

第20回新都市社会技術セミナー  
新都市社会技術融合創造研究会

2023年10月23日  
近畿地方整備局1F共用会議室

# デジタルツインを用いた PC橋の補修・部分更新・撤去技術 に関する研究

活動期間：令和2年7月～令和5年3月

神戸大学  
大学院工学研究科市民工学専攻  
准教授 三木朋広

# 研究背景（PC部材の設計と維持管理）

- PC部材の設計：一般に，部材にプレストレスを導入してひび割れ発生を許容しないことで，部材を全断面有効と見なす．
- しかし，既設PC橋をみると，過去に主桁に沿ったひび割れや鋼材腐食などの変状が生じた事例がある．



PC鋼材の腐食が進行すると，



鋼材の断面減少  
さらに鋼材破断



影響が大きい

プレストレス消失  
部材耐荷力の低下

PC橋においては変状の早期発見と  
劣化初期の対策が極めて重要

# 研究目的

## モチベーション

- できる限り不確実性を排除した上で、起こり得る劣化・損傷の影響を再現し、劣化・損傷の影響度を予め分析する
- PC橋の点検，調査，診断，補修のメンテナンスループにおける「情報」の伝達をスムーズにする
- 現実的かつ合理的なPC橋の維持管理・更新手法を提案する

- デジタルツイン\*を用いたPC橋の補修・部分更新・撤去技術に関する分析ツールを構築する
- PC橋特有の健全度判定の決定要因の分析とその結果に基づく維持管理手引きを作成する

\*デジタル上に対象構造物をモデル化して、力学挙動の再現、分析、ならびに現実空間とのデータ関連付けを行う技術手法の総称

# 研究活動の概要

- **PC橋を対象としたデジタルツイン**  
プレストレスの状態を再現したデジタルツイン, 3Dモデルの試作,  
PC中空床版橋を対象とした**損傷シナリオに基づく性能分析**
- **PC鋼材腐食とプレストレスの関係に関する再現実験**  
大型供試体の電食試験, 載荷実験の実施(ポストテンションPC T桁の  
**曲上げ部ケーブル定着を模擬**), **漏洩磁束法**による破断探査の試行
- **PC橋の維持管理手引き**  
**手引き案の作成**(点検調書に基づく損傷種類や分析結果を反映),  
点検2巡目以降の診断や情報伝達の合理化に向けた  
**点検記録方法**の標準化検討
- **非破壊検査, モニタリング手法**  
PC橋における損傷に伴うプレストレスの変化の早期発見に向けた  
**モニタリング技術の留意点整理**
- **PC橋梁の撤去更新技術**  
橋梁の撤去更新に関する施工技術ケーススタディ実施, **撤去更新事例**  
をまとめた**冊子作成**, 撤去解体時の**解析チェックポイントの整理**

# 活動メンバー

構成(学8名, 産19名, 官8名)  
合計35名

## プロジェクトリーダー

三木朋広(神戸大学)

国交省近畿地方整備局 道路部  
近畿道路メンテナンスセンター  
近畿技術事務所

## 顧問

宮川豊章(京都大学)

- **WG1 PC橋を対象としたデジタルツイン**  
上田尚史(関西大学), 建設コンサルタンツ協会近畿支部
- **WG2 PC鋼材腐食とプレストレスの関係に関する再現実験**  
山本貴士(京都大学), 高谷哲(京都大学), PC建協関西支部技術部会
- **WG3 PC橋の維持管理手引き**  
三木, PC建協関西支部保全部会
- **WG4 非破壊検査, モニタリング手法**  
寺澤広基(大阪大学), 橋本勝文(京都大学), 建設コンサルタンツ協会近畿支部
- **WG5 PC橋梁の撤去更新技術**  
三方康弘(大阪工業大学), PC建協関西支部 技術部会, 施工部会



# PC橋のデジタルツインの構築と実装

- デジタル上に対象構造物をモデル化して、**力学挙動の再現**、**分析**、ならびに**現実空間+時間とのデータ関連付け**と**結果の可視化**を行う。
- **課題**: データ集積の時間とコスト, モデル化の精度, システムのメンテが必要
- 試行として, 2径間連続PC中空床版橋を対象として, ①コンクリートのひび割れ, ②PC鋼材の腐食と破断, ③部材断面の部分更新の影響分析
- 本研究では, **プレテンションT桁**, **PC箱桁**等を対象としたデジタルツインモデル構築と, **現場展開における作業フローと課題**の提示を目標とする。



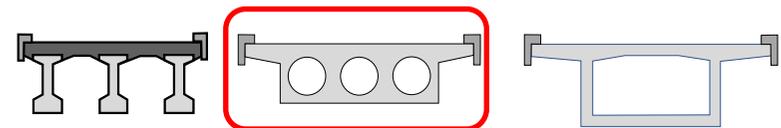
# 目的① デジタルツイン

デジタルツインを用いたPC橋の劣化や損傷が  
構造性能に与える影響分析ツールの現場適用

- PC橋の劣化進行に伴う構造の安全性, 耐久性を再現した  
分析ツール(デジタルツイン)の構築とそれに基づく影響分析

- 腐食PC鋼材の断面欠損
- 腐食PC鋼材の付着特性変化

プレストレスの状態変化



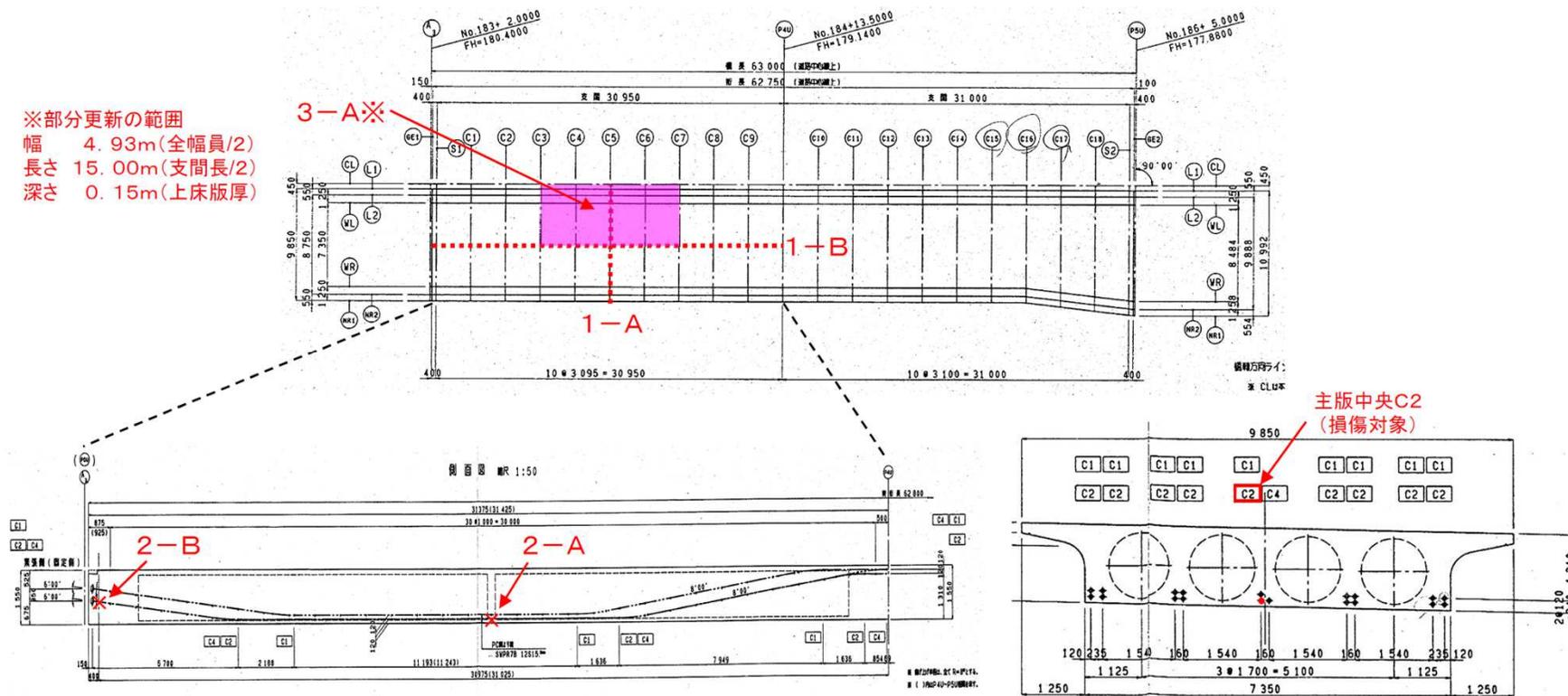
- PC鋼材腐食に伴うプレストレスの変化  
→ 非破壊試験の現場適用性に関する課題の整理

## 【将来展望】

デジタルツインによる定量的構造性能評価に基づいた  
Advanced予防保全としての「予知保全」への展開

# 解析対象PC中空床版橋と解析シナリオ

※部分更新の範囲  
 幅 4.93m(全幅員/2)  
 長さ 15.00m(支間長/2)  
 深さ 0.15m(上床版厚)



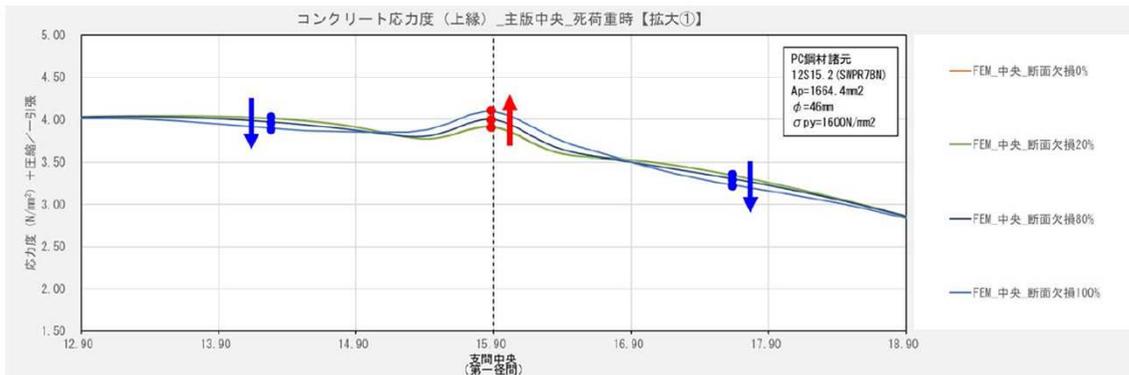
## 解析(損傷)シナリオ

No	シナリオ	ケース	損傷内容	損傷箇所
1	コンクリート部材の損傷	1-A	主版下縁のひび割れ	支間中央部, 橋軸直角方向
		1-B	主版下縁のひび割れ	主版中央部, 橋軸方向
2	PC鋼材の損傷	2-A	腐食・破断	支間中央部
		2-B	腐食・破断	桁端部
3	部材の部分更新	3-A	上床版部の陥没(打替)	支間中央部

# シナリオ2-A (支間中央, PC鋼材断面欠損or破断)

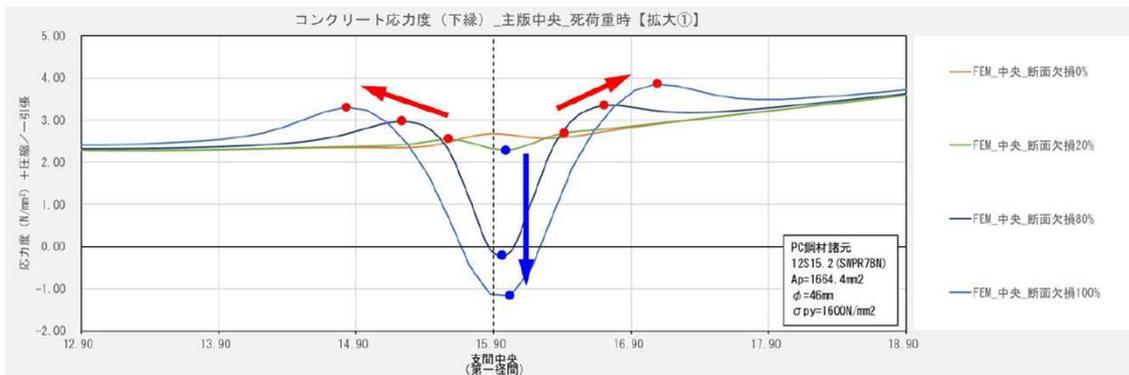
## 床版上縁

- 損傷が進行するにつれて**応力度は一様に**変化する(損傷位置は増加、損傷位置前後は減少)。ただし、床版下縁に比べて変化の割合は小さい。
- 損傷の進行に関わらず、**応力度のピーク位置は変化しない。**



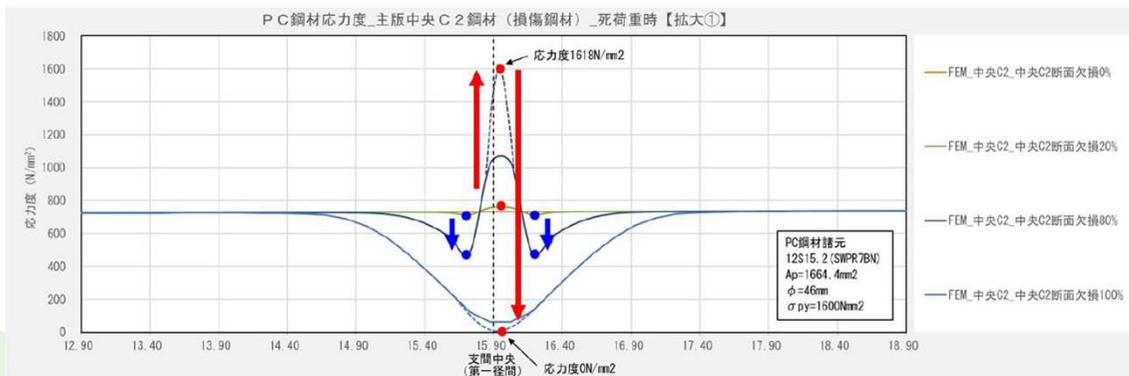
## 床版下縁

- 損傷が進行するにつれて**応力度は一様に**変化する(損傷位置は減少、損傷位置前後は増加)。
- **損傷位置**では、損傷の進行に関わらず、**応力度のピーク位置は変化しない。**
- **損傷位置前後**では、損傷の進行に応じて**応力度のピーク位置が**変化する(損傷位置から離れる方向に遷移する)。

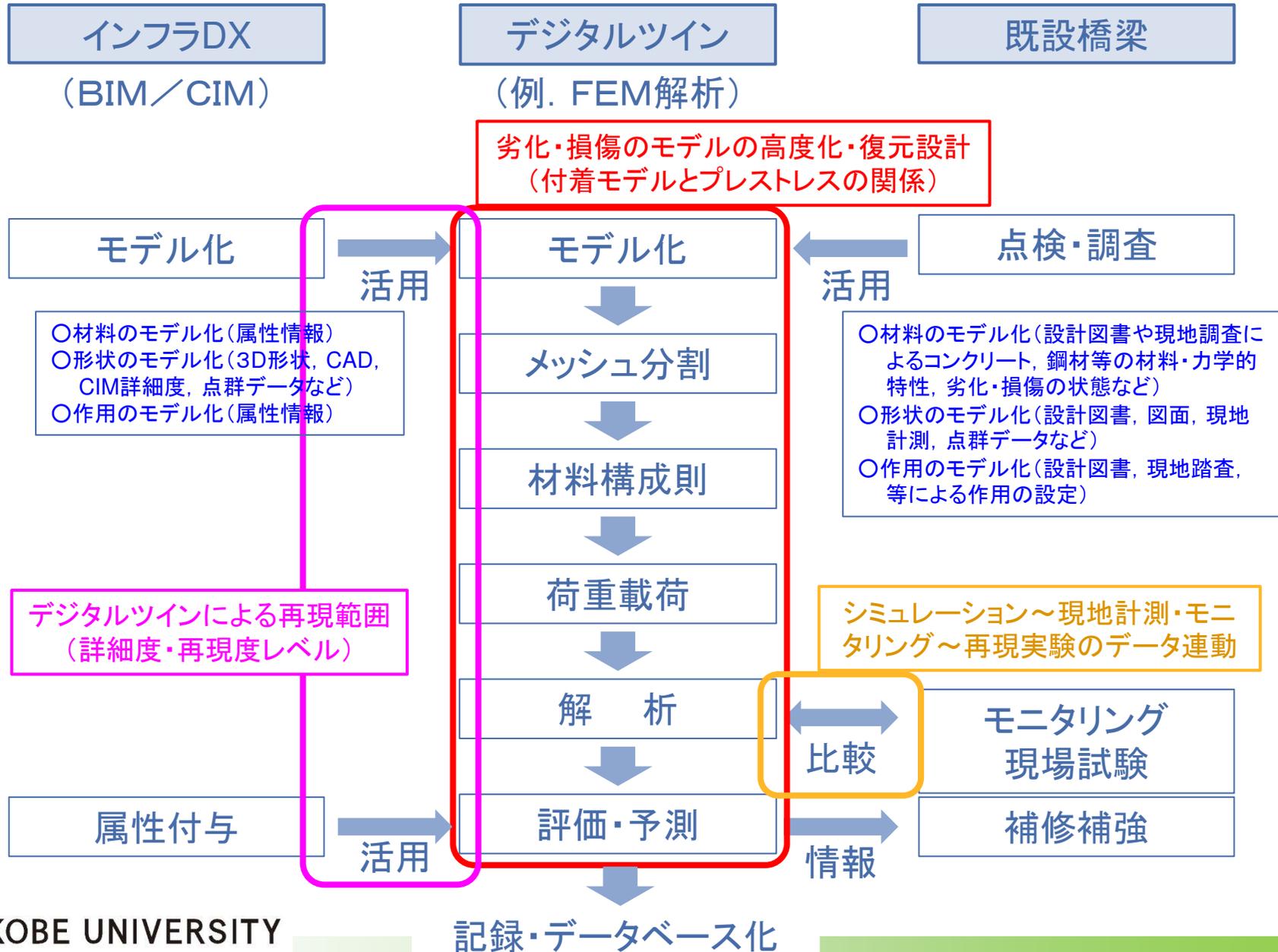


## PC鋼材応力度

- 応力度が変化する傾向が**腐食状態と破断状態**で異なる。
- **腐食状態**では、**残存するPC鋼材の応力集中(増加)**が生じる。一方、損傷位置前後では局部的にプレストレスロスが生じる。
- **破断状態**では、残存するPC鋼材の**応力集中(増加)**が解放され、プレストレスロスの範囲を広めながら**損傷位置の応力度が消失**する。



# 提案① デジタルツイン実装の作業フロー



# 提案② デジタルツインによる再現範囲と 詳細度・再現度レベル

表 1-5 BIM/CIM モデル詳細度 (案)【橋梁 (PC 橋上部工構造物)】

詳細度	共通定義	工種別の定義	
		PC 橋上部工構造物のモデル化	サンプル
100	対象を記号や線、単純な形状でその位置を示したモデル。	対象構造物の位置を示すモデル (橋梁) 橋梁の配置が分かる程度の矩形形状若しくは線状のモデル。	
200	対象の構造形式が分かる程度のモデル。 標準横断で切土・盛土を表現、又は各構造物一般図に示される標準横断面を対象範囲でスライス*させて作成する程度の表現。	構造形式が確認できる程度の形状を有したモデル (橋梁) 対象橋梁の構造形式が分かる程度のモデル。 上部工では一般的なスパン比等で主桁形状を定める。モデル化対象は主構造程度で部材厚の情報は持たない。	
300	付属物等の細部構造、接続部構造を除き、対象の外形状を正確に表現したモデル。	主構造の形状が正確なモデル PCT 桁橋 (上部工) であれば、主桁、間詰め床版、端横桁及び中間隔壁を指す。 PC 箱桁橋 (上部工) であれば、主桁、端横桁、中間支点横桁、隔壁、PC 鋼材の定着突起を指す。 鉄筋及び PC 鋼材についてはモデル化しない。	
400	詳細度 300 に加えて、付属物、接続構造等の細部構造及び配筋も含めて、正確にモデル化する。	詳細度 300 に加えて接続部構造や配筋を含めてモデル化 PC 橋 (上部工) では、ポストテンション方式ではシースの外形状をモデル化し、プレテンション方式では PC 鋼材の中心位置の形状をモデル化する。配筋は、主に「干渉チェック」を目的としてモデル化を行うものとし、過密配筋部、シース等との干渉部等を中心に必要に応じて作成する。 支承、伸縮装置および排水装置などの付属物については、外形状をモデル化する。	
500	対象の現実の形状を表現したモデル	設計・施工段階で活用したモデルに完成形状を反映したモデル。	-

【鉄筋・PC鋼材の非モデル化】  
弾性挙動 (健全状態) の評価  
評価までの省力化

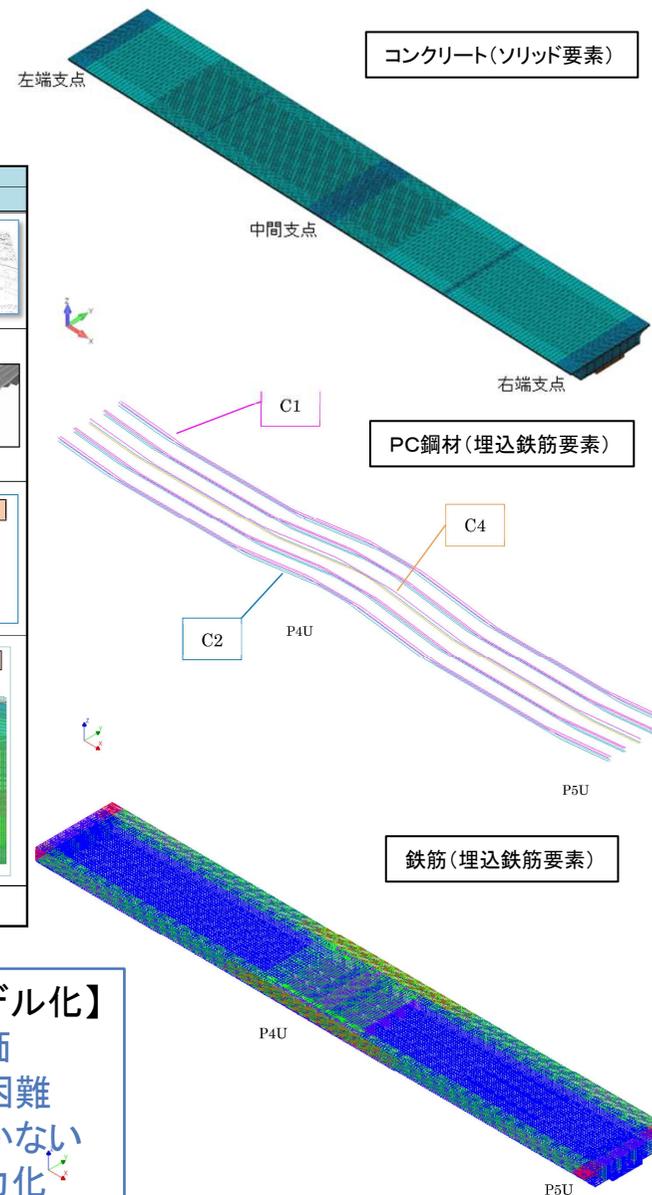


【鉄筋・PC鋼材のモデル化】  
非線形挙動 (損傷状態) の評価  
PC鋼材損傷の応力分配  
(残存PC鋼材)  
ひび割れ後の応力伝達  
(コンクリート→鉄筋)  
評価に多大な時間・労力

【橋梁全体をモデル化】  
健全部・損傷部の両方を評価  
評価の蓄積が可能  
将来の応用がきく  
評価に多大な時間・労力



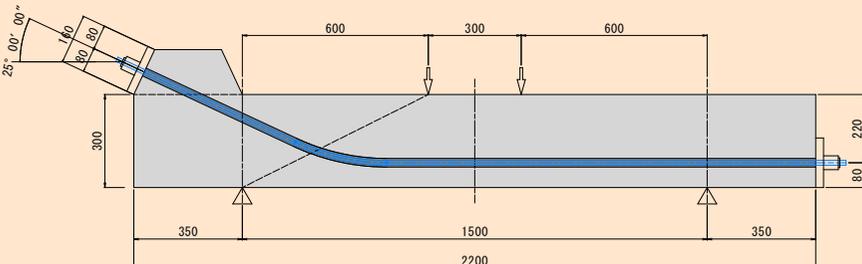
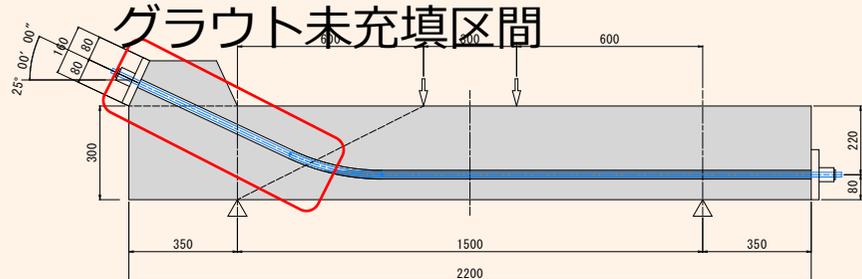
【橋梁の一部をモデル化】  
損傷部を評価  
評価の蓄積が困難  
将来の応用がきかない  
評価までの省力化



# 目的② PC鋼材腐食とプレストレスの 関係 再現実験

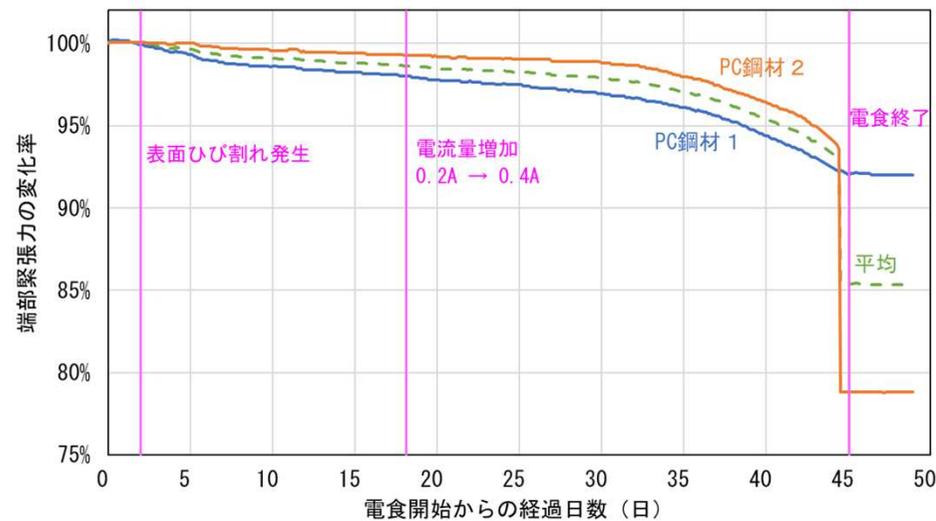
- 曲げ上げ定着ケーブルを模擬した供試体を作製し、**PCグラウト充填状態を変化**させてPC鋼材およびシースの腐食試験を実施
- 腐食による**ひび割れの発生状況**，腐食による**プレストレス分布影響範囲**，**耐荷性状**を確認

## 実験要因

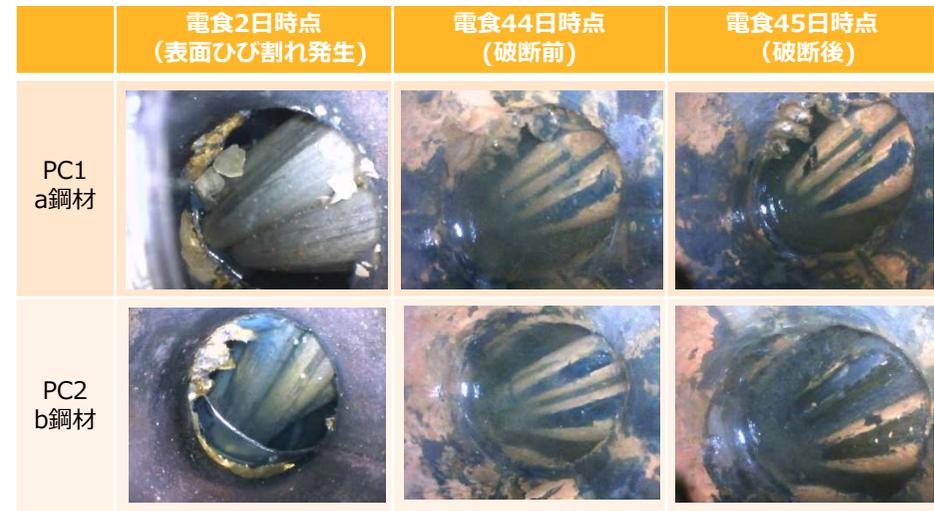
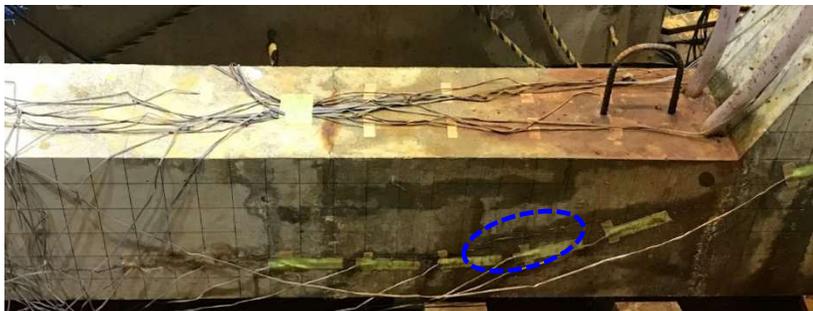
No.	供試体模式図	グラウト状態	腐食の有無
No.1		完全充填	無
No.2-1		曲上げ始点近傍から定着部までが未充填	無
No.2-2			有 (目標質量減少率:10%)

# 電食試験 結果の一例

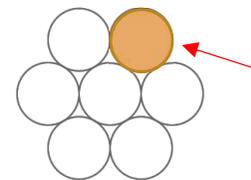
端部緊張力の変化



表面のひび割れ発生状況



- コンクリート表面のひび割れは電食2日時点、曲上げ部上方のグラウト不充填部で発生
- 電食45日時点において、片側のPC鋼材 (b鋼材) で急激な緊張力の低下を確認した。素線1本が破断したと判断して電食を終了



素線 1 本の破断  
PC鋼材断面積85.7%に減少

## 目的③ PC橋維持管理の手引き

3) 点検調書を用いたPC橋特有の健全度判定の決定要因の考察と分析に基づく維持管理手引きの素案作成

### ステップ1

- 近畿地整管内の橋梁調書の分析と健全度判定要因の考察
- PC構造設計者が考える留意点を考慮した点検着目点，  
引き継ぎ上の注意点
- 上記を反映したPC橋維持管理手引きの素案作成

### ステップ2

- 第三者被害と構造的観点での判定区分の明確化
- 点検2巡目以降の診断情報の伝達，記録方法の標準化

# 手引き素案(近畿整備局内で配布)

2022.01.24 <2021年度成果\_更新版>

## プレストレストコンクリート道路橋 維持管理手引き(案)

令和4年1月

新都市社会技術融合総合研究会 WG3

## 目次

1. 基本用語の説明
2. 目的
3. 適用の範囲
4. 橋を構成する要素及び部材
5. PC橋の概要と着眼点
6. 変状の発生原因と事例
7. PC橋の点検
  - 7.1 点検ガイドの説明
  - 7.2 橋梁形式に対応する点検ガイド
  - 7.3 点検ガイド
8. 参考資料

特に、点検ガイドについて現場サイドの意見を集約中、対策区分判定のポイントなど

# はじめに

本手引きは、道路における橋、高架の道路等の道路橋の維持管理に携わる技術者に向けたものであるが、道路橋の上部構造の主要材料がコンクリートであるコンクリート橋のうち、特に、**プレストレストコンクリート(以下、PCと称す)部材で構成されたPC橋について解説したものである。**

本手引きの作成背景としては、維持管理(保全)業務に携わる者は、対策区分の判定や健全性の診断を適切に行うために必要な「橋梁に関する知識や技能を有する者」であること求められているものの、コンクリート橋のうち、**PC構造に関する専門知識を十分に有しているわけではないといった事情を考慮して、コンクリートに関する知識はあるが、PC構造に関する専門知識を持たない読者を想定して編集した。**

つまり、若手技術者からある程度の経験がある方までが活用できる「**現場で使える手引き**」、「**現場で役立つ手引き**」となる**ハンドブック**を目指した。

# 点検ガイド

## 7. 1 点検ガイドの説明（概要、利用方法）

### 本マニュアルの調査時における利用方法

変状の分類ごとに  
シート1枚にまとめて例示

写真の例示

変状の原因の例示

判定のポイント  
変状原因との関係例示  
(こう判定すべきまでは  
記載していませんが)

No2-1 桁下面 橋軸方向のひび割れ

点検ガイドのNo	①目部位	②桁下面	橋軸方向	発生した変状	ひび割れ・漏水・遊離石灰																											
概要図	<p>点検時の着目点と記録のポイント ・PC鋼材が桁下縁付近に集中的に配置されているので、その変状に着目する。 ・PC鋼材が配置されている部位に染みがないか。 ・ひび割れから遊離石灰や漏水が出ていないか。</p>		<p>劣化・損傷が発見された部位、この例では桁の下面における橋軸方向ひび割れに着目。 着目部位に発生している変状の状況を示す。</p>																													
事例写真	<p>着目部位が主桁のどの箇所を示しているか図で表記している。</p> <p>過去の調査事例での変状写真を元にして現状と照合し、部位や損傷状況を判断する。</p>		<p>当該部位に発生した変状に対し、どこに注意すべきかを記述している。</p>																													
発生原因	<p>①PC鋼材またはシースの腐食（グラウト不良） ②軸方向鉄筋の腐食 ③ASR（アルカリ骨材反応） ④初期ひび割れ</p> <p>着目部位や変状の種類によって、推察できる発生原因を列記している。実際には環境条件も加味して推定することが必要である。</p>																															
損傷程度	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">最大ひび割れ幅に着目</th> </tr> <tr> <th>ひび割れ幅が小さい</th> <th>ひび割れ幅が中位</th> <th>ひび割れ幅が大きい</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PC構造 0.1mm未満</td> <td>PC構造 0.1mm以上 0.2mm未満</td> <td>PC構造 0.2mm以上</td> </tr> <tr> <th colspan="3">ひび割れ最小間隔に着目</th> </tr> <tr> <td colspan="3">ひび割れ間隔：小さい→ひび割れ最小間隔 0.5未満</td> </tr> <tr> <td colspan="3">ひび割れ間隔：大きい→ひび割れ最小間隔 0.5m以上</td> </tr> <tr> <td>ひび割れ間隔 小さい</td> <td>ひび割れ間隔 小さい</td> <td>ひび割れ間隔 小さい</td> </tr> <tr> <td>ひび割れ間隔 大きい</td> <td>ひび割れ間隔 大きい</td> <td>ひび割れ間隔 大きい</td> </tr> <tr> <td colspan="3">小さい ← 部材に与える影響 → 大きい</td> </tr> </tbody> </table> <p>発生している変状の程度をおおまかに分類し、部材に与える影響を推察するための指標としている。</p>					最大ひび割れ幅に着目			ひび割れ幅が小さい	ひび割れ幅が中位	ひび割れ幅が大きい	PC構造 0.1mm未満	PC構造 0.1mm以上 0.2mm未満	PC構造 0.2mm以上	ひび割れ最小間隔に着目			ひび割れ間隔：小さい→ひび割れ最小間隔 0.5未満			ひび割れ間隔：大きい→ひび割れ最小間隔 0.5m以上			ひび割れ間隔 小さい	ひび割れ間隔 小さい	ひび割れ間隔 小さい	ひび割れ間隔 大きい	ひび割れ間隔 大きい	ひび割れ間隔 大きい	小さい ← 部材に与える影響 → 大きい		
最大ひび割れ幅に着目																																
ひび割れ幅が小さい	ひび割れ幅が中位	ひび割れ幅が大きい																														
PC構造 0.1mm未満	PC構造 0.1mm以上 0.2mm未満	PC構造 0.2mm以上																														
ひび割れ最小間隔に着目																																
ひび割れ間隔：小さい→ひび割れ最小間隔 0.5未満																																
ひび割れ間隔：大きい→ひび割れ最小間隔 0.5m以上																																
ひび割れ間隔 小さい	ひび割れ間隔 小さい	ひび割れ間隔 小さい																														
ひび割れ間隔 大きい	ひび割れ間隔 大きい	ひび割れ間隔 大きい																														
小さい ← 部材に与える影響 → 大きい																																
対策区分判定のポイント	<p>原因が④または③の何れかと想定される場合、構造の安全性に弱まる可能性があるため、速やかに詳細調査を実施し、原因を特定する必要がある。漏水や遊離石灰が生じている場合は特に注意が必要。</p> <p>原因が①と特定されており、かつ錆汁が確認される場合は、PC鋼材の破断の恐れがあるため、早急に補修・補強等の対応を行う必要がある。PC鋼材の健全性が確認されている場合は予防保全の観点から速やかに補修を行う必要がある。</p> <p>原因が②および④の場合、構造の安全性に影響を与えるものではないため、損傷の程度や周辺環境を考慮したうえで判定すれば良い。</p> <p>原因が③と特定されており、かつボステン桁の場合はただちに構造の安全性に影響を与える物ではない。ただし、桁端部の定着具周辺の損傷状況を確認する必要がある。</p> <p>原因が③と特定されており、かつプレテン桁の場合、PC鋼材に沿った過大なひび割れの発生によりPC鋼材の付着が切れると構造の安全性に大きく影響するため留意が必要。</p>																															
発生原因と発見された損傷程度により、どのような判定区分となるかを示している。	<p>本手引きは、構造物に生じた変状の発生原因や劣化・損傷などの程度から対策区分の判定の一助となるよう作成したものである。よって、詳細調査や緊急対策が必要と判断した場合には、早急に専門家に調査を依頼し、以降の対策を策定すべきである。</p>																															

# 目的④ 非破壊，モニタリング調査

## 4) デジタルツインに導入する入力情報， 連動するモニタリング情報に関する調査

### ■ 現地計測で得られる情報(詳細点検)

圧縮強度：コア法，小径コア法，反発度法（リバウンドハンマー），超音波法

鉄筋位置：電磁波法（レーダー法），電磁誘導法

鉄筋応力：鉄筋切断法（鉄筋応力解放法）

鉄筋腐食：自然電位法（腐食状況），分極抵抗法（腐食速度），**漏洩磁束法**

残存プレ：スロットストレス法，鉄筋切断法，コア切込応力解放法，  
スリット応力解放法

グラウト：放射線透過試験，打音振動法（AE法），  
衝撃弾性波法（インパクトエコー法）

PC配置：マルチパスリニアレイレーダ法

表-5.2.5 自然電位測定結果の判定基準<sup>5,7)</sup>

自然電位 E (mV : CSE)	鋼材の腐食しやすさ
$-350 \geq E$	大
$-250 \geq E > -350$	やや大
$-150 \geq E > -250$	軽微
$E > -350$	なし

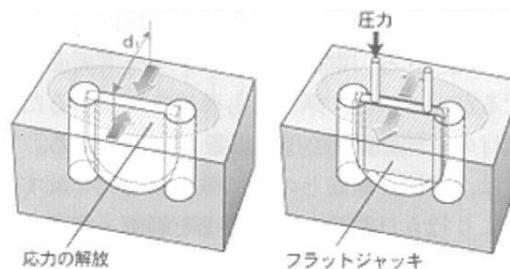


図. スロットストレス法

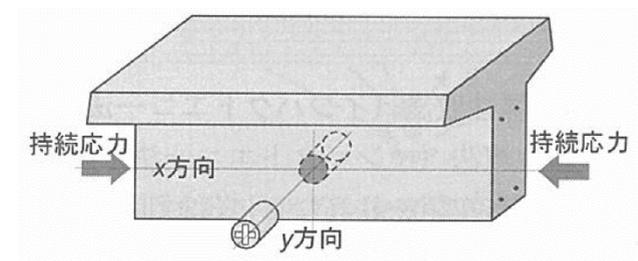


図. コア切込応力解放法

出典: コンクリート構造物診断技術

## ■PC鋼材の損傷に関する調査手法・モニタリング手法

対象	診断原理	特徴	課題点
鋼材破断	漏洩磁束	<ul style="list-style-type: none"> <li>完全非破壊での検査可</li> <li>破断位置の特定が可能</li> <li>鋼より線の素線破断も対応</li> <li>かぶり:最大200mm程度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>多段配置された鋼材に対し、一番手前の鋼材以外への適用が困難</li> <li>定着部近傍での破断検出は難しくなる</li> </ul>
残存プレストレス	応力解放	<ul style="list-style-type: none"> <li>推定精度: <math>\pm 1 \sim 2 \text{N/mm}^2</math></li> <li>デジタル画像相関法との組み合わせによる精度向上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>完全非破壊での検査不可</li> <li>技術の習熟が必要</li> </ul>
	弾性波	<ul style="list-style-type: none"> <li>完全非破壊での検査可</li> <li>計測が比較的簡易</li> <li>健全部との比較により評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>計測結果がコンクリートの状態に影響を受ける</li> <li>絶対評価が難しい</li> </ul>
グラウト充填	放射線透過	<ul style="list-style-type: none"> <li>完全非破壊での検査可</li> <li>視覚的に不良箇所を判別可</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>装置が大掛かりになる場合</li> <li>部材厚が大きい場合はX線照射時間が長くなる</li> </ul>
鋼材緊張力モニタリング	EMセンサ	<ul style="list-style-type: none"> <li>高い精度での応力計測が可能</li> <li>長時間のモニタリングでも安定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>緊張力モニタリング箇所がセンサ設置位置に限られる</li> </ul>
	光ファイバセンサ	<ul style="list-style-type: none"> <li>高い精度で鋼材全長にわたる応力計測が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>既設構造物への新規適用が難しい</li> </ul>

# 目的⑤ PC橋梁の撤去更新

## 5) 橋梁の撤去更新に関する施工技術の事例収集と ケーススタディに基づく橋梁の撤去更新技術の提案

### ① PC橋の撤去更新に関する施工事例の調査

- ・文献調査
- ・実績の分類項目を検討し、一覧表を作成
- ・事例より整理した工法概要書を作成(全橋撤去, 分割撤去更新)

### ② PC橋の構造形式に応じた撤去施工方法の調査・分析

- ・構造形式に応じた撤去工法を整理し、工法選定の経緯と分析を実施
- ・プレストレス導入状態に着目した調査を実施

### ③ PC橋梁の撤去更新に関する施工技術ケーススタディに基づく PC橋の撤去更新技術の整理

- ・撤去解体時の構造安全性に基づいた着目点の整理
- ・解析が必要となる架設状態やポイントを整理

# 橋梁の撤去更新技術 –研究報告書–

新都市社会技術融合創造研究会  
「デジタルツインを用いたPC橋の補修・部分更新・撤去  
技術に関する研究」

WG5：橋梁の撤去更新に関する施工技術ケーススタディに  
基づくPC橋の撤去更新技術の提案  
—研究報告書—

ホームページで公開予定  
<https://www.kkr.mlit.go.jp/road/shintoshikenkyukai/project/57.html>

2023年2月

## 目次

1. 研究概要
    - 1.1 はじめに
    - 1.2 活動方針
    - 1.3 実施体制
  2. 既往撤去事例の調査・分析
    - 2.1 調査対象
    - 2.2 撤去方法の抽出と分類
    - 2.3 撤去方法の概要整理
    - 2.4 撤去方法の傾向分析
    - 2.5 既往事例から見る撤去時の留意点
  3. PC橋の撤去における基本
    - 3.1 PC橋の撤去計画における基本事項
    - 3.2 PC橋撤去における留意点まとめ
  4. まとめ
- <付録：既往の撤去実績に関する資料>
1. 橋梁撤去方法リスト
  2. 橋梁撤去方法概要書
  3. 現場条件に応じた解体・撤去方法の選定

表2.1 構造形式毎の撤去方法

構造形式		撤去方法の分類			撤去方法リスト(付録1)の参照先		撤去方法の概要書(付録2)参照先	
		支持方法	撤去方法	大分類	橋梁名(実績リストNo.)	撤去方法	施工安全性検討事例(実績リストNo.)	
場所打ち	中空床板橋	架設桁+多軸台車	架設桁(上路式)	D	泉沢跨道橋(①-2)	1	—	
		多軸台車	多軸台車	E	三の宮橋(①-4)	2	事例-1:御坊IC Aランプ橋(①-6)	
		支柱式支保工	油圧式クレーン	B	御坊IC Aランプ橋(①-6)	3	—	
	PC $\pi$ 型 ラーメン橋	油圧式クレーン (吊り切り)	油圧式クレーン	A	大和台跨道橋(②-7)	4	—	
		支柱式支保工	油圧式クレーン	E	桑園橋(②-11)	5	事例-4:桑園橋(②-11), 事例-2:高塚跨高速 道路橋(②-5), 事例-3:有野越橋(②-10)	
		大型油圧ジャッキ	多軸台車	B	今井1号橋(②-12)	6	事例-5:今井1号橋(②-12)	
	箱桁橋	架設桁(吊り下げ)	多軸台車	D	葛袋3号橋(③-2)	7	—	
		架設桁(吊り下げ)	架設桁(吊り下げ)	D	第二湖口橋(③-5)	8	事例-6:第二湖口橋(③-5)	
		発破		E	旧不動橋(③-6)	9	—	
プレキャスト	T桁橋	架設桁(上路式)	架設桁(上路式)	D	温福陸橋(④-2)、水口橋(④-10)	10	—	
		架設桁(吊り下げ)	架設桁(吊り下げ)	C	源太橋(④-3)	11	—	
		架設桁(上路式)	移動式門構	D	香良洲橋(④-5)	12	—	
		架設桁(上路式)	油圧式クレーン	D	和瀬川橋(④-4)	13	事例-7:和瀬川橋(④-4)	
		支保工	油圧式クレーン	B	G橋(④-7)	14	事例-8:G橋(④-7)	
	I桁橋	なし	油圧式クレーン	A	明石跨線橋(⑤-1)、新府・穴山間長林こ線道路橋 (⑤-2)	15	事例-9:明石跨線橋(⑤-1)	

■上表の「分類」について

- 【凡例】
- A : クレーンによる支承間一括撤去工法
  - B : ベント・クレーン併用分割撤去工法
  - C : 架設桁・クレーン併用分割撤去工法
  - D : 架設桁工法による一括撤去工法
  - E : その他の撤去工法

# 3.1 PC橋の撤去計画における基本事項

## 多様な構造形式を有するPC橋の撤去における共通する事項

- ① PC橋は、導入プレストレスと作用断面力のバランスにより安全性を保持している。このため、PC橋を撤去する場合には、撤去部材の支持、撤去、解体の各段階における構造系変化に対して、プレストレスの影響を適切に考慮する必要がある。
- ② プレストレスの影響は、主に部材断面における応力度超過であるが、グラウトの充填状況によって部材切断後におけるプレストレスの残存度合が異なる。また、切断によりPC鋼材が突出する可能性がある。よって、計画にあたっては、グラウト充填度を適切に評価する必要がある。
- ③ 撤去時におけるPC橋の倒壊を防止し安全に撤去するには、供用中と撤去時での支持条件の変化を極力抑えらるとともに、建設時の架設方法を用いてその逆手順で撤去することが基本となり、支持方法および撤去方法にはこの選定方法を推奨する。
- ④ 構造形式ごとの撤去方法選定には、本冊子「付録3.現場条件に応じた解体・撤去方法の選定」を参照する。

(1) 撤去時の**支持方法**

支持方法、撤去方法の「**推奨方法**」と「**特殊方法**」の例を記載

(2) 撤去位置での**解体方法**

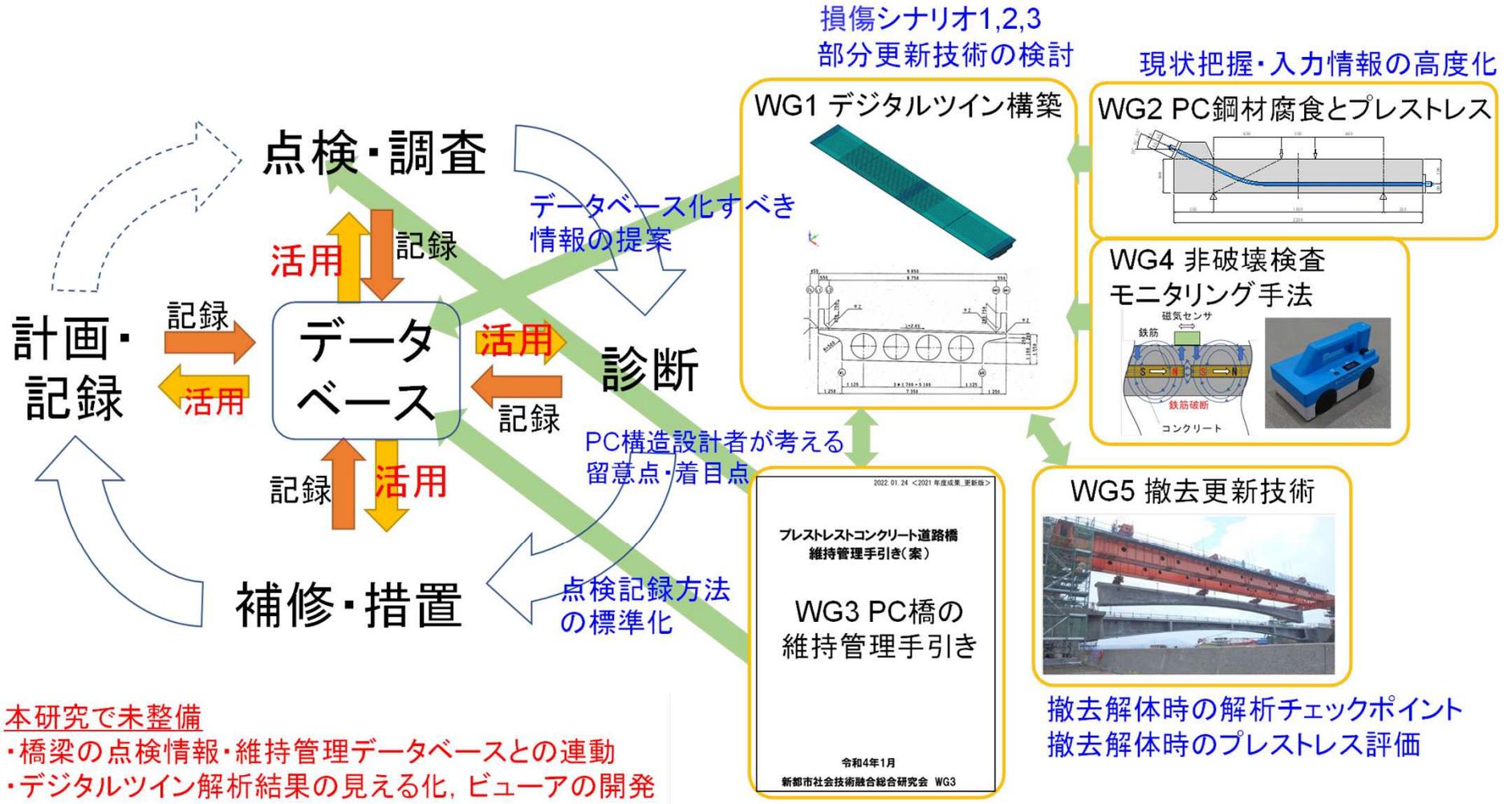
支持、撤去、搬出方法に合わせて**3種類の解体方法**と事例を記載

(3) 架橋位置からの**撤去方法**

(4) 撤去作業における**安全対策**

PC鋼材の**突出**、撤去中の**倒壊**、部材の**破壊・落下**の各防止対策を記載

# プロジェクトの方向性



# 研究目的( R5発足 )

耐久性の評価  
に資する情報  
として

モチベーション: **時間軸に配慮した構造性能評価**

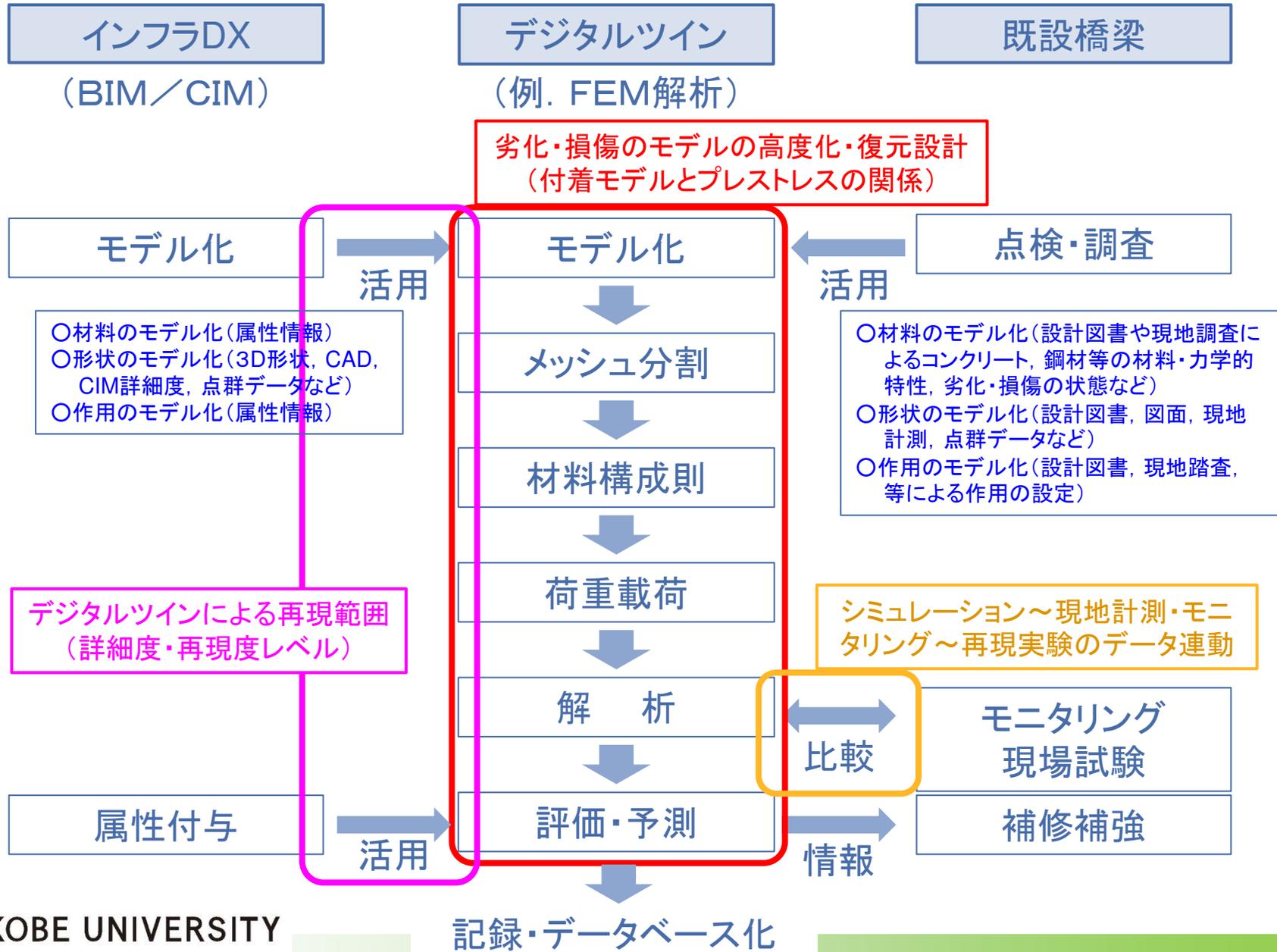
- 本研究では、橋梁構造の**安全性とその短期的な将来予測**の評価精度の向上を目的とした現場検証を行う。

○ひび割れや鋼材腐食等の損傷を再現した**PC橋全体系モデル(デジタルツイン)**を構築して、損傷が進行した場合の影響を分析し、**PC構造の安全性、耐久性の評価に必要な情報を整理**する。

○**プレストレスの把握に向けた非破壊検査手法の適用性**と留意点を整理し、PC構造の性能評価に必要な調査項目と精度等を提案する。

→ 定期点検で損傷を把握した後に、**詳細調査の要否や調査項目の選定の参考資料を提示**する。

# デジタルツイン実装



ご清聴ありがとうございました

デジタルツインを用いた  
PC橋の補修・部分更新・撤去技術に関する研究

神戸大学 三木朋広