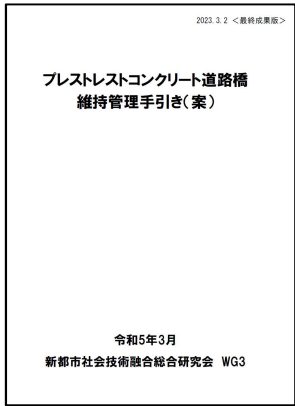
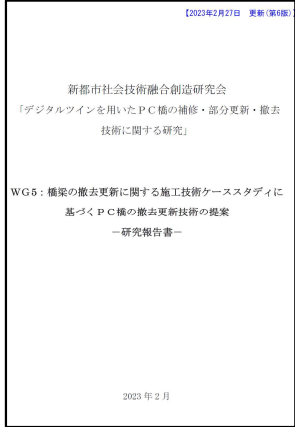


プロジェクト・研究成果の概要(1/2)

プロジェクト:「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」	
プロジェクトリーダー ・氏名(ふりがな): 三木 朋広(みき ともひろ) ・所属, 役職: 神戸大学 大学院工学研究科市民工学専攻, 准教授	
研究期間: 令和 2年 9月 ~ 令和 5年 3月	
プロジェクト参加メンバー 神戸大学, 京都大学, 大阪工業大学, 関西大学, 大阪大学, 北海道大学, 建設コンサルタンツ協会近畿支部, プレストレストコンクリート建設業協会関西支部, 近畿地方整備局, 近畿道路メンテナンスセンター, 近畿技術事務所	
プロジェクトの背景・目的 PC 橋は予防保全的な措置を行うことが肝要であるが, 損傷要因の不確かさや供用環境が様々であることから, 合理性を欠いた非効率な対応となっている現状がある。本研究では, 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, さらに PC 橋の点検, 調査, 診断, 補修といった一連のメンテナンスループでのスムーズな「情報」の伝達が可能なツールの構築を目指し, デジタルツイン(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)を用いた PC 橋の維持管理における補修・部分更新・撤去技術に関する調査研究を行う。	
プロジェクトの研究内容 本プロジェクトでは, 以下の 5 項目に関する調査研究を実施してきた。それぞれの研究内容の概要を示す。 (1)PC 橋を対象としたデジタルツインの設計, 劣化損傷が PC 橋の構造性能に与える影響分析の検討項目整理 デジタルツインのコンセプトを用いて, PC 橋の劣化進行, 断面部分補修・更新など, 将来起り得る状態の変化を 3 次元モデルに再現し, 挙動をシミュレートして分析するツール構築に向けたシステム設計を行う。3 次元モデルのデジタルデータには復元設計の結果を活用する。モデル構築には将来的に CIM の展開も想定する。本デジタルツインを用いて, 非線形解析を実施し, T 桁, 中空床版, 箱桁等を対象とした部分更新における, 腐食 PC 鋼材の断面欠損, コンクリート断面を部分更新した場合のプレストレスの状態変化等の影響について, 必要な解析検討の項目を整理した。 (2)デジタルツインに導入する PC 鋼材腐食とプレストレスの関係に関する再現実験の実施と考察 PC 鋼材の腐食に伴うプレストレスの状態変化に関する再現実験を実施, 供試体は, ポストテンション桁の曲上げ定着部を模擬してグラウト充填不良部を再現し, 電食により PC 鋼材およびシースを腐食させて, 腐食ひび割れの発生状況, プレストレスの低下挙動および PC 梁の耐荷性状を確認した。 (3)PC 道路橋維持管理手引き(案)における対策区分判定の明確化と橋梁点検調書の記録方法の改善 PC 道路橋維持管理手引き(案)(図 1)において, 対策区分判定に関して, 第三者被害対応の判定と構造的観点での判定を明確化し整理した。また, 点検 2 巡目以降の診断や情報伝達をスムーズにするため, 点検調書における帳票記入方法の改善を例示した。 (4)デジタルツインに導入し, 連動するモニタリング手法の調査 デジタルツインへの入力情報を得るために使用する非破壊検査方法, 特に簡易手法を調査した。また, 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むけたモニタリング技術を調査した。 (5)PC 橋の構造形式に応じた撤去施工方法の調査・分析 構造安定性および施工安全性に留意した橋梁上部工の撤去技術に関する事例収集情報より, 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検討した。また, プレストレス導入状態に着目した調査を実施した。また, 橋梁撤去事例に関する調査報告書(案)を作成し, PC 橋の撤去事例に関するケーススタディに基づく橋梁の撤去更新技術を提案した(図 2)。	
	
	図 1 PC 道路橋維持管理手引き(案)
	
	図 2 PC 橋の橋梁撤去技術の提案

プロジェクト・研究成果の概要(2/2)

プロジェクトの研究成果の概要

PC 橋を対象として、デジタルツインを用いた補修・部分更新・撤去技術に関する分析ツールの構築を最終目標として、プロジェクト初年度では以下 5 項目に関する調査研究を行った。それぞれの成果は以下の通りである。

(1) PC 橋を対象としたデジタルツインの設計、劣化損傷が PC 橋の構造性能に与える影響分析の検討項目整理

- ① PC 鋼材の腐食、破断、PC 部材の耐荷性能に関する簡易モデル化の前提条件や課題を整理した。
- ② 3 つの損傷シナリオ(1. コンクリート部材のひび割れ・損傷, 2. PC 鋼材の損傷, 3. 部材断面の部分更新)のうち、PC 鋼材の損傷(シナリオ2)と断面部分更新(シナリオ3)を設定して、既設の 2 径間連続 PC 中空床版橋を対象に FEM 解析による応力度の分布や増減の影響を検討した。
- ③ 上記検討結果に基づき、PC 橋を対象としたデジタルツイン実装に向けた設定フローを提案した(図 3)。

(2) デジタルツインに導入する PC 鋼材腐食とプレストレスの関係に関する供試体の計画

- ① 曲げ上げ定着ケーブルを模擬した供試体を作製し、PC グラウトの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した。
- ② 試験による着目点は、腐食によるひび割れの発生状況の確認、腐食によるプレストレス分布の影響範囲の把握、グラウト充填状況と PC 鋼材腐食による耐荷性状の比較検討を行った(図 4)。
- ③ 緊張力の低下挙動は、腐食による PC 鋼材断面の減少による影響に加えて、腐食ひび割れ進展との相関を実験的に把握するとともに、解析的に明らかとした(同図 4)。

(3) PC 橋の維持管理手引き(案)における対策区分判定の明確化と橋梁点検調査の記録方法の改善

- ① 第三者影響度と構造的観点の判定の区分の明確化を図り、手引き内のポイントとして提示した(図 5)。
- ② 点検調査における損傷図において、点検された側面についていくつか図化されていない場合があった。これに対し、側面図の追加など、記入方法の改善を提案した。

(4) デジタルツインに導入し、連動するモニタリング手法調査

- ① PC 橋における劣化、損傷に関する非破壊試験、構造物の状態変化に関するモニタリング手法の検討として、PC 橋のデジタルツインモデルに必要な入力情報として PC 鋼材の状態に関する情報を現地計測で得ることを想定し、鋼材破断、残存プレストレス、グラウト充填状況の非破壊試験および張力のモニタリング手法を整理した。その中で腐食に伴う PC 鋼材の破断を検出する手法として漏洩磁束法に着目し、その実施適用性を検討した。

(5) PC 橋の構造形式に応じた撤去施工の調査・分析

- ① 構造安全性を検討した事例として、PC 橋を撤去する際に、プレストレスの分布や導入状態に着目した事例について構造形式に応じて調査した。また、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 橋の構造形式に対応した撤去工法を 15 種類に分類した(図 6)。

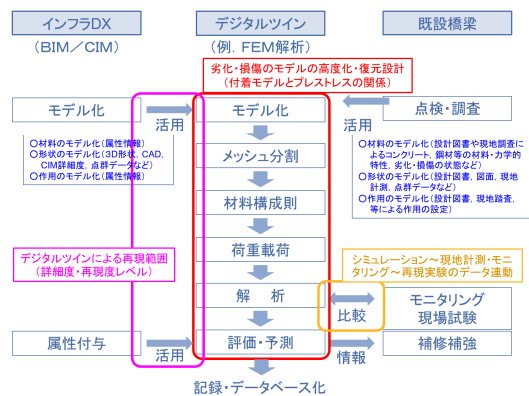


図 3 デジタルツイン実装に向けた設定フロー

● 供試体の载荷試験結果



● FEM による再現解析結果

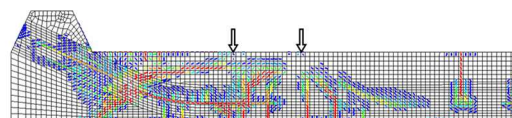


図 4 PC はりのせん断载荷試験と FEM 解析

7. 1 点検ガイドの説明(概要、利用方法)



図 5 手引き(案)における点検ガイド(抜粋)

構造形式	撤去方法の分類			撤去方法(付録1)の整理		撤去方法の概要(付録2)整理	
	支持方法	撤去方法	大分類	積名	(案)付録1No.	積名	(案)付録2No.
中空床版橋	架設時・多脚架	架設時(上置式)	D	鉄骨架設橋(1-2)	1	—	—
		多脚架	E	鉄骨架設橋(1-4)	2	事例1-架設時Aラジック橋(1-4)	—
	実設時実施工	橋柱式ラレーン	B	鋼筋コンクリートラジック橋(1-4)	3	—	—
		橋柱式ラレーン(流し型)	A	水口架設橋(2-2)	4	—	—
		支保工実施工	橋柱式ラレーン	E	架設橋(2-11)	5	事例4-架設橋(2-11)
PC工型ラレーン橋	大型流し型ジャッキ	多脚架	B	橋柱式ラレーン(2-12)	6	事例3-橋柱式ラレーン(2-12)	—
	架設時(流し下)	多脚架	D	架設時架設橋(2-2)	7	—	—
箱橋	架設時(流し下)	架設時(流し下)	D	第二開口橋(3-5)	8	事例6-第二開口橋(3-5)	—
		架設時(流し下)	E	水口架設橋(3-6)	9	—	—
	架設時(上置式)	架設時(上置式)	D	橋柱式ラレーン(3-2)	10	—	—
		架設時(流し下)	C	橋柱式ラレーン(3-3)	11	—	—
		架設時(上置式)	橋柱式ラレーン	D	橋柱式ラレーン(3-4)	12	—
プレキャスト	架設時(上置式)	橋柱式ラレーン	U	橋柱式ラレーン(4-4)	13	事例7-橋柱式ラレーン(4-4)	—
	支保工	橋柱式ラレーン	B	橋柱式ラレーン(4-7)	14	事例6-橋柱式ラレーン(4-7)	—
橋脚	SL	橋柱式ラレーン	A	橋柱式ラレーン(5-1)	15	事例8-橋柱式ラレーン(5-1)	—

図 6 PC 橋構造形式に対応した撤去工法の