

既設 PC 橋の維持管理と非破壊検査

丸山 久一*

既設 PC 橋では、60 年以上にわたって供用されているものがあるが、北陸地方など塩害環境の厳しい地域では、建設後 40 年に満たない段階で劣化が著しくなり、架替えに至っているものもある。本稿では、塩害環境にある PC 橋の維持管理、とくに点検や診断において課題となっている事項を述べる。鋼材の発錆状況を点検し、耐荷性能を診断するうえで、ポストテンション方式の PC 橋とプレテンション方式の PC 橋では大きな違いがあり、それぞれについて、非破壊検査に期待されている事項について述べる。

キーワード：PC 橋の維持管理、点検、診断、非破壊検査

1. はじめに

プレストレストコンクリート（PC）構造の考え方がわが国に紹介されてから 75 年以上経ち、具体的な構造物が造られてから 60 年以上が経過している¹⁾。この間、設計および施工の技術は大きく進歩し、いろいろな機能を有し、性能を発揮する PC 構造物が建造されている。ただ、新たなものを造る技術は最初から完璧ではなく、不具合を克服しながらより高いレベルに展開するのがつねなので、その時々には予見できない事象がのちに生じることがある。

現在、社会的に関心を集めているのが、PC 構造物の維持管理である。一般に、土木構造物に求められる機能はそれほど短期間に変わることはなく、供用期間が長期にわたるものが多い。とくに、橋梁構造物などは規模が大きくなり、建設に多額の経費を必要とすることから、適切な維持管理の下で不具合を少なくし、長期にわたって供用できることが望まれている。

2. PC 橋の維持管理

現存する PC 橋で 60 年を超えて供用されているものもあるが、飛来塩分の影響が強い日本海沿岸地域や凍結防止剤の散布量が多い山間部など塩害が厳しい環境に建設された PC 橋では、建設後十数年で補修が必要となり、40 年も経過しないで架替えとなっているものがある。



* Kyuuichi MARUYAMA

長岡技術科学大学
名誉教授

PC 橋の不具合の事例として、複数の桁を連結する横締め PC 鋼材の破断については、数多く報告されている。原因は、PC 鋼材を保護するためのグラウトが十分充填されておらず、PC 鋼材の腐食が原因となっている。

最近の事例では、コンクリートの長期間にわたる持続変形（乾燥収縮、クリープ）が原因で、PC 橋が想定以上に大きなたわみを生じていることが報告されている^{2, 3)}。

これらの事象は、維持管理というより設計で考慮すべき問題であるかもしれない。ただ、それぞれ設計時点では知見が不十分で対応できていなかったために生じたものである。維持管理の観点から言えば、このような予見できなかった事象が生じて、

- 日常の供用で不具合が生じない（人・車の安全な通行、第三者被害の防止）
- 設計上の想定地震や風などで崩壊しない（耐荷力の保持）

ように点検し、必要に応じて対策を施すことである。

3. 塩害を受けたポストテン桁の調査から分かったこと

写真 - 1 は、橋長 300 m の 4 径間連続 PC 箱桁橋で、プレキャストブロックカンチレバー工法で架設されたポストテンション方式の橋梁である⁴⁾。この橋梁は、積雪寒冷地で冬季に大量の凍結防止剤を散布する地域に位置している。竣工後 37 年の時点で、桁下面に写真 - 2 のような劣化現象が認められたことから、全面的に補修工事を実施した。劣化箇所をはつたところ（写真 - 3）、シース管も錆びていて、部分的に欠損していた。シース管の欠損部分をさらに調べたところ、内部の PC 鋼線の一部が破断していることが明らかになった（写真 - 4）。

管理者は、有識者による保全検討委員会を設置して保有耐荷力および補強方法を種々検討し、最終的な判断として架け替えることとした。ただ、交通量の多い国道に架かっている橋であり、新規の建設までに相当の期間を必要とすることから、その間の管理は、外ケーブルによる補強に加えて橋梁の動態モニタリングで行うこととした。



写真 - 1 4 径間連続 PC 箱桁橋



写真 - 2 桁底面の鉄筋腐食



写真 - 3 桁底面のはつり後



写真 - 4 PC 鋼材の腐食破断

詳細な調査結果によると、シース管内のグラウトの未充填区間が広く認められたが、それにも増して、排水枡が詰まっていたり、桁内に配置された排水管が破損して大量の塩化物を含んだ水が桁内に溢れていたことが判明した。また、箱桁の端部は開放されていたので、そこからも塩水が箱桁内に侵入していた。

維持管理上の第一義的課題は、適切な路面排水処理であるが、点検上の課題としては、シース内にある PC 鋼材の

腐食、破断が表面からの目視観察では分からないことである。

4. 塩害を受けたプレテン桁の载荷試験から分かったこと

写真 - 5 はプレテンション方式の PC-I 桁橋で、飛来塩分による塩害が著しく、架替えとなったものである^{5~7)}。鋼材の腐食により下フランジに大きなひび割れが認められる (写真 - 6)。



写真 - 5 PC-I 桁橋



写真 - 6 PC-I 桁の劣化状況

桁の残存耐力を調査するため、载荷試験を行うとともに (写真 - 7)、解析に用いるために、試験終了後に全 PC 鋼材の腐食状況を定量的に測定した。



写真 - 7 桁の载荷試験

PC 鋼材の配置状態は図 - 1 のようであり、下フランジ内に配置された 34 本の鋼材の軸方向の腐食状況を展開図で示すと図 - 2 のようになる。1 本ごとの鋼材を線で示して、連続していない線は、非表示の区間で腐食により鋼材断面が完全に欠損していることを示す。

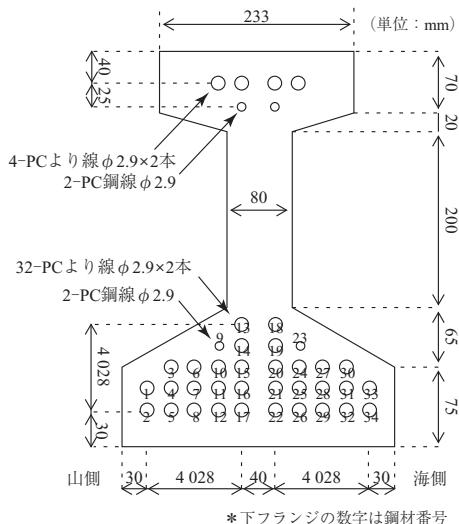


図 - 1 桁の断面

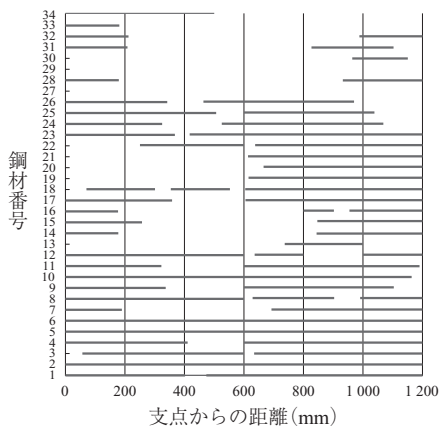


図 - 2 PC 鋼材の腐食状況

FEM のモデル化に際しては、PC 鋼材が設計時の状態と実際の腐食状態を考慮して (図 - 3) 解析を行っている^{5, 6)}。FEM 解析のひび割れおよび破壊時の状況は、試験時の状況をよく再現しており (図 - 4, 写真 - 8), また、解析での荷重変位曲線も試験結果をよくシミュレートできている (図 - 5)。この試験では桁の曲げ性状が卓越するように載荷位置を決めている。解析の詳細については参考文献 5 ~ 7) を参照していただきたいが、実験結果からいえることは、PC 鋼材が腐食すると、断面欠損だけでなく、降伏耐力や破断時の伸びも低下することが明らかになっている⁵⁾。いくつかの評価方法が提案されていて、その違いも図 - 5 に示しているが、曲げ性状が卓越する場合については、あまり大きな違いは認められない。

このことから、プレテンション PC 桁の曲げ性状につい

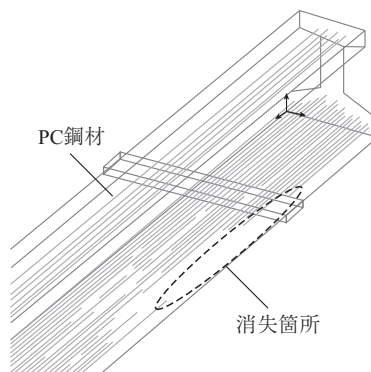


図 - 3 FEM モデル化

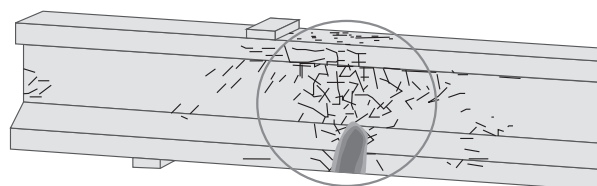


図 - 4 桁の解析結果

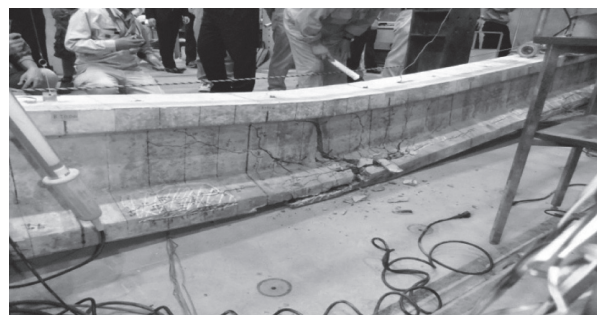


写真 - 8 桁の破壊状況

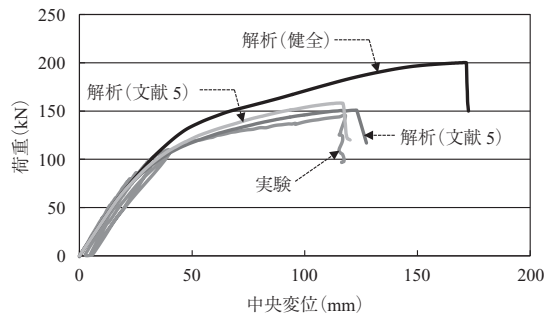


図 - 5 実験結果と解析結果の比較

ては、PC 鋼材の腐食状況を的確に反映できるならば、現在の FEM 解析技術は非常に精度良く耐荷性能を再現できるレベルに至っているといえる。

5. 非破壊検査に望まれること

(1) 施工時

これまでも多くの指摘がなされ、種々の改善がなされているが、ポストテンション方式の PC 橋では、PC 鋼材の

腐食を抑制するグラウトの完璧な充填がもっとも重要な課題である。グラウト材料の開発や注入方法の工夫も必須な事項であるが、施工時あるいは施工後に非破壊検査でグラウトの未充填箇所が分かるとよい。

(2) 点検時

PC橋でもっとも重要な要素はPC鋼材の状態である。供用中のプレストレスの管理という点では、PC鋼材に導入されているプレストレス量、プレテンション方式ではPC鋼材とコンクリートとの付着状態が定量的に測定できるとよい。導入プレストレスの低下が直ちにPC橋の不具合として現れることは少ないかもしれないが、長期的な予測をする上では有用な情報である。

第三者被害の防止という観点では、かぶりコンクリートとPC鋼材の付着状況、コンクリートの浮きなどが簡易に計測できるとよい。現状は、コンクリート表面に錆汁などの異変が認められると検査足場を設けてたたき点検を行っているが、検査足場を設けず離れた位置から検査できるとよい。

PC橋の耐荷性能という観点からは、PC鋼材の腐食状況を非破壊検査で測定できることが今もっとも望まれていることである。とくに、シース管内に配置されているポストテンション方式のPC鋼材の腐食状況を測定できる方法の開発が望まれる。自然電位の計測による方法はすでに存在しているが、コンクリートの含水状態に大きく影響を受けることと、実橋梁での適用性、精度がまだ十分ではない。

(3) 診断

第三者被害を防止するための診断は、目視点検からおおよそ可能である。コンクリートの浮きも大部分は鋼材の腐食に起因しているため、先行する錆汁などの現象から推測は可能である。ただし、浮きの具体的な位置はたたき点検によるしかない。

耐荷力という観点では、腐食によるPC鋼材の断面欠損がもっとも重要な問題である。勿論、断面欠損が問題になる腐食量であれば、すでに錆汁だけでなく、大きなひび割れも発生しているので、外観からも劣化状態は認められる。ただ、耐荷力の低下はPC鋼材の断面欠損量に直接関わるので、断面欠損が定量的に把握できないと耐荷力の評価もできない。

現状では、コンクリートをはつってPC鋼材の断面欠損量を直接測定するしか方法はなく、プレテンション方式の場合、PC鋼材とコンクリートとの付着を損なうことから、はつることができる箇所も非常にかぎられている。PC鋼材の腐食による断面欠損が定量的に測定できる非破壊検査方法が開発されると、PC橋の耐荷性能の診断が大きく前進する。

6. おわりに

PC橋の長寿命化を図るためには、点検、診断に基づいて適切な補修・補強を実施する必要がある。これまでにも種々の補修・補強がなされてきているが、補修・補強がどの程度の期間有効に働くかは必ずしも明らかにされていない。とくに、塩害を受けた場合については、かぶりコン

クリートをはつり、PC鋼材の錆を除き、必要な補強をしてかぶりコンクリートを新たに打ち足したとしても、PC鋼材の内側のコンクリートの塩化物イオンは除去されておらず、実際にはPC鋼材の腐食環境はあまり改善されていない。

図-6には、日本海の沿岸部で、汀線から150m以内にある橋梁の補修・補強に要した経費を示す⁸⁾。相対的にかぶりが小さいPC橋は、早期にPC鋼材の腐食が始まる。補修・補強の回数も数度に及ぶことが多く、経費も多額になっている。

補修・補強の有効な手法を開発することは勿論であるが、PC橋の長寿命化にとって、点検、診断をより精度よくかつ容易にできる非破壊検査方法の開発はより一層重要である。

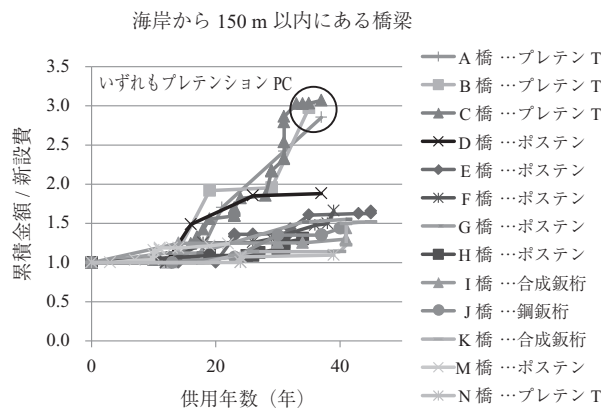


図-6 橋梁の補修経費

参考文献

- 1) 田村浩一・近藤時夫：コンクリートの歴史，山海堂，1984
- 2) 千々和伸浩，杉田 恵，石田哲也，前川宏一：セメント硬化体中の微視的機構モデルに基づく実 PC 橋の長期間時間依存変形シミュレーション，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1，pp.407-412，2010
- 3) 日本コンクリート工学会：耐久性力学に基づく収縮影響評価研究委員会報告書，2012.10
- 4) 樋口徳男：高田河川国道事務所における橋梁の延命化対策－名立大橋，能生大橋，妙高大橋の事例－，土木施工，Vol.55，No.2，pp67-70，2014.2
- 5) 陸 賢，田中泰司，山口貴幸，下村 匠：腐食した PC 鋼より線の機械的性質とプレテンション PC 梁の残存耐力の評価，プレレストコンクリート工学会第 21 回シンポジウム論文集，pp.211-216，2012.10
- 6) 武田健太，田中泰司：塩害により劣化したプレテンション式橋桁の有限要素解析，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第 13 巻，pp.243-250，2013.11
- 7) 田中泰司・下村 匠・武田健太・山口貴幸：塩害により腐食劣化が進行したプレテンション桁の耐荷性能評価，プレレストコンクリート，Vol.61，No.3，pp.61-66，2014.6
- 8) 丸山久一，井林 康，下村 匠，田中泰司：地方自治体における橋梁の効率的な維持管理手法の開発と現実の課題，橋梁と基礎，pp.45-49，2013.11

【2014年8月31日受付】