

土木学会平成20年度全国大会
研究討論会 研16 資料

これからの社会基盤整備と維持管理への対応 ～情報技術・自動化技術の活用をめざして～

座長 神崎 正 建設用ロボット委員会 委員長
香川大学工学部教授

話題提供者	真下 英人	(独)土木研究所
	城間 博通	(株)高速道路総合技術研究所
	伊東 昇	首都高速道路(株)
	小西 真治	(財)鉄道総合技術研究所
	高橋 聡	東京地下鉄(株)
	飯田 敏昭	日本電信電話(株)
	亀村 勝美	大成建設(株)

日時 平成20年9月11日(木) 12:40～14:40
場所 東北大学 II-2 会場(B102)

土木学会建設用ロボット委員会

は じ め に

建設用ロボット委員会 委員長

神 崎 正

(香川大学工学部教授)

(社) 土木学会に、建設用ロボットに関する研究のために「建設用ロボット委員会」が発足して、今年で23年になる。その間、建設システムの高度化をめざし、さまざまな分野における自動化・ロボット化および情報化について、現状分析、課題抽出、各種提言を行うなど本格的な研究に取り組んできた。現在では、「大深度地下小委員会」、「次世代施工技術小委員会」、「土木技術小委員会」、「海洋技術小委員会」に加え、「ライフライン技術小委員会」の5つの研究小委員会が活発に活動を行っている。今回はこれらの中から、「ライフライン技術小委員会」の活動テーマをベースとした研究討論会を企画させていただいた。

ライフラインは、現代の生活を支える日常的に不可欠なシステムの総称であり、道路・鉄道・地下鉄・上下水道・電気・ガス・電話（通信施設）など、網の目状のネットワークシステムとして機能している。それらは文字通り社会活動を支える社会基盤として機能し、その物量は極めて膨大である。しかしながら、欧米の先進国と比較したとき、質・量ともにその水準は必ずしも満足するものではない。これからの社会基盤は、まずこうした豊かさを実感できる整備が望まれる。また同時に、老朽化した社会基盤の維持管理への対応も必要である。

一方、IT・情報技術の飛躍的な発展は、日々われわれの生活を一新させている。建設分野においても、建設管理の自動化・ロボット化・情報化は、労働災害の回避や、作業員の高齢化と熟練労働者不足の問題などへの対応、コスト縮減、省力化への要請など、その果たす役割は大きく、期待はますます高まっている。

今回の研究討論会は「これからの社会基盤整備と維持管理への対応」と題して、各事業者から話題提供いただき、さまざまな分野の建設および維持管理の現状と動向を紹介する。そして、その効率的な遂行に際しての情報通信技術や自動化・ロボット化技術の利用について、地下構造物をはじめとする各種社会基盤施設の建設・運用・維持管理に関して共通の課題を明らかにし、今後の展望を探っていきたい。

注) ライフライン技術小委員会は、道路、鉄道、地下鉄、上下水道、電気、ガス、通信分野の事業者ならびにそれらに関わる建設会社からの14名の委員から構成し、点検・検査、モニタリング、情報処理・評価技術、リニューアル技術およびマネジメント技術など維持管理に関する横断的な話題に関する課題の抽出と将来像などについて熱心な研究調査活動を展開しており、2006年3月に「ライフライン地下構造物の維持管理」を出版した。

話題提供・1 道路トンネル

真下 英人 (独) 土木研究所

1. 既存ストック (量と質)

図-1に道路トンネルの供用延長の推移を示す。道路トンネルの延長は、平成18年4月現在で9 箇所、総延長11 に達している。構造種別の推移は、道路トンネルではほとんどが山岳工法により建設されており、12 と矢板工法の比率は、12 の導入が高速道路では19 年(昭和8 年)、一般道路では19 年(平成元年)であることから同程度の延長となってきた。一方、開削工法やシールド工法による道路トンネルは比率としては非常に小さいが、シールド工法については、東京湾横断道路に適用されて以降、延長は伸びる傾向にある。図-2は、供用後6 年以上経過したトンネル延長の今後の推移を示したものであるが、今後、老朽化したトンネルが急激に増加することがわかる。

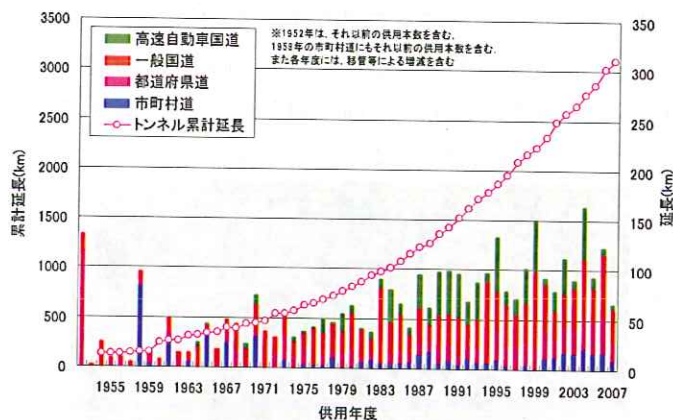


図-1 道路トンネルの延長の推移

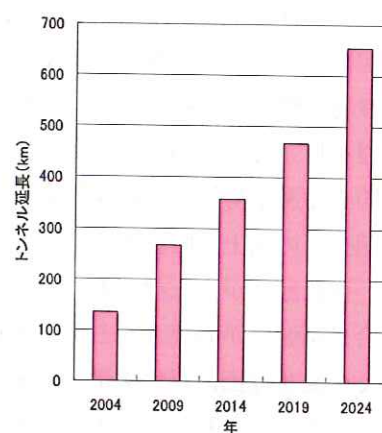


図-2 建設後6 年以上のトンネル延長の推移

2. 建設及び維持管理の動向

1) 建設の現況と自動化などの動向

道路トンネルの大半は山岳工法により建設されてきており、その傾向は変わらないが、近年、補助工法の開発などによって、従来は適用が難しいとされていた都市部近郊の土砂地山など、山岳工法の適用範囲が拡大している。また、最近の掘削工法の傾向として、未固結地山、膨張性地山など地山条件の悪い箇所でも切羽安定の補助工法を併用した補助ベンチ付き全断面工法

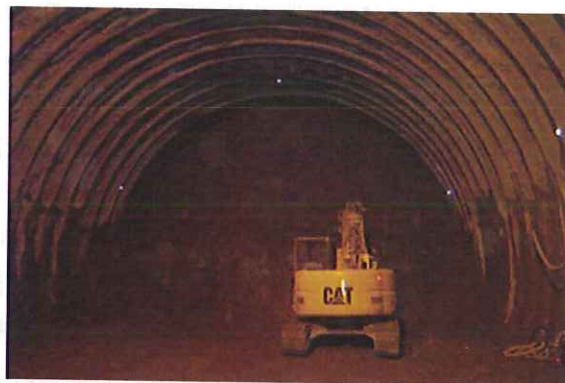


図-3 補助ベンチ付き全断面工法の例

(図-3 参照)を採用し、早期閉合を図ることにより対応する例が増えてきている。た

だし、施工における自動化の点では従来から大きな変化は見られない。シールド工法は、主として都市部の環状道路の整備に適用されてきており、特に環境保全の観点から山岳工法による建設が難しいトンネルにおいて適用されるケースが増えている。最近のシールド工法による道路トンネルの特徴としては、二次覆工を省略したトンネルが増えていることが挙げられる。また、自動化の点では資材の搬入からセグメントの組み立てまで、大半の作業の自動化が進んでいる。

2) 維持管理の現況および自動化などの動向

道路トンネルの維持管理は、点検・調査、健全度評価、対策の3つの手順により構成される。点検は、覆工のクラック、浮き・はく離の発見が主な目的であり、クラックについては、これまでは目視観察とスケッチ記録が基本であったが、最近ではレーザービームなどの光学機器を用いてクラックを検出する技術が採用されるようになってきている。浮き・はく離については、現在も人力による打音検査が基本となっており、自動化技術の開発が望まれている。健全度評価は、変状の発生原因を推定して利用者の安全性、構造物の安定性の観点から対策の必要性を判定することが主目的となるが、判定は過去の事例などを参考に専門技術者の経験的判断に基づいて行われており、点検・調査結果から得られた情報を用いて自動的に健全度評価を行うシステムの開発が求められている。対策は、①剥落防止や漏水対策などの補修工②覆工の耐力力の向上を図る補強工に大別され、変状原因が土圧などの外力作用の場合は補強工が必要となるが、変状の多くの発生原因は経年劣化、乾燥収縮などとなっており、補強工までの対策を必要とするトンネルは比較的少ない。対策の実施に際しては、長期にわたる通行規制を伴うことが多く（図－4



図－4 インバートによる補強の施工例

3. 今後の課題と展望

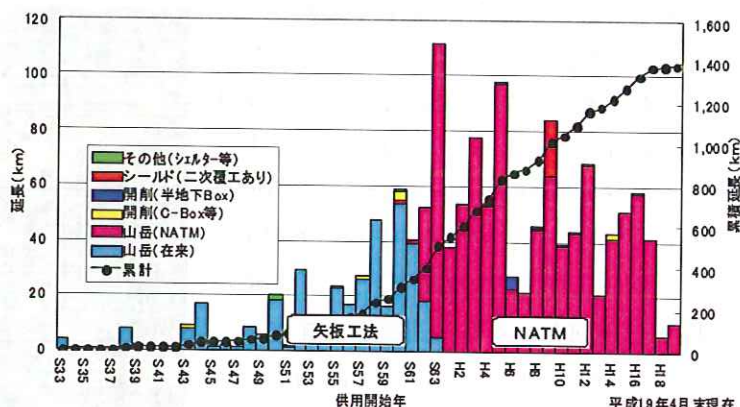
今後、限られた予算の範囲で効率的に道路トンネルの維持管理を行っていくためには、維持管理の段階だけではなく、設計・施工の段階においても維持管理を考慮した取り組みが必要となる。すなわち、設計段階ではトンネルの耐久性を向上させる材料や構造の導入、施工段階では厳密な品質管理による不具合の発生防止、トンネル完成時の情報の記録・保存などに取り組むことが必要である。また、維持管理の段階では、定量的かつ客観的なデータを収集・記録し、一貫性のある健全度評価を行い、変状状態に応じた最適な対策を行うことが重要であり、これらの実現には、自動化、情報化技術などの開発が不可欠である。

話題提供-2 道路

城間 博通 (株)高速道路総合技術研究所

1. 既存ストック (量と質)

NEXCO三社が管理する高速自動車国道および一般有料道路のネットワークは平成19年度末で約8,500km、道路にトンネルの占める割合(トンネル構造物比率)は約9%で、上下線を別に数えたチューブ延長では約1,400kmに達している。現在建設中の新東名・名神のトンネル構造物比率が20%であることから、今後もトンネル割合は増加するものと考えられる。



ンネルで設けられる避難坑で小断面 TBM を用いた高速施工が標準的に行われ、飛驒トンネルでは本坑掘削に大断面 TBM が適用された。

② 維持管理の現況と機械化や情報化の動向

トンネルの変状には漏水や盤膨れなど様々あるが、トンネルの変形など構造に影響のある変状は多くの場合、覆工コンクリートのひび割れとなって現れる。ひび割れはトンネルの健全度を評価する一つの指標として用いられているが、現在の覆工コンクリートのひび割れ調査は、暗い坑内環境下で上向きの近接目視調査を主体として実施されていることから、苦渋作業となるばかりでなく人的誤差の増加や交通規制時間の長時間化を余儀なくされている。また、トンネル点検では「近接目視」やハンマーによる「打音点検」が一般的に実施されているが、前述同様の課題がある。



図-3 レザー光によるひび割れ計測の例

NEXCOでは、課題を克服するために 50km/h 程度で走行しながらアルゴンレーザー光や CCD デジタルカメラを用いてひび割れ画像を取得する手法を取入れ、車線規制を必要としない高度な調査手法を取入れている。点検に適用する場合には、撮影画像を近接目視の代わりに活用し、ひび割れや漏水状況などから現場での叩き点検箇所を抽出する方法としている。

残念ながら、覆工コンクリートの浮きやはく離などの確認は、現段階ではハンマーによる叩き点検に頼っているのが現状である。赤外線等による不具合箇所の抽出技術の研究も進んでいるが、温度環境の変化の少ないトンネルでは未だ確立していない。今後非接触による浮きやはく離を効率的に抽出する技術の確立が必要である。

3. 今後の課題と展望

インフラを蓄積する時代からストックを効率的に維持し提供する時代になり、さらに限られた予算や労働力の中で、効率的に構造物の現況を把握・評価し効果的な投資を行うことが求められている。トンネルでは、覆工コンクリートの不具合を効率的に検出して、機能低下に対して健全度を評価し、維持補修の優先順位を明確にすることが不可欠である。それには、計測技術やそれから得られた情報を処理する技術を活用していく必要がある。

高速道路トンネルでは、安全で快適な走行空間を確保するために、建設時の施工データや点検・補修データ等を確実に保存し、それらからトンネルの健全度を把握し、効率的かつ適切な維持管理を計画的に遂行するためのトンネルマネジメントシステムを構築中である。これにより、トンネルの現況を客観的に評価し中長期的な劣化推移を予測するとともに、より経済的・効率的な維持管理、補修・補強計画を立案することが可能となると考えている。

話題提供-3 道路

伊東 昇 首都高速道路株式会社

(1) 既存ストック

首都高速道路は、1963年の最初の供用開始以来、昨年末の中央環状線・山手トンネルに至るまで293.5kmを供用しており、1日当たりの利用台数は約115万台におよぶ。

構造的な特徴としては、都市内の限られた公共用地(既存の街路や河川上)を高度利用するため、大部分が構造物となっていることが挙げられる。全延長の約8割が高架構造となっており、そのおよそ3/4、約197kmは鋼構造、1/4、約39kmがコンクリート構造(RC、PC)である。また、近年開通した路線はトンネル構造が主体となっており、供用延長は約24kmである。このように、膨大な量の「構造物」さらには、都市高速道路としての機能を全うするための施設も相当数に及ぶ。また、最初の供用開始から既に45年を経過、現時点で供用30年を超える部分が全延長の4割強となっているが、この比率は、当然のことながら次第に増大する傾向にある。

(2) 建設および維持管理の動向

現在建設中の路線は従前の高架構造主体の路線から中央環状線(新宿線、品川線)、横浜環状北線など、トンネル主体の路線へと移行している。都市内でのトンネルであり、本線部分はシールドトンネルとしているが、出入口の分合流部分は開削トンネルとなる。トンネル工事による地上の既存街路への影響をできるだけ小さくするために非開削での施工を先行させ、後に「切開き」によって分合流部を構築するなどの工夫を行っている。維持管理に関しては、1日115万台に及ぶ重交通下において、交通渋滞を出来るだけ避けることが望まれているところではあるものの、一方で膨大な数量の構造物や施設の点検・補修をしていく必要があり、そのための交通規制は不可避である。結果として、大半の作業は夜間、交通量の比較的小さい時間帯に実施せざるを得ない。

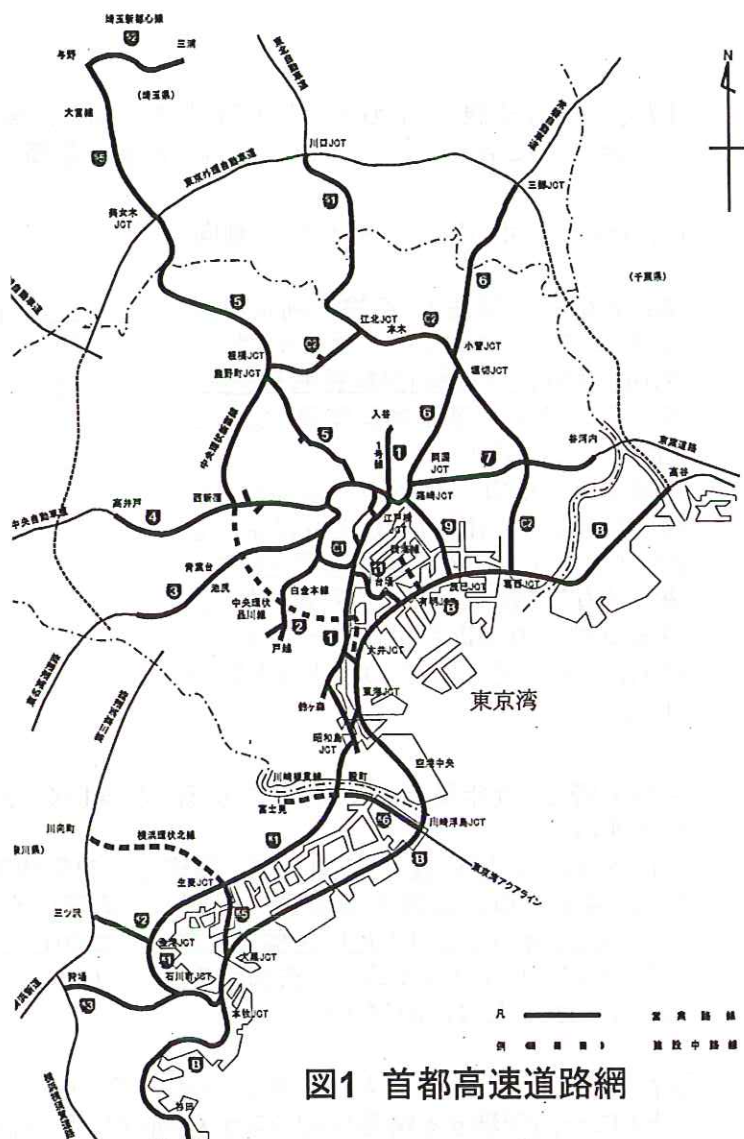


図1 首都高速道路網



図2 中央環状新宿線(山手トンネル)

また、以前は予想もされなかったような損傷も新たに発見されるようになってきており、要補修損傷が累積的に増大するなど、維持管理に関する業務比率は着実に大きくなっている。

(3)自動化・ロボット化・情報化等の動向

構造物の維持管理の「点検⇒判定⇒対応(補修・補強)⇒評価」というようなサイクルのなかで、「点検」が維持管理を実施していく上での基礎的な作業となることは言うまでもない。

点検のツールの一環として、以前から各種「非破壊検査」に関する技術開発がなされているが、非破壊検査結果だけで決定的な情報を得ることは困難であり、熟練点検員の接近目視点検と合せて最終的に判断する、というのが現状と思われる。

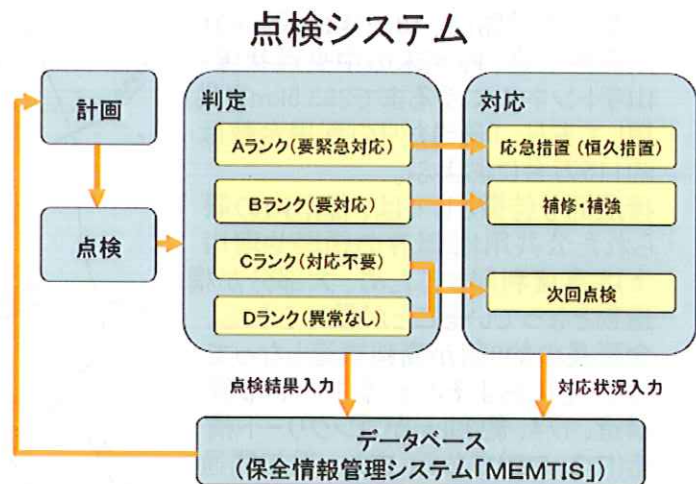


図3 点検・維持管理業務の流れ

点検分野で、近年試行的に導入している施策をいくつか例示する。

- ① 各種非破壊検査等：赤外線法、鋼床版半自動探傷装置、自動垂直超音波探傷装置、10連タンデムアレイ
- ② 光ファイバセンサを用いた橋梁の常時モニタリング
- ③ 巡回車により路面段差を点検するシステム
- ④ トンネル点検車両(施設)

また、毎年蓄積される膨大な点検データを構造物のデータとともに一括管理する情報管理システム(MEMTIS)を構築し、運用中である。



図4 疲労亀裂非破壊探傷試験の例

(4) 今後の課題

限られた経営資源「人・モノ・金」で、「安心・安全・快適」な首都高速道路を供用することが求められている。

そのために、より効率的な維持管理手法を取り入れていくことは言うまでもない。

点検業務に関しては、私見ではあるが、「情報技術」あるいは「自動化」といった切り口で、「属人的でない」「客観的な」かつ「広範な」点検データ構築を「安価で」達成するための技術が求められているように思う。

また、長大橋梁の足場、塗装ロボット等の作業員が接近困難な箇所での点検補修技術の発展にも期待をしたい。

話題提供-4 鉄道

小西 真治 (財)鉄道総合技術研究所

1. 既存ストック (量、質)

日本の鉄道の営業キロ数 (2002 年 3 月鉄道総研調べ) では、在来線 24,300km, 新幹線 2,030km である。構造物種別 (図-1) は在来線で 8 割が土構造物であるのに対し、新幹線では橋梁・高架橋が 5 割となっている。JR のトンネルの経年分布を図-2 に示す。このように鉄道構造物は経年が百年を超えるものもあり、旧式の構造物から最新の構造形式まで様々な年代の構造形式が存在し、また、その種類も盛土、トンネル、橋梁など多岐にわたっており、メンテナンスの守備範囲は広い。さらに、高度成長期に建設された大量の鉄道構造物の経年も 40 年を超えてきており、注意深くメンテナンスしなければならない対象構造物の量が加速度的に増加している。



図-1 鉄道構造物の数量 (種別割合)

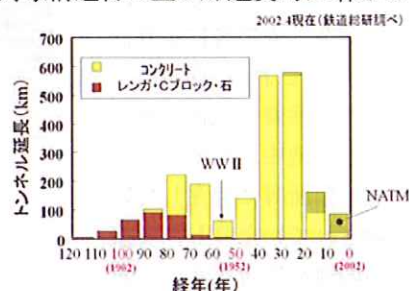


図-2 JR のトンネルの経年分布

2. 建設および維持管理の動向

2.1 建設の動向

新線建設は、一部の整備新幹線を除いて、ほとんど完了したような感がある。逆に、一部の地方鉄道の撤廃等も問題となっている。しかし、現実には、利便性、効率を目的とした検討もあり、最近では、都市再生計画などを考慮した、LRT の計画なども盛んになってきている。

整備新幹線 (図-3) は、土木工事については、北陸新幹線と北海道新幹線で進行中である。また、新聞情報等では J R 東海は東京-名古屋間のリニア新幹線を 2025 年に営業運転を開始することを目標とすると発表している。

最近の話題としては、利便性の増進を目的に、既設路線のネットワーク化、他の交通機関とのネットワーク化、連続立体交差などの事業が進められている。

2.2 維持管理の動向

鉄道では、昭和 40 年頃を境に事後保全から事後・予防を組み合わせた効率的な保全に変わり、自然災害等による事故が急激に減少した。しかし、大量の鉄道構造物も経年が 40 年を超えてきており、注意深く維持管理しなければならない対象構造物の絶対量が加速度的に増加している。このような中、2007 年 2 月に国土交通省より「鉄道構造物 維持管理標準」が定め



図-3 新幹線の整備状況

られ、全ての鉄道事業者が同じ体系で維持管理を行うことになった。

一方、近年、現場の技術継承の困難さや深刻な労働力不足などの問題も浮上してきている。鉄道需要の飛躍的な増加が望めず、施設の改良や新設が困難な現状では、現在ある構造物を少ないリソースで効率的に維持管理し、安全の確保と構造物の長寿命化を図ることが必要であり、維持管理業務の省力化・自動化、確実に効率的な維持管理手法の研究開発が望まれている。また、活線下でのリニューアル技術の開発も要望されている。

2.3 自動化・情報化への取り組み

構造物は、コンクリートの剥離、鋼材の腐食・疲労など様々な変状が発生するほか、地震、地盤変位、雨、環境、衝突、火災等により、性能が低下する。これを、通常は、目視主体の定期検査で見極める。しかし、対象が地中、高所、トンネル内、危険箇所等に存在していたり、被覆されていたりし、直接見ることが困難な場合が多い。また、その結果は検査員の経験とセンスに依存しているのが実情で、結果にバラツキが見られる場合もある。

これら検査のサポート、検査・診断精度の向上を目指して新しいセンサやセンサを用いた検査法、診断自動化、検査・診断を含む構造物の総合的な情報のデータベース化の研究開発が進められている。また、常時監視や異常時の早期状態把握のため、モニタリング技術の開発（図-4）が進められている。

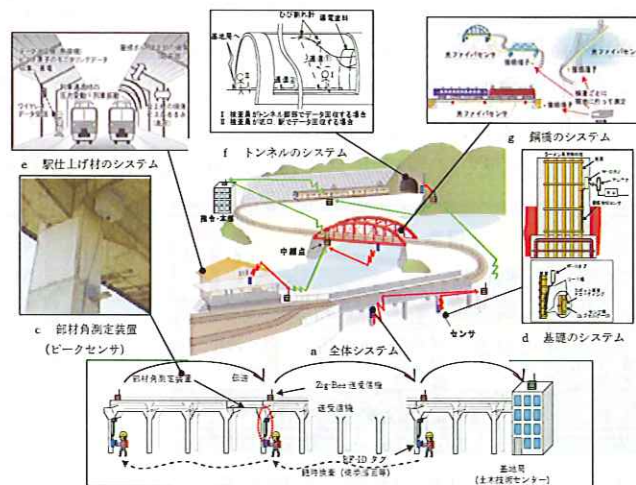


図-4 モニタリング技術の例

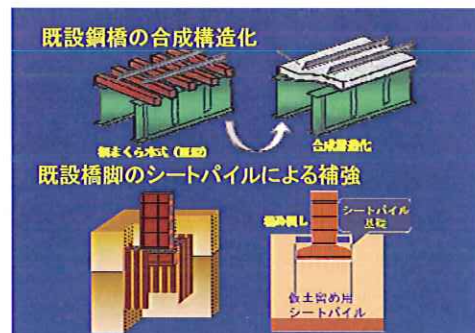


図-5 リニューアル技術の例

3. 今後の課題と展望

今後の予想では、駅を中心とした都市部への人口集中が予想され、既設都市鉄道、駅の性能を向上させる技術、これらの古い構造物を改築・リニューアルする技術（図-5）、密集地域での設計・施工技術が必要になると思われる。

また、都市間を高速移動する必要性が高まり、鉄道的高速化・高速走行を可能とする技術の開発が必要となる。すなわち、高速・低コストの新線建設技術、騒音・振動対策技術である。

維持管理に関しては、維持管理業務の省力化・自動化が必要であり、データベース化、検査ロボットの開発、さらなるモニタリング技術の開発が必要である。

また、異常気象等から、今後、災害の増加が予想され、防災投資が増加されるとともに、災害時の被害予測技術、災害監視システム、防止技術、早期復旧技術の研究開発が望まれる。

このような、研究開発の中では、検査や補修用ロボットあるいは災害復旧支援ロボットのような機械化、モニタリング技術、データベースの構築、シミュレーション技術等の基本技術の開発が必要と考えられる。

話題提供-5 地下鉄

高橋 聡 東京地下鉄㈱

1. 既存ストック（量、質）

現在、日本では、札幌、仙台、首都圏、名古屋、京都、大阪、神戸、広島、福岡において地下鉄道の営業が行われている。その営業線の現況は表-1に示す通りであり、700km強という長大な地下鉄路線網が構築されている。

さらに、東京地下鉄㈱を例に見ると、竣工後50年以上経過している構造物は全体の13%存在している。昭和2年（1927年）に開通した銀座線上野・浅草間2.2kmは供用開始から80年以上経過しているが、現役構造物として十分にサービスの提供に寄与している（図-1）。

表-1 地下鉄事業者の概況

平成19年7月1日現在

圏域	事業者名	路線数	営業キロ(km)	開業年数	平成18年度1日当たり平均輸送人員(千人)
札幌	札幌市	3	48.0	S.46/12~H.6/10	699
仙台	仙台市	1	14.8	S.62/7~H.4/7	149
首都	東京地下鉄㈱	9	195.1	S.2/12~H.20/6	6,220
	東京都	4	109.0	S.35/12~H.12/12	2,169
	横浜市	2	40.4	S.47/12~H.11/8	470
	埼玉高速鉄道㈱	1	14.6	H.13/3	75
中京	名古屋市	6	89.1	S.32/11~H.16/10	1,155
	名古屋鉄道㈱	1	2.3	H.15/3	38
近畿	京都市	2	28.8	S.56/5~H.16/11	316
	大阪市	7	129.9	S.8/5~H.18/12	2,288
	神戸市	3	30.6	S.52/3~H.13/7	290
中国	広島高速交通㈱	1	0.3	H.6/8	49
九州	福岡市	2	29.8	S.56/7~H.17/2	331
合計		42	732.7	-	14,239

※『数字でみる鉄道2007』（監修：国土交通省鉄道局、発刊：運輸政策研究機構）より

※ 東京地下鉄㈱の情報は平成20年7月時点のもの

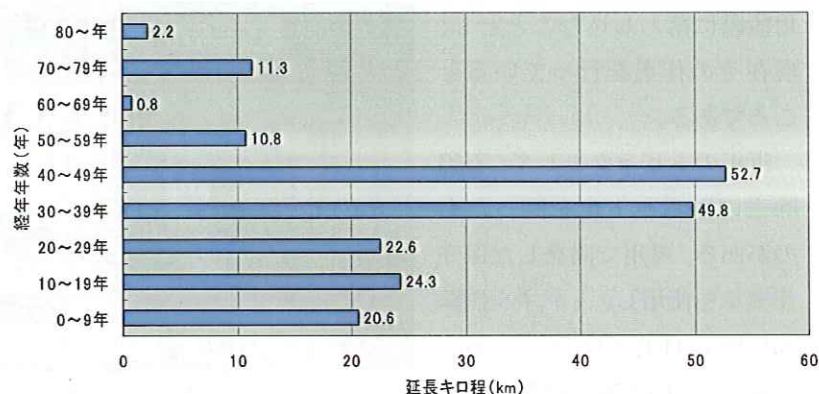


図-1 東京地下鉄㈱の鉄道構造物の経年年数

2. 建設及び維持管理の動向

新線建設については、平成20年6月14日に東京地下鉄9番目の路線になる副都心線の開業を果たした。将来的には東京急行電鉄㈱との相互直通運転を開始し、埼玉から東京を横断し神奈川までのルートを確認することになる。運輸政策審議会答申第18号にもある東京8号線の延伸等が整備計画としてあげられているが、東京地下鉄㈱としての地下鉄建設は、副都心線を最後に終了した状態である。なお、「人と環境にやさしい地下鉄建設」を目指した副都心線工事においては、電動化掘削機械の導入、建設発生土のほぼ100%再利用、円形断面に比べ約10%掘削土量を削減できる複合円形断面シールド



写真-1 大断面複合円形シールド

(写真-1)の採用など様々な環境負荷低減方策をとった。

一方維持管理については、平成 19 年 1 月に国土交通省から鉄道構造物の維持管理に関する通達が出され、東京地下鉄(株)もそれに準拠した維持管理体制の見直しを行った。目視調査を基本とする通常全般検査を軸に必要な応じ個別検査を行い、変状箇所の抽出・変状原因の確認を行ったうえで然るべき措置を行っている。近年、維持管理に従事してきた技術者の減少と業務の多様化のため、技術力の伝承が難しくなっている傾向がある。東京地下鉄(株)としては、直営での現場での調査及び健全度判断が重要であると位置付け、維持管理業務の運用方法を再構築している状態である。

3. 自動化・ロボット化・情報化等の動向

トンネルの維持管理における自動化・ロボット化の目的は検査精度の向上や省力化であると考えられる。東京地下鉄(株)は平成 11 年から平成 17 年にかけて、ひび割れ、漏水、剥離検知等を自動抽出可能としたトンネル検査車の開発を行った。これは、可視画像とアクティブ法による赤外線カメラにより変状を抽出するものであるが、赤外線カメラについてはコンクリート壁面への照射時間が長すぎることから、非効率な運用になることが把握された。結果的には可視画像のみを運用段階に落とし込むこととし、現在その作業を行っているところである。

近年のトピックとして、石綿除去のロボット化を図ったものがある。専用で開発した保守作業車を使用し、トンネル側壁部に吸音目的で吹付けてある石綿を、密閉空間を確保し外部への飛散を防止しながら除去するものである(図-2)。

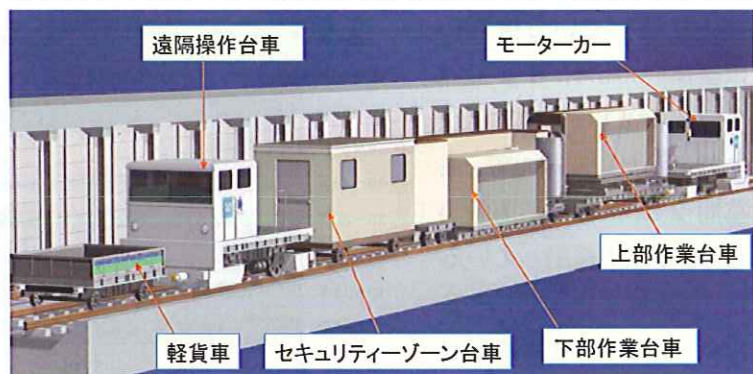


図-2 石綿除去装置の概要

4. 今後の課題と展望

維持管理の基本は、現地に行き自分の目で変状を確認した上で、様々な条件(建設時の条件、環境条件、材料の状態等)を加味し、健全度の判定を行うことになる。自動化・ロボット化は、その精度を向上させることを目的としており、早急に可視画像(写真-2)や鉄道各社で開発した構造物管理支援システムを運用段階に落とし込むことが課題になる。さらに、健全度の判定を行う際に必要な情報をストックしていくことも重要であり、前述した可視画像においては、情報の一元管理化の機能を有するものとしても期待されている。



写真-2 可視画像撮影装置

1. 既存ストック (質、量)

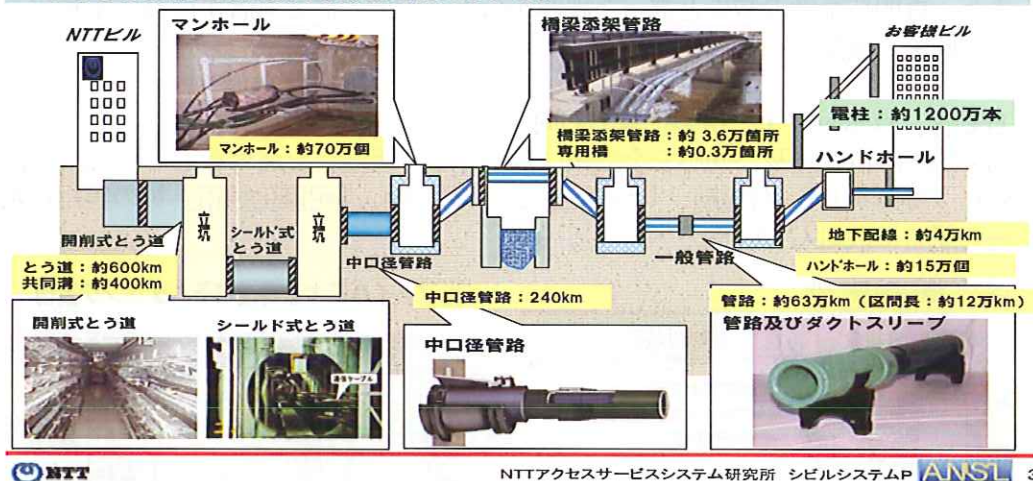
NTTのサービスを支える基盤設備は、管路設備 63 万 km、とう道設備 600km 等と全国に膨大なネットワークを構成している。(図-1 通信設備量)

一方、建設年度を見てみると、60 年代、70 年代に構築された設備が多く、耐用年数を過ぎた設備が管路設備で 50%、とう道設備で 40%にも及び、設備の老朽劣化が懸念される。(図-2 設備の老朽化)

通信基盤設備

NTT 秘 (情報管理区分: Bランク)

NTTのサービスを支える基盤設備は、管路設備 63 万 km、とう道設備 (通信用トンネル) 600 km等全国に膨大な設備を抱えている。



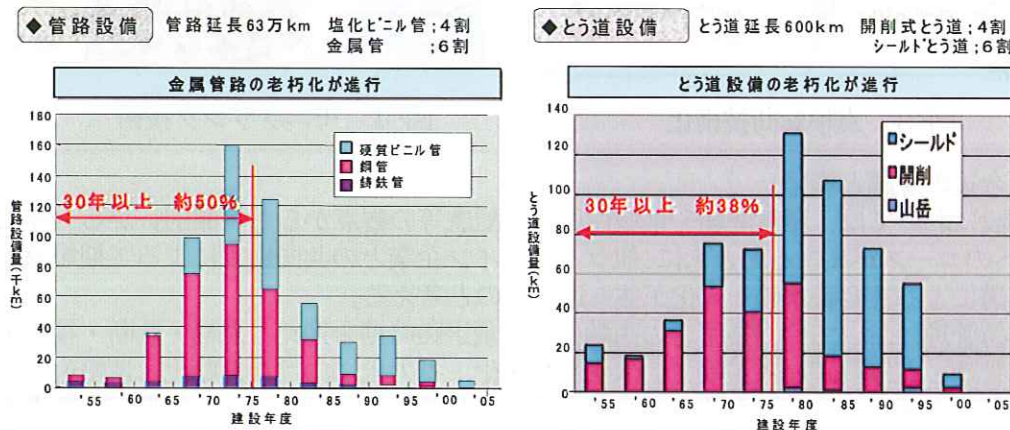
NTTアクセスサービスシステム研究所 シビルシステムP ANSL 3

図-1 通信設備量

設備の老朽化

NTT 秘 (情報管理区分: Bランク)

電話大量架設時代に構築された膨大な設備が老朽化し、機能劣化していることが想定されることから、対応が必要。



NTT アクセスサービスシステム研究所 シビルシステムP ANSL 11

図-2 設備の老朽化

維持管理においては、技術者の高齢化・大量退職時期を迎え、点検・診断・補修・設備管理・点検計画の各工程で、スキルレス化・省力化に向けた自動化・情報化技術等の開発を進める必要がある。併せて、全ての基盤設備を対象に、全体最適解を求める「アセットマネジメント」の確立に向けた研究開発、実用化が望まれる。

これからの社会基盤整備と維持管理への対応

—情報技術・自動化技術の活用をめざして—

座長 神崎 正 香川大学
真下 英人 (独)土木研究所
城間 博通 (株)高速道路総合技術研究所
伊東 昇 首都高速道路(株)
小西 真治 (財)鉄道総合技術研究所
高橋 聡 東京地下鉄(株)
飯田 敏昭 日本電信電話(株)
亀村 勝美 大成建設(株)

会場 東北大学 川内北キャンパス II-2会場 (B102教室 定員176名)
日時 平成20年9月11日 木曜日 12:40～14:40

これからの社会基盤整備と維持管理への対応

～ 道路トンネル ～

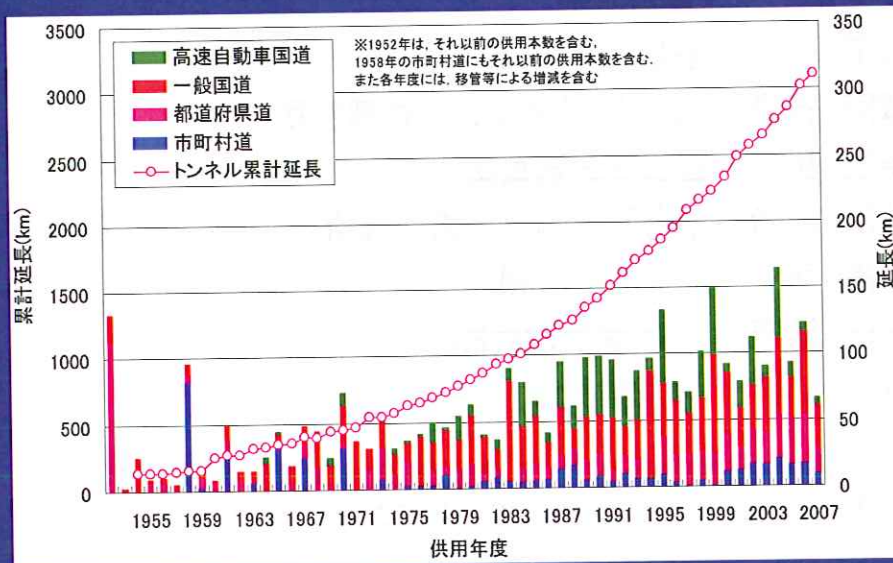
独立行政法人土木研究所

真下 英人

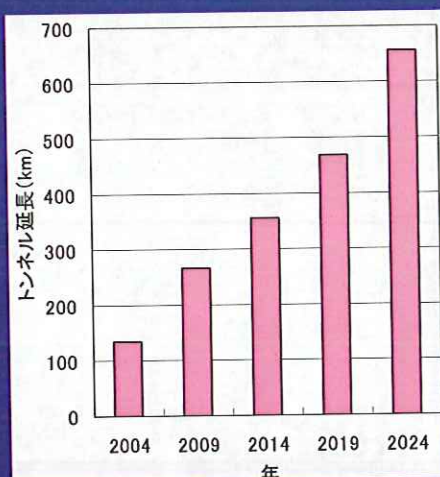
道路トンネルの延長の推移

●現状

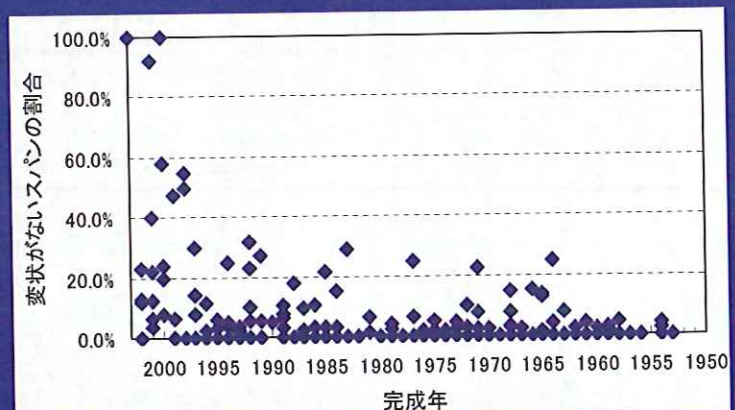
- ・全国の道路トンネルは年々増加
(平成18.4現在: 箇所数9,332箇所・延長3,300km)
- ・大半が山岳工法(一般道でのNATMの導入は1989年から)



高齢化が進むトンネル



建設後50年以上のトンネル延長の推移



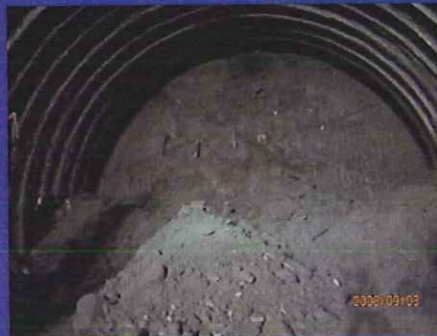
変状の発生割合と完成年との関係
(対象: 一般道の200トンネル)

→ 高齢化が進むと変状(覆工のひび割れ、目地切れ、段差、変形、側壁の押し出しなど)が発生しているスパンの割合が多くなる
ただし、変状には発生してもトンネルを使用する上で問題が無いものも多い

建設の現況(山岳工法)

山岳工法

- ・道路トンネルの大半に適用
- ・補助工法の開発により適用範囲(都市部近郊の土砂地山など)は拡大
- ・地山条件が悪い箇所でも切羽安定の補助工法を併用した補助ベンチ付き全断面工法の早期閉合により対応
→施工機械は大型化の傾向
- ・施工の自動化の面では大きな変化は認められない

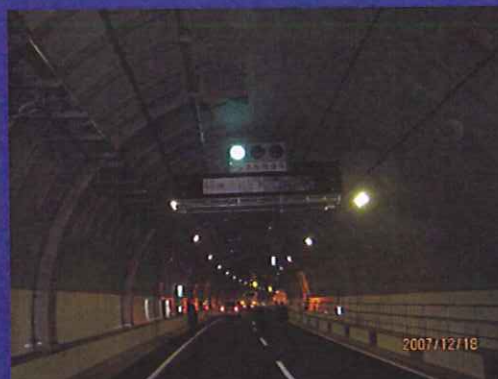


補助ベンチ付き全断面工法の例

建設の現況(シールド工法)

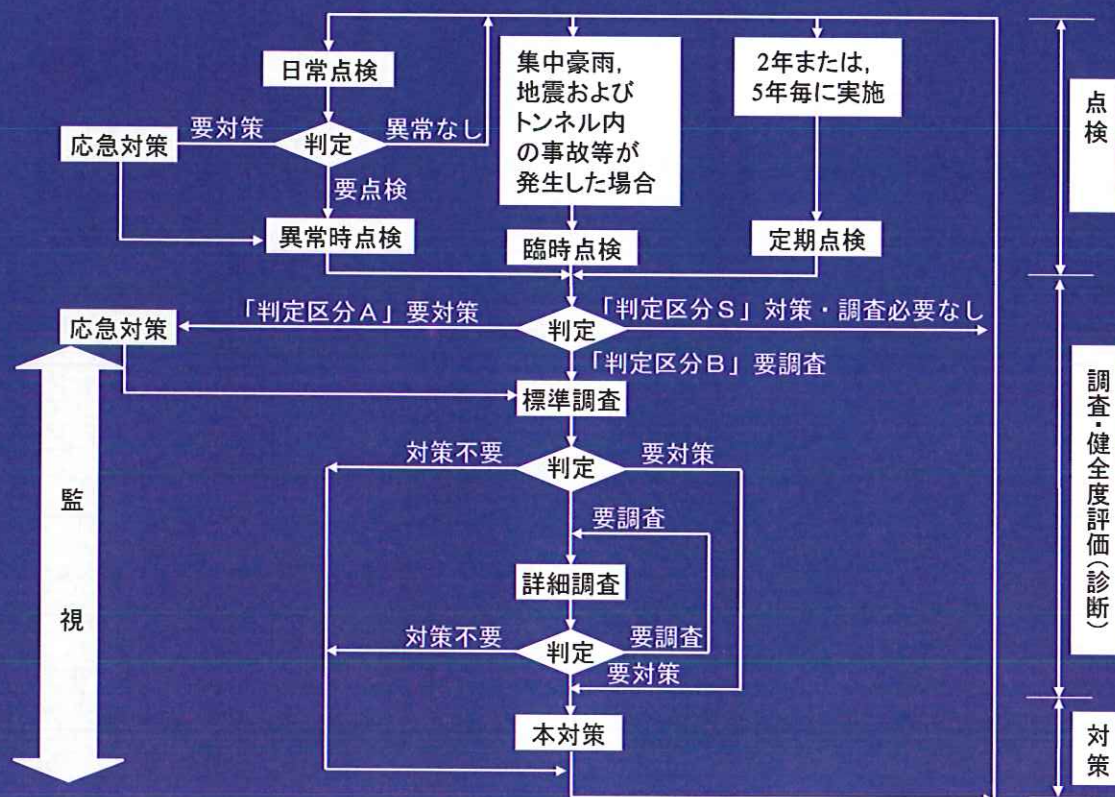
シールド工法

- ・都市部の環状道路の整備などに適用
特に、環境保全の観点から採用されるケースが多い
- ・二次覆工を省略するトンネルが増えている
- ・資材の搬入からセグメントの組み立てまで大半の作業は自動化



二次覆工を省略したシールドトンネル

道路トンネル維持管理の主な流れ



点検の現状と課題

点検の目的:

- ・トンネルの異常および変状の早期発見
- ・応急措置・対策の必要性の判定
- ・今後の維持管理のためのデータ収集・蓄積

点検方法:

- ・目視観察によりひび割れの有無・進行性・漏水の発見
- ・打音検査により浮き・はく離の発見
 - スケッチ・写真などにより変状箇所の位置、変状状況・種類、時系列変化を整理・記録

点検の課題:

- ・車線規制を伴う、作業に時間を要する、高所の把握が難しい
記録に点検者の主観が入る
 - ひび割れについては、光学装置による自動化が導入されているが、浮き・はく離については機械化の開発が遅れている

健全度評価の現状と課題

健全度評価の目的:

- ・変状の発生原因の推定(外力の作用、材質の劣化)
→外力の作用の有無で対策の内容が異なる
- ・現状状態の評価
(通行者・車両の安全性、構造物としての安定性の観点)
- ・対策工の必要性の判定
→トンネルは危険な状態にあるか、対策が必要か？
対策は緊急性を要するか、時間的余裕はあるか？

健全度評価の方法:

- ・覆工のひび割れ、浮き・剥落などの変状状態、進行性
- ・施工記録などの既存資料
- ・トンネル周辺の地形・地質状態、覆工強度
上記の情報と過去の事例などを参考にした専門技術者の経験的判断に基づいた評価

健全度評価の課題:

- ・点検・調査結果から客観的に健全度評価を行うシステムの開発

対策工の目的と種類

対策工の目的

外力対策、はく落防止、漏水

対策工選定の考え方

- ・材質劣化による変状:
コンクリート片による落下等の防止を目的としたはく落防止対策
- ・外力による変状:
はく落防止対策に加えて外力対策(耐荷力の向上)
- ・漏水対策:
止水または導水

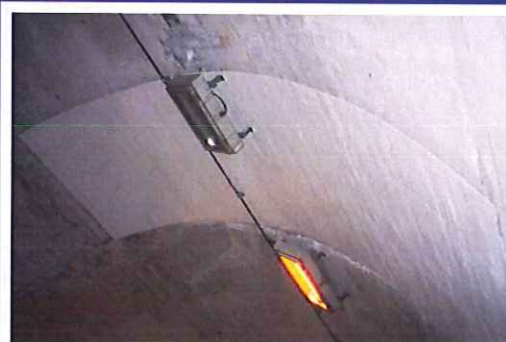
目的			対策工法	
外力対策	はく落防止	漏水対策		
○			はつり落とし工	
○			断面修復工	
○			ひび割れ注入工	
	○		金網・ネット工	金属工、エキスパンドメタル工 FRPグリッド工、樹脂ネット工
			当て板工	形鋼系(平鋼、山形鋼、薄型鋼)当て板工 パネル系(鋼板、FRP板)当て板工 繊維シート系当て板工
			補強セメント工	鋼アーチ支保工
			内面補強工	鋼板内面補強工 繊維シート内面補強工 FRPパネル内面補強工
			内巻補強工	塗布工 吹付け工 場所打ち工 プレキャスト工法 鋼材(ライナープレート等)内面補強工
		○	線状の漏水対策工	導水樋工 薄切り工 止水充填工(Vカット充填) 止水注入工(ひび割れ注入)
			面状の漏水対策工	防水パネル工 防水シート工 防水塗布工
			地山注入工	薬液注入工
△水圧 凍上圧			地下水位低下工	水抜きボーリング、水抜き孔 排水溝
○ 凍上圧		△	断熱工	線状・面状漏水対策の導水材に断熱材を適用 表面断熱材処理工法、2重巻断熱材処理工法 エアモルタル、エアミルク 可塑性型エアモルタル、可塑性型ポリマーセメント モルタル、セメントベントナイト 発泡ウレタン
○	△		裏込め注入工	ロックボルト工
○	△	△	部分改築工	アーチ部、側壁部 インパート新設
			全面改築工	NATM改築

○: 対策の主目的 △: 同時に効果が期待できる

対策の実施例(剥落対策)



形鋼系当て板工

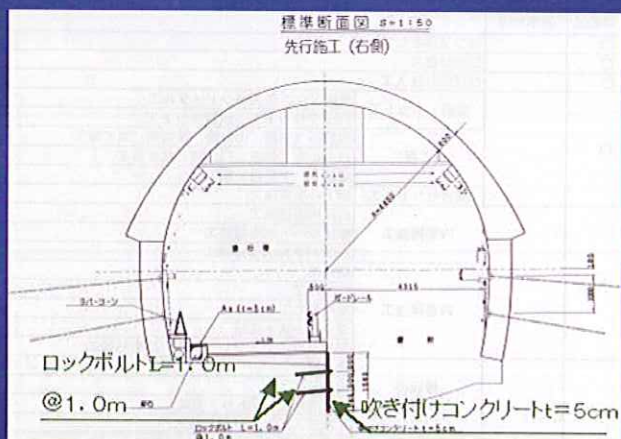


繊維シート系当て板工



パネル系当て板工

対策の実施例(外力対策)と課題



土止め工により片側1車線確保



片側交通規制しながらの
インバート掘削状況

施工状況

対策工実施上の課題

変状状態に応じた対策工の選定

最適な対策工の実施時期

交通への影響の少ない施工法の開発

今後の課題と展望

限られた予算の範囲で効率的なトンネルの維持管理

→設計・施工から維持管理に至る各段階において更新時期の平準化、
対策費用の最小化に対する取り組みが必要

- ・設計の段階

トンネルの耐久性を向上させる材料・構造の採用
(繊維補強コンクリートを用いた覆工、インバート構造など)

- ・施工の段階

支保工・防水シート・覆工の適切な施工と厳密な品質管理
トンネル完成時の状態を記録・保存

- ・維持管理の段階

点検・調査作業の効率化
可能な限り定量的かつ客観的なデータに基づいた一貫性のある健全度評価
工事実施による交通への影響なども考慮した最適な対策工法の選定
対策実施時期の最適化

- ・施工から維持管理までの一貫した履歴のデータベース化とその活用



これからの社会資本整備 と維持管理への対応

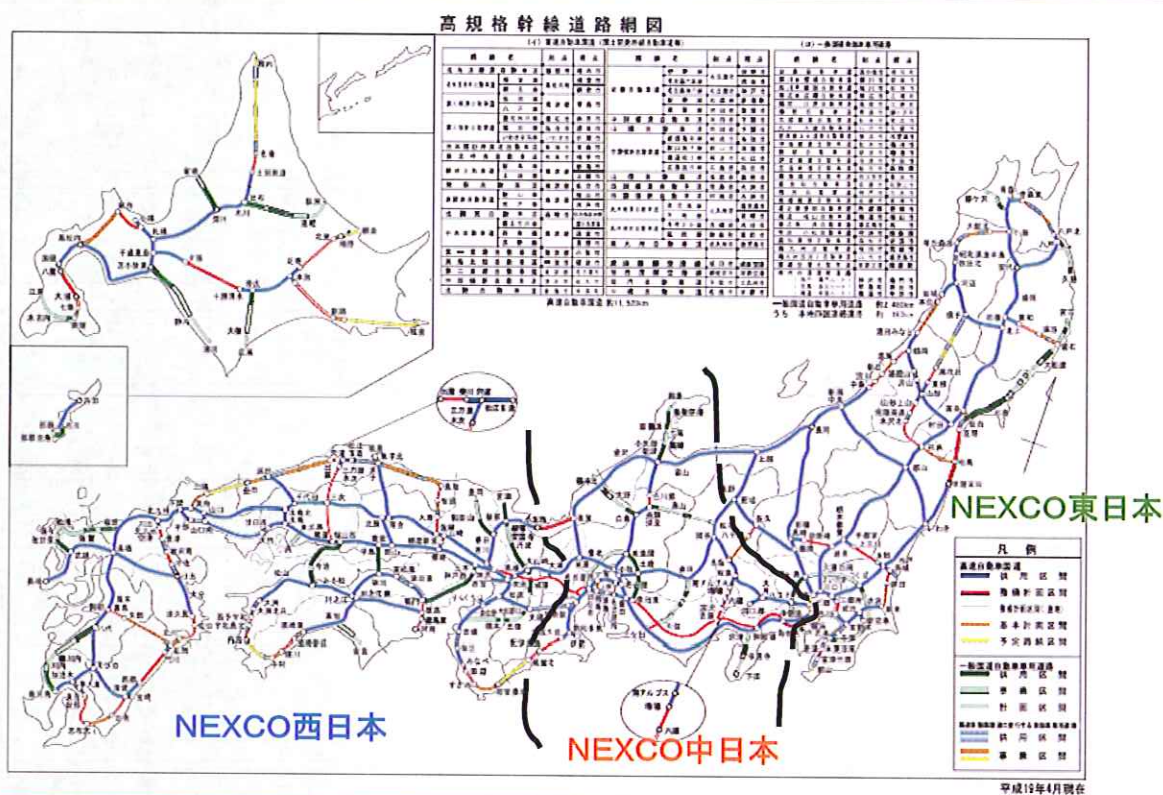
— NEXCOの建設・管理する道路の場合 —

2008/09/11

NEXCO総合技術研究所道路研究部
城 間

高速(高規格)道路ネットワーク

NEXCO



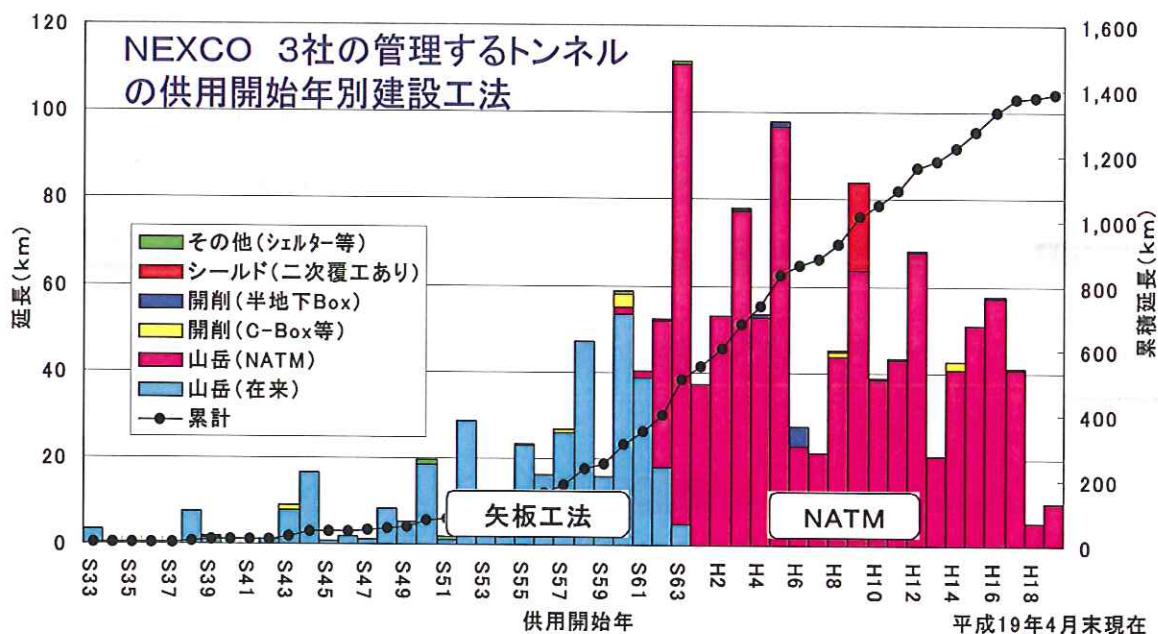
NEXCO総研

2

株式会社高速道路総合技術研究所
Nippon Expressway Research Institute Co., Ltd.

トンネルの既存ストックの量と質

NEXCO



- トンネルの構造物比率は約9%で、トンネルチューブ延長は約1,400Kmに達する
- 矢板工法約3割, NATM約7割で、平均経過年数約20年

NEXCO総研

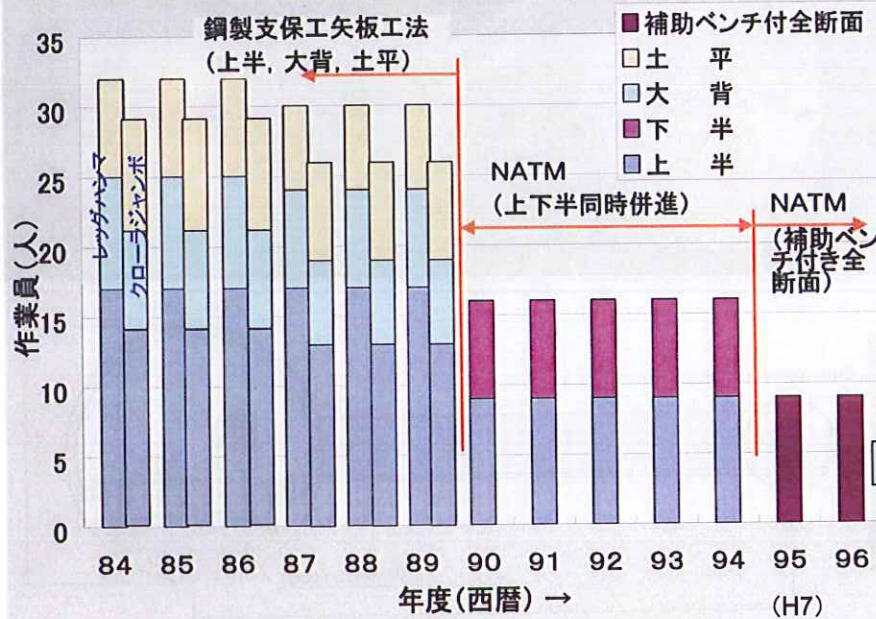
3

株式会社高速道路総合技術研究所
Nippon Expressway Research Institute Co., Ltd.

トンネル建設工法と効率化の変遷

トンネル

作業人員数の変遷 (地山等級C, 延長1,000m以下)



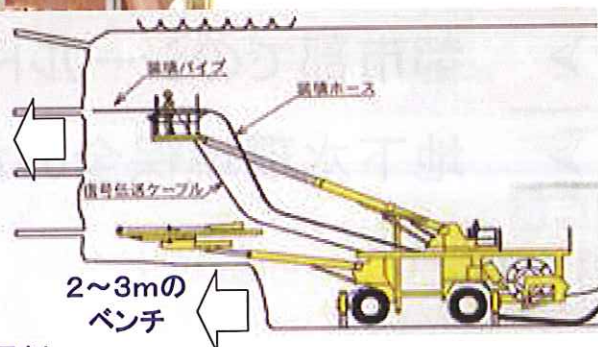
新たな飛躍

- ・爆破効率化
- ・TWS/TBM
- ・支保構造

建設の機械化の動向 (補助ベンチ付き全断面)

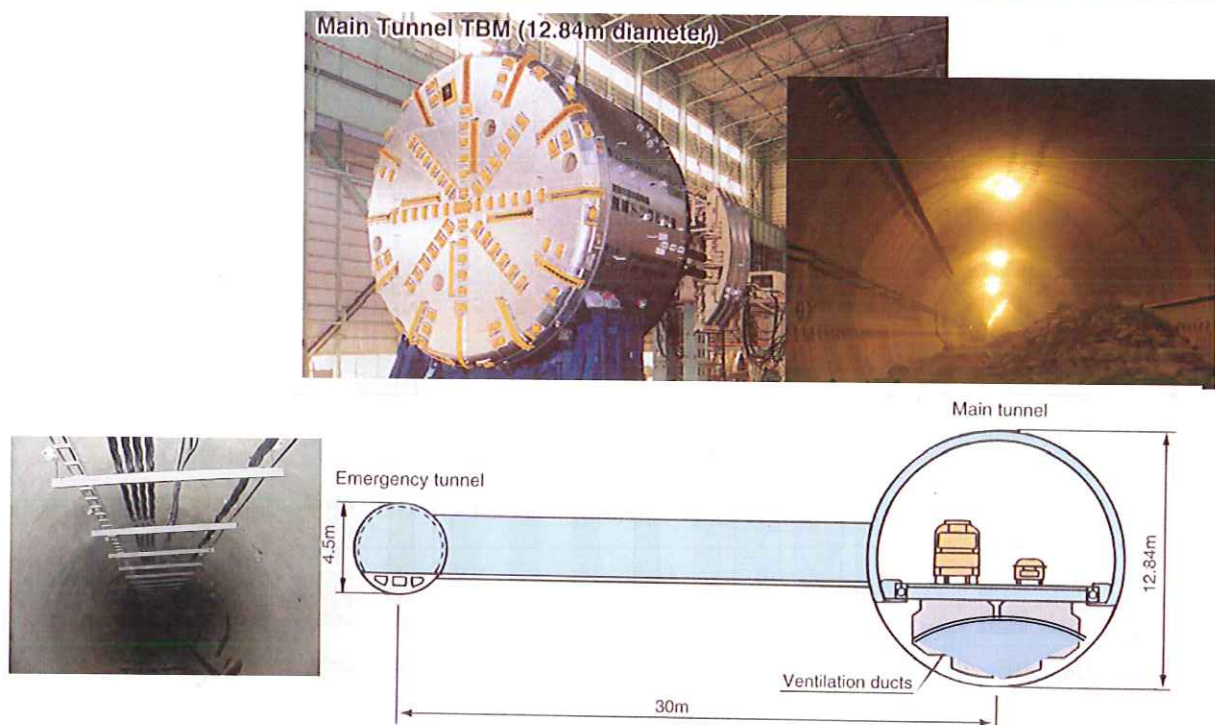


装薬の機械化



補助ベンチ付き全断面での掘削

建設の機械化の動向 (TBMによる大断面掘削)

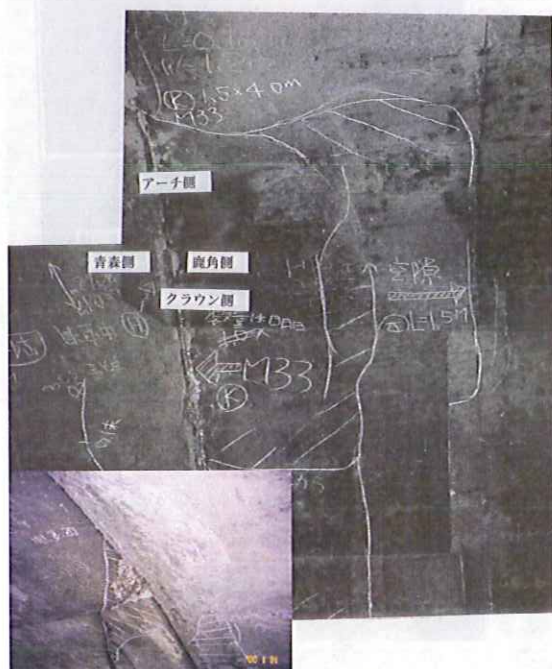


飛驒トンネルでのTBMの適用例

今後のトンネル建設の機械化・自動化

- 大型掘削機械の導入による補助ベンチ付き全断面工法
 - 装薬作業の機械化・自動化
 - 都市部でのシールド工法
 - 地下水環境保全のためのシールドTBM
- など

トンネルの既存ストックの現況



矢板工法に見られる
目地部ジャンカ, 空洞



矢板工法に見られるひび割れ・漏水



NATMに見られる
目地部の角欠け・ひび割れ

目地部からのはく落事例

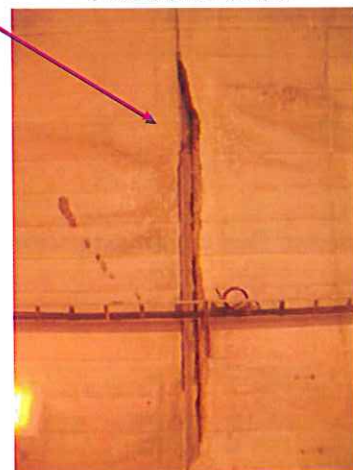


トンネル全景

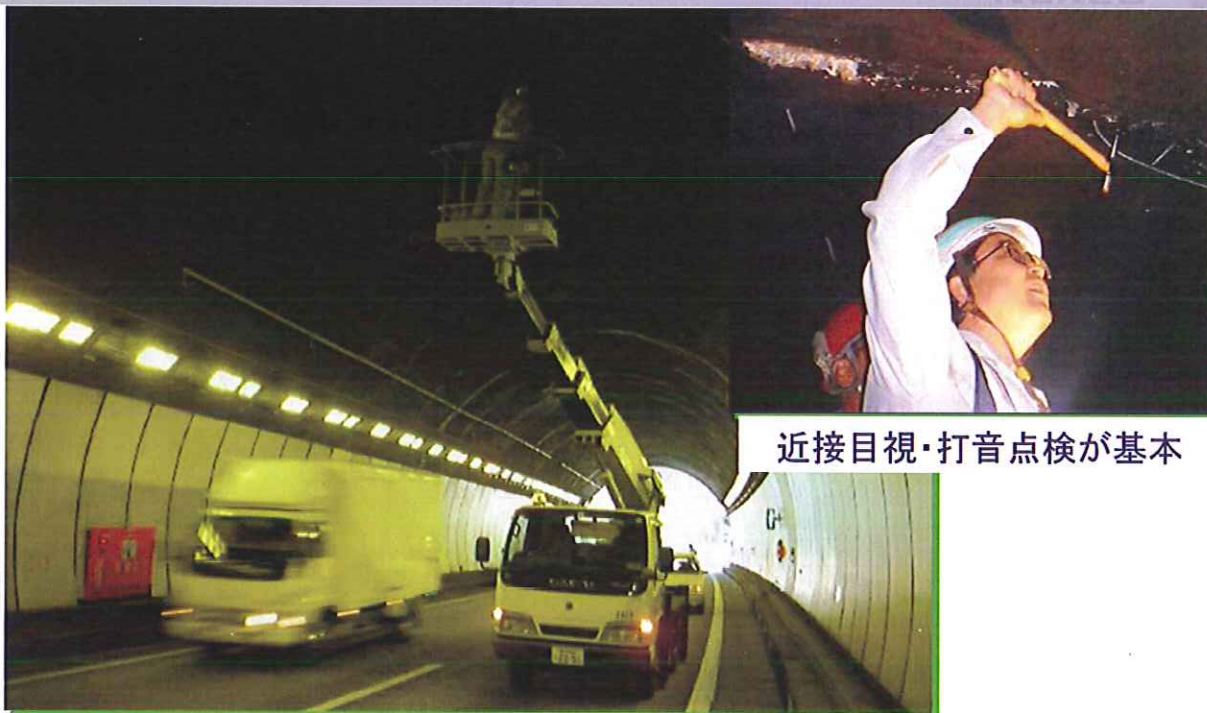
目地部はく落跡



コンクリート落下片



トンネル点検の現況



近接目視・打音点検が基本

苦渋作業、広範囲で誤差大、交通規制や危険作業

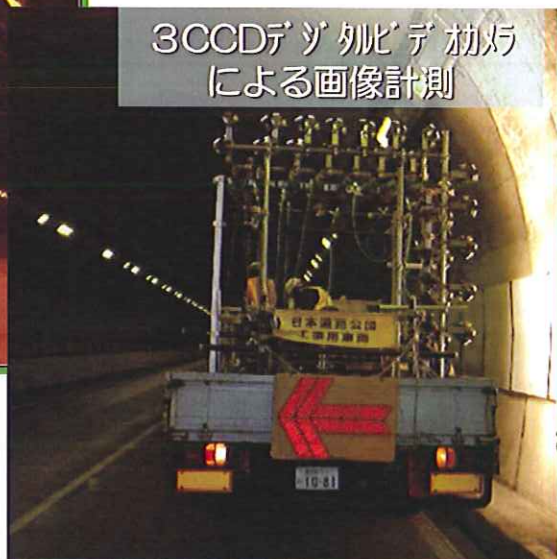
スクリーニングによる
点検箇所抽出

トンネルひび割れ計測車の活用



アルゴンレーザーによる
画像計測

両手法とも、50km/hrで
ひび割れ長さや幅を計測

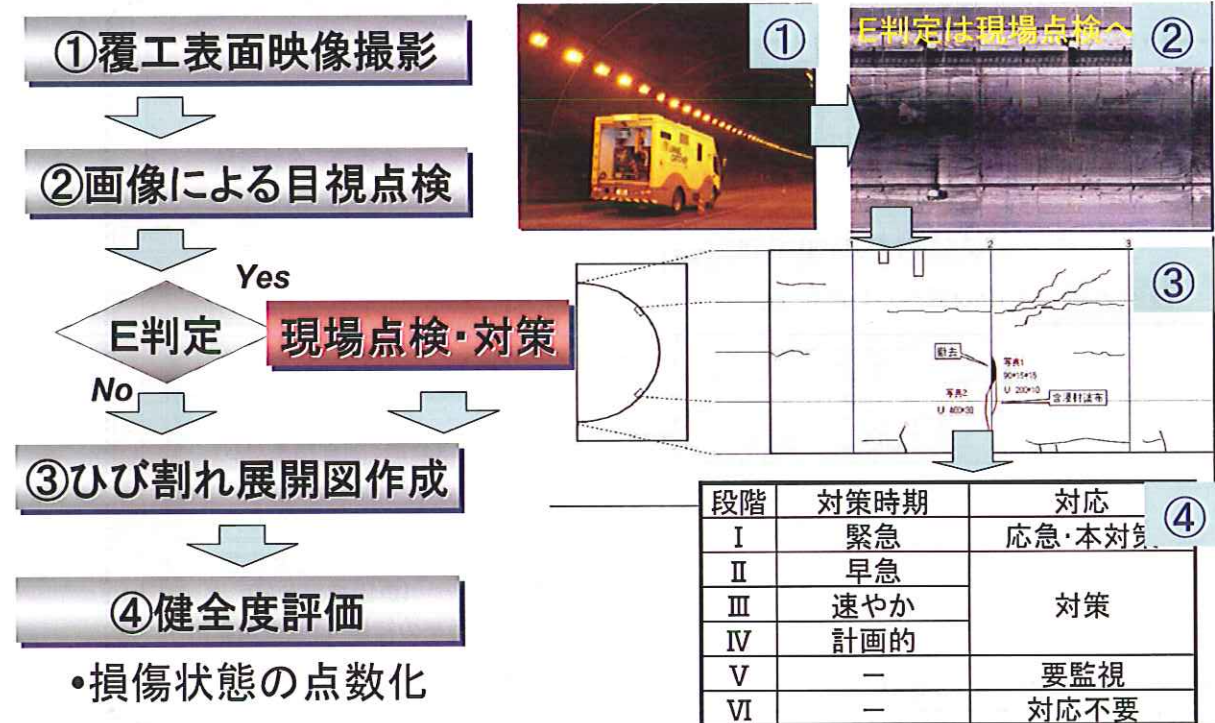


3CCDデジ列ビデカメラ
による画像計測

- ・点検データの質の向上を図る
- ・全体を把握し現場点検箇所抽出

ひび割れ計測車を活用した流れ

定期的な点検とその評価



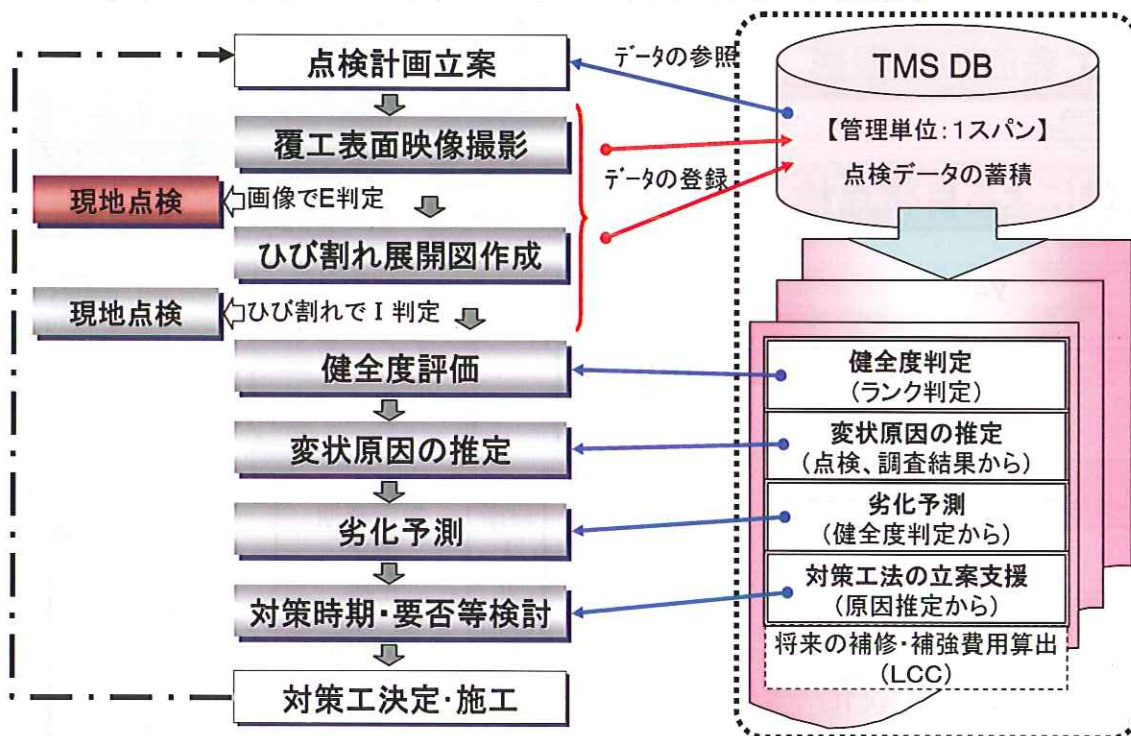
点検の機械(情報)化の課題と展望

- 画像からひび割れを自動抽出する画像処理技術の確立 (←未だ半自動)
- コンクリートの浮き・はく離などの確認は未だ叩き点検である
⇒非接触による浮き・はく離部抽出技術の確立
- 点検データ等を保存し効率的にアセットを管理する情報処理技術

トンネルのアセットマネジメント



トンネルマネジメントシステム(TMS)の役割



終り



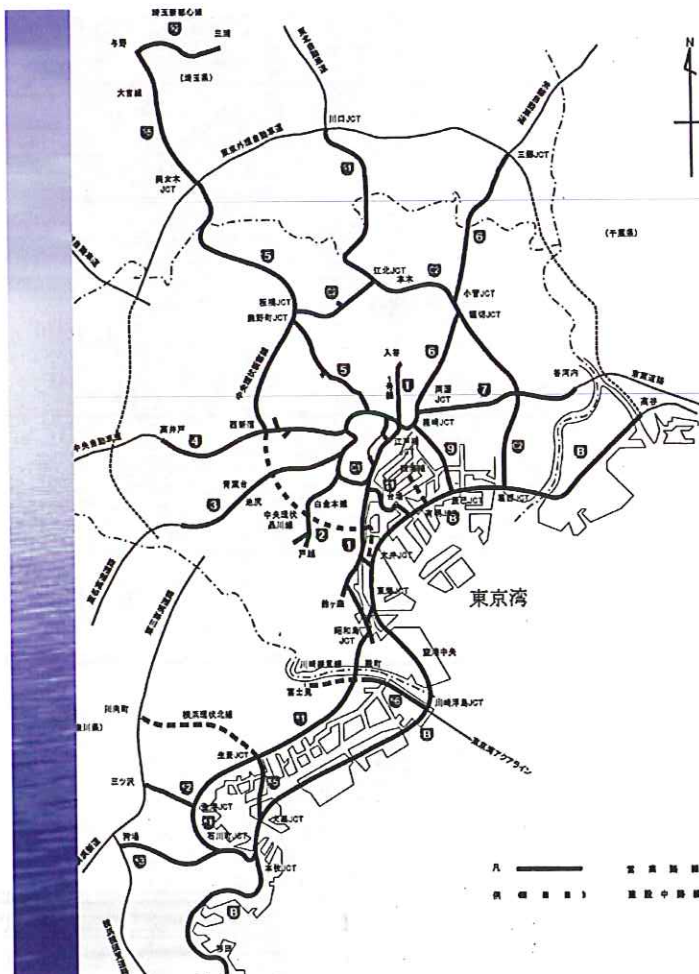
ひと・まち・くらしをネットワーク
首都高速道路株式会社

首都高速道路からの 話題提供

2008年9月11日

首都高速道路(株)
保全・交通部 点検・保全計画グループ

伊東 昇



- 営業延長 293.5km
(2008年4月現在)
- 利用台数 約 115 万台/日
- 利用者数 約 200 万人/日

• ひと・まち・くらしをネットワーク

東京23区

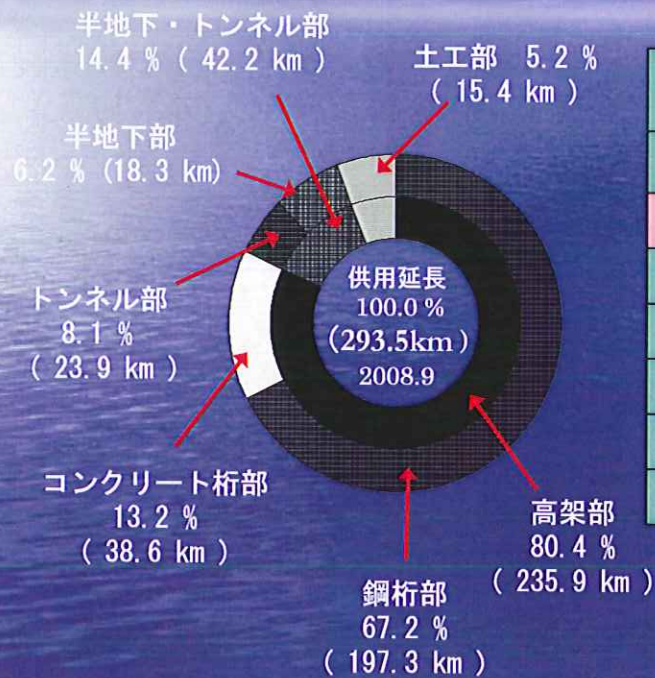
日用品 4割

農水産品 4割

軽工業品 3割

の輸送を分担

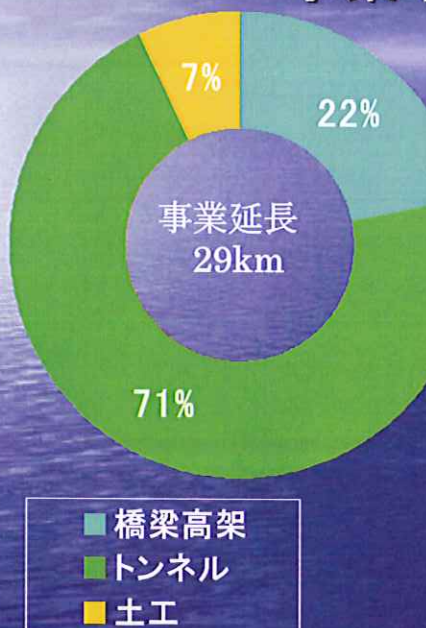
首都高速道路の構造種別

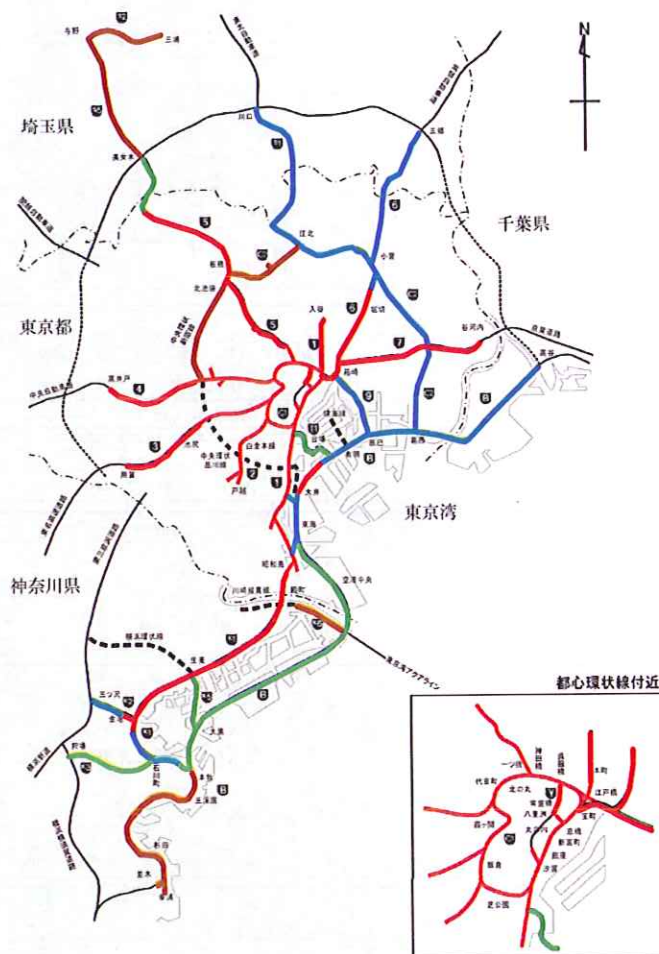


構造種別	延長(km)	構成比
高架部	235.9	80.4%
鋼桁部	197.3	67.2%
コンクリート桁部	38.6	13.2%
トンネル部	23.9	8.1%
半地下部	18.3	6.2%
土工部	15.4	5.2%
計	293.5	100.0%

首都高速道路の構造種別

事業中路線はトンネル主体





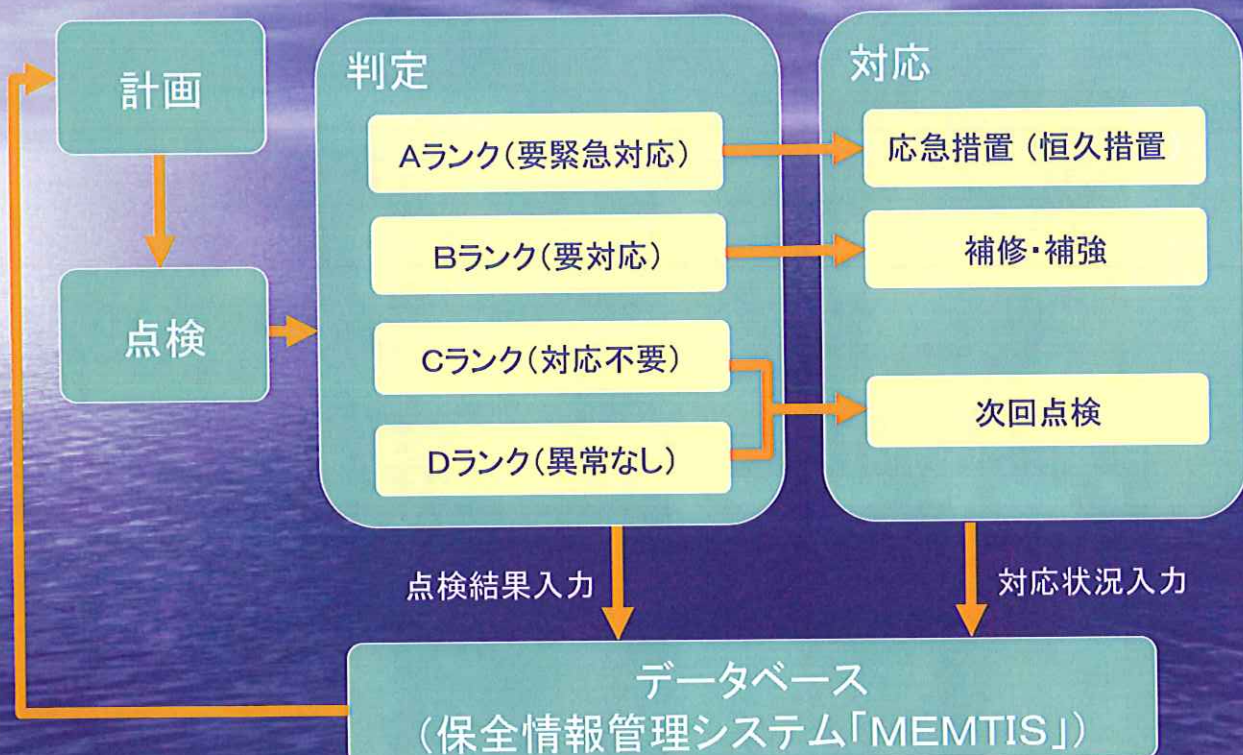
首都高の経過年数

(2008年4月現在)

30年以上が約4割

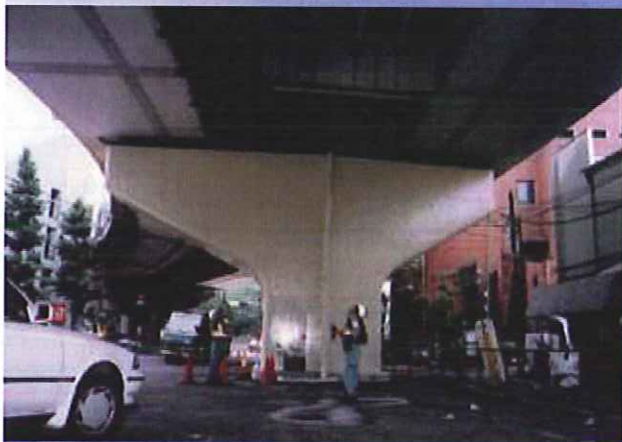
区分	経過年数	延長 km	構成比 %
	30年以上	119.9	40.9
	20~29年	81.0	27.6
	10~19年	46.9	16.0
	9年以下	45.7	15.6
計		293.5	100

首都高速の点検システム



日常点検

高架下徒歩点検



(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

機械足場(高所作業車)

を用いた接近点検



(1回/5年:路線を定めて実施)

長大橋点検状況

ケーブル制振装置点検



箱桁内部点検



橋梁点検車による点検



ケーブル点検(塔側)

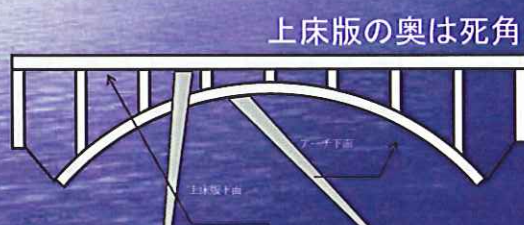


新たな点検技術について

①デジタルカメラによる構造物点検

アーチ橋での調査事例

立地条件および構造上の制約により、精度の高い点検が行われていなかったアーチ橋の床版面に対して実施



3方向から撮影し、合成処理をして床版全体のパノラマ画像を作成

②画像複合法による損傷判定

画像複合法の流れ

記録写真をデジタル化

撮影角度・倍率を幾何補正

重ね合わせ

構造物の変化の有無を把握

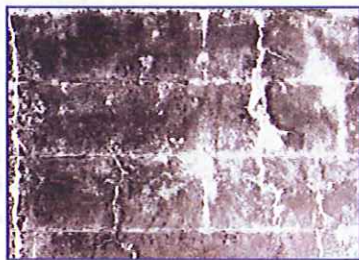
画像複合法のメリット

- 何枚もの画像を瞬時に比較
- 損傷の経年変化がわかる
- 画像をグラフ化し損傷の劣化パターンを分類
- 損傷の緊急性の有無を解析

RC床版での調査事例

撮影角度、明るさ、倍率を同一に調整した結果、構造物の経年変化が明瞭に把握できる

■ 1. 路線 T



●平成3年度(供用後27年)



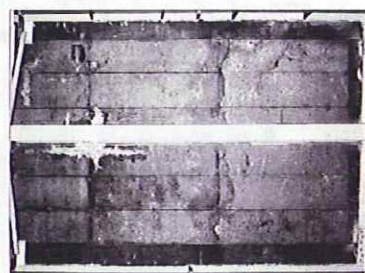
●平成10年度(供用後34年)



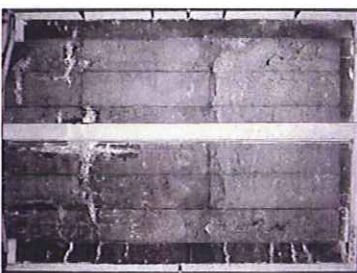
●平成14年度(供用後38年)

損傷劣化の進行はほとんど認められなかった

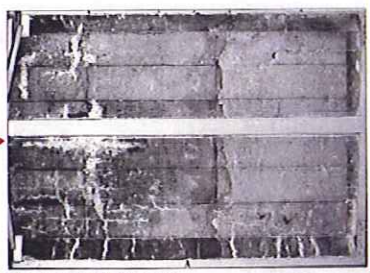
■ 2. 路線 MU



●昭和63年度(供用後18年)



●平成7年度(供用後25年)



●平成11年度(供用後29年)

損傷劣化の進行が認められた

③赤外線を活用した新点検技術

鋼床版での調査事例

鋼床版縮桁橋の損傷の進行過程

き裂 発生(トラフリブと鋼床版溶接部)



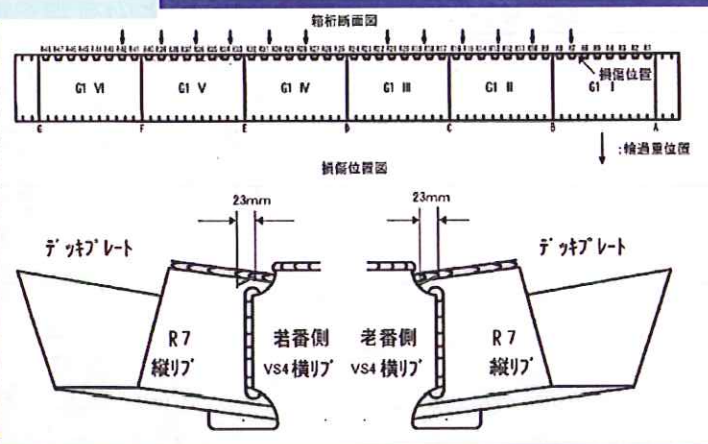
鋼床版母材に進展、貫通



トラフリブ内に滞水(路面の雨水等)



赤外線カメラで滞水状況を
検知可能であるかを検証した



調査の結果

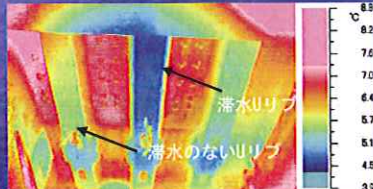
・滞水部は乾燥部に対して1℃以上の差(10:30頃～18:00頃までの間)

・赤外線カメラの熱映像から容易に判別

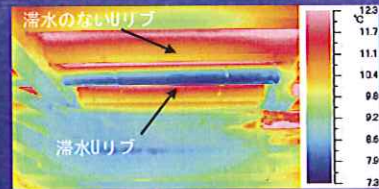
・側面からの観察により、滞水範囲を検知可能



赤外線画像(10:16)



赤外線画像(10:46)



トラフリブ側面赤外線画像

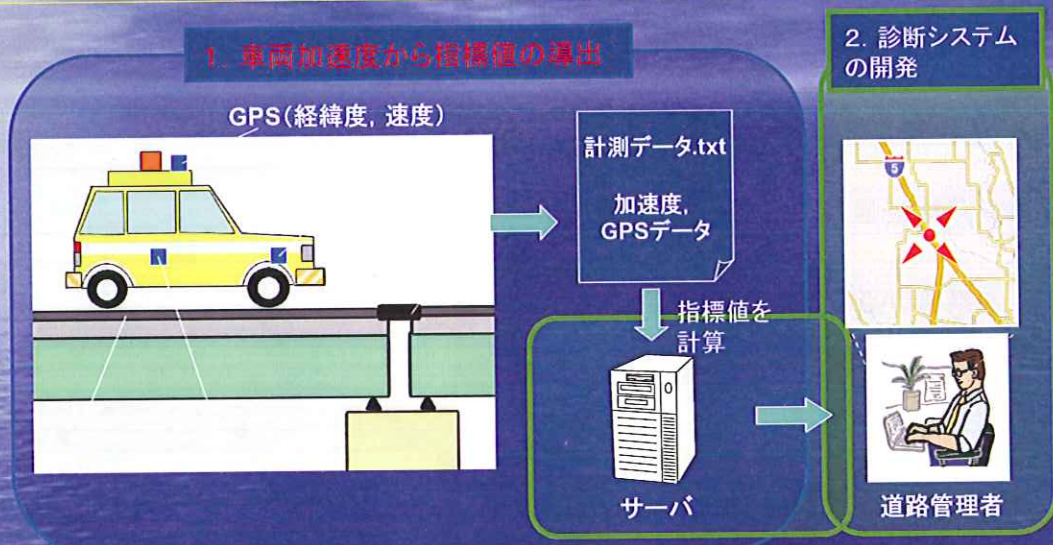
赤外線法を適用した場合 の欠陥部の状況

	外気温	
	上昇過程	下降過程
コンクリート構造物	高温	低温
鋼構造物の滞水部	低温	高温

逆転現象

④ VIMS : Vehicle Intelligent Monitoring System

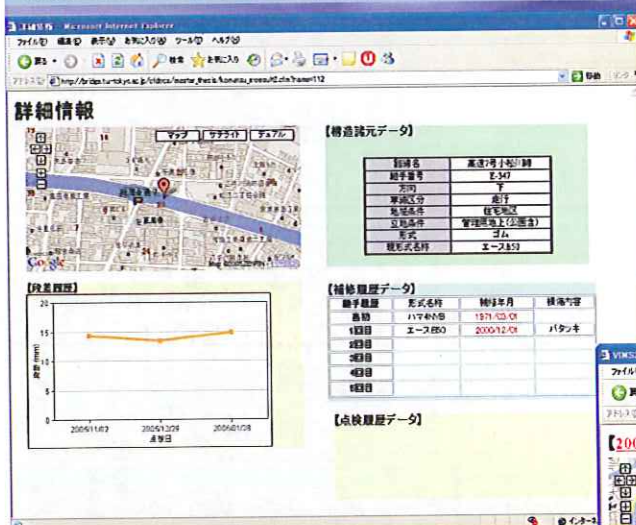
車両の床鉛直振動の計測により、路面段差を点検するシステム



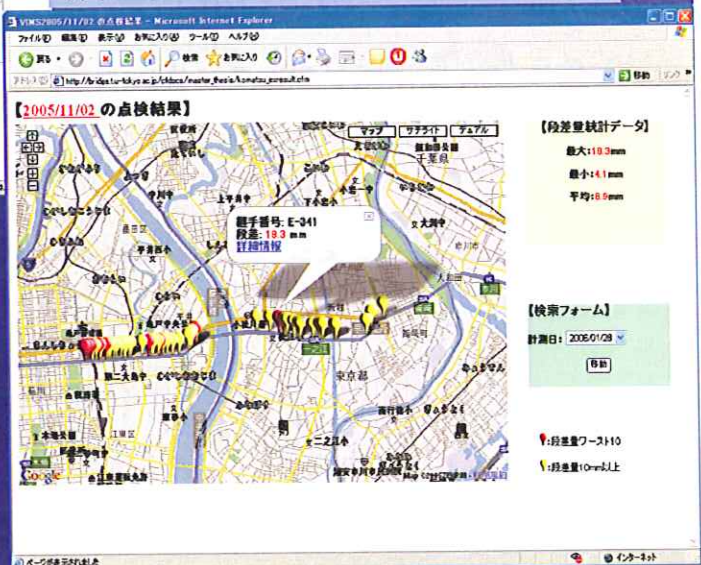
- ・計測コストの大幅低減
- ・高頻度での計測が容易
- ・計測センサの拡張可能
- ・容易な計測操作

- ・維持管理コスト低減
- ・利用者サービスレベル向上

段差量が多い箇所の詳細表示



段差量が多い箇所の表示例



⑤ 光ファイバセンサを用いた橋梁の常時モニタリング

光ファイバセンサの測定原理

光ファイバの中を通る光が経路に曲がりがある



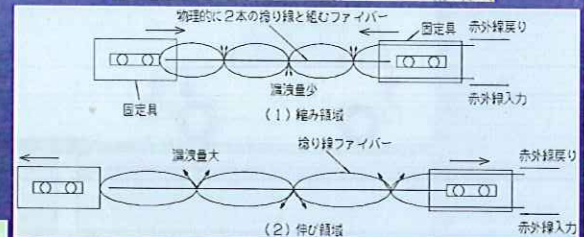
その場所で光が外部に漏れる



ファイバ内部を通過する光の強度が減少



撓り線からの光の漏洩を計測



光学ストランドの測定原理

計測フロー

データ収集

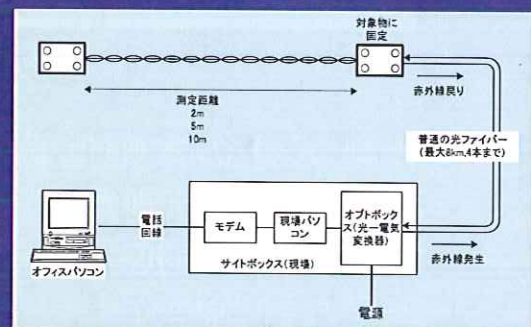
NTT又は携帯電話回線を用いて遠隔収集
サンプリングタイム：0.01秒(100Hz)

ひずみ値の経時的な増加や急激な異常変動を観察

管理たわみ量から計算によりひずみ値を求める

閾値とする

異常を検知可能か検討



計測ブロックフロー

⑥ 鋼構造物疲労き裂調査診断技術 (最先端のき裂調査技術)

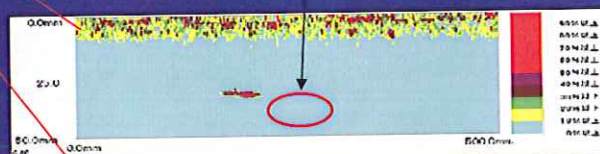
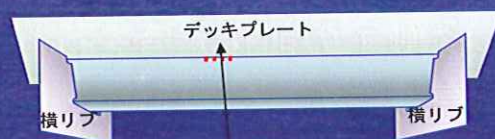
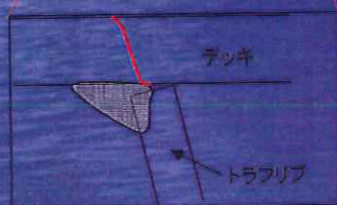
(1) 鋼床版半自動超音波探傷装置(SAUT)

鋼床版閉断面リブ溶接線専用の探傷システムSAUTの特徴

- 半自動走査(高速で探傷)
- 波形情報と探傷位置の情報を自動記録(可視画像で再現)



鋼床版下面(箱桁内部にて作業)



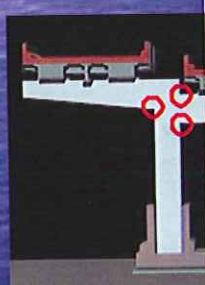
(2) 自動垂直超音波探傷装置(AUT)

鋼製橋脚の隅角部の未溶着部(デルタゾーン)の調査は、ウェブ側面からの垂直超音波探傷試験で調査

探触子を手で走査する(MUT)の欠点

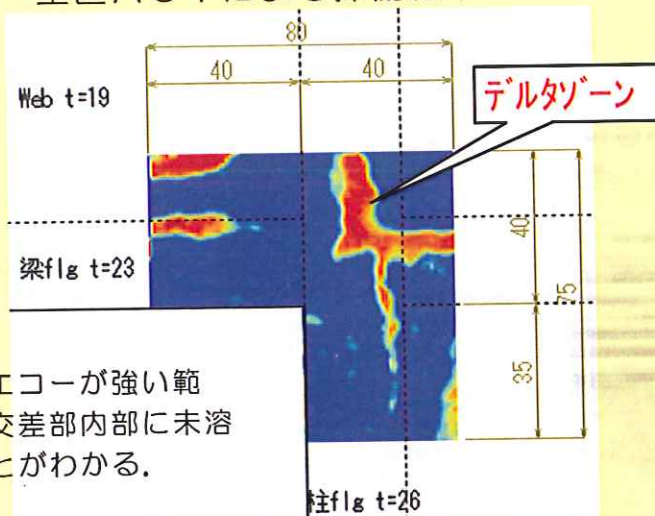
- 測定精度
- 測定間隔
- 記録性に

自動垂直超音波探傷装置



鋼製橋脚(角柱)と隅角部

垂直AUTによる探傷結果



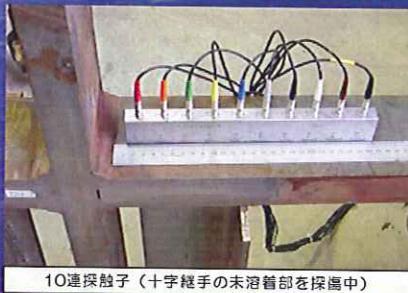
赤が反射エコーが強い範囲、3溶接交差部内部に未溶着があることがわかる。

る

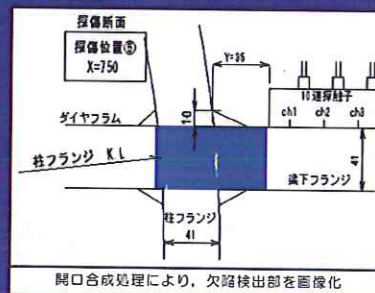
(3)10連タンデムアレイ

10連タンデムアレイの特徴

- 鋼構造物の十字溶接部のルート検出
- 溶接が完全に溶け込んでいるか確認
- 反射指向性のある面状キズに対し、高い検出能力
- 探触子の前後走査を行わずに探傷
- 高速にデータを採取
- データの再現性に優れる
- 開口合成処理により、画像化が可能



10連探触子（十字継手の未溶着部を探傷中）



開口合成処理により、欠陥検出部を画像化

⑦火災損傷構造物の健全度調査

- シュミットハンマーによる圧縮強度推定
- 中性化試験等の調査を実施
- コンクリート構造物の受熱温度を推定
- 健全度の確認



火災により損傷した構造物

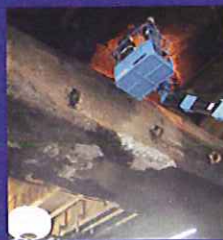


反発度測定状況



中性化試験状況

5号池袋線熊野町JCT付近火災事故



～ ご清聴ありがとうございました ～



ひと・まち・くらしをネットワーク
首都高速道路株式会社

社会資本整備の現状と課題 ～鉄道～

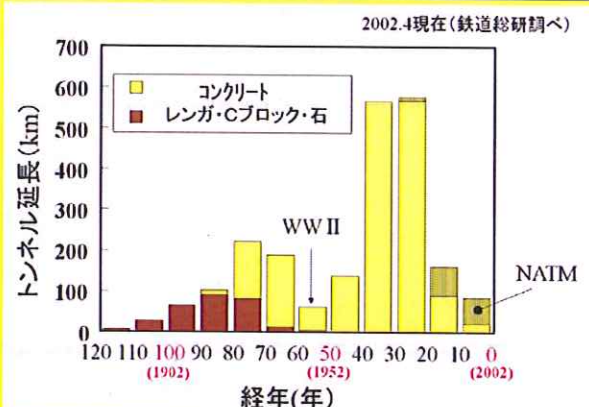
(財) 鉄道総合技術研究所
小西 真治

1. 既存ストック (質, 量)

鉄道構造物の数量
(種別割合)



JRのトンネルの経年分布

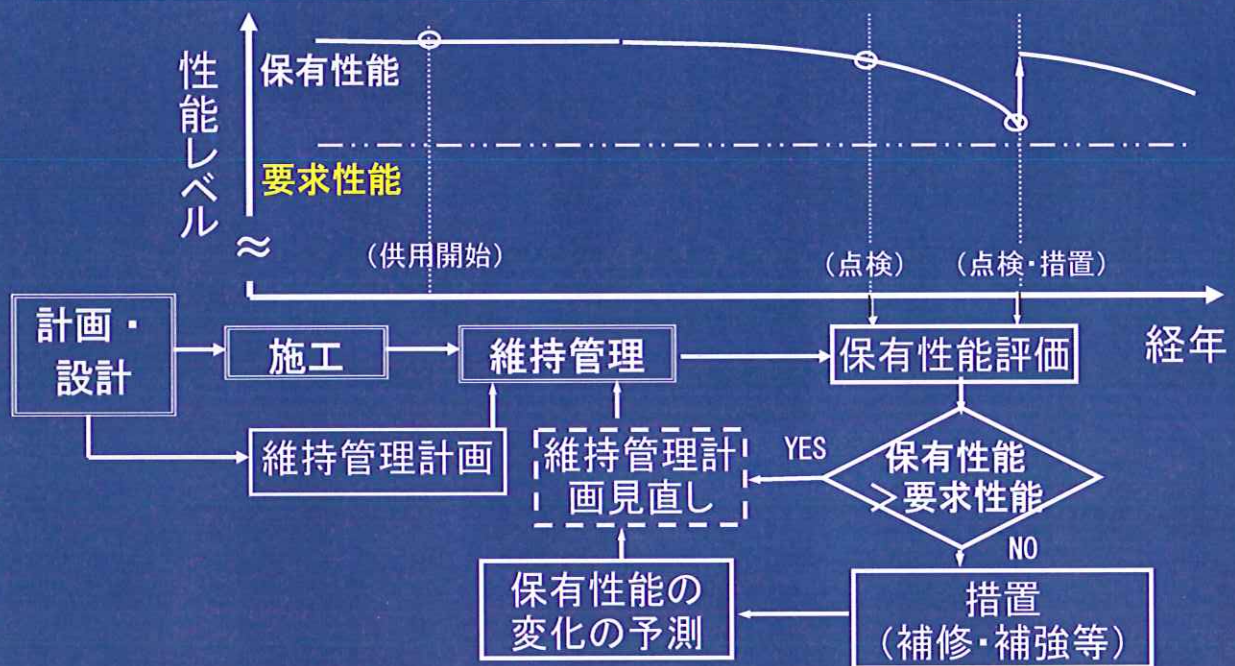


鉄道構造物
の特徴

- ・ 維持管理対象となる構造物の量が多い
- ・ 構造物の種類が多い
- ・ 古い構造物が多い

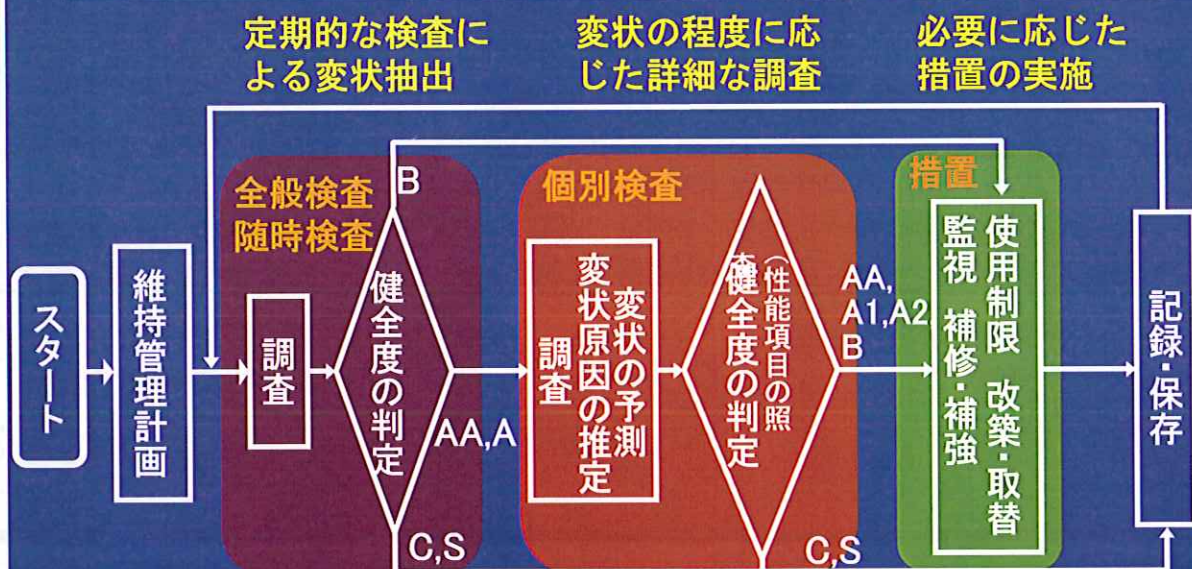
計画路線図

性能照査型設計体系における維持管理



設計, 施工のみならず **維持管理を含めて** 性能を確保する

標準的なメンテナンスの手順



※ 白字アルファベット: 健全度

A: 安全・運行を脅かす恐れのある変状有 (AA: 直ちに措置が必要 A1: 進行中の変状有 A2: 将来性能を低下させる変状有)

B: 将来Aランクになる恐れのある変状有 C: 軽微な変状有 S: 健全

健全度診断システム

目的

鉄道構造物の検査，健全度診断

経験，労力，知識が必要

しかし，・・・

人員不足 経験不足 技術継承が困難

検査や健全度診断結果にばらつき

鉄道総研のサポート

- 維持管理標準・同解説の解説・付属資料
- 各種マニュアル，手引き，事例集
- 健全度診断の支援システムの開発

調査の手順



維持管理支援システム

ネットワーク構成



橋梁，トンネル，跨線橋
擁壁，下水渠，横断管

システムの画面イメージ



目安判定機能と変状キャンパス（検査台帳）

目標物管理システム - 目標値再入力

目次判定

マトリクスの選択

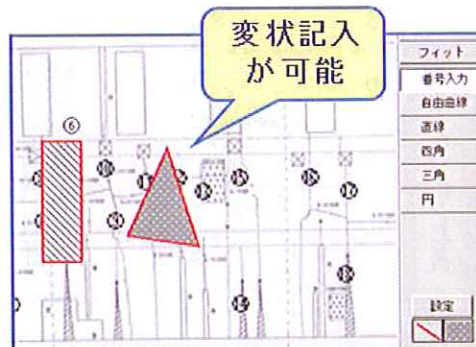
目次判定

総合判定

目次判定

実行あり 実行なし 次へ 前画面

目安判定入力画面の例



変状キャンバス

目安判定機能搭載効果

- 目視で得られる情報を明確に記録可能
- 検査員による判定のばらつきを抑制
- 事業者間の水準一定化

センサを用いた検査法



目的

構造物の性能低下

〔コンクリートの剥離, 鋼材の腐食・疲労
地震, 地盤変位, 雨, 環境変化, 衝突, 火災〕



定期検査で見極める

目視検査

しかし問題点有

- ・直接目視することが困難
(地中, 高所, トンネル内, 危険箇所, 被覆されている)
- ・結果のばらつき



センサの開発, センサを用いた検査法の開発

衝撃振動試験 (センサを用いた検査法)



目的

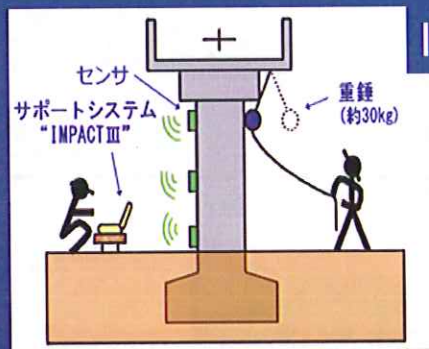
橋梁下部工, 高架橋の健全度評価

洗掘, 部材損傷の発生



固有振動数の低下

これを発見する非破壊検査法



IMPACT III

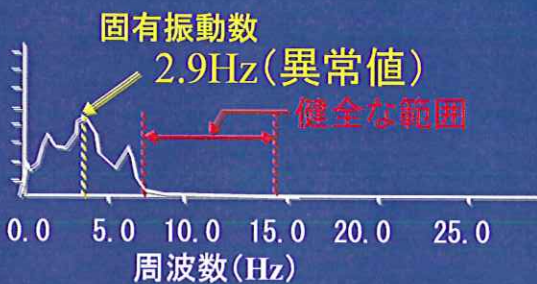


衝撃振動試験（センサを用いた検査法）

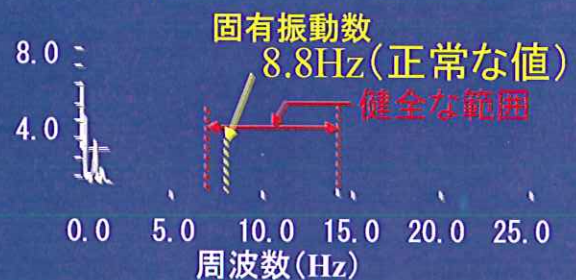
洗掘された橋脚



フーリエスペクトル振幅



補強した橋脚



ラインセンサカメラ連続走査画像（センサを用いた検査法）



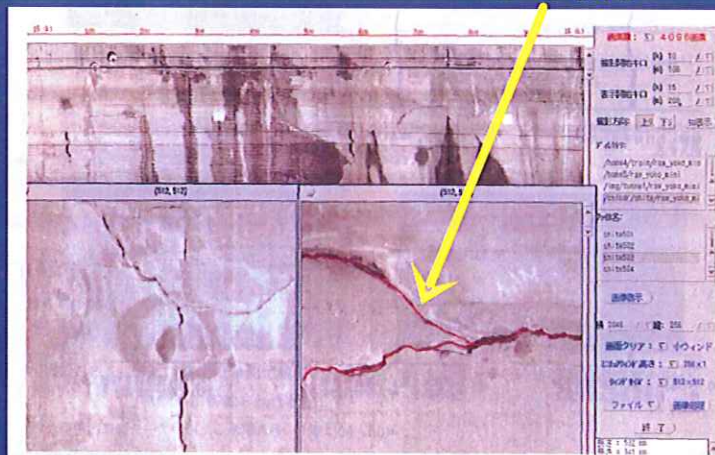
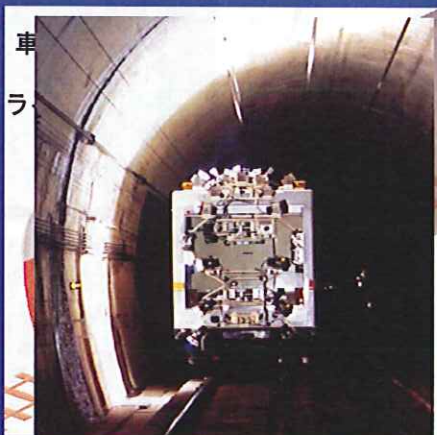
目的

トンネル覆工の健全度判定の効率化
変状展開図の作成
ひび割れ等変状の抽出
健全度判定

自動化の研究

鉄道総研開発

ひび割れ



モニタリングシステム



目的

構造物から状態を知らせる



構造物の安全性の向上

メンテナンスの効率化



「構造物ヘルスマニタリングシステム」の開発

● 異常時のためのシステム

①地震、洪水や衝突による異常を発生直後に把握するシステム

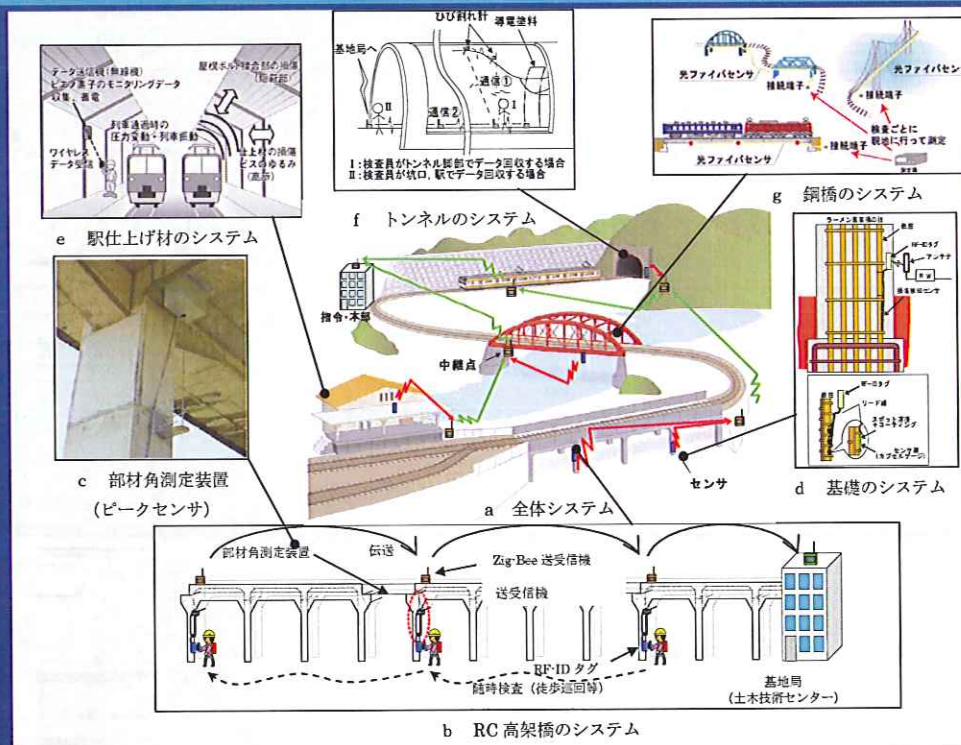
● 常時のためのシステム

②損傷を監視するシステム

③重要構造物等の状態を監視するシステム

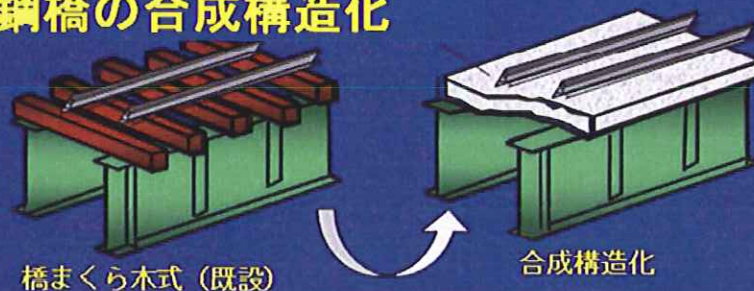
④定期点検の省力化のためのシステム

モニタリングシステム（全体システム化）

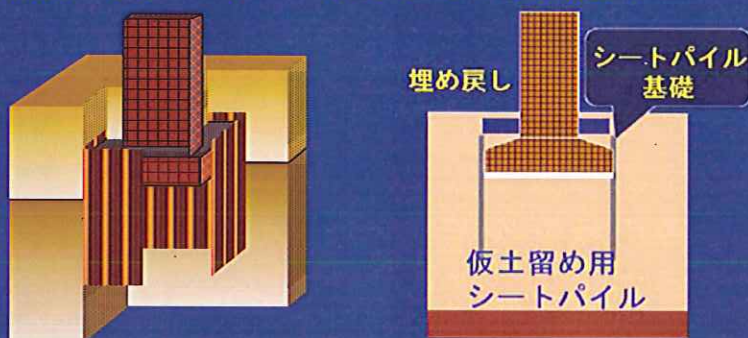


リニューアル技術

既設鋼橋の合成構造化



既設橋脚のシートパイルによる補強



今後の課題と展望その1

● 駅を中心とした都市部への人口集中

- ・ 既設都市鉄道，駅の性能を向上させる技術
- ➡ 古い構造物を改築・リニューアルする技術
- ・ 密集地域での設計・施工技術
- ・ 活線化での施工技術

● 都市間的高速移動の必要性

- ➡ 低コストの新線建設技術
- ・ 騒音・振動対策技術

今後の課題と展望その2

●人口・労働力の減少，老朽構造物の増加

- ・データベース化
 - ・検査ロボットの開発
 - ・さらなるモニタリング技術
 - ・さらなるリニューアル技術
- 維持管理業務の省力化・自動化
検査ロボット
補修用ロボット
防災投資の増加

●異常気象等による災害の増加

- ・災害時の被害予測技術
 - ・災害監視システム
 - ・災害防止技術
 - ・早期復旧技術
- 災害復旧支援ロボット

●基礎的な技術の強化

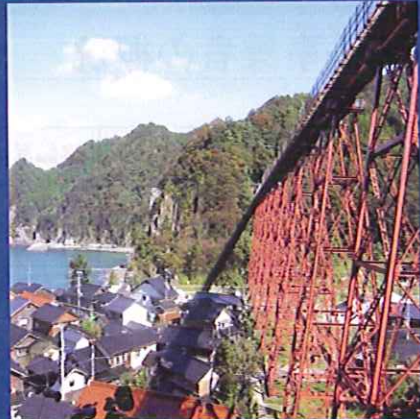
機械化，モニタリング技術，
データベースの構築，シミュレーション技術

鉄道構造物のメンテナンスの象徴



出口方坑門、上り線1887年建設(左側)
清水谷戸トンネル(東海道本線)

経年：120年
(日本最古の供用鉄道トンネル)
東海道本線の安全の一翼



余部橋梁(山陰本線)

経年：95年
海からの距離：数十m

メンテナンスが適切になされれば寿命は長い

これからの社会基盤整備と維持管理への対応
～情報技術・自動化技術の活用を目指して～

東京地下鉄(株)からの話題提供

平成20年9月11日

東京地下鉄(株) 鉄道本部工務部
構造物担当部長 高橋 聡

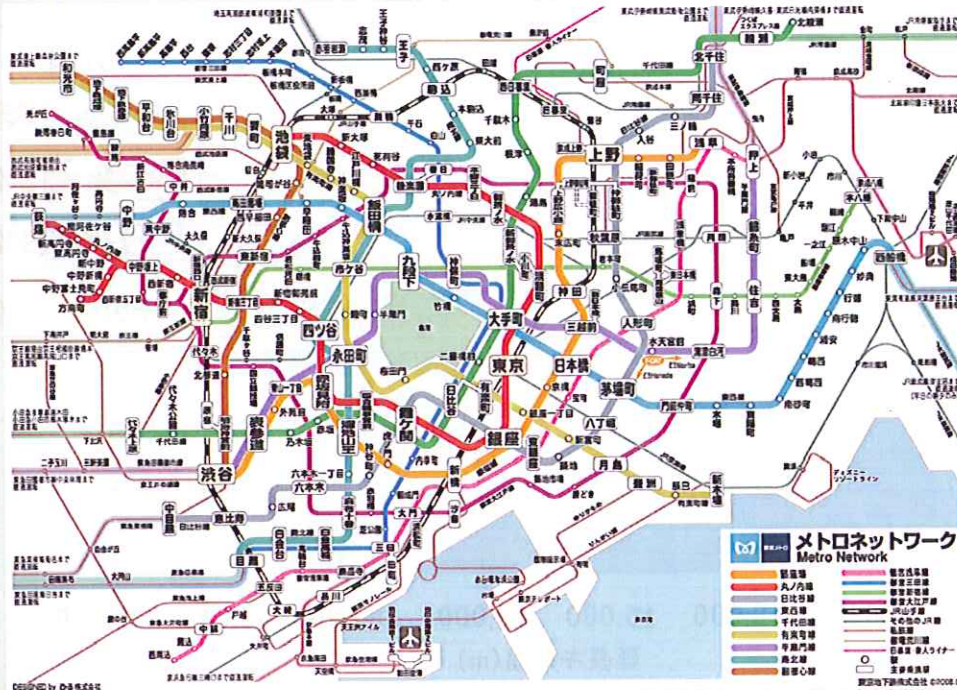
1. 既存ストック(量と質)

■地下鉄事業者の概況

平成19年7月1日現在					
圏域	事業者名	路線数	営業キロ(km)	開業年数	平成18年度1日当たり 平均輸送人員(千人)
札幌	札幌市	3	48.0	S.46/12～H.6/10	699
仙台	仙台市	1	14.8	S.62/7～H.4/7	149
首都	東京地下鉄(株)	9	195.1	S.2/12～H.20/6	6,220
	東京都	4	109.0	S.35/12～H.12/12	2,159
	横浜市	2	40.4	S.47/12～H.11/8	470
	埼玉高速鉄道(株)	1	14.6	H.13/3	75
中京	名古屋市	6	89.1	S.32/11～H.16/10	1,155
	名古屋鉄道(株)	1	2.3	H.15/3	38
近畿	京都市	2	28.8	S.56/5～H.16/11	316
	大阪市	7	129.9	S.8/5～H.18/12	2,288
	神戸市	3	30.6	S.52/3～H.13/7	290
中国	広島高速交通(株)	1	0.3	H.6/8	49
九州	福岡市	2	29.8	S.56/7～H.17/2	331
合計		42	732.7	-	14,239

1. 既存ストック(量と質)

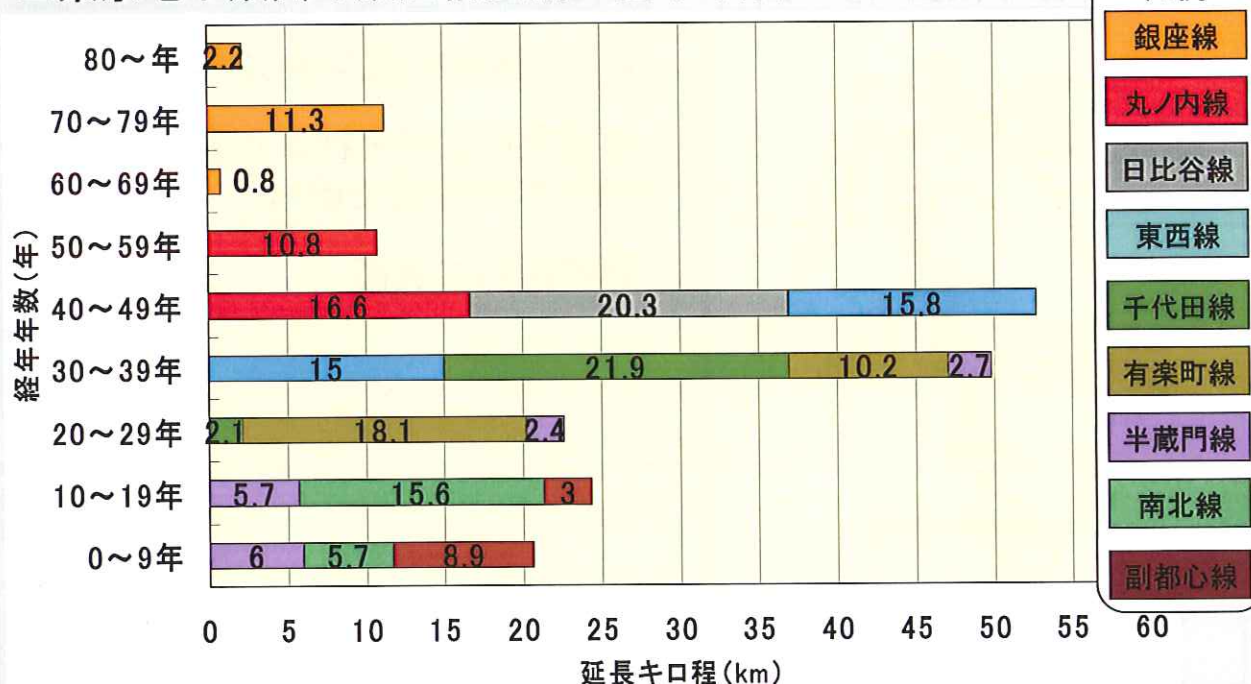
■東京地下鉄株の営業線網



Tokyo Metro Co., Ltd

1. 既存ストック(量と質)

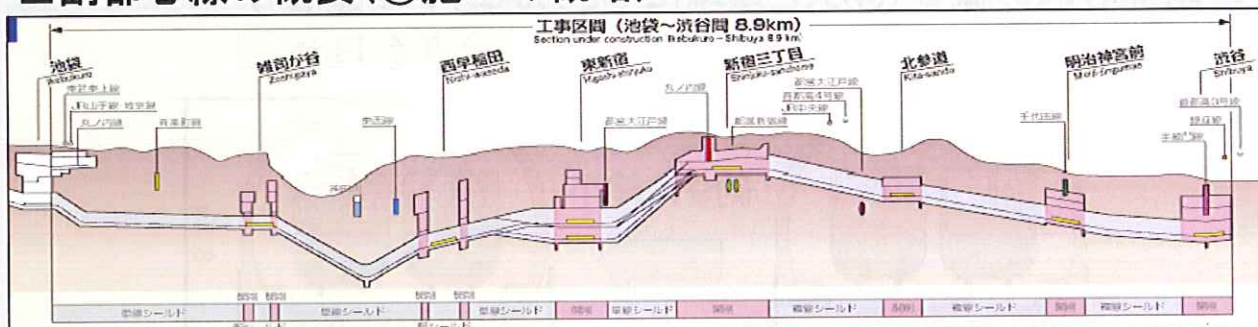
■東京地下鉄株の鉄道構造物の経年年数



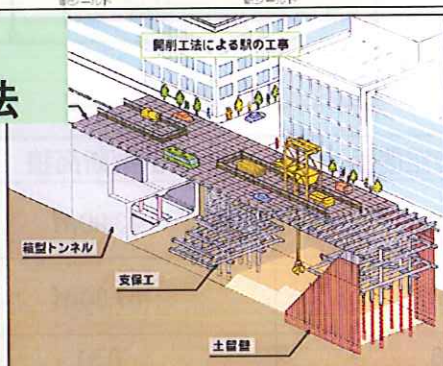
Tokyo Metro Co., Ltd

2. 建設及び維持管理の動向

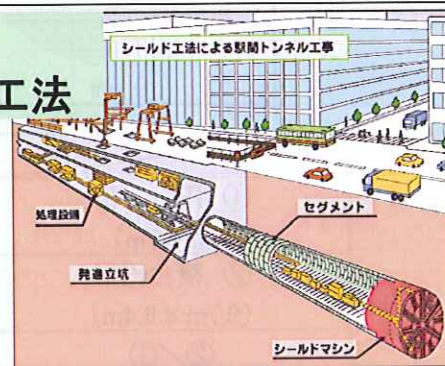
■副都心線の概要(③施工の概略)



馱部：
開削工法



駅間部：
シールド工法



2. 建設及び維持管理の動向

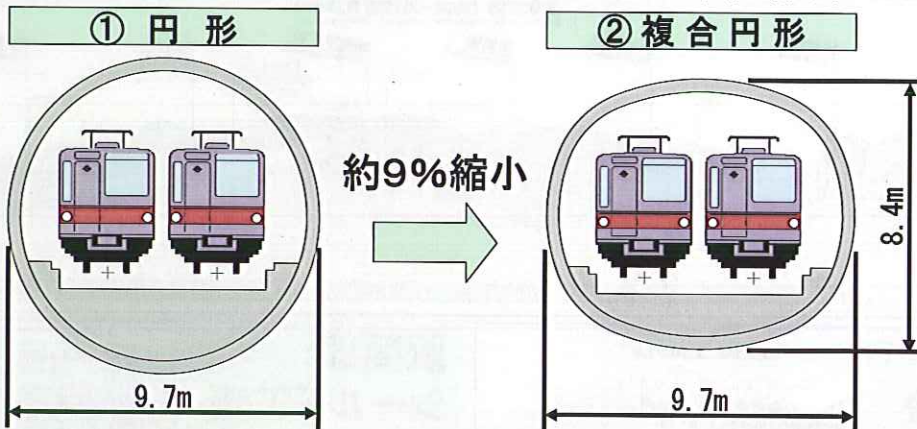
■副都心線の概要(④人と環境にやさしい地下鉄建設)



複合円形断面シールドの開発

2. 建設及び維持管理の動向

■副都心線の概要(④人と環境にやさしい地下鉄建設)



	トンネル内の空間面積	掘削断面積
① 円形 ($\phi 9.7\text{m}$)	46.95 m^2	73.90 m^2
② 複合円形 (9.7m $\times$ 8.4m)	46.05 m^2	67.30 m^2
②/①	0.98	0.91

2. 建設及び維持管理の動向

■副都心線の概要(④人と環境にやさしい地下鉄建設)



専用プラント(新木場車両基地内)

シールドインバート材への再生活用

2. 建設及び維持管理の動向

■副都心線の概要(④人と環境にやさしい地下鉄建設)



開削工事埋戻し材への再生活用

埋設物受台の省略

+

即時に道路本復旧



工期短縮による
環境負荷低減

2. 建設及び維持管理の動向

■副都心線の概要(④人と環境にやさしい地下鉄建設)

低公害車、低公害建設機械の導入



CNG車(圧縮天然ガス自動車)

粒子状物質減少装置車(酸化触媒装着車)

2. 建設及び維持管理の動向

■副都心線の概要(④人と環境にやさしい地下鉄建設)

電動化掘削機械:バックホウの導入



電源ケーブル

電動ユニット



2. 建設及び維持管理の動向

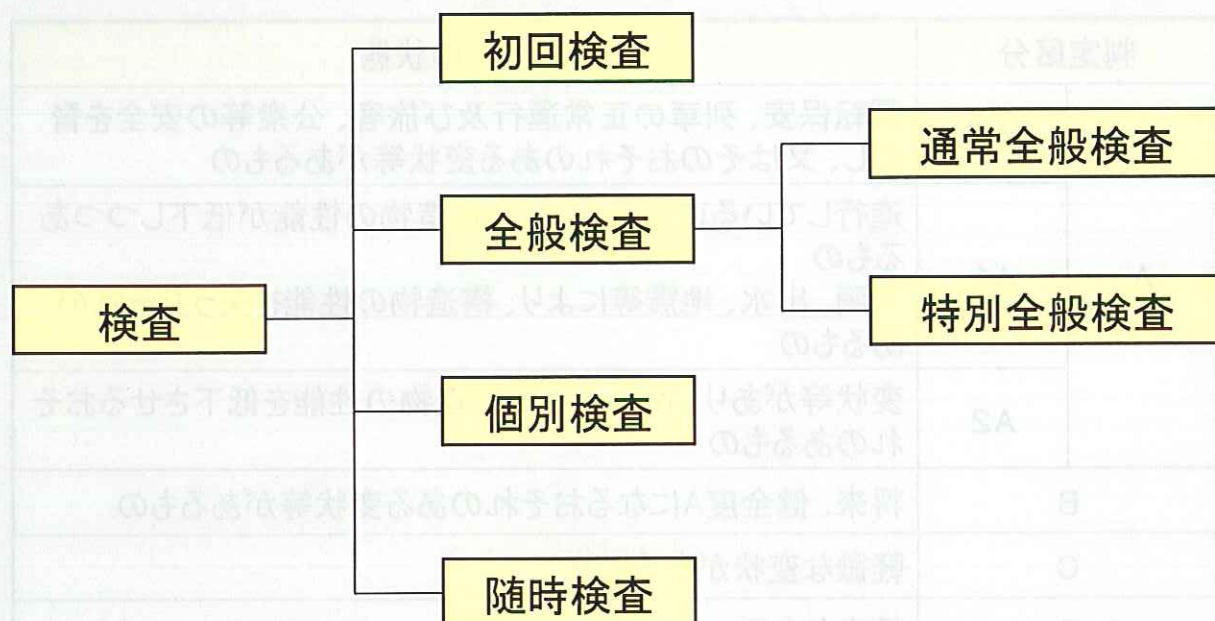
■副都心線の概要(④人と環境にやさしい地下鉄建設)

電動化掘削機械:テレスコピックラムシェルの導入



2. 建設及び維持管理の動向

■維持管理の動向(①検査体系)



2. 建設及び維持管理の動向

■維持管理の動向(②検査内容)

	目的	検査周期 (時期)	検査項目	健全度判定
初回検査	構造物の初期状態の把握	新設・改築	入念な目視 必要に応じてその他の方法	A・B・C・Sに区分 はく落に対しては、 $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ に区分
通常全般検査	構造物の変状の抽出	2年に1回	目視	
特別全般検査	健全度の判定の精度を高めること	20年に1回	入念な目視 必要に応じて各種の方法	
個別検査	変状原因の推定、 変状の予測、性能項目の詳細な照査	—	入念な目視 変状の状態により 各種の詳細な調査	Aをより細分化して区分
随時検査	異常時等、必要と判断された場合に実施	—	目視 必要に応じてその他の方法	A・B・C・Sに区分 はく落に対しては、 $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ に区分

2. 建設及び維持管理の動向

■維持管理の動向(③健全度判定区分)

判定区分		構造物の状態
A	AA	運転保安、列車の正常運行及び旅客、公衆等の安全を脅かし、又はそのおそれのある変状等があるもの
	A1	進行している変状等があり、構造物の性能が低下しつつあるもの 大雨、出水、地震等により、構造物の性能を失うおそれのあるもの
	A2	変状等があり、将来それが構造物の性能を低下させるおそれのあるもの
B		将来、健全度Aになるおそれのある変状等があるもの
C		軽微な変状があるもの
S		健全なもの

2. 建設及び維持管理の動向

■維持管理の動向(④標準的な健全度と変状の程度等との関係)

健全度		運転保安、旅客及び公衆などの安全に対する影響	変状の程度	措置等
A	AA	脅かす	重大	緊急に措置
	A1	早晚脅かす 異常外力の作用に脅かす	進行中の変状等があり、性能低下も進行している	早急に措置
	A2	将来脅かす	性能低下のおそれのある変状等がある	必要な時期に措置
B		進行すれば健全度Aになる	進行すれば健全度Aになる	必要に応じて監視等の措置
C		現状では影響なし	軽微	次回検査時に必要に応じて重点的に調査
S		影響なし	なし	なし

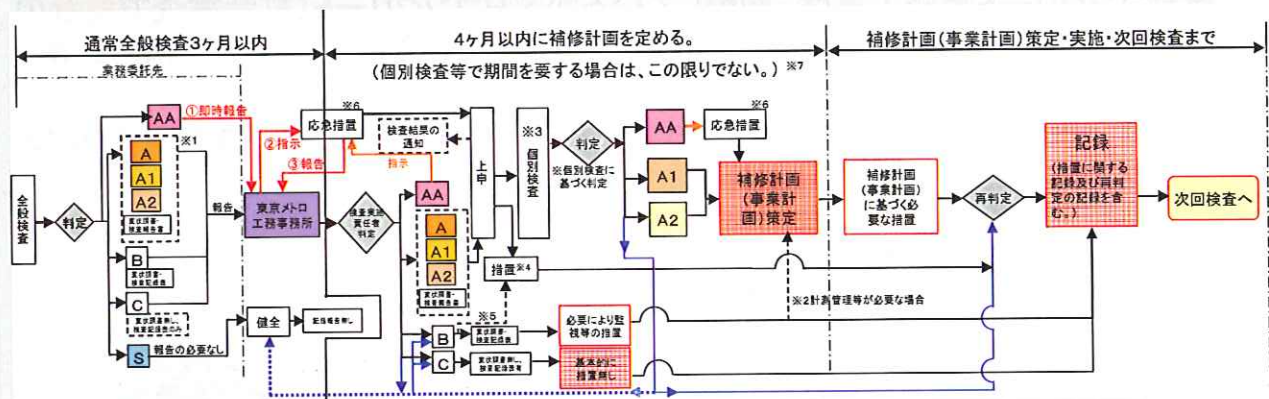
2. 建設及び維持管理の動向

■維持管理の動向(⑤トンネルにおける剥落の健全度の判定区分)

健全度	変状の状態	措置等
α	近い将来、安全を脅かすはく落が生じるおそれのあるもの	措置が必要
β	当面、安全を脅かすはく落が生じるおそれはないが、将来健全度 α になるおそれがあるもの	次回通常全般検査時：注意して目視し、必要に応じて打音調査 次回特別全般検査時：打音調査
γ	安全を脅かすはく落が生じるおそれがないもの	次回特別全般検査時：打音調査

2. 建設及び維持管理の動向

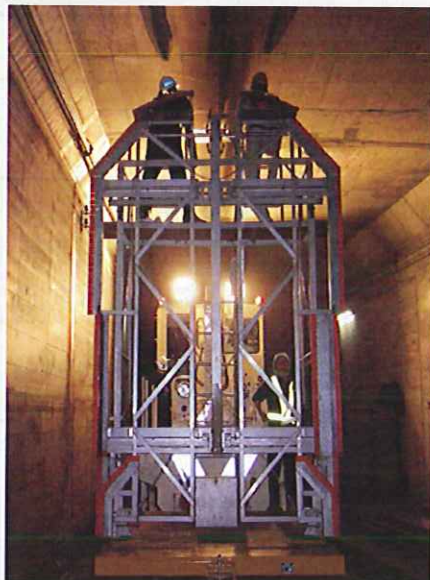
■維持管理の動向(⑥検査から補修計画までのフロー)



- ※1 変状の状態が明確なもの及び変状の原因が明確なものについては、判定をA1、A2とする。ただし、左記に当てはまらないものについては、A判定とする。
- ※2 判定Bにおいて、補修等の必要は無くとも計測管理等が必要なものについては、補修計画(事業計画)に計上する。
- ※3 個別検査とは、精度の高い健全度の判定、措置の方法、施工時期を判断するために行う検査であり、これにより補修計画(事業計画)を策定する。
- ※4 変状の状態が明確なもの(漏水・鉄筋露出等、単体契約工事となっているもの)についてはのみ、A1・A2判定を行った後、個別検査を省略し措置できるものとする。
- ※5 なお、変状原因が不明なものについては、個別検査を実施し通常のフローに従い処理を行う。ただし、急を要し緊急工事であれば措置できない場合は、緊急工事取扱要領に従い緊急工事を行う。
- ※6 判定においてB判定であっても、付近の箇所がA判定など周辺状況を勘案し同時に措置したほうが良いと判断した場合のみ実施する。
- ※7 応急措置については、列車運行に支障を及ぼす危険がある場合の簡易的な措置(コンクリートのはく落のたき落としや簡易防護等)の他、緊急工事にて対応する場合は、緊急工事取扱要領に従うこととする。
- ※8 個別検査等で調査などにより4ヶ月以内に措置について判断できない場合のみ、4ヶ月以内に補修計画を定めなくても良い。ただし、簡易な個別検査等で4ヶ月以内に補修計画を定められるものは、4ヶ月以内に補修計画を定めるものとする。

2. 建設及び維持管理の動向

■維持管理の動向(⑦検査風景・基本は人である)



上床の目視調査



シールドトンネル側部の打音調査

2. 建設及び維持管理の動向

■補修・補強の事例(①構築補修)

構築コンクリート補修工事は、剥離しているかぶりコンクリート(打音検査で濁音のする箇所)を除去し修復する、一般的には「断面修復工法」に分類される補修工事である。

構築コンクリート補修工事の種類はコンクリート表面からの劣化範囲の深さ(はつり範囲の深さ)により次の3種類に分類される。

- ① 構築補修Ⅰ型(はつり深さ**40mm未満**)
- ② 構築補修Ⅱ型(はつり深さ**40～70mm未満**)
- ③ 構築補修Ⅲ型(はつり深さ**70mm以上**)



2. 建設及び維持管理の動向

■補修・補強の事例(②漏水補修)

漏水箇所補修工事は、ひび割れやジャンカ等のコンクリートの変状部分から漏れ出てくる地下水を**止水**する、一般には「漏水対策工法」の「充填工法」に分類される補修工事である。

種類	特徴
トンネル止水工	箱型トンネルの主に、上床・側壁のひび割れからの漏水を止水材の充填や薬液注入によって止水する工法
注入孔跡止水工	箱型トンネルの下床に空けられている注入孔の跡からの湧水を止水コマ（水膨張性ゴム）の取付けによって止水する工法
目地処理工	箱型トンネルにおける構築コンクリート補修工事等ではつり出した範囲に漏水が見られた場合に止水する工法
皿どい工	駅コンコース・ホーム上などで漏水が発生し、止水しない場合に排水溝まで皿どいを取付け導水する工法
導水工	駅コンコース・階段などでの漏水を、パイプと溝を設けて導水する工法
シールドトンネル止水工	シールドトンネルのセグメントの接合部・ボルト部・裏込注入口跡などからの漏水を止水材の充填・薬液注入などによって止水する工法

2. 建設及び維持管理の動向

■補修・補強の事例(②漏水補修)



2. 建設及び維持管理の動向

■補修・補強の事例(③シールド二次巻き補強工事)

変形の防止・漏水対策を目的として、既設シールド内側に環状に加工したH形鋼を建て込み、鉄筋コンクリートで全断面の二次巻きを行った。
施工においては、事前に現状のセグメント継手目地等から発生している漏水を止水し、その後、トンネルの上部と下部の2段階に分け、下部半断面から先行して施工した。工期短縮を図るため、施工用機械車を営業線として初めて開発した。



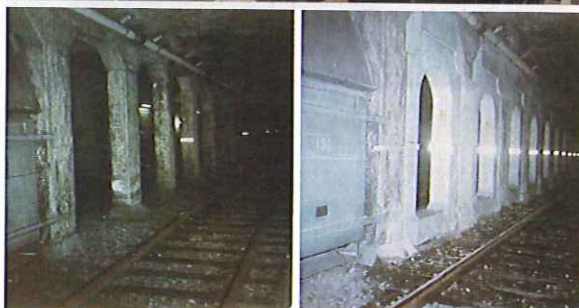
2. 建設及び維持管理の動向

■補修・補強の事例(④中柱補強工事)

中柱部のひび割れ、中柱上下ハンチ部における不良コンクリートが多く発見され、中柱部を中心に上床板の沈下が発生していたことから、中柱補強工事を実施した事例。

補強構造は、劣化した中柱間の空間を利用しRCの補強枠で補強する構造とした。

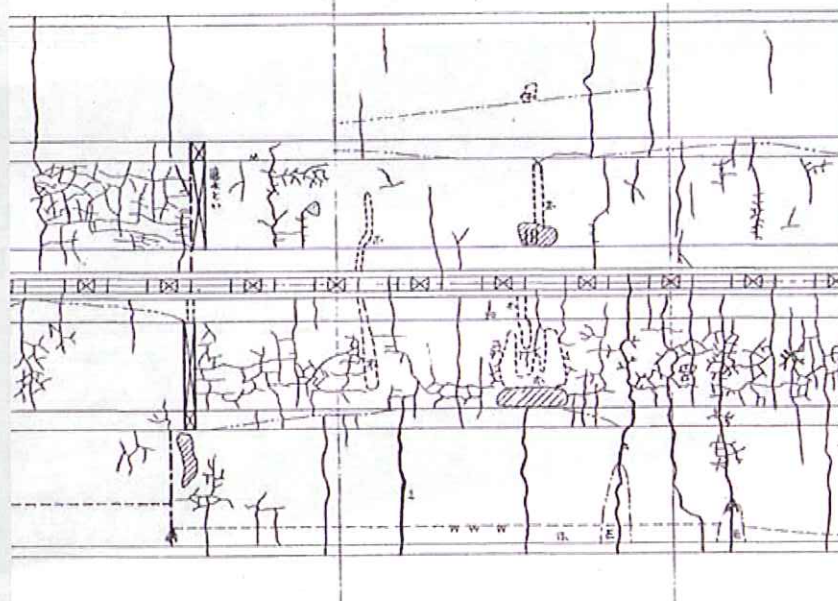
施工については、機械的に補強枠を設置できるように、枠設置機能を有する台車を製作し、その台車にプレキャスト補強枠を載せ、モーターカーで施工箇所まで牽引した。また、補強枠を上下2分割にして現場で接合できるようにした。



3. 自動化・ロボット化・情報化等の動向

■トンネル検査車(①目視検査により作成する変状展開図)

検査精度の向上や省力化が課題となる



3. 自動化・ロボット化・情報化等の動向

■トンネル検査車(②アクティブ赤外線法)



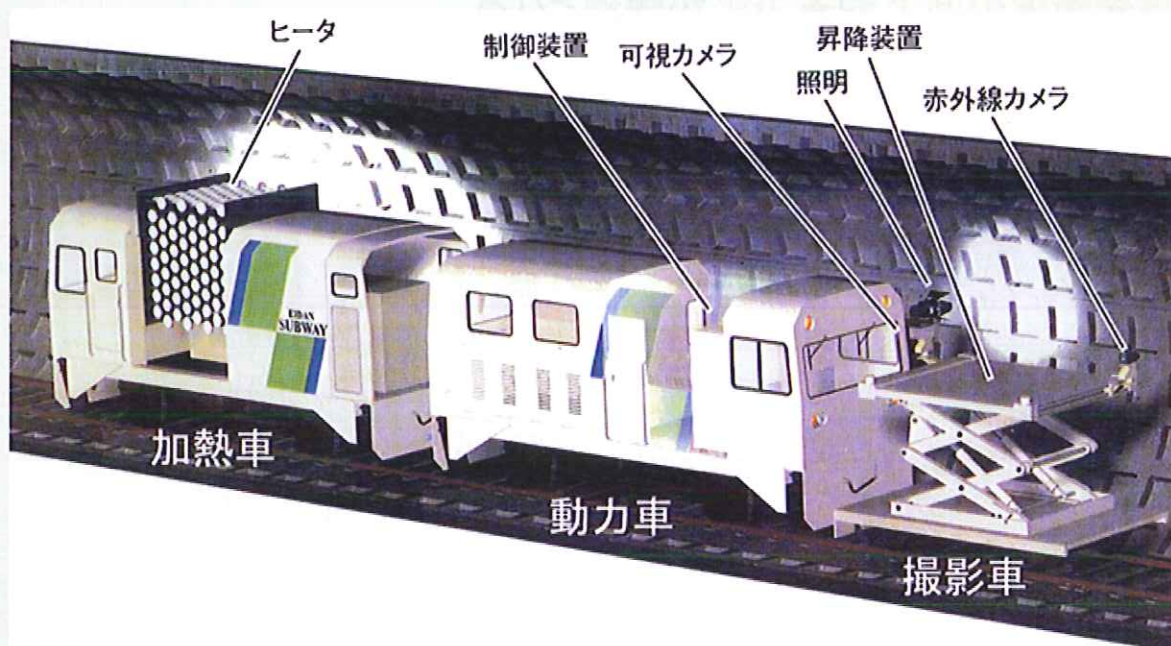
可視画像による変状展開図の作成と
赤外線を利用した剥離検知を目的とする

剥離検知の概要



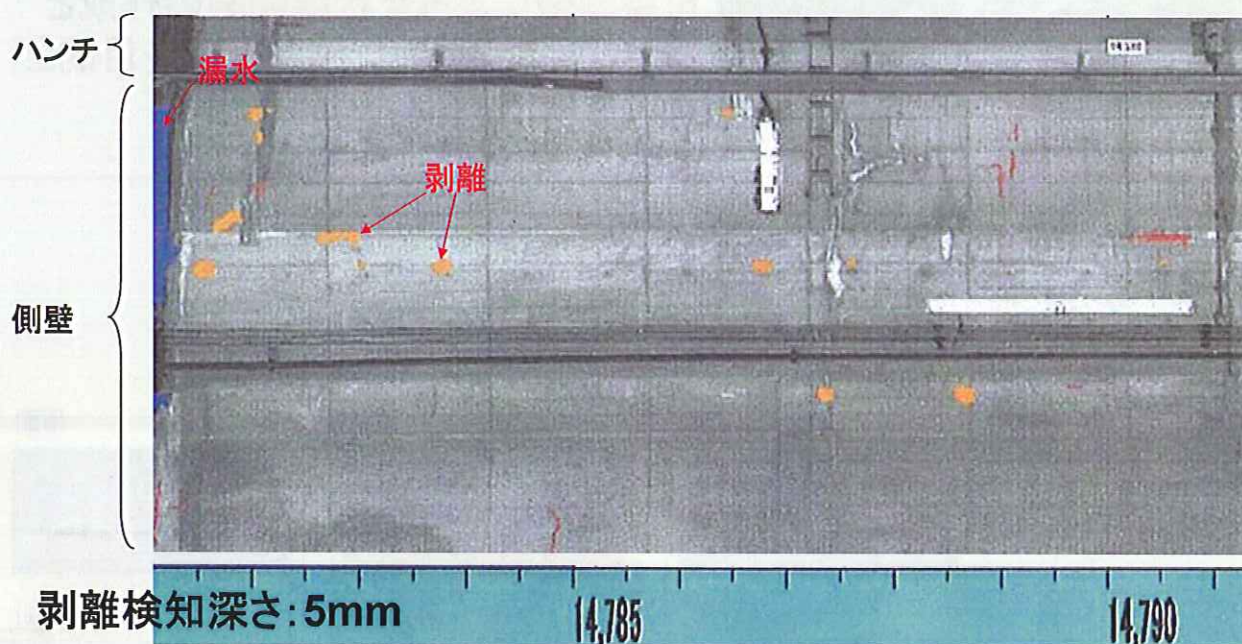
3. 自動化・ロボット化・情報化等の動向

■トンネル検査車(②アクティブ赤外線法(続き))



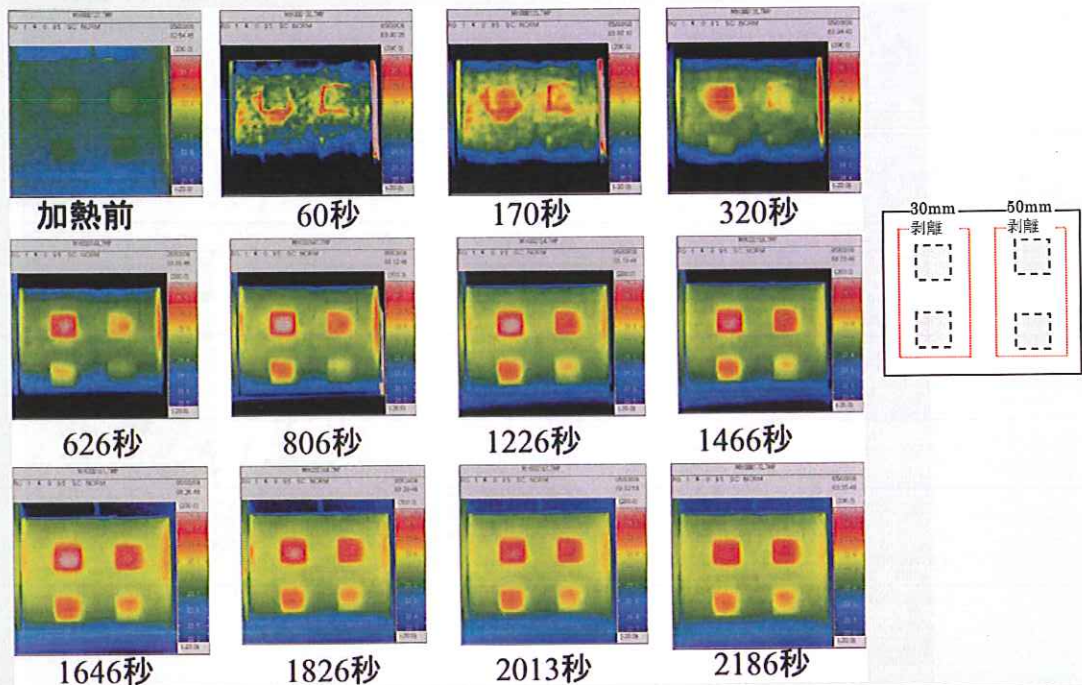
3. 自動化・ロボット化・情報化等の動向

■トンネル検査車(③赤外線画像と可視画像の重ね合わせ)



3. 自動化・ロボット化・情報化等の動向

■トンネル検査車(④剥離検知深さ50mmの研究(続き))

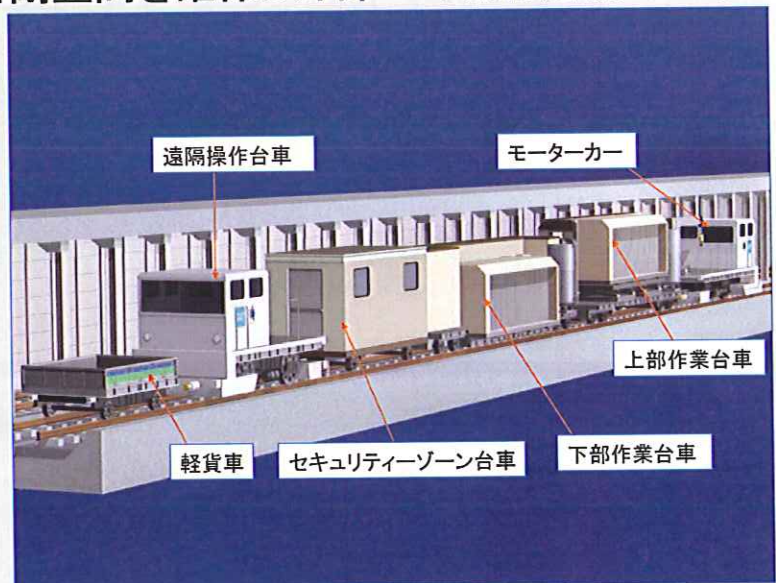


Tokyo Metro Co.,Ltd

3. 自動化・ロボット化・情報化等の動向

■石綿除去装置の概要

専用で開発した保守作業車を使用し、トンネル側壁部に吸音目的で吹付けてある石綿を、密閉空間を確保し外部への飛散を防止しながら除去するものである



Tokyo Metro Co.,Ltd

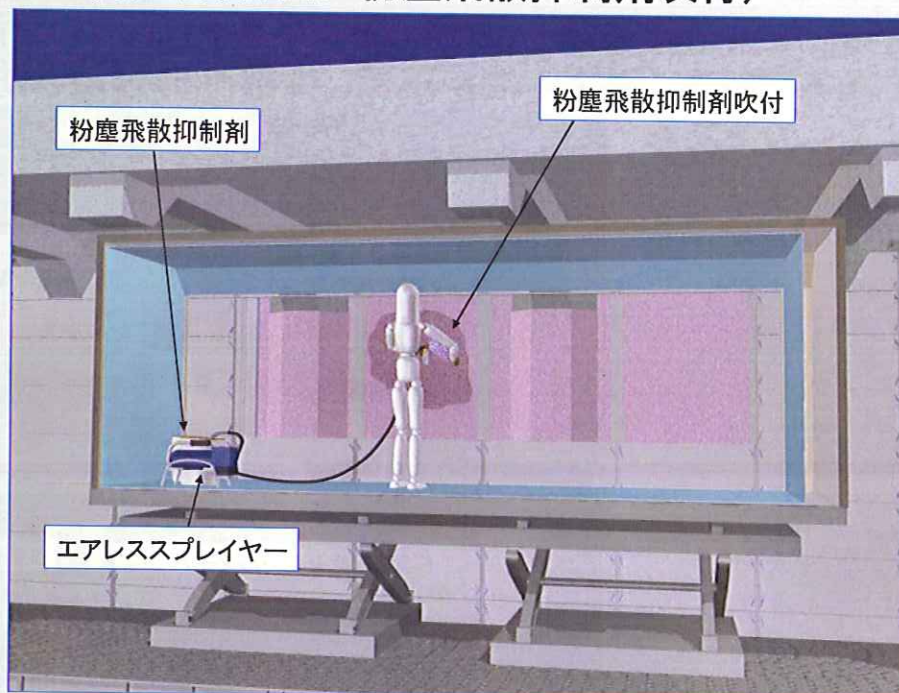
3. 自動化・ロボット化・情報化等の動向

■石綿除去装置(セキュリティーゾーン台車(入場時)図)



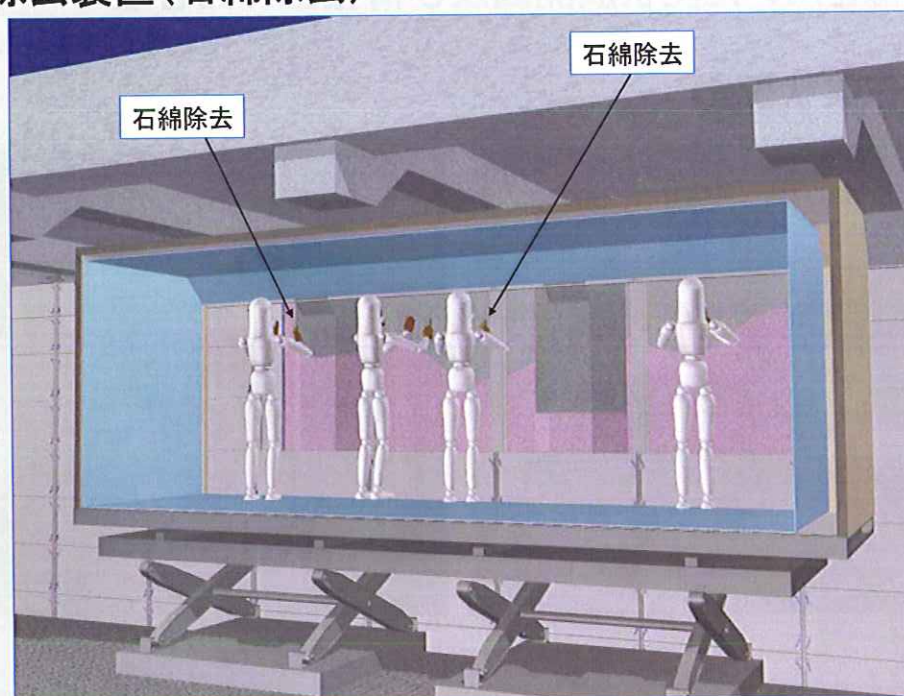
3. 自動化・ロボット化・情報化等の動向

■石綿除去装置(石綿面に粉塵飛散抑制剤吹付)



3. 自動化・ロボット化・情報化等の動向

■石綿除去装置(石綿除去)



 Tokyo Metro Co.,Ltd

4. 今後の課題と展望

■可視画像を用いた変状展開図及び情報の一元管理

検査精度の向上や省力化を目的とし、可視画像による変状展開図の作成を検討中。さらに維持管理に寄与する資料を一元管理するためのデータベース化も視野に入れている。

現状	可視画像導入のメリット(一部問題点)
“目視＋スケッチ”のため現場での変状をそのままトレースできない。	現状をそのまま把握できるので、正確なトレースが可能。
紙ベースの変状展開図の場合、進展把握や変状等記録の更新が難しい。	記録の更新が可能。進展性の把握の是非については検討中
維持管理に寄与するデータ(施工時の条件、環境条件、材料の状態、変状、健全度判定結果)が散見しており、検査から措置までの一連の流れにおいて手間がかかる	変状展開図中に必要なデータをストックし、一元管理を行うことで、作業の手間を省くことが可能

 Tokyo Metro Co.,Ltd

4. 今後の課題と展望

■可視画像を用いた変状展開図及び情報の一元管理

試行時の作業状況①



4. 今後の課題と展望

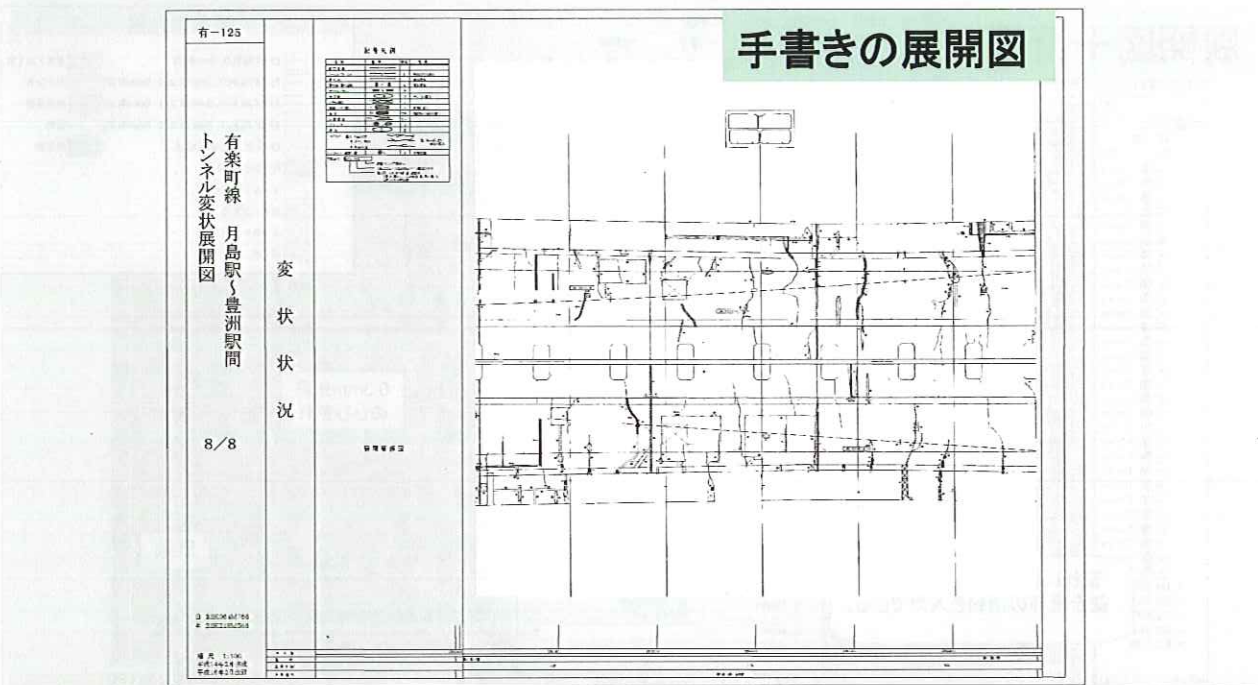
■可視画像を用いた変状展開図及び情報の一元管理

試行時の作業状況②



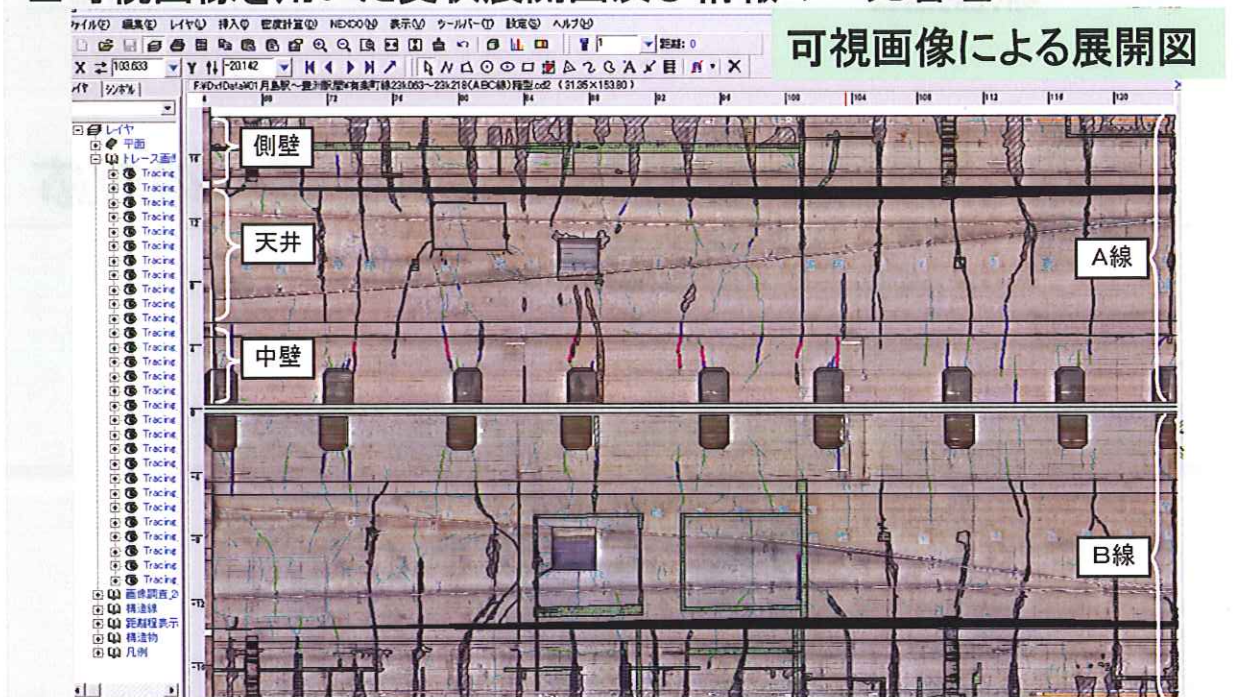
4. 今後の課題と展望

■可視画像を用いた変状展開図及び情報の一元管理



4. 今後の課題と展望

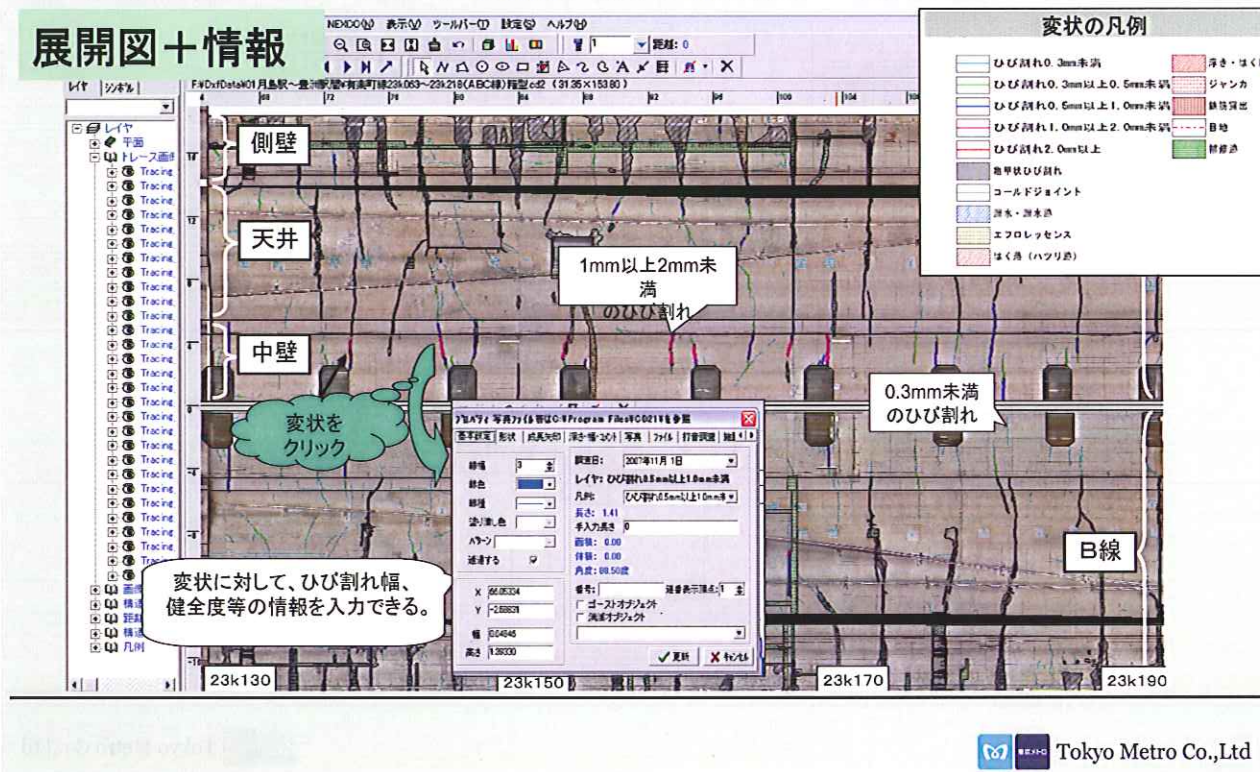
■可視画像を用いた変状展開図及び情報の一元管理



4. 今後の課題と展望

■可視画像を用いた変状展開図及び情報の一元管理

展開図+情報



2008年度 土木学会全国大会(仙台)
研究討論会

これからの社会基盤整備と維持管理への対応 ～通信基盤設備～

平成20年9月11日
日本電信電話株式会社
アクセササービスシステム研究所
シビルシステムプロジェクト

飯田 敏昭

目 次

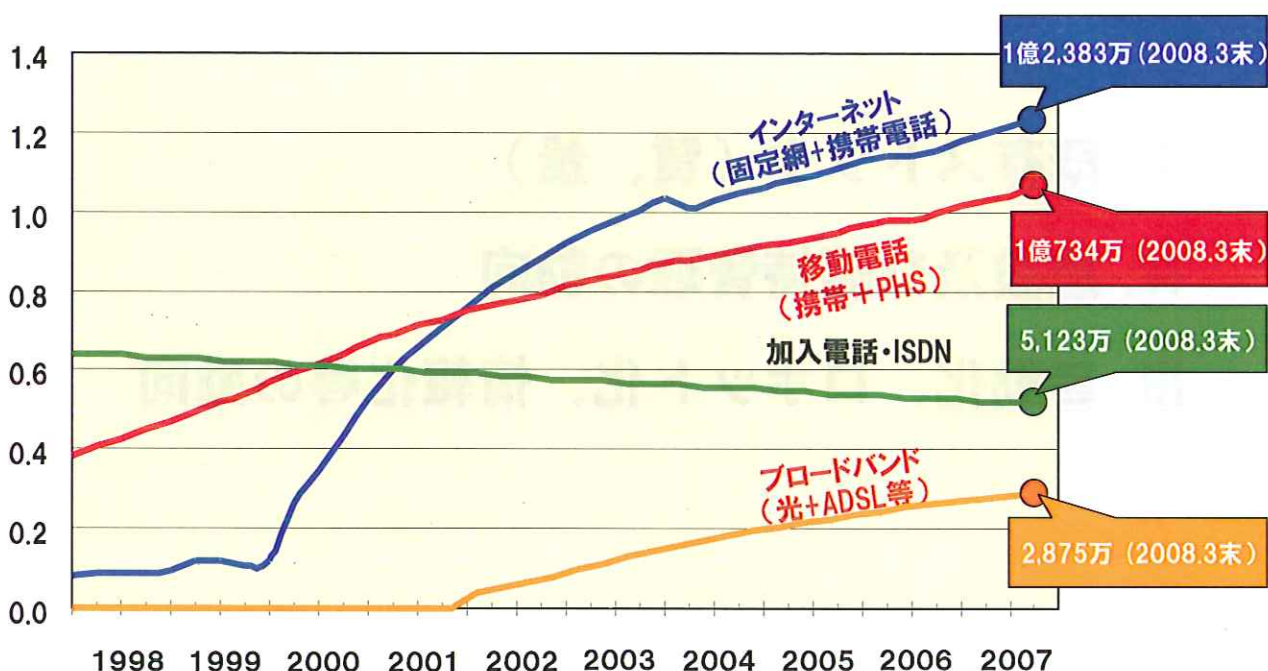
I. 既存ストック（質、量）

II. 建設及び維持管理の動向

III. 自動化、ロボット化、情報化等の動向

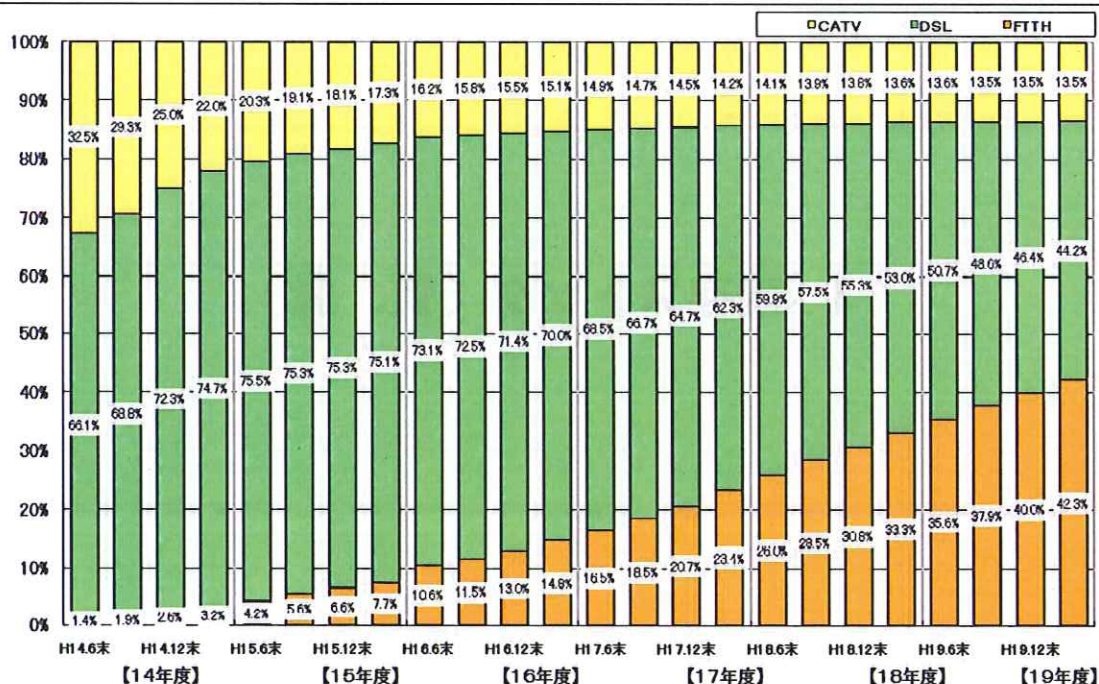
I. 既存ストック（質、量）

日本の情報通信サービス加入者の推移



出典: 総務省、モバイルコンピューティング推進コンソーシアム、財団法人ニューメディア開発協会資料 等
シェアはNTT決算発表数値からの推測値

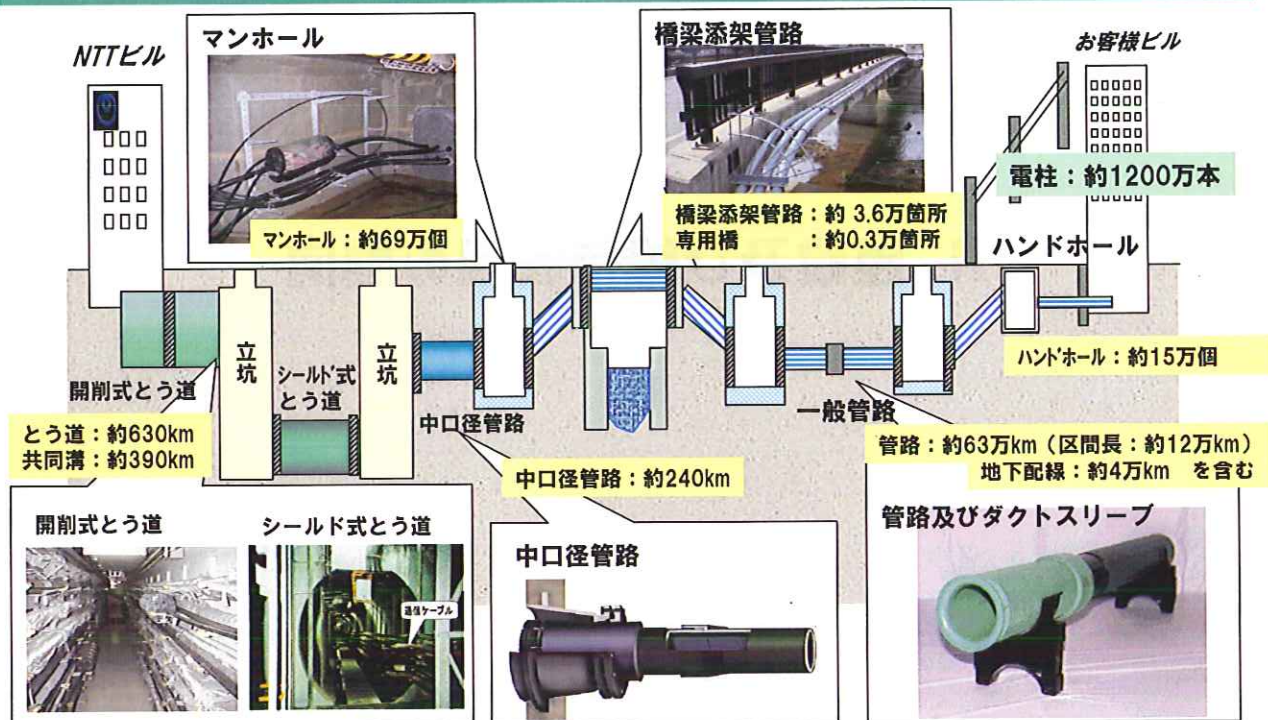
ブロードバンドのサービス別比率



(注) 平成16年6月末分より電気通信事業報告規則の規定により報告を受けた契約数を、それ以前は事業者から任意で報告を受けた契約数を集計。

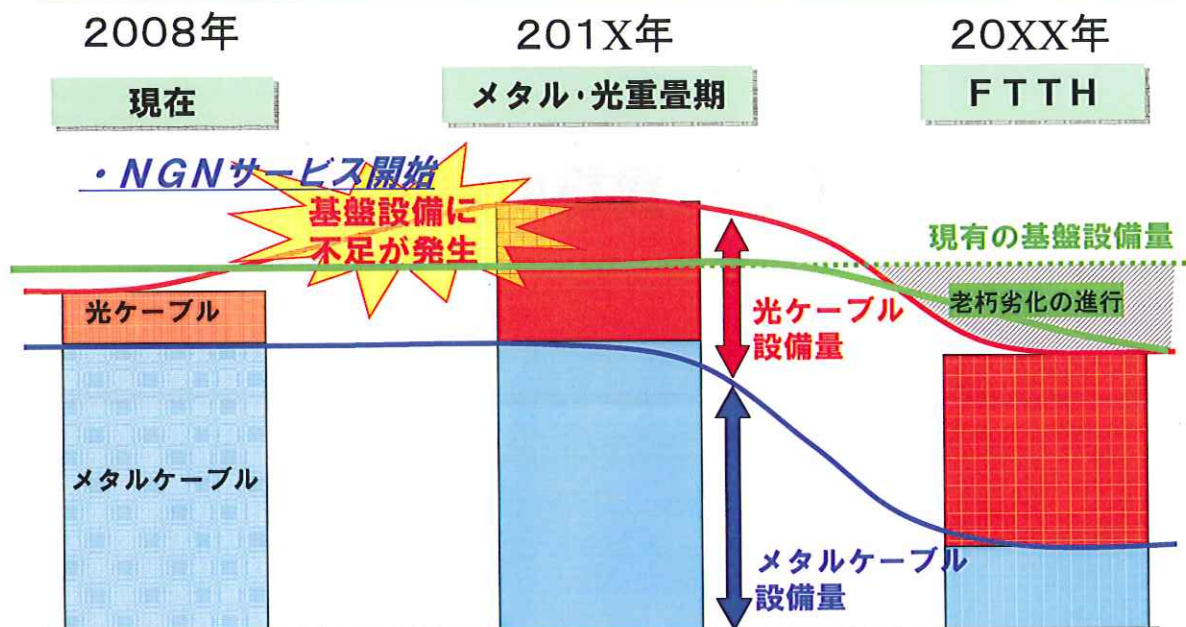
電気通信基盤設備

NTTのサービスを支える基盤設備は、管路設備63万km、とう道設備（通信用トンネル）600km等全国に膨大な設備を抱えている。



基盤設備を取巻く環境

光ケーブルによるサービス拡充期においては、メタルケーブルの縮退が進まず、光とメタルが重畳し、一過的に設備容量を圧迫することが想定される
また、設備の老朽劣化による設備容量の低下も懸念される



II. 建設及び維持管理の動向

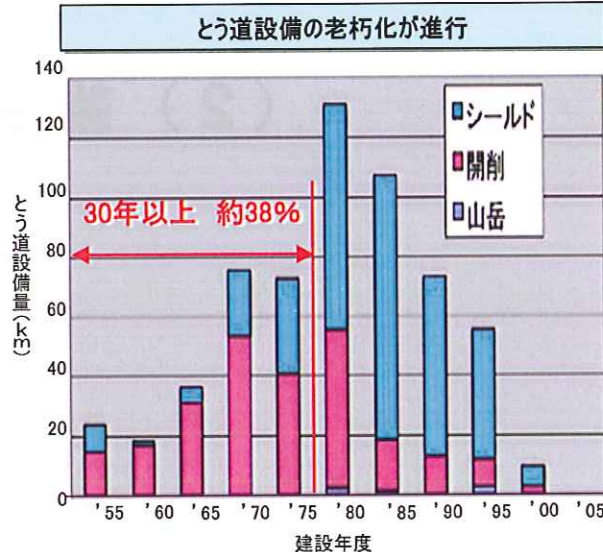
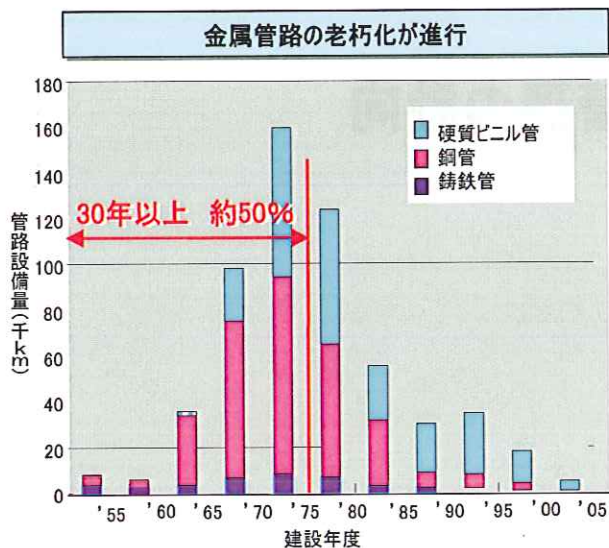
(1) 建設の動向

設備建設の推移と老朽化の進展

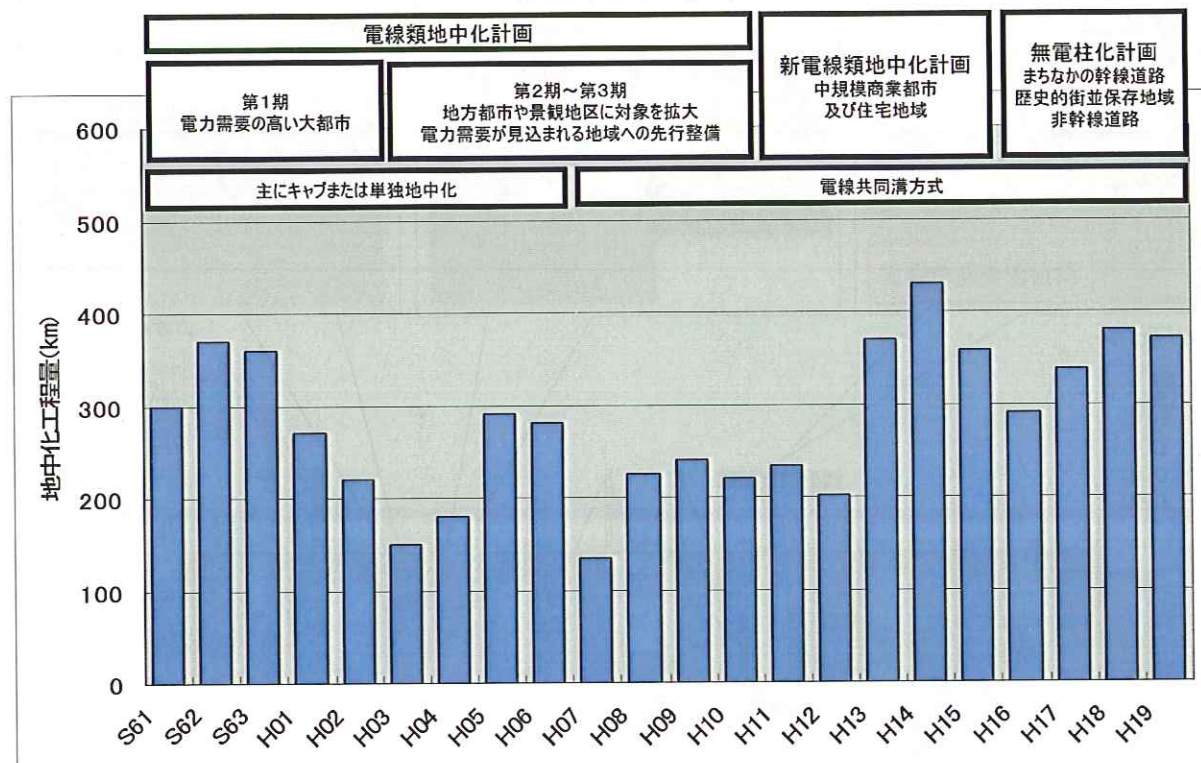
電話大量架設時代に構築された膨大な設備が老朽化し、機能劣化していることが想定されることから、対応が必要。

◆管路設備 管路延長63万km 塩化ビニル管;4割
金属管 ;6割

◆とう道設備 とう道延長600km 開削式とう道;4割
シールドとう道;6割

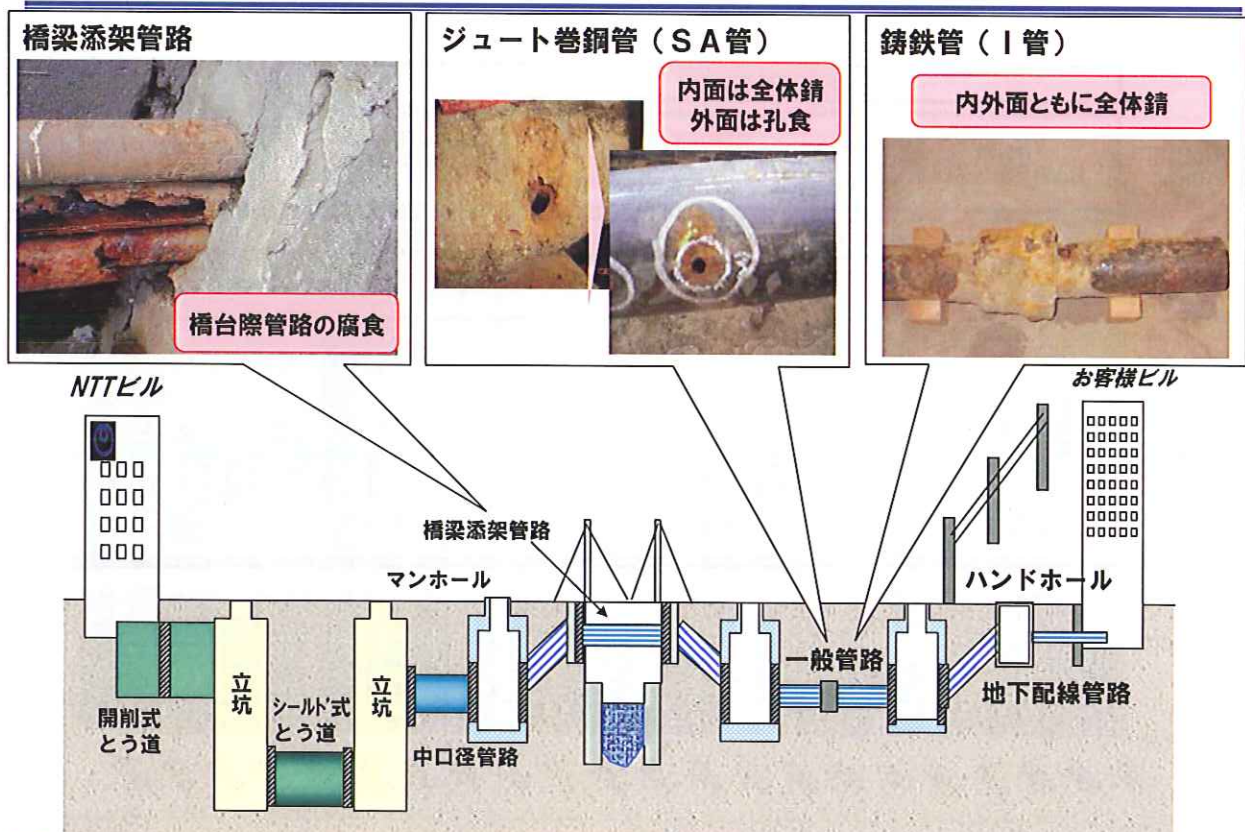


電線類地中化整備工程



(2) 維持管理の動向

基盤設備の老朽化（管路系）



管路点検と補修技術

【空管】点検技術



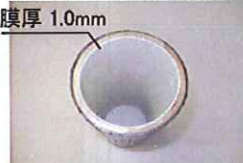
洗浄技術



補修技術

薄膜ライニング(防錆)

膜厚 1.0mm



TMライニング(更生)

膜厚 3.0mm



【ケーブル收容管】



カメラヘッドφ23

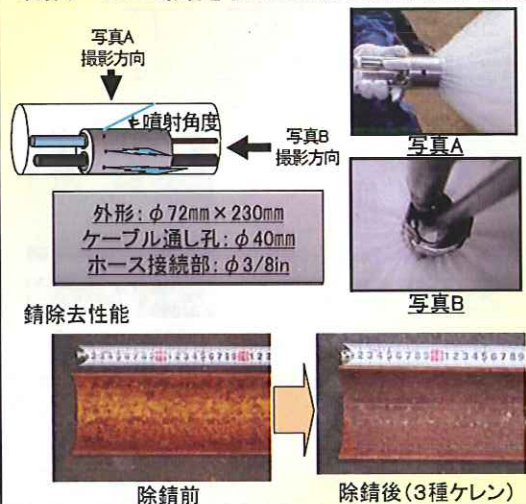
收容管の洗浄・補修技術が無い

ケーブル收容管補修技術



◆ケーブル收容管洗浄技術

收容ケーブルに影響を与えることなく管路全周洗浄(除錆)

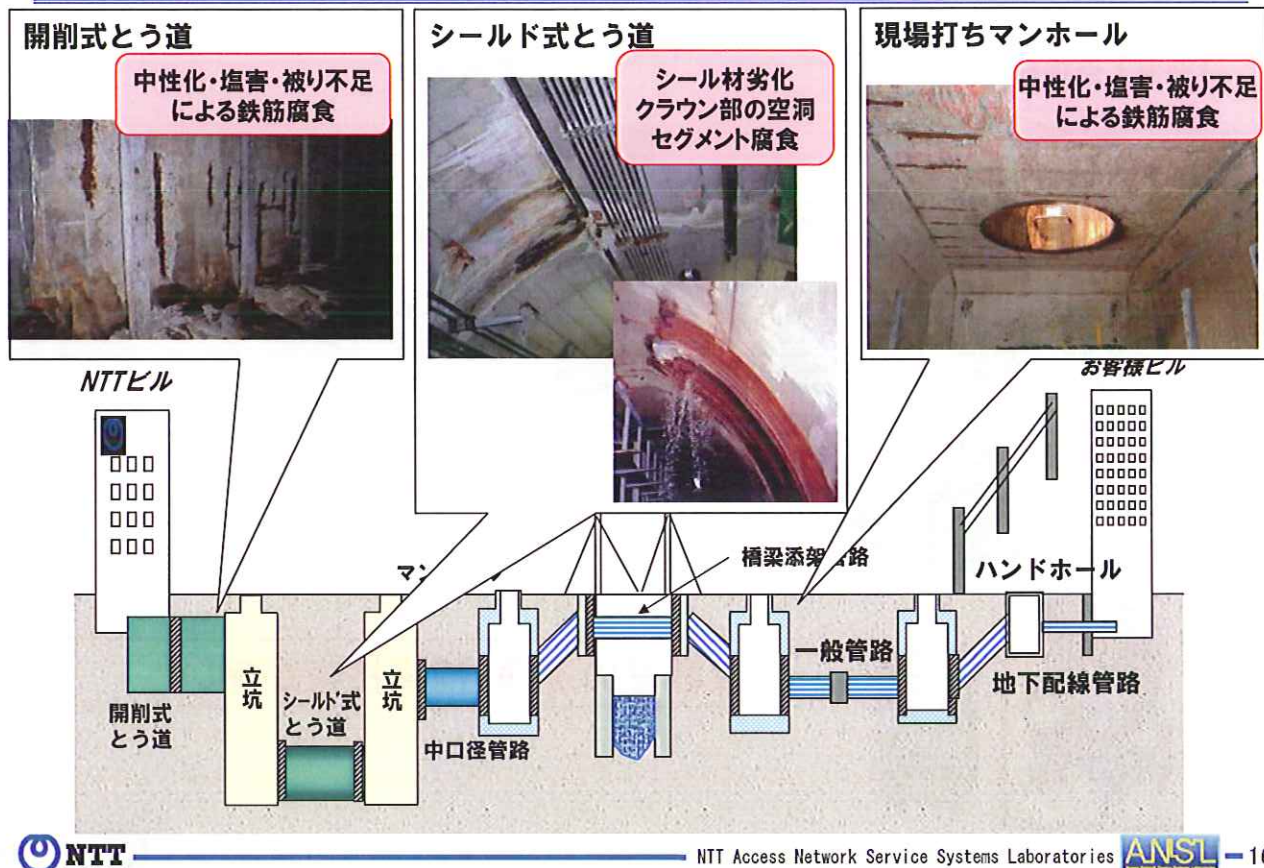


◆ケーブル收容管再生技術

除錆後、管路を永続的に使用するためのライニングを施す

方式概要	概要図
光3000心收容タイプ ケーブルを巻き込みつつ円形に組立てる部材を管路内に引き込む	既設鋼管 ライニング材 既設ケーブル
空間確保タイプ ケーブルをシート状ライニング材で包み込み、加熱成形する	既設鋼管 ライニング材 既設ケーブル ※引き込み後内部を加圧・加熱し、既設管路へ密着させる。

基盤設備の老朽化（コンクリート系）



点検診断技術

【電磁波レーダー】

送信アンテナ 受信アンテナ

電磁波探査の概念図

測定状況

探査画像の例(鉄筋探査の場合)

<測定項目>

- 鉄筋の配筋状態
- コンクリートの剥離
- 空洞位置

<利用シーン>

- 既設設備の剥離・空洞探査
- 既設設備の配筋状態の確認
- 竣工時の配筋状態の検査

【超音波法】

バッテリー 本体装置 プローブ

平均化処理と周波数フィルタ

<測定項目>

- ひび割れ深さ
- 剥離空洞箇所とその深さ
- コンクリート厚さ
- 表面鉄筋のかぶり深さ
- 二重鉄筋のかぶり深さ

<利用シーン>

- 既設設備の内部劣化の診断
- 既設設備の部材寸法の確認
- 竣工時の部材寸法の確認

※鉄筋腐食と圧縮強度推定技術を開発中

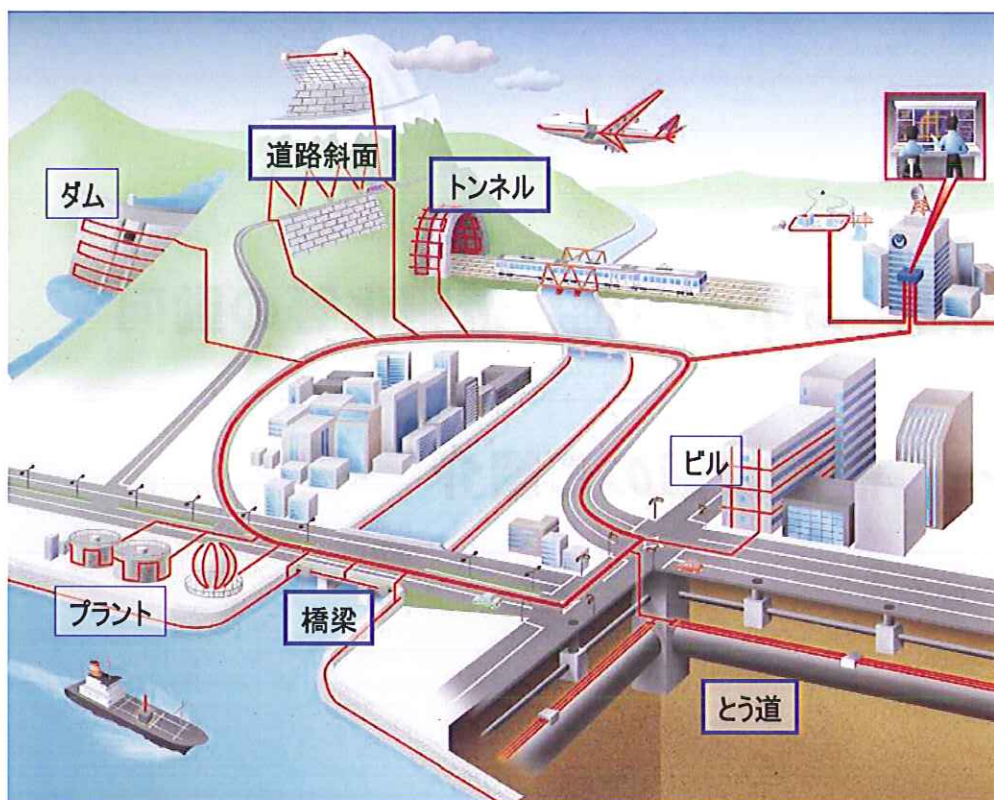
Ⅲ. 自動化、ロボット化、情報化等の動向

～ 個別技術のご紹介 ～

点検診断技術の高度化

	既存技術	高度化技術
管路	パイプカメラ 	定量化 ➤ 管路残存寿命予測技術 ・パイプカメラ映像の画像処理技術 ・管路肉厚計測技術
マンホール とう道	目視／打音 破壊検査 	非破壊検査 ➤ 超音波法による内部劣化診断 ○コンクリートのひび割れ、内部劣化の検査 ◎鉄筋腐食有無の検査 ➤ 電磁波法による潜在劣化診断 ○鉄筋の配筋検査、高精度かぶり測定 ◎劣化要因分析(塩害、中性化)
コンク リート柱	目視(地上部) ポールテスト(地 中部)	効率化 ➤ デジタルカメラによるひび割れ診断 ・デジタルカメラ＋ひび割れ自動認識ソフト ➤ 衝撃振動モードによる鉄筋破断診断

光ファイバによる構造物モニタリング技術



利用シーン

- とう道
軸方向の変位・変形
- 道路斜面
地すべり等
斜面の変状
- 河川堤防
堤防変形
- 橋梁
橋桁の変位
- プラント
地下設備建設
時の杭の変状
- ビル
鉄筋の変形
- ダム
変形・変状

基盤設備DB技術

通信基盤設備の維持管理に必要な各種の膨大なデータを効率よく運用するための、格納・検索・インターフェイス等のマネジメント技術

■ ユーザインタフェース技術

屋外及び地下に設置されている通信基盤設備データの効率的な収集・蓄積

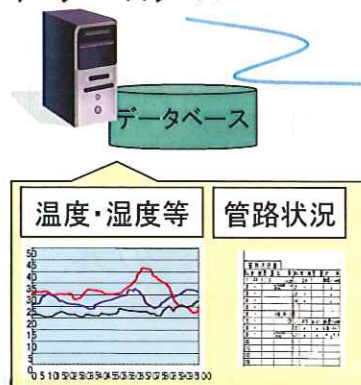
- データ収集マネジメント
- 無人モニタリング
- ワイヤレス通信

■ データベース技術

通信基盤設備のデータ(特徴: 永久構造物、公道占用)の管理が容易なデータベース構造の実装化

- 履歴データの長期間管理
- 管理データの追加変更に柔軟な対応

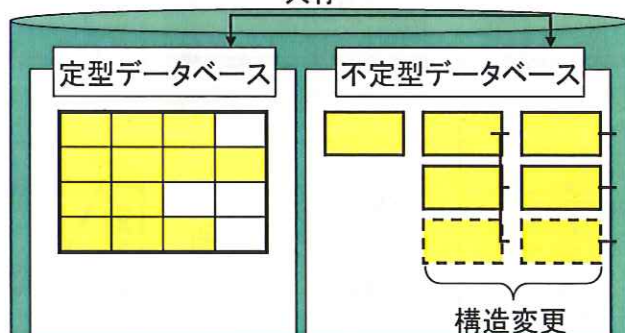
データベースサーバ



携帯端末



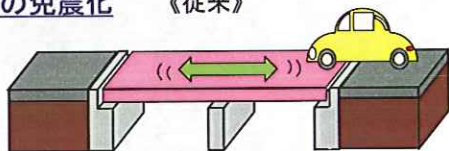
＜データベースアーキテクチャ＞
共存



免震橋添架管路設備の耐震技術

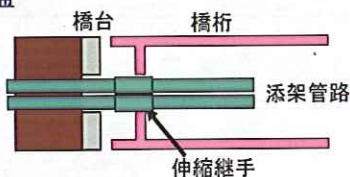
道路橋の免震化構造の普及に伴う、橋梁添架設備の損傷および通信サービスへの影響に対する橋軸直角方向への大変位対策技術

□橋梁の免震化 《従来》

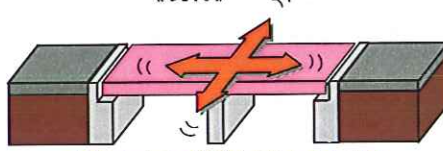


・橋軸方向のみに振動

□添架設備

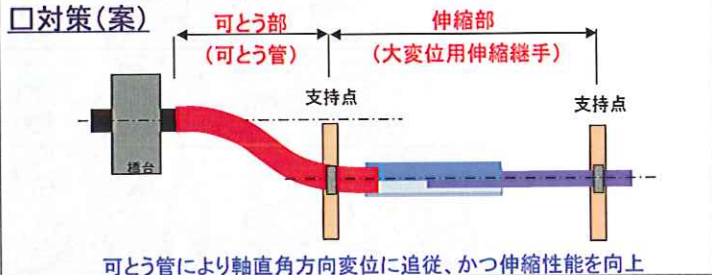


《現行》



・橋軸方向及び橋軸直角方向に振動
・水平360°に大きな変位が発生

□対策(案)



従来の伸縮継手では、免震橋の振動に追従できず損傷



耐震性評価シミュレーション技術

近い将来に発生が予測されている大地震に対する、地下ケーブル等の被災率をシミュレーションすることで設備の弱点箇所を効果的に評価する技術

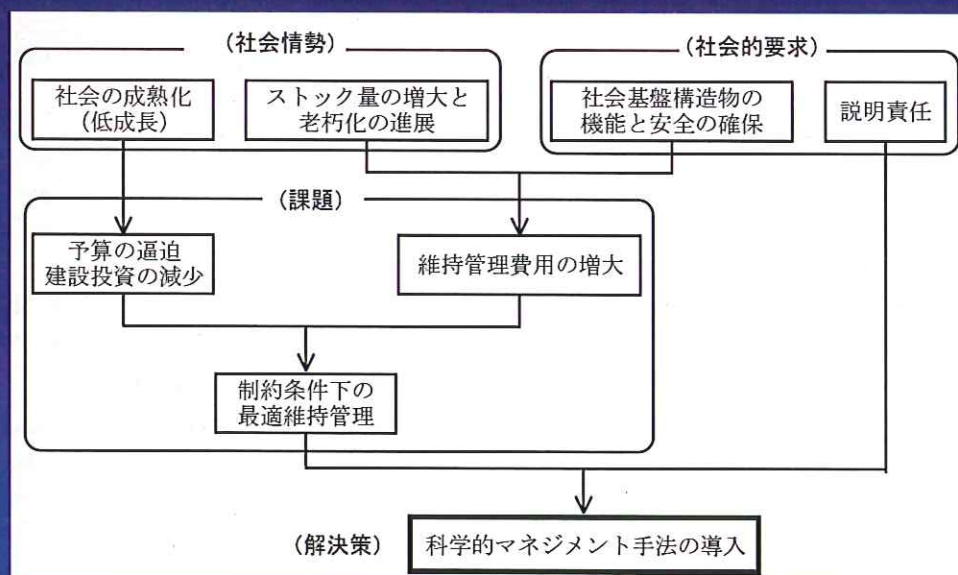


話題提供-7 建設

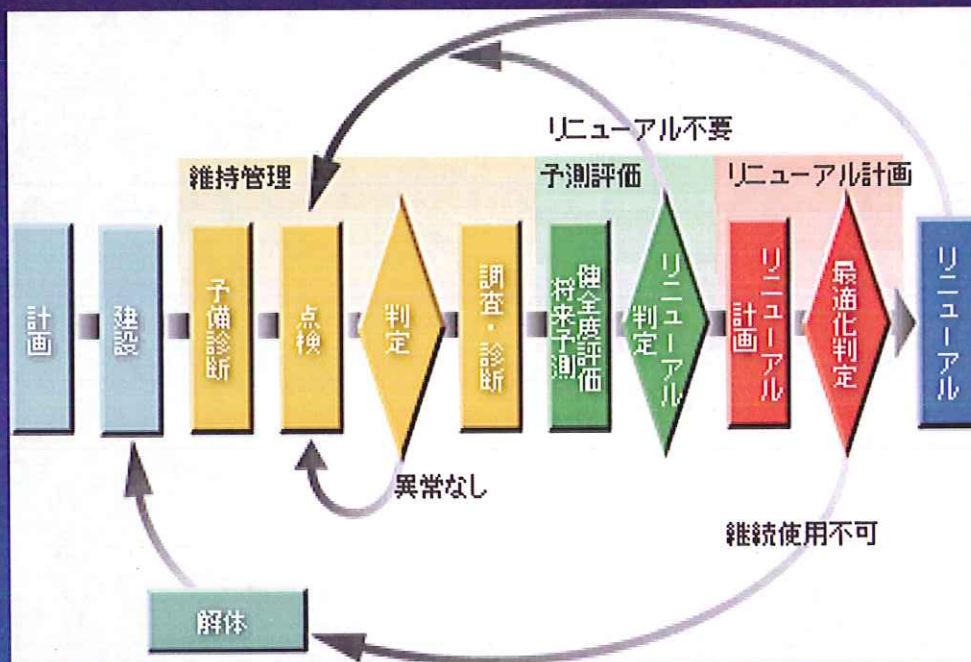
「維持管理における課題と展望」 アセットマネジメントへの取り組み

大成建設(株)
亀村 勝美

取り組みの背景

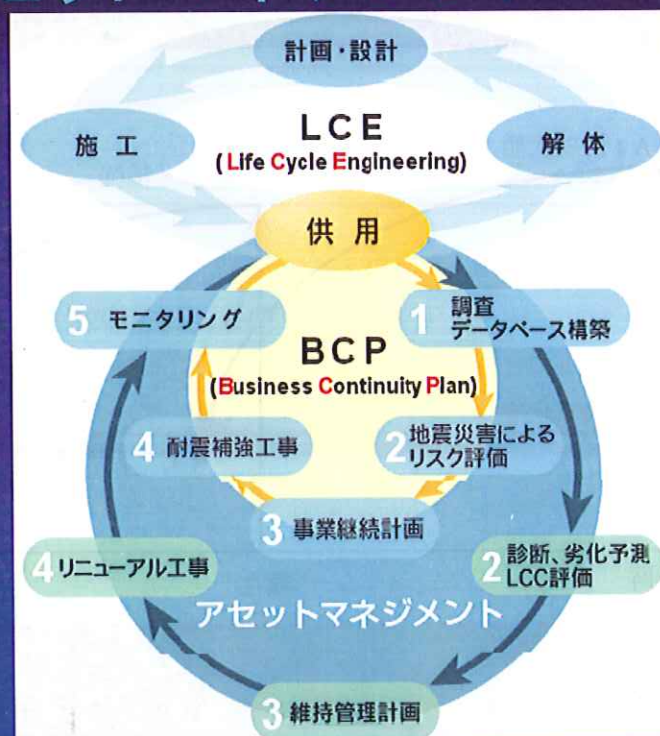


アセットマネジメント



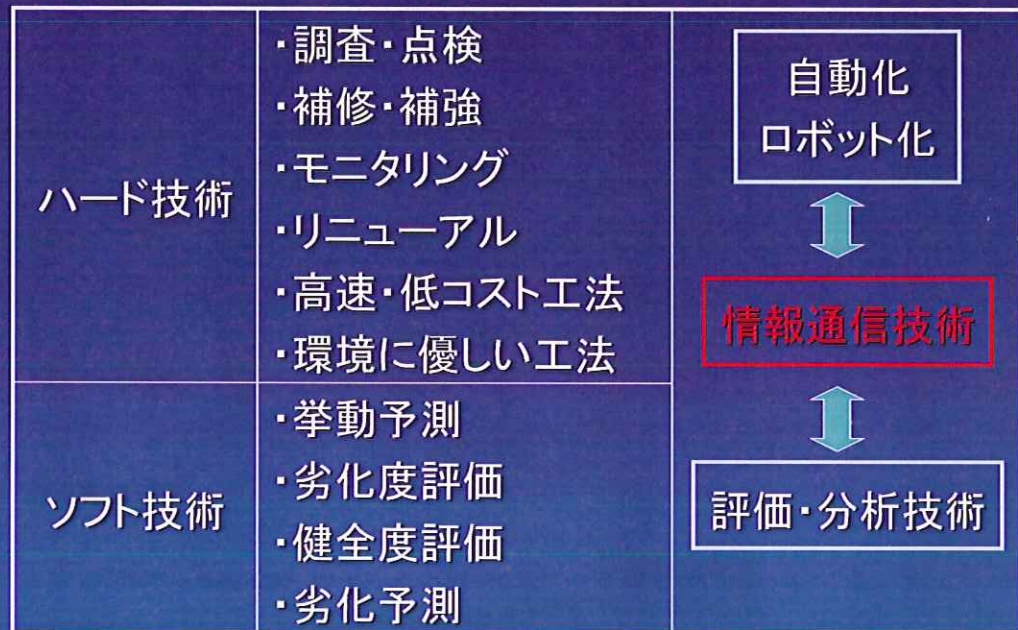
インフラ施設のリニューアル・LCE: 鹿島建設HP

アセットマネジメント

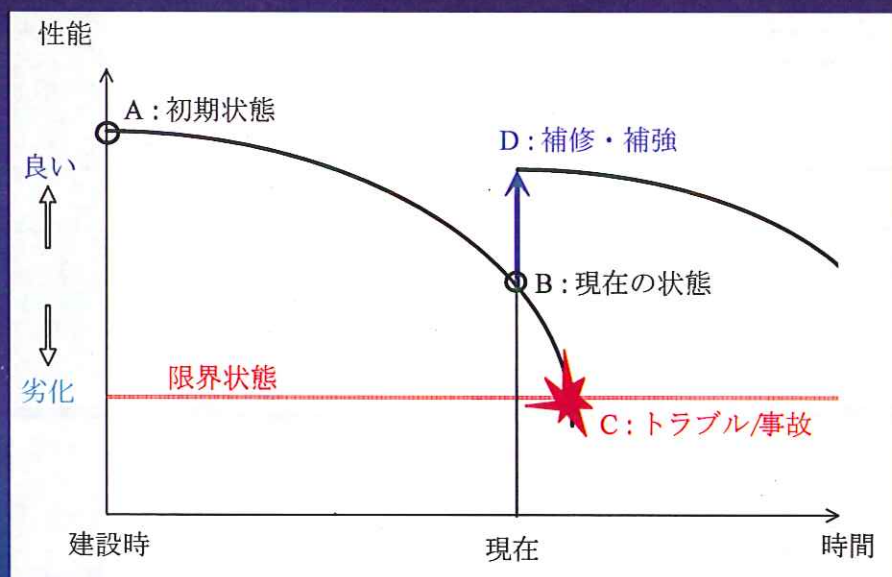


アセットマネジメントとBCP:
清水建設HP

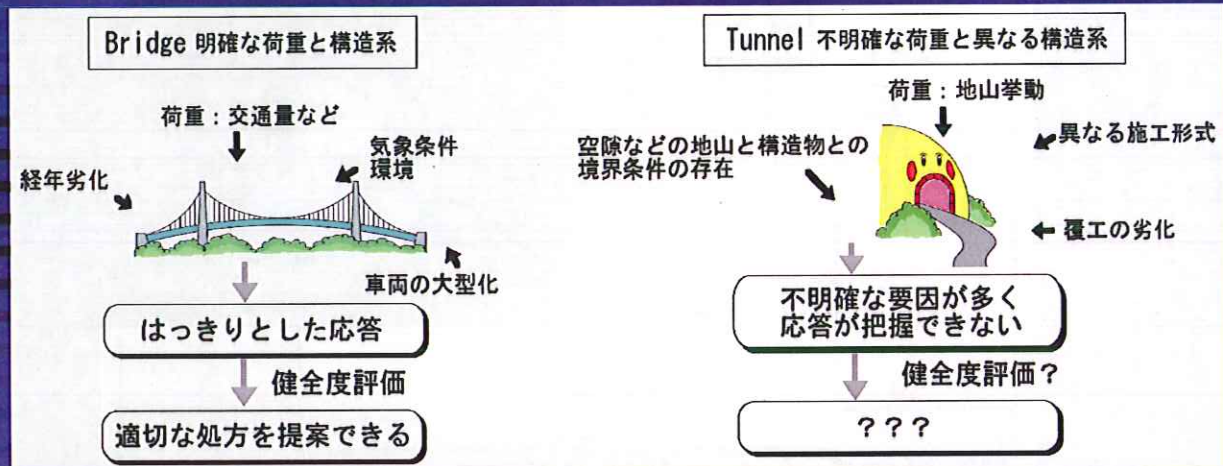
維持管理/建設で求められる技術



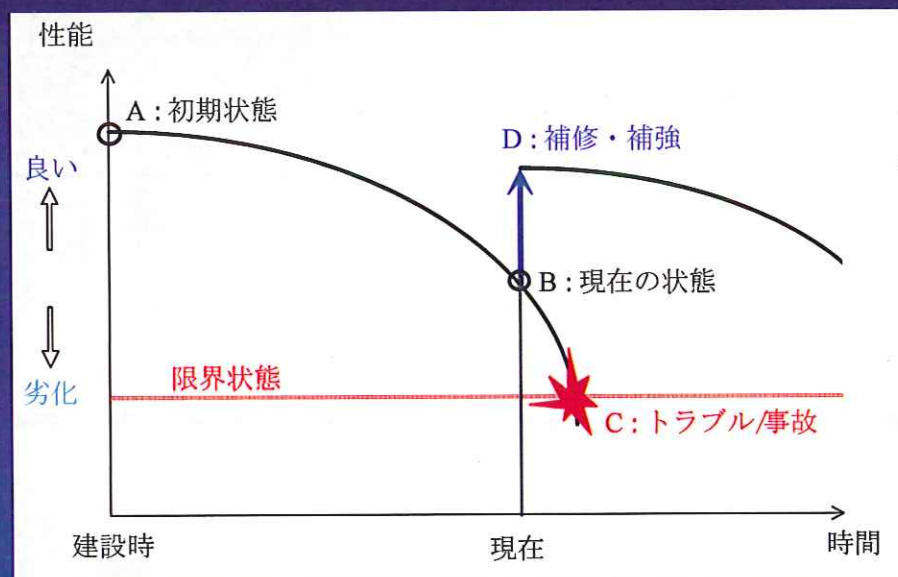
構造物の劣化特性



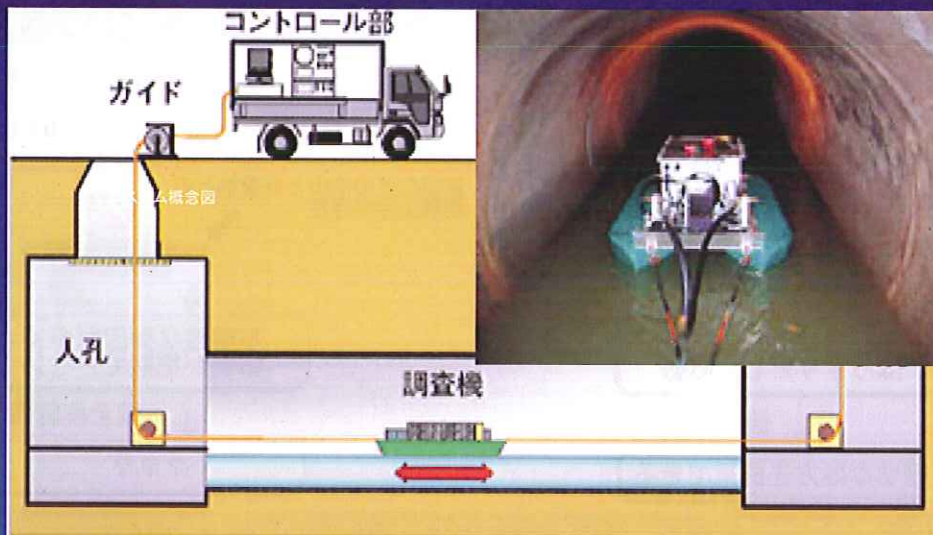
何故地下構造物の維持管理は難しいのか？



構造物の劣化特性



調査点検の実際と問題点



大口径下水道管渠調査診断システム: 鹿島建設HP

調査点検の実際と問題点



下水道の点検事例(オランダ)

調査点検の実際と問題点



点検画像の例(オランダ)

調査点検の実際と問題点

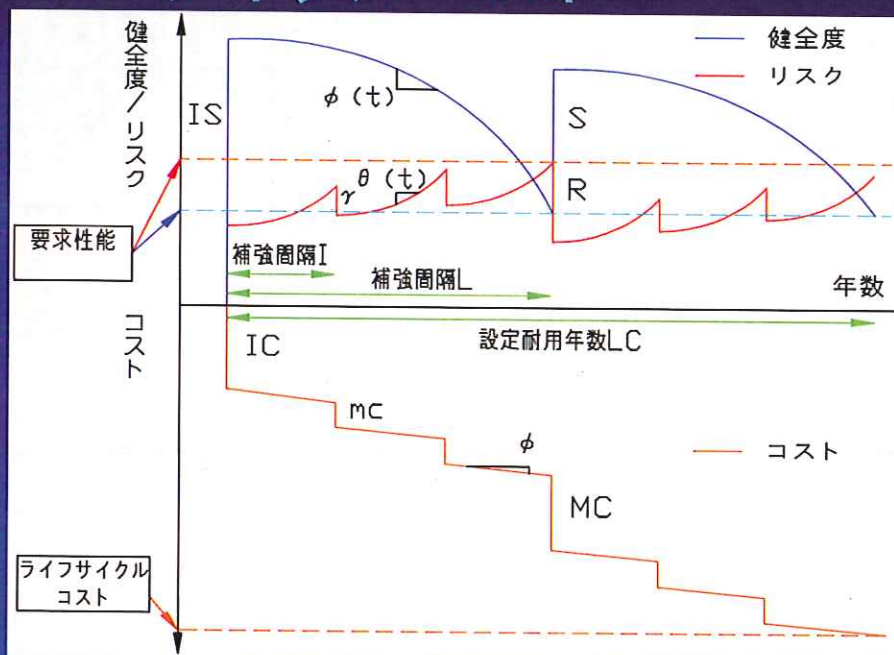


点検画像の例(オランダ)

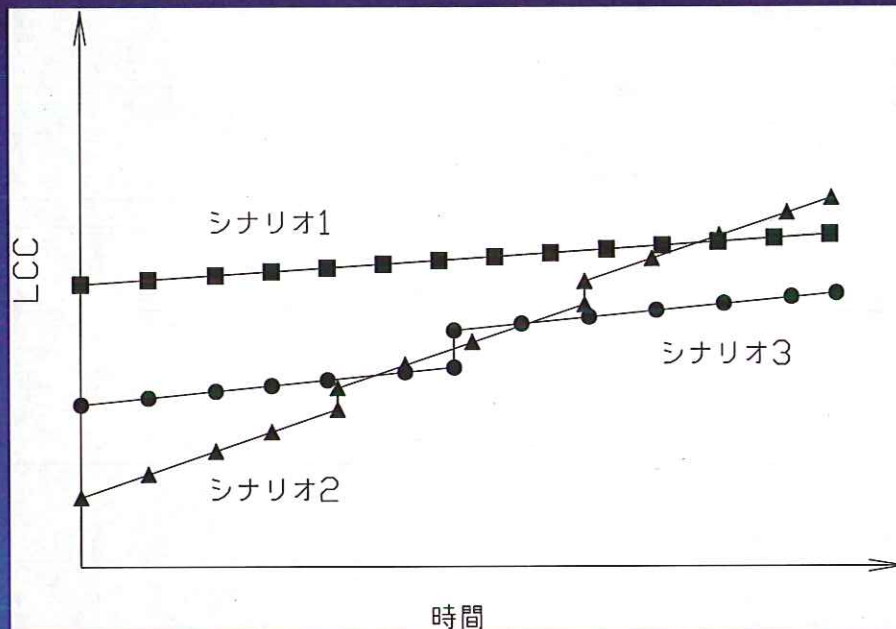
調査点検の実際と問題点

- ・データ取得の自動化、ロボット化
- ・データの分析、評価の自動化、システム化

ライフサイクルコスト



ライフサイクルコスト



土木学会 地下空間研究委員会 維持管理小委員会資料

アセットマネジメント

アセットマネジメントにかかわる課題

a) 設計・施工

- ・ 構造物の寿命設定、維持修繕手法
- ・ 付属施設の寿命設定

b) 点検・健全度評価

- ・ 構造物および付属施設の点検・健全度評価

c) 劣化予測

- ・ 構造物および付属施設の劣化予測

d) 管理

- ・ 構造物および付属施設の維持修繕計画の策定

e) データベース

- ・ 構造物および付属施設のデータ

土木学会 地下空間研究委員会 維持管理小委員会資料

こうならないために



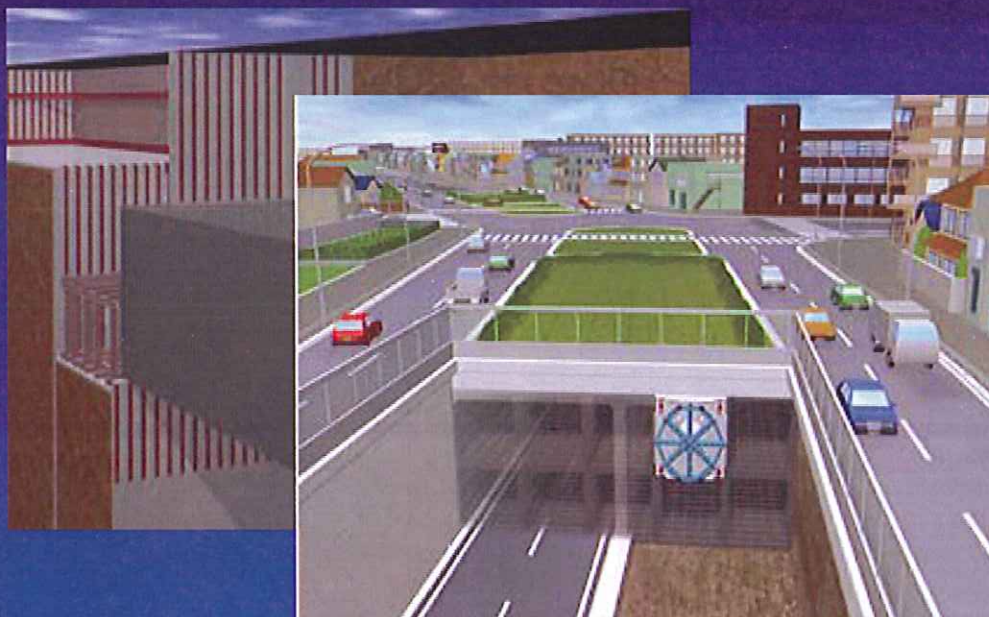
なにをなすべきか？

- ・ 知見の共有化と継承の推進
- ・ 統一的な技術指針、計画的維持管理手法の確立
- ・ 初期投資で整備すべき構造物の耐久性や設計で考慮すべき条件（環境・安全，社会・経済情勢）の明確化
- ・ 構造物の目的、用途に応じた要求性能と各評価指標の設定
- ・ 検査・診断技術の自動化・システム化
- ・ 地下構造物の整備，維持管理方法の技術向上（自動化，ロボット化）
- ・ 定量的な健全度診断技術、劣化予測と評価
- ・ LCCに基づく合理的な補修・補強対策工の選定法
- ・ データの蓄積

できるのか？

どこまでやるのか？

新しい構築技術



ハーモニカ工法：大成建設HP

新しい構築技術



URUP工法(マトリックスシールド):大林組HP

新しい構築技術



三日月工法:清水建設HP