

自動点検・補修技術開発コンソーシアム概要

2021年1月

本州四国連絡高速道路株式会社



塗替塗装 コストの負担

- 長大橋維持管理の約50%を占める塗替塗装コストの負担大

長大橋の課題

- 長スパンで複雑な構造（トラス）によるアクセス制限、海上橋梁であることによる落下対策の必要性・故障時の対応等、長大橋ならではの課題

単一技術 の限界

- 構造物内部の変状確認、一貫した状態把握・診断、高度な劣化予測、適切な補修方法・時期の選定など、多種多様なニーズへの対応

革新的技術の統合による「自動点検・補修技術」の開発の必要性

- ・ 少子高齢化に伴う専門技術者不足に対応
- ・ オープンイノベーションを実現しインフラDXを推進



コンソーシアムの設立・目的

「自動点検・補修技術開発コンソーシアム」の設立

設立の目的

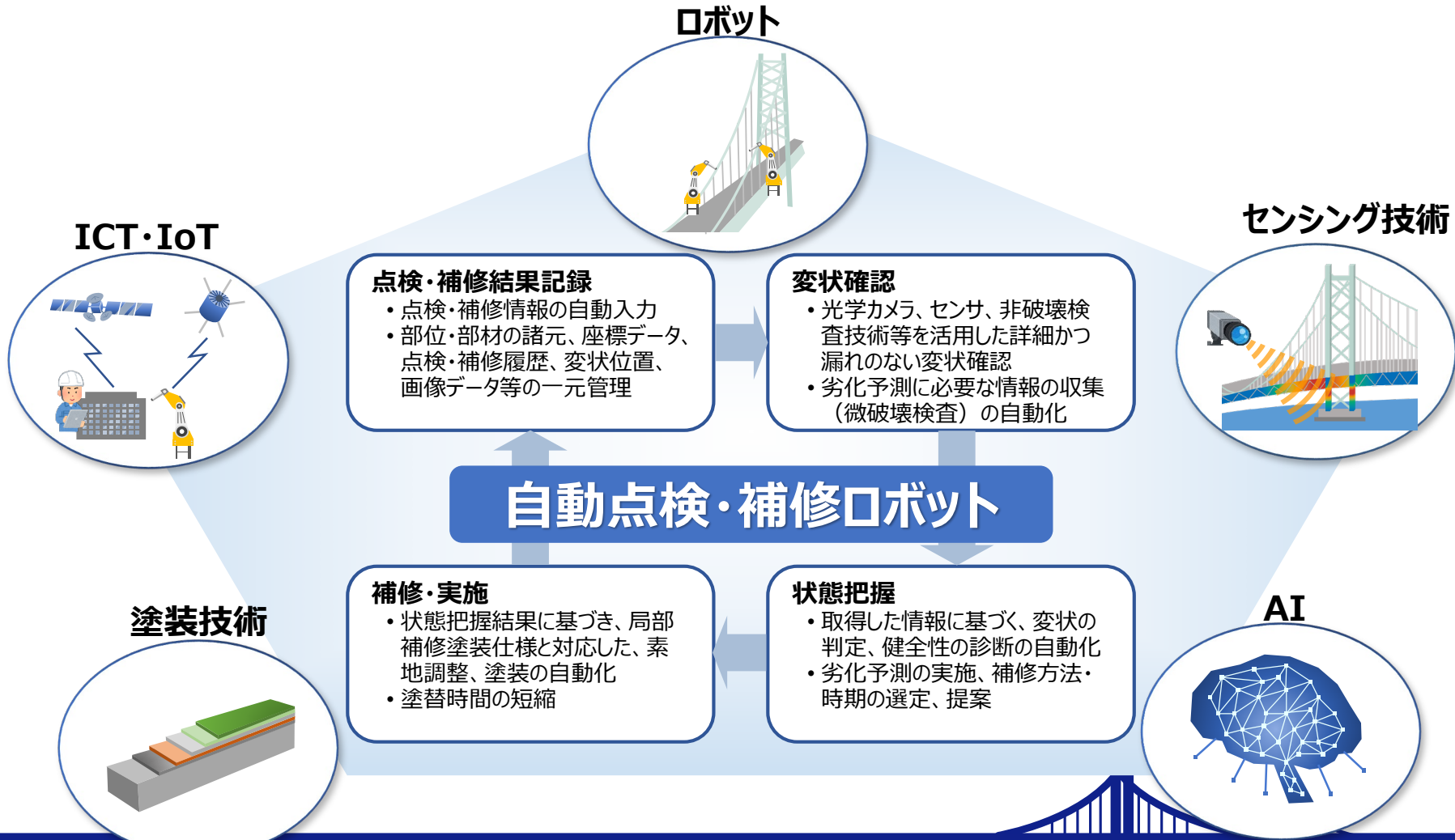
本州四国連絡高速道路株式会社（以下「本四高速」という。）が管理する長大橋梁群の維持管理において、一連のプロセスの高度化を図るため、ロボット工学、センシング技術、ICT・IoT、人工知能（AI）、革新的な材料等の技術力を有する産官学が連携し、技術の開発、統合、現場実装を推進しながら、次世代の長大橋管理を実現することを目的とする。



本コンソーシアムで目指す将来的な長大橋管理の姿

2030年に全面塗装塗替を自動的に実施するロボットを実装

※2025年に局部補修を自動的に実施するロボットを導入



本コンソーシアムの運営体制

- コンソーシアムの会員は建設分野内外の民間企業等より広く公募
- 想定される技術分野に応じWGを設置（※立ち上げに際しては5つのWGを想定）

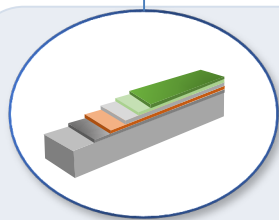
自動点検・補修技術開発コンソーシアム

【役員】会 長：1名（本四高速が選任）

副会長：1名、幹事：若干名（会長が選任）

役員は本四高速の社員、本四高速の子会社の社員、会員企業の社員、会員団体の職員
およびコンソーシアム規約に賛同する学識経験者より選任

運営委員会（コンソーシアムの運営計画を策定・管理）
会長、副会長、幹事で構成



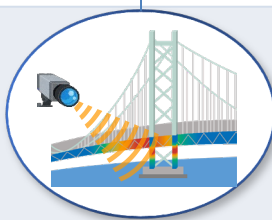
塗装技術-WG



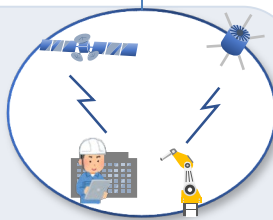
AI-WG



ロボット-WG



センシング-WG



ICT・IoT-WG

等

一般公募（会員）

建設関連企業

調査
測量

設計

施工

維持
更新

材料

建設分野以外の関連企業

ICT
IoT

ロボット

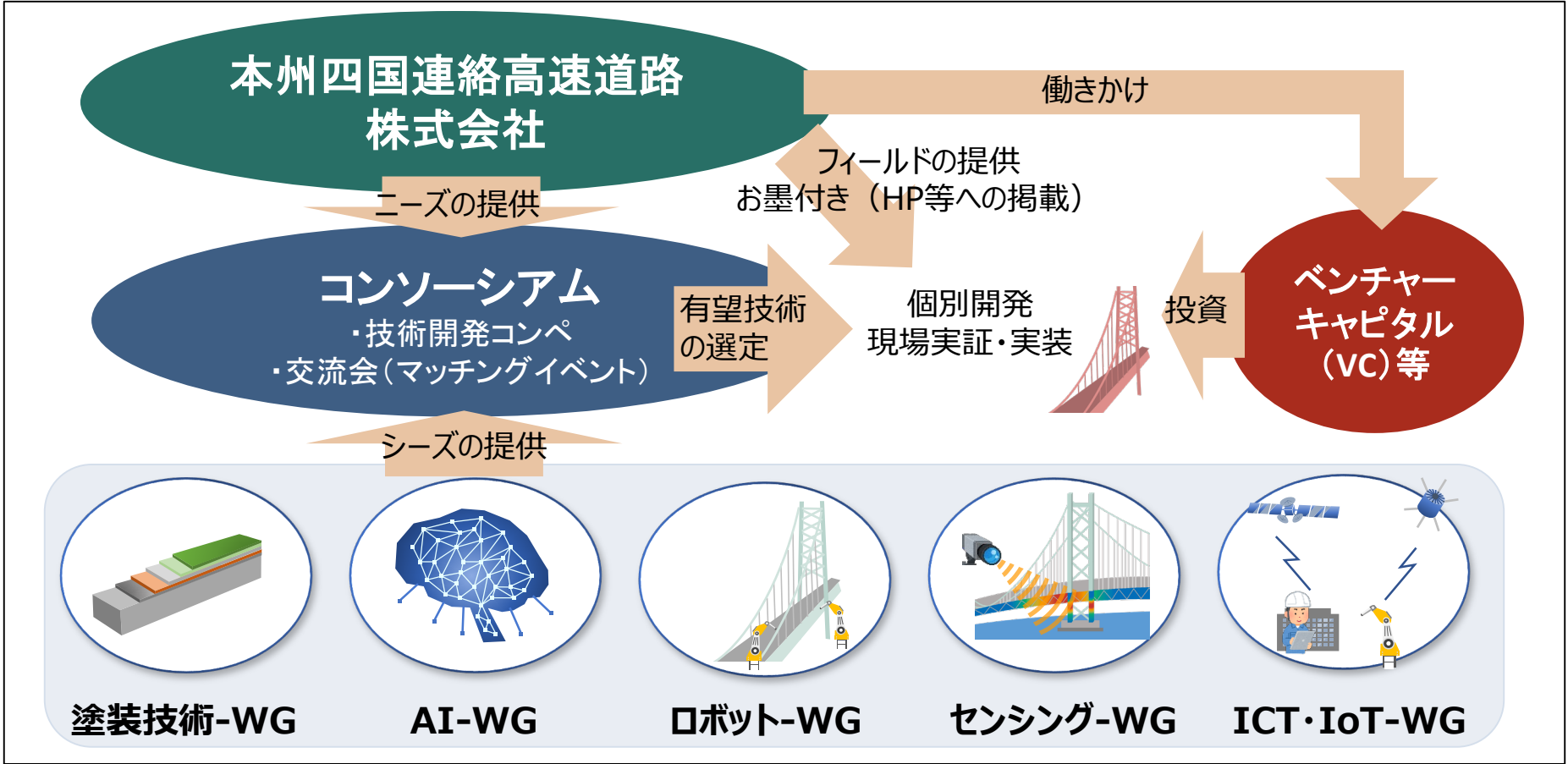
通信

AI

金融

コンソーシアムの具体的な活動・役割

- 当社より長大橋管理の具体的な現場ニーズ、会員企業よりシーズを提供
- コンソーシアムでは、技術開発コンペ、交流会等を通してマッチングを行い、有望技術については、当社の実際の現場を活用して、実証・実装を進める
- 優れた技術は当社HP、各種メディア等で積極的に発信し、VC等の投資も呼び込む



技術開発の出口の想定

- コンソーシアム、WGの活動を通して確認された有望技術については、自動点検・補修ロボットに統合していくもの（出口①：統合）もあれば、個別の点検業務において採用（出口②：個別）することもある
 - ロボット等、他技術との統合が難しい技術であっても、点検業務の高度化に寄与する優れた技術であれば、積極的に個別開発、現場実証・実装を進めていく考え
- = 全ての技術を自動点検・補修ロボットに統合するわけではない



コンソーシアム会員募集

- コンソーシアム会員・WG構成員を募集（会員登録は無料）
- Webを通した説明会等も開催予定（情報は順次HPで公開）

会員のメリット

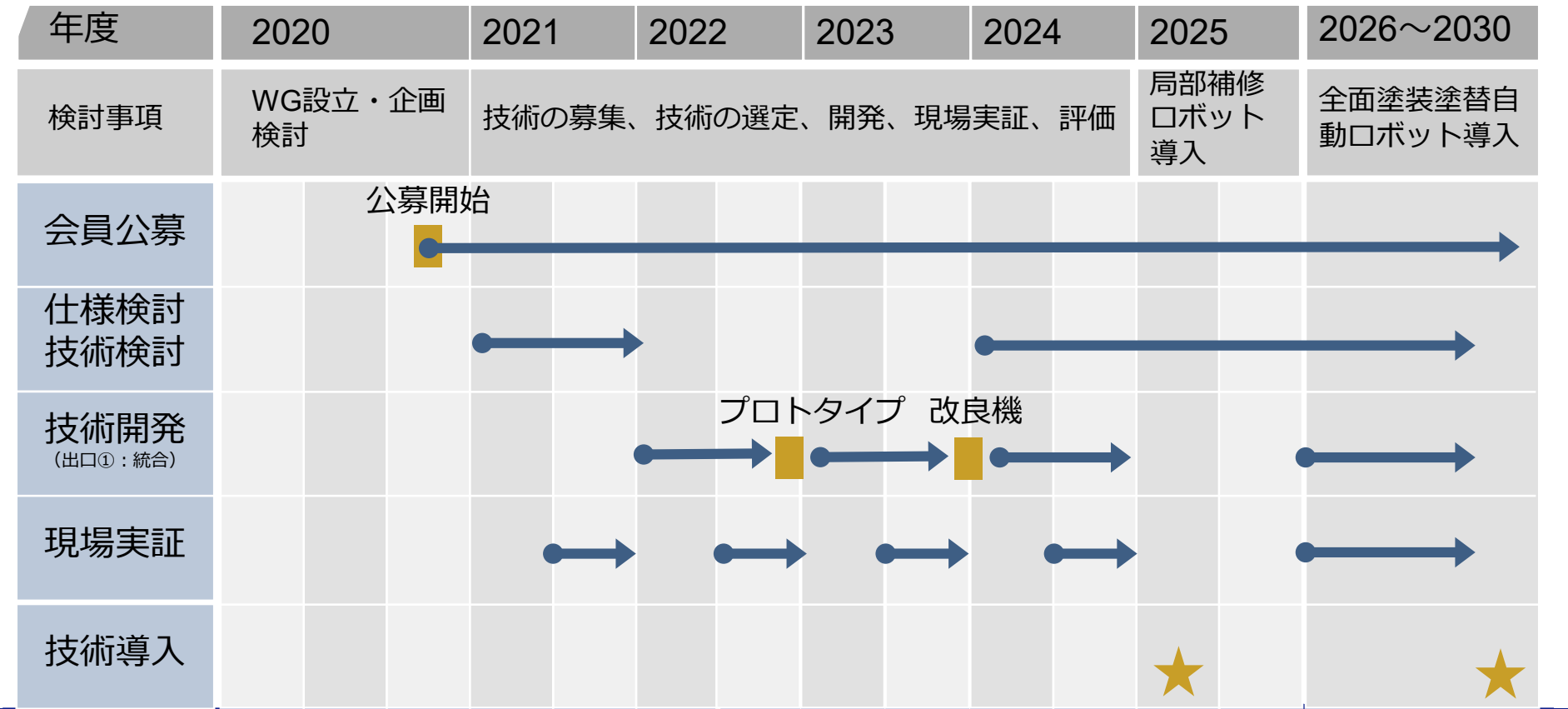
- 橋梁／長大橋維持管理の具体的な現場ニーズに関する知見の獲得
 - コンソーシアムで新たに生じた知的財産権等は、提案者ならびに実証実験フィールドを提供する当社（本四高速）にて共有
（※既存知的財産権等については権利者に留保。ただし会員は本四高速に対して、本コンソーシアム事業の範囲内で既存知的財産権等の利用を無償で許諾する）
- （有望技術として選定された場合）
- 試験施工、実証フィールドの提供
 - 当社HPでのプレスリリース、技術紹介
 - 他業務プロポーザル応募時の実績の付与（お墨付き）
 - 当社との共同による学会参加、論文投稿等
 - ベンチャーキャピタル等の投資の呼び込み 等



今後のロードマップ

- 2021年1月よりコンソーシアム会員を募集（通年募集）
- 今年度内に各WGの組成、次年度以降第1次現場実証技術を選定
- 2025年の局部補修自動ロボット、2030年の全面塗装塗替自動ロボットの実現に向けて、WGでの検討・開発と現場実証を並行して進める

※有望技術は個別の維持管理業務において順次採用



募集技術詳細

各WGで開発を進めたい技術項目例

- 個別に活用できること、統合して活用できることを視野に開発

ICT・IoT	■ 長大橋の維持管理のためのBIM/CIMプラットフォームの構築 ■ 点検結果や補修結果を自動登録する技術の開発
センシング	■ 点検や状態把握を省力化、自動化する技術の開発
AI	■ 点検の効率化に資するAIを活用した画像診断システムの開発 ■ 点検の効率化に資するAIを活用した音響診断技術の開発 ■ AIを活用した変状判定、健全度診断手法の開発 ■ AIを活用した劣化予測、適切な補修方法や時期の提案・選定手法の開発
塗装技術	■ より耐久性の高い塗料の開発 ■ 作業工程をより省力化できる塗料の開発 ■ 効率的な素地調整手法の開発 ■ 塗装作業・工程を省力化できる手法・工法の開発
ロボット	■ 点検、補修、塗装等を実施するロボット等の開発 (水平材、斜材、鉛直材、鋼床版、箱桁、主塔) ■ 水中・土中構造物に近接し、点検や状態把握を実施するロボット等の開発

目的

データの自動入力、適切な管理出力が可能なICT、IoT技術を開発

現状の課題・求められる技術等

【現状】

- 点検・補修情報管理システム(IRIS)を運用中

【課題】

- 点検員が変状を手入力で登録
- 社員が補修情報を変状情報と関連付けながら手入力

【求められる技術】

- 現地で写真撮影時に位置、部材名、部材番号等を提案し、登録用のタグ付けを補助する機能(自動記録)
- 橋の3次元的な位置情報・属性情報、名称、マッピングの再整理(CIM等)
- 自然言語で書かれ構造化されていない補修工事等の報告書から登録用の概要文生成、必須登録項目抽出、補修箇所に対応する登録済み変状データの抽出等を行う機能
- 位置データを用い三次元モデル等へ変状箇所を可視化する技術
- 変状履歴データから変状の進行を予測する手法



位置情報
(座標データ、部材データ、変状位置データ)
変状データ
(時期、変状レベル、面積、写真など)
補修データ
(時期、補修方法、補修費用、写真など)

目的

電池交換不要なLPWA機器による温湿度計測を開発

現状の課題・求められる技術等

【現状】

- 吊橋ケーブルの送気システムの把握のため温湿度計を配置し、モニタリングを実施中
- 更新時に備え、低コスト機器の採用を検討、実現化
- センサ、通信の電源が必要であるため、LANケーブルを設置し、PoEにより電力と通信を確保



【課題】

- 高所作業、強風の屋外環境であるため、ケーブル敷設・管理の負荷が大きく作業コストが膨大

【求められる技術】

- 強風の屋外環境で長期間安定して電源供給なし(電池交換不要)で既設センサと接続し動作するLPWA通信機器



目的

遠隔、非破壊かつ簡易で効率的な残存塗膜厚の評価技術を開発

現状の課題・求められる技術等

【現状】

- 塗膜劣化曲線の推定に必要な各層(上塗・中塗・下塗)の残存塗膜厚を、カット式膜厚計により計測

【課題】

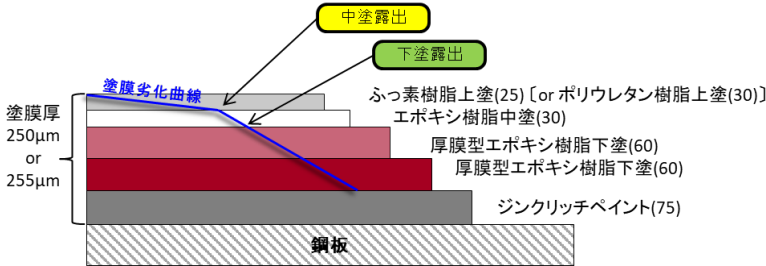
- 塗替計画策定には、1橋あたり300点程度の残存膜厚データが必要であり、多くの時間と労力を要する。

【求められる技術】

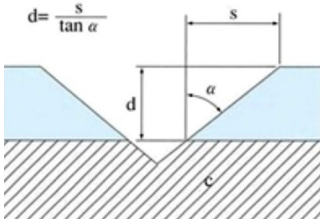
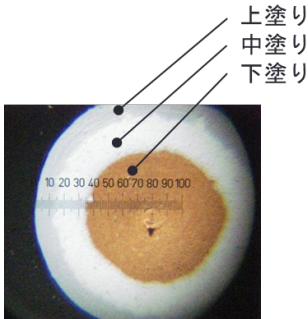
- 遠隔、非破壊かつ簡易で効率的な残存塗膜厚(中塗・下塗)の評価技術



カット式膜厚計



塗膜構成と劣化曲線



カット式膜厚計による残存塗膜の評価

目的

遠隔、非破壊かつ簡易で効率的な上塗塗膜の劣化評価技術を開発

現状の課題・求められる技術等

【現状】

- 神戸大学と本四高速が共同研究を実施中。

目的

重防食塗装の耐久性評価に関する非破壊調査技術を開発

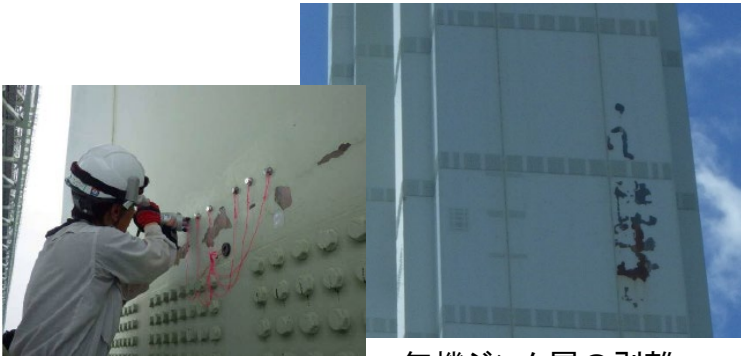
現状の課題・求められる技術等

【課題】

- 防食下地(無機ジंक層)の変状把握
 - ー現時点の変状は限定的であるが、長期的な耐久性は不明
 - ー変状の発生原因の特定は困難であるため、劣化予測が困難
 - ー無機ジंक層を長期塗替計画の対象とするかの判断
- 防食下地(無機ジंक層)の健全度評価
 - ー付着力試験、採取塗膜の分析では、時間と労力を要しかつ局所的な評価に留まる

【求められる技術】

- 防食下地(無機ジंक層)の健全度を現地で効率的に評価できる非破壊調査技術の開発



付着力調査状況

無機ジंक層の剥離

上塗:ふっ素(ポリウレタン)樹脂塗料(25μm)	優れた耐候性(劣化しにくい)	塗替
中塗:エポキシ樹脂塗料(30μm)	上塗りと中塗りの接着剤の役割	
下塗:エポキシ樹脂塗料(120μm)	耐水性等により犠牲防食層を保護	
犠牲防食層: 無機ジंकリッチペイント(75μm)	電氣的な防食作用による優れた防食性	
鋼材		

重防食塗装と塗替対象(上塗、中塗)

目的

橋体全体形状測定に用いる測量に代わるセンシング技術を開発

現状の課題・求められる技術等

【現状】

- 海峡部橋梁の橋体全体の形状測定は、複数箇所でのGNSS測量による把握が基本
- 部材温度による変形があるため、温度が安定している時間帯に実施

【課題】

- 大規模構造物であり、一度に全体を把握することが困難

【求められる技術】

- 衛星画像やレーザー等の測量により 大規模構造物の形状測定でGNSS測量以上の精度を満たす安価で高効率な手法
- 大量の計測データから定点の値を抽出、蓄積し、比較する技術



複数の衛星による測量（GNSS測量）

目的

点検効率を向上させる技術を開発

現状の課題・求められる技術等

【現状】

- 鋼床版疲労亀裂検出技術(赤外線カメラ)を開発済

【課題】(箱桁内での使用)

- 移動が不効率
 - ー複数のUリブを連続撮影する際に、桁内に移動の制約となる横リブ、対傾構やダイヤフラムが多数存在
- 所要の画質を得られるカメラ重量を考慮
 - ー赤外線カメラと可視光カメラによる録画が必要
- 鋼箱桁内での位置制御
 - ードローンを使用する場合には、非GPS環境下での自律飛行制御が必要

【求められる技術】

- 開発技術を箱桁内にて適用するにあたり、効率よく使用する技術の開発



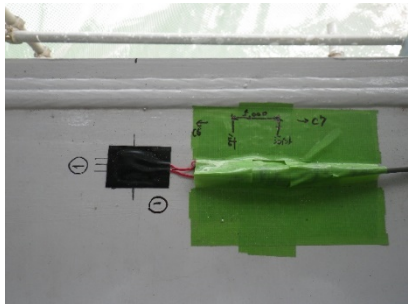
目的

遠隔、非破壊かつ簡易で効率的な劣化確認センシング技術を開発

現状の課題・求められる技術等

【現状】

- 鋼床版の疲労照査
 - 一技術基準に基づいた解析を実施
- 現地調査を実施
 - 一交通実態調査の結果に基づいて、解析結果を再評価
 - 一発生応力度の計測結果を反映して、解析結果を再評価



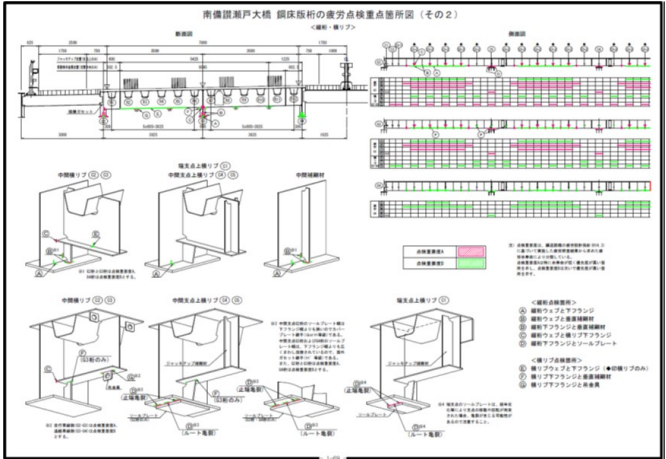
応力度計測

【課題】

- 過度に安全側の評価結果となっている
- 現地調査の負荷が大きい

【求められる技術】

- 遠隔、非破壊かつ簡易で効率的な鋼床版の疲労発生を予測または検出できる技術



疲労危険度マップの検討

目的 変状の自動判定および補修方法・時期の提案、選定を行うAI技術を開発

現状の課題・求められる技術等

【現状】

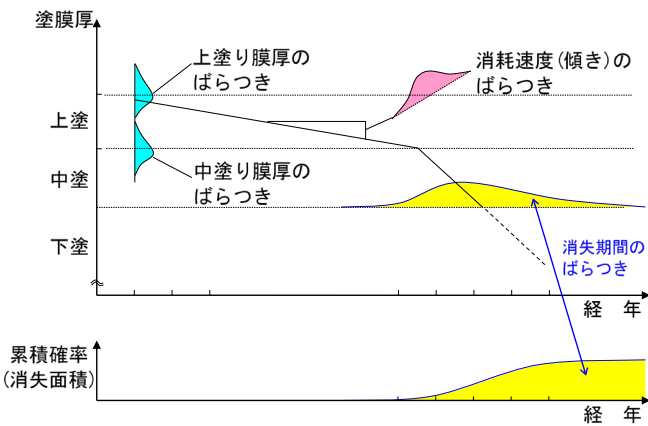
- 劣化予測手法は確立済
(塗装マネジメントシステム)

【課題】

- 劣化予測結果を活用した判定・判断
- 専門技術者の減少
一現状、複数人の判定会議により変状ラ
ンクを決定し、補修計画を作成

【求められる技術】

- AIを活用した劣化判定手法の開発
- AIによる画像診断や音響診断シス
テム、さらには健全度を評価する技
術の開発



判定	変 状 の 状 況
B 2	塗膜の変状があり、耐久性能の低下が見られ補修が必要であるが、緊急補修を要しない場合。または、調査が必要な場合。
C	塗膜の変状はあるが、耐久性能の低下は見られない。変状の進行状況を継続的に観察する場合。
D	塗膜の変状が軽微な場合。
Q	塗膜変状の有無・程度の判定が困難で、別の手法により再点検する必要がある場合。

目的

塗装サイクル内の耐久性と工事の即効性を両立する塗装技術を開発

現状の課題・求められる技術等

【課題】

- 現在の局部塗装仕様では最低4日が必要

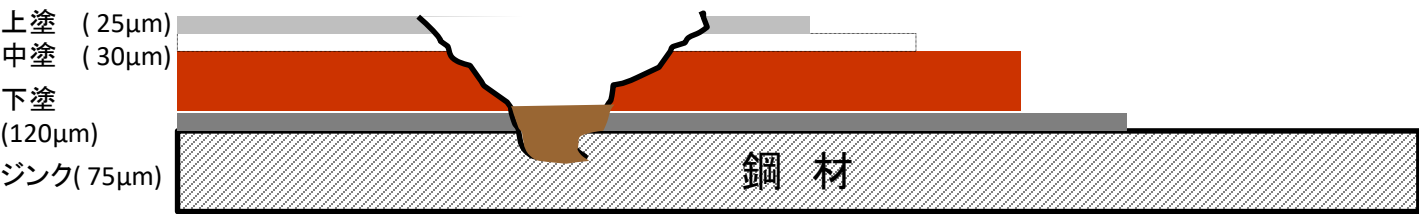
【求められる技術】

- 次の塗替まで耐えられる1日で終わる塗料の開発
- 素地調整、塗装を自動で実施できる機械の開発

局部補修塗装仕様

塗装系記号	塗装仕様 適用部位	素地調整	第1層		第2層		第3層		第4層		第5層	
				間隔		間隔		間隔		間隔		
S _H	一般外面の 局部補修塗装用	2種	厚膜型エポキシ樹脂 シンクリッチペイント 300×2(75)	1d ~ 10d	超厚膜型エポキシ 樹脂塗料 1000(300)	1d ~ 10d	エポキシ樹脂塗料 中塗 140(30)	1d ~ 10d	高耐久性ふっ素 樹脂塗料上塗 120(25) ^{※1}			
T _H	継手部外面の 局部補修塗装用	2種	厚膜型エポキシ樹脂 シンクリッチペイント 300×2(75)	1d ~ 10d	超厚膜型エポキシ 樹脂塗料 2500(1000)	1d ~ 10d	エポキシ樹脂塗料 中塗 140(30)	1d ~ 10d	高耐久性ふっ素 樹脂塗料上塗 120(25) ^{※1}			
U _H -2	無機シンの凝集 破壊箇所に応用 する場合	2種	厚膜型エポキシ樹脂 シンクリッチペイント 300×2(75)	1d ~ 10d	変性エポキシ樹脂 塗料外面用下塗 240(60)	1d ~ 10d	変性エポキシ樹脂 塗料外面用下塗 240(60)	1d ~ 10d	エポキシ樹脂塗料 中塗 140(30)	1d ~ 10d	高耐久性ふっ素 樹脂塗料上塗 120(25) ^{※1}	
W _H -1	劣化亜鉛めっき面 用(鉄素地が露出 した箇所)	2種	厚膜型エポキシ樹脂 シンクリッチペイント 300×2(75)	1d ~ 10d	変性エポキシ樹脂 塗料外面用下塗 240(60)	1d ~ 10d	変性エポキシ樹脂 塗料外面用下塗 240(60)	1d ~ 10d	高耐久性ふっ素 樹脂塗料上塗 120(25) ^{※1}			

※厚膜型エポキシ樹脂シンクリッチペイント[300×2(75)]は、1層当たりの目標膜厚を得るための2回塗りを目指す。



目的

全体塗替塗装サイクル（30年程度間隔）内で発生した鋼材錆部に対し、全体塗替までの耐久性を有し、かつ、短期施工で防錆効果を発揮する局部補修塗装技術を開発

現状の課題・求められる技術等

【課題】

- 塗装に関し、塗装以外の作業、高所作業車・桁外面作業車の移動・設置等に時間を要し、作業効率が悪い

【求められる技術】

対象となる部位

HTボルト、添接板を含む0.5m²程度

施工条件

素地調整はSt3で仕上がっているものとする
作業床は、高所作業車のバケット程度で1m²程度

作業時間

1日内(5時間程度)で完了とする

耐久性

10年程度以上



高所作業車による施工例



HTボルト素地調整の程度

(参考) 塗装材料-WG



塗料の塗布



塗料の塗布



第1層目WET膜厚確認

表 3 - 1 塗替塗装系一覧

塗装系 記号	塗装仕様 適用部位	素地 調整	第1層	間 隔	第2層	間 隔	第3層	間 隔	第4層	間 隔	第5層
S _H	一般外面の 局部補修塗装用	2種	エポキシ樹脂 75/7-120	1d~ 10d	超厚膜型エポキシ 樹脂塗料1000(300)	1d~ 10d	エポキシ樹脂塗料 中塗140 (30)	1d~ 10d	高耐久性ふっ素 樹脂塗料上塗 120(25) ^{※1)}		
T _H	継手部外面の 局部補修塗装用	2種	エポキシ樹脂 75/7-120	1d~ 10d	超厚膜型エポキシ 樹脂塗料2500 (1000)	1d~ 10d	エポキシ樹脂塗料 中塗140 (30)	1d~ 10d	高耐久性ふっ素 樹脂塗料上塗 120(25) ^{※1)}		

塗装系S・T；3層4層を省工程型に変更しても **3日間を要する**

塗装以外の作業、高所作業車・桁外面作業車の移動・設置等に時間を要し、作業効率が悪い

ロボット-WG(1)

目的

アクセス性など長大橋の課題を克服するためのロボット技術を開発

現状の課題・求められる技術等

【現状】

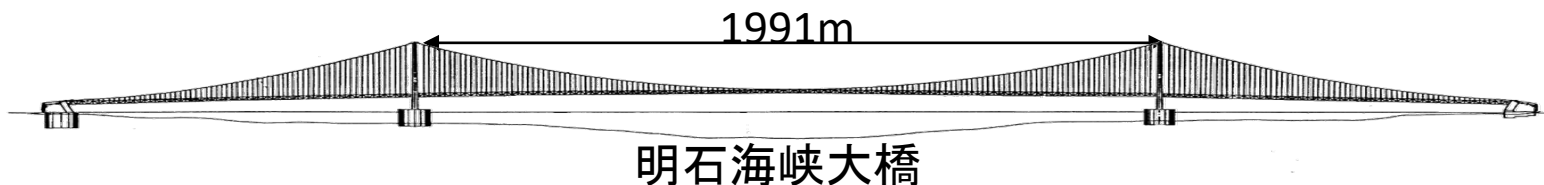
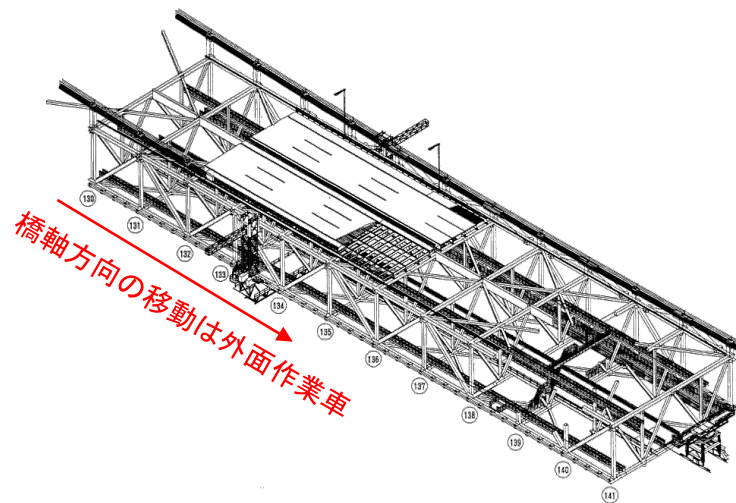
- 外面作業車等を使用して対応

【課題】

- 長スパンで複雑な構造であるため、作業車で近接できない箇所(トラス桁等)が存在
- 海上橋梁であり落下対策は必須、故障時の対応(回収方法)が必要
- 電源供給が困難で長時間稼働が困難

【求められる技術】

- 長大橋特有の課題に対応した点検・補修の効率化を支援するロボット技術



目的

点検効率を向上させる技術を開発

現状の課題・求められる技術等

【現状】

- 潜水土により対応

【課題】

- 強潮流下における指定位置での姿勢保持
- 観察箇所の位置情報取得
- 観察対象の表面付着物除去等の清掃
- 電着物のサンプル取得
- 低透明度の水中下における孔食の状況、鋼材の板厚、電着物の厚さ、電気防食の陽極
- 消耗量等の把握

【求められる技術】

- 潜水作業に代わり、強潮流・低透明度の水中環境下においても、安全に点検できるロボット技術開発

