

PC 鉄道構造物の劣化事例と対策

石橋 忠良*

1. JR 東日本の構造物の検査体系

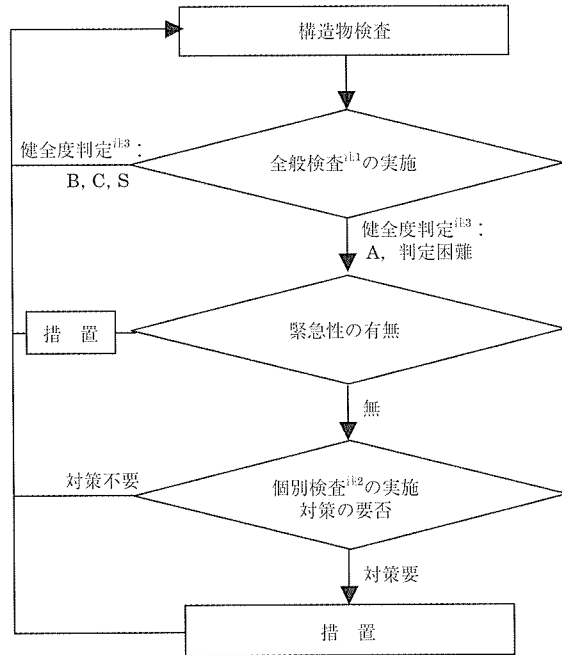
構造物の検査は2年に1度の目視による検査を基本としている。この検査で異常が発見された場合、さらに詳細な検査を行うこととなる。その結果、すぐ対処すべきか、監視を強化すべきか、通常の検査対象にすべきかの区分を行うこととなる(図-1)。

2. 事例と対策

2.1 PC グラウトの不良によるもの

(1) 鉛直鋼棒の破断と飛び出し

1969年に完成したスパン27.5m(上り線)、29.1m(下り線)の単線並列下路桁が河川改修に伴い、撤去されることとなった。その下路桁について1983年(経年約14年)に詳細な解体調査を実施した。その結果、鉛直PC鋼棒のグラウトの不完全な状況とそれに伴うPC鋼棒の腐食破断と、主ケーブル定着部でグラウトの不完全な状況が発見された。この時は、鉛直鋼棒の破断は桁内で生じており、コンクリート表面には異常は見られなかった。鉛直PC鋼棒のグラウト、上縁定着部のあと埋め部の施工を確実にすることは難しいと判断し、以後のPC桁の設計には、鉛直PC鋼棒を原則用いず、RC部材として設計することとしてきた。それ以前に施工された鉛直鋼棒を用いたPC桁は存在していたが、鉛直鋼棒の破断がコンクリート表面から発見されることはなかった。しかし、2001年に鋼棒破断により、かぶりコンクリートと、鋼棒が地表に落下するという事象が生じた(写真-1)。この桁もPC下路桁であり、1968年に造られ経年約33年である。この原因もグラウトが一部のみにししか充填されておらず、破断は未充填部での鋼材腐食が原因である。この事例が発見されたため、グラウトの不十分な鋼棒を調査することが困難なことも考えて、鋼棒破断により、コンクリート片や鋼棒の落下により第三者に危害の考えられる箇所、鉛直鋼棒を用いているPC桁すべてについて、落下防護工(図-2)を施工することとしている。



- (注1) 全般検査
構造物の変状もしくは既変状の進行の有無および線路周辺環境の捕捉。主として徒歩巡回による。(検査周期2年)
- (注2) 個別検査
機能低下もしくはそのおそれのある構造物に対して変状原因・機能程度の把握。措置の方法・時期の判断するために行う精度の高い検査。
- (注3) 健全度判定
A: 構造物の機能にかかわる変状または欠陥であって、運転保安、旅客公衆等の安全ならびに正常運行の確保を脅かし、またはその恐れのあるものでなんらかの措置を必要とするもの。
B: 変状または欠陥があり、将来Aになるおそれのあるもので、必要に応じて措置するもの。
C: 軽微な変状または欠陥で進行の停止もしくは再発のおそれのないことが確認できないもの、あるいは環境条件の影響を受けやすいもの。
S: 健全なもの。

図-1 検査のフロー

(2) 横締め鋼棒の破断と飛び出し

横締め鋼棒の破断については、東海道新幹線開業後5年ごろから見られ、また山陽新幹線開業後7年ごろから見られた。その後、鋼棒からケーブルに変わり、ケーブルの破断、飛び出しは今のところ発見されていない。しかし鋼棒を用いて施工されたPC桁も多く存在しているため、ときどき、かぶりコンクリートの剥落と一緒に鋼棒の飛び出しが発見される。この場合の原因も、グラウトの未充填や、不十分な充填である。この問題も、第三者に危害を与える可能性のある箇所については危害を及ぼさないような処置



* Tadayoshi ISHIBASHI
東日本旅客鉄道株式会社
構造技術センター所長



写真-1 PC 鋼棒突出によるコンクリート押抜きあと

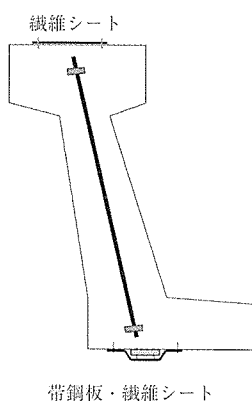


図-2 落下防護工

(1) アルカリ骨材反応対策の実施される以前に造られた高架橋

本高架橋は、1979年に完成した桁長30mの2室のPC箱型桁が20連、延長約800mの桁式高架橋である。コンクリートの配合は、早強ポルトランドセメント、 $W/C = 36\%$ 、単位セメント量 447 kg/m^3 、設計基準強度 400 kg/cm^2 である。

本高架橋は桁上面の滞水状態の期間が長く、そのため桁の上面から、アルカリ骨材反応が進行していった。桁の上側が反応により膨張するため、桁が上に反り上がるという現象になった。変状は開業前の試運転時の試験列車走行により、高低狂いのデータが記録されたことから判明した。現在までの桁の反り上がりの状況を図-3に示す。最近は、

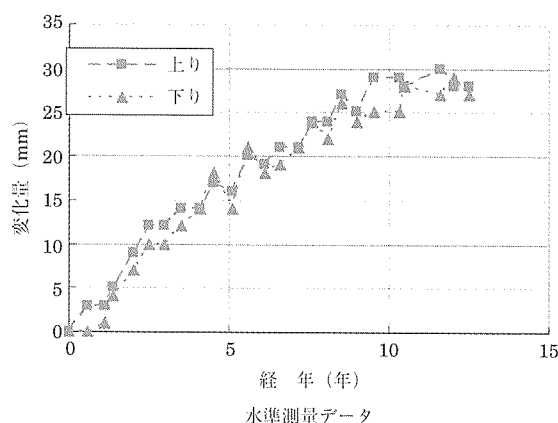


図-3 桁反り上がりの状況

をしていくこととしている。

(3) 主ケーブルのグラウトし忘れや不完全なグラウト

高度成長期に造ったPC桁には、主ケーブルのグラウトが施工されていないものや、不完全のものがときどき発見されている。これらのPC桁は、桁下面に縦方向のひび割れや、かびなどの汚れが目につくなどの変化が生じていることがある。これらの桁に、シーすに向かい、ドリルで穴を空けて調べると、水が満たされていることが多い。この時点では高アルカリの水で満たされているため、鋼材の腐食は見られていない。これらのグラウト未充填のものについては、穴を空けて再充填を実施してきている。解体した桁の調査から、主ケーブルの定着部背面にはグラウトの不十分な箇所があるものも存在していると考えられるが、現在のところ特別な処置はしていない。有効な対処方法が見あたらないことと、解体桁で発錆が見られなかったことから安全性は、当面問題ないとの判断からである。新たに造るものは、グラウト材料や、施工管理方法を変えて対処しているが、グラウトのし忘れのことも考えると、さらなる対策が必要だと考えている。

2.2 アルカリ骨材反応による損傷

ここでは、アルカリ骨材反応対策が行われる以前に施工された例と、アルカリ骨材反応対策がJISなどの改定により実施された後で造られた構造物の例について紹介する。

反り上がりの傾向が少なくなってきたが、この理由は、対策として実施してきた防水工の効果と、アルカリ骨材反応が桁の中立軸付近まで達してきたことが考えられる。すでに反応を起こしたコンクリートの劣化の進行状況を監視しながら、劣化予測のための試験をしたり、実施した各種対策の効果の程度を調べたりしている状況である。構造物の耐荷力に問題が生じることになれば、補強することが必要と考えているが、今時点では、構造物としての耐荷力面では問題なく、反応と劣化の進行を止めることに力を注いでいる状況である。

(2) 最近の事例

アルカリ骨材反応対策が、JISの改定などによりなされたが、それ以降も、PC桁の一部にはアルカリ骨材反応と思われる変状の生じているものが見られている。多くの場合、無害と判断される限度近い膨張を示す骨材を用いていることと、単位セメント量が多いことが原因かと考えている。その事例のひび割れ状況を写真-2に示す。対策としては、表面被覆を行い、水の遮断と、外観を維持することを期待しているが、被覆材がひび割れ部に沿って破れるということが多く起こっている。被覆材がひび割れの温度や乾湿による伸び縮みの繰り返し疲労に耐えられないことが破れてくる原因の1つと考えている。被覆材の施工や、材料の工夫が必要である。



写真-2 アルカリ骨材反応による変状

2.3 塩害による損傷

日本海に沿って走っている羽越本線には、海岸近くに位置しているPC橋梁が何橋か存在している。これらの橋梁は、いずれも塩害による損傷を受けており、補修を繰り返してきているものが多い。ここでは葡萄川橋梁と、大川橋梁について紹介する。

(1) 葡萄川橋梁²⁾

葡萄川橋梁は、羽越本線越後寒川・勝木間に位置する、スパン 22.10 m × 2 連、31.30 m × 1 連のPC I型単純桁構造である(写真-3)。1968年3月に竣工しているが、建設当時の海岸線は線路近傍であった。その後、海側に道路が建設されたため、現在は海岸線から100 mの位置に存在している。日本海の冬の激しい海風により、塩分がコンクリート表面に付着し、コンクリート内部に塩化物が浸透拡散したものと考えられる。建設後早い時期からひび割れ、錆汁の滲出という変状が生じた。1984年に詳細な調査を行った後に、劣化部分の打換えを基本とした補修が行われた。しかしその補修後再劣化が生じた。とくに、補修に用いたモルタルと、主桁コンクリートの境界でのひび割れが顕著であった。またひび割れから、錆汁の滲出も認められた。また変状は、海側、山側の両端の桁が激しく、中央部の桁の劣化はさほど進んでいない状況である。図-4に1984年と、1995年の桁のコンクリート中の含有塩化物量の調査結果を示す。調査部位は補修をしていないウェブ部である。

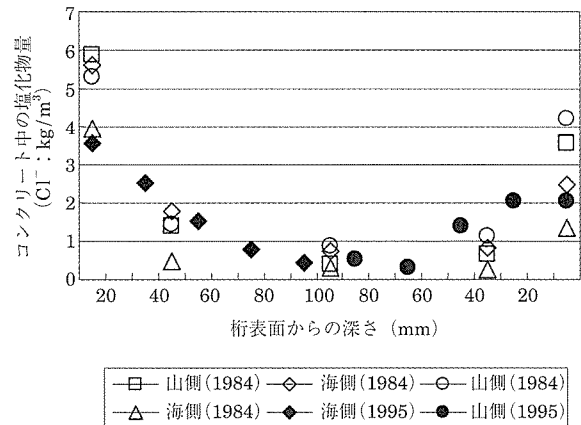


図-4 含有塩化物量調査結果(葡萄川B)

桁表面の塩化物量は、ほとんど1984年と1995年で変わらない。また、桁内部の表面より深さ40 mm付近は、時間とともに含有塩化物量が増加しているが、中心部はあまり変化していない。1995年に再度、断面修復の前回と同様の補修を行った。補修に際し、下フランジのコンクリートをはつり、鋼材等を調査した。前回の補修時に防錆材を塗布した部分は鋼材の腐食は見られず、前回は防錆材の塗布のできなかった、比較的損傷の少ない箇所の鋼材が腐食している状況であった。このときの補修も、シース付近までコンクリートをはつり、鋼材の錆をサンドブラストで落とし、防錆材を塗布した後、アンカー、およびメッシュ筋を配置してモルタルを施工した。なおこの補修後も、打継目のひび割れなど再劣化が生じ、2002年度中に電気防食による対策を行う予定としている。

(2) 大川橋梁³⁾

本橋梁は羽越本線府屋・鼠ヶ関間の、PC I型3主桁 スパン 19.0 m × 5 連、PC I型4主桁 スパン 31.3 m × 1 連、PC ホロー桁 スパン 19.0 m × 1 連である。本橋梁と海岸線までの間には、下り線(鋼橋)と道路橋(PC桁)がある。下り線は1924年に供用開始されたが、これまで塩害による腐食のため、1966年に架け替えが行われている。本PC橋梁は、海岸線から150 mに位置し、1974年に建設された橋梁である。この橋梁で変状が生じていたのは1~6連のPC I型桁の、主に下フランジコーナー部のかぶりコンクリートの剥離、剥落や鉄筋の腐食であり、PC鋼材の腐食には

なっていない。図-5に3主桁の横断方向の含有塩化物量の分布を示す。図中、左側端が海側の桁表面であり、右側端は、山側桁の山側表面である。かぶり20~40 mmの位置で最大6.4 kg/m³程度の塩化物(Cl⁻)を含有していることがわかる。1998年および1999年に、これらのPC桁を補修することとした。工法としては、できるだけ恒久対策に近い工法として、電気防食工法

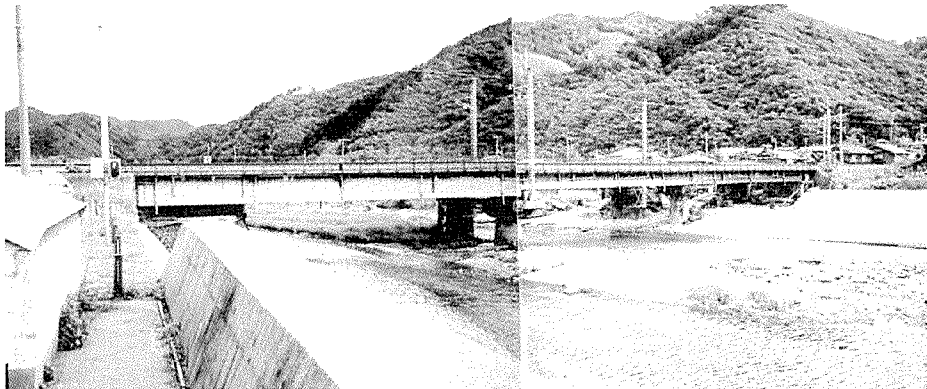


写真-3 葡萄川橋梁全景

を採用することとした。他の工法では短期間で再補修が必要となることと、電気防食工法の種類も増えコストも以前より大幅に安くなってきたことによる。ここでは、今後の塩害対策のために、電気防食工法を本格的に採用していくため、追跡調査も行うことを考え、6工法をそれぞれの桁に採用した。採用した6工法は表-1に示すとおりである。現在までのところ、いずれの工法も変状の進展は見られていない。なお、この施工に引き続いて、羽越本線の塩害による変状の生じている他のコンクリート橋についても、電気防食による対策を順次実施している。

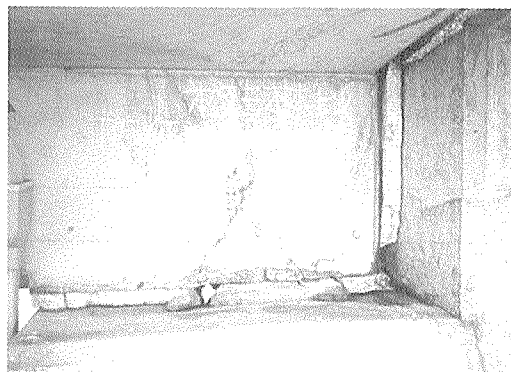


写真-4 桁端、横桁の損傷

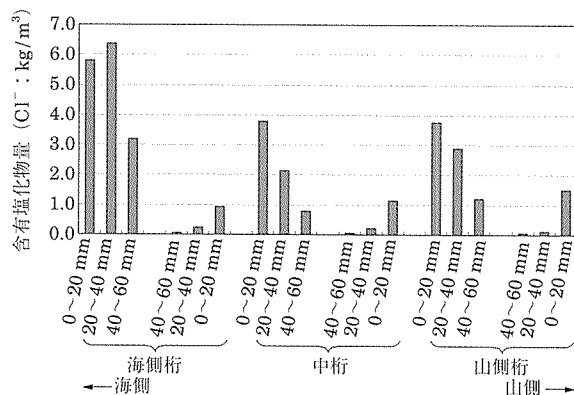


図-5 含有塩化物量調査結果（大川B）

表-1 電気防食工法一覧

桁番号	防食方式	工法種別
No.1	流電陽極	亜鉛シート
No.2	外部電源	チタングリッド
No.3	外部電源	チタン溶射
No.4	外部電源	チタンメッシュ
No.5	外部電源	チタンロッド
No.6	外部電源	チタン亜鉛溶射

2.4 桁端、横桁の損傷

桁端、横桁の損傷の原因はいくつかあり、施工時の型枠からのモルタル漏れなどにより支承の移動機構がうまく働かない場合や、橋脚など桁を支持している構造物が沈下や、水平移動のため、桁端に大きな力が作用することが原因のこともある。また地震時に大きな力が作用することが原因のときもある。横桁の損傷状況を写真-4に示す。一般に損傷した桁端を修復し、既設支承の前側に新しく支承を設けて受けかえる対策などが行われている。その場合、鉛直力を受ける支承と、水平力を受けるストッパーをべつべつに設置することが多い。なお現在は、施工の信頼性を高めて桁端の損傷を少なくするように、新設構造物においては

桁端の型枠は埋殺し型枠とすることになっている。また支承はゴム支承を原則とし、移動防止のストッパーを併用する構造としている。

桁端が桁座よりも水平力に対する耐力が大きい場合は、同じ原因で桁座が損傷することとなる。この場合も、支承の移動機能を回復させるとともに、桁座を取り壊し再打設したりして補強している。

3. おわりに

PC桁のメンテナンス面で大きな問題と考えているものは、PCグラウトの不完全な充填によるPC鋼材の腐食破断と、それに伴う第三者への危害防止である。もう1つはアルカリ骨材反応を生じている構造物の対策である。今後の構造物に対して、二度と同じ誤りを起こさないような、設計、施工面の対策をしていかねばと考えているが、すでに存在しているものの対策も必要である。鉛直鋼棒や横締め鋼棒については、第三者への危害防止対策を危害の可能性のある箇所は施工していくことが必要と考えている。アルカリ骨材反応の生じた場合の対策については、防水工が主体であるが、防水工材料のひび割れ追従性や、耐久性の面で不十分である。またPC桁は高強度で単位セメント量が多いため、JISが改定され、アルカリ骨材対策が盛り込まれた後に施工された構造物にもアルカリ骨材反応による損傷事例が生じている。同じ過ちをおこさないような対策を実施していくことがPC構造の信頼性を得るために必要である。

参考文献

- 1) 宮本 征夫：プレストレストコンクリート鉄道橋の耐久性評価，東京大学学位論文，1999.3.
- 2) 松田，佐藤，石橋：葡萄川橋りょうの塩害対策について，SED No.5，JR 東日本構造技術センター，1995.11.
- 3) 吉田，鋪谷，小林，天木，松田：電気防食工法を採用したPC桁の補修について，SED No.12，JR 東日本構造技術センター，1999.5.

【2002年11月14日受付】