

# 厳しい塩害環境にある既設 PC 道路橋の構造安全性評価と合理的な維持管理手法に関する研究

技術本部

技術部

鴨谷知繁

## 1. はじめに

我が国における道路橋の維持管理は、劣化橋梁の増加と1橋あたりの維持管理予算の縮小という非常に厳しい状況に直面している。一般に耐久性が高いとされてきた PC 橋についても例外ではなく、厳しい塩害環境条件では PC 鋼材の破断などの深刻な劣化が生じ、早期に撤去・架替えが実施された例(写真-1)もある。現在、予防保全的な維持管理への転換により、道路橋の長寿命化による大幅な維持管理コストの縮減が国家的な緊急課題となっている。本研究は上述の背景より、厳しい塩害環境にある既設ポストテンション方式単純PCT桁道路橋を対象に、構造安全性評価と合理的な維持管理手法の構築を目的に検討を行ったものである。本稿では神戸大学大学院森川英典教授のご指導の下、取りまとめた博士学位論文の要旨を紹介する。



写真-1 厳しい塩害環境で劣化した PC 橋の例

## 2. 各章の検討内容

本研究の構成を図-1 に示す。本稿では具体的な課題に対して検討を行なった第3章～第6章の概要について示す。

### 2.1 第3章の検討内容

厳しい塩害環境で劣化した複数の既設 PC 道路橋の劣化履歴や詳細調査結果を概観した結果、供用開始後 10～20 年程度で最外縁に配置された主ケーブルに沿って腐食ひび割れが生じ PC 鋼材の腐食や破断が生じているが、腐食ひび割れを生じていないケーブルや内側に配置されたケーブルは前者と比較して劣化が軽微であるという共通の特徴を明らかにした。次に、劣化が顕著となる腐食ひび割れを生じた主ケーブルの腐食量について実橋の劣化履歴と概ね整合する予測手法を構築した。そしてこれに腐食 PC 鋼線の機械的性能低下を考慮し、予測した主ケーブルの腐食量に応じた主ケーブルの残存性能を算出した(図-2)。塩害劣化の進行にしたがい主ケーブル

の残存性能は大きく低下し、劣化のばらつきが増大するという結果が得られた。

以上より、厳しい塩害環境にある既設 PC 道路橋の多くは、現時点で既に劣化が進行している可能性が高いため事後維持管理を行う必要があり、このような橋梁を合理的に維持管理するには、少なくとも 2～5 年間隔の点検や、電気防食工法などの信頼性の高い耐久性向上対策を速やかに実施することが必要であることを示した。

### 2.2 第4章の検討内容

第4章では、対象とする既設 PC 橋モデルを、昭和 44 年(1969)の建設省制定「土木構造物標準設計」で示されるポストテンション方式単純 PCT 桁を用いた 3 橋梁と、実橋を参考

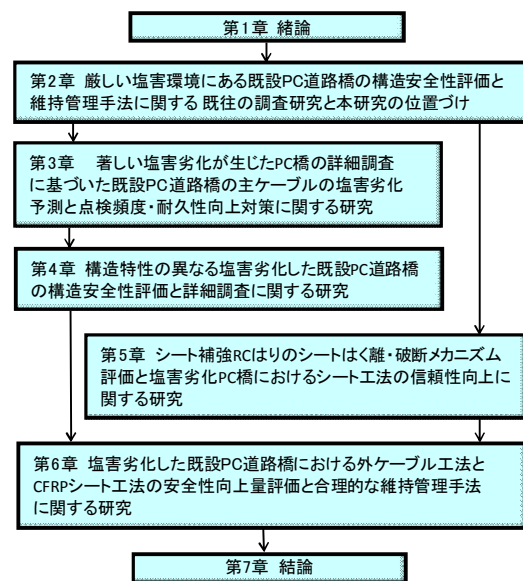


図-1 研究の構成

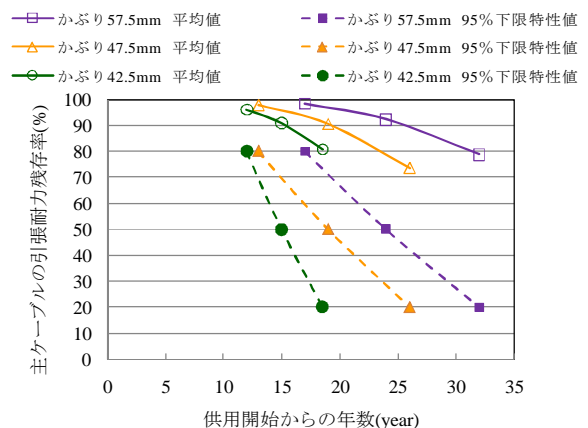


図-2 主ケーブル 12φ7mm の残存性能算出例

とした3橋梁の全6モデルとし、現行のB活荷重に対して、研究では塩害劣化の状態や活荷重の不確実性を考慮して構造塩害劣化が進行した場合の構造安全性について検討した。本安全性を評価するため、第3章で検討した塩害劣化予測と、現実的に実施可能な点検・詳細調査を併用して信頼性指標  $\beta$  を算出した。そしてISO13822に示される当該橋梁の崩壊の社会的影響が大きい場合に必要とされる目標信頼性  $\beta=4.3$  との比較により評価した。信頼性指標  $\beta$  は以下に定義される。

$$\beta = \mu_M / \sigma_M$$

ここで  $M$ : 安全余裕(耐荷力と断面力との差)

$\mu_M$ :  $M$ の平均値  $\sigma_M$ :  $M$ の標準偏差

全モデルの構造安全性は、劣化主ケーブル本数が最外縁ケーブルの大半となり、その全てで著しい腐食が生じ破断が想定される劣化レベルの場合を除いて、目標信頼性  $\beta=4.3$  が確保された(図-3対策前)。また、かぶりコンクリートをハツリ取り劣化主ケーブルの詳細調査を行い、劣化レベルや劣化本数に関する情報が得られると、耐荷力評価値のばらつきが減少し信頼性指標  $\beta$  が向上することから、合理的な維持管理を行うためには詳細調査の実施が重要であることを示した。

### 2.3 第5章の検討内容

第5章では、構造安全性が低下した既設PC橋に対する安全性向上対策とし有用なCFRPシート接着工法について、既往のシート補強RCはりの曲げ載荷実験などで報告されているシートのはく離や破断に関するメカニズムを解明することを目的に実験的・解析的な検討を行なった。シートのはく離は部材降伏後の部材とシートとの局所的なずれにより生じており、各試験体におけるシートの付着特性を適切に評価し、汎用的な分散ひび割れ型FEM解析に適用することでシートを接着した既設PC橋の耐荷性能を精度良く評価できる可能性を示唆した。ただし現状ではさらに詳細な検討が必要であると判断されたため、本研究では合理的な安全性向上対策の一つとして、部材変形が小さい段階から引張力を有効に負担でき、シートのはく離による安全性向上効果のばらつきを低減できる中弾性シートの使用を提案した。

### 2.4 第6章(前半)の検討内容

第6章では、第4章の対象モデルに対して外ケーブルと中弾性CFRPシートにより安全性向上対策を行なった塩害劣化したPCT桁橋の構造安全性を信頼性指標  $\beta$  に基づいて評価した。図-3に示すように外ケーブルでは  $\beta < 1$  程度、CFRPシート接着では  $\beta=2$  程度、両工法の併用により  $\beta=2$  以上の信頼性指標の向上が期待でき、最外縁主ケーブルの大半に著しい劣化が生じた場合でも、適切な安全性向上対策を行えば現行のB活荷重に対してISO13822に示される目標信頼性  $\beta=4.3$  以上の構造安全性を確保した状態で維持管理できることを示した。

## 3. 結論 (第6章後半および第7章)

厳しい塩害環境にある既設PC道路橋の早期架替え・撤去を回避し、長寿命化とライフサイクルコスト削減を実現するためのシナリオを以下のように提案した。

### (1) 『予防維持管理シナリオ』(適用範囲: 潜伏期)

最も望ましいシナリオであるが、厳しい塩害環境では既に塩害劣化が生じており適用できない可能性が高い。

### (2) 『早期に耐久性向上対策を実施し安全性低下を最小限とする事後維持管理シナリオ』(適用範囲: 進展期・加速期)

既設PC橋の塩害劣化を構造安全性に影響のない範囲にとどめ、電気化学的防食工法などの信頼性の高い耐久性向上対策を実施するシナリオである。定期的な点検に基づき加速期終了までの期間を精度良く予測し、それまでに対策費用を確保することがシナリオ実現のために必要である。

### (3) 『供用開始時または架替え同等の信頼性が要求される場合の事後維持管理シナリオ』(適用範囲: $\beta=6\sim 7$ )

重要度の高い橋梁や長期の予定供用期間を想定した橋梁等のように、要求される構造安全性が非常に高い場合に適用される。信頼性の高い耐久性向上対策に加え、安全性向上対策が必要となる。対策による安全性向上量には上限があり適用範囲は構造安全性の低下が比較的軽微な場合に限られる。

### (4) 『目標水準以上の構造安全性を確保し事後的に耐久性向上対策を実施する事後維持管理シナリオ』(適用範囲: $\beta > 4.3$ )

早急な耐久性向上対策の実施が難しく構造安全性の低下もやむを得ない場合や、低下が懸念される劣化が既に生じている既設PC道路橋に対しても適用できるシナリオであり、実動荷重に対する構造安全性を目標水準以上に確保し事後的にも耐久性向上対策を実施することで長寿命化できる。

各管理者がそれぞれの制約条件の中で維持管理シナリオを選択し、維持管理計画の策定と必要となる対策の実施により、厳しい塩害環境にある既設PC道路橋を合理的に維持管理することができると思われる。

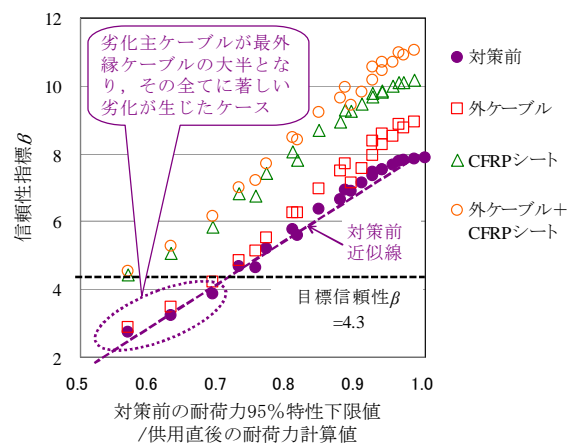


図-3 信頼性指標  $\beta$  の算出例

Key Words: 塩害, PC 橋, 維持管理シナリオ, 構造安全性



鴨谷 知繁