

(114) 塩害を受けたPC単純T桁橋の補強

日本道路公団	石村 勝則
同上	谷口 博和
ピーシー橋梁㈱ 東京支店	山口 雅人
同上	正会員 ○ 穂崎 俊夫

1. はじめに

北陸自動車道大慶寺川橋は、海岸線から約80mの所に位置し、厳冬期の満潮時には海水の飛沫が直接かかる厳しい環境下ある橋長 26.05mのPCポストテンション方式単純T桁橋(以下PCT桁橋とする)である。本橋は、昭和47年に供用し、昭和58年に最初の塩害補修(塗装)が行われ、その後再損傷が発生したため、昭和63年に断面修復を行い、平成元年にはPCケーブルの損傷が認められた主桁については外ケーブルによる補強を行い、一部の主桁には電気防食による塩害対策が施されていた。

しかしながら、塩害がコンクリート橋に及ぼす影響は、橋梁の耐力を低下させる要因となっていることから、断面修復工事による塩分除去と外ケーブルによる補強を行い、橋梁の耐久性と耐荷力を向上させることとした。

浸透した塩分を除去するには主桁のはつり作業が必要となるが、①振動・騒音・粉塵環境下での苦渋作業の解決、②高品質のはつり面の確保とはつり作業の効率化より、ウォータージェット工法を適用した。

本稿は、断面修復工及び外ケーブルによる補強工事について報告するものである。

2. 工事概要

2.1 工事概要

工事名:北陸自動車道 大慶寺川橋橋梁補強工事

工事場所:石川県松任市立石町

工期:平成11年3月18日

~平成12年2月10日

構造形式:PCポストテンション方式単純T桁橋

橋長:26.050m

支間長:25.200m

幅員:10.750m

斜角:9°

設計荷重:B活荷重(施工当時TL-20)

2.2 主要数量

現況調査(含有塩分量調査含む) -- 一式

断面修復工

コンクリートはつり	-----	820m ²
グラウトモルタル	-----	29m ³
ジベル鉄筋補強工	-----	5808本
炭素繊維補強工	-----	179m ²
外ケーブル補強工	-----	2489kg
防水ライニング工	-----	1703m ²

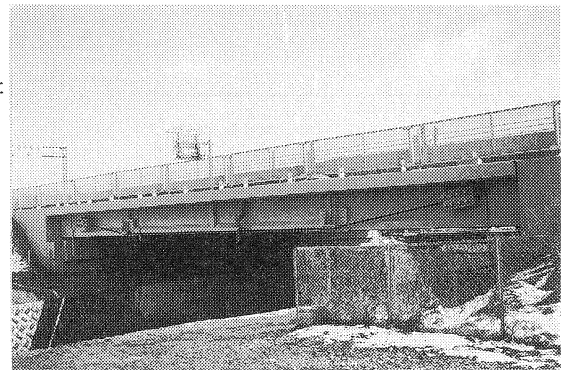


写真-1 完成写真



写真-2 補強前状況

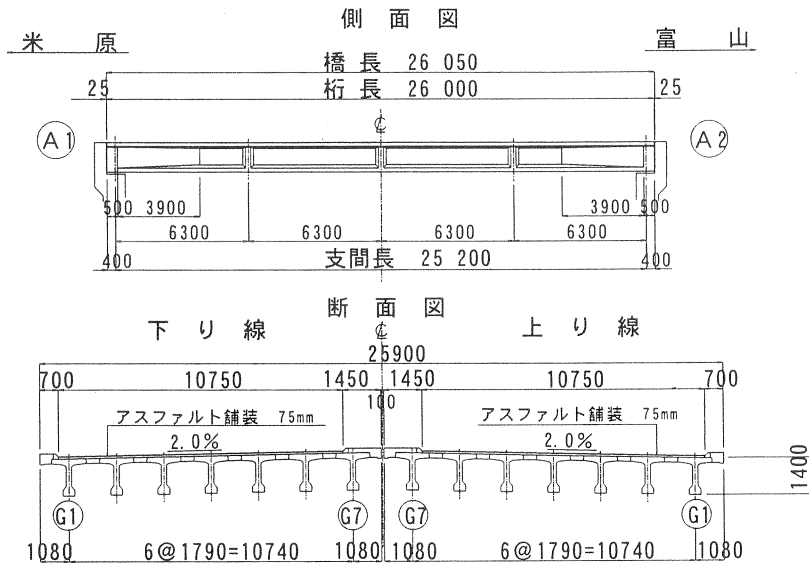


図-1 全体一般図

3. 施工

施工フローチャートを図-2に示す。

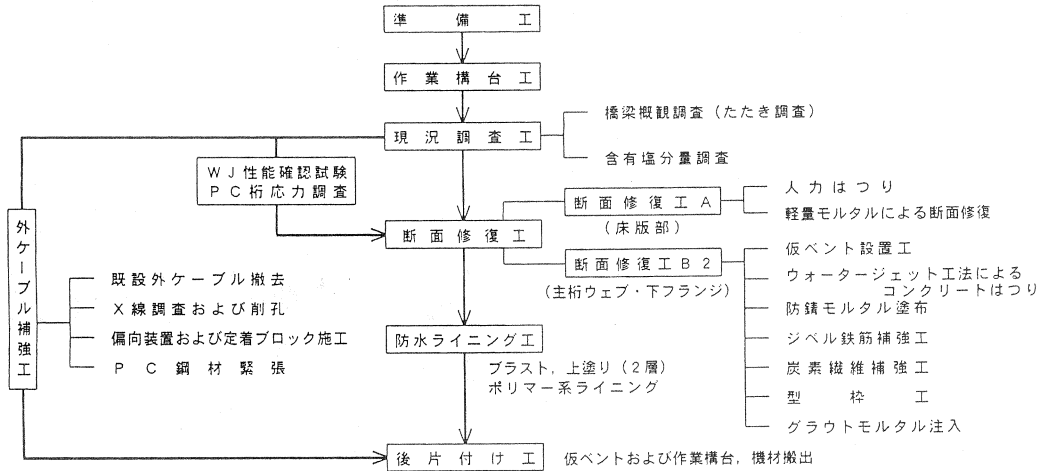


図-2 施工フローチャート

3.1 現況調査

現況調査は、『金沢管理局 塩害調査手引き(案)平成5年3月』に従い、たたき調査を行い損傷図を作成し、断面修復範囲等の補修工法選定の基礎資料とした。また、コンクリート中の塩分量を調査し、断面修復材に添加する防錆剤(亜硝酸リチウム)を検討するためにドリル法にて試料採取を行った。表-1に含有塩分量(全塩分量)調査結果を示す。この表から含有塩分量は横桁や床版部よりウェブ、下フランジが多いことがわかる。

表-1 塩分量分析結果(単位:kg/m³)

		表面からの深さ (cm)		
		1.5	4.5	7.5
主桁	下フランジ	4.02	2.90	1.38
	ウェブ	4.17	3.11	1.19
横桁		1.97	1.97	1.15
床版下面		1.50	0.51	0.02

3. 2 断面修復工

断面修復工は、断面修復工Aと断面修復工B2に分けて施工を行った(図-2参照)。断面修復工Aは、比較的小規模のコンクリート断面を人力によるはつり(床版・横桁)と軽量モルタルによる断面修復工であり、断面修復工B2は、ウォータージェットによるはつり(主桁ウェブ・下フランジ)とグラウトモルタル注入による断面修復工である。以下に断面修復工B2について詳述し、施工順序を図-3に示す。

(1) 施工時の設計条件

施工時の設計条件は、以下の通りとした。

- ・施工時に考慮する活荷重は、B活荷重の70%。
- ・クリープ・乾燥収縮は完全に終了しているとする。
- ・施工時において、欠損断面の桁下縁許容応力度を -2.5N/mm^2 とした。

(2) 仮ベント設置工

施工期間中は、供用状態を確保しつつ、ウォータージェットにより主桁ウェブ及び下フランジのコンクリートをはつりするため、主桁材剛性が低減する事から、施工中の断面力を低減させるため仮ベントを設置した。

ベントに作用する荷重は、以下の通りとした。

- ・断面修復による死荷重増加分
- ・型枠荷重
- ・はつり後の活荷重

また、仮ベントは、地盤沈下およびベント材のなじみ等を想定して随時反力管理出来る構造とするため、各仮ベントに圧力計付きの50ton油圧ジャッキを設置し、はつり後の活荷重作用時において許容圧縮応度を満足する範囲で常時2ton程度の圧力を加えるように反力管理を行った。また、反力調整は毎朝1回、反力確認は1日3回行った。

(3) ウォータージェット工法によるコンクリートのはつり工

ウォータージェット工法によるはつり施工に先立ち、以下のはつり試験を行った。

① はつり試験

(a) はつり装置性能確認試験

はつり作業前にウォータージェット装置の事前検査を行い、はつり性能の確認試験を行った。

試験は、供試体(PCホロー桁)を作成し試験を行いはつり装置の動作、作動性確認、施工条件(噴射圧力、ノズル回転数、スタンドオフ)の確認を行い良好な結果を得た。

(b) PCT桁を用いたはつり試験

本工事のように桁高1.4m、ウェブ厚200mmの比較的小さいPCT桁橋について大規模なコンクリートはつり工を行い断面修復を実施した施工事例は極めて少ない。一般的に付着のある内ケーブルを配置したPC部材の場合、断面が変化した場合でもプレストレスによる応力の再分配は生じないものと考えられている。即ち、はつり前の平面保持の仮定を基本としたプレストレスによる部材応力評価が、そのまま適用されており、本工事においてもこの設計上の仮定に基づき設計計算が行われている。

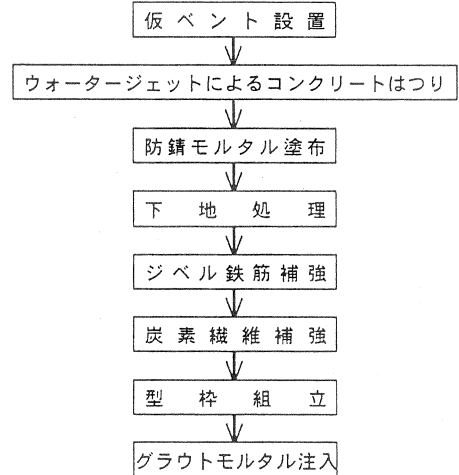


図-3 断面修復工B2の施工手順

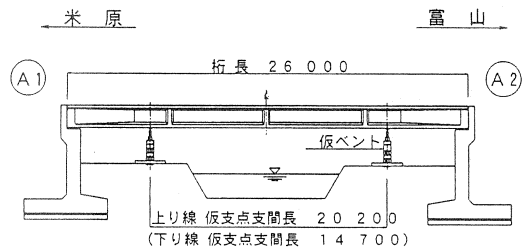


図-4 仮ベント設置図

しかし、はつり工を行っていく過程で、断面減少にともなう主桁応力の変動に着目した実験および施工事例がほとんどないのが現状である。本工事では、日本道路公団が建設機械化研究所にて保管中の実橋と同規模のPCT桁（撤去桁）を使用して試験を行った。

試験以下のように行った。

- (a) はつり深さは、実橋と同様に主桁ウェブおよび下フランジハンチ部は3cm、下フランジ部は5cmとした。
- (b) はつり順序（下フランジ底面、左側面、右側面）に応じて変化する鉛直変位を主に計測した。
- (c) 3次元FEM解析にはつり順序に応じたプレストレスの再分配のある場合とない場合の部材応力・変形状を算出した。
- (d) はつり深さ及びはつり位置に於ける施工条件（噴射圧力、ノズル回転数、スタンドオフ）の確認。

試験結果より実橋に於けるはつり条件（噴射圧力、ノズル回転数、スタンドオフ）の確認ができた。また、はつりによる断面減少に伴う鉛直変位を計測した結果、3割程度のプレストレスの再分配があることが明らかとなった（図-5参照）。

本橋においてプレストレスの再分配量を3割あると仮定して、主桁の応力検討を（支間中央）を行った結果、許容応力度を満足した。

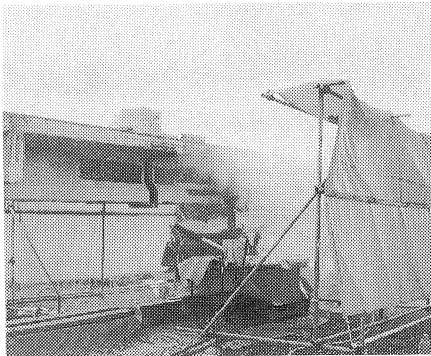
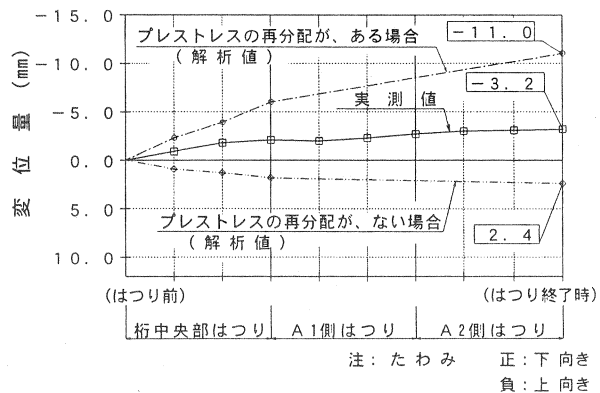


写真-3 はつり試験状況



$$\text{分配率 } \eta = \frac{-3.2}{-11.0} = 0.3$$

図-5 自重+プレストレスによるPCT桁の変位

②実施工に於ける施工順序およびはつり深さ

はつり装置は、桁底面はつり用に自走式ウォータージェット底面機を使用し、桁ウェブ・下フランジははつり用に自走式ウォータージェット機を使用した。

基本的な施工順序は仮バント設置後、奇数桁（G1, G3, G5, G7桁）のはつり作業を行い引き続き断面修復を完了後、偶数桁（G2, G4, G6桁）のはつり作業および断面修復を行った（図-6参照）。

実施工におけるウォータージェットはつり装置のはつり条件（噴射圧力、ノズル回転数、スタンドオフ）は、表-2の通りであった。

表-2 ウォータージェットによるはつり条件

	噴射圧力 (N/mm ²)	ノズル走行速度 (m/min)	ノズル回転数 (rpm)	噴射水量 (ℓ/min)	スタンドオフ (mm)
ウェブ・ハンチ	200	6.0	240	50	30
下フランジ	200	6.0	240	50	15

はつり深さは主桁ウェブおよび下フランジハンチ部は3 cm、下フランジは5 cmであり、図-7に設定はつり深さと実測値との差を示す。はつり結果に対して、3ランクに大別して出来形管理を行った。

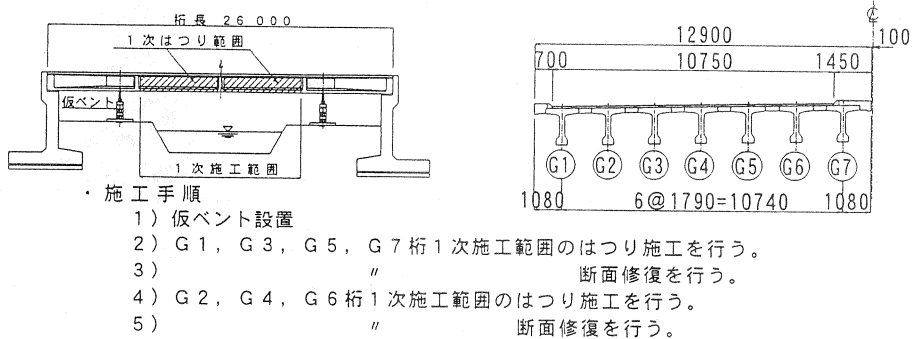
I : はつり誤差+ 0~10 mmの場合

II : はつり誤差+ 10~15 mmの場合

III : はつり誤差+ 15 mm以上

はつり誤差がプラスの場合については、その断面におけるはつり後の形状より断面諸値を算出し、応力度照査を行い、安全性を確認した。

1. 第1次断面修復工



2. 第2次断面修復工

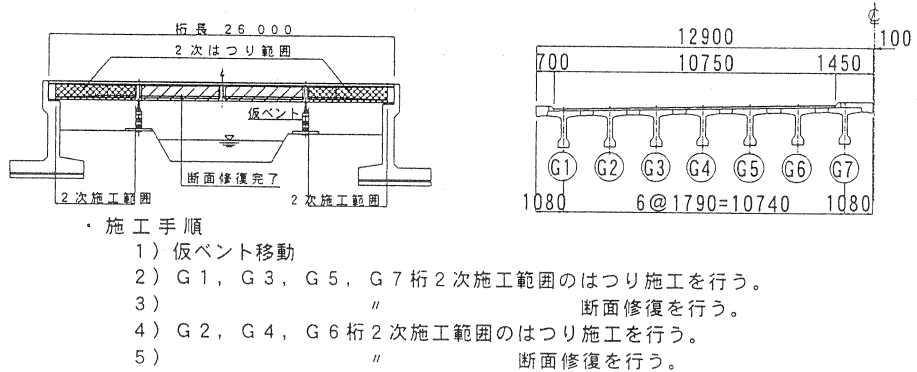


図-6 断面修復施工順序

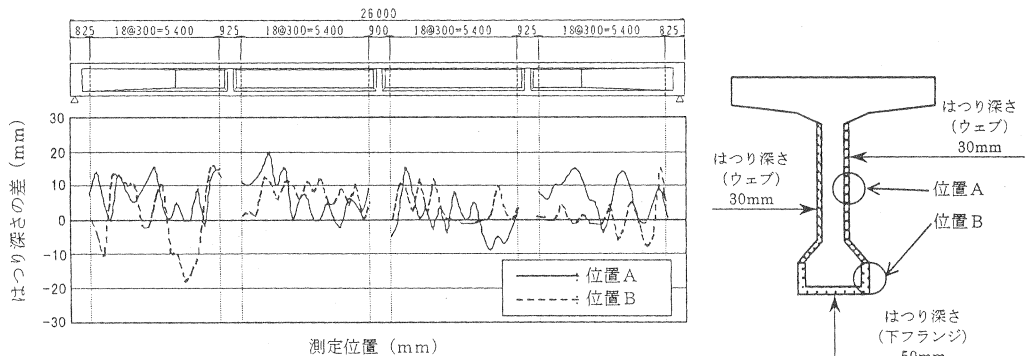


図-7 はつり深さ管理図

③ジベル鉄筋補強工 (ジベルアンカー)

はつり完了後、炭素繊維および型枠の設置用に SUS304製のジベルアンカー (M10) を配置した。ジベルアンカーの配置間隔は、6.8本/㎡以上 (配置間隔38cm以内) とした。

④炭素繊維補強工

外ケーブルによる補強後、設計荷重作用時において主桁下縁に発生する引張応力に対して、U字型の格子状炭素繊維を配置して受け持たせるものとした。

⑤グラウトモルタル注入工

型枠内側に内張材 (透水性型枠) を張り付けた木製型枠を組立後、乾燥収縮低減材および残存塩分対策として防錆材 (亜硝酸リチウム) を添加したグラウトモルタルを注入して主桁の断面修復を行った。

車両を供用させながら、本橋のような主桁断面形状にグラウトモルタルを注入することは、容易でない。しかし、型枠に圧力計を設置し、注入時の圧力管理を行ったことにより、無事モルタルを注入することが出来た。

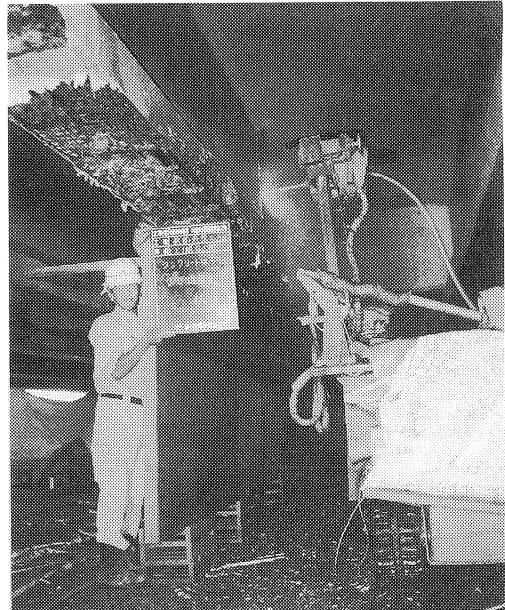


写真-4 ウォータージェットはつり装置

また、本工事のような断面修復工事においては、新旧コンクリートの一体性を確保する必要があり、注入モルタルの付着強度が重要となる。断面修復工完了後、既設桁と修復材の付着強度測定を行った。測定は建研式接着力試験器を用いて修復日ごとに各1箇所を測定した。測定結果付着強度は、1.5~2.0 N/mm²であり基準値の1.5 N/mm²以上と、良好な付着強度を得た。尚、付着面の破壊状況は接着剤破断または凝集材破断であった。

(4) 外ケーブル補強工

外ケーブルによる補強は、設計荷重作用時に施工目地での桁下縁許容応力度を -1.5 N/mm^2 とし、表-3に示す鋼材を用いた。また、外ケーブル緊張後および24時間経過後の主桁変位を測定した結果、支間中央で約10mm上側へ反り、設計値と等しい結果が得られた。

表-3 使用外ケーブル鋼材

使用鋼材	設置箇所
F 70T	・上り線 全主桁 ・下り線 G2, G3, G5~7
F130T	・下り線 G1, G4

4. おわりに

本橋のようなPCT桁橋の小さな断面を供用させながらウォータージェット工法で、はつる施工例は極めて少ないのが現状であったため、実施工に先立ちはつり装置の性能確認試験およびPCT桁の応力調査を行った。その結果を実施工へと反映し工事は、平成12年2月に無事終了した。

今後補修・補強の重要性は、ますます大きくなることが予想される。本報告が、今後の補修・補強技術の参考になれば幸いである。

最後に、本橋の施工および本文の作成にあたりご指導、ご協力を頂いた関係各位の方々に、この場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路公団 金沢管理局：塩害調査手引き (案)、1993、3