

岡山県コンクリート診断士会平成28年度総会記念講演

首都高速道路の構造物維持管理の 取組みについて

平成29年6月2日



(株)エイト日本技術開発

佐々木 一哉

本日の内容

1. 首都高速道路の概要
2. 首都高速道路の構造物維持管理の現状
3. 首都高速道路の構造物維持管理に関する新たな取組み
4. 首都高速道路のコンクリート構造物維持管理に関するトピックス

自己紹介

略歴

昭和58年3月 早稲田大学大学院修了
昭和58年4月 首都高速道路公団採用
(平成元年8月～平成3年6月 米国スタンフォード大学大学院留学)
平成14年5月 東東京管理局 設計課長
(平成17年10月 首都高速道路公団民営化 首都高速道路(株)に)
平成20年7月 保全交通部 鋼構造物疲労対策室長
平成22年7月 神奈川管理局 保全部長
平成24年7月 品質管理室長
平成26年7月 技術部長
平成27年7月 (株)エイト日本技術開発入社

専門分野

道路構造物の維持管理



An aerial photograph of a dense urban area featuring a complex, multi-level highway interchange. The roads are grey with white lane markings and are filled with small cars. The surrounding city is composed of numerous buildings of varying heights and colors, interspersed with green spaces and trees. The overall scene is a detailed view of modern infrastructure in a city.

1. 首都高速道路の概要

1. 首都高速道路の概要

首都高の概要

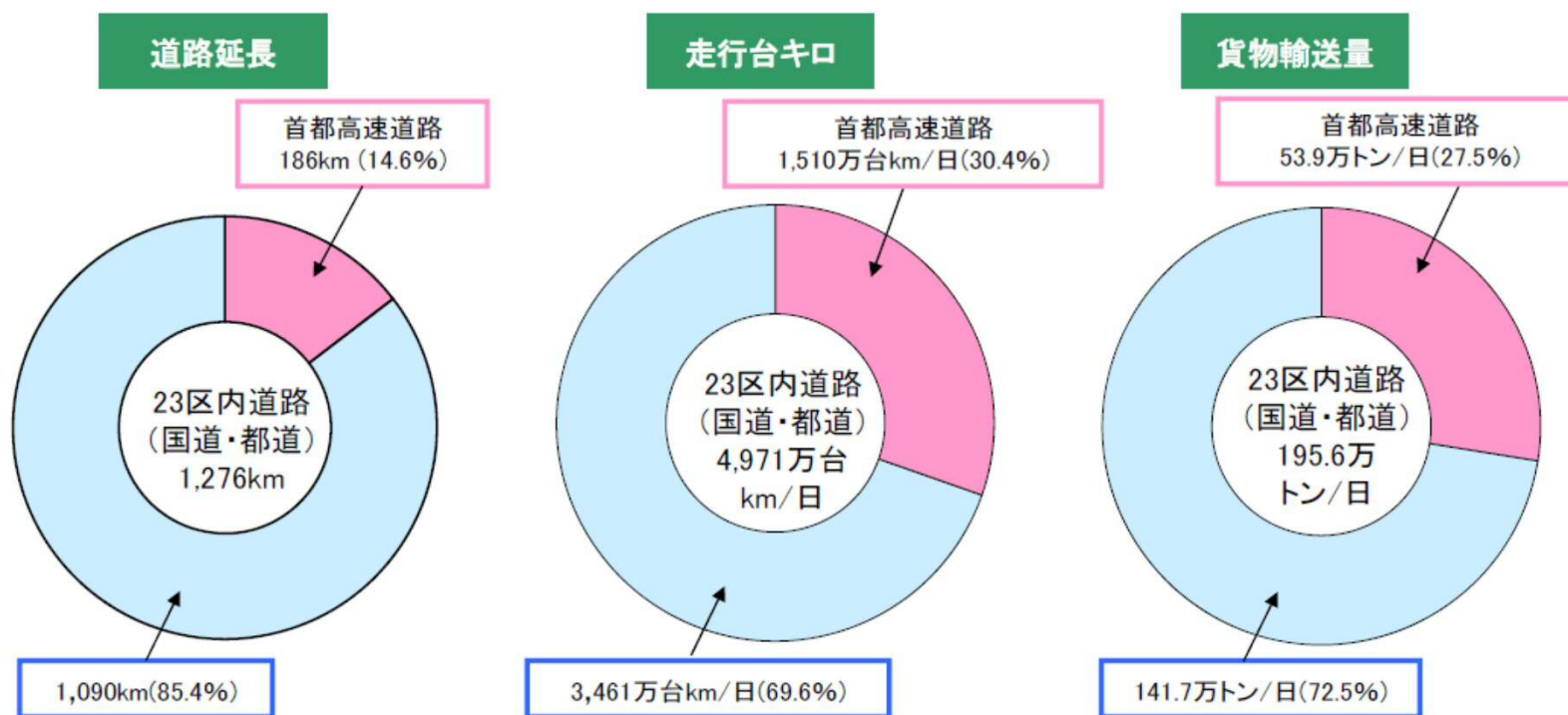
(平成29年4月1日時点)

営業中路線	318.9km
建設中路線	9.7km
利用者数	約97万台/日



1. 首都高速道路の概要

首都高の延長は、東京23区内の道路の約15%であるが、走行台キロ、貨物輸送量はその2倍の約30%を占めている。



1. 首都高速道路の概要

(1) 首都高の歴史

昭和30年代初期の日本の道路事情

1956年(昭和31年)、日本政府が東京－神戸間の高速道路建設の調査のために招いた世界銀行のワトキンス調査団が日本の道路事情についての報告書を建設省に提出。当時の日本の道路事情の劣悪さを指摘。

「日本の道路は信じがたいほど悪い。工業国にしてこれ程完全にその道路網を無視してきた国は日本他にはない。」



報告書表紙の写真

1. 首都高速道路の概要

東京の道路事情

- ・人口は昭和20年(1945年)に500万、昭和30年(1955年)に800万、昭和40年(1965年)に1000万を超えた。
- ・自動車数は昭和35年(1960年)に50万台、昭和40年(1965年)に100万台、昭和45年(1970年)に200万台、昭和55年(1980年)に300万台を超えた。
- ・昭和30年代中期には都内主要道路の交差点の交通量は飽和状態となり、当時の大きな社会問題となった。



1. 首都高速道路の概要

首都高速道路公団の設立経緯

昭和27年 有料道路制度の創設

昭和28年 道路特定財源の開始



有料道路制度は、立ち遅れている我が国の道路整備を促進するため、国又は地方公共団体が道路を整備するに当たり、借入金を用い、道路の利用者から料金を徴収して、管理費等も含め償還する制度。

昭和30年代 人口及び自動車の増加による
街路交通量の増加と走行速度の低下



昭和30年代の高度成長に伴う急激なモータリゼーションの進展により道路事情が悪化する中、交通が著しく輻輳している道路における自動車の能率的な運行に支障のある東京都区部及びその周辺地域において、交通の円滑化を図るための自動車専用道路網の整備促進が急務となったことから、首都の機能の維持及び増進に資する首都高速道路の整備が決定。

昭和34年 首都高速道路公団の設立

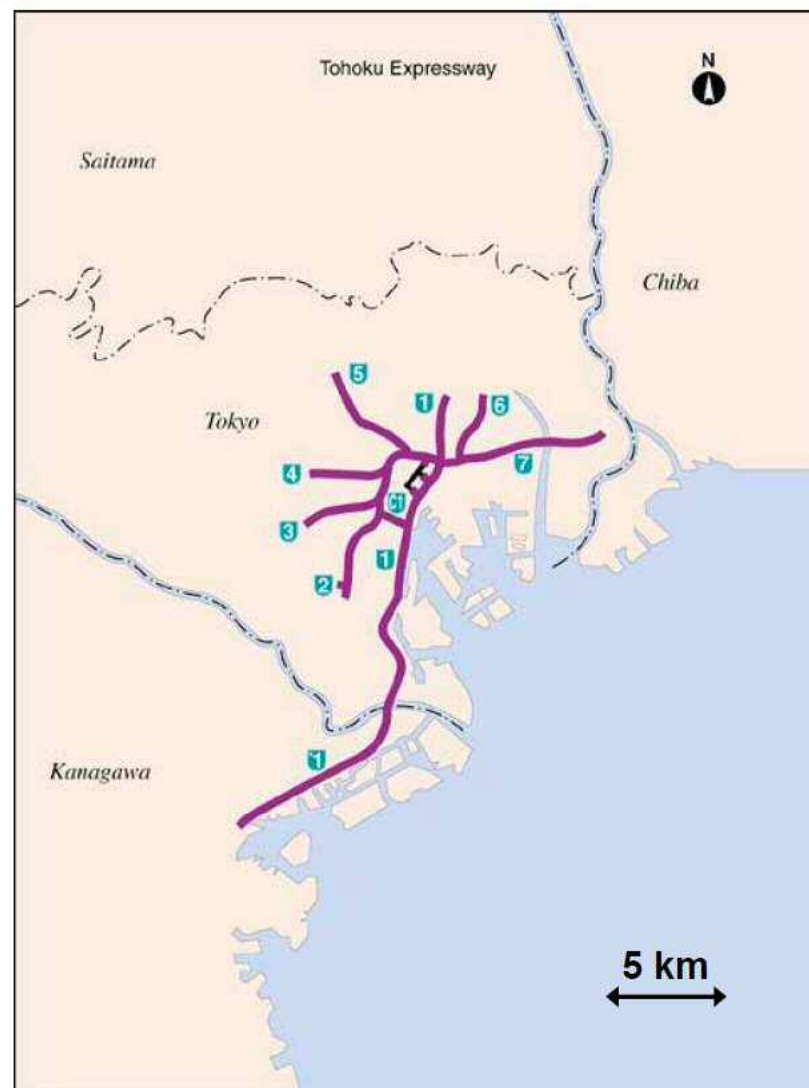
1. 首都高速道路の概要

首都高ネットワーク整備の経緯

第1ステージ

(1959年～1970年)

都心部の渋滞解消を目途とし、
都心環状線および放射路線
(1期部)を整備

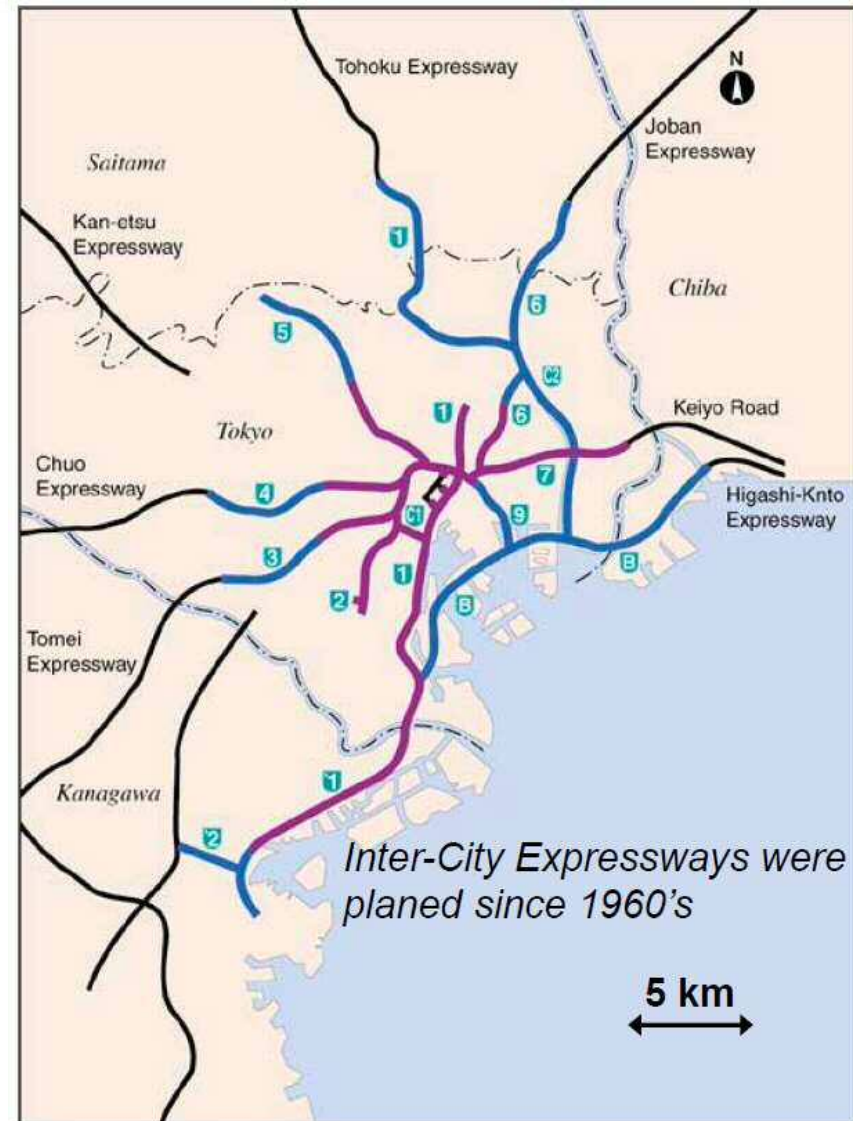


1. 首都高速道路の概要

第2ステージ

(1971年～1987年)

都市間高速道路と接続するため
放射路線を延伸

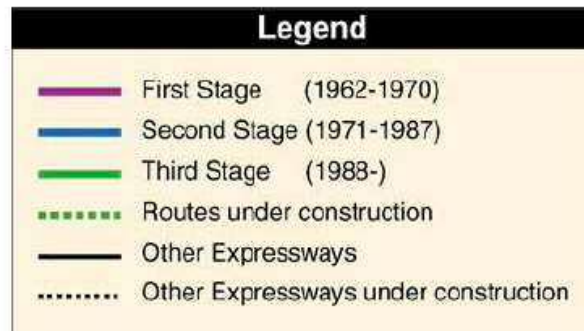


1. 首都高速道路の概要

第3ステージ

(1988年～)

首都高ネットワークの
さらなる効率化に向けた整備
(中央環状線、湾岸線の整備)



1. 首都高速道路の概要

東京オリンピックの影響

昭和34年、1964年(昭和39年)のオリンピックが東京で開催されることが決定した

⇒羽田空港、競技施設、選手村等

を結ぶ路線(オリンピック道路)

33kmをオリンピックまでに整備

することが至上命題となった

- ・ 建設コスト、建設工期を最小にするため、可能な限り公共用地を利用するよう計画



河川や運河等の公共用地上に建設された

1. 首都高速道路の概要

首都高建設中(昭和37年頃)



上野駅前



海岸通り

1. 首都高速道路の概要



渋谷駅付近

渋谷駅付近



1. 首都高速道路の概要

(2) 代表的な構造物

長大橋



横浜ベイブリッジ
橋長: 860m
中央支間: 460m
平成元年9月供用開始



つるみつばさ橋
橋長: 1020m
中央支間: 510m
平成5年12月供用開始

1. 首都高速道路の概要



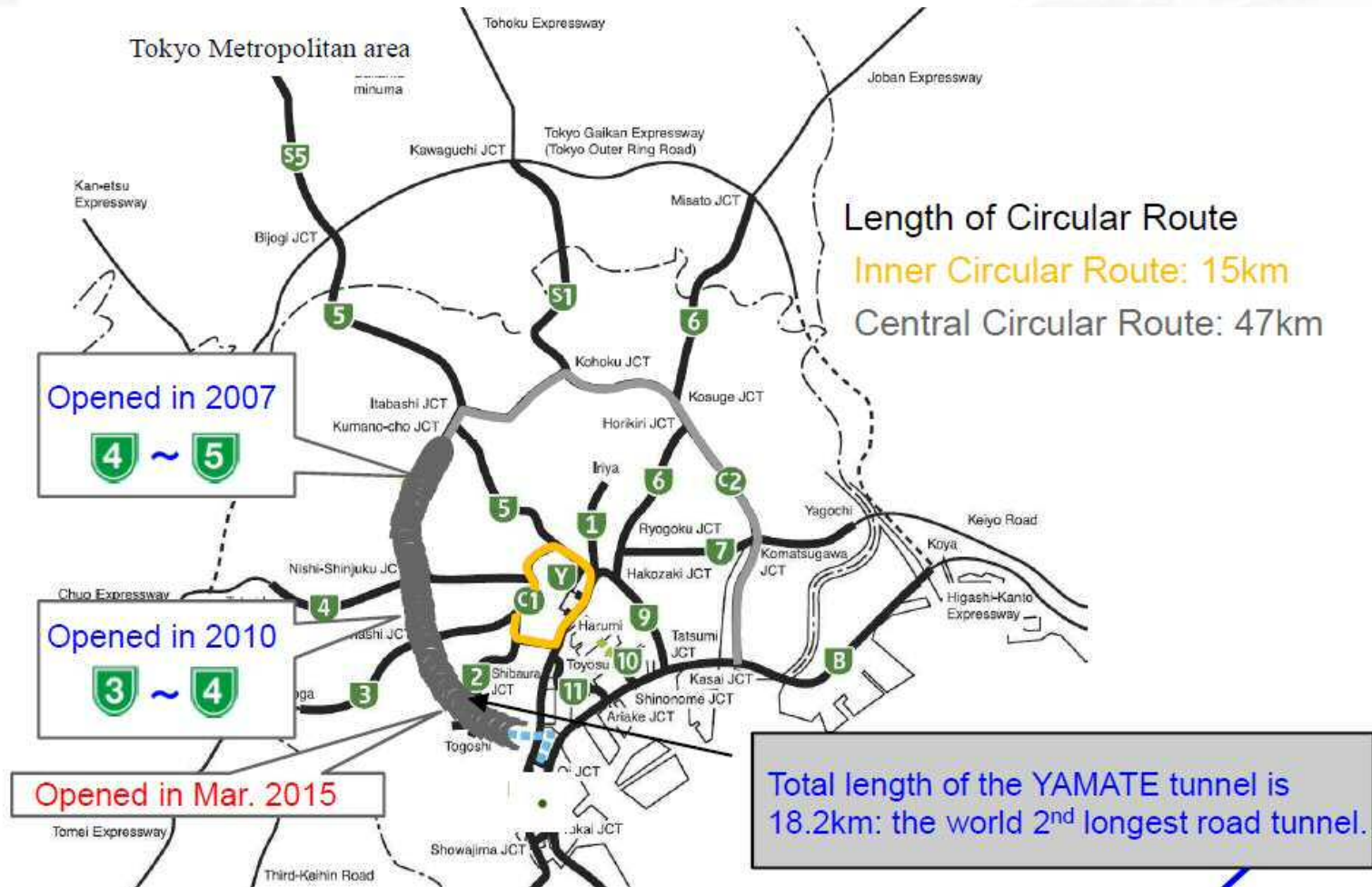
レインボーブリッジ
橋長: 798m
中央支間: 570m
平成4年8月供用開始



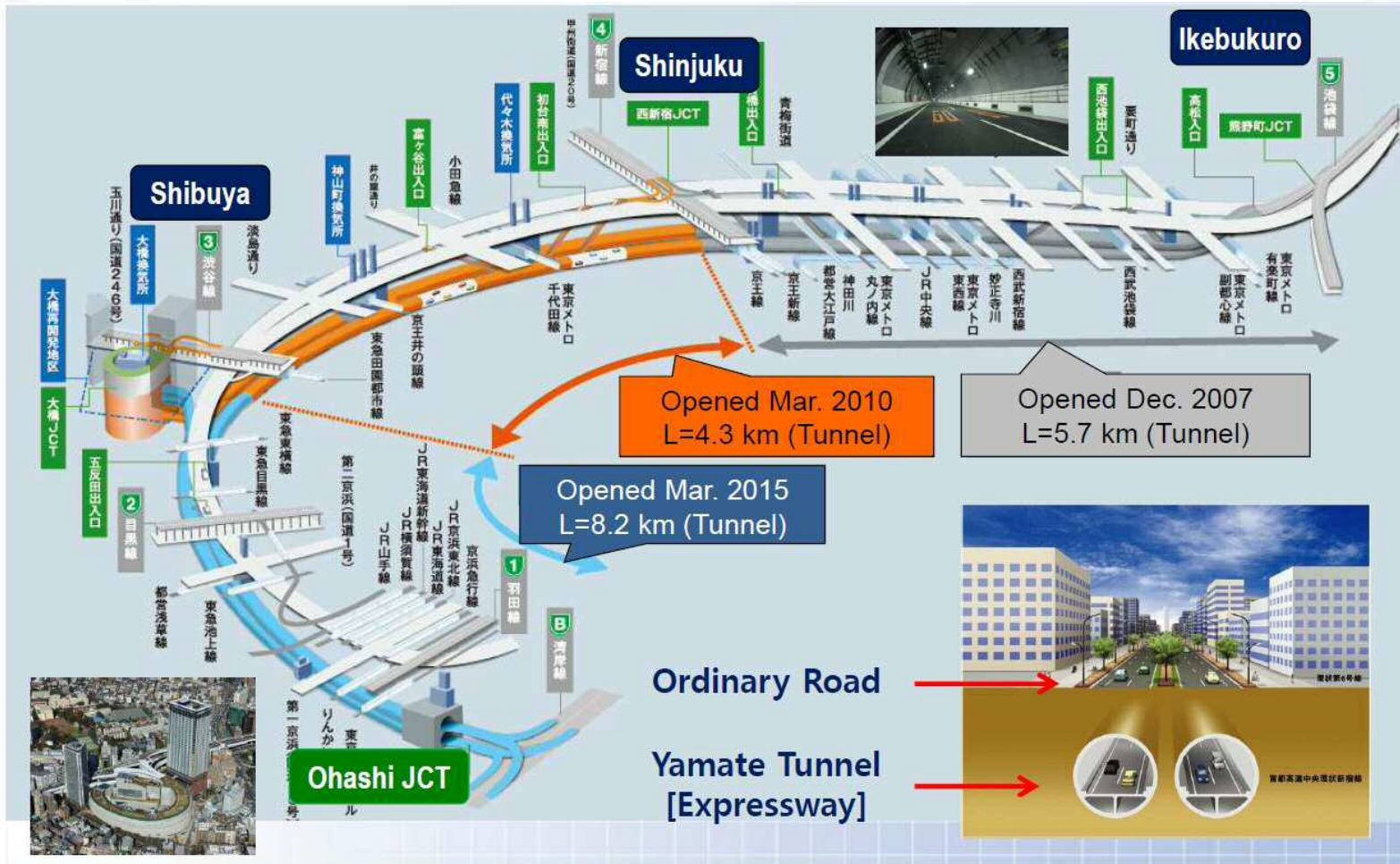
五色桜大橋
橋長: 142m
平成14年12月供用開始

1. 首都高速道路の概要

山手トンネル



1. 首都高速道路の概要

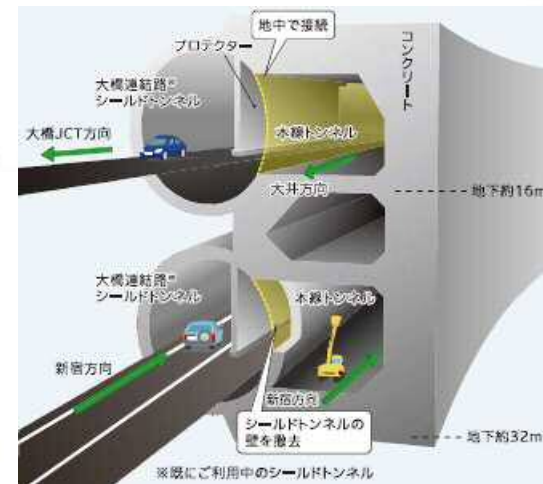


1. 首都高速道路の概要

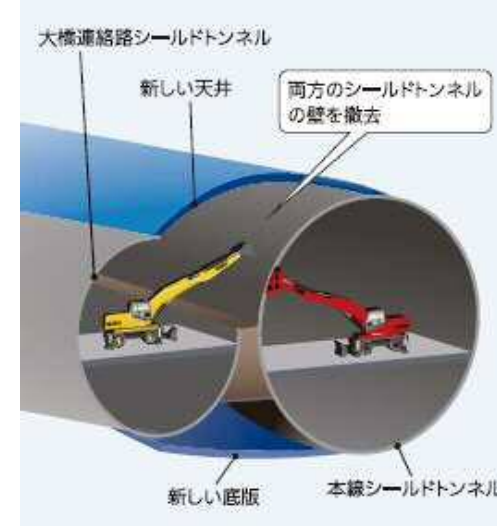
大橋JCTの施工



既供用トンネルに接続する分合流部の切開き施工

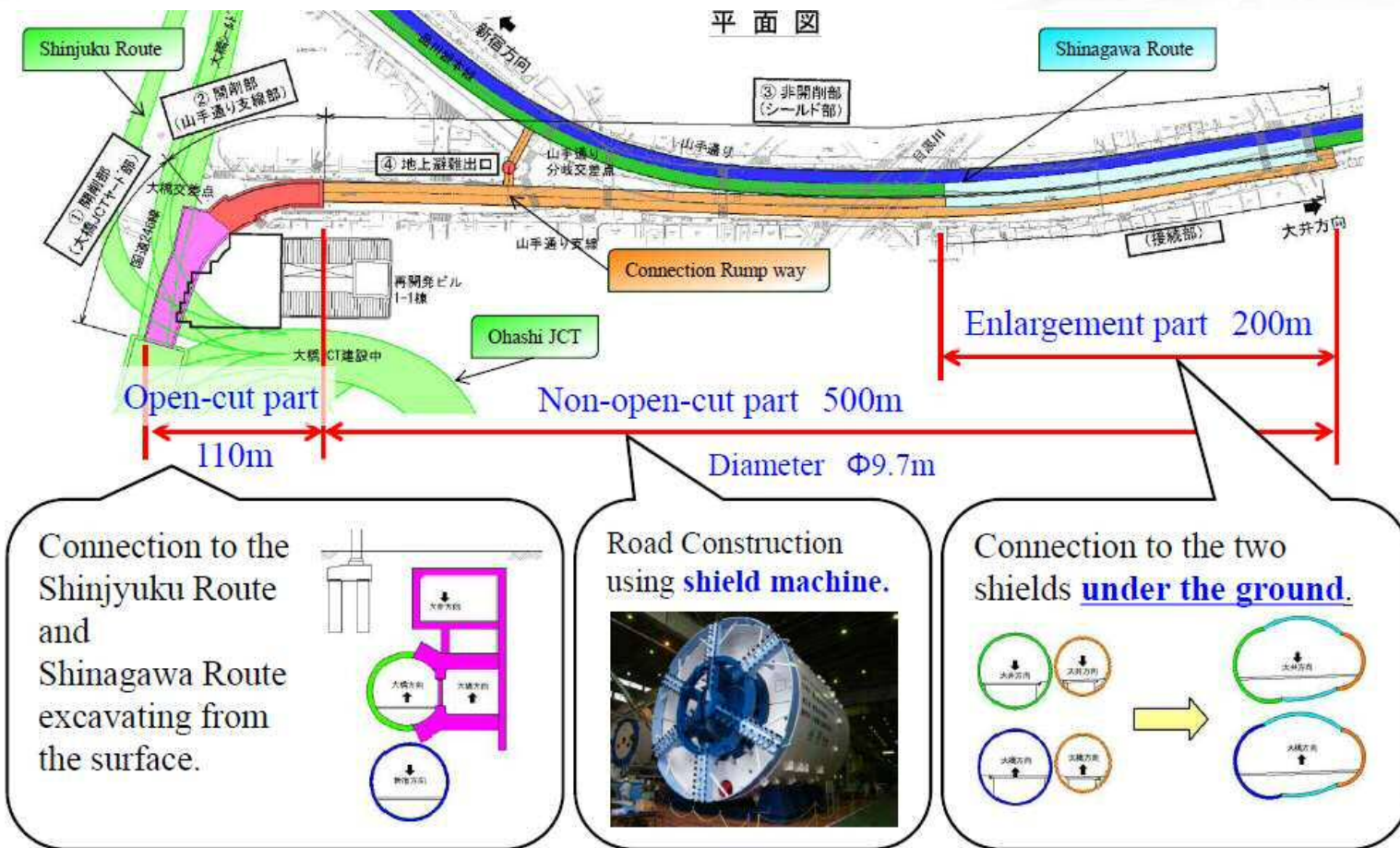


非開削切開きによる分合流部の施工

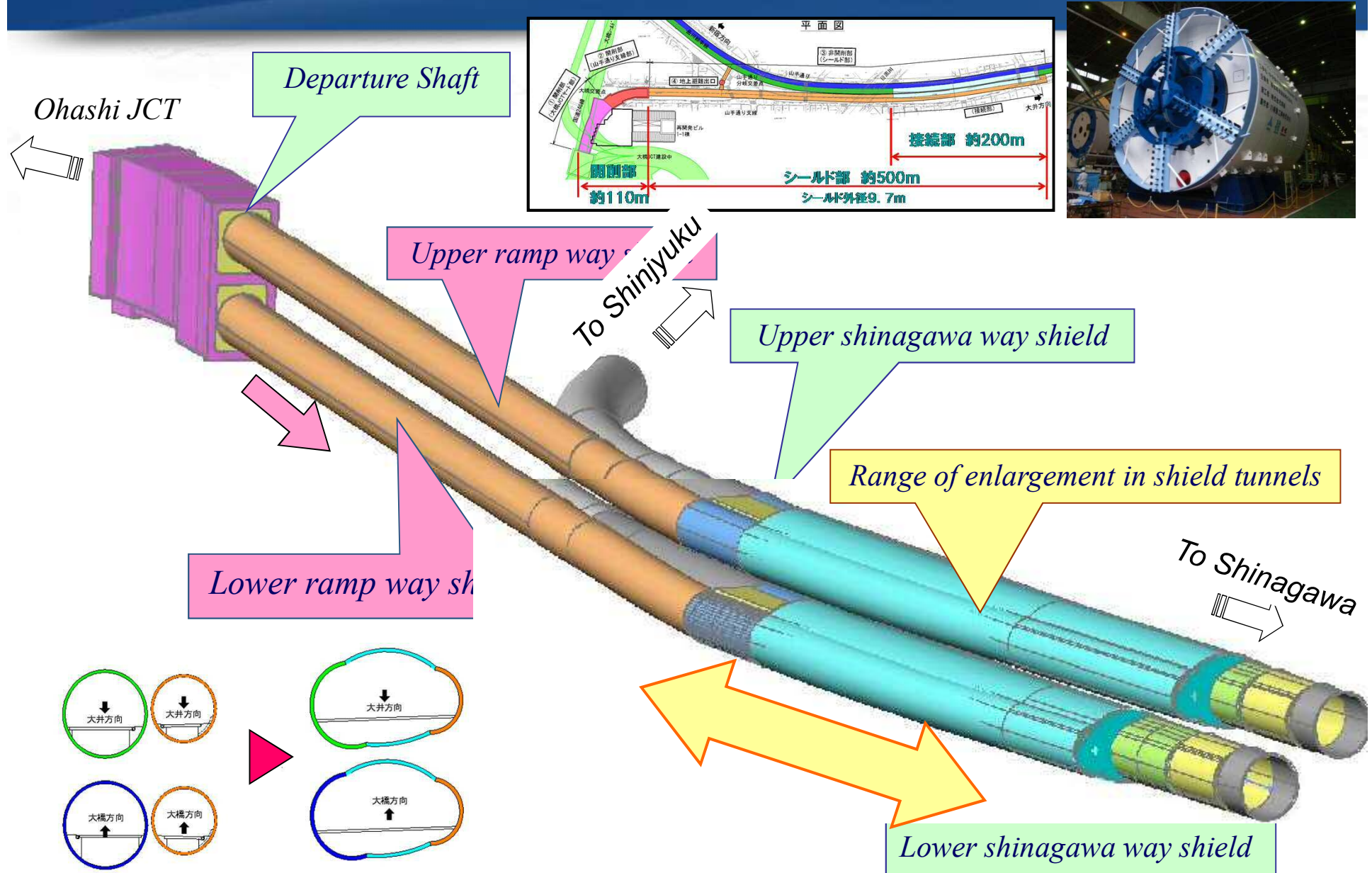


1. 首都高速道路の概要

非開削切開きによる分合流部の施工



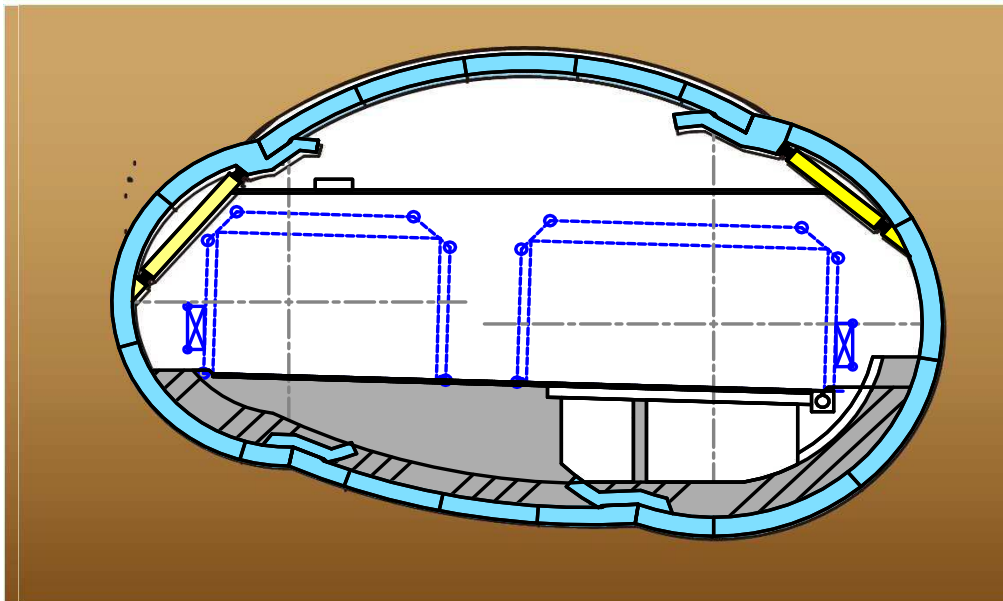
1. 首都高速道路の概要



1. 首都高速道路の概要



Step 6



Step1

- Installing inner supports

Step2

- Excavating from open space in remained outer ring
- Setting several piece of segments

Step3

- Lower side excavation

Step4

- Cutting away upper steel segments

Step5

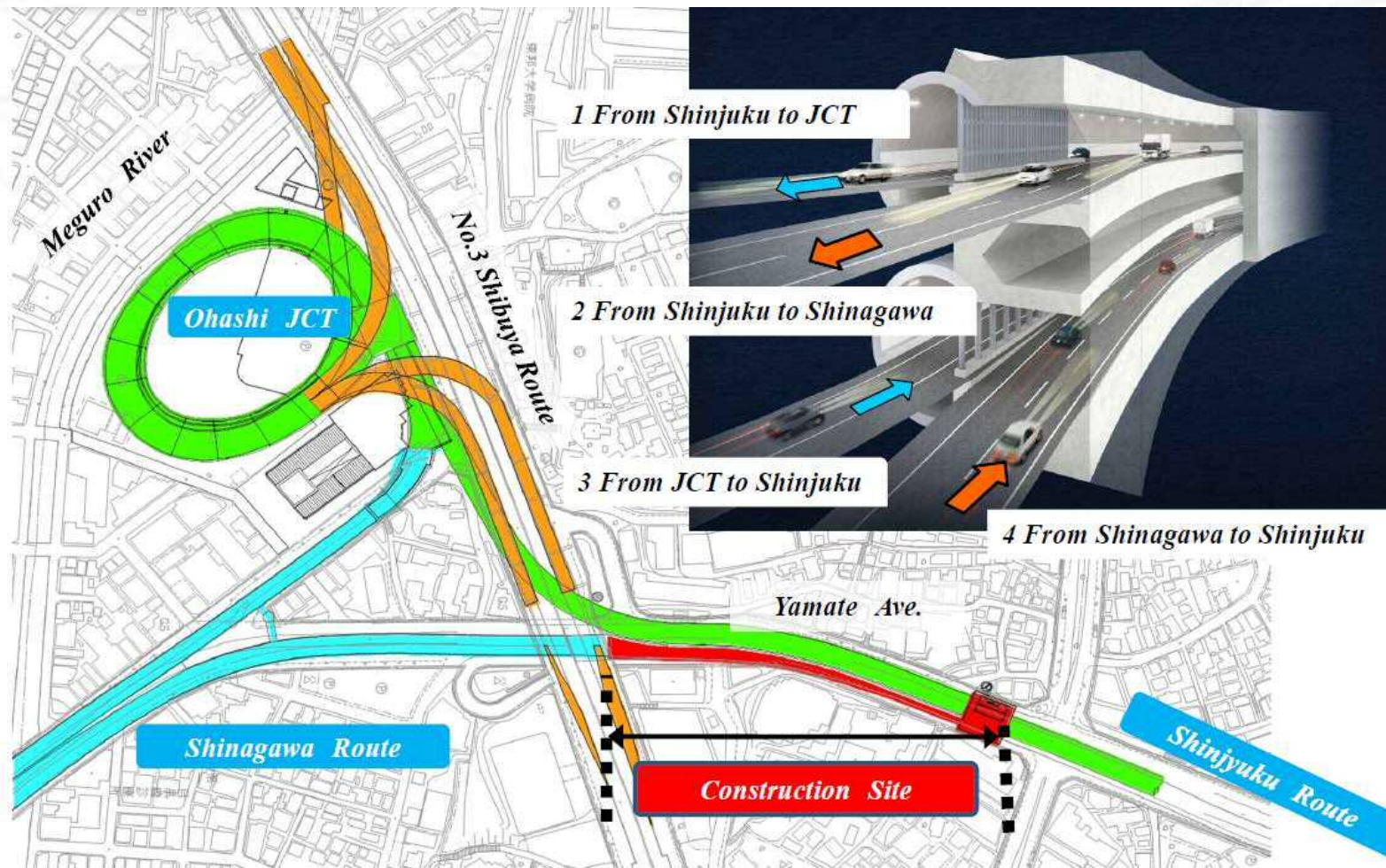
- Cutting away all steel segments
- Place concrete for slab basement

Step6 (completion)

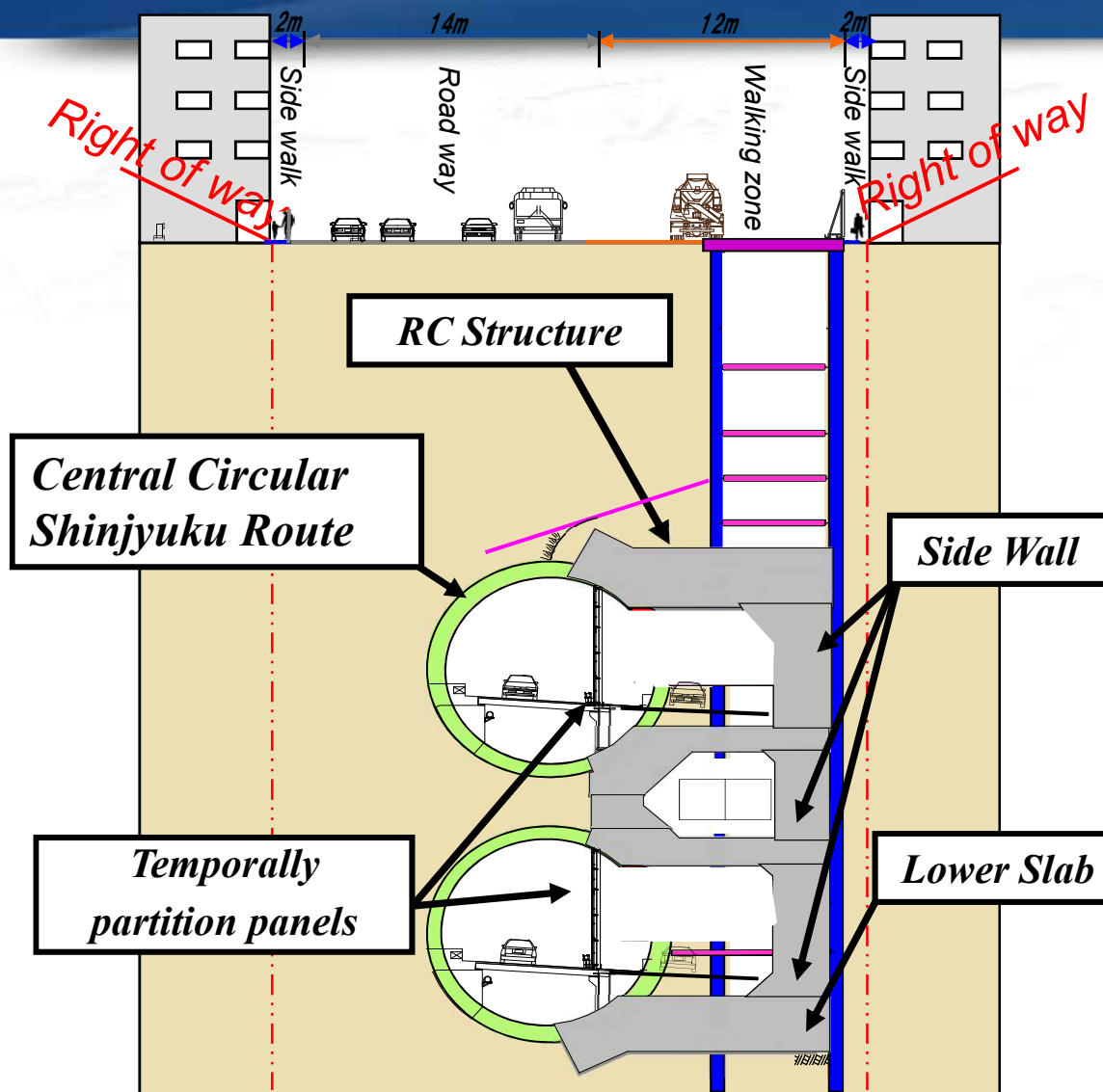
- Installing slab, auxiliary facilities

1. 首都高速道路の概要

既供用トンネルに接続する分合流部の切開き施工

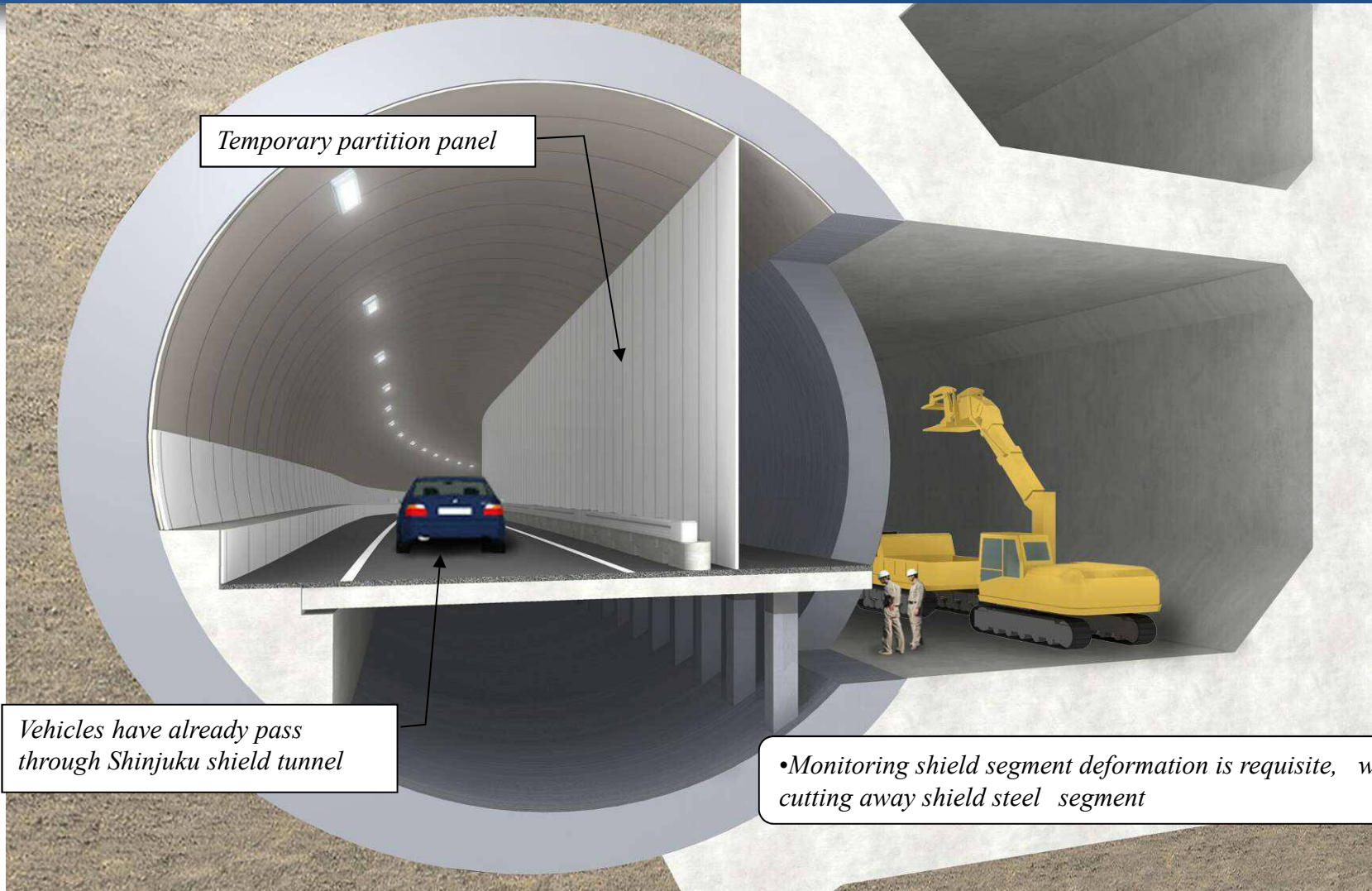


1. 首都高速道路の概要



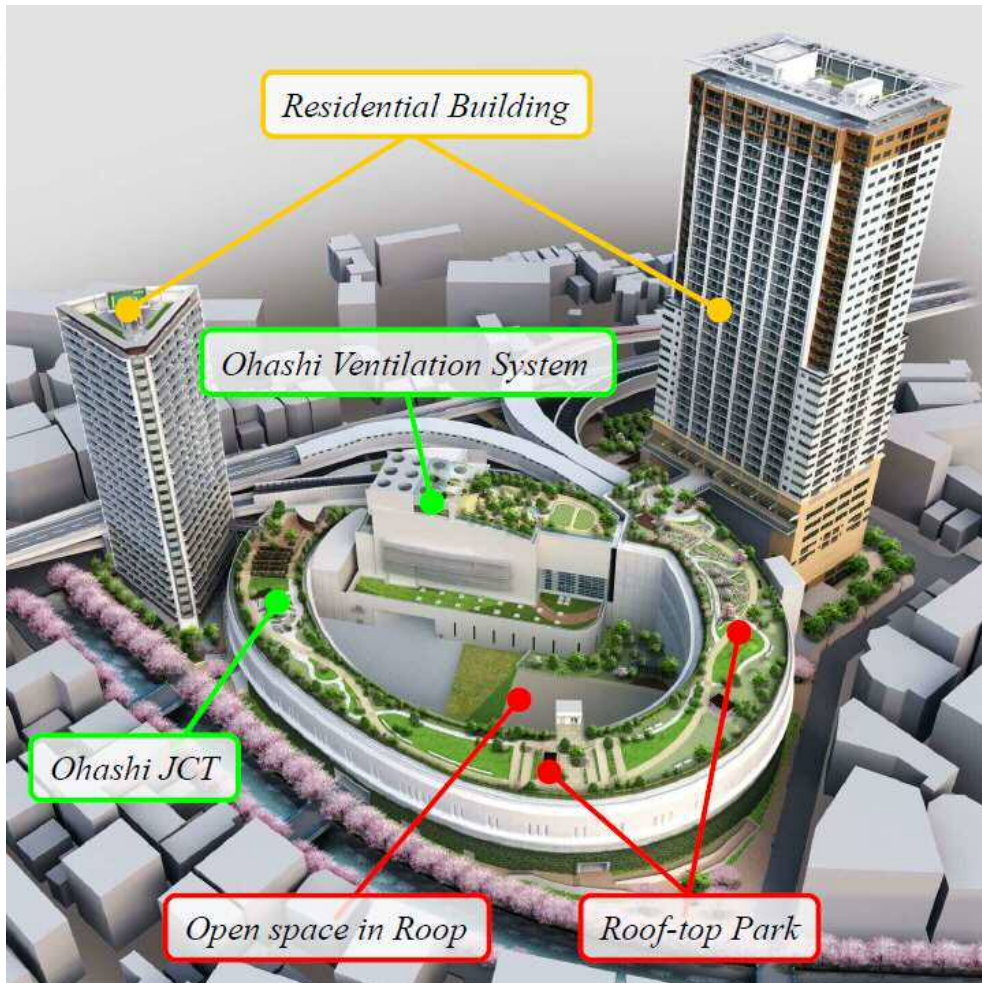
- Earth retaining wall is built.
- After completion of earth retaining wall, excavate and set wale and strads.
- And install the pipe-roof to prevent collapse of the ground.
- Each RC slabs are casted.
- Side wall are constructed.
- After completion of RC structure, Temporarily partition panels will be fitted to reduce the influence of in-service road.
- Cut the shield segment and the road will be expanding.

1. 首都高速道路の概要

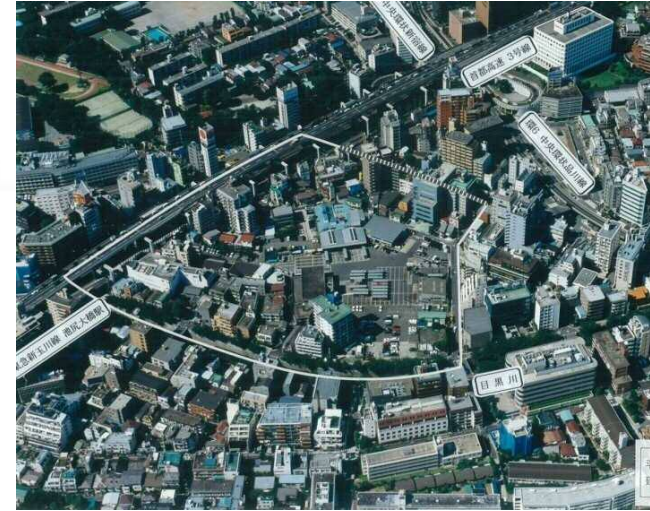


1. 首都高速道路の概要

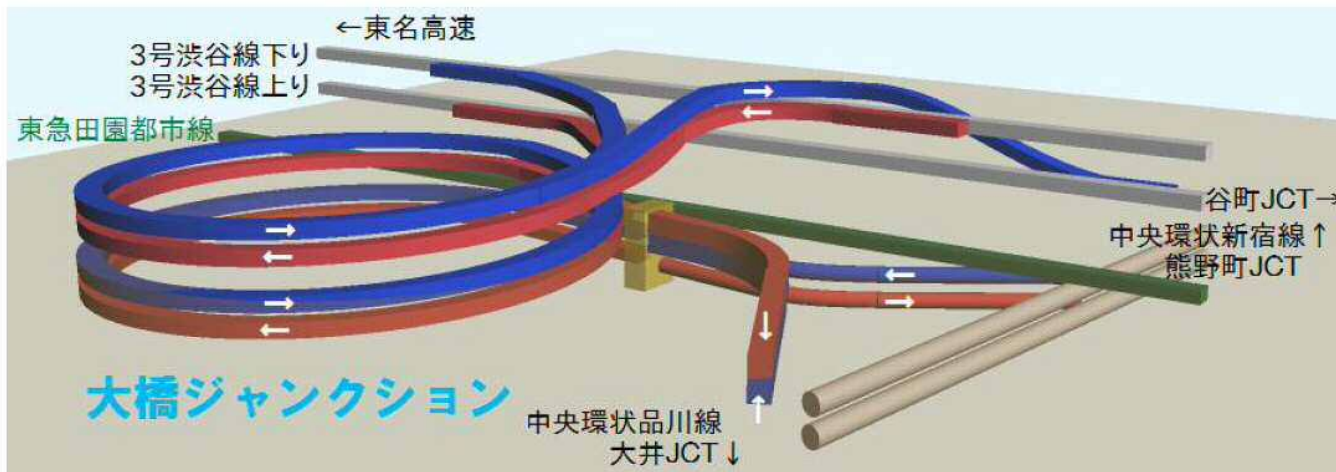
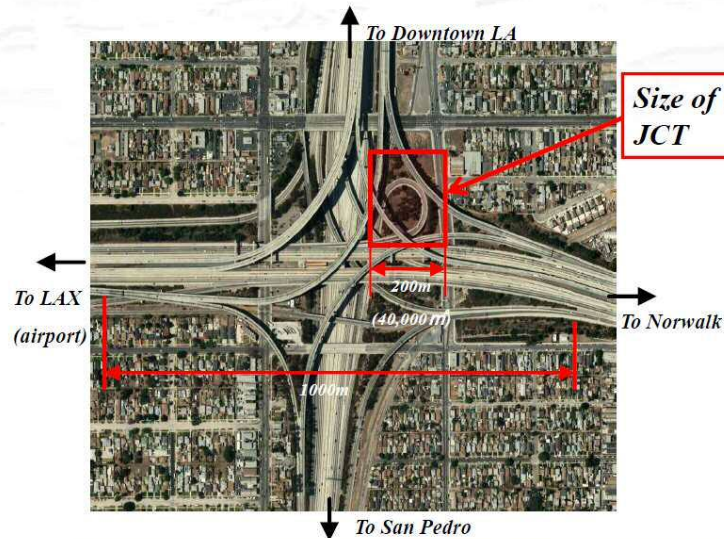
大橋JCTの概要



Redevelop area : almost 38,000 m²



1. 首都高速道路の概要



1. 首都高速道路の概要

屋上公園：目黒区立「目黒天空庭園」

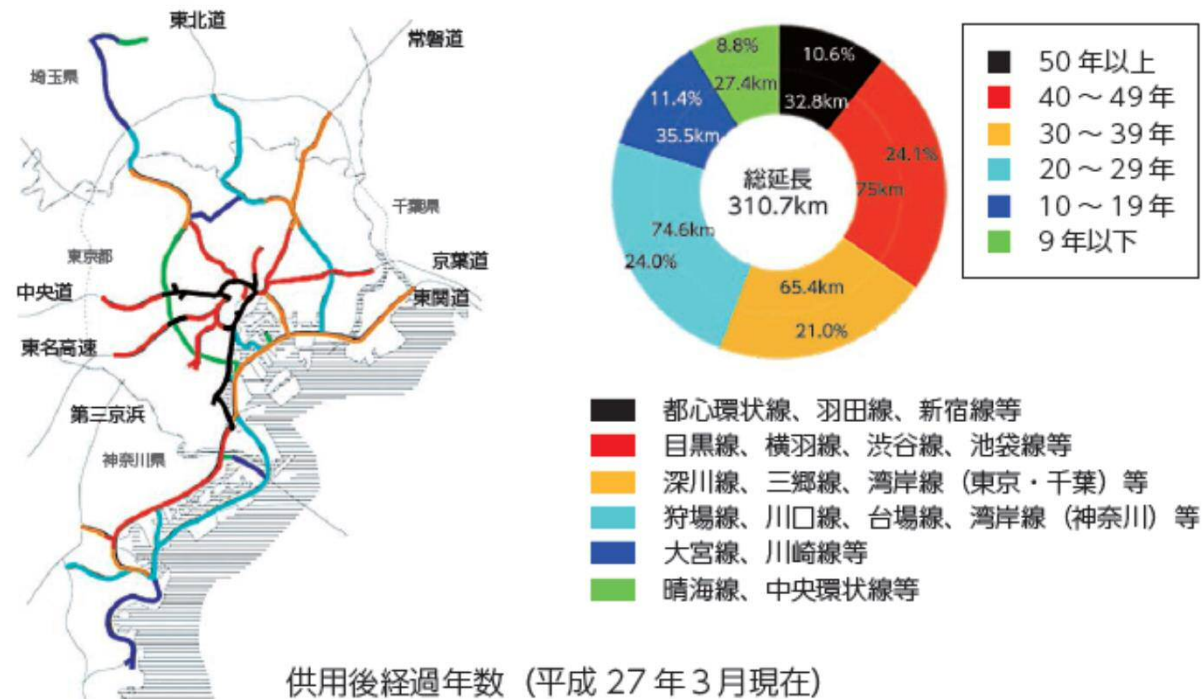


1. 首都高速道路の概要

(2) 首都高の現状と課題

① 構造物の老朽化

- ・1962年(昭和37年)の京橋～芝浦間(4.5km)に始まり、2015年(平成27年)3月末現在で延長310.7kmを供用。最初の開通から約54年経過。
- ・経過年数40年以上の構造物が約3割(約108km)、30年以上が約6割(約173km)を占める。



1. 首都高速道路の概要

②構造物比率が高い ⇒ きめ細かなメンテナンスが必要

・全供用延長のうち高架橋が約77%、トンネルが約12%、半地下が約6%を占め、構造物比率が約95%と高い。



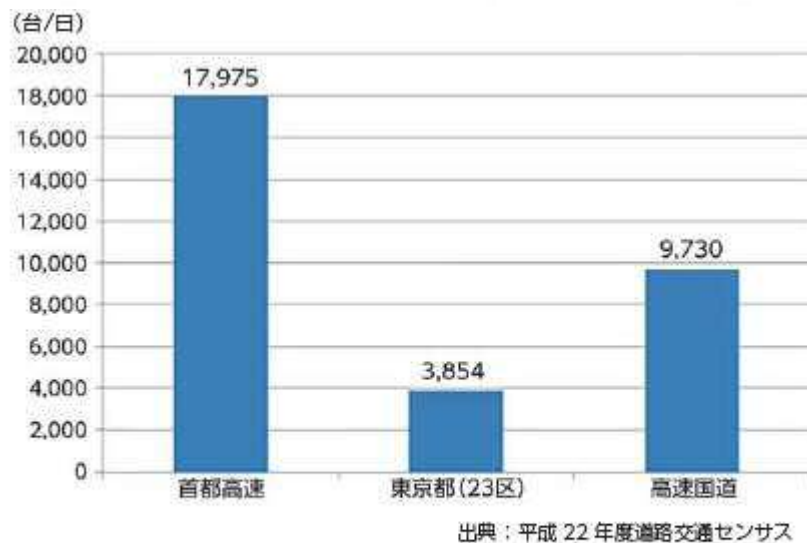
構造種別比較

上部工	
鋼橋	約9,300径間
コンクリート橋	約2,800径間
橋脚	
鋼製橋脚	約3,000基
コンクリート橋脚	約5,900基

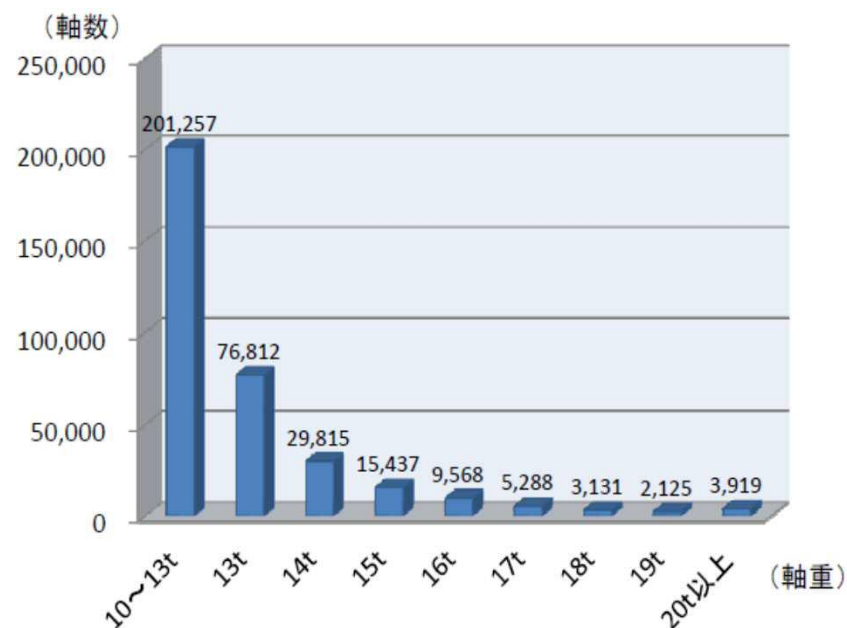
1. 首都高速道路の概要

③重交通

- ・平均で約97万台/日の自動車が利用しており、最大断面交通量は約16万台/日。
- ・大型車交通量は東京23区内の地方道の約5倍。軸重10トンを超える過積載車が多いため、過酷な使用状況が原因の損傷が年々増加。



大型車交通量比較

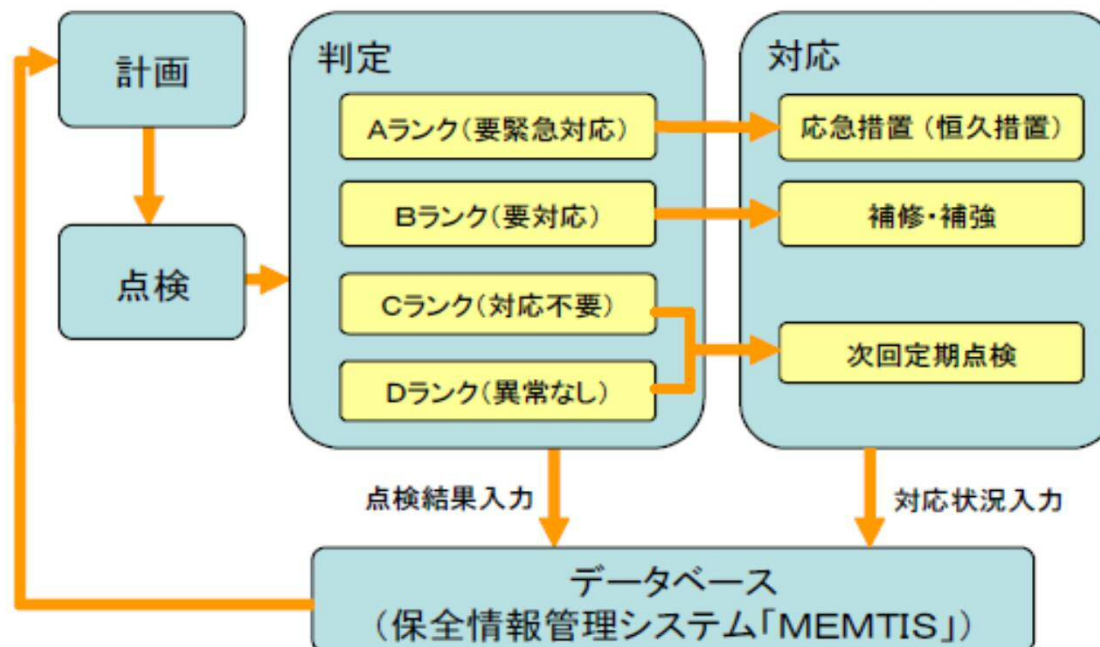


An aerial photograph of a dense urban area featuring a complex, multi-level highway interchange. The interchange consists of several curved, elevated roadways with multiple lanes, weaving through a grid of buildings and streets. The surrounding city is characterized by numerous high-rise and mid-rise buildings with various roof colors and architectural styles. The overall scene depicts a major transportation hub in a highly developed city.

2. 首都高速道路構造物の維持管理の現状

2. 首都高速道路構造物の維持管理の現状

点検の流れ



Aランク	緊急対応が必要な損傷（第三者被害の恐れ等）
Bランク	計画的に補修が必要な損傷
Cランク	損傷が軽微なため対応は不要（損傷は記録する）
Dランク	損傷なし（点検は記録する）

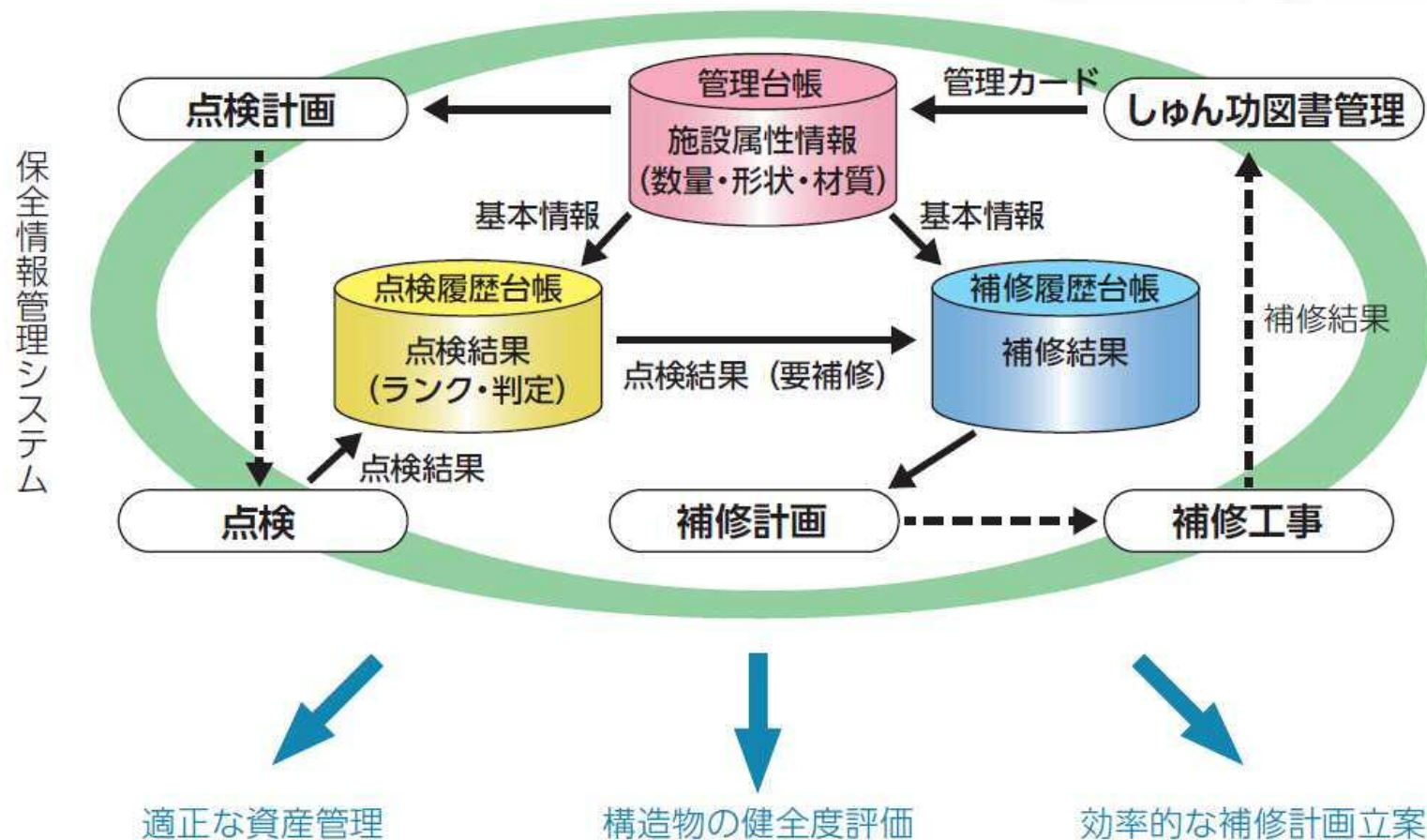
2. 首都高速道路構造物の維持管理の現状

点検の種類と頻度

点検種別		点検名	点検概要	点検頻度
日常点検	巡回点検	高速上巡回点検	パトロールカーによる車上目視・ 感覚による点検	2～3回/週
		高架下巡回点検		1回/月
		雨天時巡回点検	車上目視による排水施設の点検	
		交通パトロール	交通管理員による巡回監視	1回/2時間
	徒歩点検	高速上徒歩点検	高速上からの目視による伸縮継手 等の点検	1回/5年
		高架下徒歩点検	高架下からの目視による構造物の 点検	2回/年（第三者被害の想定される箇所） 1回/2年（その他の箇所）
定期点検	接近点検	構造物接近点検, 土木	高所作業車を使用した接近点検	1回/5年
		附属施設接近点検	仮設吊足場等を使用した接近点検	塗装等の工事足場設置時に実施
		施設関係接近点検	建築, 機械, 電気設備の点検	設備に応じて定めた頻度
	機器点検		舗装点検	1回/年
	初回点検		供用開始1年後に実施する点検	供用開始1年後
	損傷箇所追跡点検		経年変化の追跡点検	
	臨時点検	異常時点検		地震/暴風雨等の点検
事故発生時点検			事故発生類似箇所の点検	
特別点検			必要に応じて行う点検	

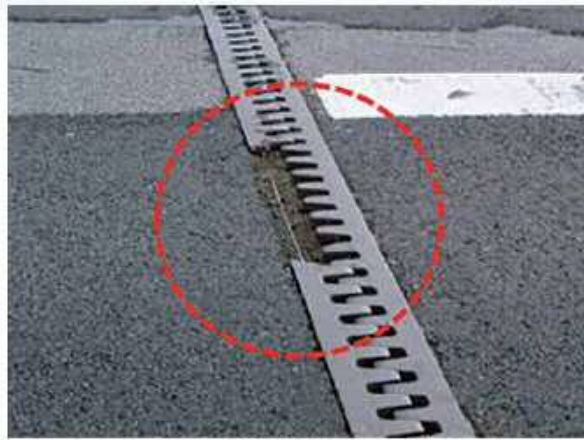
2. 首都高速道路構造物の維持管理の現状

点検から補修までの流れ



2. 首都高速道路構造物の維持管理の現状

緊急対応が必要な損傷（Aランク損傷）



補修前(伸縮装置の破損)



補修後(伸縮装置の取替え)



補修前(舗装の穴)



補修後(舗装の部分打ち換え)

2. 首都高速道路構造物の維持管理の現状

計画的に対応する損傷（Bランク損傷）



補修前(鋼桁の疲労き裂)



補修後(当て板補強)



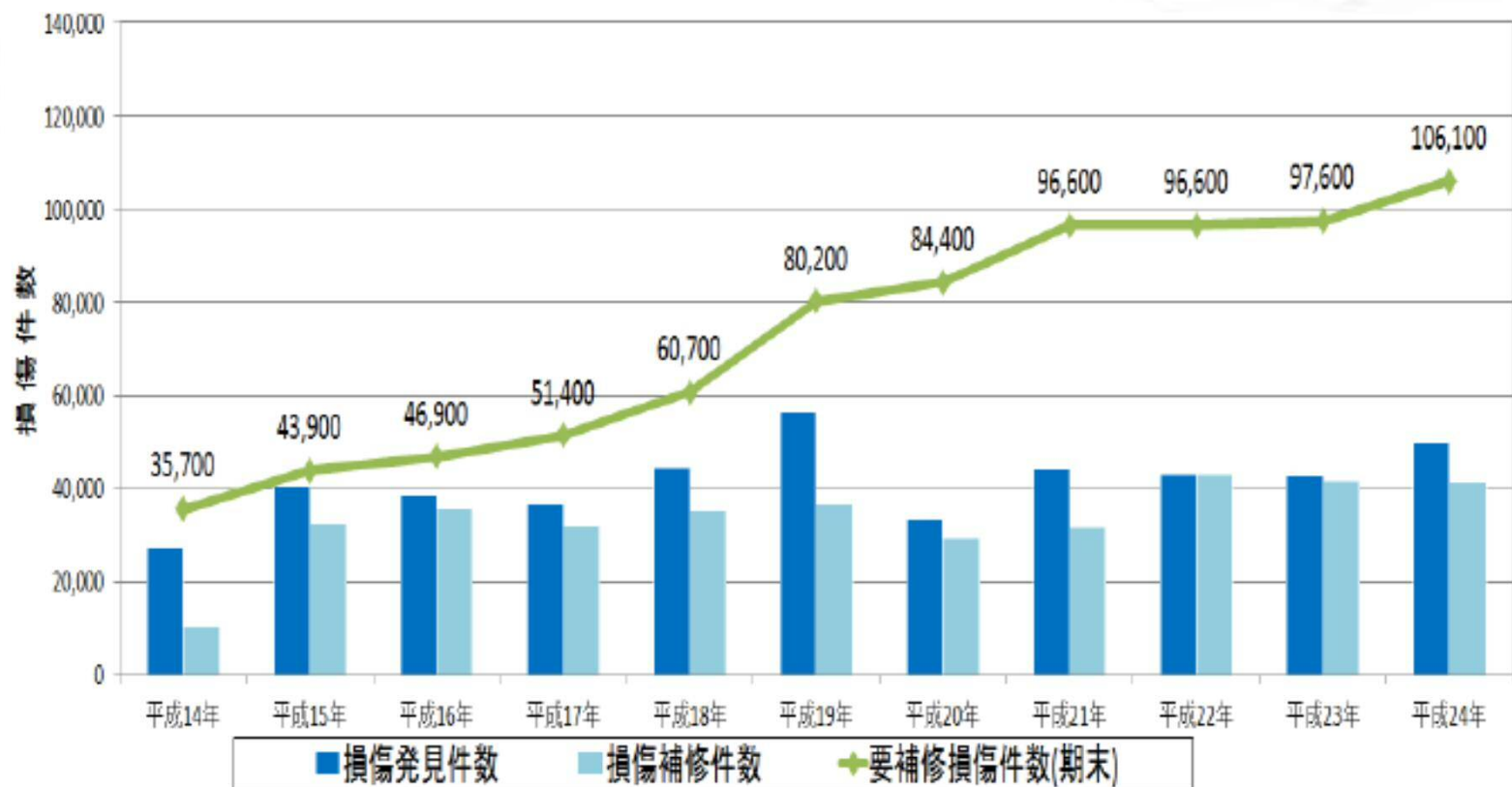
補修前(コンクリートのひび割れ)



補修後(シート繊維補強)

2. 首都高速道路構造物の維持管理の現状

近年の損傷発見件数と対応件数



An aerial photograph of a dense urban area featuring a complex, multi-level highway interchange. The roads are grey with white lane markings and are surrounded by numerous high-rise buildings with various roof colors and architectural styles. The scene is captured from a high angle, showing the intricate layout of the elevated roads and the surrounding city blocks.

3. 首都高速道路の構造物維持管理に関する新たな取組み

3. 首都高速道路構造物の維持管理に関する新たな取組み

(1) 事後保全から予防保全、予防保全から予測保全へ
耐久性向上対策

① コンクリート床版の耐久性向上策

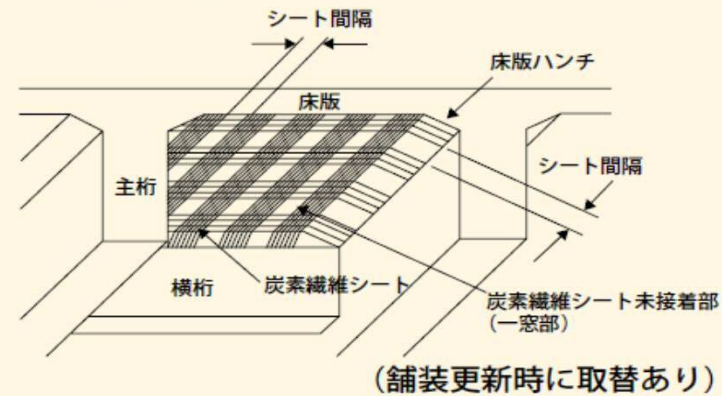


炭素繊維シート施工前

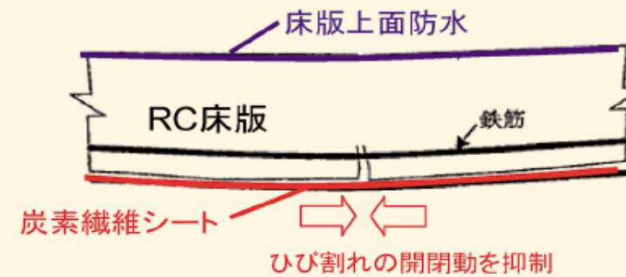


炭素繊維シート施工後

【炭素繊維シート】

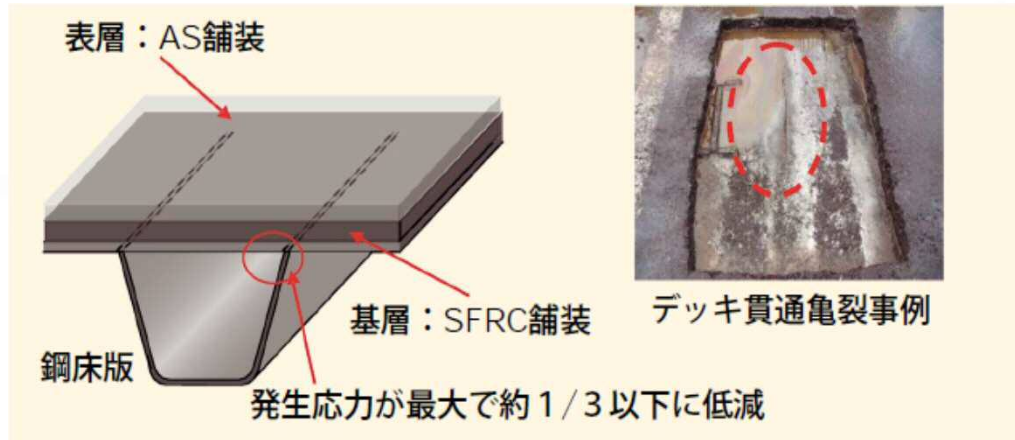


【長寿命化の概要】



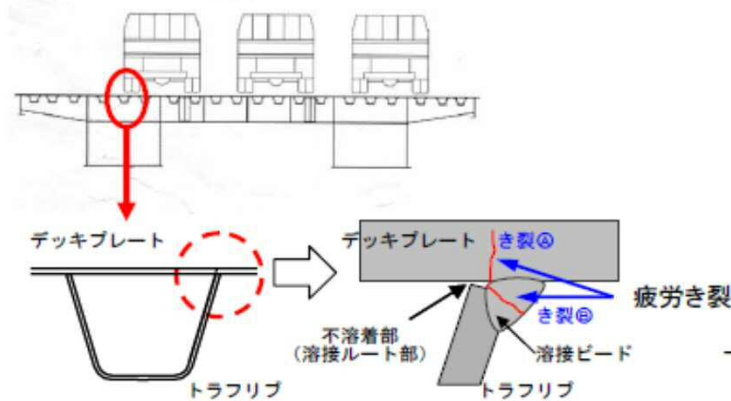
3. 首都高速道路構造物の維持管理に関する新たな取組み

②鋼床版の耐久性向上策



○早急に対策が必要な損傷

デッキプレート-トラフリブ溶接部の損傷



3. 首都高速道路構造物の維持管理に関する新たな取組み

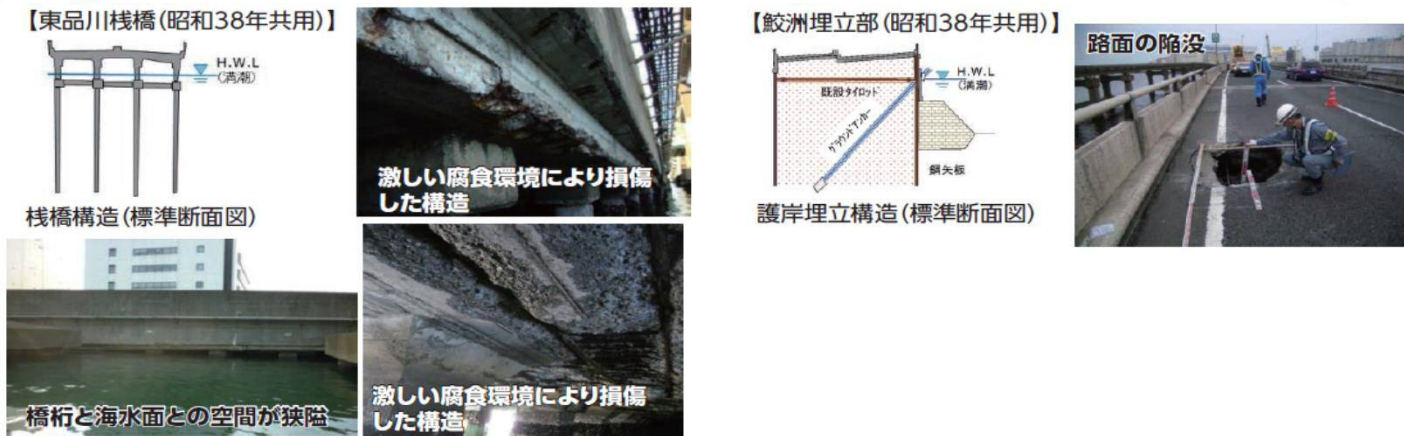
(2) 大規模更新・修繕



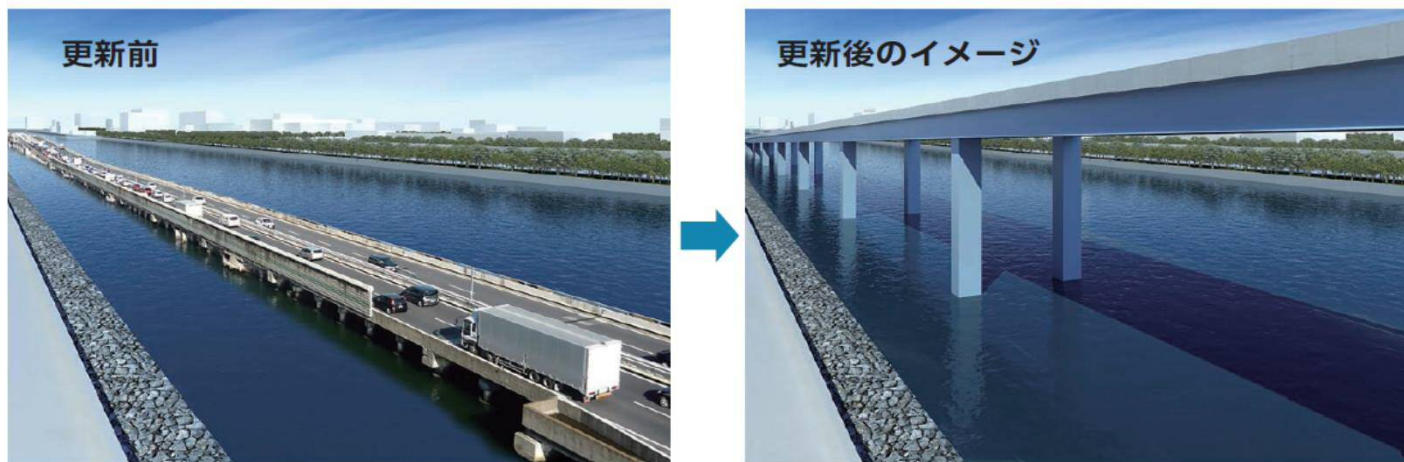
区分	対象箇所	延長	事業費(税込)(用地費含む)	事業年度(工事着手年度)
大規模更新	東品川棧橋・鮫洲埋立部	1.9 km	912 億円	平成 26~38 年度(平成 27 年度)
	高速大師橋	0.3 km	244 億円	平成 27~35 年度(平成 28 年度)
	池尻・三軒茶屋	1.5 km	648 億円	平成 27~39 年度(平成 27 年度)
	竹橋・江戸橋(日本橋区間)	2.9 km	1,412 億円	平成 27~40 年度 ^{※1}
	銀座・京橋(築地川区間)	1.5 km	559 億円	平成 27~40 年度 ^{※1}
	小計	8 km	3,775 億円	
大規模修繕	3号渋谷線、4号新宿線 他	55 km	2,487 億円	平成 26~36 年度(平成 26 年度)
合計		63 km	6,262 億円	

3. 首都高速道路構造物の維持管理に関する新たな取組み

①大規模更新事例1（東品川栈橋・鮫洲埋立部）



東品川栈橋・鮫洲埋立部の損傷状況



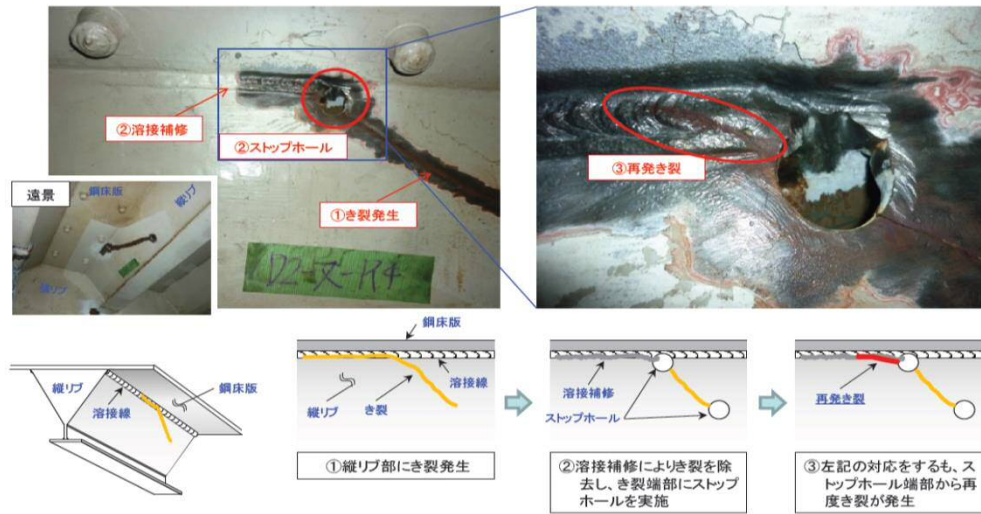
大規模更新実施イメージ

3. 首都高速道路構造物の維持管理に関する新たな取り組み

②大規模更新事例2（高速大師橋）



高速大師橋全景



鋼床版の損傷状況

3. 首都高速道路構造物の維持管理に関する新たな取組み

(3) 点検の高度化

GISプラットフォームと三次元点群データを用いて、道路・構造物の維持管理業務を支援するシステム「InfraDoctor」を開発。トータルなインフラマネージメントを実現。

CIM(Construction Information Modeling)

- 電子データを用いた情報化施工。
- 3次元CAD図面や施工シミュレーション等電子データの活用。
- 建設時の初期状態(材料、施工状況、出来形等)の記録。

InfraDoctor

- GIS(地図)上で各種台帳を一括管理(CIMデータ、点検・補修履歴、三次元点群データ、全周囲動画等)。
- 構造物の変状や変位計測による点検業務支援。
- 点検シミュレーション、構造図や規制図等の作成による点検計画作成支援。
- 台帳の情報と三次元点群データから、施工状況や点検、計測結果を反映した解析モデルや入力データを作成。

適時補修・補強

- InfraDoctorからの解析モデル、入力データで迅速な構造的な性能評価、補修補強設計。
 - 適時補修・補強の実施。
- ⇒効率的な社会インフラの維持管理を実現。

[開発コンソーシアムメンバー]

首都高技術株式会社、株式会社エリジオン、朝日航洋株式会社



【GISプラットフォーム】
地図上から各種情報にアクセス

各種台帳

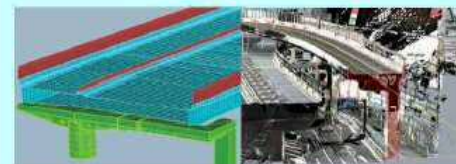


【各種台帳検索】
設計・施工データ、図面、点検結果、補修補強履歴等

三次元点群データ



【点検業務支援】
点群データから変状を確認



【構造性能評価支援】

点群データからCAD図、解析モデルを作成、データベースから入力データを作成、性能評価と補修補強設計を実施



【点検計画作成支援】

点群データで点検シミュレーション、協議用資料作成

3. 首都高速道路構造物の維持管理に関する新たな取り組み

(4) 新しいインフラ管理システム

効率的な維持管理を実現するために、スマートインフラ管理システム全体(i-DREAMs[®])のビジョンを定め、構築に取り組んでおり、維持管理に係るシステムについては、平成29年度内より運用予定。

[1] システムの概念

- 調査・設計～施工～維持管理に至るまでの全情報を統合管理
設計、建設、維持管理のプロセスにおいて判断に資する必要なデータを速やかに確認でき、維持管理計画の作成を支援
- ICTの活用・AIエンジンを搭載した未来型管理システム
InfraDoctor[®]やICTを用いた新技術を取り込むとともに、損傷推定AIエンジンを中枢としたシステムとの対話から損傷、補修・補強候補を自動検知し、効率的な維持管理を実現



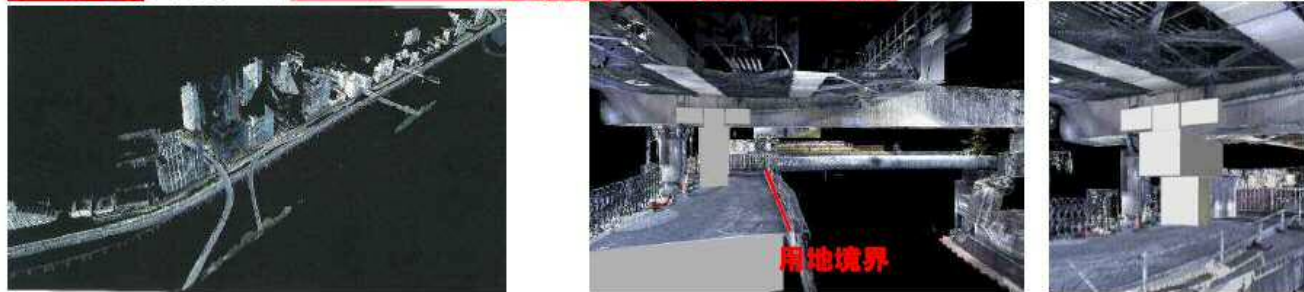
3. 首都高速道路構造物の維持管理に関する新たな取り組み

[2](i-DREAMs[®])の主な効果

調査・設計、施工から維持管理までの各情報をデジタルデータとして統合管理するとともに、点群データを有効活用することにより、的確かつ効率的な維持管理を実現

① 調査・設計および施工の効率化

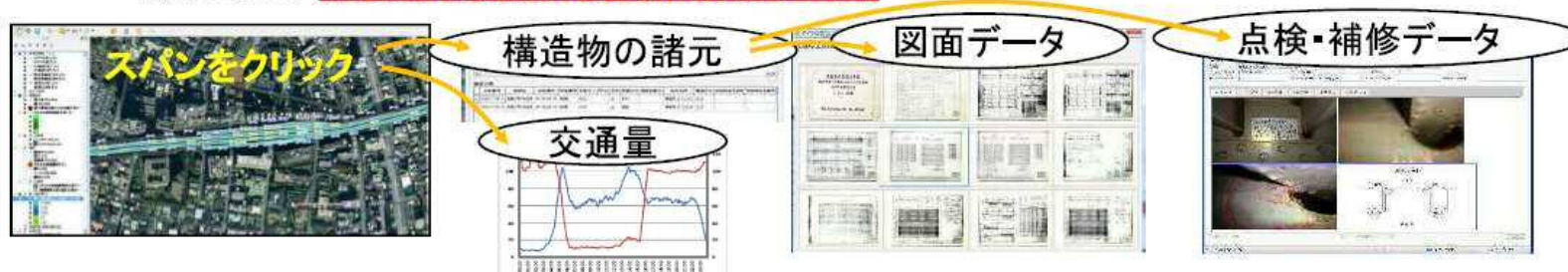
点群データを用いて設計することにより、**現状(寸法や附属物の配置等)に合った構造検討ができる**とともに、**システム上で検討資料の確認ができる**ことによる設計・施工の効率化



大規模更新工事や補修補強工事の一部で施行検証を実施

② GIS上で各種情報を統合管理

GISプラットフォームから、構造物の管理に必要な全てのデータベースにアクセスすることが可能となり、**総合的な視点から診断・評価が可能**

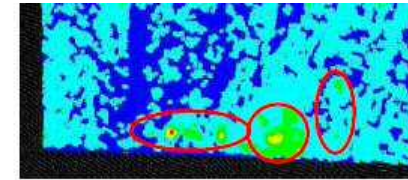


3. 首都高速道路構造物の維持管理に関する新たな取組み

- ③ 点群データによる構造物の変状把握
 測定した点群の相対変位により構造物の変状を抽出し、接近が難しい箇所も含め、**構造物の変状、浮き・剥離等を定量的に把握可能**



基準面からの差分

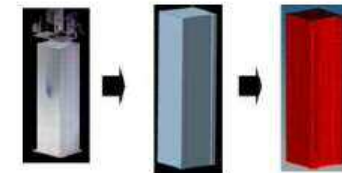


変状検出した画像

- ④ CAD図や構造解析モデルの作成支援
 点群データから、任意断面のCAD図および3D解析モデルを容易に作成することが可能※
 となり、**劣化診断・予測解析を実現**



CAD図作成事例



橋脚の3Dモデル化

※図面作成時間の短縮 **8日** → **1.5日**

- ⑤ 損傷推定AIエンジンを用いた先進的な維持管理

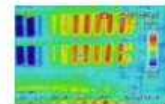
AIエンジンを用いて、センシングデータや交通量等の環境条件データから構造物の劣化状況や進展性を推定し、補修時期や補修工法の決定を支援することで**予測保全を実現**
 (例)コンクリート表面のセンシングデータから、内部の鉄筋腐食等を推定するエンジン

センシングデータ(入力)

○点群データによる
変状検出・図面データ



○近赤外線点検データ



○ひび割れ検出データ



損傷推定AIエンジン

損傷予測(出力)

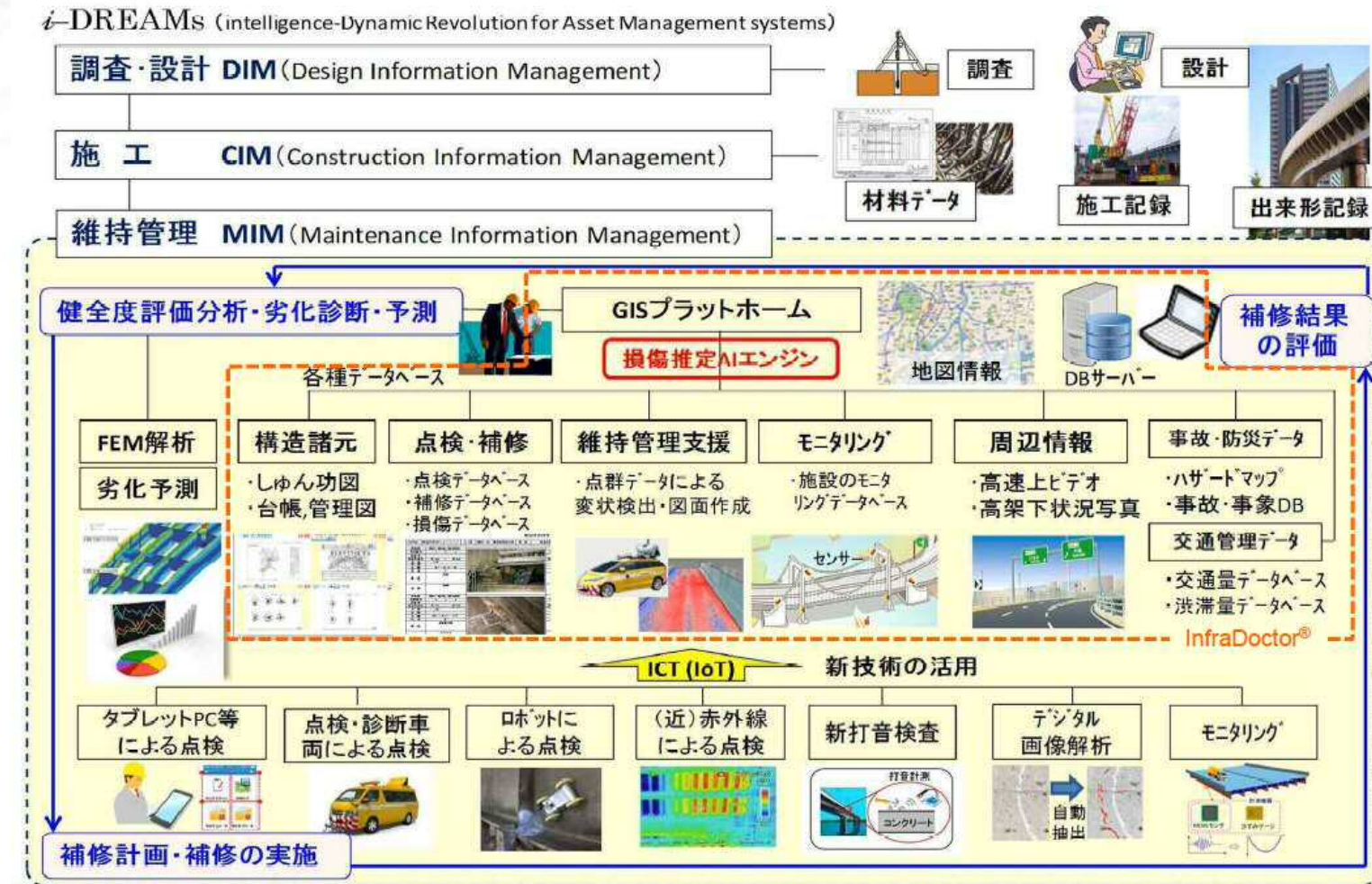
コンクリート内部の損傷
 ・鉄筋腐食
 ・中性化
 ・塩害等



診断を
支援

3. 首都高速道路構造物の維持管理に関する新たな取組み

(i-DREAMs[®])の全体イメージ





4. 首都高速道路のコンクリート構造物 維持管理に関するトピックス

4. 首都高速道路のコンクリート構造物維持管理に関するトピックス

(1) PCグラウト充填度調査

- ・PRC橋脚やPCプレテン桁の横締めPC鋼棒が腐食し破断、跡埋めコンクリートとともに飛び出し、第三者に損傷を与える事故が1990年代以降に顕在化
破断したPC鋼棒にはグラウトがほとんど存在していなかった

⇒ 首都高ではPC鋼棒の突出防止対策を実施するとともに、グラウト充填度調査を実施

・グラウト充填度調査方法

- a. ドリルにより削孔し目視により確認する方法
- b. X線透過法による可視化する方法
- c. 弾性波を用いて伝搬速度、振動特性等により判断する方法

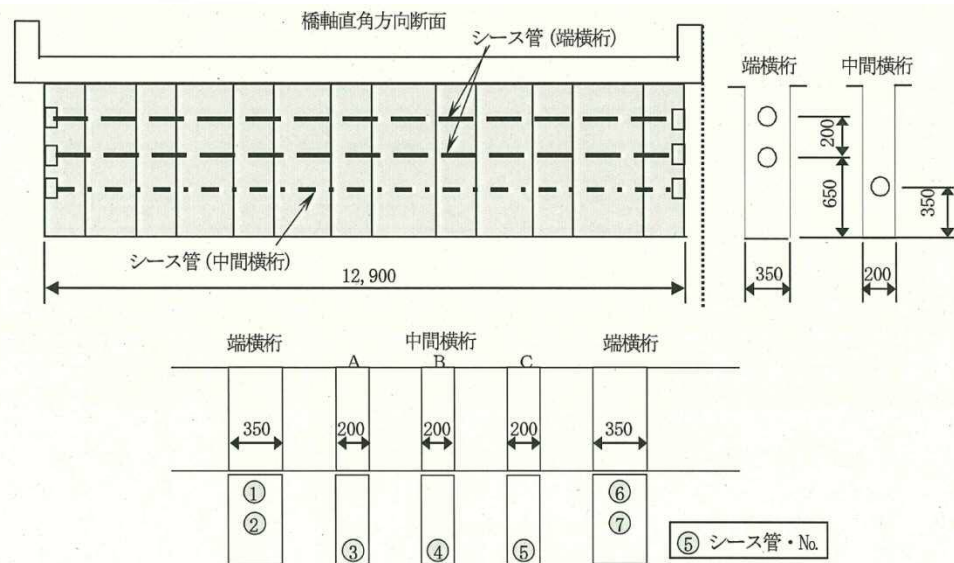
衝撃弾性波法による実橋におけるグラウト充填度調査事例を報告する

4. 首都高速道路のコンクリート構造物維持管理に関するトピックス

① 調査橋梁

PCポストテンション単純T桁橋（2径間）

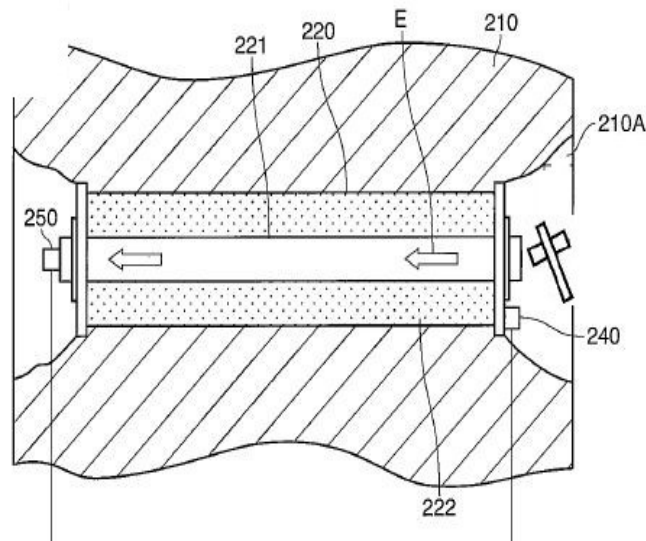
7主桁、桁長:27.95m、桁高:1.6m、昭和56年12月しゅん功



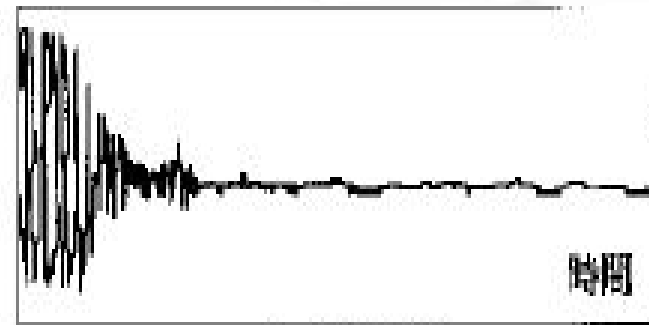
4. 首都高速道路のコンクリート構造物維持管理に関するトピックス

従来の診断方法

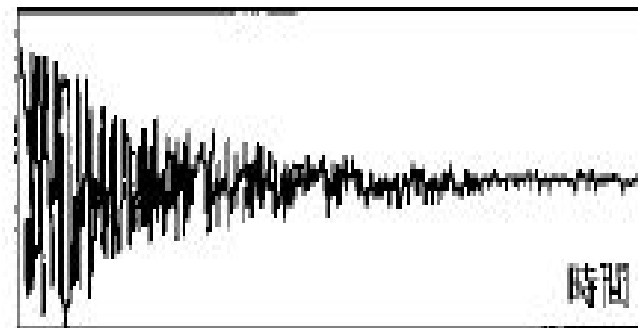
- ・PC鋼材の端部を直接打撃
- ・受信波の減衰特性より充填度を判断



充填

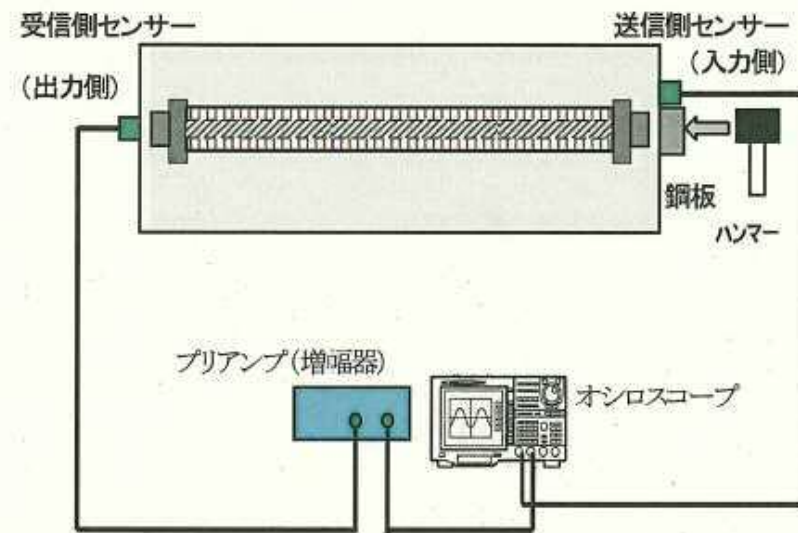


未充填



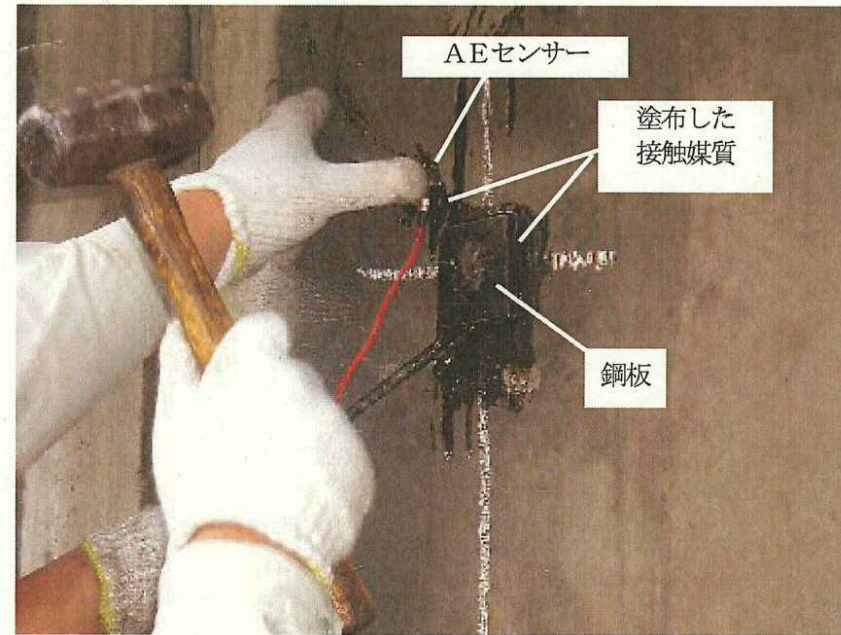
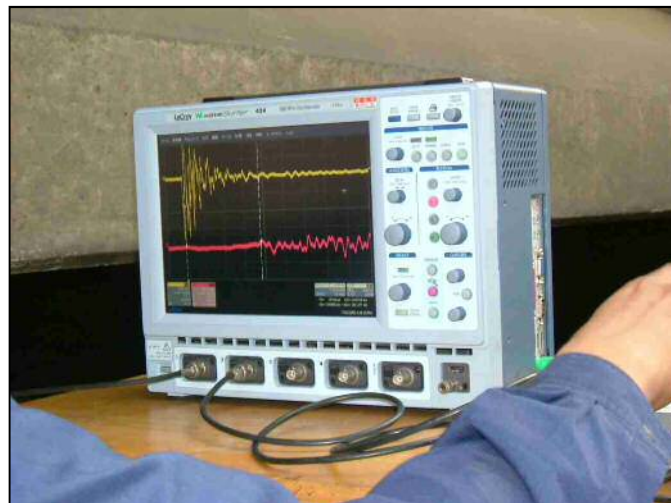
4. 首都高速道路のコンクリート構造物維持管理に関するトピックス

②測定システム



項目	種別	仕様
センサー	受信側：AEセンサー	共振周波数
	打撃側：AEセンサー	50 kHz
オシロスコープ	サンプリング時間間隔	0.1 μ s
	測定時間長	10 ms
プリアンプ	増幅率	0~60dB
ハンマー	金属ハンマー	1.1Kg
鋼板	縦 60mm*横 60mm*厚 8mm	

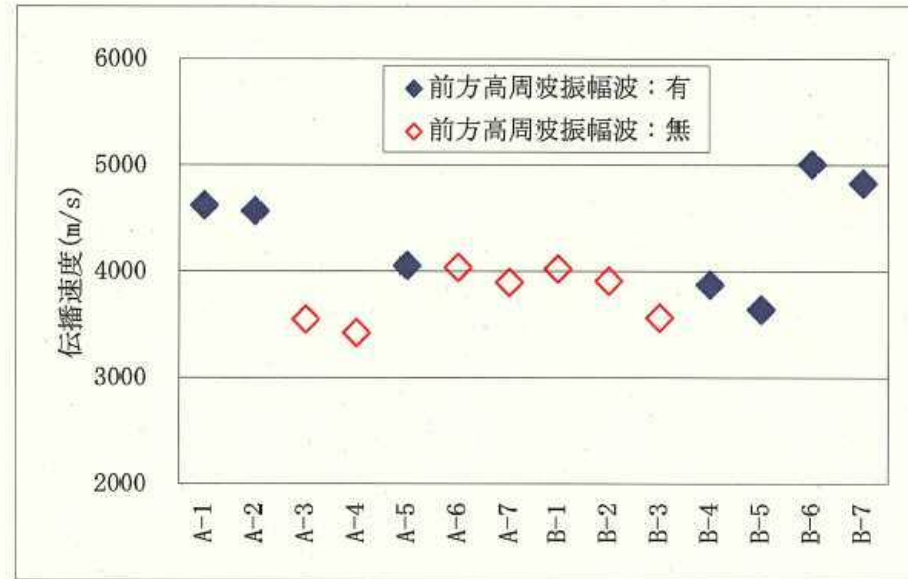
4. 首都高速道路のコンクリート構造物維持管理に関するトピックス



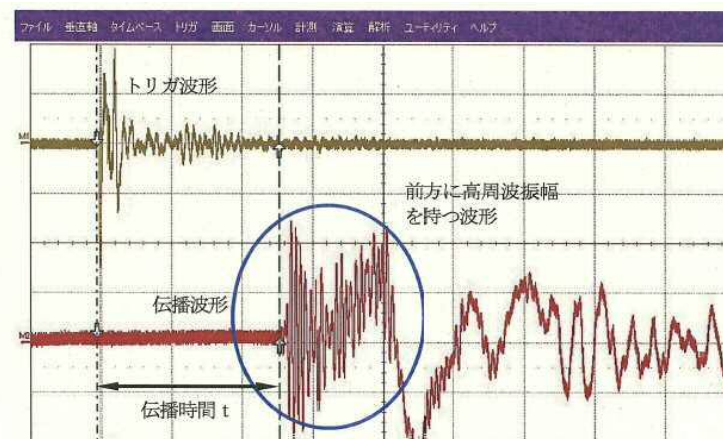
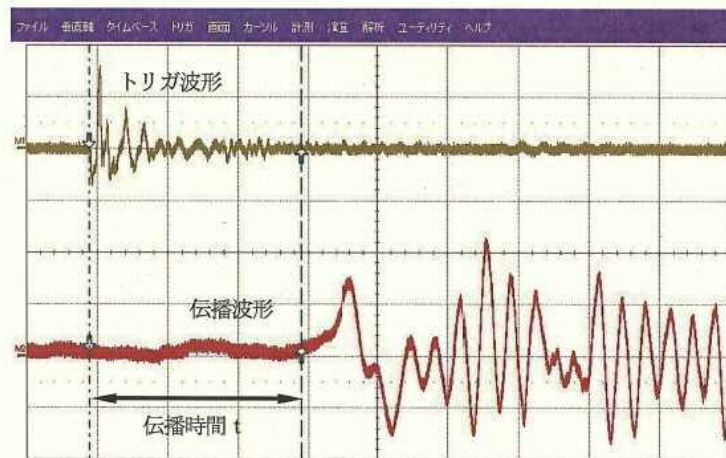
コンクリート表面からの打撃

4. 首都高速道路のコンクリート構造物維持管理に関するトピックス

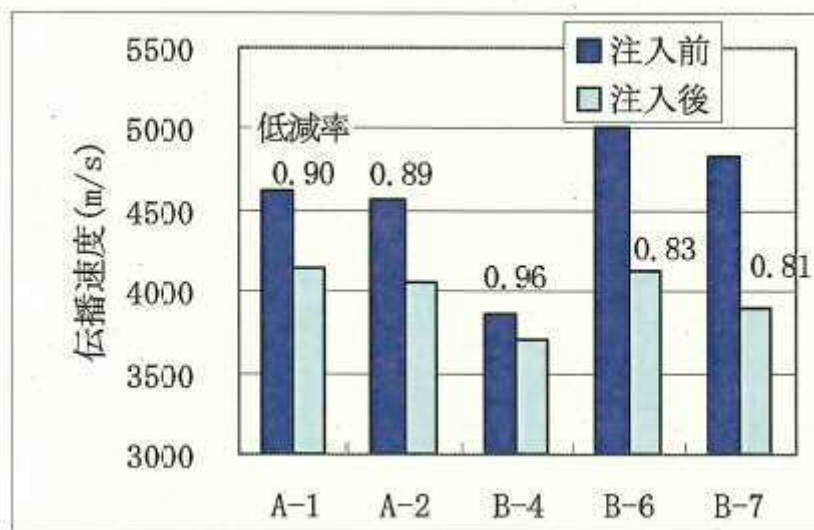
③計測結果



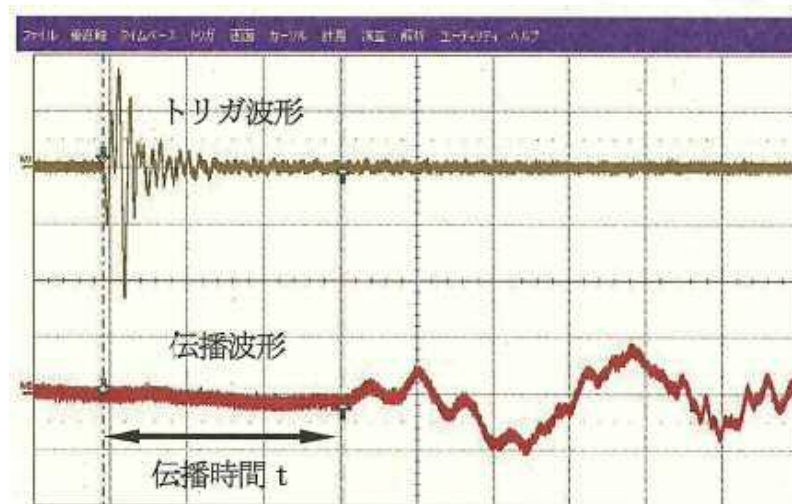
伝搬速度計測結果



4. 首都高速道路のコンクリート構造物維持管理に関するトピックス



空隙充填前後の伝搬速度の変化



空隙充填後の波形

新しい発見

- ・前方高周波振幅波に着目することにより、従来の方法より精度よく判定することが可能
- ・コンクリート表面からの打撃で測定可能

ご清聴ありがとうございました

