

積雪寒冷地における炭素繊維プレートを用いた橋梁補強工事の報告 —南幌加橋—

ドーピー建設工業 (株) 技術部	正会員	○ 高橋 宏明
ドーピー建設工業 (株) 工事部	正会員	工藤 洋司
西松・地崎・勝村特定建設工事共同企業体		三井 功如
西松・地崎・勝村特定建設工事共同企業体		永田 豪

1. はじめに

南幌加橋は北海道新十津川町の徳富川にかかる橋梁であり、昭和46年に架設された2等橋である。本橋には普通車両のほか、徳富ダム建設工事の工事車両が通過するが、T-20 荷重相当の車両が本橋を通過する際、同時に車両を通行させないよう通行規制していた。しかし、建設工事のために300t クレーンを使用することとなり、それらの部品をトレーラーで運搬するため、桁の耐荷力向上を図るための補強が必要となった。

この場合、工法としてプレストレス導入するものが妥当であると考えられるが、工法選定にあたり下記の条件を満たすものが望まれた。

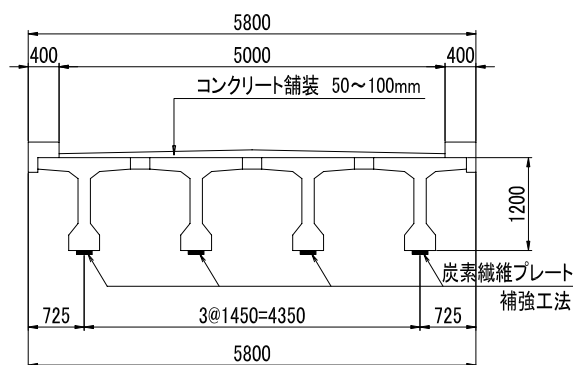
- ① トレーラー通行時に桁の曲げ応力が許容値を満足するようにする
- ② 補強工事は橋梁を供用したまま実施し、交通規制は行わない
- ③ 桁間に添架物があるため、桁底面のみを使用する
- ④ 経済性に優れる

①～④の条件に対し最も優位な補強工法として、炭素繊維プレート緊張工法を採用した。ただし、本工事にあたり、寒冷期における施工例が少ないことから、温度管理が施工上の大きな課題となった。

本稿では、補強に関する応力検討および寒冷地で行った炭素繊維プレート緊張工法の概要と施工について報告する。

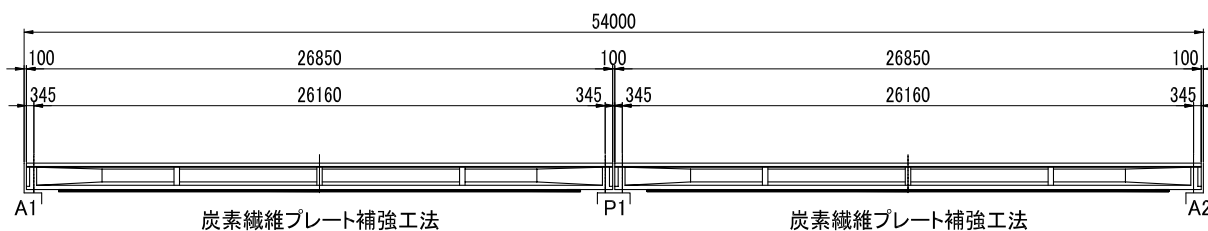
2. 橋梁概要

施工年 : 昭和46年  
 構造形式 : PC単純T桁橋 (2連)  
 橋長 : 54.000m  
 支間 : 26.160m + 26.160m  
 有効幅員 : 5.000m  
 活荷重 : TL-14 (当初)  
           → 工所用トレーラー荷重 (補強後)



図—1 構造一般図 (断面図)

構造一般図を図—1 および 2 に示す。

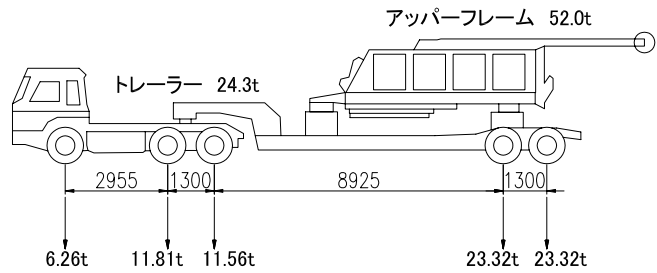


図—2 構造一般図 (側面図)

3. 再現設計および重車両通行時の検討

再現設計は橋梁施工時の道路橋示方書（昭和43年）に従って行い、当時の設計荷重 TL-14 に対して、支間中央の曲げ応力度に問題がないことを確認した。

続いて、クレーン部品を積載したトレーラー荷重により、主桁に発生する曲げ応力度を算出する。トレーラーの軸重および載荷位置は図—3 に示すとおりであり、橋梁中央を走行したときの支間中央での最大断面力および発生応力度を算出した。その結果、トレーラー荷重が載荷された状態では、主桁下縁の曲げ引張応力度が 2.7N/mm<sup>2</sup> 程度となり、通行に問題があることが予測できた。そこで、主桁下縁の応力度が許容値（ $\sigma \geq -1.5\text{N/mm}^2$ ）を満足するために必要な炭素繊維プレートの検討を行い、高耐力（360kN）型の炭素繊維プレートが必要であることを確認した。本検討に用いた荷重条件による主桁断面力および曲げ応力度を表—1 に示す。



図—3 トレーラー荷重

表—1 主桁に発生する応力度

	曲げモーメント (kNm)	桁上縁 (N/mm <sup>2</sup> )	桁下縁 (N/mm <sup>2</sup> )
全死荷重	1419.8	4.33	6.45
L-14活荷重	655.5	3.44	-5.85
トレーラー荷重	1027.2	5.39	-9.17
アウトプレート補強		-0.40	1.85
再現時合成応力度		7.77	0.60
補強前合成応力度		9.72	-2.72
補強後合成応力度		9.32	-0.87
許容応力度		0.0~14.0	-1.5~14.0

4. 炭素繊維プレート緊張工法の概要および物性

1) 緊張工法の概要

炭素繊維プレート緊張工法は、主桁下面に設置した炭素繊維プレートにプレストレスを導入し、それを主桁下面に接着する工法である。この工法により、ひび割れの制御および主桁の曲げ応力および曲げ耐力の向上を図ることが可能である。また、定着部に対する負荷が小さいため、緊張作業に伴う支圧、割裂および背面引張応力に対する定着部の補強は不要である。なお、本工事では 360kN 型の炭素繊維プレートに約 216kN (0.6P<sub>u</sub>) のプレストレスを導入する。

2) 炭素繊維プレートの物性

本工事に使用する 360kN 型炭素繊維プレートの常温時における材料特性を表—2 に示す。本工事は積雪寒冷期にあるため、事前に低温環境下における炭素繊維プレートおよび定着体の安全性を確認する必要がある。このため、厳寒期の環境条件を想定し、緊張試験を行った。試験は 360kN 型炭素繊維プレートおよび定着体を -30℃ 以下の状態にして行われた。その結果、保証引張耐力 360kN 以下での炭素繊維プレートの破断および定着部の引き抜けは起こらず、常温時とほぼ同等の耐力を有していた。低温下における緊張試験の結果を表—3 に示す。

表—2 炭素繊維プレートの材料特性

幅	(mm)	75.0
厚さ	(mm)	2.0+1.0(ガラス繊維)
有効断面積	(mm <sup>2</sup> )	150.0
弾性係数	(N/mm <sup>2</sup> )	1.20×10 <sup>5</sup>
引張耐力 P <sub>u</sub>	(kN)	360以上
純リラクセーション	(%)	6.0

表—3 低温下における緊張試験

試験体	定着体温度 (℃)	最大緊張力 (kN)	破壊形態
1	-44.6	480	炭素繊維プレート引抜け
2	-39.2	490	炭素繊維プレート引抜け
3	-36.9	500	炭素繊維プレート引抜け
平均		490	(常温時耐力：491kN)

5. 施工

1) 施工工程および養生

本工事の工程を表—4に示す。本工事では2月初旬からおよそ40日間は雪寒囲いを設置し、その内部で給熱養生を行う。雪寒囲い内部は樹脂系材料およびグラウトの施工を確実にを行うため、養生温度を10℃として、給熱量の検討を行った。給熱量は、「コンクリート設計施工要領」(北海道開発局)(平成2年7月)に従い算出するが、その際に必要となる条件は下記のとおりである。

- ①養生温度と最低外気温との差
- ②雪寒囲いの表面からの熱損失
- ③換気による熱損失

①において、最低外気温は養生期間中の平均気温(表—5)より統計的に算出される。②において、熱損失量は図—4に示される雪寒囲いの表面積(放熱面積)、養生温度と最低気温との差および外気平均風速(表—5)に依存する係数より算出される。③において、熱損失量は雪寒囲い(図—4)の内空体積、養生温度と最低気温との差および換気頻度より算出される。②および③より算出された熱損失量の和が必要な給熱量となり、それを満たす性能を有する給熱機を設置した。施工工程内の温度管理グラフおよび施工時の養生状況写真を図—5および写真—1に示す。

2) 測量・鉄筋探査

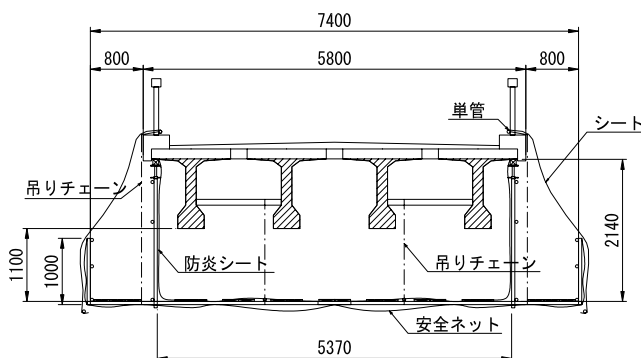
炭素繊維プレートはねじれないように配置することが重要なため、配置に際しては直線となるように墨出しを行う。その際、炭素繊維プレートの定着体固定プレートおよび中間定着体付

表—4 施工工程表

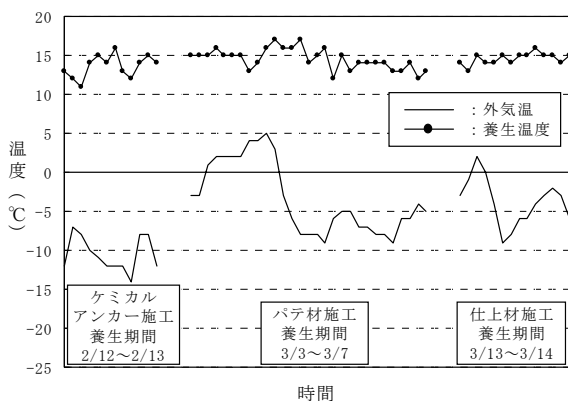
	1月	2月	3月
準備工	■		
測量・鉄筋探査工	■		
アンカー工		■	
固定プレート設置		■	
表面処理工			■
炭素繊維プレート設置 および緊張工			■
定着体保護 および仕上工			■
足場撤去および片付け			■
養生期間		■	

表—5 空知支庁平均気温および風速

	平均気温 (℃)	平均風速 (m/s)		平均気温 (℃)	平均風速 (m/s)
1月	-7.4	1.2	7月	19.4	1.3
2月	-6.9	1.2	8月	20.4	1.2
3月	-2.6	1.5	9月	15.1	1.3
4月	4.1	1.7	10月	8.6	1.5
5月	10.4	1.8	11月	1.9	1.6
6月	15.4	1.4	12月	-3.9	1.4



図—4 雪寒囲い概要図



図—5 養生管理抜粋



写真—1 養生状況

近の配筋状況を RC レーダーを用いて探査を行い、鉄筋位置をマーキングする。鉄筋探査結果によっては、**写真—2** に示すように計画している穿孔位置の調整を行う。

### 3) アンカー工

鉄筋探査の結果、調整された穿孔位置をコアボーリングマシンにより穿孔する。穿孔形状は、端部定着体 1 箇所につき  $\phi 28 \times 180\text{mm}$  を 6 箇所、中間定着体 1 箇所につき  $\phi 12 \times 50\text{mm}$  を 2 箇所である。

### 4) 固定プレート設置

コンクリート表面との間にスペーサーを用い、2~3mm 程度の間隔を空けて定着体固定プレートを仮固定し、定着具上にエポキシ樹脂を盛り上げた状態で締め付ける。また、アンカーボルトと定着体の隙間にもエポキシ樹脂を充填することとする。さらに、所定の養生期間の後、引抜試験を行い、エポキシ樹脂の引抜耐力が十分確保されていることを確認した。

### 5) 表面処理工

主桁下面は炭素繊維プレートの設置面となるため、ディスクサンダーを用いてレイタンスおよび浮石等の除去を行った。その後、処理面にプライマーを塗布した。

### 6) 炭素繊維プレート設置および緊張

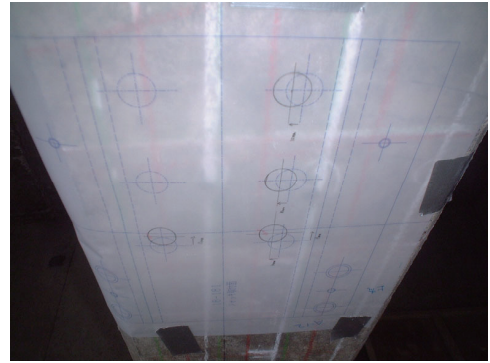
炭素繊維プレートは定着体と一体となった状態で搬入される。固定プレートと炭素繊維プレートは、全ネジボルト（SCM440）を 2 本用いて接合される。なお、炭素繊維プレートは直角方向の曲げおよびねじりにより損傷する可能性があるため、設置には十分な注意を払った。炭素繊維プレート設置後、接着面に接着剤を塗布した状態で緊張作業を行った（**写真—3**）。緊張管理は、ポンプの荷重計示度と炭素繊維プレート緊張材の伸び量により行われ、緊張管理限界値は設計値の  $\pm 10\%$  とした。

### 7) 仕上げ

炭素繊維プレート緊張後、露出部分のネジ部には、現場塗装による防錆を行う。さらに、定着体保護カバー（亜鉛メッキ）を取付け、桁および定着体と全ネジボルトで固定し、内部をグラウト材で充填させた。また、炭素繊維プレートには長期的な劣化防止のため、ウレタン系の塗装を行った。

## 6. おわりに

本工事は冬季の寒冷条件下で行われたが、適切な養生管理の下、平成 19 年 1 月中旬より着工、同 3 月末に竣工した（**写真—4**）。竣工後、厳冬季の曝露状態を経験した現在でも、炭素繊維プレートおよび定着体に性状変化は見られず、TL-20（1 等橋）相当に対応した橋梁として供用されている。今後の橋梁補修および補強に本報告が参考になれば幸いである。最後に、本報告にあたりご指導、ご協力いただきました関係各位に深く感謝の意を表します。



写真—2 穿孔位置調整



写真—3 緊張作業



写真—4 施工完了後状況