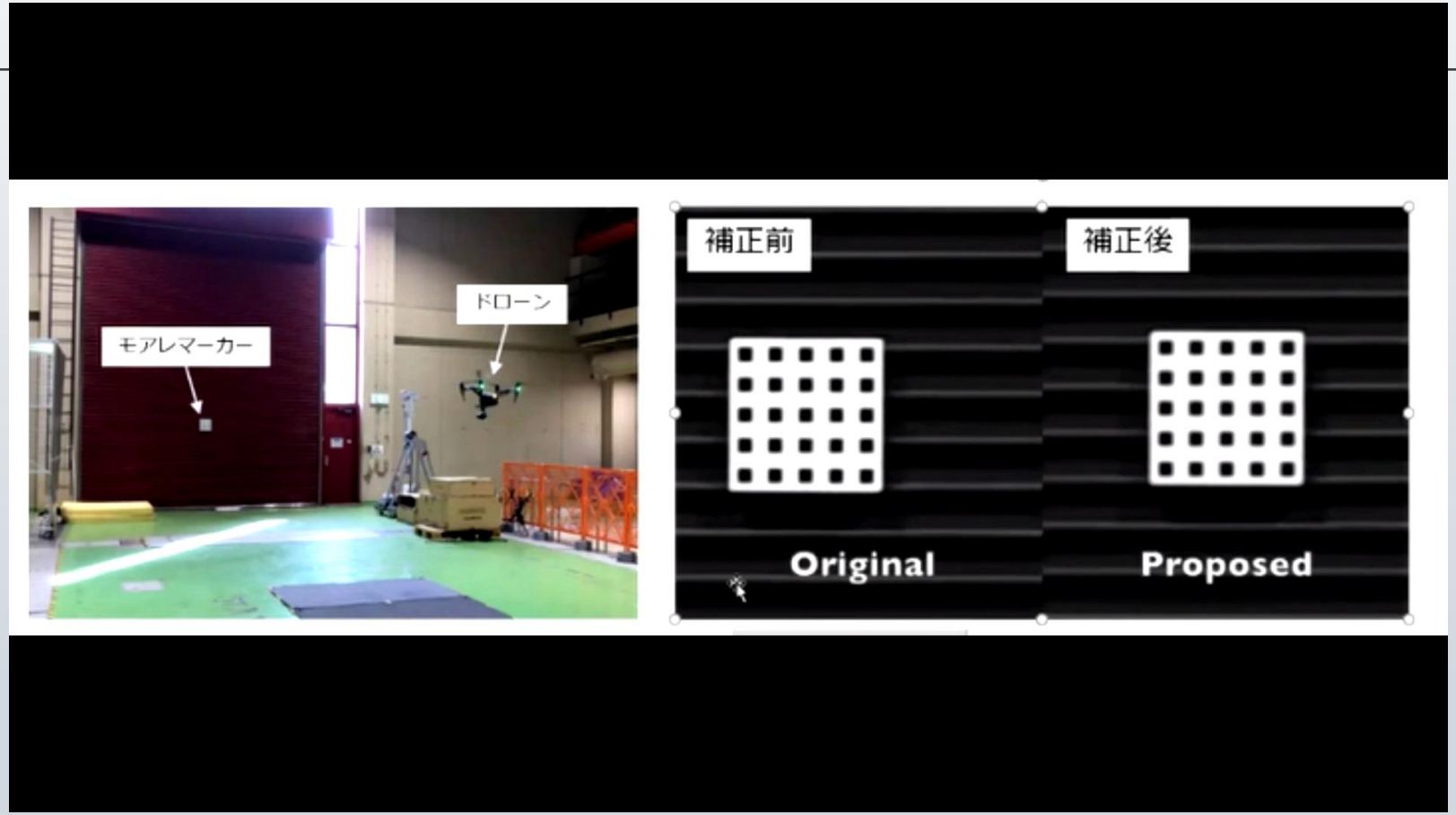
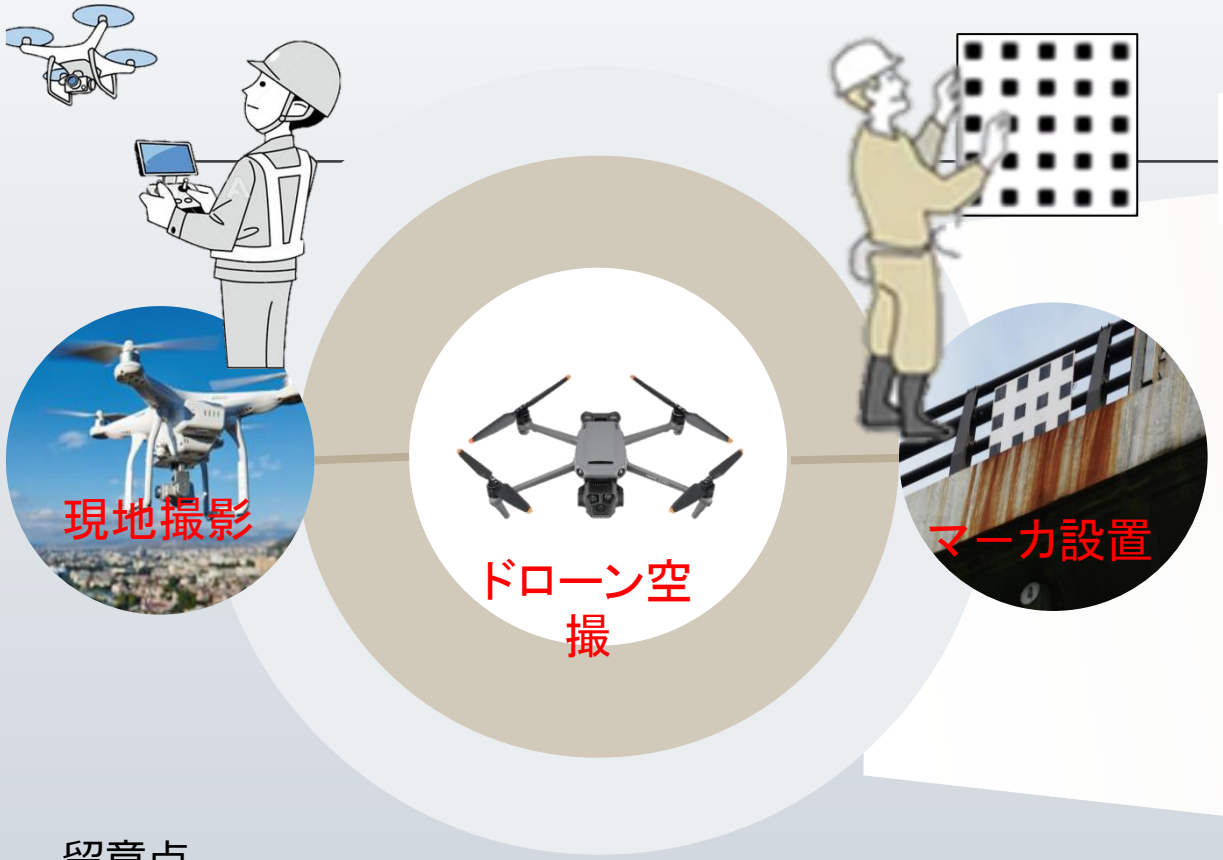
3-5. ドローン空撮によるたわみ計測

機体のブレ補正



引用：産総研サステナブルインフラ研究ラボHP、産総研技術資料

3-6. ドローン空撮によるたわみ計測　計測手順

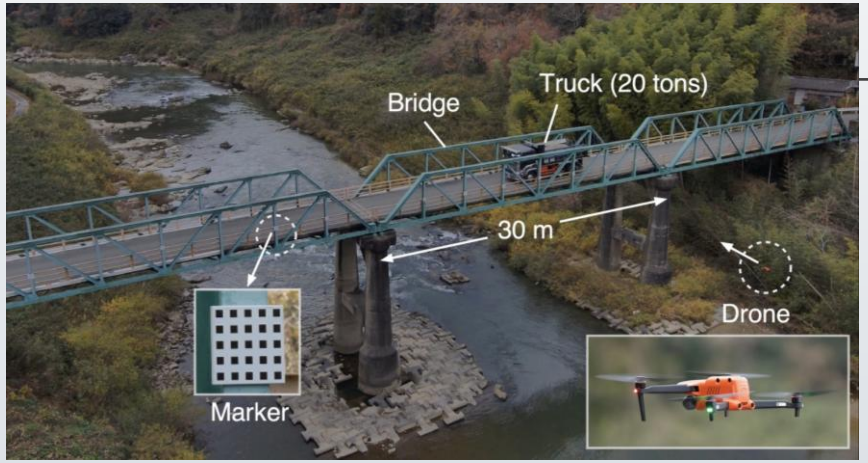


PCへ
データ移行

留意点
- 計測対象への近接（格子マーカを設置）が可能なこと
- ドローンを飛行させることが可能なこと（航空法等による）
- 格子マーカを撮影することが可能なこと（陽炎や霧が激しい場合は、測定結果のばらつきが大きくなる）

3-7. ドローン空撮によるたわみ計測

実現場での計測例　トラス橋



【条件】

- トラス橋　支間30m
- 撮影距離　約20～30m
- 各斜材に格子シート画像貼付け
- 格子サイズ　50mmピッチ
- 載荷重量　20t

3-8. ドローン空撮によるたわみ計測

実現場での計測例　PC橋(ドゥルックバンド橋)

【条件】

・PC橋　　支間110m

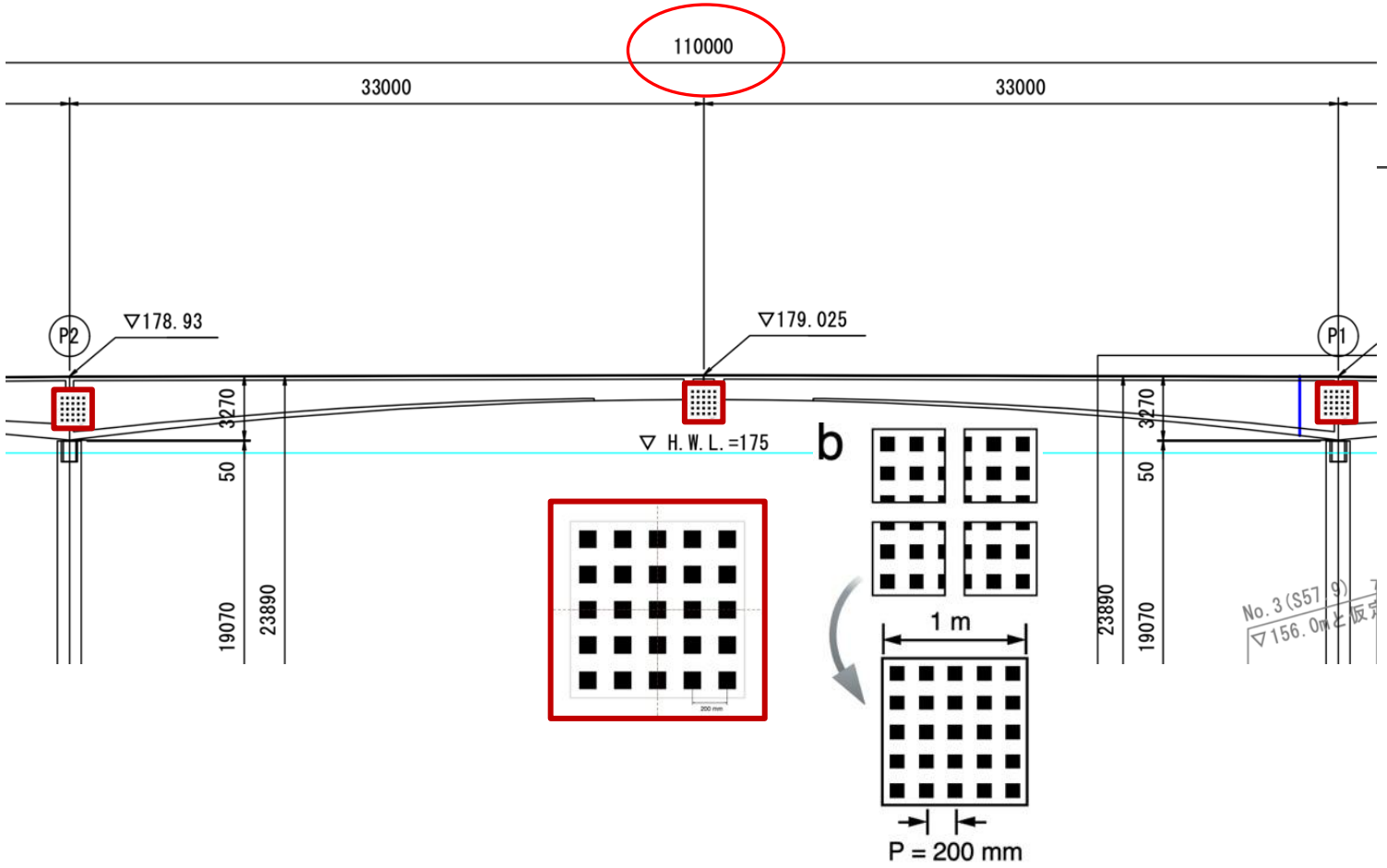
・撮影距離　約60m

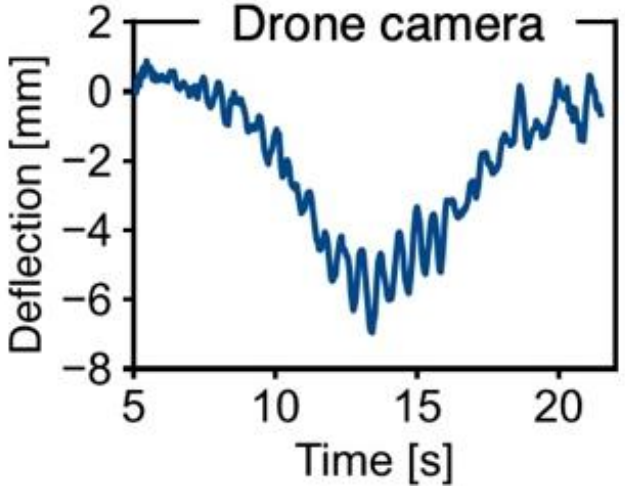
・格子サイズ　200mm

ピッチ

・載荷重量　8t

3-9. ドローン空撮によるたわみ計測　計測結果





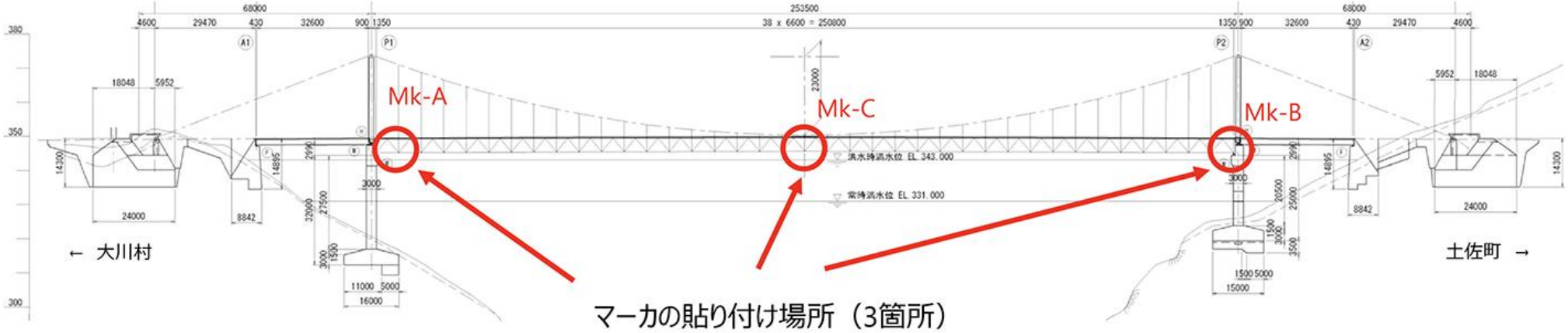
8トンの試験車の走行
→最大で約6mmのたわみが発生

格子サイズ：200mmピッチ
大きさが1mのマーカ（4つの張り合わせ）

3-10. ドローン空撮によるたわみ計測

実現場での計測例　鋼トラス吊り橋

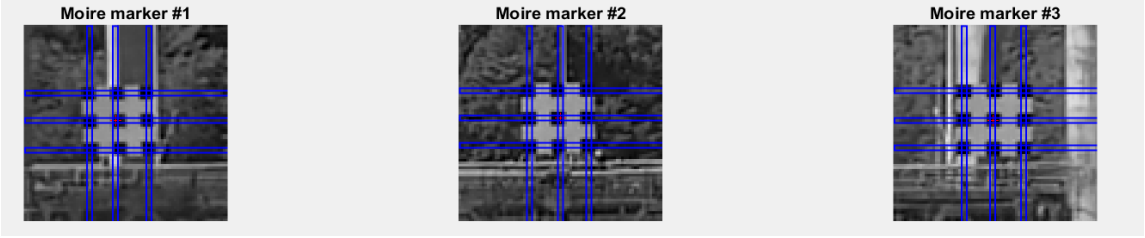
- 橋梁に3箇所のマーカを設置し、中央での最大たわみを計測
- 橋梁からドローンまでの撮影距離は、約 300 mで実施
- 動的試験は、時速30km/sの結果で比較
- 静的試験は、支間中央で静止して計測を実施
  ※補修前のみ、超低速走行(歩行速度並み)



3-11. ドローン空撮によるたわみ計測

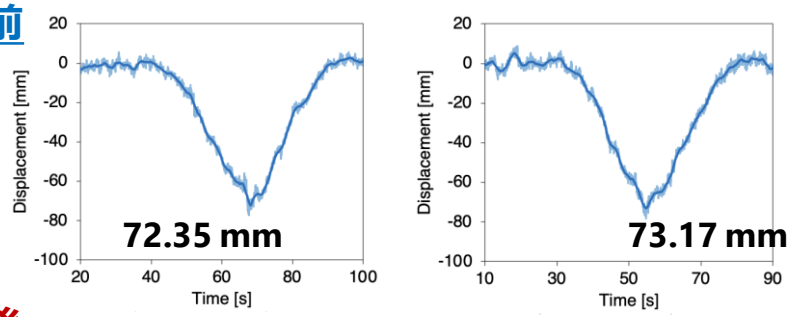
解析結果

マーク確認



補修前

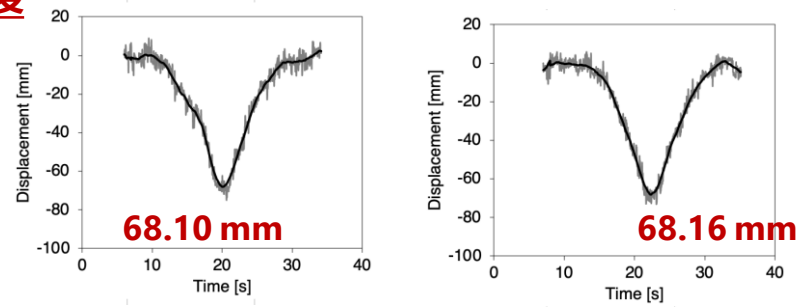
最大たわみ(平均)
補修前の72.8 mm



差：約4.6mm

補修後

補修後の68.13mm

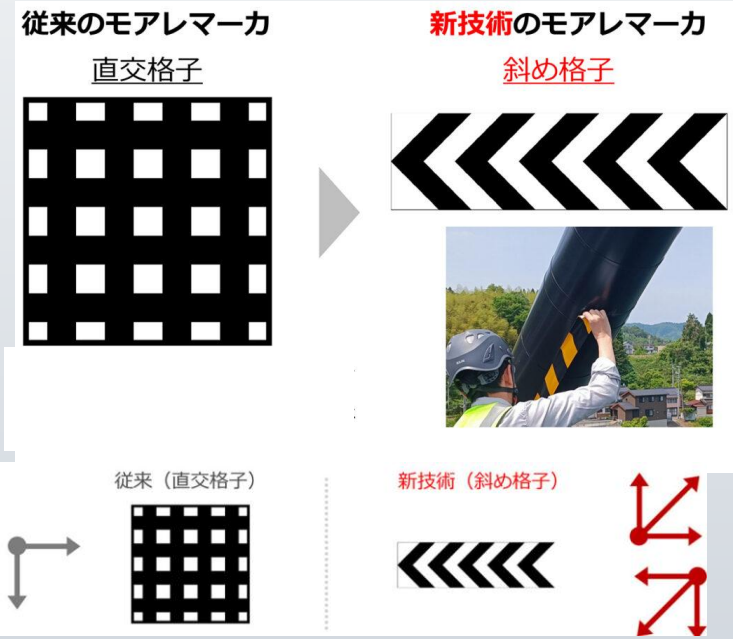


J-ティフコムによる床版補修効果の確認
- たわみの抑制
- 過大な振動の抑制および減衰効果

2-10. ドローン空撮によるたわみ計測　新たな取り組み

・斜め格子パターンを用いた高精度変位計測技術

課題・従来との変化



今後の展開について

課題

構造物表面へのマーカ貼付位置に空間制限がある場合、本手法が適用困難である

改善点

マーカがコンパクトとなるため、狭隘部等でも適用可能となる

今後の展開

斜め格子のサンプリングモアレ法によるたわみ計測は、長手方向に精密に測定できるため、「橋梁はもちろん、トンネルやダム、法面など大きなマーカーを貼れない箇所でも手軽に変位を計測できる手法として使用していく予定

Contents

１．PCグラウト調査　超音波パルスエコー法

２．電磁石式漏洩磁束による鋼材破断調査

３．ドローン空撮によるたわみ測定

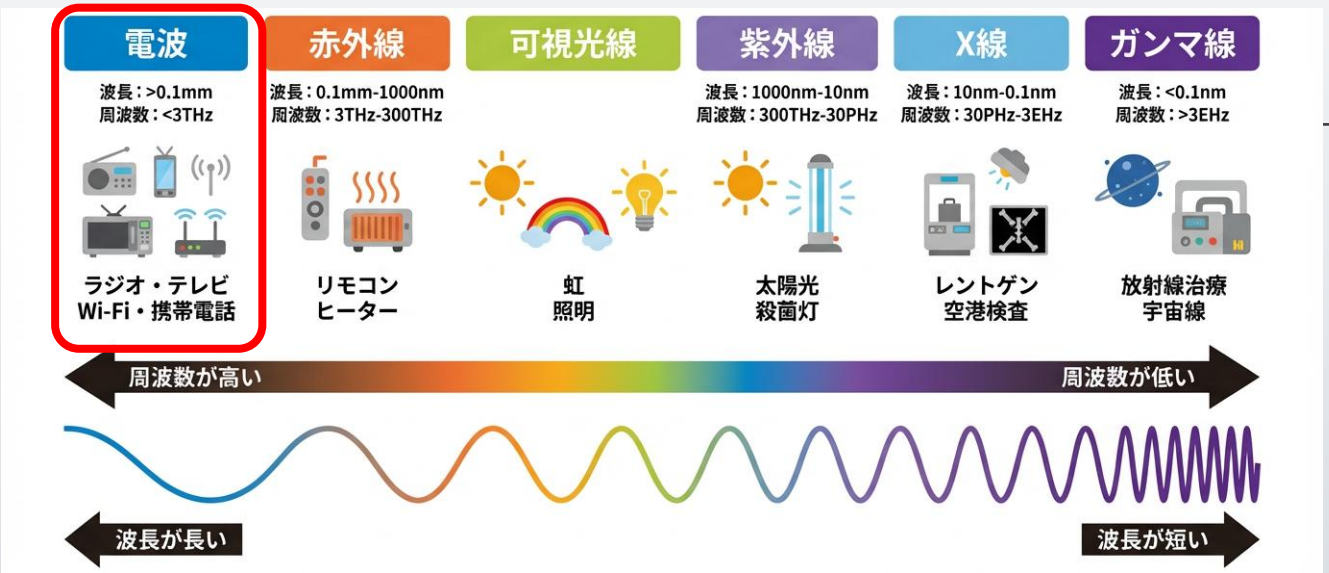
４．ミリ波レーダーを用いた計測

５．J-ティフコム

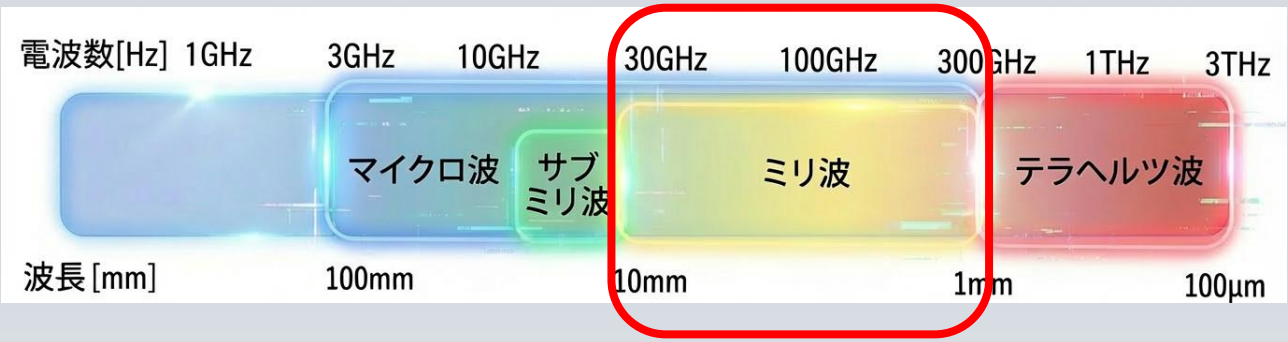
4. ミリ波レーダを用いた計測技術

4-2. ミリ波レーダーの基本原理　ミリ波レーダーとは

【電磁波の分類】



【電波の分類】



ミリ波レーダーの特徴

周 波 数	30GHz ～ 300GHz
波　長	10mm ～ 1mm
直 進 性	強 い
伝送情報量	多 い
耐 環 境 性	良 い
感　度	良 い

赤外線やカメラ等のセンサよりも感度が良く、微細な振動や距離を高精度に測定が可能

4-3. ミリ波レーダーの基本原理

ミリ波レーダーは、波長がミリメートルオーダーの電波を使って物体の位置・速度・形状などを高精度に検出するセンサー技術

ミリ波レーダー

周波数帯：約30GHz～300GHz（波長：10 mm～1mm）

用途：自動車の衝突回避、自動運転支援、人体検知（呼吸、心拍センシング）、動体検知等

※長距離には不利だが、屋内や近距離センシング向き

マイクロ波レーダ

周波数帯：約300MHz～30GHz（波長：1m～1cm）

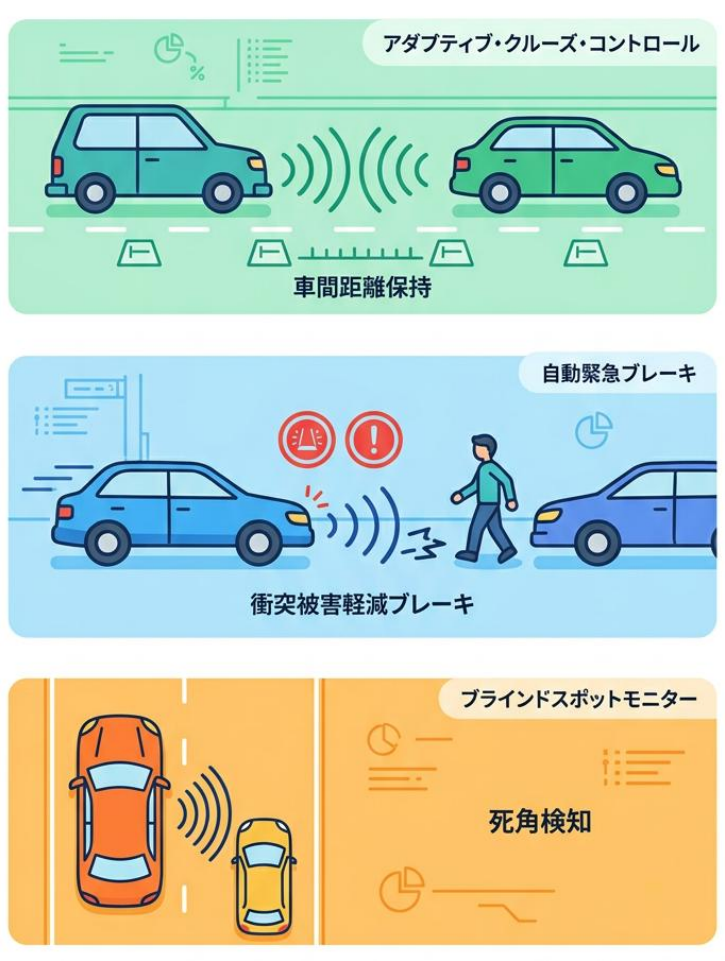
用途：　航空・気象レーダ、船舶・海上レーダ

※長距離探査や気象観測など、伝搬距離を重視する用途に向く

4-4.ミリ波レーダーの基本原理

ミリ波レーダーの実用事例

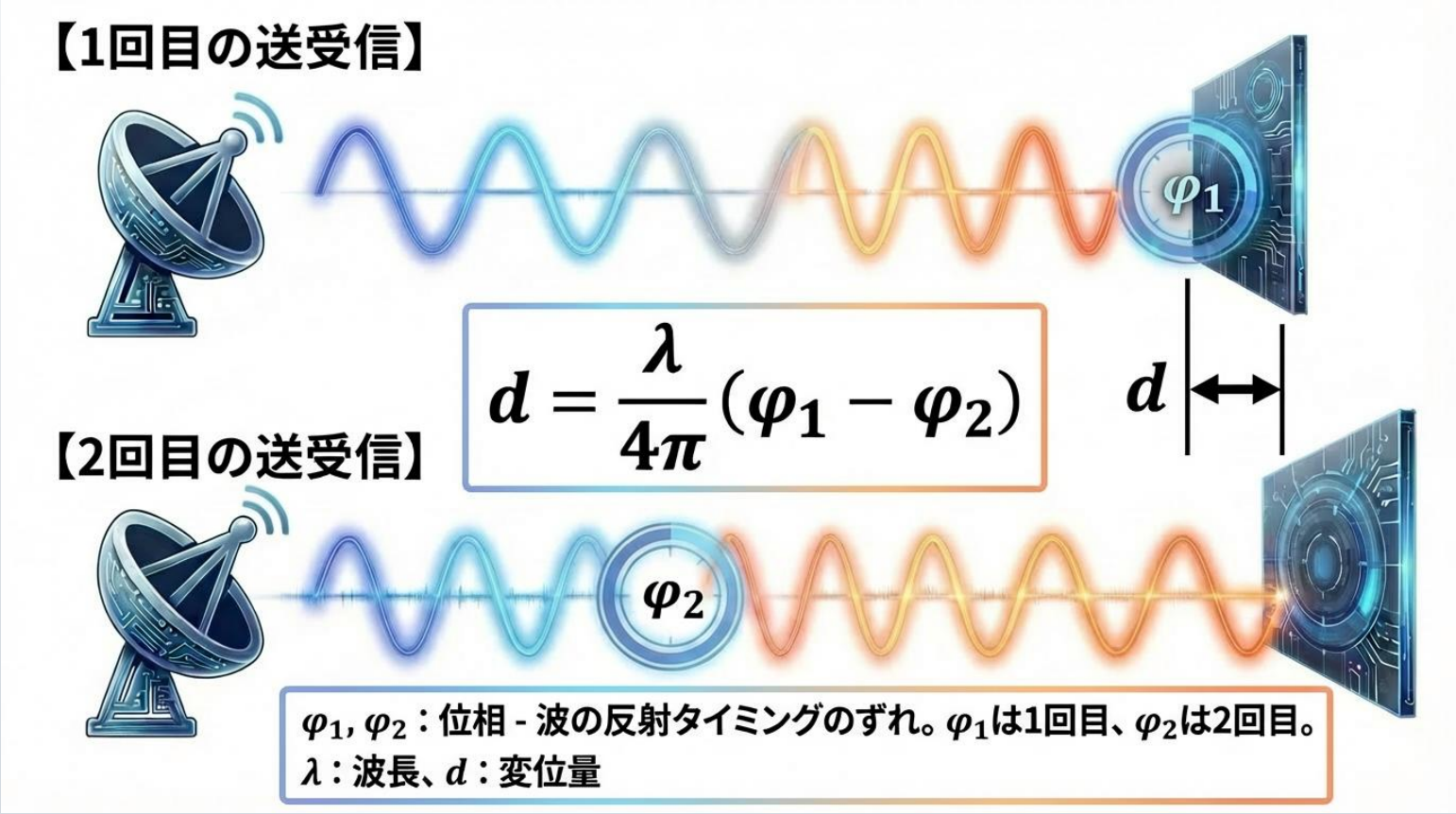
【自動車】



【生体情報監視】

【見守りセンサー】

4-5. ミリ波レーダーの基本原理　計測原理



ミリ波レーダーにて測定した1回目と2回目のエコー間の位相差を検知する。

⇓

レーダー設備と計測対象物との間の微小変化距離（計測対象物の微振動）を高精度に測定する。

4-6. ミリ波レーダーによるたわみ計測

従来手法＋新手法

計測方法	（従来法）変位計	（従来法）レーザー変位計	（新手法）ミリ波レーダー
概要	計測対象にアンカー等でワイヤーを固定して垂らし、桁下に設置した変位計と接続して垂直方向の変位を計測する	たわみ計測箇所に設置したターゲットに、レーザーを照射し、構造物のたわみを計測する	たわみ計測箇所に設置したターゲットに、ミリ波レーダーを照射し、構造物のたわみを計測する
計測条件	• 計測対象（対象部材）への近接 • 桁下直下へのアクセスが必要 • ケーブル配線が必要（長い）	• 桁下直下へのアクセスが必要 • 計測機器1台で、1測点を計測 • 計測点にターゲット設置が必要	• 遠隔から非接触で計測可能 • 同時に複数箇所の計測が可能 • 計測点にターゲット設置が必要
計測状況			

4-7. ミリ波レーダーによるたわみ計測

新手法：ミリ波レーダー

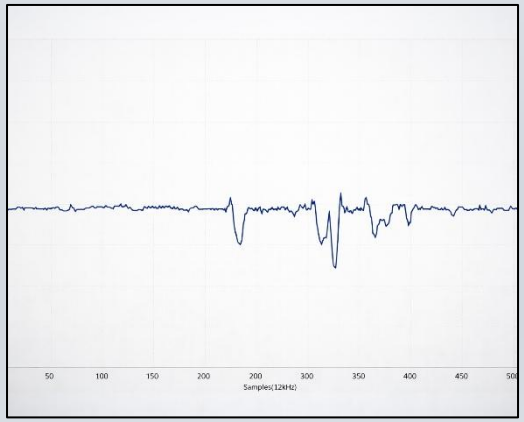
計測方法	ミリ波レーダーによるたわみ計測	
特徴	• 同時に複数の位置のたわみ計測が可能 • 計測機器がコンパクトで計測が簡易 • 計測結果をリアルタイムで確認可能 • 天候や環境への影響が少ない	
仕様	周波数帯	79～81 GHz
	計測距離	100 m
	同時計測数	16 測点
	仰角レーダー幅	15°
	水平レーダー幅	30°

計測状況

ターゲット
（6測点）

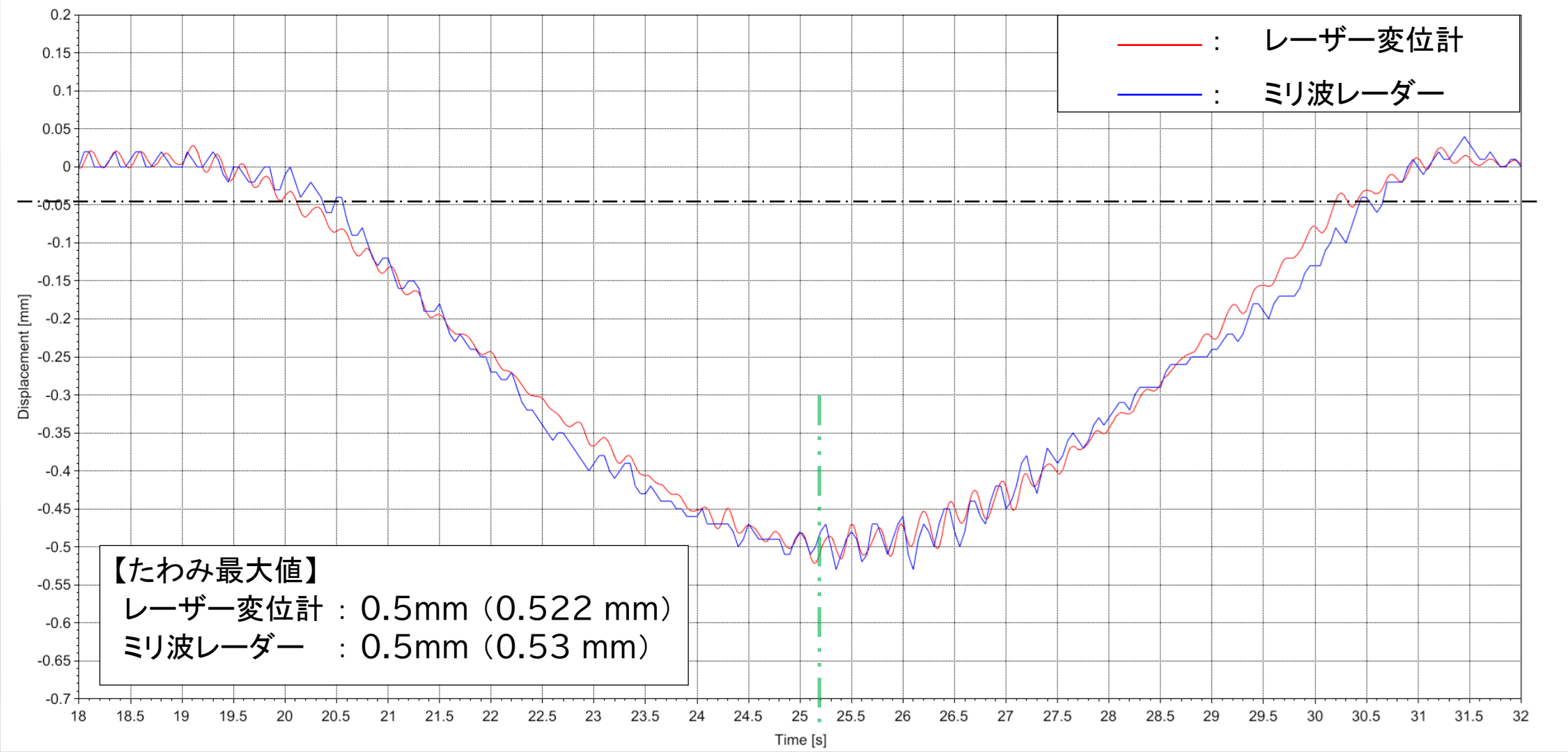
ミリ波レーダー

リアルタイム計測



4-8. ミリ波レーダーによるたわみ計測

レーザー変位計との比較結果



4-9.ミリ波レーダーによるケーブル張力計測

計測方法	（従来法）加速度センサー	（従来法）EMセンサー	（新手法）ミリ波レーダー
概要	ケーブルに加速度センサーを取付け、常時微動または強制加振により、ケーブルの振動信号を取得することにより、ケーブル張力を推定する	ケーブルに円筒形のEMセンサーを設置し、磁気特性と応力の関係からケーブルの張力を計測する	ケーブルにミリ波レーダーを照射し、ケーブルの振動信号を取得することにより、ケーブル張力を推定する。
計測条件	• ケーブルへの近接 • ケーブルに加速度センサーの取付が可能であること	• ケーブルへの近接 • ケーブルにEMセンサーの設置が可能であること	• 遠隔から非接触で計測可能 • 同時に複数ケーブルの計測が可能 • ターゲット設置が不要
測定状況例		 引用：(株)計測リサーチコンサルタントH.P.より	

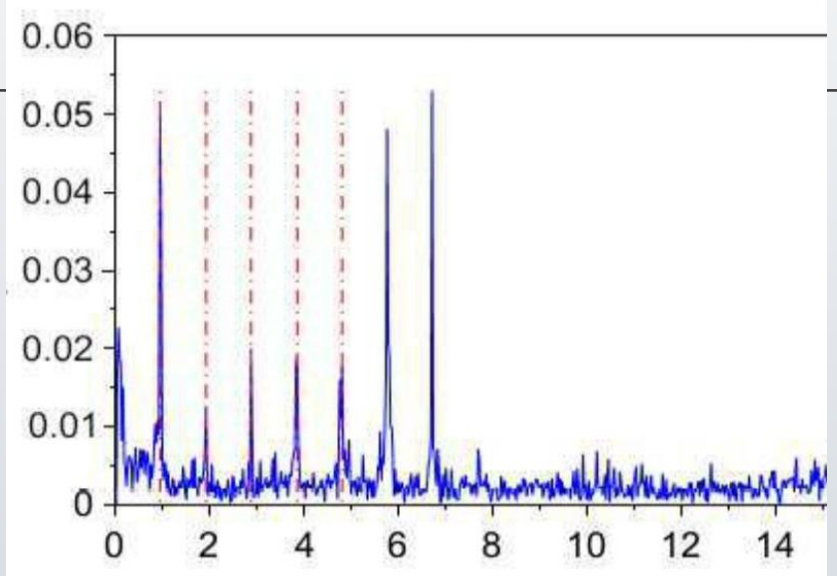
4-10. ミリ波レーダーによるケーブル張力計測 計測手法

多々羅大橋での計測事例

本四高速 自動点検・補修技術開発コンソーシアムの取組として実施

資料提供：本州四国連絡高速道路 (株)

高速フーリエ変換（FFT）



多々羅大橋

橋長 ： 1,480 m
形式 ： 3径間連続複合箱桁斜張橋
所在地 ： 広島県尾道市

ミリ波レーダーによりケーブルの常時微振動を計測

⇒ ① ケーブルに対し、ミリ波レーダーが直角に照射するようにレーダー設備を配置し、ケーブル常時微振動（変位）を計測

② 時系列変位データをFFTし、固有振動数(1次～5次)を抽出

③ 高次振動法により、ケーブル張力を推定

4-11. ミリ波レーダーによるケーブル張力計測

加速度センサーとの比較結果（多々羅大橋）

ケーブル番号		ケーブル張力		計測結果の差
		(A) 加速度センサー	(B) ミリ波レーダー	(B)／(A)
北	C1	6,101 kN	6,289 kN	103 %
	C2	5,690 kN (テンションリーダー※)	5,877 kN	103 %
	C3	5,276 kN (テンションリーダー※)	5,709 kN	108 %
	C4	4,966 kN (テンションリーダー※)	5,337 kN	107 %
	C5	4,913 kN (テンションリーダー※)	5,083 kN	103 %
	C6	5,031 kN (テンションリーダー※)	4,880 kN	97 %
	C21	2,264 kN	2,306 kN	102 %
南	C11	4,430 kN	4,528 kN	102 %
	C21	2,329 kN	2,249 kN	97 %
	C42	6,610 kN	6,752 kN	102 %

※テンションリーダー：加速度計が内蔵され、高い計算能力を有するスマートフォンで計測するシステム

資料提供：本州四国連絡高速道路 (株)

4-12.ミリ波レーダーを活用した橋梁調査　まとめ

たわみ計測

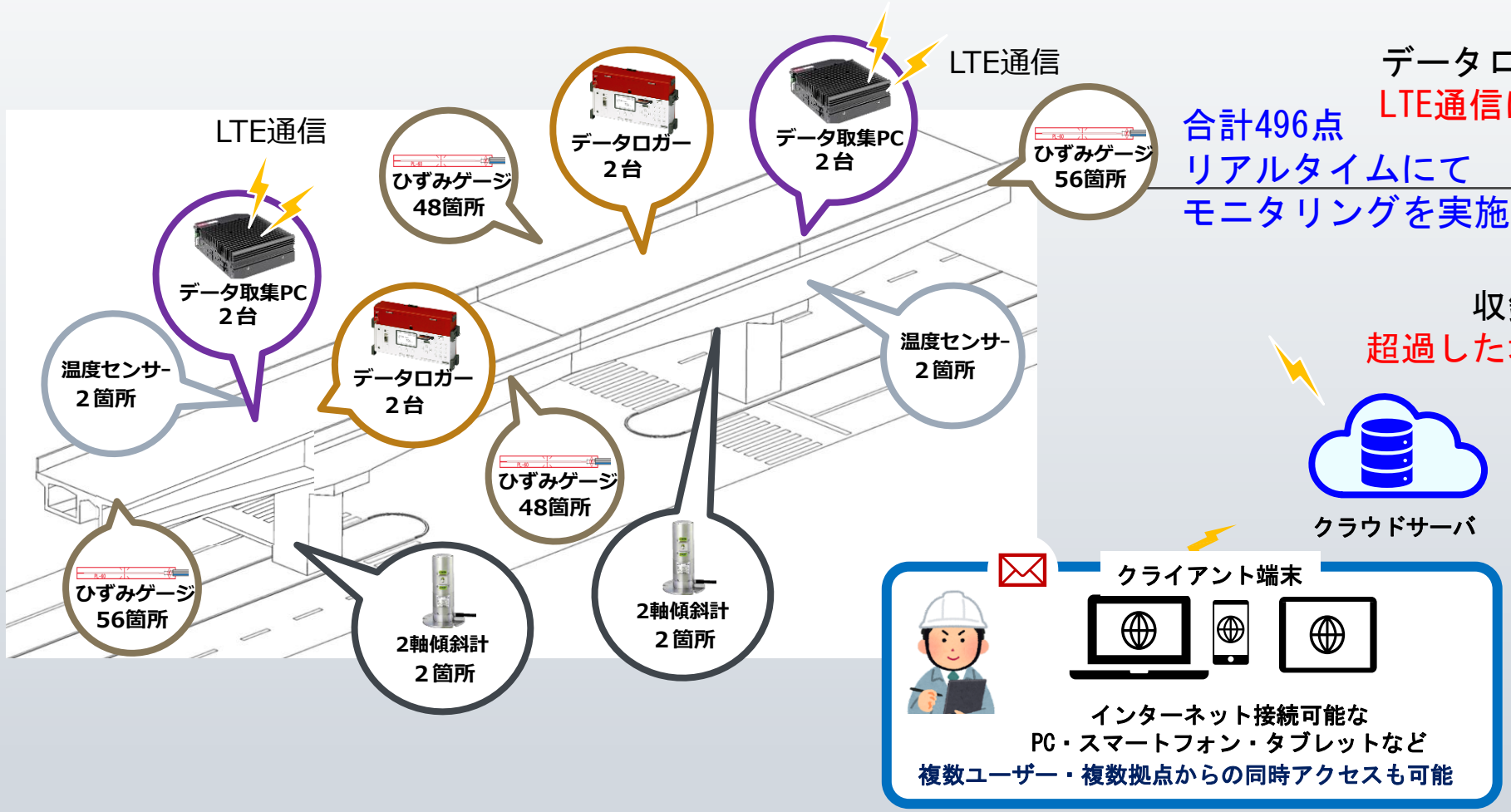
- 同時に多点のたわみを計測することが可能
- 計測機器がコンパクトでリアルタイム計測が可能
- 従来法（レーザー変位計）との計測値の差：おおよそ 0.0 mm

ケーブル張力計測

- 同時に複数のケーブルを計測することが可能
- 離れたところから非接触で計測可能（ターゲット不要）
- 従来法（加速度計）との計測値の差：おおよそ2.0%～3.0% (最大8.0%)

安全性、作業性の向上が期待できる

4-13. PC上部工解体時のモニタリングシステム



データロガーとデータ収集PCを接続し
LTE通信にてクラウドサーバへ転送

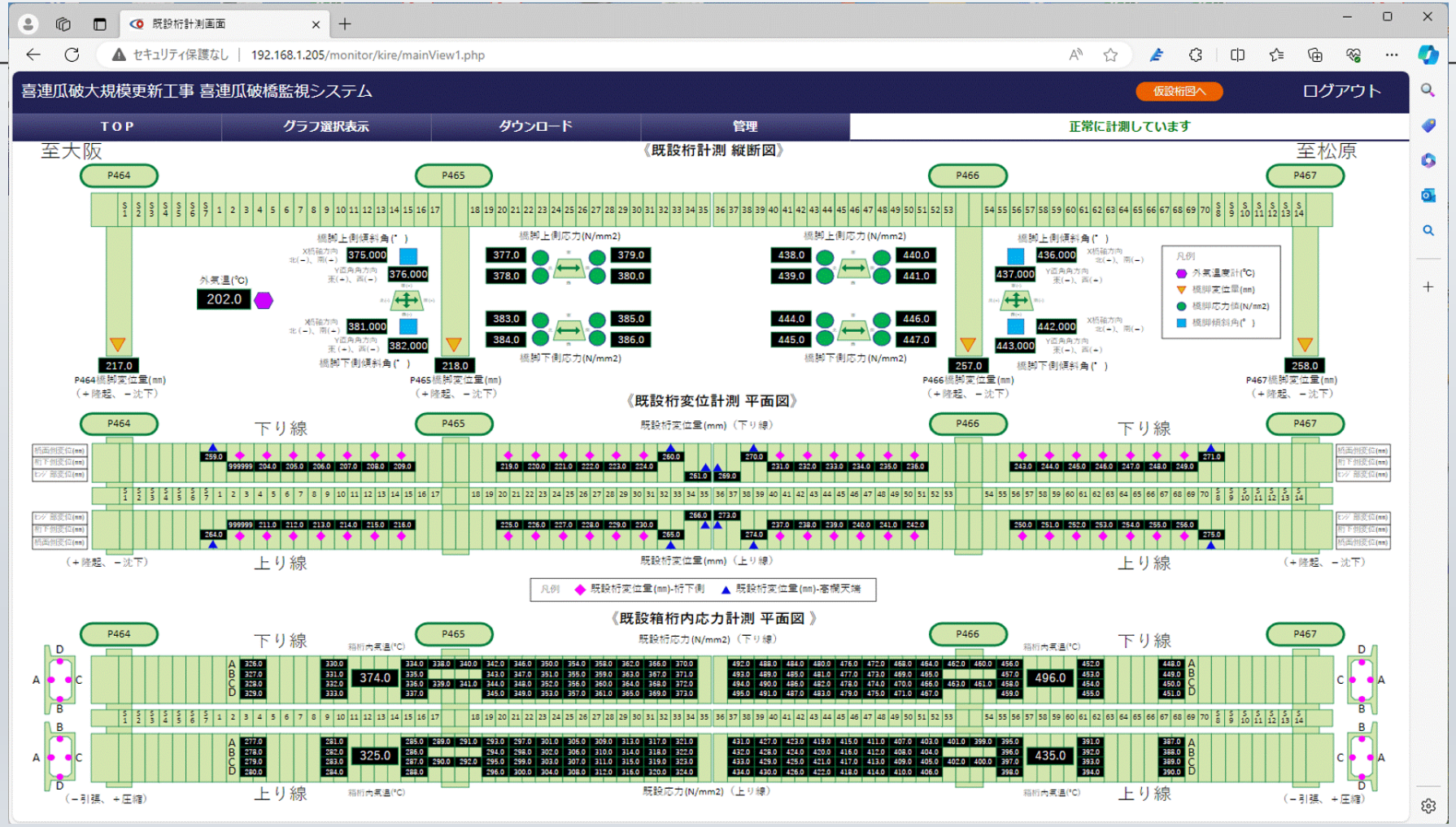
合計496点
リアルタイムにて
モニタリングを実施

収録したデータが管理限界値を
超過した場合は警報表示とメール発報

ミリ波レーダシステムの導入！

4-14. PC上部工解体時のモニタリングシステム

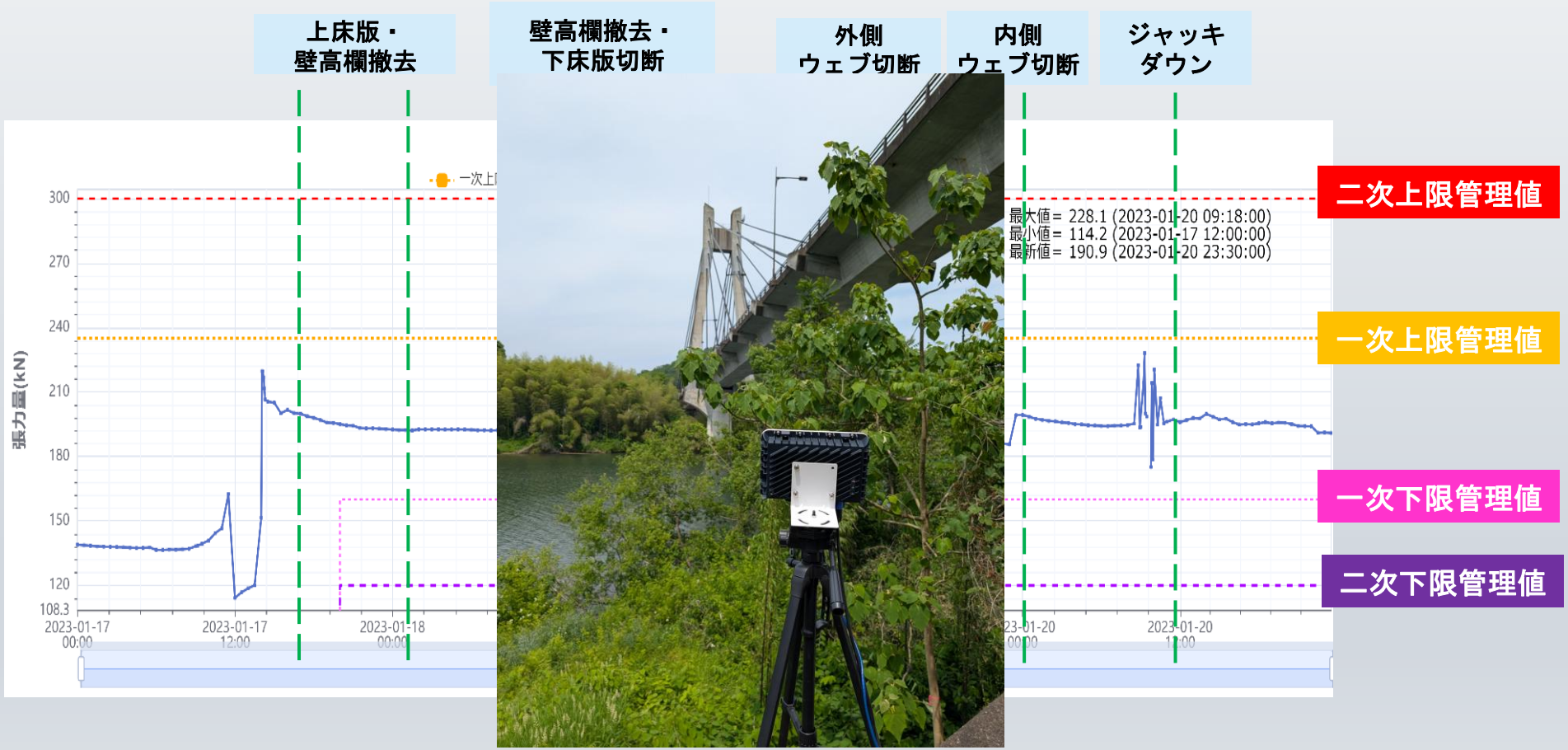
モニタリングシステムのモニター(上部工断面解体の変遷)



4-15. PC上部工解体時のモニタリングシステム

各解体

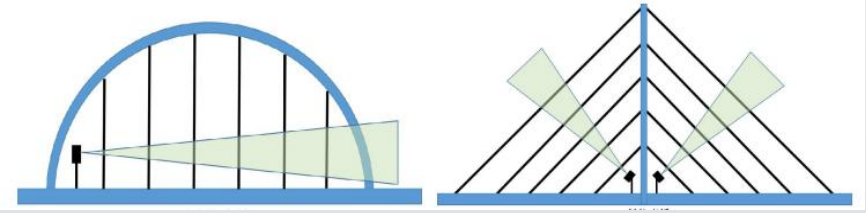
ミリ波レーダシステムの導入！



4-16.　ミリ波レーダーによるモニタリングシステム

橋梁のモニタリングシステム

たわみ、変位、ケーブル張力



法面変形のモニタリングシステム

Contents

１．PCグラウト調査　超音波パルスエコー法

２．電磁石式漏洩磁束による鋼材破断調査

３．ドローン空撮によるたわみ測定

４．ミリ波レーダーを用いた計測技術

５．J-ティフコム

インフラ長寿命化を支える補修・補強材料

J-ティフコム

【超緻密高強度繊維補強コンクリート】

損傷の実態から求められる
補修・補強材料として

↓

水・塩化物イオン等の劣化因子を確実に遮断
かつ　耐荷力の復活

↓

新材料の提案

J-THIFCOM　[J-ティフコム]

(Japan - Thixotropic Hardening Impermeable Fiber Reinforced Composite)

超緻密高強度繊維補強コンクリート

※J-ティフコムは高強度繊維補強セメント系複合材料(VFC)の
中でも強度の高い領域のUHPFRCと呼称される材料です

J-THIFCOM［J-ティフコム］ 超緻密高強度繊維補強コンクリート

Japan － Thixotropic Hardening Impermeable Fiber Reinforced Composite

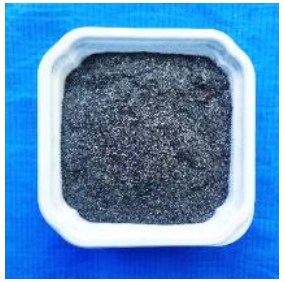
［衝撃で流動化する］ ［硬化する］ ［不透水性］ ［繊維補強］ ［合成構造］

（ 国土交通省のテーマ設定型（技術公募）「耐久性に優れる超高強度繊維補強コンクリート技術」および東京都建設局の新技術に登録 ）

- J-ティフコムの主材料は、J-T用ミックスセメント、J-T用鋼繊維、J-T用混和液で構成されており、 少ない水でこれらの材料を結合させることで高気密・高強度の硬化体を形成し、高耐久性を実現。鋼繊維を混入させているので、ひび割れしにくく、引張力が大きい。

J-T用ミックスセメント

J-T用鋼繊維（メゾ）

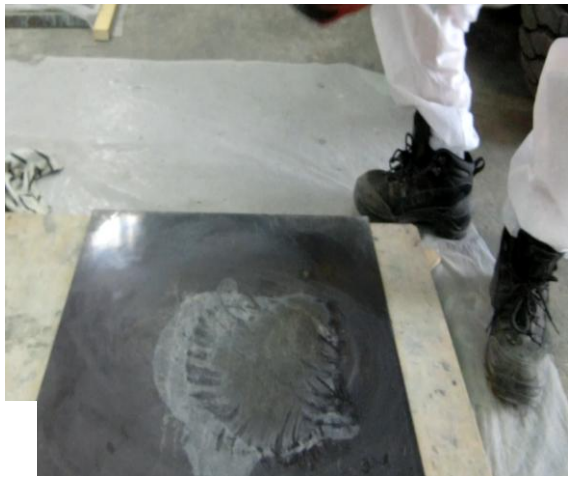


J-T鋼繊維（マイクロ）

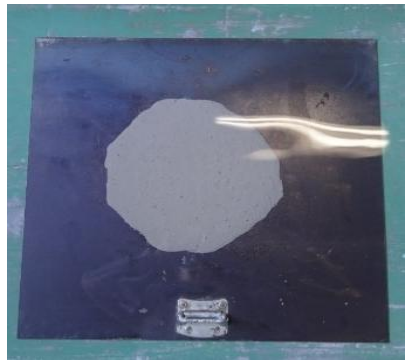
J-T用混和液

J-ティフコムの主材料

高粘性のため専用のミキサーを使用



10%勾配での性状
（チクソトロピック性）



水中フロー

材料を手で持ち運びできる
高粘性と材料分離抵抗性を有する

基本物性値

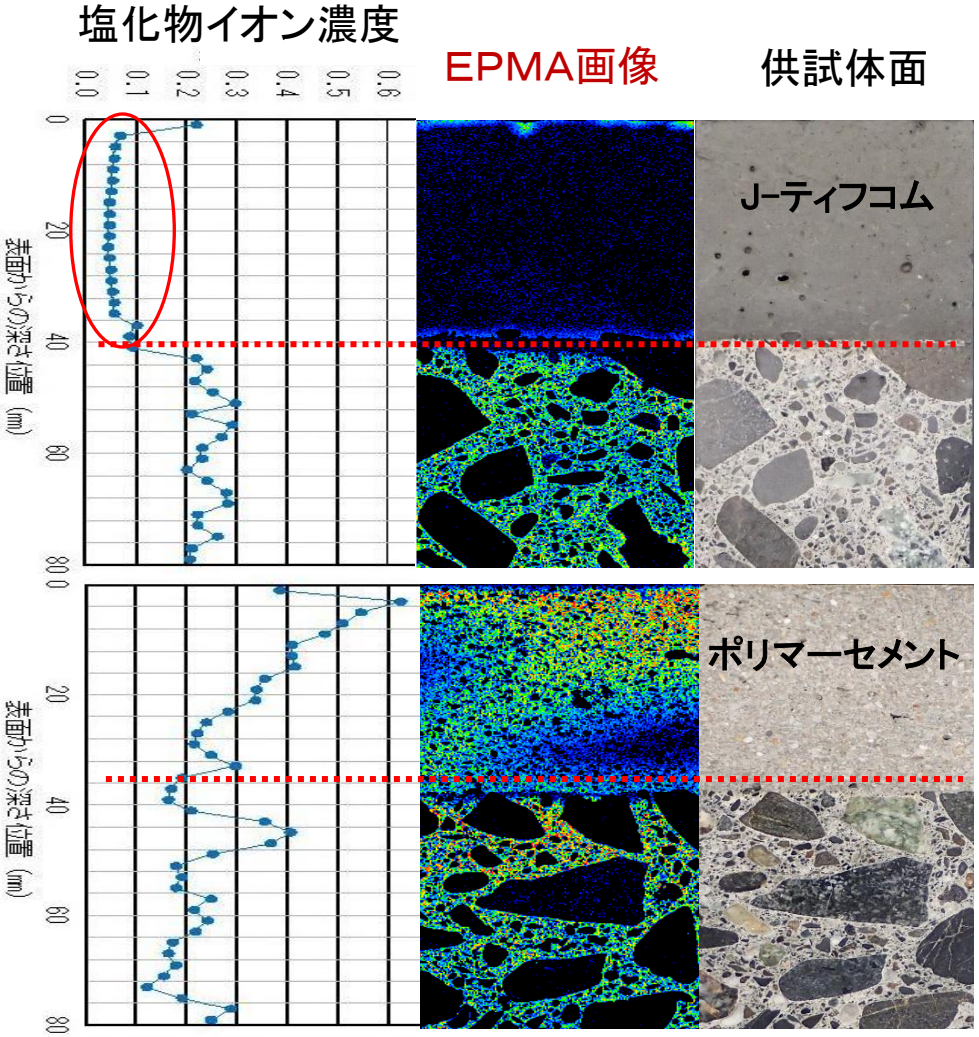
（鋼繊維混入率5.0vol.%に対する値）

項　　目	特　性　値	備　　考
圧縮強度（設計）	130 N/mm^2	試験 JIS A 1108 （材齢 28 日）
引張強度（設計）	12 N/mm^2	一軸引張試験 （材齢 28 日）
ひび割れ発生強度	9 N/mm^2	一軸引張試験 （材齢 28 日）
曲げ強度	35 N/mm^2	試験 JIS A 1171 （材齢 28 日）
ヤング係数	4.0×10^4 N/mm^2	試験 JIS A 1149 （材齢 28 日）
フロー値	打設条件に適合する範囲	試験 JIS R 5201 （ﾓﾙﾀﾙﾌﾛｰ ）
付着強度	2.7 N/mm^2 以上※	試験 JIS A 1171 （材齢 28 日）
長さ変化率(収縮低減剤使用)	111×10^{-6}	試験 JIS A 6202 （材齢 32 週）
塩化物イオン浸透深さ	0 mm	試験 JIS A 1171 （材齢 28 日）
中性化深さ	0 mm	試験 JIS A 1171 （材齢 28 日）
透気係数	8.0×10^{-19} m^2	透気性試験 （RILEM-CEMBUREAU 法）

（※付着強度はコンクリート母材での破壊（接着剤無し））

･塩化物イオンの遮断

塩水5%水溶液による乾湿繰り返し試験（170サイクル＝595日間）



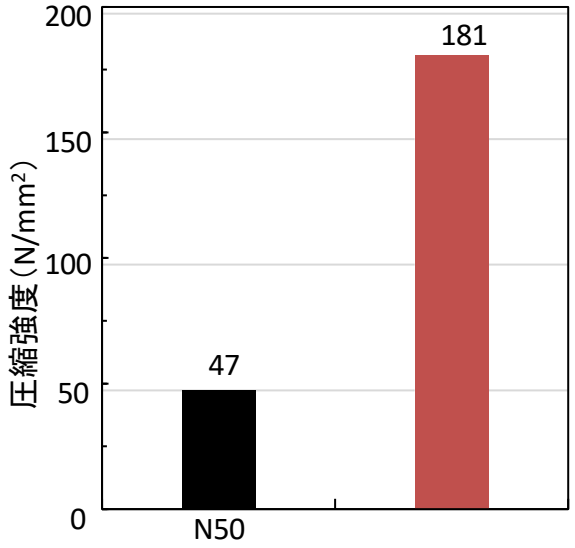
5.0kg/m^{3}の塩化物
イオンを含むコンクリート

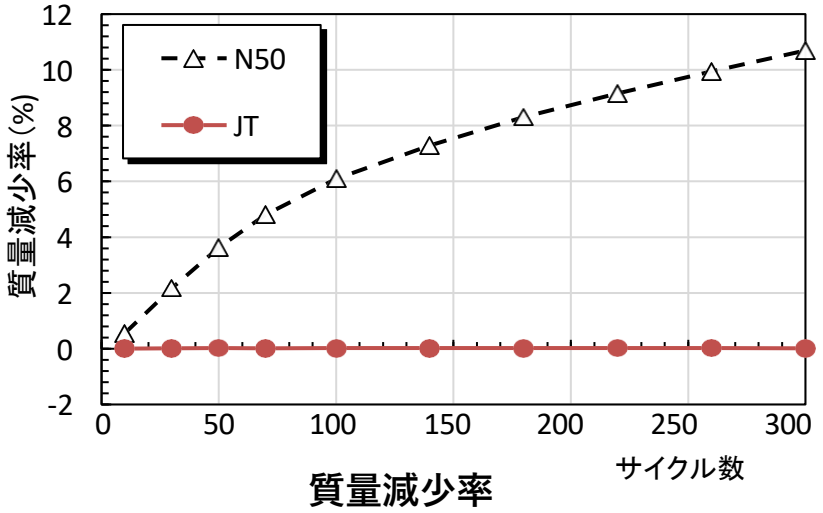
結果→物質浸透抵抗性が高い

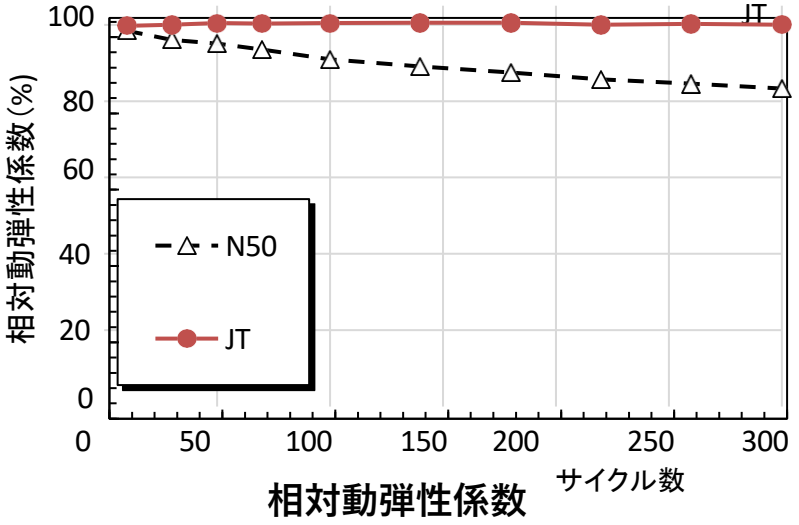
・凍結融解抵抗性

〇3%塩水を用いた凍結融解試験　JIS A 1148（A法）
- ➢ 300サイクルまで実施
- ➢ 圧縮強度試験，相対動弾性係数，質量減少率
  外観観察（10×40cmの4面）

〇試験体
- コンクリート供試体（N50）
- J–ティフコム供試体（JT）







・外観観察　300サイクル後

0　サイクル

300サイクル後　4面

A面　B面　C面　D面

・凍結融解抵抗性

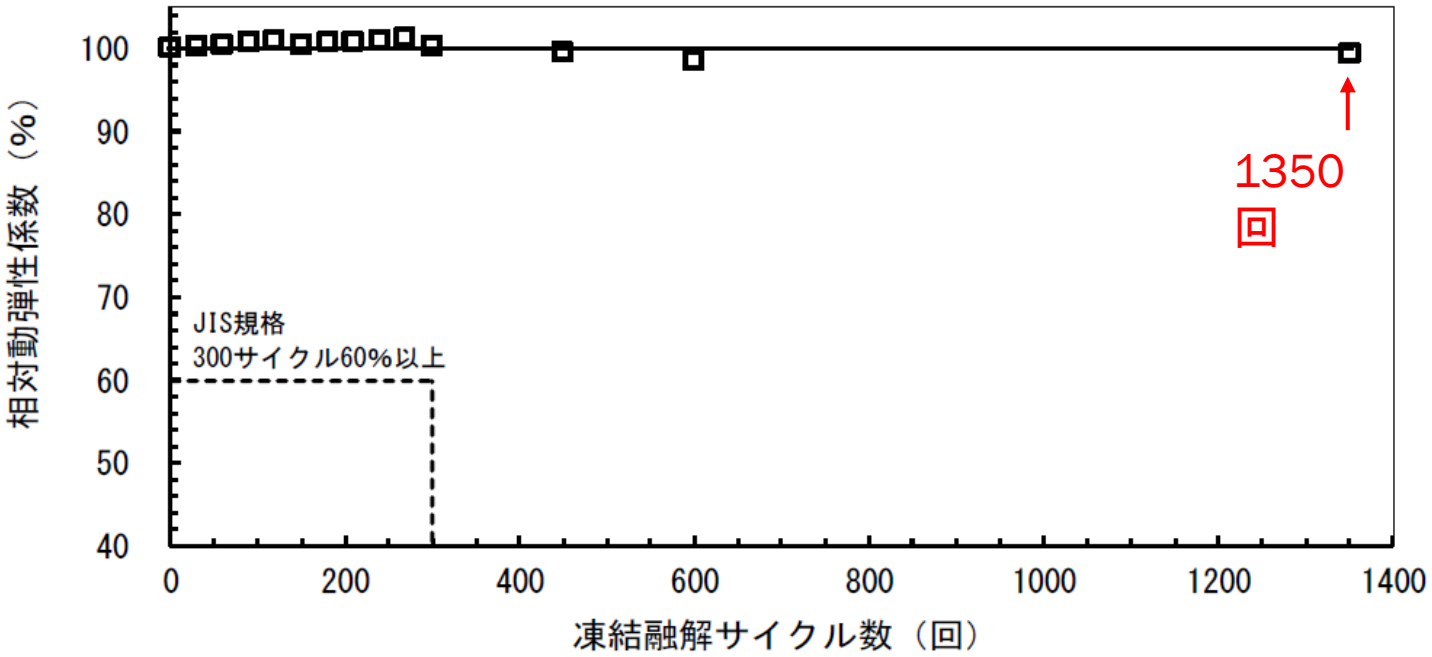


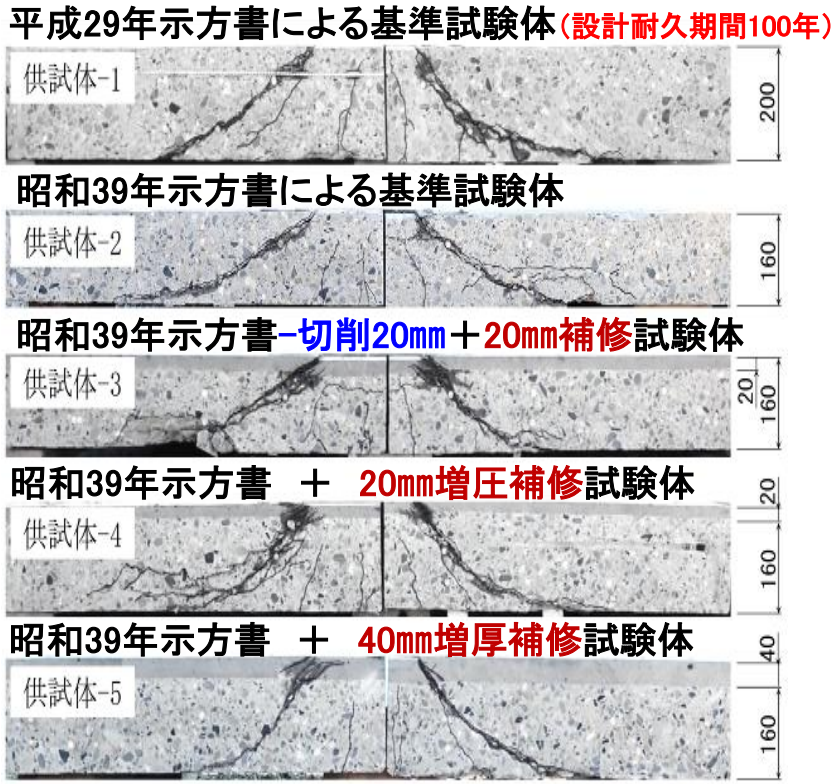
図-解 8.4.1　J-ティフコムの凍結融解抵抗性

土木学会「自己充てん型高強度高耐久コンクリート構造物設計・施工指針（案）p117～121」によれば，1000回以上の凍結融解抵抗性を有していれば，いずれの凍害危険度においても，期間100年での性能の低下はないとしている。

・床版の押抜きせん断耐力

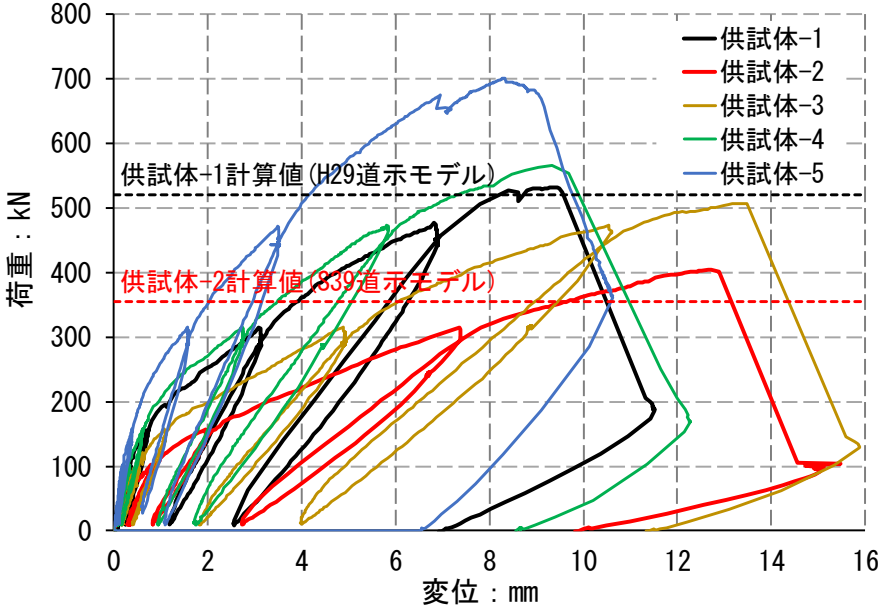
押抜きせん断試験

RC床版上面をJ-ティフコムで補修した場合の押抜きせん断耐力の向上効果を実験的に確認した



せん断ひび割れ状況（主筋方向切断面）

押抜きせん断試験の結果



試験体	床版厚および J-THIFCOM補修厚	最大荷重 (kN)		実験値の最大荷重比 [計算値1.0]
		実験値	計算値	
供試体-1	t=200mm　(H29道示モデル)	532.2	521.1	1.02
供試体-2	t=160mm　(S39道示モデル)	404.4	354.5	0.78
供試体-3	t=160mm-切削20mm＋補修20mm	507.2		0.97
供試体-4	t=160mm　+　増厚補修20mm	566.0		1.09
供試体-5	t=160mm　+　増厚補修40mm	701.4		1.35

注記）計算値は、下記に示される「押抜きせん断耐荷力の評価式」により算出

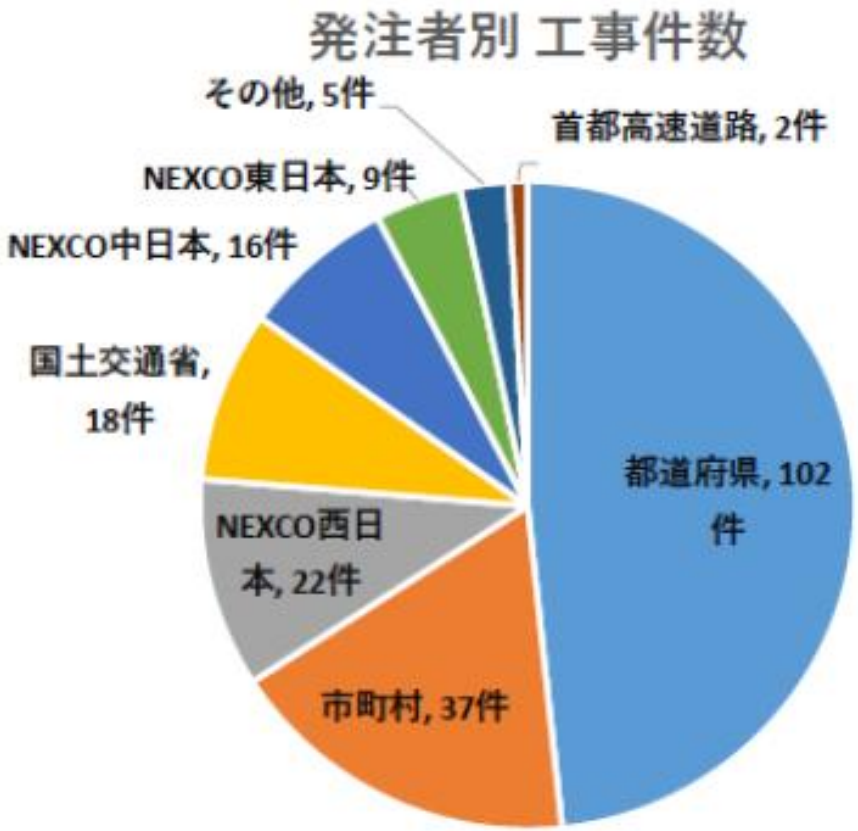
（土木学会：セメント系材料を用いたコンクリート構造物の補修・補強指針，p75）

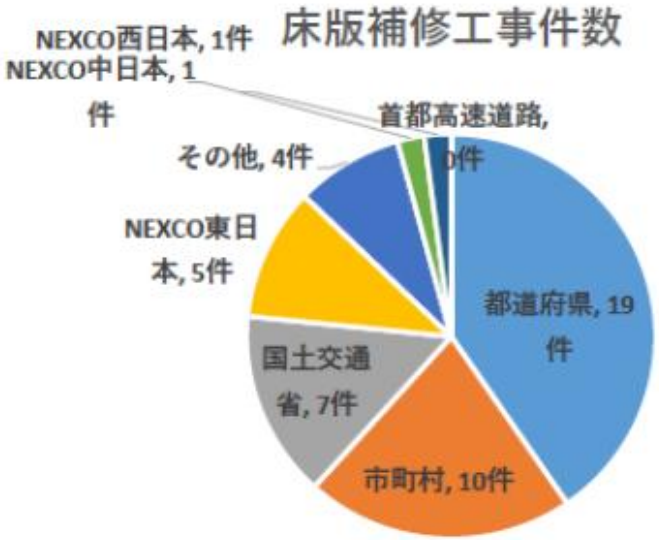
RC床版上面をJ-ティフコムで補修した場合

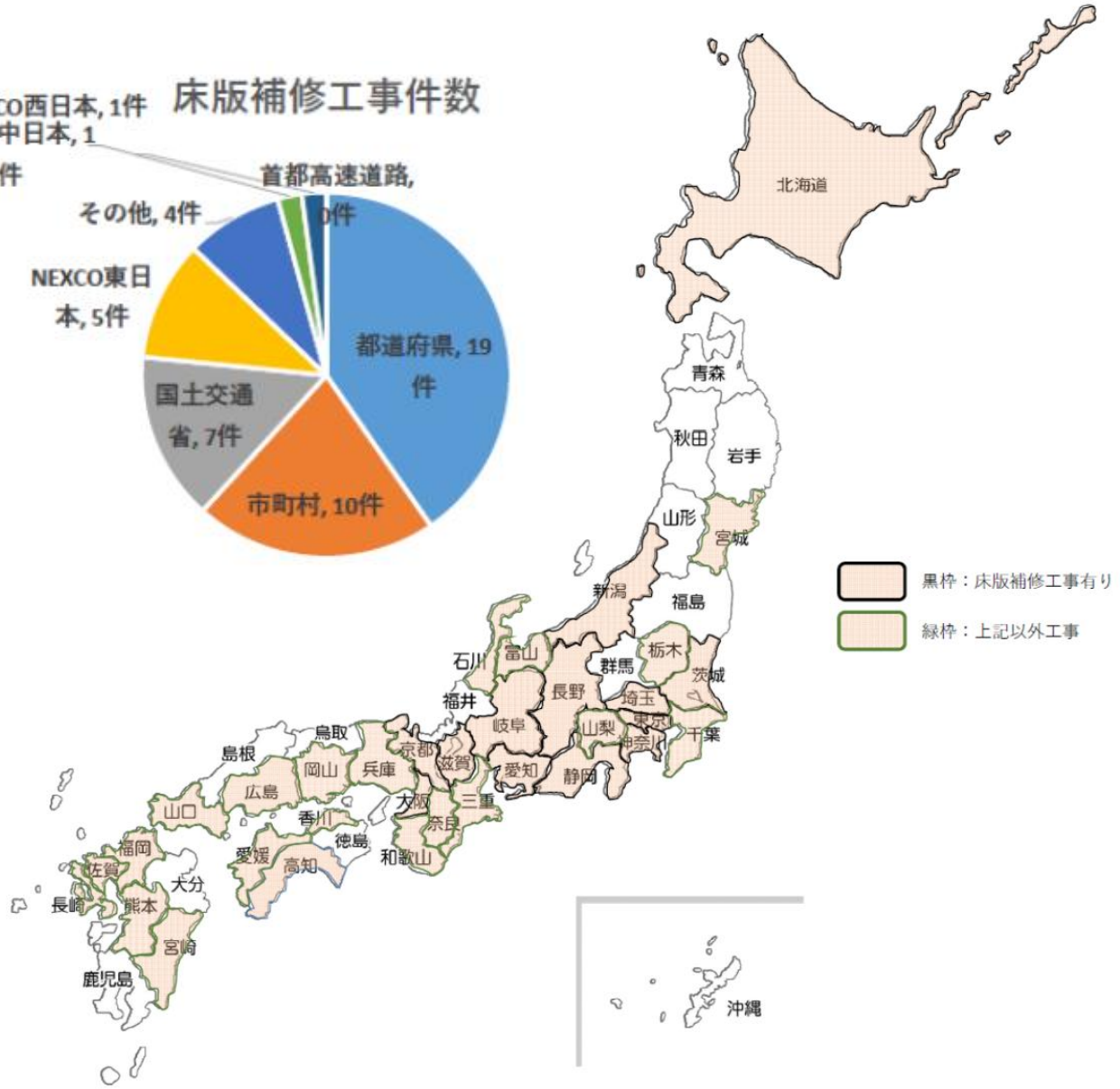
- RC床版との合成効果により床版の剛性が向上し、設計荷重時の鉄筋応力の低減効果が確認された。
- 昭和39年道路橋示方書の基準で設計された床版に対して、平成29年道路橋示方書の規定を満たすRC床版と同等の押抜きせん断耐力を付与できることが示された。

これまでのJ-ティフコム施工件数211 → このうち床版補修件数47

R7.6現在







UHPFRCを用いた補修事例

超緻密高強度繊維補強コンクリート
(J-ティフコム※)

※補修事例はお配りした資料をご覧ください

※J-ティフコムは高強度繊維補強セメント系複合材料（VFC）の中でも強度の高い領域のUHPFRCと呼称される材料です

J-ティフコム施工協会　J-ティフコム技術研究会

コンクリート構造物の
上面・表面の補修・補強は
J-ティフコム

ジャパン・レジリエンス・アワード
(強靭化大賞)2017

国土保全 交通・物流部門

最優秀レジリエンス賞受賞

➢ お問い合わせ

施工協会および技術研究会では J-ティフコム工法を構造物に適応するための設計・施工法等について研究しており，本材料を構造物に適応する場合のご質問等については下記までご連絡をお願い致します．

オールジャパンで国土強靭化を 一般社団法人レジリエンスジャパン推進協議会正会員

J-ティフコム施工協会

【事務局】

〒103-0027　東京都中央区日本橋 2-1-3

アーバンネット日本橋二丁目ビル　7F

株式会社ビー・ビー・エム内　Tel 03-3517-1713　Fax 03-3517-9866

施工協会ホームページ：　https://j-thifcom.com

【J-ティフコム技術研究会】

一般財団法人　災害科学研究所内(大阪)

Jーティフィコム施工動画

【工法・設計・施工に関するお問い合わせ】

株式会社サンブリッジ　Tel 011-768-7359　Fax 011-768-7756

〒001-0025　札幌市北区北 25 条西 4 丁目 1-26 レジデンスオオミ 25

【工法・材料に関するお問い合わせ】

株式会社美和テック　Tel 03-3523-6633　Fax 03-3523-6634

〒104-0033　東京都中央区新川 2-13-9　美和ビル

おわりに

技術者の熱意と技量、十分な時間、適切なお金が必要です

- 維持管理を適切に行うために、構造物の計画、設計、施工いずれもが大切です。
- 橋梁の維持管理に関する技術は、開発、改良の途上にあり,その継続が大切です。
- 適切な維持管理で安全でサステイナブルな社会を実現させましょう。

ご静聴有り難うございました

真のWell-Beingを目指して

株式会社CORE技術研究所

https://www.coreit.co.jp