

「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」（令和3年度採択）
研究概要

番号	研究課題名	研究代表者
No.2021-4	高出力 X 線および磁気計測による PC 橋梁の腐食状況の検出と構造安全性評価に関する技術開発	金沢工業大学 教授 田中 泰司

塩害劣化が生じた PC 橋の安全性を定量的に評価するため、コンクリート内部の鋼材腐食状況が把握できる非破壊検査技術を開発し、そこから得られた情報を用いて非線形構造解析による残存性能評価を行う手法を構築することを研究目的とする。

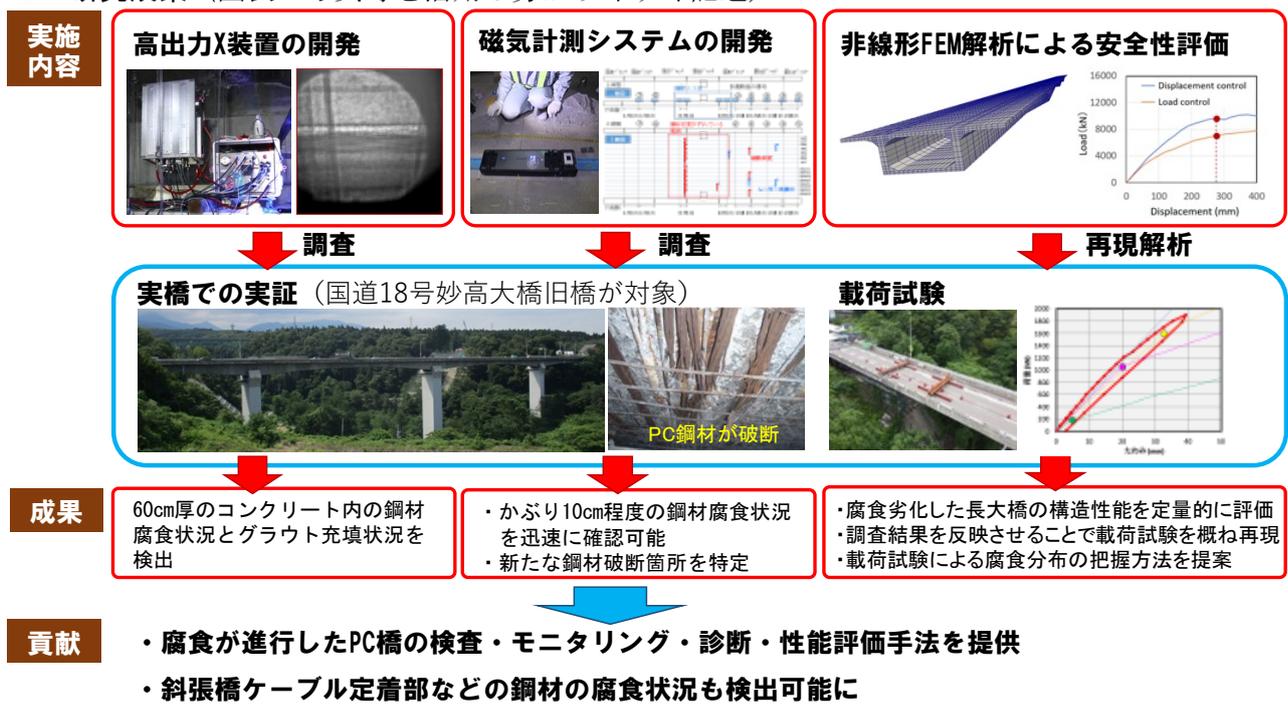
1. 研究の背景・目的（研究開始当初の背景・動機、目標等）

PC 道路橋には、飛来塩分や凍結防止剤による塩害を受けているものが多く存在する。特にグラウト未充填部のある橋梁では劣化が深刻化しているにも関わらず、外観には変状が表れないために、その調査・診断手法の開発が求められている。そこで本研究では、コンクリートのかぶり厚が厚い箇所でも鋼材腐食状況が検出可能な、高出力で小型の X 線撮像装置と、かぶり厚が小さな箇所でも迅速に鋼材腐食状況が検出できる磁気計測装置をそれぞれ開発し、現場実証を行う。さらに取得したデータから橋梁全体の構造性能を FEM によって評価し、構造安全性に関するアセスメントの体系を構築・提案する。また、FEM の計算結果の検証として、橋梁の現地載荷試験を実施する。

2. 研究内容（研究の方法・項目等）

実務への反映を目指し、塩害劣化橋梁をフィールドとして研究開発を行った。対象橋梁は国道 18 号妙高大橋旧橋であり、本橋梁では PC 鋼材が塩害によって多数破断・腐食していることが分かっている。この橋梁において、高出力 X 線撮影と磁気計測を行って、鋼材腐食状況を評価した。得られた検査結果を反映した FEM 解析を行って構造性能を評価した。その結果の妥当性を、現地載荷試験によって検証した。X 線、磁気計測に関しては別途、室内実験を行って鋼材腐食の検出能力を検証した。

3. 研究成果（図表・写真等を活用し分かりやすく記述）



3.1 高出力 X 線による鋼材腐食とグラウト未充填部の検出

妙高大橋旧橋第 1 径間において、高出力 X 線装置を用いて撮像試験を行い、厚肉コンクリート部材中の PC 鋼材とグラウト充填状況の検出を行った。曲げモーメントが最大となる第 8 ブロックの下床版と第 21 ブロックの上床版で撮影を行った。画像解析手法としては、エッジ強調処理、コントラスト調整、フィルター処理を用いた。分析の結果、コンクリート厚が 60cm 程度であれば、鋼材に顕著な腐食が発生していないこと、グラウトの充填の有無が判別できることが確認された。コンクリート厚が 100cm 程度になると、画像解析によって鋼材の存在は確認できるものの、腐食の状態やシース内のグラウト充填状況は判別できなかった。

3.2 三軸磁気計測による鋼材腐食検出

妙高大橋第 1 径間の第 6~11 ブロックにおいて、3 軸磁気計測を行った。これまで未調査の範囲において、新たに 3 箇所の新断判定箇所が見つかった。また、磁気計測に先立って行ったレーダー計測において、4 か所の鋼材破断が検出された。

3.3 載荷試験による安全性評価

妙高大橋第 1 径間を対象にグラウンドアンカーを用いた載荷試験を行った。たわみ計測では 1200kN で剛性低下が確認された。1900kN においてセグメント境界のひび割れを目視で確認した。長期モニタリングから予想されたひび割れ発生荷重と概ね整合していたことから、供用中に実施した性能評価は妥当であったと判断された。セグメント境界のひび割れは早期に発生・開口していることも確認された。これに対して光ファイバーによるひずみ測定が有効であることを示した。

3.4 構造解析による安全性評価

マルチスケール解析により、載荷試験の再現解析を実施した。全橋の 3D FE モデルを作成し、PC 鋼材を線要素で表現した。鋼材腐食モデルを採用し、既往の調査と本研究の非破壊検査で得られた腐食分布を考慮して解析したところ、セグメント 8 でのひび割れ発生荷重は 1200kN と評価され、実験と整合した。未調査箇所への対応が今後の課題である。

4. 主な発表論文 (研究代表者はゴシック、研究分担者は下線)

- ・寺尾静夏, 新井崇裕, 田中泰司: PC 箱桁橋における分布型光ファイバセンサによるひび割れ評価, 令和 4 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, I-17, 2023. 3.
- ・石田哲也, 房捷, 土屋智史, 田中泰司: マルチスケール解析を用いた過去の点検データに基づく妙高大橋の構造残存性能評価, 土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会概要集, 2023. 9 掲載予定
- ・Shizuka Terao, Takahiro Arai, Kiyotaka Toishi and Yasushi Tanaka: Loading test of long span prestressed concrete bridge degraded by salt attack, proceedings of CACRCS2023, 2023. 9 掲載予定

5. 今後の展望 (研究成果の活用や発展性、今後の課題等)

本研究で実施した載荷試験や FEM 解析は、国内外において、鋼材腐食が進行した PC 橋の安全性評価に直接活用することができる。載荷試験については自動運転車を導入することで、安全性の確保と試験費用の縮減を同時に実現できる可能性がある。また、実橋への荷重車試験によって安全性が直接証明できること、非破壊検査の必要箇所と必要箇所の抽出が行えるようになるなどの利点があり、今後の発展が見込まれる。高出力 X 線は PC 橋に加えて斜張橋ケーブル定着部など、これまで点検困難であった箇所の検査への活用が見込まれる。コンクリート中の骨材による反射の影響を低減する技術の開発や装置の自動位置調整機構の開発が課題である。高出力 X 線、磁気計測ともに、実橋の調査結果を実際の腐食状況と比較検証することが解体工事において必要である。

6. 道路政策の質の向上への寄与 (研究成果の実務への反映見込み等)

鋼材腐食が進行した PC 橋において、本研究で実施した荷重車試験、長期モニタリング、性能評価を実施することで、構造安全性を確認することが可能となる。その結果、安全を確保しながら合理的な維持管理が行えるようになる。磁気計測は特にプレテンション式の PC 桁に対する調査精度が高いことから、腐食状況の把握が必要な橋梁に対して実務に有効なレベルに達している。高出力 X 線は実務で使用するためには、フィルムの感度や位置調整など、いくつかの技術開発が必要である。