

金沢大学 SIP
(戦略的イノベーション創造プログラム)

平成 29 年度北陸 SIP 研究成果報告会

平成 29 年 12 月 7 日(木)

KKR ホテル金沢

SIP(戦略的イノベーション創造プログラム) 平成 29 年度北陸 SIP 研究成果報告会

主催：北陸 SIP，共催：北陸三県コンクリート診断士会

日時 平成 29 年 12 月 7 日 (木) 13:00～17:00

場所 KKR ホテル金沢 3F 鳳凰の間

13:00-13:10

開会挨拶

金沢大学 鳥居和之 教授

<基調講演> (講演 45 分+質疑 5 分) ×2 題

13:10-14:00

基調講演 ① 「岐阜大学メンテナンスエキスパート (ME) と人材育成」

岐阜大学 インフラマネジメント技術研究センター 六郷恵哲 特任教授

14:00-14:50

基調講演 ② 「RC 床版の寿命予測と RC レーダによる診断技術」

東京大学 生産技術研究所 人間・社会系部門 田中泰司 特任准教授

14:50-15:10 休憩

<研究成果報告> (報告 20 分+質疑 5 分) ×4 題

15:10-15:35

成果報告 ① 「ASR, 塩害が発生した PC 桁の載荷試験と各種劣化診断」

金沢大学 深田宰史 教授

15:35-16:00

成果報告 ② 「大型衝撃試験装置による RC 床版の劣化度診断」

金沢大学 榎谷浩 教授

16:00-16:25

成果報告 ③ 「流電方式電気防食の開発と実橋への適用」

金沢大学 石井浩司 特任教授

16:25-16:50

成果報告 ④ 「地域実装支援の取組み」

金沢工業大学 宮里心一 教授

16:50-17:00

閉会挨拶

金沢大学 近田康夫 教授

平成29年度 北陸SIP研究成果報告会

12月7日/KKRホテル金沢

岐阜大学社会基盤メンテナンスエキスパート (ME)と人材育成

岐阜大学 六郷恵哲

- インフラメンテナンスへの大学貢献
- 社会基盤メンテナンスエキスパート (ME)養成講座
- インフラマネジメントリーダー養成プログラム
- 教材としてのインフラミュージアム
- おわりに

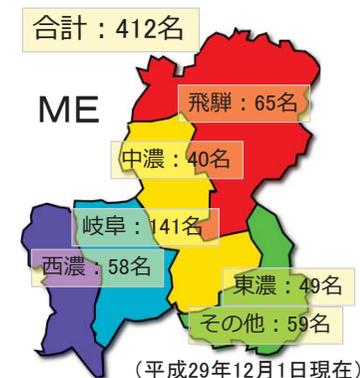


地域のインフラメンテナンスへの大学の貢献

- 人材育成
 - 維持管理工学(学部, H11~)
 - 社会基盤メンテナンスエキスパート(ME)養成講座(H20~)
 - インフラマネジメントリーダー養成プログラム(院, H29~)
 - 教材としてのインフラミュージアム(H29~)
- 技術支援
 - 技術相談(例:防災ドクター)
 - 技術開発, 共同研究, 岐阜社会基盤研究所(H13~)
 - 新技術導入のための交流イベント(SIP地域実装活動)
 - 指針類作成(例:ロボット技術を取入れた橋梁点検指針案)(SIP地域実装活動)

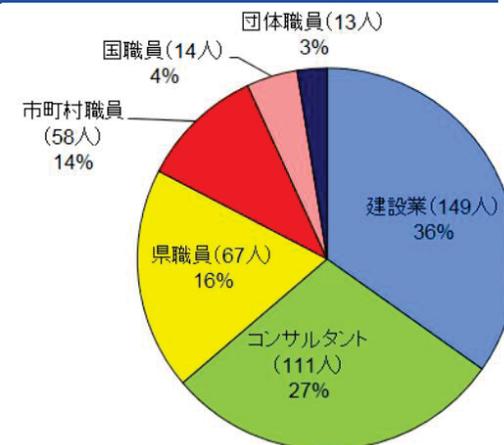
社会基盤メンテナンスエキスパート(ME)養成講座

- 年2回(6月, 9月)実施
- 4週間: 毎日受講, 20~30名
- 有料: 平成28年度より 25万円
- 集中講座: 80コマ(×90分)
 - インフラマネジメント, 橋梁設計とトンネル
 - 橋梁の維持管理, 地盤と斜面, 土木構造物・水道・河川構造物
- 全国の著名な専門家を講師に
 - アセットマネジメント基礎科目(座学)
 - 社会基盤設計実務(演習主体)
 - 点検・施工・維持管理実習(実習)
- 国土交通省の技術者資格に登録(6区分, H28.2~)
 - 橋梁(鋼橋)点検
 - 橋梁(コンクリート橋)点検
 - トンネル 点検
 - 橋梁(鋼橋)診断
 - 橋梁(コンクリート橋)診断
 - トンネル 診断



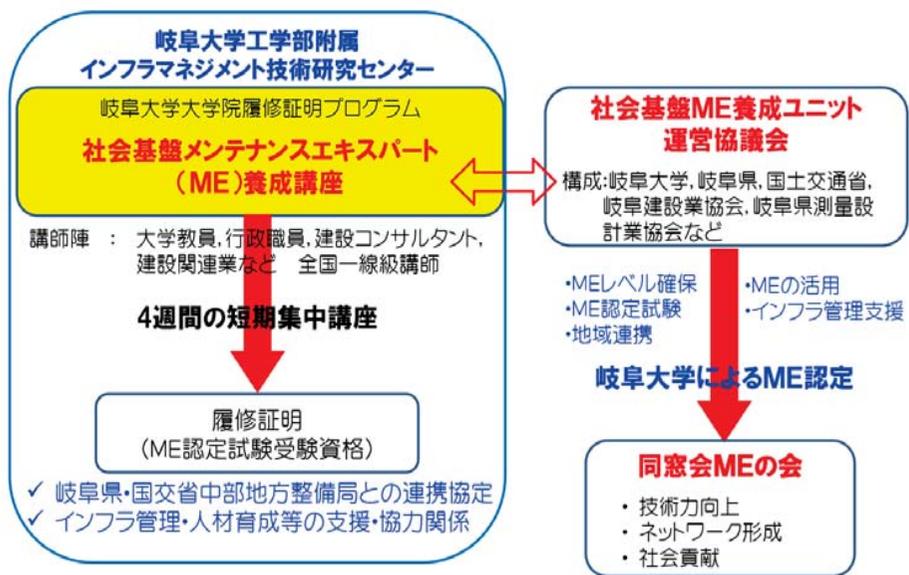
ME養成講座の特徴

- H25より, 大学院の履修証明プログラム
- 試験を行い岐阜大学がMEの資格を認定
- 「MEの会」の会員間のネットワークが充実
- 文部科学省「職業実践力育成プログラ」に認定
- 厚生労働省「専門実践教育訓練給付金」の支給対象として認定



業務区分	企業数 (H29.11.30)	ME認定者保有企業
土木建設業	1,228	82社(6.7%)
建設コンサルタント	233	31社(13.3%)
	1,461	113社(7.8%)

ME養成の実施体制



5

工学部附属インフラマネジメント技術研究センター

- センター名称
 - ・ 社会資本アセットマネジメント技術研究センター(H20.8) ⇒
工学部附属インフラマネジメント技術研究センター(H26.4)
- センター長
 - ・ 八嶋教授(H20.8) ⇒ 高木教授(H22.4) ⇒ 沢田教授(H27.4)
- 現在の組織
 - ・ 社会基盤系の専任教員、特任教員、客員教員(約30名)

ひとつづくり

- ・ ME養成講座の運営
- ・ 教育プログラムの質の改善

しくみづくり

- ・ 民産官学の連携のしくみづくり
- ・ 地域住民が参加しやすい仕組み

ことづくり

- ・ 住民も使えるハードウェア技術
- ・ 技術革新による高度化と実装化

6

ME養成講座のカリキュラム改良や外部資金

- 「地域のインフラ町医者」として活躍できる能力育成
 - ・ 状況を分かり易く住民に知らせるための説明能力
 - ・ 住民の話を聞き問題点を引き出す能力
 - ・ 劣化を予防するための地域の取組みを促進させる能力
- ME養成講座運営用のこれまでの主な外部資金
 - ・ 文部科学省「地域再生人材創出拠点の形成プログラム」(H20～24)
 - ・ 文部科学省「成長分野等における中核的専門人材養成等の戦略的推進事業」(H25～, 毎年)



岐阜大学

7

岐阜県におけるMEの活用

- 岐阜県建設工事総合評価落札方式の加点対象
- 岐阜県における「MEの技術力を活用した効率的な維持管理」として、点検・修繕包括業務
- 被害発生時には、MEに初期調査を依頼し、技術的な助言を受け、応急復旧等の工事を実施
- 岐阜県職員のMEを主体としたチームにより、市町村へ技術支援

トンネルの緊急点検の例

CIAMニュースレター2013.1より



岐阜大学

8

ME等に関する人材育成の地域的な広がり

- 経験と情報を共有し、課題を解決するため、岐阜大学、長崎大学、愛媛大学、長岡技術科学大学、山口大学、舞鶴工業高等専門学校は、コンソーシアムを構築。
- コンソーシアム全体の受講修了者は、1,500名以上。
- 他の地域でも、インフラメンテナンスの人材育成事業が始まり発展するように、事業を推進。
- 「第1回インフラメンテナンス大賞(2017)」において、「特別賞(文部科学省)」を、コンソーシアムが受賞。



ME養成講座の活動の効果と課題

- 効果
 - 維持管理技術者間の技術交流が盛ん(MEの会)
 - 行政(県、中部地整、市、建設研究センター)との連携が密
 - SIP地域実装活動を進めやすかった
 - ⇒ 人材育成活動は、参加しやすく、連携活動として最適
- 課題と対策
 - 続けるための財源と人材の確保に工夫が必要
 - ⇒ 文科省系外部資金、岐阜県、受講料徴取、
 - ⇒ 広い分野の教員参加、ME等の外部人材や退職教員活用
 - ME講座等への社会貢献が教員の業績になりにくい
 - ⇒ 意識的な発表、発表の場(教育分野も)、評価方法の多様化

インフラマネジメントリーダー養成プログラム

- 平成29年度に始まった大学院プログラム
 - 夜間短期大学部 ⇒ 夜間主コース ⇒ 社会人P(院) ⇒
- 未就業学生と社会人学生(ME)がともに学ぶ(修士)
 - 確かな形式知と即戦力を有する人材(未就業学生)
 - 技術力だけでなく説得力を有する人材(社会人)
- 未就業学生
 - 社会基盤の高度な専門性と伝える表現力
 - PBL教育を通じた深い理解とデザイン思考力
 - 劣化損傷事例から原因を推察する能力
 - グループで問題解決できるチームワーク力
- 社会人学生(チューター)
 - プレゼン力、合意形成力を含む総合能力
 - 維持管理の諸問題の原因を診断する能力
 - 課題解決方法を提案する柔軟な能力
 - チームワークを主導し問題解決に導く実践力

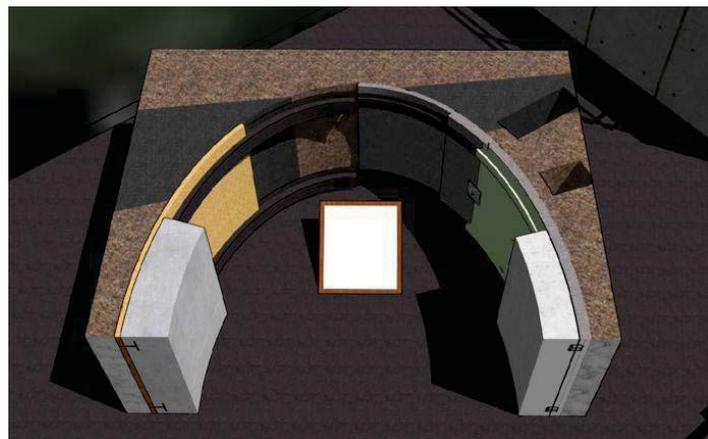
教材としてのインフラミュージアム

- 点検技術の検証と維持管理技術者の育成が目的
- 維持管理技術者の育成で、建設過程の学習が不可欠
- 内閣府のSIP、文科省、たくさんの企業、団体の支援により設置



トンネル断面モデル (八嶋, 苅谷)

施工方法(支保概念)が異なる矢板工法とNATM工法の違いを、施工順序も含めて視覚的に把握できるようにトンネル断面モデルを製作



 岐阜大学

13

トンネルの歴史

1764年 **青の洞門**(大分県)・・・交通路として日本最古と言われるトンネル
 明治3年(着工) **石屋川トンネル**・・・近代技術(削岩機やダイナマイトなど)を採用した鉄道トンネル
 戦後 **ブーム式削岩ジャンボ、鋼製支保工、スチールフォーマー**などを導入

トンネル工法の変遷

・木製支柱式支保工	明治～昭和30年代
・矢板工法(鋼アーチ支保工と木矢板)	昭和30年頃～50年代
・NATM工法	昭和50年代～

土木学会

1961年 トンネル工学委員会設置
 1964年 「トンネル標準示方書」制定
 1986年 「トンネル標準示方書(山岳編)・同解説」においてNATMを標準工法

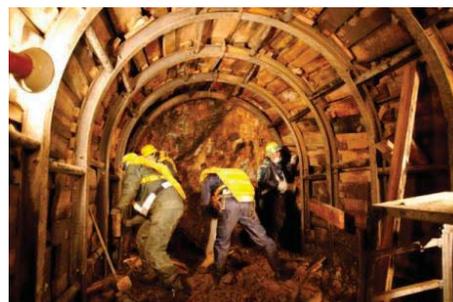
国鉄

1976年 NATMの採用(上越新幹線・中山トンネル)
 1979年 施工中の全トンネルにNATMを適用
 1982年 「NATM設計・施工指針(案)」制定

14

矢板工法

- 鋼製支保工と木矢板を併用する工法。
- 1960年代から採用され1970年代までの山岳トンネルの標準工法。
- トンネル施工技術が飛躍的に発達し、高度経済成長期におけるトンネルの長大化を進めることも可能となった。
- 地山の荷重を鋼製支保工と覆工コンクリートで支持する考え方。
- 木矢板と地山との間には隙間ができやすく、地山を緩めることが多く、より大きい地山荷重が支保工に負荷されがちな工法である。



鋼製支保工と木矢板 引用:日経コンストラクション



木矢板裏側の隙間

太田氏(OYO(株))提供

15

NATM工法

- 1970年代にヨーロッパから導入された工法。
- 当初、膨張性地山と呼ばれたトンネル現場において試験的に採用された。
- 1980年代に道路、鉄道分野において設計・施工指針が策定され、1986年に土木学会「トンネル標準示方書(山岳編)」で標準工法と位置付けられた。
- 地山が持つ本来の支持力を最大限に活用しようとする工法であり、吹付けコンクリートとロックボルトによるトンネル周辺地山のアーチアクションによりトンネルを支えようとする考え方である。

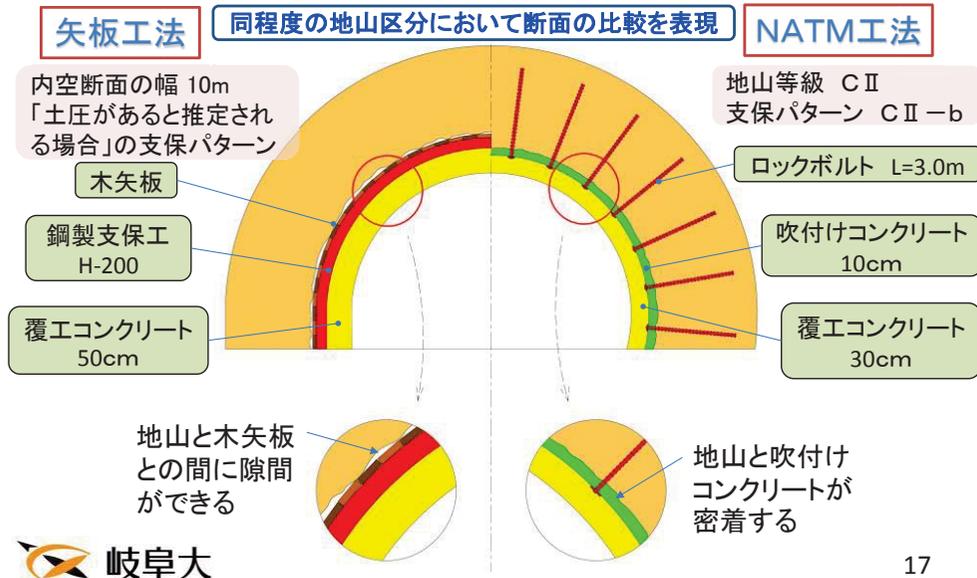


NATM工法



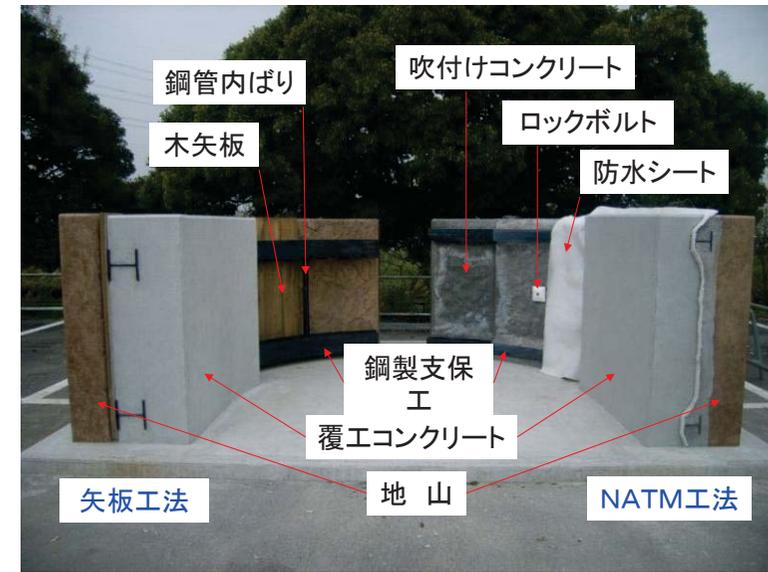
吹付けコンクリートとロックボルト 16

断面モデルの模式図



17

トンネル断面モデル(完成)



19

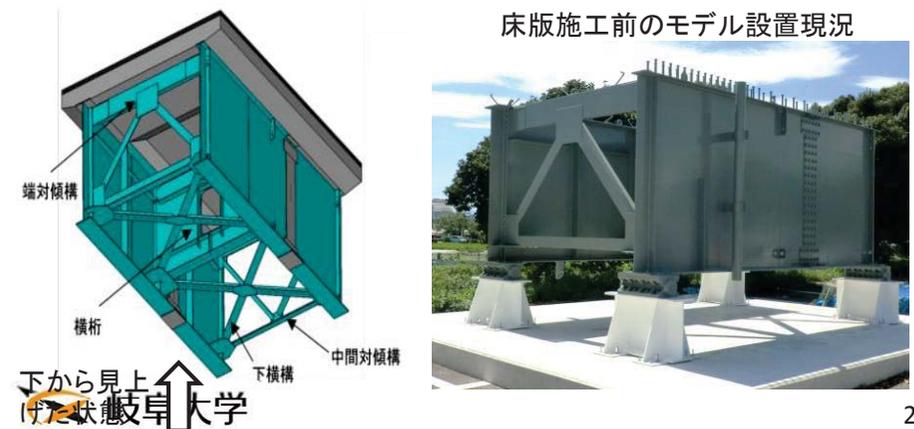
断面モデルの製作過程



18

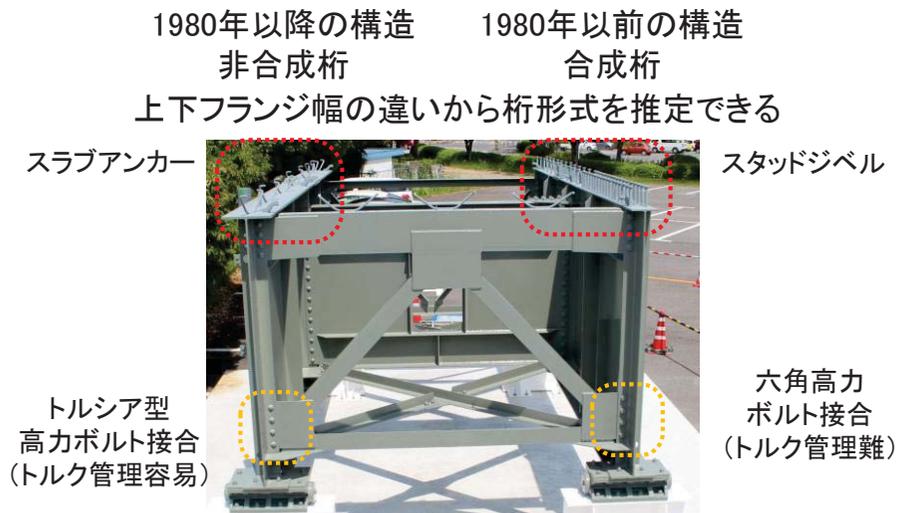
鋼桁モデル (木下, 羽田野)

メンテナンス技術者の教育のために、損傷の発生しやすい桁端部をモデル化し、1970～2000年の構造・施工法の違いを理解できるように配慮

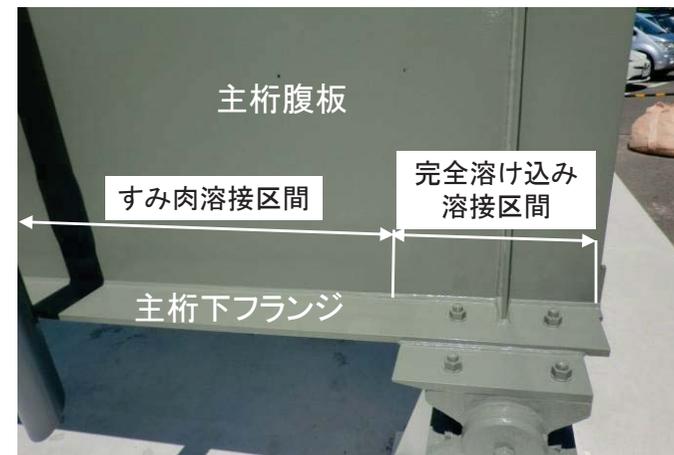


20

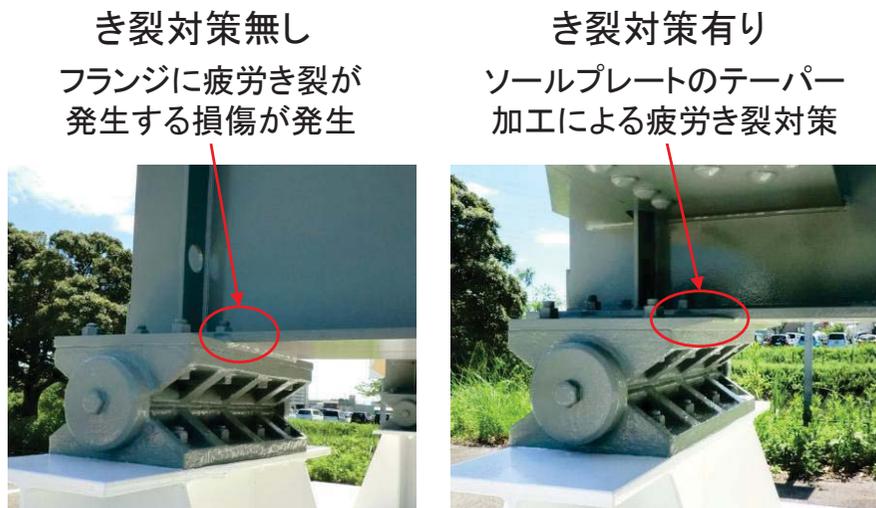
非合成桁と合成桁の違い



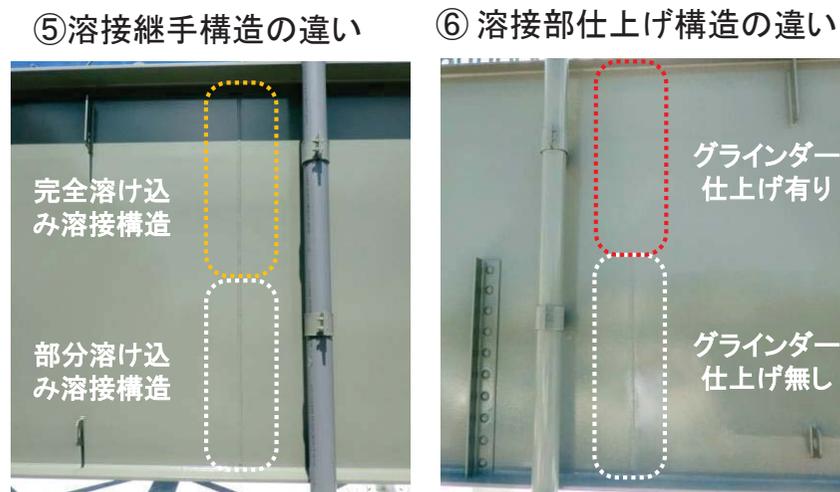
主桁腹板と下フランジの溶接継手



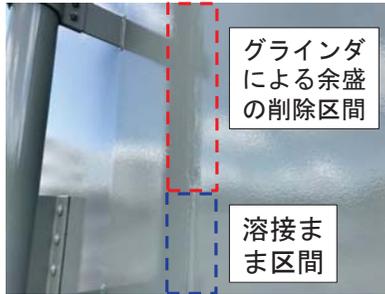
支承部での疲労き裂対策



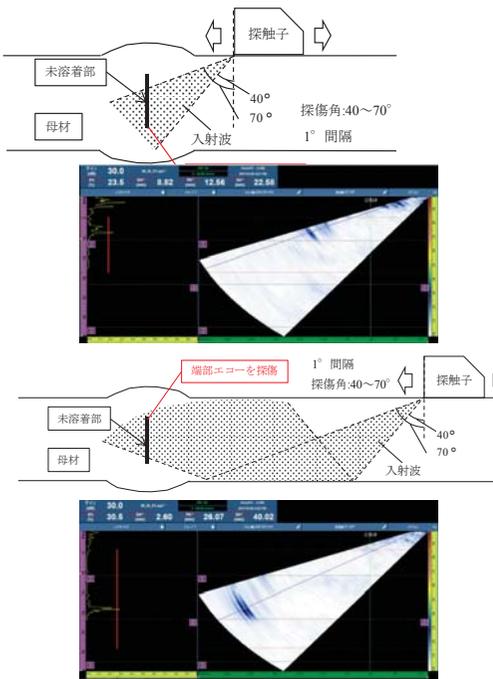
主桁腹板相互の溶接継手・仕上げ構造



ポータブル型X線残留応力測定器による余盛削除部の残留応力測定

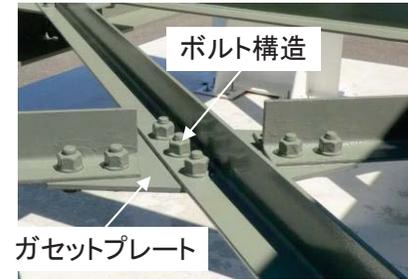


超音波非破壊探傷装置による探傷

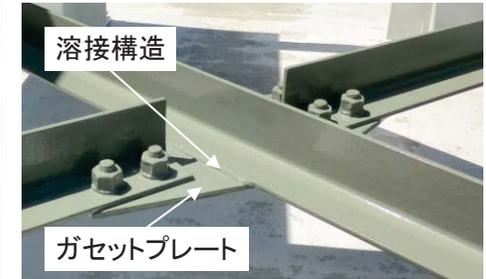


下横構の構造と横構交差部ガセットプレート

交差部ガセットプレート
ボルト構造のみ

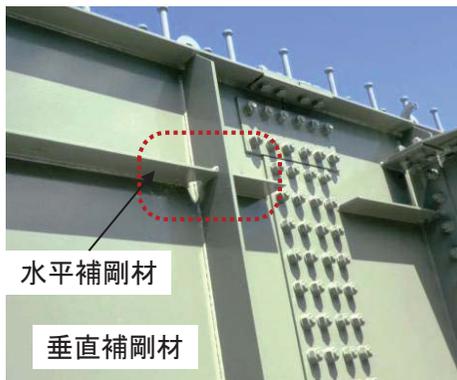


交差部ガセットプレート
溶接構造の併用

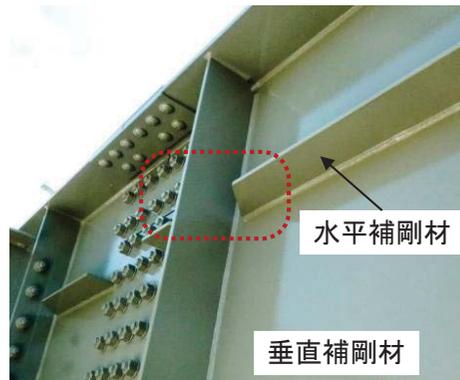


水平補剛材と垂直補剛材の取り合い

溶接接合有り(旧式の構造)

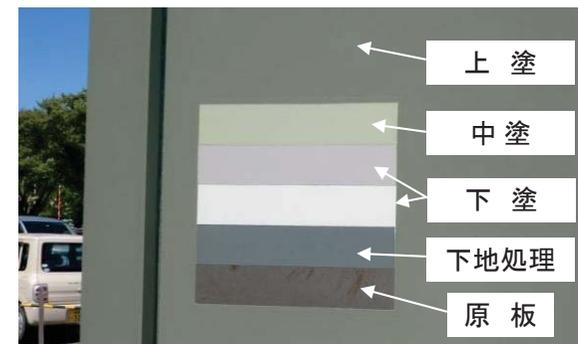


溶接接合無し(現在の構造)

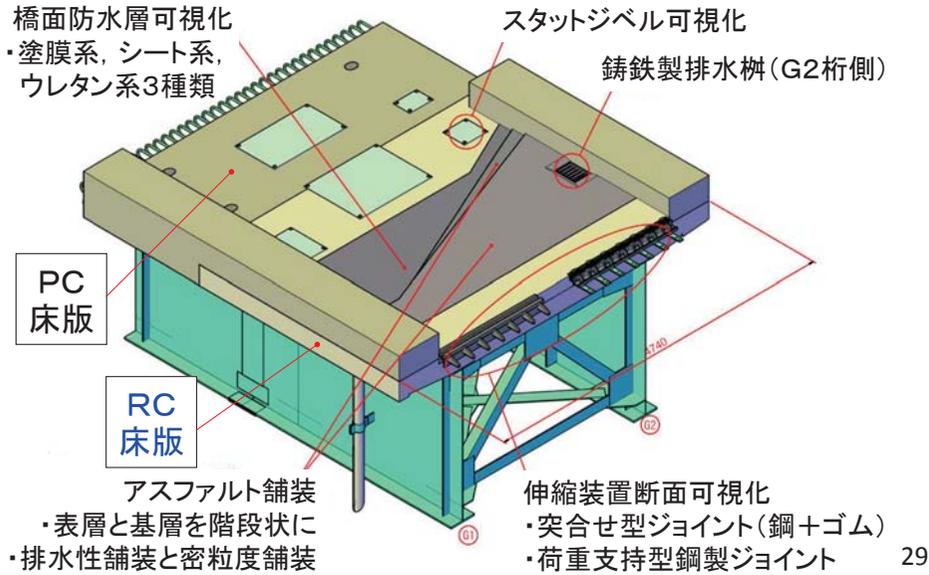


塗装記録表と橋歴版の表記(予定)

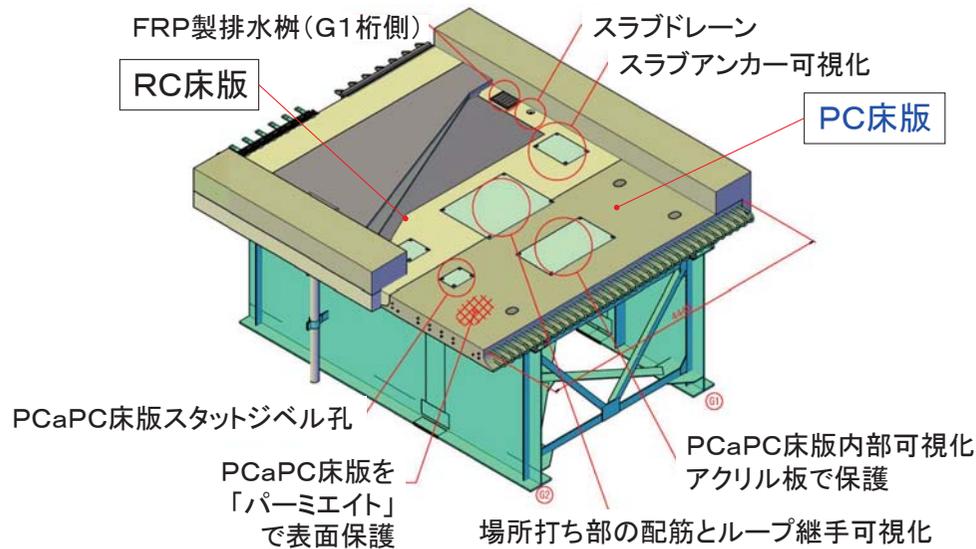
塗装膜厚構成の理解



鋼桁部の床版構造 (RC床版側)

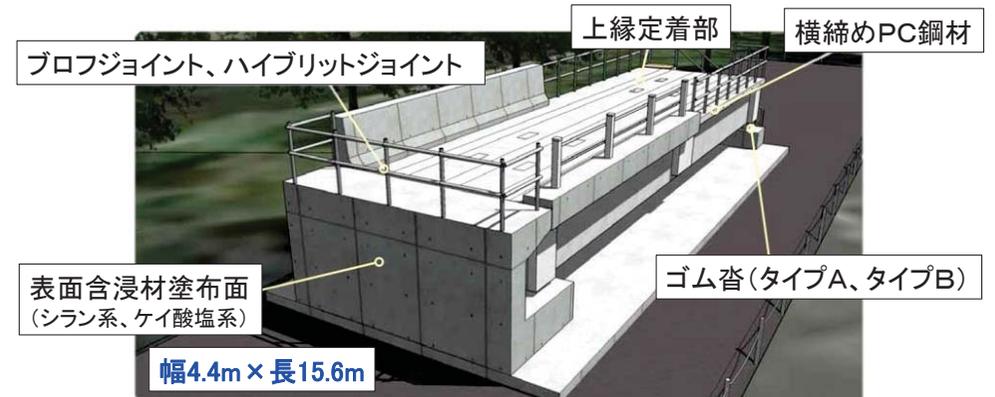


鋼桁部の床版構造 (PC床版側)

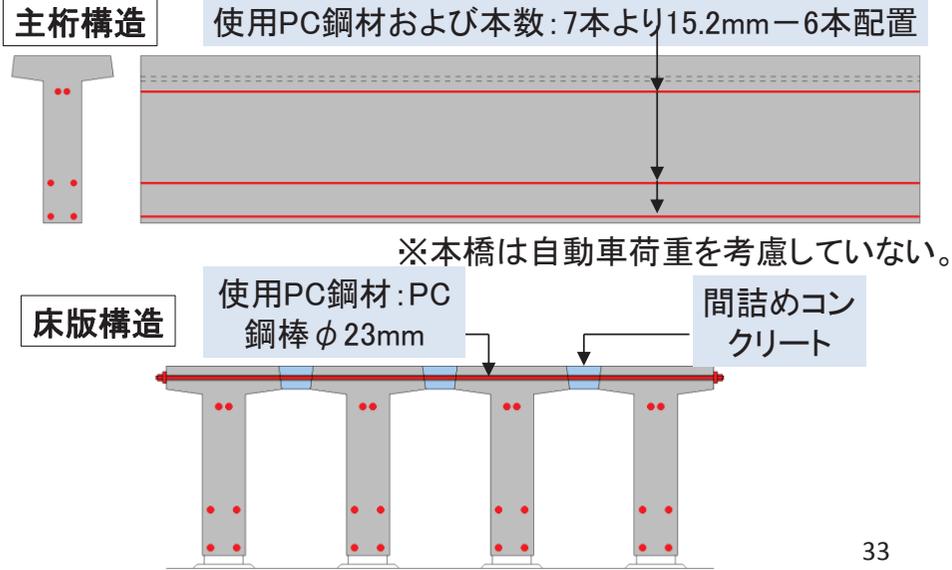


PC橋モデル (国枝)

プレストレストコンクリートの基本的な構造や定着部等の構造について学ぶことができる

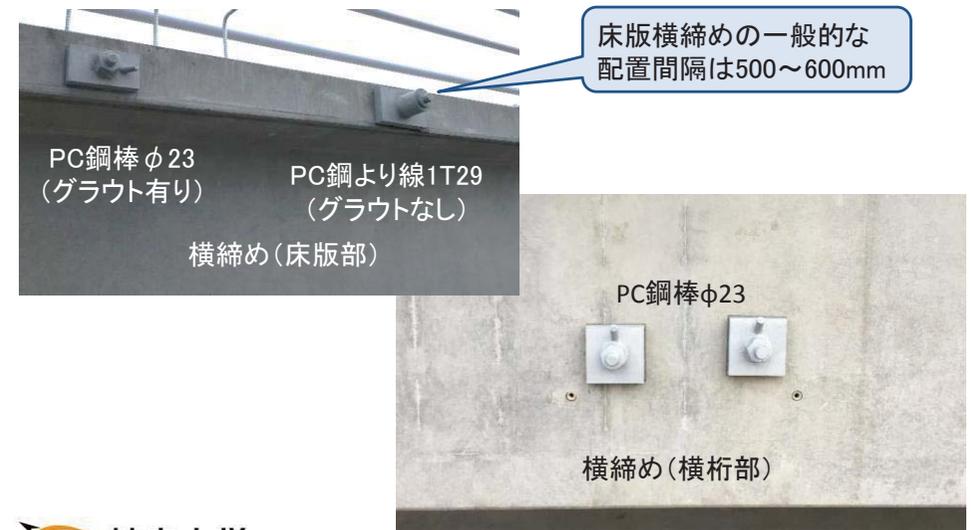


PC桁構造(プレテンション方式T桁)



33

PC桁定着構造(横締め構造)



35

PC桁定着構造(上縁定着, ウェブ定着)



PC定着構造の理解

- マルチストランド定着システム
7T13M130
2T13M110
- シングルストランド定着システム
1T29

上縁定着は維持管理上の弱点となるため、近年では使用されない。

34

PC桁端支点部構造(定着構造, 横桁構造, 支承)



36

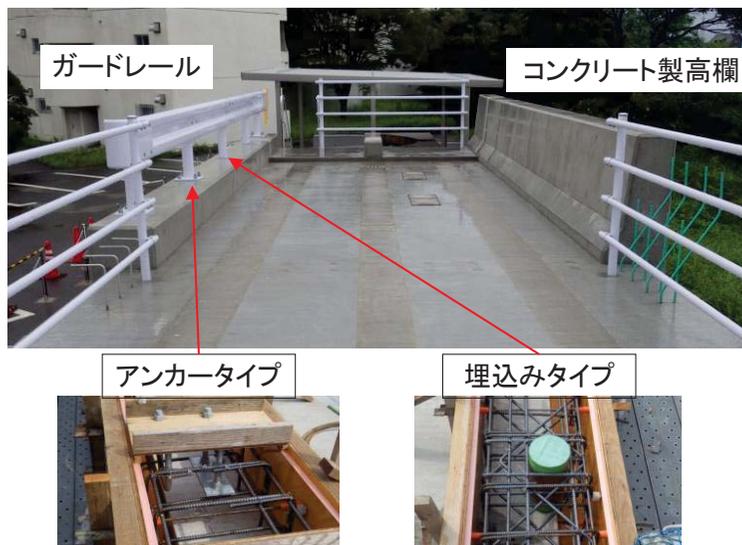
維持管理に配慮した桁端部の構造



構造物モデルの活用

- ① 学部と大学院の授業で活用
維持管理工学、鋼構造学、コンクリート工学(学部の講義)、鋼構造学特論、コンクリート工学特論(大学院の講義)、等
- ② 社会人プログラムで活用(各種構造の理解)
インフラマネジメントリーダー育成プログラム(修士学位)
メンテナンスエキスパート(ME)養成プログラム(修了証)
- ③ 鋼構造物の非破壊調査・点検技術の評価で活用
例えば、超音波探傷装置による溶接欠陥調査、塗膜厚計測、溶接部の残留応力計測、等
- ④ ご提案ください!
 - 説明で強調するとよい内容
 - 構造物モデルの活用のアイデア

地覆・高欄



アンケートにみる参加者の意見の例

- トンネルの矢板工法とNATM工法の断面モデルを見学し、どういった造りなのか、イメージとして持つことができた。
- 建設現場の経験がないため、モデル構造物を見ることで、これまでに図面や要領で得た知識をより深めることができた。
- どのような技術(製品)の進歩によってNATM工法が可能になったかなど、土木史についても学べた。

<改善のアイデア>

- 新入社員研修など、早い段階の講習に取り入れるとよい。
- 講義資料の解説が各モデルに示されていると、理解が深まる。
- 伸縮装置のモデルがあるとよい。
- 変状事例を紹介し、維持管理上のチェックポイントも学べると良い。
- 施工不良による出来栄や品質の違いが分かるモデルもほしい。

おわりに

➤ MEの活動 (H20～)

- インフラメンテナンス分野の人材育成の活動は、大学として取り組みやすく、意義が明確で、行政も企業も参加しやすく、産官学の連携活動として最適。

➤ インフラミュージアムの活動 (H29～)

- 維持管理技術者の育成では、建設過程の学習が不可欠である。安全な場所で、技術の変遷も含め、実物を見て理解することの意義は大きい。企業の協力も得やすい。

➤ SIP地域実装チームの活動 (H28-30)

- これまでのME養成講座の活動やMEネットワークのお陰で、SIP地域実装の活動を進めやすい。

将来展望

- 岐阜大学のインフラミュージアムについては、情報と経験を共有し、さらに改善した内容のものが他大学に広がるのが望まれる。ME養成講座も同様に。

＜インフラミュージアムでの経験の例＞

- インフラミュージアムは、社会的な意義も明確で面白く、企業も積極的に参加したくなる企画である。
- インフラミュージアムの建設業務のうち、企業内で対応できるものについては、お願いしやすい。社外発注では費用が発生する。その場合、該当企業に協力を依頼するとよい。
- 建設会社は、年度の後半より前半の方が時間に余裕あり。

大学は、皆がもっと参加したくなる企画を！

主な公開資料

➤ ME

- HP (<http://ciam.xsrv.jp/>) の中に、CIAM ニュースレターや、平成27年度「成長分野等における中核的専門人材養成等の戦略的推進」事業の成果報告書

➤ インフラミュージアム

- 木下, 羽田野, 国枝, 六郷: 鋼橋の建設過程が学べる大型モデルの開発, 工学教育研究講演会講演論文集, 第65回, 2017.8
- 国枝, 沢田, 六郷: 岐阜大学インフラミュージアムの整備, プレストレストコンクリート, 2018.1(予定)

➤ SIP

- HP (<http://me-unit.net/>) の中に、行事の詳細報告等を公開
- 蓮池, 木下, 矢島, 高木, 六郷: インフラ構造物のメンテナンス等への新技術活用における障害と対策に関する考察, 土木学会論文集F4(建設マネジメント), Vol.75, No.4(特集号), 2017.12
- 六郷, 羽田野, 他: SIP維持管理技術の地域実装支援としての岐阜大学チームの取り組み, 第32回日本道路会議, 2017.11

参考資料: インフラ構造物の展示施設の例

名古屋大学 橋梁長寿命化推進室 / 中日本ハイウェイエンジニアリング名古屋(株)





舞鶴高専 社会
基盤メンテナ
ス教育センター



琉球大学
実装技術
検証用試
験桁



国交省
東北地方整備局
東北技術事務所
体験型土木構造
物実習施設

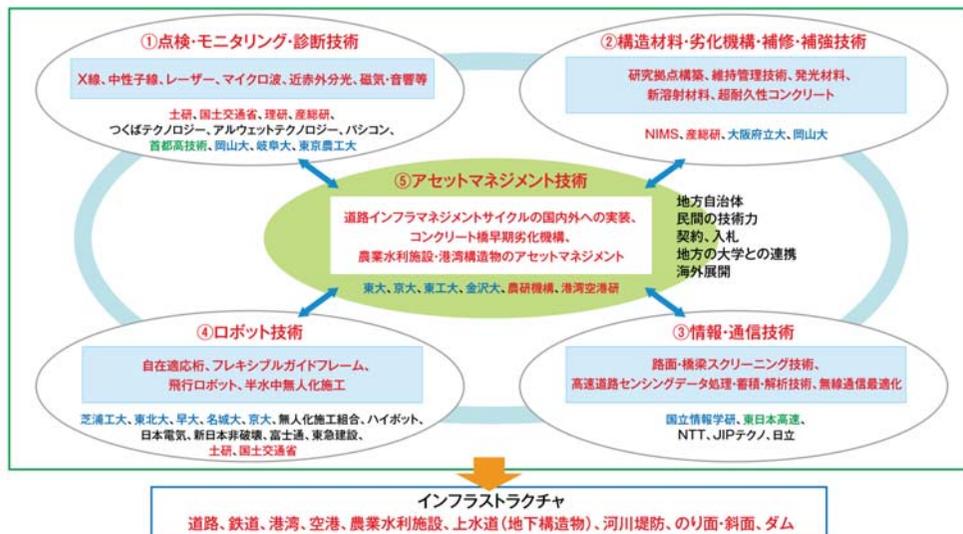


土木研究所 臨床研究用撤去部材保管施設

RC床版の寿命予測と RCLレーダによる診断技術

東京大学生産技術研究所 特任准教授
田中 泰司

SIPインフラの研究開発項目関係図



採択テーマは約60課題、1500名以上の研究者が参加

研究開発題目: 道路インフラマネジメントサイクルの 展開と国内外への実装を目指した 統括的研究

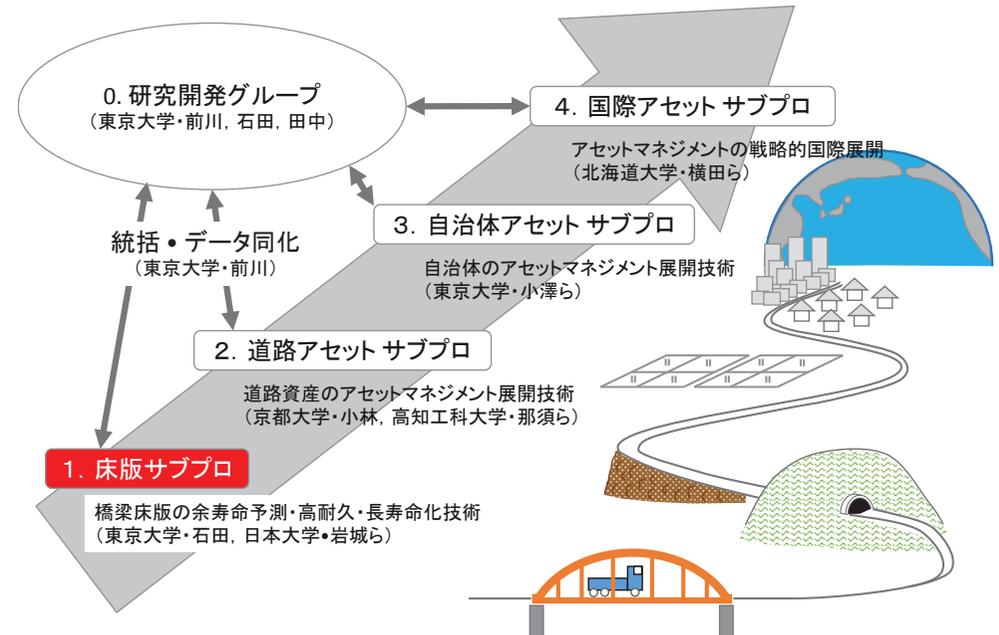
プロジェクト期間: 2014年10月 - 2019年3月

研究予算: 約1.5億円/年

研究責任者: 東京大学 教授 前川宏一

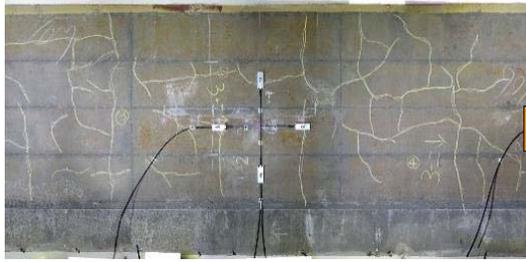


東大プロジェクトの体制図



床版の疲労問題

床版下面のひび割れ状況の例



押し抜き破壊の例



床版の更新費用が大

高速道路の大規模更新プロジェクト(2014-)

	区分	項目	主な対策	延長	概算事業費
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
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、水抜きホーリング等	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
合計				約2,110km	約30,200億円

床版コンクリートの抱える問題

過酷環境下での早期劣化問題

- ◆ 凍害(積雪寒冷地)
- ◆ 凍結防止剤散布による塩害
- ◆ 凍結防止剤散布下のアルカリシリカ反応
- ◆ 過積載車交通による疲労

塩害による鉄筋の腐食



RC床版の砂利化



橋梁名	劣化形態	交通量(台/日)	供用年数	床版更新
橋梁1	交通荷重による疲労	約24,000台	45年	済み
橋梁2	砂利化	約12,000台	36年	済み
橋梁3	砂利化	約 8,000台	42年	済み
橋梁4	砂利化	約 9,000台	35年	済み
橋梁5	砂利化の疑い	約16,000台	36年	未

建設後20~40年で想定外の材料劣化が生じて壊れている(現行の示方書では対応できていない)

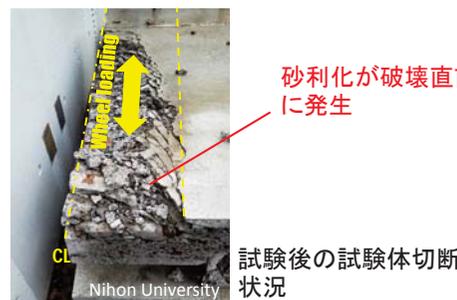
劣化対策が早急に必要!

コンクリート床版の砂利化

高速道路の床版砂利化事例



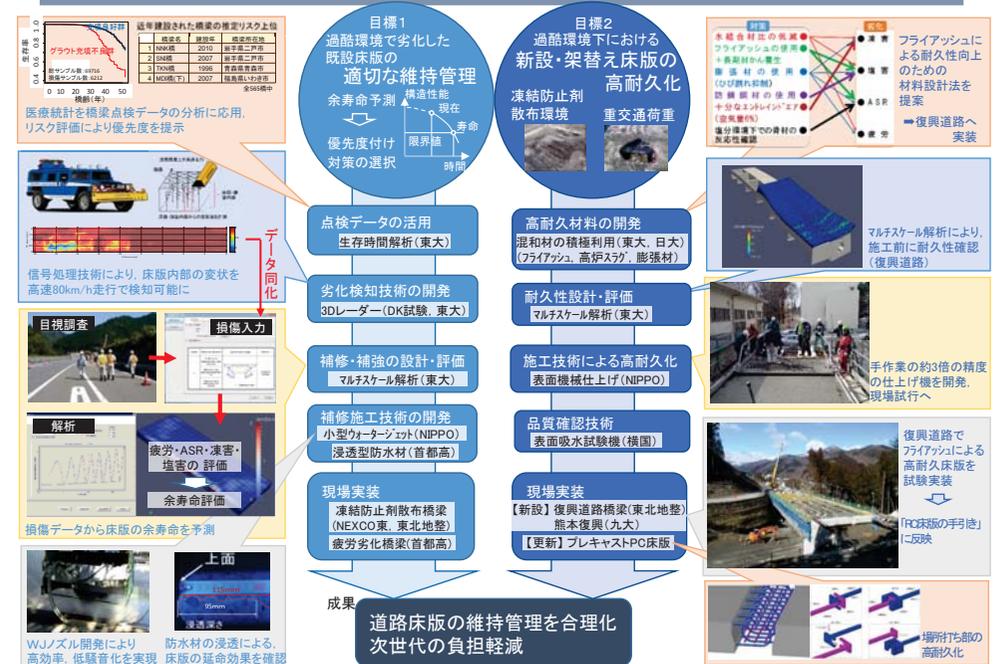
輪荷重走行試験



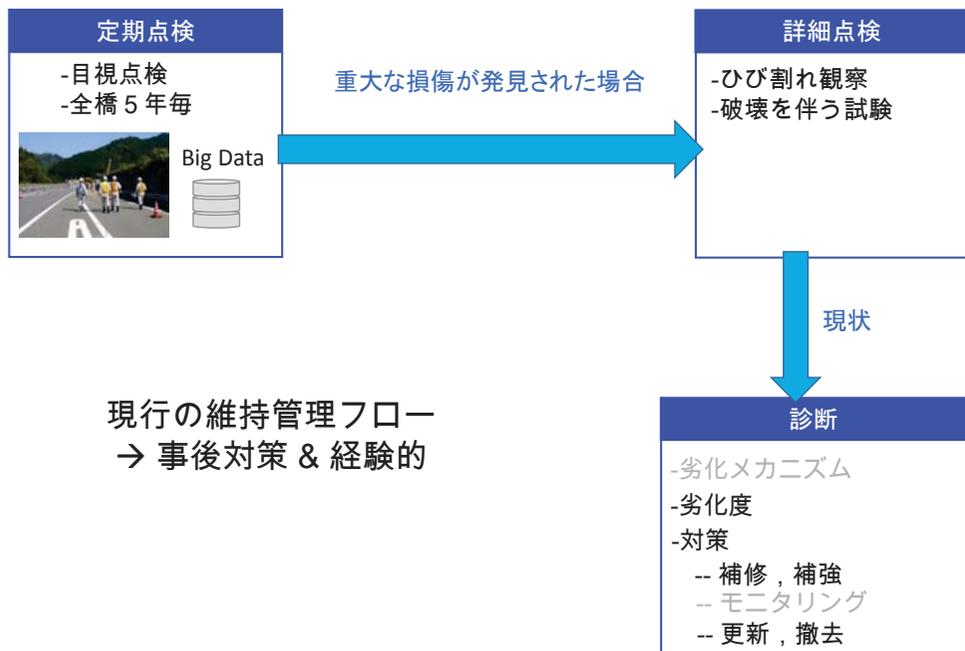
砂利化が破壊直前に発生

試験後の試験体切断状況

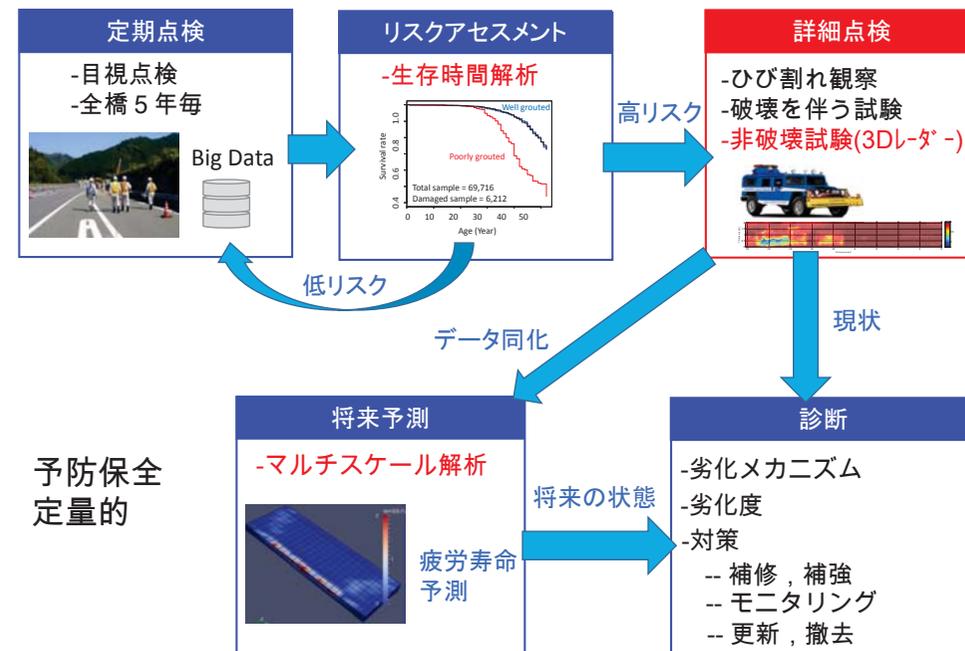
橋梁床版の維持管理(床版サブプロの全体図と成果)



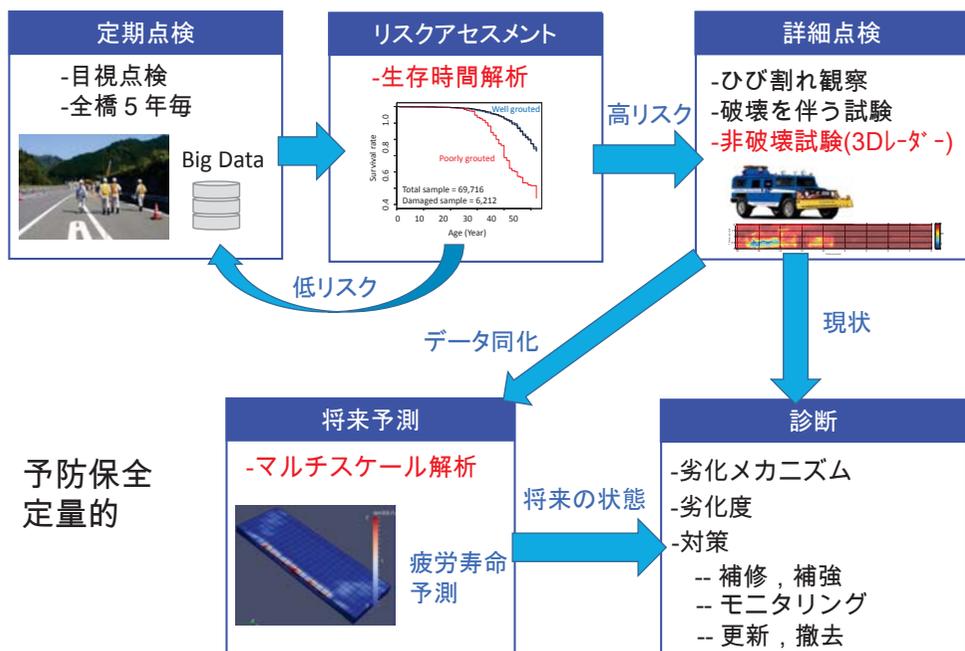
現行の維持管理フロー



新技術を活用した維持管理フロー



新技術を活用した維持管理フロー



高速での床版や舗装の状態評価技術の必要性

舗装を剥がした路面(床版)

ハンマー

人力ですべての箇所を叩いて、打音の異常を確認(打音試験)

従来の橋梁の床版の点検方法(要車線規制) → 膨大な時間とコスト

長さ15m以上の道路橋の総数: 約16万橋

車載型地中探査レーダーの床版・舗装内部探索への応用

レーダー

3d-Radar

道路路面上を高速走行

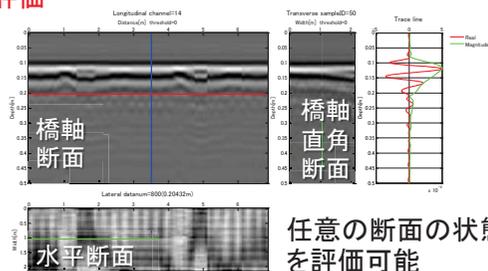
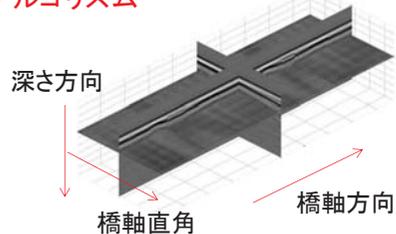
路面

床版・舗装内部

床版・舗装内部からの反射波を計測

時速80kmの高速で地中からの反射波の計測が可能。

本研究で構築した床版・舗装内部状態評価 アルゴリズム



任意の断面の状態を評価可能

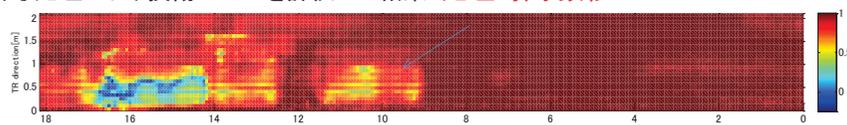
○分析結果例

・打音試験の結果と商用ソフトを使った損傷検知の結果



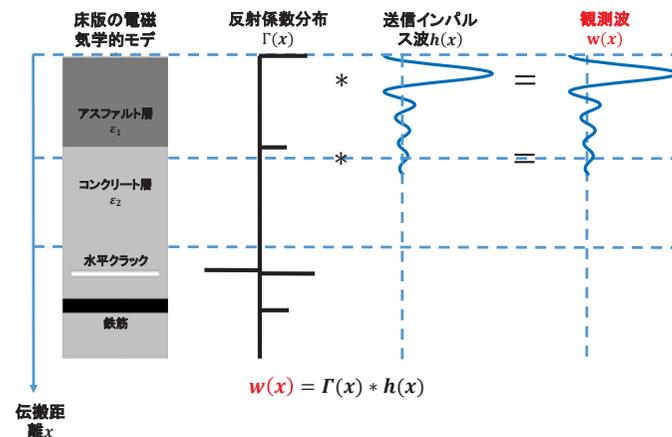
低精度、作業に1週間

・信号処理により損傷レベルを評価した結果: 処理時間 数秒



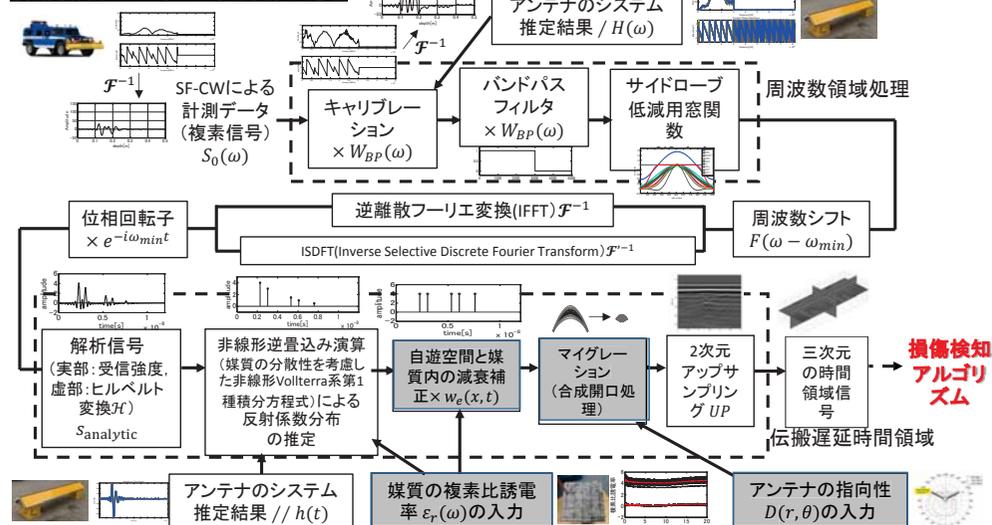
構築したアルゴリズムにより高い精度で打音での異常箇所を検出。

床版内部における電磁波の反射現象

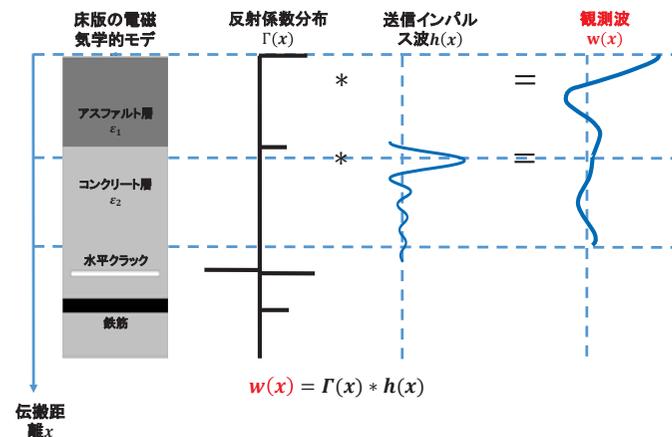


信号処理のフロー

損傷検知アルゴリズム入力前の処理

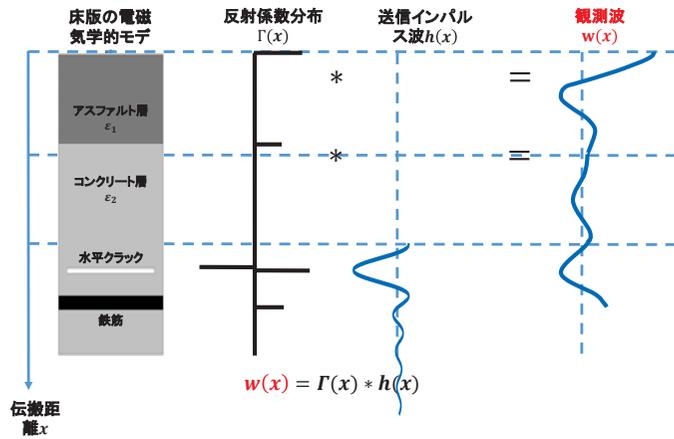


床版内部における電磁波の反射現象



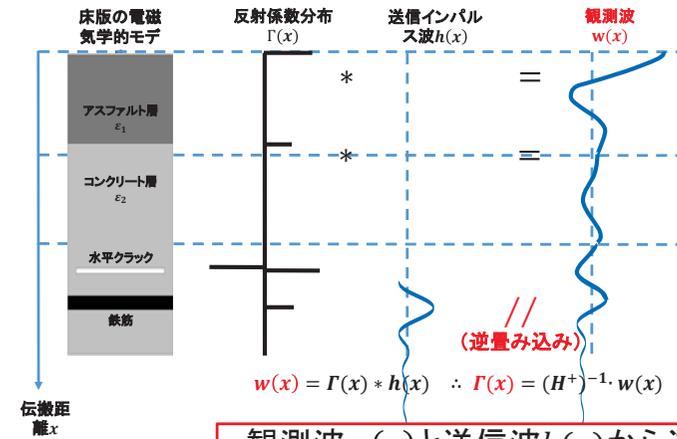
床版内部における電磁波の反射現象

5/13



床版内部における電磁波の反射現象

5/13



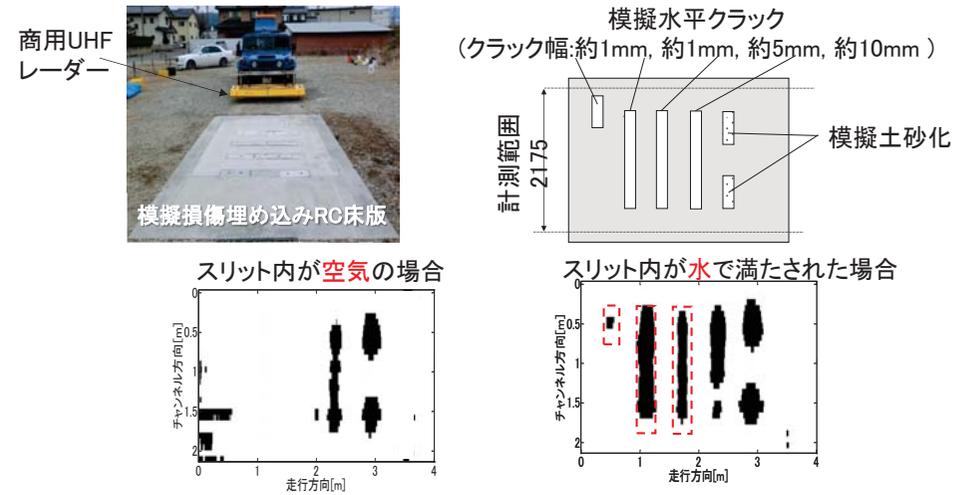
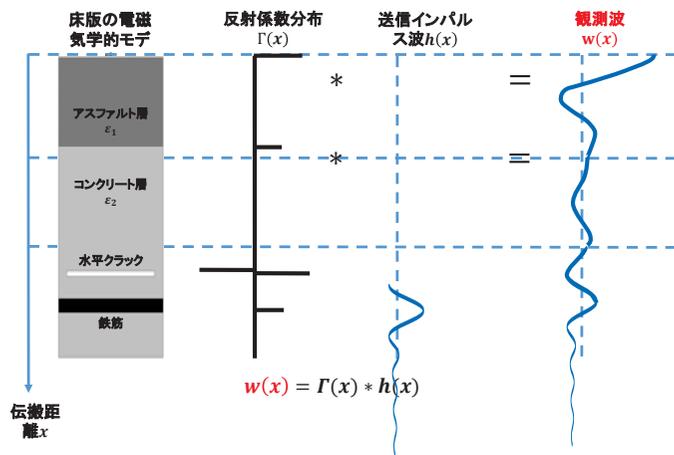
観測波 $w(x)$ と送信波 $h(x)$ から逆畳み込みにより近似的に反射係数分布 $\Gamma(x)$ を推定する

模擬損傷を埋め込んだ実スケールRC床版

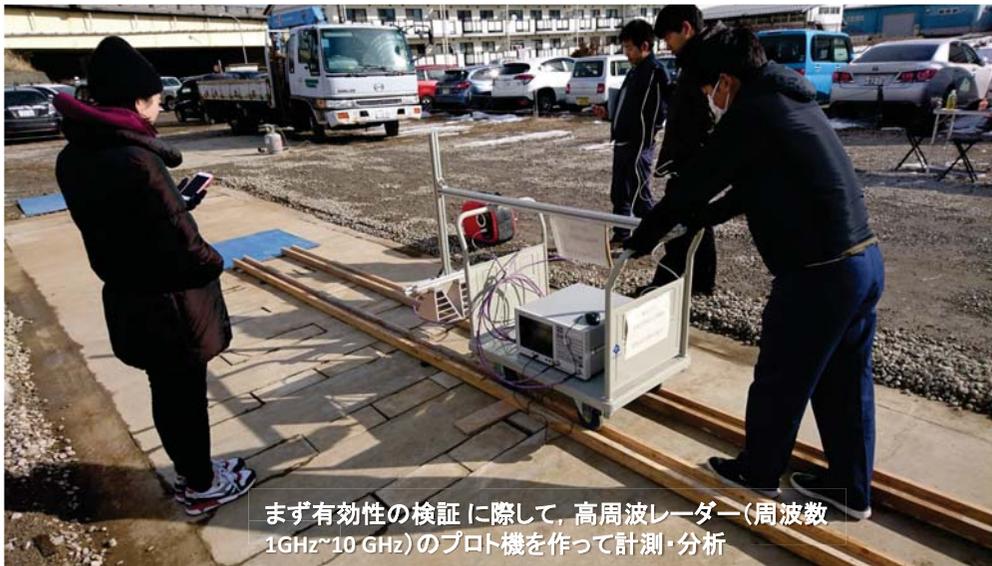
20

床版内部における電磁波の反射現象

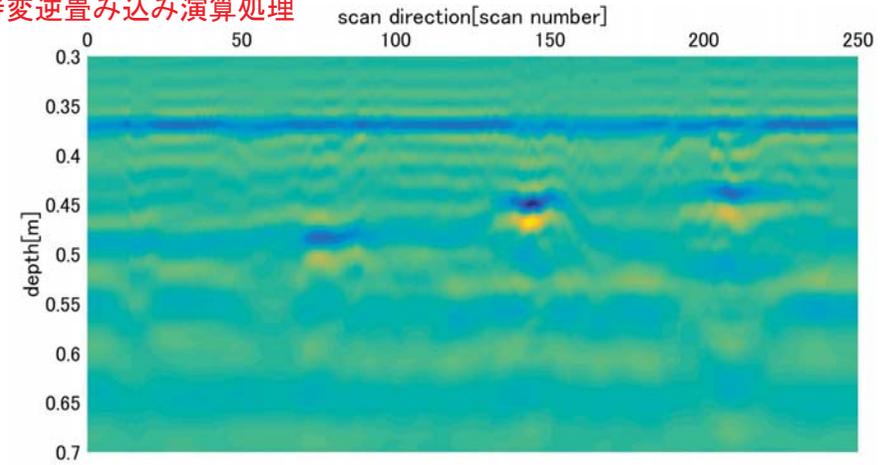
5/13



- 幅10mm以上の模擬水平クラック、土砂化部分は乾燥状態でも検知可能
- 幅0~2mm、5~10mmのクラックは水有りの場合、反応が明確になる

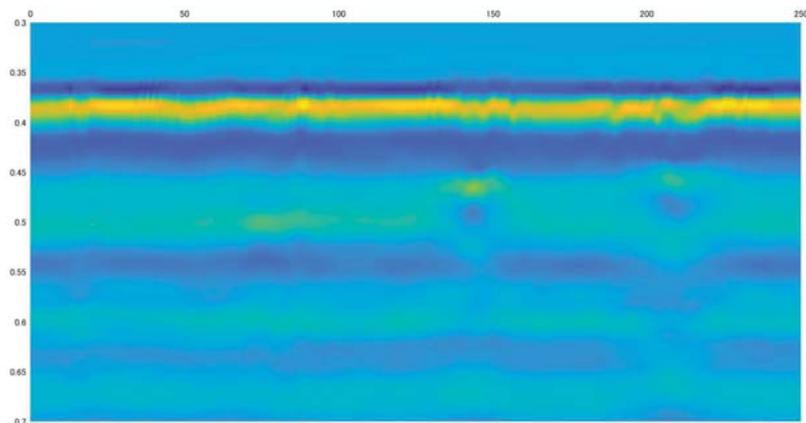


時変逆畳み込み演算処理



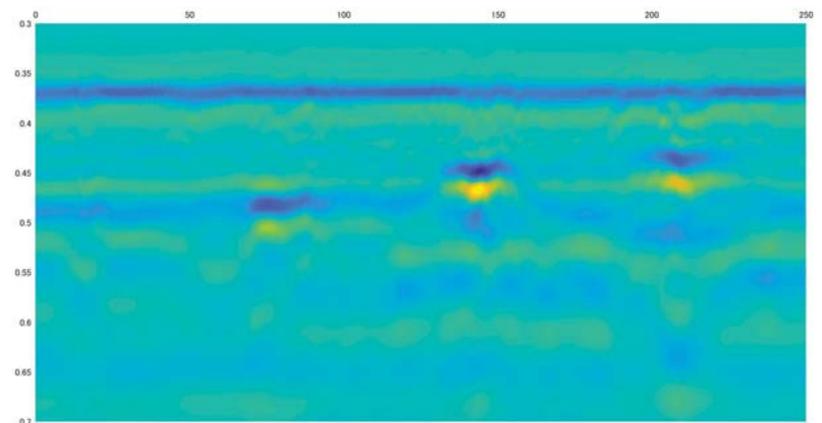
水平クラック(0mm(スペーサー無し)水有り)

逆畳み込み演算処理なし



水平クラック(0mm(スペーサー無し)水有り)

時変逆畳み込み演算処理+Hamming窓によるサイドローブ低減



水平クラック(0mm(スペーサー無し)水有り)



ビジネス化

民間企業に技術移転 → 計測, 解析業務に本技術を実装

道路・軌道の路面下ビッグデータ共有システム「ROAD-S」

2018年春稼働予定



図-2 アラート機能 (イメージ) ※2

株式会社土木管理総合試験所



写真-2 DLイメージ ※2

三次元の『橋梁床版の劣化診断データ』『舗装体の劣化診断データ』『路面下の空洞診断データ』『埋設物の敷設状況データ』のデータ共有システム

GPR信号処理技術

技術は確立
→ 全国各地で計測を実施



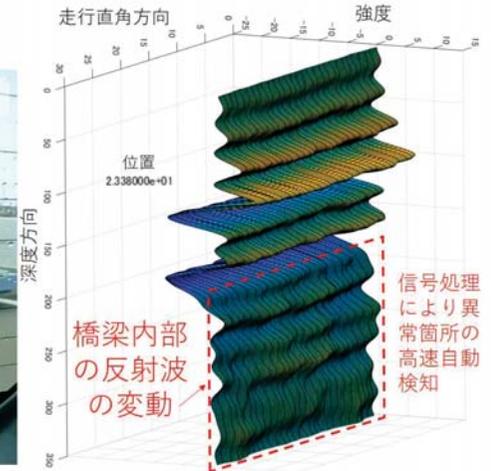
K橋 U橋
F橋 G橋



計測状況の例



株式会社土木管理総合試験所



走行直角方向断面の波形 (前処理後)
(東京大学生産技術研究所 水谷司特任講師により作成)

北陸での計測例(H橋)

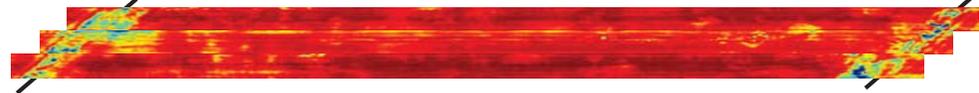
路面からアスファルト中ほど



路面から床板表層付近



路面から床板上側鉄筋付近



石川県側

福井県側



散水の影響



散水車で散水
(散水量 = 16mm)



T地方K橋

スパン1
スパン2
スパン3

散水前



散水後



↑ ジョイント スパン1 ↑ スパン2 ↑ スパン3 ↑

散水後に信号が変化しているエリアが広がり、
変化の度合いも大きくなっている。

今後の課題

3Dレーダーをバリウム検査にたとえると...

バリウム検査

3Dレーダー

X線装置

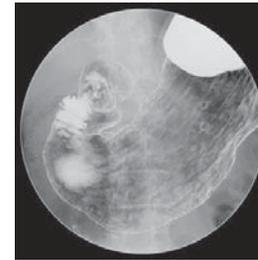
3Dレーダー+信号処理

バリウム

水

診断方法

診断方法 未開発

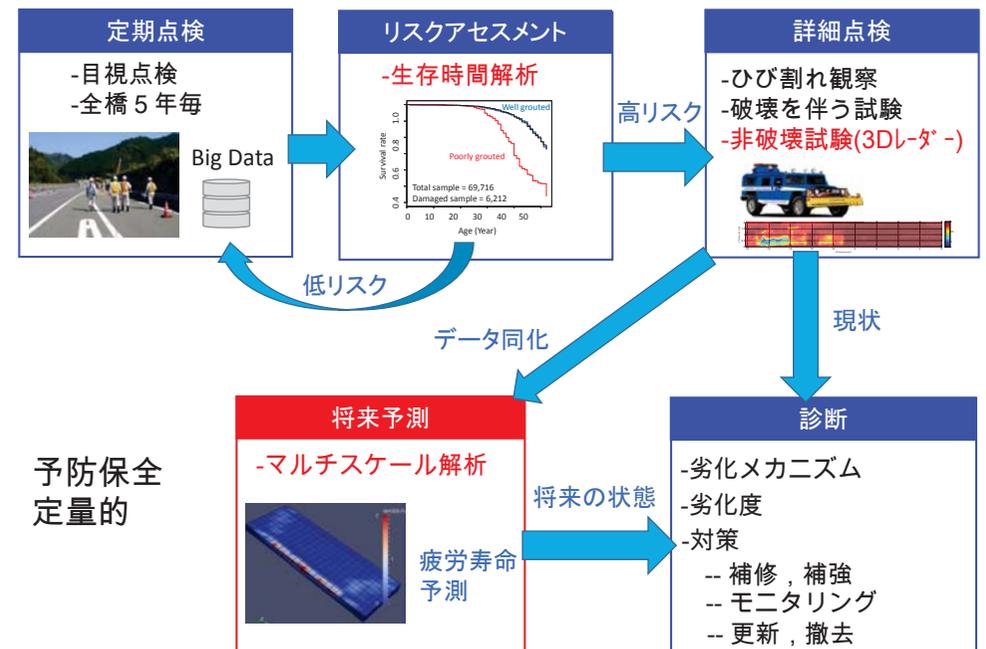


撮影方法 × 信号

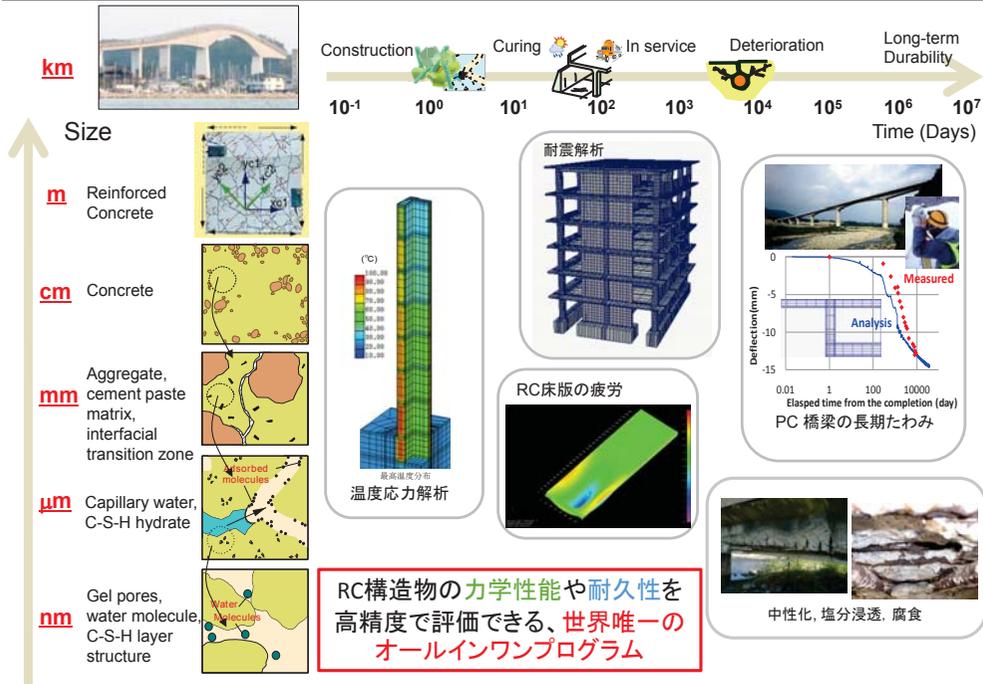
⇕ 実床版で調査, 対比

損傷の種類, 劣化度

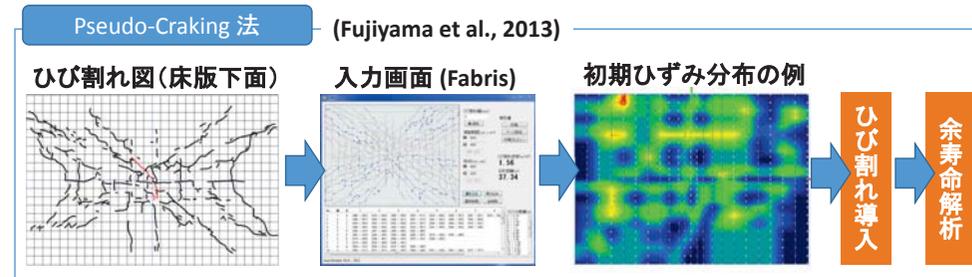
新技術を活用した維持管理フロー



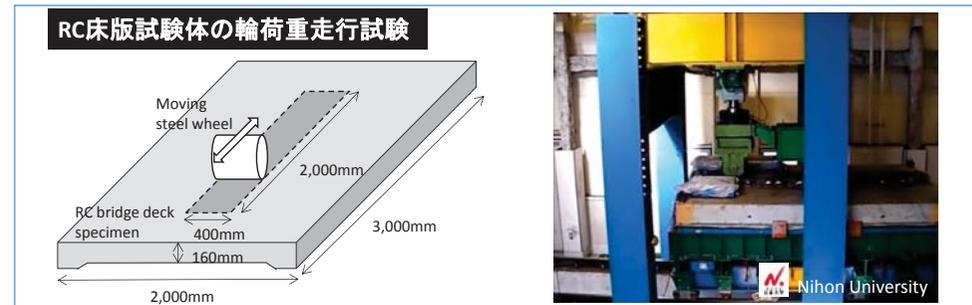
RC構造物のマルチスケール統合解析



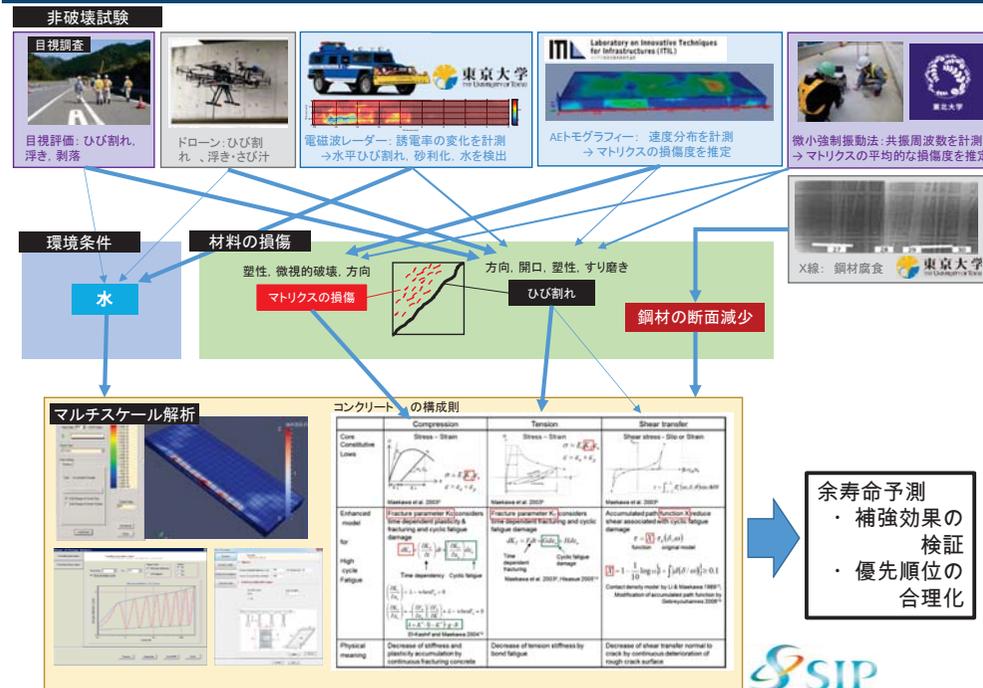
Pseudo-Cracking 法によるデータ同化



精度検証

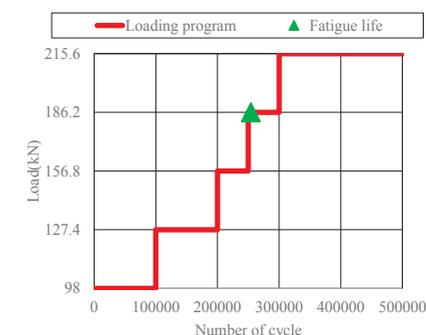


データ同化によるRC床版の疲労余寿命評価



Wheel running test (Maeshima et al., 2016)

载荷プログラム

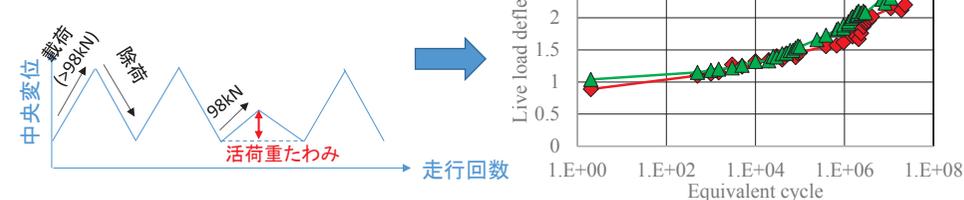


等価繰り返し走行回数: N_{eq} (松井, 1984)

$$N_{eq} = \sum (P_i / P_0)^m n_i$$

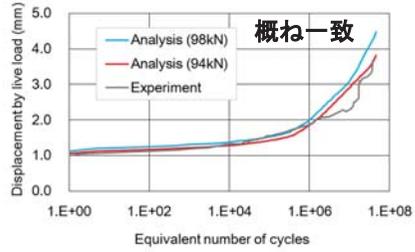
- P_i : iステップ目の荷重
- P_0 : 基本荷重 (98 kN)
- m : S-N 曲線の傾きの逆数 = 12.76 (経験値)
- n_i : i ステップ目の走行回数

活荷重たわみ

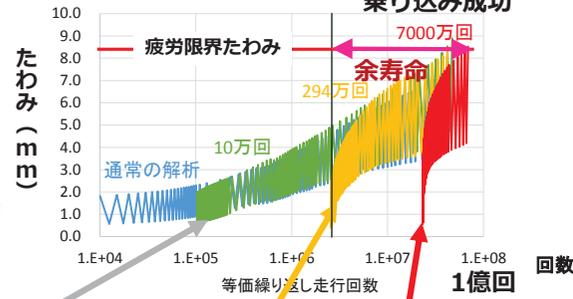


データ同化を使ったRC床版のマルチスケール解析による余寿命予測

実験値との比較 (活荷重たわみ)

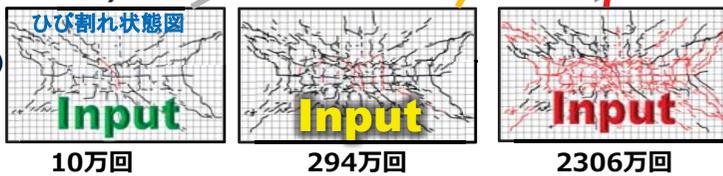


RC床版の疲労たわみ予測 データ同化による乗り込み成功

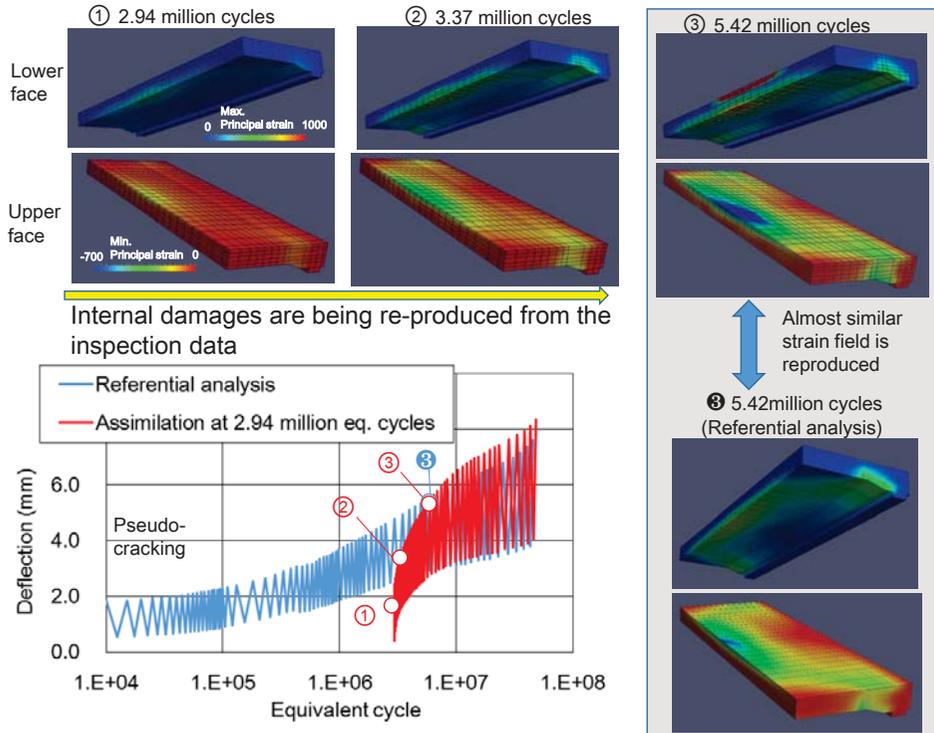


6方向ひび割れモデルを使ったRC (鉄筋コンクリート) のマルチスケール (MS) 解析

RC床版裏面のひび割れ図 (実験値) を初期値としてMS解析に入れる

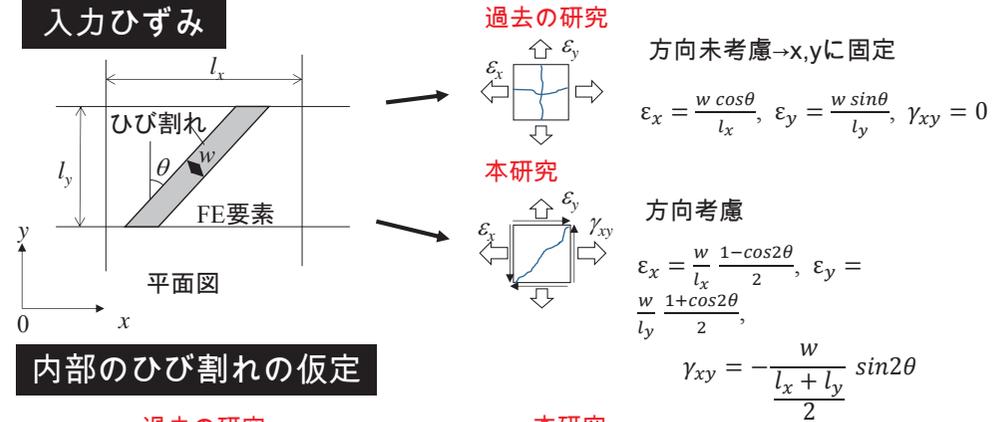


裏面のひび割れ状況がわかると、RC床版の余寿命が予測可能。

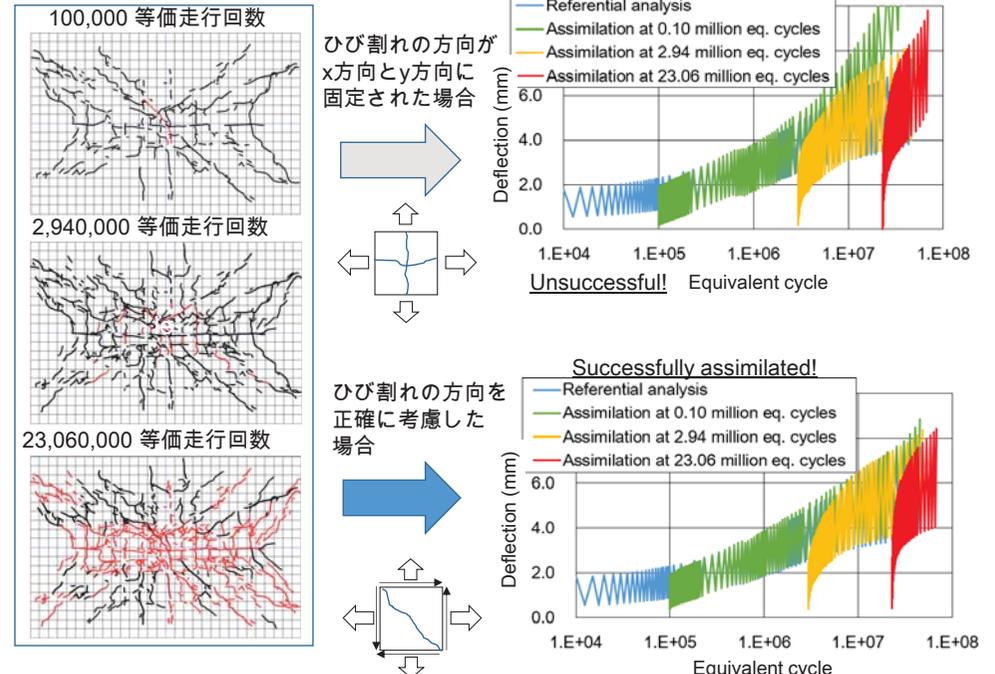
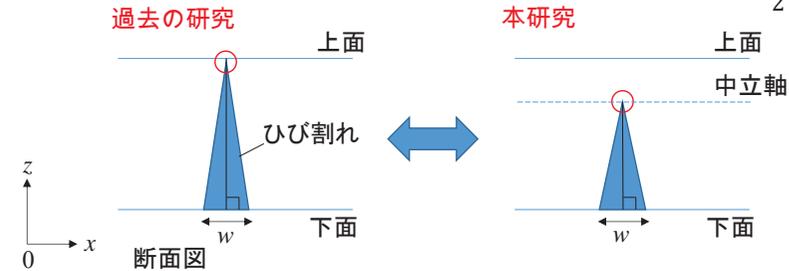


ひび割れの入力方法

入力ひずみ

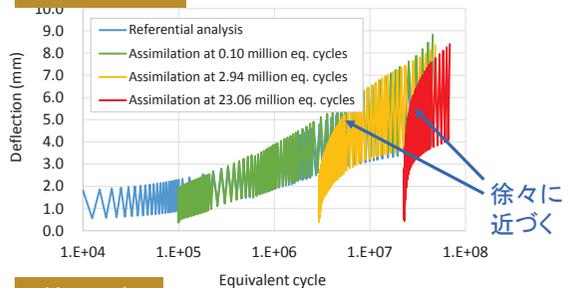


内部のひび割れの仮定

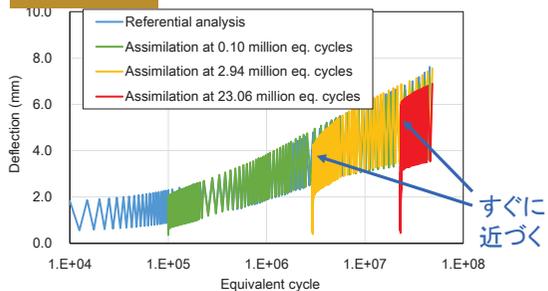


データ同化の高速化

オリジナル



修正後



修正方法

最初の 100 サイクル

ゆっくりと車輪を通過させる

$$\times \frac{\text{累積走行回数}}{100 \text{ サイクル}}$$

過去の時間異存変形を計算

通常の疲労解析

速やかにデータ同化

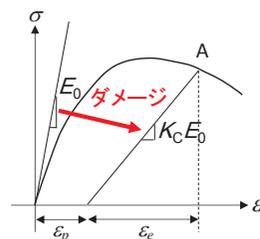
現在の状態評価に有用

弾性波速度から物理的な損傷への変換

仮定

弾性波速度は、コンクリートの弾性係数と相関があると仮定

圧縮モデル (前川 & 岡村, 1983)



$$\sigma = E_0 K_C \varepsilon_e$$

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_p$$

Fracture parameter (範囲: 0 - 1)

圧縮強度 = $K_c f_c'$
 弾性係数 = $K_c E_c$ ← v : 速度
 引張強度 = $K_c f_t$

弾性体における理論式

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}}$$

$$E = av^2$$

理論式

感度解析に用いた関数

$$E = av^2$$

$$E = av$$

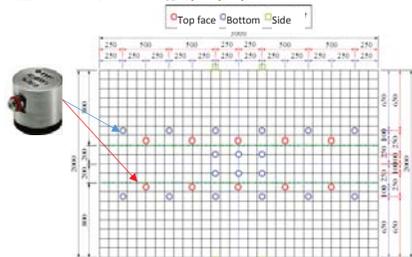
$$E = av^{1/2}$$

Best fitting

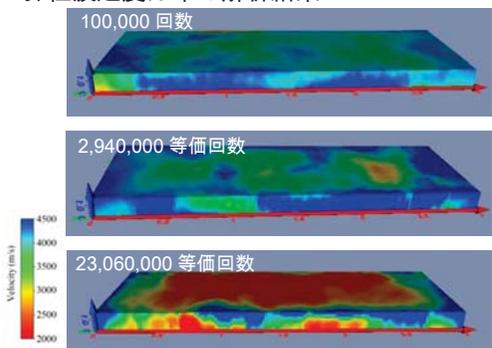
損傷したコンクリートは弾性体でないので、関数形が異なっても不思議ではない。

3D Acoustic Emission Tomography (塩谷ら, 2017)

AE センサーの設置位置



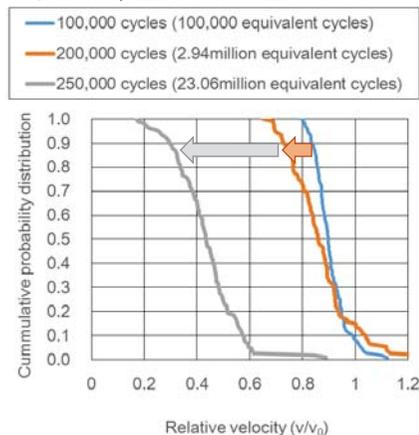
弾性波速度分布の解析結果



AEセンサーの到達時刻分布から、3次元弾性波速度分布をCT (Computer Tomography) 技術で求める。

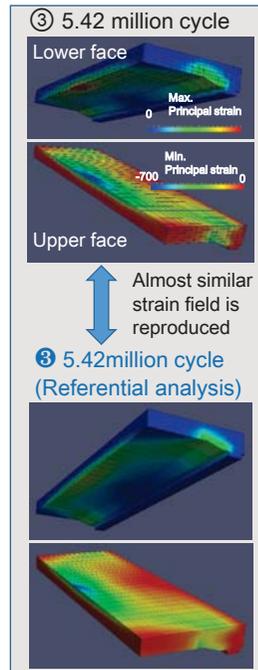
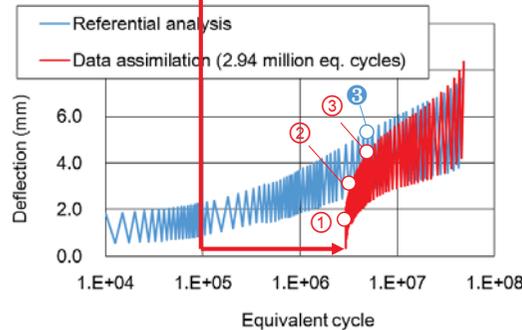
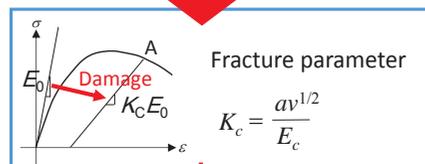
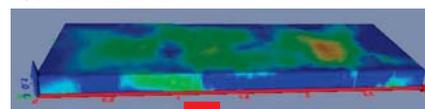
- 弾性波に対する等方性を仮定
- ひび割れの位置は直接は推定できない

載荷板下、圧縮領域の速度分布



AETを使ったデータ同化

弾性波速度分布

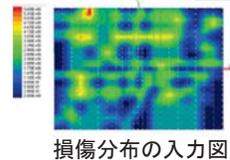


非破壊計測技術

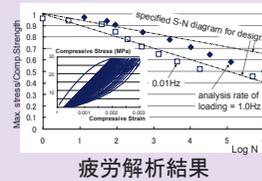
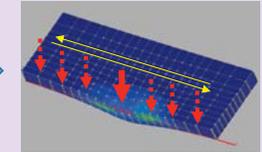


データ同化手法によるRC床版の余寿命解析

データ同化



マルチスケール解析



将来予測
余寿命評価

補修・補強対策

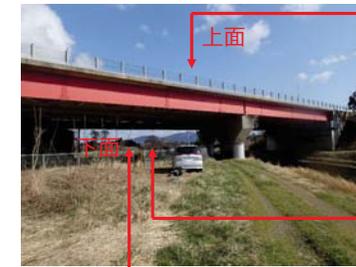
維持管理の合理化、
構造物の長寿命化
を実現

繊維補強したRC床版

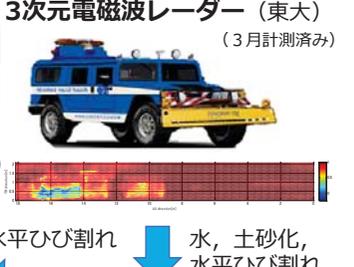
実RC床版の余寿命評価



塩害・土砂化による劣化→H29年4月下旬から床版更新工事



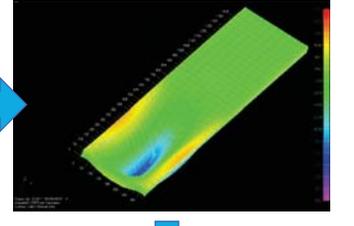
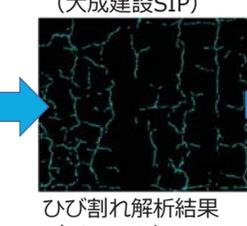
橋長	57.2m
供用開始	昭和52年
床版厚	230mm



ひび割れ画像 (4/7本撮影予定)

ウェーブレット変換
(大成建設SIP)

データ同化解析 (イメージ)



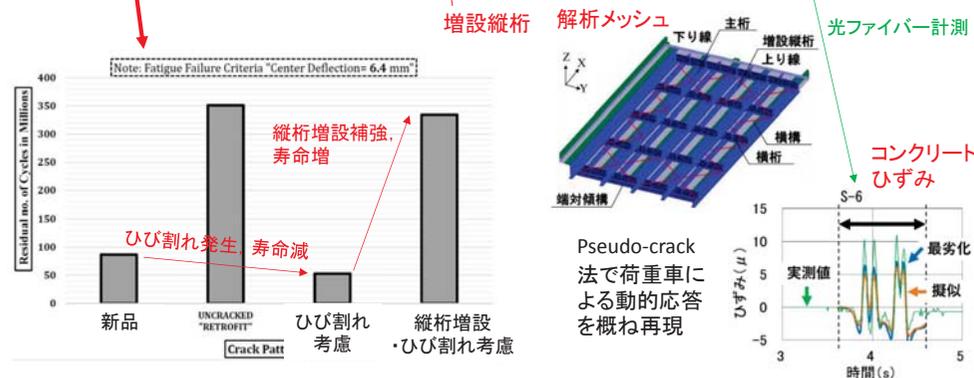
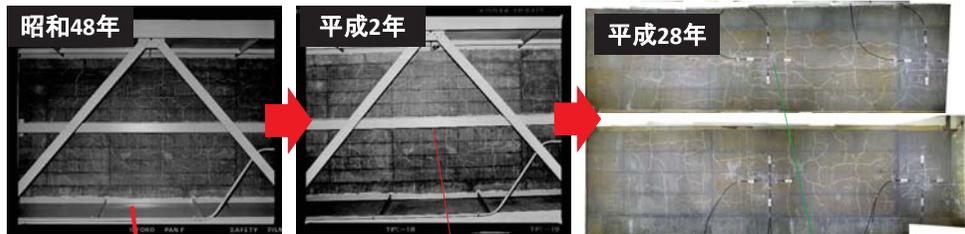
SIP技術活用で、ひび割れ入力を半自動化

余寿命評価

床版余寿命評価



床版下面の写真

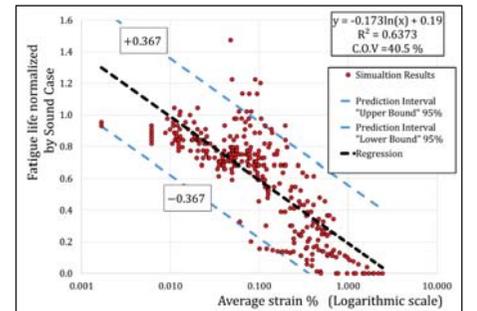


マルチスケール解析とAIの連携

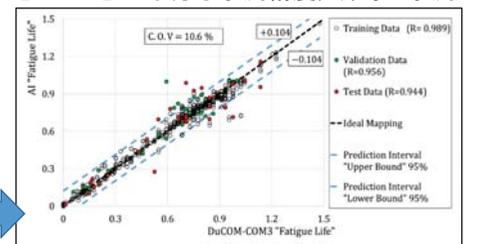
床版余寿命の高速診断技術の開発



【従来の回帰分析】⇒予測精度が低い



【AI学習】⇒十分な予測精度、瞬時に予測



マルチスケール解析でひび割れデータ同化
⇒余寿命推定

AI学習

- **カメラを選定** (日立・橋梁点検ロボットカメラ, Phase One・1億画素カメラ).
都内で床版撮影デモを行い, 性能確認(10/2)
- 地域実装支援チームの協力を得て, **撮影候補橋梁をリストアップ中** (50橋を目標)
- 11月下旬より撮影開始 (年内は北海道, 東北). **年度内に撮影完了予定**

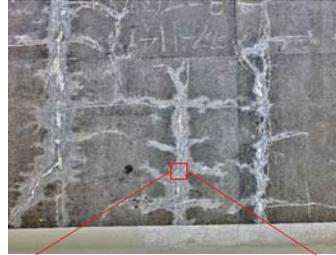
1億画素カメラ



ロボットカメラ



デモ撮影画像 (1億画素カメラ)

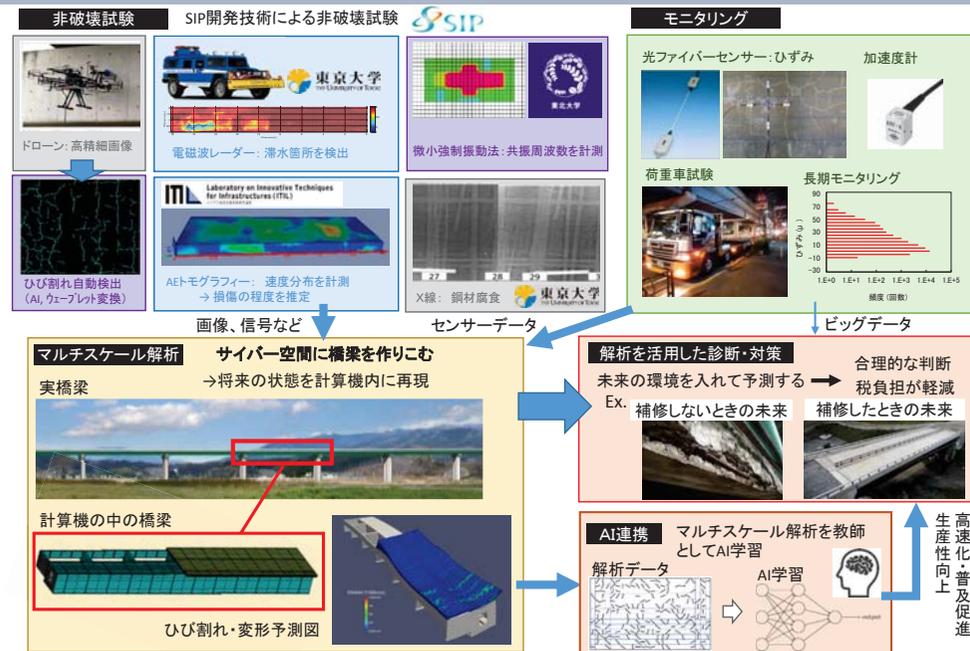


0.2mmのひび割れ

撮影候補橋梁の例



ご清聴、ありがとうございました。



ASR, 塩害が発生した PC桁の載荷試験と各種劣化診断

金沢大学 理工研究域 環境デザイン学系
深田 宰史

塩害劣化させたPC試験桁

No.	種別・場所	C	FA	W	Cl供給箇所	S	G		
4	塩害 新宮橋 L=6.1m	早強 H	---	---	Clなし	庄川産 川砂	庄川産 砕石		
5			15%	---	---				
6	塩害 金沢工業大学 L=9.6m	早強 H	---	NaCl	Cl量 15.0kg/m ³	両端部に各2m 中央4m	庄川産 川砂	庄川産 砕石	
7			---	---	---	---			
8			---	---	Clなし	---			---
9			---	NaCl	Cl量 15.0kg/m ³	両端部に各2m 中央に4m			---
10			---	---	---	---			---
11			15%	---	---	---			---
12	---	---	---	Clなし	桁端へ暴露中に 浸透させる	---	---		
13	---	---	---	---	---	---	---		

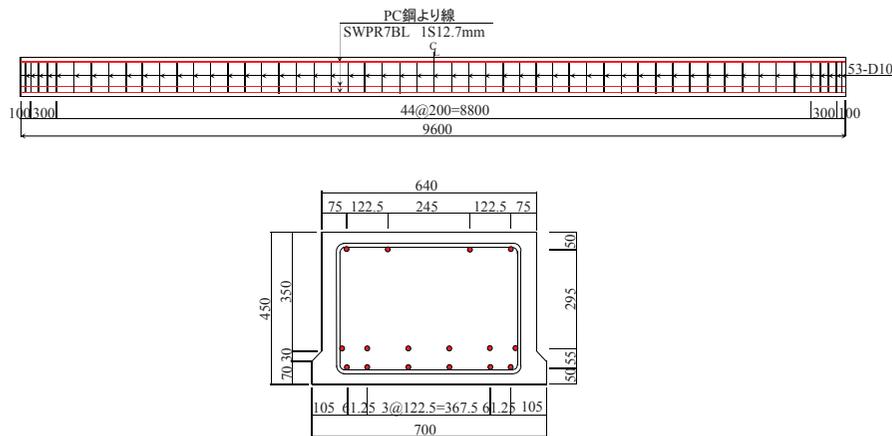
金沢工大での暴露状況(塩害桁)



実環境での暴露状況
新宮橋(羽咋, CFRPより線使用)横に暴露



PC桁試験体



- ・断面: W640/700mm × H450mm × 桁長9600mm
- ・PC鋼材: 1S12.7を上縁側4本, 下縁側12本配置
- ・スターラップ: SD295A-D10を200mm間隔で配置

ASR劣化させたPC試験桁

No.	C	FA	W	S	G	
1	早強 H	---	NaCl	常願寺川産 川砂	常願寺川産 川砂利	
2		---				等価アルカリ量 10kg/m ³ (追加)
3		15%				等価アルカリ量 13kg/m ³ (追加)

金沢大での暴露状況(ASR桁)



ASRが発生したPC・JIS桁の耐荷性と フライアッシュによる抑制効果

研究目的

- 反応性骨材を使用した実物大のPC桁にフライアッシュ混入の有無による耐荷力を検討した事例【なし】
- ASR劣化したPC桁からコアを多数採取して、採取位置による力学的性質を報告した事例【少ない】



- フライアッシュ混入が反応性骨材を使用したPC桁の劣化性状および耐荷力に及ぼす影響
⇒実物大のPC・JIS桁の暴露試験および曲げ荷重試験
- PC桁に対するコアによるASR劣化度診断
⇒内部コンクリートの力学的性質およびひび割れ状況の把握



実際にASRが発生した橋梁の補修・架け替えの判断材料を得ること

研究背景

●ASR抑制対策

JIS A 5308「ASR抑制効果が確認された混合セメントの使用」
(フライアッシュ, 高炉スラグ, シリカフュームなどを一定の置換率以上で使用する)



フライアッシュ

最も効果的なASR抑制対策であるが、プレテンション桁などでは、初期強度が必要であり、混合セメントの使用は容易ではないとされてきた。

北陸地方・・・高品質なフライアッシュ(分級フライアッシュ)の安定供給が可能に

- ✓ **地産地消**・・・北陸地方の石炭火力発電所で産出されたフライアッシュを、北陸地方で用いる(製鉄所はないため)
- ✓ **環境負荷低減**・・・産業副産物である石炭灰の有効利用

●新設構造物

PC橋梁などで積極的にフライアッシュが活用されている

●実際にASRが発生した橋梁

【課題】補修・架け替えの判断基準が明確でない

実験概要：使用材料および配合

●セメントおよび混和材

- ・早強ポルトランドセメント(密度:3.14g/cm³, ブレーン値:4510cm²/g)
- ・分級フライアッシュ(密度:2.43g/cm³, ブレーン値:4500cm²/g)

●骨材

- ・富山県常願寺川産の川砂および川砂利(反応性骨材)

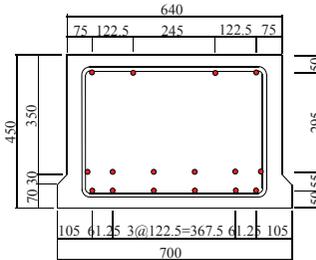
●配合

- H ... 早強ポルトランドセメント単味
- FA ... 早強ポルトランドセメント+分級フライアッシュ

試験体	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						SP (B × %)	AE (B × %)
			W	B		S	G	NaCl		
				C	FA					
H	38.7	46.3	150	388	—	822	955	25.5	1.00	0.006
FA	34.8	44.6	150	366	65	770	955	25.5	1.20	0.02

添加アルカリ: 等価Na₂O量で13kg/m³になるようにNaClを添加
(骨材のASR膨張を早期に発生させるため)

実験概要:PC桁試験体



●設計条件

- ・断面: W640/700mm × H450mm × 桁長9600mm
- ・PC鋼材: 1S12.7を上縁側4本, 下縁側12本配置
- ・スターラップ: SD295A-D10を200mm間隔で配置

●養生・暴露条件

- ・打設後に蒸気養生(温度50℃)を実施
- ・14時間経過後にプレテンション方式でプレストレスを導入(導入直後のPC鋼材の応力: 1271N/mm²)
- ・1週間屋内で湿潤養生をした後、金沢大学構内で1年半屋外暴露

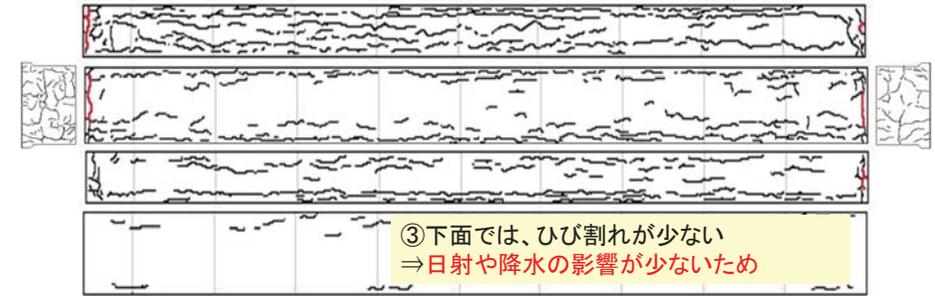
H試験体のひび割れ状況



●ひび割れの進展状況

- ・暴露数週間で端部に微細なひび割れ発生
- 暴露期間とともに長さ、本数が増加

黒線: ひび割れ幅0.3~0.8mm
赤線: ひび割れ幅0.8mm以上



③ 下面では、ひび割れが少ない
⇒日射や降水の影響が少ないため

ひび割れの特徴

- ① PC鋼材に沿った橋軸方向のASRによるひび割れ
- ② 亀甲状および軸直角方向のASRによるひび割れ
⇒PC鋼材の付着伝達長の影響により桁端部ではプレストレスが導入されていないため

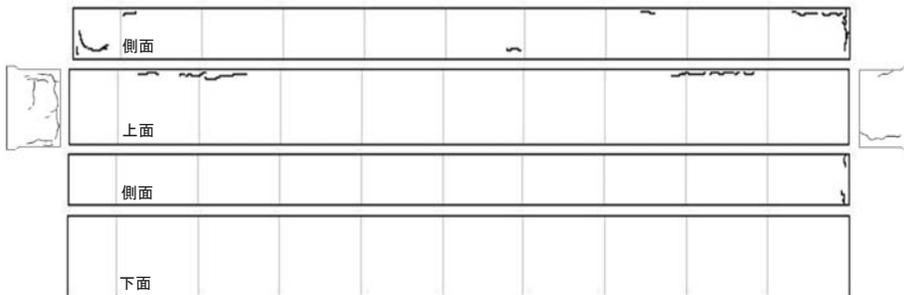
FA試験体のひび割れ状況



●ひび割れの進展状況

- ・二夏目に軽微なひび割れを確認

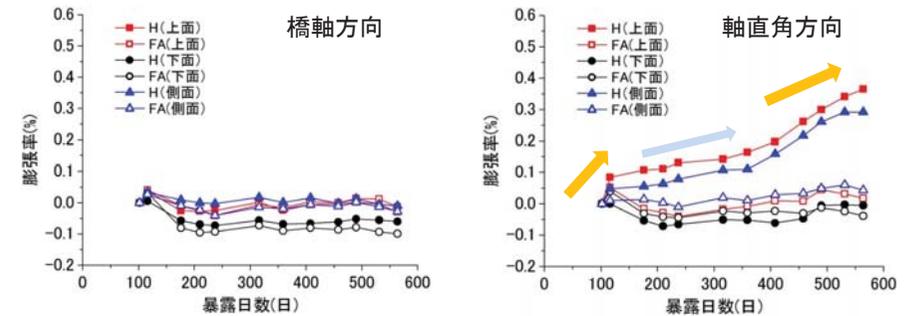
黒線: ひび割れ幅0.3~0.8mm
赤線: ひび割れ幅0.8mm以上



ひび割れの特徴

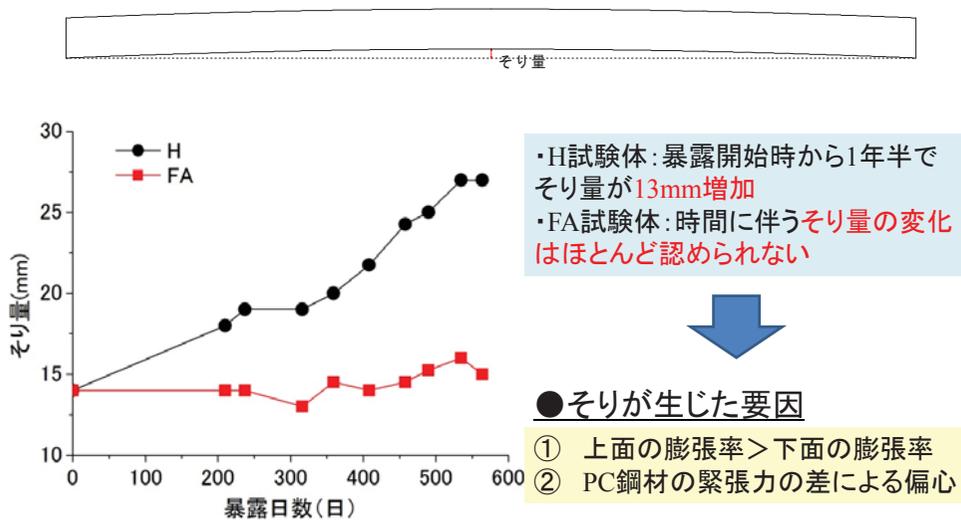
- ① 上面および側面の一部の橋軸方向のひび割れ
⇒H試験体と比較して、ひび割れが非常に少なく、フライアッシュ混入によるひび割れ抑制効果を確認

PC桁試験体の膨張率



- ・膨張率: 上面 > 側面 > 下面
⇒上面が最も日射、水分供給を受けやすくASR促進
: 軸直角方向 > 橋軸方向
⇒橋軸方向の膨張がPC鋼材の拘束の影響で抑制されたため
⇒PC鋼材に沿ったひび割れ
- ・FA試験体ではすべての部位で膨張が大きく低減され、ASRの抑制効果が確認された

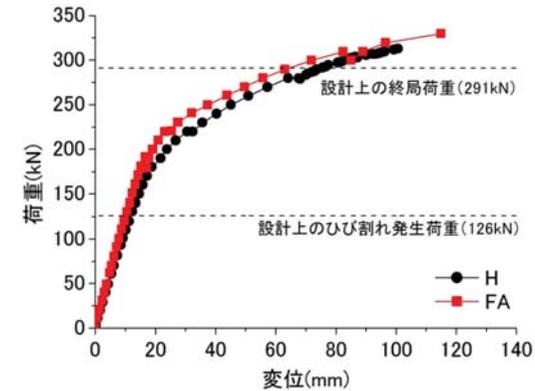
PC桁試験体のそり量



●そりが生じた要因

- ① 上面の膨張率 > 下面の膨張率
- ② PC鋼材の緊張力の差による偏心

曲げ載荷試験(荷重-変位の関係)



●弾性域での曲げ剛性(50kN載荷点における傾き)

FA試験体: 12.8kN/mm

H試験体: 11.5kN/mm (約10%の違い)

●終局荷重

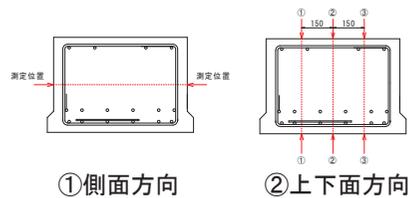
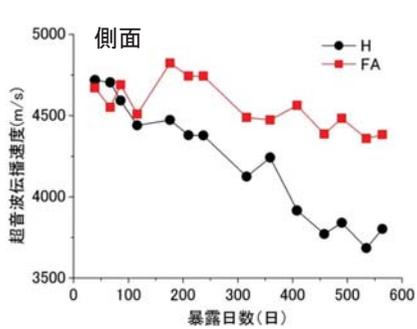
FA試験体: 330kN

H試験体: 312kN (約5%小さい) ⇒ ASRの影響で靱性が低下している

13

15

PC桁試験体の超音波伝播速度

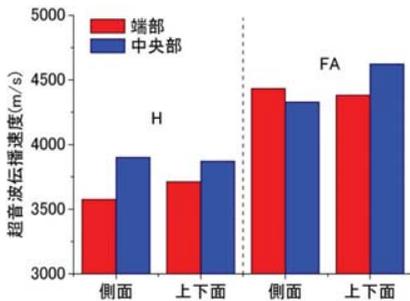


●桁側面の測定結果

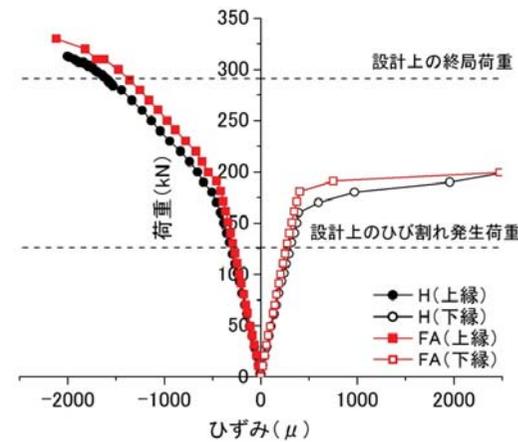
- ・H試験体: 暴露開始時から1年半で、超音波伝播速度が約20%低下
- ・FA試験体: 4500m/s程度で推移

●桁側面および上下面の測定結果

- ・一部の結果を除いて、プレストレスが導入されている桁中央部は、プレストレスが少ない端部と比較して大きい傾向があった。



曲げ載荷試験(荷重-ひずみの関係)



●初期ひび割れ発生荷重

FA試験体: 190kN > H試験体: 170kN

ひび割れ発生荷重以降
⇒H試験体の上縁側でひずみが徐々にFA試験体よりも大きくなった

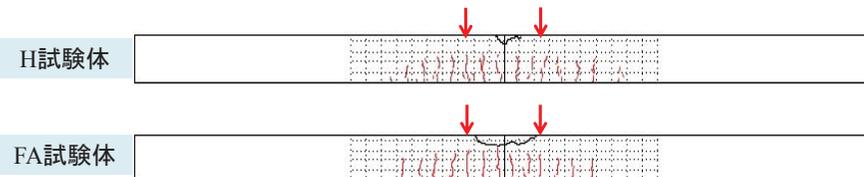
- ・H試験体, FA試験体ともに設計上のひび割れ荷重, 終局荷重を上回った。

- ・H試験体のように桁に無数のひび割れを生じても, PC鋼材の破断・腐食およびコンクリートとの付着切れがないことを確認できれば耐力に問題ない

14

16

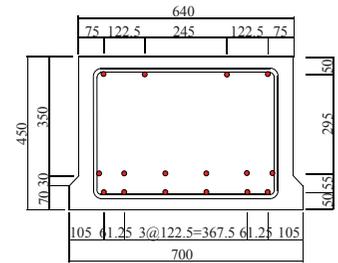
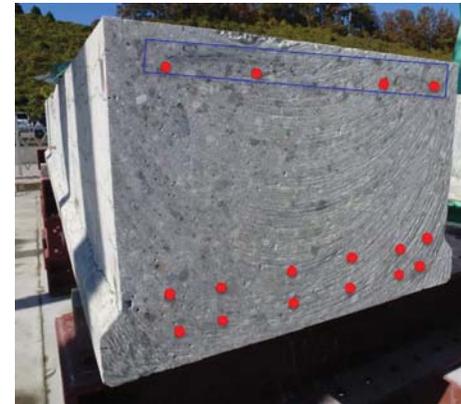
曲げ载荷試験(ひび割れ性状と破壊状況)



- 純曲げ区間(支間中央1000mm)の最大ひび割れ間隔
⇒H試験体およびFA試験体ともに230mm
- H試験体はASRによる水平ひび割れにより、载荷試験でのひび割れは**連続性が途切れたひび割れ性状**
⇒水平ひび割れの深さが浅く、曲げひび割れの進行は妨げていない

17

切断面の観察結果



- 側面や上面の橋軸方向の水平ひび割れ
 - ・幅:0.5~1.0mm程度
 - ・深さ:表面から5~20mm程度
 ⇒ひび割れはかぶり内に収まり、スターラップで囲まれた範囲でひび割れは確認できなかった。
- PC鋼材の腐食・破断状況
 - ・切断面および上縁のPC鋼材では、確認できなかった。

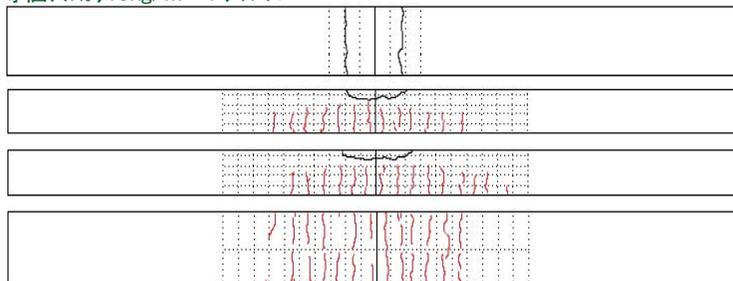
青線枠内...水平ひび割れが発生

⇒上縁側には橋軸方向にPC鋼材に沿ったひび割れが多数あるため、圧壊直前にこのひび割れが生じ、圧縮域が小さくなり、H試験体の靱性が低下したと考えられる。

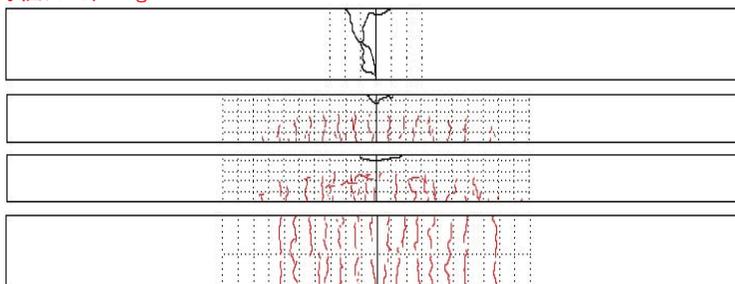
19

ひび割れ図(载荷試験後)

No.3 等価アルカリ13kg/m³ フライアッシュ15%



No.2 等価アルカリ13kg/m³



18

コアのゲルフルオレッセンス法による観察

H試験体



- ✓ 蛍光発色(黄緑色)が安山岩粒子の周囲で観察された。
⇒ASRゲルが生成

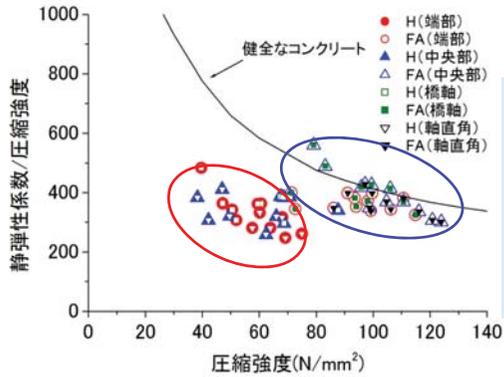
FA試験体



- ✓ 蛍光発色(黄緑色)が全く観察されなかった。

20

コアの力学的特性(1)



- コアの圧縮強度**
 - ・橋軸(プレストレス)方向 > 軸直角方向
 - ・桁中央部 > 端部
 - ・同一断面下部 > 上部
- ↓
- PC鋼材の拘束力の相違によるもの**

●コアの圧縮強度と静弾性係数/圧縮強度の関係

- ・ H試験体: 曲線から原点方向に離れた位置に分布
⇒ ASRによって発生した微細ひび割れや骨材界面の剥離の影響により、圧縮強度や静弾性係数が低下して反映されたと考えられた。
- ・ FA試験体: 健全なコンクリートを示す曲線とほぼ一致した。

塩害が発生したPC桁の載荷試験



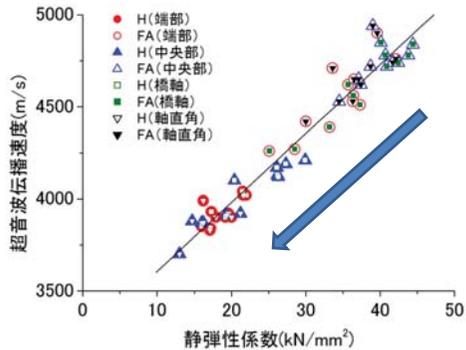
試験桁	Cl ⁻ の供給条件	劣化箇所
6	Cl ⁻ 15.0kg/m ³	両端部に各2m
7	(練混水に混入)	中央4m

金沢工大での暴露状況(塩害桁)

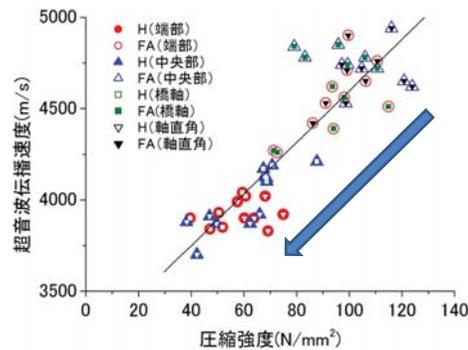
21

コアの力学的特性(2)

【静弾性係数と超音波伝播速度の関係】



【圧縮強度と超音波伝播速度の関係】



- ・ 超音波伝播速度: 現場計測が容易であるため、PC桁の健全度の確認に使用されている。
- ・ コアの圧縮強度と静弾性係数: ASRの進行に伴い直線的に低下する傾向があり、超音波伝播速度に対してほぼ同様な比例関係が認められた。

研究背景・目的

凍結防止剤散布の散布状況



季節風による塩分の飛来



凍結防止剤散布による塩害劣化



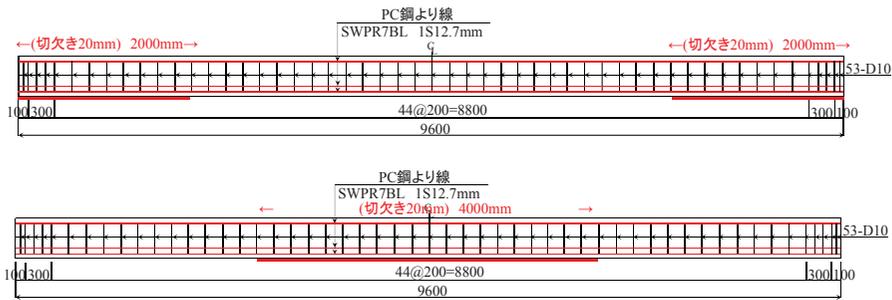
飛来塩分による塩害劣化



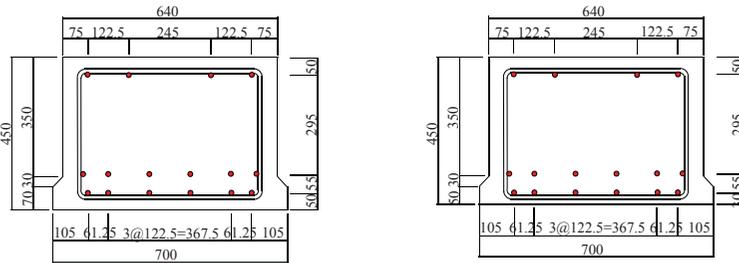
- 飛来塩分、凍結防止剤による塩害が生じた実物大PC桁の腐食状況と力学特性との関係は？
- フライアッシュ混入有無による塩害劣化させた実物大PC桁の耐荷力の違いは？

22

24



No.6: 両端部各2mにCl⁻を添加, かつ, 下縁に20mmの切欠き
 No.7: 中央部4mにCl⁻を添加, かつ, 下縁に20mmの切欠き



標準部

切り欠き部

載荷試験前の状況

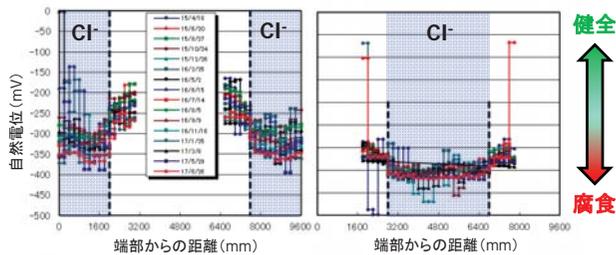


砂が反応したASRが発生していた

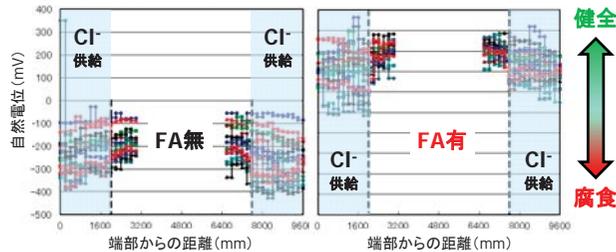


ワイヤセンサによるモニタリングの状況

内在塩分
 (15kg/m³)



外来塩分
 (両端部に塩水供給)



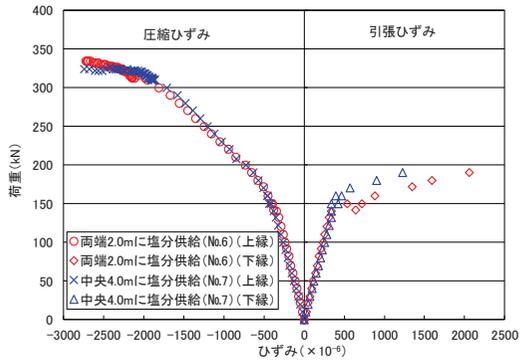
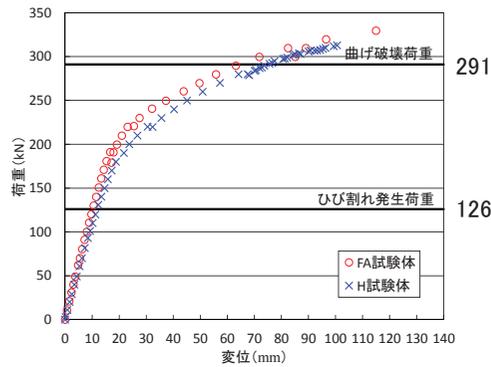
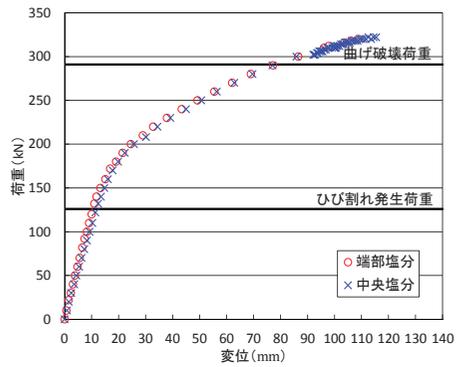
載荷試験の状況



両端2.0mに塩分供給 (No. 6)

中央4.0mに塩分供給 (No. 7)



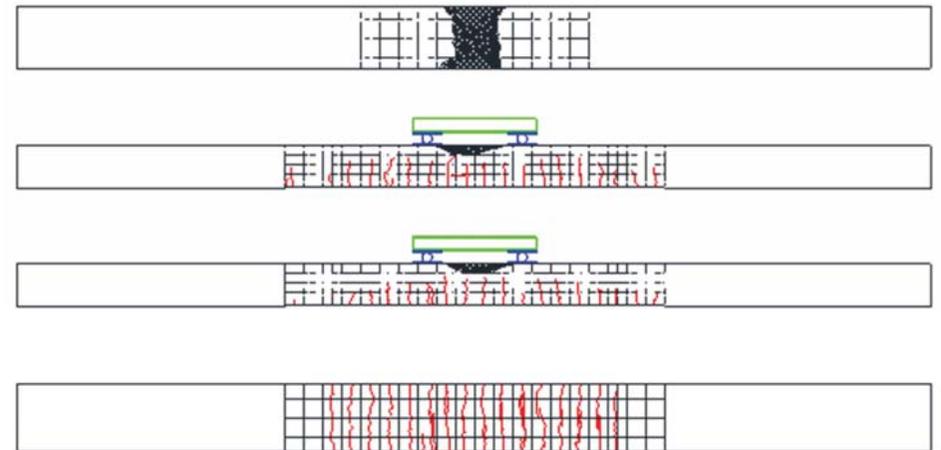


試験桁	ひび割れ発生荷重 (kN)	終局荷重 (kN)
6 (両端塩分)	140	334
7 (中央塩分)	150	324
H (ASR)	170	312
H+FA (ASR)	190	330

29

ひび割れ図(載荷試験後)

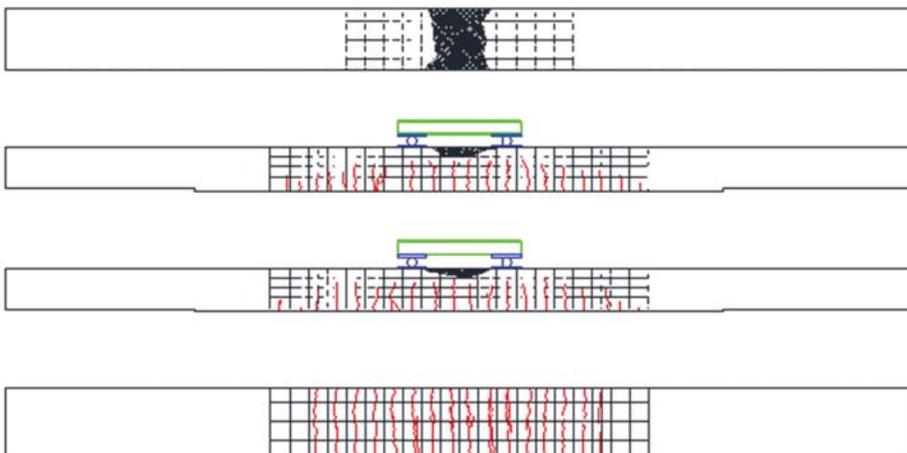
中央4.0mに塩分供給 (No. 7)



31

ひび割れ図(載荷試験後)

両端2.0mに塩分供給 (No. 6)



30

載荷試験後の状況



スターラップでわずかに錆が確認されたがPC鋼材はほとんど腐食しておらず、鋼材の断面減少は確認されなかった

32

新宮橋の暴露桁に対する載荷試験



海岸線に近接した厳しい塩害環境



新宮橋 現況 (H29.10.8)

試験目的

1988年(昭和63年)竣工

↓ 竣工後6年経過

1994年(平成6年)海側桁を対象とした曲げ載荷試験などを実施

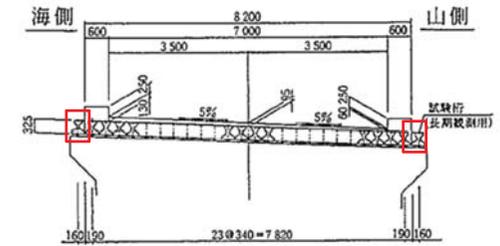
↓ 竣工後29年経過

2017年(平成29年)山側桁を対象とした曲げ載荷試験などを実施

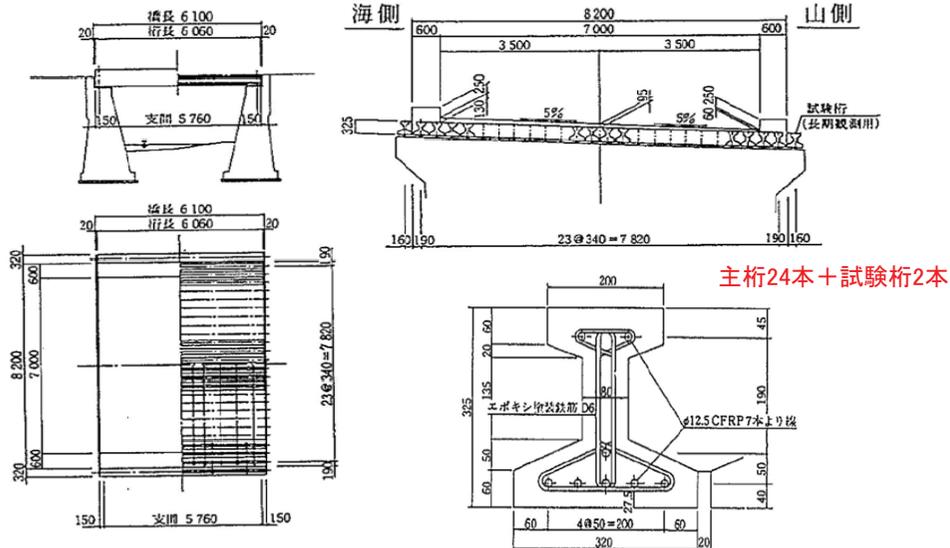
竣工後6年経過した海側桁の載荷試験, CFCC緊張材の引張試験, 化学分析と比較して...

@主桁の耐荷性に変化は?

@CFCC材料の耐久性に変化?



新宮橋



新宮橋の諸元

位置: 石川県羽咋郡志賀町鹿頭地内

路線: 主要地方道 深谷中浜線

橋長: 6100mm, 桁長: 6060mm, 支間: 5760mm,

有効幅員: 7000mm

斜角: 90°, 活荷重: TL-20(雪荷重100kgf/m²),

横断勾配: 5%

塩害対策区分: I、かぶり: 主桁27.5mm(地覆60mm)

構造形式: プレテンション方式単純床版橋(I桁)

完成: 平成元年3月(架設は, 昭和63年10月)

管理者: 石川県



新宮橋(旧橋) 撤去状況写真



37

新橋完成(H元年)と試験桁の暴露

・海側, 山側に試験桁を各1本暴露(追加仮横締め4本で一体化)



海側

山側

39

塩害対策

- ・連続繊維緊張材: **炭素繊維強化プラスチック(CFRP)**
- ・CFRP: **1×7φ12.5ケーブル(CFCC工法)**
- ・スターラップ: **エポキシ樹脂塗装鉄筋D6**

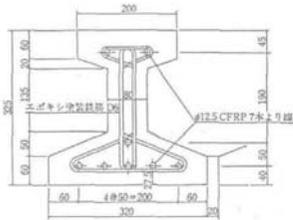
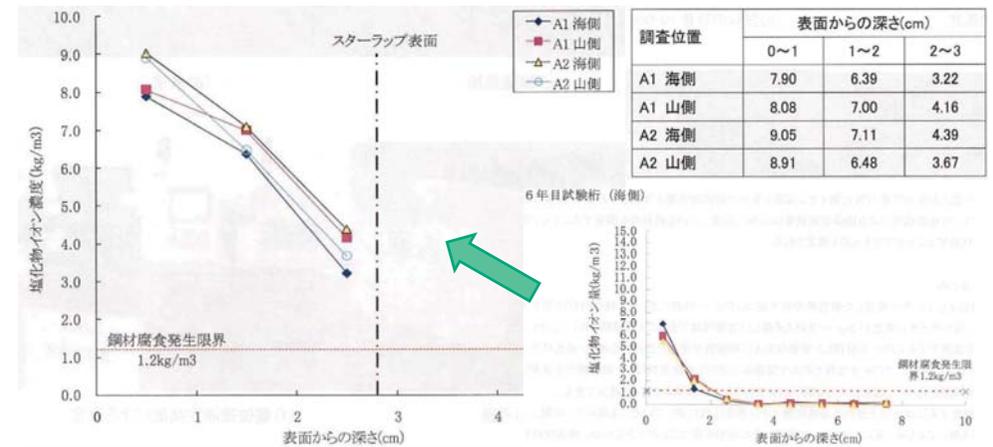


図-2 主桁断面図



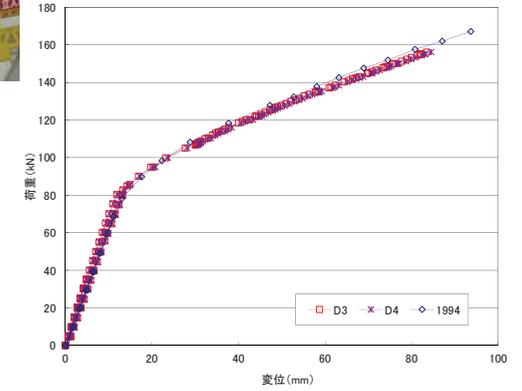
塩化物イオン濃度の分析結果(H24.4)



38

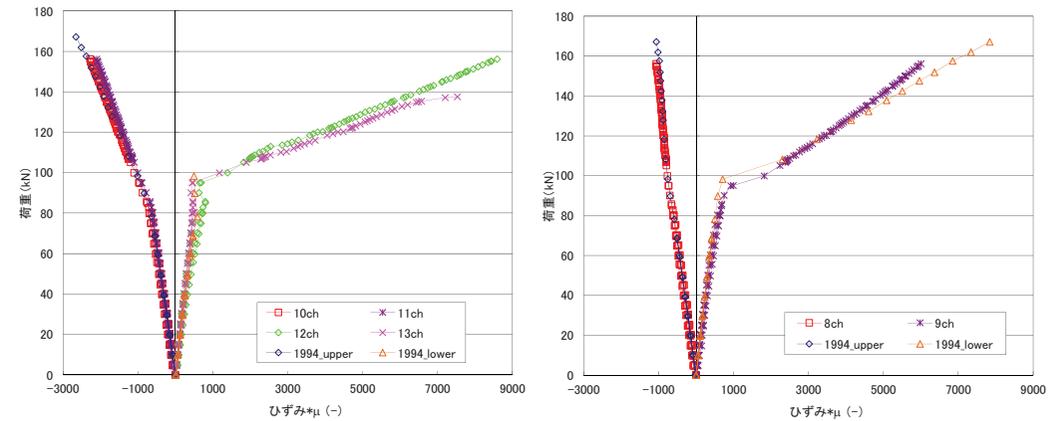
試験項目

- 残存プレストレス試験
- 曲げ破壊試験
- 伝達長試験(切断法)
- 塩分量測定試験
- CFCC緊張材の引張試験
- CFCC緊張材の化学分析試験



41

43

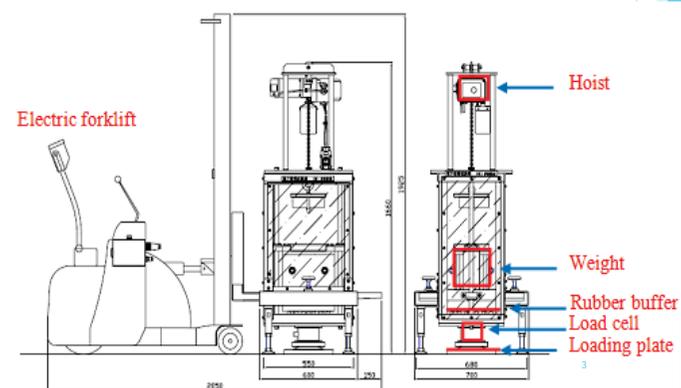


42

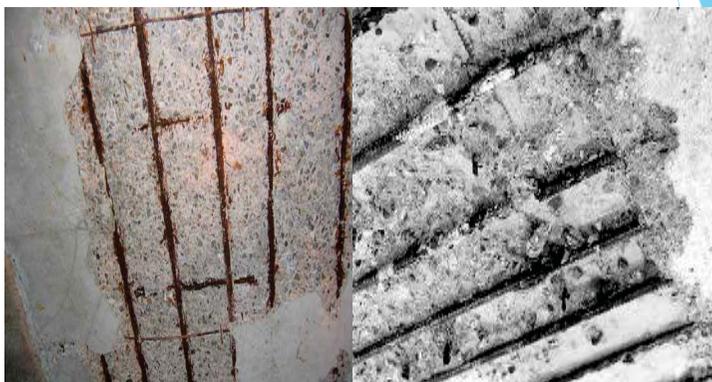
大型衝撃試験装置による RC 床版の劣化度診断

SIP (戦略的イノベーション創造プログラム)
平成 29 年度北陸 SIP 研究成果報告会
於 KKR ホテル金沢
金沢大学 柳谷

自走式衝撃加振装置 SIVE (Self-propelled Impact vibration equipment)



道路橋における床版の損傷



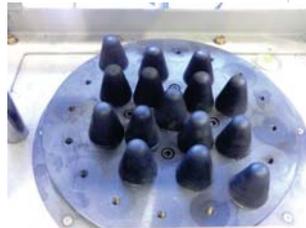
Overview of SIVE (Self-propelled Impact vibration equipment)



Arrangement of rubber cone (Type A and B)



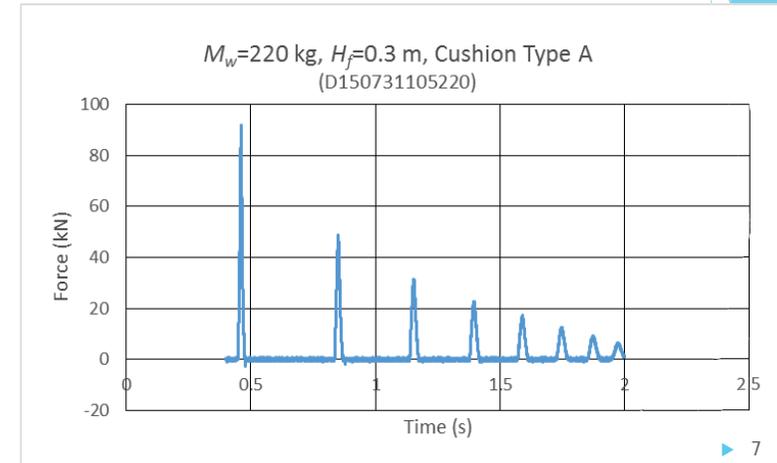
Type A
29 rubber cones are arranged



▶ Type B
▶ 15 rubber cones are arranged

5

Impact force ($M_w=220$ kg, $H_f=0.3$ m, Cushion Type A)



▶ 7

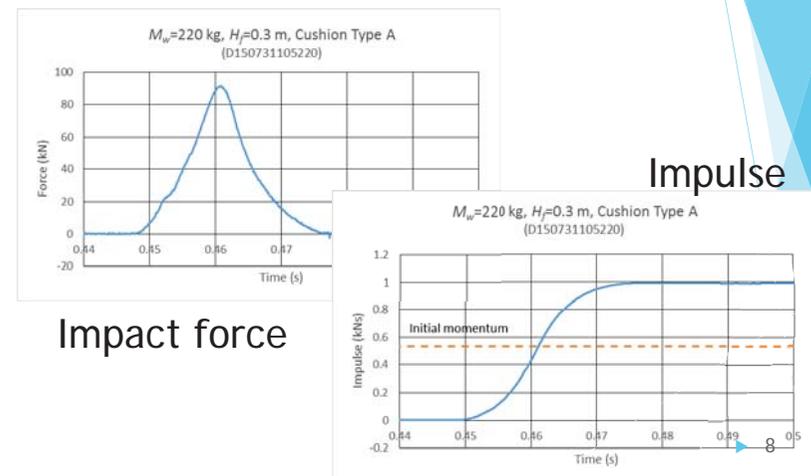
List of experiments (Type A and B)

Case	Mass of weight M_w (kg)	Falling height H_f (m)	Collision energy E_{ini} (kJ)	Momentum M_{ini} (kNs)	Cushion Type*
1	220	0.05 to 0.30	0.108 to 0.647	0.218 to 0.533	A
2	170	0.05 to 0.30	0.0834 to 0.500	0.168 to 0.412	A
3	220	0.05 to 0.30	0.108 to 0.647	0.218 to 0.533	B
4	170	0.05 to 0.30	0.0834 to 0.500	0.168 to 0.412	B

* A: 29 of rubber cone are arranged. B: 15 of rubber cone are arranged.

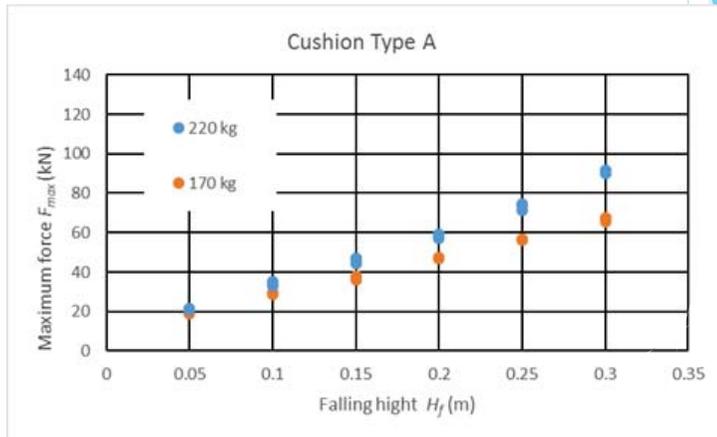
6

First impact force and impulse ($M_w=220$ kg, $H_f=0.3$ m, Cushion Type A)

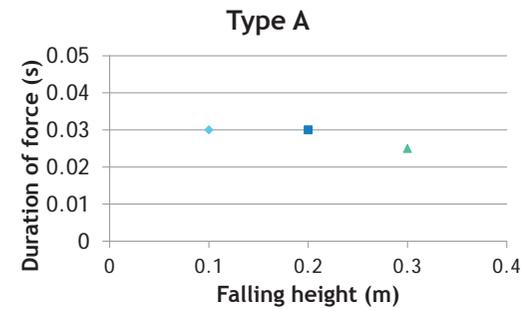


▶ 8

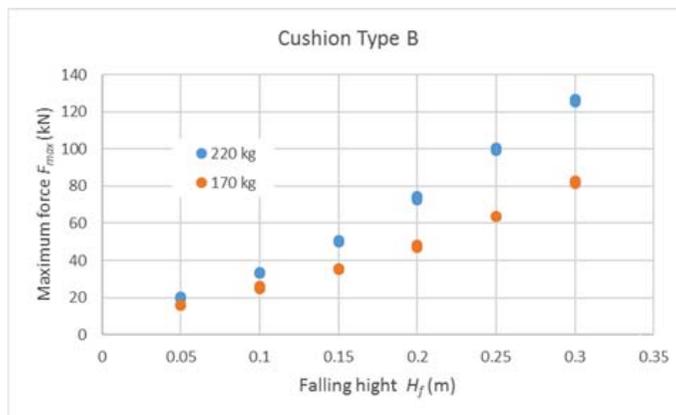
Relationship between falling height and maximum force (Type A)



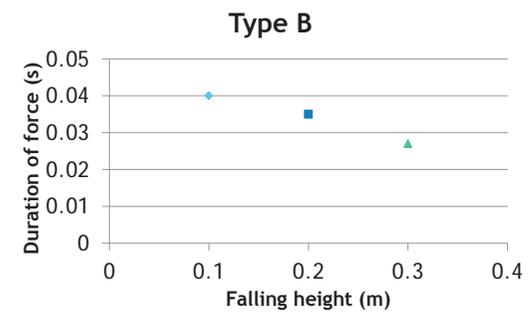
Relationship between falling height and duration of force (Type A)



Relationship between falling height and maximum force (Type B)



Relationship between falling height and duration of force (Type B)



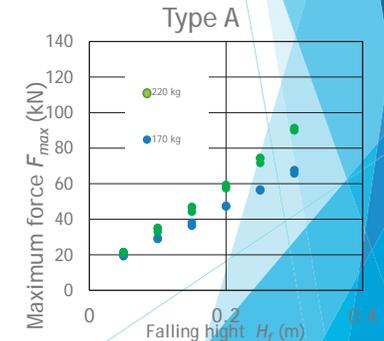
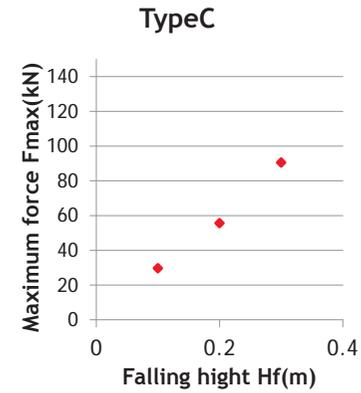
Arrangement of low rebound rubber (Type C)



- ▶ Type C
- ▶ 6 triangles rubbers are arranged

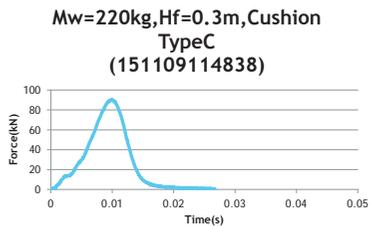
1
3

Relationship between falling height and maximum force (Type C)

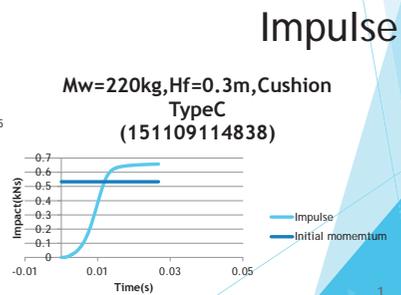


1
6

Impact force and impulse ($M_w=220$ kg, $H_f=0.3$ m, Cushion Type C)

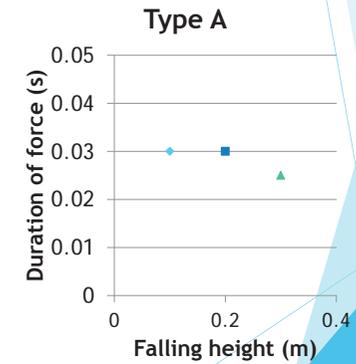
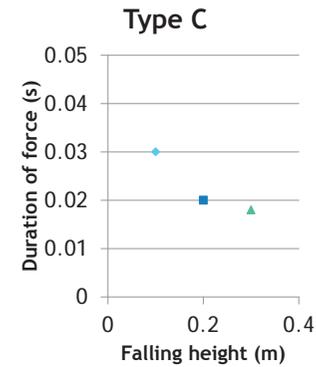


Impact force



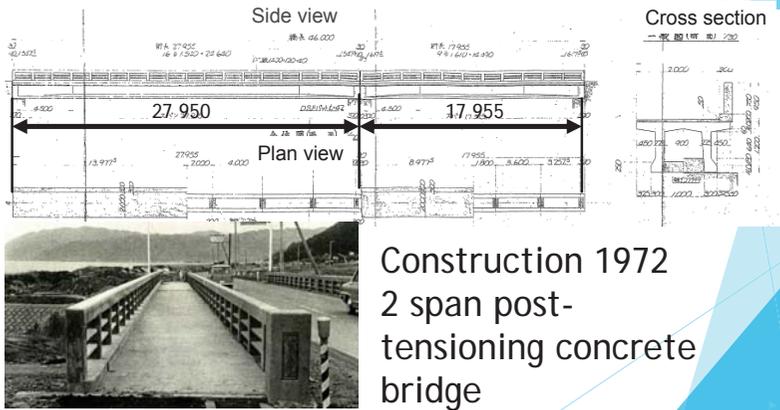
1
4

Relationship between falling height and duration of force (Type C)

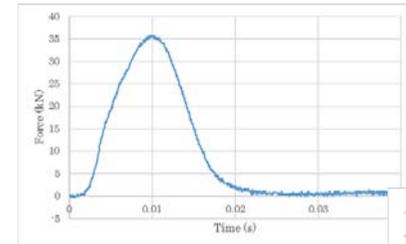


1
6

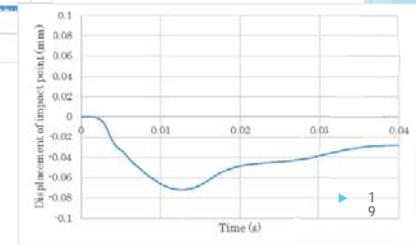
Experiment on a pedestrian bridge



An example of experiment ($M_w=220$ kg, $H_f=0.2$ m, Cushion Type C)



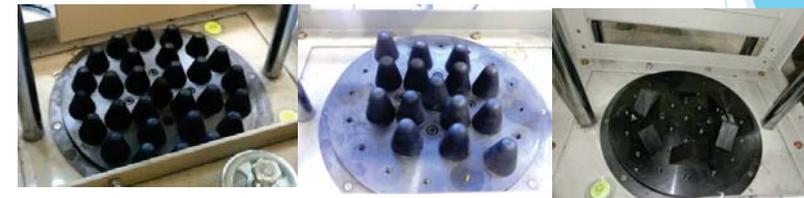
Displacement
(It was obtained by
twice integration with
respect to time of the
acceleration)



Photos of the experimental situation



緩衝ゴムの配置(Type A, B and C)



Type A
29 rubber cones are
arranged

Type B
15 rubber cones are
arranged

Type C
6 triangles rubbers
are arranged

List of experiment

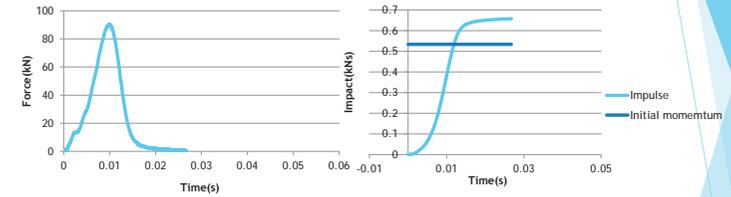
Case	Mass of weight M_w (kg)	Falling height H_f (m)	Collision energy E_{ini} (kJ)	Momentum M_{ini} (kNs)	Cushion Type
1	220	0.05 to 0.30	0.108 to 0.647	0.218 to 0.533	A
2	170	0.05 to 0.30	0.0834 to 0.500	0.168 to 0.412	A
3	220	0.05 to 0.30	0.108 to 0.647	0.218 to 0.533	B
4	170	0.05 to 0.30	0.0834 to 0.500	0.168 to 0.412	B
5	220	0.05 to 0.30	0.108 to 0.647	0.218 to 0.533	C

First impact force and impulse

($M_w=220$ kg, $H_f=0.3$ m) Type C

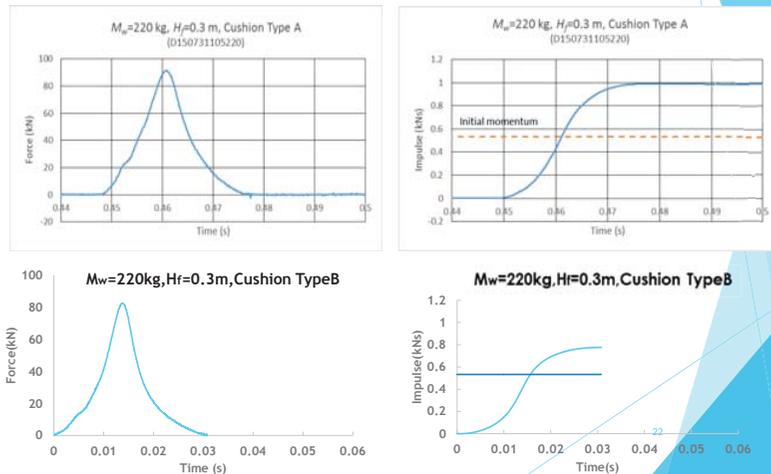
$M_w=220$ kg, $H_f=0.3$ m,
Cushion TypeC

$M_w=220$ kg, $H_f=0.3$ m,
Cushion TypeC

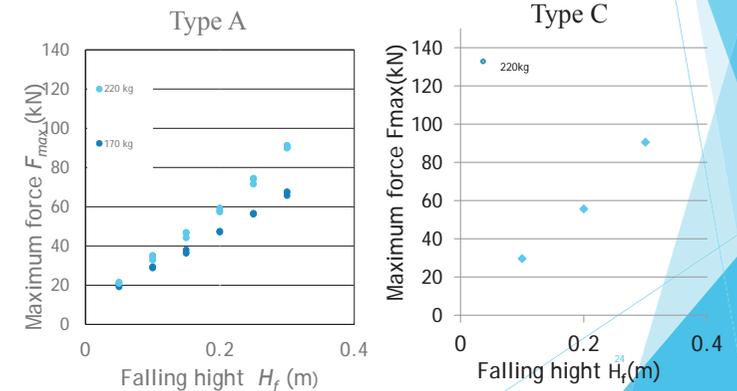


- The maximum force are aproximately 90 kN
- Duration of force is about 0.03s by cushion type A&B
- Type C the duration of force is about 0.02s

First impact force and impulse ($M_w=220$ kg, $H_f=0.3$ m) Type A & B



Relationship between falling height and maximum force



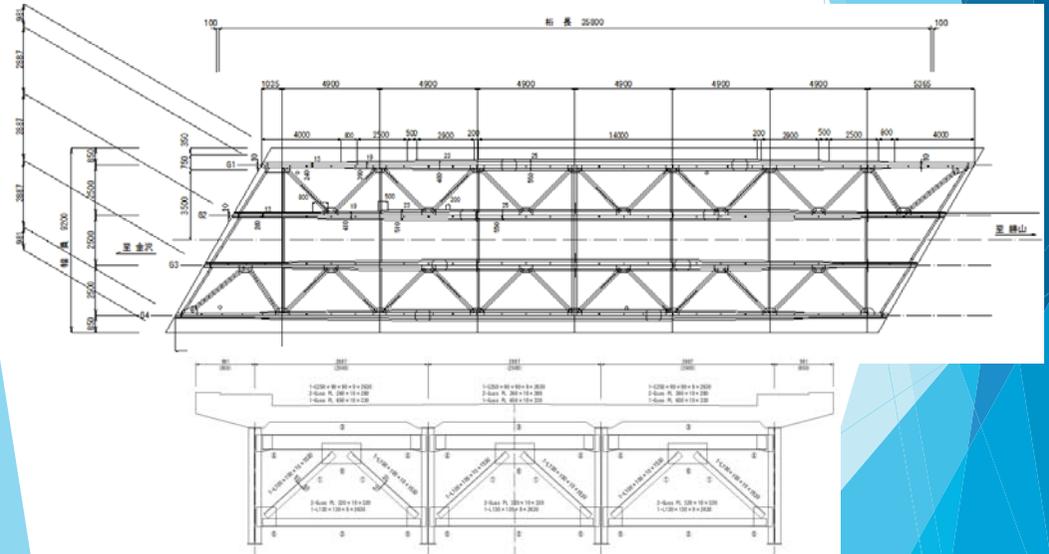
Test for the development of large-scale impact vibration equipment



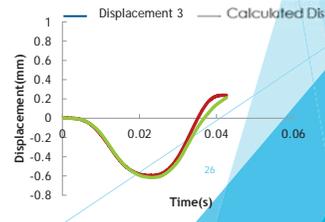
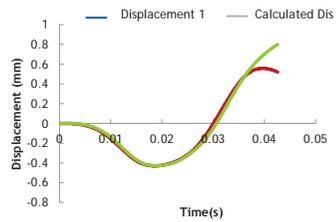
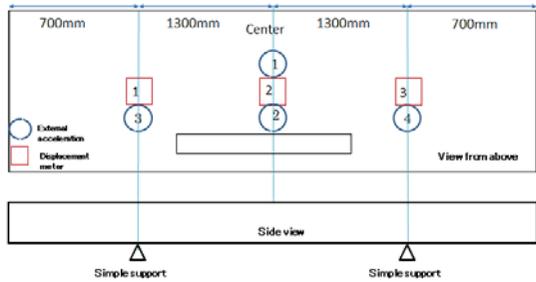
- Test for development device of vibration (accuracy external acceleration meter
- The mass of weight: 220kg
 - The falling height: 20cm

25

対象橋梁平面図・断面図（北陸地方山岳部）



An example of test



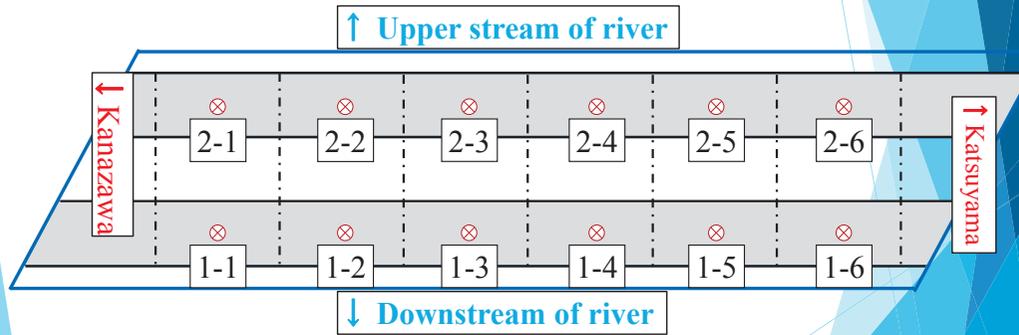
床版下面
桁端部



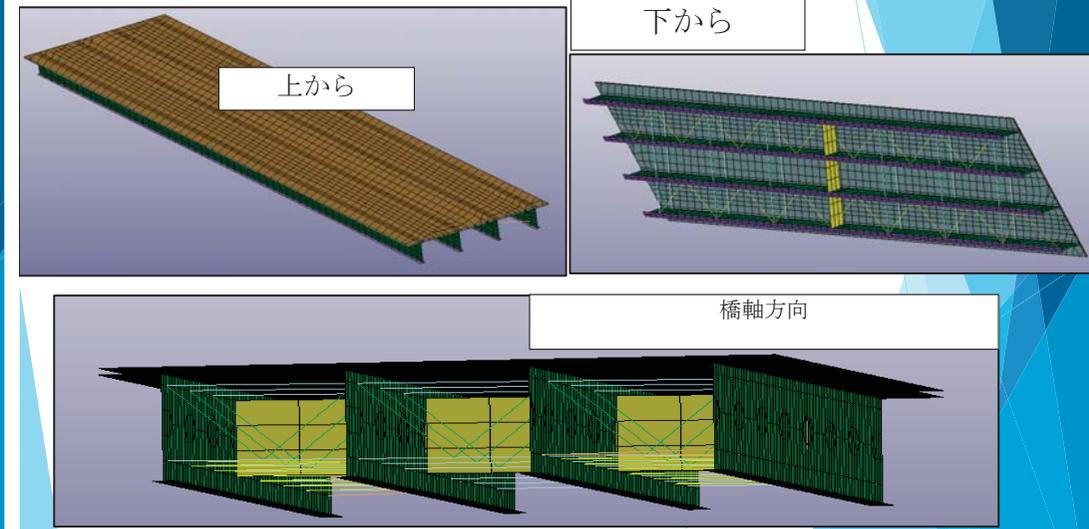
床版下 スパン
中央部



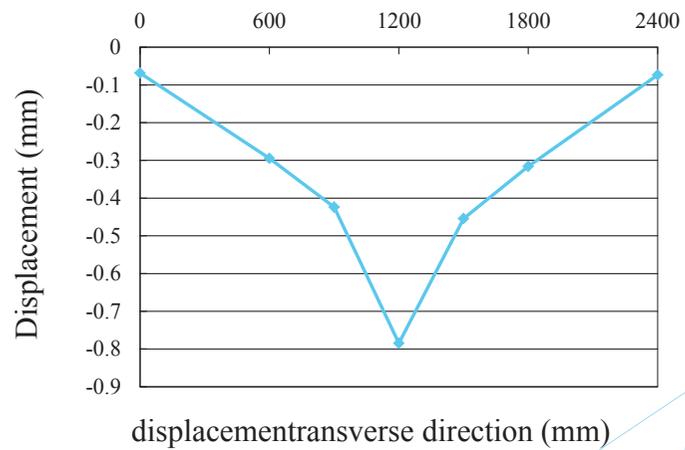
床版の衝撃载荷位置



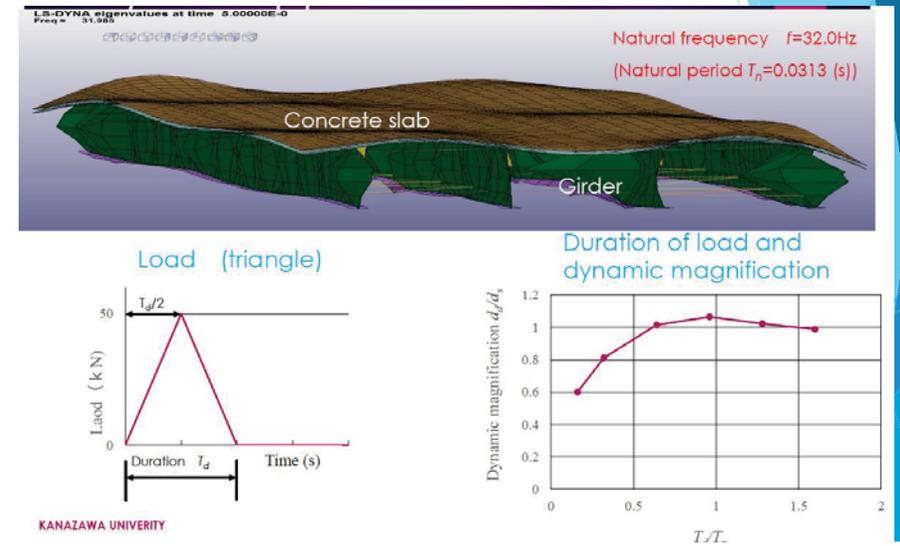
FEM解析モデル



変位分布の一例 (パネル2-3 測定1回目)



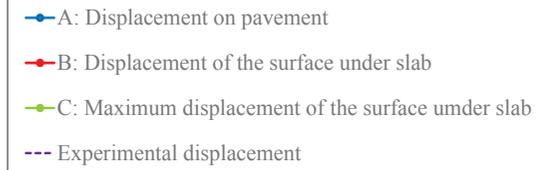
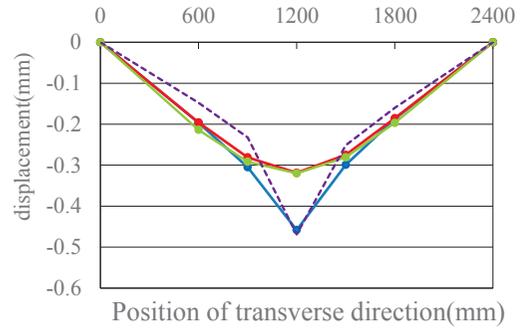
解析的アプローチ



解析結果

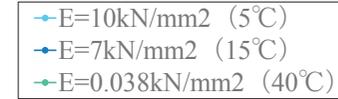
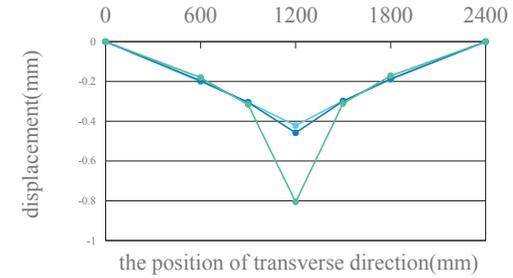
各部材における各物性値

		弾性係数(kN/mm ²)	ポアソン比
コンクリート		21.5	0.2
鋼桁・トラス		200	0.3
舗装	5°C	10	0.35
	15°C	7	
	40°C	0.938	

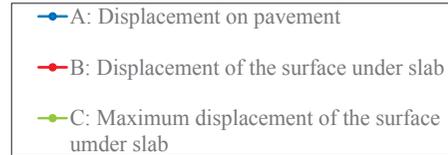
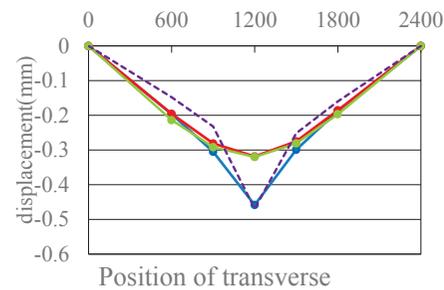
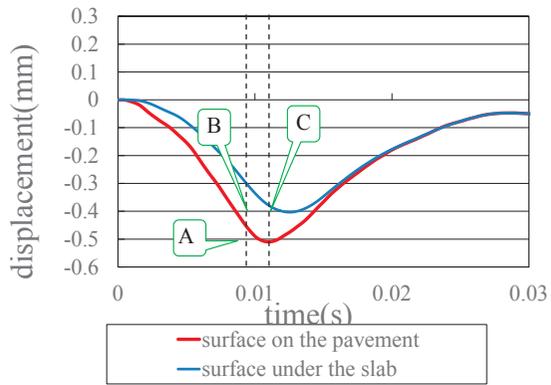


舗装, 床版における変位分布の違い

舗装の弾性係数による変位分布の違い

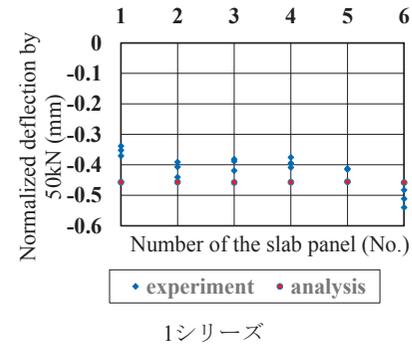


舗装面, 床版下面の荷点変位の時間変化

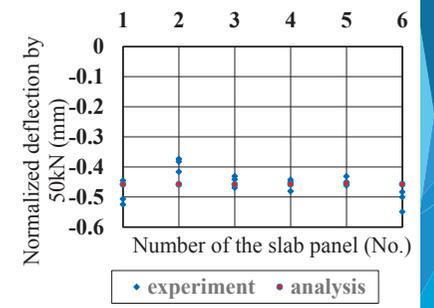


舗装, 床版における変位分布の違い

実験と解析における舗装上変位

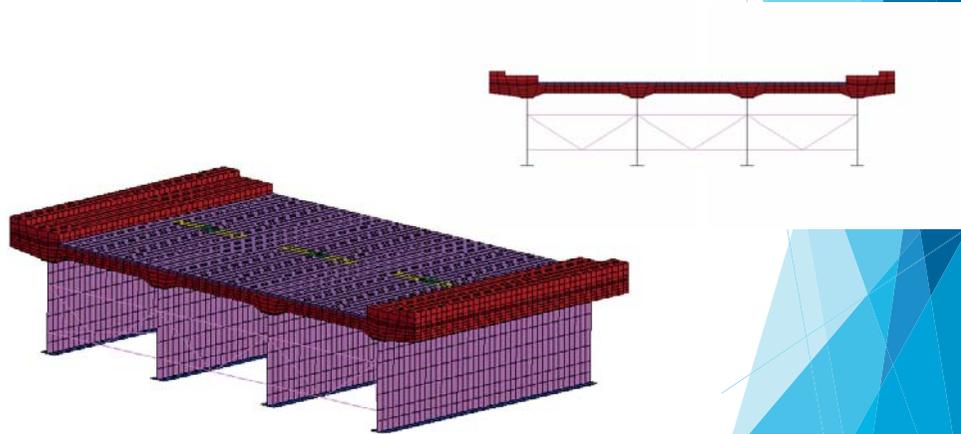


1シリーズ



2シリーズ

1パネルを対象とした解析

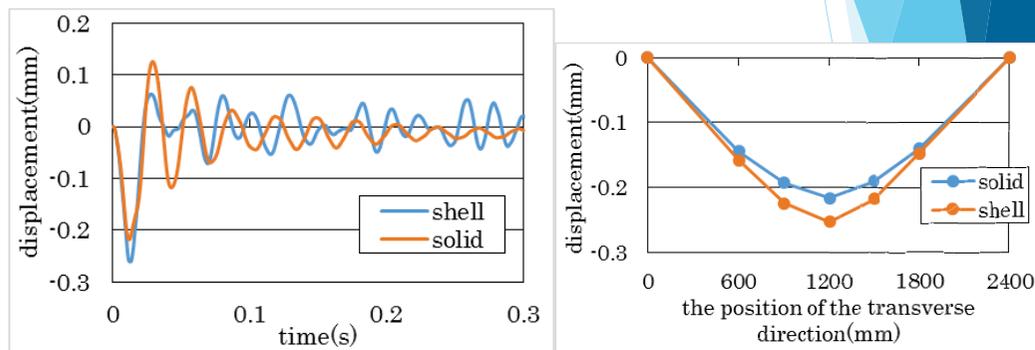


最後に

- ▶ 今後、多くの実橋梁でSIVEの実験を行い、損傷状態の診断に役立ていく予定である。

ご清聴ありがとうございました

モデルによる比較



平成29年度 北陸SIP成果報告会



流電方式電気防食の開発 と実橋への適用



金沢大学
石井 浩司

2.1 北陸地方に位置する道路橋(1)

- ・床版コンクリートのひび割れ
- ・凍結防止剤を含む路面水の浸透
- ・鉄筋腐食とコンクリートのはく離



劣化が局所的・散在
部分打換・更新 ↔ 多額の費用

1. 電気防食の種類と利点・欠点

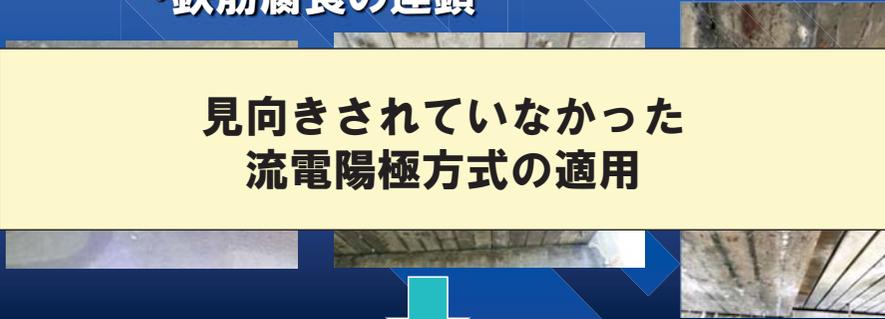
種類	外部電源方式	流電陽極方式
概念図		

割り切れれば流電陽極も捨てたものではない
でも実績が少ない

適用性	△水分	○
耐久性	○長い	△交換
維持管理	△面倒	○簡単
実績	○多い	△少ない

2.2 北陸地方に位置する道路橋(2)

- ・配力筋のズレに伴う「かぶり不足」
- ・融雪水の漏水と海水飛沫
- ・鉄筋腐食の連鎖



見向きされていなかった
流電陽極方式の適用

小さなプレテン橋梁は未対策の場合が多い
「コストパフォーマンス」「維持管理」に優れた対策

3. 流電陽極方式開発のキーワード

【効果の認識】

- ・防食基準を満足しないと、打つ手なし
- ・腐食緩和工法 → コスト縮減

【陽極材の更新】

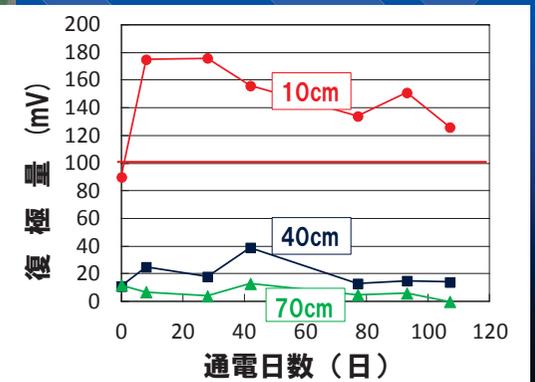
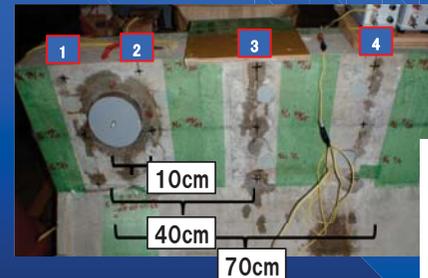
- ・流電陽極材の消耗 → 容易な取替
- ・一様に消耗しない → 小さな陽極材

【対象となる鋼材】

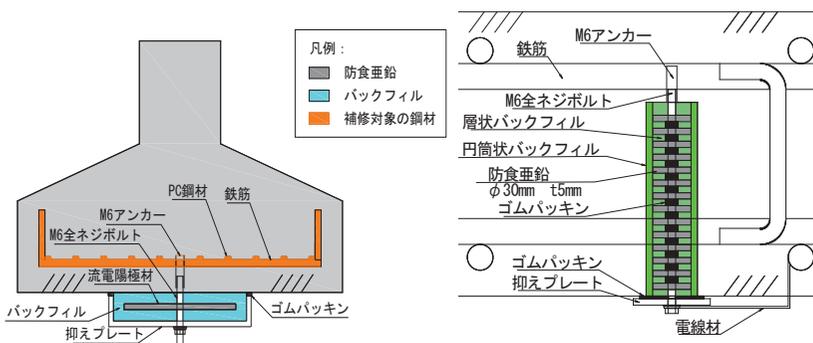
- ・多段階配置の鋼材 → 埋設型陽極材
- ・表面付近の鋼材 → 表面設置型陽極材

5.1 表面設置型流電陽極方式

— 性能試験 —



4. 開発した流電陽極方式



表面設置型

内部挿入型

5.4 表面設置型流電陽極方式

— ターゲット —



プレテン桁橋

【ピンポイント】

- ・局部的に鋼材腐食緩和

【プレテン桁橋】

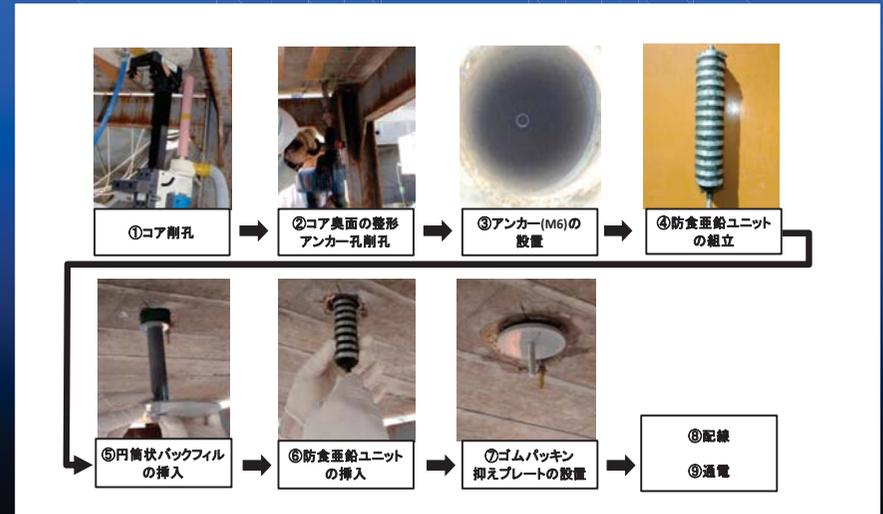
- ・従来工法だと効き目？
- ・電気防食だと重たい！

地方自治体にアピール中

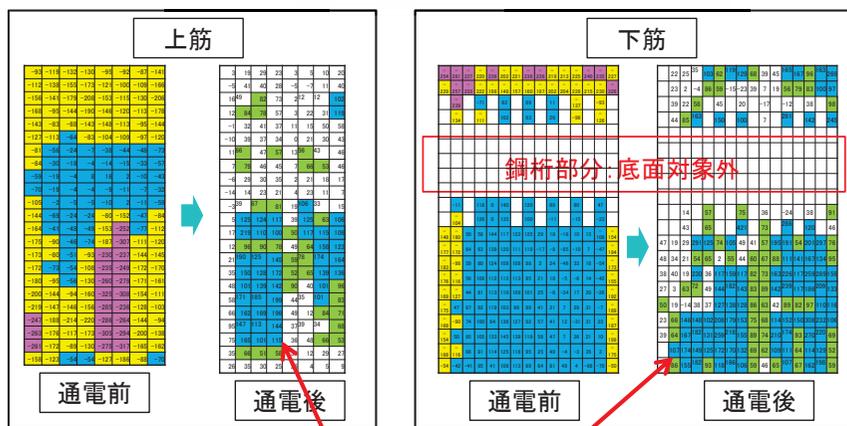
6.1 内部挿入型流電陽極方式 — 性能試験(1) —



6.3 内部挿入型流電陽極方式 — 施工方法 —



6.2 内部挿入型流電陽極方式 — 性能試験(2) —



鋼材腐食

自然電位 (E) (mV vs SSE)	鉄筋腐食の可能性
>80<E	80%以上の確率で腐食なし
-230<E≤-80	不確定
E≤-230	80%以上の確率で腐食あり

復極量

Blue	: 100mV以上
Green	: 50~100mV
Yellow	: 50mV以下

防食効果あり

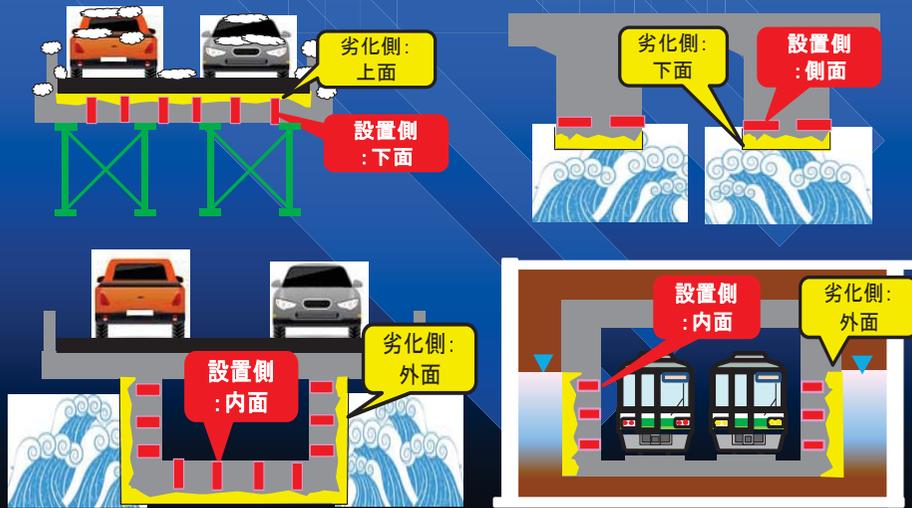
6.3 内部挿入型流電陽極方式 — 試験施工 —

施工場所 : 金沢高架橋 P34~P35
G2~G3桁間の床版 (15m²程度)
試験期間 : 2017年~2019年 (3年間)



5.4 内部挿入型流電陽極方式

— ターゲット —



ご清聴 ありがとうございました

地域実装支援の取組み

金沢工業大学 宮里心一 (WG1主査)

北陸地方の実装支援に向けた強みと弱み

- 強み**
- ✓ 複数の大学間での連携体制が整備されている。
 - 😊 特に北陸新幹線の開通により、短時間で移動できる。
 - ✓ 若手研究者が集う。
 - ✓ 離島は無く、陸地面積も狭いため、現地を調査し易い。
- 継続を期待できる。

- 弱み**
- ✓ 早期劣化が進行し始めている。
 - 😞 議会や行政の体質が古く、新たな取組みを避ける風土がある。

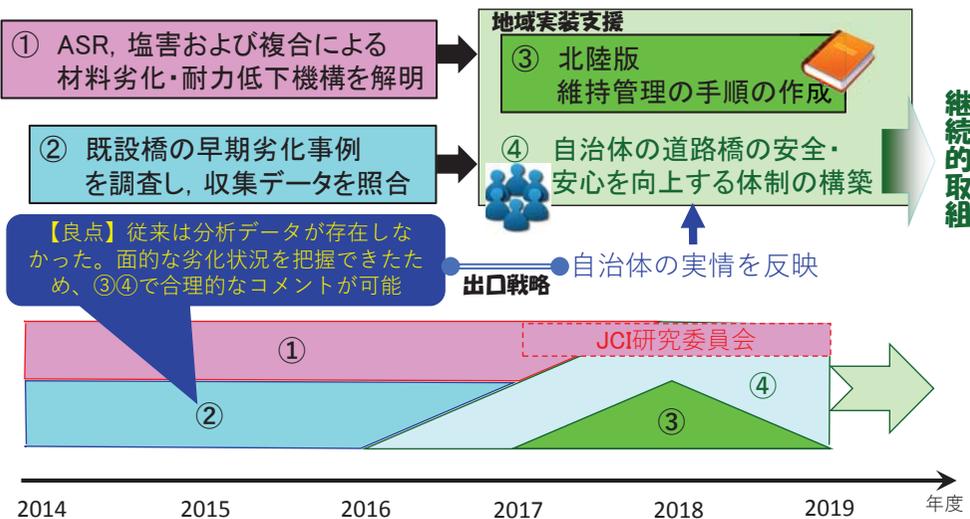
➡ 苦勞しながら、もがいている市町を先ずは支援する。

研究の目的とフロー

2/18

目的

人員不足・財源不足により、道路橋のサービス水準・安全性の低下が特に懸念される地方自治体に適応する、点検→診断→補修・補強・更新の手法を構築し、継続的に利活用される仕組みを立ち上げる。



市町へのヒアリング調査の実績

4/18

県	市町	連携	人口(人)	面積(km ²)	管理橋梁数	
新潟	糸魚川市	○	43,897	746.2	525	
	富山市	○	417,760	1,241.7	2,222	
富山	氷見市	○	48,671	230.6	360	
	朝日町	○	11,936	227.4	122	
	かほく市	○	34,293	64.4	90	
石川	輪島市	○	26,312	426.3	446	
	金沢市	×	466,183	468.6	1,388	
	能美市	○	48,934	84.1	252	
	白山市	○	109,581	754.9	369	
	内灘町	○	26,943	20.3	7	
	宝達志水町	○	12,805	111.5	132	
	野々市市	○	55,297	13.5	220	
	小松市	○	106,905	371.0	473	
	福井	越前町	○	21,021	153.2	225
		鯖江市	○	68,397	84.6	399

成功する企画

顧客へ焦点

重要

ニーズ

6枚目

アプローチの方法

8枚目~

検討の事案

費用対効果

競合や代替品

参考：SRIワークショップ

出口戦略に向けた市町からの要望 (顧客のニーズ)

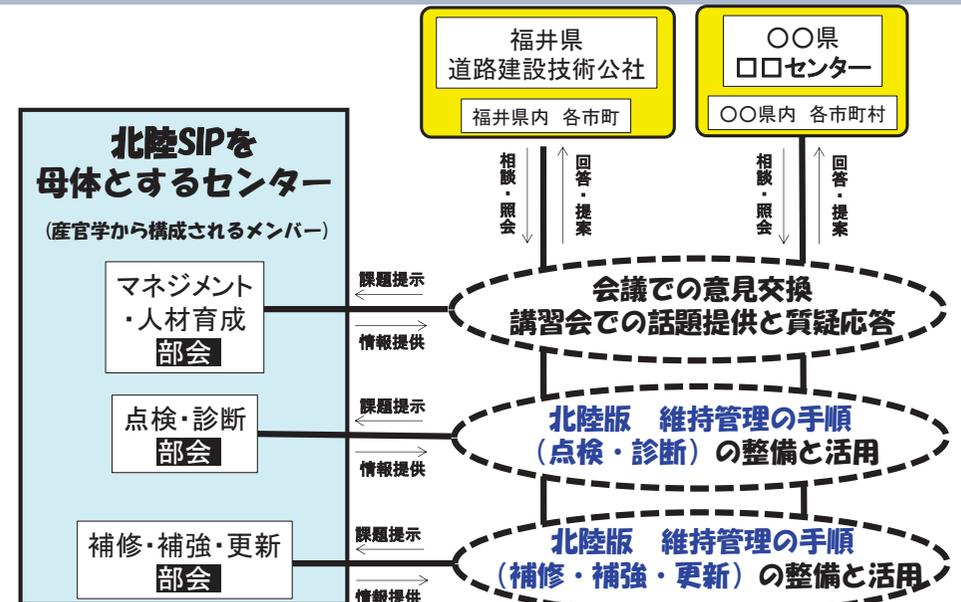
原因	課題と要望
支援体制	道路メンテナンス会議で、技術的な知見が得られない。 ⇒相談できるセンターを設立して欲しい。 体制構築
計画	道路橋DBへの登録料は高価だが、フィードバックは少ない。 ⇒維持管理の合理化に資するDBを設計・運用して欲しい。 橋梁長寿命化修繕計画の改定時に参考となるモデルを提供して欲しい。 更新も含むLCCを踏まえ、アセットマネジメントの最適化を図りたい。
点検	予防保全への移行を希望するが、現時点では計画できない。 対策しなくても現時点で安全なので、予防保全の必要性を見い出せない。 管理対象から外したくても、橋を撤去できない。 運用手順
措置	重要性や形式などを鑑みて、点検プロセスを変化させたい。⇒例えば、SIP技術を用いてスクリーニング後、部分的・重点的な近接目視点検。 点検費用を確保するため、補修費用を捻出しづらい。⇒点検で要補修と判定された場合、同時に簡易な補修設計と補修を実施したい。
風土	適切な補修方法とその効果が分からない。⇒維持管理レベルに応じた、有効な補修工法を紹介して欲しい。 田舎度が高いほど、住民や政治家は新設を重視し、既設管理を軽視する。
定義	予防保全 = 劣化が目視で確認できる前に、進行を予防する。

北陸SIP 若手連携会議

メンバー		会議		検討内容
氏名	所属	月日	場所	
伊藤 始	富山県立大学	4/11	福井	<ul style="list-style-type: none"> 市町のヒアリング調査に関する情報共有 地域実装支援体制の検討 維持管理の手順の検討
井林 康准	長岡高専	4/20	上越妙高	
久保 善司	金沢大学	6/2	金沢	
鈴木 啓悟	福井大学	6/30	金沢	
立花 潤三	富山県立大学	7/25	長岡	
花岡 大伸	金沢工業大学	10/3	金沢	
深田 宰史	金沢大学	11/14	金沢	
宮里 心一	金沢工業大学	12/19	上越妙高	
宮下 剛	長岡技科大学	1/23	未定	

46歳以下
市町にも複数名で訪問

北陸版 地域実装支援体制(案)の構築





判定や補修方法選定の会議



困ったときに有識者による助言



現場等での講習会など
人材育成事業の展開



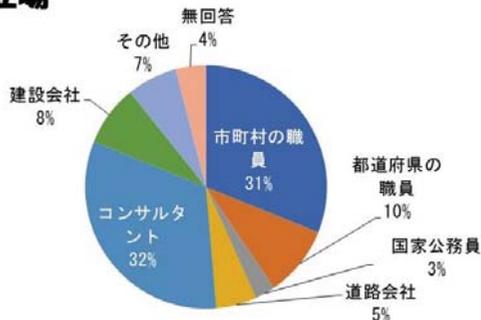
技術展示会などの展開

11/6の技術展示会の報告

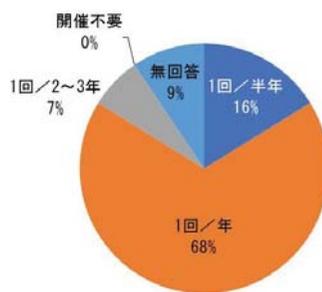
会場	時刻	参加人数
金沢工業大学	10~12時	139名
富山市民プラザ	15~17時	86名

対象	展示数		
	他のSIP	北陸SIP関連	SIP以外
点検	5	4.5	2
補修	0	1.5	5

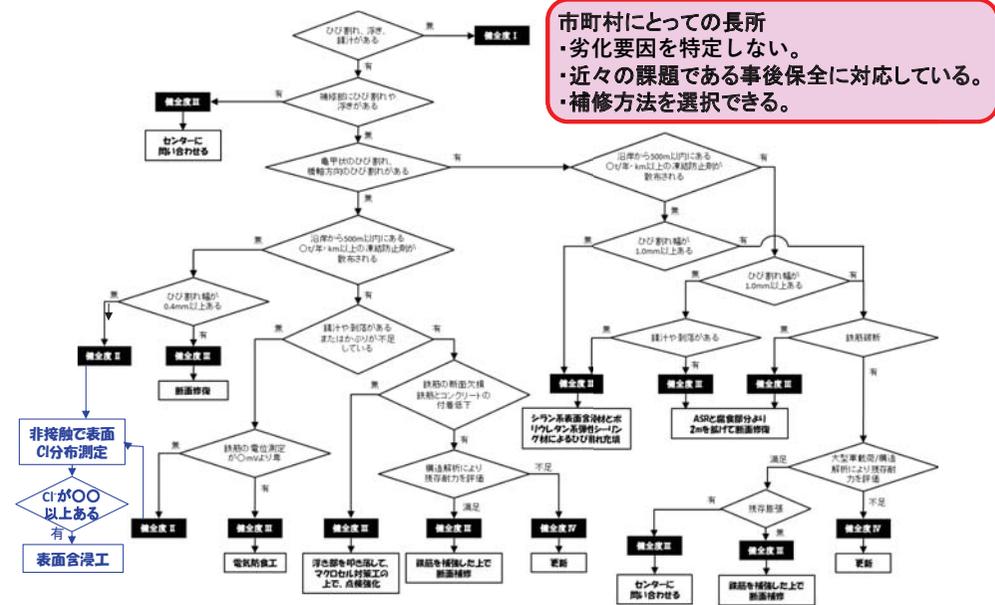
立場



開催頻度の希望



北陸版 コンクリート製道路橋の維持管理の手順例(グループB-S)(案)



SIP成果の地域実装支援体制および手順への反映

- 新WG(3-1) 石川県橋梁維持管理計画実装
- 新WG(3-2) 早期劣化対応型の市町橋梁維持管理計画実装
- 新WG(4) 全体統括および地域実装支援

北陸SIPを母体とするセンター

マネジメント・人材育成

産学官連携による北陸 道路メンテナンス会議
整備局と連携した北陸版インフラメンテナンス国民会議
講習会などの人材育成
(コンクリート診断士会等との連携による人材育成)

- 新WG(2-1) モニタリング
- 新WG(1-1) 塩害
- 新WG(1-2) ASR
- 新WG(2-2) 床版診断・補修・更新
- 新WG(2-3) 補修工法

点検・診断

北陸版 維持管理の手順(点検・診断)
(塩害・ASRなど早期劣化対応)

補修・補強・更新

北陸版 維持管理の手順(補修・補強・更新)
(FAコンクリート標準使用、
補修材料の選定方法、
LCCの考え方など)

これらの成果は先ほどの発表で

市町の身の丈に応じたアプローチ

1. 橋梁の維持管理レベルを設定する。
グループング
2. 点検→診断→補修・補強・更新 の手順を合理化する。
タブレットを用いた点検
グループ別の点検・診断・補修補強更新の接続化
3. 道路管理者が導入しない仕様を設ける。

判定区分に応じたグループ別の保全方法

判定区分	グループA		グループB		グループC	
	A-S	A	B-S	B	C-S	C
良 ↑ II ↓ III	I 部分的な 予防保全					
	II 小規模補修	部分的な 予防保全	部分的な 予防保全			
	III 簡易補修後に 大規模補修	簡易補修後に 大規模補修	詳細調査 必要に応じて 簡易補修後に 大規模補修	小規模補修	点検強化 通行規制	点検強化
悪 IV	更新	更新	更新	更新	更新	更新

予防保全 = 顕在化する前に劣化進行の予防。例えば、表面含浸工法など。

グループ	内容	維持管理レベル
A	緊急輸送道路の橋梁 跨道橋、跨線橋 橋長15m以上の橋梁	高
B	上記以外で、例えば橋長5~15mの橋梁	少し高
C	上記以外で、例えば橋長5m未満の橋梁 50年以上に亘り健全な橋梁 過疎地域で今後廃止の可能性がある橋梁 ボックスカルバート	中
S	塩害やASRによる劣化が懸念される橋梁	特に高い

市町の身の丈に応じたアプローチ

1. 橋梁の維持管理レベルを設定する。
グループング
2. 点検→診断→補修・補強・更新 の手順を合理化する。
タブレットを用いた点検
グループ別の点検・診断・補修補強更新の接続化
3. 道路管理者が導入しない仕様を設ける。

タブレットを用いた点検

新潟県で実用され始めているタブレットやスマホを基盤とし、北陸版の点検手順に沿った運用方法へ改良する。

特長

- 前回のひび割れ等の劣化・損傷のデータを見ながらチェックできる。
- 誤った点検や見落とし易い劣化・損傷を分析し、点検者へ注目箇所や注意点を知らされる。
- 地元の長岡高専の井林准教授が開発しているため、使用者の要望に迅速に対応できる。
- 持ち運び可能なため、災害後の初動検査に活用できる。



北陸版 維持管理の手順の策定コンセプト

市町の身の丈に応じたアプローチ

1. 橋梁の維持管理レベルを設定する。
グループピング
2. 点検→診断→補修・補強・更新 の手順を合理化する。
タブレットを用いた点検
グループ別の点検・診断・補修補強更新の接続化
3. 道路管理者が導入しない仕様を設ける。
失敗の予防
 - ➡ 目的を満足しない工法の排除
 - ➡ 補修後の再劣化の防止