

特集：道路橋保全の取組み —この5年の実績と今後—

# コンクリート橋上部工における劣化損傷と技術開発 —これまでの主な取組みと今後の方向性—

木村嘉富\*

## 1. はじめに

我が国の道路橋は橋長15m以上で15万7千橋のストックを抱えており、そのうち、鉄筋コンクリート（以下、「RC」という）橋が16%、プレストレストコンクリート（以下、「PC」という）橋が42%を占めている。コンクリート橋は本来耐久性に優れた橋梁であるが、条件によっては塩害やASR等により劣化が進行したものも存在する。このようなコンクリート橋を適切に維持管理していくために、構造物メンテナンス研究センター（CAESAR）では平成20年の設立以降、図-1に示す技術について撤去部材等を用いた臨床研究により取り組んできた。

コンクリート橋は鋼橋に比して部材厚が大きく、外観目視により内部の損傷状態を把握しにくい場合が多い。このため、点検においては致命的な損傷を見逃さず、適切な措置を行うことにより安全性を確保する必要がある。また、例えば塩害による損傷では、コンクリート表面にひび割れが認められた場合には、既に劣化が進行した段階となっている。計画的な保全のためには、損傷が軽微な段階で補修することが必要となる。

本稿では、CAESAR設立後5年間におけるコンクリート橋上部工の保全のための技術開発のなかから、撤去桁を用いた耐荷性能の評価技術ならびに、塩害の予測手法の高度化への取組みについて、今後の方向性も含め紹介する。なお、本誌において既に発表している事例については、概要のみを紹介する。

## 2. 損傷による耐荷性能への影響

### 2.1 鋼材腐食による影響

コンクリート桁において鉄筋やPC鋼材が腐食・破断した場合、曲げ耐力やせん断耐力の低下が懸念される。鋼材が腐食したPCはりのせん断時の挙動を確認するため、実橋撤去部材の試験に先だって、電食により人工的に鋼材腐食を生じさせた供試体を作成し、一連の載荷試験を行っている<sup>1)</sup>。その結果、

**安全管理:**

- 落橋に至る致命的な損傷を見逃さない。
- 損傷状態を評価し、交通規制等、適切な措置を行う。
  - ・ 致命的な損傷の検知技術
  - ・ 通行規制等判断のための耐荷性能評価法
  - ・ 耐荷性能の回復法
  - ・ 変状モニタリング手法

**計画的な保全:**

- 橋梁の状態を評価・予測し、適切な時期に、適切な補修を行う。
  - ・ 劣化状況の調査技術
  - ・ 劣化の進行予測手法
  - ・ 適切な補修工法

図-1 コンクリート上部工での維持管理技術の開発



(a) 橋梁概観



(b) 床版下面の剥離 (c) 主鉄筋の腐食

写真-1 倉谷橋

鋼材の腐食状況やコンクリートのかぶりの一体性を勘案することにより、既往のせん断耐力評価式により、概略推定できることを確認している。

このような基礎的メカニズムの把握を行った後、実際に鋼材腐食が生じた撤去桁の載荷試験を実施し、耐荷力の推定を試みている。

写真-1は、塩害を受けたRC床版橋の事例である。昭和34年に竣工し、塩害による鉄筋の著しい腐食が確認されたため平成22年に撤去された。この橋から損傷状況の異なる2つの供試体を切り出し、静的2点曲げ載荷試験を実施した。詳細については文献2)に示しているが、載荷試験後に測定した鉄筋の断面減少率により、曲げ降伏耐力を推定できることを確認した。



写真-2 相見川海浜橋



写真-3 中川橋側道橋

表-1 コンクリートのひび割れの影響

概要図	ひび割れによる懸念事項
<p>上フランジ</p>	<p>コンクリートの強度低下?</p>
<p>ウェブ</p>	<p>重ね梁的な挙動?</p>
<p>下フランジ</p>	<p>鋼材腐食・付着切れ?</p>

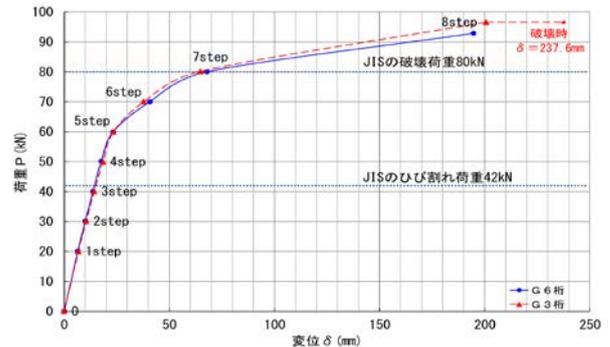


図-2 載荷試験結果

写真-2は、塩害により撤去されたポステンPCT桁橋の事例である。写真中のG1桁を土木研究所に運搬し、載荷試験を実施した。詳細は文献3)をご覧ください。この桁では、終点側ではPC鋼材の破断が確認される等しく損傷している一方、起点側では比較的軽微と、その損傷状態が大きく異なっていた。このため、両端部付近を対象とした載荷試験を実施した。その結果、残存プレストレスは外観の損傷程度に応じて異なっていること、せん断ひび割れ発生荷重については計算値と実験値とに乖離があること、最大荷重はプレストレス減少率相当にPC鋼材の断面減少が進行していたと仮定した場合の曲げ耐力の計算結果と一致したこと等を確認した。

## 2.2 コンクリートのひび割れによる影響

既設コンクリート橋においては、鋼材は健全であるものの、コンクリート自体にひび割れが生じているものが認められる。原因はASRや凍害等幾つか考えられるものの、結果としてのひび割れは、その発生部位・形態により表-1に分類できる。撤去橋梁においてこれらのひび割れが認められた桁について載荷試験を行い、コンクリートのひび割れが耐力等へ及ぼす影響を調査している。

### (1) 下フランジにおけるひび割れ

写真-3は、PCプレテン床版橋において、桁下面



写真-4 桁切断面の状況 (G3桁)

に橋軸方向の多数のひび割れが認められた事例である。プレテンション方式のPC桁では、プレストレスは鋼材とコンクリートの付着により導入されている。このような桁でコンクリートに橋軸方向のひび割れが生じた場合、表-1下段に示す様に、鋼材の腐食や付着切れによる剛性・耐力力の低下が懸念される。このため、ひび割れの多いG3桁と比較的少ないG6桁を切り出し、載荷試験を実施した。

その結果、図-2に示すとおり、両桁とも剛性やひび割れ発生荷重、曲げ破壊荷重に大きな違いは認められず、JISで保証するこれらの荷重に対して2割程度大きな値となっていた。載荷試験終了後に桁を切断して調査したところ、写真-4に示すとおり、ひび割れが多く発生していたG3桁においてもひび割れ深さ、並びに中性化深さはPC鋼材位置に達していなかった。また、腐食による断面欠損も認められなかったため、本ケースにおいてはひび割れによる耐力力の低下に至らなかったと考えられる。ただし、中性化深さはひび割れの少ないG6桁に比してG3桁



写真-5 主桁ウェブのひび割れ

では大きくなっており長期的には鋼材腐食が懸念されること、さらには、今後ひび割れが進行した場合には付着切れによる耐荷力の低下が生じかねないことから、このようなひび割れが生じた桁では、管理上の配慮が必要である。

### (2)ウェブにおけるひび割れ

写真-5は、PCプレテン中空床版橋において、主桁の下面のみならずウェブにおいても橋軸方向ひび割れが認められた事例である。ひび割れは桁全長にわたっており、幅2mm以上のものもあった。ウェブに発生したひび割れが表-1中段に示すように部材全体を貫通していた場合、荷重に対してひび割れ部でずれ変形が生じるにより重ね梁状態となり、剛性や耐力が低下する懸念がある。本橋においては、ひび割れ部を調査したしたところ部材を貫通するまでには至っておらず、せん断補強筋の破断も認められなかった。このため、荷重車による静的荷重試験により橋の挙動を確認するとともに、ひび割れの進展を抑制する防水対策を実施した上で供用を継続している。詳細については文献4)をご覧頂きたい。

なお、本橋の場合は供用を継続するため荷重荷重の範囲でしか挙動を確認できていない。今後、このようなひび割れによる耐荷力への影響について、模型供試体の荷重試験も含め、検討していく予定である。

### (3)上フランジにおけるひび割れ

コンクリート桁の上フランジにおいて多数の層状のひび割れが生じている場合がある。写真-6はそのようなRC桁の切断面である。この橋では、床版コンクリートに多数の層状のひび割れが発生し、その一部が土砂化し抜け落ちている。主桁においても表面に多数のひび割れが認められたため、架け替えとなった。この桁について静的2点荷重試験を実施し



写真-6 桁切断面の状況



写真-7 上フランジ側面の圧壊状況

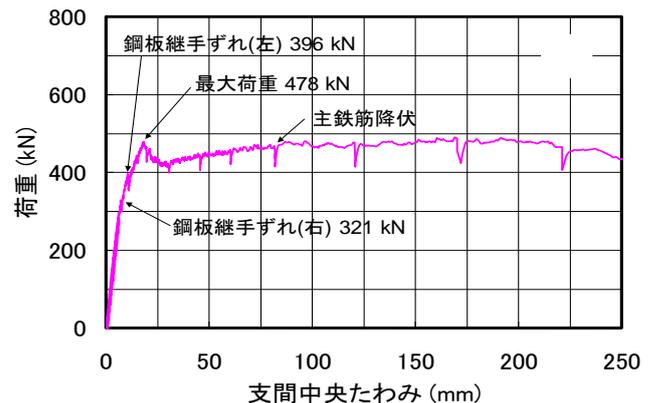


図-3 荷重試験結果

たところ、写真-7に示す様に上フランジにおいてめくれ上がるような圧壊が生じ、最大荷重478kNを迎えた(図-3)。この桁においてコンクリートが健全であったと仮定して算定した曲げ耐力は501kNであり、上フランジコンクリートのひび割れにより耐力は設計時の95%に低下していた。

## 3. 損傷に応じた補修・補強工法

損傷により耐荷性能や耐久性が低下した場合、それを回復する措置を講じる必要がある。補修・補強工法は、その損傷原因や進行程度に応じて適切に選定する必要があるが、実構造物・実環境での有効性の検証、特に長期的な効果の持続性についての情報は不足している。このため、過去に補修・補強が行われた橋梁の調査も行っている。



写真-8 断面修復・鋼板接着による補修RC桁の損傷状況



写真-9 電気防食による補修PC桁の損傷状況

写真-8に示す橋梁は、過去に塩害による損傷を受け、補修が行われたRCT桁橋である。この橋より、断面修復のみが行われたG2桁と鋼板補強も合わせて行われたG3を入手し、載荷試験や解体調査によりその効果を確認している。結果については文献5)で紹介しているのでご覧頂きたい。

塩害に対する補修方法として電気防食工法が採用されることが多い。しかしながら、写真-9に示す様に対策実施後に再劣化が生じた場合もあり、撤去される機会を通じて調査する予定である。

#### 4. 劣化の進行予測手法

塩害においては、損傷が軽微な段階で対策を行うのが効果的であり、そのためには劣化の進行を適切に予測する必要があるが、塩害の劣化進行についてはその予測手法が提案されているものの、実構造物でのデータが不足しているのが現状である。このため、沖縄県、沖縄県建設技術センターと「沖縄県離島架橋100年耐久性検証プロジェクト」を立ち上げ、塩害に関するデータを取得している<sup>6)</sup>。図-4はその一例である。同じ橋梁であっても位置により表面付着塩分量が大きく異なっており、コンクリート中の塩分調査においては、その箇所を選定が重要であるといえる。このようなデータの蓄積により劣化予測手法の高度化を進めていく。

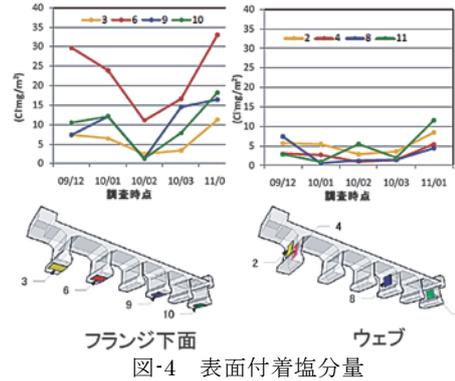


図-4 表面付着塩分量

#### 5. おわりに

CAESAR設立以降の5年間におけるコンクリート上部工の保全技術に関する取組みを紹介した。コンクリート橋の損傷は、設計時の構造や施工の状況、供用後の環境条件によって異なるため、必ずしもここで紹介した載荷試験結果が全ての損傷に対して適用できるとは限らない。引き続きこのような「臨床研究事例」を蓄積していくことが重要である。詳細については個別の論文の他、CAESARのウェブページで公開しているので、ご覧頂きたい。

各橋梁の管理者の方をはじめ、臨床研究にご協力頂いた関係各位に感謝します。

#### 参考文献

- 1) 花井拓他：コンクリート道路橋の維持管理技術の向上に向けて－腐食PCはりのせん断耐力評価－、土木技術資料、第54巻、第1号、pp.46～51、2012。
- 2) 岡智彦、花井拓、木村嘉富：塩害を受けたRC床版橋の載荷試験、土木技術資料、第53巻、第2号、pp.10～13、2011。
- 3) 松沢政和、木村嘉富、花井拓、本間英貴：塩害により撤去されたPC橋の耐荷力評価、土木技術資料、第55巻、第5号、pp.26～29、2013。
- 4) 玉越隆史、柴田稔、木村嘉富、和田圭仙：アルカリ骨材反応が生じたPC橋の調査、診断と対応事例、土木技術資料、第55巻、第7号、pp.55～56、2013。
- 5) 本間英貴、木村嘉富、花井拓、中島道浩：載荷試験による補修RC桁の耐荷力評価、土木技術資料、第55巻、第5号、pp.30～33、2013。
- 6) 花井拓、仲嶺智、砂川勇二、木村嘉富、田中良樹：離島架橋を塩害から守る、土木技術資料、第53巻、第2号、pp.36～39、2011。

木村嘉富\*



独立行政法人土木研究所構造物  
メンテナンス研究センター橋梁  
構造研究グループ 上席研究員  
Yoshitomi KIMURA