

(123) 供用後30年を経過した古座大橋の外ケーブルによる補強施工報告

建設省近畿地方建設局紀南工事(事)道路管理課 足立 敏明
 建設省近畿地方建設局紀南工事(事)道路管理課 小野 武
 ピーシー橋梁(株)大阪支店技術部 正会員 ○泉 信二
 ピーシー橋梁(株)大阪支店工事部 松崎 直弘

1. まえがき

古座大橋は国道42号線に位置し、昭和43年に架設された5径間PCポストテンション単純T桁、鋼単純ランガー桁、4径間連続RC中空床版からなる橋梁である。

本橋は古座川河口に位置しており、波飛沫や潮風の影響による塩害が顕著で、昭和56年の橋梁点検でポストテンション単純T桁の一部の主桁で、かぶりコンクリートが剥落しているのが発見された。その後の橋全体の調査結果より下フランジの含有塩分量が顕著で、損傷が全体に及んでいることが判明したため、昭和58年に塩害対策としてPC桁部のライニング等補修が実施された。その後、近年の橋梁点検によって再損傷が発生していることが確認された。

本稿では、全5径間のうち損傷が大きいA1～P2径間について、事前調査の報告を含めた橋梁の詳細調査および外ケーブルによる主桁補強、断面修復工、表面被覆工等の施工報告を行う。

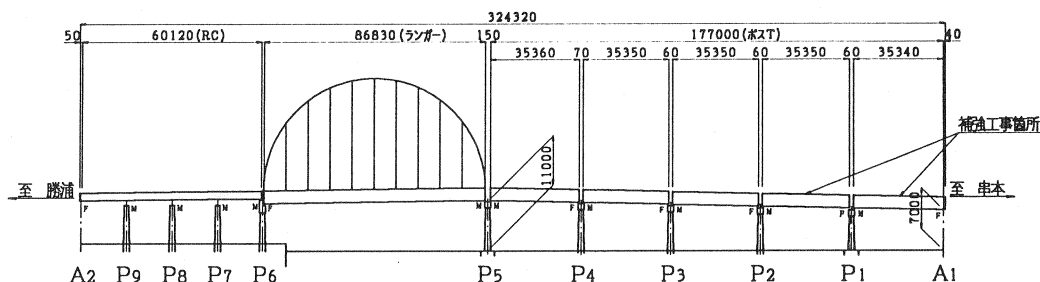


図-1 全体一般図

2. 事前調査による試験結果概要および補修・補強工法の検討

2-1. 試験結果概要

本橋の外観損傷は、主桁下フランジおよび横桁下面に集中的に発生しており、鉄筋等の腐食によるひびわれ、浮き(空洞)、錆汁の滲出があった。一部には、主桁コンクリートの剥離・欠落も見受けられた。平成8年度の調査では、コンクリートおよび鋼材の塩害損傷程度を把握するためコンクリート圧縮強度試験および含有塩分量分析を実施した。また、PC鋼線の有効率を推定するために大型車両による実橋載荷試験を行った。

1) コンクリートの圧縮強度試験

主桁ウェブより採取した供試体(φ75mm)の圧縮強度試験結果をまとめると、次のとおりである。

- ①コンクリート圧縮強度はバラツキが見られるものの、設計基準強度(400kgf/cm²)を満足している。全体を見ると海側耳桁については、コンクリートの材令を考慮すると、幾分強度が低いとも言える。
- ②ヤング係数については、10%程度設計値(3.5×10⁵ kgf/cm²)に比して低い結果となっているが、現行設計基準値(3.1×10⁵ kgf/cm²)と同等な値となっている。

表-1 コンクリート強度試験結果

		(kgf/cm ²)	
		圧縮強度	ヤング係数
A 1	A 桁	415	3.16×10^5
	C 桁	493	3.60×10^5
P 1	E 桁	565	3.41×10^5
P 1	A 桁	432	3.08×10^5
	C 桁	522	2.93×10^5
P 2	E 桁	497	3.41×10^5

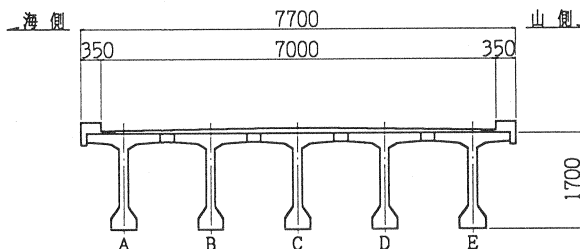


図-2 主桁配置図

2) 含有塩分量分析結果

主桁および横桁部より採取したコンクリートコア内の含有塩分量分析結果をまとめると次のとおりである。

- ①調査したA 1～P 1 径間部およびP 1～P 2 径間部のコア内塩分量分布形状は同様の傾向を示しており、塩分量は縦断勾配の低いA 1～P 1 径間部が若干多くなっている。
- ②塩分量分布最大値は外面から3～5 cmの位置となった。これは、昭和58年に塩害対策としてコンクリート塗装がなされており、外部からの塩分の供給がないことから判断すると既存塩分(補修前)が内部へ拡散したことによるものと考えられる。
- ③また、表面より8 cm程度までの深さに発錆限界量(1.2CL⁻kgf/m³)を上回る塩分が浸透していることから、かぶりコンクリート(3～5 cm)をはつり落としても、なお内部に発錆限界量以上の塩分が残存することとなる。

なお、以上の結果は、すでに浮きあるいは剥離の生じている箇所に関するものではなく、外観的に損傷の見られない箇所のものである。

3) 大型車両載荷試験結果

橋梁全体として塩害損傷による劣化が見られるかどうかを確認する目的で実橋載荷試験を実施した。最大大型車4台(80tf)を載荷して、桁のたわみおよびコンクリート、PC鋼材のひずみを計測した。また、全断面有効として、材料定数に実測の弾性係数を用いて計算値を算定し、計算値と実測値との比較検討を行った。

比較検討をまとめると次のとおりである。

- ①実測値と計算値とは、全体的にかなり一致している。
- ②したがって、本橋は塩害損傷による剛性の低下をきたしておらず、構造的な劣化が進行していないものと推察される。

2-2. 補修・補強工法の検討

上記試験結果より、事前調査では以下の補修・補強工法が計画された。

1) 断面修復工法

基本的には、主桁の下フランジおよびウェブ、さらに横桁のウェブに関しては、かぶりコンクリートをはつり、無機系モルタル(セメントモルタル)で修復する。その際、モルタル中に浸透性防錆剤を混入し、それ以深に浸透している塩分に対する防錆を計る。その他のひびわれ等に関しては、無機系モルタル(ポリマーセメントモルタル)を用いて注入等によって修復する。断面修復後、コンクリート表面にライニングを施し、塩分の浸透を防止する。

2) 床版補強工法

床版の補強は最小床版厚を確保し、せん断耐力を向上させる目的で上面増厚工法を採用する。

3) 主桁補強工法

主桁既存プレストレスがすべて有効に作用しているものと仮定した場合でも、B活荷重載荷時において許容値を満足しておらず補強が必要であると判断された。また、昭和58年に補修が行われた際に塩害による損傷が確認されており、主桁補強の際の既存PCケーブル有効率の検討を行った。検討結果からは90%程度となったが、安全性を考慮し70%の有効率とした。補強工法としては、架橋位置の環境条件、施工実績を考慮して外ケーブル工法による補強とする。

3. 補強工事における補修・補強内容の決定

本工事においては、外ケーブルによる主桁補強(既存プレストレスの有効率90%)、損傷部のみの断面修復工、主桁・横桁の表面被覆工、地覆被覆工の施工を行った。

3-1. 補強工事内容の基本的考え方および方針

補強工事の実施にあたり以下のように補修・補強に対する基本的な考え方を整理した。

- ①現在、顕著な塩害損傷を受けたコンクリート橋の抜本的な補修・補強に対する工法等が確立されているとは言い難い現状である。その対策も試行的にならざるをえず、橋梁の架け替えを念頭に置いた補修・補強計画を立て、実施するものとする。
 - ②本橋でも、上述の補修・補強に対する基本的考え方で整理がなされた。現橋位置での架け替え計画が検討され、今後10年程度で可能であると結論付けた。
 - ③したがって、本補強工事内容は、今後の供用予定期間(10年程度)での安全性の確保を主眼としたものとする。なお、供用予定期間内での再損傷にある程度対応できるように補強計画を行う。
- さらに、補強工事の実施に当たって、以下のような方針を立てた。

①塩害による鉄筋腐食が原因と考えられる損傷(コンクリートのひびわれ、剥落、鉄筋の錆汁滲出等)に対しては損傷部のみの断面修復を行う。工着手前にたたき点検を実施してその範囲を決定する。

②鉄筋およびPC鋼材の損傷状況を健全も含めて、はつり出しによる目視調査を行う。残存プレストレスの有効率が高い場合、外ケーブル導入後の死荷重作用時において主桁下縁の圧縮応力度が許容値を満足しない状態が考えられるため、目視調査結果より現状でのPC鋼材(残存プレストレス)の有効率を決定する。

右表は残存プレストレス量を上段100%、下段70%とした場合の支間中央での合成曲げ応力度であり、外ケーブルの端部緊張力は50tf/本である。

表-2 支間中央の合成曲げ応力度 (kgf/cm²)

		G1桁		G3桁	
		上縁	下縁	上縁	下縁
現橋	死荷重時	63.2	49.6	63.4	50.9
		74.9	-12.9	75.1	-11.4
橋	設計荷重時	128.7	-53.6	118.4	-29.5
		140.4	-116.1	130.2	-91.9
補強後	死荷重時	46.4	146.8	45.3	148.4
		58.1	84.3	57.0	86.1
後	設計荷重時	111.9	43.6	100.3	68.0
		123.6	-18.9	112.1	5.6

死荷重時: $0 \leq \sigma \leq 140$ 設計荷重時: $-15 \leq \sigma \leq 140$

③外ケーブルによる補強量は、今後予定される供用期間内での塩害損傷の進行も考慮して決定する。ただし、その緊張力は損傷状況に応じて段階的に増加させることも考える。

3-2. 損傷度合の確認

かぶりコンクリートよりさらに内部に、鉄筋等の鋼材が腐食する可能性のある塩分が浸透していることが明らかとなっている。補強工事に先だって実施した近接点検結果を基に桁内PC鋼材損傷度合の確認を行った。今回、近接点検を行った径間はA1~P1、P1~P2径間で、確認位置は主桁側面および主桁底面とした。

- ①主桁側面・・・各桁1ヶ所づつランダムに選定し、PC鋼材1本の確認を行った。
- ②主桁底面・・・桁下面に配置されたPC鋼材5本の確認を行うため、曲げ応力度最大の支間中央付近を避け、PC鋼材の曲げ上げが開始しない位置として支間中央よりの中間横桁位置付近とした。

表-3 PC鋼材損傷状況

	A1~P1径間					P1~P2径間				
	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
A桁	A	A	B	A	B	B	C	B	B	A
B桁	A	B	A	A	B	B	A	A	A	B
C桁	A	B	A	B	B	B	A	A	B	A
D桁	A	B	A	B	B	A	B	A	A	B
E桁	C	B	A	A	A	A	A	A	A	A

A:健全 B:一部赤錆あり C:赤錆あり

近接点検結果をまとめると、次のようである。

- ①損傷はコンクリート内部の鉄筋腐食による錆汁の滲出、かぶりコンクリートの浮き、剥落が主体である。
- ②かぶりコンクリートの剥落は、主桁下フランジおよび横桁の一部に発生しており、その位置の鉄筋は著しい腐食の状態にあった。その他の損傷位置の鉄筋は赤錆程度でそれほど腐食の進行が認められなかった。
- ③PC鋼材のはつり出し(下フランジ下面)による点検では、最も著しい損傷状態にあるものでも下段5ケーブルの内1ケーブルのみであった。その位置の他ケーブル(シースを含めて)は部分的な赤錆程度であった。
- ④また、曲げ上げ位置でのPC鋼材(シースを含む)は、ほぼ健全な状態にあった。

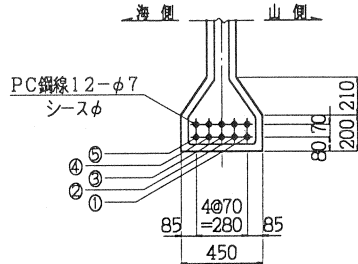


図-3 PC鋼材配置図

3-3. 外ケーブルによる主桁補強

1) 外ケーブル補強の基本方針および補強量

はつり出しによるPC鋼材の損傷確認結果より、現状での損傷ケーブルは大きく見積もっても下段の1本と見なしうる。すなわち、主桁内10ケーブルのうち、1本を控除しても9本が有効と判断しうる。なお、上段5ケーブルははつり出しによる確認を行っていないが、その位置での外観損傷(かぶりコンクリートの水平ひびわれ)が見られないことより、損傷状況にないと考えられる。

このことより、現状でのPC鋼材残存プレストレスの有効率を90%と設定し、今後の塩害損傷進行も考慮し外ケーブルによる補強量を決定した。

2) 今後の再損傷への対応

今回の補強工事後に、再度塩害による損傷が生じうる可能性は少ない。すでに発錆限界を越える塩分が主桁コンクリートに浸透しているので点検による確認が必要である。

再損傷発見時には、詳細点検の実施、損傷進行状況の把握および外ケーブル緊張力の検討を行い、再緊張作業等を実施する。

表-4 PC鋼材損傷状況と外ケーブル補強量

PC鋼材の損傷状況	残存プレストレス量	外ケーブル補強量
全10本のうち1本が有効と見なせない状態(今回の補強工事)	90%	64%
再損傷が進行し、全10本のうち2本が有効と見なせない状態	80%	64%
再損傷がさらに進行し、全10本のうち3本が有効と見なせない状態	70%	83%
外ケーブルの緊張力を最大としたときの残存プレストレスの有効率	63%	100%

以上の検討結果から、1主桁当たり外ケーブル(F110T)4本を主桁補強として配置すれば、既存桁内ケーブル(12φ7)10本のうち、ほぼ4本まで有効と見なせない状態に達した場合でも安全性を確保できる。今後の供用予定期間内に、さらに3本が新たに損傷し、有効と見なせない状態が生じる可能性はほとんどないものと考えられる。したがって、再損傷を考慮した上述の外ケーブル補強量で十分に安全であると考えられる。

4. 断面修復工

コンクリートの剥離、欠落部は以下の施工順序にて断面修復を行った。

1) はつり取り工

コンクリート断面欠損部および浮き部は電動ピック等を使用し、丁寧にはつり取りを実施。

2) 鉄筋錆落とし工

露出鉄筋部は、サンダーにて錆を除去。

3) 鉄筋防錆剤塗布工

鉄筋の錆落とし後、ワイヤーブラシでほこりを取り除き、防錆剤がコンクリートに付着しないよう注意しながらハケにて防錆剤を塗布。

4) 打継接着剤塗布工

打継面が濡れている場合、打継部に悪影響を及ぼすため、十分に乾燥させた後、ワイヤーブラシでほこり等を取り除き、ハケにてむらのないよう塗布。

5) 断面修復剤充填工

軽量ポリマーセメントモルタルをコテにて充填。鉄筋が露出している部分は鉄筋の裏側に間隙が生じないように充填を行った。また、修復厚が厚い部分や底面部については、1回の充填で仕上げを行った場合、打継面で剥離の恐れがあるため、荒付けを行って修復した。

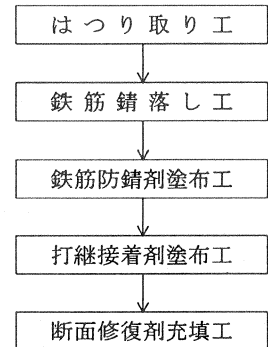


図-4 施工順序図

5. 外ケーブルによる主桁補強工

断面修復工終了後、以下の施工順序にて外ケーブルによる主桁補強工を行った。

1) PC桁探査工

定着ブラケット用PC鋼棒φ26設置のため削孔が必要であり、既存の鋼材を傷つけないようPC桁の探査を実施した。鉄筋位置はRCレーダー法、PC鋼材位置はX線法により行った。

2) 桁削孔工

PC桁探査工により鋼材位置を確認後、PC鋼棒配置用の孔(φ40)をコアドリルにて削孔。

3) 定着ブラケット工

配筋、PC鋼棒用シース、外ケーブル箱抜き管を所定位置に設置後、コンクリートを打設。

4) サドル工

中間横桁部に外ケーブル偏向装置を設置。

5) 外ケーブル工

外ケーブルは橋面より桁下に荷下ろしし、ベビーウィンチにてサドル内に引込み1ケーブル毎に配置。配置後、両引きにて外ケーブルを緊張。

緊張後、定着端部は防錆キャップをボルトで取付け、キャップ内にグリスを充填し保護。

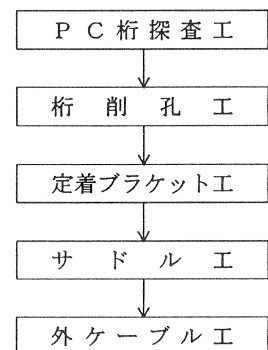
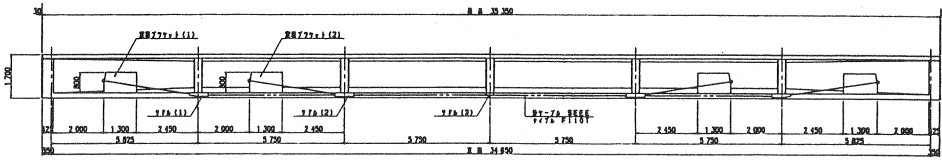


図-5 施工順序図

側面図



断面図

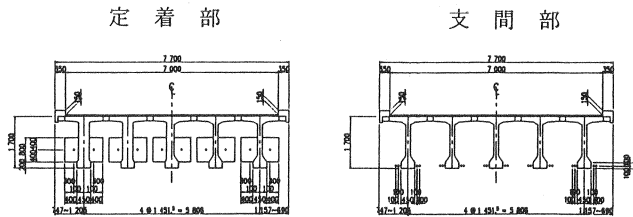


図-6 外ケーブル配置図

6. 表面被覆工(断面修復部、定着ブラケット、地覆)

1) 下地処理・素地調整工

施工箇所面の付着効果が高めるため、サンダーおよびワイヤーブラシ等で粉塵、レイタンスを取り除き、油脂分はシンナーを含んだウエスで拭き取った。

型枠等の段差が大きい箇所は軽量ポリマーセメント(接着剤塗布含む)、小さい箇所はサンダーにて平滑とした。

2) プライマー塗布工(標準使用量100g/m²)

下地処理後、プライマーをローラー刷毛で均一に塗布し、コンクリート表面のポーラスな部分や弱層に浸透させ素地の強化を行った。

3) 樹脂パテ充填工(標準使用量500g/m²)

プライマー養生後、パテ材をゴムベラにて表面の凹凸がなくなるよう仕上げた。

4) 中塗り工(標準使用量350g/m²)

パテ材の養生後、ローラー刷毛にてムラなく塗布。

5) 上塗り工(標準使用量120g/m²)

中塗り材の養生後、上塗り材をローラー刷毛にてムラなく塗布。

上記以外の既設橋体部の側面・底面、上床版下面はブラシで水洗いし、清掃後上塗り工のみ実施。

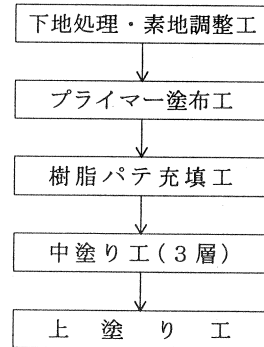


図-7 施工順序図

7. あとがき

外ケーブルによる補強は、供用下での施工が可能で、外ケーブルの補強量も自由に設定できる。また、補強効果が力学的にも明確であるため、今後ますます増加していくものと思われる。

しかし、本橋のように顕著な塩害損傷を受けたコンクリート橋は、抜本的な補修・補強に対する工法が確立されているとは言い難く、その対策も試行的にならざるをえない。従って、対象建造物の重要度、架け替え計画の有無等を総合的に判断し、補修・補強の実施範囲、工法を選択することが重要であるとする。

本橋は供用下のもとA1~P1、P1~P2径間の補強工事が本年2月無事故で完了した。本報告が今後の同種補強工事の参考となれば幸いである。