



「インフラに求められる計測技術」

小椋 紀彦

(京都大学学際融合教育研究推進センター
インフラシステムマネジメント研究拠点ユニット)

1. はじめに

2. 既往の計測業務


3. インフラDXに伴う計測業務

1. はじめに

2. 既往の計測業務

3. インフラDXに伴う計測業務

現場の点検・調査から補修・補強設計まで
私たちは明日のコンクリート構造物を守る会社です

お問い合わせ 

CORE

株式会社CORE技術研究所の社名である『CORE』は、技術の『核』という言葉そのものの意味とともに、融合『Composite』、組織化『Organize』、研究・調査『Research』、工学・技術『Engineering』を表現しています。

維持管理にかかわる点検・調査、診断、補修・補強設計、数値解析、施工計画といった

さまざまな分野の技術を融合させ、総合的な建設コンサルティングサービスを提供しています。



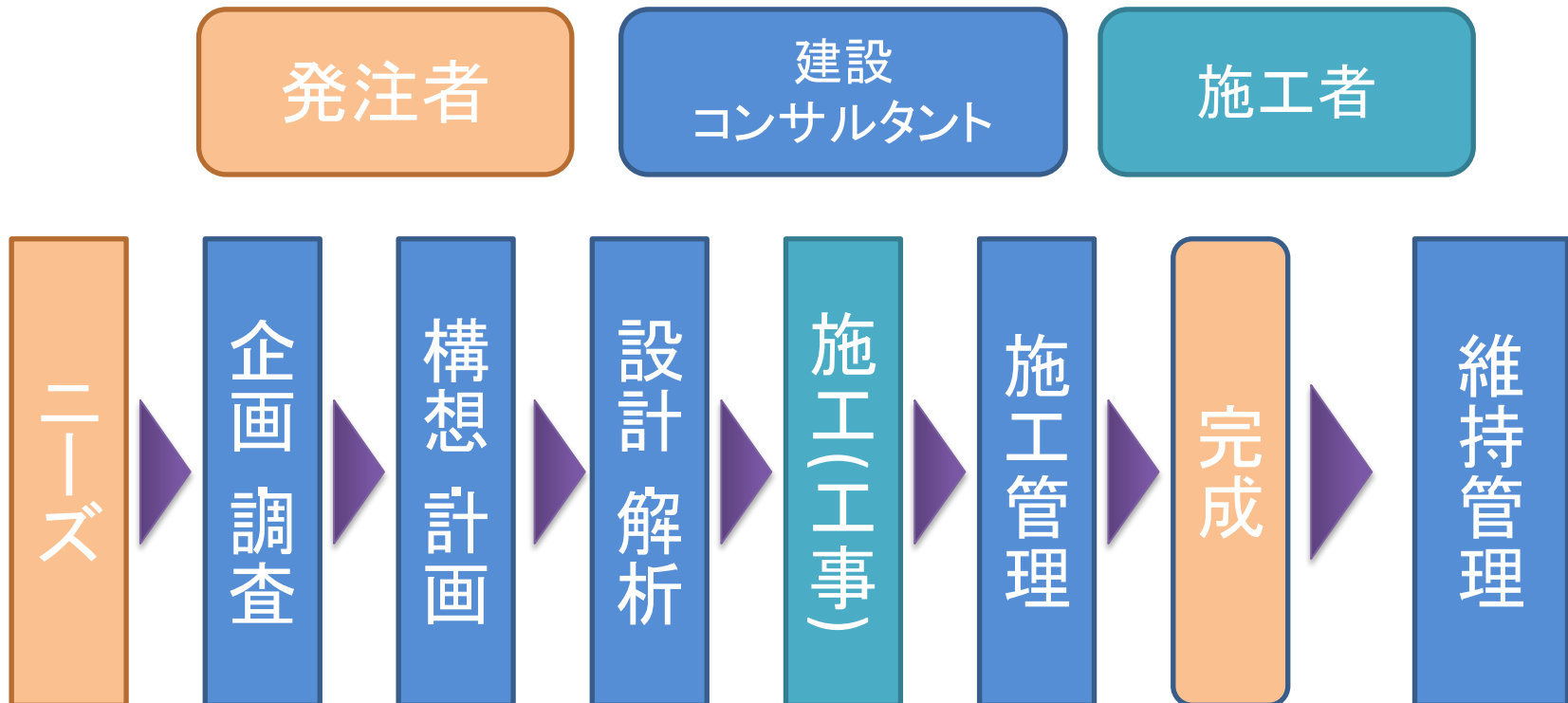
会社概要

会社名	株式会社CORE技術研究所
設立	平成25年7月3日
資本金	1,254万円
代表者	代表取締役社長 真鍋 英規
従業員	83名
組織	技術部、設計部、開発部、管理部



インフラを整備する上で、企画・調査・計画・設計・施工および管理のうち施工を除くすべての段階で、よきアドバイザーであり、よき技術パートナーとして公的機関をサポートする役割を担っています。

仕事の役割関係



自然災害の激甚化

2000年 2001年 2002年 2003年 2004年 2005年 2006年 2007年 2008年 2009年 2010年 2011年 2012年 2013年 2014年 2015年 2016年 2017年 2018年 2019年



平成16年台風第10号

国道32号 嵐山町(8月1日) (奥知県大豊町大久保地区)

国土交通省四国地方整備局
「平成16年台風災害を振り返って」より



新潟中越地震

土砂崩れによる家屋倒壊

国土交通省北陸地方整備局
「平成16年新潟県中越地震」による被害と復旧状況～復旧から復興へ～」より

最多10個の台風が上陸
新潟中越地震

平成18年豪雪



平成18年豪雪

(H18.1月撮影)

国土交通省北陸地方整備局
「平成29年度今冬の記録」より



東日本大震災

国土交通省「東日本大震災の記録」より

全石巻事務所庁舎屋上から撮影

東日本大震災



御嶽山噴火

御嶽山上空からの様子
(平成26年9月27日16時頃撮影)

国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所「御嶽山火山防災だより」より

御嶽山噴火



熊本地震

国土交通省九州地方整備局 防災パネル
「熊本地震から2年 復興への歩み」より

熊本地震

平成29年九州北部豪雨

平成30年7月豪雨

令和元年東日本台風
令和元年房総半島台風



令和元年東日本台風

三陸鉄道 道床の流失

国土交通省「国土交通省の取組～「被災者の生活と生業（なりわい）の再建に向けた対策パッケージ」(抜粋)～」より

資料) 国土交通省

特徴的なインフラ構造物の損傷事例

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)



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)



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)



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)



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-vstopt-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



出典: Charlestone Daily Mail

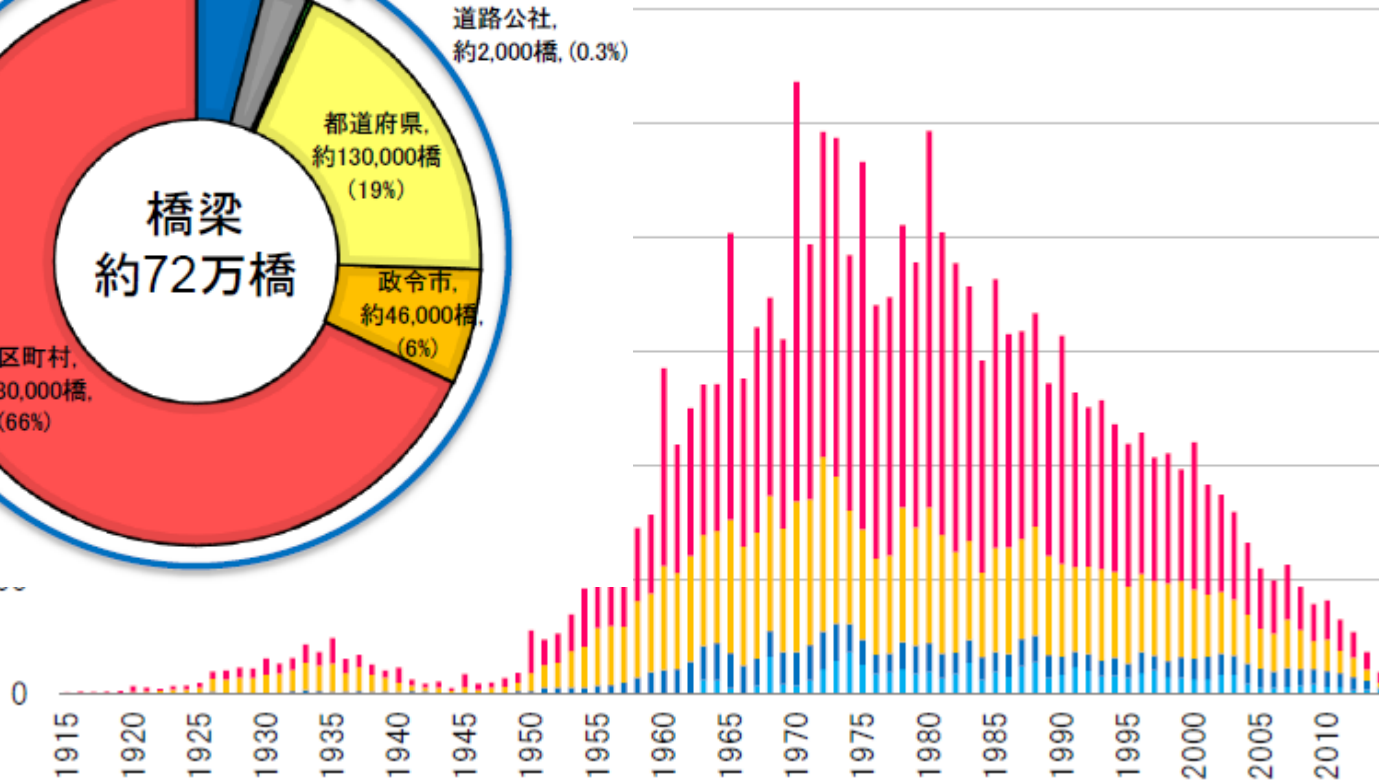
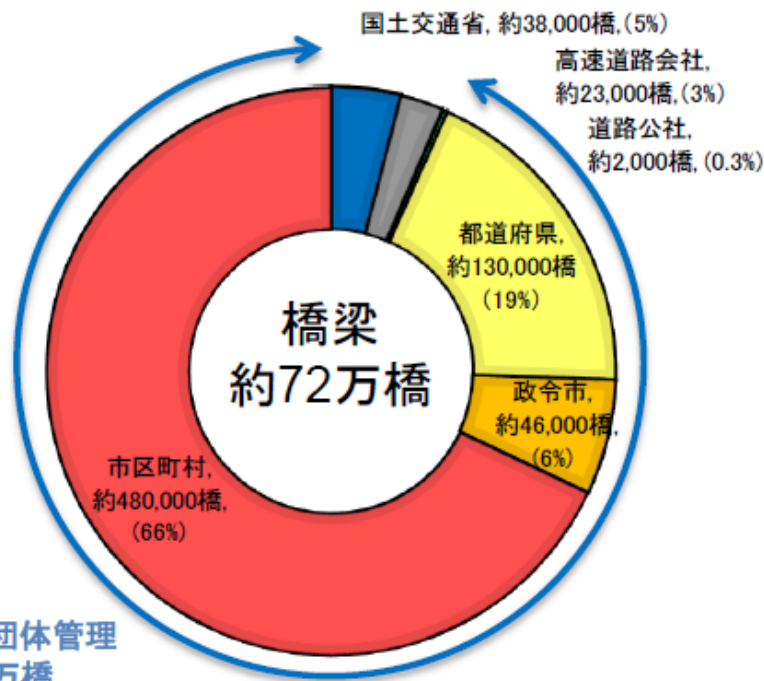


インフラ構造物の不具合は

人命の危機、社会機能の大幅な低下につながる

インフラ構造物の社会基盤としての機能を維持し適切に管理しなくてはならない

道路橋(2m以上)は、約72万橋あり管理されている



(出典)道路局調べ(H26.12時点)

道路橋の定期点検とは？

- ・道路分野では、全ての橋梁、トンネル等について、**5年に1度**近接目視による点検を実施
- ・2014年以降5年間の点検実施状況や点検後の措置状況等とをまとめている

判定区分		状態
I	健全	構造物の機能に支障が生じていない状態。
II	予防保全段階	構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
III	早期措置段階	構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
IV	緊急措置段階	構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

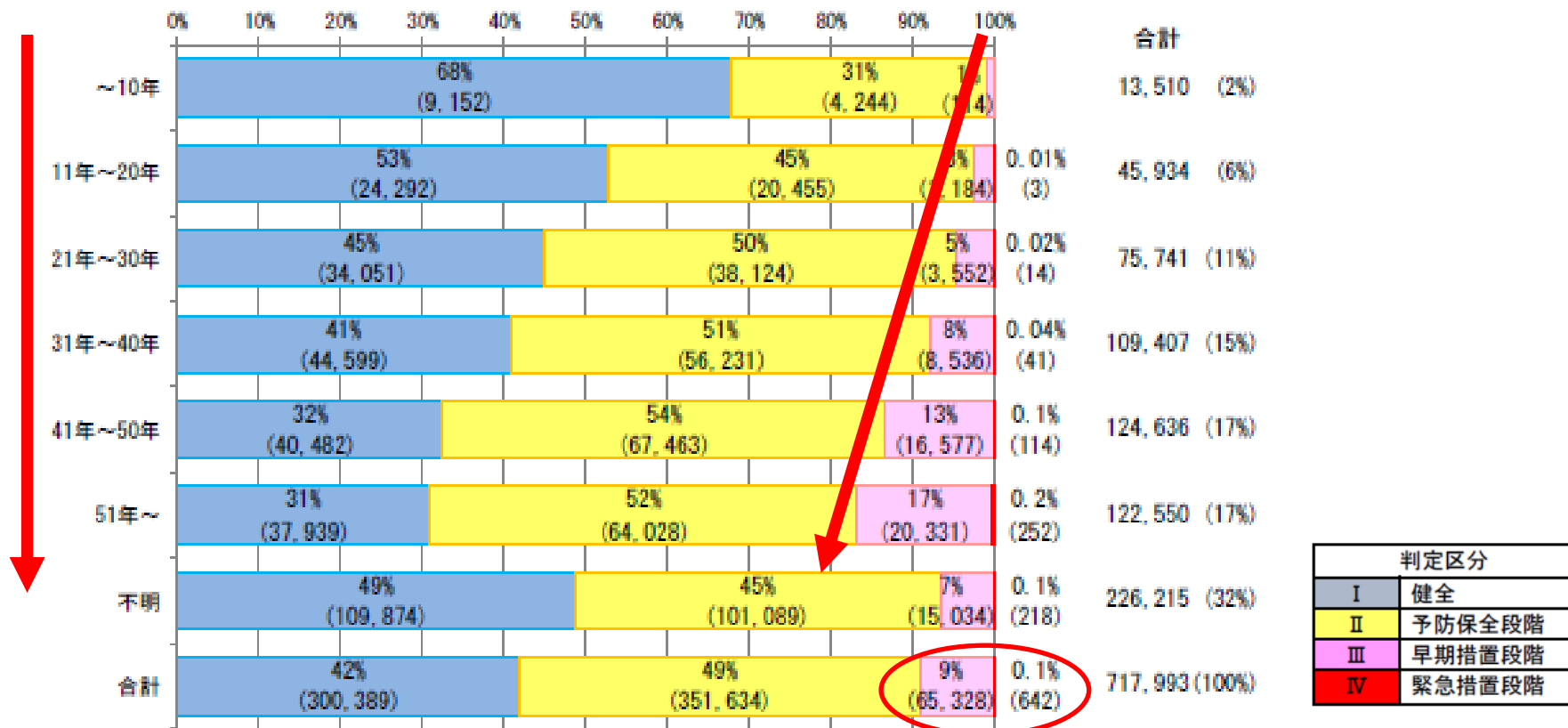


床版鉄筋露出 ※床版:橋の裏側



橋脚洗掘

どんな構造物が補修が必要か？



・現時点で早期又は緊急に措置を講ずべき橋梁(判定区分Ⅲ・Ⅳ)は約65,000橋となっている。

1. はじめに

2. 既往の計測業務

3. インフラDXに伴う計測業務

新設構造物

施工時の品質管理

【提案】

施工者,コンサル

- ・ 温度(熱電対)
- ・ ひずみ(埋込ひずみ)
- ・ 水分量
- ・ ひび割れ
- ・ . . .

中・長期計測

既設構造物

点検からの不具合

【提案】

発注者,コンサル

- ・ グラウト充填度(腐食,破断)
- ・ ひび割れ挙動
- ・ 固有振動
- ・ ひずみ(載荷試験)
- ・ . . .

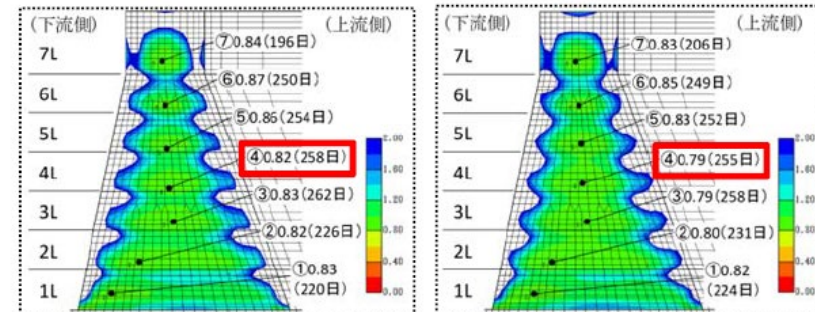
短期計測

砂防堰堤のコンクリートの打設間隔を短縮することによる新技術、堤体表面のひび割れ及び水平打継面の変状の発生の可能性に対し、半年～1年程度のモニタリングを実施



【計測項目】

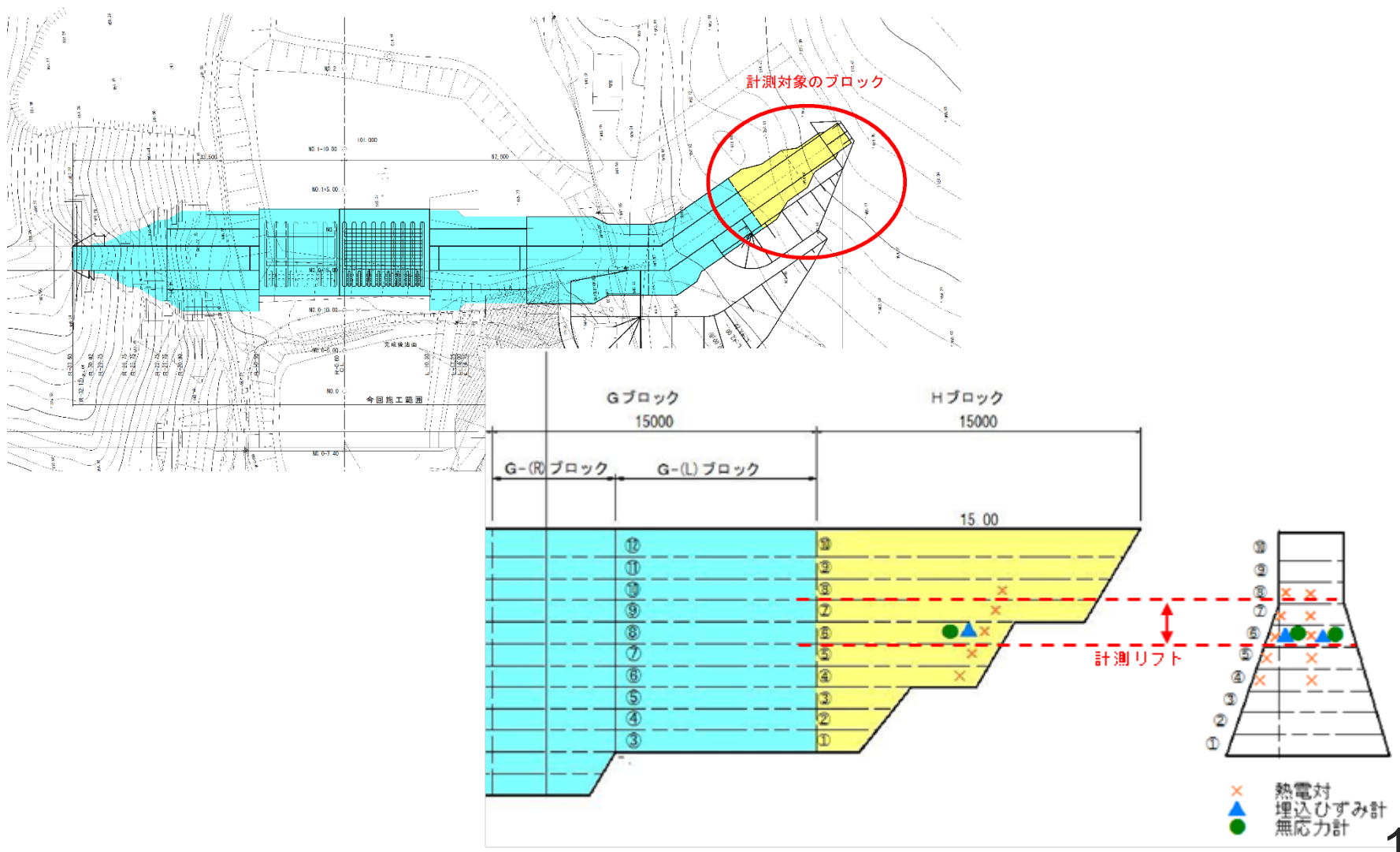
- 温度(熱電対)
- ひずみ(無応力計)



(a) 中3日, 湛水+養生マット (b) 中2日, 散水養生

新設構造物 砂防ダム

堰堤構造図 (2) S=1:200



点検結果から、詳細調査へ
変状に応じた計測(調査)が実施される
 Ex: ひび割れ⇒グラウト充填度、
 載荷試験、ひび割れ挙動
 etc.



(5) 点検表記録様式

別紙3 点検表記録様式
 橋名・所在地・管理者名等

橋名	路線名	所在地	起点側	終点側	SR° 10' 03"
					140° 17' 40"
管理者名	点検実施年月日	踏下条件	代管線の有無	自車道or一般道	緊急輸送道路
	2018.10.22	鉄道	有	一般道	その他

橋材単位の診断(各部材毎に最悪部を記入)

部材名	判定区分 (I~IV)	実状の種類 (II以上の場合に記載)	備考(写真番号、位置等が分かるように記載)	措置後の判定区分	実状の種類	措置及び判定実施年月日
上部構造	主桁	II	写1主桁 写2主桁			
	橋脚	III	写3橋脚			
	床版	III	写4床版			
下部構造		III	写5A1			
支保部	I					
その他	I					

道路橋の健全性の診断(判定区分I~IV)

(判定区分)	(所見等)	早期に主桁の断面修復、剥離防止工が必要。また、橋桁、下部工の断崖修復、既設防水工が必要	(再判定区分)	(再判定実施年月日)
III				

全景写真(起点側、終点側を記載すること)

撮影年次	橋長	幅員
1964年	17m	7.50m

起点 終点

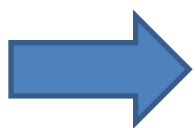
※写真が不明な場合は「不明」と記入する。

検査写真(損傷状況)

①部材単位の判定区分がII、目又はIIIの場合には、直接関連する不具合の写真を記載せよ
 ②写真は、不具合の程度が分かるように添付すること

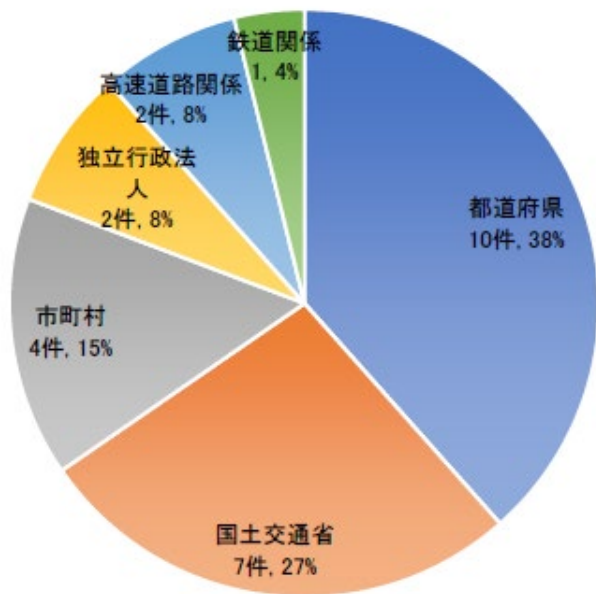
写真1	上部構造(主桁)【判定区分: III】	写真2	上部構造(主桁)【判定区分: III】
写真3	上部構造(橋脚)【判定区分: III】	写真4	上部構造(橋脚)【判定区分: III】

- 1) 国、地方などで発注される非破壊調査の**実態調査(仕様書など)**
- 2) 上記案件でNDIS衝撃弾性波法(2426)が適用できそうな範囲、案件

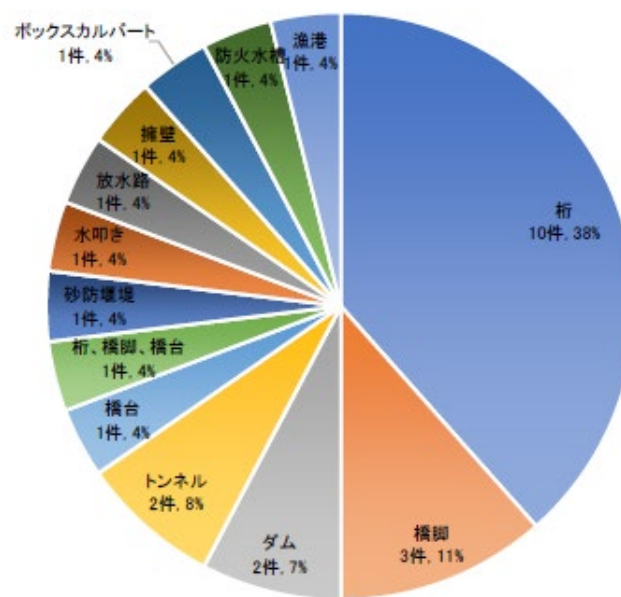


- **26件の仕様書を収集**
- 国交省、都道府県、市町村など含む
- 収集の整理(発注機関、対象構造物、調査内容、調査手法、規格・基準)

発注機関の割合

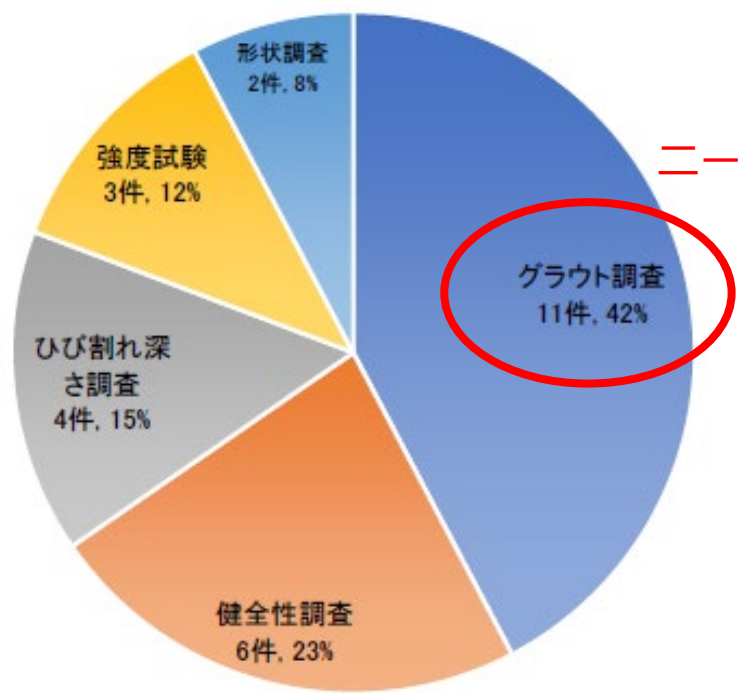


対象構造物の割合



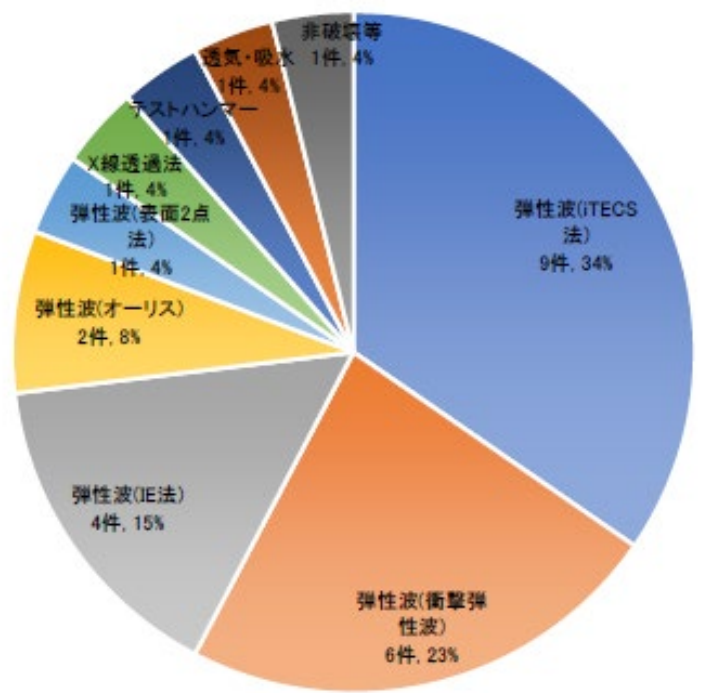
- 整理した5種類の調査方法について、分析を実施
- 各調査で衝撃弾性波以外の手法としてはどういったものがあるのか？
(それらの調査方法が主であり、普及しないの等)

調査内容の割合



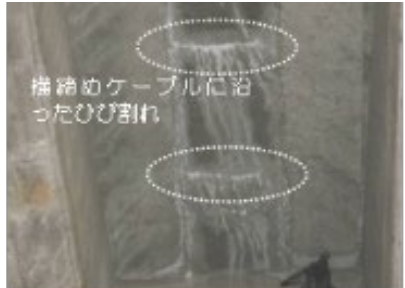
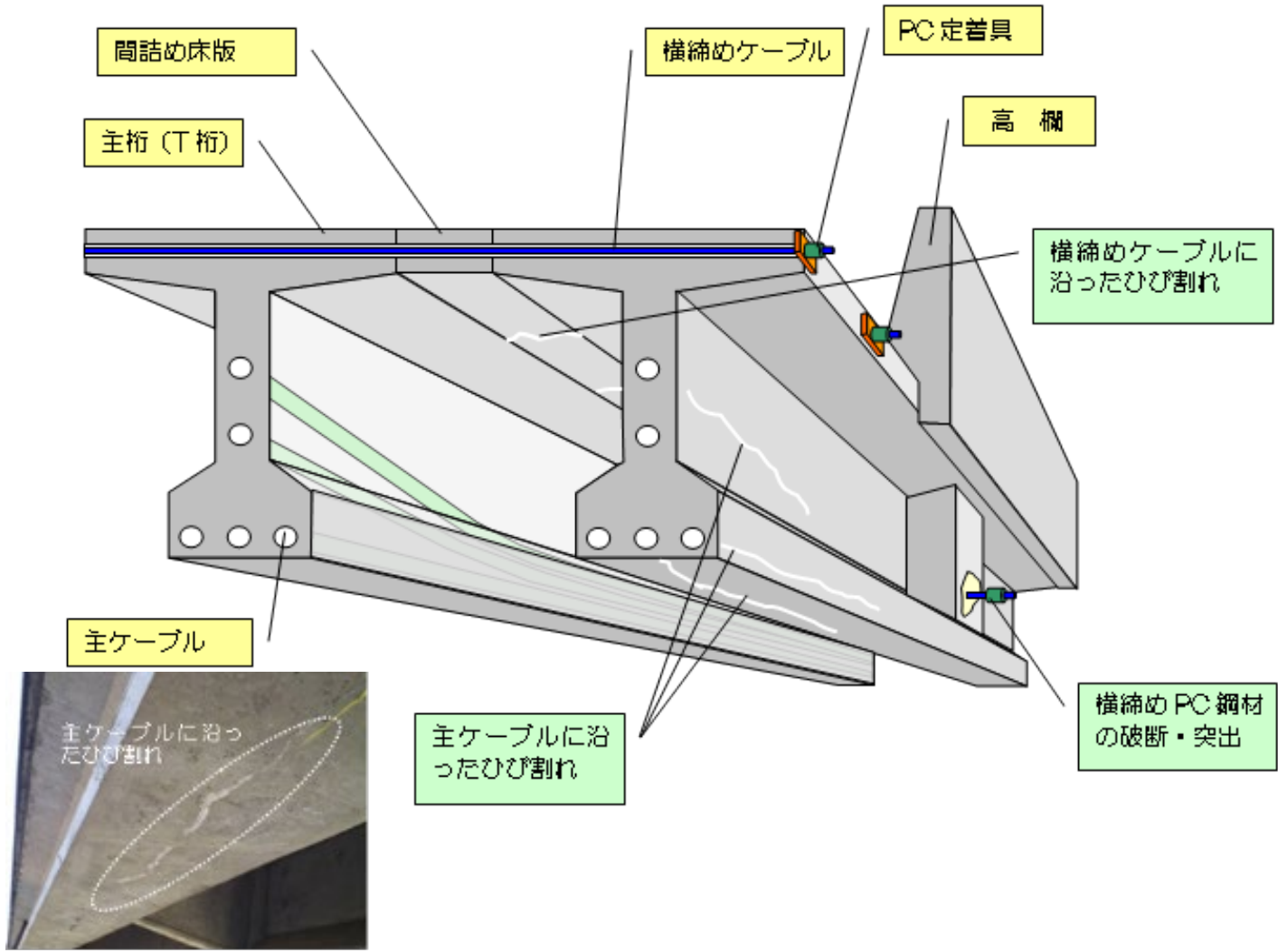
ニーズあり

調査手法の割合



※NDIS衝撃弾性波法研究委員会第Ⅲ期での資料抜粋

グラウト充填不良に伴うPC鋼材の腐食・破断



間詰め床版下面に発生したひび割れ事例



横締めPC鋼材の突出事例

PC橋梁の落橋事例(国内)

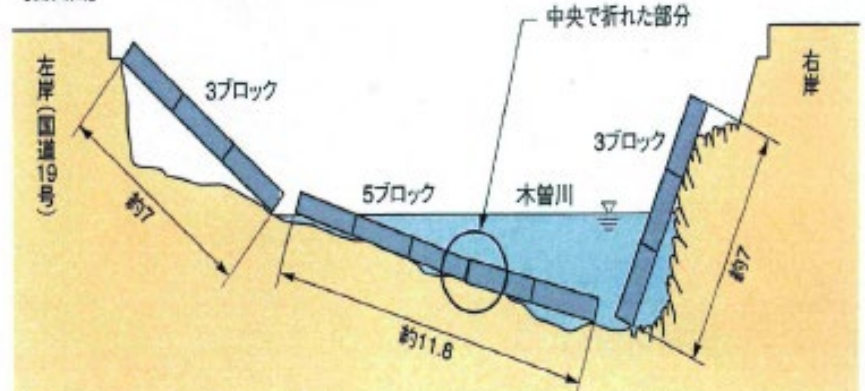
村道菅線「新菅橋」(長野県)
構造形式:ポステンション単純箱桁
橋長:L=26m
架設竣工年:1965年



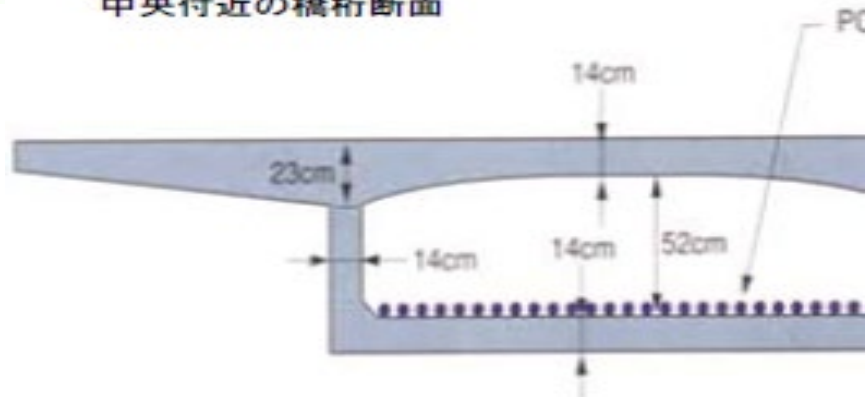
1989年に落橋

●事故発生時の現場の状況

[側面図]



中央付近の橋桁断面

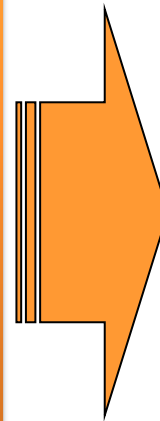


- ・点検を実施しておらず、PC鋼線の腐食による破断が原因で落橋
- ・PC鋼線の定着部では9本ずつ3列に配置してあった
- ・断面は中空、床版厚さは14cm。下側にPC鋼線を配置

横締めケーブルの損傷事例

中島高架橋(下り)

構造形式:単純PCポステンT桁橋4連, 他
橋長L=238m 諸元:1972年(S47年架設)



概要:

- ・中島高架橋(下り)沿道住民の方からの、「花に水をやっていたらコンクリート片が落ちてきた」旨の通報(事務所あて電話)を受け、現地確認。
- ・下り側P8附近の主桁横締め保護コンクリート部からのコンクリート片落下を確認。

横締めケーブルの損傷事例

主ケーブルの破断

耐力の低下

使用性の低下(たわみ、振動)

横締めケーブルの破断

第三者への影響

PCグラウト調査手法一覧

項目		削孔調査	衝撃弾性波法		X線法	超音波法
検査手法		削孔調査	衝撃弾性波法	インパクトエコー法	X線透過法	超音波法
確認方法		目視確認	応答波形による確認		目視確認	応答波形による確認
長所		確実性がある	検査が簡易に可能	検査が簡易に可能	・確認が容易	検査が比較的簡易
短所		・全調査に削孔が必要	・判断に技術力が伴う ・横締めPC鋼材しか適用できない	・判断に技術力が伴う ・PC鋼材の間隔により使用範囲が限定される	・調査時間が長い ・部材厚により使用範囲が限定される	・判断に技術力が伴う ・機器が大きい ・コストが高い
評価	主ケーブル	○	×	○	○	○
	横締め	○	○	△	△	△

削孔調査



X線撮影



超音波法



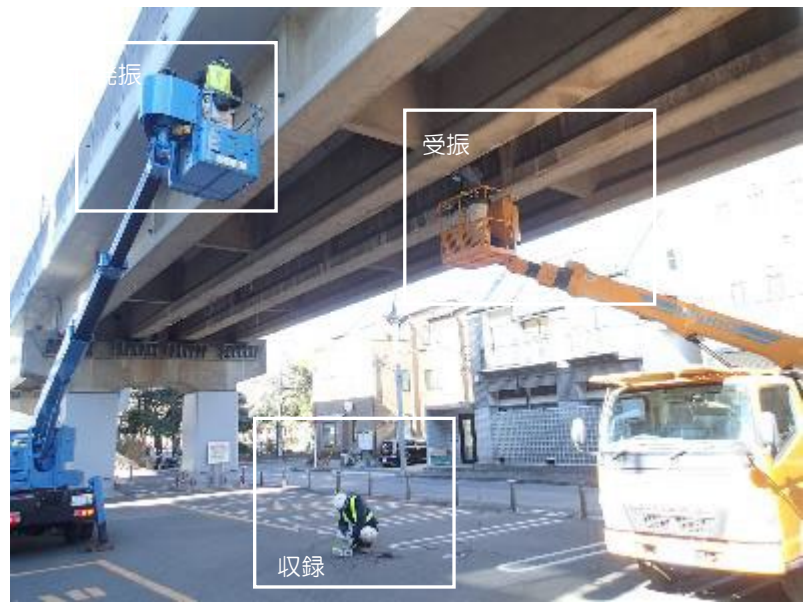
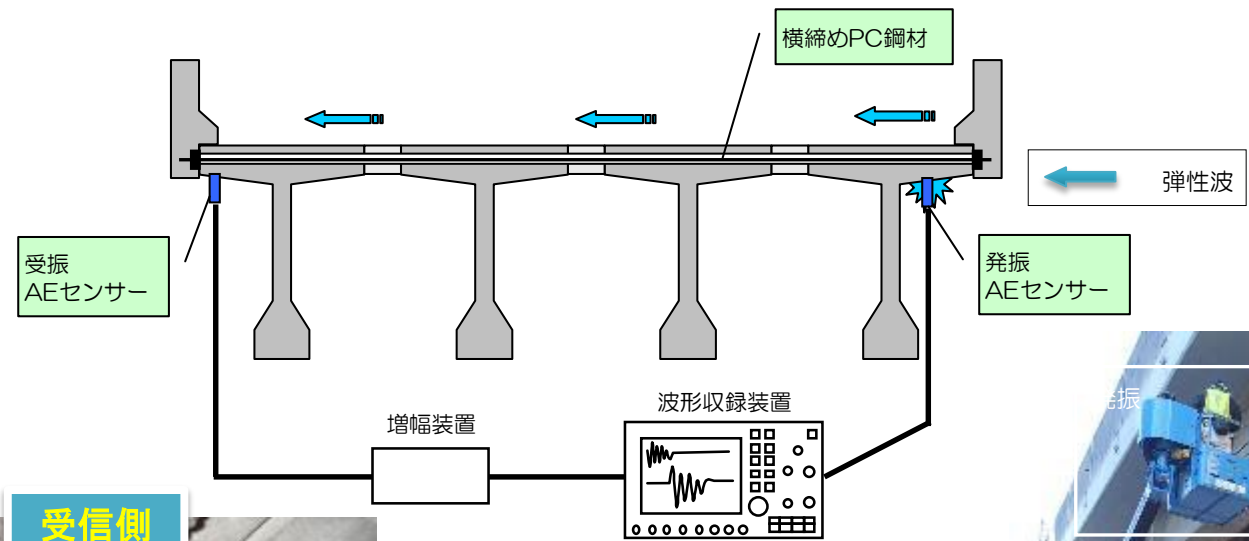
衝撃弾性波法



インパクトエコー法

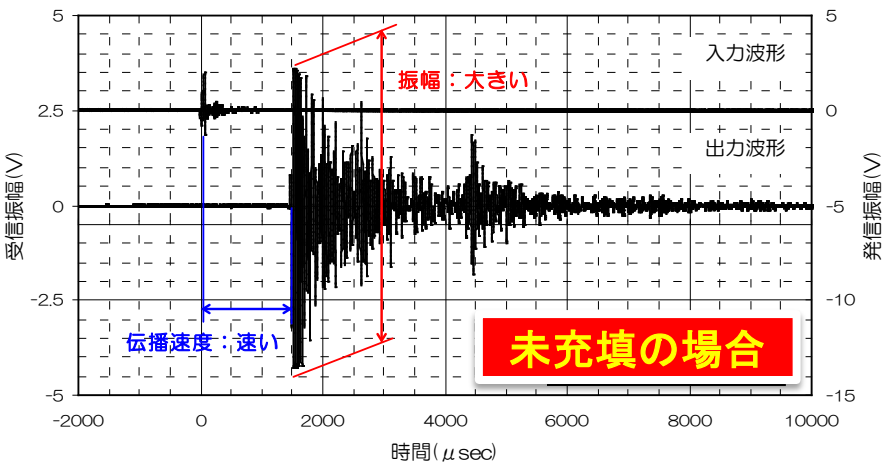
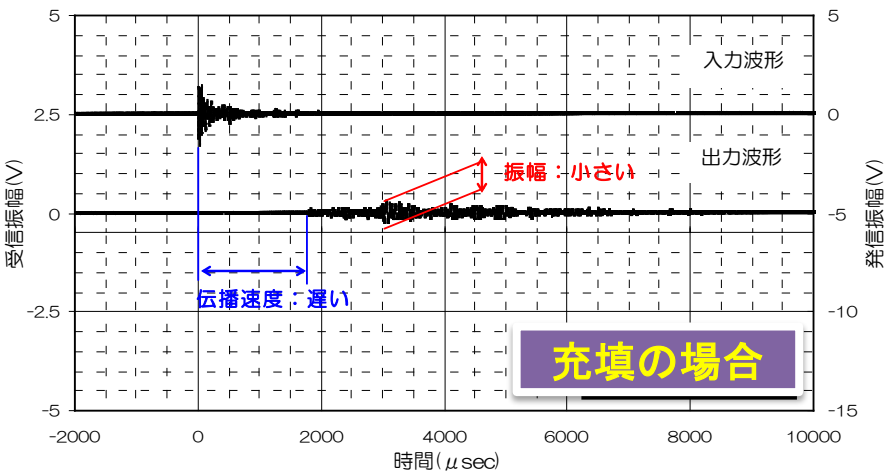


衝撃弾性波(適用範囲:横締め)

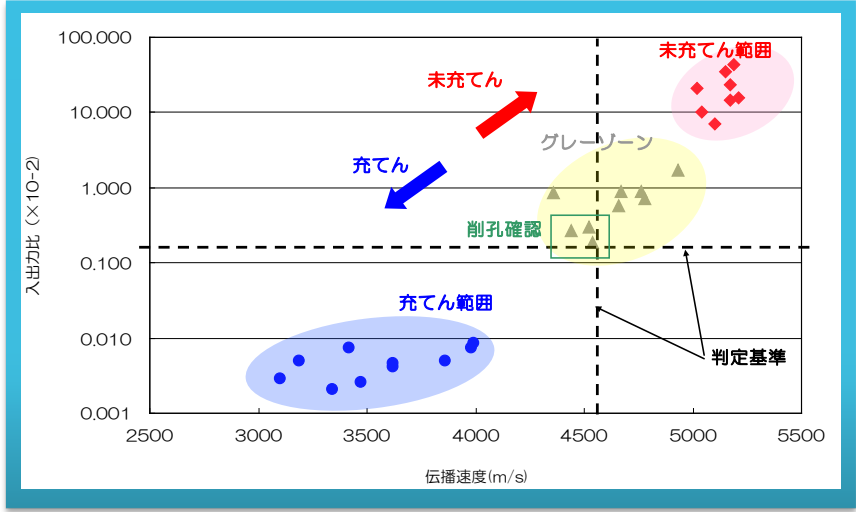


- ・床版や横桁に配置された**横締めPCケーブル**が対象
- ・横締めPCケーブル**1本全体**のグラウト充填度の判定を行う

衝撃弾性波法(評価方法)



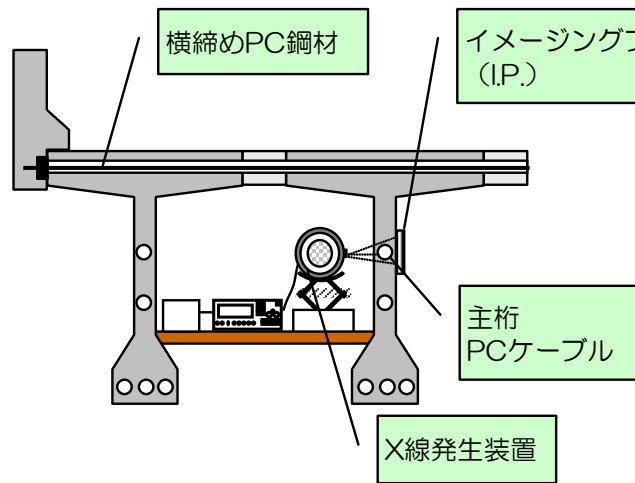
測定波形例



・PC鋼材を伝わった弾性波の**伝播速度**、および伝わった**エネルギー**(入出力比:[受信振幅/入力振幅])の2つの指標で評価

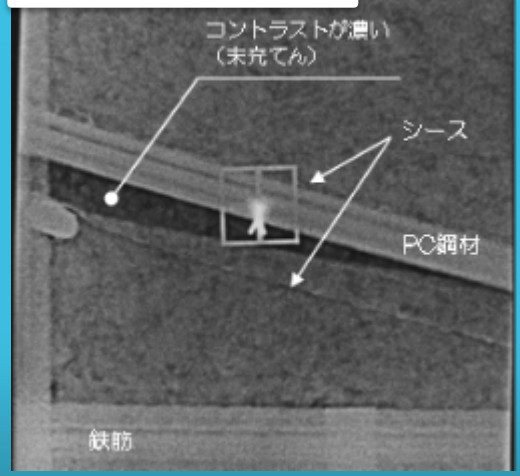
- グラウトが**充填**されている場合
 - グラウトの拘束によってPC鋼材を伝播するエネルギーが減衰するため出力波が**小**さくなる。伝播速度は見掛け上遅くなる
- グラウトが**未充填**の場合
 - 伝播エネルギーの減衰が小さくなるため、出力波が**大**きくなる。伝播速度は見掛け上速くなる

X線撮影(適用範囲:主ケーブル)

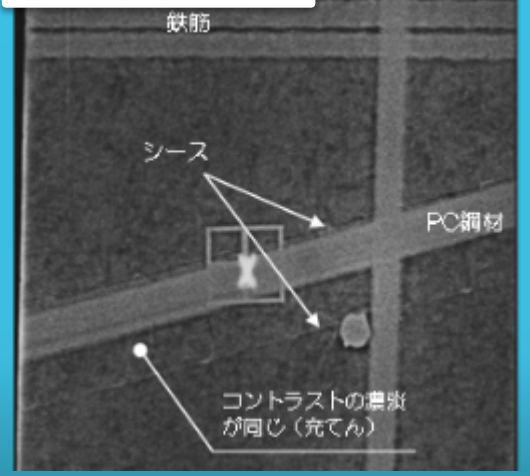


- ・放射線(X線)は、物質を透過する性質および放射線がフィルムなどの感光材料に当たった時に感光させる性質をもっている。
- ・感光材料に到達する放射線の強さは透過する試験体の厚さ、材質に大きく影響され、**鋼材**は放射線を**透過しにくく**、**空洞**等の気体は放射線を**透過しやすい**

未充填の場合



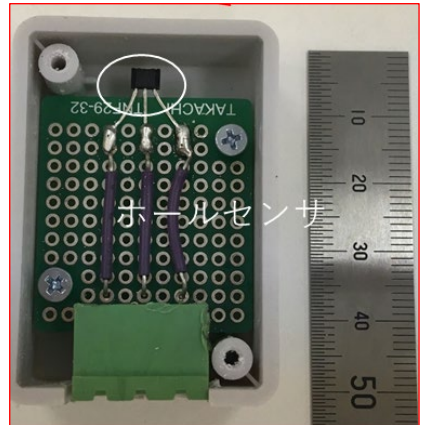
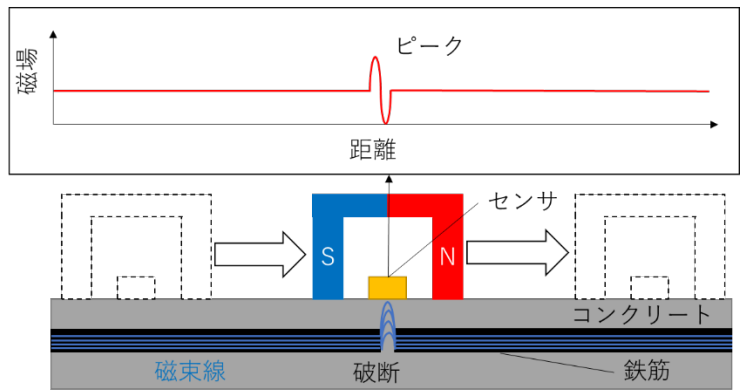
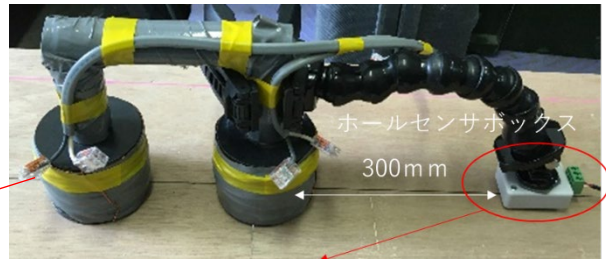
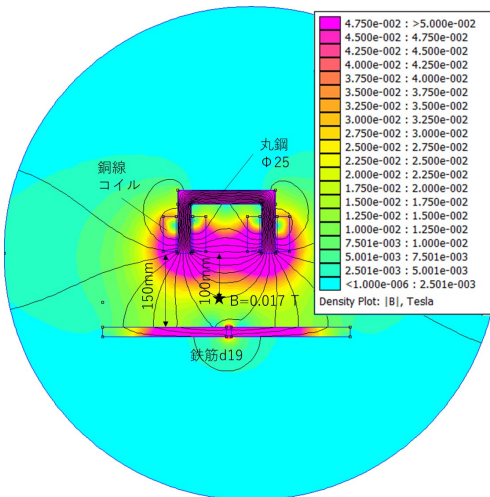
充填の場合



- ・コンクリート内の鋼材(鉄筋やPC鋼材等)は周囲に比べて白く写り、**空洞**は**黒く**写る。
- ・撮影された画像のコントラストの違いによってグラウト充填状況を識別することができる 29

漏洩磁束法

- PCの鉄筋破断装置の開発
 - 国内の測定装置では、永久磁石と磁場センサの2つから構成されており、非常に思い、大型
 - 【開発】永久磁石の代わりに電磁石を使用して軽量化
- ※「コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集」に投稿



1. はじめに

2. 既往の計測業務

3. インフラDXに伴う計測業務

インフラ・物流分野等におけるDX(デジタルトランスフォーメーション)を通じた抜本的な生産性の向上

- 建設生産プロセスの大胆な効率化等に向けて公共事業等の全面的なデジタル化に踏み込むとともに、コロナ対策を契機に、非接触・リモート型に転換することにより、抜本的な生産性の向上を図る。
- 令和5年度より、一定の公共事業において構造物全体を3次元のデジタル・データで処理するBIM/CIMを適用することとし、それを起点に、設計・施工から維持管理・活用に至る一連の建設生産プロセスやストック活用を原則デジタルで処理・管理可能とする。その際、インフラ・物流分野等において、リアルデータを積極的に活用し、各種施策の迅速化を図るとともに、コロナウイルスによる感染拡大防止につながるリモート化、省人化に取り組むことにより、抜本的な生産性の向上を期するDXを加速する。

BIM/CIMを起点とした設計・施工・維持管理・ストック活用の効率化・高度化と中核拠点の導入

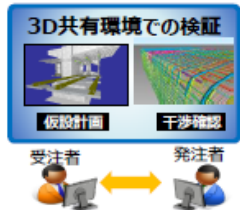
- ・ 令和5年度より、6,000万円以上の公共工事において、3次元モデルを導入するBIM/CIMを適用

- ・ ビッグデータを集約・管理し、先端技術の現場実証や技術開発、リアルデータ処理・活用人材等のための拠点を導入



公共事業を「現場・実地」から「非接触・リモート」に転換

- ・ 発注者・受注者間のやりとりを「対面・紙媒体方式」から、BIM/CIMデータを用いた「非接触・リモート」方式に転換するため、地方整備局におけるデータ収集のためのICT環境を整備



「地域の守り手」である熟練技能のビッグデータへの継承と人材育成のためのリアルデータの活用

- ・ 熟練技能労働者の動きのリアルデータで取得し、民間と連携し、省人化・高度化技術を開発
- ・ モーションセンサーなどを活用し、「技能の見える化」による効果的な人材育成手法を構築

技能のデジタル化



IoTで人の動きのリアルデータ取得

都市インフラ・まちづくりのDX～City as a Serviceの実現～



- ・ 世界水準の「3Dデジタルマップ」を作成し、都市活動データ等を挿入
- ・ それらを活用して、全体最適、市民参加型の機動的な都市インフラ開発・まちづくりを推進

検疫時等の情報収集能力の向上

- ・ コロナ対応を契機に、検疫を集約する可能性のある港湾で、デジタル画像等によるリモートかつリアルタイムでの船舶周辺の情報収集を可能とし、関係者の感染リスク軽減等を図る。



コロナ対策を契機とした自動車運送事業の非接触・リモート化



- ・ 非対面、遠隔地間でのIT点呼のさらなる拡大等により運転者等の感染リスク軽減や省力化を図る。

令和5年度より、6,000万円以上の公共工事において、3次元モデルを導入するBIM/CIMを適用するなど、インフラ・物流分野等に係る情報がデジタル化され、官民におけるデータ連携・活用を進めることにより、建設生産プロセスや、物流等の生産性が抜本的に向上。

インフラ分野のDX(デジタル・トランスフォーメーション)の推進



- 新型コロナウイルス感染症対策を契機とした非接触・リモート型の働き方への転換と抜本的な生産性や安全性向上を図るため、5G等基幹テクノロジーを活用したインフラ分野のDXを強力に推進。
- インフラのデジタル化を進め、2023年度までに小規模なものを除く全ての公共工事について、BIM/CIM※活用への転換を実現。
- 現場、研究所と連携した推進体制を構築し、DX推進のための環境整備や実験フィールド整備等を行い、3次元データ等を活用した新技術の開発や導入促進、これらを活用する人材育成を実施。

※BIM/CIM (Building/ Construction Information Modeling, Management)

公共事業を「現場・実地」から「非接触・リモート」に転換

・発注者・受注者間のやりとりを「非接触・リモート」方式に転換するためのICT環境を整備

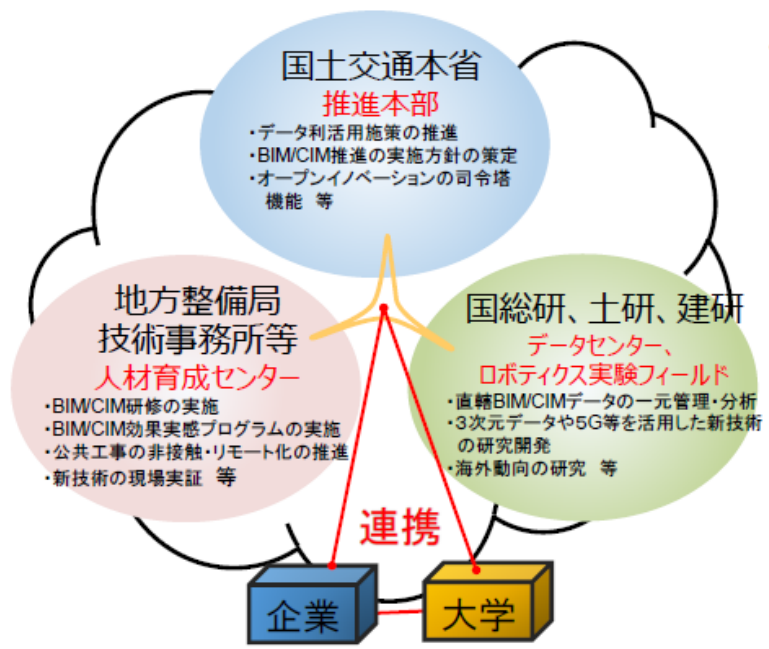


インフラのデジタル化推進とBIM/CIM活用への転換

・対象とする構造物等の形状を3次元で表現した「3次元モデル」と「属性情報」等を組み合わせたBIM/CIMモデルの活用拡大



インフラDXを推進する体制の整備



5G等を活用した無人化施工技術開発の加速化

・実験フィールド、現場との連携のもと、無人化施工技術の高度化のための技術開発・研究を加速化

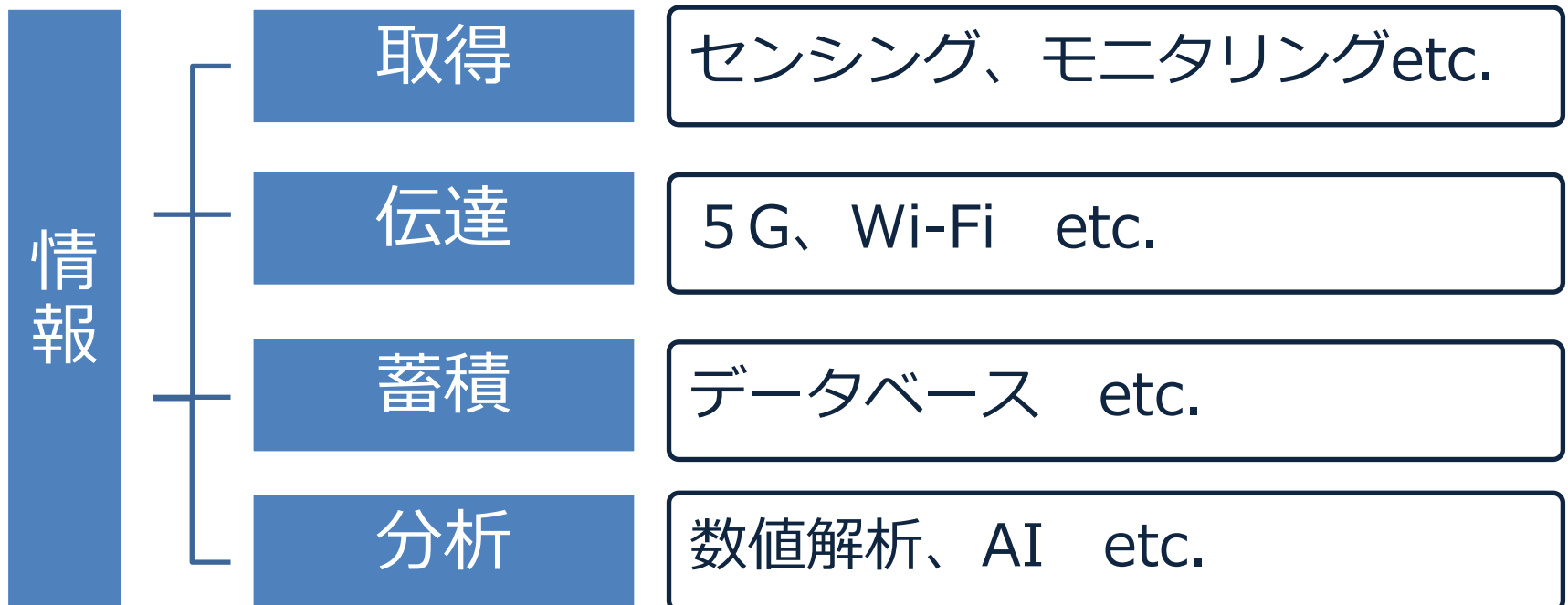


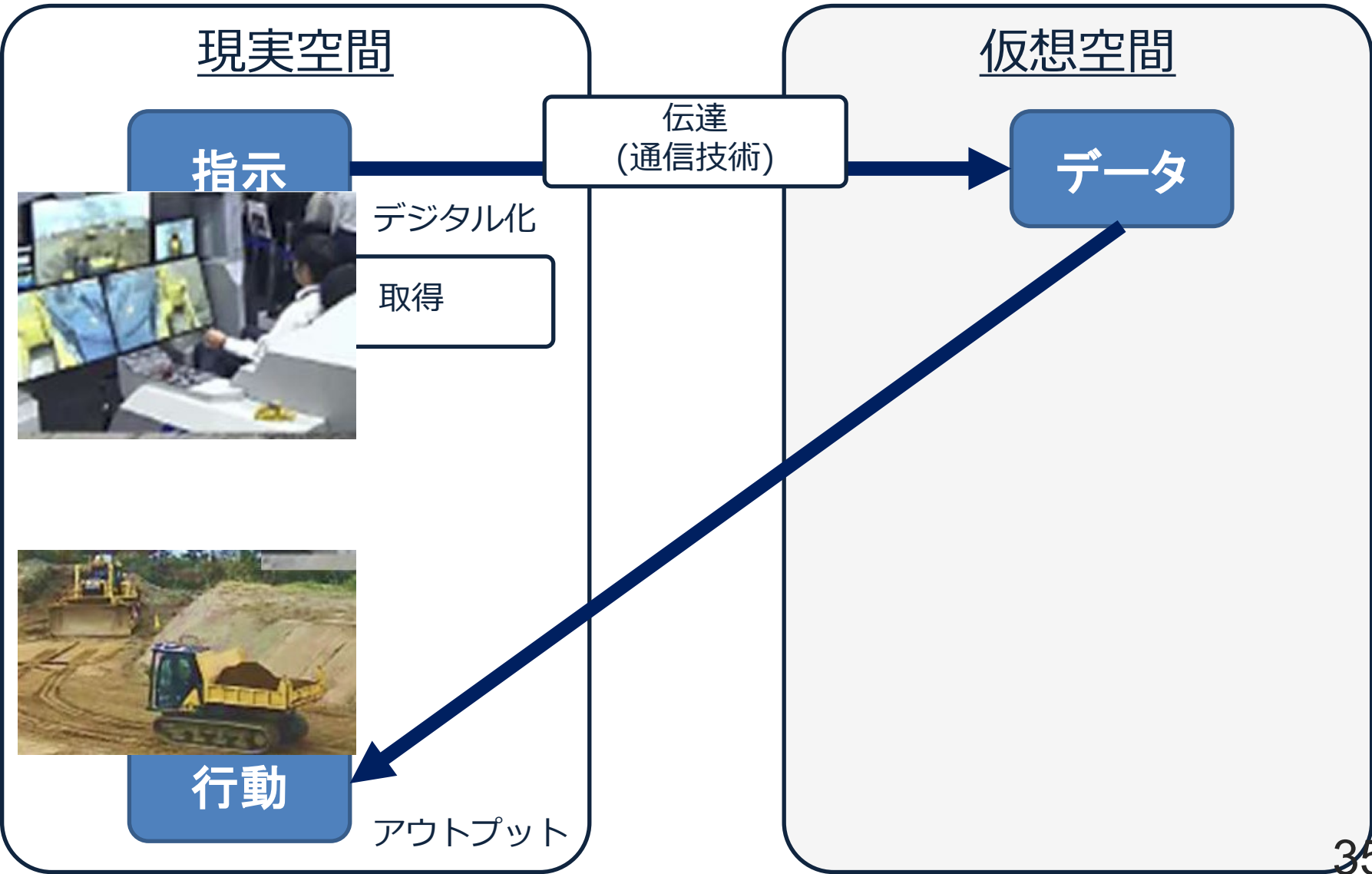
リアルデータを活用した技術開発の推進

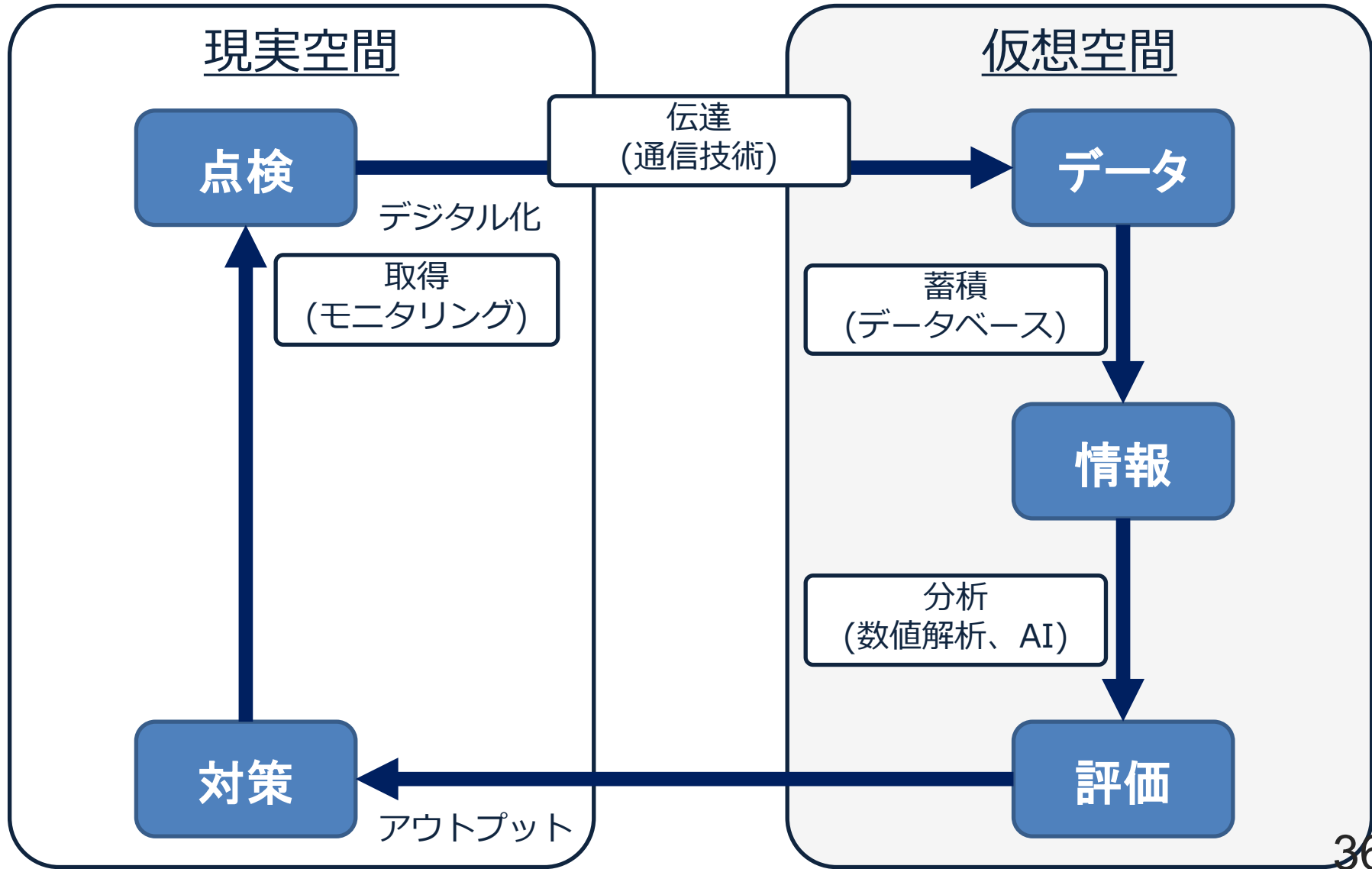
・熟練技能労働者の動きのリアルデータ等を取得し、民間と連携し、省人化・高度化技術を開発



「計画」→「設計」→「施工」→「維持管理」の流れにおいて、各分野、または横断して、現実空間と仮想空間を行き来する「**情報**」を中心とした変化





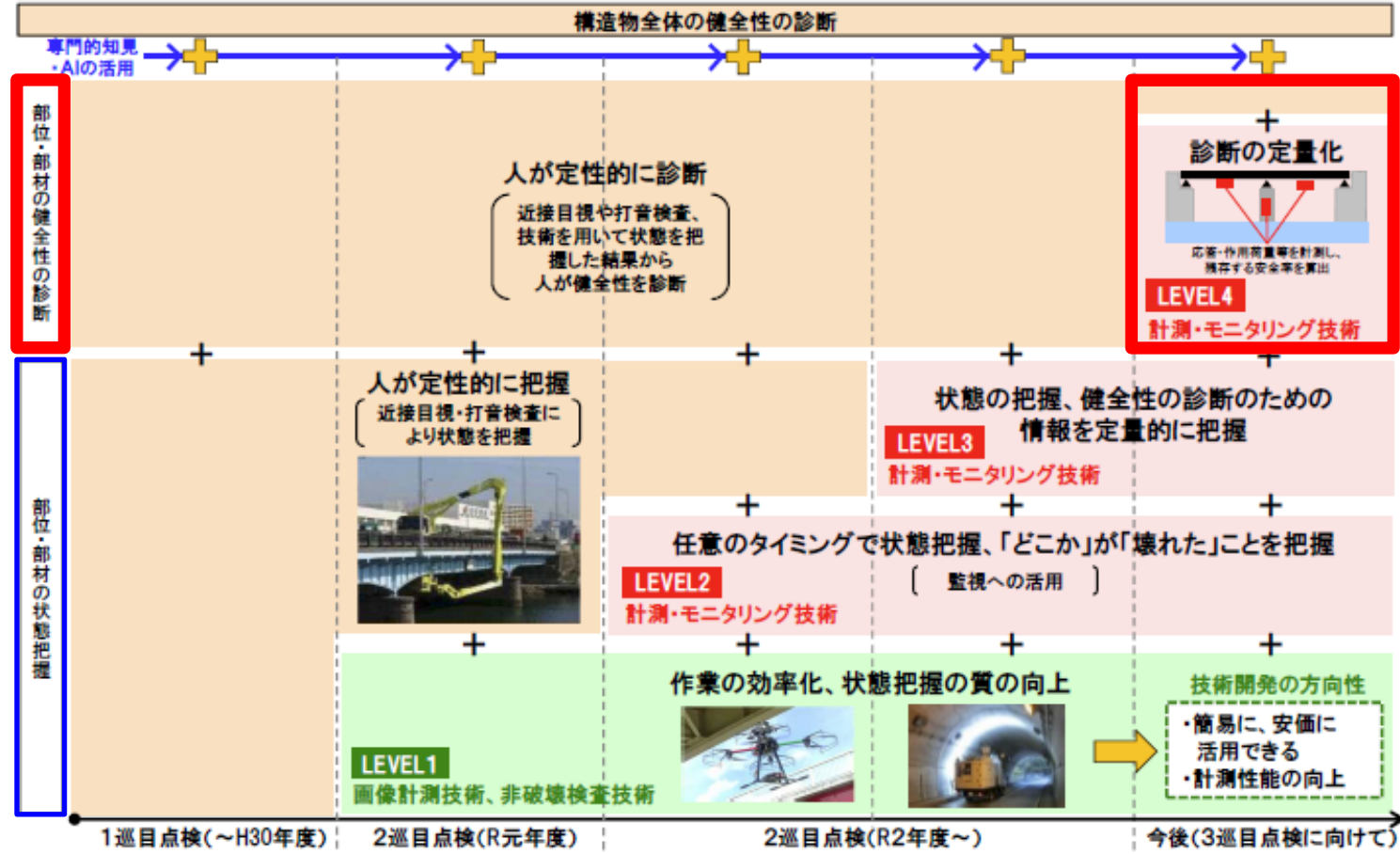


国土交通省の今後の方向性

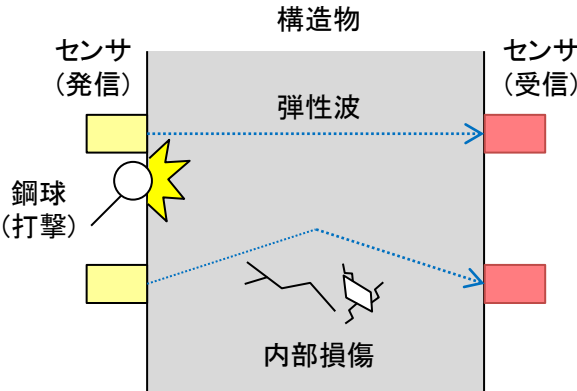
【資料3】道路メンテナンスに関する今後の検討事項について.第14回道路技術小委員会(2020年11月12日)

定期点検における新技術活用の方向性(案)

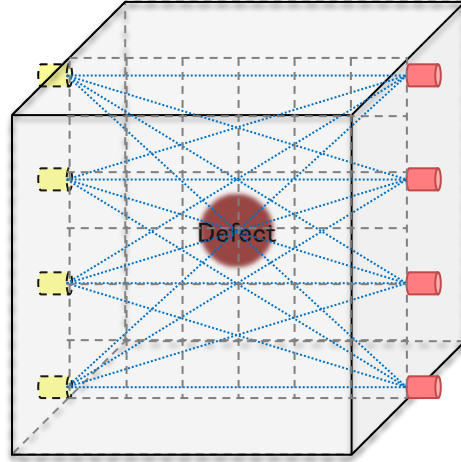
- 部位、部材の状態把握は、目的に応じて最適な技術を組み合わせることで効率的に実施。
- 健全性の診断は、AI等の技術も活用しつつ、人(知識と技能を有する者)が実施。



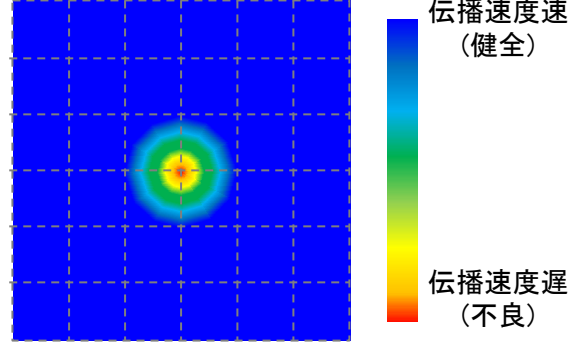
診断の定量化 トモグラフィ調査



弾性波透過イメージ



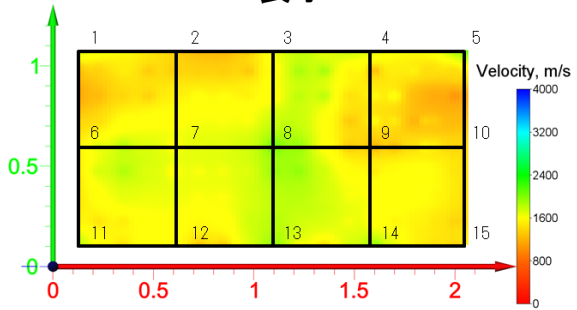
調査イメージ



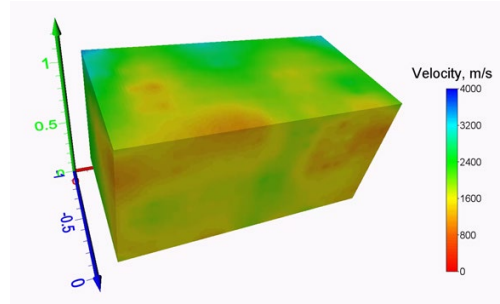
低速度領域を可視化



2D表示



3D表示



- **弾性波**が損傷部を迂回する(見掛けの伝播速度が低下する)ことを利用した非破壊調査手法
- 調査箇所を格子状に分割して解析することで、**内部欠陥を可視化**することができる

現状

- ・ 個別の詳細調査として実施
- ・ 個々で点検データを管理

【他の詳細調査】

- ・ 採取コアによる強度
 - ・ 載荷試験
- (ひずみ、たわみ、固有振動等)

今後

- ・ 個別 + 汎用性のある
詳細調査を実施
- ・ BIM/CIMでの属性情報として
管理、活用できないか

BIM/CIMとの 融合



ご清聴ありがとうございました