

P C 橋の補修補強技術の高度化に関する研究

（一社）プレストレスト・コンクリート建設業協会	正会員	○國富	康志
（一社）プレストレスト・コンクリート建設業協会	正会員	北野	勇一
（国研）土木研究所		吉田	英二
（国研）土木研究所		石田	雅博

キーワード：撤去PC橋梁，解体調査，耐荷性能，外ケーブル補強，塩害対策

1. はじめに

高齢化するPC橋の増加が見込まれる中，人材不足や限られた維持管理費用を背景に，効率的な維持管理を行うため「点検診断技術の効率化や高度化」や「現場条件に適した合理的な補修補強方法」が求められている。一方で，多種多様な使用環境下にあるPC橋は，種々の条件によって現有の耐荷性能や耐久性能が異なるため，汎用的な診断や対策技術が通用できない場合もあり，個別の対策が必要となることもある。効率的な維持管理を行うためには，精度の高い調査診断を行い，その結果を反映した対処の優先順位付けなど，既設PC橋を致命的な状態に至らせないための予防保全や安全性確保に向けた適切な措置を講じることが必要であると考え。併せて，維持管理費用を増加させるような再劣化を生じさせない信頼性の高い対策技術の確立が必要となる。

そこで，筆者らの両機関において共同研究委員会（「撤去橋梁を用いた既設PC橋の補修補強技術の高度化に関する研究（平成29～32年度）」）を設置し，メンテナンスサイクルを適切に回していくために必要となる調査・診断・対策技術の信頼性向上を図ることを目的に，PC橋の劣化状況を考慮した耐荷性能の評価や補修補強効果の確認など，劣化した撤去PC橋梁を活用し各種検討を行っている。この検討工程を表-1に示すが，現時点までに耐荷性能の評価として，撤去される劣化したPC橋（旧築別橋）を対象に，撤去前の実橋へ載荷試験を実施して確認した。また，補修補強効果の確認として，塩害補修を繰返し施されたPC橋（旧歌高架橋）と外ケーブル補強されたPC橋（旧二雁別橋）を対象に，前者は塩分量に着目した解体調査を，後者は撤去した桁への載荷試験を実施する。本報告では，検討中である各種調査内容の中間報告を行う。

2. 研究対象のP C 橋

2.1 旧歌高架橋

本橋は沿岸に並走する多径間の単純PCポストテンション方式T桁橋である（表-2，写真-1）。架橋から18年を経過した平成6年度から順次断面修復や表面保護（塗装や含浸）が施されており，一部の径間では再劣化により複数回の補修が実施されたが，再劣化によって平成29年度に架替えが完了した。ま

表-1 工程計画

研究項目	研究細目	活動時期			
		H29	H30	H31	H32
撤去 PC 橋の損傷状況調査	・部材内部調査 ・材料調査	■	■	■	
撤去 PC 橋の性能評価に関する調査	・耐荷力調査 ・非破壊による内部調査	■	■	■	
撤去 PC 橋の補修補強に関する調査	・補修補強事例調査 ・補修補強効果調査	■	■	■	
既設 PC 橋の性能評価および補修補強技術の確立					■

表-2 旧歌高架橋の諸元

構造形式	単純 PC ポステン T 桁橋
架 設 年	1975 年 (S50 年)
橋 長	991.6m
支 間 割	29@30.8m ほか
全 幅 員	11.3m
架橋条件	海岸（日本海）

た、平成17年度からは、塩分量調査や主ケーブルの健全性調査（はつり）が実施された径間も存在する。塩害に対する補修効果の確認を目的に、補修時期と劣化状況が逆転している桁や、補修方法の違いで劣化に差が生じている桁、過去の調査結果と比較可能な桁に着目し、調査対象の桁を選定した。なお、本橋は橋脚高さが3.4m～14.2mと、海面からの距離に差があるとともに、一部の桁は海面上に架かっているため、撤去した桁の塩分量を調査する前提として、架橋位置への飛来塩分の影響を把握しておくことが重要となる。そのため、撤去前の桁へ付着している塩分量と、同位置へ飛来してくる塩分量を事前に調査することとした。さらに、架橋時からコンクリート中へ侵入した塩分量も把握するため、撤去桁付近の橋脚からコアを採取し、コンクリート中の塩分量調査も実施することとした。塩分量調査は、道路管理者の承諾を得たうえで平成29年度に実施し、撤去した桁の塩分量調査は今後実施する計画である。

2.2 旧二雁別橋

本橋は河口から50m程度に位置する3径間単純PCポステンション方式T桁橋である（表-3、写真-2）。架橋から34年を経過した平成8年度に塩害劣化に対して表面塗装と補強（外ケーブル補強もしくは鋼板接着）が施されたが、再劣化の進行によって平成29年度に架替えが行われた。また、平成24年度には、塩分量調査やコンクリート強度確認が第三径間のG4桁およびG6桁で実施されている。外ケーブル補強の効果確認を目的に、過去の調査結果があり、かつ外ケーブル補強が実施されている第三径間のG4桁を調査対象とした。調査は、撤去した桁単体に対して載荷試験を実施し保有耐荷力を確認する。なお、外ケーブル補強の効果を確認することが目的のため、載荷試験は外ケーブル有無の2ケースで載荷試験を実施することとし、各ケースの比較から効果を確認する。調査は平成30年度に実施する計画である。また、載荷試験の前には、事前調査としてPC鋼材破断、グラウト充填状況および残存プレストレス量を確認し、載荷試験時の載荷荷重の検討へ反映させる予定である。さらに、載荷試験終了後に解体調査を実施し、事前調査結果の精度を確認することで、非破壊検査もしくは微破壊検査による橋梁の安全性評価への適用性を模索する。

2.3 旧築別橋

本橋は河口から170m程度に位置する5径間単純PCポステンション方式T桁橋である（表-4、写真-3）。架橋から35年を経過した平成7年度に塩害劣化に対して表面塗装と補修補強（断面修復、鋼板接着）が施されたが、再劣化の進行によって平成29年度に架替えが行われた。床版、地覆および横桁が連結された状態で静的載荷試験を実施し、実橋の耐荷力（破壊安全率）を確



写真-1 旧歌高架橋の全景（一部）

表-3 旧二雁別橋の諸元

構造形式	単純 PC ポステン T 桁橋
架 設 年	1962 年（S37 年）
橋 長	67.0m
支 間 割	3@21.5m
全 幅 員	10.4m
架橋条件	河川（二雁別川）



写真-2 旧二雁別橋の全景

表-4 旧築別橋の諸元

構造形式	単純 PC ポステン T 桁橋
架 設 年	1960 年（S35 年）
橋 長	180.3m
支 間 割	5@34.3m
全 幅 員	7.2m
架橋条件	河川（築別川）



写真-3 旧築別橋の全景
（載荷試験径間側）

認する目的で桁の選定を行った。載荷試験はグラウンドアンカーを反力とするため、河川敷のある第一径間を対象とした。また、複数桁の荷重分配効果を把握することと、第一径間内でもっとも損傷が確認されたG1桁への載荷を行うこととした。なお、第一径間の桁は鋼板接着されていない。載荷は、支間中央部への1点集中載荷とした。載荷試験は平成29年度に実施した。載荷試験の結果、事前に推定した破壊荷重に対し、3割以上の余裕量を有する結果であった。なお、この推定値は桁の損傷を考慮せず健全な桁と仮定して算出した結果である。

3. 補修補強技術の高度化に向けた課題

既設PC橋の補修補強を適切に行うには、設計図書や維持管理記録の確認あるいは実構造物の調査などを行い、現有の耐荷性能や耐久性能を把握することが望ましいとされる¹⁾。この観点からすると、補修補強技術の高度化とは、できるだけ調査を行わずに必要な最小限に得られる情報のみで現有の耐荷性能や耐久性能を特定できることを目標にすべきである。しかし、実際のPC構造物における現有の耐荷性能や耐久性能はさまざまな要因の影響を受け、かつ、さまざまな調査を実施しても性能低下の度合いを必ずしも定量的に把握できないこともあり得る。

たとえば、PC単純T桁橋である旧築別橋にて実施された現地載荷試験によると実測された破壊荷重は3300kNであり、事前調査によりPC鋼材12本中1本程度が破断した状態であっても設計断面力（終局荷重時1246kN）を大きく上回ることが確認されている²⁾。この結果をもとに、PC鋼材の破断本数と横分配（交通荷重を直接受ける床版は両端の主桁にしか荷重を伝達することができないが、横桁があることによりこの横桁を介して橋全体の主桁に荷重が分担されることを横分配という）の有無を変化させた場合の破壊荷重を試算した結果を図-2に示す。横分配の有無に関しては、格子計算により横分配あり

での各桁荷重負担率を確認し、橋全体とG1桁単体の分担率の関係から、横分配なしを算定している。また、PC鋼材の破断本数に関しては、建設時（PC鋼材の破断本数0/12本）と、劣化進行時（同4/12本）の結果は、載荷時試験結果に自重を考慮したうえで、PC鋼材の健全な本数比率（建設時の場合 $\times 12/11$ ）を乗じて算出している。図中の「横分配あり」は設計で想定されている橋の状態であり、PC鋼材の破断本数に応じて主桁部材の耐力が低下する。一方、「横分配なし」は横桁の横締めPC鋼材が破断するなどして横分配がまったくなされない状態であり、極端な例であるが、横分配を期待しないことは、PC鋼材破断に比べ橋全体としての耐荷性能の低下に与える影響が大きいことが分かる。なお、横分配なしの例の様に、横桁の劣化など各部材の劣化状況が橋全体の性能低下に与える影響については不明な点も多い。PC構造物の耐荷性能に及ぼす影響要因としては、上記以外にも構造形式、断面形状、プレストレス、桁製作方法、PC鋼材の種類やPCグラウト充填度、定着具の位置、橋面防水の有無、桁支間規模、損傷部位、設計手法などが挙げられる¹⁾。

また、旧築別橋は昭和35年（1960年）に建設された一等橋（活荷重TL20）であるが、当時は設計

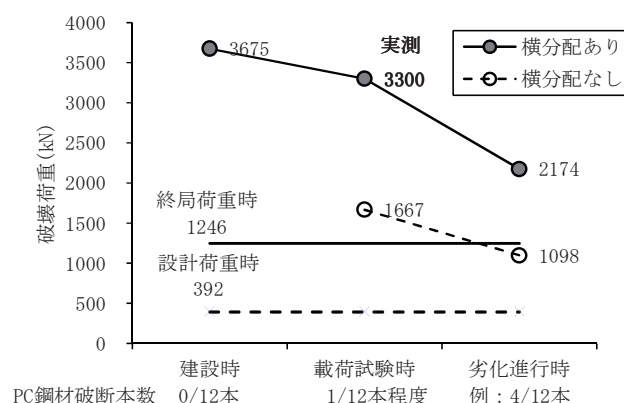


図-2 劣化状況の違いがPC橋（旧築別橋）の耐荷性能に与える影響

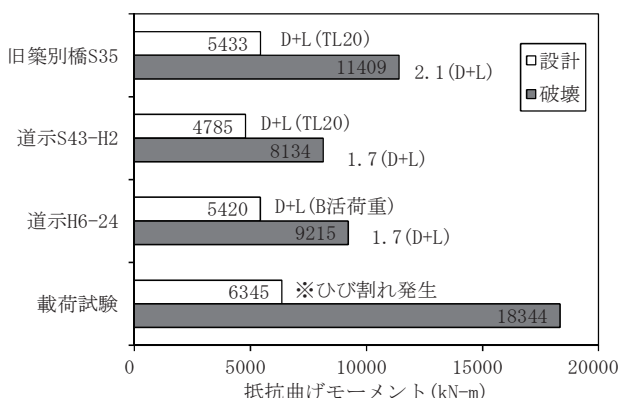


図-3 各時代の設計基準から算定されるPC橋（旧築別橋）の設計断面力推定値

基準が十分に整備されてなく、かつ、電算もない時代であったことから、設計断面力は後年になって制定された道路橋示方書における同規格の橋よりも大きく、現行のB活荷重に相当するものであった（図-3）。現在の設計に比べ安全側に設計されていると考えられる部分は設計荷重の算出段階で横分配を小さく見積もる手法であったこと、終局荷重を2.1(D+L)と現在の1.7(D+L)より大きく見積もることが挙げられる。さらに、設計荷重時の限界値は現行設計ではコンクリート縁応力で引張応力を許容するパーシャルプレストレスで設計されるのに対し、旧築別橋では引張応力を許容しないフルプレストレスで設計されている。このようにPC橋の耐荷性能は建設時の技術水準に大きく影響されることにも注意を要する¹⁾。なお、図中には載荷試験の結果から算定した抵抗曲げモーメントを併記したが、これによると設計抵抗曲げモーメントと実測されたひび割れ発生荷重とは乖離が少ないが、終局抵抗曲げモーメントと実測された破壊荷重とは乖離が大きい。この理由としては、コンクリート部材が弾性範囲内であれば比較的精度良く耐荷性能を推定できるのに対し、コンクリート部材が弾性範囲を超えた挙動を示した際に橋全体としての耐荷性能を現設計手法では精度良く推定することはできない（安全側に設計することはできる）と考える。

4. まとめ

本研究では、撤去PC桁を用いて各種調査を実施することで、既設PC橋の補修補強技術の高度化を目指す活動を進めている。研究の目標および方向性としては、実際のPC橋における現有性能の不確かさを最小にすることに尽きると考える。PC構造のメリットは劣化が多少進行しても弾性範囲であり続ける期間が寿命に対し長いことだと考える。逆にいえば、劣化が顕著になってからの性能低下の期間は寿命に対し短く、弾性範囲を超えて現有性能の不確かさが増大する際の速度も大きい。さらにいえば、前者のように現有性能が低下していない状況においては補修補強を適切に行うことで補修補強効果が確実に得られる可能性が高い（予防保全が有効）と考えられ、逆に、後者のように現有性能が低下している状況においては適切な補修補強を行うために現有性能の不確かさを正確に見積もらないと確実な補修補強効果が得られない可能性が高いと考える（図-4）。そこで本研究では、後者のように現有性能が低下している状況においての現有性能の不確かさを最小にするための調査研究を引き続き進める予定である。

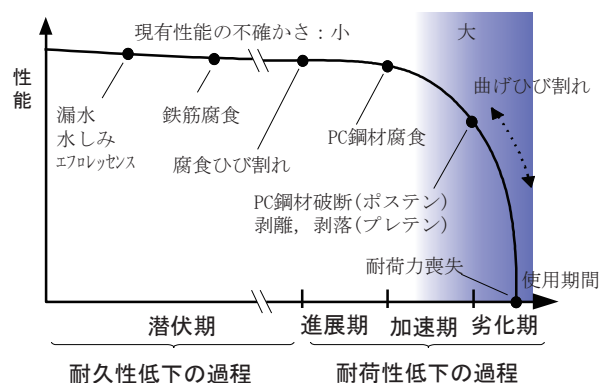


図-4 現有性能の不確か性の度合い

謝辞：本研究を進めるうえで、橋梁の管理者ならびに関係各位に多大なご協力を頂きました。ここに、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 一般社団法人プレストレストコンクリート建設業協会：PC構造物の維持保全-PC橋の更なる予防保全に向けて-【2015年版】，pp.193-195，2017.3
- 2) 平田健朗，藤野戸宏樹，石田雅博：国道232号旧築別橋における実橋耐荷力試験，第61回（平成29年度）北海道開発技術研究発表会，2018.2