

第32回台日工程技术研讨会

# 都市内長大道路トンネルの建設・維持管理

～首都高速中央環状線 山手トンネル～

平成29年11月23日 首都高速道路(株)  
技術部 寺島 善宏

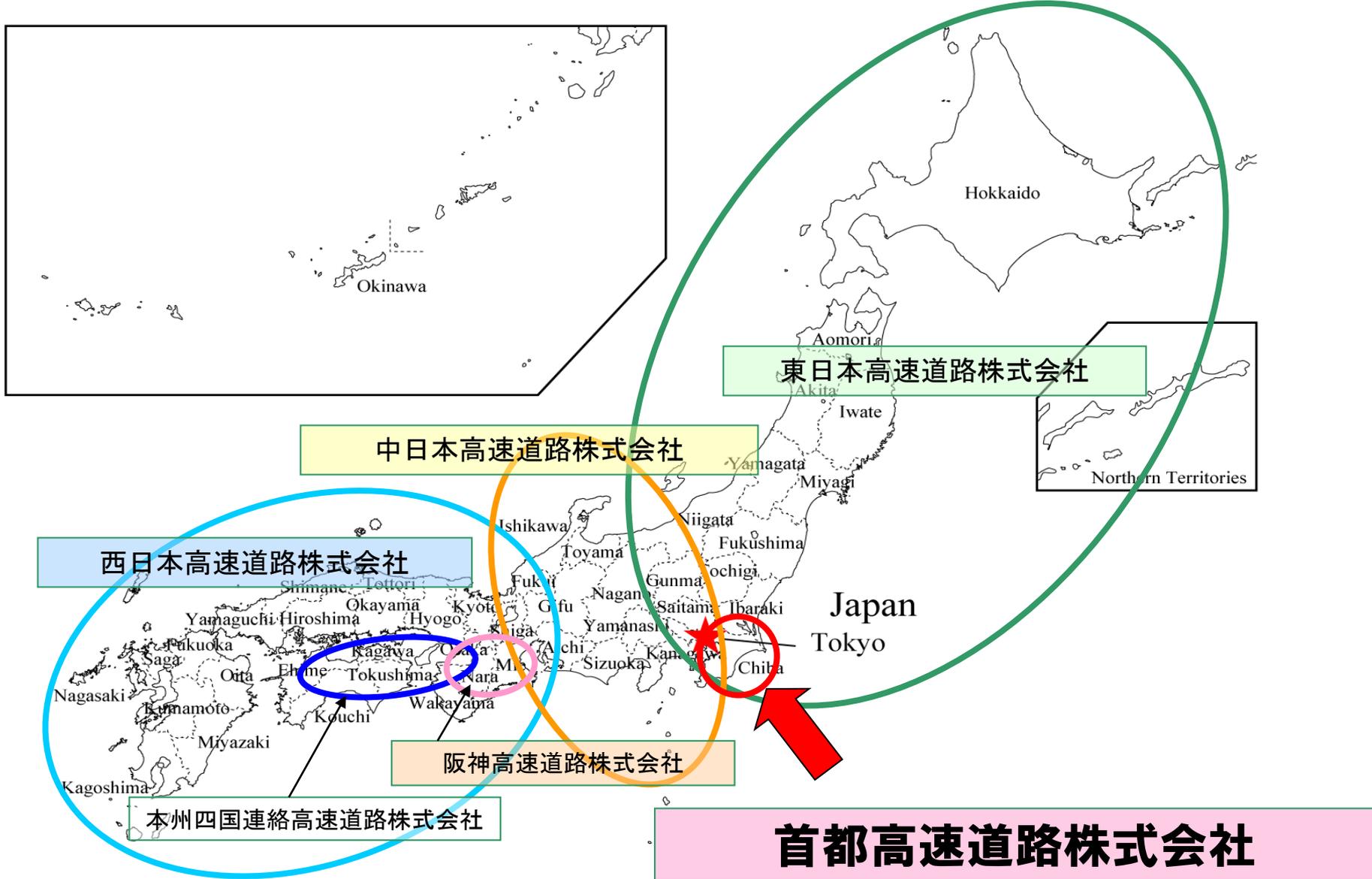
# 目次

1. 首都高速道路の概要
2. ネットワーク整備及び改築事業の状況
3. 都市内長大道路トンネルの建設・維持管理  
～首都高速中央環状線 山手トンネル～
4. その他、首都高速道路 大規模更新の紹介

# 1. 首都高速道路の概要



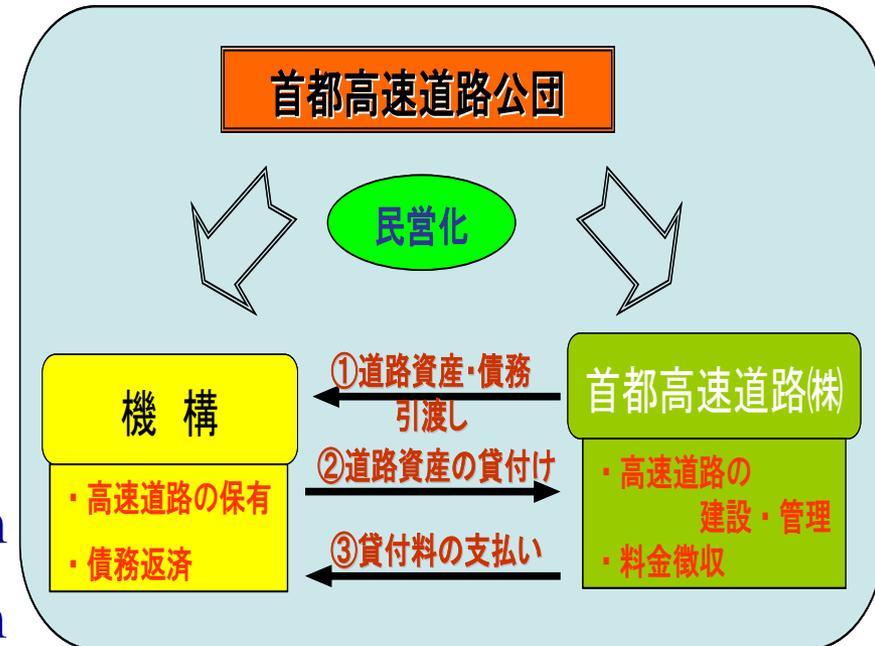
# 日本の高速道路会社と所掌範囲



# 会社概要

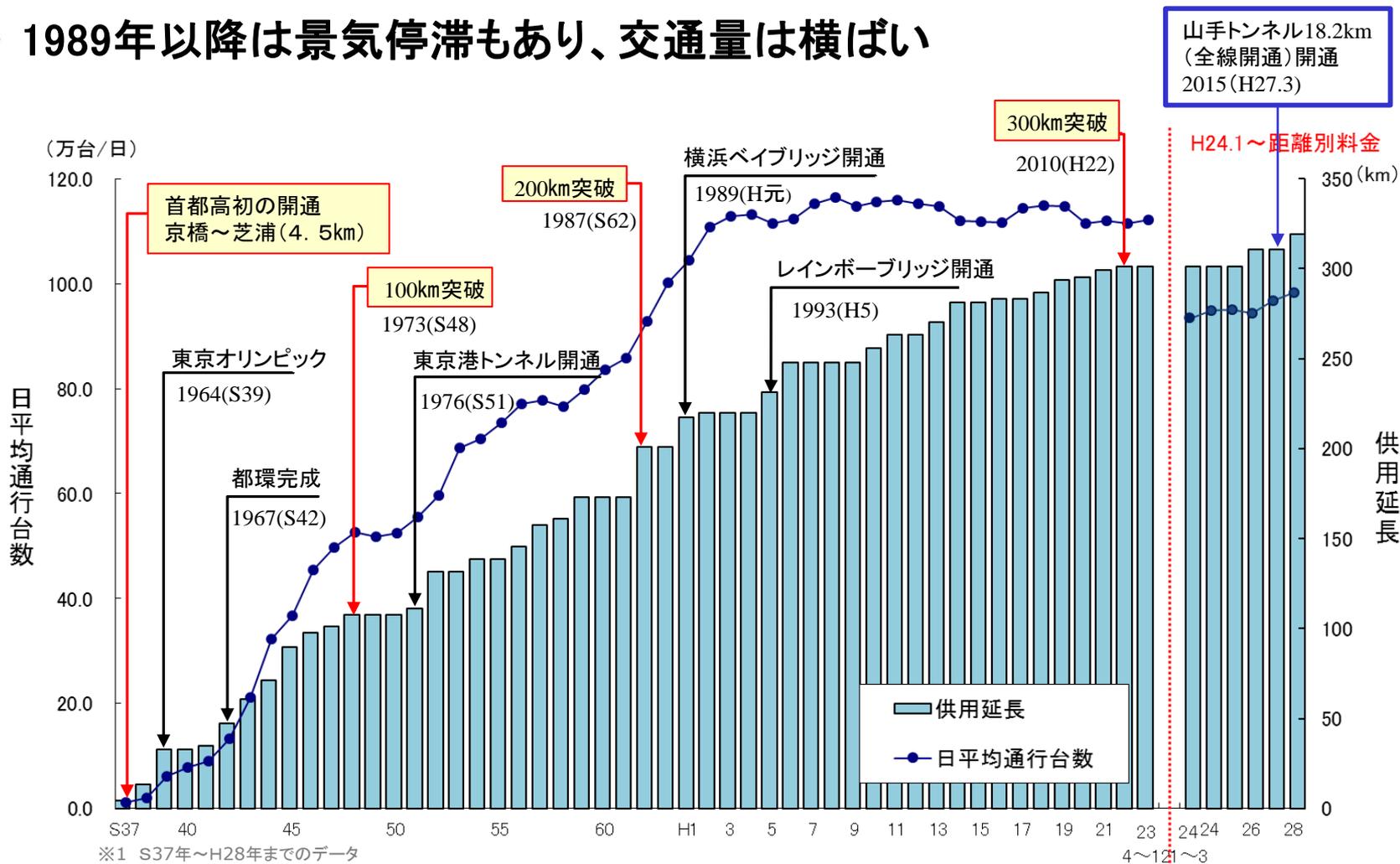
首都高速道路公団設立：1959年6月  
2005年10月に民営化（下図はイメージ）

- 設立日 平成17年10月1日
- 社員数 約1,100人
- 資本金 135億円
- 株主 政府 50%  
地方自治体 50%
- 道路延長 営業中路線 318.9km  
建設中路線 16.3km
- 通行台数 98万台／日（H28年度）
- 料金収入 2,694億円（税抜き）（H28年度）
- 要償還額 約5兆2,162億円（H29年度期首）



# 首都高速道路の路線延長と利用台数

- 放射方向の整備が進んだ1987年までは交通量は路線延長の伸びに比例
- 1989年以降は景気停滞もあり、交通量は横ばい



※1 S37年～H28年までのデータ

※2 通行台数は営業台数

※3 均一料金制時は、料金圏毎に1台として集計

※4 距離別料金制時(H24年度以降)は、料金圏を撤廃して1台として集計

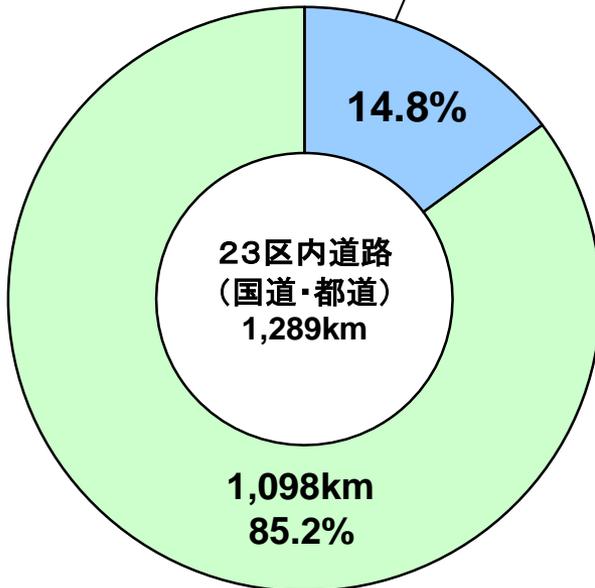
© Metropolitan Expressway Company Limited 2017

# 物流を担う首都高

首都高速道路は、東京23区内の道路の約15%にすぎないが、走行台キロは約36%、貨物輸送量は約28%を占める

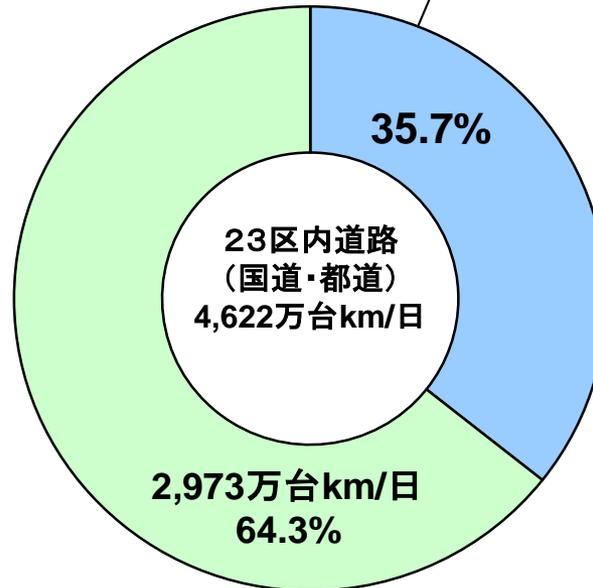
道路延長

首都高速道路 191km



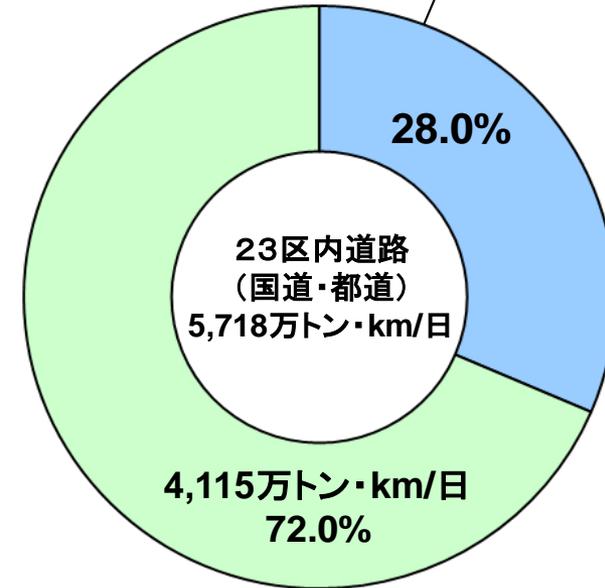
走行台キロ

首都高速道路 1,648万台km/日



貨物輸送量

首都高速道路 1,603万トン・km/日



出典: (道路延長、走行台キロ) 平成22年度道路交通センサス(国土交通省)  
(貨物輸送量) 第28回首都高速道路交通起終点調査(平成24年度)データ及び  
平成22年度道路交通センサスマスターデータから23区内で発着  
する貨物車類(軽貨物車・小型貨物車・普通貨物車)で独自に推計

# 首都高を代表する構造物



レインボーブリッジ



横浜ベイブリッジ



五色桜大橋



鶴見つばさ橋



江戸橋ジャンクション



山手トンネル

## 2. ネットワーク整備及び改築事業の状況



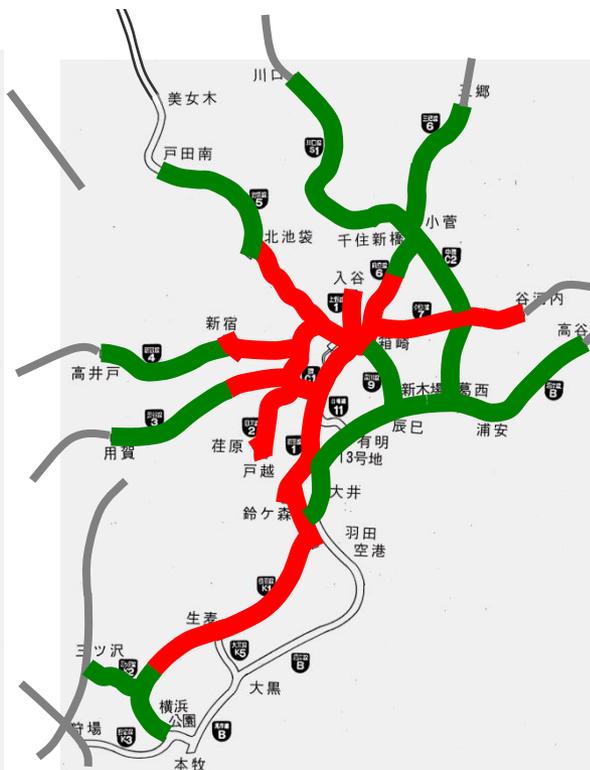
# 高速道路のネットワーク整備の経緯

- 放射線が先行し都市間高速との接続の後、環状線等の整備によるネットワーク機能の強化を推進
- 供用延長は318.9km、首都高は首都圏の自動車交通の大動脈(21017.10月現在)



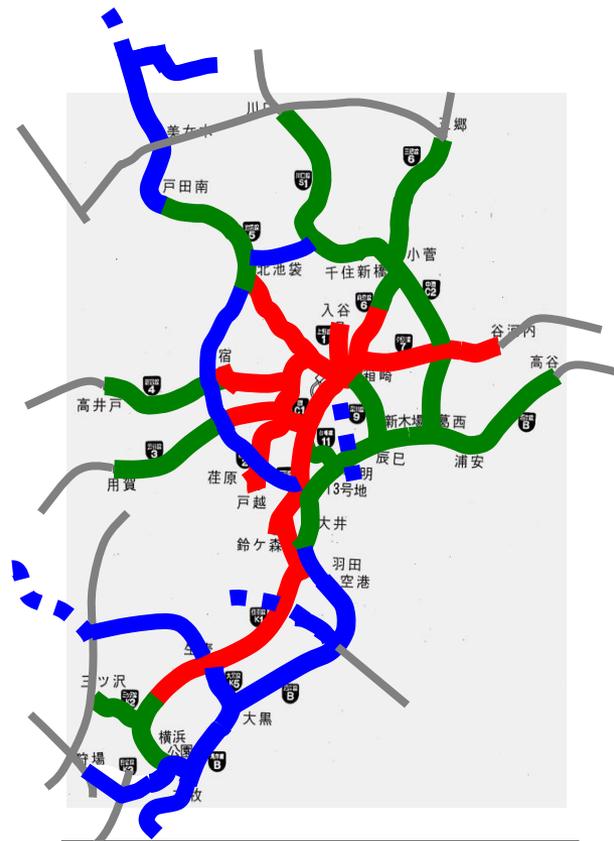
供用延長90km(1970年)  
 通行台数37万台/日(1970年)

(1962年~1970年) ■  
 都心環状線と放射路線の整備



供用延長201 km (1988)  
 通行台数100万台/日(1988)

(1971年~1988年) ■  
 都市間高速道路との接続

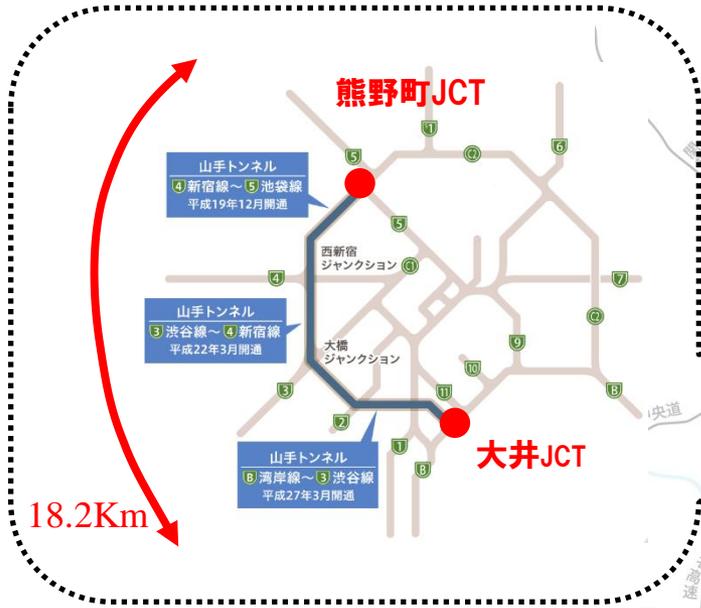


供用延長318.9 km (2017)  
 通行台数98万台/日(H28年度実績)

(1989年~) ■  
 中央環状線等のネットワークの整備

# 首都高ネットワーク整備・改築事業状況

## 山手トンネルの建設



山手トンネル18.2km  
2015年3月開通

## 【改築事業】

板橋・熊野町JCT間改良  
(事業年度:2017 (H29)年度)

堀切・小菅JCT間改良  
(事業年度:2017 (H29)年度)

小松川JCT  
(事業年度:2019 (H31)年度)

## 【建設事業】

晴海線(晴海~豊洲) L=1.2km  
(事業年度:2017(H29)年度)

渋谷入口  
(事業年度2018 (H30)年度)

横浜環状北西線 L=7.1km  
(事業年度:2021(H33)年度)



### 3. 都市内長大道路トンネルの建設・維持管理



# 首都圏3環状道路と首都高速中央環状線

## C2 中央環状線

首都高速 中央環状線

外環道

圏央道

首都高 所掌範囲外



山手トンネル

(B) 湾岸線 ~ (3) 渋谷線

新規開通区間

2015年3月7日開通

— 開通区間 — 未開通区間 2014年7月時点

# 首都高速 中央環状線

中央環状線(全線約47km、都心から半径約8kmに位置)

東側から建設を開始、東・北側は橋梁、西側・南西部はトンネルが主体



山手トンネル18.2km  
段階的に整備  
2007年(4号~5号間)  
2010年(3号~4号間)  
2015年(B湾岸線~3号間)



五色桜大橋  
(2002年、橋長142m)

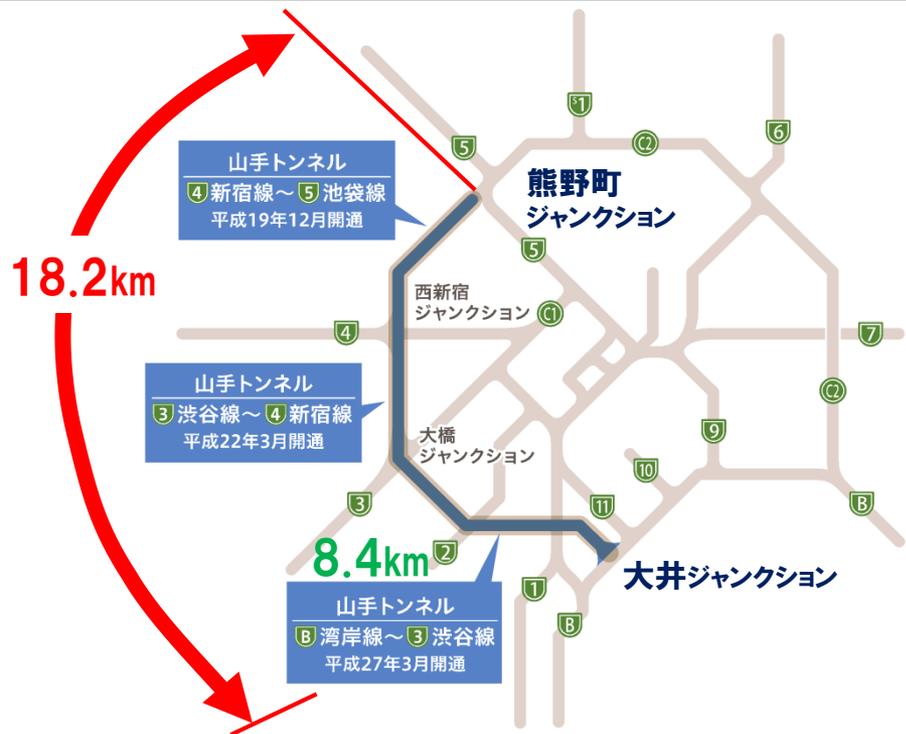


かつしかハープ橋  
(1987年、橋長455m)



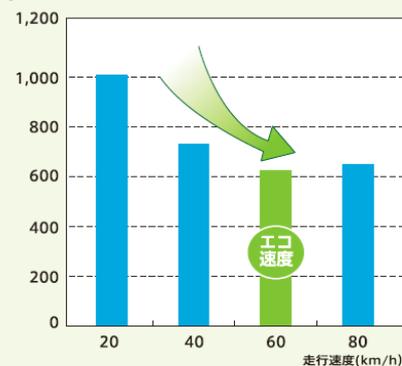
※中央環状線:1977年、東側区間から順次、着工

# 都市内長大トンネル山手トンネルの整備効果



## 環境改善

CO<sub>2</sub>排出量 (g-CO<sub>2</sub>/km) 【速度とCO<sub>2</sub>排出量の関係 大型車の場合】

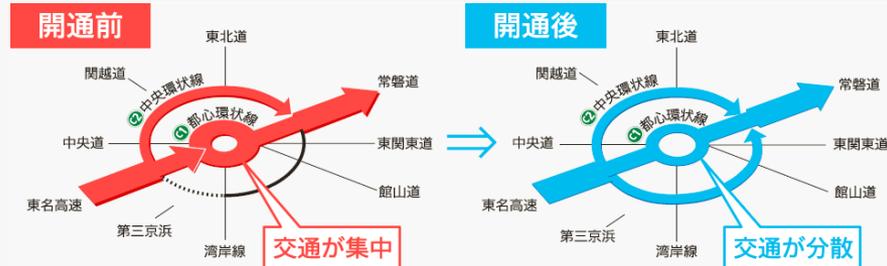


- CO<sub>2</sub> 約9万t/年
  - NOx 約100t/年
  - SPM 約6t/年
- を削減

※開通前の予測値

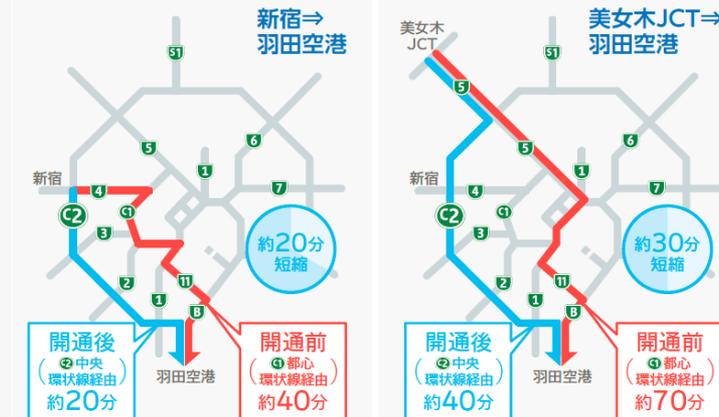
出典:国土技術政策総合研究所資料をもとに大型車のCO<sub>2</sub>排出量を算出。(2010年次)

## 渋滞緩和



## 時間短縮

※開通前の予測値



# 中央環状線(湾岸線～3号渋谷線)の概要

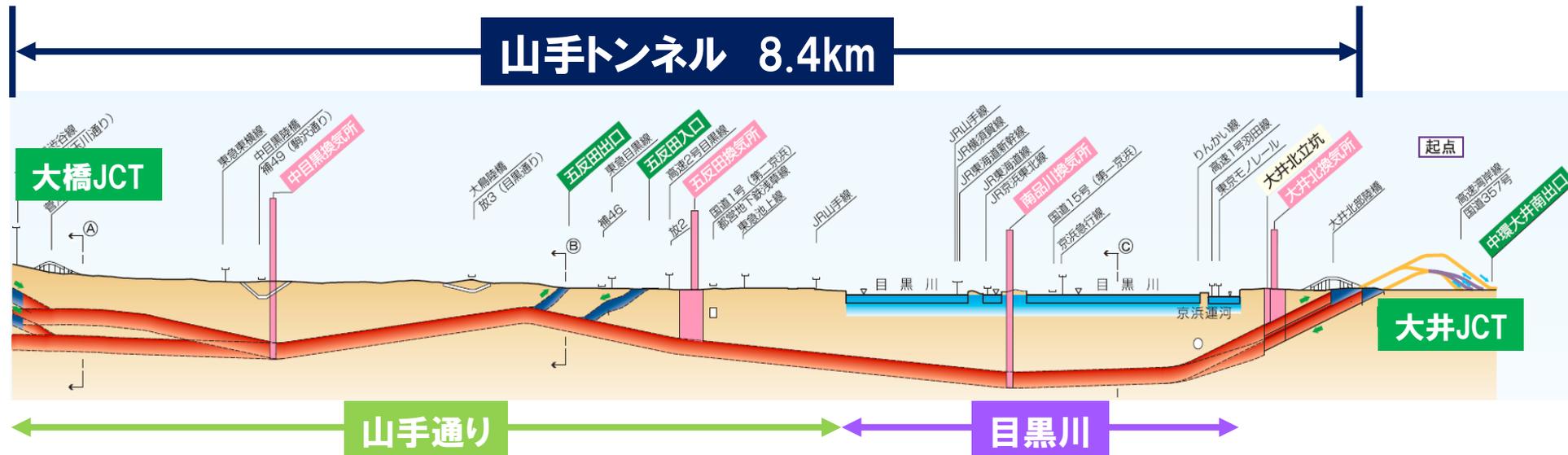


- 【 区 間 】 品川区八潮三丁目～目黒区青葉台四丁目
- 【 延 長 】 9.4km(トンネル8.4km 高架0.6km 土工0.4km)
- 【 出 入 口 】 入口1箇所(五反田) 出口2箇所(五反田、中環大井南)
- 【 換 気 所 】 4箇所(大井北、南品川、五反田、中目黒)
- 【 総 事 業 費 】 約3,100億円

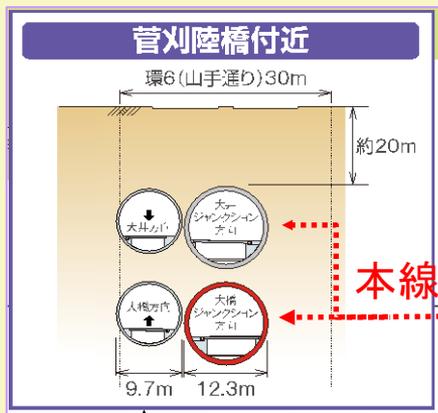
# 山手トンネルの施工環境

## 都市部特有の施工環境

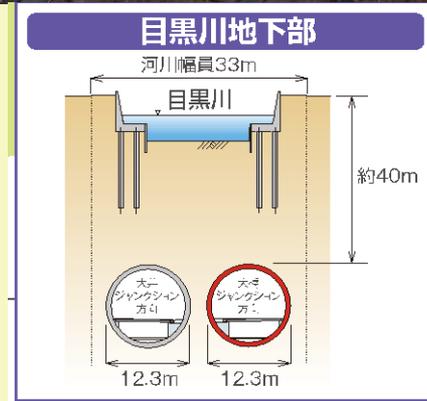
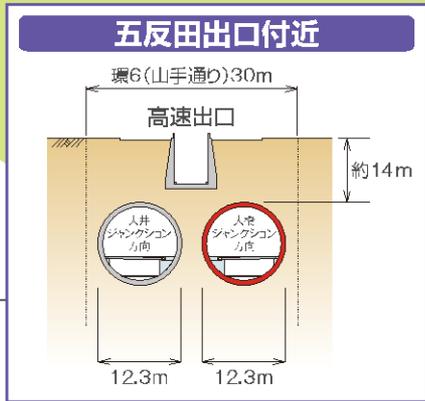
- 沿道は高層の住居、店舗等が密集 —地盤沈下対策、地下水対策—
- 多数の交差する鉄道、地下鉄等 —りんかい線等、14線—（最小離隔3m）
- 重交通の山手通り —交通量3~4万台／日—



# 山手トンネルの施工環境



**連結路シールド**



# プロジェクトの主要課題と対応

## ① 早期完成、新技術等の活用によるコスト縮減

- ・ 早期に整備効果を発現、社会的要請への対応
- ・ 新技術の活用、技術開発によるコスト縮減
- ・ 新技術の活用等による品質確保・向上



## ② 沿道環境、街路交通への影響低減

- ・ 新技術の活用等による工事影響の低減、  
環境の確保

⇒ 「長距離大断面シールド」技術

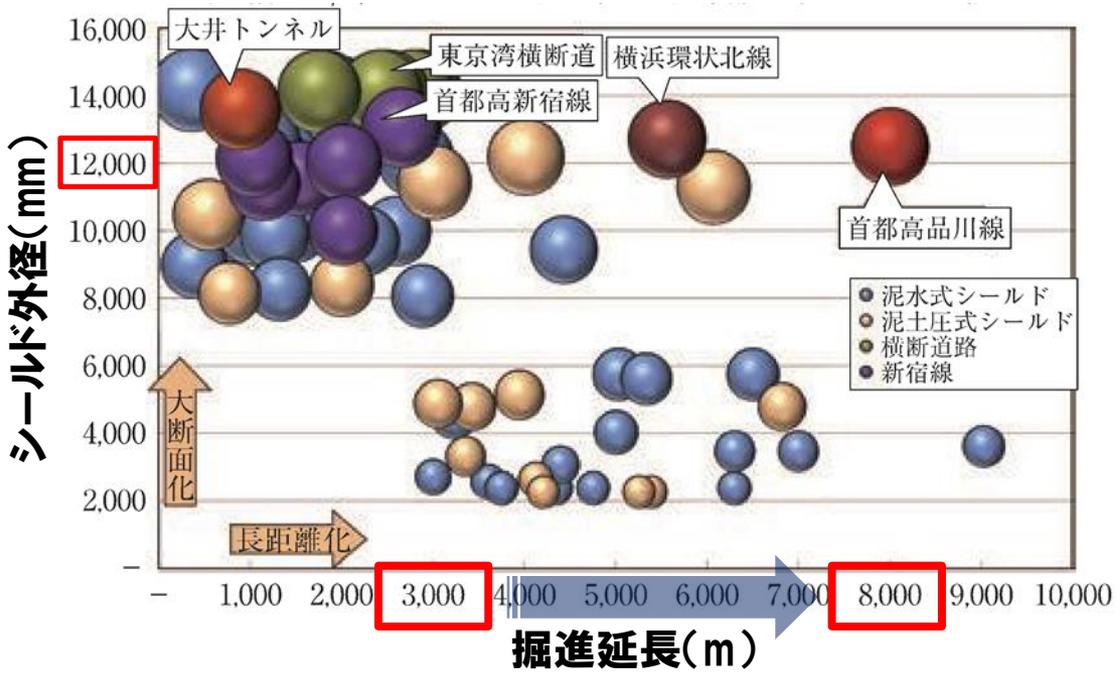
「シールド切開き」技術



# 課題への対応①

## 「長距離大断面シールド」技術

- 長距離・高速掘進(8km/マシン1台)
- 大断面 泥土圧式シールド(シールドマシン径12.55m)



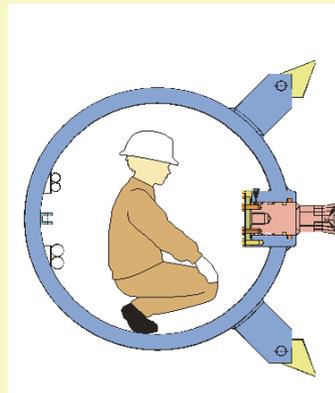
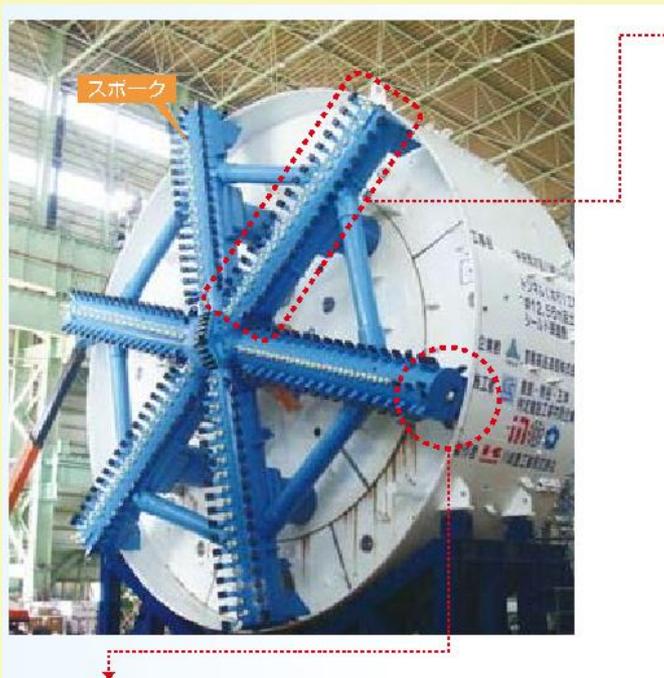
シールドトンネルの掘進延長



# 長距離・大断面シールドの掘進技術①

## ➤ ビット交換方式

—長距離・高速掘進— 想定外の摩耗や損傷時に内部からビットを交換可能



### リレービット方式の採用

- ・大型ビットを採用、ビット交換なしで8kmの掘削可能
- ・万が一の損傷・摩耗に対応可能



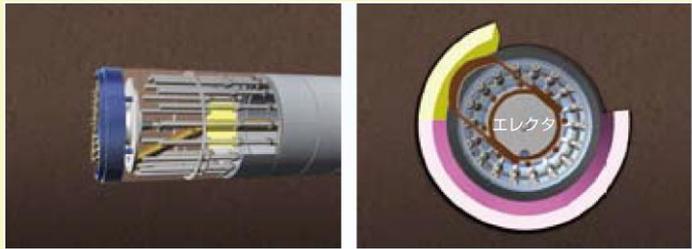
### コピーカッターにもリレービットを採用

- ・曲線施工区間が全体の約半分、使用頻度高い
- ・予備を含め2本装備、かつリレービットを採用

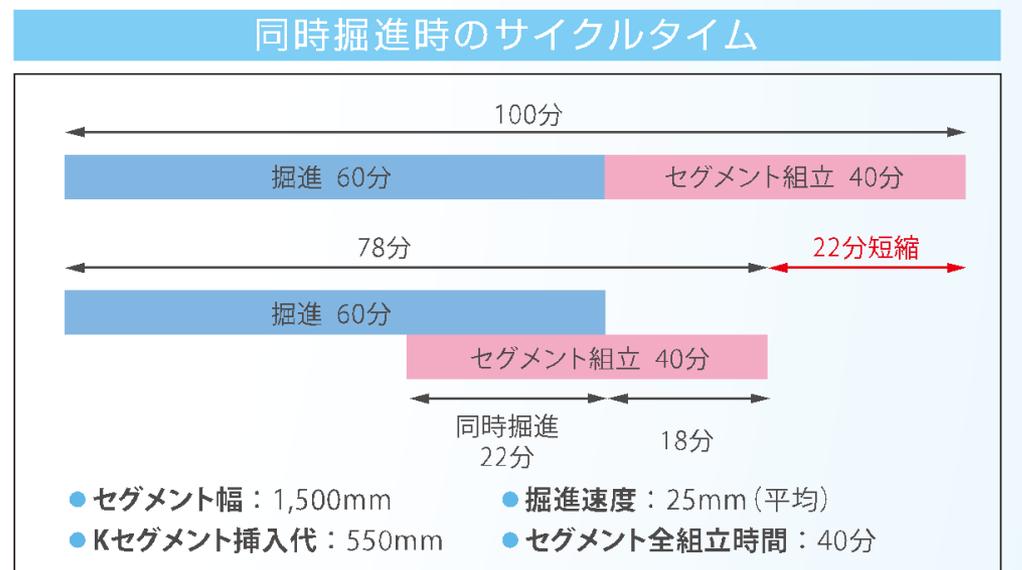
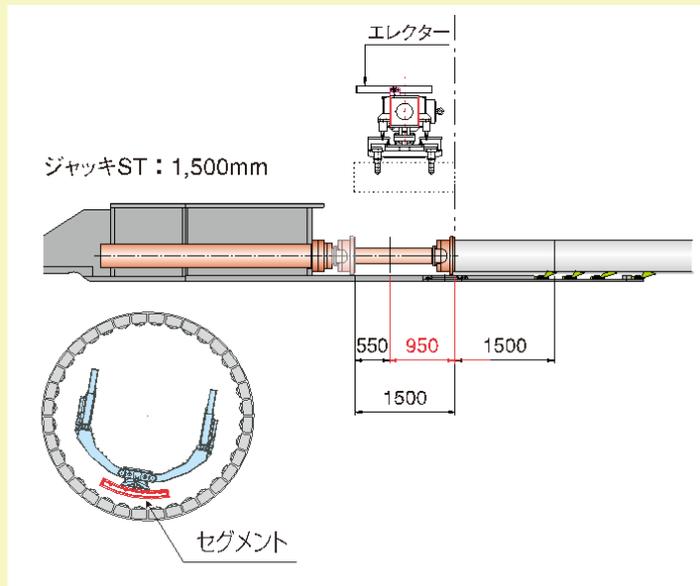
# 長距離・大断面シールドの掘進技術②

## ➤ 同時掘進システム

—長距離・高速掘進— 掘進・セグメント組立サイクルの短縮



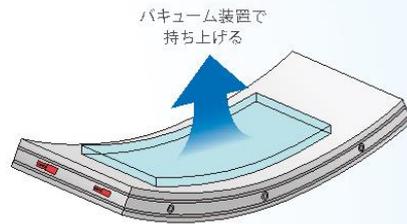
月進400mの高速施工を実現するため、掘進途中からセグメントの組立を開始できる同時掘進システムを採用



# 長距離・大断面シールドの掘進技術③

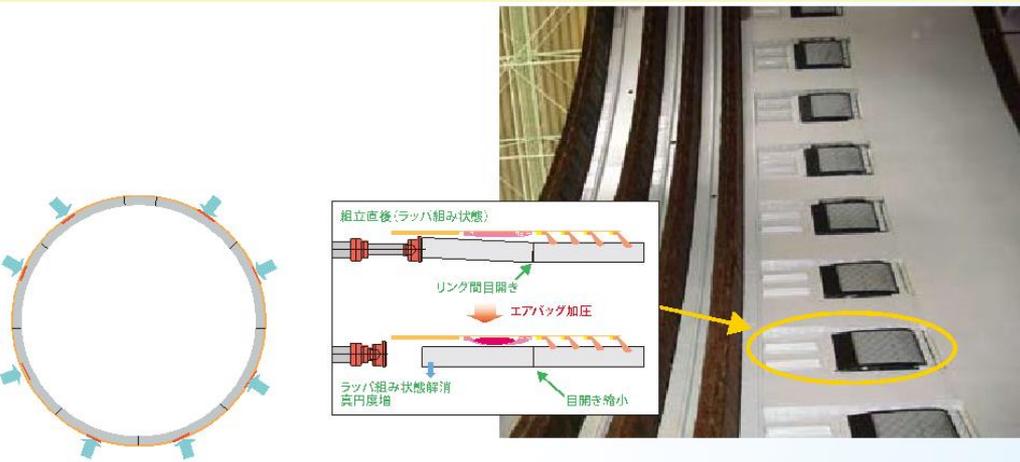
## 品質確保

### —長距離・高速掘進— 各種装備によるセグメント品質の確保



#### ボキューム方式エレクター

- ・セグメントの把持部周辺の欠けを防止する



#### エアバッグ式形状保持装置

- ・セグメントの外側からエアバッグを用いて加圧し、セグメントを真円のリング状に組み立てる
- ・高速掘進を目的に直線部は幅2mの幅広セグメントを採用。セグメントのひび割れ防止として真円状に組むことが重要

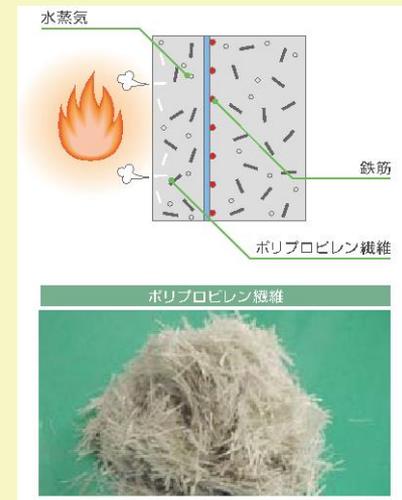
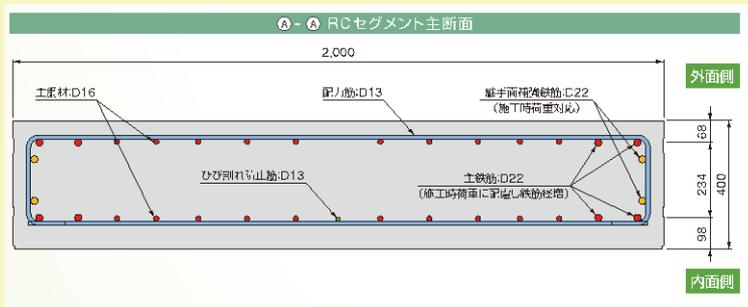
# 長距離・大断面シールドの掘進技術④

## ➤ 耐火機能一体型RCセグメント

—長距離・高速掘進— セグメントにポリプロピレン繊維を混入、耐火工を省略



・セグメント自体に耐火機能を持たせる仕様。火災時にはポリプロピレン繊維が溶解、コンクリート内の水蒸気を逃すことで、コンクリートの爆裂を抑制する。



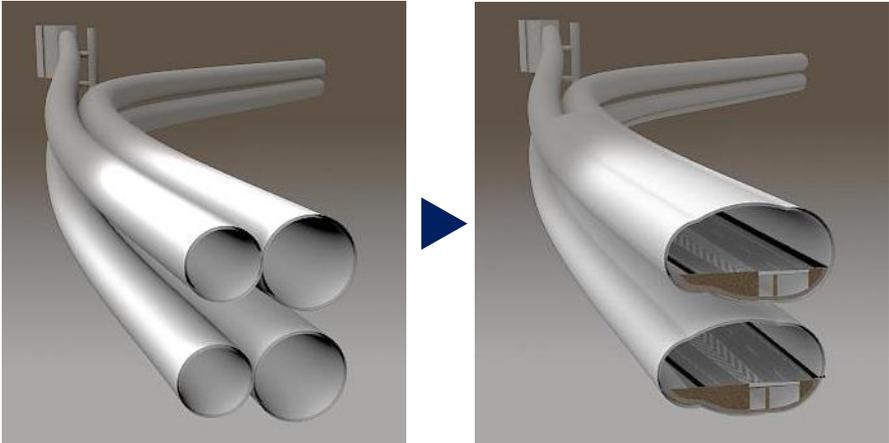
トンネル名	掘進延長	セグメント外径	RCセグメント厚	セグメント幅
北行きシールド	8,030m	12.3m	40cm	2m, 1.5m, 1.2m

# 課題への対応②

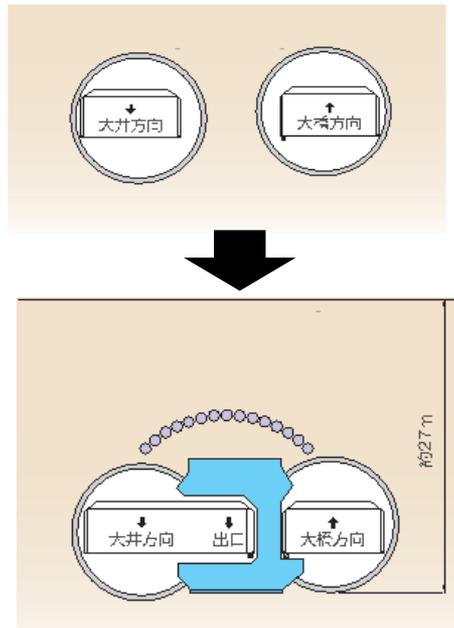
## 「シールド切開き」技術

Shield Tunnel Expansion Methods( STEMs)

- シールドトンネル間を切開いて①ジャンクション、②出入口を構築
- シールドトンネルの長距離掘進が可能、地上への影響低減

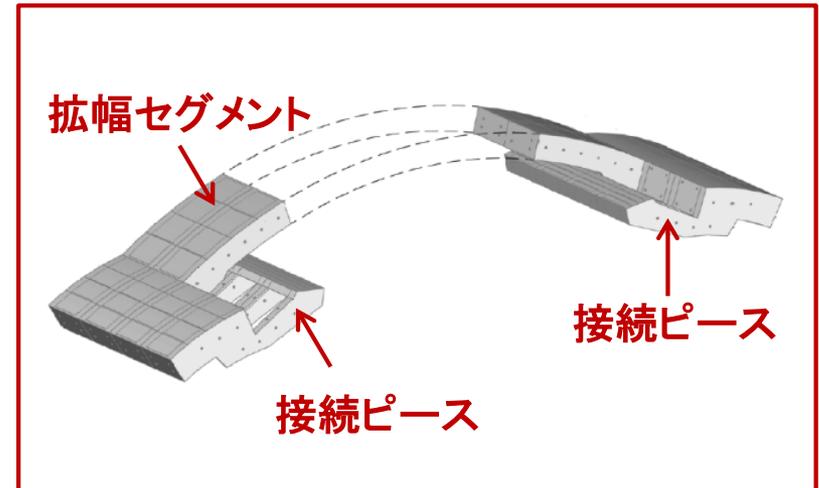
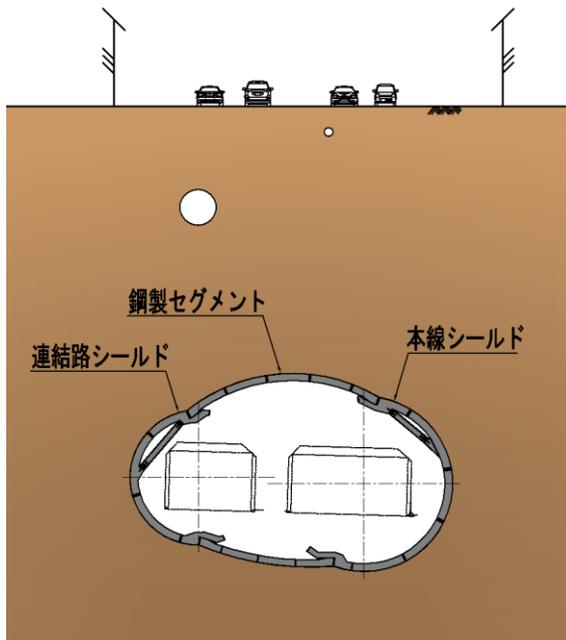
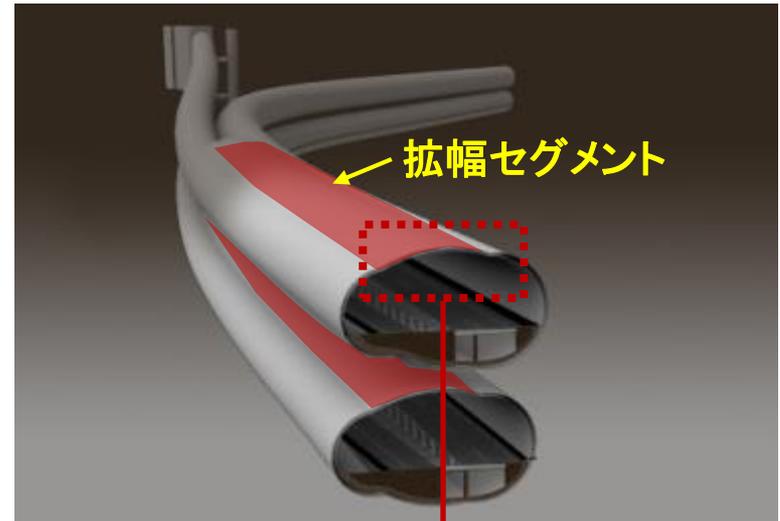
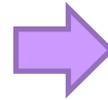
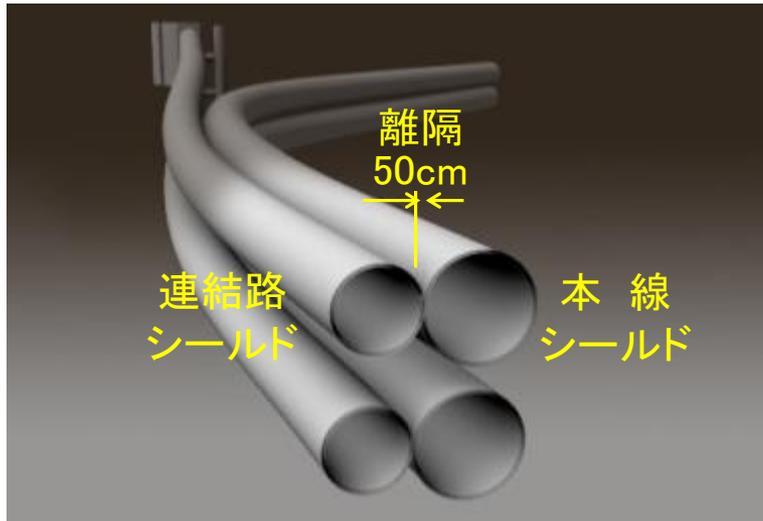


①ジャンクションの構築事例



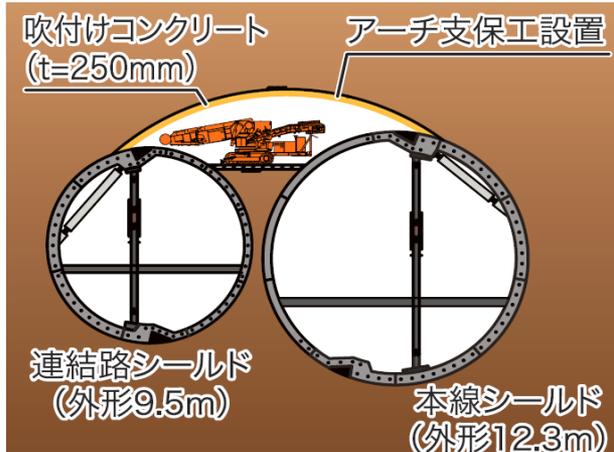
②出入口の構築事例

# 「シールド切開き」技術(ジャンクション構築事例)

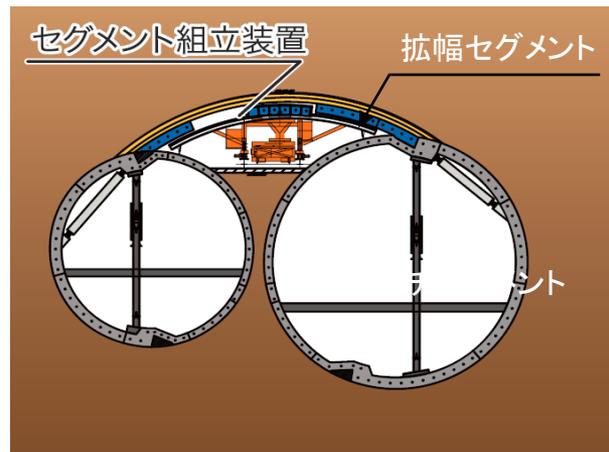


# 「シールド切開き」技術（施工手順）

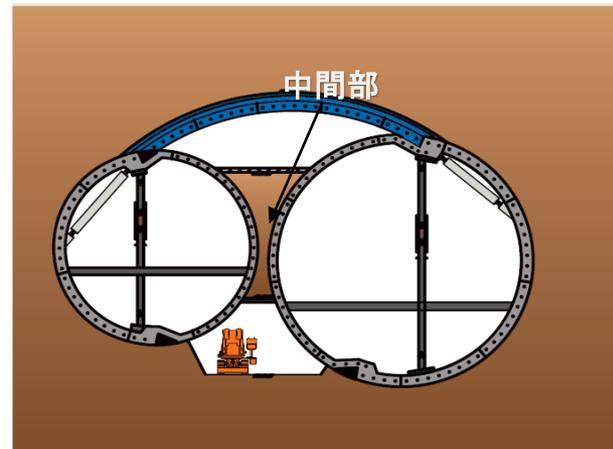
## Step1 ・上部掘削



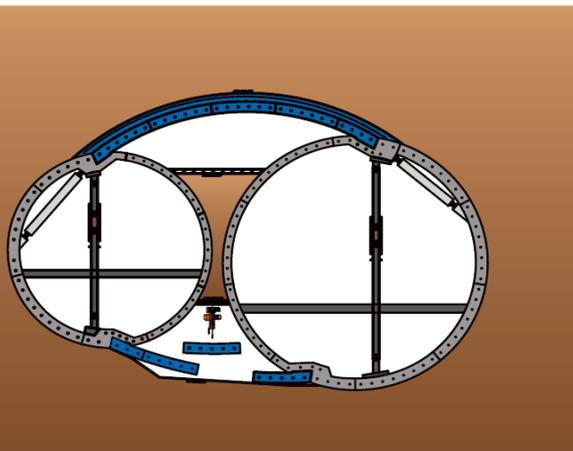
## Step2 ・上部セグメント組立



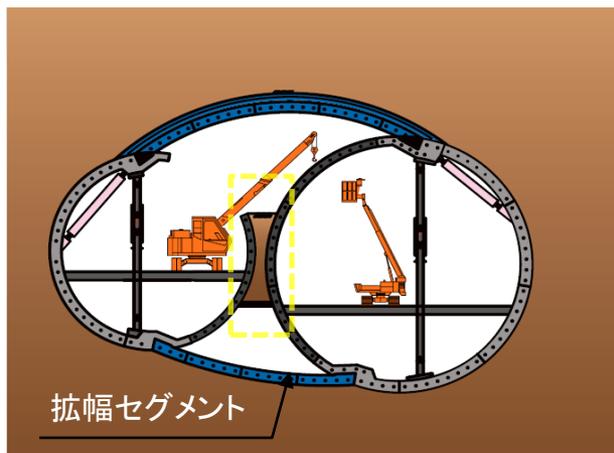
## Step3 ・下部掘削



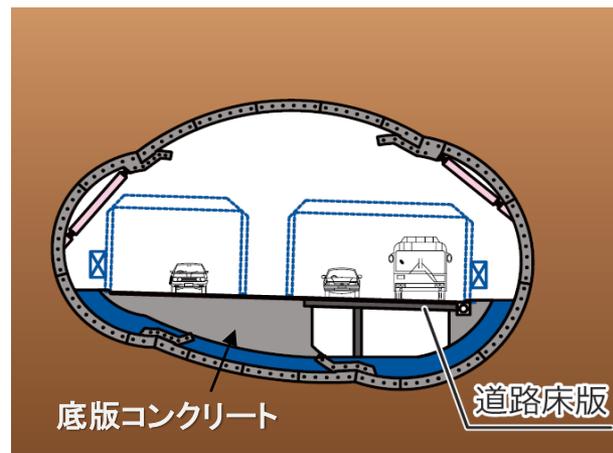
## Step4 ・下部セグメント組立



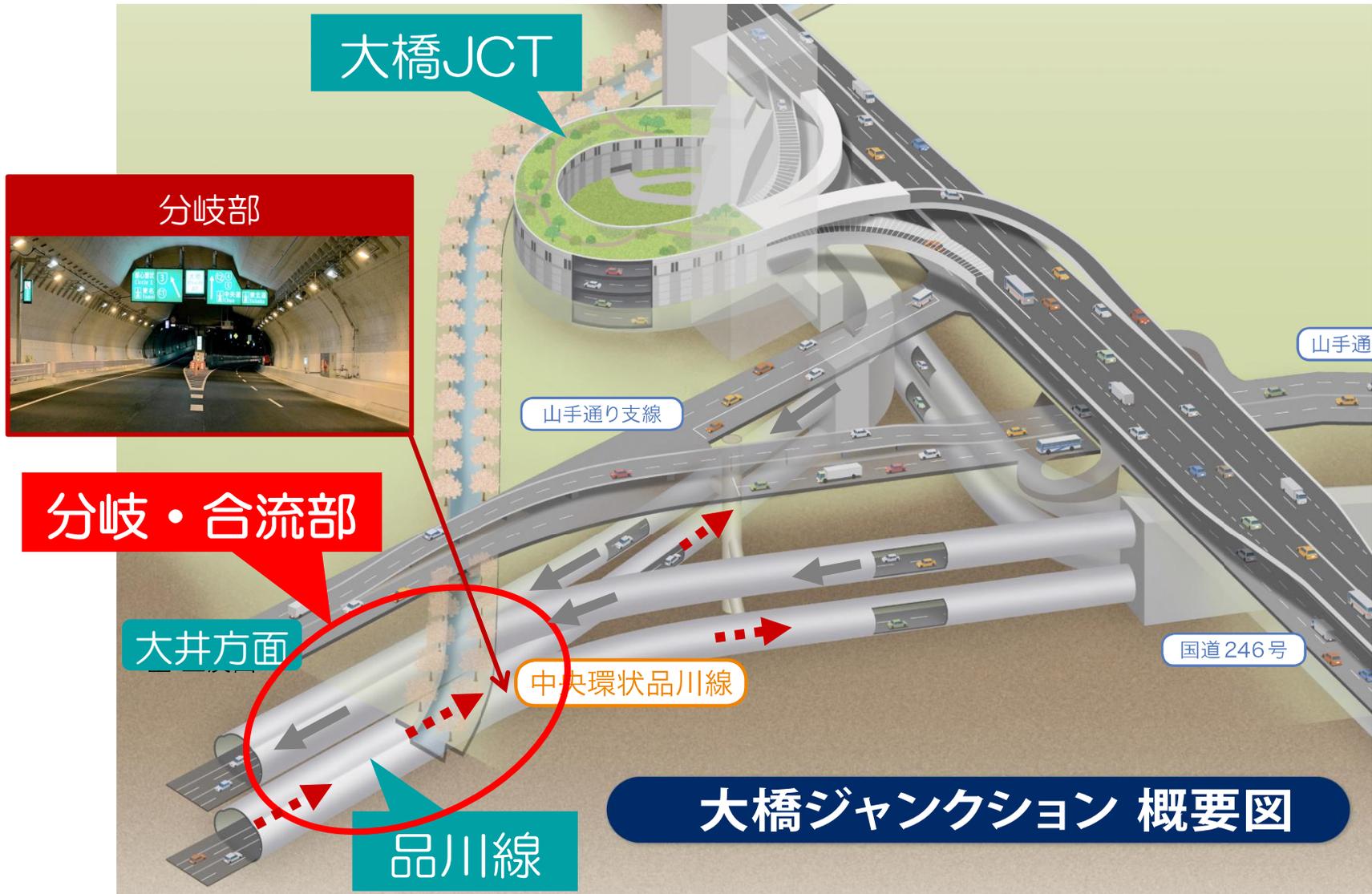
## Step5 ・中間部撤去



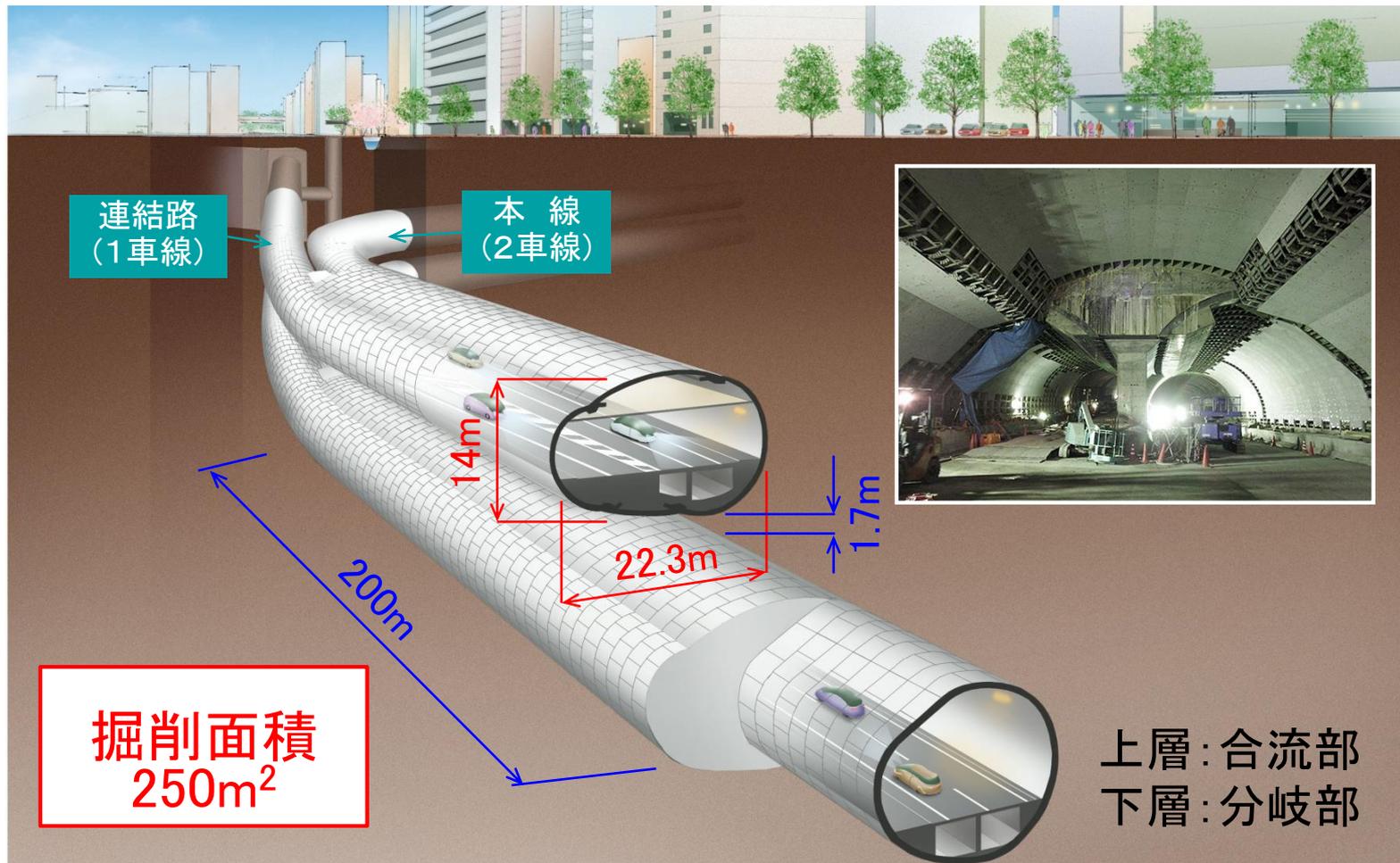
## Step6 (完成) ・内部構築



# 「シールド切開き」技術（適用箇所）



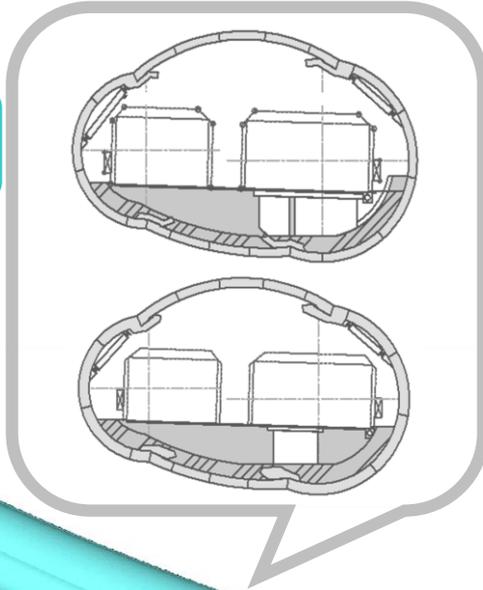
# 「シールド切開き」技術（適用箇所）



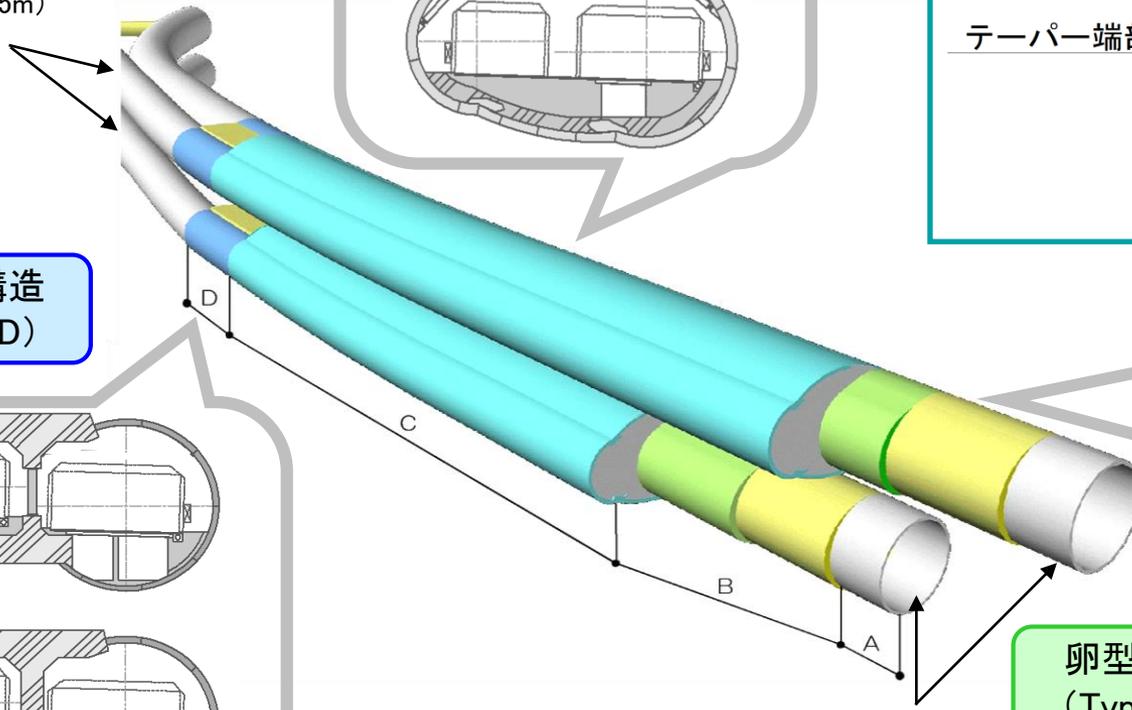
「地中で2本のシールドトンネルを1本のトンネルに拡幅する技術」

# 「シールド切開き」技術（覆工構造）

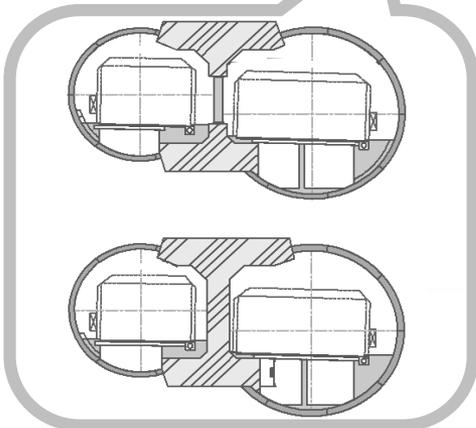
無柱構造  
(Type-C)



連結路シールド  
(外径9.5m)

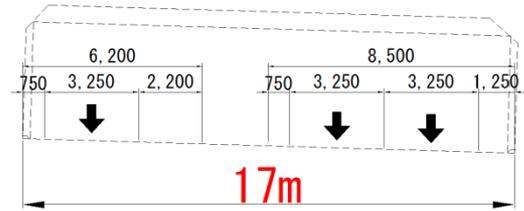


1本柱構造  
(Type-D)

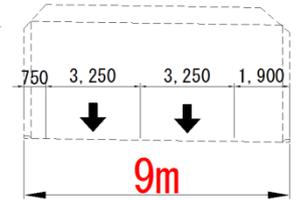


道路幅員

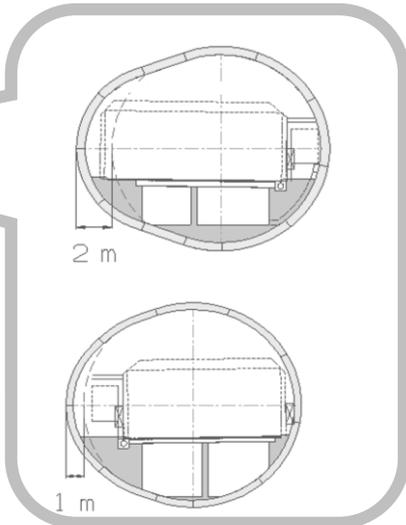
ノーズ部



テーパ端部

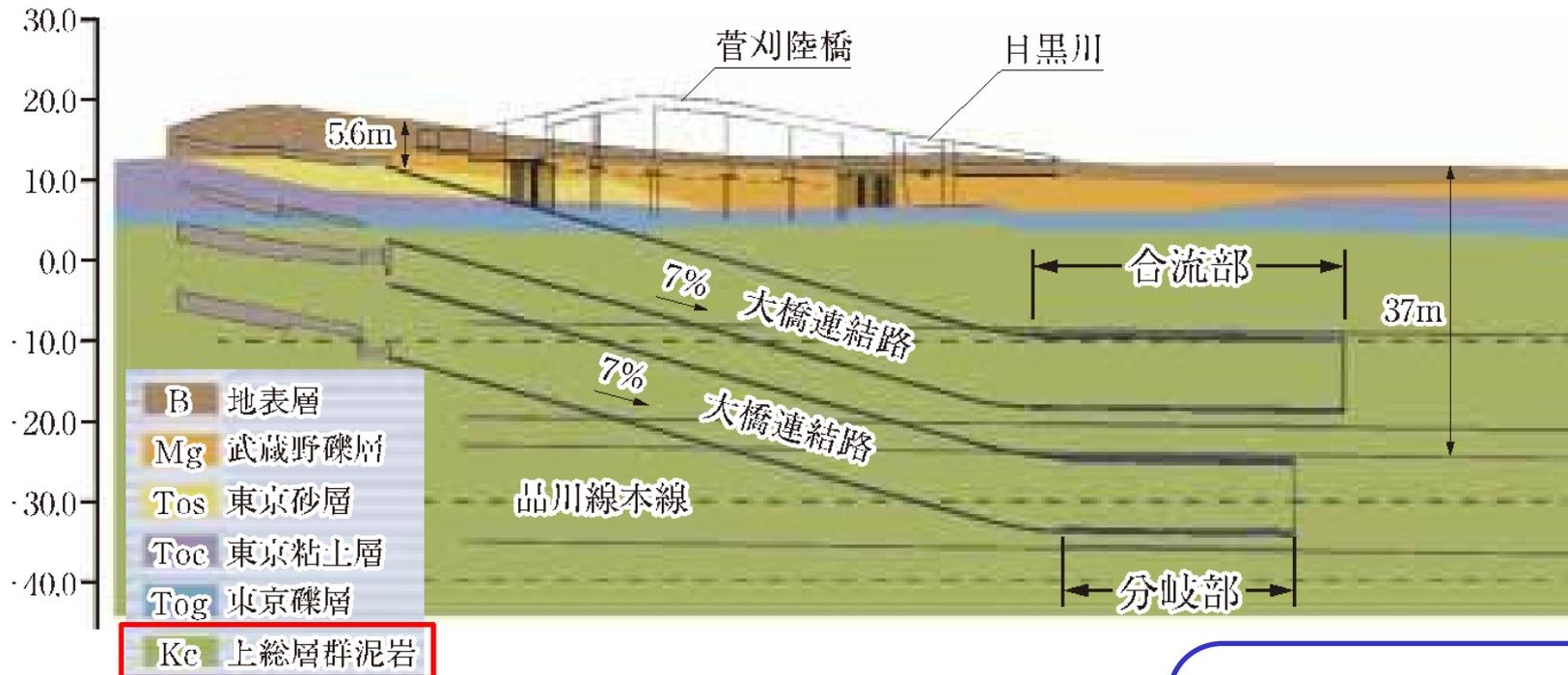


卵型構造  
(Type-B)



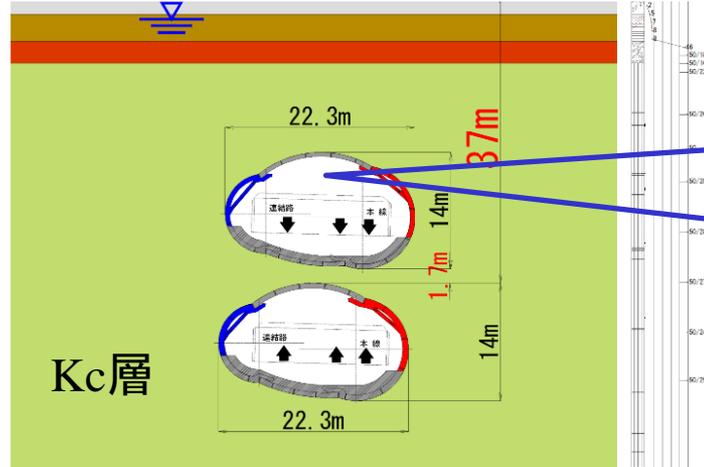
本線シールド  
(外径12.3m)

# 「シールド切開き」技術（土質条件）



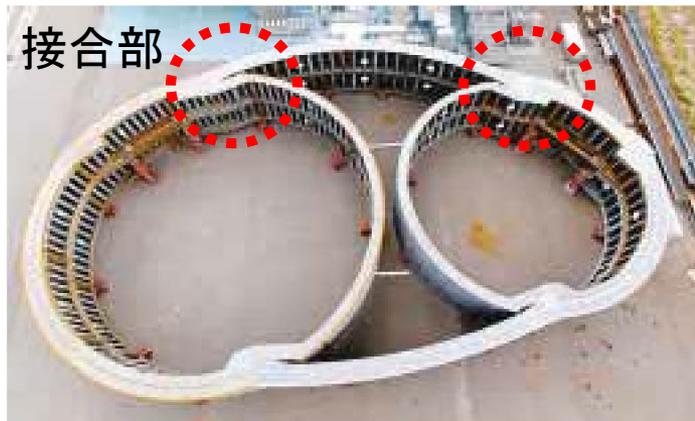
Kc層 上総層群泥岩  
(固結シルト、土丹)

一軸圧縮強度  
2N/mm<sup>2</sup>



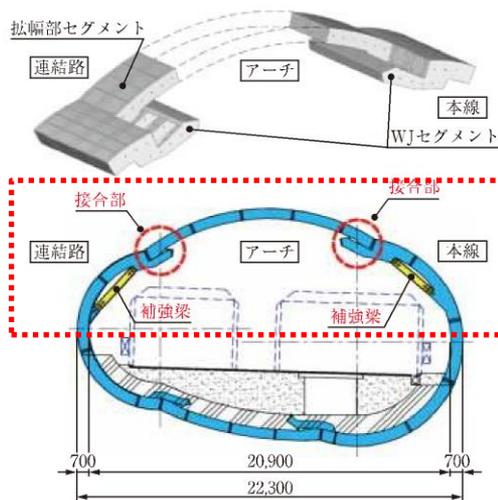
上半掘削切羽面  
(自立性のあるKc層。ボーリング調査結果に基づく想定と同様)

# 「シールド切開き」技術（実証実験）



実験対象

セグメント仮組状況



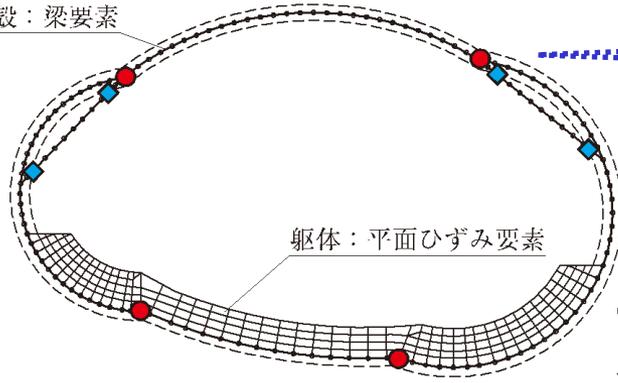
覆工構造（鋼製セグメント）



上半部の実証実験（1/2スケール）  
（覆工全体の力学的挙動の確認等）

# 「シールド切開き」技術 (設計手法)

鋼殻：梁要素

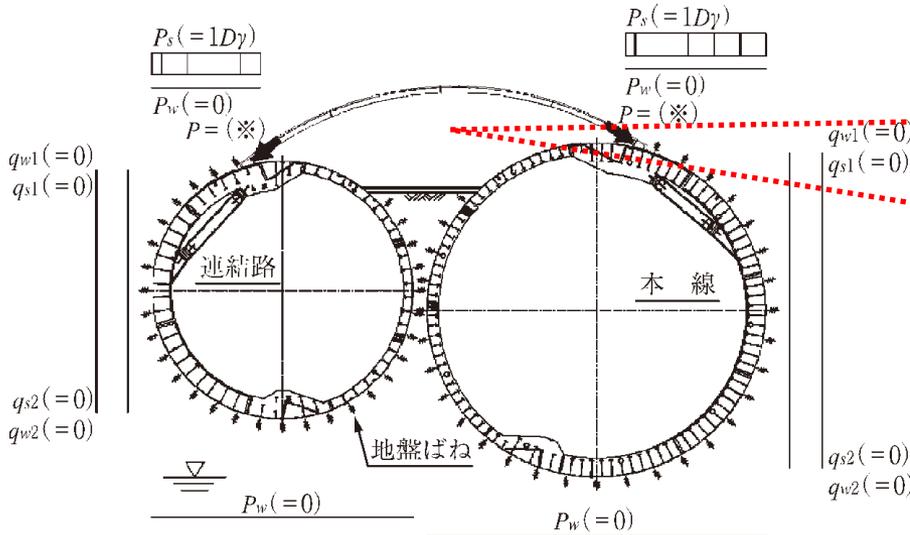
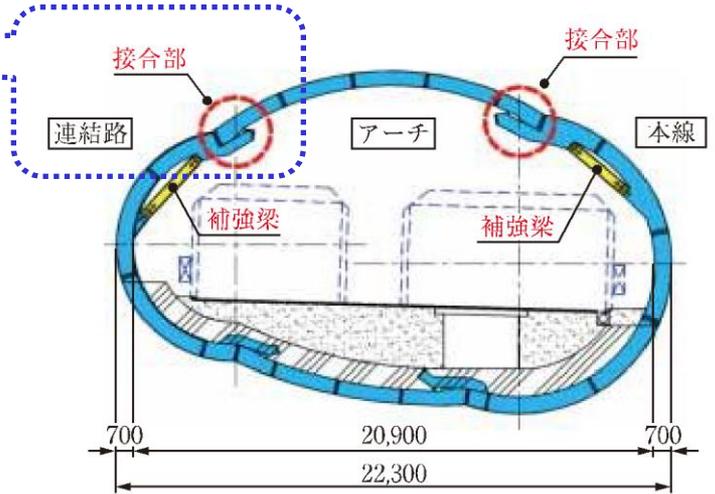


接合部は剛結合、  
回転ばね双方の  
モデルで評価

- ①剛結合
- ②回転ばね
- ◆ 一回転ばね

## 鋼殻の設計モデル

(鋼殻：梁要素、RC躯体：平面ひずみ要素、地盤：ばね要素)

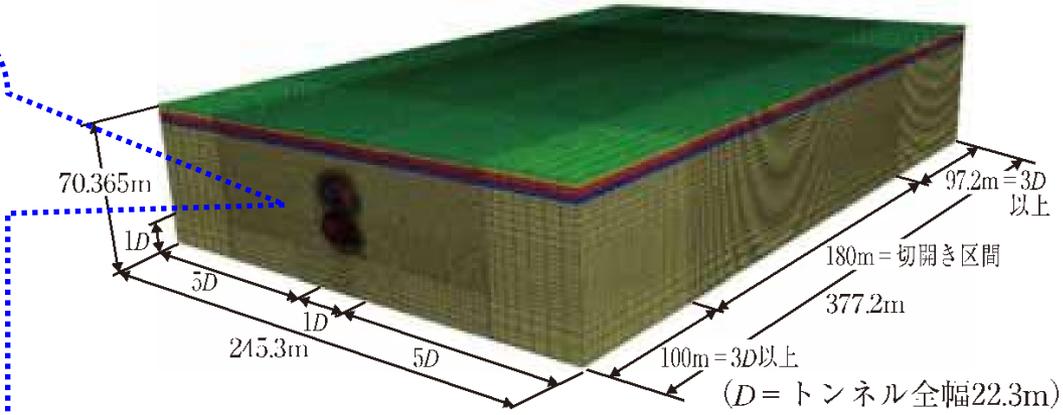
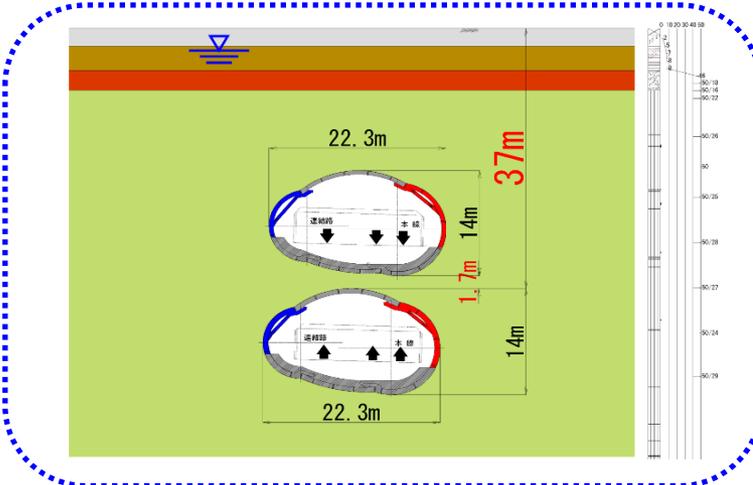


※：鋼アーチ支保工荷重



## 逐次解析(施工過程を考慮)

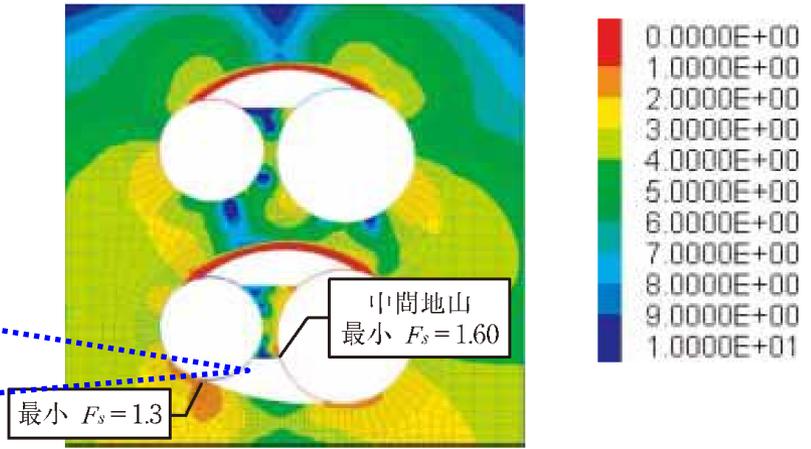
# 「シールド切開き」技術（施工時の安全性の検証）



三次元FDM解析モデル  
有限差分法 (Finite Difference Method)

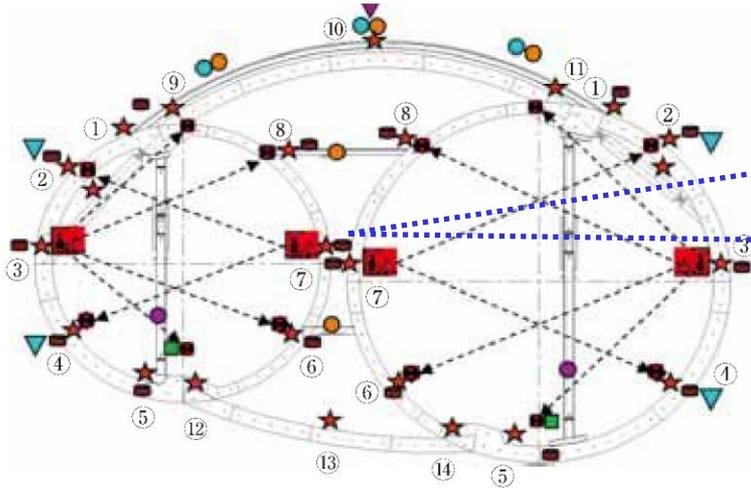


下半掘削



地山の破壊安全率  
(Mohr-Coulomb破壊基準)

# 「シールド切開き」技術（計測管理・設計検証）



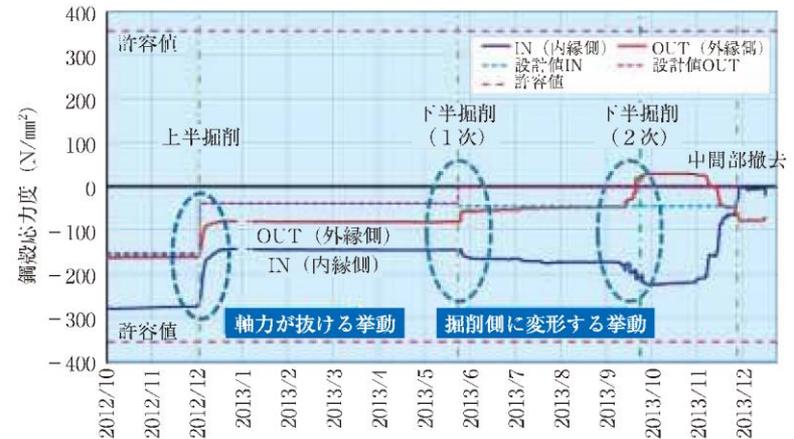
計測機器 配置図



中間地山

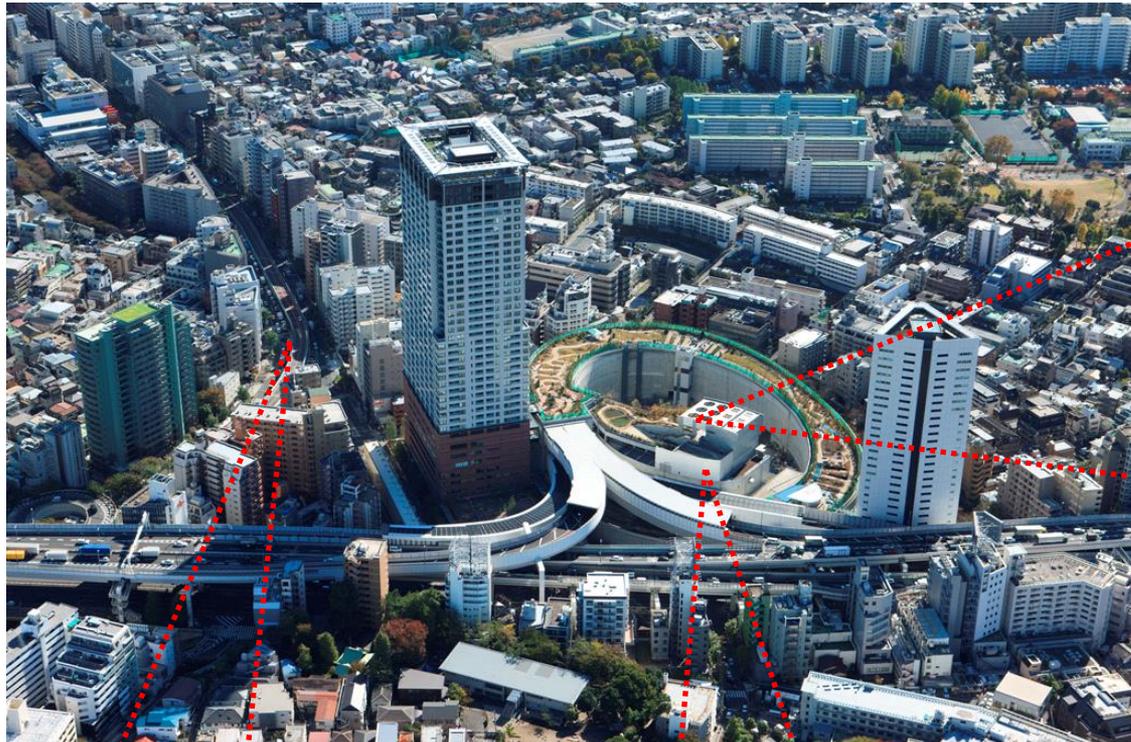
項目		
鋼 殻	変位・変形	トータルステーション 
		プリズム 
		傾斜計 
	主桁応力	ひずみ計 
	ボルト応力	-
内部支保工	軸力	ひずみ計 
	鋼アーチ支保工、パイプルーフ	軸力・曲げ 
鋼アーチ支保工、パイプルーフ	コンクリート応力	ひずみ計 
	天端変位	レベル測量 
	内空変位	レーザー距離計 
	外荷重	土圧
水圧		間隙水圧計 

計測項目



鋼殻応力の経時変化  
(施工段階における設計値と計測値の比較)

# 大橋ジャンクション(トンネルと高架の高低差70mを繋ぐJCT)



JCT 屋上(公園等)



外観(RC造)



内側(公共広場等)



山手トンネル

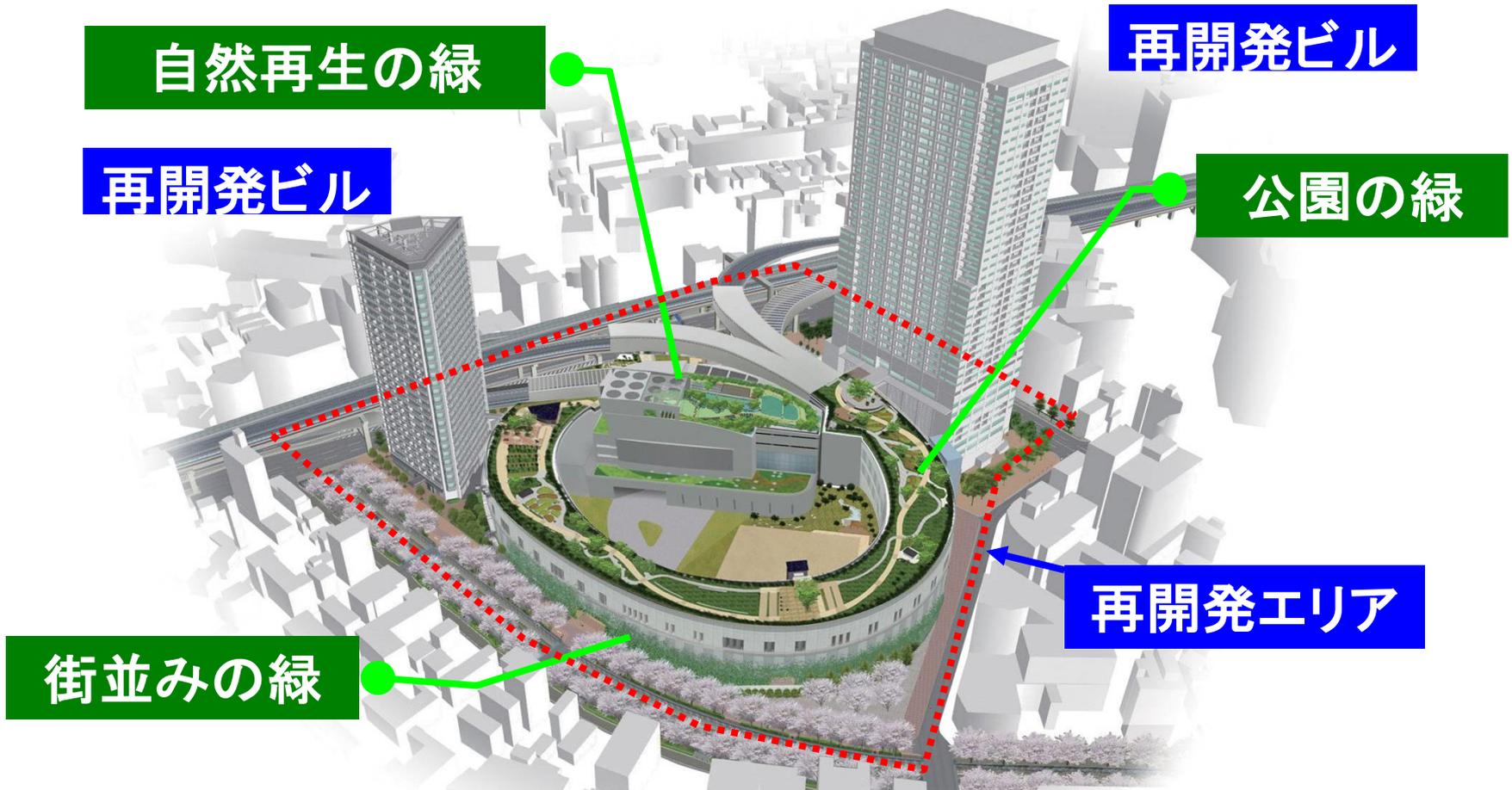


JCT(ループ構造)



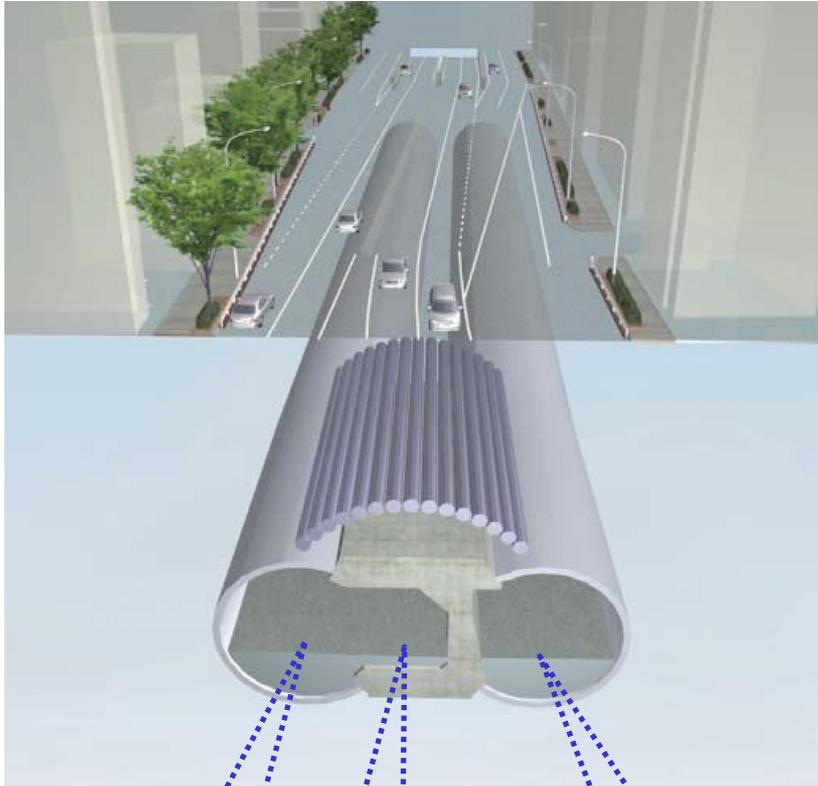
# 大橋ジャンクション(再開発一体型JCT)

首都高・東京都(再開発)・目黒区(公園)の3者が地域住民と一体となって街づくりを実施

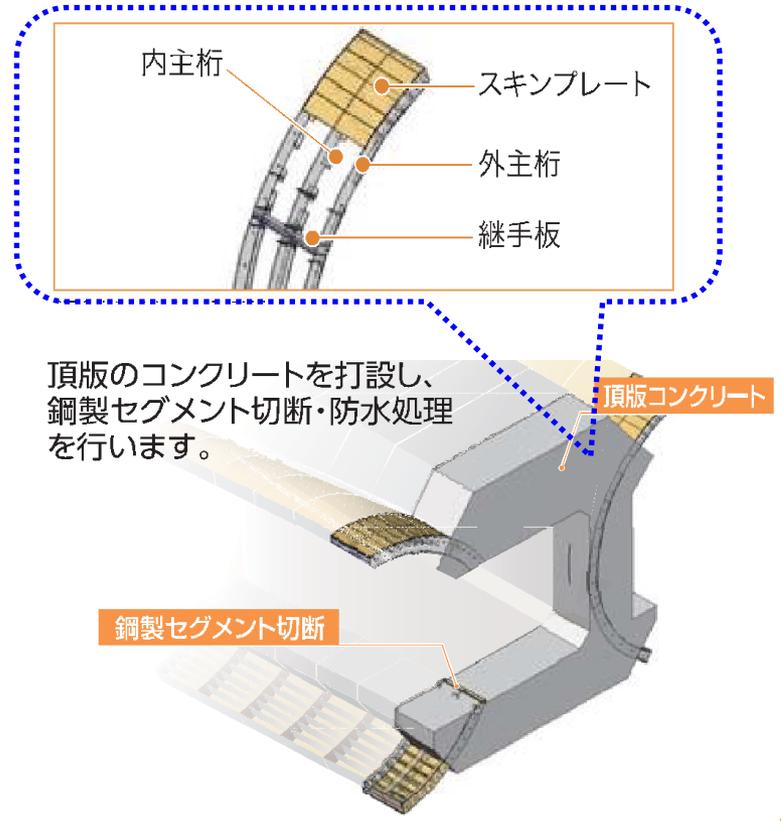


# 「シールド切開き」技術(出入口 構築事例)

## 五反田出入口 シールドトンネル間を切開いてRC構造で接続

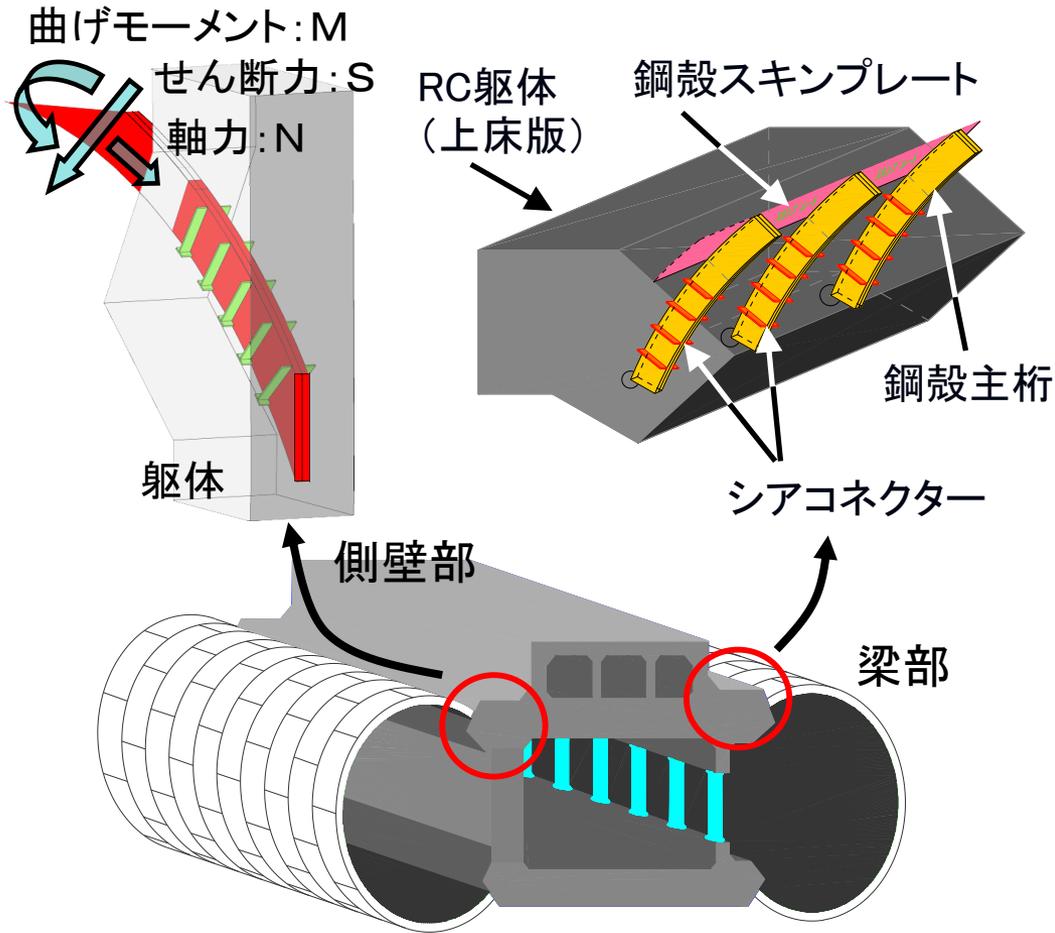


本線      出口      本線



鋼製セグメント主桁とRC躯体を一体化

# 「シールド切開き」技術 (技術開発)



押抜きせん断実験



接合部鉄筋型枠組立実験

# 「シールド切開き」技術(出入口 構築事例)

## 五反田出入口(施工法の工夫)

作業空間を確保し、品質と施工性が向上

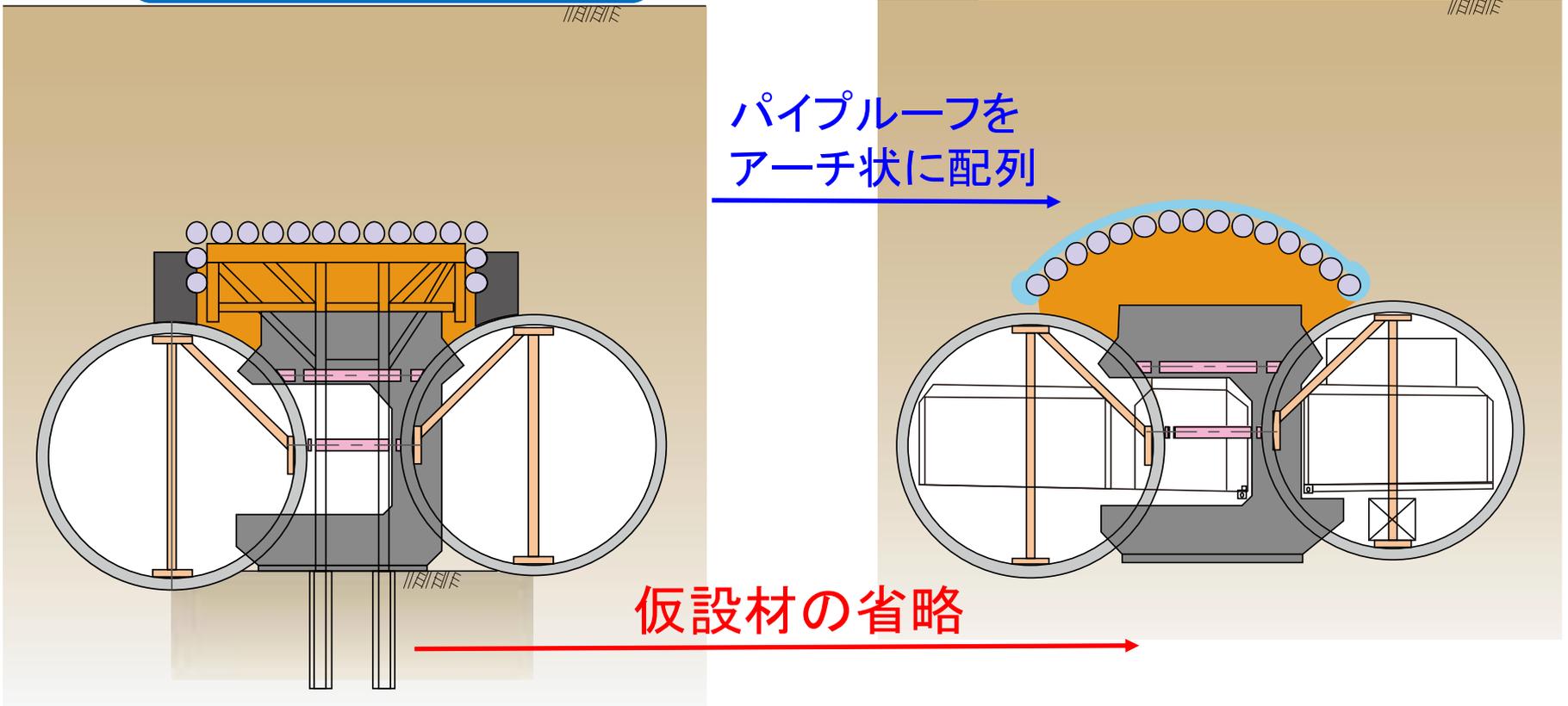
【従来】  
パイプルーフ工法



【今回】  
パイプルーフアーチ工法

パイプルーフを  
アーチ状に配列

仮設材の省略



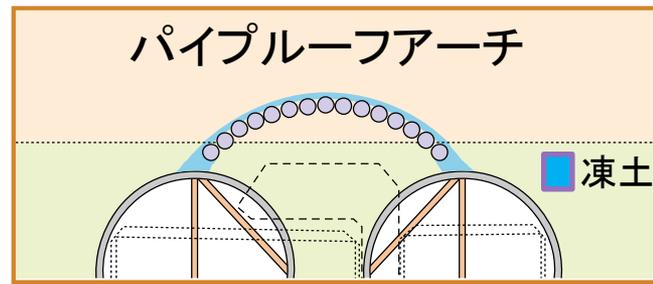
# パイプルーファーチ工法開発の効果

パイプルーファーチ

シールドトンネル

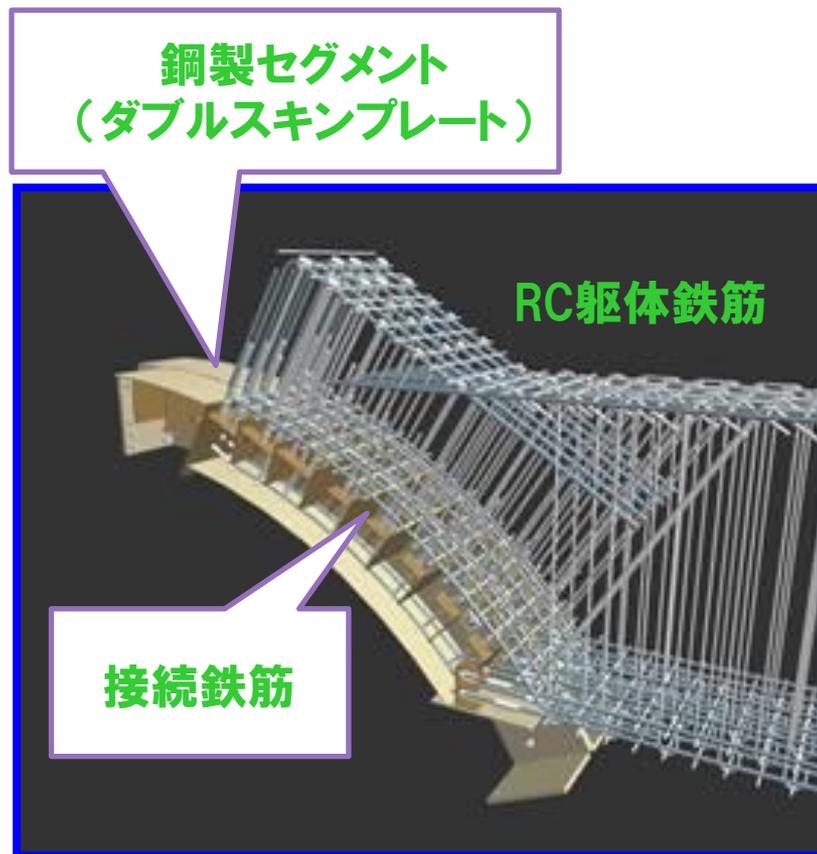
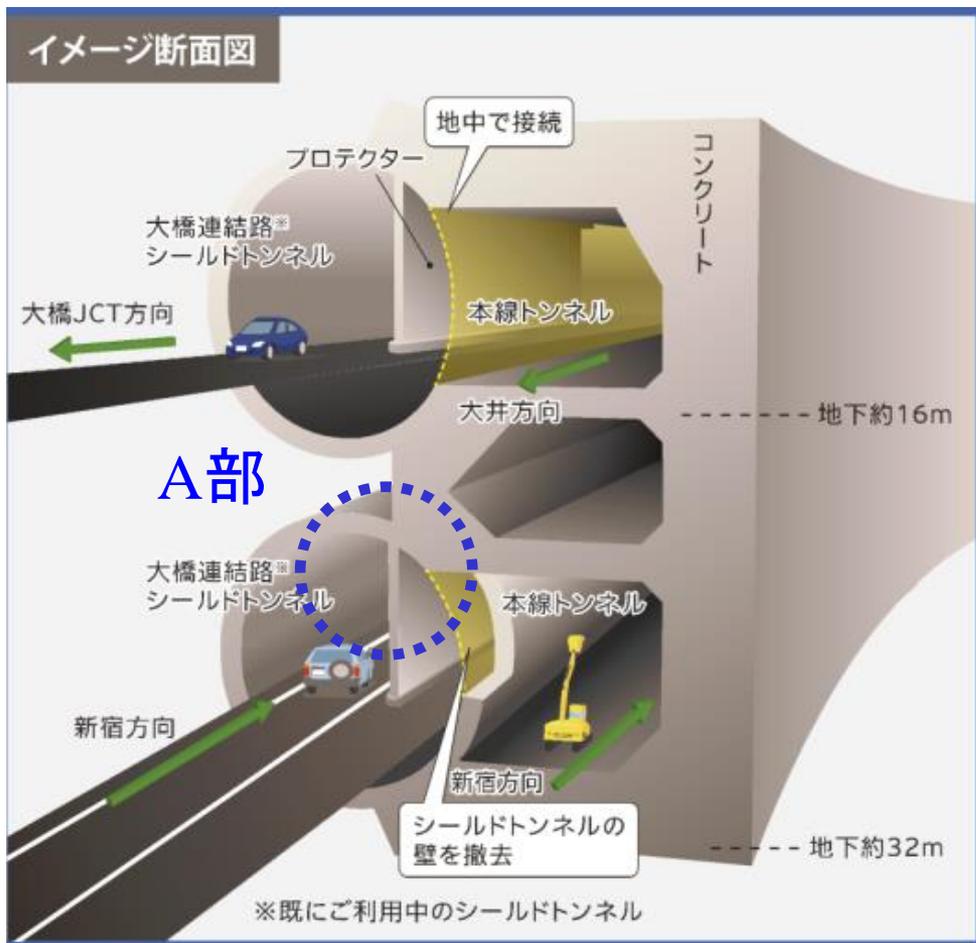
シールドトンネル

- ① 躯体を杭が貫通しない。  
止水性やコンクリート充填性等の躯体品質が向上。
- ② 広い施工空間を確保。  
作業員の作業安全性が向上。
- ③ 仮設部材の数量低減。  
施工性向上、工事全体の経済性が向上



# シールド切開き技術(既供用トンネルへの適用事例)

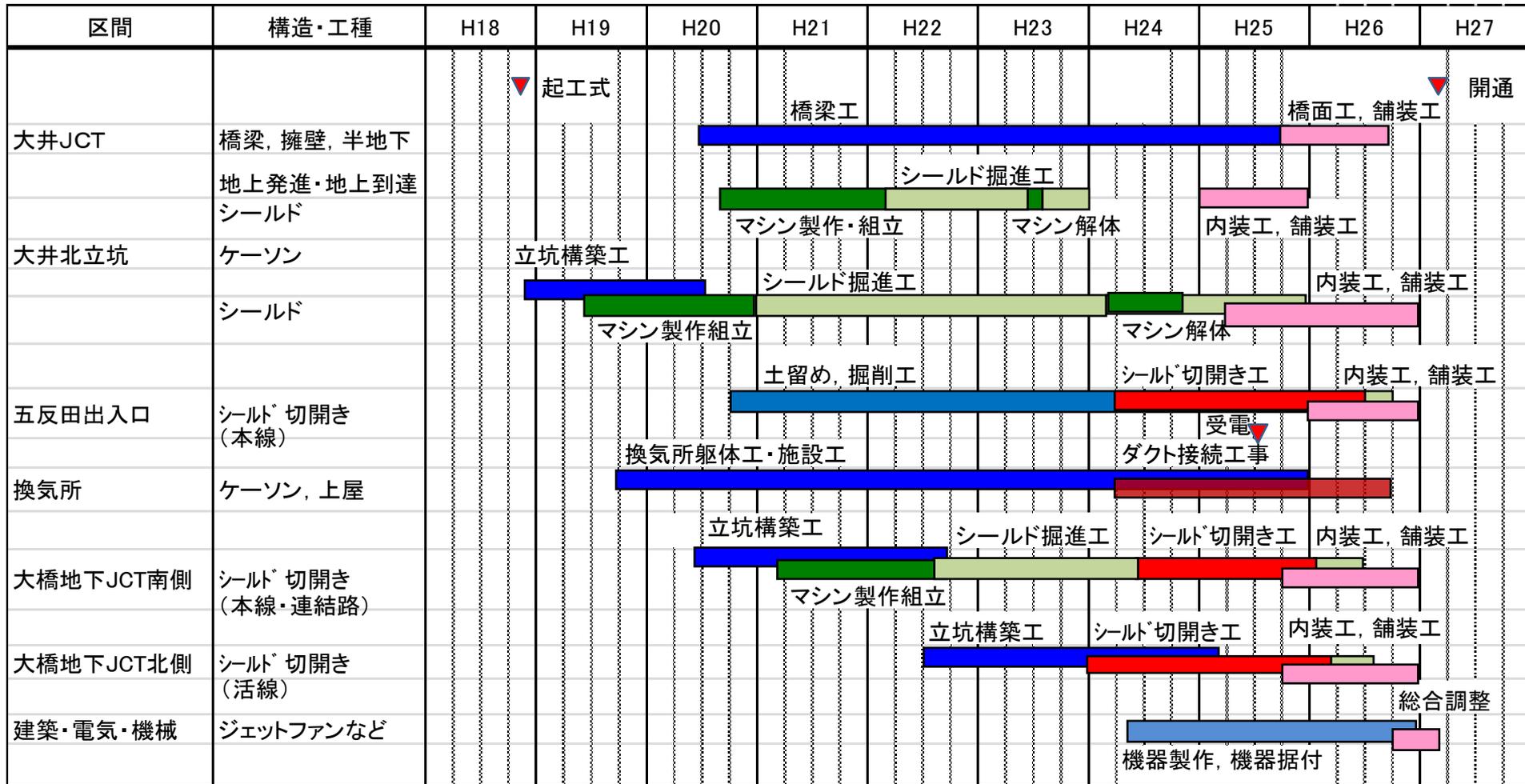
## 既供用トンネルへの適用も可能 (大橋JCT北側)



A部詳細図

# 品川線(湾岸線～3号線間)の全体工程

- ①2006年10月 発進立坑着手、2008年6月 発進立坑完成(ニューマチックケーソン工法)、②2009年1月シールド発進、2012年3月シールド到達(掘進期間3年2か月、2011年12月に月進708m達成)、③2012年5月JCT南側シールド切開き工着手、2014年1月断面併合(切開き期間1年7か月)、④舗装工等を完了し2015年3月開通(①から8年5か月)



# 維持管理設備



# 都市内長大トンネルの防災・安全設備

国の基準(トンネル等級AA)+ **首都高独自の設備**



設備	間隔
火災検知器	約 25m
消火器・泡消火栓	約 50m
押ボタン式通報装置	約 50m
テレビカメラ	約 100m
非常電話	約 100m
拡声放送スピーカー	約 200m
非常口	約 350m (湾岸線 - 渋谷線間は約250m)

## テレビカメラ

トンネル内を死角なく、常時監視



## 拡声放送スピーカー

ドライバーに緊急情報を伝達。  
時間遅延技術、サイン音を導入



# 都市内長大トンネルの防災・安全設備

## 24時間、365日の監視体制

### 情報収集



テレビカメラ



パトロールカー

### 情報処理



電算処理



交通管制室



異常事象検出システム

## 首都高独自の設備(赤文字)

### 情報提供・緊急対応



トンネル警報板

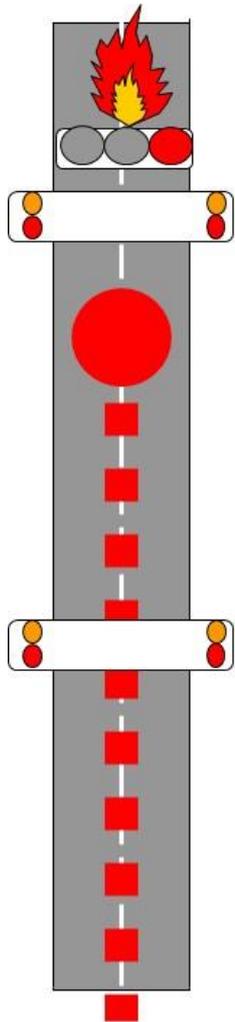


トンネル用信号機・遮断機



バイク隊

# トンネル内警報板及び信号機



交互表示



交互表示

# 非常口強調灯



非常口位置を目立たせるための設備。  
非常口1個所当り3個の非常口強調灯を  
設置。  
火災時に、3個の黄色灯が作動。

## ◇ 海外の事例

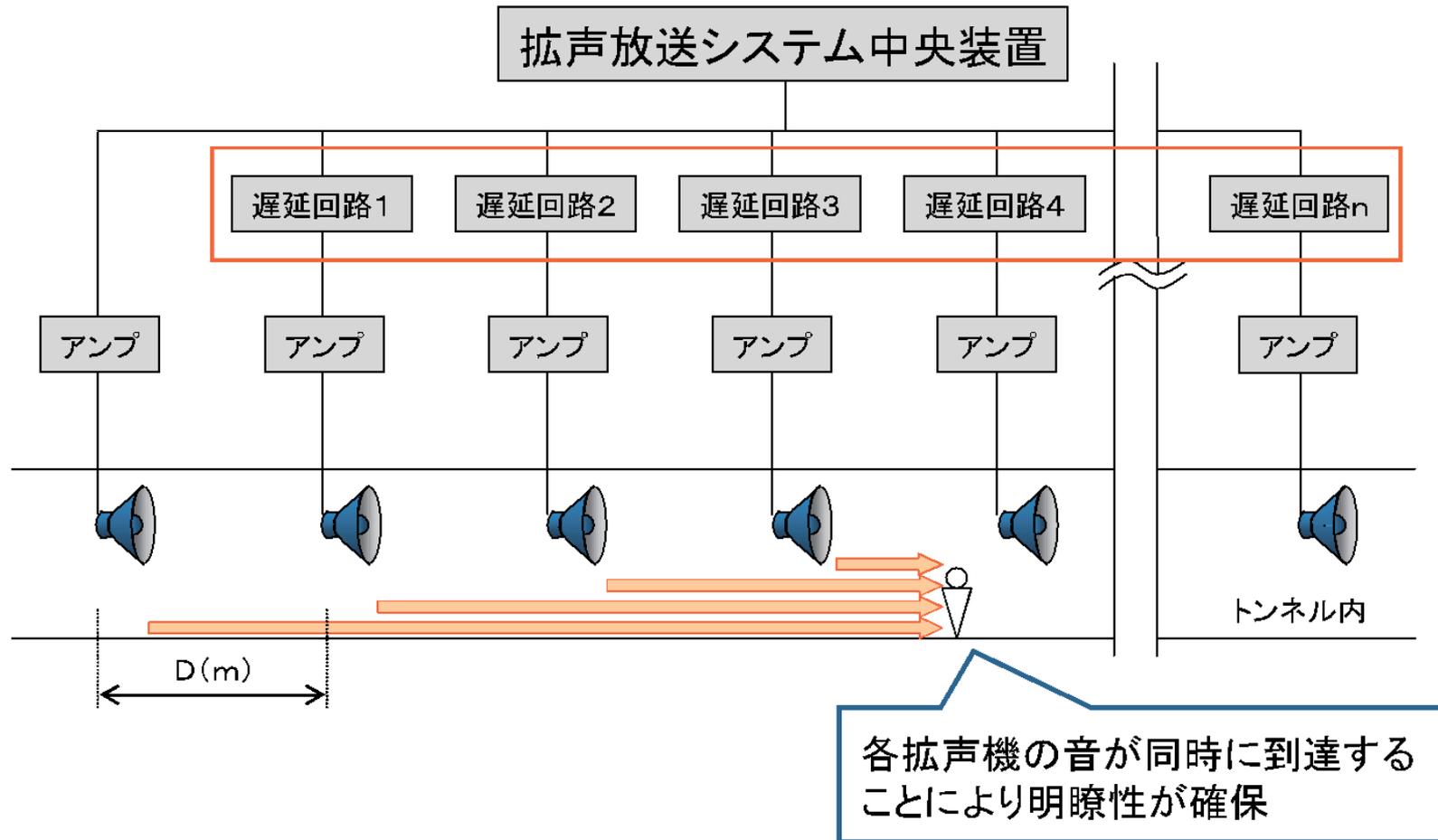


# 拡声放送



拡声放送スピーカーの設置間隔：約200m

# 拡声放送(連続的時間遅延システム)



遅延時間  $T = D / C$  ただし  $T$  : 隣り合うスピーカ間の遅延時間 (s)  
 $D$  : 隣り合うスピーカ間の距離 (m) [200m以下]  
 $C$  : 音速 (m/s) [約340m/s]

# 坑口フラッシング(複数の赤色灯)

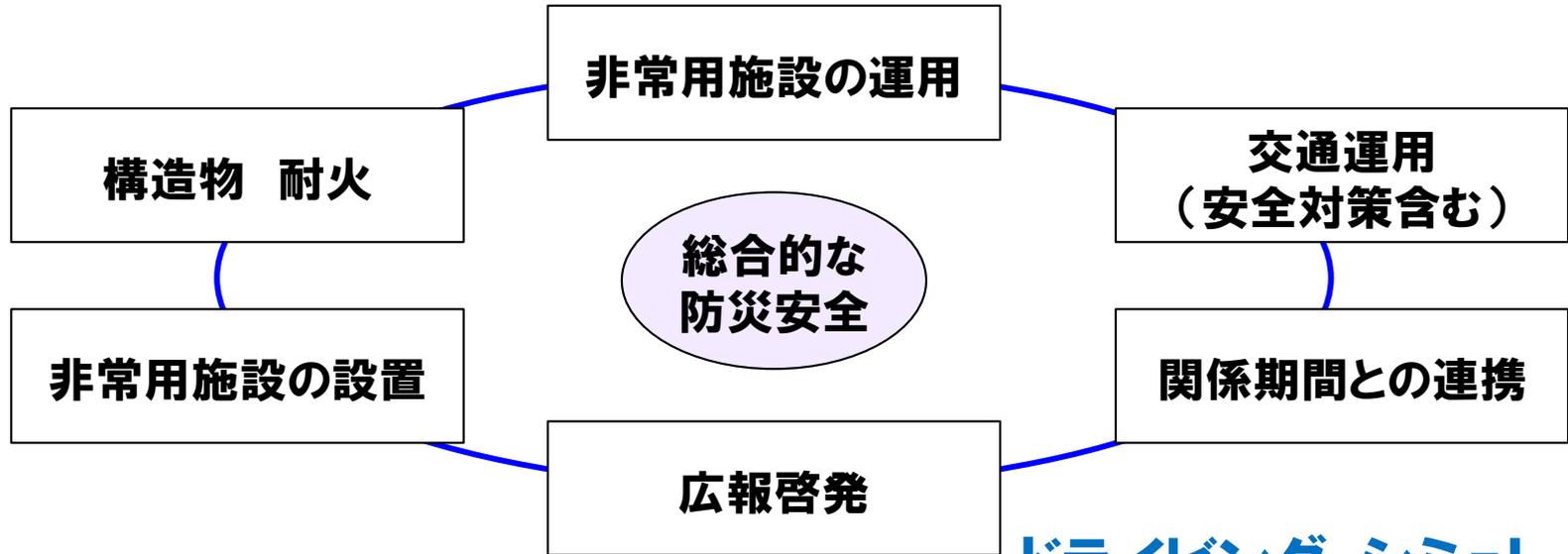


内回り高松坑口

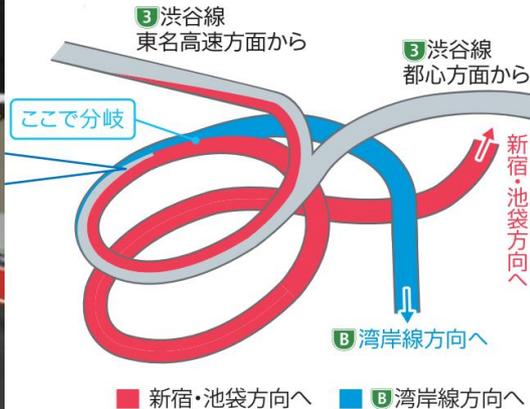
# バイク隊の設置(交通巡回体制の強化)



# 総合的な防災安全



## 大橋JCTの色分けによる走行支援



## ドライビング・シミュレータ による検証実験の様子



## まとめ

### 都市内トンネル技術の発展に貢献

- ◆ 長距離・大断面シールドの高速掘進技術
- ◆ シールドトンネル間の切開き技術
- ◆ 都市内長大トンネルの防災・安全設備
- ◆ 総合的な防災安全対策

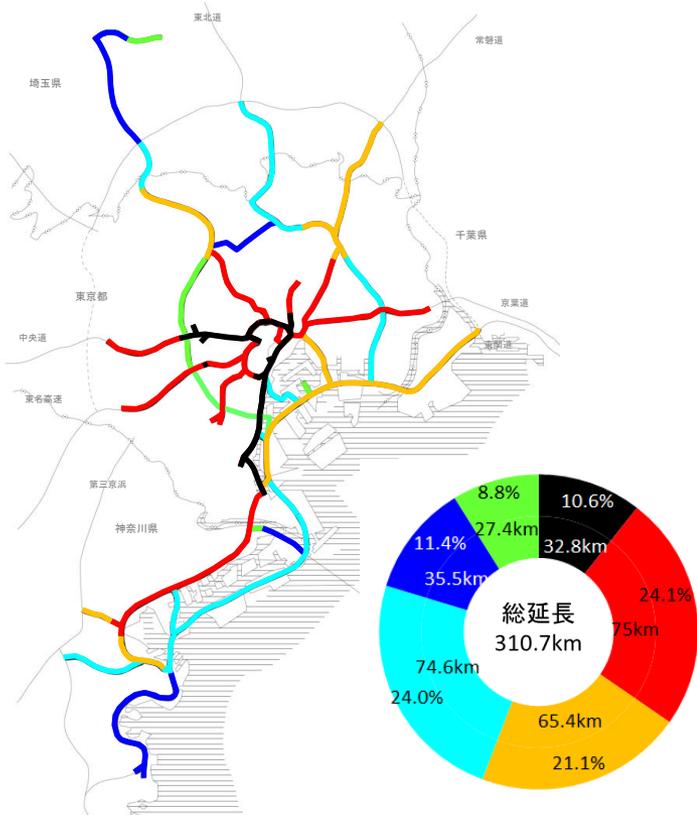
### 3. 大規模更新・大規模修繕の紹介



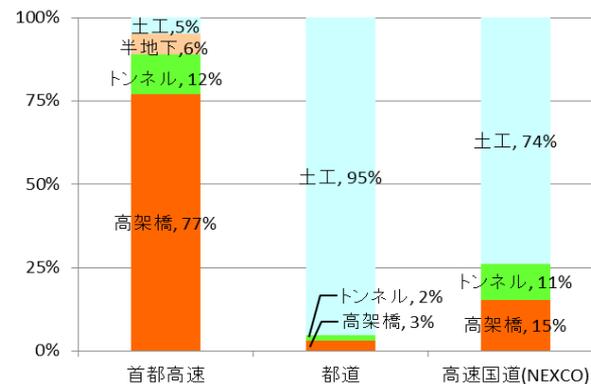
# 首都高速道路構造物の現状

- ① 総延長約300kmのうち、**経過年数40年以上の構造物が約3割(約100km)、30年以上が約5割(約160km)**を占めている。
- ② きめ細やかな維持管理が必要な高架橋やトンネルなどの構造物の比率が約95%と他の道路と比べて高くなっている。
- ③ 大型車の交通量は、東京23区内の地方道の約5倍となっている。

■ 開通からの経過年数比率 ※平成27年4月時点



■ 道路構造別道路延長 単位:km



■ 大型車交通量比較



# 首都高速道路構造物の点検

## 日常点検

### 【巡回点検】

[パトロールカーによる車上からの目視点検]



(2~3回/週実施)

### 【徒歩点検】

[高架下からの目視点検]



(2回/年実施: 第三者被害が想定される箇所)  
(1回/2年実施: その他の箇所)

## 定期点検

### 【工事用仮設吊足場内での接近点検】



(工事用吊足場設置時に接近目視、触診、打音などにより点検を実施)



### 【機械足場(高所作業車)を用いた接近点検】



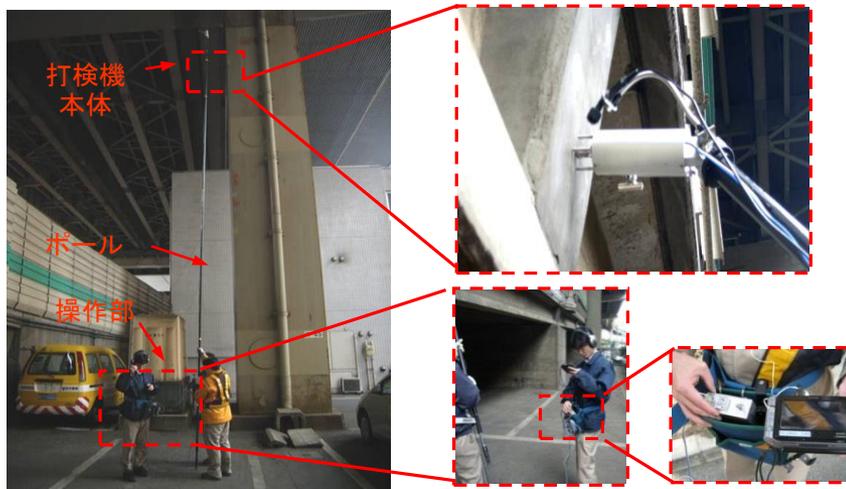
(1回/5年実施: 路線を定めて機械足場用い  
接近目視、触診、打音などにより点検を実施)



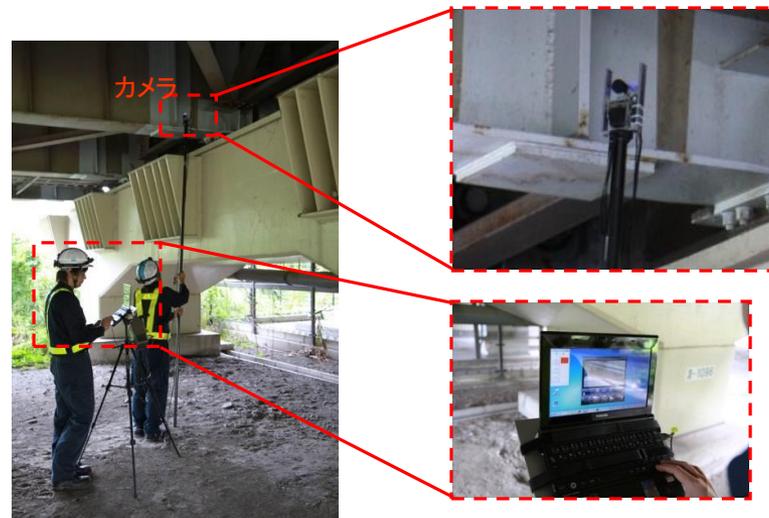
# 点検に係る技術開発

○従来では点検困難な個所の点検を可能とする新技術を活用

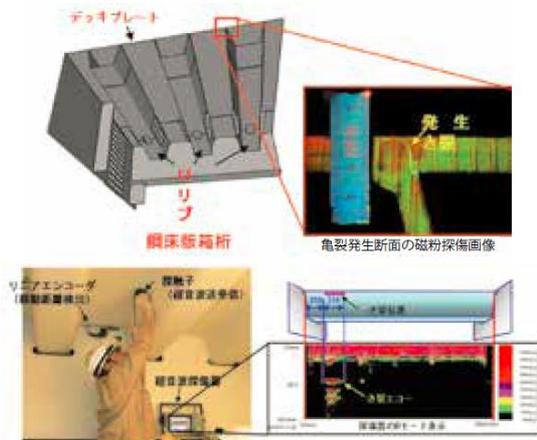
## ①簡易型高所用打音検査システム



## ②簡易型高所点検用軽量ポールカメラ



## ③鋼床版SAUT (半自動超音波探傷)



## ④狭隘部点検用ロボット



# 首都高速道路の更新計画

区分	路線	対象箇所	延長	供用年度	事業費(税込) (用地費含む)	事業年度
大規模更新	1号羽田線	東品川棧橋・ 鮫洲埋立部	1.9km	S38	986億円	H26～38
		高速大師橋	0.3km	S43	265億円	H27～35
	3号渋谷線	池尻～三軒茶屋	1.5km	S46	702億円	H27～39
	都心環状線	竹橋～江戸橋 (日本橋区間)	2.9km	S39	1,530億円	H27～40
		銀座～京橋 (築地川区間)	1.5km	S37	587億円	H27～40
	小計	8km	—	4,070億円		
大規模修繕	3号渋谷線、4号新宿線 他		55km	—	2,594億円	H26～36
合計			63km	—	6,664億円	



【H28.2 協定】

# 1号羽田線(東品川棧橋・鮫洲埋立部)

- 海水面から一定程度離れた高架構造とするため、棧橋全体を架け替え。
- 工事中の交通影響を軽減させるため、高速道路の迂回路を設置。

工事着手前



大規模更新後(イメージ)



【断面図】(イメージ)

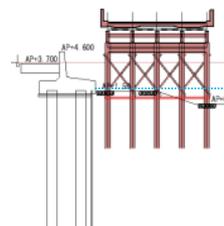


迂回路設置(イメージ)

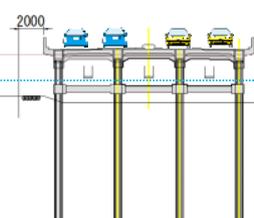


断面図

工事中の迂回路  
(イメージ)



現在の東品川棧橋



## 【高速1号羽田線(東品川棧橋・鮫洲埋立部)更新工事】

受注者：

大林・清水・三井住友・東亜・青木あすなる・川田・東骨・MMB・宮地 高速1号羽田線(東品川棧橋・鮫洲埋立部)更新異工種建設工事共同企業体

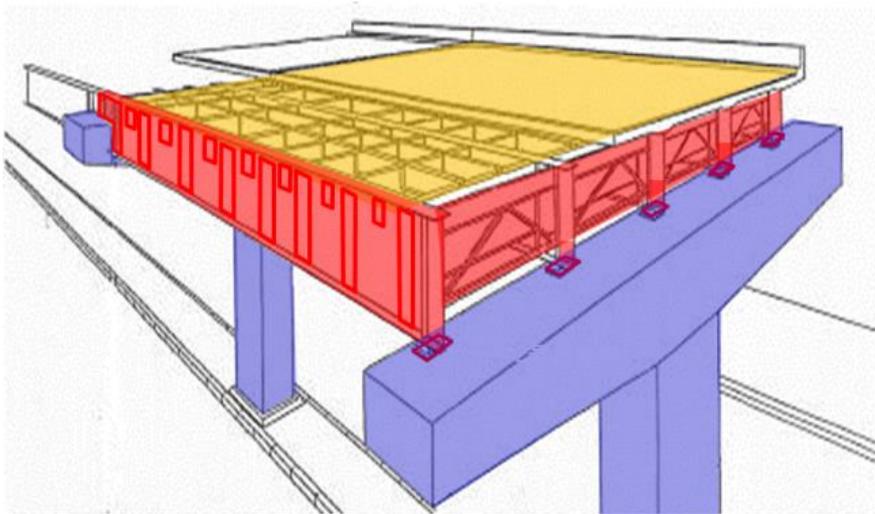
契約額：798億円(税込)

工期：平成27年8月6日から平成37年7月31日

# 大規模修繕

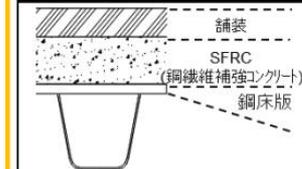
- 道路の高齢化に対して長期の安全・安心を確保するため、大規模修繕を実施
- 橋梁単位で全体的に補修を行い、新たな損傷の発生・進行を抑制しつつ長期の耐久性を向上

## <大規模修繕の実施内容>



### 床版補強

#### 鋼床版



#### SFRC補強

#### コンクリート床版



#### 炭素繊維補強

### 橋脚補強

#### 鋼橋脚



#### 隅角部補強

#### コンクリート橋脚



#### 被覆補強

### 桁補強

#### 鋼桁



#### 疲労補強

#### コンクリート桁



#### 被覆補強

# Thank you for your attention.

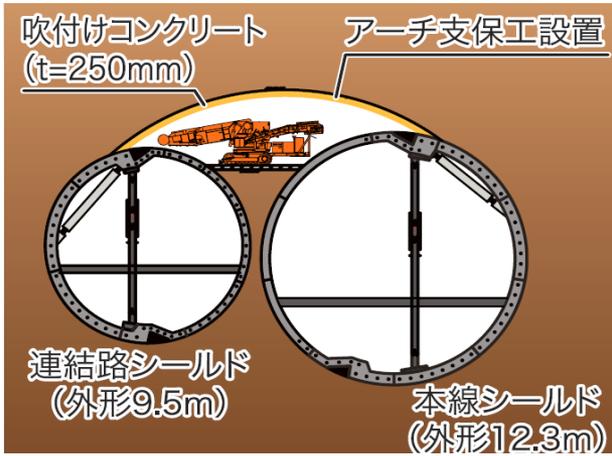


# 参考 工事写真集

# 「シールド切開き」技術（工事写真）

## Step1

### ・上部掘削



## 掘削状況



## 掘削完了

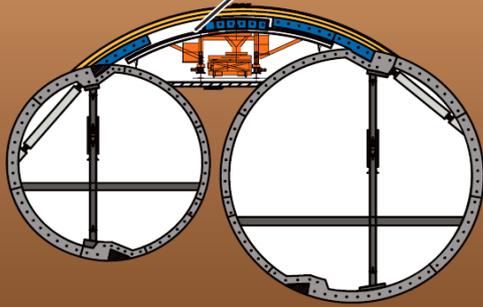


# 「シールド切開き」技術（工事写真）

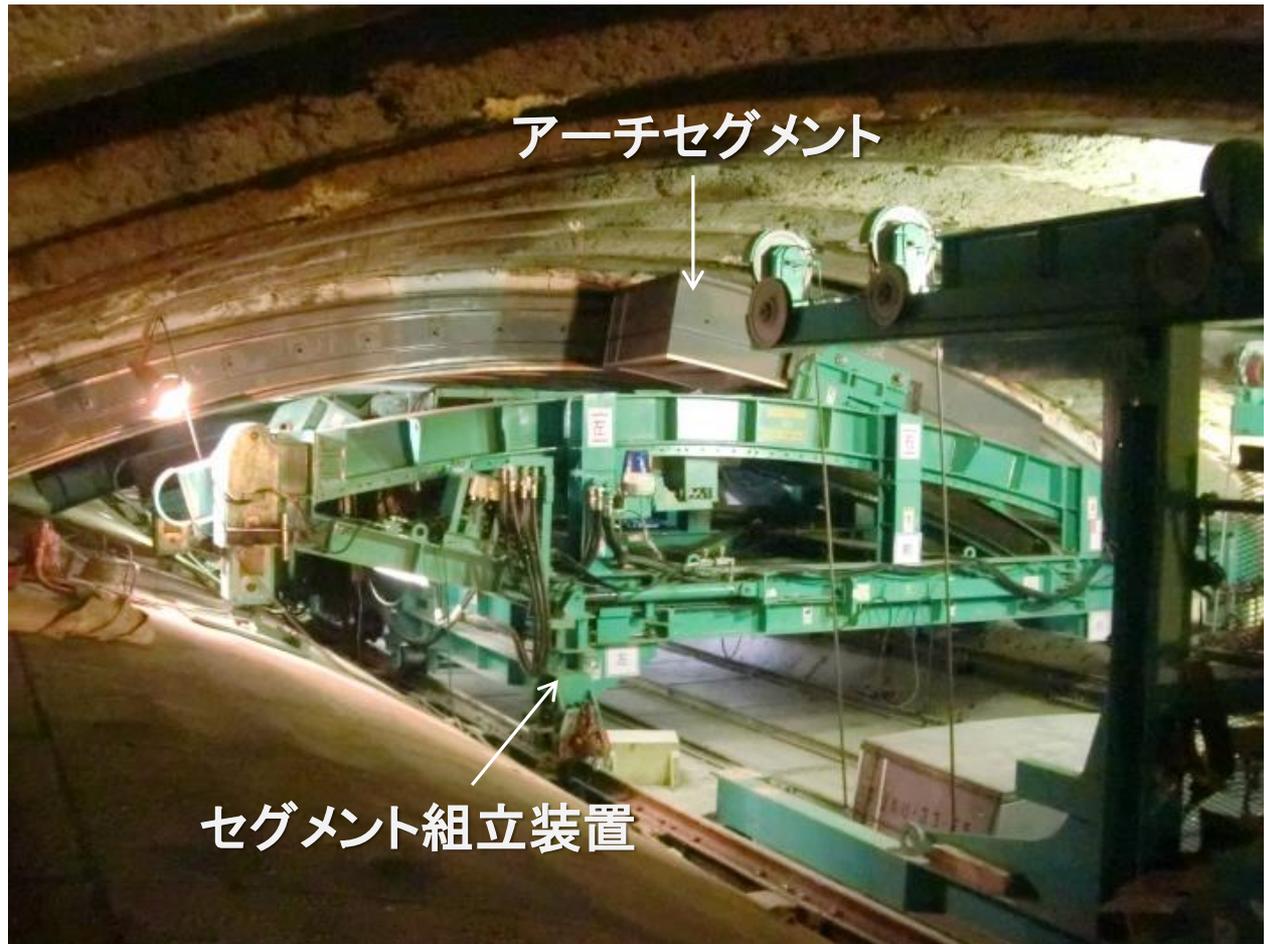
## Step2

### ・上部アーチセグメント組立

セグメント組立装置



セグメント組立状況



セグメント組立完了

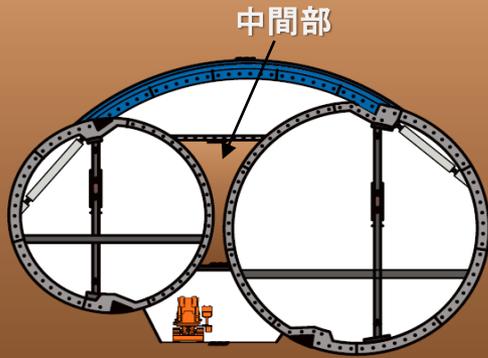


セグメント組立装置

# 「シールド切開き」技術（工事写真）

## Step3

### ・下部掘削



## 掘削状況



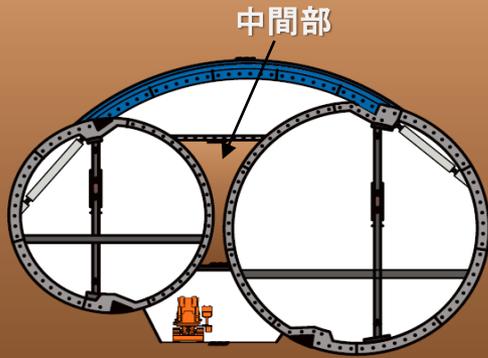
## 掘削完了



# 「シールド切開き」技術（工事写真）

## Step3

### ・下部掘削



### 掘削状況



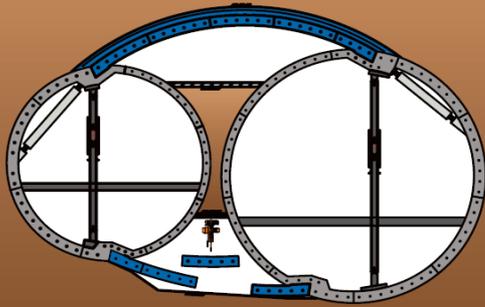
### 掘削完了



# 「シールド切開き」技術（工事写真）

## Step4

### ・下部アーチセグメント組立



## セグメント組立状況



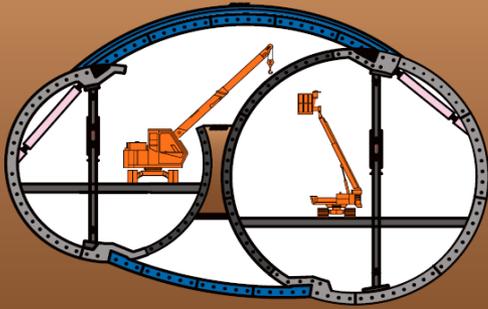
## セグメント組立完了



# 「シールド切開き」技術（工事写真）

## Step5

### ・中間部撤去



中間部撤去状況



中間部（離隔50cm）

⇔ 離隔  
50cm

連結路

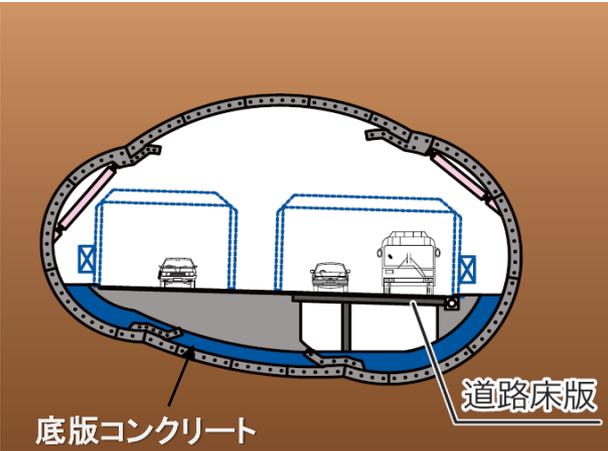
本線

本線シールド →

連結路シールド →

中間地山

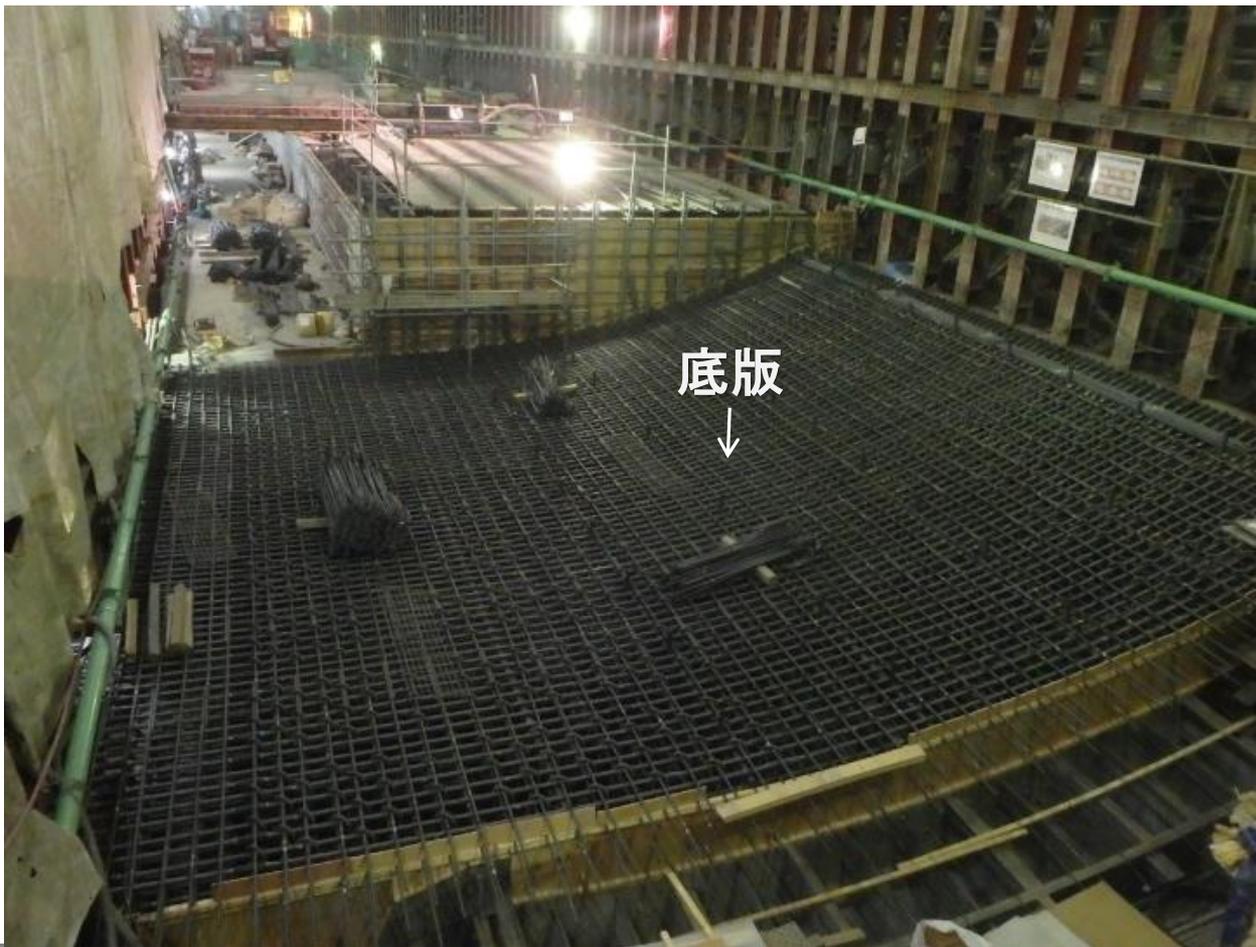
Step6 (完成)  
・内部構築



道路床版施工状況

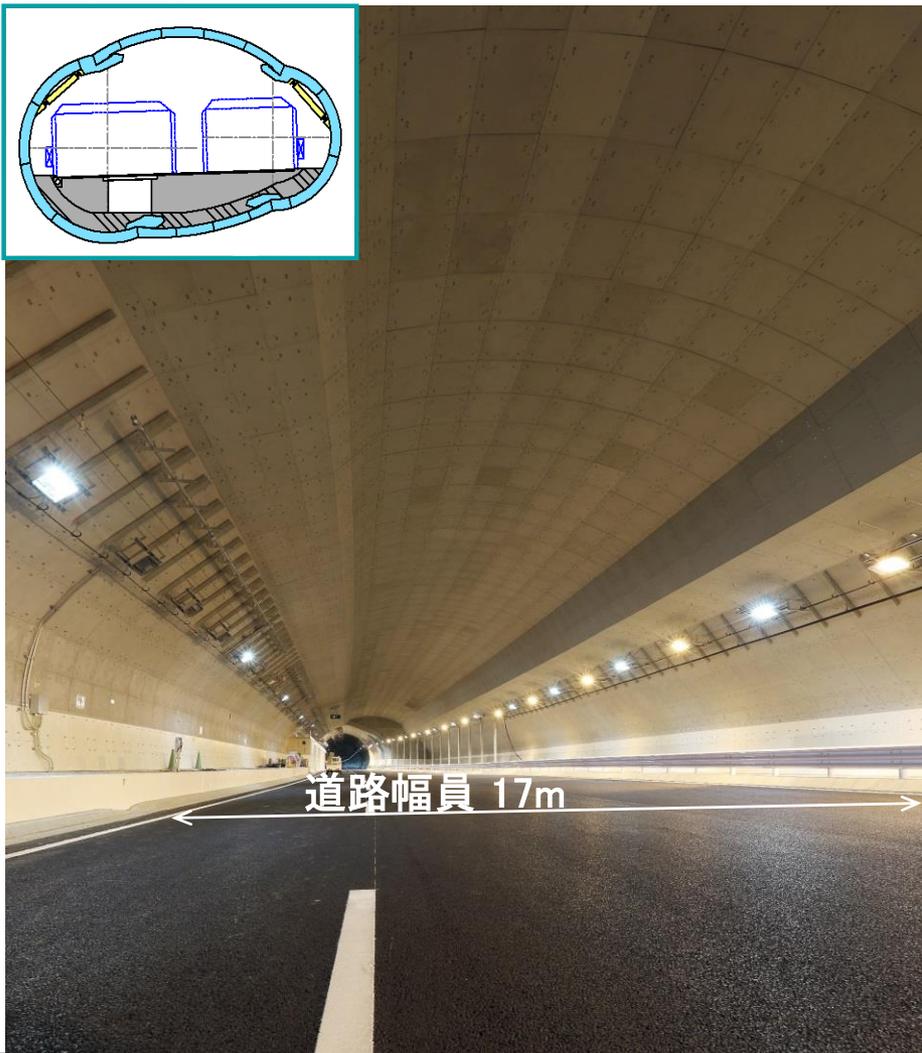
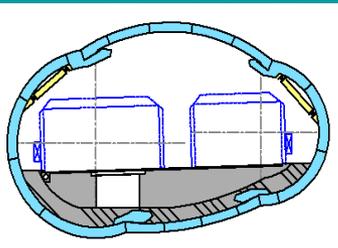


底版コンクリート施工状況



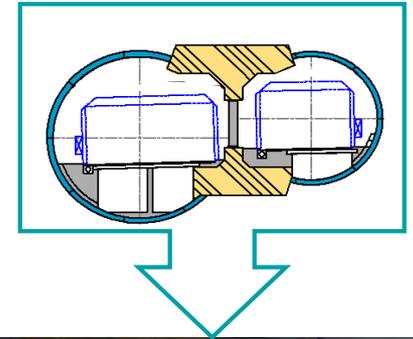
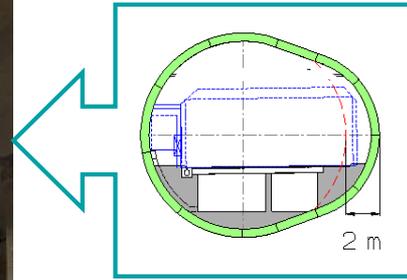
# 「シールド切開き」技術（工事写真）

無柱構造



# 「シールド切開き」技術（工事写真）

卵型構造



1本柱構造（合流部）





掘進と床版の同時施工



シールドトンネルの完成



切開き施工(鋼殻切断)



切開き施工(躯体構築完了)



切開き施工(NATM掘削)



切開き施工(躯体構築完了)



切開き施工(鉄筋組立)



切開き施工(躯体構築完了)