

プロジェクト・研究成果の概要(1/2)

プロジェクト:「PC 橋の維持管理におけるデジタルツインを用いた構造性能の評価に関する研究」	
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5年6月～令和6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(研究開始当初の背景、目標等) 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なことから, 対応が非効率となっている現状がある。その解決のため, 本プロジェクトでは, デジタルツインのコンセプトを用いて, 損傷を再現した PC 橋モデルによるひび割れ, 鋼材腐食など各種要因が PC 部材の構造性能に与える影響に関する分析を行う。また, これまで蓄積されてきた点検調書の分析から, PC 構造の安全性, 耐久性の評価に必要な情報を整理するとともに, 鋼材腐食など損傷によって変化する可能性があるプレストレス力の把握に向けた非破壊検査手法について, 測定の原理等を整理するとともに, 測定を行う際の留意点や現場適用の際の注意点を整理し, 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ことを目的とする。	
プロジェクトの研究内容(研究の方法・項目等) 本プロジェクトでは, 以下の 3 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)点検調書に基づく PC 構造特有の損傷に関する情報, ならびに詳細調査による PC 桁の安全性, 耐久性の評価に資する情報に関する調査研究 近畿地方整備局管内の橋梁の点検調書のうち, PC 橋に関する調書を分析し, PC 橋における構造部材特有の損傷に関する情報を整理した。情報収集では, 過去の本プロジェクトの成果である PC 道路橋維持管理手引き(案)(図 1), PC 橋の橋梁撤去技術報告書(図 2)(https://www.kkr.mlit.go.jp/road/shintoshikenkyukai/project/80.html)を参考にし, さらにそれらを作成した際の議論を基にして, 点検等で集約された情報による詳細調査の実態把握に関する調査研究を行った。	
(2)鋼材破断, 残存プレストレス等を対象とした非破壊検査手法に関する調査研究 デジタルツインに必要な情報を得るために使用すべき非破壊検査方法, 特に「鋼材破断の検出」「グラウト充填状況の確認」「残存プレストレスの推定」を目的とした非破壊検査手法の原理, ならびに計測の特徴を整理した。 損傷再現実験の実施, 各検査手法の結果を整理して, 詳細調査の要否や調査項目の選定を目的とした各手法の位置付けを明確にするとともに, 非破壊検査を現地で実施する際の適用性, 適用範囲, 測定精度, 留意点を取りまとめた。	
(3)PC 橋を対象としたデジタルツインモデル構築に向けた情報に関する調査研究 PC 橋を対象として, 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モデルを構築するために必要な情報, 特に PC 部材の安全性, 耐久性の評価に資する情報を整理した。また, PC 橋の損傷程度や範囲等をデジタルツインモデルに再現し, 力学挙動を分析して, 部材性能の評価に必要な情報(材料, 損傷等の調査項目, 精度, サンプル数等)を精査し, 提案する。	

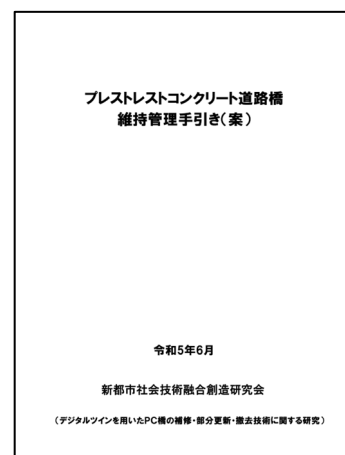


図 1 PC 道路橋維持管理手引き(案)

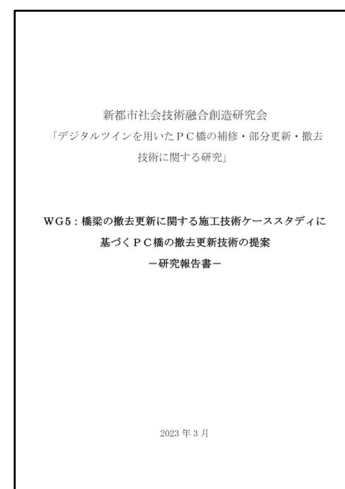


図 2 PC 橋の橋梁撤去技術の提案

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、維持管理におけるデジタルツインを用いた構造性能の評価ツールならびにその結果の現場適用の構築を最終目標として、プロジェクト初年度では以下 3 つの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) 点検調査に基づく PC 構造特有の損傷に関する情報、ならびに詳細調査による PC 桁の安全性、耐久性の評価に資する情報に関する調査研究

- ① 点検調査に基づく PC 構造特有の損傷に関する情報、例えば損傷の種類、程度、損傷部位などを整理し、構造物の構造性能に与える影響を分析するための基礎情報を収集した。
- ② 現地における詳細調査の実施、ならびに PC 桁の安全性、耐久性の評価に資する情報の整理、分析 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) 鋼材破断、残存プレストレス等を対象とした非破壊検査手法に関する調査研究

- ① 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、「鋼材破断の検出」「グラウト充填状況の確認」「残存プレストレスの推定」を目的とした非破壊検査手法の原理、特徴を整理した(図 3)。
- ② 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、実施適用性を検討した。損傷再現実験を実施し、各非破壊検査手法による測定結果の精度と位置付けの明確化のための基礎情報を収集した。
- ③ 次年度実施予定の現場試験における非破壊検査の適用性、適用範囲、測定精度、留意点を整理した(図 4)。

(3) PC 橋を対象としたデジタルツインモデル構築に向けた情報に関する調査研究

- ① デジタルツインを用いた分析結果による PC 部材の安全性、耐久性の評価に資する情報を整理した。
- ② ポストテンション T 桁、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の現場展開における作業フローを作成し(図 5)、各作業段階における課題を抽出した。

既往の非破壊検査手法の原理、特徴の整理

- ・ 非破壊検査手法(鋼材破断、グラウト充填、残存プレ)の原理、特徴の整理
- ・ PC 橋デジタルツインモデルの鋼材損傷に関する情報を非破壊で入手する

対象	手法	評価原理	特徴	現場適用における留意点
鋼材破断	漏洩磁束法	鋼材の破断箇所から漏洩する磁束	・ 最大かぶり: 150mm 程度 ・ コンクリート品質に影響を受けにくい ・ 破断位置の特定が可能	・ 配筋や定着具など近傍の磁性体の影響 ・ 多段配置された鋼材への適用
グラウト充填状況	衝撃弾性波法	グラウト充填状況による弾性波速度・入出力比、グラウト未充填部における入出力波の多重反射	・ 入力エネルギーが大きく、大型部材への適用可	・ コンクリート品質(材料、配合、表層状態)による誤差 ・ グラウトの部分充填への適用
	電磁パルス法	グラウト充填の有無によるシーすの振動応答の違い	・ 入力する電磁場の制御が容易 ・ 電磁場応答に着目した評価ではコンクリート品質の影響を受けにくい	・ 鉄筋から生じる弾性波の影響 ・ PC 鋼より鉄への適用 ・ プレストレス作用下での適用
残存プレストレス	超音波法	・ 弾性波の伝搬速度が応力によって変化(音弾性効果)	・ 20N/mm ² 程度の応力差で 0.2% 程度の速度差 ・ 評価指標値はコア切込み法の推定値と良い相関	・ コンクリート品質(材料、配合、表層状態)による誤差 ・ 無応力状態の弾性波伝搬速度の計測条件

図 3 非破壊検査手法の原理と特徴の整理

成果② PC 鋼材の損傷に関する調査手法 まとめ

- ・ PC 鋼材損傷に伴う残存プレストレスの把握の実現性、現場適用性を整理した

対象	調査手法	既設橋に適用	非破壊検査	特徴	留意点
残存プレストレス	スロットストレス法	○	△	・ 推定精度: ±1.0N/mm ² 程度 ・ コンクリートのヤング係数の測定を必要としない ・ 微破壊検査	・ 技術の習熟が必要
	コア切込み法	○	△	・ 推定精度: ±2.0N/mm ² 程度 ・ 微破壊検査	・ 作用応力は 10N/mm ² 以上であることが望ましい
	スリット応力解放法	○	△	・ 推定値の標準偏差: 3.33% 程度 ・ 微破壊検査	・ FEM による逆解析が必要
	鉄筋切断法	○	△	・ 微破壊検査 ・ 検査後は鉄筋接合部を取り付け断面修復を行う	・ 測定結果はクリープ・乾燥収縮によるひずみも含む
	超音波法	○	○	・ 評価指標値はコア切込み法の推定値と良い相関	・ コンクリート品質(材料、配合、表層状態)による誤差
	EM センサ	△	○	・ 長期間モニタリングにおいて安定した計測結果	・ PC 鋼材に直接取り付けをする必要
鋼材破断	光ファイバセンサ	△	○	・ 長期間モニタリングの実績 ・ コンクリート表面のひずみモニタリングにも適用可	・ PC 鋼材の裏張り計測にはセンサを鋼材に直接貼り付けて一体化する必要

図 4 PC 鋼材の損傷と残存プレストレスの評価に関する非破壊調査手法の整理

成果③ デジタルツイン実装の作業フロー提案

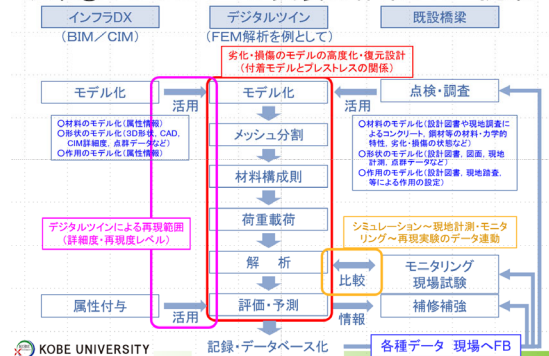


図 5 デジタルツイン実装に向けた設定フロー