

# 塩害による再劣化を受けた橋梁の詳細調査結果 と過去補修履歴との関連について ～古座大橋の事例～

八田 学<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 企画部 技術管理課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

近年、橋梁の老朽化が問題となっており、各地で長寿命化に対する取り組みが行なわれている。紀南河川国道事務所管内における国道42号の橋梁204橋についても、定期的な点検により、早期に損傷を発見し、早期に対策を行う予防保全を行い、橋梁の長寿命化を促進する取り組みを行っている。国道42号は海岸線に隣接した区間が多く、塩害を受けている橋梁が多数存在する。塩害は完全な修復は難しく、多くの橋梁が『再劣化』を繰り返している。本報告では、塩害による再劣化を受けてきた古座大橋について、調査結果と過去の損傷履歴の関連について紹介する。

キーワード 塩害, 再劣化, 詳細調査, 履歴管理

## 1. はじめに

古座大橋は、過去数度にわたり塩害による損傷を受け、補修再劣化を繰り返している。今回は、劣化サイクルを長周期化させることを目的として、現地での詳細調査に加え、過去の詳細調査結果や補修履歴の調査を行い、多角的な視点でその関連性整理を行った。平成22年度に詳細調査と補修設計、平成23年度に追加調査と既存資料調査を実施した。この中で、調査及び補修方針については、橋梁ドクター（京都大学：宮川教授）および国土技術政策総合研究所・土木研究所に提案し、助言を頂いた。本報告では、今回の調査により判明した新たな知見を報告すると共に、古座大橋の今後の維持管理手法について紹介する。



写真-1 古座大橋全景（串本側上流側より）

以下に、橋梁諸元を示す。

## 2. 橋梁概要

古座大橋は、古座川水系古座川（2級河川）の河口に架かる橋梁であり、中央の鋼ランガー桁橋を含め全10径間、橋長314mに及ぶ長大橋である。このうち本報告は、特に損傷の激しかったA1～P3のポステンT桁橋の内の3径間を対象とする。

過去に3度の大きな補修を実施しており、断面修復、表面保護、外ケーブル補強、電気防食を施工している。

橋梁形式：ポステンション方式PC単純T桁橋  
橋長(海上部)：177m (5@35.4m)  
支間長：5@34.65m  
幅員(全幅員)：7.7m (0.35+7.0+0.35)  
主桁本数：5本  
竣工年度：昭和44年（1969年）  
適用道示：昭和39年鉄筋コンクリート道路橋設計示方書



写真-2 古座大橋全景（串本側海岸より）

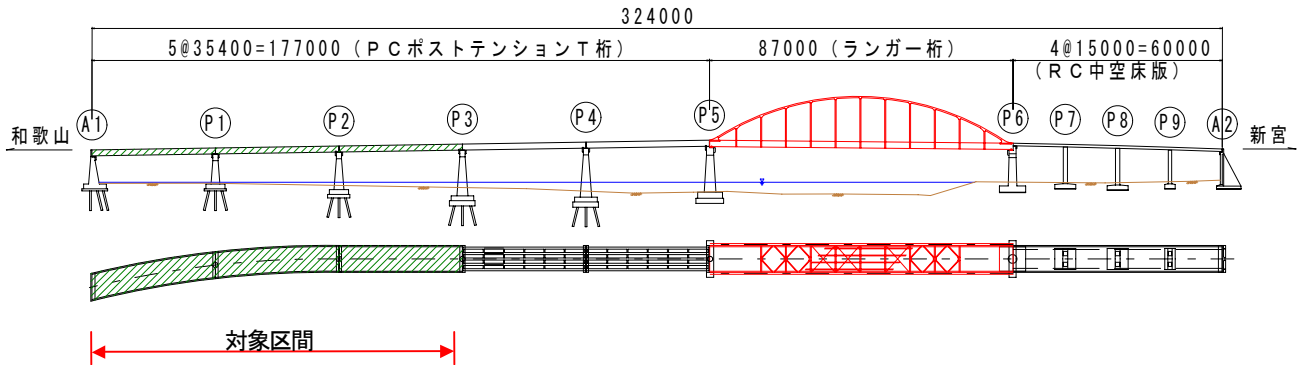


図-1 古座大橋一般図（側面図・平面図）

### 3. 現地詳細調査

#### (1) 概要

現況把握を目的として、現地詳細調査を実施した。過去の調査でASRについては可能性が低いことが判っているため、本調査では塩害に的を絞って調査を実施した。

実施内容を下表に示す。

表-1 現地詳細調査項目一覧

評価項目	調査項目	調査内容	
上部工の健全性評価	構造性能	静的載荷試験	25tトラックを2台載荷し、支間中央の鉛直たわみと断面内のひずみ分布を計測。
	耐荷力	外ケーブルリフトオフ試験	外ケーブルを再度緊張し、伸びの発生時の張力を計測。
		主桁のプレストレス量調査	①貫通コアによる手法と②スロットストレスの2つの方法で内ケーブルのプレストレス量を計測。
	材料劣化	圧縮強度試験	主桁のプレストレス量調査の手法①で得られたコアを用い、コンクリートの圧縮強度試験を実施。
塩化物イオン量調査		コンクリート内部に含まれる塩化物イオン量を調査。資料の採取はドリル法を用いた。	
損傷状態	PC鋼材はつり調査	主桁をはつり鉄筋およびPC鋼材を露出させ、直接目視により損傷状況を確認。	
	動的載荷試験	動的載荷試験	静的載荷試験の使用機材を用い、一般車両通行時のたわみ値およびひずみ量を動的計測。
		主桁のそり量調査	レーザー照射機を用い、主桁のそり量を計測。
	その他	全数たたき検査	足場を設置したA1～P3の3径間について、主桁、横桁、床版の全てをテストハンマーで剥離、浮きの調査を実施。
損傷寸法調査		損傷寸法図を作成	

以下に主な調査項目の概要を示す。

#### (2) 載荷試験

上部工の構造性能を評価するため、静的載荷試験を実施した。荷重は、25tのトラックを2台用い、①2台縦列載荷、②2台並列載荷、③1台載荷の3ケース行い、その時のひずみ分布及び支間中央たわみを計測した。

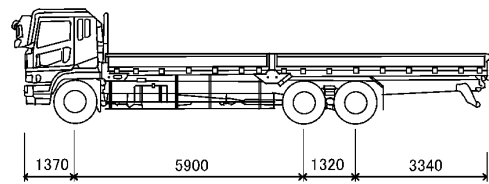


写真-3 試験車両載荷状況（2台並列載荷）

計測の結果、断面のひずみ分布は、下フランジに亀裂が生じているG3桁【3L/4】（損傷部）以外は一樣に変化しており（図-2参照）、平面保持の法則が成立していることが確認出来た。また、桁毎のたわみ量も直線的に変化しており、荷重分配が良好であることが確認出来た。たわみ量が最も大きい2台縦列載荷の結果を図-2に示す。

設計活荷重の評価を行うため、計測機器を利用して昼間の一般車両通行時の動的計測を実施した。結果、最大40t程度の車両が約50km/hで走行した場合に相当する応力が発生していた。この値は、B活荷重の約94%程度であることから、補修設計で考慮する荷重はB活荷重とした。

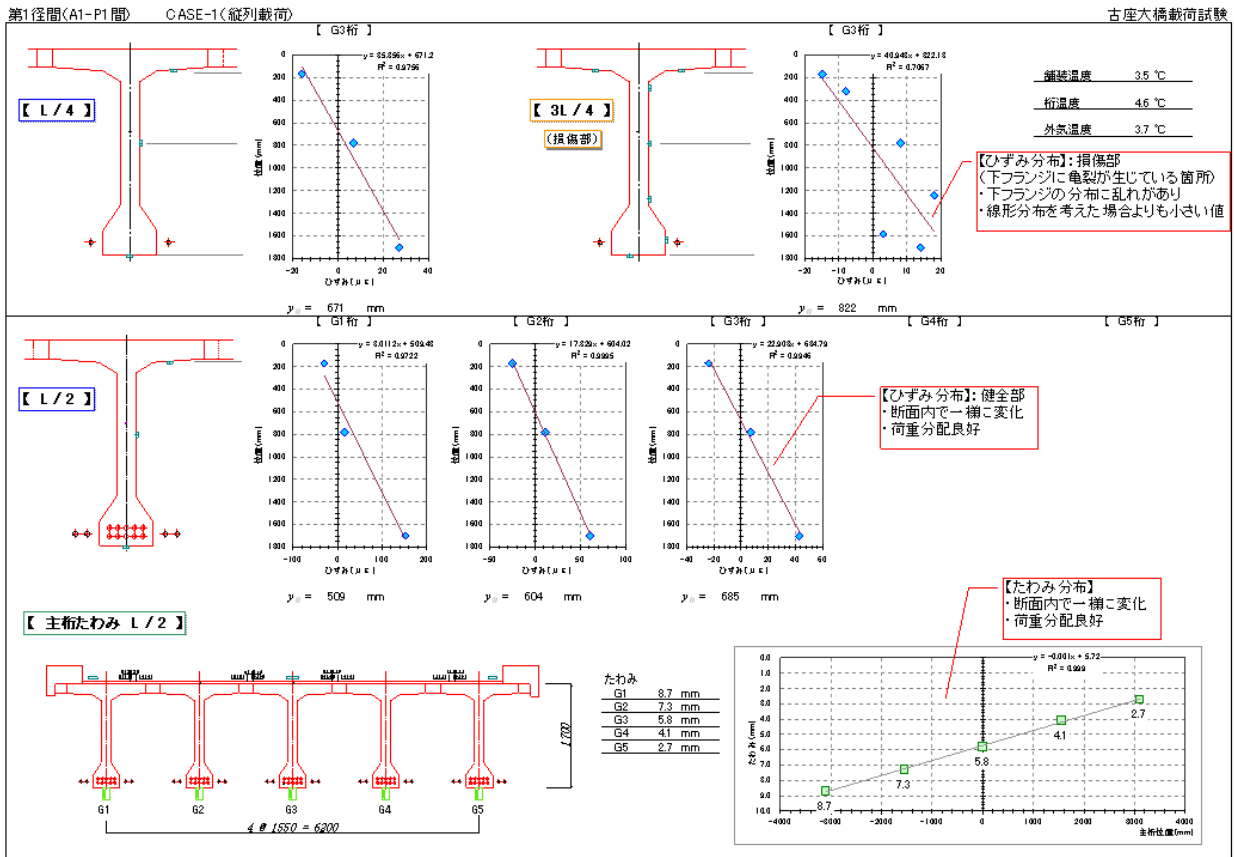


図-2 静的載荷試験結果 (①台縦列載荷)

(3) プレストレス量調査

桁内の残留プレストレス量を計測するため、内ケーブルによるプレストレス量の計測を行なった。調査結果をキャリブレーションするため、①貫通コアによる内部応力計測、②スロットストレスによる内部応力計測の2つの手法で調査を行った。2つの手法の誤差は1割程度と良く一致した。

比較の結果、P1-P2径間G3(健全桁)に比べ亀裂が生じているP2-P3径間G3, G4桁(損傷桁)のプレストレスが大きく(52~72%)低下していることが確認出来た。

表-2 有効応力の推計結果比較

調査位置		貫通コアによる手法					スロット ストレス	
		解放ひずみ(με) (前孔12時間後)			有効応力/コンクリート物性値			
径間	桁	水平 方向	鉛直 方向	45° 方向	有効応力 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	
P1-P2	G3 健全桁	234	-37	144	10.9	36.5	0.179	10.3
P2-P3	G3 損傷桁	139	-90	29	7.9	31.6	0.173	-
	G4 損傷桁	92	-78	18	5.7	29.6	0.141	-

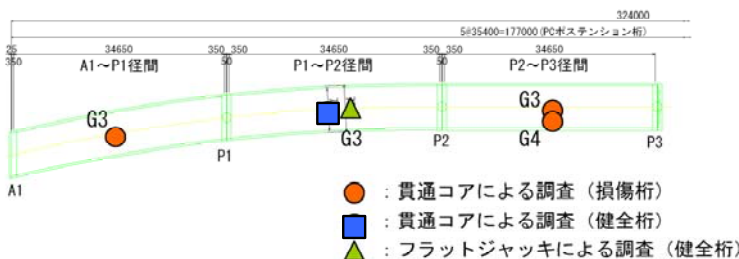


図-3 主桁のプレストレス量調査位置

(4) 塩化物イオン量調査

塩害の要因調査として、塩化物イオン量の調査を調査した。

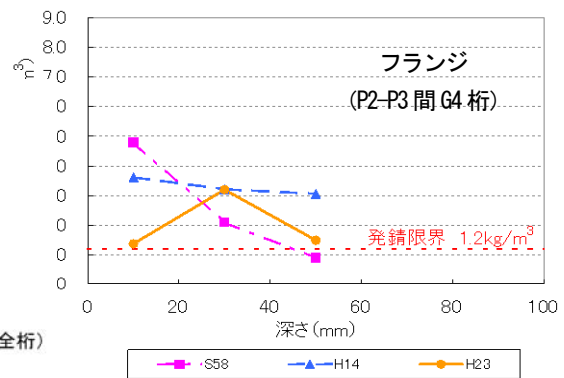
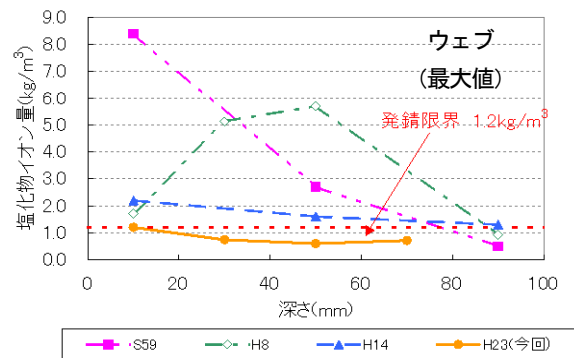


図-4 塩化物イオン量調査結果 (経年変化)

ウェブについて、過去の調査結果と合わせて推移を見ると、S59年度には表面付近で8kg/m<sup>3</sup>を超える値が出ているが、徐々に値が小さくなり、今回の調査では全て発錆限界を下回る結果となった。

一方、下フランジについては、ピーク値は小さくなっているが、現状でも発錆限界を超える結果となった。

(5) 損傷状況調査

損傷傷状況調査として、内部鋼材の発錆状況を確認するためのはつり調査と、コンクリートの剥離状況を確認するための全数たたき調査を行った。

はつり調査では、損傷箇所でのPC鋼材の腐食が著しく、素線が破断している箇所が確認されたが、損傷箇所直近の1ケーブルだけであり、その近傍や隣のPC鋼材は比較的健全であった。また、鉄筋露出がないものはほとんど腐食していなかった。また、過去3度実施した断面修復では、それぞれ異なる補修材が使用されていることが確認された。

表-3 PC鋼材は断状況

	A1~P1間	P1~P2間	P2~P3間
G 1			
G 2	1ケーブルのうち 4本破断 (H23)	1ケーブルのうち 1本破断 (H8)	
G 3	1ケーブルのうち 11本破断 (H8)		1ケーブルのうち 6本破断 (H23)
G 4			
G 5		1ケーブルのうち 1本破断 (H9)	

※H23年調査では、破断および容易に動く状態を破断と定義（破断していない編線でも断面欠損は見られる）

PC鋼線の健全度評価は、「プレストレスとコンクリート構造物の補修の手引き（案）[断面修復工法]、（社）プレストレスト建設業協会、平成21年9月」に記載された「PC鋼材腐食状況の分類」に基づいて実施した。

表-4 PC鋼材腐食状況の分類

分類	腐食状況	質量減少率
1	薄錆が全面にあるが、ブラシで磨くと地鉄がでる。	1%程度未満
2	錆が全面にあり、点状の錆が目立つ。	1~2.5%程度
3	錆が全面にあり、ブラシで磨くと欠損が目立つ。	10%程度未満
4	径が小さくなっている。	10%程度以上

全数たたき調査では、A1~P3径間（足場を設置した区間）の全主桁、横桁、床版についてテストハンマーによるたたき調査を実施し、剥離箇所を確認した。

目視確認できない小規模なうきが発見されたが、床版部に見られ、主桁にはみられなかった。

4. 既存資料調査

(1) 調査概要

多角的な視点で調査を行うことで、より詳細に現状を把握する事を目的として、現地調査と平行して、過去の詳細調査や補修状況を調査した。調査方法は、①竣工図書調査、②報告書調査、③施工業者へのヒアリングを実施した。以下にそれぞれの概要を示す。

	全体写真	拡大写真	断面修復	グラウト	健全度
A1-P1径間 G2桁 下フランジ			有 第2回 第3回	1本out 他健全	写真 左より 4 1 以下 健全
A1-P1径間 G3桁 下フランジ			有 第1回 第2回 第3回	1本out 他健全	写真 左より 4 2 1 2 2
P2-P3径間 G3桁 下フランジ			有 第1回 第2回 第3回	1本out 他健全	写真 左より 4 4 3本 健全

表-5 はつり調査結果 (抜粋)

表-7 ヒアリング調査結果（鋼材取替えの有無）

年度	工事会社	鉄筋取替えの有無
S58	ショーボンド建設㈱	既に異形棒鋼が主流であり、丸鋼で取り替えたとは考えにくい。PC鋼線で置き換えた実績はある（←配置されているのは鉄筋）
H8	ピーシー橋梁㈱	鉄筋は錆を落としてそのまま使用、取替えはしていない。
H9	㈱富士ビー・エス	丸鋼を取り替える場合、通常は異形棒鋼に変更
H14	機動建設工業㈱	通常錆で断面欠損が有る場合客先と協議 丸鋼を取り替える場合、通常は異形棒鋼に変更
H15	三井住友建設㈱	鉄筋が腐食している場合、協議を行い取り替えるのが普通だが、近年では丸鋼の入手は困難であり、取り替えたのであれば異形棒鋼としているはずである。
H16	三井住友建設㈱	”

(2) 竣工図書調査

事務所内に保管されている竣工図書及びマイクロフィルムを調査し、過去の補修工事やその内容について確認した。古座大橋は、全橋の上下部工合わせると過去に大小27回の工事が行われており、その内、対象径間の上部工は、過去に3度の大きな補修工事が行われていた。

古座大橋は1968年に竣工してから、1回目の補修は15年後の1983年に実施されており、断面修復および表面保護工が行われた。2回目は13年後の1996年であり、断面修復と外ケーブル補強が行なわれた。3回目は7年後の2003年に行なわれており、断面修復と電気防食が行なわれた。

使用された断面修復材は毎回変わっており、1回目はエポキシ樹脂、2回目は防錆剤を混入したポリマーセメント、3回目は混入材無しのポリマーセメントとなっている。

(3) 報告書調査

過去3度の補修工事の前にはいずれも詳細調査が実施されており、報告書が作成されている。詳細調査の内容について以下に整理した。

表-6 詳細調査実施項目（青字は今回調査）

調査項目	調査年	A1~P1	P1~P2	P2~P3	P3~P4	P4~P5
近接点検	S58	1径間	1径間	1径間	1径間	1径間
	H8	1径間	1径間	1径間	1径間	1径間
	H14	1径間	1径間	1径間	1径間	1径間
	H23	1径間	1径間	1径間		
含有塩分量試験	S58	3箇所	3箇所	3箇所	3箇所	3箇所
	H8	3箇所	3箇所	3箇所	3箇所	3箇所
	H14	4箇所	2箇所	2箇所	2箇所	2箇所
	H23	2箇所	2箇所	2箇所		
かぶり	S58	6箇所	7箇所	18箇所		
塩分付着量	S58	6箇所	21箇所	39箇所		
中性化	S58	1本				1本
赤外線	H8	1径間	1径間	1径間		
自然電位	H8	5m2	5m2			
ひびわれ深さ	H8	3箇所	3箇所			
グラウト充填度	H8	9箇所	5箇所		6箇所	6箇所
圧縮強度試験	H8	6本	6本			
	H14	2本	1本	1本	1本	1本
	H23	0本	1本	2本		
静的載荷試験	H8	2ケース	2ケース			
	H23	3ケース	3ケース	3ケース		
アルカリ骨材反応試験	H14	6本			3本	
はつり調査	H9(※1)	5箇所	5箇所			
	H23	6箇所	3箇所	5箇所		

(4) 施工業者ヒアリング調査

竣工図書や報告書では知りえなかった情報について、施工業者にヒアリングを行った。

ヒアリング結果から、断面修復の際に過去鉄筋の取替えを実施したかに関する調査の結果を示す。

5. 調査結果と過去補修履歴の関連

対象区間のA1~P3の3径間について、現地調査で作成した損傷図と、既存資料調査で得られた過去の断面修復記録（損傷箇所および補修箇所）を重ねた図（以降補修履歴図と記す）を作成し、以下の傾向が見られた。次頁にA1~P1径間の補修履歴図（図5）を示す。

- ①主桁の損傷箇所は、過去に補修を実施した箇所の再劣化が大半であり、限られた箇所に集中していた。また、場所によっては、何度かの補修で再劣化が収束し、以後再劣化していない箇所が確認された。
- ②現地調査を実施した当時は、過去の修復でエポキシ樹脂が使用されていることが判明したことから、エポキシ樹脂が電気防食の効果を遮断し、再劣化が生じたのではないかと推測した。しかし、過去の補修履歴を見ると、エポキシ樹脂の使用箇所と損傷箇所は一致しておらず、それが主要因ではないということは明らかであった。
- ③2回目以降の補修時の損傷箇所がほとんどが再劣化であること、塩化物イオン濃度が減少傾向にあることから、再劣化は、外部からの要因ではなく、内在する要因による損傷であることが推察された。再劣化をしなくなった箇所は、過去に実施された補修工事によって、内在する要因が損傷発生のレベル以下に抑制されたのではないかと考えられる。

以上により、古座大橋の再劣化は、内在する要因により初期のひび割れが発生し、その後外部から塩分や水分が浸入し劣化を助長したものと推測された。また、再劣化を続けている箇所について、内在する損傷要因を損傷発生レベル以下まで抑制することが出来れば、再劣化の可能性を大幅に低減できるものと考えられる。

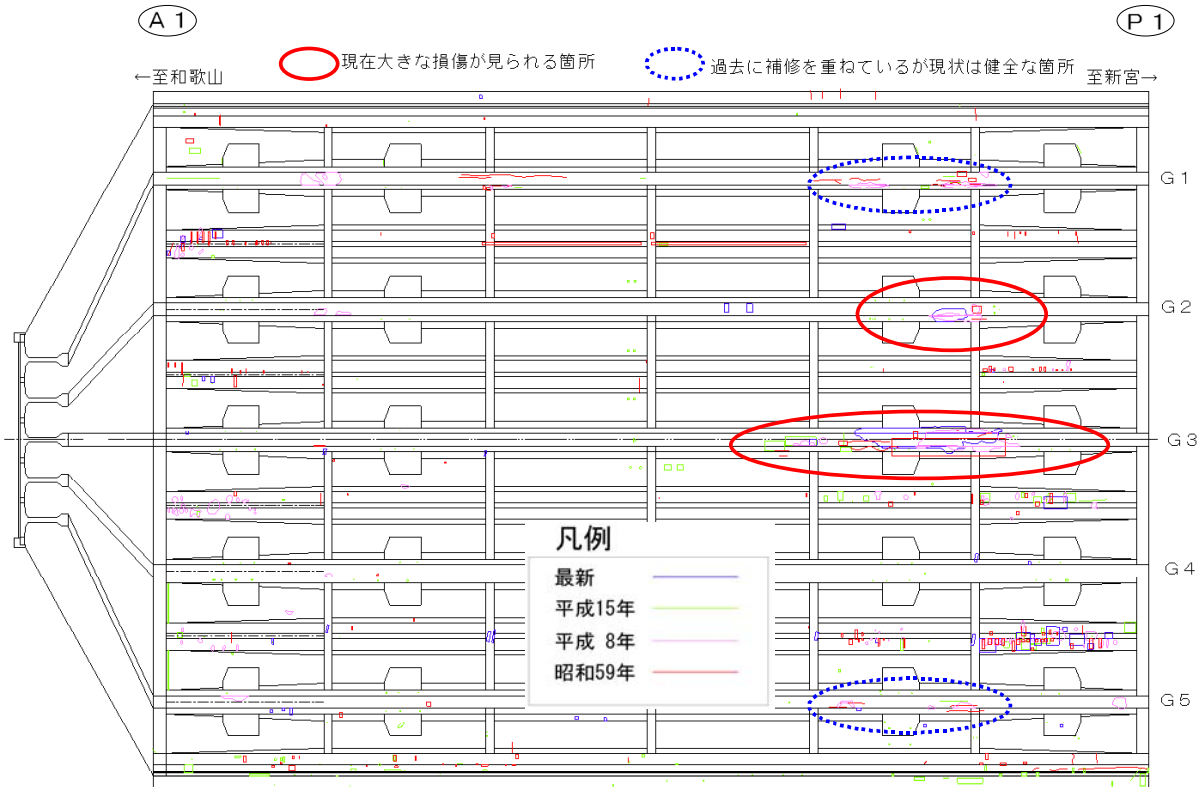


図-5 補修履歴図 (A1-P1 径間)

## 6. 維持管理手法

今回の古座大橋業務では、国土技術政策総合研究所に協力を仰ぎ、さまざまな助言をいただいている。その指摘事項や本業務での経験から、施工から維持管理までの申し送り事項を作成した。その中で、施工時や完了後の資料の整理を確実にし履歴として管理をしていくことの重要性について言及している。

今回の調査で既存資料調査とくに補修履歴から得られた情報は、古座大橋の損傷メカニズムの究明に役立つ。また、その結果を考慮することで、効果的な補修対策を計画することが出来た。補修・補強計画を行う上で、補修履歴は非常に有用であり、今後の業務に適應すべきだと考える。

しかし、設計を行う毎に補修履歴を作成したのでは、非常に時間がかかる。古座大橋においても、調査を行うに当たり、多くの時間と労力を費やした。

そこで、維持管理の手法として補修履歴を利用し、それを積み重ねることで時間の浪費を回避できると考えた。

維持管理の手法として補修履歴による管理を導入すれば、損傷発生後の調査機関を大幅に短縮できる。必ずしも古座大橋のような大きな効果が得られるとは限らないが、迅速で効果的な対策を行うための判断材料として大いに期待できると考えている。

今後は、補修履歴の整理方法（データフォーマット、管理者の設定など）について検討を行い、維持管理の手法として履歴管理を取り入れるための具体的な手法の検討が課題となる。それにより、より迅速で効果的な維持管理体制が構築できると考える。

## 7. 終わりに

橋梁の維持管理は、今後益々重要性が増すと思われる。今回の提案が、維持管理技術向上に貢献できる事を期待している。

なお、本論文課題は、著者の従前の所属（近畿地方整備局紀南河川国道事務所道路管理課）における所掌業務である。

**謝辞：** 今回の古座大橋業務においてさまざまなご助言をいただきました。橋梁ドクターの京都大学宮川教授、ならびに国土技術政策総合研究所・土木研究所の関係各位に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) (社)プレストレスト建設業協会：プレストレスとコンクリート構造物の補修の手引き（案）[断面修復工法]，pp. 89-90, 2009