新都市社会技術融合創造研究会
第22回新都市社会技術セミナー
「PC橋の適切な維持管理に関する研究」

PC橋の健全性に関する評価手法の総合的研究および維持管理における有効性の提案
令和7年度活動報告

プロジェクトリーダー

京都大学大学院工学研究科教授　杉浦邦征

活動報告内容

令和6年度研究成果
1．実験実証G活動結果
　（1）PC実験結果の概要
　（2）現場実験結果確認
2．データ評価検証G活動結果
3．有効性評価G活動結果

4．令和7年度研究会活動計画
（1）実験G活度計画
（2）データ評価G活動計画
（3）有効性評価G活動計画

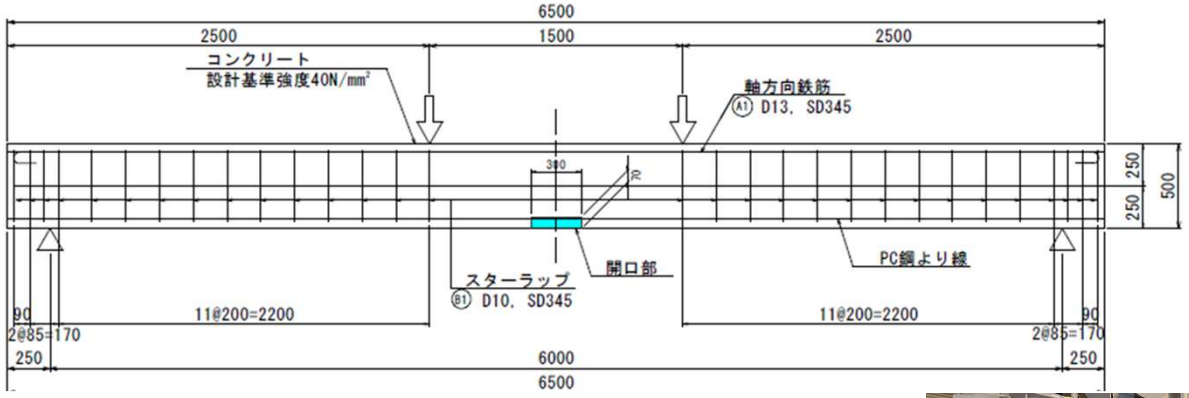
5．研究工程

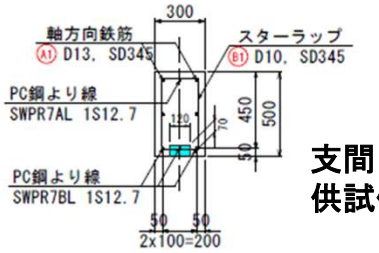
活動メンバー

研究PJリーダー	杉浦邦征客員教授（京都大学）
	金哲佑教授（京都大学）
	北根安雄教授（京都大学）
	山本貴士授（京都大学）
	五井良直准教授（岐阜大学）
	佐藤顕彦助教（京都大学）
	河邊大剛研究員（京都大学）
	丸山久一名誉教授（長岡技術科学大学）
民間委員	大久保宣人（高田機工）
	瀧本和志（HRC研究所）
	浜博和（NEXCO西日本イノベーションズ）
	広野邦彦（NEXCO西日本イノベーションズ）
	慈道充（阪神高速先進技術研究所）
	天谷公彦（日本ピーエス）
	福井郭斗（日本ピーエス）
	谷直彦（パシフィックコンサルタント）
近畿地整	谷道路保全企画官（近畿地整道路部）
	田中道路構造保全官（近畿地整道路部）
	竹中道路保全係長（近畿地整道路部）
	藤井保全対策官（近畿地整近畿道路メンテナンスセンター）
	森野保全企画係長（近畿地整近畿道路メンテナンスセンター）
	仲野技術情報管理官（近畿地整近畿技術事務所）

1．実験G活動報告 （1）PC実験結果の概要
PC桁実験供試体・実験状況

PC桁の寸法





支間：6m
供試体断面：300mm×500mm

- 実験場所

株式会社日本ピーエス　敦賀工場実験棟
〒914-0027 福井県敦賀市若泉町3

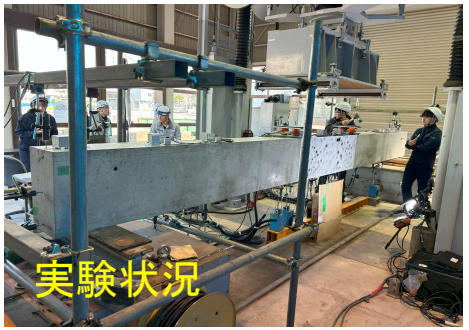
- 実験日

令和6年12月2日～6日

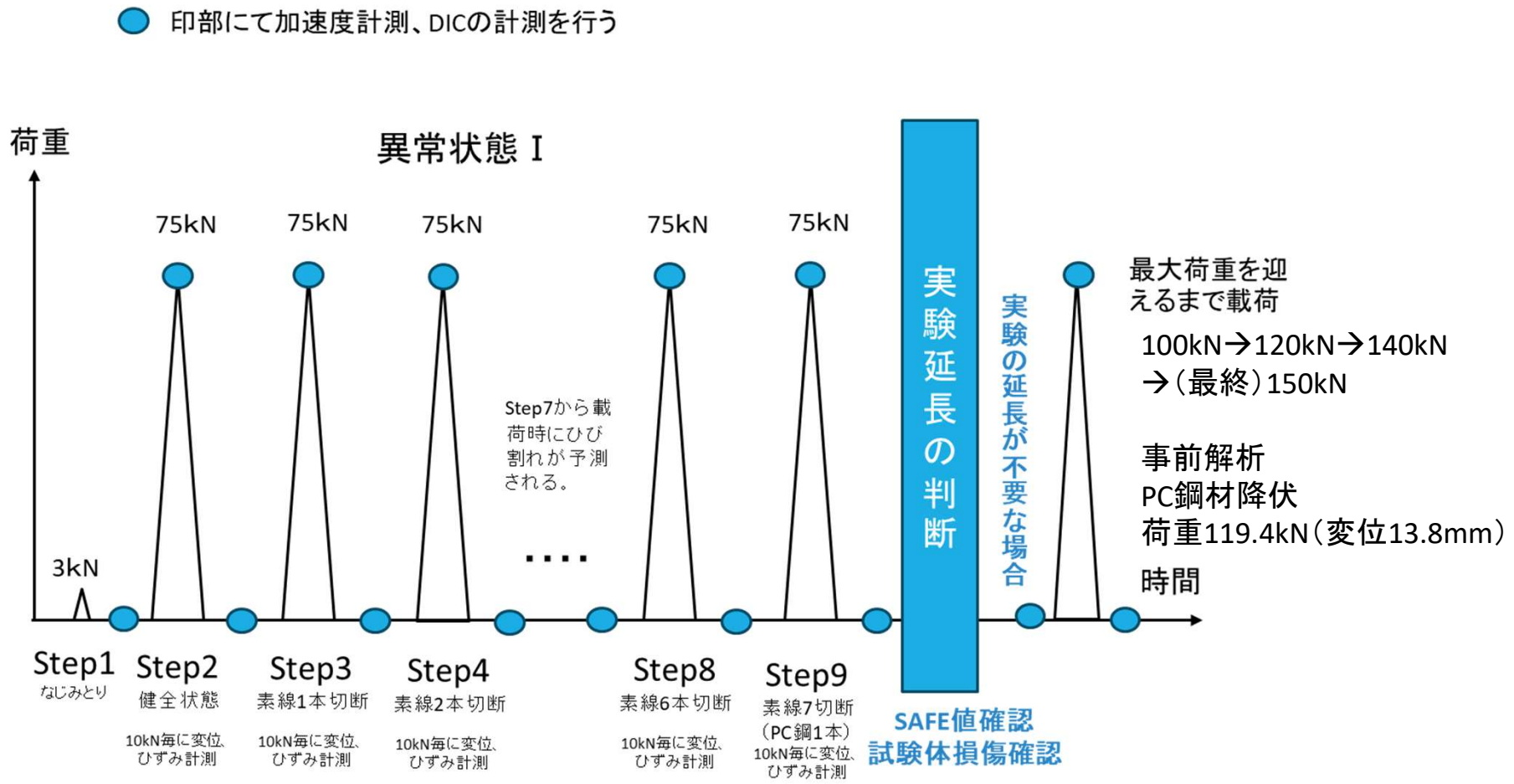
- 参加メンバー

京都大学：杉浦教授、北根教授、五井助教、髙瀬客員教授、
佐藤先生、河邊研究員、学生
長岡技術科学大学：丸山名誉教授
近畿地方建設局（道路部、近畿技術事務所、近畿MC）
NEXCO西日本、NEXCO西日本イノベーションズ
高田機工、HRC、パシフィックコンサルタント
見学者：寒地土木研究所、首都高速道路技術センター

実験状況



荷重載荷ステップ


印部にて加速度計測、DICの計測を行う
荷重
異常状態Ⅰ
75kN
75kN
75kN
75kN
75kN
3kN
Step7から載荷時にひび割れが予測される。
実験延長の判断
実験の延長が不要な場合
最大荷重を迎えるまで載荷
100kN→120kN→140kN
→（最終）150kN
事前解析
PC鋼材降伏
荷重119.4kN（変位13.8mm）
時間
Step1
なじみとり
Step2
健全状態
10kN毎に変位、ひずみ計測
Step3
素線1本切断
10kN毎に変位、ひずみ計測
Step4
素線2本切断
10kN毎に変位、ひずみ計測
Step8
素線6本切断
10kN毎に変位、ひずみ計測
Step9
素線7切断
（PC鋼1本）
10kN毎に変位、ひずみ計測
SAFE値確認
試験体損傷確認

実験計画設計値

引張側のみ　　許容引張1.5N/mm2

断面形状 高さ	断面形状 幅	コンクリート強度 (N/mm²)	損傷レベル	PC鋼材 鋼材種類		本数(素線数)	断面積 mm²	断面欠損率 %	残存プレストレス %	初期緊張力 N/mm²	有効プレ時応力 N/mm²	引張発生荷重 (kN)	設計荷重 (kN)	ひび割れ発生荷重 (kN)	破壊荷重 (kN)	備 考
500	300	72	損傷無し	下縁側	1S12.7	3(21)	296.13	–	–	1200	4.93	56.3	73.4	98.6	182.8	計算値 σpe＝1103.24
				上縁側	1S12.7	1(7)					0.79					
			損傷無し	下縁側	1S12.7	3(21)	296.13	0	100	950	3.43	39.1	56.3	82.0	182.8	推測値 σpe＝836
				上縁側	1S12.7	1(7)					0.92					
			素線1本切断	下縁側	1S12.7	3(20)	282.03	4.8	95.2		3.16	36.0	53.1	79.0	173.7	素線1本切断
				上縁側	1S12.7	1(7)					1.01					
			素線2本切断	下縁側	1S12.7	3(19)	267.93	9.5	90.5		2.91	33.1	50.2	76.2	164.5	素線2本切断
				上縁側	1S12.7	1(7)					1.12					
			素線3本切断	下縁側	1S12.7	3(18)	253.83	14.3	85.7		2.66	30.3	47.3	73.4	155.4	素線3本切断
				上縁側	1S12.7	1(7)					1.23					
			素線4本切断	下縁側	1S12.7	3(17)	239.72	19.0	81.0		2.40	27.3	44.3	70.5	146.2	素線4本切断
				上縁側	1S12.7	1(7)					1.33					
			素線5本切断	下縁側	1S12.7	3(16)	225.62	23.8	76.2		2.13	24.2	41.2	67.6	136.9	素線5本切断
				上縁側	1S12.7	1(7)					1.43					
			素線6本切断	下縁側	1S12.7	3(15)	211.52	28.6	71.4		1.88	21.3	38.3	64.9	127.7	素線6本切断
				上縁側	1S12.7	1(7)					1.55					
			素線7本切断 (PC鋼線1本切断)	下縁側	1S12.7	2(14)	197.42	33.3	66.7		1.62	18.4	35.4	62.0	118.4	素線7本切断 (PC鋼線1本切断)
				上縁側	1S12.7	1(7)					1.65					
			素線8本切断 (鋼線1本+素線1本)	下縁側	1S12.7	2(13)	183.32	38.1	61.9		1.37	15.5	32.5	59.2	109.1	
				上縁側	1S12.7	1(7)					1.75					
			素線9本切断 (鋼線1本+素線2本)	下縁側	1S12.7	2(12)	169.22	42.9	57.1		1.10	12.4	29.4	56.2	99.7	
				上縁側	1S12.7	1(7)					1.86					
			素線10本切断 (鋼線1本+素線3本)	下縁側	1S12.7	2(11)	155.12	47.6	52.4		0.84	9.5	26.4	53.3	90.3	
				上縁側	1S12.7	1(7)					1.97					
			素11本切断 (鋼線1本+素線4本)	下縁側	1S12.7	2(10)	141.01	52.4	47.6		0.58	6.5	23.4	50.4	80.9	
				上縁側	1S12.7	1(7)					2.08					

ひび割れ発生時点（75kNを下回る時点）

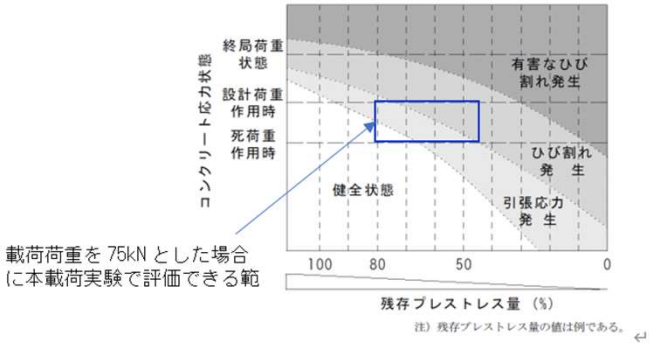


図-8　残存プレストレスと健全性の関係のイメージ

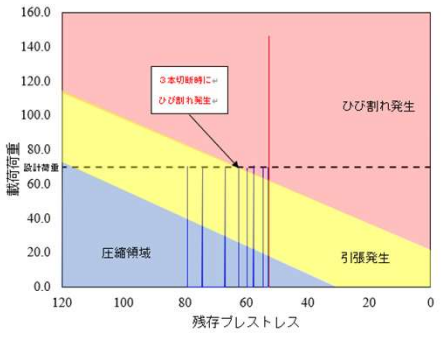
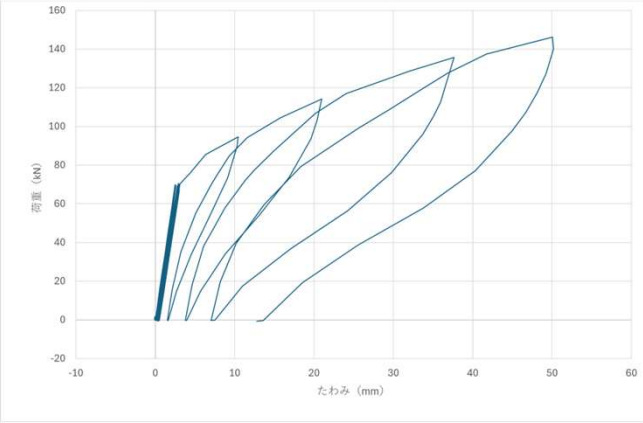


図-9　本実験における残存プレストレスとひび割れの関係

計測結果の概要

荷重一変位曲線（実験結果）



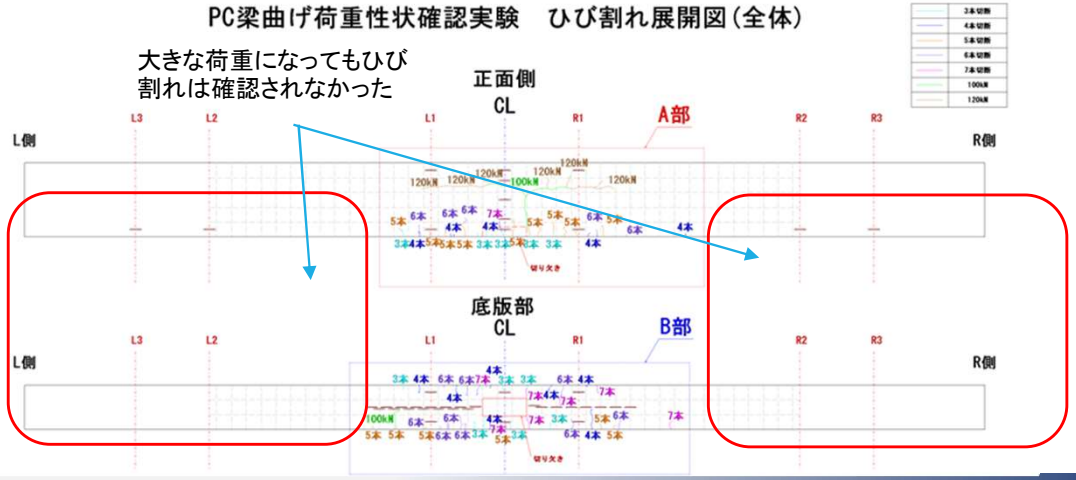
【考察】

実験における荷重一変位曲線を左上図に示す。
設計荷重とした75kNの載荷時は素線7本（PCケーブル1本）切断までの支間中央部の変形は弾性変形を示した。その後、100kNへ載荷した時に75kNを過ぎたあたりから変形量が大きく変化した。事前解析CASE2で示された解析結果と同様であった。

ひび割れは素線が4本切断したあたりから発生した。これも計画時の設計値で示した状況とほぼ一致した。

ひび割れは箱抜きの端から発生し、RC桁と異なり、主たるひび割れは一本であった。下記写真に示すように150kNの載荷時にはひび割れ幅が13mmとなり、その時点で実験を終了した。但し、除荷するとひび割れ幅は2mm程度となった。
また、ひび割れ図の赤四角部分には大きな荷重になってもひび割れは確認されなかった

ひび割れ図（ひずみゲージ位置）



実験終了時のひび割れ状況（側面）

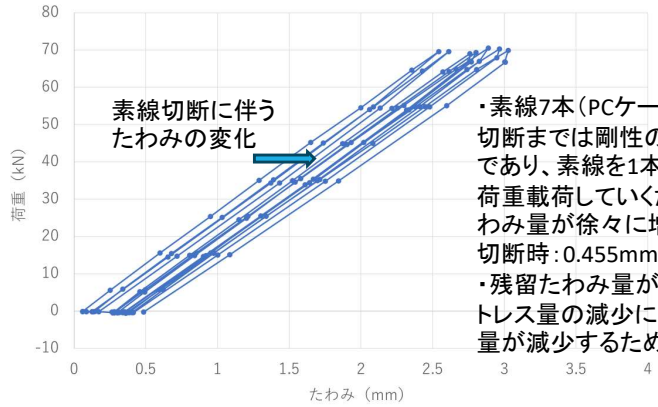
実験終了時のひび割れ状況（下面）

実験終了時のひび割れ状況（荷重除荷後）

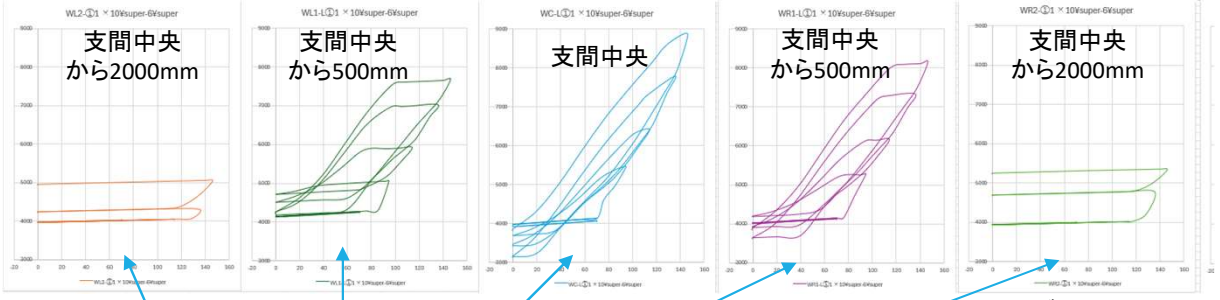
計測結果の概要

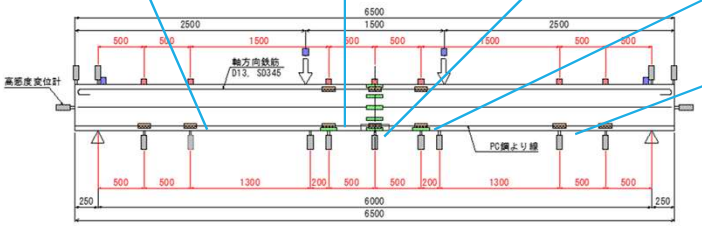
荷重-たわみ曲線

1～7本切断時



・素線7本（PCケーブル1本）の切断までは剛性の変化は微少であり、素線を1本毎に切断し、荷重載荷していくたびに残留たわみ量が徐々に増加（素線7本切断時：0.455mm）していく。
・残留たわみ量が変化はプレストレス量の減少に伴い、上反り量が減少するためと予測される



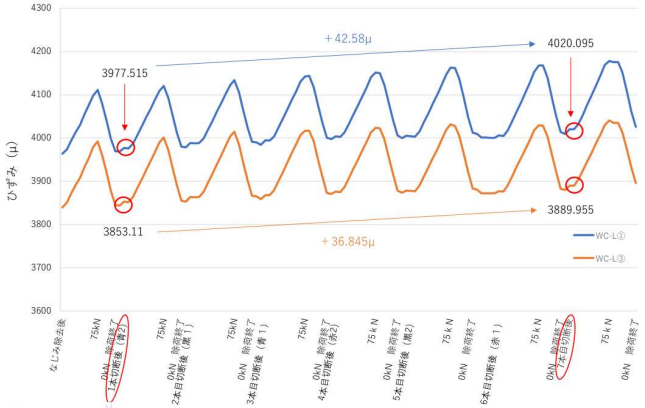


計測PC
ケーブル

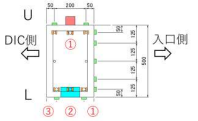
・下面のPCケーブルは70kNを超えたあたりからひずみが非線形に変化する。ゲージ部分の付着が切れたかひび割れが発生したと考えられる。その現象は荷重を増加させるとともに徐々に支点側へ変化している。
・ひび割れの進展は外観観察からは確認されないことから、付着がその時点ですべったと考えられる。

PC鋼材切断時のPC鋼材ひずみの挙動（下縁両側のケーブル）

WCライン　L①・③

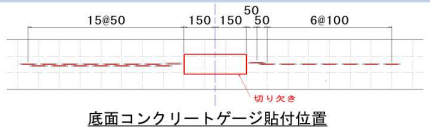


・PC鋼材が切断されることにより、その両側のPC鋼材に力が分担される。

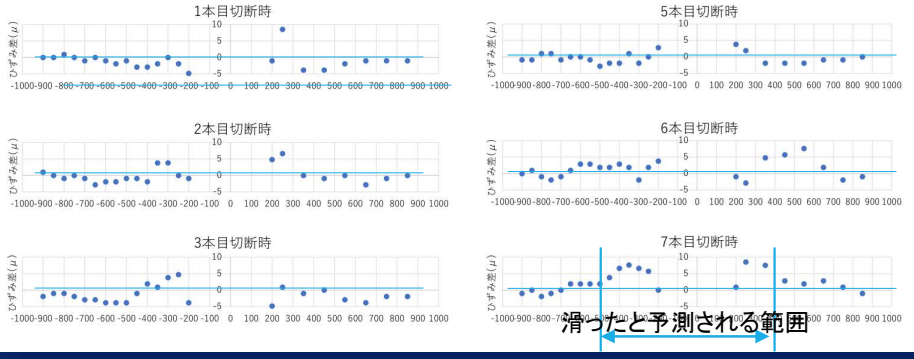


・底面に設置したひずみ計の結果からPC鋼材の切断したPCケーブルは箱抜き以外ではPC素線切断以降付着が徐々に滑っている可能性がある。

PC鋼材切断前後の底面コンクリートひずみの差



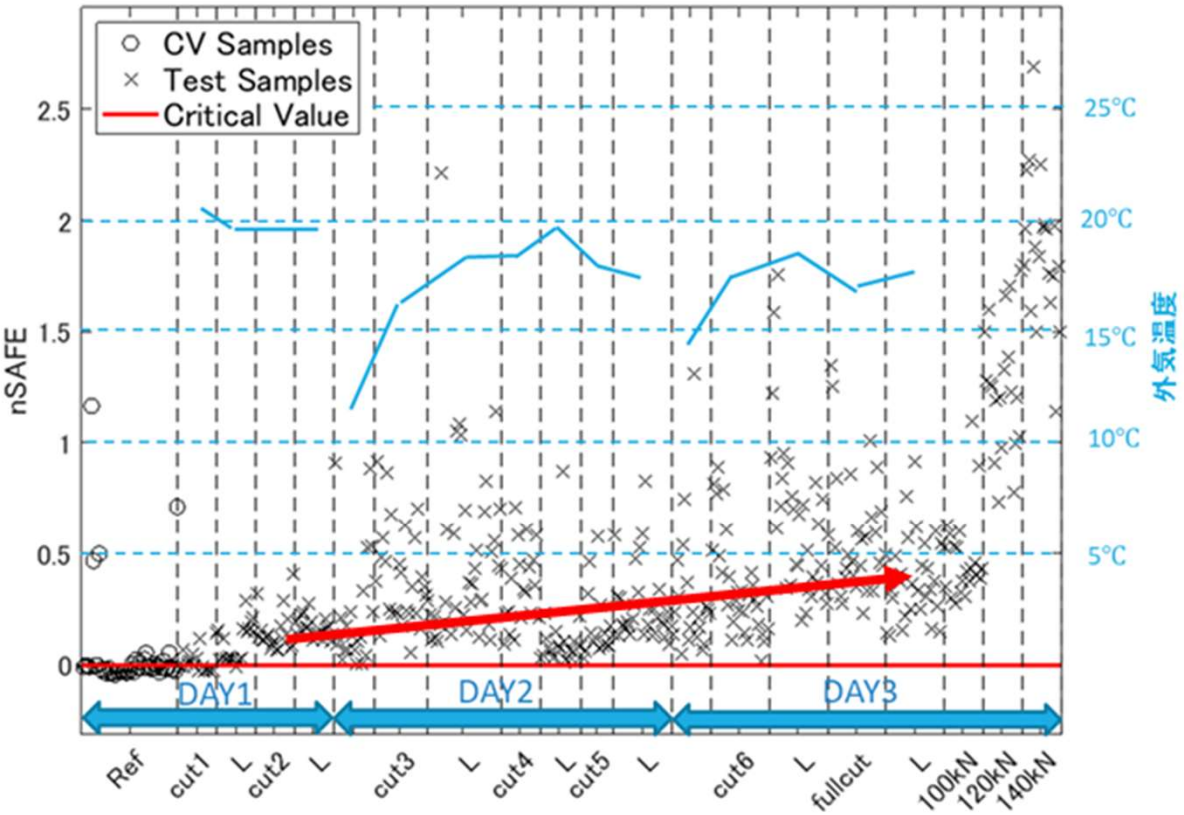
底面コンクリートゲージ貼付位置



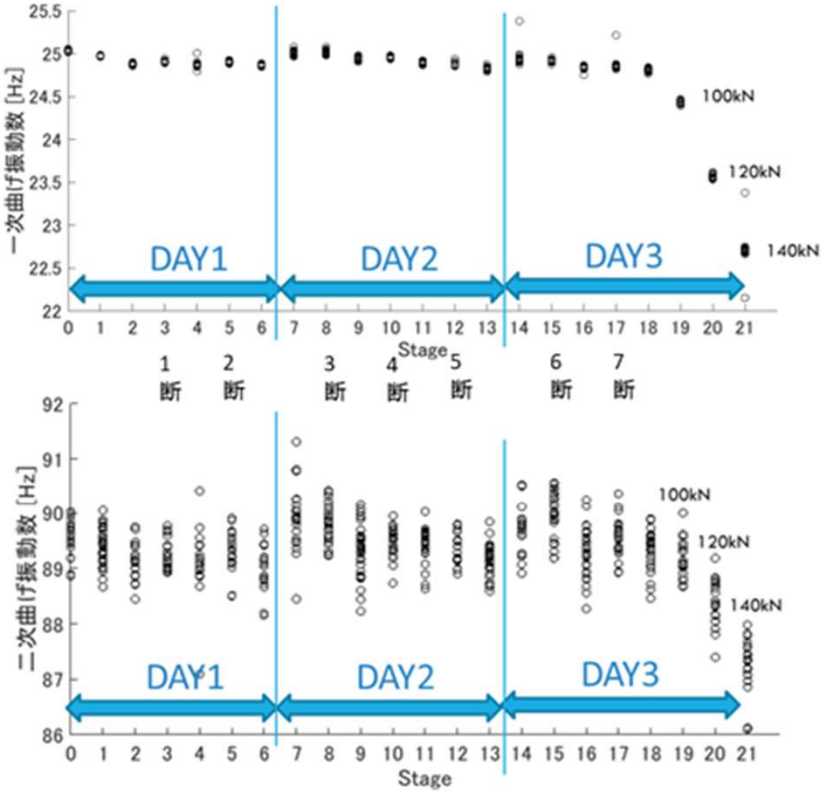
滑ったと予測される範囲

計測結果の概要

SAFE計算結果

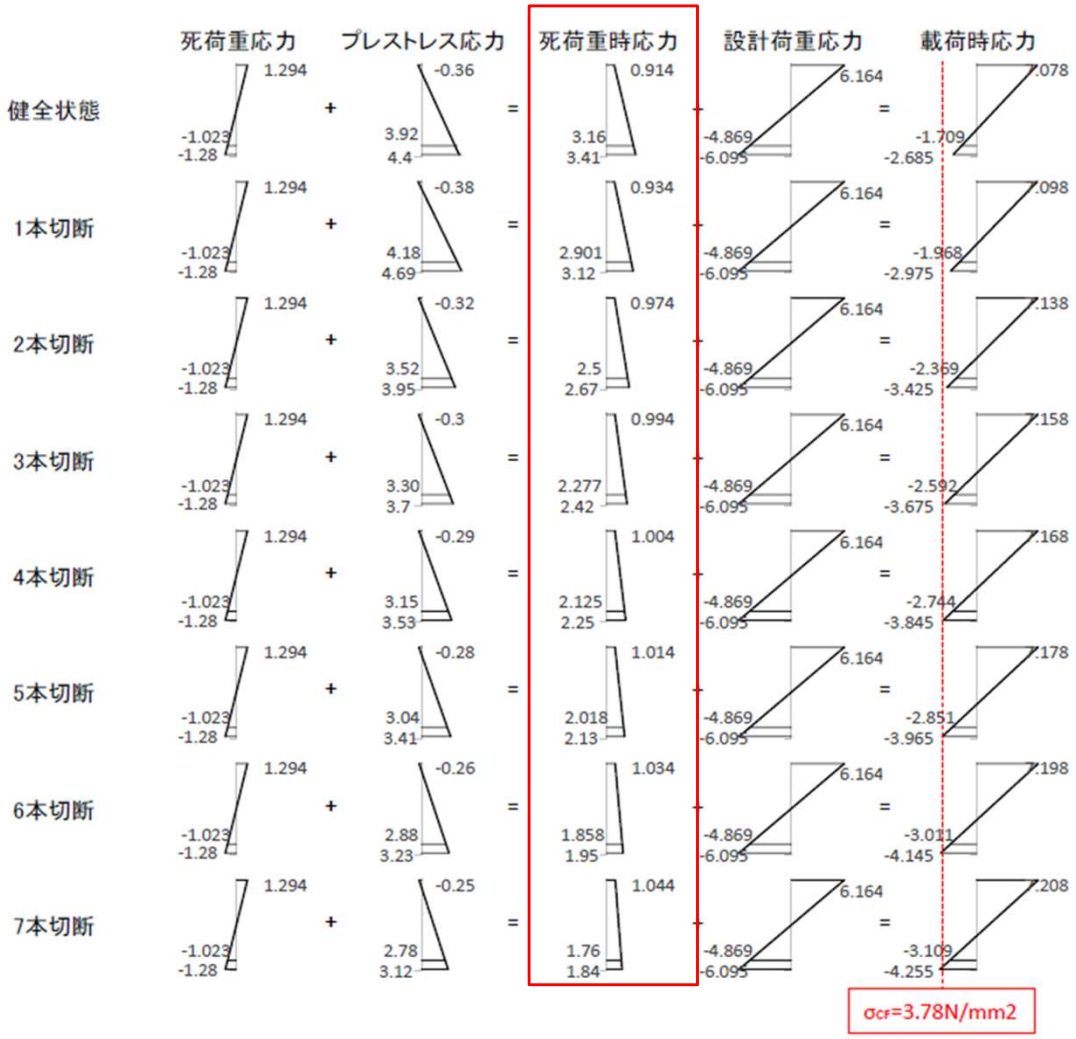


固有振動数計算結果



・PC梁試験の結果、PCケーブルを1本切断した状態でもPC梁のひび割れ幅は荷重除荷時には閉じており、前項のひずみの結果からは、構造体は弾性挙動を示した。その後、100kNの際が状態へPCケーブルのひずみは変化し、PCケーブルの付着が切れたり、ひび割れも大きくなった。つまり、SAFE技術により評価しなくてはならない現象は、劣化の進行が進んだ状態をSAFE値で明確に示すことに着目して検討することとした。（次ページ断面内応力分布図参照）

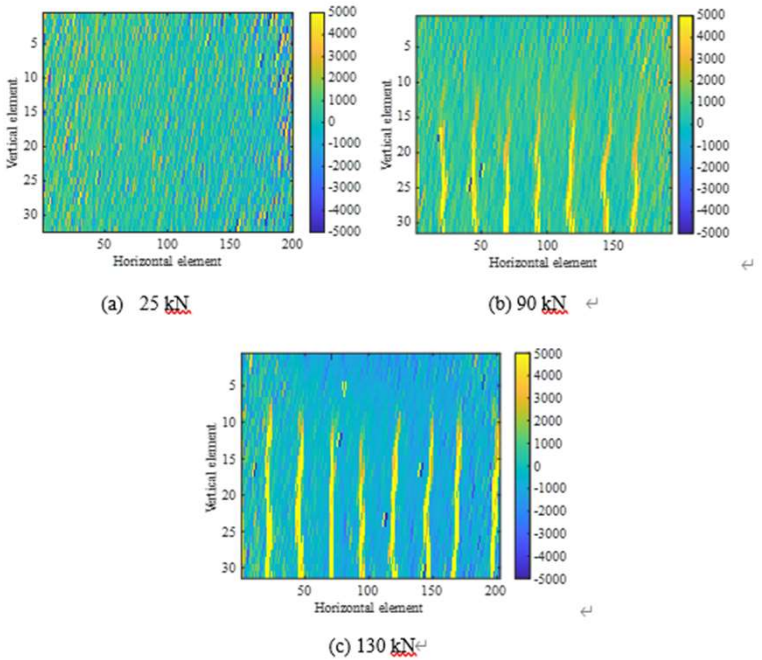
計測結果の概要



本供試体の設定においては、素線が7本切断された場合でも死荷重時においてコンクリート体下縁の圧縮応力がゼロ以上であった。つまりコンクリート体はすべて圧縮状態であるケースの振動数の変化を計測しているために、それほど大きな変化としては計測されていない。
それにおいてもSAFE値は徐々に変化を計測している。
一般的にPC橋梁の最も危険なケースとしてはコンクリート体下縁がゼロ付近である場合だと推定される。
次回の実験においては、内部の応力勾配などを想定し一般的な損傷時の応力状態からSAFE値の評価を検討することが望ましい。

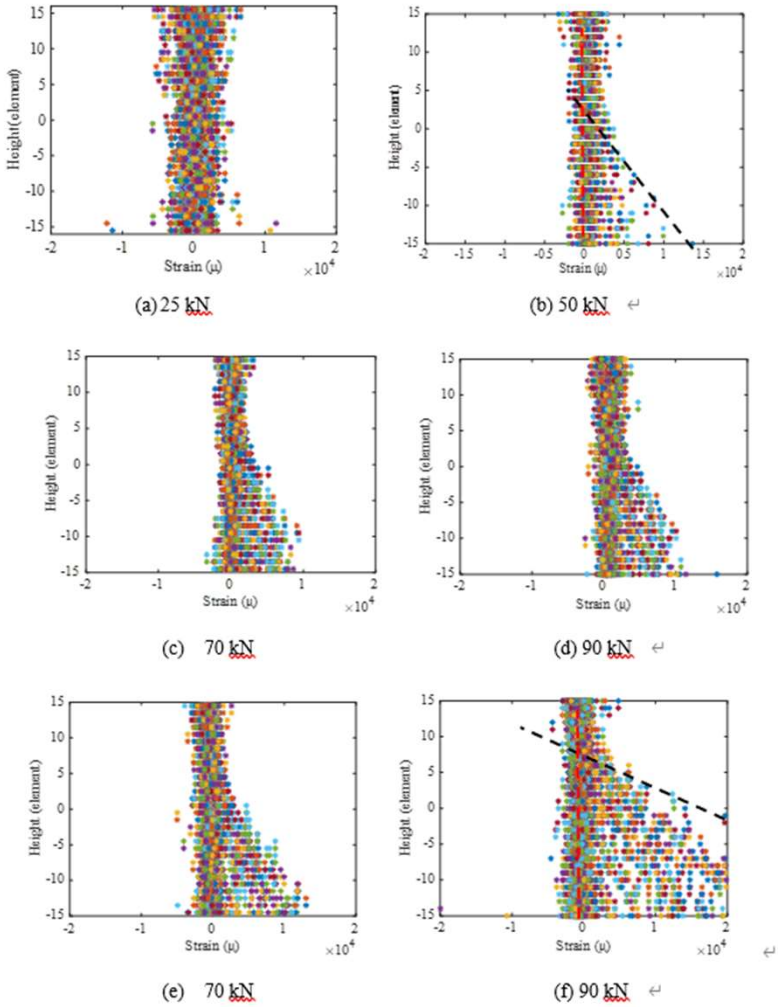
画像相関法によるひび割れ評価結果

ひずみ分布、中立軸



水平ひずみのコンター図（黄色：引張ひずみ，青色：圧縮ひずみ）

上図から，25 kNの段階では，DIC解析の結果からひずみの分布に規則性は確認できなかった．しかし、90kNからは，曲げひび割れの発生が水平ひずみの大きい範囲として確認できる．しかし、水平ひずみ値の評価においてはDICの分解能に課題が残った。



水平ひずみの高さ方向分布

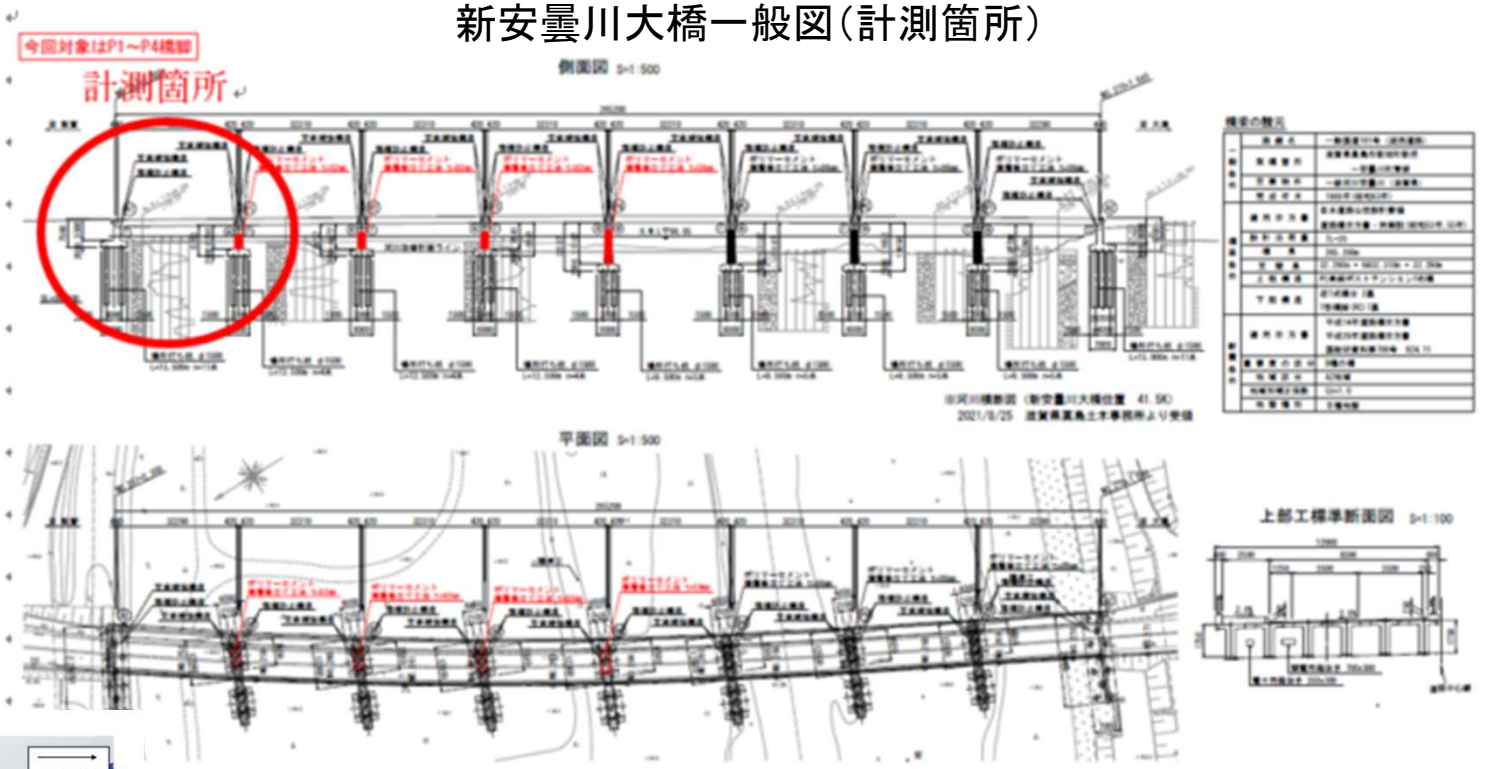
ひび割れ発生時には，図-(b)~(f)のように，同一高さにおいて，ひび割れ部分の高い引張ひずみと，それ以外の部分が混雑している．図-(b)(f)のように，引張ひずみの外縁に補助線を引くと，黒点線と赤点線の交点からひび割れの進展とともに中立軸が上側に移動しているようにも見える．

しかし、圧縮ひずみの計測精度に課題があるため，DICによる中立軸の計測には更なる検討が必要である．

（2）現場実験結果の確認

橋梁位置

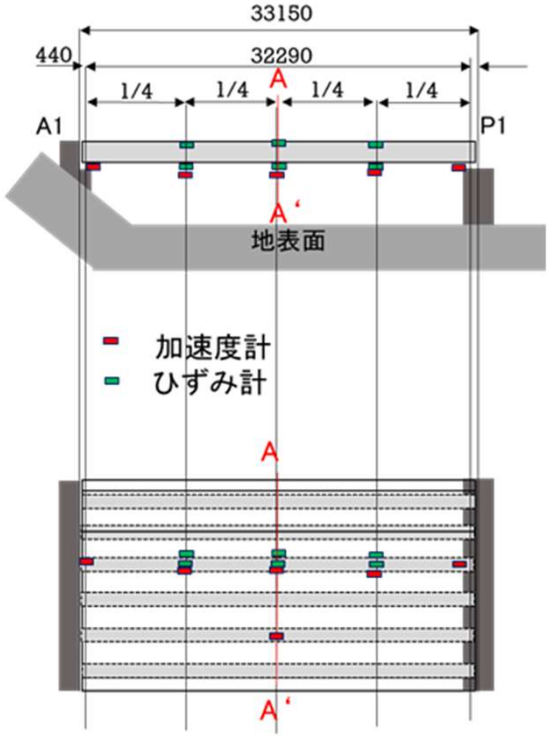
新安曇川大橋一般図（計測箇所）

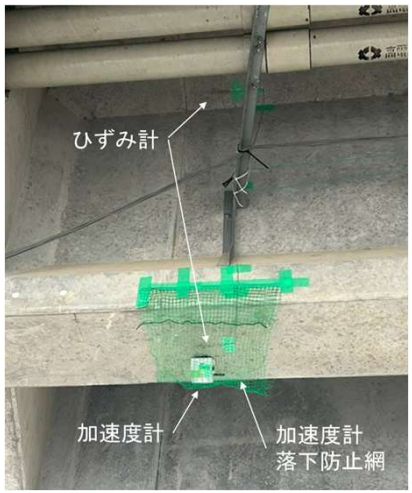


計測径間の写真

現場計測の概要

加速度計、ひずみ計の計測



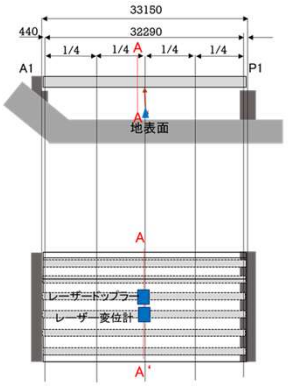


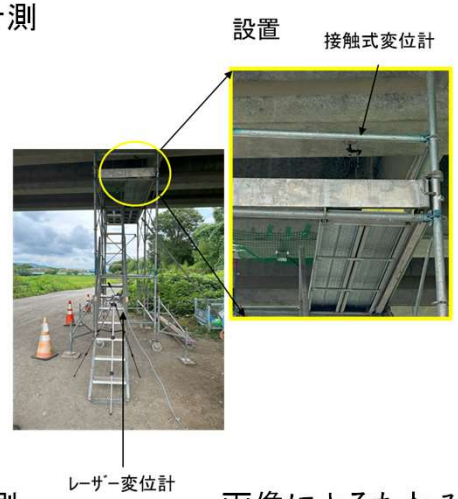
計測期間

夏季計測：2024年9月2日～3日
冬季計測：2025年1月29日～30日

たわみの計測

レーザー機器によるたわみ計測



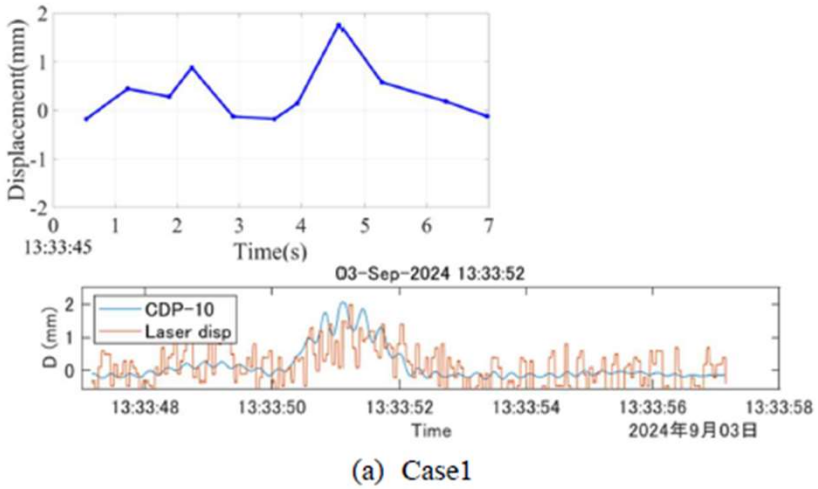


桁端のたわみ角計測による計測

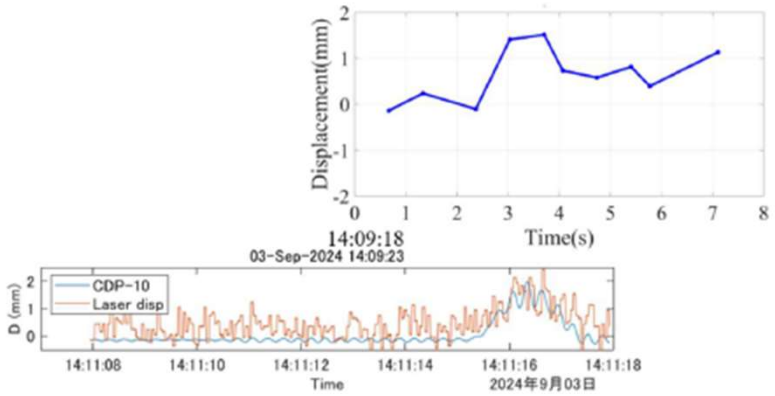
画像によるたわみ計測

画像によるたわみ計測結果

夏計測

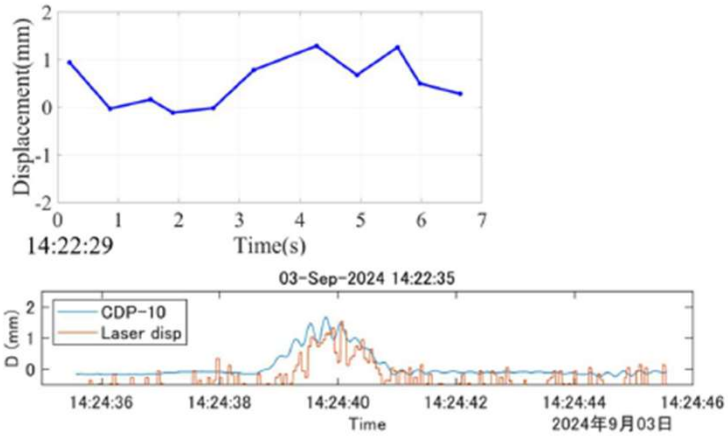


(a) Case1



(b) Case2

支間中央たわみの比較（上：LVBDT，下：接触式変位計CDP-10）



(c) Case3

LVBDT による変位-時間曲線と従来の接触式変位計CDP-10 で得られた結果との比較を示している．カメラ内の時刻と接触式変位計のデータロガーの時刻とで数秒の誤差があるため，図では最大たわみの時刻が合うように補正している．図(a)では，スパン中央での変位がLVBDT では1.76mm となっており，これはCDP-10 によって記録された1.8 mm の変位と非常に近い値を示している．

LVBDT とCDP-10 の結果の比較により，LVBDT が現場測定において大きな可能性を持つことが示された．支点位置でのデータ変動は0.3 mm 以内に収まり，スパン中央では，LVBDT のサンプリング周波数が限られているが，荷重通過による主要な変位を捉えた．
LVBDT は，設置が簡便で実環境への適応性が高く，高い精度を提供する．特に，計測中のカメラの移動の影響を受けづらいという特徴は，他の画像ベースの測定技術には無い利点である．
しかし，他の画像ベースの測定技術と同様に，周囲光などの外的要因に影響を受けやすいという課題がある．データ処理結果の分析から，将来の研究において，サンプリング周波数の向上，受光板の改良，およびデータ処理手法の洗練がLVBDT の適用をさらに進展させるための重要な方向性であることが示唆された．

桁端傾斜角計測

本計測では桁端での計測からの簡易な健全性評価を目指している.
桁端のたわみ角計測には変位計を用いる方法が一般的だが，簡易化のために加速度計による計測も併せて試みた.
本報告では2024年3月および9月計測分の現時点の評価を示す.
桁端での支承移動量，たわみ角，支間中央たわみのいずれも，9月の計測分が3月と比較して小さいことが確認された．特に支承の移動が制限されていることが示唆される.

桁端計測

支間中央計測

	3月計測	9月計測	変化率
橋台側たわみ角（変位計による推定）	0.147mrad	0.129mrad	-12%
橋台側たわみ角（加速度による推定）	0.140mrad	0.118mrad	-16%
橋脚側たわみ角（変位計による推定）	0.164mrad	-	
橋脚側たわみ角（加速度による推定）	0.106mrad	0.083mrad	-22%
橋台側支承移動量	0.036mm	0.019mm	-47%
橋脚側支承移動量	0.207mm	0.038mm	-82%
支間中央たわみ	1.417mm (レーザードップラー振動計による計測)	1.304mm (接触式変位計による計測)	-8%

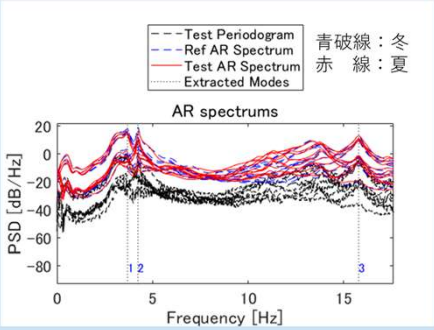
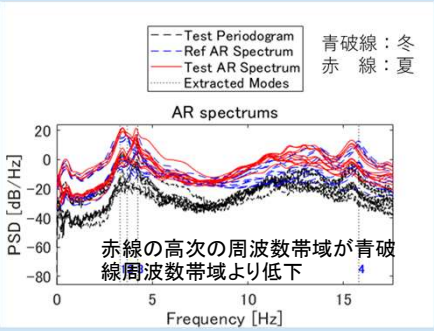
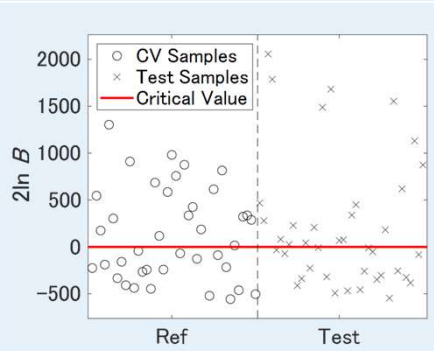
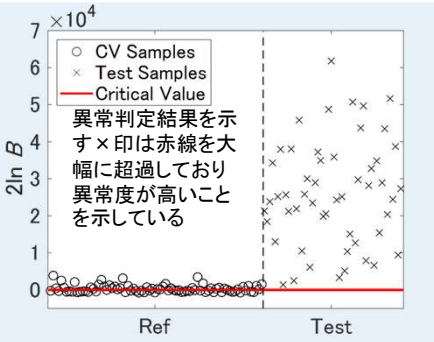
加速度計測（SAFE結果と振動特性）

SAFE評価の目的

- 2024年冬計測前半を基準データ，2024年冬計測後半を異常検知データで適用した結果
  （アルゴリズムが正常に動作することの確認）
- 2024年冬計測を基準データ，2024年夏計測を異常検知データで適用した結果
  （冬⇒夏：外気温がSAFE結果に与える影響の考察）

振動特性評価の目的

- 2024年冬計測と夏計測の固有振動数同定値と減衰定数同定値の比較

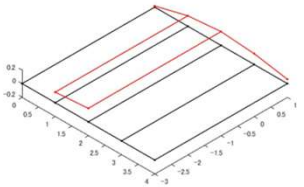
	外気温	外気温
	2024年冬計測前半を基準　4.8度（正午） 2024年冬計測後半を異常判定　4.8度（正午）	2024年冬計測を基準　4.8度（正午） 2024年夏計測を異常判定　27.9度（正午）
周波数分析		
SAFE評価		

振動特性評価

夏計測　曲げ1次モード

Modal Shape

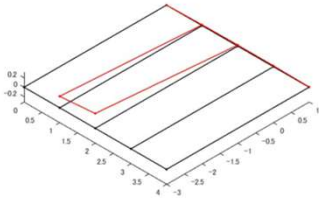
3.49699



夏計測　ねじれ1次モード

Modal Shape

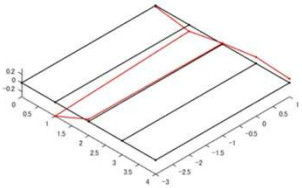
4.27011



夏計測　曲げ2次モード

Modal Shape

13.5403



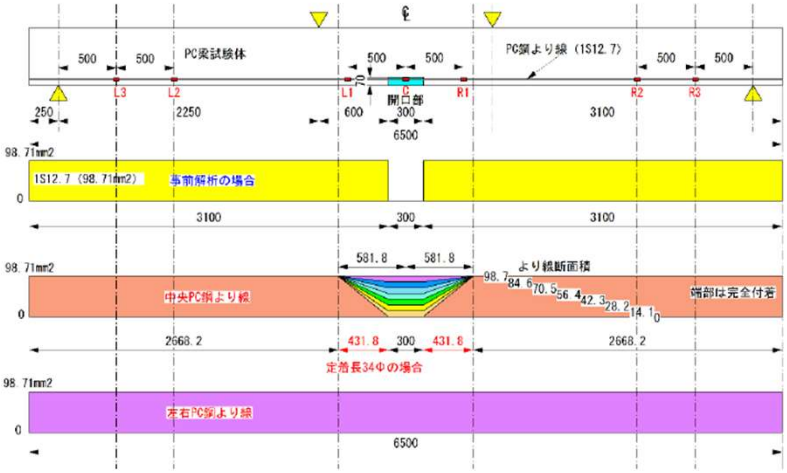
2. データ評価G活動報告 （1）COM3による解析

活動目標

汎用有限要素解析ソフトを用いた，
1）コンクリート構造物の構造性能および振動特性の再現性を調査
2）SAFE技術の異常判定と各物理量との対応関係を評価。

具体的活動
• 汎用有限要素解析ツール（本研究はDIANA）とCOM3（コンクリート構造物の非線形構造応答をシミュレーションするツール）を比較し、
・降伏応力点等の実験値の再現性の違い
・再現性向上を実現する、設定項目の整理
・再現性への感度が大きい項目の把握

（COM3）入力条件



プレテンション部材の付着定着モデル案（定着長 34Φの場合）

（COM3）荷重変位曲線の再現性

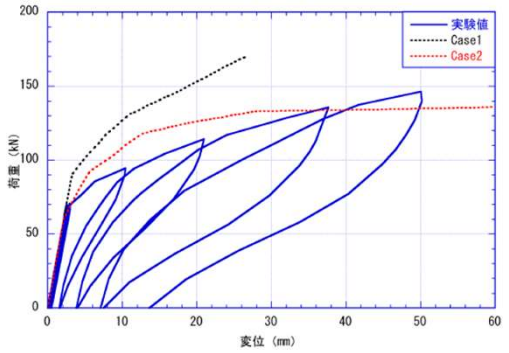


図 1　荷重変位比較（事前解析：全体）

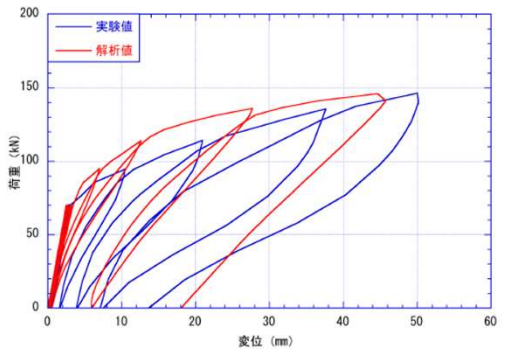


図 7　荷重変位比較（再現解析 2：全体）

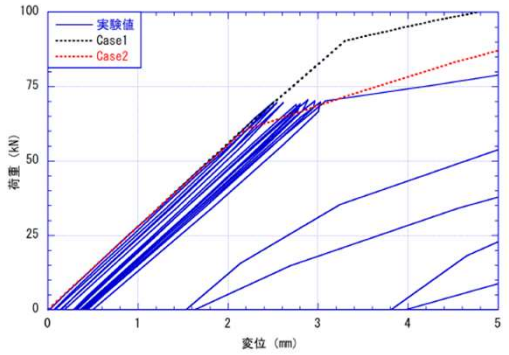


図 2　荷重変位比較（事前解析：拡大）

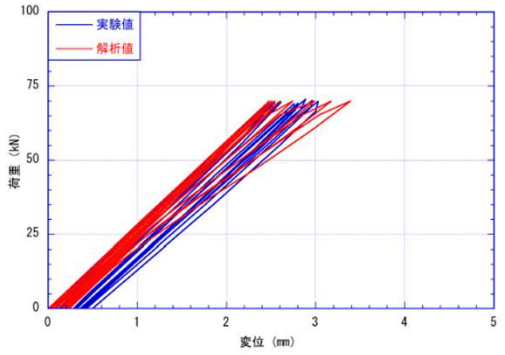
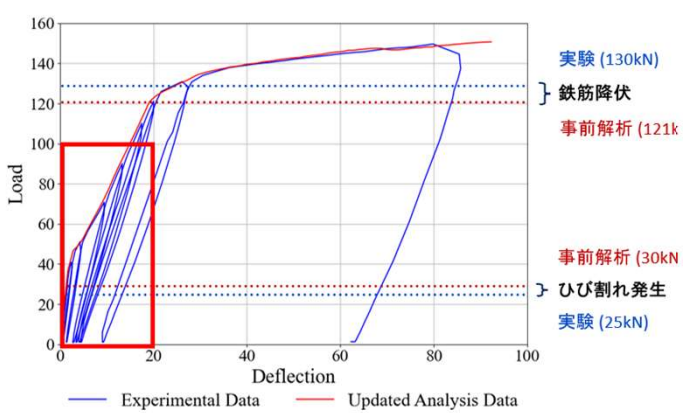


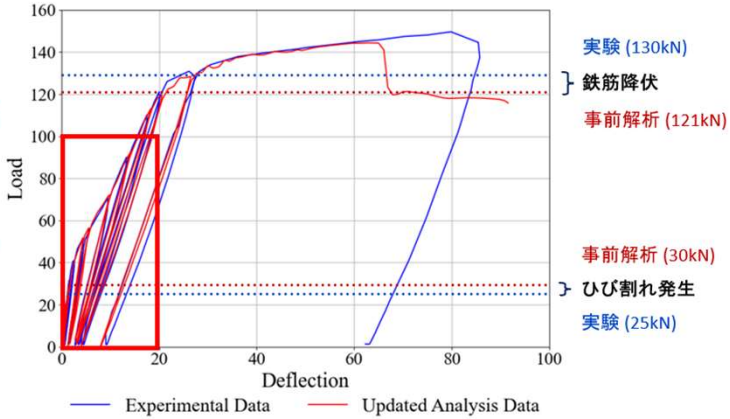
図 8　荷重変位比較（再現解析 2：70kN 繰り返し）

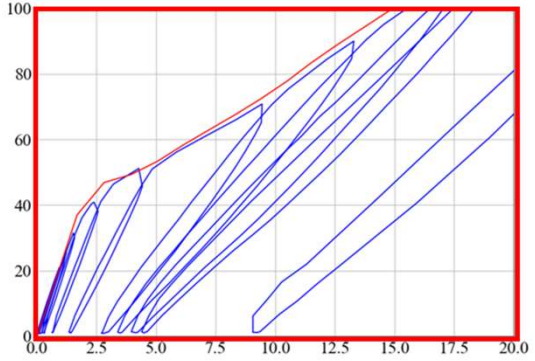
COM3を用いて、実験値の再現解析を進めた。事前解析では3本ともに有効なケースと箱抜き部分のPCケーブルを考慮しないケースで行った。（左図）
今回は、素線を1本ずつ切断したケースについて入力条件を設定して解析を進めた。結果としては実験値と良好な相関性を得ることができた。（右図）

（2）汎用有限要素解析による解析

（汎用）荷重変位曲線の再現性

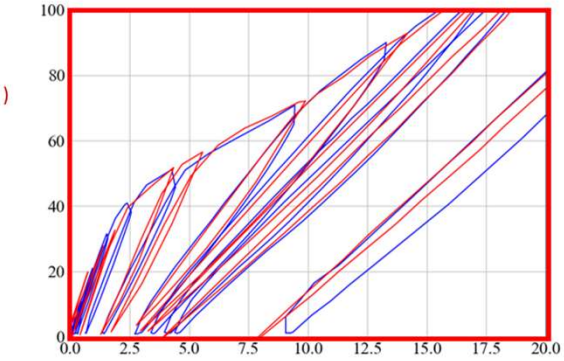






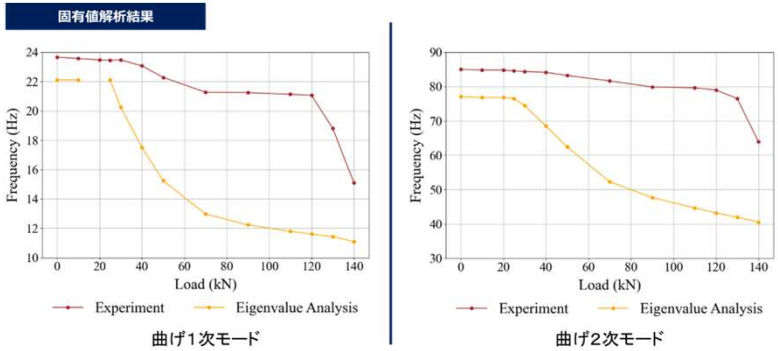
・鉄筋降伏以降の非線形挙動を含め，高精度な結果が得られた．

・モデルアップデートに1～2カ月ほどの膨大な時間がかかり，効率の面で課題が残る結果となった．



・線形・非線形挙動および残留変位等を含め，全体的に高精度な結果が得られた．

・終局付近の挙動の乖離は，解析未収束時の残差持ち越し量の積み重ねにより解析精度が低下．



・固有振動数としては計測結果と解析を一致することはできなかった。これは、汎用解析のソフト上においてひび割れを閉じた場合の評価がなされていないと考えられる。

本年度の成果

- 変位制御を用いたFE解析における非線形領域までの解析精度の高さを確認した．ただし，非線形領域を含めたFEモデルアップデートには膨大な時間を要する．
- 固有振動数推移に大きな乖離が確認されたが，構造物を評価したいケースによって適切なひび割れモデルの選択をする必要がある．

→サロゲートモデルによる短時間かつ高精度なFE解析の荷重-変位曲線再現結果から，膨大な時間を要する3次元FE解析の代替案としてのFNOベースのサロゲートモデル適用性などの可能性を検討したほうが適切である。

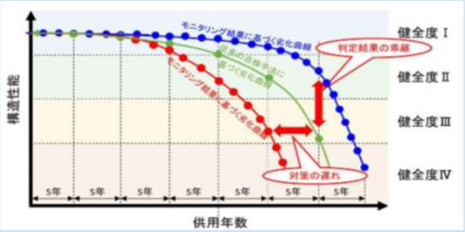
3. 有効性評価G活動報告

活動目標

計測されたデジタル情報によるPC構造物の評価方法の「運用」に関する課題の調査

- 国土交通省における点検支援カタログなどの新技術への適用に関する適用事例の調査
- デジタルデータの収集、評価に関する点検員の課題の調査

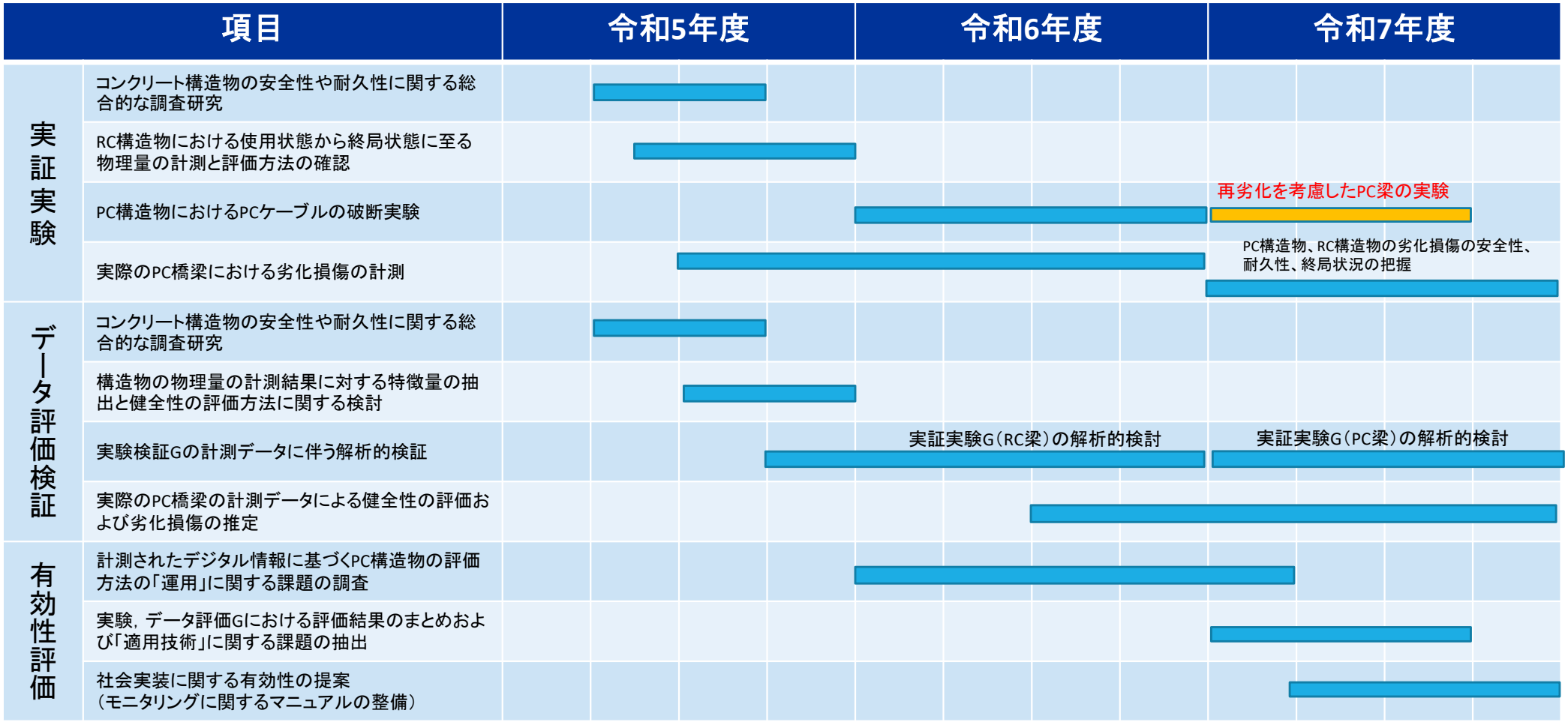
活動結果

活動項目	適用事例調査	課題調査（意見交換会）	マニュアルへの掲載内容	モニタリングの優位性評価結果
内容	• 土木研究所：土木構造物のためのモニタリングシステム活用ガイドライン • 国交省：モニタリン技術も含めた定期点検の支援技術の使用について • 杉浦研：持続可能でレジリエンスな社会インフラの管理システムの構築：自治体へのアンケート結果 • 地方自治体へのモニタリングに関する予算措置に対する現状調査 • 国交省：点検支援技術性能カタログ • 国交省：i-Construction、インフラ分野のDXアクションプラン（第2版）：道路関連データの活用、道路データプラットフォームの構成近畿インフラDX アクションプログラム • モニタリングに関する国土交通省の取り組み情報リストの作成	2025年1月23日研究会参加の道路管理者の皆様とデジタルデータによるPC構造物の評価方法に関するマニュアル作成に向けた意見交換会を実施した。 **主な意見** • 判定区分Ⅲと示されたものをモニタリング結果から見直すための考え方 • 補修を実施する場合の将来の損傷可能性箇所の判定のためのモニタリングの適用 • 劣化因子を内在した場合の架け替え等のタイミング判定 • 目視検査とモニタリング計測のすみ分け方 • 構造物の計測したデジタルデータの活用方法 • モニタリングを普及されていくためのストーリーについて	• 現状の点検データやデータ集約評価方法は確認事項として「参考」に示す。参考：国土交通省各基準類、橋梁ドクター制度における指摘事項から考察されるモニタリング適用事例など、RAIMS資料など • 過去のPC橋梁の維持管理としてまとめられた資料やデジタルデータの評価方法などの事例を示す。 • 点検支援カタログに示されるような「リクワイアメント」や「技術レベル」について示す。 • 社会実装を意識してPC業界の活動から浮かび上がるモニタリングと健全度評価などを包括的に示す。 • デジタルデータの評価としての優位点を示し、補修までの内容は盛り込む （定量評価としての優位性を持つデジタルデータのメリットを示す） （デジタル評価の優位性が発揮される事例を示す。） • 目視点検などを主体とした点検方法にデジタルデータの評価方法を取り入れていくストーリについて記載する。 • 評価結果からの対応方法：既存の点検要領のような判定に沿った形で活用可能な優位性を示す。	• 人による点検の課題点の抽出 • デジタルデータの優位性  • 点検、診断、補修、災害などの場面のよける適用方法および運用案、利点などを検討した。

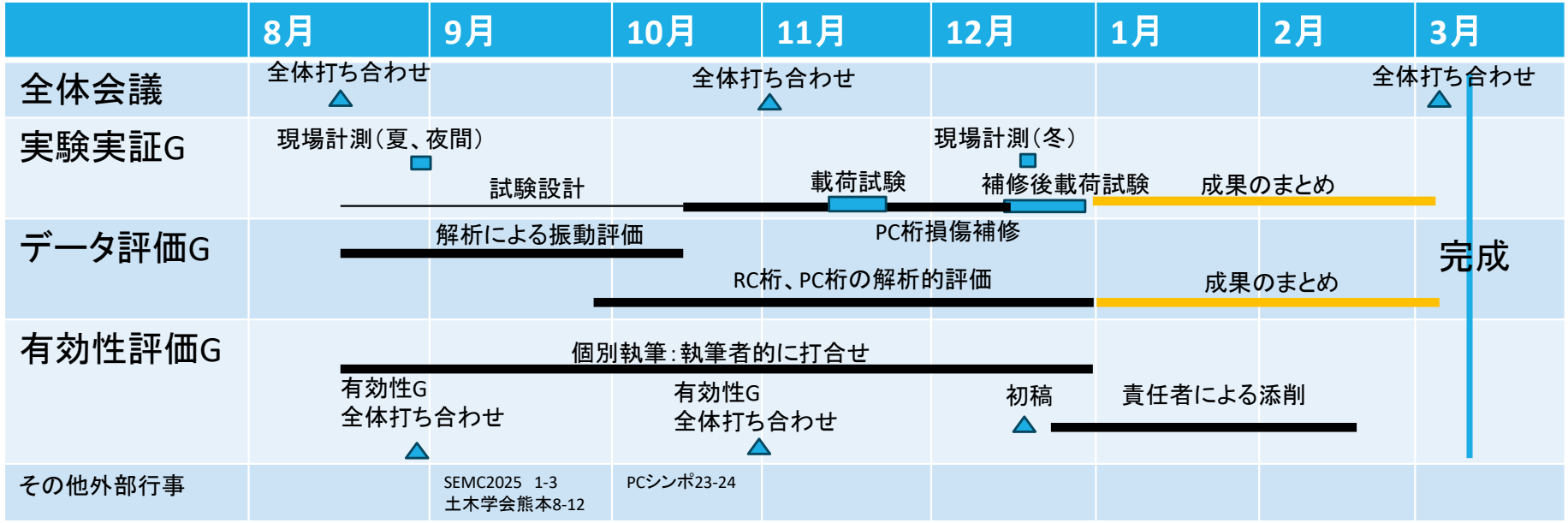
4. 令和7年度研究会活動項目（案）

1. 計測データによる提案評価結果の解析的検証（データ評価検証G）
   FEM解析手法を用いてコンクリート内部のひび割れ状態の評価を行うとともに、FEMモデルによる振動予測と加速度計測結果の関連を示し、提案方法の精度確認を行う。
2. 実際のPC橋梁における現場環境変化の情報評価（実験実証G）
   提案評価方法の環境条件（気温、外乱）の変化などの実環境におけるデータの安定性の確認を行う。
   夏、冬2回の計測、および夏については夜間の計測を追加
3. PC橋梁の維持管理における計測されたデジタルデータによる提案評価方法の有効性の評価（有効性評価G）
   ・実験G、データ評価Gにおける評価結果のまとめおよび「適用技術」の有効性を示す。
   ・デジタルデータを用いたモニタリングに関するマニュアルを整備する。
4. 損傷したPC桁の補修後の再劣化状態の健全度評価方法に関する実験的検証（実験検証G）
   令和6年度に損傷させたPC試験体を補修（薬液注入および外ケーブル補強）したのち、その再劣化進行を模式した実験による損傷データの収集を行う。
   実験実証Gにて、令和6年度に損傷を行った試験体の再試験について下記の項目の検討を進める。
   ・試験体の再試験の妥当性検討
   ・補修方法
   ・再劣化の試験方法
   ・評価方法及び昨年度に実験結果に対する反省点の検証

5. 研究工程（全体）


項目
令和5年度
令和6年度
令和7年度
実証実験
コンクリート構造物の安全性や耐久性に関する総合的な調査研究
RC構造物における使用状態から終局状態に至る物理量の計測と評価方法の確認
PC構造物におけるPCケーブルの破断実験
再劣化を考慮したPC梁の実験
実際のPC橋梁における劣化損傷の計測
PC構造物、RC構造物の劣化損傷の安全性、耐久性、終局状況の把握
データ評価検証
コンクリート構造物の安全性や耐久性に関する総合的な調査研究
構造物の物理量の計測結果に対する特徴量の抽出と健全性の評価方法に関する検討
実験検証Gの計測データに伴う解析的検証
実証実験G（RC梁）の解析的検討
実証実験G（PC梁）の解析的検討
実際のPC橋梁の計測データによる健全性の評価および劣化損傷の推定
有効性評価
計測されたデジタル情報に基づくPC構造物の評価方法の「運用」に関する課題の調査
実験，データ評価Gにおける評価結果のまとめおよび「適用技術」に関する課題の抽出
社会実装に関する有効性の提案
（モニタリングに関するマニュアルの整備）

5. 研究工程（令和7年度）


8月
9月
10月
11月
12月
1月
2月
3月
全体会議
全体打ち合わせ
全体打ち合わせ
全体打ち合わせ
実験実証G
現場計測（夏、夜間）
現場計測（冬）
試験設計
載荷試験
補修後載荷試験
成果のまとめ
データ評価G
解析による振動評価
PC桁損傷補修
RC桁、PC桁の解析的評価
成果のまとめ
完成
有効性評価G
個別執筆：執筆者的に打合せ
有効性G
全体打ち合わせ
有効性G
全体打ち合わせ
初稿
責任者による添削
その他外部行事
SEMC2025 1-3
土木学会熊本8-12
PCシンポ23-24

EOF