

社会インフラメンテナンスシンポジウム

これからの社会インフラメンテナンスの技術戦略を考える －今後の維持管理・更新に関する技術開発の方向性－

主 題

平成 25 年度に、特許庁は「社会インフラメンテナンス技術に関する特許出願技術動向調査」を実施した。また、今年度、内閣府では「SIP (戦略的イノベーション創造プログラム)」として、「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の研究開発に着手した。

本シンポジウムでは、これらの調査成果や現在の取組み状況を報告するとともに、土木学会・調査研究部門委員会による取組み事例を紹介し、社会インフラ維持管理・更新に関する更なる分野横断的な研究・技術開発の推進や、次なる技術開発の方向性を見出すことを目的とする。

平成 27 年 1 月 30 日

土木学会 講堂

主催：(公社) 土木学会 社会インフラ維持管理・更新の重点課題検討特別委員会

共催：(公社) 土木学会 鋼構造委員会, 応用力学委員会, コンクリート委員会,
舗装工学委員会, 土木情報学委員会, 建設用ロボット委員会,
地下空間研究員会

プログラム

- 13:00～13:05 開会挨拶
橋本鋼太郎（社会インフラ維持管理・更新の重点課題検討特別委員会委員長）
- 13:05～13:35 基調講演 インフラ維持管理・更新・マネジメント技術 ―安全で強靱なインフラシステムの構築を目指して―
藤野 陽三（横浜国立大学 先端科学高等研究院／上席特別教授）
- 13:35～14:05 平成 25 年度 特許出願技術動向調査 ―社会インフラメンテナンス技術―
高橋 祐介（特許庁 審査第一部 自然資源 都市・地域基盤／上席総括審査官）
- 14:05～14:15 質疑応答
- 14:15～14:25 休憩
- 14:25～14:35 趣旨説明 大西 博文（土木学会 専務理事）
- 14:35～14:55 社会インフラ維持管理・更新に関する土木情報学分野の技術開発の現状と今後の展望（土木情報学委員会）
矢吹 信喜（大阪大学 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻／教授）
- 14:55～15:15 応用力学委員会における社会インフラ維持管理・更新に貢献する技術開発の現状と今後の課題（応用力学委員会）
中畑 和之（愛媛大学 大学院 理工学研究科 生産環境工学専攻／准教授）
- 15:15～15:35 社会インフラの維持管理における建設ロボットの適用について（建設用ロボット委員会）
建山 和由（立命館大学 理工学部 環境システム工学科／教授）
- 15:35～15:55 国際標準・アセットマネジメントシステムに対応した実践トンネルマネジメントシステムの検討（地下空間研究委員会）
森山 守（中日本高速道路株式会社 金沢支社 保全サービス事業部保全チーム／リーダー）
- 15:55～16:15 衝撃弾性波検査法によるコンクリート下水道管路の健全度評価とストックマネジメント（コンクリート委員会）
鎌田 敏郎（大阪大学 大学院 工学研究科 地球総合工学専攻／教授）
- 16:15～16:35 鋼構造物の維持管理・更新に貢献する技術開発の現状と今後の展望（鋼構造委員会）
野上 邦栄（首都大学東京 大学院 都市環境科学研究科／教授）
- 16:35～16:55 舗装の健全度評価の現状と今後の展望（舗装工学委員会）
城本 政一（大成ロテック株式会社 事業本部 技術研究所／課長）
- 16:55～17:05 休憩
- 17:05～18:00 パネルディスカッション（全体討議）
司会：藤野陽三（横浜国立大学）
パネリスト：高橋 祐介（特許庁） 矢吹 信喜（大阪大学）
市村 強（東京大学） 建山 和由（立命館大学）
森山 守（中日本高速道路㈱） 鎌田 敏郎（大阪大学）
野上 邦栄（首都大学東京） 城本 政一（大成ロテック㈱）
- 18:00 閉会挨拶
岩波光保（社会インフラ維持管理・更新の重点課題検討特別委員会第二部会幹事長）

資料目次

- インフラ維持管理・更新・マネジメント技術 ―安全で強靱なインフラシステムの構築を目指して― . . . 1
藤野 陽三（横浜国立大学）
- 平成 25 年度 特許出願技術動向調査 ―社会インフラメンテナンス技術― 29
高橋 祐介（特許庁）
- 社会インフラ維持管理・更新に関する土木情報学分野の技術開発の現状と今後の展望 . . . 39
矢吹 信喜（大阪大学）
- 応用力学委員会における社会インフラ維持管理・更新に貢献する技術開発の現状と
今後の課題 . . . 55
中畑 和之（愛媛大学）
- 社会インフラの維持管理における建設ロボットの適用について 65
建山 和由（立命館大学）
- 国際標準・アセットマネジメントシステムに対応した実践トンネルマネジメント
システムの検討 . . . 75
森山 守（中日本高速道路株式会社）
- 衝撃弾性波検査法によるコンクリート下水道管路の健全度評価とストックマネジメント . . . 85
鎌田 敏郎（大阪大学）
- 鋼構造物の維持管理・更新に貢献する技術開発の現状と今後の展望 95
野上 邦栄（首都大学東京）
- 舗装の健全度評価の現状と今後の展望 107
城本 政一（大成ロテック株式会社）



インフラ維持管理・更新・マネジメント技術
～安全で強靱なインフラシステムの構築を目指して～

平成27年1月30日

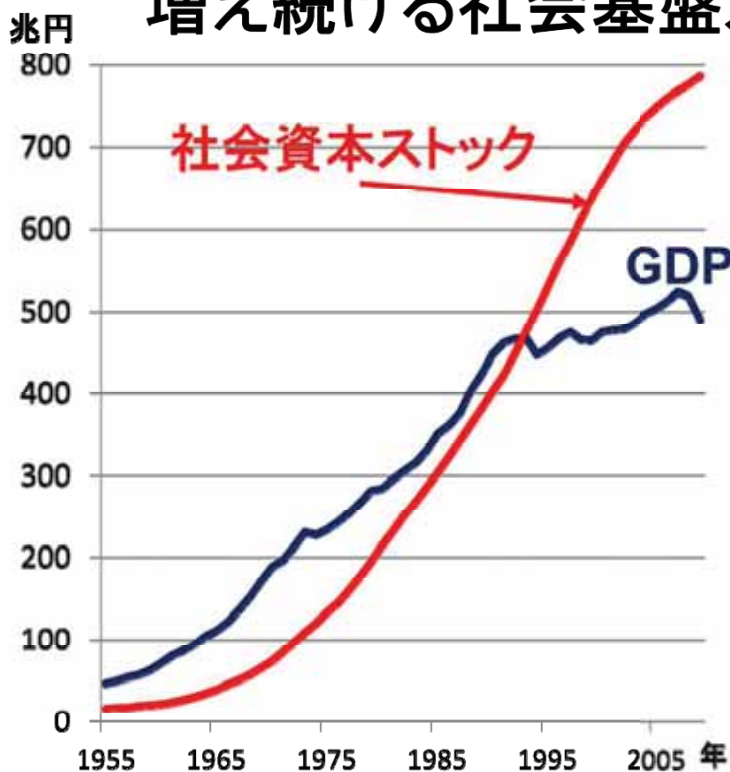
内閣府 プログラムディレクター

藤野 陽三

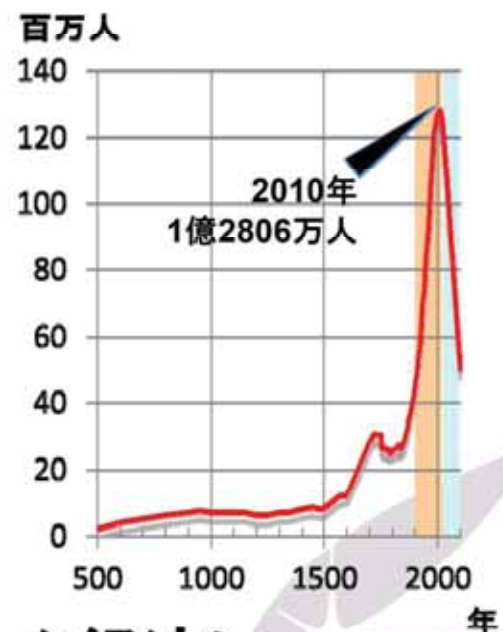
(横浜国立大学先端科学高等研究院)

増え続ける社会基盤ストック

2

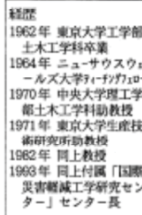


人口減



フロー経済からストック経済に

野口悠紀雄「社会的共通資本」(宇沢弘文編)



時点でほとんど問題はないところにある。メンテナ
が国のインフラストラクチャー事業家の共通の認識は、現
在に全力投球するの必要を感じていない。

しかし、話を進めていくと、それまで将来に対して漠然と
した不安を持っていたことがわかる。ある日突如として、そ
れまで想像もしなかった割合で事故が起こり出すかもしれない
という不安である。

私は今年55歳の年である。戦後成長期の中身である。戦後は日本は高度の期であった。まさに水道、電気、ガス、暖房が多かった。1950年代に入っても、ほとんどの人は、掃除機、洗濯機、カラーテレビなどは目の生活には一生慣れだと思っていた。いわば自動車も、である。それが、1950年代の終り頃から急激な進歩の時期に入った。東京近辺ビックリ調の高成長期には、東京周辺の電力需要は、一年に17%伸びを示したと言われ、それに対応する設備投資がもたらされた。

急激な進歩、生産の時代がいつまでも続くわけではない。ア

特集 生産からメンテナンスへ

アメリカ合衆国の場合、1960年代後半から道路・橋・下水道施設などの社会資本に対する適切な投資がなされず、1970年代の終わり頃から「荒廃するアメリカ」が、社会問題として大きく注目されるようになった。

とある。委員会はメンバーは、電気、電話、水道、ガスなど、社会資本の本中をなす事業業者である。そのときに、わが国のインフラストラクチャーは、建設から維持・補修の時代に入りつつあり、その議論が大部分を占めた。経済の追い風が留まった今日、その印象はますます強い。

そこで5年前に受けた議論を思い出しながら、社会資本を中心として、「建設から保守へ」という、極めて今日の課題を論じてみたい。

他方あまりにテンポの早い整備の中には拙速に過ぎた施設があったのではないかとさえも顧慮をよぶ。需要家のニーズとサービスへの要求水準が変わってきた。電力やガス通信がその代表である。1分間の停電も社会的に許されなという状況になったとき、いまの施設で大丈夫だろうか。

ところが、メンテナンスについて真面目に検討をはじめようとするか、周囲の理解が得にくい。明確なニーズがないものにあって費用をかける必要はない。事故も起きないのになぜ取り替える必要があるのか。」

「トクナヒがたてこむ一早くも止るべし、つかぬものはとちやうと論じたるごとく、インフラストラクチャーの保守を怠れば、その必要性を説得できる哲学がない。」

企業として保守に専らしてかりた考えがない。ものをつくく技術は死に物狂ひで開発してしまいが、メンテナンスのための技術は十分そろっていない。メンテナンスの期間とものを発注の関係を調べるともデータが不足している。これでは保保の仕様が会社ごとく仕組みとしてうまく転がっていないのは当然である。

例外的に予防保全と積極的に取り組んでいる企業に話を聞いてみると、多くの場合、過去に大きな事故を経験しており、

片山 恒雄

吉川弘之*

78
馬 望

[illegible]

企業あるいは工学研究の場において、従来よりもっと
 絶たぬ努力がなされて工業製品の品質が著しく、生活環境の
 質的改善がなされ、これら人間と人間環境の関わり、社会環境の
 変化に際して現れて、人間がより快適な暮らしを求め、確
 かに持てる意思と、人間が求めた側面より自然環境を保護し、
 人間物による迅速な技術開発によってそれを置き
 換えることを定例として、新しいものや製品を作るために、工業製品
 による生活環境の改善、新しいものや製品を作ることに
 しても自然環境に与える影響が大きい。従って、すでに存
 在するものに必要となる、環境保全に資するものであると
 したれば、それは必要であるが絶たぬ努力が必要となる。

これは、民衆にその理想を具現化して自然の人々へ
浸透させるものだとする了解であり、民衆に実行されて
いる。しかし、この理想は肯定を受ける必要がある。
この理想と、企業における利益の確保と結合して、大
衆生産・大衆消費の形式を示し出す。特に政府ではそれ
を軸にして、民衆の「絶対大衆」へと成長することを
理想にしたと見られる。

* 原稿受付 昭和四十七年七月十八日。

— 228 —

[illegible]

© 2004 Blackwell Publishing Ltd, *Journal of Internal Medicine* 255: 109–116

Portrait of Professor Emeritus Shiro Kawai, a man with white hair wearing a dark suit and tie.

吉川弘之
東大総長
日本学術会議会長

今の御茶の水

聖橋



橋は地域のランドマーク 町の景観
橋は思い出の場になりうる 記憶のreference
そのためには安全で長持ち



精密検査を受け
本格治療, 手術し
首都と日本の道脈に
ふさわしく
お化粧も少し

首都高速道路構造物の 大規模更新のあり方に関する 調査研究委員会

報 告 書

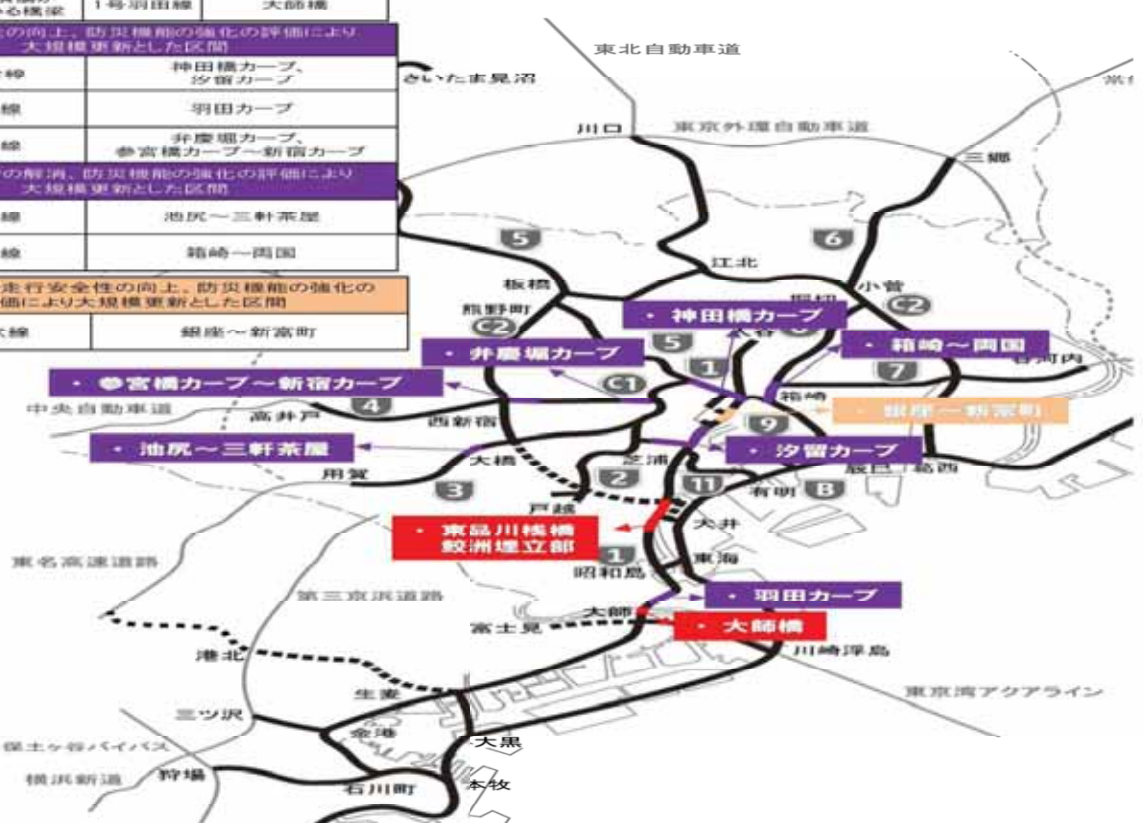
平成 25 年 1 月 15 日



7

○ 大規模更新の実施区間は、約16km(検討区間の約3割)

今後の維持管理上の問題から大規模更新となった区間		
栈橋構造	1号羽田線	東品川栈橋
護岸埋立構造	1号羽田線	蛟洲埋立部
複合的な疲労損傷が多数発生している橋梁	1号羽田線	大師橋
走行安全性の向上、防災機能の強化の評価により大規模更新とした区間		
都心環状線	神田橋カーブ、夕留カーブ	
1号羽田線	羽田カーブ	
4号新宿線	井原堀カーブ、参宮橋カーブ～新宿カーブ	
ボトルネックの解消、防災機能の強化の評価により大規模更新とした区間		
3号渋谷線	池尻～三軒茶屋	
6号向島線	箱崎～関国	
平地下部の走行安全性の向上、防災機能の強化の評価により大規模更新とした区間		
都心環状線	銀座～新富町	



東品川栈橋部損傷状況



コンクリート剥離・鉄筋露出



コンクリート剥離・鉄筋露出(左図の拡大)



コンクリート剥離・鉄筋露出



杭頭部のコンクリート剥離



点検通路の欠損



満潮時の状況



© Metropolitan Expressway Company Limited
2013



高速道路資産の
長期保全及び更新のあり方に関する
技術検討委員会

報告書

平成26年 1月22日



10

		項目	主な対策	延長※1	概算事業費※2
大規模更新	橋梁	床版	床版取替	約 230km	約16,500億円
		桁	桁の架替	約 10km	約 1,000億円
	小 計			約 240km	約17,600億円
大規模修繕	橋梁	床版	高性能床版防水 など	約 360km	約 1,600億円
		桁	桁補強 など	約 150km	約 2,600億円
	土構造物	盛土・切土	グラウンドアンカー 水抜きボーリング など	約 1,230km	約 4,800億円
	トンネル	本体・覆工	インバート など	約 130km	約 3,600億円
	小 計			約 1,870km	約12,600億円
合 計			約 2,110km	約30,200億円	

“よい”ものを作ってほしい。

維持管理（点検，補修，取替えなど）のことを
考えて． 耐久性のあるものを
点検できないところを極力無くす．

供用期間を100年と考えて，どのくらいの初期
コストの上昇が認められるか？

5%？ 10%？ **LCC思想の徹底**

出来の悪い橋はじわじわと攻めつけてくる。

床版のLCCを考える

RC床版 2.5万円/㎡～3万円/㎡

エポキシ鉄筋 2倍 15%アップ

日本では滅多に使われない



防水層 数千円から1万円程度 ネクスコ2010年から？

床版のLCCを考える (2)

RC床版交換

撤去, 足場, 等々 迂回ルートを用意

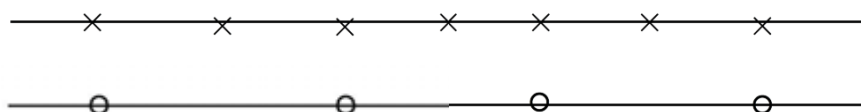
20万円/㎡のオーダー

ネクスコの既往例だと

もっと高額(新設の**10**倍以上)

+ 間接損失 (交通時間, 渋滞など)

RC床版 仮に40年寿命



将来のコストは現在に戻すと小さく見える

(社会的割引率 r 利子のようなもの)

$r=3\%$ 前後が広く使われる. 昭和40年の1万円は
今の4万円(日銀)

$(1.03)^{40}=1/3.2$ 40年後のコストは
現時点ではその3割

更新費が単純新設費の5倍と1.5だと $5 \times 0.3 = 1.5$
80年もつものならば新設費は $1 + 1.5 = 2.5$ 倍までは許される



初期品質の重要さ

Cost 競争

より

Quality 競争

どのようにそれを達成するか？

入札, 契約





供用期間 100年

受注者は、その間の維持管理計画を立てて、その妥当性を検証 **30年間の維持管理費用を負担。**



17

- ◆力学性能が高いため、床版厚を薄くでき、軽量化可能
⇒ 棧橋ジャケットと鋼管杭の鋼材量の低減
- ◆組織が緻密で塩分の浸透を防ぎ、塩害抵抗性が高い
⇒ 維持管理費の低減



サクセム製UFC 床版

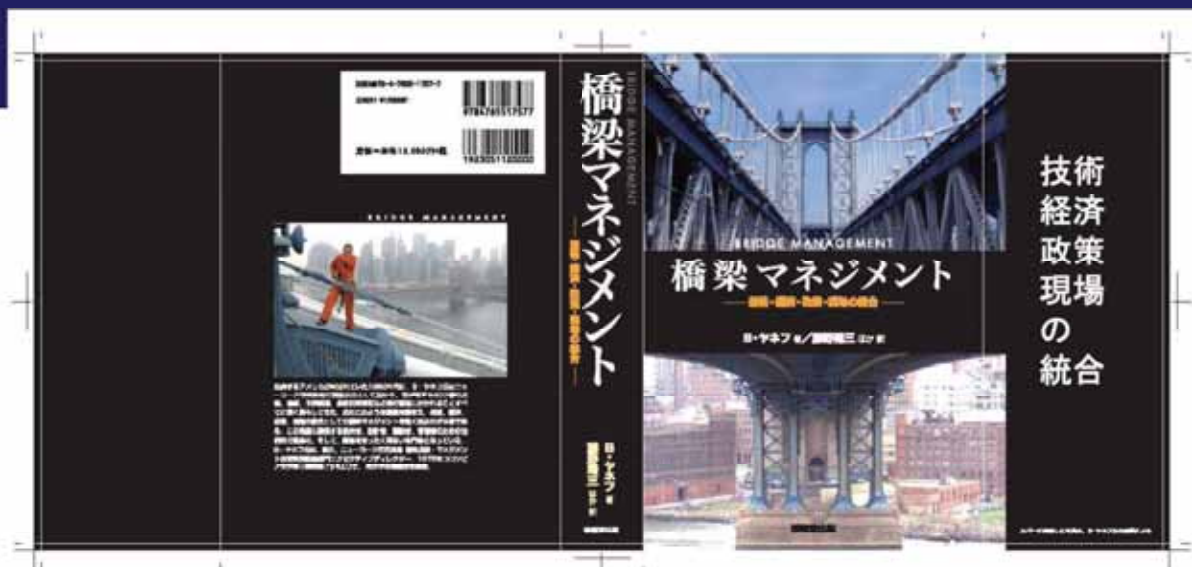




19

「作る」時代から「使う」時代
さらに「マネジメントする」時代

橋梁マネジメント 原本 2007年(訳2009年)



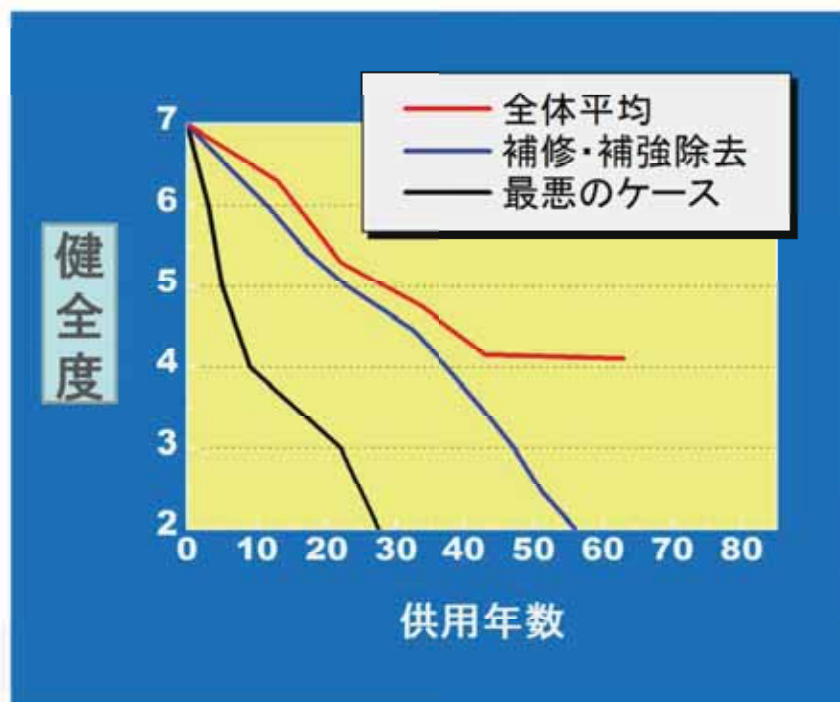
橋が古くなると

一過去の事例から一

ヤネフ「是非, アメリカの例 から学んで欲しい。」

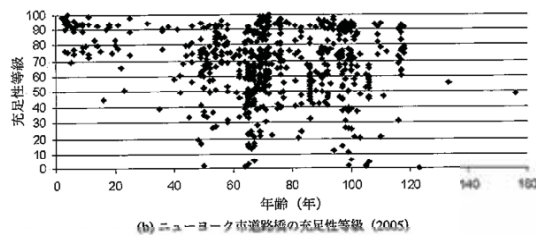
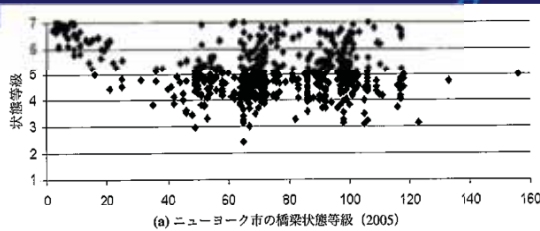
劣化の予測

NY市の橋梁の平均劣化モデル
(Yanev, B., 1997)



ニューヨーク市の橋梁

健全度評価デー



大きなバラツキ

点検結果から、劣化傾向を推定
(理論的予測は極めて難しい)



Geroge Washinton 橋



1931年完成

建設費 5900万ドル

現在はレーンが追加され2
0車線

1992-1997 大規模補修3
600万ドル

通行量4.7ドル

年間収入約200万ドル

通行料金を補修に充て
状態は良好





イースト川橋梁群の改修費用見積もり

ブルックリン橋	464 (百万 \$) (ほぼ億)
マンハッタン橋	788
ウィリアムズバーグ橋	989
クィーンズボロ橋	741

新設より高くつく



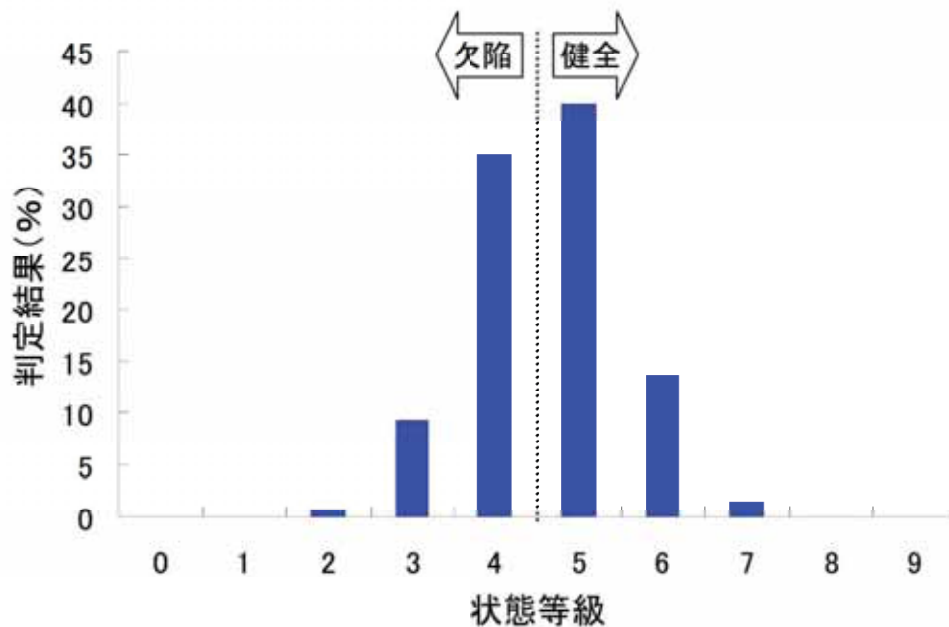
比較

- NYC
800橋 5000スパン 150万 m^2
橋梁への予算(ほとんどが補修費) 500億円
- 首都高速道路
面積: 約540万 m^2 (内橋梁面積約400万 m^2)
維持管理費: 約570億円



27





目視検査の信頼性

アメリカの次のステップ -長期橋梁性能プログラム(LTBPP)(20年間)-

- 検査の定量化
- 系統的・継続的なモニタリングに基づく
定量的情報基盤の整備
センシングへの注目
- 廃棄時の解剖的検査
- 劣化・陳腐化を定量化
- 予測の高精度化
- スtockマネジメント効率化
- 新技術開発の基盤の確立
- 土木工学の国際競争力 強化-



- **日本は一周遅れ**

Common Problems in Concrete Bridge Decks



Non Destructive Evaluation (NDE) Methods

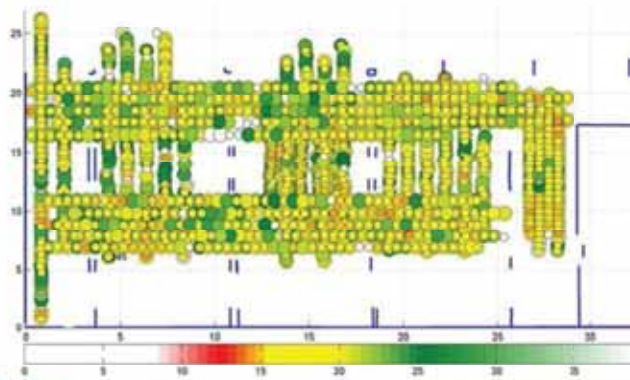
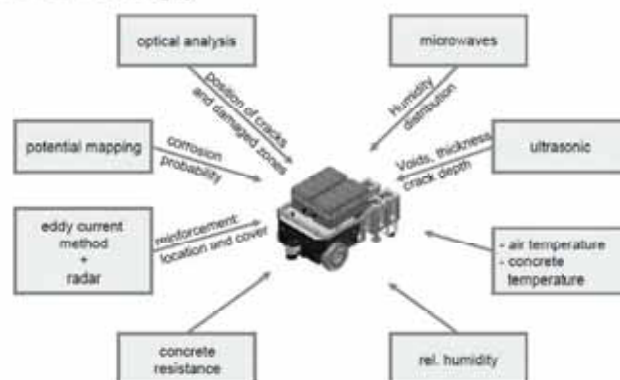




SIP

33

BETOSCAN-system (BAM and Fraunhofer Institute in Germany)



Ultrasonic thickness measuring of a concrete plate

Idea: Simultaneous measurement of all key parameters over the whole surface of concrete decks by robot to detect possible void, delamination, corrosion, etc.

2012年12月



背景

36

○道路インフラの**近接目視**点検(5年に一度)の義務化

○全国**70万**の橋梁, **1万**のトンネル, 標識などの付属物もまともにやればその費用(市場)は数千億円のオーダー

○**大規模更新**・修繕のコストは**高速道路**だけで**4兆円/15年**

○大規模更新は新設の数倍から(場合によっては)数十倍かかる。全国の道路, 港湾空港, 河川, 農水... あわせれば**百兆円を超える?**

○科学的に, 先端技術を使って, いかに点検費用, 更新費用を減らすか? 決して見える利益を生むものではないが, 大きな**社会的貢献**。

笹子トンネル事故(2012年12月)



平成26年度重点課題 (総合科学技術会議)

- 環境・エネルギー
- 健康・高齢化社会
- インフラの安全,
ICTの適用
センサー, ロボット, ビッグデータ
次世代インフラ

SIP 戦略的イノベーション創造プログラム
10課題のひとつ
インフラの維持管理, 更新, マネジメント技術



3. 対象課題候補とPD(政策参与)



研究開発計画案



インフラの維持管理・更新・マネジメント技術
～安全で強靱なインフラシステムの構築を目指して～

内閣府 プログラムディレクター
藤野 陽三



2. 大目標・ビジョン, 出口戦略

社会的目標

- インフラにおける劣化・損傷・欠陥を的確に検出し、適切に補修・更新することでインフラの維持管理費を抑え、重大事故を無くし、安心して暮らせる社会を実現。

技術的目標

- 維持管理に関わるニーズと技術シーズとをマッチングさせ、**現場で使いたくなる**新技術を開発することにより、予防保全を主体とした維持管理水準の向上、効率化を低コストで実現。

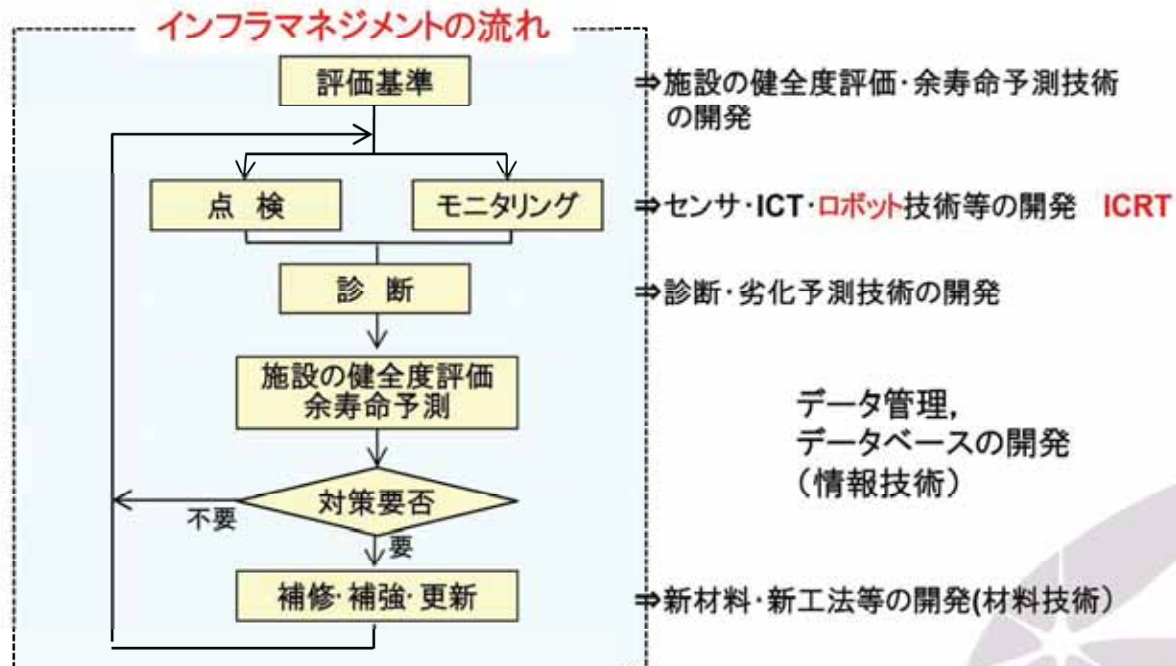
産業面の目標

- センサ、ロボット、非破壊検査技術等の活用により、**人間では困難な、行えない点検・補修**を低コストでかつ高効率化し、国内重要インフラを高い維持管理水準を確保し、あわせて魅力ある維持管理市場を創造。



研究開発内容

インフラ維持管理フローと要素技術開発



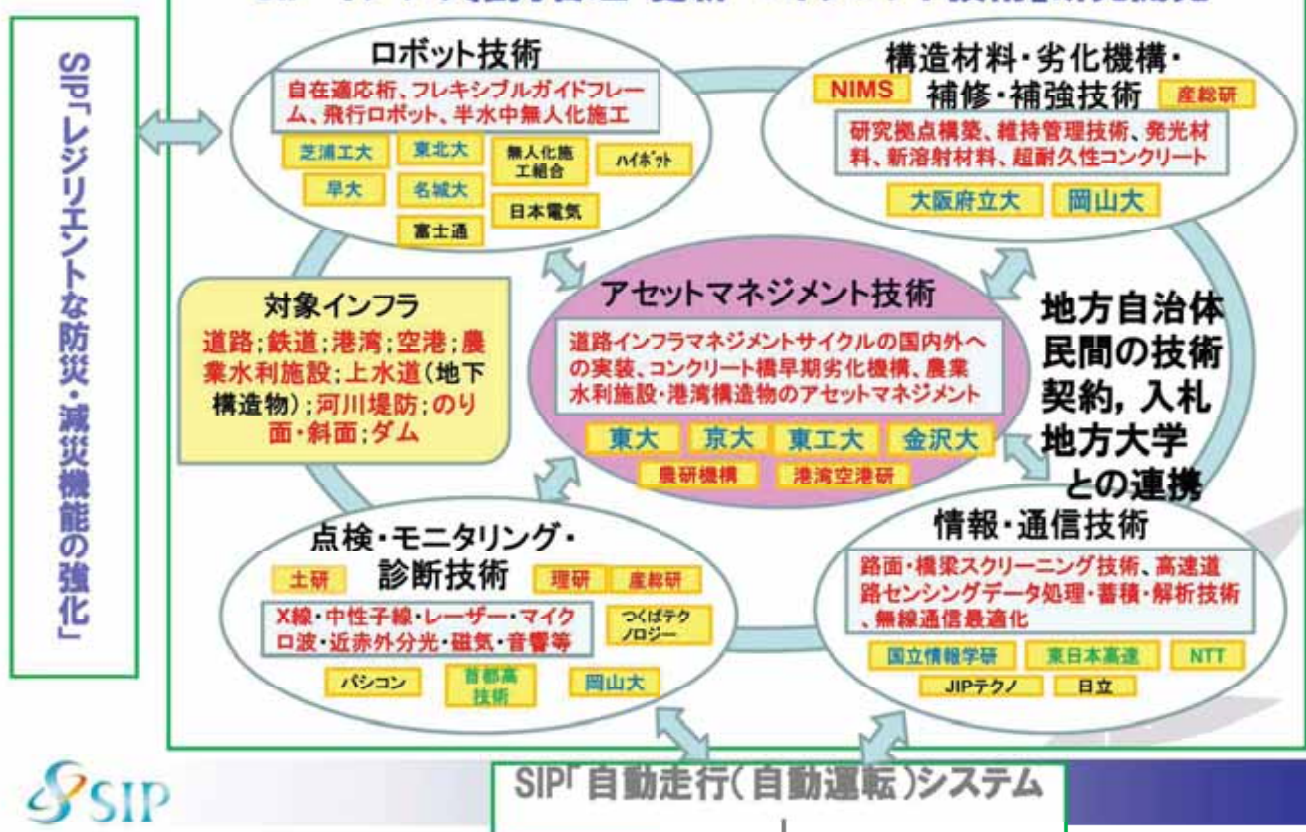
回るようにするためのアセットマネジメント(技術)

41

選定結果全体像

42

SIP「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」研究開発



1. 床版サブプロ

橋梁床版の余寿命予測・高耐久・長寿命化技術



橋梁床版の劣化が維持
更新経費の大半を占める

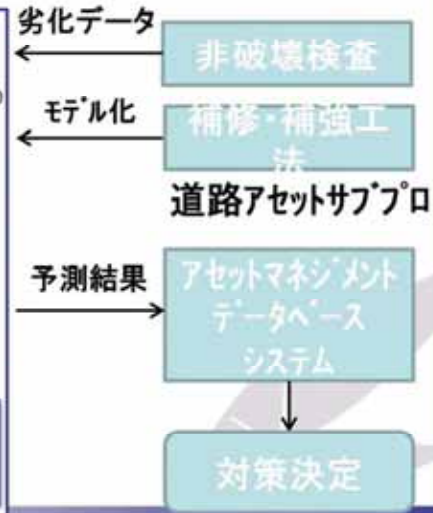
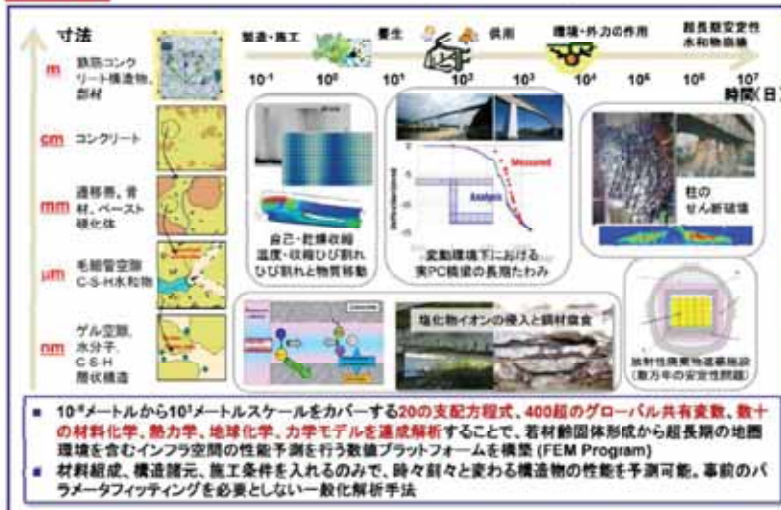


床版の余寿命予測・高耐久・長寿命化技術の
開発により、低コスト化と安全性の確保を両立

開発する余寿命予測システム

東大 前川教授

実績 マルチスケール統合解析(基幹技術)



新規性 マルチスケール統合解析と非破壊検査を連結することで、高精度な予測が可能に

目指す成果の例(橋梁)

44

高精度・安価なモニタリング・性能評価

【現状】

- ・人が近づけない橋梁(足場設置が必要) ⇒ 2割程度
- ・床版裏、桁細部で見えない箇所 ⇒ 5割程度

開発技術(点検・モニタリング・診断、情報通信、ロボット)

- 遠隔認識技術
コンクリートクラックを20~30m先から識別
- 省電力無線センサシステム
定期的な自動データ取得
- 飛行ロボット
足場設置コスト不要

要素技術間の 成果の活用

高精度な
データを供給

必要な点検
データ精度を
提示

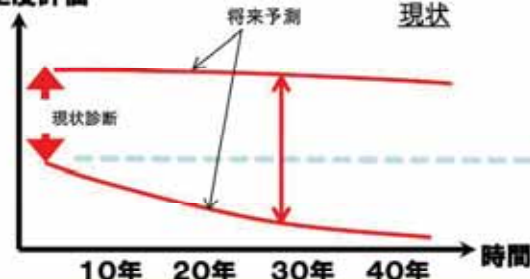
【現状】

- ・精度が悪く長期劣化予測不能

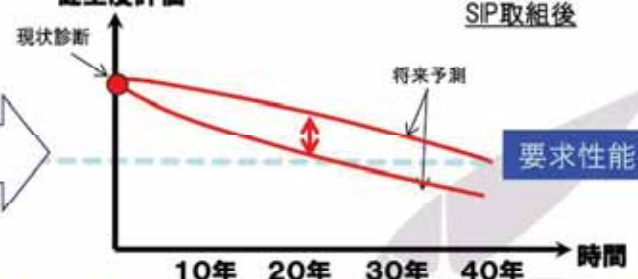
開発技術(構造材料・劣化機構・補修・補強)

- マルチスケール統合コンクリート解析
ナノレベルからメートルスケールをカバーする材料力学・化学・力学モデルを連成解析することで、高精度な超長期の劣化予測を実現

健全度評価



健全度評価



【現状】診断・予測精度のバラツキが大きく安全側対策のため更新費用大

(例)NEXCO3社において、更新・補修の対象となる高速道路は合計で2110km(総延長の約2割)、総概算事業費は3兆200億円

【目標】○高精度な診断・予測技術により更新・補修費用を2割以上削減

○近づけない場所(現状2割)・見えない場所(現状5割)の消滅

研究開発内容



点検 人による目視



ロボット (機械支援)

SIP(レジリエントな防災・減災
機能の強化)と連携

点検
補修工事

計測との連動
無人化

実用重視の
立場



45

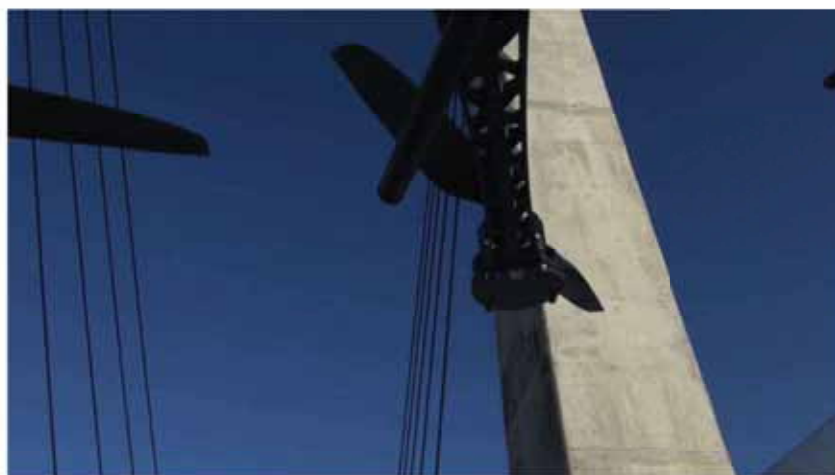


飛行ロボットの例



水中ロボットの例





ImPACT Program

タフ・ロボティクス・チャレンジ



ImPACT Program Manager

田所 諭
Satoshi TADOKORO

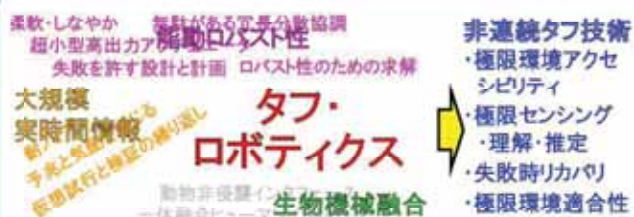
現：東北大学大学院情報科学研究科 教授
・1993年 神戸大学助教授、2005年より現職
・2002年 国際レスキューシステム研究機構設立
・2014年 IEEE RAS President-Elect

<研究開発プログラムの概要>

未知で状況が刻一刻と変化する極限災害環境であっても、へこたれず、タフに仕事ができる遠隔自律ロボットの実現を目指して、屋外ロボットのキー基盤技術を競争的環境下で研究開発し、未来の高度な屋外ロボットサービス事業の開拓への礎を築く。

<非連続イノベーションのポイント>

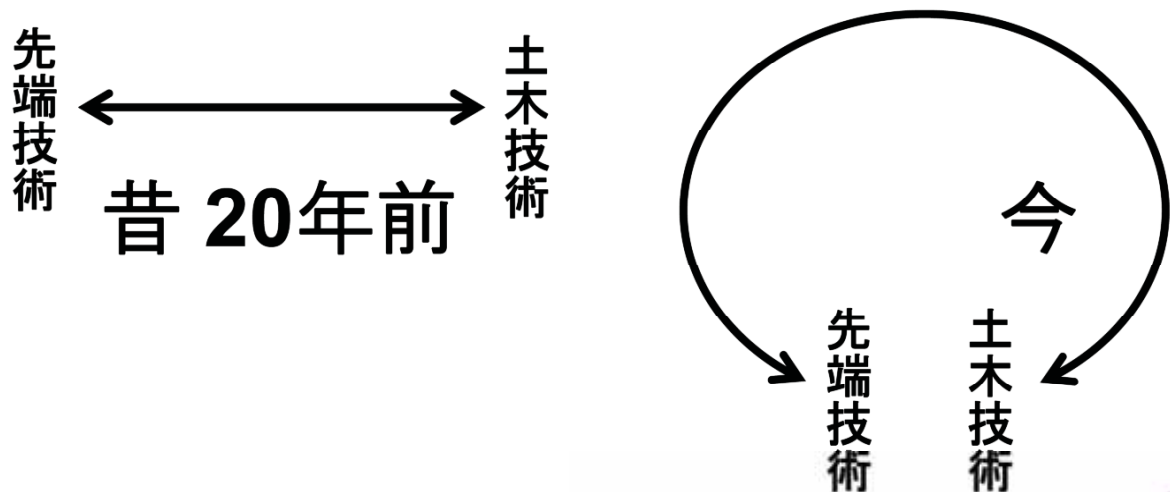
フィールド試験により、能動ロバスト性、大規模実時間情報、生物機械融合の技術を高度化。極限環境でタ



<期待される産業や社会へのインパクト>

ロボットを災害緊急対応・復旧・予防に活用して、我が国や世界の安全安心に貢献。未来の高度な屋外ロボットサービスの事業化・普及への道を拓く。





土木こそ、先端技術が必要！

私が貢献できるかも？ 土木のチャンス。 PDに応募した。



研究G 点検・計測・センシング

ロボット

情報マネジメント

材料・構造

アセットM(マネジメント)・拠点

土木・総合工学

計測工学 ⁵⁰

・電気子工学

機械工学

情報科学

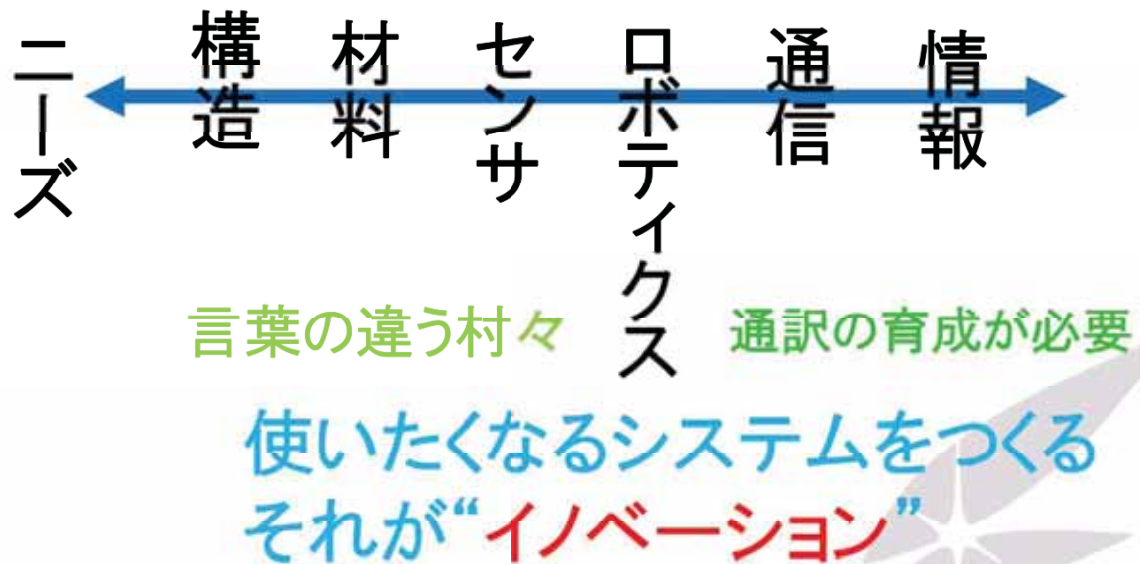
材料科学

マルチディシプリンではなく、

インターディシプリンに



・インフラ



終わりに

- ・ SIPインフラは、橋が専門の私にとって最大（最後？）の橋渡し（bridging）研究開発project
- ・ 技術を横串でつないで、「**使いたくなる**」インフラ技術を開発する。それが「**イノベーション**」。

皆さまからのご協力が欠かせません。
よろしくお願いいたします。

講演のファイル希望の方は
fujino@ynu.ac.jp まで

インフラではいろいろなこと
が起こりうるのですから
何事にも謙虚に

ご清聴ありがとう
ございました.



53

平成25年度 特許出願技術動向調査 ー社会インフラメンテナンス技術ー

平成27年1月
特許庁

目次

1. 調査概要	P. 2
2. 市場動向	P. 4
3. 特許出願動向	P. 5
4. 研究開発動向	P. 12
5. 政策動向	P. 13
6. 総合分析（まとめ）	P. 15
7. 委員名簿	P. 19

一調査対象技術一

- 4つの調査対象技術と5つの調査対象構造物を組み合わせた範囲

[illegible]

2

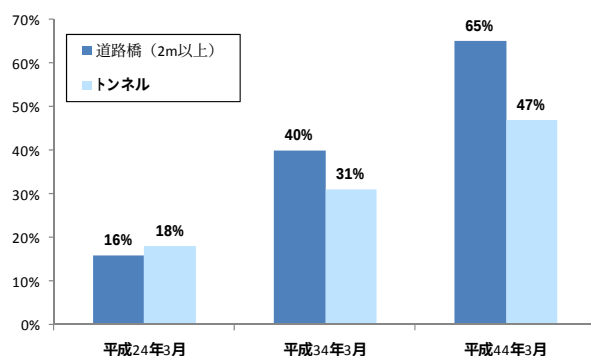
特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

- * Web of Scienceはトムソンロイターの商標

2.市場動向 ー国内の動向ー

- 日本では、高度経済成長期を中心に集中的に整備が進められた社会インフラのストックが、その後50年を経過した現在、一斉に老朽化してきている。
- 20年後の平成44年には、道路橋（2m以上）の65%、トンネルの47%が、建設後50年以上を経過するとの国土交通省の試算も出されている。
- 2011年度から2060年度までの50年間に必要な維持管理・更新費は約190兆円と推計され、そのうち更新できないストック量は約30兆円にも上るとの国土交通省の試算も出されている。

【建設後50年以上経過する道路橋（2m以上）、トンネルの割合】



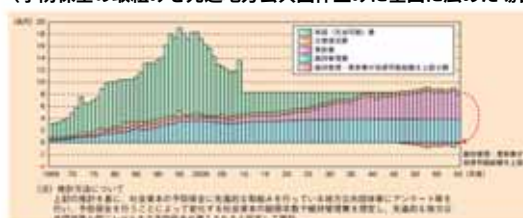
出典：国土交通白書2013

【維持管理・更新費の推計】

(従来通りの維持管理・更新をした場合)



(予防保全の取り組みを先進地方公共団体並みに全国に広めた場合)



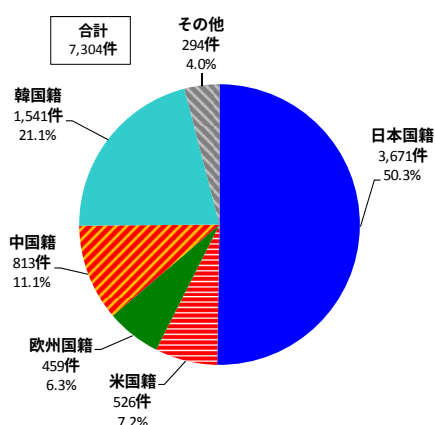
出典：国土交通白書2010

4

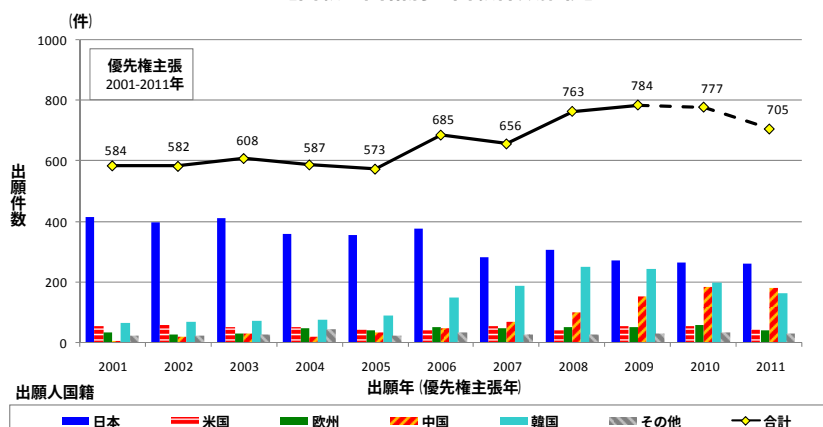
3. 特許出願動向

- **社会インフラメンテナンス技術に関する特許出願件数**
2001年には584件 → その後2005年までの5年間は横ばいの状態 → 2006年以降に増加
2009年には784件に到達
- **出願人国籍**
日本国籍の出願人による出願件数が最多：全体の50.3%
次いで、韓国の出願人による出願 21.1%、中国籍の出願人による出願 11.1%と続く。
- **日本国籍の出願人による出願は、2001年～2005年頃において、米欧中韓と比較して圧倒的に件数が多かったが、2007年以降、減少傾向に転じ、近年は韓国籍の出願人による出願件数に肩を並べられている状況である。**

【出願人国籍別出願件数比率】



【出願人国籍別の出願件数推移】



注：2010年以降はデータベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で、全データを反映していない可能性がある。

3. 特許出願動向 —PCT出願の動向—

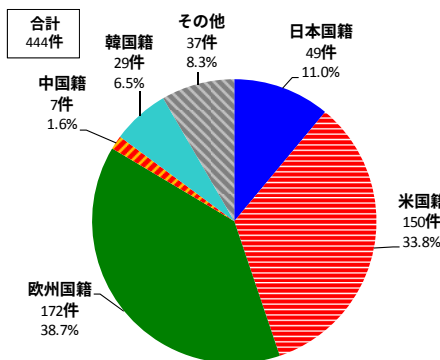
■ 社会インフラメンテナンス技術に関するPCT出願件数

欧州国籍の出願人による出願件数が172件（38.7%）で最多。
次いで米国籍の出願人（33.8%）、日本国籍の出願人（11.0%）と続く。

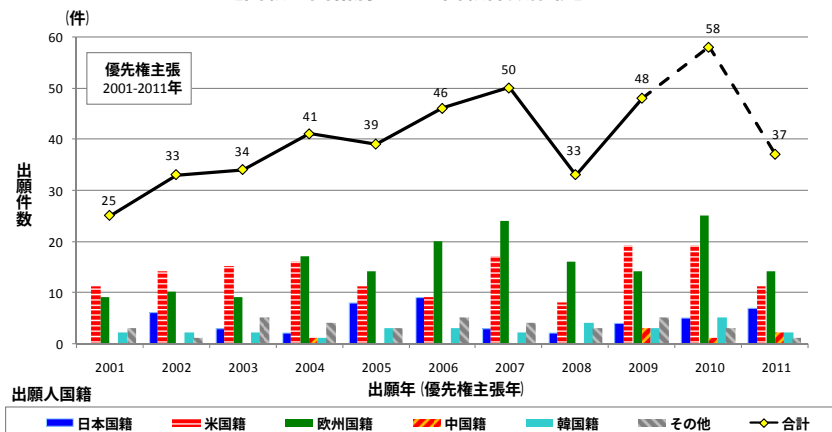
■ 出願人国籍別の出願件数推移

日本国籍の出願人によるPCT出願件数は、2002年以降、ほぼ横ばいの状態。
同様の傾向は、韓国籍の出願人によるPCT出願にも見られる。
米国籍、欧州籍の出願人によるPCT出願件数は共に、2008年以降、増加傾向が見られる。

【出願人国籍別PCT出願件数比率】



【出願人国籍別のPCT出願件数推移】



注：2010年以降はデータベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で、全データを反映していない可能性がある。

6

3. 特許出願動向 —出願先国別の特許出願動向—

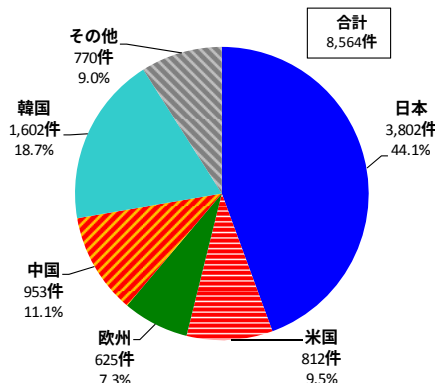
■ 出願先国別の状況

日本への出願件数が3,802件と最多、全体の44.1%を占める。
次いで韓国への出願件数が1,602件（18.7%）、中国への出願件数が953件（11.1%）の順
米国や欧州への出願件数は、日本への出願件数と比べると相対的に少ない。

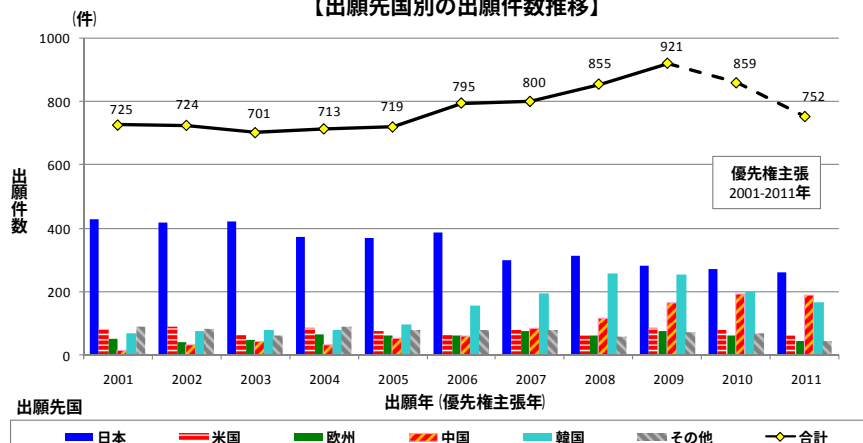
■ 出願先国別の出願件数推移

日本への出願件数は減少傾向が見られる。
米国、欧州への出願件数は共に横ばいの状態。
他方、韓国への出願件数は2006年以降、中国への出願件数は2008年以降、大幅に件数を伸ばしている。

【出願先国別出願件数比率】



【出願先国別の出願件数推移】



注：2010年以降はデータベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で、全データを反映していない可能性がある。

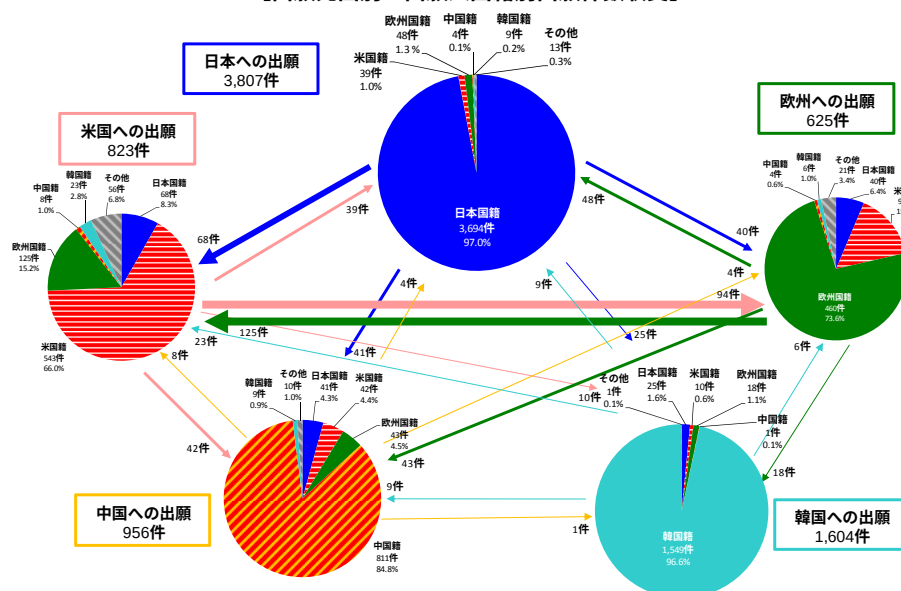
7

3. 特許出願動向

－ 出願先国別－出願人国籍別の出願件数収支－

- 日米欧中韓 5 極間相互の出願構造についてみると、米国籍、欧州国籍の出願人による相互への出願件数が欧州への出願が125件、米国への出願が94件と比較的多いものの、それらを除くと全体的にみて他国への出願は低調である。
- 日本国籍の出願人についてみると、日本への出願件数が3,694件、他国への出願件数が174件となっており、圧倒的に日本への出願件数が多くなっている。

【出願先国別－出願人国籍別出願件数収支】



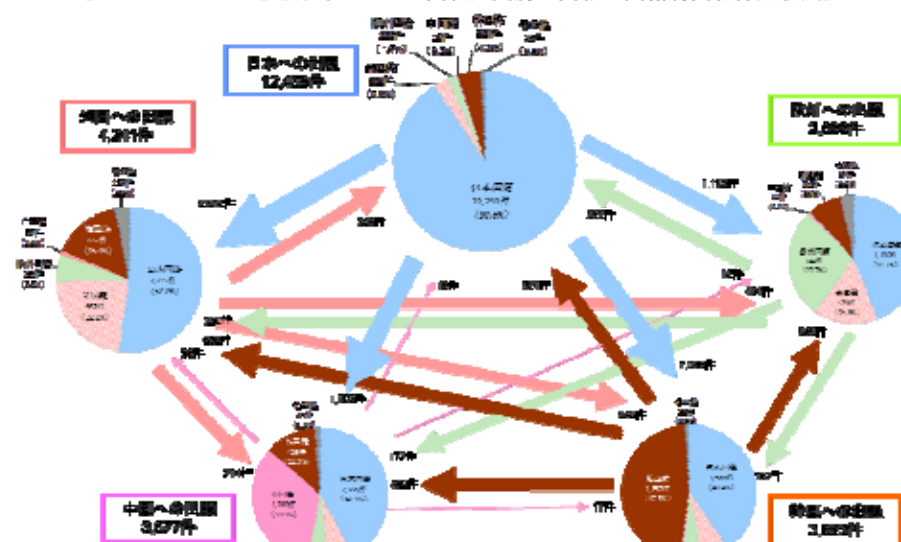
8

3. 特許出願動向

－ 出願件数収支の他分野との比較－

- 日本国籍の出願人を例にとると、社会インフラメンテナンス技術では、日本（自国）への出願件数が3,694件、他国への出願件数が175件であるのに対し、日本の技術力が高いと言われているリチウムイオン電池分野では、日本（自国）への出願件数が11,291件、他国への出願件数が6,490件であり、日米欧中韓 5 極間相互の出願構造に大きな違いが見られる。

【リチウムイオン電池分野における出願先国別－出願人国籍別出願件数収支】



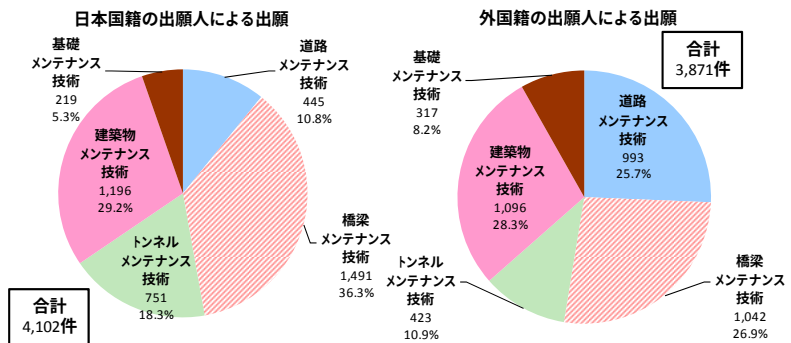
出典：平成21年度特許出願技術動向調査－リチウムイオン電池－

9

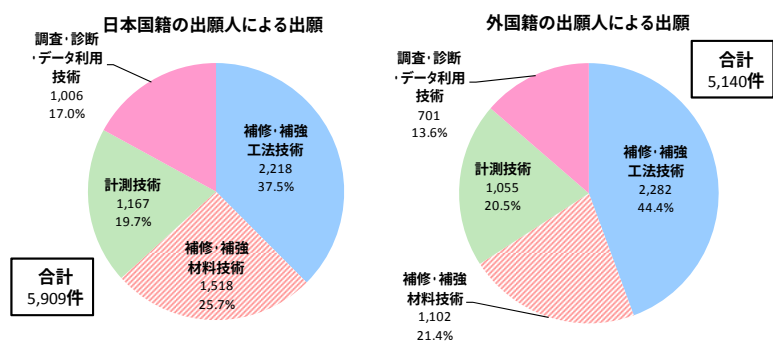
3. 特許出願動向 —技術区分別の動向①—

- 日本国籍の出願人と外国籍の出願人による出願傾向を比較した場合、特許出願の対象となる構造物や技術区分の比率に違いが見られ、その違いは自然環境や商習慣等の地域性が反映されたものと考えられる。

【出願人国籍別・対象構造物別のメンテナンス技術の出願件数・出願件数比率】



【出願人国籍別・対象技術区分別のメンテナンス技術の出願件数・出願件数比率】

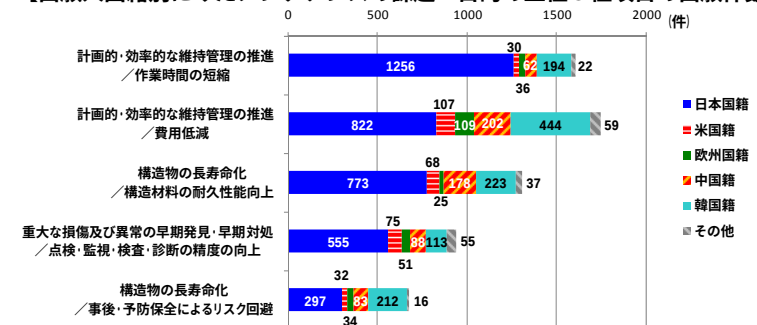


10

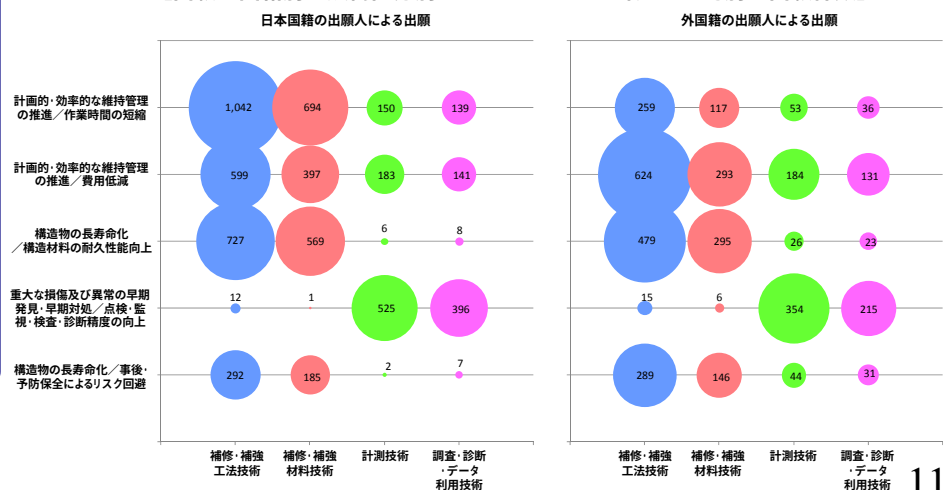
3. 特許出願動向 —技術区分別の動向②—

- 日本国籍の出願人による出願では、作業時間の短縮や費用低減といった低コスト化に関連する課題・目的が上位に挙がっている。
- 日本国籍の出願人による出願においては、補修・補強工法技術、補修・補強材料技術と共に、作業時間の短縮に関する出願件数が最も多い。他方、同技術に関して、外国籍の出願人による出願においては、作業時間の短縮よりも、費用低減が重要視されており、傾向が大きく異なる。

【出願人国籍別にみたメンテナンスの課題・目的の上位5位項目の出願件数】



【出願人国籍別・技術区分別・メンテナンスの課題・目的別の出願件数】

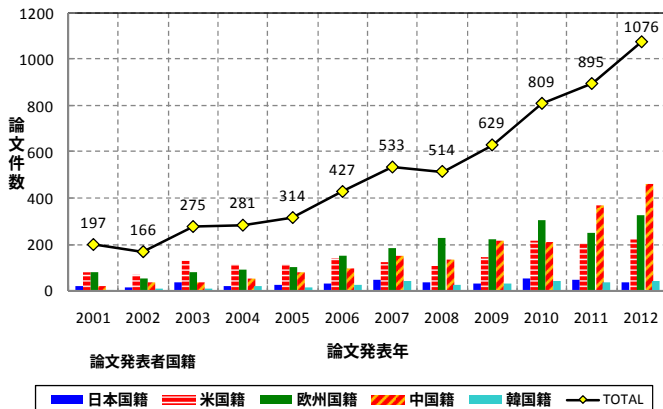


11

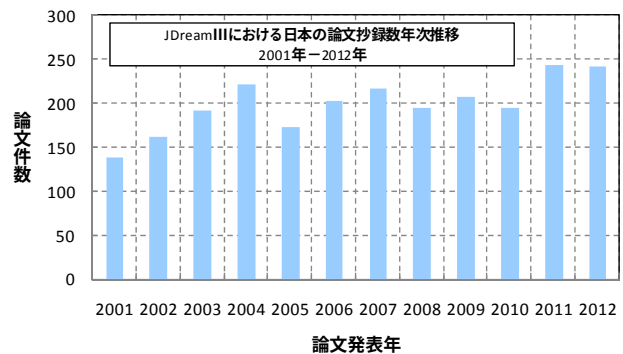
4. 研究開発動向 — 全体動向 —

- Web of Science（トムソンロイターの商標）における研究者所属機関国籍別論文発表件数
日本、米国、欧州、中国、韓国の各国の総数としては、2001年の197件から2012年の1076件へと大きく件数を伸ばしている。
- 各国のうち、特に伸びが大きいのは中国。2012年時には2001年比約2,706%である460件。
- 伸びが最も小さいのは日本。2012年時には2001年比約184%の35件。
- JDreamIII（株式会社ジー・サーチの商標）等における日本の論文件数は、2004年頃をピークに増減を繰り返しつつも、件数自体は横ばいである。

【研究者所属機関国籍別論文発表件数推移（Web of Science）】



【日本の論文抄録数年次推移（JDreamIII）】



12

5. 政策動向 — 日本における社会インフラ関連の政策動向 —

- 2013年6月に内閣府より公表された「日本再興戦略」において、社会インフラのメンテナンスに関する政策が重要な政策として位置づけられた。同戦略の中においては、①インフラ長寿命化基本計画の策定、②ITを活用したインフラ点検・診断システムの構築、③新素材の開発、④宇宙インフラの整備・活用が掲げられている。
- 上記の決定を受け、2013年11月には内閣府が取りまとめた「インフラ長寿命化基本計画」が公表された。同計画は2030年までの我が国のインフラの保守管理に関するロードマップを規定している。

【インフラ長寿命化基本計画（ロードマップ）】



出典：内閣府「インフラ長寿命化基本計画」

13

5.政策動向 —海外における社会インフラ関連の政策動向—

- 諸外国の動向を見ると、社会インフラの状況とそれに対する政策的な手当てを概観した結果、米国、ドイツ等の先進諸国において、我が国と同様、限られた政府・地方自治体の支出の中で、いかに効率的に社会インフラの新設・維持管理を進めて行くべきかが大きな課題となっていることが判明した。
- 欧米の先進国において、効率的に社会インフラの新設・維持管理の実現に対する政策的な手当てには、主に3つの傾向がある。

①政府支出の拡大

主に米国において取られているが、ドイツのように財政規律の厳しい国においては、既存予算の配分先の変更（新設から維持管理へ）によって賄われている。

②省力化を実現する技術の開発

米国や欧州においても我が国と同様、道路や橋梁、トンネルの自動検査ロボットの研究開発が実施されており、また、センサーネットワークやITシステムを用いた効率化の研究開発も、特に米国を中心に盛んとなっている。これらについては、政府として政府系研究機関での研究開発を行うほか、研究開発補助金を拠出することで大学や民間企業の研究開発を促進させており、大学と企業の共同研究などが多く採択されており、産学連携が推進されている点が見て取れる。

③PPPの推進による民間資金の活用

既にPPPで先行していた英仏に加え、2000年代に入ってからドイツや米国といった国においてもPPPの導入が行われている。PPPの分野については独HOCHTIEFや仏VINCIといった欧州の大手建設事業者のプレゼンスが高く、米国等においてもPPP受託者の大半は欧州の事業者となっている。

14

6.総合分析（まとめ） —有望技術候補の抽出の考え方—

- 特許出願動向及び非特許文献動向等から日本が競争優位であると考えられる候補技術を示すことは、今後、社会インフラメンテナンス技術の海外事業展開を検討し推進していくうえで重要である。本調査では、候補技術を以下に示す考え方により抽出した。

【日本が競争優位であると考えられる候補技術抽出の考え方】

考え方①：特許出願件数全体に占める日本国籍の出願人による特許出願件数の割合が、外国籍の出願人による同割合よりも顕著に高い技術

対象構造物と対象技術区分の2軸からなるマトリクスの項目ごとに特許出願件数の上位5位かつ日本国籍の出願人による特許出願件数の割合が特許出願件数全体の70%以上を占める技術

考え方②：上記①で抽出された候補技術のうち、非特許文献においても、特許文献と同様、論文発表件数が多い技術

マトリクスの項目ごとに非特許文献の論文発表件数の上位5位にあたる技術を抽出

考え方③：上記①で抽出された候補技術のうち、日本国籍の出願人、外国籍の出願人ともに、近年の特許出願件数の伸びが著しい技術

考え方④：上記①で抽出された候補技術のうち、日本国籍の出願人が他国に対して特許出願を行っている技術やPCT出願を行っている技術で、かつ被引用特許数が多い技術

15

6.総合分析（まとめ） —有望技術—

- 前述の①～④のすべての考え方を満たす技術は存在しなかったが、4つの考え方のうち、3つの考え方を満たす技術として、部材追加補強や繊維（炭素繊維）シート、アセットマネジメント、構造ヘルスマモニタリングの4つが抽出された。これらの技術は、特に日本が競争優位であると考えられる有望な候補技術である。

【日本が競争優位であると考えられる候補技術】

	道路	橋梁	トンネル	建築物
補修・補強工法技術	・更新 (①) ・構造物による法面保護工 (①)	・補強材 (鋼板以外) の追加 (①②) ・部材追加 (①③) ・表面被覆 (①)	・表面被覆 (①) ・当板工 (①) ・部材追加 (①②③) ・剥落防止工法 (①)	・表面被覆・含浸 (①) ・部材追加 (①)
補修・補強材料技術	(該当なし)	・繊維 (炭素繊維) シート (①②④) ・その他の補修・補強材 (①) ・接続・接着材 (①)	・繊維 (炭素繊維) シート (①②④) ・その他の補修・補強材 (①) ・接続・接着材 (①)	・その他の補修・補強材 (①) ・繊維 (炭素繊維) シート (①②④) ・接続・接着材 (①) ・一般的なコンクリート (①)
計測技術	計測パラメータ	・変位量・移動量 (①) ・ひずみ (①)	・ひび割れ (①②)	・変位量・移動量 (①)
	計測原理	・光による観察 (撮像) (①②)	・光による観察 (撮像、反射・散乱・透過) (①②)	・光による観察 (撮像、反射・散乱・透過) (①②) ・振動法 (①)
	計測装置	・CPU/HDDのデータ処理部 (①)	・CPU/HDDのデータ処理部 (①)	・CPU/HDDのデータ処理部 (①) ・表示装置 (①)
調査・診断・データ利用技術	・アセットマネジメント (リスク評価) (①②④) ・寿命・劣化予測 (数値化・解析アルゴリズム) (①)	・アセットマネジメント (リスク評価) (①②④) ・寿命・劣化予測 (数値化・解析アルゴリズム) (①) ・構造ヘルスマモニタリング (データ解析) (①②③) ・損傷検出 (数値処理アルゴリズム) (①)	・アセットマネジメント (リスク評価) (①②④) ・アセットマネジメント (情報システム・データベース構築) (①②④) ・損傷検出 (画像処理・数値処理アルゴリズム) (①③) ・構造ヘルスマモニタリング (①②)	・アセットマネジメント (リスク評価) (①④) ・寿命・劣化予測 (数値化・解析アルゴリズム) (①②) ・構造ヘルスマモニタリング (データ解析) (①②③)

16

6.総合分析（まとめ） —重要事項の整理—

- 他国への特許出願の状況
米国籍、欧州国籍の出願人による相互への出願件数が比較的多い。
それらを除くと全体的にみて他国への出願は低調。
- 日本国籍の出願人と外国籍の出願人を比較した場合の差異
 - ・特許出願の対象となる構造物や技術区分の比率
 - ・社会インフラメンテナンスの課題・目的等における傾向
→ 考えられる原因：種々の地域性
- 特許出願動向及び非特許文献動向等から日本が競争優位であると考えられる候補技術
 - ・部材追加補強
 - ・繊維（炭素繊維）シート
 - ・アセットマネジメント
 - ・構造ヘルスマモニタリング

これらの技術については、海外企業等へのヒアリングによると、海外企業等からも注目されている技術であることが判明。

17

6.総合分析（まとめ）－研究開発の方向性に対する知見－

■ 特許出願動向等から導かれる研究開発・技術開発の方向性

「低コスト化」：国や地方公共団体等の社会インフラの管理者が導入しやすくする

「予防保全的管理型メンテナンスの推進」：社会インフラメンテナンスが将来の日本経済に過重な負担をもたらすことがないようにする

「海外進出」：海外の社会インフラメンテナンスに関わる維持管理・更新投資を取り込む

① 「低コスト化」に向けた研究開発・技術開発の方向性

技術の完成度向上と低コスト化の適正なバランス保持を期待できる研究開発、技術開発テーマの選択を優先し、そこに新たな研究開発、技術開発テーマが集中するように誘導を図ることが必要である。

② 「予防保全的管理型メンテナンスの推進」に向けた研究開発・技術開発の方向性

予防保全的管理型メンテナンスは、構造物のモニタリングデータから正確な寿命予測・損傷評価を行うことが必要となるところ、現時点において十分な精度等が得られていないことが課題となっていることから、今後構造物の劣化診断技術の研究開発を強力に推進することが重要になると考えられる。

③ 「海外進出」に向けた研究開発・技術開発の方向性

先に述べた4つの候補技術を核として、事業展開先の社会インフラの実情等の地域性に合った最適な対策方法を提案するためのシステムインテグレーションが特に重要になると考えられる。また、産学官の連携や異業種の連携、国際的な連携を深め、共同研究開発を推進するための組織・体制・研究拠点づくり等を支援する制度の充実強化や、社会インフラの管理者の協力・連携の下で、社会インフラメンテナンス技術分野に関わる研究開発のプレイヤーによるさまざまなデータの収集・活用が進むような取組み等を加速し、競争から共創への転換を後押ししていくことが必要である。

7.委員名簿

（敬称略、所属・役職等は平成26年2月現在）

座長	藤野 陽三	東京大学大学院 工学系研究科 総合研究機構 特任教授
委員	稲垣 博信	株式会社野村総合研究所 公共経営コンサル ティング部 主任コンサルタント
	木村 嘉富	独立行政法人土木研究所 構造物メンテナンス 研究センター 上席研究員
	谷倉 泉	一般社団法人日本建設機械施工協会 施工技術総 合研究所 研究第二部 部長
	深尾 精一	首都大学東京 都市環境学部 建築都市コース 名誉教授
	丸屋 剛	大成建設株式会社 技術センター 土木技術研究 所部長兼土木構工法研究室長
	三浦 悟	鹿島建設株式会社 技術研究所 主席研究員

社会インフラメンテナンスシンポジウム
**「これからの社会インフラメンテナンスの技術戦略を考える
ー今後の維持管理・更新に関する技術開発の方向性ー」**

主催：公益社団法人 土木学会 社会インフラ維持管理・更新特別委員会
共催：鋼構造委員会，応用力学委員会，コンクリート委員会，舗装工学委員会，
土木情報学委員会，建設用ロボット委員会，地下空間研究委員会
日時：平成27年（2015年）1月30日（金）13：00～18：00
場所：土木学会 2階 講堂

**社会インフラ維持管理・更新に関する
土木情報学分野の
技術開発の現状と今後の展望**

土木学会 土木情報学委員会 委員長
大阪大学 大学院工学研究科
環境・エネルギー工学専攻 教授
矢吹 信喜

Nobuyoshi Yabuki

1

土木情報学委員会

- 1969年，土木学会に「電算機利用懇談会」設置
- 1976年，「電算機利用委員会」発足
- 1989年，「土木情報システム委員会」に改名
- 2002年，「情報利用技術委員会」に改名
- 2012年，「土木情報^学委員会」に改名
- 「土木情報学」とは，「土木分野における『情報』に着目し，その取得，生成，処理，蓄積，流通，活用を図るための理論と技術を探求する学問である．」
- 学問としての体系化．基礎学理は離散数学．

Nobuyoshi Yabuki

2

土木情報学委員会の主な活動

- 土木情報学シンポジウム（年1回，秋開催）
- ICCBEI（土木建築情報学国際会議）（隔年開催：2013，2015）
- 土木学会論文集F3（土木情報学）
- CIM講演会（年10回，全国開催）
- その他，講演会を開催．全国大会での研究討論会．
- 現在，「土木情報学」テキスト執筆中．今年中に出版．
- 研究小委員会
 - 情報共有技術小委員会
 - 国土基盤モデル小委員会
 - センサ利用技術小委員会
 - ICT施工研究小委員会
 - 道路業務プロセスモデル検討小委員会

Nobuyoshi Yabuki

3

土木情報学における情報技術の分類

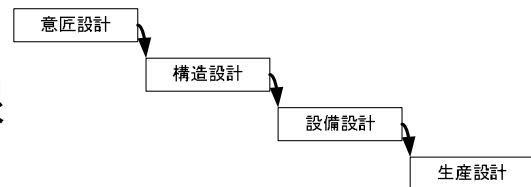
No.	分類	要素技術
1	計測 通信 制御	センサ，センサネットワーク，リモートセンシング，GNSS（GPS，GLONASS，Galileo），測量機器（TS他），コンピュータネットワーク，RFID（ICカード，ICタグ他），モバイル機器（携帯電話，PDA他），ロボティクスなど
2	画像処理 図形処理	CAD，CG，VR（仮想現実），AR（拡張現実感），CHI（HCI），GIS，画像解析，DTM（数値地形モデル）など
3	数値解析 確率・統計	FEM（有限要素法），差分法，BEM（境界要素法），フーリエ変換，ウェーブレット変換，モンテカルロ法，多変量解析，数 量化理論など
4	計画数理 知的情報処理	数理計画法（線形計画法他），待ち行列論，グラフ理論（ペトリネット他），オートマトン（セルオートマトン他），最適化手法（GA他），ファジィ理論，マルチエージェント，ニューラルネットワーク，エキスパートシステムなど
5	データベース	データベース，プロダクトモデル，データマイニングなど
6	統合システム マネジメント 他	統合システム，HPC（グリッド，クラスタ他），ナレッジマネジメント，言語情報処理（オントロジー，テキストマイニング他），コラボレーション，情報せきゅりていなど

Nobuyoshi Yabuki

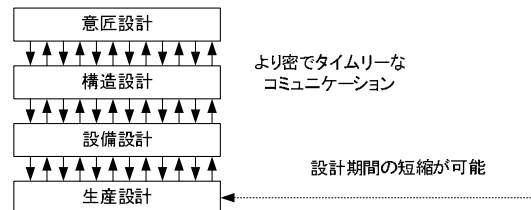
4

建築のBIM

- 建築分野の設計プロセスを根本的に変革。
- 設計で作られた3次元モデルデータを施工と維持管理でも利用し，種々のデータを捨てずに加えていく。
- 効率化，ミスの低減，コスト削減，およびより良い設計・施工の実現が期待できる。



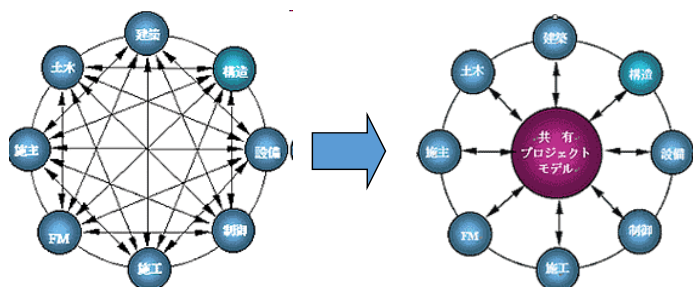
従来のウォーターフォール・モデルによる方法



より密でタイムリーなコミュニケーション

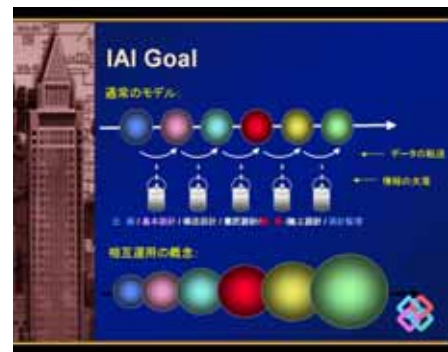
設計期間の短縮が可能

BIMによる方法



IAI日本のHPより

Nobuyoshi Yabuki



土木のCIM

- 2012年，国土交通省の佐藤直良前事務次官（当時，技監）が，建築のBIMに刺激を受け，土木分野で‘CIM（Construction Information Modeling）’という造語により，「土木版BIM」を提唱し，試行を始めた．JACICセミナーで「CIMノススメ～建設生産システムのイノベーションに向けて～」ご講演．
- 但し，CIMという言葉は，情報や機械工学分野では，Computer Integrated Manufacturing（コンピュータ統合生産）を意味し，昔から使われている用語なので，日本の土木分野以外で使用する際は，注意を要する．
- 2014年6月下旬に米国フロリダ州オーランドで開催された国際会議ICCCBE 2014に参加したところ，米国では，BIM for Infrastructureを，CIMと呼んでいる人達がいた．但し，Civil Infrastructure Modelingの略．

国土交通省のCIM

- 2012年度から推進開始。
- 2012年度は、国交省技術調査課が中心となり、CIM制度検討会を3回、JACICが中心となり、CIM技術検討会を4回、それぞれ開催。
- 2012年度、国交省は、モデル事業（試行業務）として、11件の設計プロジェクトを実施。
- 3次元モデルを作成し、単に納品するだけでなく、打合せや数量計算などに利用し、アンケートを実施した。
- 2013年度は、調査・設計業務では、深化させ、上流側へ拡大、前年度CIMで設計したプロジェクトのうち7個を施工で3Dモデル適用、モデル事業外の一般工事にもCIM活用を行った。38件実施。納品や契約など制度について検討。
- ただし、現状は、市販の3次元CADを使って、可視化、干渉チェック、数量計算等を行うことに留まっている。
- 異なるソフトウェア間、あるいは異なる技術者（コンサルとゼネコンなど）同士でのデータの共有などは未実施。
- まだ、土木分野では建築のIFCのような標準化されたプロダクトモデルがない。

Nobuyoshi Yabuki

7

BIM/CIMの中核モデル：プロダクトモデル

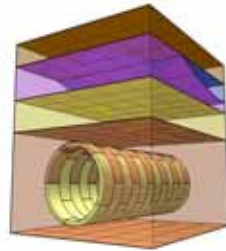
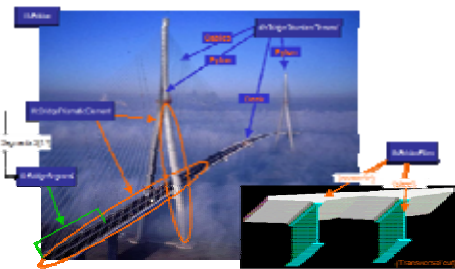
- 1980年代から：オブジェクト指向技術に基づいた3次元プロダクトモデルの開発開始。ISO, TC184, SC4: ISO 10303 略称STEP (Standards for the Exchange of Product model data)。機械系は開発が進んだ。しかし、土木建築などは遅れた。
- 1994年：米国で民間企業が建築用プロダクトモデルの開発を開始。IAI (Industry Alliance for Interoperability) を設立。
- 1997年：IAIをInternational Alliance for Interoperabilityに改名。AEC (Architecture, Engineering & Construction) のプロダクトモデル、IFC (Industry Foundation Classes) を開発する国際的な非営利団体に。（民間主体）
- 近年：IAIをbuildingSMART Internationalに改名。
- 2013年：IFCは、ISOのIS (International Standard) 16739になった。
- ビルディングの分野では、IFCを標準化された中間ファイルとすることによって、異なるソフトウェア同士でデータを交換、共有が可能となった。「自動化の島」問題の解決。

Nobuyoshi Yabuki

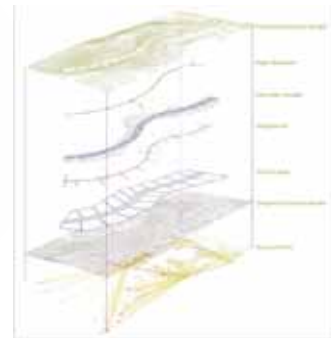
8

土木分野のプロダクトモデル

- 橋梁のプロダクトモデル
 - IFC-Bridge（フランスが中心となり，日本も協力）
- トンネルのプロダクトモデル
 - 日本で，シールドトンネル，山岳トンネル，開削トンネルのプロダクトモデル開発．IFC-Tunnel
 - ドイツはTIM（Tunnel Information Modeling）研究
- 道路
 - LandXML（米国→世界）
 - IFC-Road（韓国が開発中）
- 現在，buildingSMART International内に，インフラ分科会が出来て，土木用のプロダクトモデルの開発整備を実施中．



Nobuyoshi Yabuki



9

COBie（BIMの維持管理への切り札）

- Construction Operations Building Information Exchange
- ビルの管理運営，維持管理を行うFM会社は，3次元CADが使えないし，使うような業務ではない．
- そこで，米国陸軍工兵隊の技術研究開発センター（ERDC）のBill East博士が，ビルの管理に必要な情報をリストアップし，それらを3次元BIMモデルから自動的に抽出するプログラムを開発．
- 何枚ものタブがある，巨大なスプレッドシート（EXCEL）ファイル．
- ビルディングの維持管理のために，ありとあらゆる設備（電気，水道，ガス，通信，エアコン，照明，警報装置，等）をリストアップし，それらの位置，仕様，点検の頻度，業者，業者の連絡先，保証期間，スペアパーツのリスト，等の膨大なデータが紐付けられている．
- これは，維持管理に大変便利だが，勝手に作ったのでは非効率．
- そこで，陸軍工兵隊やGSAなどが標準化を推進．
- 日本では，土木用のCOBieを現在，開発中．



Nobuyoshi Yabuki

10

既設構造物の3次元計測と3次元モデル化

- 将来、CIMが実務に取り入れられるようになれば、構造物の完成形の3次元プロダクトモデルデータやそれに付随する様々なデータも維持管理の部署が受け取ることができるようになるが、それは大分先のことであり、なおかつ、その個数は、圧倒的に既設構造物の方が多い。
- 膨大な数の既設構造物の3次元モデルを3次元CADで図面を見ながら作成することはコスト的に不可能に近い。
- そもそも既設構造物にはまともな図面がないか、あったとしても現場で変更したことが反映されていなかったりで役に立たないことが多い。
- しかし、新技術がある。
 - レーザースキャニング（点群データ）
 - 写真測量技術（複数デジカメ写真：Structure from Motion）
 - トータルステーション（TS）
 - これらの技術の組合せ（合わせ技．補完的に）

Nobuyoshi Yabuki

11

RFID（ICタグ）

- 2000年代ブームになり期待されたが、建築土木分野では実証試験どまりが多い。
- 2002～2004年、沖縄の羽地ダム の点検業務にICタグ68個設置してPDAシステムを開発して実使用（土木の実務での利用は世界でも最初であろう）
- しかし、この後、真似したシステムは出現したものの、土木の実業務に使われたという話を聞いたことがない。
- 興味はあるし、実証実験なら良いが、数多くの理由から実業務に使うのは難しい、というのが実務サイドの結論
- ICタグは、BIMやCIMのプロダクトモデルでデータ化された構造物や建物の部材や設備一つ一つに貼り付けることにより、個々の部材を個別に管理することが可能となり、スマートフォンやタブレットPC等をICタグにかざすだけで、個々の部材の属性データが即座に確認できるようになる。
- 構造物の点検や維持管理に役立つと考えられる。
- 災害時、復旧時に役立つと考えられる



Nobuyoshi Yabuki

12

RFIDの研究はしつこく継続

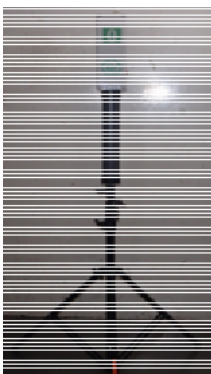
- 2004年：JACICと「ICタグの建設分野での活用に関する研究」
- 2005年：JACICと「軽仮設材のライフサイクル管理への利用に関する研究」
- 2006年：室工大・矢吹研で独自に「ICタグを用いたデジタル写真および設計情報管理システム」
- 2010年：阪大・矢吹研「RFIDとPDAを用いた交通結節点における経路案内と意見集約システム」
- 2011年：阪大・矢吹研「RFIDとオントロジーを用いた街路樹管理支援システム」
- 2014年：阪大・矢吹研「NFC準拠ICタグを用いた街路樹の診断システムと市民への情報提供システムの開発」

Nobuyoshi Yabuki

13

超広帯域無線通信（UWB） RFID

- UWBのアンテナを30mおきくらいに設置すれば、GPSの電波が届かないような地下や建物内部における位置情報をリアルタイムに計測することが可能
- 最近、学内でUWB－ICタグの実験を行ったが、日本では総務省への実験局の申請をし、許可を得る必要があり、実験目的が以前の申請と重複があったりすると認められない
- 申請した特定の場所以外での実験は許されない
- また、有資格者でなければ実験を行うことができない
- 米国やカナダでは誰でもどこでも実験ができるのと比較すると、対照的である。



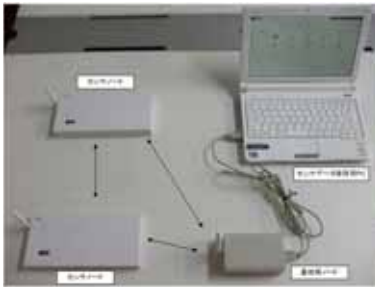
Nobuyoshi Yabuki



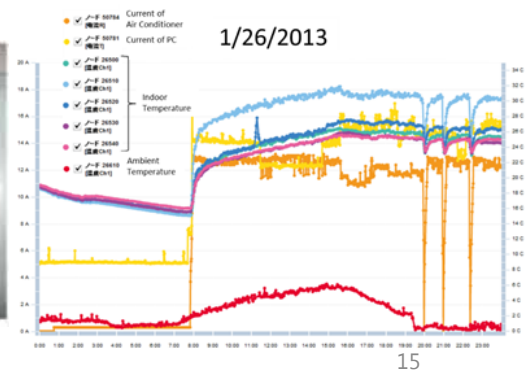
1414

無線センサネットワークの現状と課題

- MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術により、サイズが大きかったセンサーをプリント基板の上に設置できるようになった。
- 通信技術の進歩により、センサーとデータ記録装置をケーブルで結ばなくてもよかった。
- 超小型化、超低価格化、無線化が可能になった。
- ネットワークも最初に固定するタイプからその都度、周辺のノードを探して、ネットワークを自動的に構築する「アドホックネットワーク」が出現。
- こうした無線センサーネットワークシステムをいくつも購入して、いろいろな場所で計測する実験を行ってきた。
- その結果、実証実験や研究には使えることはわかったが、大量のセンサーを大量の社会基盤施設や建築物を対象に、実務で使えるようにするためには、もっと違う次元のプレイグスルーが必要だと感じた。



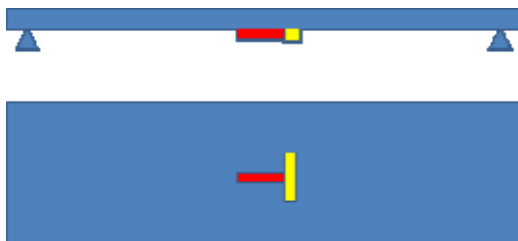
Nobuyoshi Yabuki



15

Big Data：大量のセンシングデータからの知識発見

- マスコミは、ビッグデータで何でも発見できるようなことを言っている。
- しかし、ただ単にセンシングデータを対象に、データマイニングを行っても、有意な知識を発見することは困難
- 人間は、センサ周辺の環境情報、すなわち「コンテキスト」を、その時々、うまく使って、推論する。
- コンテキストは通常、図面、画像情報など人間にわかりやすく、コンピュータに理解させ難い情報。
- コンテキストは、プロダクトモデルと強い関係がある。
- そこで、コンテキストのデータモデルを開発し、センシングデータと統合化して、データマイニングする研究を実施中。

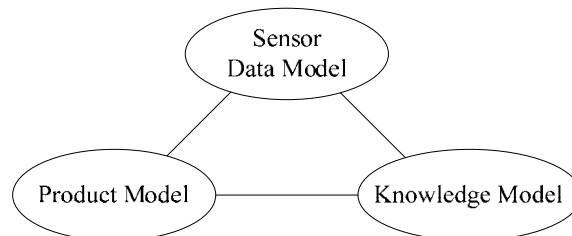


Nobuyoshi Yabuki

16

SPKモデル（2007年に提案）

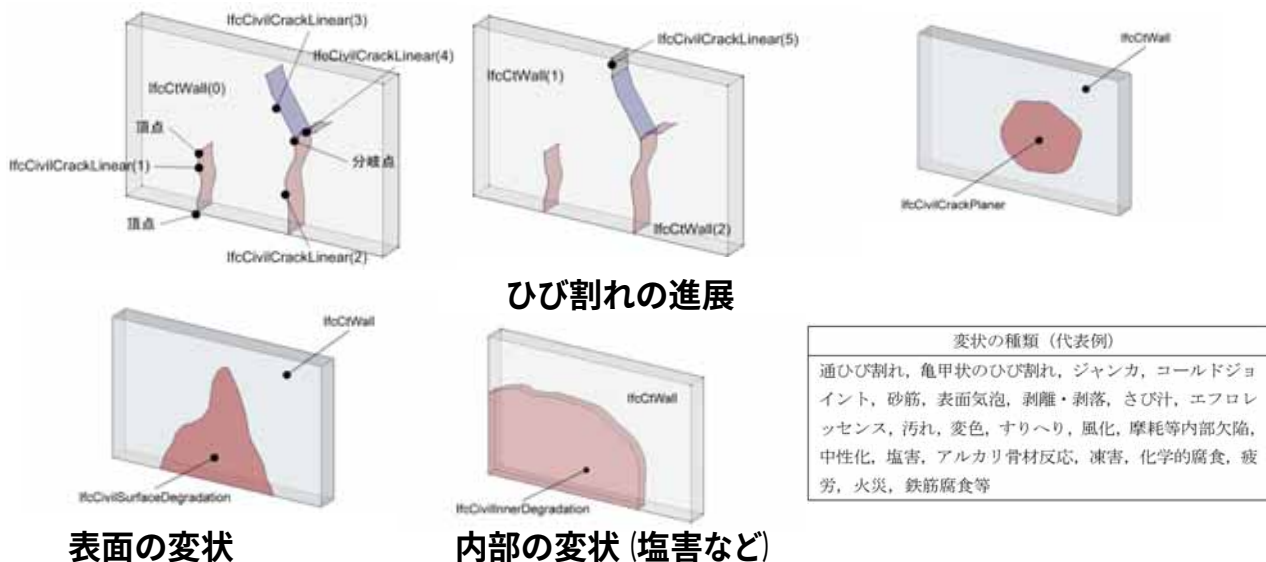
- センサによる計測データは、センサが設置してある位置、設置の方法、対象物の幾何形状、材料、構造的性質等の諸属性および周辺環境に関するデータとその意味（コンテキスト）が無ければ、ただの数値の集まりになってしまう。
- そうしたデータや周辺環境（コンテキスト）が把握できたとしても、解釈ができなければ意味がない。正しい解釈をするためには、物理的な現象やデータの解釈に関する定量的のみならず定性的な知識が必要だろう。
- 上記の2つが整備されたとしても、膨大な数のセンサが膨大な数の構造物に設置されたらば、何らかの系統的な手法で効率的に解析しなければ、計算爆発を起こすか、少なくともリアルタイムに異常を検知するようなことはできなくなる可能性がある。
- センサデータモデル：センサの計測データとセンサに関連するデータモデル。
- プロダクトモデル：構造物等の3次元モデル。幾何形状と属性データ、部材間の関係などデータを表現できるデータモデル。（コンテキスト）。IFCを利用するのが適切
- 知識モデル：物理システムに関する定量的・定性的知識、特に異常や事故に関する知識を含む。（知識）。知識工学の手法を利用
- 大量データについては、KDD（Knowledge Discovery in Database）、データマイニング、機械学習を応用する。応用方法は研究する必要がある。



17

変状データを含むプロダクトモデルの構築

- 維持管理では、点検、変状の確認・記録・評価、補修・補強の検討・判断・実施、と進む
- 変状データのプロダクトモデルはまだない。そこで開発



表面の変状

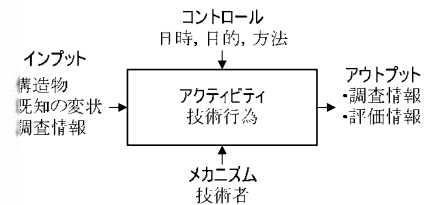
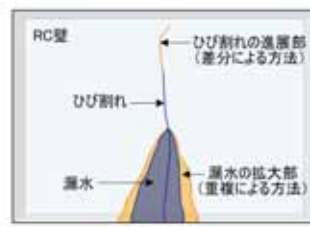
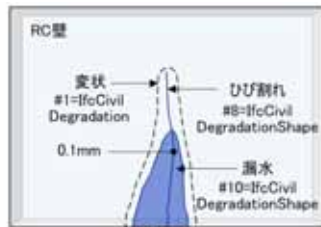
内部の変状（塩害など）

Nobuyoshi Yabuki

18

変状の情報管理のためのプロセスモデルの開発

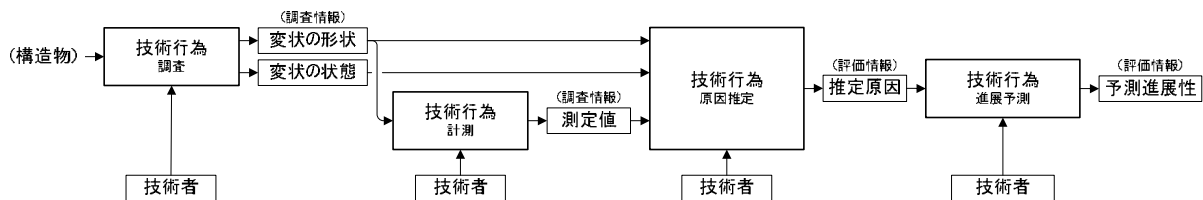
- 維持管理においては、技術者が、観察結果から、工学的な知識（教科書的な知識，経験的な知識等）に基づいて、何らかの判定・判断を行い、記録として残す。
- このプロセスの蓄積と比較が、維持管理技術の向上に不可欠だが、こうした情報を適切に管理する標準化されたプロセスもではない。そこで開発



RC壁のひび割れの状態

形状の変化の表現

技術行為のプロセス

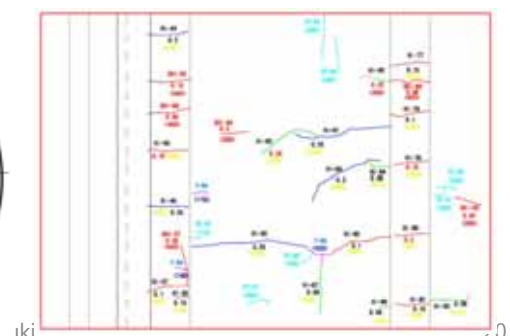
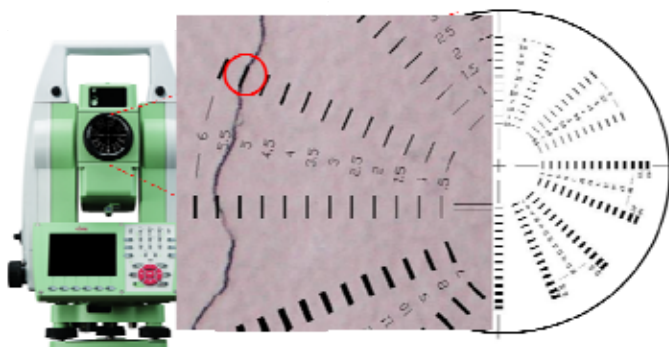


変状情報の作成プロセスの体系化に関するプロセス図

19

ひび割れ形状データ取得可能な レチクル内蔵TS (KUMONOS)

- 関西工事測量（株）が開発
- 遠隔から測定可能
- 構造物の3次元形状データ取得
- ひび割れの3次元形状データ取得
- ひび割れの幅の計測が可能
- AutoCADの3Dデータとして出力
- EXCELデータとしても出力

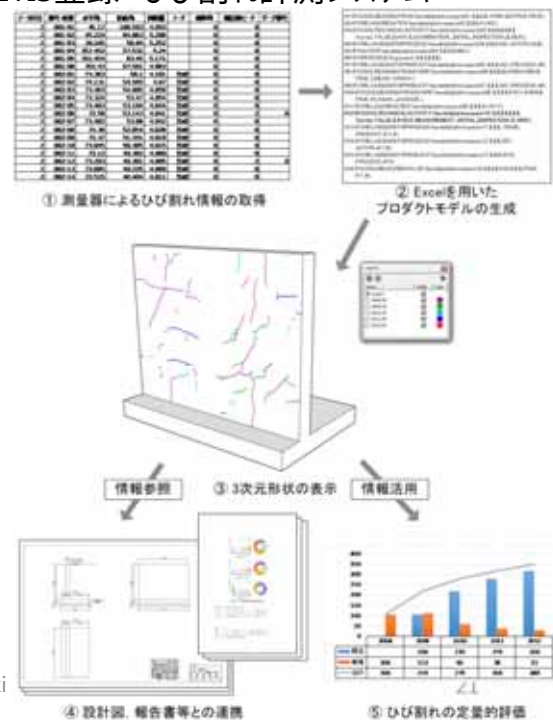


クラックスケール内蔵TSを用いた遠隔 ひび割れ形状3次元計測システム

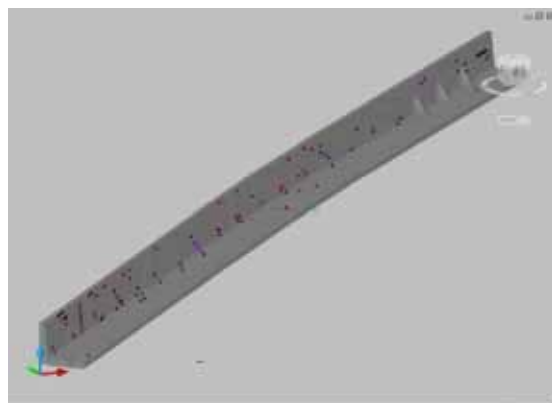
関西工事測量(株) KUMONOS

NETIS登録 ひび割れ計測システム

- この測量器は、40倍の望遠レンズを搭載し、焦点鏡にクラックスケールを内蔵したもので、ノンプリズムによる長距離測距およびひび割れ幅に対する視準角度補正が可能である。
- 測量器を据え付けた位置の座標、計測対象との角度、距離からひび割れの座標を得ることができる。
- この測量器を用いたひび割れ計測の利点は、過去のひび割れデータの座標を基に、ひび割れの進展を追跡可能であること、ひび割れの測定と同時に構造物の3次元形状を得られる点にある。
- そこで、本研究では、コンクリート構造物のアセットマネジメントを目的とし、ひび割れ情報の蓄積、関連情報との連携、ひび割れの定量的評価へ向けた情報活用にプロダクトモデルを用いる手法を開発した。



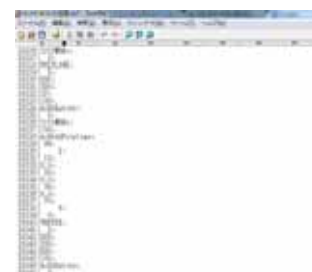
Nobuyoshi Yabuki



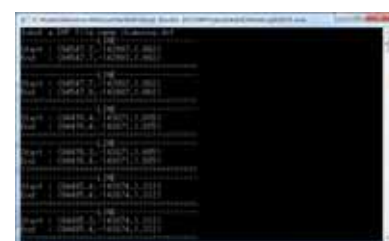
CADのDWGデータ



抽出したlineとpolylineの変状



入力するDXFファイル



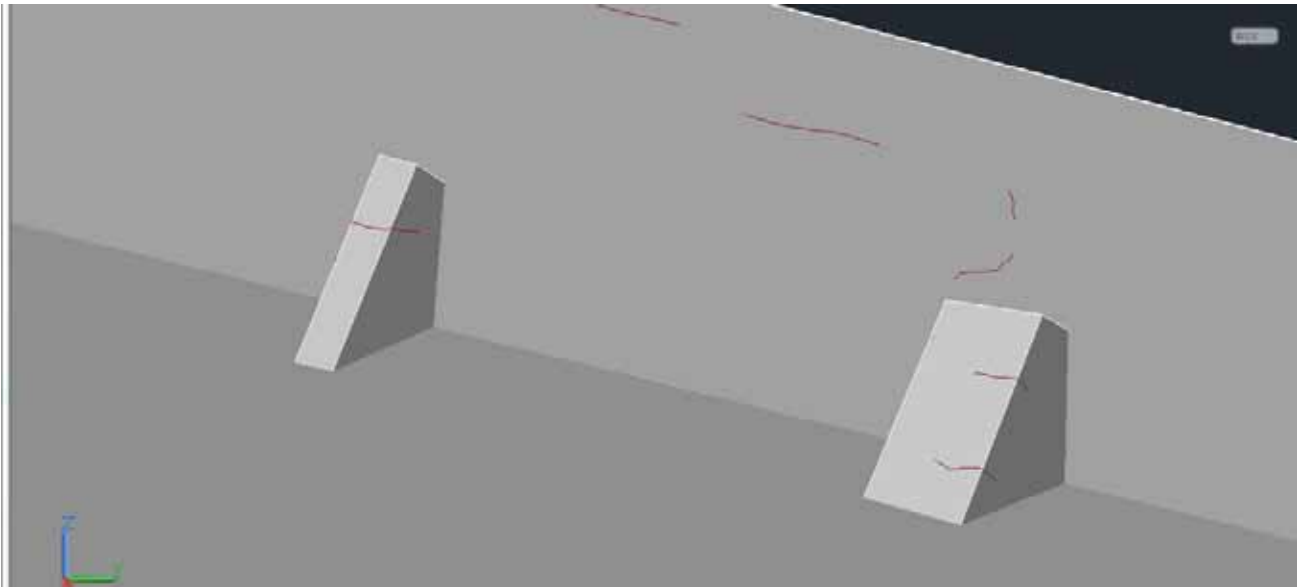
変状情報抽出、整理結果



出力したIFCファイル

Nobuyoshi Yabuki

22



拡大図（赤い線がひび割れ）

3次元モデルに時間軸を加えることにより4次元化。

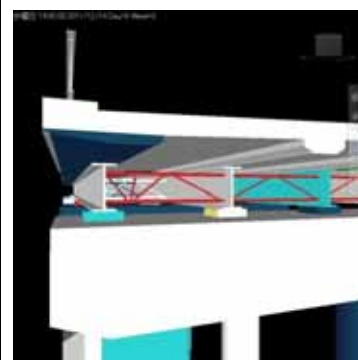
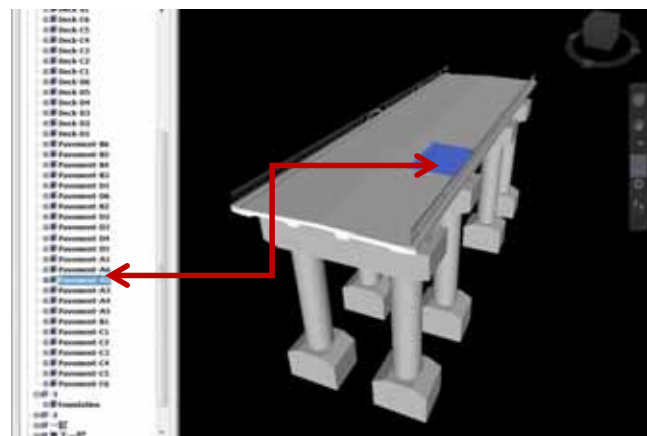
ひび割れなど変状の進展具合（経年劣化の度合い）を評価できる。

Nobuyoshi Yabuki

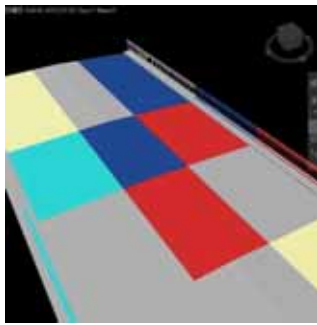
23

橋梁の維持管理のための4次元プロダクトモデル

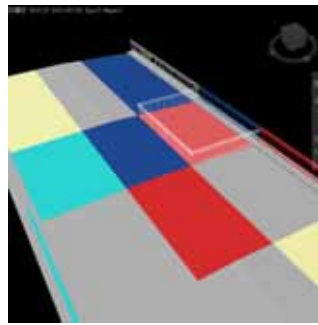
Condition Ranking	Abstract	Damage Level
E 1	Emergency repair needed (structural damages).	High
E 2	Emergency repair needed (other damages).	
S 1	Repair implemented at once after specific inspection.	
C	Repair needed before next periodic inspection (in 5 years).	
S 2	Repair implemented or not base on the inspection result.	
B	Repair is not required before next periodic inspection (in 5 years).	Low
M	Daily management needed.	
A	No damage.	



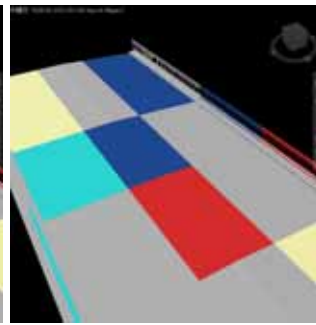
Zhou & Yabuki (2013)



before repainting

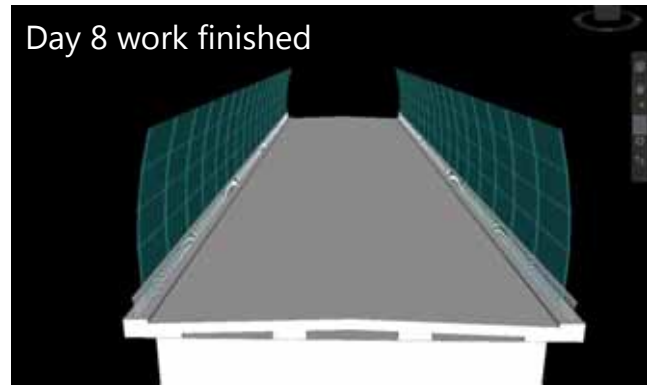
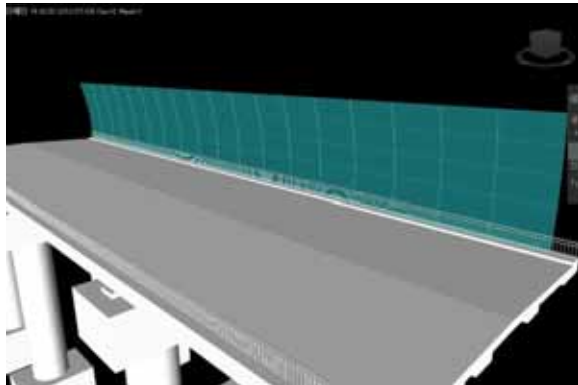


under repainting (fences were used to marking a prohibited area during the work)



after repainting (fences were removed)

4D simulation of repainting work



4D simulation of addition work

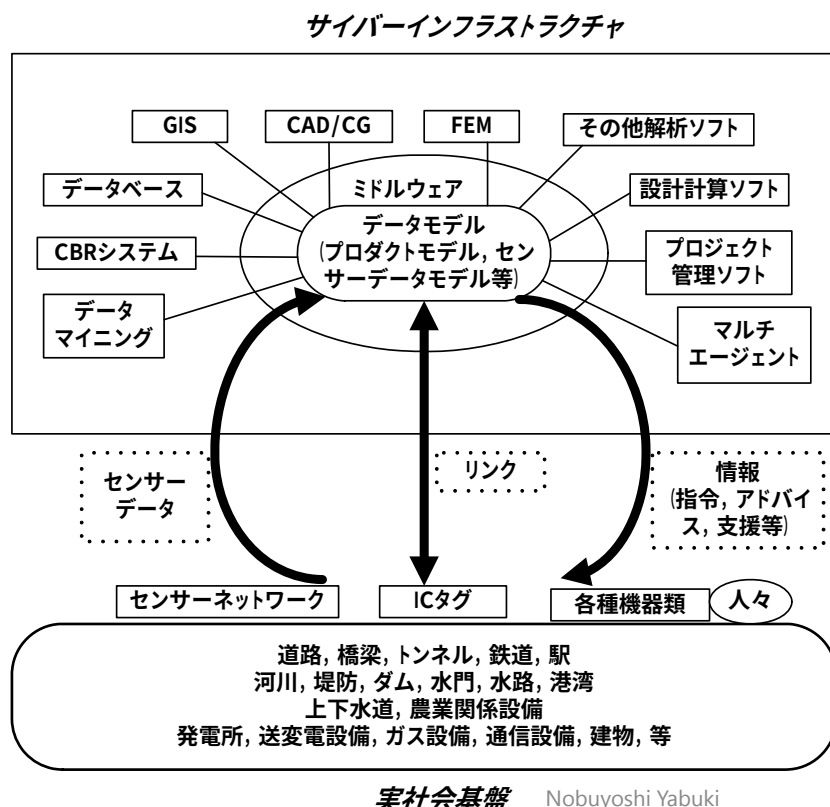
Nobuyoshi Yabuki

25

維持管理・更新などに利用するその他の情報技術

- リモートセンシング
- 情報化施工（GNSS，TS，センサなど組合わせ）
- VR，AR
- 最適化
- 数値解析
- ソフトコンピューティング
- 画像処理（ひび割れ，変状など）
- データベース（複数データベースの串刺し検索）

最終的に目指すのは「国土基盤モデル」の実現



サイバーからリアルへの情報伝達項目としては、ピンポイントの天気予報、洪水や津波、地震などの防災情報、犯罪や防犯に関する情報、空調制御、エネルギー制御、交通機関の各種情報、構造物の点検・維持管理、アセットマネジメントなど

これが現実になれば、「スマートシティ」になる。

- エコ
- 安全・安心
- 競争力

27

International Conference on Civil and Building Engineering Informatics

April 22-24, 2015

Tokyo, Japan

ICCBEI 2015

Tokyo Convention Hall

<http://www.iccbei.com>



第2回 土木建築情報学国際会議 (2015)

スポンサ募集中

July 6 – 8, 2016

16th ICCCBE 2016 in Osaka, Japan

Nobuyoshi Yabuki

Professor

Division of Sustainable Energy and Environmental Engineering

Osaka University

Nobuyoshi Yabuki 2012

29

大阪国際会議場 (グランキューブ大阪)



- リーガロイヤルホテルが、メインホテル
- グランキューブ大阪のすぐ隣で、直結しており、雨に濡れません
- ICCCBEは、数百人規模の会議
- 土木建築分野における情報技術に関する世界最大の国際会議
- 2年に1回開催
- 日本では1991年の東京以来、実に四半世紀振りの開催



Rihga Royal Hotel

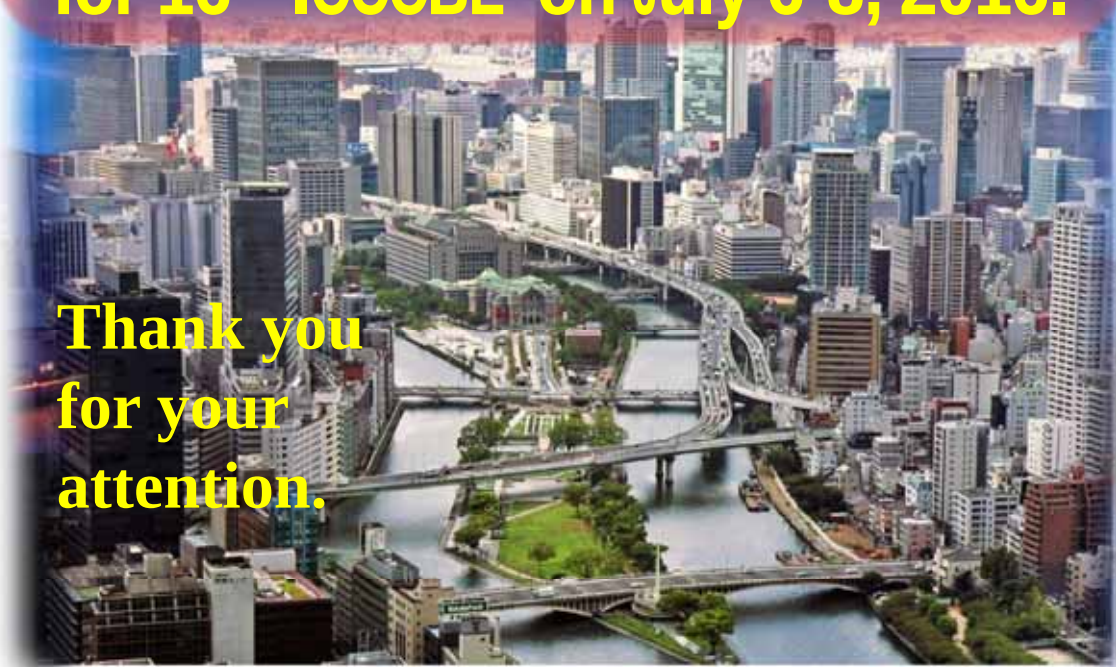
Convention Center

Nobuyoshi Yabuki 2012

30

**We welcome you to OSAKA, Japan,
for 16th ICCCBE on July 6-8, 2016.**

**Thank you
for your
attention.**



Osaka
Nobuyoshi Yabuki 山崎 伸幸



31

応用力学委員会における 社会インフラ維持管理・更新に貢献する 技術開発の現状と今後の課題

東京大学 市村強

東京理科大学 佐伯昌之

岩田地崎建設 須藤敦史

愛媛大学 中畑和之（発表者）

応用力学委員会

2

1994年9月、土木工学の力学分野に共通の基盤を整え、関連諸分野との研究連携のもとに、理論的解析的力学、実験的力学並びに計算力学の発展に寄与することを目的として発足。

分野横断型の委員会として、構造、水理、地盤、鋼・コンクリート、建設マネジメント、防災など幅広い専門分野の研究者が集まる。

応用力学シンポジウムを毎年開催し、研究者・技術者による先端技術の情報交換および交流を促進。発表内容は査読を経て、土木学会論文集A2として発行。



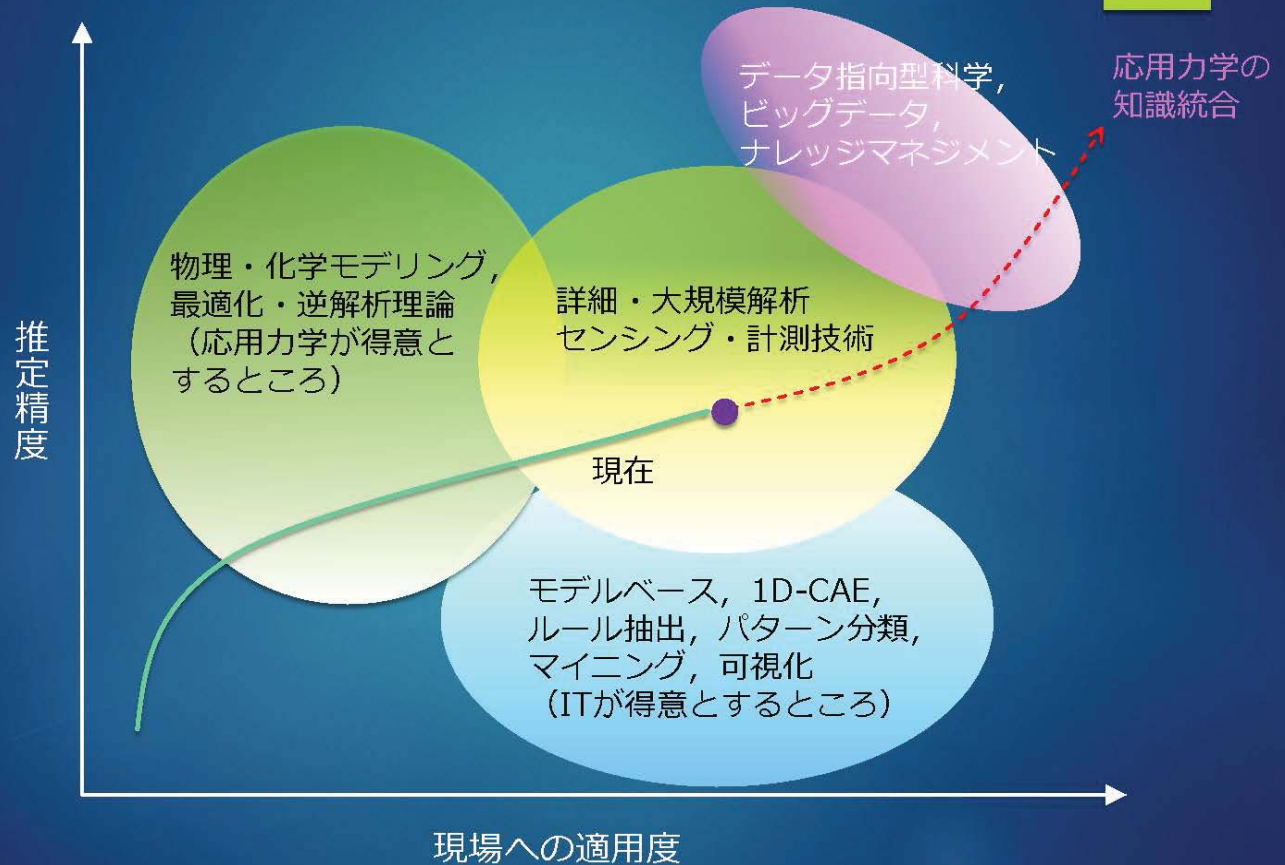
土木学会論文集A2
(応用力学)

投稿部門：

- 第1部門：物理数学力学問題
- 第2部門：逆問題
- 第3部門：計算力学
- 第4部門：非線形力学
- 第5部門：離散体の力学
- 第6部門：地震防災・耐震の数理と力学
- 第7部門：流体力学
- 第8部門：メンテナンスの力学問題
- 第9部門：相互作用系力学

1. 現状認識と方向性

3



2. 現状の技術事例

4

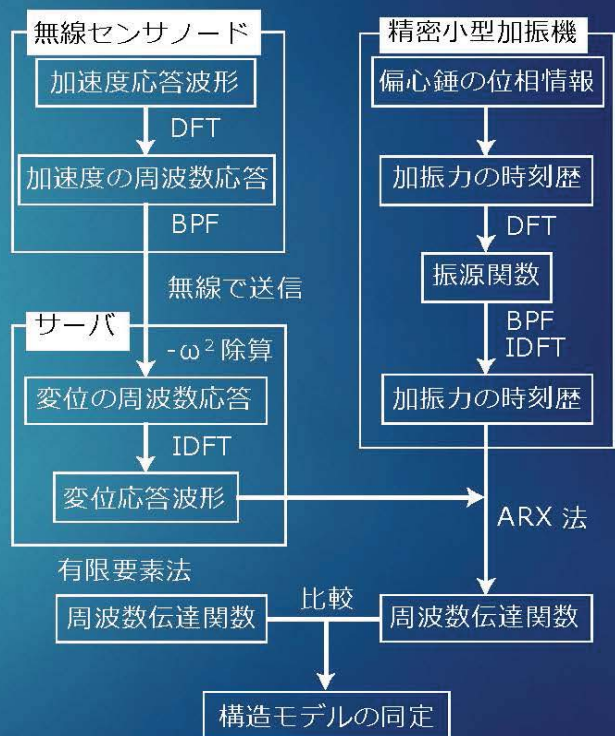
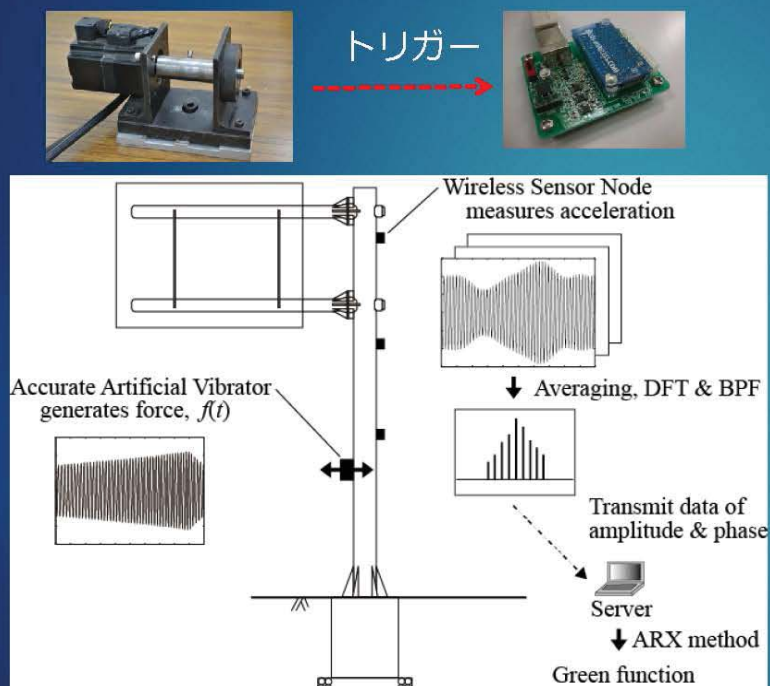
社会インフラのメンテナンスという分野に絞れば、応用力学委員会では**予防保全**、**損傷同定**、**劣化予測**、**大規模計算**等が貢献できるテーマ。

- (1) Information and Communications Technology(ICT)を利用した**予防保全**
～無線ネットワークによるセンシング・点検の高度化～
- (2) マルチフィジクスセンサによる**損傷同定**
～弾性波・電磁波によるコンクリート内部の映像化～
- (3) 現場データを利用した高精度な**劣化予測**
～ビッグデータとデータ指向型アプローチの適用～
- (4) **超大規模計算**技術の応用
～超並列計算による高詳細モデルの実現からデータ処理まで～

(1)ICTを利用した**予防保全**

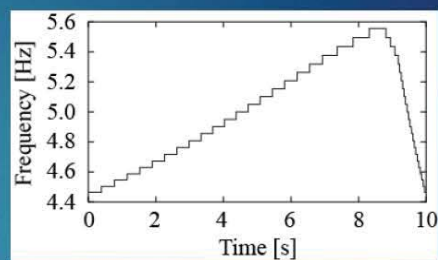
～無線ネットワークによるセンシング・点検の高度化～

5



加振装置

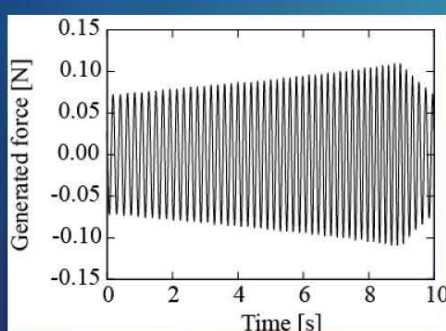
6



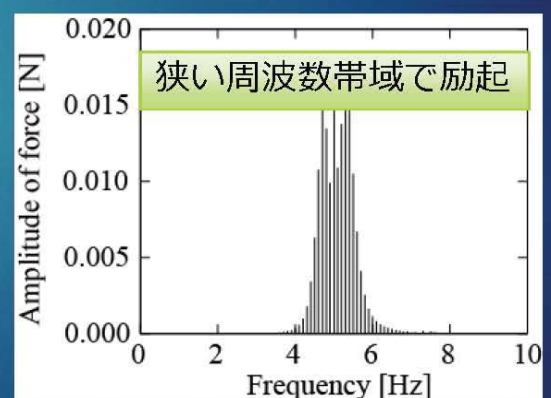
位相制御型のサーボモータで回転

加振力（遠心力）の計算

$$f(t) = mr\omega(t)^2 \exp \left[i \int_0^t \omega(s) ds \right] = mr \left(\frac{d\phi(t)}{dt} \right)^2 e^{i\phi(t)}$$

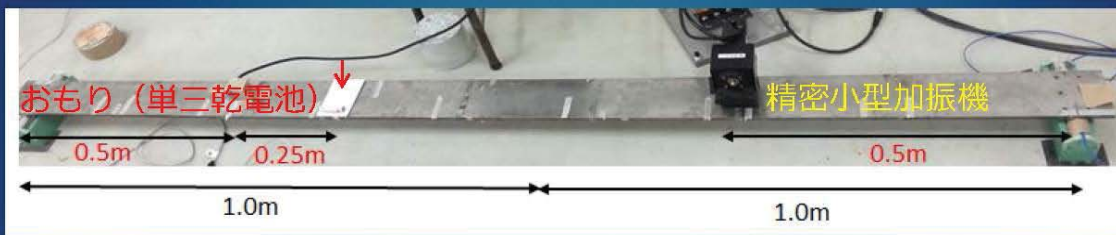


離散フーリエ変換



振動特性の変化

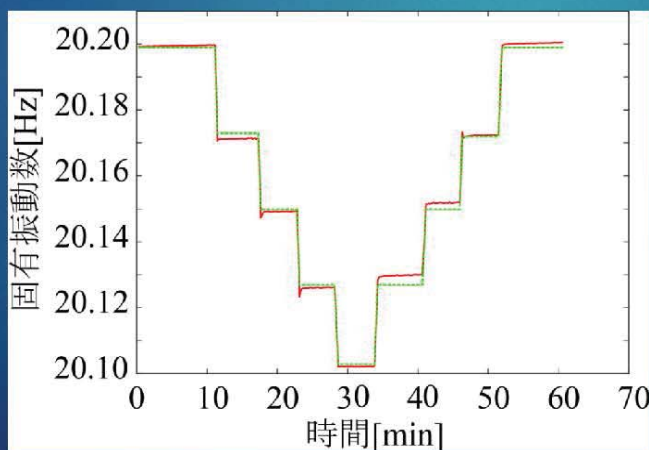
7



(鋼板の質量 約16.5[kg], 加振機質量 約2.7 [kg])

加振周波数帯: 19.0~21.0 [Hz] (曲げ2次モード)

- おもり :
0個 → 1個(34g) → 2個(60g) → 3個(86g) → 4個(112g) →
3個(86g) → 2個(60g) → 1個(34g) → 0個

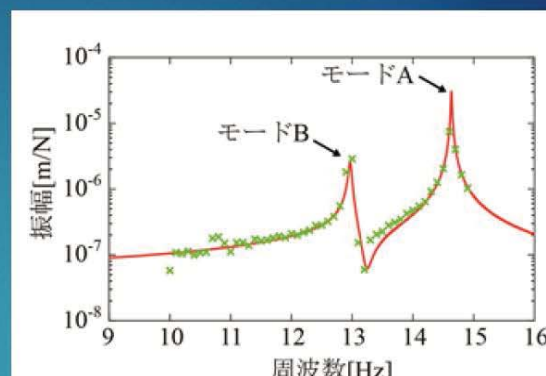
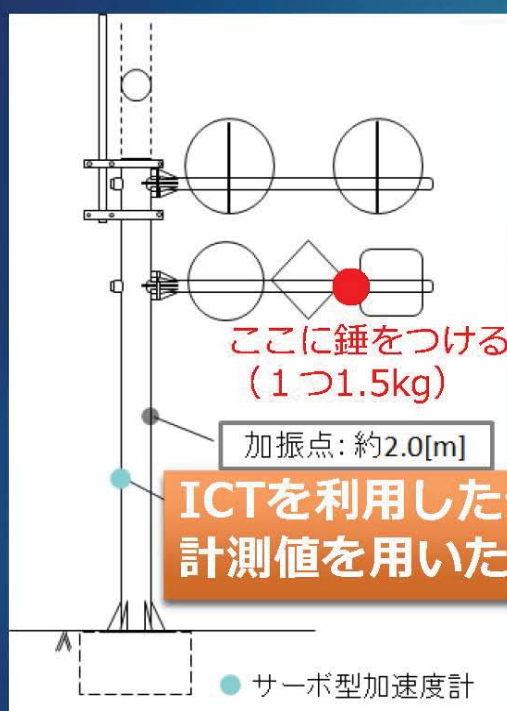


— 実験 (ARXで推定)
- - - 解析 (FEM)

東京理科大学
TOKYO UNIVERSITY OF SCIENCE

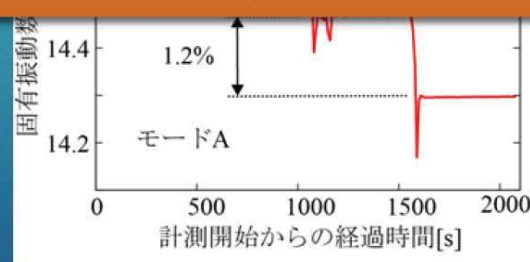
道路標識を用いた実験

8



— 実験 - - - 解析

**ICTを利用した予防保全技術の高度化
計測値を用いたデータ同化への応用を模索!**



錘を付けた場合の固有振動数の変化

東京理科大学
TOKYO UNIVERSITY OF SCIENCE

(2)マルチフィジクスセンサによる**損傷同定**

～超音波・電磁波によるコンクリート内部の映像化～

9

非破壊検査

力学モデル

電磁力学モデル

波動（振動、音波、弾性波、電磁波、X線、赤外線）、
磁力、電力等の物理エネルギーを利用。

超音波

音響インピーダンスの異なる場所から散乱波が発生

$$Z^u = \rho c$$

ρ : 密度, c : 音速



コンクリート中の空隙やき裂等からエコーを取得

電磁波

特性インピーダンスの異なる場所から散乱波が発生

$$Z^e = \sqrt{\mu / \varepsilon}$$

μ : 透磁率, ε : 誘電率



コンクリート中の鉄筋等からシグナルを取得

EHIME UNIVERSITY

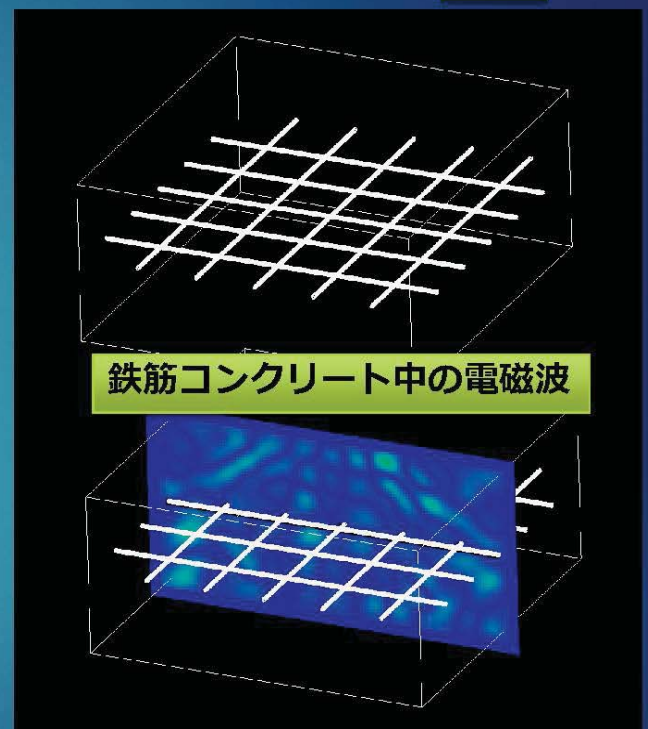
波動の物理モデリング

(並列計算を用いた有限積分法による波動伝搬シミュレーション)

10

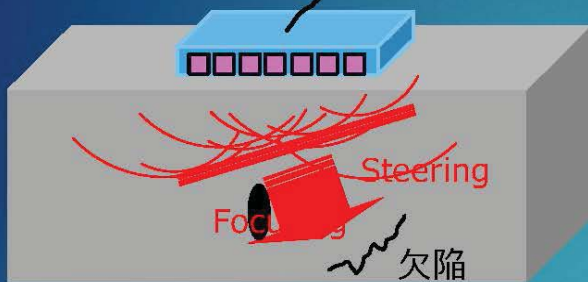


- ・骨材からの散乱は比較的大きい
- ・空洞では完全反射, 鉄筋は透過
- ・含水状態の伝搬速度への影響は小さい



- ・骨材による散乱は極小さい。
- ・鉄筋では完全反射, 空洞は透過
- ・含水状態の伝搬速度への影響は大きい。

アレイ配列されたセンサ群



素子配置の規則性



励起タイミングの調整



ビームの送信方向の制御
(ビームステアリング・フォーカシング)

電磁波の移動式アンテナ



超音波アレイ探触子



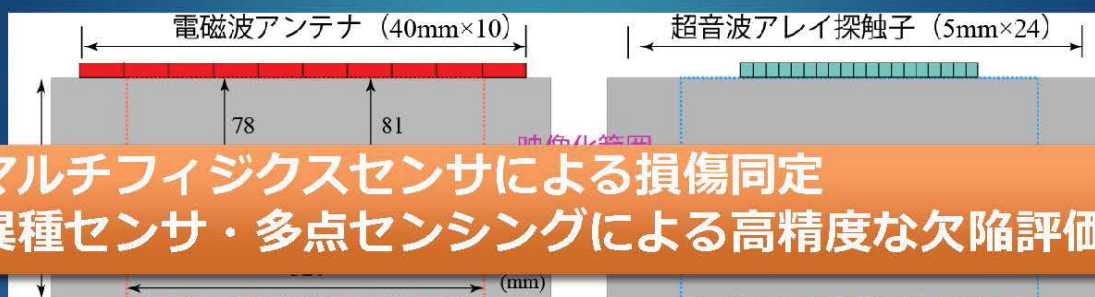
- ・低周波(波長が大きい) を用いても有効にビームフォーカシングできる.
- ・ポータブルな装置構成



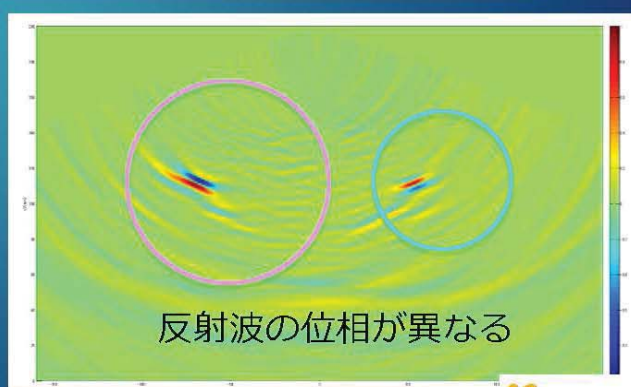
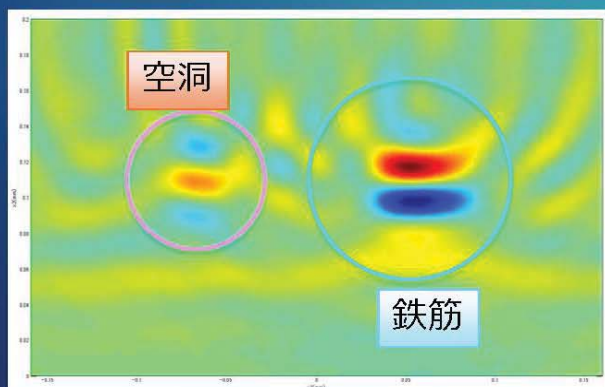
全波形サンプリング処理方式

映像化結果

(GPU計算によるリアルタイム逆解析)



マルチフィジクスセンサによる損傷同定
異種センサ・多点センシングによる高精度な欠陥評価へ！



(3)現場データを利用した高精度な劣化予測

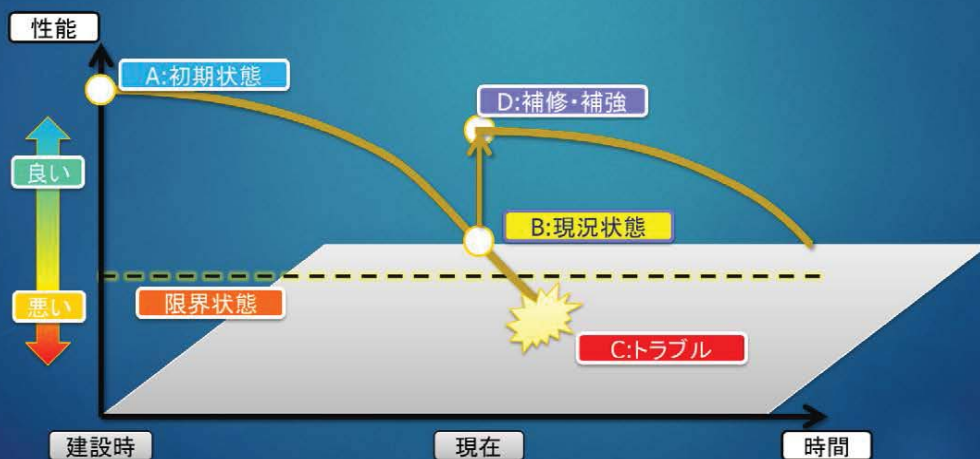
～ビッグデータとデータ指向型アプローチの適用～

13

保有する社会資本の状況
(数量・老朽化の程度・コスト)

今後の社会資本の需要
(人口減少・高齢化・需要予測)

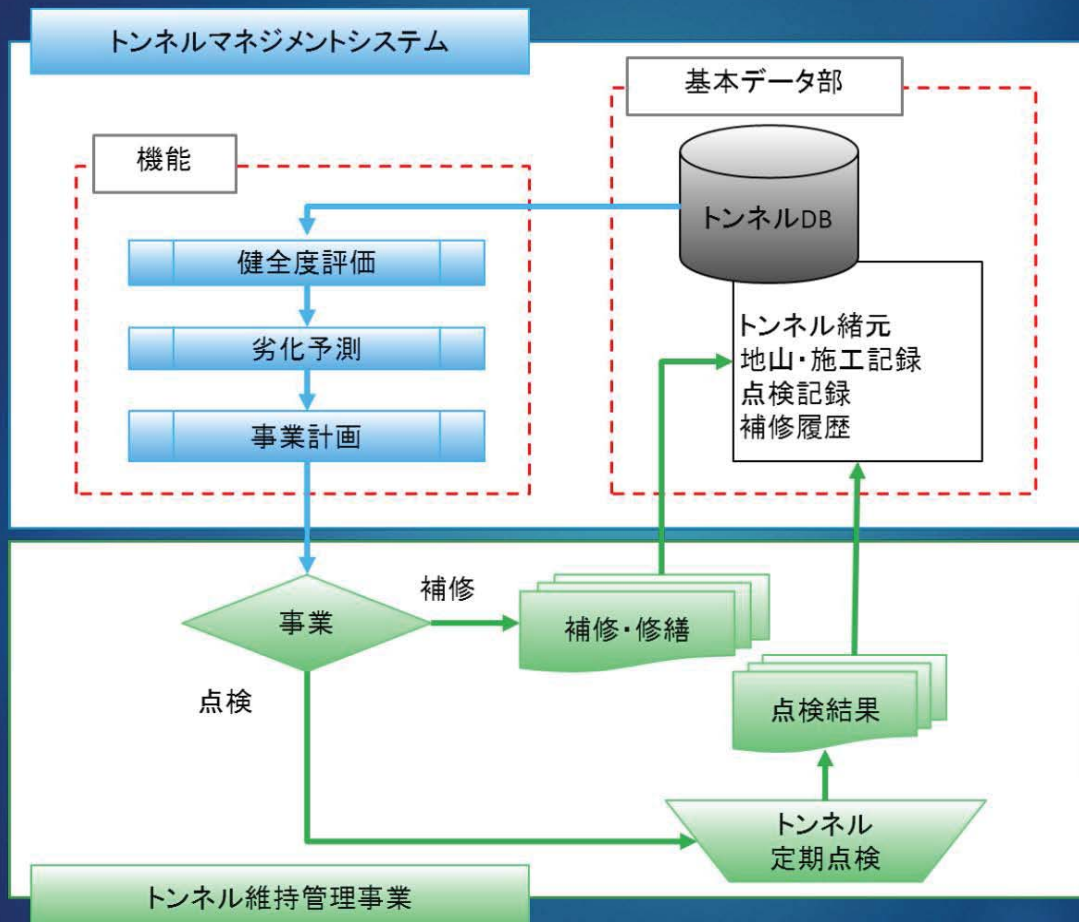
社会環境・地域のニーズを踏まえた社会資本のアセット・マネジメント
(長寿命化・複合化・廃棄統合・再利用・PPP/PFI)



岩田地崎建設株式会社

維持管理システムのイメージ

14



経年的に蓄積された点検データ
(ビッグデータ)
の解析を要する。

データ指向型
アプローチの
適用

岩田地崎建設株式会社

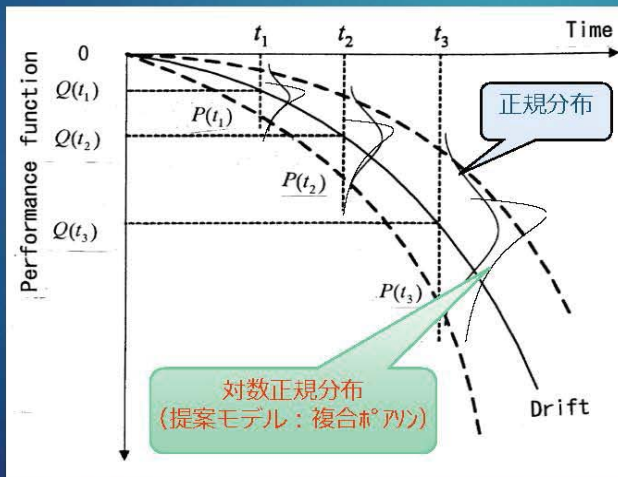
$$\frac{dX(t)}{dt} = [\mu_0(t) + Z(t)]g(X(t))$$

$X(t)$ 損傷度

μ_0 損傷の平均的時間成長係数

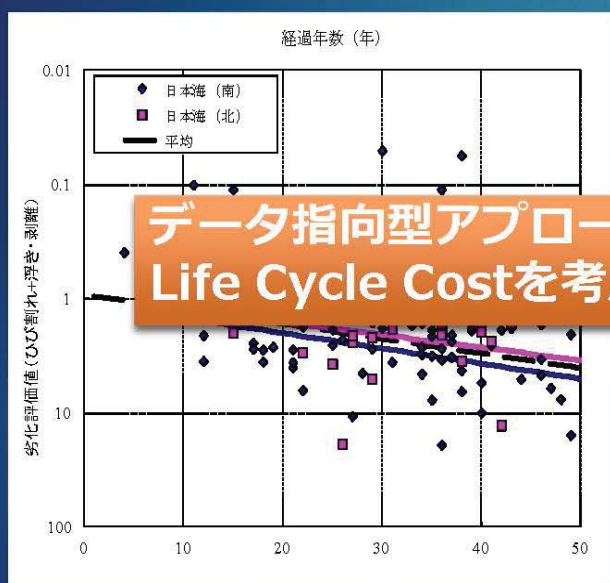
$g(x)$ 損傷成長速度関数

$Z(t)$ 駆動雑音 → 複合ポアソン過程

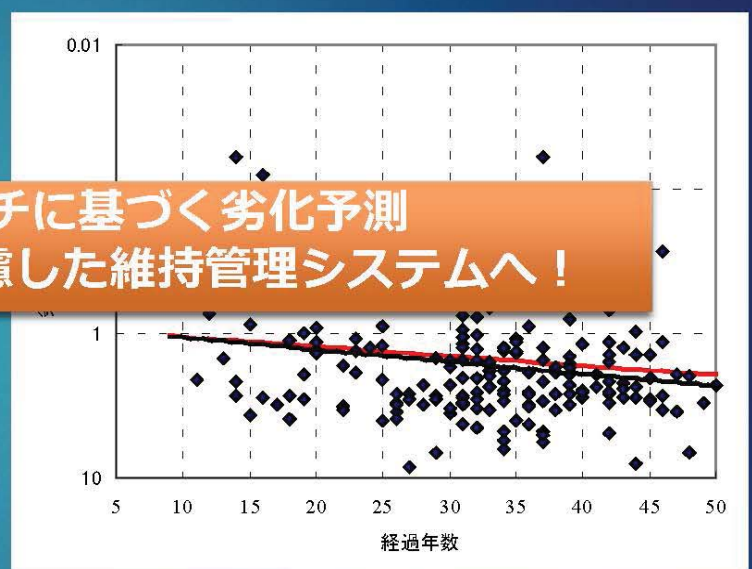


解過程は、時間依存型の対数正規分布的な挙動となる

点検データを用いた劣化度の同定と予測



データ指向型アプローチに基づく劣化予測
Life Cycle Costを考慮した維持管理システムへ！



劣化評価値の同定結果

(トンネル覆工の実データの劣化分布と良い近似)

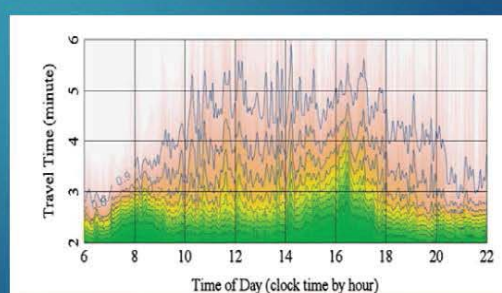
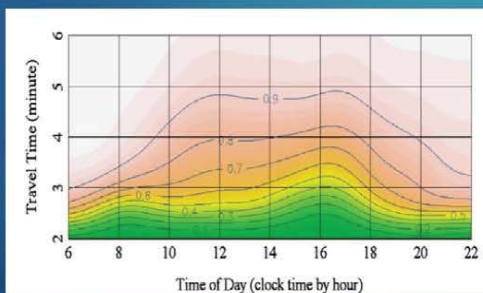
劣化度の将来予測
(40年同定→50年予測)

(4) 超大規模計算技術の応用

～超並列計算による高詳細モデルの実現からデータまで～

17

- ▶ センシング技術の進展により、データ量が増加
 - ▶ 評価の精度・分解能向上を期待するものの、データ解析技術が追いつかず、超大規模データのうまみを引き出すのが困難な場合も
 - ▶ 応用力学委員会の強みのひとつは「数理ベースの検討」であり、その知見をデータ解析技術の開発へも展開可能
 - ▶ 事例紹介*
 - ▶ 超大規模データを用いた確率密度分布推定のためのアルゴリズム開発
 - ▶ 従来法に比べ、 3×10^{11} 倍高速化
 - ▶ 応用力学委員会では馴染み深い「多重局展開法」の応用



交通所要時間（AからBに行く時間）の確率密度分布の計算例

*Tsuayoshi Ichimura and Daisuke Fukuda, A Fast Algorithm for Computing Least-Squares Cross-Validations for Nonparametric Conditional Kernel Density Functions, Computational Statistics & Data Analysis, 54, pp 3404-3410, 2010.

THE UNIVERSITY OF TOKYO

18

- ▶ 空間情報の蓄積に伴い、より詳細な情報が抽出可能な超高詳細モデルへの期待（超高詳細モデルを用いた逆解析による劣化評価への応用等）
 - ▶ 超高詳細モデルの構築は超大自由度となるため難しい
(自動かつロバストな手法が望まれる)
 - ▶ 逆解析等においては、超大自由度の問題を高速に解くことが可能な
超多次元高速ソルバーが必須
 - ▶ 応用力学委員会の強みのひとつは「現象の数理的な解析」であり、
その知見を超高詳細モデルの構築・超多次元高速ソルバーの開発に展開可能
 - ▶ 事例紹介*
 - ▶ 400億自由度、100億要素の都市+地盤超高詳細モデルの自動構築
 - ▶ 京コンピュータ全システム（663552コア）を用いてその応答をシミュレーション
(400億元の方程式を1.5秒で解く)
 - ▶ 応用力学委員会では馴染み深い「前処理付反復解法」の応用

*Tsuayoshi Ichimura, Kohei Fujita, Seizo Tanaka, Muneo Hori, Maddegadara Lalith, Yoshihisa Shizawa, and Hiroshi Kobayashi, Physics-based urban earthquake simulation enhanced by 10.7 BlnDOF x 30 K time-step unstructured FE non-linear seismic wave simulation, SC14: International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, pp 15-26, 2014 (Gordon Bell Prize finalist).

THE UNIVERSITY OF TOKYO

超大規模計算技術の応用
ペタスケール計算を見据えた高効率な解析技術の提案へ！



3. 課題と今後の可能性

1. 理論・解析技術，モデリング技術，計算手法等には多くの研究実績がある。
2. ITや計算科学を取り入れるなど，個々の技術は斬新なものが多い。
3. 異分野の研究者が集まる場ではあるが，要素技術の統合や，現場レベルへの応用はまだ少ない。



- ・ 応用力学の学際的な研究体制と現場技術者との連携による新しい技術の提案。
- ・ 現行のIT技術の発達に伴う応用力学研究の有効利用（パラダイムシフト）
- ・ 応用力学が得意とするそれぞれの解析技術に加え，大量のデータを高速処理し，解釈(決定)までを行う多面的なインフォマティクスの創生。



土木学会 社会インフラメンテナンスシンポジウム
2015.1.30



社会インフラの維持管理における 建設ロボットの適用について

建設用ロボット委員会
立命館大学理工学部
建山 和由

1

建設ロボットの特徵

～ファクトリーオートメーションと比較して～

建設ロボット

工場生産



- 作業対象物は形や物性が固定
→ 事前に想定可
- 作業環境は屋内で一定している。
→ 不確定要因が少ない。
- ロボットは位置固定で作業できる。
→ 自らが移動する必要がない。

建設現場



- 作業対象物は土砂などの自然物
→ 多種多様で物性の想定が困難
- 作業環境は屋外で一定していない。
→ 不確定で変動する要因が多い。
- 作業対象物の位置は固定。
→ 自らが移動しなければならない。

★状況に応じた高度な判断を行う機能が必要★

2

建設ロボットの段階的進化

自立型建設ロボット

作業対象物や作業環境・条件への対応も機械が判断して自立的に作業することができる。

判断機能の高度化

無人化施工機械

作業対象物や作業環境・条件への対応は人間が判断し、遠隔、もしくは一部自動化で操作を行う。

制御機能の高度化

建設機械

作業対象物や作業環境・条件への対応は人間が判断し、オペレータが実車で操作を行う。

3

雲仙普賢岳 砂防事業

建設ロボットの開発

1990年11月 噴火, 1991年2月再噴火, 5月火砕流発生
死者・行方不明者:43名の, 負傷者:9名

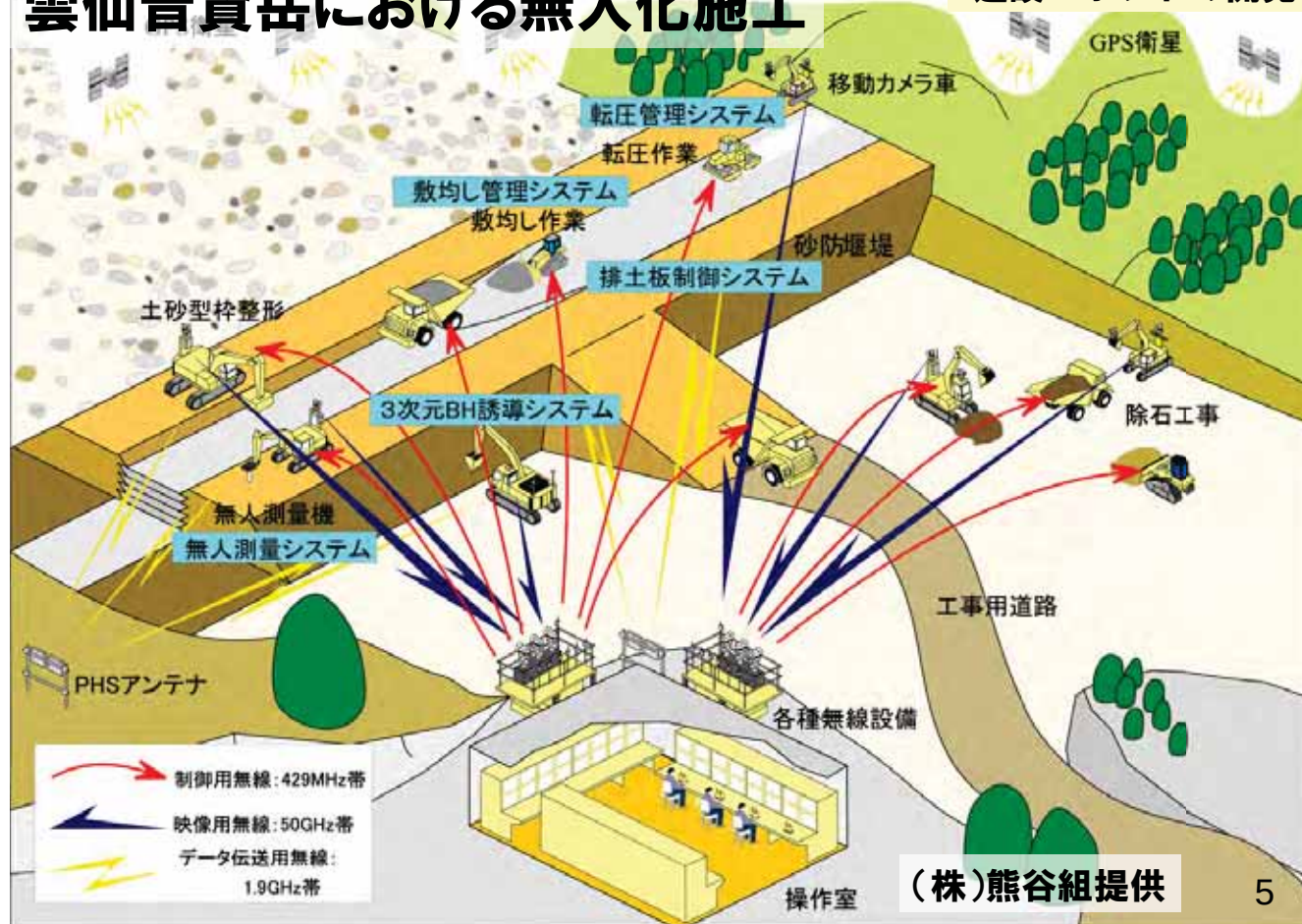


国土交通省 九州地方整備局 雲仙復興事務所 HPより

4

雲仙普賢岳における無人化施工

建設ロボットの開発



遠隔操作による無人化施工

建設ロボットの開発



- ✚ 複数制御の電波干渉
- ✚ 遠隔操作における現場状況の把握
- ✚ 想定外の状況への対応
- ✚ 施工効率の低下

20年にわたる現場での実用的な技術開発の積み重ねが、緊急時に対応することのできる技術を培ってきた。

写真:
国土交通省 九州地方整備局
雲仙復興事務所 HP,
(株)熊谷組より



東日本震災に伴う福島第1原子力発電所事故 冷温停止後の作業 3号炉のガレキ撤去

東京大学
浅間先生提供



3号機におけるガレキの撤去



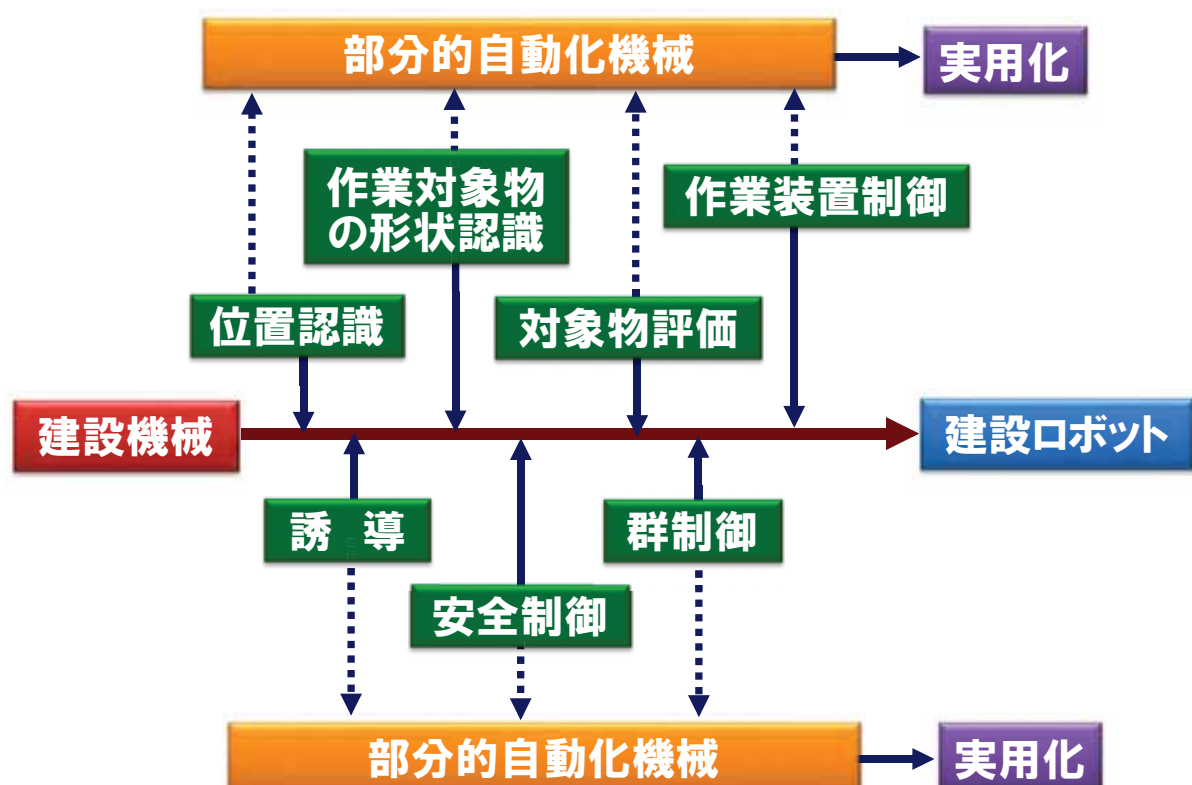
地面でのガレキ撤去



実用的技術開発が継続
する仕組みの重要性

7

建設機械から建設ロボットへの進化のプロセス



8

高度な技術的判断を要する維持管理

- ① 構造物の劣化箇所と状況の定量的な把握
- ② 劣化原因の特定
- ③ 最適な補修・補強方法の決定
- ④ 供用しながらの工事の実施



維持管理における作業上の課題とロボット導入の優位性

- ✓ 人が近づくことが難しい箇所の調査と修理が多い
- ✓ エリア大 → 単純な試験の繰り返し作業 = 苦渋作業

9

維持管理での利用

管路の点検・調査技術 (1)

管内調査機器 (テレビカメラ調査機)

下水道管の調査



緊急調査(地上目視)



一次調査(人孔開閉)



テレビカメラ調査機 二次調査(TVカメラ)



10

管路の点検・調査技術 (2)

維持管理での利用

管内調査機器 (ミラーカメラ調査機)

東京都下水道局提供

下水道管の調査



ミラーカメラ調査機

テレビカメラの先端に配置された特殊な曲面ミラーとカメラにより管内壁面全体(360度)の映像を撮影。



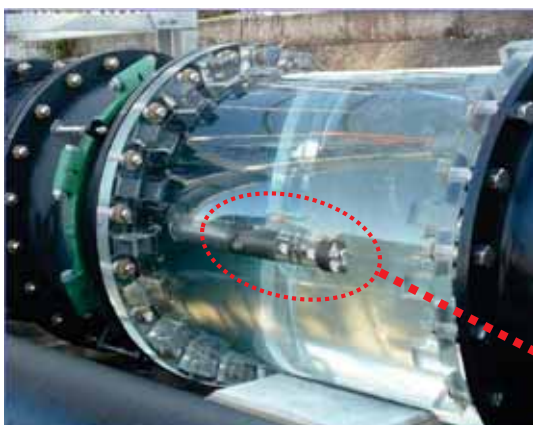
自走式テレビカメラ調査機

11

管路の点検・調査技術 (3)

維持管理での利用

管内調査機器 (水道管の調査ロボット)



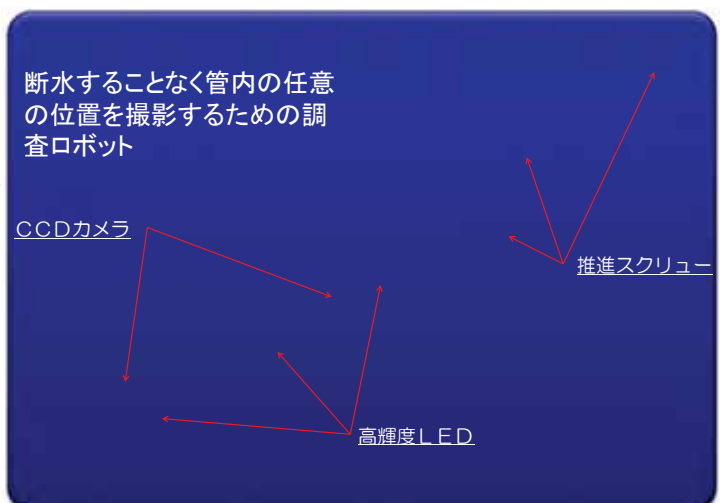
形状: $\phi 80 \times 730\text{mm}$

材質: アルミニウム

質量: 3.3kg

比重: 1

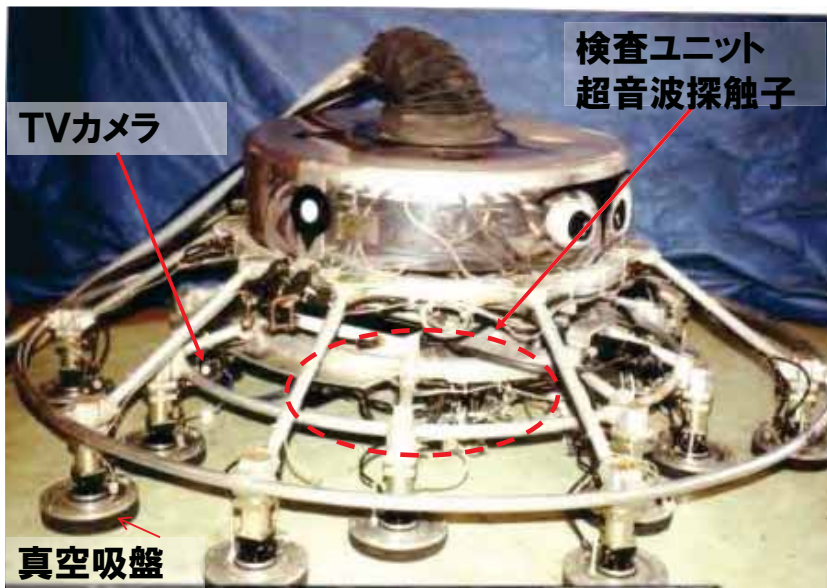
容積: 3.3L



東京都水道局提供

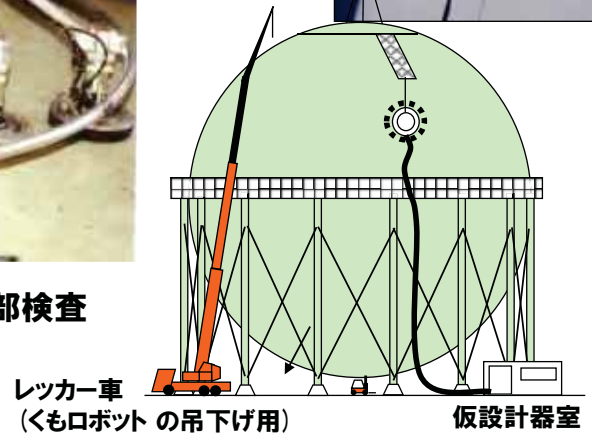
12

外面の点検・調査技術 球体面自動昇降検査装置(くもロボット)



球形ガスホルダーの溶接部検査

東京ガス提供



13

壁面調査・作業ロボット

危険作業，長時間の単調作業
 (苦渋作業)の回避



壁面タイルの劣化状況調査ロボット



写真提供：
 東急建設(株)



サイロ壁面の清掃ロボット 14

建設ロボットの普及促進に向けて

機械制御
の高度化

+

状況に応じて高度
な対応を行う機能

ロボットが作業し易い条件・環境

建設ロボットの導入を前提とした
建設工事全体のシステム化の推進

15

小型無人飛行装置（UAV）

建設ロボットの高度利用の可能性



マルチコプター (株) 富士建



(株) アスコ



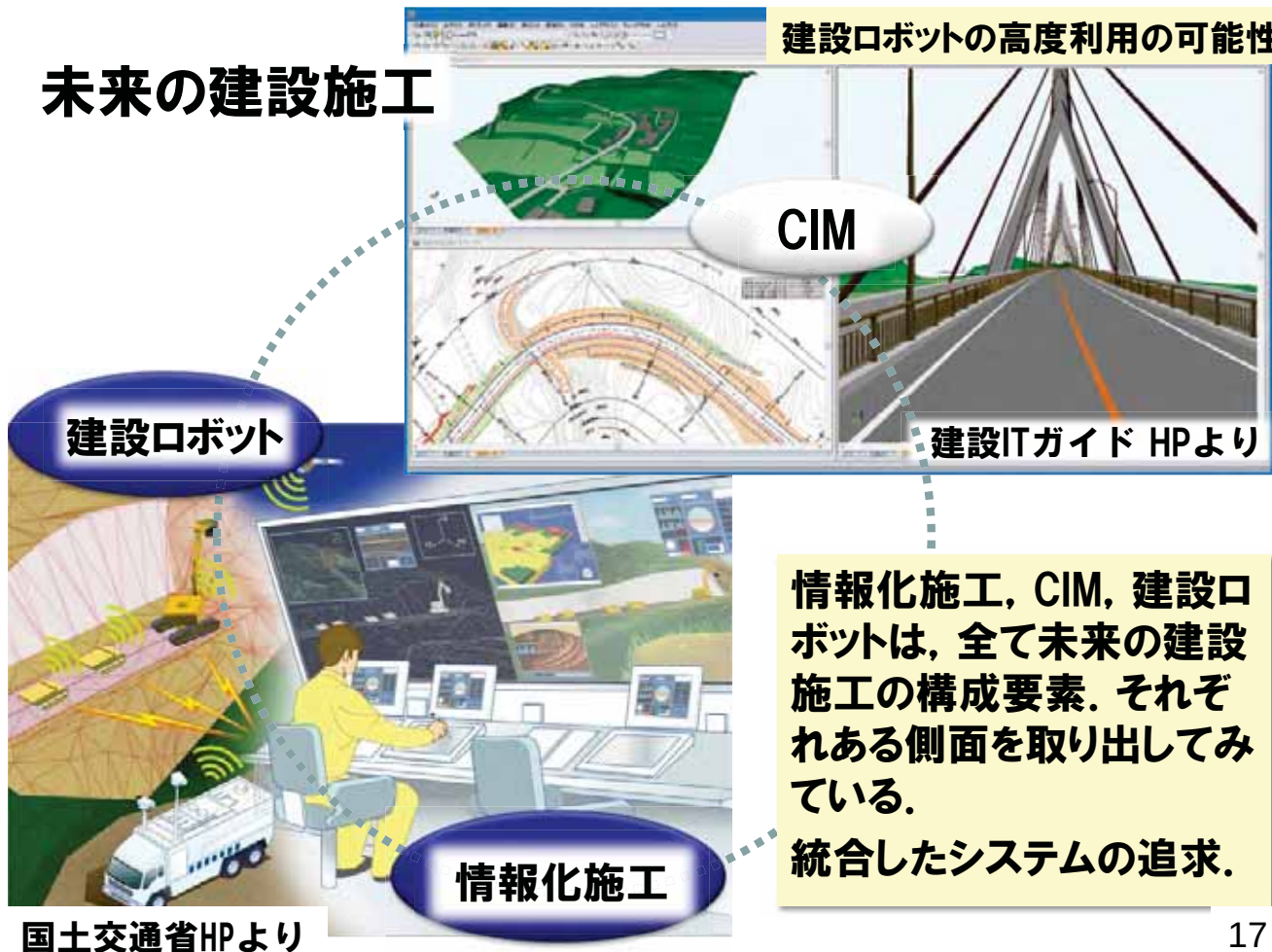
Trimble UX5 ジオサーフ (株)

動 画

16

未来の建設施工

建設ロボットの高度利用の可能性



17

本日のプレゼンテーションのまとめ

1. 建設ロボット

- 建設ロボット開発は実工事プロジェクトの中で進められており, これが極めて実用的な技術を生み出している.
- 各プロジェクト完結型であるため, 同じテーマで継続的な技術開発が行われ難いのが実情. 実用的な技術開発が継続される仕組み作りが必要.

2. 維持管理における建設ロボット利用の現状

- 構造物の劣化調査において, 人が近づくことが難しい箇所の調査や単純な試験の繰り返しによる苦渋作業の回避等で利用されているケースが多い.

3. 将来に向けて

- 建設ロボットの利用を前提とした施工法や環境の採用により, 建設ロボットの導入が容易になり, 維持管理作業の効率や精度を向上させ得る可能性がある.
- 情報化施工・CIM・建設ロボットを組み込んだ維持管理のシステム化が必要.

18

建設用ロボット委員会

1985年 設立

建設分野における施工技術のシステム化・自動化・省力化
およびロボット化についての 研究に取り組む。

2015年から

戦略企画小委員会
土木技術小委員会
海洋技術小委員会
ライフライン技術小委員会
大深度地下小委員会
次世代施工技術小委員会

災害事故小委員会
維持管理小委員会
建設施工小委員会
新技術小委員会

19

ご静聴ありがとうございました。

20

国際標準・アセットマネジメントシステムに対応した 実践トンネルマネジメントシステムの検討

地下空間研究委員会 維持管理小委員会
副委員長 森山 守(中日本高速道路株式会社)

1.社会安全と「土木安全哲学」の体系化

1.社会における問題の発見・解決と工学技術者の役割
(2) 東日本大震災を教訓とした幾つかの提言から

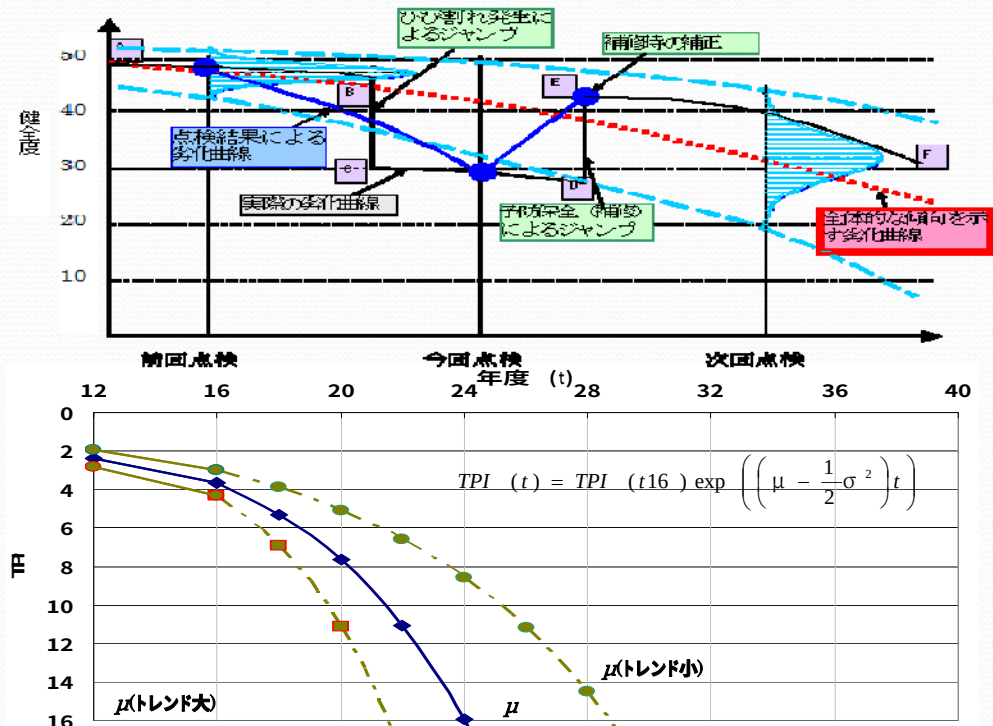
3.11.東日本大震災・「想定外」発言からはじまった議論 土木安全哲学の構造

- ①構造物の計画・設計の視点 ← (科学・工学の限界と努力)
作用外力の設定 想定外(設定外)の壁
→結果として、社会常識的な判断→社会安全不十分
- ②機能施設の運営の視点(事業者の視点) ← (運営上の限界と努力)
部分からシステム全体の最適化の努力
- ③利用者・市民の視点 ← (多主体とのコミュニケーションの努力)
市民工学への回帰、自助、共助、公助の理解と認識
社会安全計画・地域BCPへ

2.これまでの維持管理小委員会の成果

2015.3. 地下構造物のアセットマネジメント 地下空間ライブラリー第1号

(1)性能評価予測手法の例 (幾何ブラウン運動を用いたTPIの将来予測)

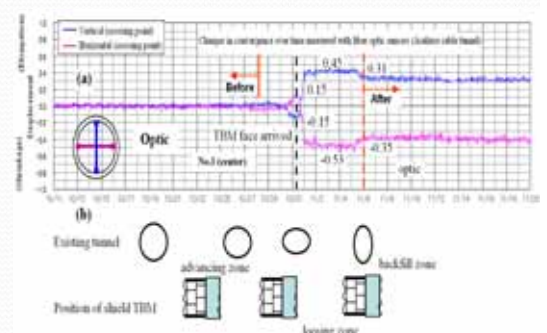
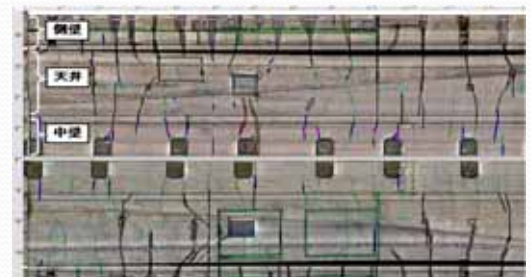


2.これまでの維持管理小委員会の成果

2015.3. 地下構造物のアセットマネジメント 地下空間ライブラリー第1号

(2)点検作業の効率化および精度向上に関する新技術の現状調査 点検新技術事例

目的	名称	点検技術の概要	代替となる技術
トンネル覆工表面画像計測	レーザー光を用いたモノクロ画像計測技術	・ 時速60km/hで走行しながら連続計測が可能。 ・ 計測時に交通規制は不要。(トンネルキャッチャー)	遠望目視点検
	ビデオカメラとレーザー光を用いたカラー画像および3D形状計測技術	・ 時速50km/hで走行しながら連続計測が可能。 ・ 同時に電磁波レーダ計測が可能で覆工背面空洞を検出できるものもある。 ・ 計測時に交通規制は不要。(MIMM-R)	遠望目視点検
覆工及び空洞探査	マルチパス方式レーダによる探索を用いた覆工内部の検査技術	・ 覆工内部のひび割れやジャンカ、空洞などの変状を検出できる。(CLIC)	打音検査
	削孔による覆工コンクリート厚および背面空洞厚を測定する技術	・ 覆工コンクリートを削孔しながら、覆工コンクリート厚や覆工コンクリート背面の状況を調査する。 ・ トラックマウントの専用削孔機。 ・ 削孔速度や回転圧などのデータから、空洞などの状況を判断する。(PVMシステム)	地中レーダ探査



既設トンネル内の光ファイバーケーブルの設置状況

3.1アセットマネジメントシステム(ISO5500X)

2015.3. 地下構造物のアセットマネジメント 地下空間ライブラリー第1号

(1)国際標準・アセットマネジメントシステム(ISO5500X) が要請するもの

社会資本のアセットマネジメントシステムの国際プロセス標準(ISO5500X)が2014年1月に発行された。社会インフラ事業を運営する組織のガバナンス (内部統制) を確立して

- ・PDCAを機能させる手段
- ・公共事業の正統性を社会にアカウンタビリティする手段
- ・国際建設・エンジニアリング市場における競争力を確立する手段

として期待される。

近い将来、ISO5500Xは国際的なデファクトスタンダードになることが予想

性能規定型契約の枠組み策定、事業に応じた構造物や施設の実践的なマネジメント手法の道具の開発が必要

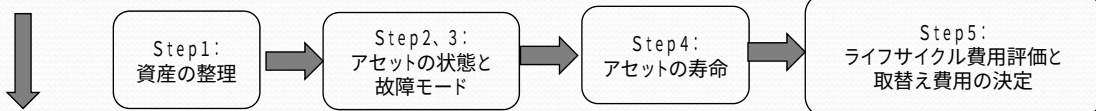


我が国の先達者が築き上げた法律や技術基準類を大いに活用して、その建設と運営(維持管理)において体系(システム)的な実践的マネジメントを可能にする道具(性能規定の枠組み)の開発が必要

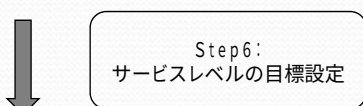
2011 小林潔司:アセットマネジメント・サマースクール(KBR)

3.2アセットマネジメントシステムの基本計画プロセス

1. アセットの現状はどうか？



2. 要求されるサービスレベルは？

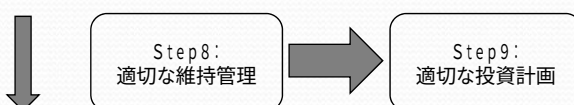


3. システムを持続させるためには？

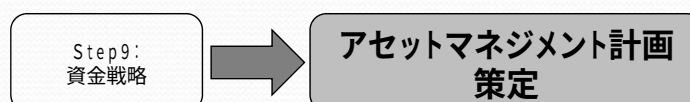


当面の研究の対象

4. ライフサイクルコストを最小化するための維持管理戦略と投資計画は？

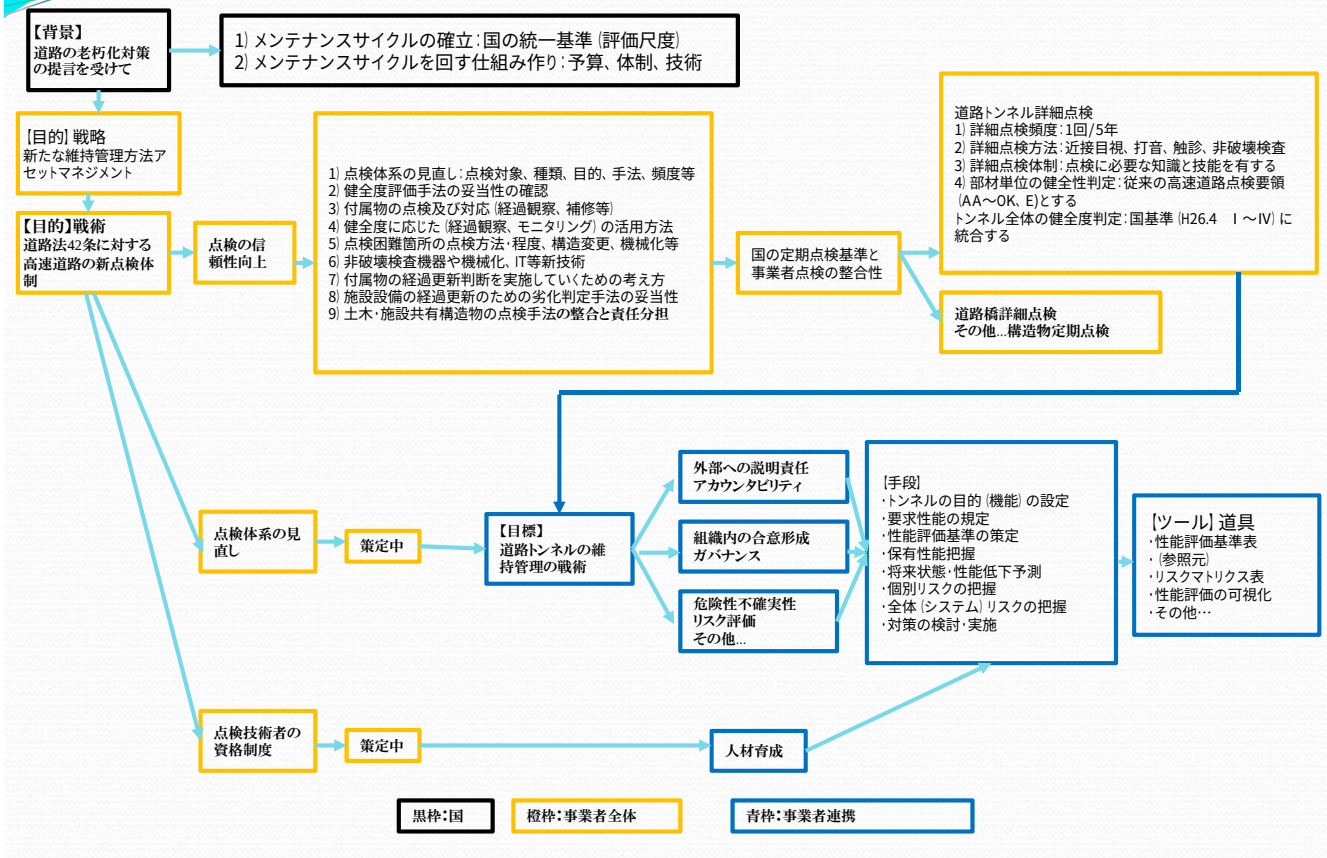


5. 最適な長期資金戦略は？

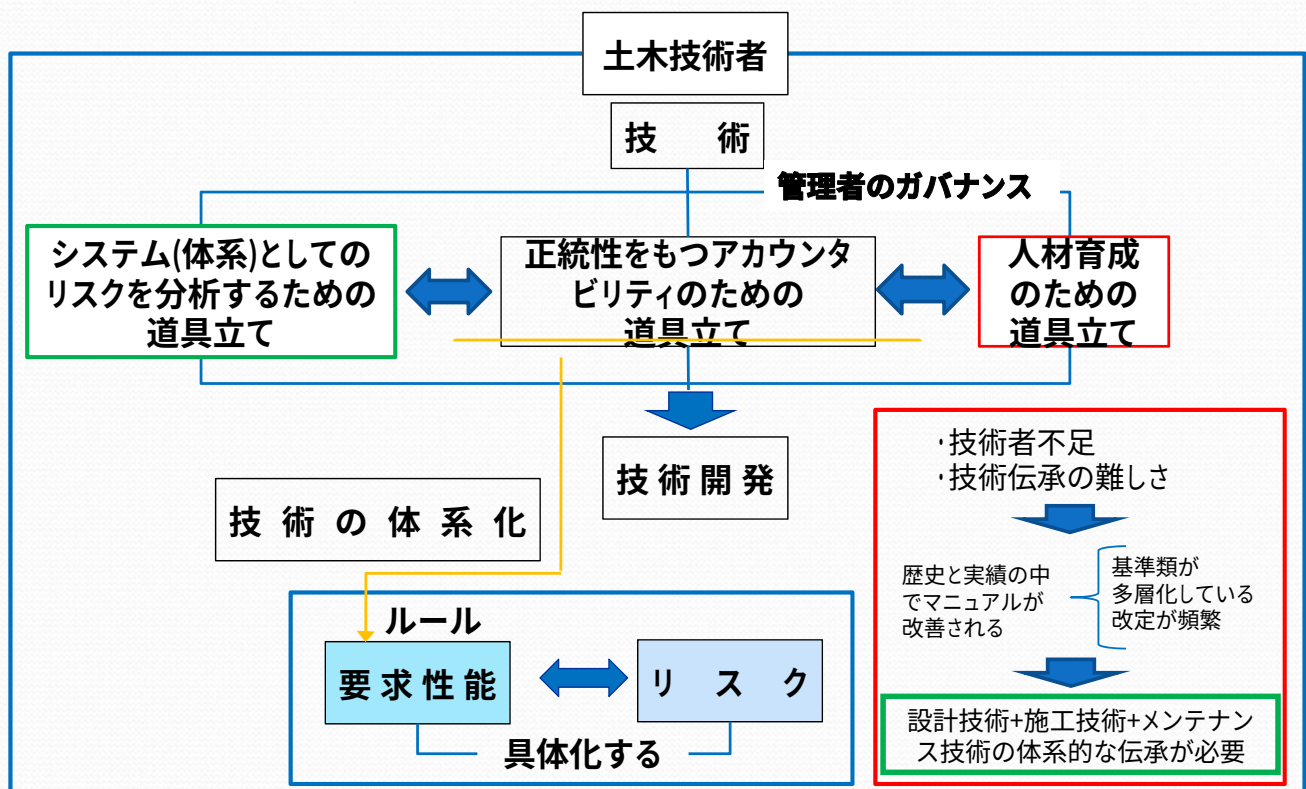


2011 小林潔司:アセットマネジメント・サマースクール(KBR)

4. 実践マネジメントシステムの検討イメージ(道路の例)



5. 技術者に求められる技術体系の整備



6.実践マネジメントシステムの必要性とトンネルマネジメントシステムの道具立て(要求性能の明確化)

新幹線福岡トンネルのコンクリート塊のはく落事故(1999)、銀座下水道幹線の陥没事故(1999)、高速道路笹子トンネルの天井板の崩落事故(2012)は記憶に残るトンネル事故

単に技術問題の解決ではなく、

- ①技術者集団の社会からの信頼の失墜の問題、
- ②公共事業を担う組織体の内部統制の脆弱化(事業運営における経営と技術の乖離、土木技術者と機械・電気・通信技術者の分業制とその統制の欠如等)の問題、
- ③社会的経済損失の問題などが考えられる。

したがって、従来の点検・評価といった個別技術の概念を内包する組織マネジメントシステムを改革する必要がある。

そのためには、まず、運営組織の人々がともに認識・理解できる事業の役割(機能)を具現化するとともに、それに応じた要求性能(設計段階から維持管理段階のすべての過程において共通して要請される性能)ならびにその照査基準(設計基準、点検・評価基準)をより具体的に明確化・文章化する必要がある。

実践的なマネジメントシステムの基準となる道具立て

7.実践的なトンネルマネジメントシステムの道具立て

トンネル構造物に着目すると、これまでの力学的機能のみならず、事業(道路、鉄道、電力、...)ごとの役割(機能)から、これを担うトンネルの要求性能を具体的に文章化する。

トンネル構造物のみを対象とするのではなく、当該トンネルに係る施設、周辺環境、想定される将来変化をも包含する、トンネルシステムとしての要求性能と照査基準を明確化・文章化する。

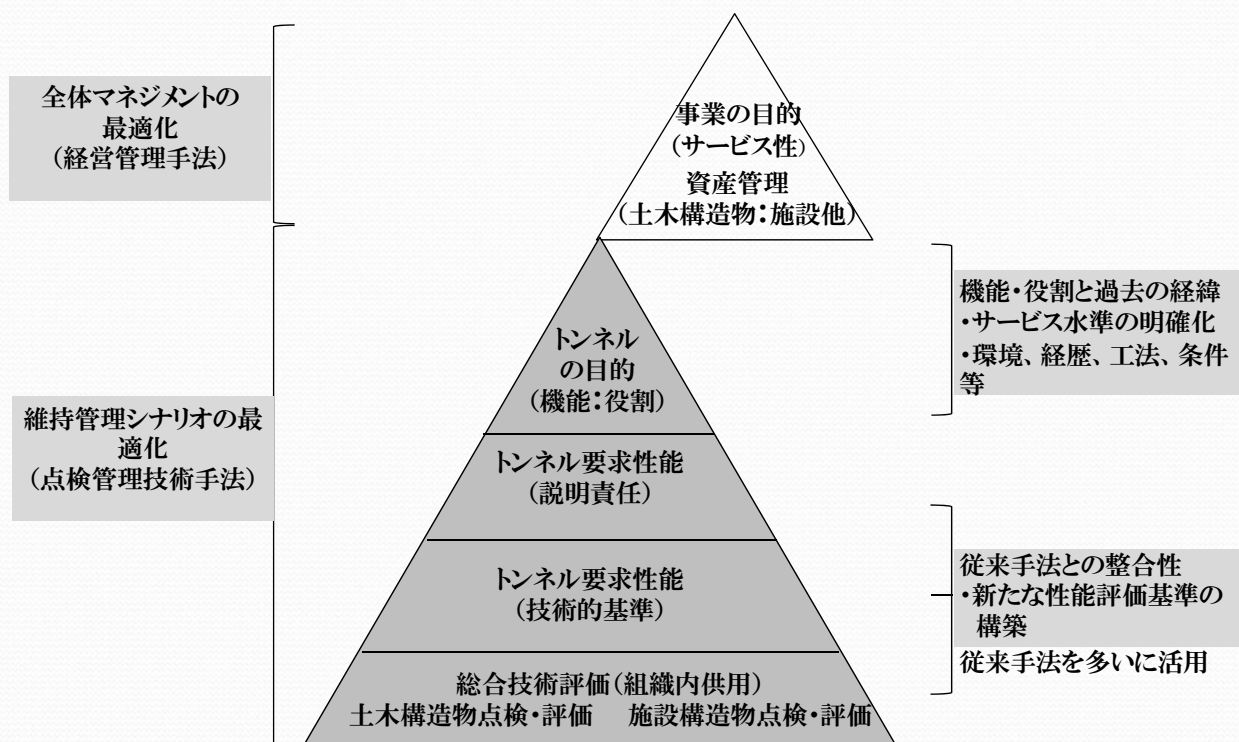
各事業ごとに相当に法整備がなされていることから、これに基づいて機能から要求性能をより具現化することが可能であり、先達技術者が築き上げた設計照査技術や点検・評価技術が要求性能評価基準を策定するうえで大いに活用できる。

各事業運営者が日頃から社会への正統性を説明するための道具になるとともに、運営管理組織の内部統制とそのPDCAのための道具となる。

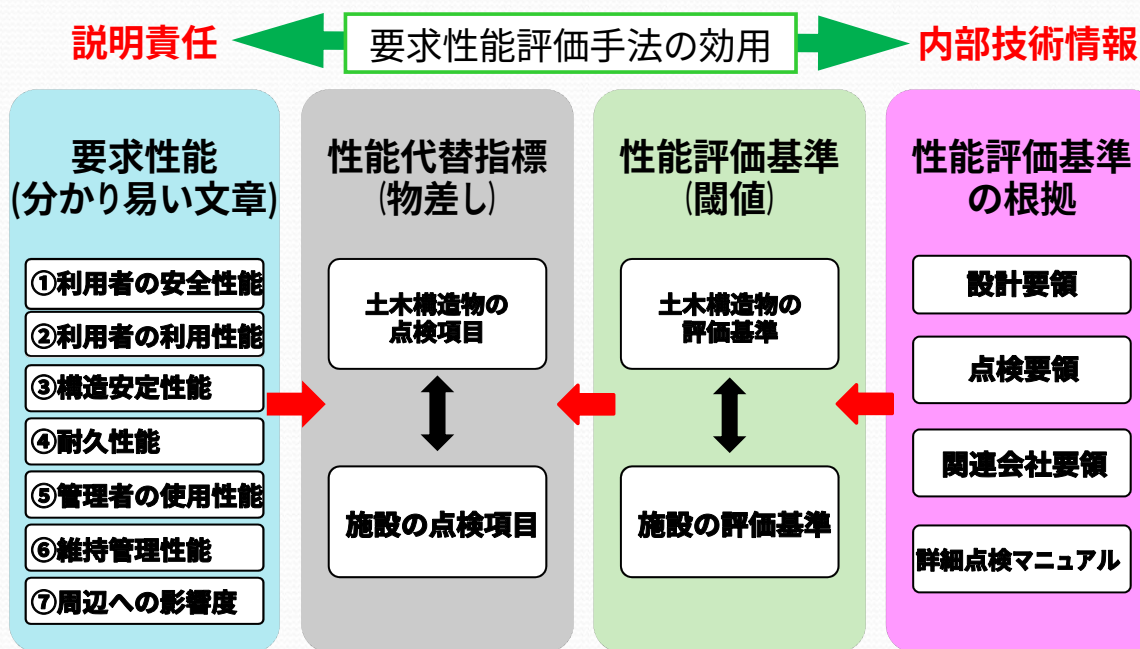
8.維持管理小委員会の活動目標(現在と今後)

- ① アセットマネジメントシステムの計画プロセスで重要となる供用過程のリスクマネジメント（リスクの暴露・評価・対策）の具体的なアプローチ手法を調査し検討する。
- ② 道路、鉄道、電力等の公共事業を主として、その使用目的と要求性能に基づいたトンネルの全体系のリスク（システムリスク）を対象としてオペレーショナルリスクマネジメントを検討する。なお、地震リスクについては、岩盤力学委員会等で検討されている経緯があるため、運用リスクからは除外する。
- ③ 火災や浸水にかかわるリスクについては、防災小委員会と連携して、これを取り扱う。
- ④ システムリスクの検討にあたっては、これまで対象としてこなかった、トンネル内の施設や通信等の管理者（機械、電気等）の管理実態をヒアリング等によって調査し、事業としての地下空間の機能を整理する。
- ⑤ 供用過程のシステムリスクの体系の考え方について整理し提言する。
- ⑥ 公共サービスの事故等に伴う維持管理上の法的責任について調査し整理する。

7.1 性能規定の枠組みの構築(トンネル構造物)



6.3 要求性能評価手法と 従来の点検評価手法(性能評価代替指標)



要求性能：構造物が機能を果たすうえで要求される能力

性能代替指標：性能評価における代替評価指標

性能評価基準：性能代替指標を数値または現象で評価するための基準(閾値)

13

7.2 社会へのアカウンタビリティの道具となる 要求性能の階層化の具体例(山岳工法・道路トンネル)

目的 (機能)	要求性能			
	大項目	中項目	小項目	
所定の供用期間中に所要の交通量を安全・円滑・快適に走行できる	利用者の安全性能	利用者が安全に利用できる	安全に走行できる	良好な道路線形を確保できる なめらかに走行できる 建築限界を確保できる 必要な視認性を確保できる 剥落が生じない 漏水が生じない 必要な換気能力を確保できる
			利用者の安全を直接脅かさない	非常時に防災設備が確実に稼働する 防災設備を適切に配置できる
			非常時に利用者が安全に避難できる	良好な道路線形を確保できる 補修頻度が少ない
		利用者が快適に利用できる	快適に走行できる	乗り心地に影するトンネル変形を生じない
			通行規制を最小限とすることができる	利用者が不快感・不安感を持つような漏水・ひび割れが見られない 必要な視認性を確保できる 圧迫感のない坑門である
			乗り心地が良い	【構造計算を必要としない化粧巻き覆工】 覆工が安定する(無筋コンクリート) 地山が安定する(無筋コンクリート) 【構造計算を必要とする構造覆工】 覆工が安定する(鉄筋コンクリート)
	構造安定性能	想定される荷重に対して安定している	常時作用する荷重に対して安定する	供用期間中に想定される地震動に対して覆工が必要な耐震性能を有する
			必要な耐震性能を有する	供用期間中に想定される近接施工による影響や周辺環境の変化等、荷重条件の変化に対して必要な耐震性能を有する
			想定される荷重変化に対して安定する	【覆工を構造部材としている場合】 火災時にも覆工が安定する
			火災時においても安定する	鉄筋等の防食性がよい 覆工材(コンクリート・煉瓦塔)が浸食・劣化しない 覆工・諸設備の劣化原因となる漏水が生じない
	耐久性能	想定される劣化要因に対して耐久性がある	防食性がよい	必要な内空断面(建築限界)を確保できる 建築限界を侵すことなく非常用諸設備や管理用設備を収容できる 日常の巡回・点検・清掃が安全・容易にできる
	管理者の使用性能	管理者が適切に供用(使用)できる	必要な需要を満足する	対策工の足場の設置と、資材置場の確保ができる 内空断面に補修・補強余裕が確保されている
	維持管理性能	適切な維持管理が確実に行える	安全・容易に点検・清掃できる	地下水への影響が少ない 周辺地盤への影響が少ない 周辺の物件への影響が少ない 周辺での振動・騒音が少ない 周辺の大気環境への影響が少ない 景観・美観を著しく損なわない
			安全・容易に補修・補強できる	地下水位変動が許容範囲内である 周辺への地下水汚濁影響が許容範囲内である 地表面の沈下・隆起が許容範囲内である 近接建物・埋設物等への影響が許容範囲内である 施工中・供用中に周辺での振動・騒音が許容範囲内である 周辺の大気環境への影響が許容範囲内である 換気塔・坑口が周辺景観を損なわないデザインである

7.3 性能評価基準を用いたシステムリスクの把握

覆工とトンネル施設のリスク相関の事例

要求性能				7.施設 (構造)											8.施設 (施設)										9.施設 (通信)					
大項目	項目 (キーワード)	番号	性能代替指標 対象部位	点検頻度	3	4	5	6	14	16	17	19	20	21	小項目番号					3	4	5	10	11	19	20	4	19	20	
要求性能	1.無筋覆工																													
	利用者の安全性能	道路線形	1 道路規格	De																										
	利用者の安全性能	走行性	2 舗装路面性状	1回/2年																										
	利用者の安全性能	視認性	3 路面輝度	1回/1年	○													○												
	利用者の安全性能	防災機能	4 防災設備	De		○												○									○			
	利用者の安全性能	換気機能	5 換気能力	常時			○												○											
	利用者の安全性能	落下安全性	6 はく落変状	1回/5年				○																						
	利用者の安全性能	遮水性	7 漏水	1回/5年																										
	利用者の利用性能	快適走行性	8 路面性状	1回/2年																										
	利用者の利用性能	通行規制	9 クレーム	臨時																										
	利用者の利用性能	美観	10 クレーム	臨時																		○								
	利用者の利用性能	視認性	11 視線確保	4回/2週																				○						
	構造安定性能	覆工安定性	12 覆工変状	1回/5年																										
	構造安定性能	地山一体性	13 覆工変状	臨時																										
	構造安定性能	覆工耐荷性	14 覆工変状	臨時					○																					
	構造安定性能	覆工安定性	15 覆工変状	1回/5年																										
	構造安定性能	覆工耐震性	16 覆工変状	1回/5年							○																			
	耐久性性能	覆工防水性	17 漏水	1回/1年								○																		
	耐久性性能	覆工耐久性	18 覆工材劣化	1回/5年																										
	管理者の使用性能	使用性能	19 トンネル設備	De/常時									○													○			○	
	管理者の維持管理性能	点検清掃性	20 監視員通路	De											○												○			○
	管理者の維持管理性能	維持管理性	21 通路断面	De											○															
	周辺への影響度	地下水汚濁	22 クレーム	臨時																										
	周辺への影響度	地盤沈下	23 クレーム	臨時																										
	周辺への影響度	振動騒音	24 環境基準	De/クレーム																										
	周辺への影響度	大気環境	25 環境基準	De/クレーム																										15

7.4 維持管理における法的対応

トンネルなどの地下空間での人身災害事故は、発生件数は少ないが、発生すると重大災害につながる。

過去のトンネル事故の例

1972年:北陸トンネル火災事故死者:30名

1979年:日本坂トンネル火災事故 死者:7名

1988年:境トンネル火災事故 死者:5名

1996年:「豊浜トンネル」での岩盤崩落事故 死者:20名

2012年:笹子トンネル天井板崩落事故 死者:9名

公共性の高い地下空間における効果的な維持管理は、点検技術の高度化など技術的側面に加え、人身災害発生時に、管理者の責任がどう問われるのかという法的側面と経済学的側面から分析を行い、制度的補完性を考慮した維持管理体制の整備が必要である。

維持管理の水準(ex点検頻度)を高くすれば、費用は増大し、一方、水準の低下は、“人命”等の安全性への軽視と捉えられ、賠償請求など法的(社会的)な制裁を受ける。技術者はこのことを強く認識する必要がある。

7.5 維持管理上の法的責任の検討

原則的に、判例理論による。一方、瑕疵の有無は、3つの視点から判断されることがある。施設管理者の予期しない事故の場合は、施設管理者の責任の瑕疵と事故当事者の過失を相殺する「過失相殺」という考え方がある。

- ① 予見可能性 (道路管理者が事故の発生を予見し得たか)
- ② 結果回避可能性 (道路管理者が事故の発生を回避するための措置をとり得たか)
- ③ 期待可能性 (被害者による危険回避可能性を考慮)

施設管理者の明確な落ち度が無い場合、たとえ訴訟となった場合でも、一方的に責任を追及されることはない。

したがって、日々の点検の記録を整理し、さらにそこから事前に①から③の視点に立って、PDCAのプロセスを回し、維持管理の過程を継続的に改良・改善していくことが、事業運営上、要請される。このことは、ISO5500Xの主旨にも合致する。

8. 講習会のご紹介

地下空間委員会 維持管理小委員会では、およそ9年間にわたり、社会におけるアセットマネジメントの動向を調査し、とくに地下構造物のアセットマネジメントのあり方について検討して参りました。

この度、これらの調査結果をまとめ、地下空間ライブラリー第1号として発刊するに至りました。

そこで、下記の講習会を予定しております。是非とも、トンネル構造物に係わる技術者以外の方々にもご参加頂き、忌憚なきご意見を賜れば幸いです。

地下構造物のアセットマネジメント 一導入に向けて一日時 3月13日(金) 13:00-17:00 (開場12:00)
場所 土木学会 講堂

地下空間ライブラリー（Vol.1）発刊のご案内

地下構造物のアセットマネジメント

— 導入に向けて —

【概要】

土木学会 地下空間研究委員会 維持管理小委員会では、地下構造物の維持管理に関して早くから問題意識を持ち、1996年度から今まで様々な取り組みを行ってきました。その結果、地下構造物についても他の構造物と同様ライフサイクルコストの概念を適用し、維持管理、再生・更新を考えていくことが重要であることが明らかとなりました。そこで、ライフサイクルコストを考えるにあたって基本となる構造物に対する要求性能とその性能を保つための延命化技術の観点から、維持再生に関わる技術の現況を調査し、新たな維持再生の在り方について検討いたしました。そして最終的に、様々な技術的な課題はあるものの地下構造物についてもアセットマネジメントの概念を適用した上で、維持管理、再生・更新を考える必要があるとして調査研究を続け、現在に至っています。

この度、これまでの研究内容について学会員に報告し、広くアセットマネジメント研究の一助となることを願ってライブラリーを発刊いたしました。



A4 版／274 頁／並製本

定価：4,104 円（税込）

土木学会員特価：3,700 円（税込）

発行年月：2015 年 3 月

【目次】

第 1 章 はじめに

1.1 本委員会での発刊趣旨／1.2 委員会及びWG 構成／1.3 本書の構成

第 2 章 我が国におけるアセットマネジメントの歴史と現状

2.1 トンネル構造物の供用年数の推移／2.2 アセットマネジメントの歴史／2.3 アセットマネジメントとは／2.4 アセットマネジメント導入の現状／2.5 アセットマネジメントの地下構造物への適用について

第 3 章 山岳トンネルにおけるアセットマネジメント

3.1 山岳トンネルの健全度評価法の現状／3.2 山岳トンネルの健全度評価と保有性能評価

第 4 章 シールドトンネルにおけるアセットマネジメント

4.1 シールドトンネルの維持管理の現状／4.2 シールドトンネル保有性能評価／4.3 まとめ

第 5 章 アセットマネジメントの導入事例

寒地土木研究所／青森県／新潟県／静岡県／長崎県／鉄道総合研究所／首都高速道路／中日本高速道路／東京電力／NTT／地下街／東京都下水道局

第 6 章 新技術と今後の展望

6.1 維持管理における新技術の動向／6.2 今後の展望／6.3 地下構造物におけるアセットマネジメントの方向性

第 7 章 おわりに

土木学会ホームページ（<http://www.jsce.or.jp/publication/detail/detail.asp?id=2812>）

土木学会 刊行物案内（刊行図書目録：一般書籍）からご購入いただけます

平成27年1月30日 JSCE 社会インフラメンテナンスシンポジウム

衝撃弾性波検査法によるコンクリート下水道管路 の健全度評価とストックマネジメント (コンクリート委員会)

大阪大学大学院 工学研究科 地球総合工学専攻
鎌田 敏郎

本日のプレゼン内容

- **コンクリート下水管の劣化に起因する道路陥没の状況**
- **埋設された下水管の劣化を診断するシステム
(非破壊検査技術、ロボット技術の活用)**
- **非破壊評価データによる管の残存強度の把握**
- **補修(管更生)設計への非破壊評価データの有効活用**

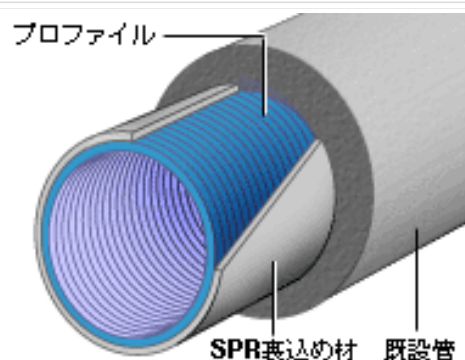
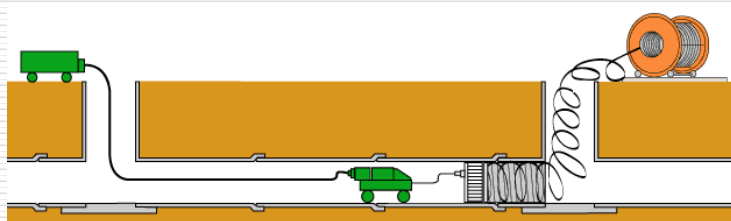
まず、2つの動画を、
年代の新しいものから順にご覧ください。

2013年 10月 NHK大阪 かんさい熱視線
「いま地下で何が しのびよる下水管の老朽化」

2004年 10月 NHK名古屋 ほっとイブニング
2004年 11月 NHK全国版 おはよう日本
「ロボットが下水管診断」

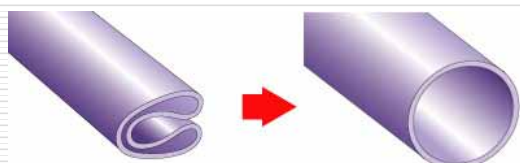
非開削での対策 (管更生工法)

①大口径を対象とした製管工法



②中小口径を対象とした形成工法

自立管タイプ (損傷度 大)
二層構造管タイプ (損傷度 中)
ライニングタイプ (損傷度 小)



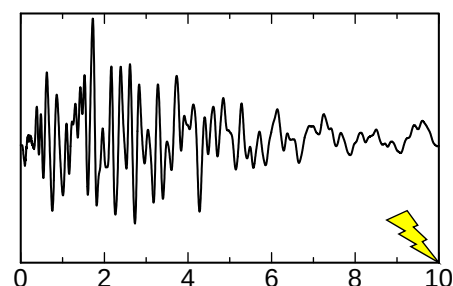
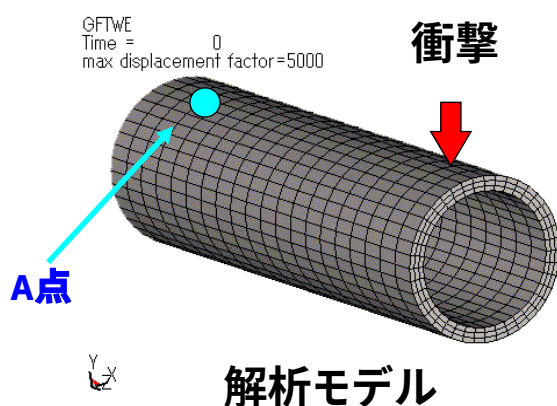
積水化学工業(株)HPより

どのようなレベルの更生を行うのが適切かを決定するには、
劣化の現状の適確な【診断】が不可欠！

→ 従来の目視 (TVカメラ画像) では困難

衝撃により生じる弾性波挙動によりひび割れ・減肉を評価

→ 波形の特性より劣化状況の定量化



A点での受振波形の例

衝撃弾性波計測機能を搭載したロボット による劣化診断システム

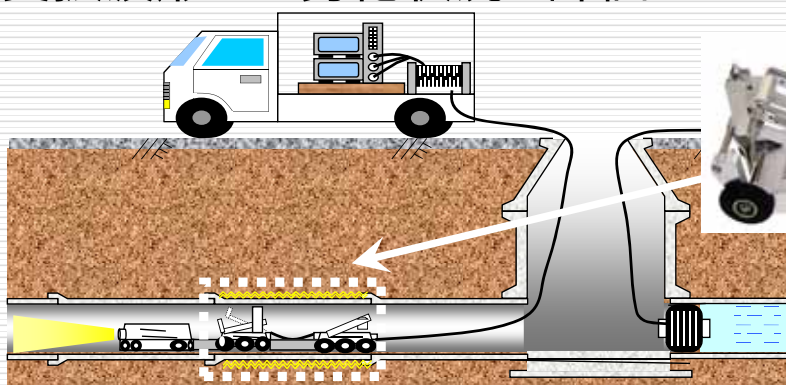
(岐阜大・積水化学で特許取得)

埋設管1単位 (長さ約2m) ごとに

ロボットにより管内面で衝撃を与え、

受振波形から劣化状況を評価

健全管(JIS)での
基準値データベース
と比較



このシステムの開発時に考えたこと

- 人間が入れない管の調査だからこそ「**ロボット**」を使う。
- しかし、管内環境は相当に苛酷であるため、これに耐える**タフな構造・耐久性**が不可欠。
- 叩いて診る方法は、人間の感覚（聴覚）でもわかる**シンプル**な方法なので評価原理が受け入れられやすい。
- RC管は、形状・寸法・材質等のパターンが決まっているもの（JIS工場生産品）なので、**基準（標準）データベース**が有効活用できる。
- 計測で得られたデータが、一体どのように役立つのか？
メンテナンスの場面での具体的活用方法まで突っ込む
必要があり、そこが「**使いたくなる技術**」にするための勝負どころとなる。

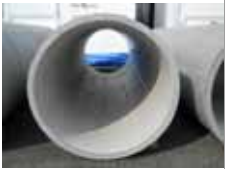
受振波形の周波数特性から**管厚（減肉状況）を推定**

→ もっと「**使いたくなる技術**」にするために、さらに

管厚と残存強度との関係を予め求め、

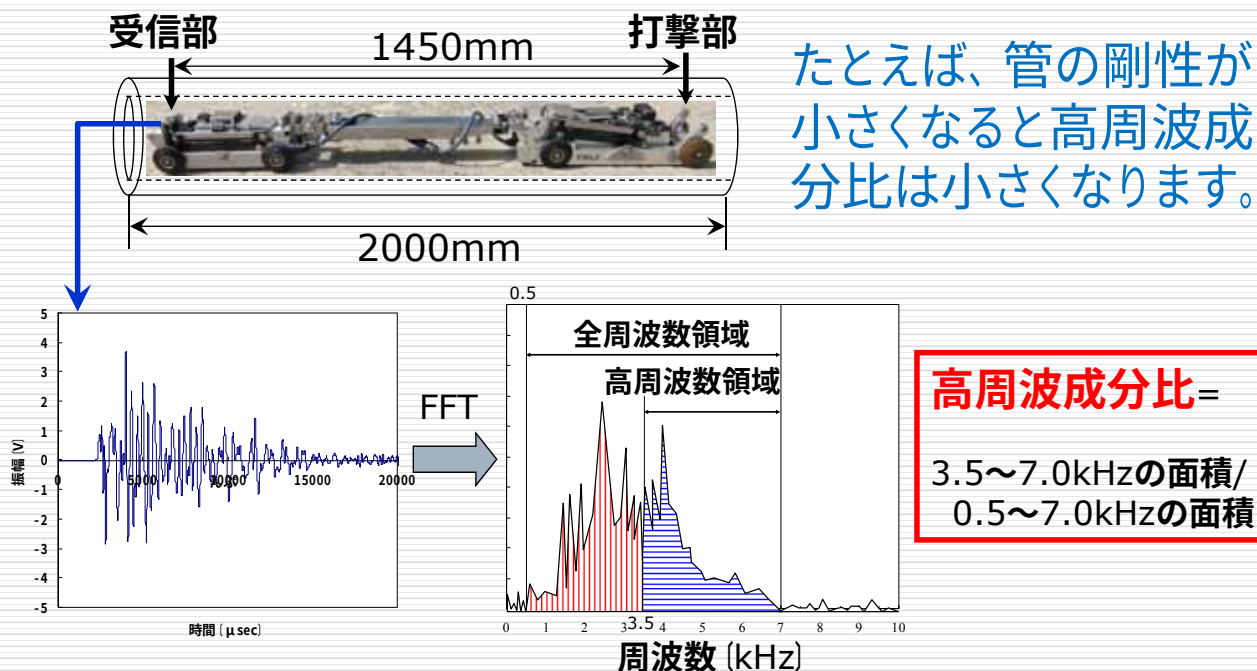
非破壊評価結果を管の残存強度評価に繋げる！

φ600鉄筋コンクリート管（JSWAS A-1）

管厚	50mm (基準)	44mm (-6mm)	38mm (-12mm)	32mm (-18mm)	24mm (-26mm)
写真					

※管長:2430mm

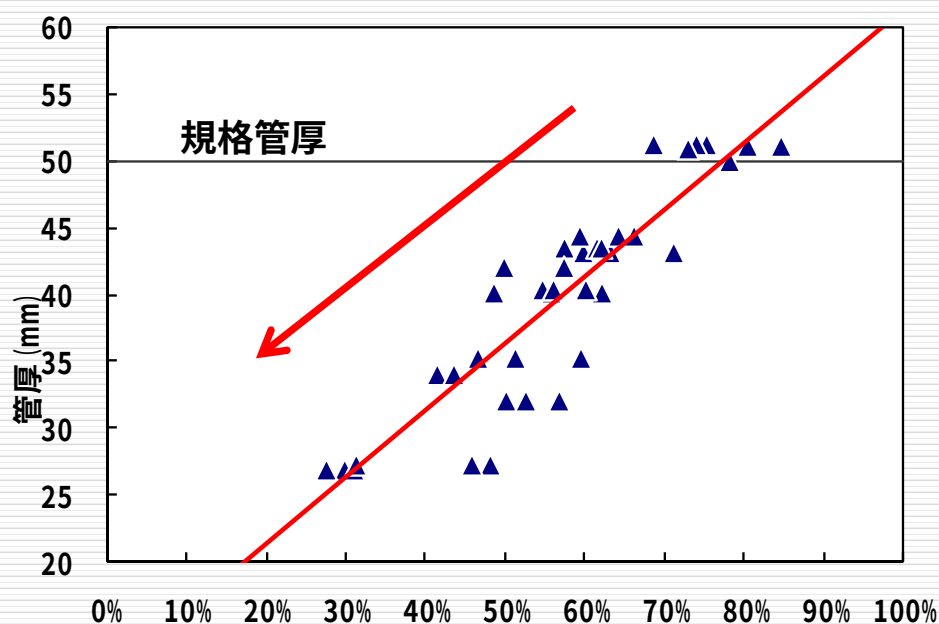
計測方法と評価指標 (高周波成分比)



9

高周波成分比と管厚の関係

□ Φ600ヒューム管の衝撃弾性波試験結果

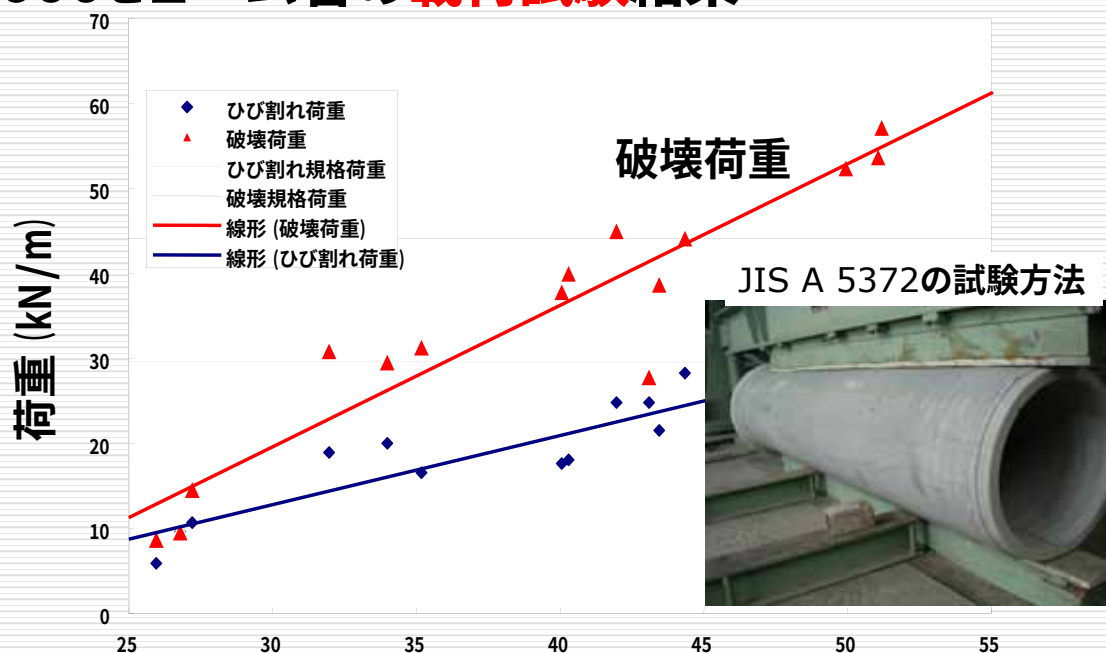


高周波成分比から管厚が推定可能

10

管厚と破壊荷重 (残存強度) の関係

□ Φ600ヒューム管の**載荷試験結果**



高周波成分比 ⇒ 管厚 ⇒ 破壊荷重 (残存強度)

衝撃弾性波検査で得られた受信波形の

高周波成分比から管の残存強度を推定する手法

(財) 下水道新技術推進機構

(現、下水道新技術機構) より

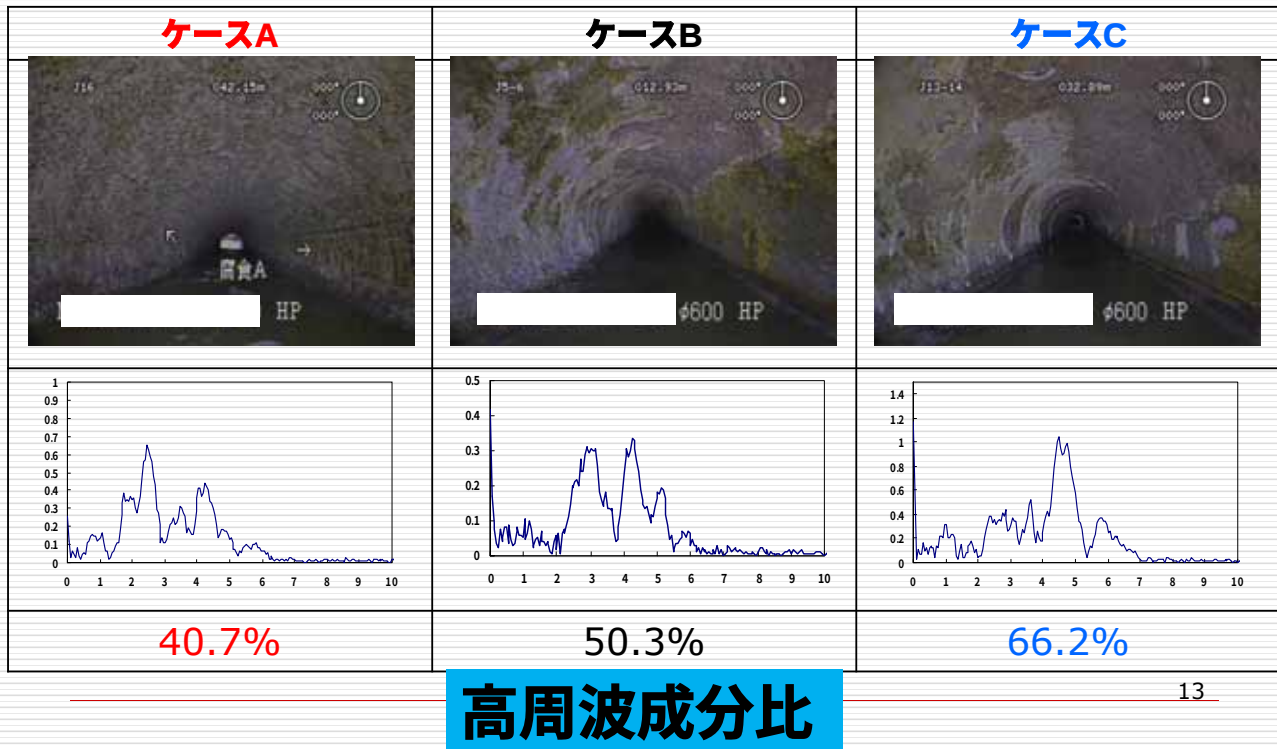
新技術研究成果証明書を取得

(2012年3月)



現場計測結果の例

□ φ600ヒューム埋設管の衝撃弾性波試験結果



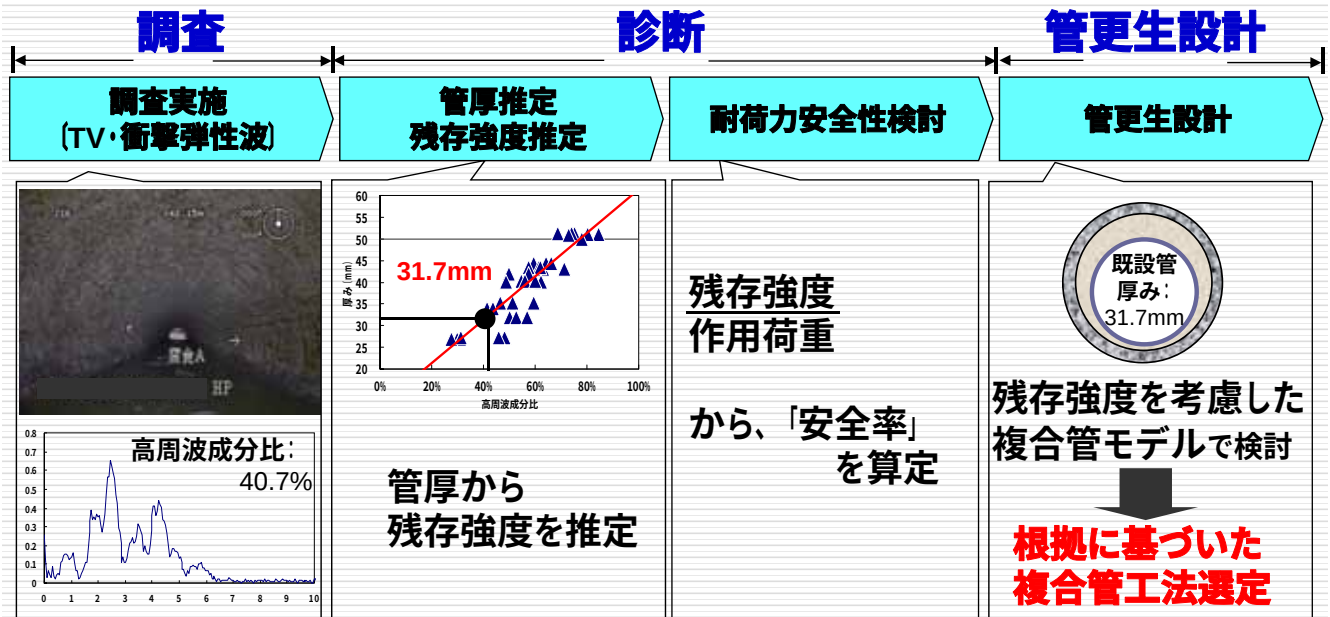
13

作用荷重に対する残存強度の比

土かぶり (m)	土圧 (kN/m ²)	活荷重 (kN/m ²)	作用荷重 (kN/m ²)	管厚中心半径 (m)	自重 (kN/m)	残存強度 作用荷重	
1.27	22.9	35.8	58.7	0.334	1.59	0.91	ケースA
				0.332	1.82	1.16	ケースB
				0.328	2.18	1.58	ケースC

14

調査 → 診断 → 管更生設計 の流れ

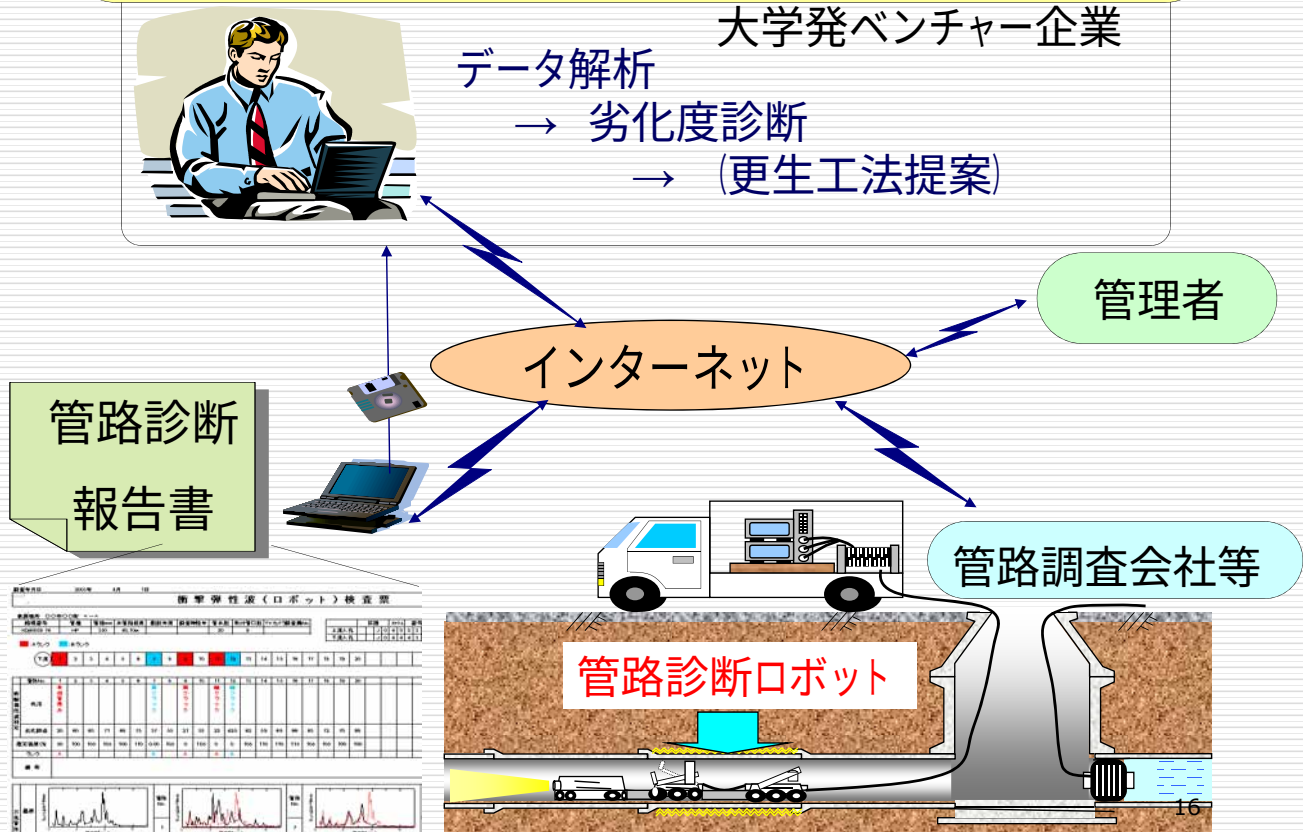


15

株式会社 リハビリ・リサーチ・ラボラトリー

大学発ベンチャー企業

データ解析
→ 劣化度診断
→ (更生工法提案)



16

THE END

ご清聴ありがとうございました。



鋼構造物の維持管理・更新に貢献する 技術開発の現状と今後の展望

平成27年1月30日

鋼構造委員会

野上邦栄

1



現存するわが国最古の鉄の橋
(旧心齋橋、鶴見緑地公園西橋、1873年)



イギリスで製作
(左沢線最上川橋梁、1886年)



現存する鋳鉄橋
(神子畑橋、1885年)



わが国初の鋼鉄橋
(旧天竜川橋、箱根鉄道
早川橋梁、1888年)



100歳でも現役の鋼鉄橋
(本町橋、1913年)



アメリカで製作
(磐越西線一ノ戸橋梁、1906年)

鋼橋は、100歳超え
ても現役の橋梁多い

鋼構造委員会
土木学会100周年記念
出版特別委員会

100年橋梁

A Hundred Year Old Bridges

～100年を生き続けた鉄の架け橋～



鋼構造物の現状(損傷事例)

腐食

疲労



辺野喜橋 2009.7



ホーン橋(2000.12 アメリカ)



山添橋



木曽川大橋 斜材破断 2007.6



弛み・脱落



Liwonde barrage, Malawi, Africa



変位・変形



津波



大浜川橋りょう桁流失



台風



洪水



小千谷発電所
伸縮継手部(漏水状況)

地震



ビン橋(2010年、ベトナム)



衝突



火災

鋼構造物の維持管理・更新に関する 技術開発の状況

- ① 鋼構造物の長寿命化技術
- ② 鋼構造物の点検技術(モニタリング技術を含む)
- ③ 鋼構造物の診断技術(リダンダンシー評価)
- ④ 鋼構造物の更新技術(都市内急速施工, 拡幅, JCT工事, 連絡線工事など)
- ⑤ 鋼構造物の補修・補強技術(腐食, 疲労損傷, 性能回復)
- ⑥ 床版の損傷と補修・補強
- ⑦ 鋼構造物の耐震補強技術 など

5

①鋼構造物の長寿命化技術

鋼構造物の長寿命化技術に関する検討小委員会

- 既存の鋼構造物が保有している性能を定量的に評価し, その性能を向上させる多種多様な技術開発を整理し, 効果的な長寿命化対策等を効率的に実施する時期.
- 供用期間中に生じる損傷, 経年劣化を想定し, 構造物全体の性能を保持できるように, 対策するものを長寿命化技術と定義.
- 既設構造物に発生している損傷や劣化を適切に処置するために, ①調査・点検, ②評価・診断, ③長寿命化技術として, 現状を整理.
- それぞれの課題や今後の方向について検討を行ない, 既設鋼構造物の性能を確実に向上させる長寿命化に関する事項をとりまとめた.

【自治体の橋梁点検の精度検証調査】

現状行われている目視点検の精度と信頼性について調査を実施し、点検実態の調査・分析を実施し、点検の精度を解明.

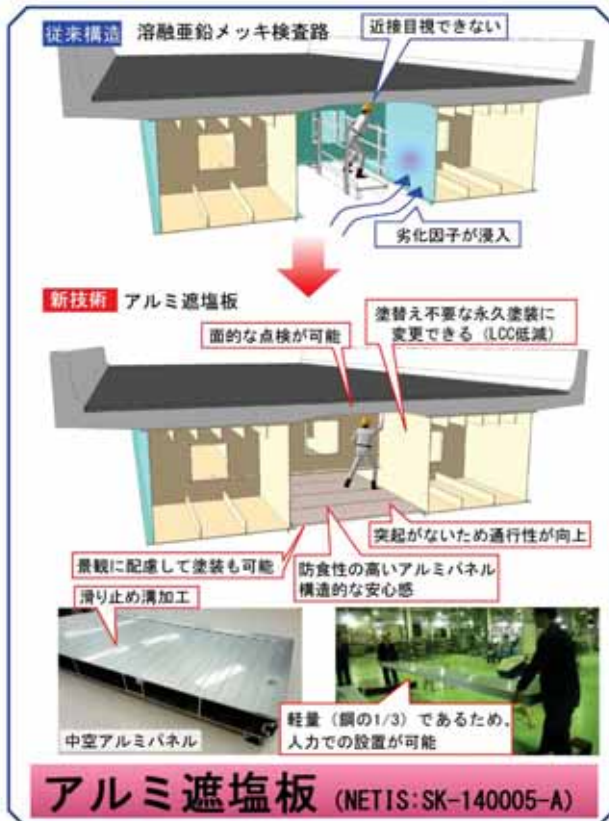
構造物の長寿命化を図る上で, 下記が重要.

- ①点検方法
- ②点検を担う人材の育成
- ③資格制度の必要性



遠望目視点検で発見されなかった損傷の一例

アルミニウム製品を用いた鋼橋の長寿命化対策



②鋼構造物の点検技術(モニタリング技術を含む)

鋼橋の支持機能検討小委員会

※センサー内蔵型ゴム支承による橋梁の健全度モニタリング

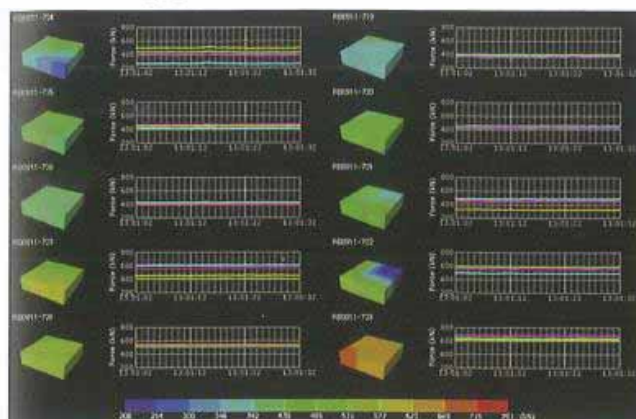
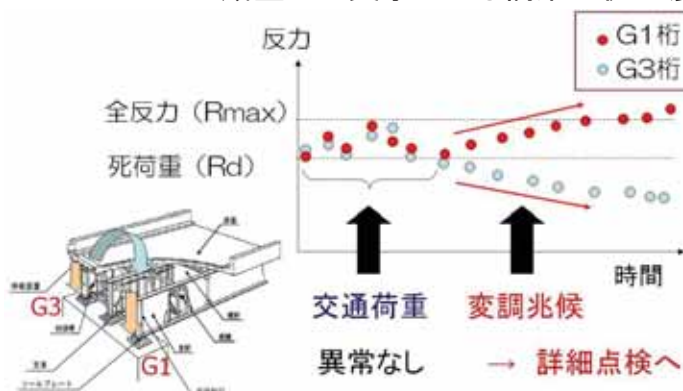
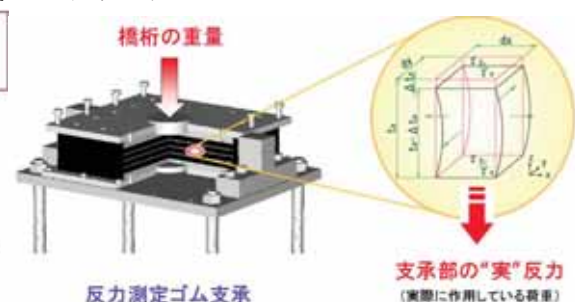


図-9 反力測定ゴム支承



例) 単純5主鋼鈑桁橋の支承反力を色分けで表示
→ 異常値の検出 → 早期詳細点検へ



図-10 ゴム支承反力のリアルタイムモニタリング(支承別)

リダンダンシーとは

- 冗長性(余計に大きい、多い、長い)、補完性または代替性(H24道示)
 - 将来にわたっての時間や対象構造物を包含する空間やシステム全体にとって、必要最小限としてしまうと、全体として充分機能しなくなり、場合によっては破壊したりという、むしろ全体にとって望ましくない状況に至ることを回避するための余裕(その時点や部分だけをとれば余計であるが、あそび)
 - 必要最低限のものに加えて本来必要で無いものを加える

AASHTO LRFD

- Fracture Critical Member(FCM): 破壊危険部材
 - 内的冗長性 → 部材の冗長性
 - 構造冗長性 → 外的不静定構造
 - 荷重経路冗長性 → 荷重伝達経路の多重化

通常の設計: (部材終局時の耐荷力) = (構造系として耐荷力) と仮定

リダンダンシーの無い橋: (部材耐荷力) = (構造耐荷力)

リダンダンシーのある橋: (部材耐荷力) < (構造耐荷力)

- FCMにリダンダンシーを与えることで、橋梁全体の効率的な維持管理を可能にする
- 今まで明確に考慮していなかった余裕を、どのように制御して橋の安全性を担保するか？

- リダンダンシーの定量的評価手法が未構築
 - 統一的なリダンダンシー評価ガイドラインがない
 - モデル化によって結果が異なる
 - 耐荷力のみでなく、機能性と第3者被害などのリダンダンシー評価が必要
- リダンダンシー評価結果の利用方法が未構築
 - リダンダンシー評価結果を用いる事で維持管理を合理化できる見込みがあるが...
 - 設計、製作、維持管理、点検の各段階でどのようにリダンダンシー評価結果を用いるか？
 - リダンダンシーの有無で点検維持管理を合理化する手法の開発が必要
 - リダンダンシーの無い橋梁に対する対応
 - 設計、製作、点検、状態評価(rating)でどのような対応をするか？

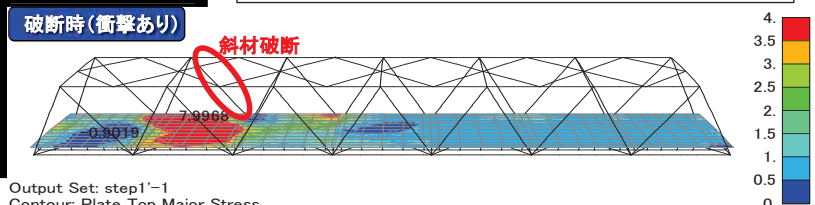


依田・笠野先生(早大)提供

AASHTO LRFD

• Fracture Critical Bridge (FCB)の定期検査

- Fracture Critical Member(FCM)
 - 通常より短い検査期間
 - 近接目視



④鋼構造物の更新技術 鋼橋の大規模修繕・大規模改築に関する調査研究小委員会

- 既設橋の大規模修繕・改築工事は、高度な設計・施工技術が必要
- 過去の経験から学ぶ
 - 国内外の既設鋼橋の大規模修繕・大規模改築工事の事例収集
 - 床版取替工事については、交通規制方法や新たに設置する床版の種類(RC床版、PC床版、合成床版、鋼床版など)に応じた事例収集。

交通への影響を最小とするため、また狭隘な作業環境において、それぞれ様々な工夫を実施。



蝉丸橋 アーチの構造改良



三好橋 吊橋を上路式アーチに改造



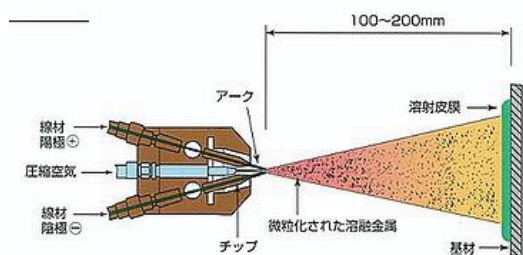
平戸橋 旧トラス桁の両側にトラス桁を拡幅



⑤鋼構造物の補修・補強技術(腐食・疲労損傷)

鋼橋の支持機能検討小委員会

※事後保全(若返り工法:金属溶射)



溶射金属による
防錆皮膜を形成

※予防保全の基本(清掃！)



現場での発生状況

金属溶射施工後



高度な技術の前に、基礎的な対応を！



土砂、塵埃により
支承が埋没...



清掃だけでも、腐食環境改善・
長寿命化には効果がある！

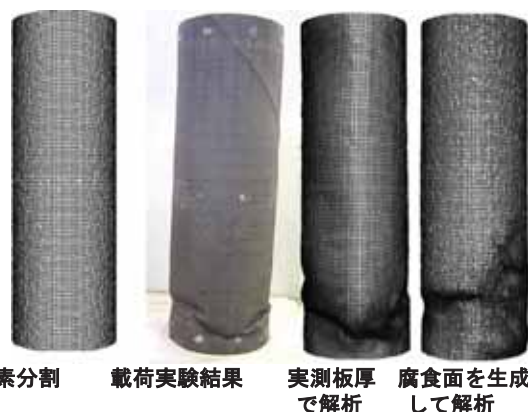
⑤鋼構造物の補修・補強技術(回復)

腐食した鋼構造物の長寿命化のための性能回復技術検討小委員会

- 鋼構造物(鋼橋, 電力施設, 港湾施設)の腐食損傷と性能回復事例収集.
- 耐荷性能回復の考え方, 設計方法や施工上の留意点**を提示
 - 当て板, RC被覆, FRP接着, 鋼板接着, 部材取替
- 防食性能回復の考え方, 回復方法や施工上の留意点**を提示
 - 腐食性評価, 環境改善, 素地調整, 塗装, 溶射, 耐候性鋼, 電気防食
- 維持管理, 性能回復のため数値解析技術**の現状の調査, 必要な解析機能やモデル化の方法を提示
- 腐食した鋼構造物の性能回復設計マニュアルの提示



海洋環境において19年間暴露された鋼管杭

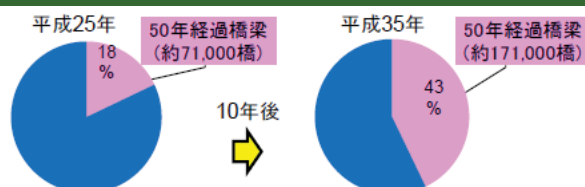


⑥床版の損傷と補修・補強

道路橋床版の複合劣化に関する調査研究小委員会

道路橋床版(コンクリート系)の損傷実態

- 10年後は、供用50年以上が40%以上
- 最も傷んでいるのが「床版」
- 疲労だけでなく、塩害・凍害との組み合わせ
- 表面にみえない損傷(土砂化、水平ひびわれ)
- 床版防水の未整備や破損



維持管理・更新に関する技術開発の現状と課題

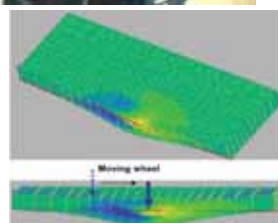
技術開発の現状

- ① 非破壊検査の導入
- ② 健全性(余寿命)の定量化
- ③ 複合的な劣化・再劣化
- ④ 各種床版防水の開発
- ⑤ 補修・補強工法、更新技術



課題・取り組み

- 迅速化・広範囲・高精度
- シミュレーション(FEM)の活用
- 劣化損傷メカニズム解明
- 適切な床版防水の選定
- 点検・診断⇔工法選定



今後の展望 (目標)

- ① 「床版」-「防水層」-「舗装」の相互作用を明らかに
- ② 定量的かつ論理的に、劣化や損傷を評価・予測する
- ③ 使いやすいマニュアル、ガイドラインに
 - ・道路管理者の基準を補完するアイテムとして
 - ・地方自治体の中小規模橋梁も対象とする
- ④ アセットマネジメントへの活用 (事後保全から予防保全へ)



分野横断的な調査研究活動の連携

• 維持管理・更新の技術として期待される技術

- ① 疲労, 腐食, 変位・変形(地震, 洪水, 火災, 衝突)に対する点検・診断技術に資する計測技術
(要求計測性能を紹介する)[センサ, ロボットなど]
- ② 補修・補強に資する技術
(軽量, 易接着, 易解体, 高耐久などの要求性能を紹介する)[新材料, 新素材など]
- ③ 資産管理に資する技術
(3D図面作成, 図面管理, BMSなど)

など

15

①点検・診断技術に資する計測技術

構造物のヘルスマニタリング技術

⇒ スマートブリッジへの道

- 材料の劣化・変状
ひずみゲージ, 加速度・変位計, 超音波センサ, AEセンサ, 赤外線センサ, 疲労センサ, ACMセンサ, 各種の試薬など
- 構造物の使用性・安定性・安全性
加速度・速度計・変位計, 傾斜計, 電磁波レーダ, 光ファイバーセンサなど

長期自動監視システム

センサーを用いた予防保全マネジメント

ー 欠陥が出そうな箇所の特定などに活用

*有線による鋼構造物モニタリング

敷設コスト, 大規模工事, 災害時の断線リスク

*無線による鋼構造物モニタリング

センサの寿命・価格, 電源の確保, 雷への対策

ビッグデータ処理, データの標準化

調査・設計・施工・維持管理各段階でのセンサデータの
活用の容易性



振動弦式ひずみ計



加速度計



コンクリート湿度・腐食センサー



長ケージSOFO型光ファイバーセンサ

①点検・診断技術に資する計測技術

鋼構造の残存耐荷性能評価と耐久向上方策研究小委員会

機械式計器による方法



1) ノギス



(2) マイクロメータ

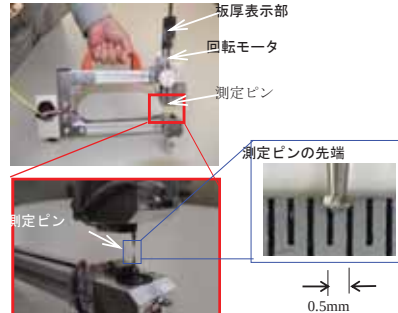


(3) キャリパーゲージ

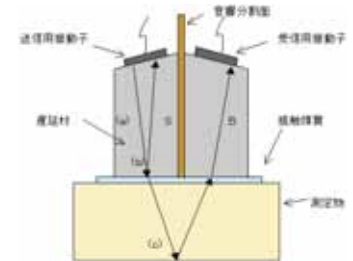


(4) デプスマイクロメータ

塗装上あるいはさび上から
部材の減肉量を評価できる
計測技術の開発

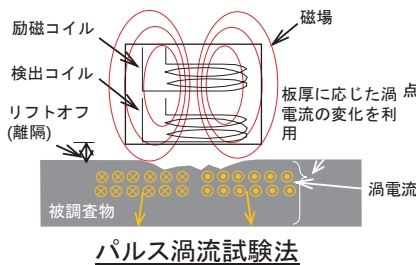


電気抵抗検知式板厚計(土研式)

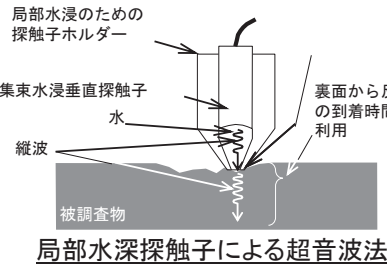


超音波板厚計

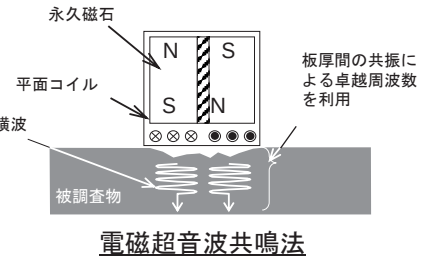
超音波法による方法



パルス渦流試験法



局部水深探触子による超音波法



電磁超音波共鳴法

研究開発の方向, 取り組むべき課題

- ① 応急復旧・恒久復旧のための技術開発, および回復性能の検証技術
- ② 維持管理基準の構築と設計基準の高度化
- ③ 施工における品質確保のための管理法の構築
- ④ 点検および診断技術者の育成制度(技術継承を含む)
- ⑤ 新材料開発(新機能鋼材、アルミニウム, その他) など

① 応急復旧・恒久復旧のための技術開発および回復性能の検証技術

火災を受けた鋼橋の診断補修技術に関する研究小委員会

鎮火後、すぐに車や列車を通して良いか、悪いか

↓＜現状＞

対応マニュアルが、ほとんど整備されていない

火災を受けた鋼橋の迅速な被災度判定や対策工法の選定に活用できるガイドライン策定.

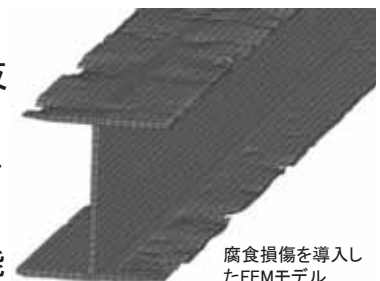
- ・火災後の被災度判定
(火災発生から被災度判定に至るまでのフロー作成)
- ・火災後の鋼橋の調査方法
- ・火災により損傷した鋼橋の補修・補強工法



① 応急復旧・恒久復旧のための技術開発および回復性能の検証技術

鋼構造物の防食性能の回復に関する調査研究小委員会 既設鋼構造物の性能評価と回復のための構造解析技術に関する小委員会

- ・ 鋼構造物の防食性能の回復に関する調査研究小委員会
 - － 供用期間中の塗装の塗替えとその性能回復評価
 - － 部分塗替え、金属被覆防食、耐候性鋼橋の塗装による補修、狭隘部の素地調整など防食補修
- ・ 既設鋼構造物の性能評価と回復のための構造解析技術に関する小委員会
 - － 既設鋼構造物の構造冗長性の評価や補修・補強における作用と抵抗の実態を反映したモデル化
 - － FEA等の解析手法による劣化損傷した鋼構造物の性能評価方法を提案

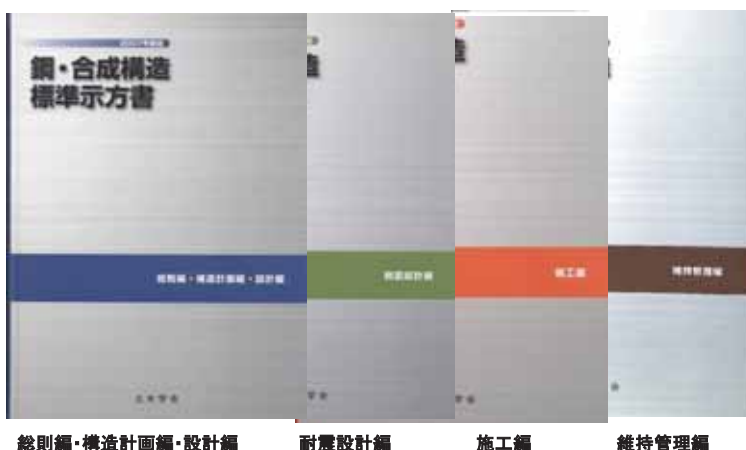


② 維持管理基準の構築と設計基準の高度化

鋼橋の性能照査型維持管理とモニタリングに関する調査研究小委員会

- ・ モニタリングによる膨大なデータを用いた使用性及び安定性などの照査法の確立.
- ・ 目視点検, モニタリング, 構造解析から構造性能に関する定量的な情報を鋼橋の維持管理に利活用する方法や体系の提案.

- 東日本大震災による津波に対する港湾施設をはじめとした社会インフラの設計概念の見直し
- 笹子トンネル天井版崩落事故を契機とした社会インフラの維持管理への技術者の明確な姿勢提示
- 従来の設計コンセプトによる設計後に、終局状況予測、リダンダンシー分析などを取り込む概念
- 偶発作用の値設定およびその根拠明示



維持管理基準類の充実

- 腐食した鋼構造物の耐久性能評価マニュアル
- 腐食した鋼構造物の性能回復設計マニュアル
- 道路橋床版の維持管理マニュアル
- 道路橋床版防水システムガイドライン(案)など



21

設計基準の高度化

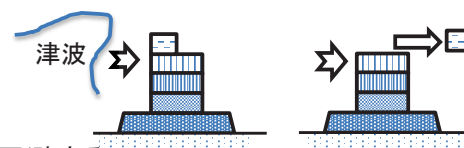
- 国交省では、性能設計への移行において、リダンダンシーによる安全余裕とダメージコントロールの考え方について検討開始

リダンダンシーの活用

- すでに存在するリダンダンシーの活用(リダンダンシーの現状分析と破壊危険事象に対する全体評価)
- 将来のためのリダンダンシーの確保(不確定要因に対する安全余裕度)

ダメージコントロールの発想

- 損傷後の性能を制御し、多様な状況に確実に対処できるようにする
- 被災の発生は止む得ないものとして、その程度を極力抑える、あるいは被災をあらかじめ想定した範囲やモードに収める
 - リダンダンシー、損傷位置制御
- 均一耐力の発想から脱皮
 - 構成部材ごと、あるいは部分構造ごとに異なる耐力水準を設定して、全体構造系の大規模な変状を回避する
- 設定した外力レベルを越える作用に対して
 - 偶発作用設定が困難な事象(確率的手法による決定も困難)
 - 設計における設定を説明し、社会的認知を得ることが必要



致命的な被害を受けない鋼橋の建設に向けた設計基準のメンテナンスに配慮した高度化の研究開発

**ご清聴
ありがとうございました。**

舗装の健全度評価の現状と今後の展望

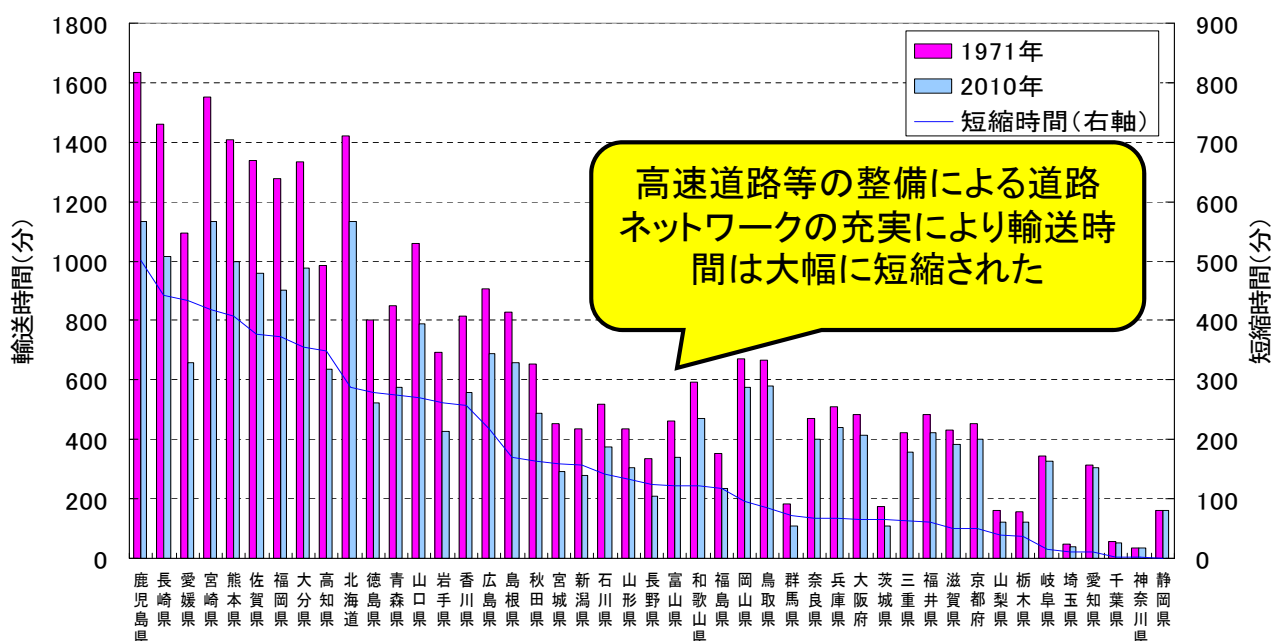
舗装工学委員会

城本 政一

▶ (大成ロテック株式会社)

社会インフラとしての道路の重要性

東京から各道府県へ貨物を輸送した際に要する時間

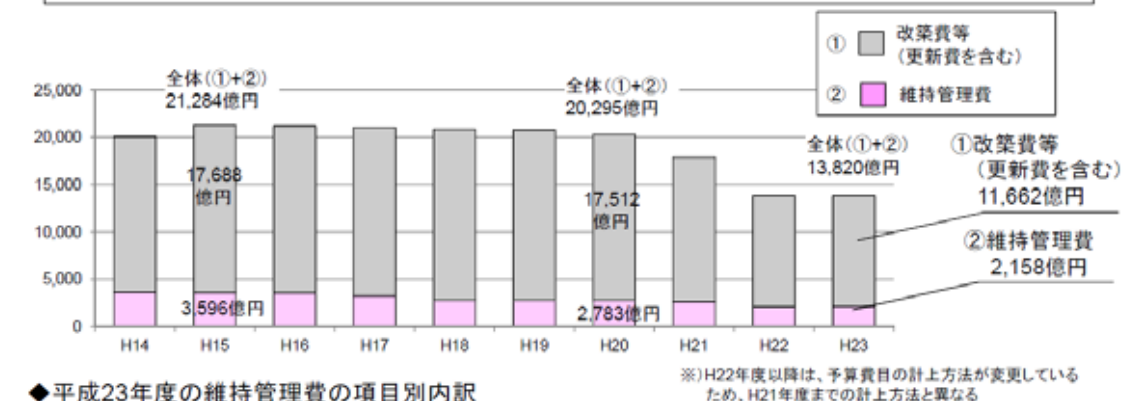


出典：国土交通省白書2014

道路事業費の推移

◆国道(国管理)における道路事業費と維持管理費の推移

- ・過去10年では、道路事業費は、H15年度をピークに年々減少
- ・維持管理費は年々減少しており、道路事業費に占める割合は約15%(H23年度)



◆平成23年度の維持管理費の項目別内訳



出典：国土交通省HP

維持管理費の削減する取り組み

道路パトロール回数を減し、地域住民へ情報提供をお願い



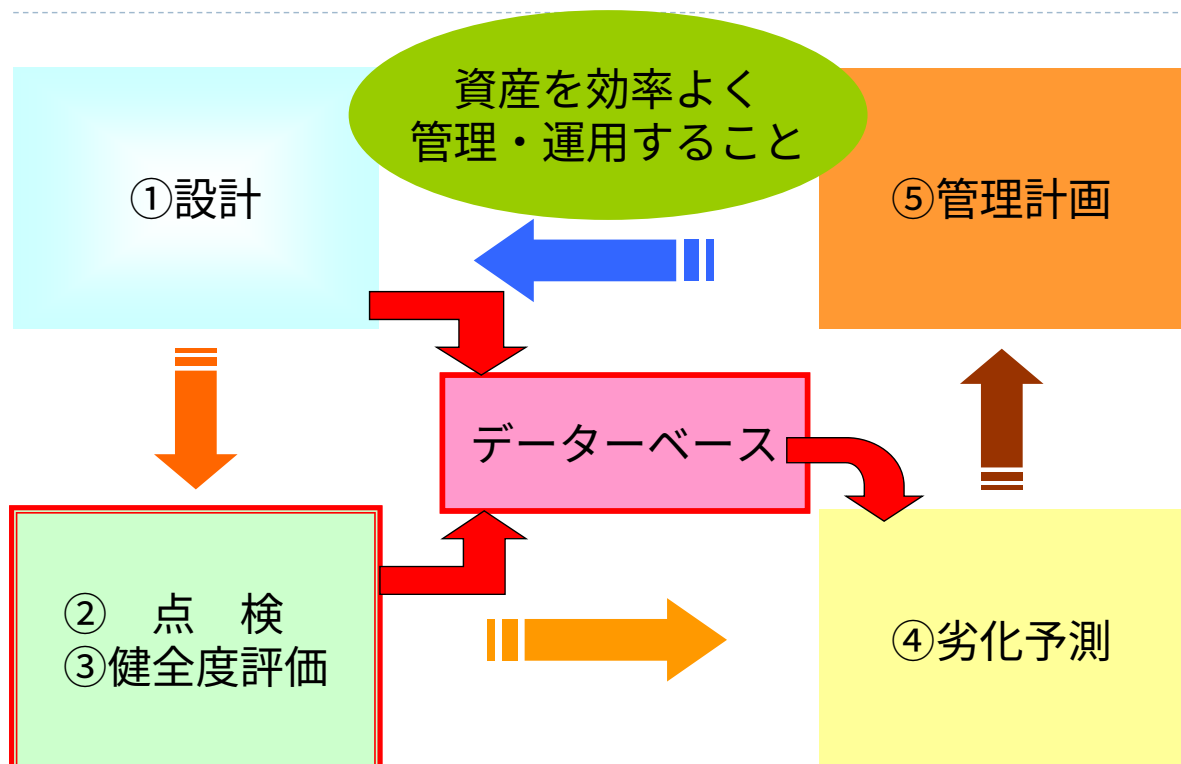
今後も厳しい財政状況が続けば....

維持管理・更新の現状に
支障をきたす
恐れがある

舗装アセットマネジメントが必要性

4

アセットマネジメントとは？



5

舗装の健全度を把握する方法

▶ 路面調査

→舗装路面の状態を把握する。

▶ 構造調査

→舗装内部や舗装構造を把握する。



路面調査

▶ 調査項目

ひび割れ率，わだち深さ，平坦性

→補修時期を決定する



目視

安価



人力



路面性状測定車

高価

精度：低い

精度：高い

路面調査における現在の問題点

- ▶ 目視点検の場合：記録を残し難い.
- ▶ 人力調査：短い区間を調査するのには向いているが、長い区間の調査には多くの測定者が必要
- ▶ 路面性状測定車：測定費用が高額

地方自治体では、目視点検程度の調査しかできないが、目視点検では、データが残しづらいために、アセットマネジメントを構築することが難しい。



総点検実施要領（案）【舗装編】参考資料

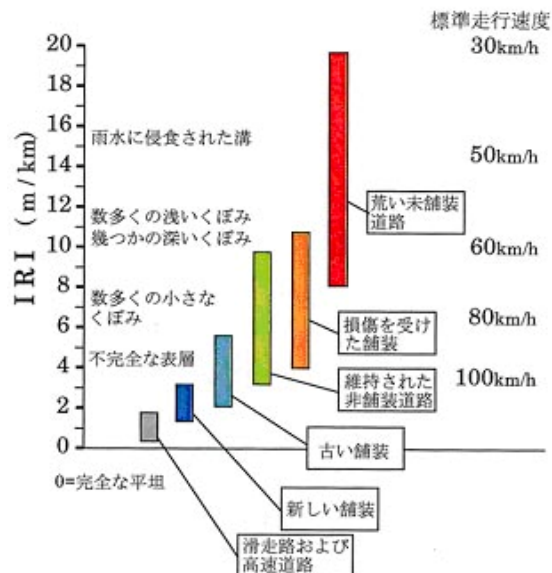
- ▶ 平成25年2月に国土交通省道路局より「総点検実施要領（案）」が示された。
- ▶ いままで点検が十分に行えなかった地方自治体においても、**継続して**点検が行えるように一部簡略化している。
 - 損傷の程度が異なる写真（**カタログ**）を参考に**目視にて**評価
 - 評価結果については、記録を残す



平坦性の新しい指標：IRI

▶ IRI (International Roughness Index)

舗装の平坦性（乗り心地）を客観的に評価する尺度として、1986年世界銀行より提案された指標。



IRI算出方法	
レベル1	水準測量
レベル2	プロファイル測定装置
レベル3	レスポンス型プロファイル測定装置
レベル4	目視

カタログの一例

損傷レベル	判定用写真	損傷レベル	判定用写真	損傷レベル	判定用写真
小 ひび割れ率 0～20%程度		小 わだち掘れ量 0～20%程度		小 IRI 0～3mm/m 程度 (IRI=2mm/m 前後)	
中 ひび割れ率 20～40%程度		中 わだち掘れ量 20～40%程度		中 IRI 3～8mm/m 程度 (IRI=4～5mm/m 程度)	
大 ひび割れ率 40%以上		大 わだち掘れ量 40%以上		大 IRI 8mm/m 程度以上 (IRI=9～10mm/m 程度)	

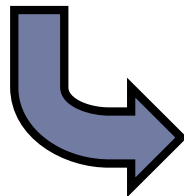
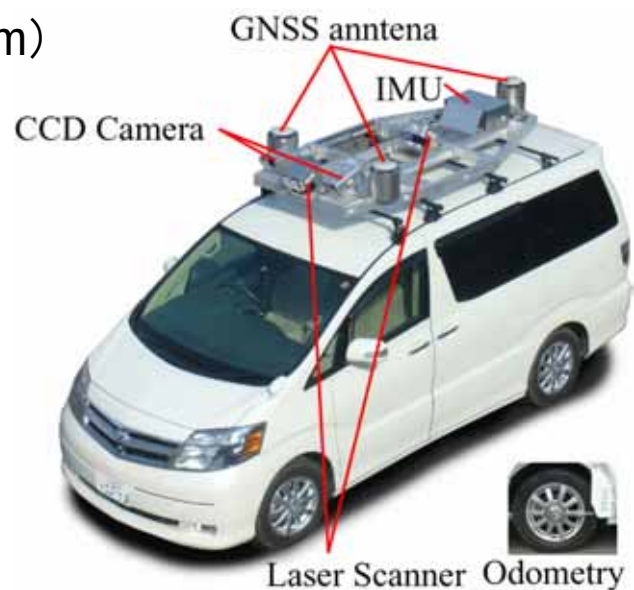
総点検実施要領（案）を取り入れた路面測定装置

- ▶ 路面状況撮影装置
等間隔で路面状況を撮影
（GPS，スマートフォン，etc）
- ▶ IRI測定装置
牽引型，車載型（プロファイル，レスポンス型）



路面調査の今後の展望

- ▶ MMS (Mobile Mapping System)

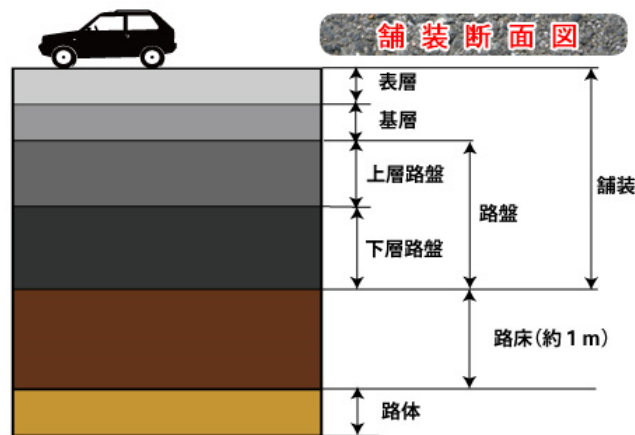


走行しながら，道路の状況だけでなく，道路周囲まで測定することができる。

出典：早稲田大学橋詰教授
「モバイルマッピングシステムを用いた既設道路舗装状態の道路CADおよびGIS接続に関する実証的研究」

構造調査

- ▶ 舗装の支持力(強度)を調べる。
→補修方法を決定する
- ▶ 路面下空洞探査
→路面陥没事故を防ぐ



液状化による道路陥没

舗装の支持力の調査方法



開削調査
(材料)



平板載荷調査
(各層)



FWD調査
(舗装全体)

現在は、FWDを用いた調査が主流

構造調査方法

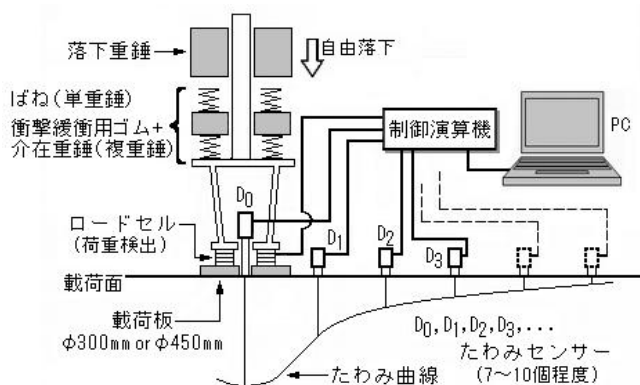
FWD (Falling Weight Deflectometer)



非破壊で舗装の構造評価を行うことができる。
ただし、点での測定になる。

▶ 16

FWDによる構造評価



各層の弾性係数
路床の C B R
残存 T a

たわみ曲線を用いて各層の健全度を評価する

▶ 17

路面下空洞探査

▶ 路面下にある空洞を探査する技術



電磁波レーダを用いて路面下空洞を探査

▶ 18

出典: 国土交通省中部地方整備局中部技術事務所HP

構造調査の今後の展望①

線的に測定するFWD



Texas RDD



ARA RWD



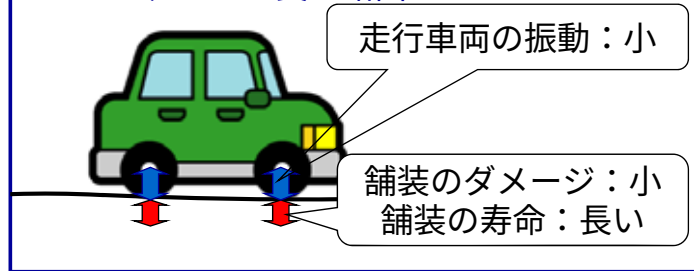
UK TSD

走行しながら、道路の構造状態を測定

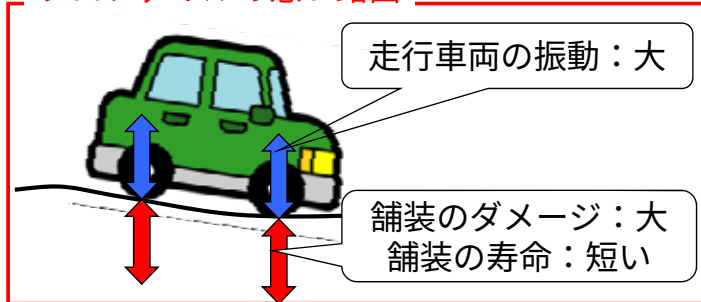
構造調査の今後の展望②

▶ 路面性状から構造評価を行う手法

プロファイルの良い路面



プロファイルの悪い路面



路面プロファイルの変化から構造評価を行う

▶ 20

まとめ

以下の内容を報告した

▶ 路面調査

- ①現在の路面調査方法
- ②「総点検実施要領（案）」で提案された簡易調査方法について
- ③路面調査の今後の展望

▶ 構造調査

- ①現在の構造調査
- ②構造調査の今後の展望