

都市高速道路における大規模修繕工事 — 阪神高速道路池田線 —

(株)ピーエス三菱 ○小原 昇吾
 (株)ピーエス三菱 正会員 久保 欣也
 (株)ピーエス三菱 正会員 杉浦 一毅
 阪神高速道路(株) 大谷 智也

キーワード：大規模修繕工事，上縁定着ケーブル，PC鋼材腐食，外ケーブル補強

1. はじめに

昭和 60 年設計基準適用以前に製作されたポストテンション方式 PCT 桁橋は、PC 鋼材の一部が主桁の上縁に定着されている。防水層がない舗装の直下に定着部があり、さらには施工当時のグラウト充填不良などの要因が重なり、定着後埋め部から雨水が浸透しシース内に滞水した結果、PC 鋼材の腐食に至る事例が見受けられている。

本工事は、阪神高速道路池田線の昭和 40 年頃に建設されたポストテンション方式 PCT 桁橋に対して、主要構造の全体的な補修（大規模修繕）を行うことで、健全性の大幅な引き上げを図ることを目的とした工事である。現況の調査（外観変状調査，コンクリート物性調査，グラウト充填状況および PC 鋼材腐食度調査など）を実施し，現況耐荷力照査および補強の設計・施工を行った。本稿では，その調査概要，補強設計および施工概要について報告する。図-1 に本工事の修繕選定フローを，図-2 に本工事で施工した主な補修・補強対策を示す。

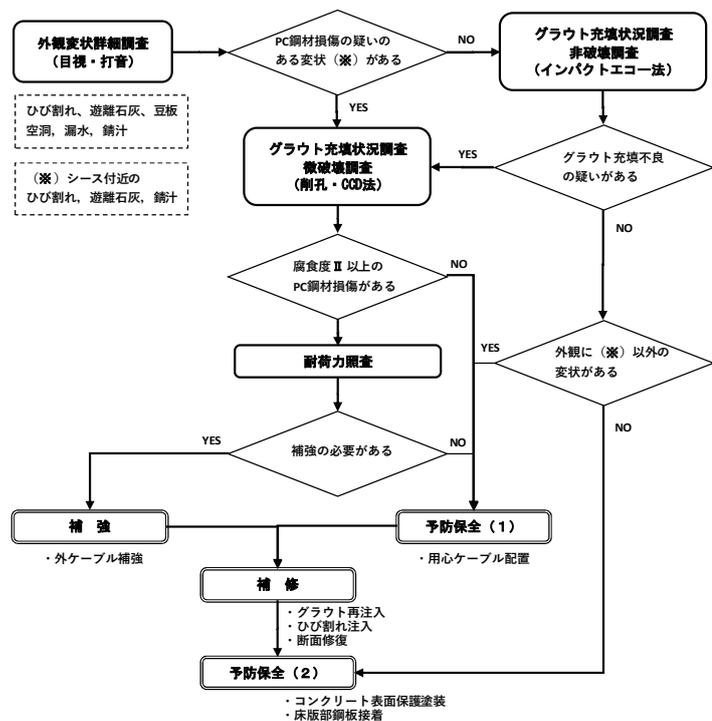


図-1 修繕選定フロー

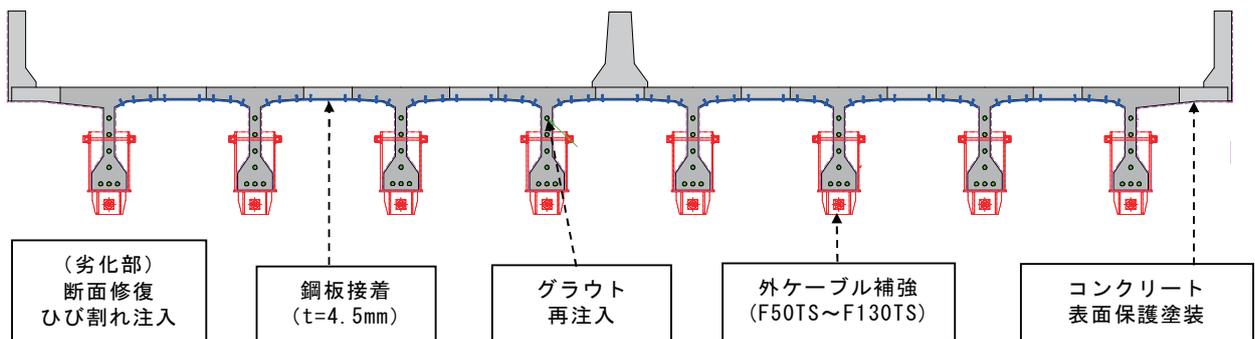


図-2 本工事における主な補修・補強対策

2. 詳細調査

2.1 外観変状調査

PC 桁全体の近接目視および打音検査を実施した。主桁間詰め部、横桁部および張出し床版部において、収縮に起因する微細なひび割れや、浮き・剥離などは確認されたが、主桁には、構造的欠陥となるような変状は、確認されなかった。

2.2 コンクリート物性調査

本工事全 26 径間から 2 径間を選定し、各径間の外桁および中桁からコアを採取して、各種の物性調査を行った。その調査結果を表-1 に示す。コンクリートの圧縮強度は、建設当時の設計基準強度 $\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$ を満足しているものの、弾性係数は、 $E_c=26\sim30\text{kN/mm}^2$ であり、設計値の 80%程度となっていた。塩化物イオン濃度分布図を図-3 に示す。空 S-51 径間は、全層で 1kg/m^3 以上の比較的高い濃度が検出され、表面から内部にかけての濃度勾配が見られないことから、内在塩分に由来するものと推測された。対して空 S-58 径間は、表面部が 1.1kg/m^3 に対し内部は 0.4kg/m^3 未満であることから、外来塩分に由来するものと推測された。ASR 促進膨張率は、全膨張率（開放膨張率+残存膨張率）が、有害判定基準の 0.1%を超えるものは、見受けられなかった。偏光顕微鏡観察による骨材岩種やゲル発生状況の観察も行った（写真-1）。シリカゲルの生成などの ASR 反応の痕跡は認められなかった。中性化深さは、12~13mm であり、主桁鉄筋位置まで達していないことが確認された。

表-1 コンクリート物性調査結果（平均値）

	外桁	中桁	基準値
圧縮強度 (N/mm ²)	43.4	44.1	40
静弾性係数 (kN/mm ²)	27.3	28.6	35
中性化深さ (mm)	12.1	13.3	(40)
塩化物イオン濃度 (kg/m ³)	1.11	0.81	1.2
膨張率 (%)	0.014	0.011	0.1

※中性化深さの基準値は鉄筋の純かぶりを示す

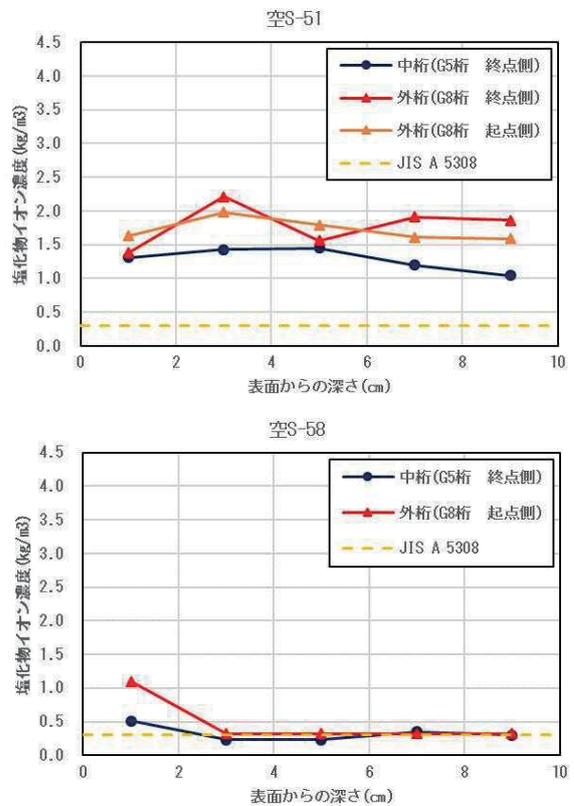


図-3 塩化物イオン濃度分布図

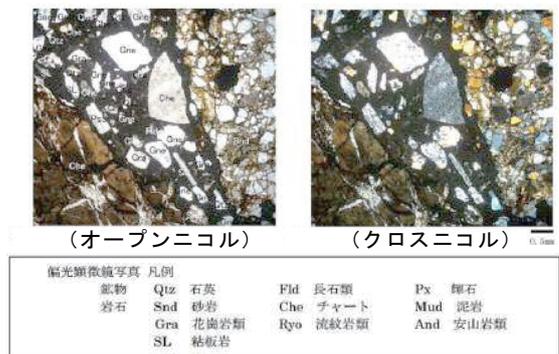


写真-1 偏光顕微鏡写真

2.3 グラウト充填状況調査

グラウト充填状況調査として、上縁定着ケーブルを対象に（1本のケーブルに対して、曲上げ部：2箇所×ケーブル両端：2箇所の計4箇所）実施した。その結果を図-4 に示す。非破壊調査はインパクトエコー法（写真-2）により1次調査した。非破壊調査を経て、「充填不良の可能性有り」と判定された調査箇所に対しては、2次調査として、微破壊調査（削孔・CCD法）を実施して、グラウト充填の状況およびPC鋼材の腐食状況を観察した。1次調査では52%がグラウト充填不良の可能性有りと判定され、2次調査では、そのうち69%がグラウト充填不良であることが確認された。

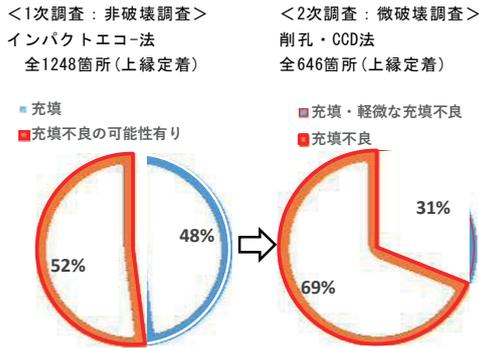


図-4 グラウト充填状況調査結果



写真-2 インパクトエコー法実施状況

2.4 PC 鋼材腐食度調査

微破壊調査（削孔・CCD 法）においては、PC 鋼材の腐食状態を調査した。PC 鋼材腐食度は、「プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き(案) [断面修復工法]」¹⁾に示されている指標にて評価した。その結果を表-2 に示す。設計時に PC 鋼材断面減少を考慮する必要のある PC 鋼材（腐食度Ⅱ以上）は、全径間で 61 箇所あったが、このうち、腐食度Ⅱが 53 箇所、腐食度Ⅲが 8 箇所であり、腐食度Ⅳに相当するケーブルは確認されなかった。

表-2 PC 鋼材腐食度調査結果

腐食状況	調査結果
 <腐食度：Ⅰ> 質量減少率1%未満に相当する腐食 $A_p' = 1.00A_p$	466箇所 (88.4%)
 <腐食度：Ⅱ> 質量減少率1~2.5%程度に相当する腐食 $A_p' = 0.94A_p$	53箇所 (10.1%)
 <腐食度：Ⅲ> 質量減少率10%程度未満に相当する腐食 $A_p' = 0.85A_p$	8箇所 (1.5%)
 <腐食度：Ⅳ> 質量減少率10%程度以上に相当する腐食 $A_p' = 0$ (破断とみなす)	0箇所 (0.0%)

3. 耐荷性能照査と外ケーブル補強設計

3.1 耐荷性能照査

主桁の耐荷性能照査においては、ケーブルの定着構造（上縁定着）、主桁の損傷状況および PC 鋼材の腐食状態に着目し、図-5に示す設計フローにて実施した。荷重条件は、活荷重をB活荷重として、死荷重は建設時より追加された遮音壁や添架物荷重および間詰床版部の補強鋼板の荷重を考慮した。コンクリートの物性値については、今回実施した詳細調査結果が道路橋示方書に示される基準値を下回る場合は、詳細調査結果を採用した。また、構造健全性を長期的に担保するため、設計荷重時の許容曲げ引張応力度は、フルプレストレスとした。

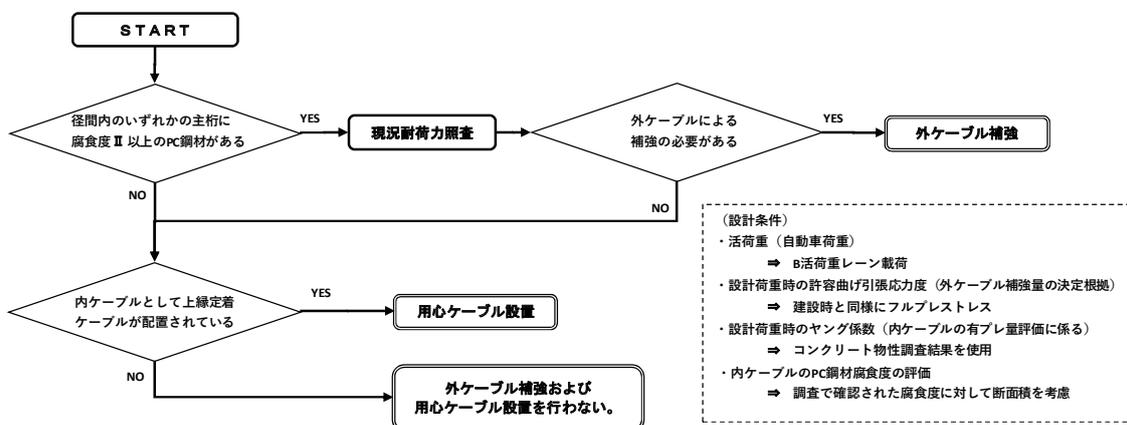


図-5 耐荷性能照査および補強設計フロー

3.2 外ケーブル補強設計

外ケーブル補強設計結果を表-3に示す。径間内の全ケーブルが桁端部定着であり、主桁自体の損傷が軽微である径間については、設計方針に基づき外ケーブルを設置しないこととした。上縁定着ケーブルが配置されているが、PC鋼材が腐食度 I 以下の場合については、将来の損傷発生リスクを考慮し、PC鋼材破断に伴う応力低下を早急に回復し橋梁全体の健全性を確保できるように用心ケーブルを配置することとした。

表-3 外ケーブル補強設計結果

総径間数		26径間
補強	補強ケーブル	84本
	補強径間数	11径間
予防保全	用心ケーブル	1本
	予防保全径間数	1径間
合計	外ケーブル	85本
	対策径間数	12径間

4. 補修・補強対策

4.1 グラウト再注入

グラウト充填状況調査によって充填不良と判定された箇所は、グラウト再注入工を実施した。再注入に用いる材料は、調査時の出水の有無や塩化物イオンの検出結果およびPC鋼材腐食度判定により防錆材を添加するか否かを選定した。材料選定フローを図-6に示す。また、防錆材は亜硝酸リチウム水溶液を用い、55kg/m³以上を添加するよう配合を決定した。

4.2 外ケーブル補強

外ケーブル補強は、鋼製ブラケットを用いて主桁下面に定着した(写真-3)。将来の維持管理に利用可能な基礎データを取得するため、外ケーブルに強制振動を与えて固有振動数の測定を実施した。また、計測された固有振動数から緊張力を推定し、緊張力の誤差を考慮した補強後の主桁曲げ応力度は、許容値を満足していることも確認した。

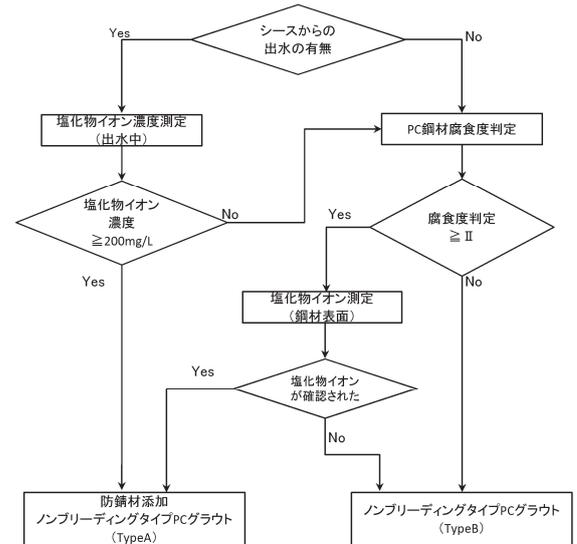


図-6 グラウト材料選定フロー



写真-3 外ケーブル補強 (全景)

5. おわりに

本工事は、阪神高速道路のPC桁の大規模修繕事業を推進するためのパイロット工事であり、詳細調査に基づく耐荷性能照査および補強設計の基本的な方針を示すことができた。また、予防保全として、鋼板接着による床版補強工およびコンクリート表面保護工を実施した。本工事で得られた知見が、今後も引き続く大規模修繕工事の一助となることを期待する。最後に、本工事の調査・設計・施工にあたり多大な協力支援を頂いた関係各位の皆様へ深く感謝の意を表します。

参考文献

- (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会：プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き(案) [断面修復工法]，pp.88～93，平成21年9月