含めた施設の運用方法について検討を行う。また、安全性を高めるための交通運用についても検討を行う。

<地上や他の施設への配慮について>

火災等に対しトンネルの損傷を抑制することについて検討を行う。

次ページ以降に、上記検討項目に対する事例、検討方針等を示す。

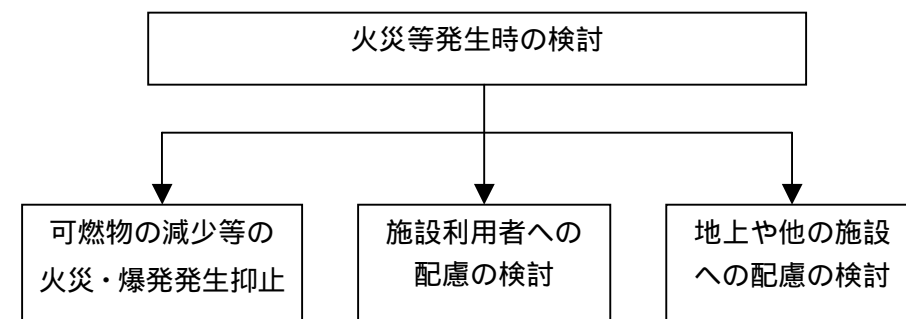


図 5.1.1 検討フロー

5.2 可燃物の減少等の火災・爆発発生抑止

道路法第 46 条第 3 項では、道路管理者は水底トンネルへの危険物の持込を制限することができる。また、道路法施行規則第 4 条第 9 項では、5000m以上のトンネルは水底トンネルに類するものとされている。

これらのことから、表 5.2.1 に示すような水底トンネルもしくは長大トンネルでは危険物の持込を制限している。

外環においても、爆発性又は易燃性を有する物件その他危険物を積載する車両の通行を禁止、又は制限し、火災等を未然に防止することについて検討を行う。

表 5.2.1 危険物積載車両通行規制トンネル

	トンネル名	道路名	備考
高速道路	恵那山トンネル	中央自動車道	長大 上り線(8,649m) 下り線(8,489m)
	関越トンネル	関越自動車道	長大 上り線(11,055m) 下り線(10,926m)
	肥後トンネル	九州自動車道	長大 上り線(6,328m) 下り線(6,340m)
	名東トンネル	東名阪自動車道	水底
	守山トンネル	東名阪自動車道	水底
	加久藤トンネル	九州自動車道	長大 (6,255m)
	袴越トンネル	東海北陸自動車道	長大 (5,932m)
首都高速道路	羽田トンネル	高速1号羽田線	水底
	千代田トンネル	高速4号新宿線	水底
	八重洲トンネル	高速八重洲線	水底
	東京港トンネル	高速湾岸線	水底
	桜木町トンネル	高速神奈川1号横羽線	水底
	空港北トンネル	高速湾岸線	水底
	多摩川トンネル	高速湾岸線	水底
その他の道路	川崎航路トンネル	高速湾岸線	水底
	東京湾アクアライントンネル	東京湾アクアライン	水底・長大 上り線(9,541m) 下り線(9,547m)
	阪奈トンネル	第二阪奈有料道路	長大 上り線(5,573m) 下り線(5,575m)
	関門トンネル	一般国道2号	水底
	空港北トンネル	一般国道357号	水底
	雁坂トンネル	一般国道140号	長大 (6,625m)
	寒風山トンネル	一般国道194号	長大 (5,432m)
	衣浦トンネル	愛知県道	水底
	新神戸トンネル	神戸市道	長大 上り線(7,175m) 下り線(6,910m)
川崎港トンネル	川崎市道	水底	

5.3 施設利用者への配慮の検討

施設利用者に対する安全対策は、避難安全性の確保と救急・消火支援施設の設置に加え、換気を含めた施設の適切な運用や交通運用によって実現する必要がある。

ここでは、避難安全性の確保の方針と救急・消火支援施設の設置方針および、換気運用の検討方針、交通運用の検討方針について示す。

5.3.1 避難安全性の確保の検討方針

避難安全性を確保する「連絡坑方式(トンネルを入れ替え、走行車線側で避難する方式)」、「床版下方式」は、いずれも技術的に可能であり、設置間隔や構造等について検討を行う。

5.3.2 換気運用の検討方針

火災時の安全性や車道内環境、快適性の確保が可能であり、換気所およびダクトが少なく、建設費、維持管理費などの経済性、施工性に優れるといった特徴を考慮し、縦流換気方式を採用する。

今後、火災時における運用方法について検討を行う。

5.3.3 救急・消火支援施設の設置方針

1) 施設の設置方針

道路トンネル非常用施設設置基準・同解説では、非常用施設の設置基準を定めている。

外環はトンネル延長と交通量から AA 等級区分となり、表 5.3.1 に示す施設を設置する方針とする。

表 5.3.1 AA 等級トンネルにおいて原則として設置すべき非常用施設

	非常用施設	施設の仕様 設置間隔
通報・警報設備	非常電話	設置間隔は 200m 以下
	押ボタン式通報装置	設置間隔 50m を標準
	火災検知器	設置間隔は片側 25m が一般的
	非常警報装置	適切な行動ができるよう十分に視認できる位置
消火設備	消火器	設置間隔 50m を標準
	消火栓	設置間隔 50m を標準
避難誘導設備	誘導表示板	設置間隔は両側 200m 以下を標準
	排煙設備または避難通路	外環では縦流換気方式を採用 連絡坑方式、床版下方式の双方とも採用可能
その他の設備	給水栓	200m 毎に設置している例が多い
	無線通信補助設備	トンネル内の救助活動、消火活動等に際して、トンネル外部との連絡に供するための設備
	ラジオ再放送設備 または 拡声放送設備	トンネル内で、運転者等が道路管理者からの情報を受信できるようにするための設備 避難連絡坑、分岐合流部などに局所的に設置するのが一般的
	水噴霧設備	放水量 6 L/min・m ² を標準
	監視装置	トンネル内および坑口付近を一様に監視できるように設置

出典：「道路トンネル非常用施設設置基準・同解説」、平成 13 年 10 月、社団法人日本道路協会

2) 施設運用の検討方針

避難安全性の確保の検討方針や、換気運用の検討方針を考慮しつつ、火災時の情報入手の考え方や、道路利用者や消防および交通管理者（警察）への情報提供と連携の考え方を整理する。

これを踏まえ、初期消火および本格消火を想定した救急・消火支援施設の仕様と、施設の運用方法について検討を行う。

5.3.4 交通運用の検討方針

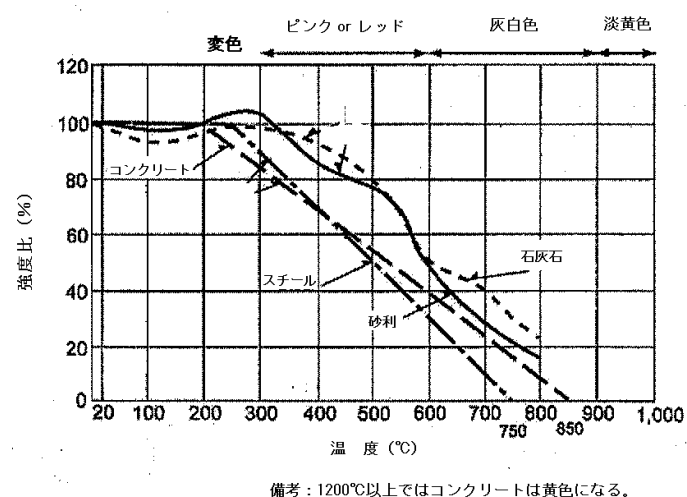
換気（排煙）施設の安全かつ確実な運用と避難安全性の確保のためには、通行止めなどの適切な交通運用について検討を行う。

5.4 地上や他の施設への配慮の検討

トンネル内で火災等が発生した場合のトンネルへの影響と、これが地上や他の施設に及ぼす影響について、過去の事例から検討を行う。

5.4.1 トンネル火災による影響の検討

トンネルを構成する部材材料は図 5.4.1 に示すように、温度上昇にともない、コンクリートで約 200、鋼材では約 250 で強度が低下する。



出典：道路トンネルの耐火設計 社団法人日本コンクリート工学協会

図 5.4.1 温度上昇に伴うコンクリートおよび鋼材の強度低下

日本坂トンネルの火災では約 1000 まで温度が上昇し、覆工の強度は大きく低下したと考えられるが、トンネルが崩壊することはなかった。

トンネル延長 2,045m のうち 1,122m の区間が直接火災の被害を受け、天井板の落下、覆工コンクリートの剥落、内装板の損壊などが生じた。

覆工コンクリートが剥離した面積は被害区間全面積の約 38% に達し、その深さは 15cm 以下のものが全体の 90% 以上を占める。

大部分の箇所ではコンクリート表面から 5cm 程度、受熱温度が高い箇所では 25cm 程度が中性化した。

表 5.4.1 火災によるトンネル内温度事例

トンネル名	国名	用途	火災温度
日本坂	日本	道路	600 ~ 1,000
ユーロ	イギリス・フランス	鉄道	1,000 以上
カルデコット	アメリカ	道路	平均 954、一部 1,038
モンブラン	フランス	道路	1,000 以上、一部 1,832
タウエルン	オーストリア	道路	1,000 以上

出典：トンネルと地下 H12.4

5.4.2 トンネル内の爆発による影響の検討

近年のトンネル内の爆発の例としては、次のようなものが挙げられるが、これらのトンネルが崩壊したという報告はない。

ロンドン地下鉄におけるテロによる爆発事例

2005 年 7 月 7 日ロンドン市内を走る地下鉄とバスで、テロリストが持ち込んだ爆弾が相次いで爆発し、地下鉄では、サークルラインの 2 カ所とピカデリーラインの 1 カ所の計 3 カ所が爆破された。

最も多くの死者を出したピカデリーラインは、土被り約 30m で、直径 3.66m の単線トンネルである。爆弾は先頭車両の床を突き抜けて爆発し、トンネル内の狭く閉じ込められた空間の中で爆風が乗客を直撃した。

ソウルにおける軍用トラックの爆発事例

韓国の聯合通信テレビによると、2005 年 11 月 1 日、ミサイルの部品を積んだ軍のトラック 1 台が、高速道路のトンネルで爆発した。

爆発したトラックは大邱と馬山をつなぐ高速道路を走行していた 4 台の車列のうちの 1 台で、ブレーキ関連の事故が起きたとみられている。

5.4.3 火災等発生時の影響検討

外環では、事例に挙げているトンネルとは地質や工法等が異なるが、次に示すことを考慮すると、火災等によりトンネルが崩壊するような被害が生じることはないと考えられる。

事例より覆工の一部の損傷が必ずしもトンネル構造全体の致命的な損傷に結びつくものではない。

火災等の影響を検討の上、耐火板を設置するなど、火災によるトンネル内温度上昇を抑制する対策をとる必要がある。

6. セグメント幅広化の検討

6.1 検討目的

外環のシールドトンネルは、施工延長が長いので、工期短縮の観点から幅広化による施工速度の高速化を検討する。

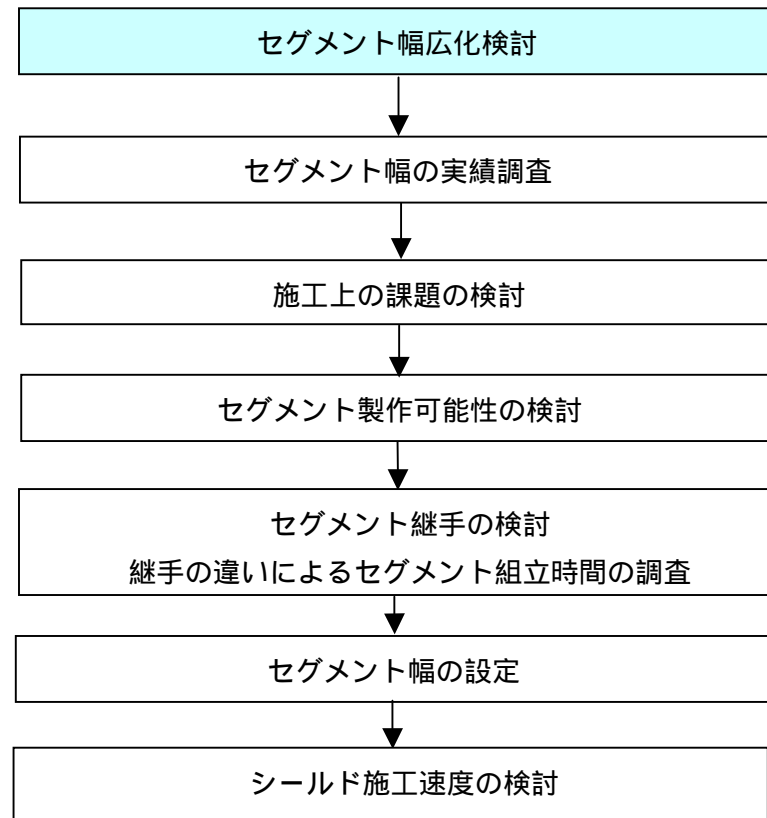


図 6.1 検討フロー

セグメントは大断面シールドトンネルで一般的、かつ国内最大径である東京湾横断道路でも採用されたRC平板型で概略設計したセグメント厚 650mmとする。(章末参考資料参照)

6.2 セグメント幅広化の検討

6.2.1 セグメント幅の実績調査

施工実績によると、国内におけるセグメント幅の最大値は 1.6m である。

海外では、グリーンハート、ウエスターシュヘルデ(オランダ)、A86、リヨン自動車道路(フランス)などのように、2.0mの実績がある。

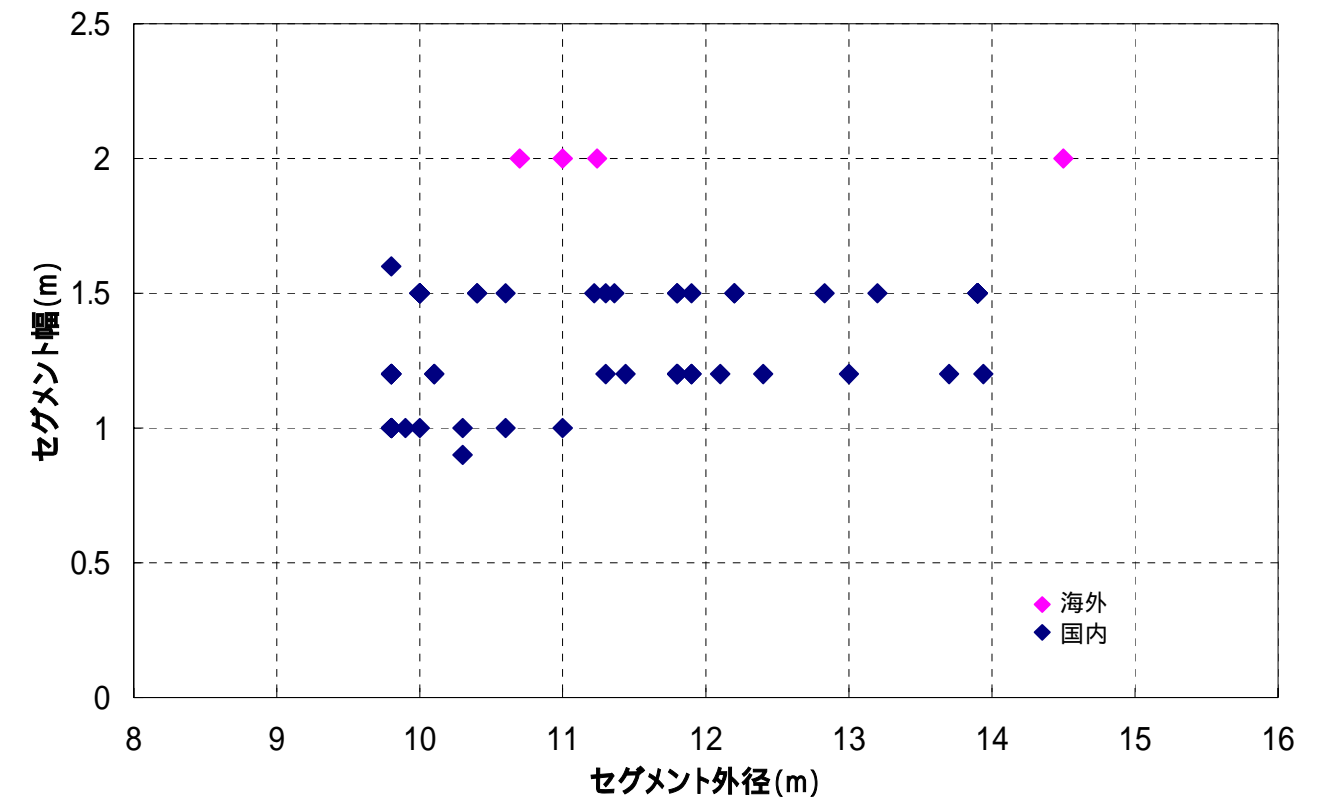
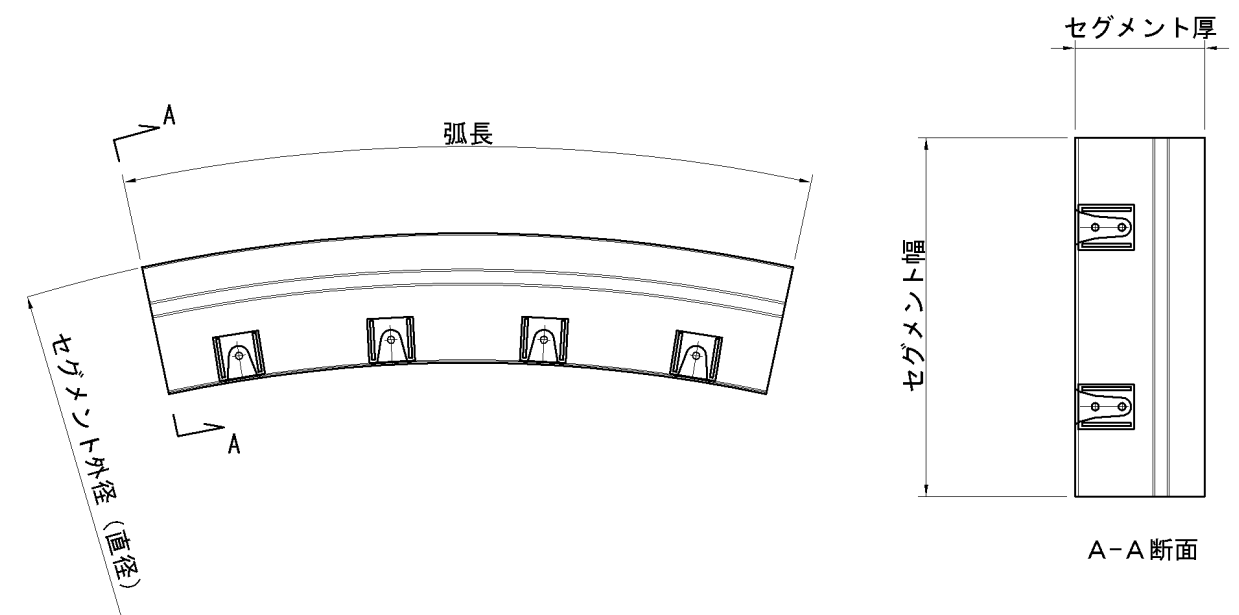


図 6.2.1 セグメント外径と幅との関係



国内におけるセグメントの幅 (B) と厚さ (t) の比 (B / t) の実績は、2.0 ~ 4.0 程度である。

外環の場合、セグメント厚は 650mm である。セグメント幅を国内の最大値 1.6m とした場合 (B / t = 2.5) でも、海外の最大値 2.0m とした場合 (B / t = 3.1) でも実績の範囲内となる。

海外では 4 を超えるものも多いが、地質や水量の違いによりジャッキ圧が小さいなど施工条件がわが国とは異なるため、本検討では国内の実績に着目する。

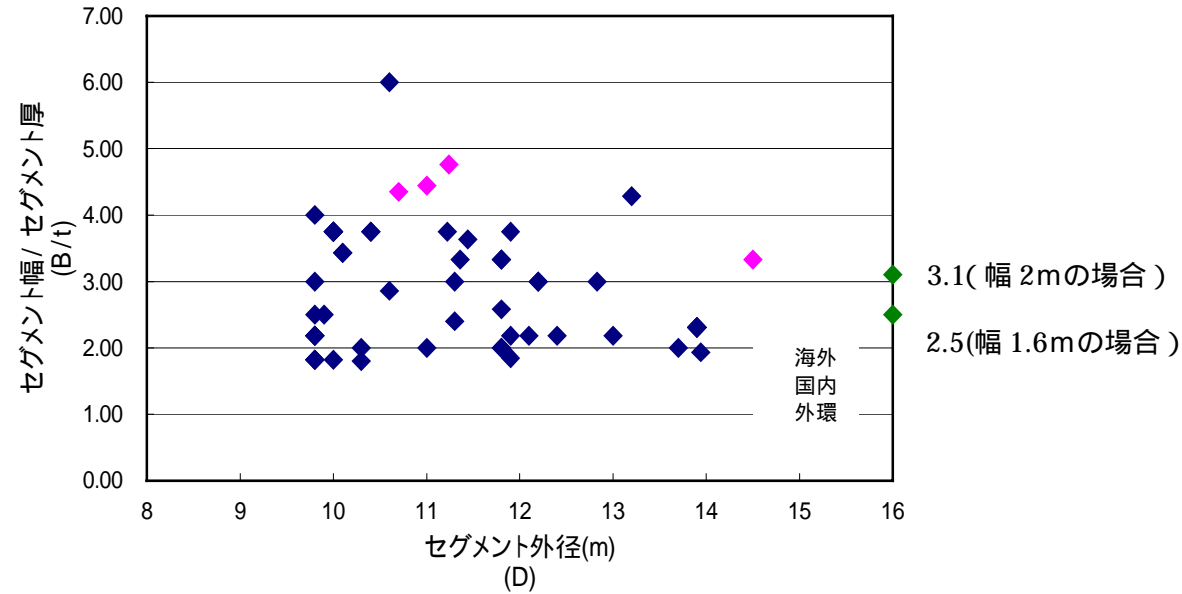
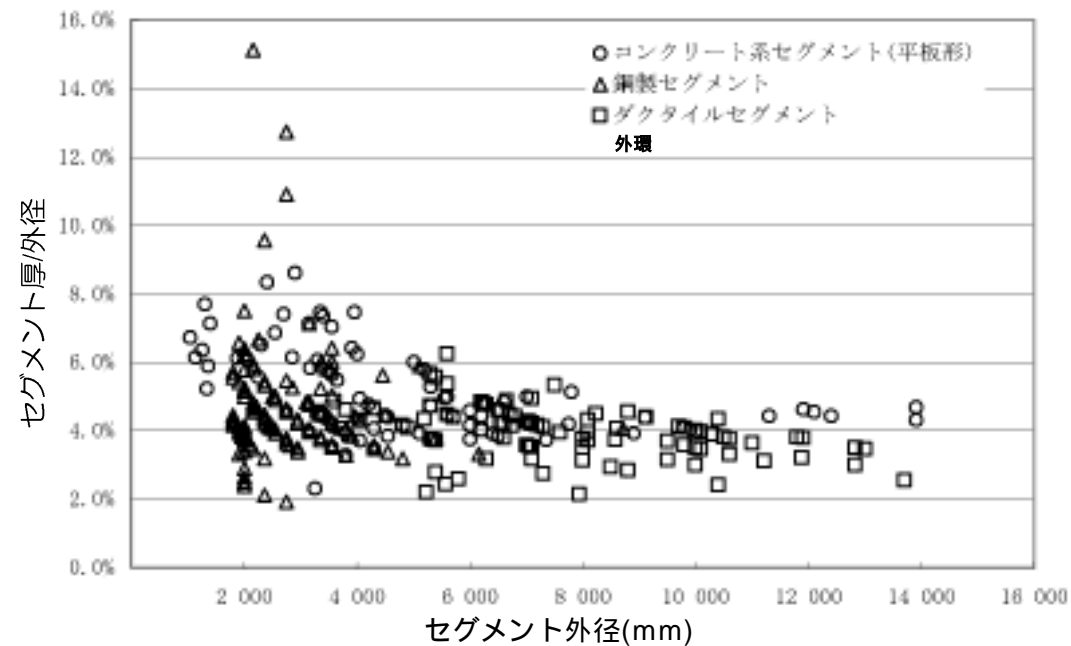


図 6.2.2 セグメント外径とセグメント幅/セグメント厚の関係

<参考> セグメントの厚さは、外径によって変化し、コンクリートセグメントの厚さ (t) と外径 (D) の比 (t / D) は、10m を超えるセグメント外径の場合、4.0 ~ 5.0% 程度 (下図参照) である。

なお、外環の場合は 4.1% となる。



セグメント外径と厚さの関係 (土木学会におけるアンケート資料)

6.2.2 施工上の課題の検討

セグメントの幅が狭いときには問題とならなかったことが、幅広化に伴い不具合が生じることもある。セグメントを幅広化する場合の施工に関する主な課題は、次のような事項が考えられる。なお、今後セグメントの幅広化に関する実績の調査を重ね、施工上の課題および対策を検討していく必要がある。

課 題	対 策
1) セグメント隅角部の欠け セグメントの組立精度が悪い場合に、セグメントの「せり」により集中荷重が発生し、セグメントに欠けが生じる。セグメント幅が広い程、集中荷重は大きくなる。	・欠けが生じやすい隅角部の補強。
2) セグメントの垂れ下がりによる欠け 閉合前のセグメントは片持ち形状となり、垂れ下がるため、組立完了したセグメントとせり合い、セグメントに欠けが生じる。	・形状保持装置の改良
3) 推進時の偏心によるセグメントの欠け ジャッキストロークが伸びることによりジャッキラムが垂れ下がり、ジャッキ中心とセグメント中心が偏心する。	・スプレッターとジャッキの関係の見直し。 ・スプレッターとセグメント端との間の摩擦の低減。

6.2.3 セグメント製作可能性の検討

現状のセグメント工場では幅は 1.5m ~ 2.0m まで対応可能であるが、これより大きい場合には工場の改造が必要である。

幅 1.5m より大きいセグメントに対応可能な工場のうち、3 社が 1.8m まで対応可能であり、このうち 1 社は 2.0m まで対応可能である。

表 6.2.1 調査結果表

製造工場	最大重量(kN)	最大厚さ(cm)	最大幅(cm)	最大弧長(cm)
A	100	65	180	490
B	100	80	160	500
C	100	100	200	500
D	120	70	180	450
E	130	65 ~ 70	170	550 (型枠長)
F	200 (型枠込み)	70	150	500
G	150	50	160	700
H	100	60	150	550
I	100	75	150	500

6.3 セグメント分割数の検討

製作・運搬等を考慮したセグメントの分割数を検討する。

6.3.1 検討条件

分割の検討にあたり、次の～の条件より、セグメント1ピース重量は150kN以下、弧長は5m以下とする。

RC平板型、桁高650mm、セグメント外径約16mとする。

Kセグメントを標準型セグメントと同様な大きさとする事で添接荷重を均等に分散できる等分割セグメントとする。

セグメントの運搬車両は、1日当たり200台程度必要となるため、運搬車両の市場性を考慮し15t積みトラックを用いる。

工場における製作可能性を考慮してセグメントの弧長は5m以下とする。

6.3.2 セグメント分割数

セグメント分割数の検討の結果を表6.3.1に示す。

表 6.3.1 セグメント分割数

セグメントリング		セグメントピース			セグメント幅 / セグメント厚
セグメント幅 m	リング重量 kN/R	分割数 個	ピース重量 kN/個	弧長(外周) m/個	
1.5	1,206	10	120.6	4.96	2.3
		11	109.6	4.51	
1.8	1,447	10	144.7	4.96	2.8
		11	131.6	4.51	
1.9	1,528	10	152.8	4.96	2.9
		11	138.9	4.51	
		12	127.3	4.13	
2.0	1,608	10	160.8	4.96	3.1
		11	146.2	4.51	
		12	134.0	4.13	
2.1	1,688	11	153.5	4.51	3.2
		12	140.7	4.13	
		13	129.9	3.82	
2.2	1,769	11	160.8	4.51	3.4
		12	147.4	4.13	
		13	136.1	3.82	
2.3	1,849	12	154.1	4.13	3.5
		13	142.2	3.82	
		14	132.1	3.54	
2.4	1,929	12	160.8	4.13	3.7
		13	148.4	3.82	
		14	137.8	3.54	
2.5	2,010	13	154.6	3.82	3.8
		14	143.6	3.54	
		15	134.0	3.31	

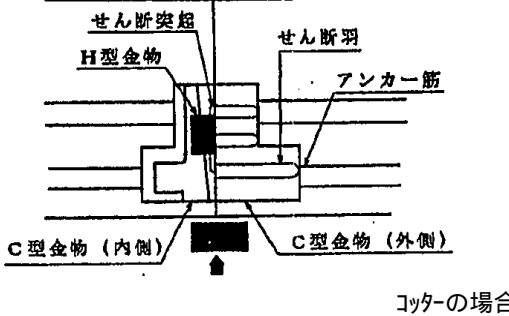
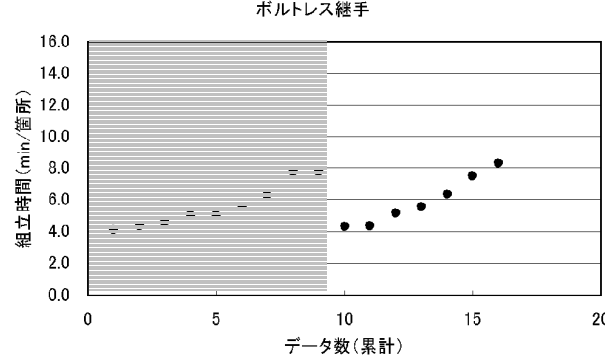
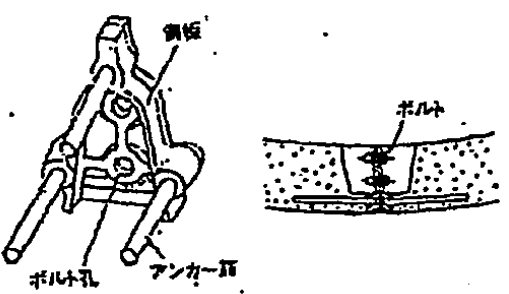
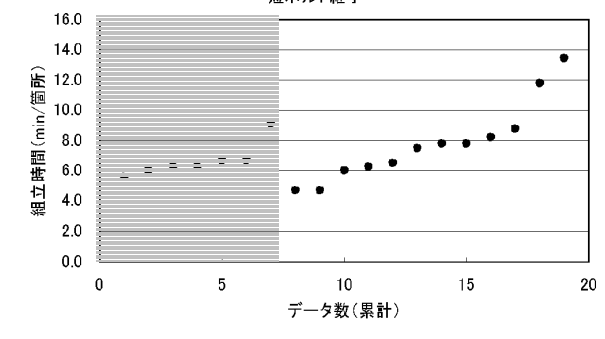
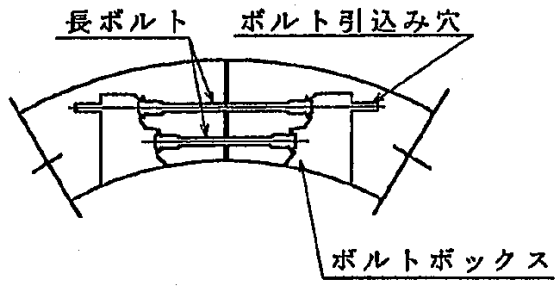
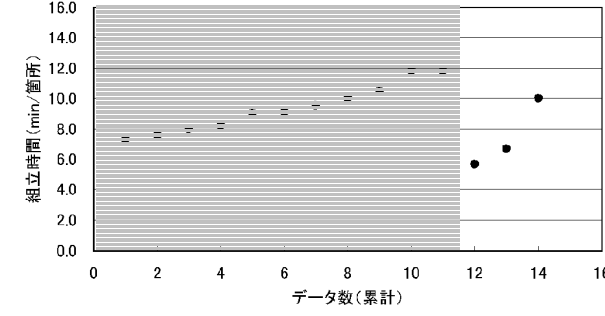
各セグメント幅におけるセグメント分割数検討結果

参考 大断面シールドの分割数実績

トンネル名	東京湾横断道路	神田川地下調節池	秋田中央道路	中央環状新宿線 本町シールド
外径	13.9m	13.7m	12.2m	11.36m
桁高	650mm	600mm	500mm	450mm
セグメント幅	1.5m	1.2m	1.5m	1.5m
セグメント形式	RC平板型	RC平板型	RC平板型	RC平板型
組立方式	自動	自動	自動	自動
セグメント弧長(A型)	3.970m	3.740m	3.833m	3.965m
セグメント重量(A型)	96kN	73kN	48kN	45kN
分割数	11	11	10	9

6.4 セグメント継手の検討

10m以上のシールドトンネルにおけるセグメントの組立時間の調査結果から、主に使用されている継手は、ボルトレス、短ボルト、長ボルトに大別できる。ボルトレス継手は、組立を自動化（全自動または半自動）した場合、短ボルトの約85%の組立時間となっている。このため、外環のシールドトンネルではボルトレス継手を用いることとする。

セグメント継手種類		継手 1箇所あたり平均組立時間		継手の組立時間調査結果 (ハッチングは自動・半自動)
		自動組立	手動を含む	
ボルトレス	 <p>せん断突起 せん断羽 H型金物 アンカー筋 C型金物(内側) C型金物(外側) コッターの場合</p>	5.6分(0.85)	5.7分(0.86)	 <p>ボルトレス継手</p>
短ボルト	 <p>鋼板 ボルト ボルト孔 アンカー筋</p>	6.6分(1.0)	7.4分(1.1)	 <p>短ボルト継手</p>
長ボルト	 <p>長ボルト ボルト引込み穴 ボルトボックス</p>	9.3分(1.4)	8.9分(1.3)	 <p>長ボルト継手</p>

長ボルトにおける手動組立は中子型セグメントにおけるもの

6.5 セグメント幅の設定

検討対象とするセグメント幅は 1.8m とする。

掘削速度 23mm/分) 継手をボルトレスと仮定したときの各セグメント分割数に応じた平均月進量は、幅 1.8m 以上で 200m とすることができる。

セグメント組立時間はセグメント幅が広いほど、分割数が少ないほど速くなる。セグメント幅を 2.0m 以上としても、1.8m の場合と平均月進量は変わらない。このため、現状では確実性の高い 1.8m を検討対象とすることが妥当と考える。

セグメント幅と厚さの比は実績の範囲内にある ($1.8\text{m} \div 0.65\text{m} = 2.8$)。

現状の道路使用制限範囲内 (幅最大寸法 2.5m) で運搬可能である。

セグメントの製作は工場の改造等により可能である。

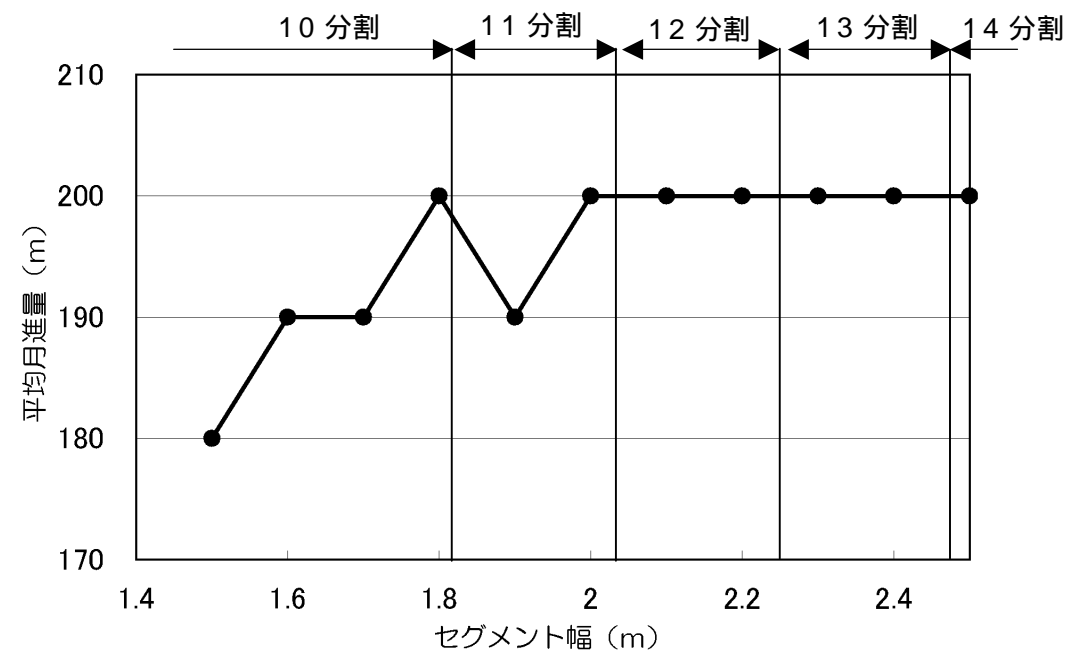
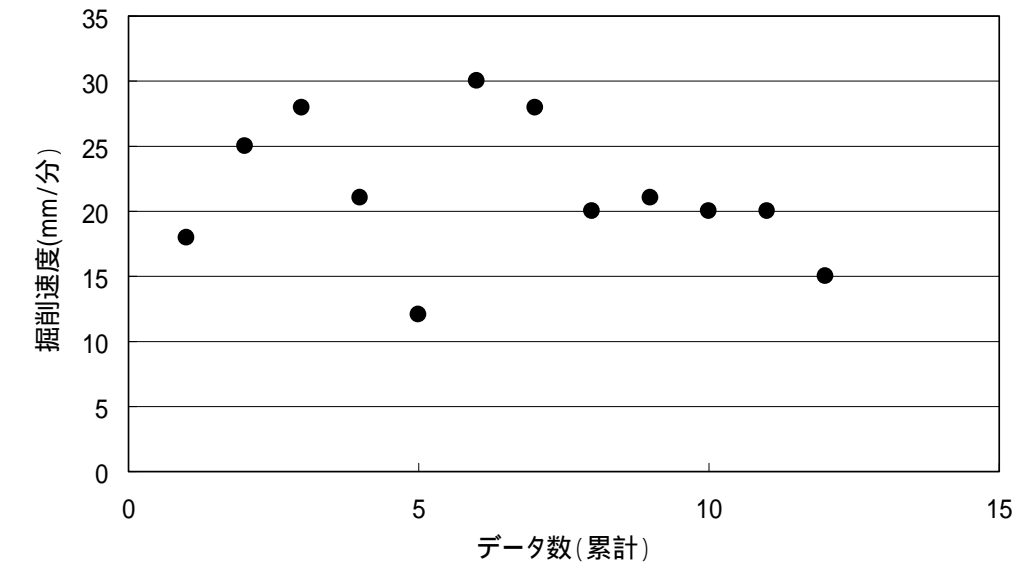


図 6.5.1 セグメント幅と平均月進量
(セグメント重量 150 kN 以下、弧長 5m 以下の場合)

掘削速度について

洪積地盤における 12m 以上の大断面シールド工事 12 件の掘削速度を調査した結果、平均値は 23mm/分であった。



6.6 シールド施工速度の検討

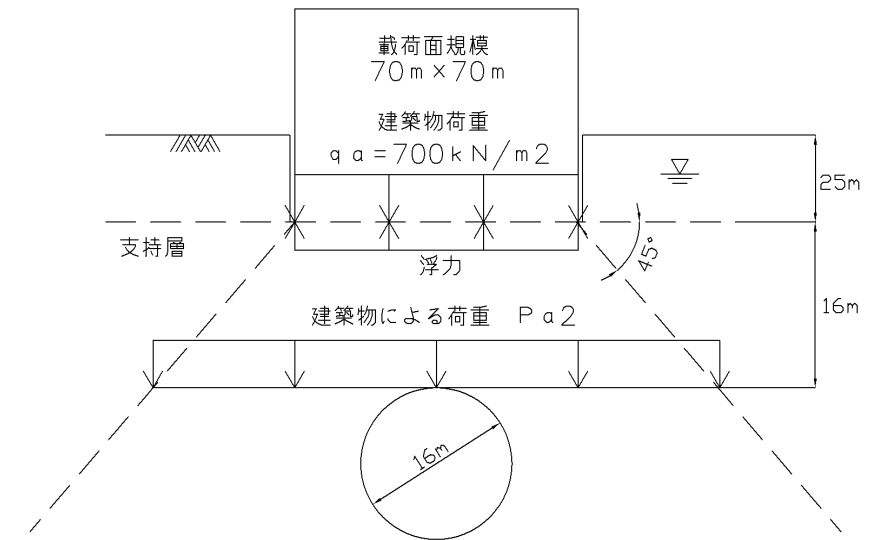
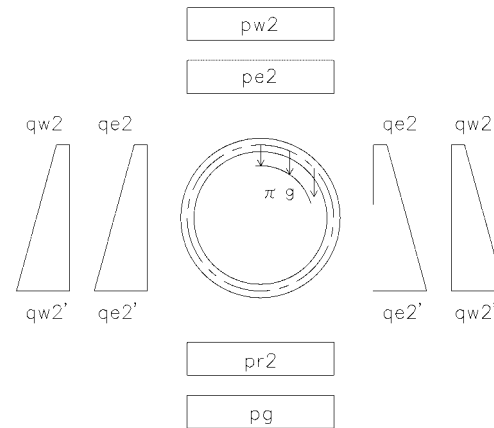
外環のシールドは、セグメント幅 1.8m、ボルトレス継手とすることにより、平均月進量 200m が可能である。

ただし、設備、土砂搬出能力等、平均月進量に対応可能な計画とすることが必要である。

<参考> セグメント厚さの検討

セグメントの構造は下記条件により、修正慣用計算法を用いて断面力を算出し、材料をコンクリート設計基準強度 59 N/mm^2 鉄筋 SD345 としたときの応力を照査して、セグメント厚 650 mm とした。

本線シールド(16m , t = 650mm) 計算条件		
基本条件	土被り(GL-m)	41
	地下水位(GL-m)	9
	作用土圧 $p_{s2}(\text{kN/m}^2)$	鉛直土圧の下限値(シールド天端まで:16.0m分) = 144
	地上部荷重	大深度地下使用制度における建築物荷重(直接基礎)
	上載荷重 $p_a(\text{kN/m}^2)$	建築物荷重(700kN/m ²) - 揚圧力 = 540
	分散後上載荷重 $p_{a2}(\text{kN/m}^2)$	上載荷重 540 kN/m ² を離隔 1D の位置から載荷幅 70m で 45° 分散したときの荷重として 371
	主な側方対象地盤	上総層
	想定N値	50
	土圧の取り扱い方	土水分離
	トンネル標準示方書による N 値の分布	非常によく締まった砂質土 : 30 N
	設計で用いる側方土圧係数	0.35
	設計で用いる地盤反力係数 $k[\text{MN/m}^3]$	50
リング幅[m]	1.5	
設計荷重(奥行き1mあたり) [kN/m]	鉛直土圧 $p_{e2} = p_{s2} + p_a$	= 515
	鉛直水圧 p_w	= 320
	頂部水平土圧 q_{e2}	= 219.4
	頂部水平水圧 p_w	= 326.5
	底部水平土圧 q_{e2}'	= 267.8
	底部水平水圧 p_w'	= 476.8
	鉛直荷重の反力 $p_{r2} = q_{e2} + p_w$	= 545.9
	自重反力 $p_g = \gamma \cdot g$	= 42.9



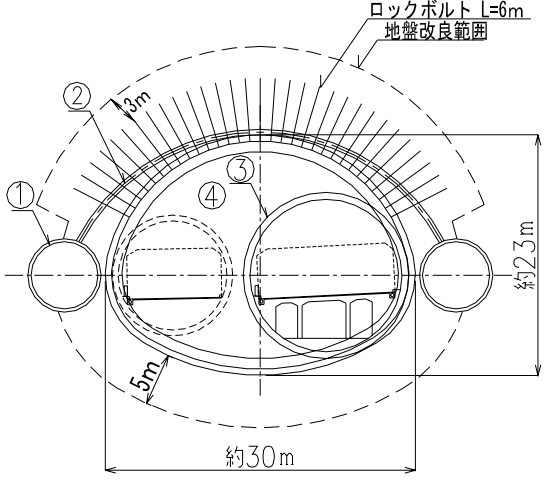
〔分散後の上載荷重 P_{a2} の考え方〕

7. 地中拡幅工法の検討

7.1 現有技術を基本とした工法の検討方針

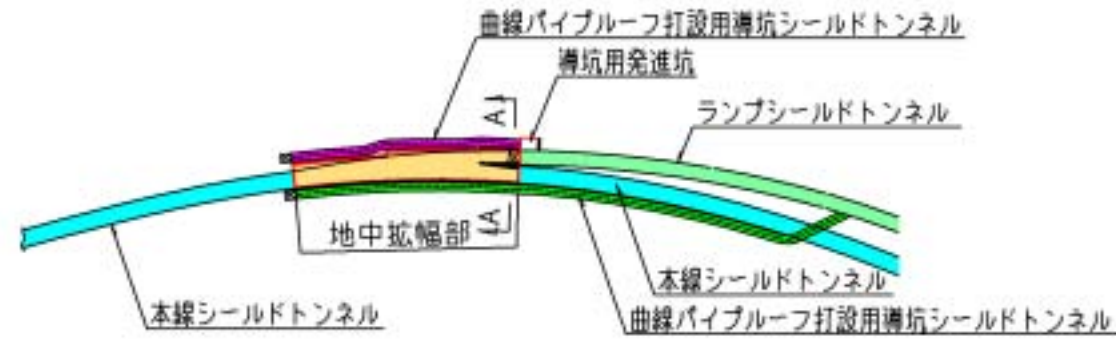
現有技術を基本とした工法は、基本的に従来工法の組合せであり、現時点で施工実現性が高く、今後は、安全かつ工期短縮、コスト縮減など合理性向上の検討および地下水におよぼす影響の検討が課題となる。

現有技術を基本とした工法の検討方針を以下に示す。

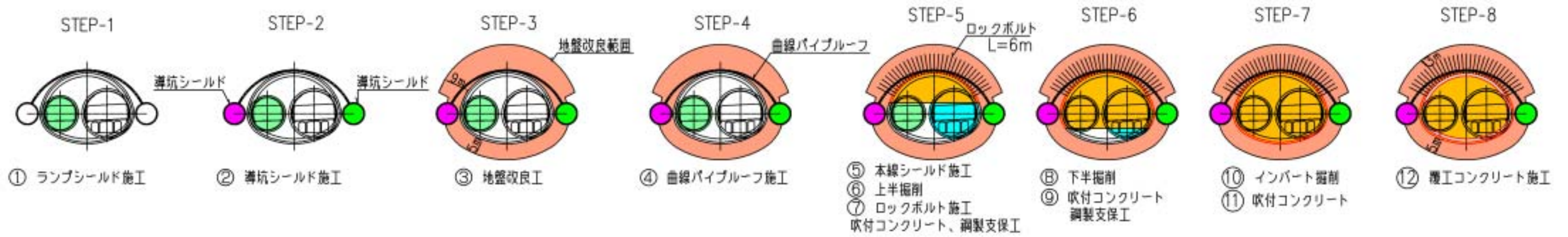
概要図	施工概要	今後の課題
	<p>トンネル掘削に先行して、導坑シールドから横断方向に曲線パイプルーフを打設し、剛性の高い先受け工を施工する(p.29 地中拡幅部施工法例参照)。</p> <p>導坑シールド施工 曲線パイプルーフ打設 本線シールド施工 本線シールドから掘削</p>	<ul style="list-style-type: none"> 安全かつ工期短縮、コスト縮減など合理性向上の検討 地下水におよぼす影響の検討

検討方針		検討項目	検討内容
構造的性	従来と比べて規模が大きいため、従来の設計手法では発生断面力が大きく、構造部材の使用材料として高強度かつ大規模なものを使用する必要があるため、これらを軽減した合理的な構造の検討。	作用荷重の検討	<ul style="list-style-type: none"> 実測値に基づく作用土圧の検討
		設計手法の検討	<ul style="list-style-type: none"> 計算方法の検討 地盤反力係数の検討
		部材構造の検討	<ul style="list-style-type: none"> 曲線パイプルーフを利用した構造軽減の検討
施工性	切羽を露出する NATM で施工するため、止水方法の合理化検討。	薬液注入工法の検討	<ul style="list-style-type: none"> 注入方法の検討 注入範囲の検討 注入管理方法の検討
		凍結工法の検討	<ul style="list-style-type: none"> 凍結範囲の検討 凍結工法による地盤変位(凍結膨張、凍結融解)の検討
	加背割、施工順序を考慮した施工方法の合理化検討。	施工方法の検討	<ul style="list-style-type: none"> 支保構造の検討 施工ステップの検討 妻壁の施工方法の検討
地下水におよぼす影響の検討	トンネルの漏水や地下水流を遮断することによる地下水への影響検討。	施工時の漏水防止	<ul style="list-style-type: none"> 上記補助工法における止水方法の検討で実施
		完成時の漏水防止	<ul style="list-style-type: none"> 防水方法の検討
		地下水流遮断の影響	<ul style="list-style-type: none"> 「2.地下水に及ぼす影響検討」(p.2 参照) で実施

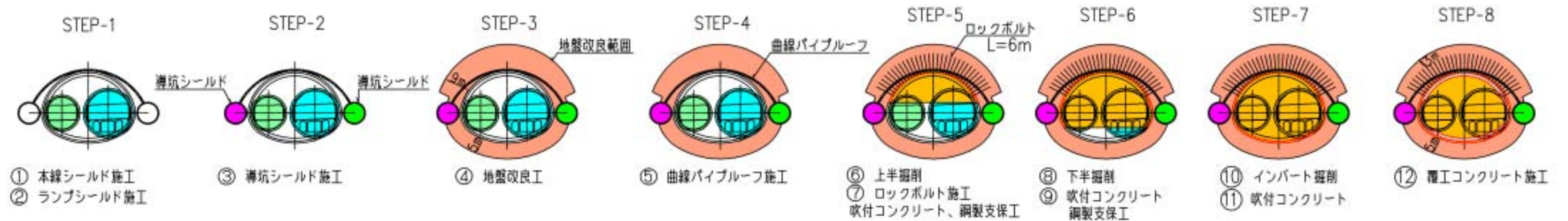
<参考> 地中拡幅部施工法例



ランプシールドを先行して施工する場合



本線シールドを先行して施工する場合



7.2 新工法の技術開発の方向性

分岐合流部の施工方法は、より合理的に構造物を構築するために、環境など地域への影響を極力小さくしながら、安全かつ工期短縮、コスト縮減を考慮した新工法の技術開発が望まれる。
 効率的な技術開発を行うためには、以下の事項について留意する必要があると考えられ、これら事項について、技術開発の方向性の検討を行う。

留意する必要がある事項	キーワード
技術開発の目標および条件	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 新工法の開発期間 ➤ 地上への影響、安全性の向上、工期短縮・コスト縮減に留意した外環における分岐合流部の条件 など
技術開発の進め方	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 条件を明確化し、効率のよい技術開発の方向性を検討する など
技術的課題に対する認識の共有や合理的な技術開発の実施に向けた環境の整備	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 大深度トンネル技術検討委員会等を利用した、情報の共有化 ➤ 民間・国等の研究機関で研究・開発されている新工法の実態把握 など
新工法の適用性について判断する際の技術的確認事項	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 性能発注型や技術提案型の発注形式を踏まえ、新工法の適用性について判断する際の技術的確認事項の検討 など

【参考】 表 7.2.1 新工法の分類（第2回大深度トンネル技術検討委員会資料より抜粋）

工法の分類	横断方向に強固な補助工法を先受け工とする工法	縦断方向に設置する連続した梁を先受けとする工法	本線とランプを梁で接続する工法
	代表例：曲線パイプルーフ工法（現有技術を基本とした工法）	代表例：小トンネル覆工構築工法	
概要図			
施工概要	<p>トンネル掘削に先行して、導坑シールドより横断方向に曲線パイプルーフを打設し、剛性の高い先受け工を施工する。</p> <p>導坑シールド施工 曲線パイプルーフ打設 本線シールド施工 本線シールドから掘削</p>	<p>影響の小さい小トンネルでトンネルの外殻を予め構築し、その集合体で覆工を形成する。その後内部を掘削することでトンネルを建設する。</p> <p>小トンネルを連続して施工 内部を掘削</p>	<p>シールド工法で作られた鉄道の駅部などに従来から採用されてきた「かんざし桁」工法を応用した工法。 本線シールドとランプシールド間に土留めを行い、セグメントを取り外し、両シールド間の地盤を掘削する。 完成構造体の形状は、上下に設置する梁と左右両端のセグメントを柱として形成される。</p> <p>本線シールドとランプシールド間 土留め構築 本線シールドとランプシールドの間を掘削 本線シールドとランプシールドを高強度の梁で接続</p>
新工法の施工実現性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現有技術である曲線パイプルーフ工法を代表例とすると実現可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 小トンネル覆工構築工法を代表例とすると、要素技術は現有技術の延長と考えられ、小トンネルの施工方法・止水性など、課題を解決すれば実現可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施工法は現有技術で実現可能。セグメントなどの高強度部材・完成構造体など、課題を解決すれば実現可能。
考えられるメリット	<ul style="list-style-type: none"> ・ 基本的に従来工法の組合せであり現時点で施工実現性が高い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 小トンネルの施工速度の高速化および経済性の向上を図ることができれば、コスト縮減、工期短縮につながる。 ・ 影響の小さい小トンネルでトンネルの外殻を予め構築することにより、地盤への影響を曲線パイプルーフ工法より小さくすることができる可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 最も掘削断面が小さいため、コスト縮減、工期短縮や地盤への影響を曲線パイプルーフ工法より小さくすることができる可能性がある。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ コスト縮減、工期短縮など合理性向上の検討 ・ 地下水におよぼす影響の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 小トンネルでトンネルの外殻を構築する施工方法・止水性の検討 ・ 施工順序などを考慮した周辺地盤におよぼす影響、設計方法の検討 ・ 小トンネルのコスト縮減の検討 ・ 小トンネルの施工速度の高速化による工期短縮の検討 ・ 地下水におよぼす影響の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 梁および柱部材となるセグメントなどの高強度材料・完成構造体の検討 ・ 施工順序などを考慮した周辺地盤におよぼす影響、設計方法の検討 ・ 地下水におよぼす影響の検討