

# 道路構造物における新技術の活用に向けて

～ほめて起そうイノベーション～

令和元年度 国総研講演会  
2019年12月3日



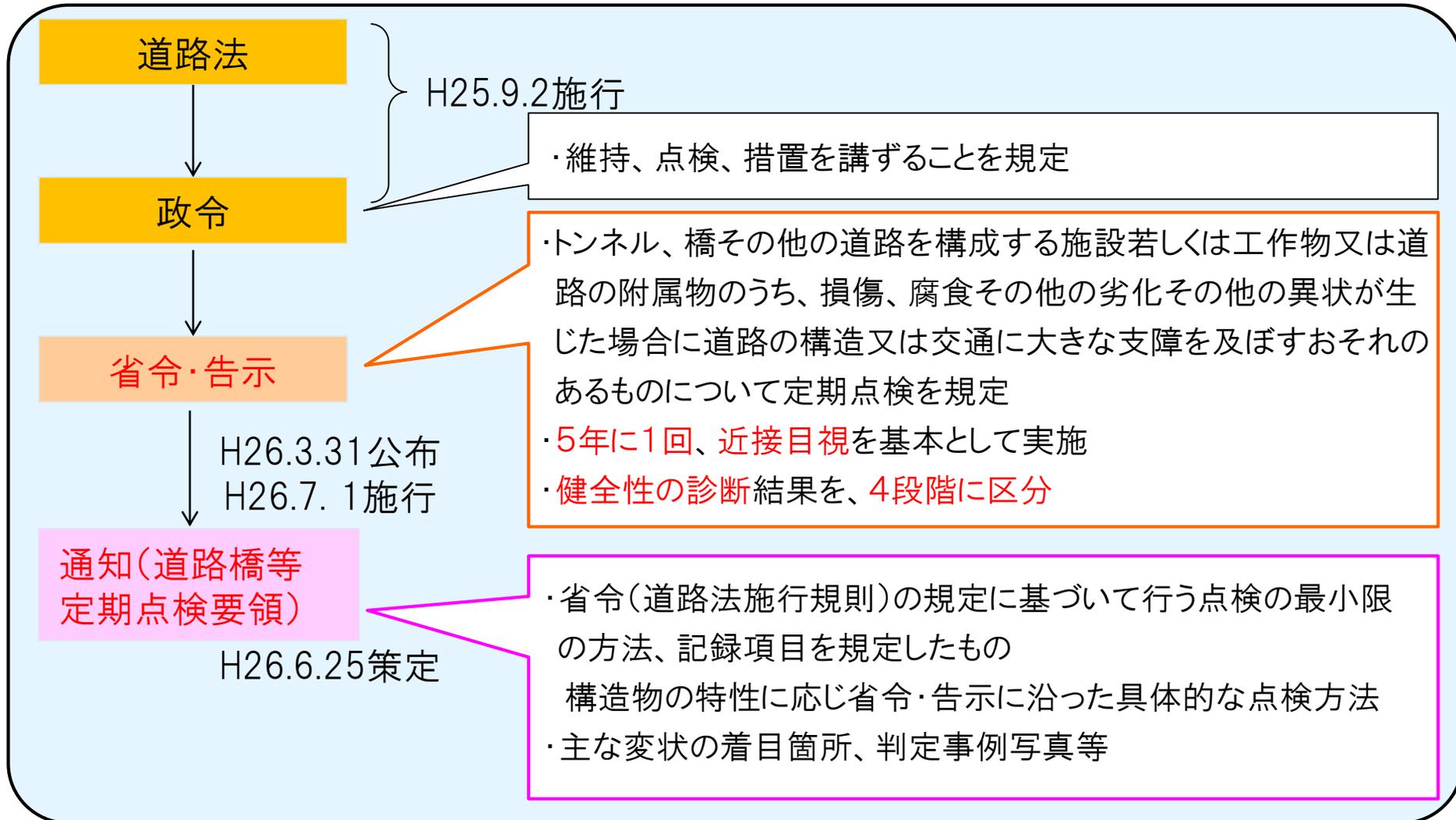
国土技術政策総合研究所  
道路構造物研究部長 木村嘉富

# 高齢化するインフラ（建設後50年を経過する割合）

高度経済成長期以降に整備された道路橋、トンネル、河川、下水道、港湾等について、建設後50年以上経過する施設の割合が加速度的に高くなる。

	2018年3月	2023年3月	2033年3月
道路橋 [約73万橋(橋長2m以上の橋)]	約25%	約39%	約63%
トンネル [約1万1千本]	約20%	約27%	約42%
河川管理施設(水門等) [約1万施設(国管理施設)]	約32%	約42%	約62%
下水道管きよ [総延長:約47万km]	約4%	約8%	約21%
港湾岸壁 [約5千施設(水深-4.5m以深)]	約17%	約32%	約58%

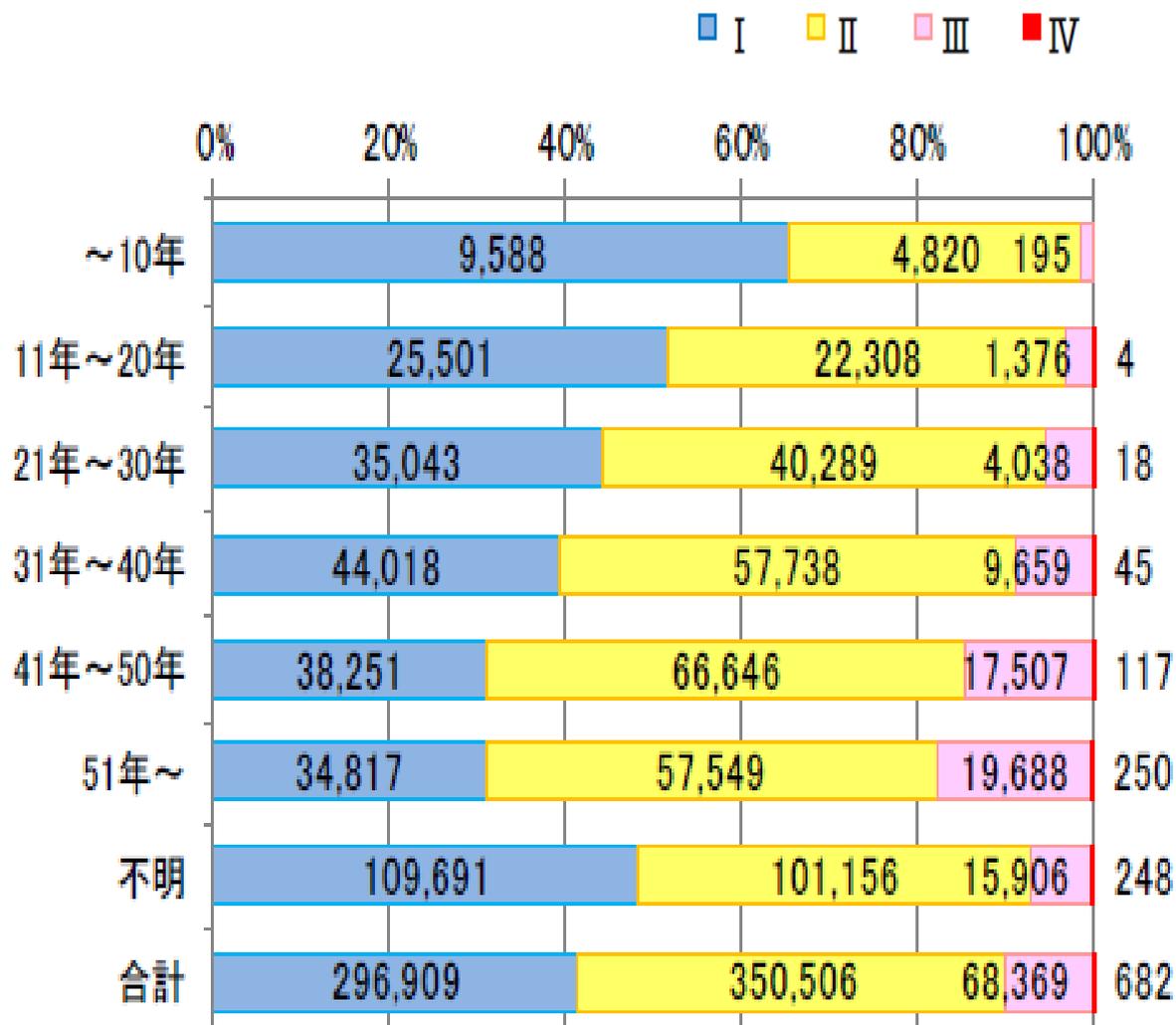
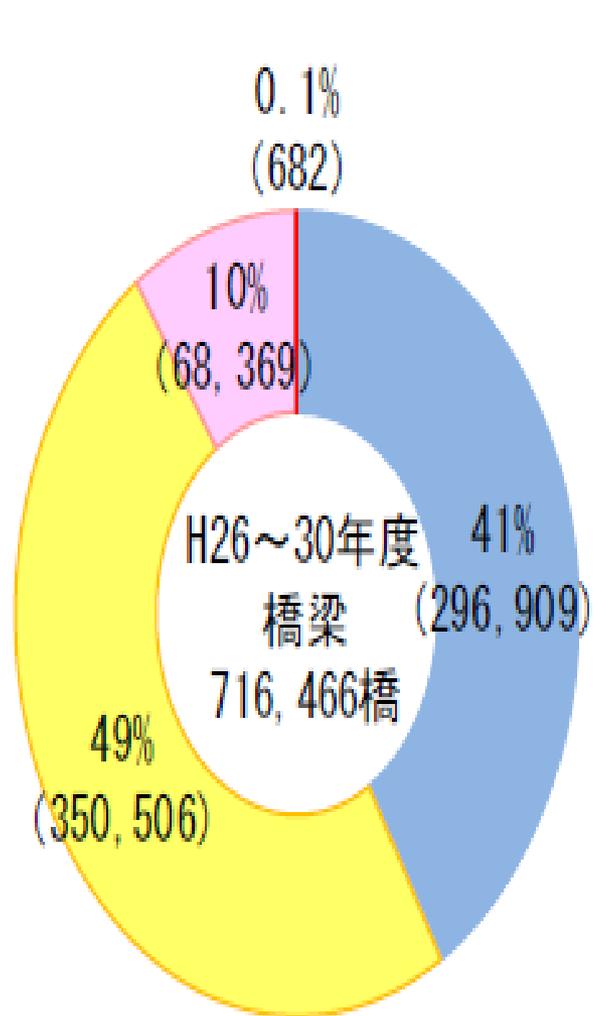
# 維持管理における技術基準の体系



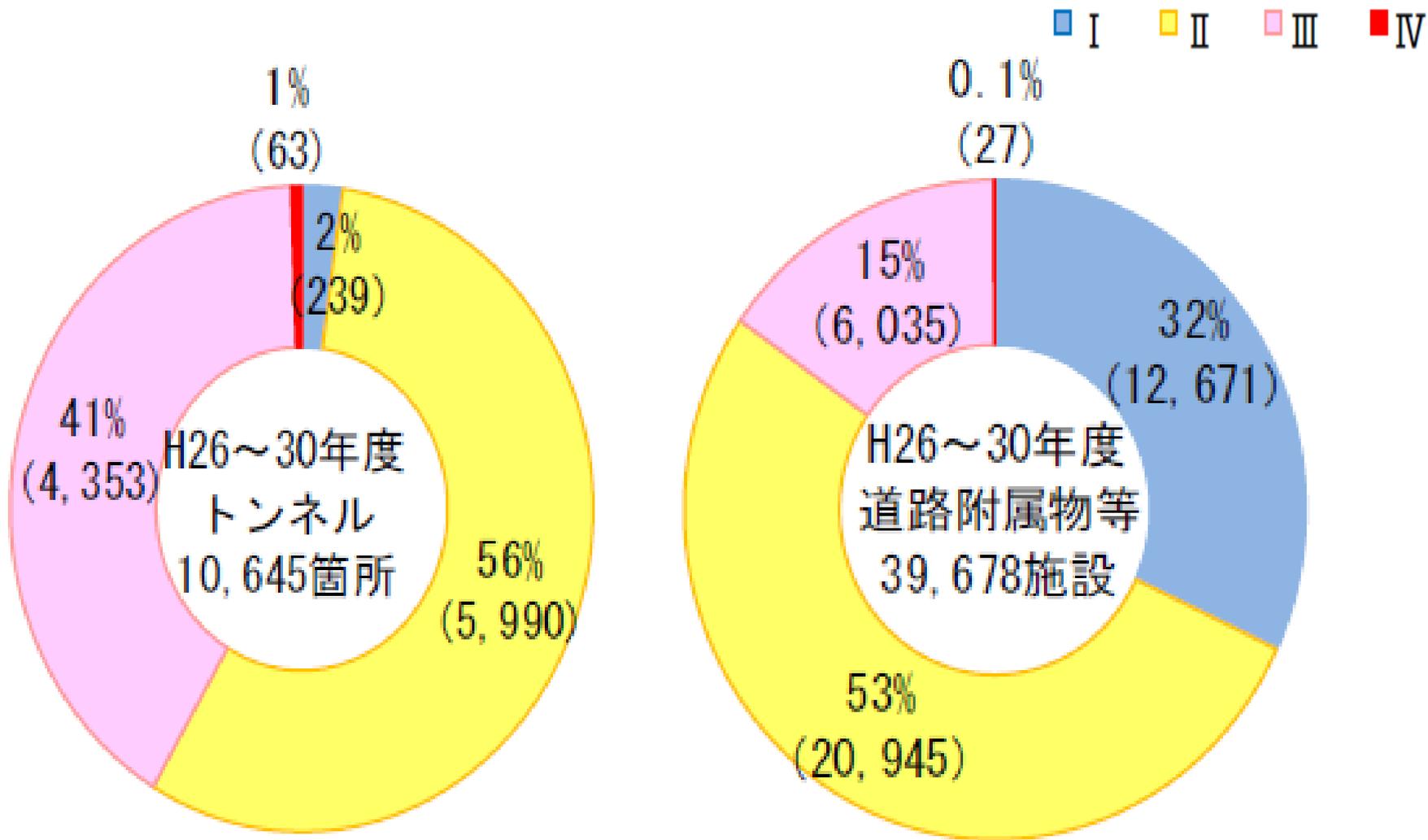
# 道路構造物の点検要領

橋梁	道路橋定期点検要領[平成26年6月]	改正[平成31年2月]
トンネル	道路トンネル定期点検要領[平成26年6月]	改正[平成31年2月]
舗装	舗装点検要領[平成28年10月]	
土工	シェッド、大型カルバート等定期点検要領[平成26年6月]	改正[平成31年2月]
	道路土工構造物点検要領[平成29年8月]	
附属物等	横断歩道橋定期点検要領[平成26年6月]	改正[平成31年2月]
	門型標識定期点検要領[平成26年6月]	改正[平成31年2月]
	小規模附属物点検要領[平成29年3月]	

# 一巡目の点検結果（橋梁）



# 一巡目の点検結果（トンネル、道路附属物等）



# 修繕・措置の状況

修繕着手率

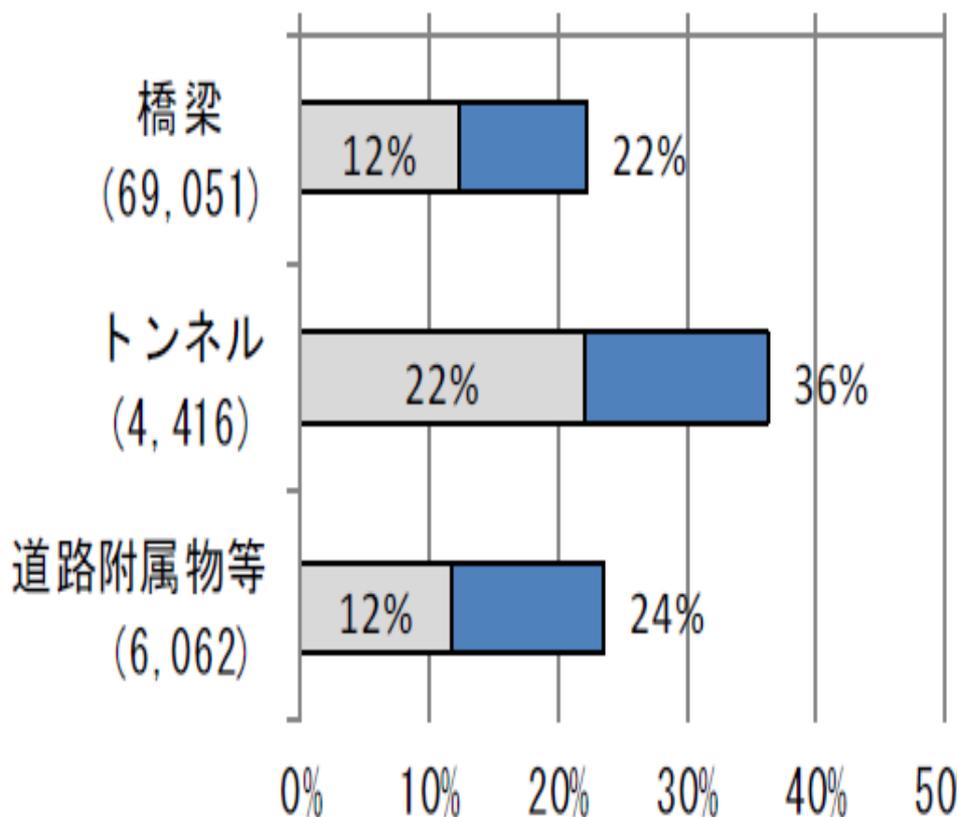
: 修繕（設計を含む）に着手した割合

修繕完了率

: 修繕工事を完了した割合

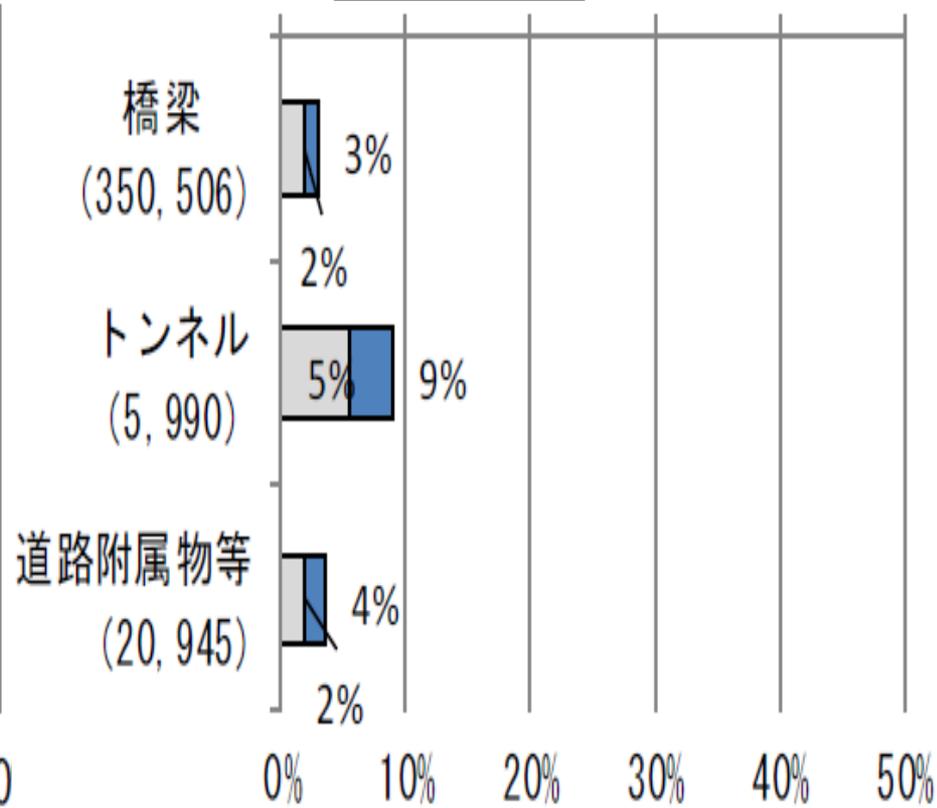
## 事後保全型(判定区分Ⅲ、Ⅳの修繕)

(H26~H30)



## 予防保全型(判定区分Ⅱの修繕)

(H26~H30)



# インフラ管理施術の開発：S I P



小項目 No.	研究開発テーマ名	研究責任者(所属)	研究法人名	
(1) 点検・モニタリング・診断技術の研究開発	1 異材接合によるインフラ構造物の劣化の調査	石田 博博 (土木研究所)	JST	
	2 レーザ計測可能な劣化診断技術の開発	藤田 純治 (つくばテクノロジ)	JST	
	3 インフラ劣化診断に活用可能な劣化診断技術の開発	藤田 純治 (つくばテクノロジ)	JST	
	4 レーザ計測による劣化診断技術の開発	藤田 純治 (つくばテクノロジ)	JST	
	5 橋脚・トンネルの劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	6 コンクリート内部の劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	7 コンクリート内部の劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	8 コンクリート内部の劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	9 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	10 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	11 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	12 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	13 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	14 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	15 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	16 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	17 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	(2) 構造材料・劣化機構・補修・補強技術の研究開発	18 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST
19 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
20 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
21 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
22 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
23 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
24 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
25 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
26 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
27 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
28 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
29 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
30 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
31 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
32 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
33 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
34 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
(3) 情報・通信技術の研究開発		35 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST
	36 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	37 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	38 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	39 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	40 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	41 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	42 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	43 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	44 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	45 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	46 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	47 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	48 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	49 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	50 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	(4) ロボット技術の研究開発	51 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST
		52 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST
53 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
54 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
55 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
56 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
57 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
58 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
59 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
60 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
61 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
62 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
63 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
64 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
65 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
66 劣化診断技術の開発		片岡 洋 (筑波大学)	JST	
(5) アセットマネジメント技術の研究開発		67 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST
		68 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST
	69 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	70 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	71 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	72 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	73 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	74 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	75 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	76 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	77 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	78 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	79 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	80 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	81 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	
	82 劣化診断技術の開発	片岡 洋 (筑波大学)	JST	

<https://www.jst.go.jp/sip/k07.html>

# 点検結果より

## ▶ 近接目視により確認出来た事例



桁外側からの近接目視の状況  
(変状の確認は困難)



桁内側からの近接目視により断面欠損を確認

## ▶ 前回判定 I から損傷が進行した事例

H24点検



▲ 桁端部の漏水



H29点検(判定区分Ⅲ)



▲ 桁端部のひび割れ、うき

# 特徴的な損傷事例

## 横締めPC鋼棒の突出

大間川橋(国道:石川県七尾市)  
橋長8m 幅員7.8m  
1974年架設(44歳)  
(横締めPC鋼棒の突出)



主桁

## 補強されたPC桁間詰部の踏み抜き

豊中南IC橋付近(阪神高速道路:大阪府池田市)  
1967年架設(51歳)  
(PC桁間詰部の踏み抜き)



PC桁間詰部

## 下部工の腐食

岩間大橋(市道:高知県四万十市)  
橋長120m 幅員3.5m  
1966年架設(52歳)  
(パイルベント橋脚の腐食)



橋脚

## 下部工の洗掘

共栄橋(町道:北海道上川郡清水町)  
橋長301m 幅員2.1m  
1977年架設(41歳)  
(洗掘)



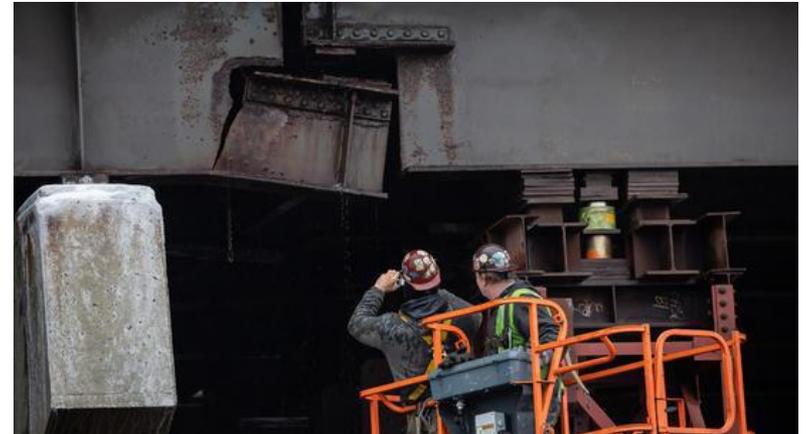
橋脚

# 海外での落橋・重篤損傷事例



<https://www.nytimes.com/2018/08/14/world/europe/italy-genoa-bridge-collapse.html>

2018年8月14日 イタリア



<https://www.chicagotribune.com/news/breaking/ct-met-lake-shore-drive-river-bridge-closure-20190211-story.html>

2019年2月11日 アメリカ



<https://edition.cnn.com/videos/world/2019/10/01/taiwan-nanfangao-bridge-collapse-orig-vstop-bdk.cnn>

2019年10月1日 台湾



<https://newtalk.tw/news/view/2019-10-11/310409>

2019年10月10日 中国

# 定期点検の見直し

定期点検の質は確保しつつ、

## ① 損傷や構造特性に応じた点検対象の絞り込み

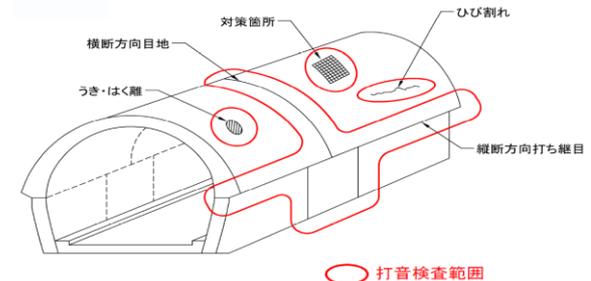
✓ 損傷や構造特性に応じた点検着目箇所を特定することで、点検を合理化



単純床版橋



水路カルバート



2回目以降のトンネル打音検査範囲

✓ 特徴的な損傷の健全性をより適切に診断できるよう、技術情報を充実



水中部材の断面欠損



PC鋼材の突出



斜張橋ケーブル破断

# 定期点検の見直し

## ② 新技術の活用による点検方法の効率化

### ○ 定期点検における近接目視を補完、代替、充実する新技術の現場導入を積極的に推進

#### 【定期点検要領改定】

##### 【法令運用上の留意事項】

定期点検を行う者は、健全性の診断の根拠となる道路橋の現在の状態を、**近接目視により把握するか、または、自らの近接目視によるときと同等の健全性の診断を行うことができると判断した方法により把握**しなければならない。 ※赤字は今回の点検方法見直しにおいて追加

#### 【近接目視を補完・代替・充実する技術の活用】

- 「新技術利用のガイドライン」や「点検支援技術性能カタログ」を作成
- 平成31年2月時点で16技術を性能カタログに掲載

#### 【点検支援技術性能カタログ(16技術)】



← 橋梁の損傷写真を撮影する技術【7技術】

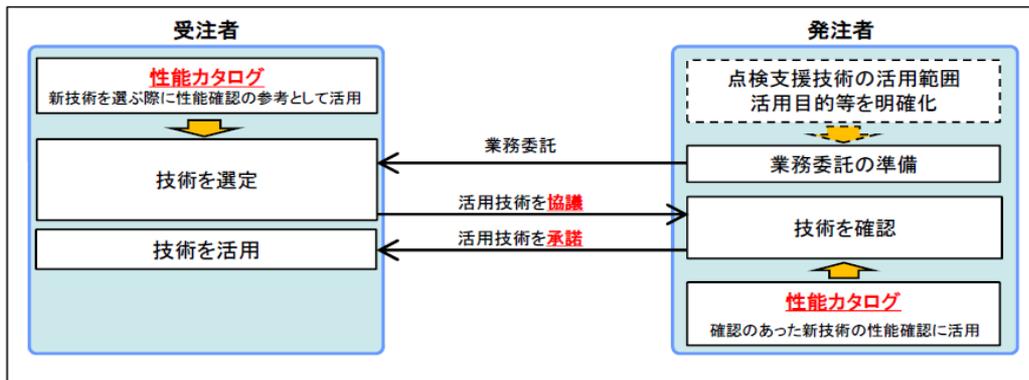


← トンネルの変状写真を撮影する技術【4技術】



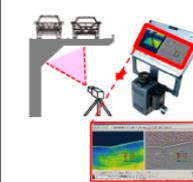
← コンクリートのうき・はく離を非破壊で検査する技術【5技術】

#### 【新技術利用のガイドライン】 新技術活用にあたっての受発注者の確認するプロセスを整理



#### 【非破壊検査技術活用事例】

##### ■イメージ



##### ■コスト削減の試算例



##### ■技術概要

橋梁等のコンクリート構造物において、鉄筋腐食に伴い発生する剥離やうき(コンクリート内部の剥離ひび割れ)を、遠望非接触にて赤外線法により検出する技術

6

# 新技術の性能カタログで明示する項目(案)

- 国は点検支援新技術の性能を比較できる性能カタログの標準項目を規定。
- 新技術の開発者は試験等により標準項目の性能値を整理。

国	性能カタログ標準項目	項目	定義	動作条件 環境条件
性能カタログの標準項目を規定	基本諸元	<ul style="list-style-type: none"> <li>外形寸法</li> <li>移動・計測原理</li> <li>技術が有する機能</li> <li>※物理的に一意のもの</li> </ul>	各項目の説明  ※各定義を明確化するため、必要に応じて試験方法も規定	—
	運動性能	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造物近傍での安定性能</li> <li>最小侵入可能寸法</li> <li>最大可動範囲 等</li> <li>※移動体としての能力を定量的に示すもの</li> </ul>		カタログ性能値を発揮する条件として記載すべき項目  <b>【動作条件】</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>被写体との距離</li> <li>位置精度 等</li> </ul> <b>【環境条件】</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>風速の条件</li> <li>天候・外気温 等</li> </ul>
	計測性能	<ul style="list-style-type: none"> <li>撮影速度</li> <li>検出可能な最小ひび割れ幅</li> <li>計測精度</li> <li>色識別性能 等</li> <li>※データの質に関わる能力を示すもの</li> </ul>		

## 開発者

試験等により標準項目の性能値を整理



# イノベーション

## 日本機械学会2019年度年次大会 特別講演

「イノベーション:風が吹けば桶屋が儲かる」

菊池 昇氏(株)豊田中央研究所 代表取締役所長)

### <略歴>

1974年 東京工業大学 土木工学科卒業

1977年 テキサス大学オースチン校 航空工学・応用力学科博士課程修了

Member of National Academy of Engineering, USA

トヨタ自動車(株)技監

### <講演概要>



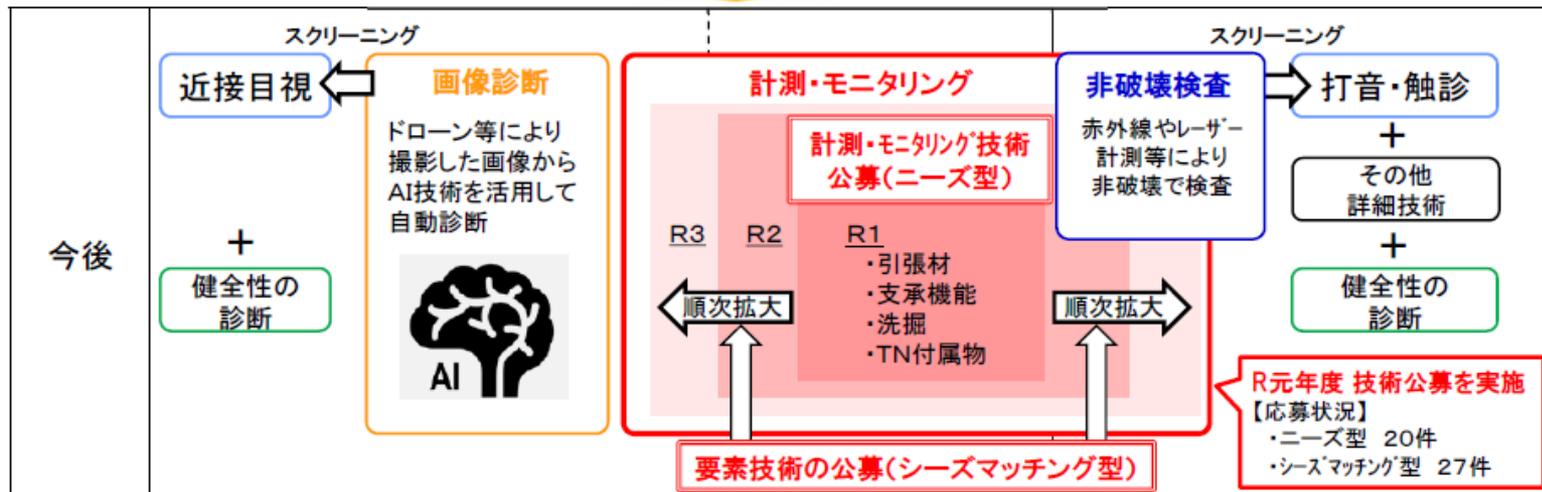
研究においても産官学でイノベーションが求められるようになって久しい。とはいっても社会に受容されるイノベーションにつながる研究は難しい。この難題に米国の大学で研究していた時も、また日本の大きな企業研究所のマネジメントをやっている今も取り組んでいるが、未だ成功したことがない。ここでは、失敗に終わった多くの研究を振り返りながら、イノベーションに繋がる可能性がある研究はどのようなモノかについて、自動車業界にまつわる機械工学に関する領域を中心に述べたい。

# 近接目視によらない点検方法の導入

損傷	外観から見える損傷		外観から見えない損傷
	近接目視 又は 画像撮影技術 +	健全性の診断	
現在	近接目視 又は 画像撮影技術 +	健全性の診断	打音・触診 + その他詳細技術 + 健全性の診断

## 近接目視によらない点検・診断方法を確立・導入

※技術を適材適所に活用



AIを活用した点検・診断技術の開発、計測・モニタリング技術の検証を進め、近接目視によらない点検方法をベストミックス

# イノベーションを起こすために

「おもしろい」技術から

「使いたい」技術へ

シーズ技術

- ・革新的な技術
- ・他分野の技術



現場ニーズ

- ・どのような場面で、  
誰に使ってもらうか？
- ・使いたいと思われるか？

# 技術検証応募技術（ニーズ型20技術）

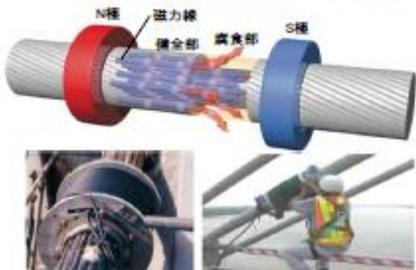
## ①PCケーブルや吊材 5技術

＜ケーブルの張力を計測する技術＞



（例）永久磁石を用いて張力を計測

＜ケーブルの腐食を計測する技術＞



（例）磁束密度の変化から断面積を計測

＜斜材表面を撮影する技術＞



（例）自走式ロボで斜材表面を撮影

## ②支承の機能障害 7技術

＜反力を計測する技術＞



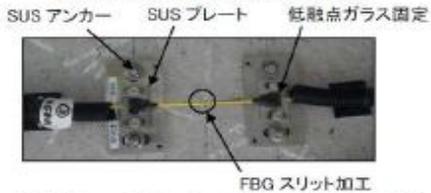
（例）支承本体又は後付で反力を計測

＜画像解析により変位や回転量を計測する技術＞



（例）動画を解析し変位・回転量を計測

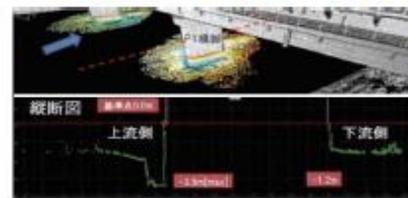
＜ひずみを計測する技術＞



（例）光ファイバセンサーで動的ひずみを計測

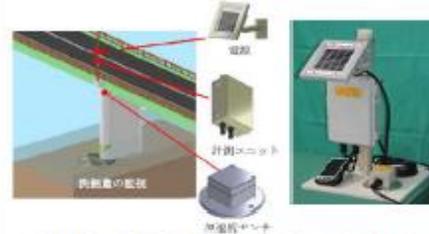
## ③橋梁基礎の洗掘 6技術

＜水底を3次元データ化する技術＞



（例）3次元データから洗掘量を測定

＜加速度センサから変位や傾斜を計測する技術＞



（例）加速度データから土被り量を解析

＜超音波で地中を探索する技術＞



（例）超音波探査で空洞を測定

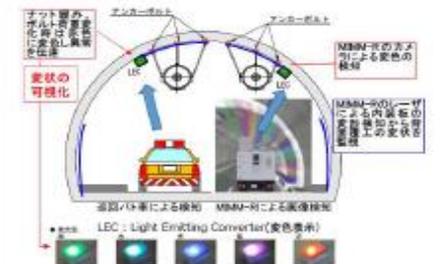
## ④トンネル付属物の変状 2技術

＜加速度センサから変位や傾斜を計測する技術＞



（例）加速度データで落下・倒壊を防止

＜センサーで変位を視覚化・監視する技術＞



（例）OSVセンサーで変位を視覚化

# 技術検証応募技術（シーズマッチング型27技術）

## 変位・振動の計測技術 10技術

加速度センサで  
振動特性を可視化



(例) 加速度からたわみを計測

動画像解析で  
たわみ・横揺れを計測



(例) カメラで撮影した動画を解析

＜桁端部の異常をセンサで計測＞



(例) 変位を計測すると異常を通知

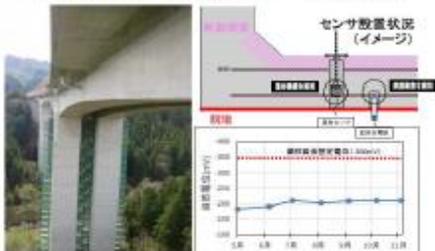
## 詳細調査の技術 4技術

鋼部材の塗膜下の  
き裂を計測



(例) 渦電流探傷法でき裂を判定

＜塩害補修効果のモニタリング＞



(例) 電極と腐食センサを設置し  
塩分浸透と鉄筋腐食を計測

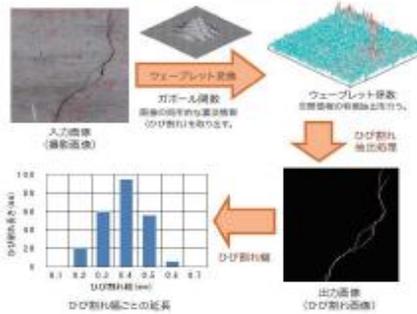
## 画像計測・解析技術 7技術

＜ロボットで画像を計測＞



(例) ワイヤにロボットを吊下げ画像計測

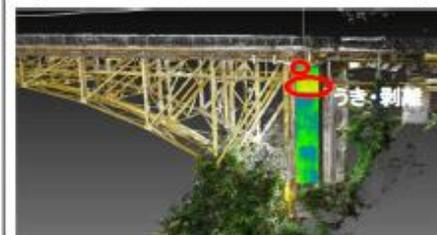
＜ひび割れ画像解析＞



(例) 画像解析により  
ひび割れ長さ/幅を定量的に評価

## 非破壊検査技術 4技術

3次元点群データを利用し  
スクリーニング



(例) 設計CADデータと点群データの  
偏差解析から損傷箇所を見える化

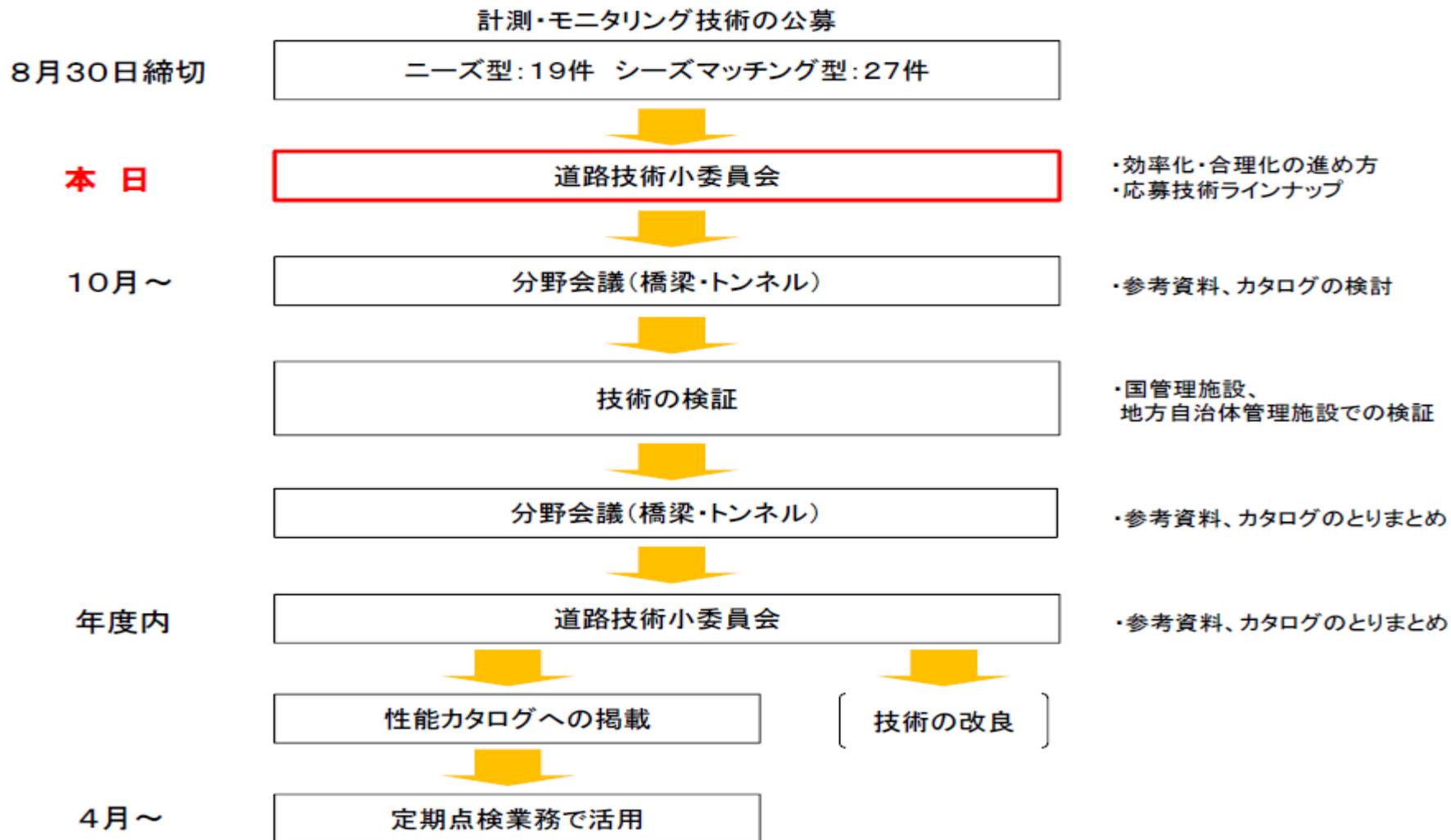
## データ収集技術 2技術

計測データを無線通信で  
送信・保存



(例) センサで計測したデータを  
無線通信で送信し遠隔で確認

# 技術検証の進め方



# 部分係数設計法による補修・補強設計の合理化

## 新設構造物の設計

### 許容応力度設計法 (H24)

標準的な構造・材料を前提に、荷重や調査・施工管理によらず、一律の安全余裕度を設定。

$$\frac{(\text{荷重1}) + (\text{荷重2}) + \dots}{(\text{荷重組合せによる割増係数})} < \frac{(\text{降伏応力度})}{(\text{安全率})}$$

### 部分係数設計法 (H29)

多様な構造・材料を活用できるように、荷重特性や構造・材料の信頼性、解析精度等に応じて複数の安全係数を導入

$$(\text{係数1}) \times (\text{荷重1}) + (\text{係数2}) \times (\text{荷重2}) + \dots < \frac{(\text{限界状態})}{(\text{係数1}) \times (\text{係数2}) \times \dots}$$

- ・100年に一度の断面力を与える荷重
- ・交通状況は2, 3種類

- ・標準的な施工法による強度のばらつき
- ・解析、調査精度に応じた係数

既設構造物への適用  
(部分係数設計法)

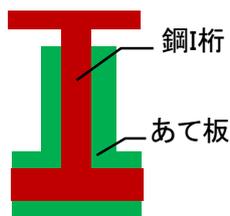
- ・供用年数、交通実態に応じた照査用荷重の設定

- ・実構造物で確認した材料強度の活用

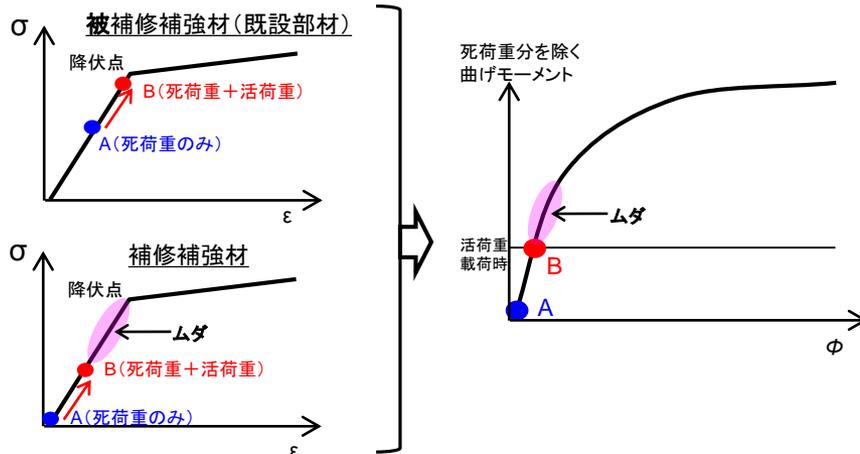
# 限界状態を考慮した 鋼橋の補修・補強設計法



【H24道示】許容応力度設計法  
(材料を降伏させない設計)

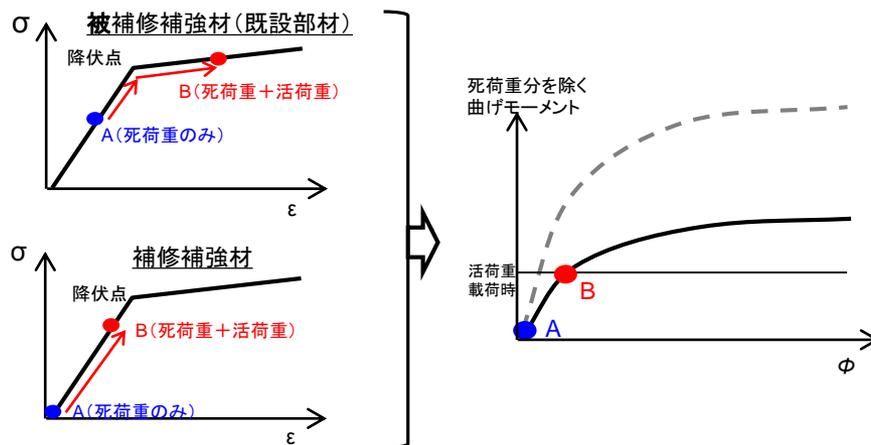
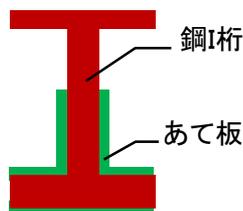


被補修補強材、補修補強材ともに降伏しないように設計  
→補修補強材には余裕があり、非合理的な設計となる可能性



合理化

【H29道示】限界状態設計法  
(部材を降伏させない設計)

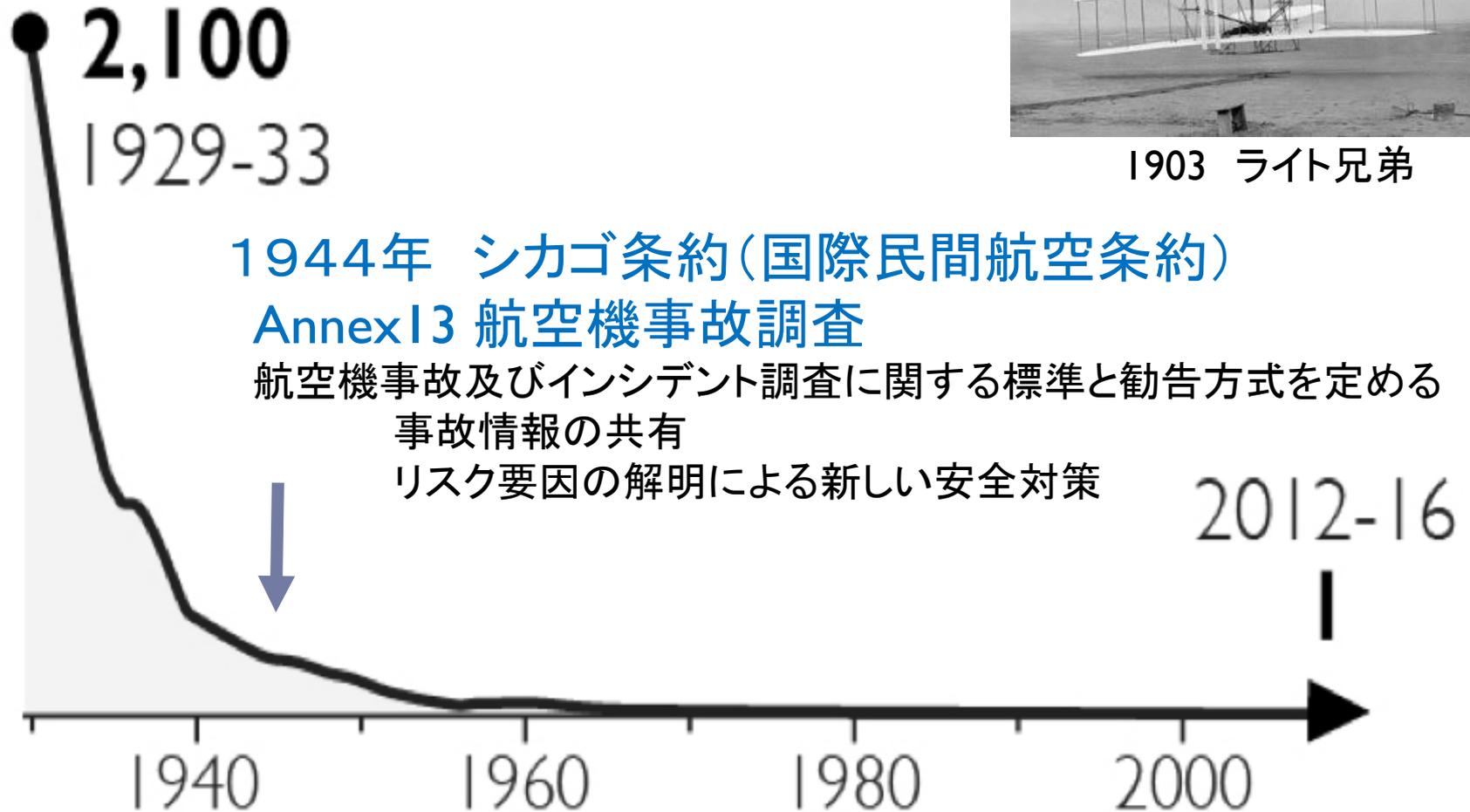


# 飛行機事故の死者数の変化

100億旅行マイル当たりの年間死亡者数(5年間の平均)



1903 ライト兄弟



Source: Gapminder[16] based on IATA, ICAO[3], BTS[1,2] & ATAA

---

ご意見をお聞かせ下さい。

木村嘉富

[kimura-y92tb@mlit.go.jp](mailto:kimura-y92tb@mlit.go.jp)