

近江大橋(旧橋)における主桁の調査と 補修状況の報告 ～ P C 橋に学ぶ～

中川 義規¹・三上 貴之²

¹滋賀県長浜土木事務所木之本支所河川砂防課 (〒529-0426 滋賀県長浜市木本町黒田1234)

²滋賀県大津土木事務所管理調整課 (〒520-0807 滋賀県大津市松本一丁目2-1)

1. はじめに

近江大橋(旧橋・北側)は、1974年(昭和49年)に建設された琵琶湖をまたぐPC橋である。緊急輸送道路に指定されていることから、ポストテンションT桁部においてB活荷重対応を目的とした外ケーブル補強工を実施している。この補強工事の足場を利用して橋梁点検を行ったところ顕著なコンクリート浮きが発見されたことを受け、詳細調査を実施した結果、主桁主ケーブルの一部で劣化が進行していた。

本稿では、詳細調査の結果判明した主ケーブルの劣化状況について報告するとともに調査手法ならびに補修方法について報告する。

キーワード PC橋、グラウト充填度調査、グラウト再充填、劣化メカニズム

2. 橋梁概要

本橋は大津湖南地区における、産業経済活動と生活道路の両性格を併せ持つ重要な社会基盤として1974年(昭和49年)に建設された1290mの長大橋であり、つづく1985年には南側に新橋が建設された。橋梁形式は、いずれも単純24連ポストテンT桁と3径間連続ラーメン箱桁から構成されるプレストレストコンクリート橋である。

図-1に新・旧を含む近江大橋横断面図、図-2に近江大橋の全景写真、図-3には橋梁一般図を示す。

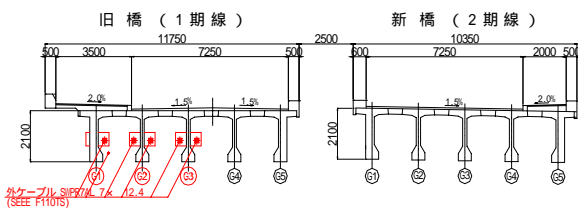


図-1 近江大橋 横断面図



図-2 近江大橋 全景写真

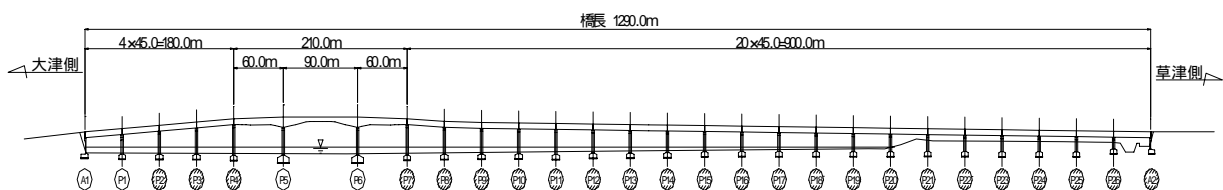


図-3 近江大橋 橋梁一般図

3. 劣化状況の報告

(1) 詳細点検および劣化状況

a) 橋梁詳細点検

PC橋は、ひびわれ、遊離石灰や錆汁の流出、剥離、鉄筋露出等の損傷を近接目視で確認・記録することが点検の基本である。また、コンクリート破片の落下による第三者被害を招く恐れがあることから同時にハンマーによる叩き点検も実施した。

PC橋特有の変状として、鋼材に沿ったひびわれや定着部付近のひびわれが特に注意すべき損傷として考えられていることから、現場ではこれらに十分留意して点検を行うこととした。

b) PC鋼材の劣化

草津側から点検を行う中で、2010年4月にP17-18径間G2桁において、主桁ウエブの一部で著しい浮きが確認された。

そこでPC鋼材に沿って、3箇所を25の小径ドリルによって鋼材を傷つけないように削孔し、CCDカメラにて内部の状況確認を行うこととした。その結果、浮きが確認された箇所より上縁の定着部側にて腐食している可能性の高いことが判明した。変状をより詳細に把握するため、さらにはつった様子が図-4である。

区間Bにおいて鋼材の損傷状況を確認するため鋼材付近のコンクリートをはつり出したところ、鋼材の腐食および一部で破断していた。本来充填されているはずのグラウトが充填されておらず、当該空洞部において主ケーブルを構成する12本のPC鋼より線のうち10本が破断しており、素線については腐食して細い針状と化していた。

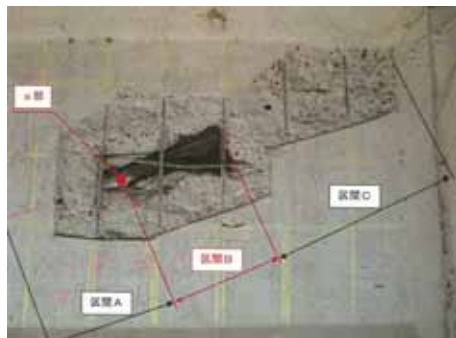


図4 P17-18径間G2桁はつり部

c) 詳細調査

さらに、詳細調査を行うにあたって、学識経験者の意見を交えながら調査を進めたところ、図-5に示すようにPC鋼材が桁の上縁にて定着している箇所において同様のコンクリート浮きが確認されたため、類似状況の箇所が他にも存在する可能性があるとして推測した。

そこで、グラウト充填不良箇所の特定方法について、ウエブへの負担を極力抑える必要があることから、まず非破壊調査にてグラウトの充填状況を調査し、未充填であると思われる箇所を追って確認することとした。

非破壊による充填調査には衝撃弾性波法、X線透過法等の手法がある。前者はケーブル全体に対する評価は可能であるが部分的なグラウト充填不良範囲を特定することができない。また、後者については立入禁止区間が生じることから外ケーブル補強工事に支障が伴う。

一方、今回採用したインパクトエコー法は未充填箇所の推定が高い確率で可能であること、また測定機器も小型であり施工性にも優れていることから、当手法を採用した。

インパクトエコー法は縦波共振現象を利用し入力点付近で計測された波形の周波数スペクトルのピーク位置からコンクリートの内部状況を推定する手法である。図-6にインパクトエコーの実施状況および測定結果のイメージ図を示す。

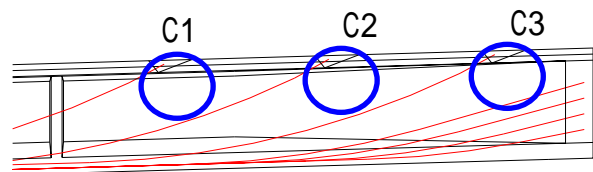


図5 PC鋼材の定着箇所

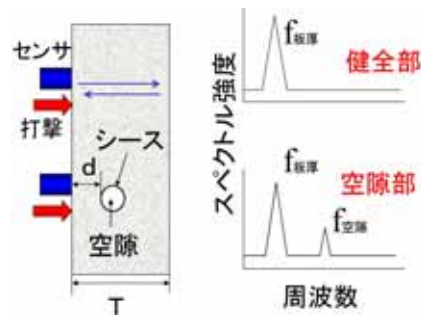


図6 インパクトエコー測定状況および応答イメージ図

での反射によるピーク周波数 $f_{\text{空隙}}$ が出現する。グラウト充填詳細調査の手順については図-7のとおりである。

インパクトエコーによる非破壊調査は、上縁定着する主ケーブルに対して片側3箇所×2(起終点)の計6箇所を調査することとし、上フランジ下面から300mm程度下方までを調査対象範囲とした。これは、断面が急変する位置に近いと、発生するノイズが無視できなくなり調査精度に影響を及ぼし適切な評価ができなくなるためである。ただしこの位置はケーブル端点から1m程度も離れていることから、その間にグラウトが充填されているかどうかの判断がし難い。

そこで本調査においては削孔箇所は に加えて を設けることとした(図-8)。

インパクトエコーによる充填調査を行い、未充填の疑いがない場合は 、未充填の疑いがある場合は 、未充填と思われる場合を×として定義した。

また、削孔による鋼材腐食度の定義については、コンクリート標準示方書【維持管理編】²⁾に準拠することとし、当示方書には鋼材破断の定義が存在しないことから、表-1()のとおり新たに鋼材破断を腐食グレードVとして定義することとした。以上、インパクトエコーおよび削孔によるグラウト充填度調査結果ならびに鋼材の腐食状況調査結果を図-9に示す。

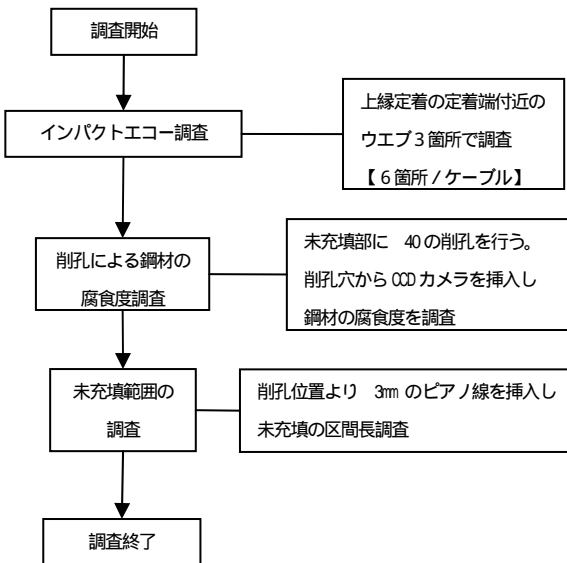


図-7 詳細調査フローチャート

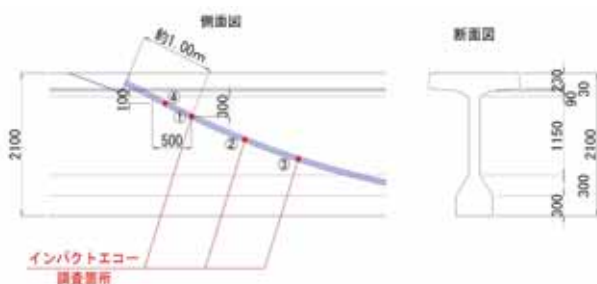


図-8 グラウト充填度調査箇所

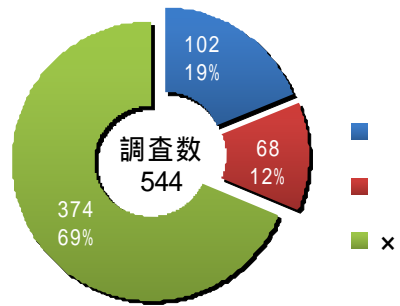
d) 詳細調査結果のまとめ

インパクトエコーによる非破壊調査の結果では、上縁定着しているPC鋼材の約7割でグラウトが未充填と思われる結果となった。続いて小径削孔による調査の結果、4割が未充填、2割がやや充填不良という結果であった。

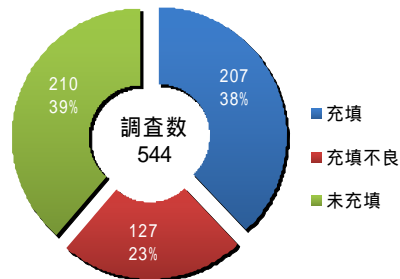
インパクトエコーではあるいは×と評価していたが削孔の結果で となった箇所もあった。これは桁端部のウェブが厚く、主ケーブルまでの測定距離が長かったこ

表-1 鋼材の腐食グレードとその状態

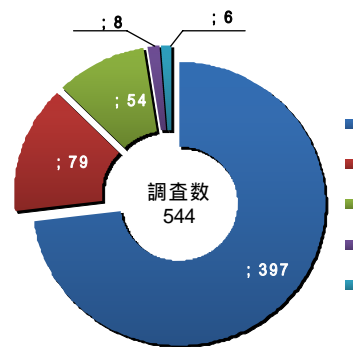
腐食グレード	鋼材の状態	備考
	黒皮の状態、またはさびは生じているが全体的に薄い緻密なさびであり、コンクリート面にさびが付着していることはない。	
	部分的に浮きさびがあるが、小面積で斑状である。	
	断面欠損は目視観察では認められないが、鉄筋の全周または全長にわたって浮きさびが生じている。	
	断面欠損が生じている。	
	鋼材の破断	



インパクトエコーによる充填度調査



小径削孔によるグラウト充填確認



PC鋼材の腐食度

図-9 グラウト充填度調査及び腐食度調査結果

と等が影響したと考えられる。しかし全数からみると、今回実施した非破壊調査はかぶり厚さとグラウト未充填の空隙の大きさを考慮すれば、非破壊としては十分な精度を有しているものと考えられる。

次に、CCDカメラにてシース内の鋼材腐食度調査を行った結果、8箇所にて断面欠損、6箇所にて破断が確認されるという劣化状況であった。特に橋面水が集中するG2、G5桁に損傷が顕著に見られ、これは道路の横断勾配が影響しているものと考えられる。

e) 後打ちコンクリート部の調査

先の調査で、G2およびG5桁に損傷が多く確認されたことを受け、主桁上縁定着の「舟」と呼ばれる後打ちコンクリート部から劣化因子がシース内に供給された可能性があると考えた。そこで、今度は橋面から後打ちコンクリート部3箇所の調査を行ったところ、以下のことが判明した。

グラウト注入孔が完全に閉塞できていなかった。

舟部を通過する横締めPC鋼材はいずれも腐食劣化し、破断していた。

図-10が上縁定着部をはつた様子である。

4. 緊急補修・補強工事

(1) グラウト再注入

a) 再注入の目的

調査結果より、塩化物イオンを含む橋面水が上縁定着部より侵入し、シース内のグラウト未充填箇所に滞水し、主ケーブルの腐食等の劣化を生じさせたものと考えられる。ここで、PCグラウトの役割は、PC鋼材を腐食

から保護すること、部材コンクリートとの付着による一体性を確保することなどあげられるが、グラウトが未充填であったため、それらが機能していなかったと考える。また主ケーブルの腐食が著しい箇所が存在することからグラウト材については鋼材の防錆に対する考慮が必要であると考えた。

b) グラウト材の選定および再注入

グラウトの再充填に用いるグラウト材に要求される性能は以下のとおりである。

- 充填性に優れていること
- 防錆効果があること
- 所定の強度を有すること
- 作業性に優れていること

以上4点を重要なポイントとして、再注入に用いるグラウト材は充填の確実性を考慮し超低粘性タイプを使用した。また鋼材の再劣化防止のため、グラウトに防錆効果のある亜硝酸カルシウムを添加することとした。

グラウト再注入計画にあたってはPCグラウト再注入等補修マニュアル(鉄道総研)³⁾、PCグラウトの補修マニュアル(日本道路公団)⁴⁾を参考とし、80mmのコアドリルおよび手はつりで再注入孔を削孔した。図-11が再注入の状況写真である。

(2) 破断による不足プレストレスの補強

今回の調査でPC鋼材が破断していた箇所における損失プレストレスを補うため、補強を行う。本橋では断面欠損を伴うPC鋼材についても安全側を考慮し破断したPC鋼材と同様の損傷レベルとして補強対策を行うこととした。



図-10 上縁定着部の劣化状況



図-11 グラウト再注入状況

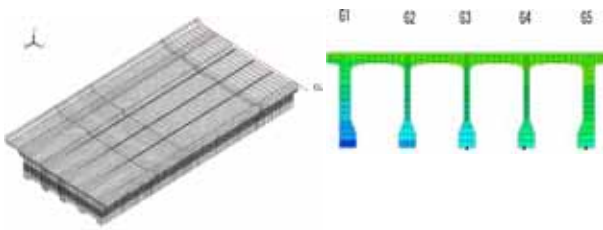


図-12 FEMによる解析図

FEM(図-12)によりプレストレスの減少を解析した結果、許容値を満足しなかった箇所について外ケーブルおよびアウトプレートによる補強対策を講じることとなった。

(3) 横締めPC鋼材の補強

今回の調査では3箇所全てが破断していた結果であったが、他の横締めPC鋼材についても、橋面から全ての上縁定着部をはつり、劣化の有無を確認することは非現実的である。また非破壊による確実な調査方法がないことから、舟部を通過する横締めPC鋼材については全てが破断しているものと仮定した。同じくFEMにより解析を行い橋梁全体の床版に反映させ、施工性等を考慮した結果、炭素繊維シートによる補強を行うこととした。

5. 劣化の原因と追究

(1)劣化原因の推定およびメカニズム

点検結果及び調査結果から今回のPC鋼材の劣化・損傷原因は以下のように推定される。

上縁定着を行っているPC鋼材の定着部付近のグラウトに未充填区間があり、防錆が十分機能していなかった。この理由のひとつに、グラウト注入時にグラウト本体が空気を巻き込んでしまい、硬化までの間に残存空気が移動し定着部近傍に空気だまりを生じさせてしまったことがあげられる。建設当時はグラウト注入時に排気孔が設

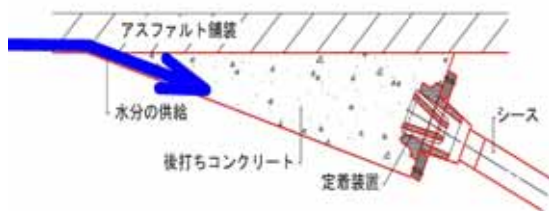


図-13 劣化のメカニズム

表-2 ポステンT桁における技術変遷

年代	昭和54年以前 ~1979年	昭和55年~平成5年 1980年~1993年	平成6年以降 1994年~
主ケーブル定着形式	一部(約半数)を主桁上縁に定着	橋長2.7m以下の場合 一部(約半数)を主桁上縁に定着 橋長2.8m以上の場合 全て桁端部に定着	全て桁端部に定着

けられていなかったこともまた原因ではなからうか。

PC鋼材が破断に至るまで劣化が進行したメカニズムは、図-13が示すように、橋面防水は施してあるものの、機能を果たせず凍結防止剤を含んだ雨水等が橋面から供給され、グラウトが十分に充填されていないシース内に浸透し、劣化が促進させたものと考えられる。

(2)技術の変遷

ポステンT桁の技術変遷に関して、近年は本橋のような上縁定着という形式は用いられていないが、1993年にかけては一部の橋梁で採用されていた(表-2)。

現在ではグラウトはノンブリーディングタイプを使用することが標準となり、現場でもシース内に空隙を残留させることがないように先流れ防止等の措置がとられている。また、グラウト充填だけに依存しない樹脂被覆ストランド鋼材や、エポキシ樹脂を予め充填してグラウト材としたプレグラウトPC鋼材等が防錆対策に使用される例もある。

6. おわりに

本稿は、グラウト未充填調査および主桁の劣化状況報告、またその補修方法について取りまとめたものである。

橋梁点検は、一般的には目視によるものであるが、把握できる劣化状況には限界があり劣化の原因や規模、進行状況など明確にできない部分がある。今後点検を行われる際に、万が一変状が確認された場合、目視できない箇所については追加詳細調査を実施することをぜひ検討されたい。

以前からよく言われているが、発注者にとって最も重要な課題は、予算に制約があるため劣化が軽微な時点での早期発見に努め、施設を補修・維持管理していくことである。本稿が今後の橋梁詳細調査および補修工の一助となれば幸いである。

謝辞：最後に、今回ご協力いただきました宮川豊章教授(京都大学大学院)ならびに土木研究所、新構造技術(株)、IHIインフラ建設(株)の方々には、この場をお借りして心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1)プレレスト・コンクリート建設技術協会：外ケーブル方式によるコンクリート橋の補強マニュアル(案)
- 2)コンクリート標準示方書 維持管理編 2007年制定
- 3)鉄道総合技術研究所：PCグラウト再注入等補修マニュアル(案)
- 4)PCグラウトの補修マニュアル(日本道路公団)

所属

人事異動により、従前の所属(滋賀県道路公社道路部道路整備課)における所掌内容を課題とした。