

繊維補強プレートによる主桁補強工事

—千本橋—

東北支店 PC工事部 長谷川貴志
東北支店 開発営業部 諸橋 克敏

概要：本工事は、福島県東白川郡塙町大字常世北野字千本地内に位置する千本橋(昭和40年竣工)の設計活荷重および幅員構成の変更に伴い、耐荷力向上を目的とした補強工事である。補強方法は、床版下面は炭素繊維シートの接着、床版上面は上面増厚工法とし、主桁下面は、炭素繊維プレート接着工法とした。本報告では、炭素繊維プレート接着工法による主桁補強、およびPVA(ポリビニールアルコール)繊維を混入したコンクリートを床版増厚工法に使用した工事の報告を行う。

Key Words：炭素繊維補強，炭素繊維プレート，PVA 繊維

1. 工事概要

本工事の概要を以下に示す。

- ・工事名：橋りょう補修工事(補助)
- ・施主：福島県 棚倉土木事務所
- ・工期：平成17年11月25日～
平成18年3月10日
- ・工事場所：福島県東白川郡塙町大字
常世北野字千本地内
- ・形式：RC ラーメン構造(側径間片持ち)
- ・橋長：20.080m
- ・桁長：20.000m
- ・有効幅員：6.000m(改良前) → 6.500m(改良後)
- ・活荷重：TL-20(改良前推定)
→ B活荷重(レーン載荷)
- ・工種：主桁補強工，床版補強工，床版増厚工

写真-1，写真-2に施工前状況を示す。

図-1に側面図，図-2に平面図および図-3に施工断面図を示す。



写真-1 施工前状況(全景)



写真-2 施工前状況(主桁下面)



長谷川貴志



諸橋克敏

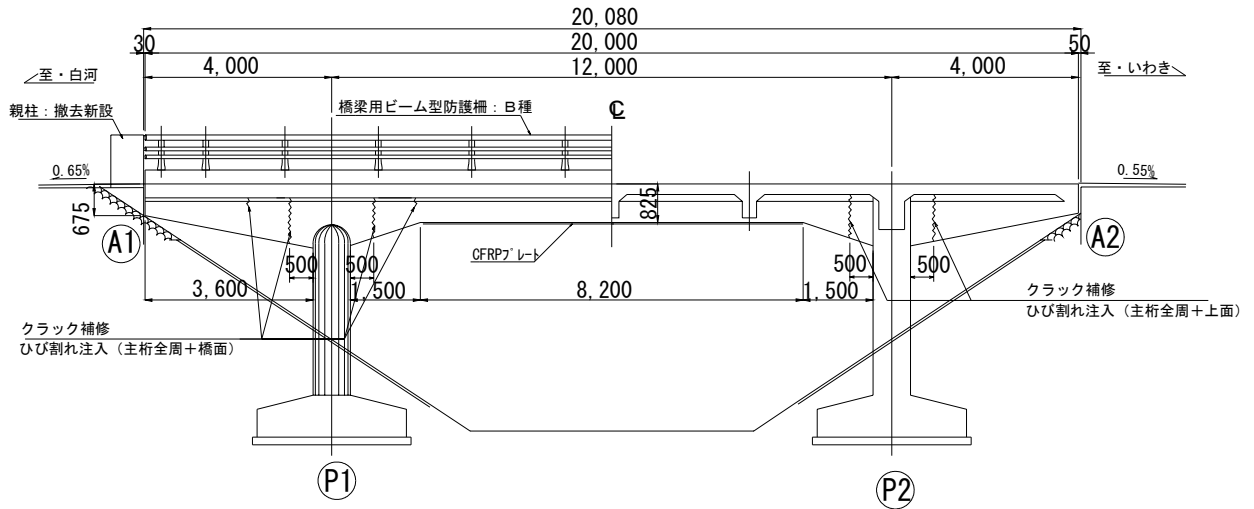


図-1 側面図

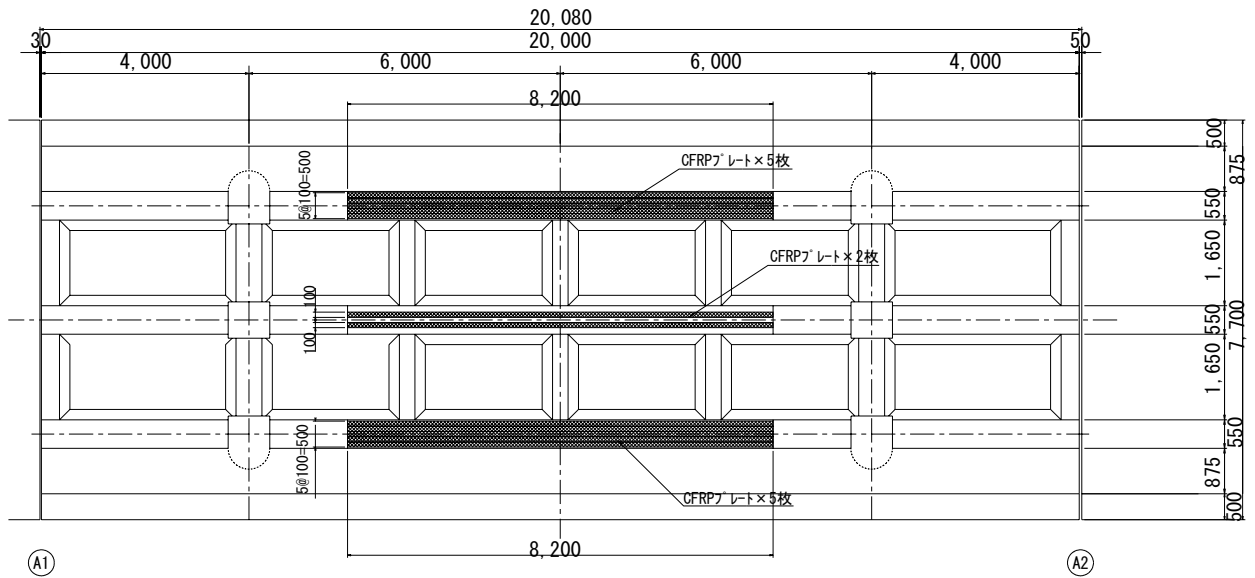


図-2 平面図

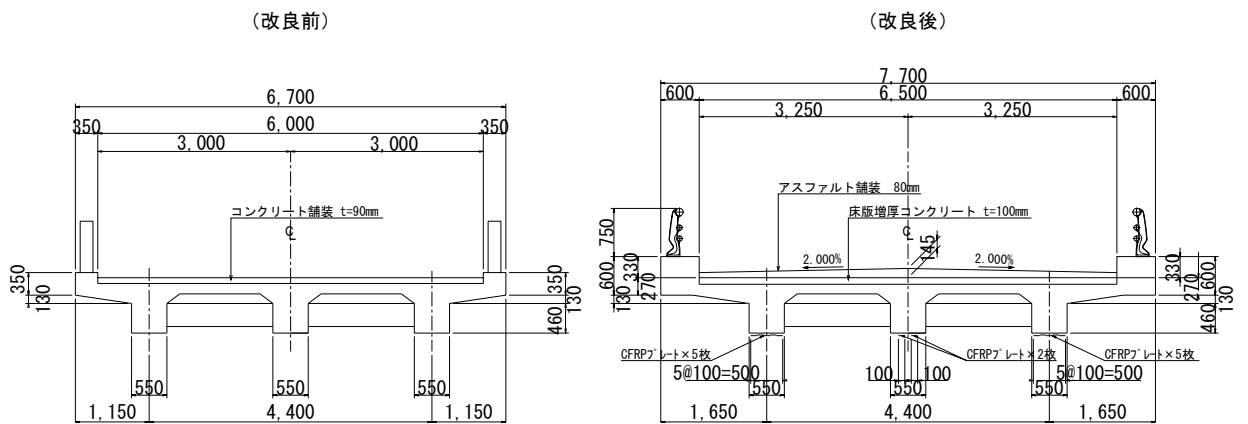


図-3 施工断面図

2. 施工方法

2.1 炭素繊維プレートによる主桁補強の採用

主桁下面補強は、維持管理性、施工性および経済性から炭素繊維プレート接着工法による補強方法が採用された。発注図書にある比較表を表-1に示す。

表-1 主桁下面補強方法比較表

概要	主桁下面			
	鋼板接着工法	炭素繊維シート接着工法	アウトプレート工法	炭素繊維プレート接着工法
概要図				
工法概要	既設主桁の下面を表面処理した後、主桁下面に鋼板を接着して一体化させる工法である。コンクリートに鋼板をアンカーボルトで固定したのち、隙間エポキシ樹脂を注入し接着させる。	既設主桁の下面、側面を表面処理した後、主桁下面、側面に炭素繊維シートを必要積層数だけエポキシ樹脂を用いて接着し、一体化させる工法である。	両端に定着体を有するCFRPプレートを緊張して、既設コンクリート桁に固定、接着する工法。	既設主桁の下面、側面を表面処理した後、主桁下面にCFRPプレートを、側面に炭素繊維シートを必要積層数だけエポキシ樹脂を用いて接着し、一体化させる工法である。
構造的性	主桁と鋼板を一体化させることにより床版耐力(曲げ耐力)を高める。死荷重の増加が少ないため、既設部材に対する影響が少ない。鋼板は腐食しないように防錆処理を行う必要がある。アンカーを設置するため、既設主桁内鉄筋を傷める恐れがある。	主桁と炭素繊維を一体化させることにより主桁耐力(曲げ耐力)を高める。死荷重の増加が少ないため、既設部材に対する影響が少ない。炭素繊維は腐食しないため、厳しい環境下での使用が可能である。	CFRPを緊張することにより、コンクリートにプレストレスを導入することが可能となる。少ない補強量で所定の補強効果を得ることができる。定着部にアンカーを設置するため、既設主桁内鉄筋を傷める恐れがある。	主桁とCFRPプレートを一体化させることにより主桁耐力(曲げ耐力)を高める。死荷重の増加が少ないため、既設部材に対する影響が少ない。CFRPプレート及び炭素繊維は腐食しないため、厳しい環境下での使用が可能である。
施工性	部材寸法が小さいため施工上の制約は受けにくい。低温時の施工における注入材の温度管理が必要である。炭素繊維の施工に比べ作業性は劣る。	炭素繊維は軽量であるため作業性が良好であり、施工上の制約をほとんど受けない。また、死荷重の増加も少なく既設主桁への影響も少ない。炭素繊維の良好な接着を得るために接着面の不陸調整が必要である。層が10層となり施工時の品質確保が困難となる。	CFRP接着のほかに、定着装置の設置、緊張作業がある。低温時における樹脂の温度管理が必要である。炭素繊維の施工に比べ作業性は劣る。	CFRPプレートは軽量であるため作業性が良好であり、施工上の制約をほとんど受けない。低温時における樹脂の温度管理が必要である。パテ状のエポキシ樹脂でCFRPプレートを接着するため、桁下面の不陸修正は不要である。
評価	鋼板は部材寸法が小さいため施工上の制約は受けにくい。施工実績は多い。炭素繊維の施工に比べ作業性は煩雑であり、施工後の維持管理として、塗装塗り替えが必要である。	炭素繊維は軽量であるため作業性が良好であり、施工上の制約をほとんど受けない。また、死荷重の増加も少なく既設主桁への影響も少ない。施工実績は多い。維持管理として塗装の塗り替えが必要である。	緊張作業用のスペース確保が必要。定着体容量の関係で本ケースでは定着体が4箇所/桁必要。多数のアンカー穿孔(6本×4定着体=24本/桁)によって既存桁が損傷する恐れがある。10件弱の実績あり。	炭素繊維シート並みの軽量性に加え、炭素繊維シートの様なシート各層での含浸・脱泡作業がないため、工期が短縮され、品質の安定性も向上す施工実績は建築分野で多い。維持管理として塗装の塗り替えが必要である。

炭素繊維プレート接着工法は、既設主桁の下面を表面処理した後、炭素繊維プレートをエポキシ樹脂で接着し、一体化させる工法である。死荷重の増加が少ないため、既設部材に対する影響が少ない。また、炭素繊維は腐食しないため、厳しい環境での使用が可能である。

炭素繊維シート並みの軽量性に加え、炭素繊維シートのようなシート各層での含浸・脱泡作業が無い場合、工期短縮となり、品質の安定性が向上する。建築分野での施工実績は多いが、橋梁補強工事では本工事が国内で初めてとなる。本工事で使用したプレートは、同じ貼付け幅で考えた場合、高弾性タイプの炭素繊維シート10層分の補強効果がある。表-2に比較表を示す。

表-2 炭素繊維シートとプレートの比較表

	炭素繊維シート	高弾性プレート	汎用プレート
Type	高弾性	高弾性品	高強度品
弾性率	640Gpa (FIBER)	450Gpa (FRP)	156Gpa (FRP)
補強量	W=250 t=0.165 10層	W=250 t=2 1層	W=250 t=2 3層
工事費	1.00	0.90	1.14

2.2 炭素繊維プレート貼付

本工事では、高弾性グレードの炭素繊維プレートを
使用した。表-2に炭素繊維プレートの規格を、写真
-3に炭素繊維プレートを示す。

炭素繊維プレート接着は、ダレがほとんど生じない
パテ状のエポキシ樹脂を用いて接着するため、従来の
炭素繊維シート接着工法のような不陸調整が不要となり、炭素繊維シートに比べ貼付作業の低減が図れた。
表-3にエポキシ樹脂接着剤の規格を示す。

図-4に主桁補強詳細図、図-5に炭素繊維プレート補強施工断面図を示す。プレートは、曲げ耐力確保
の耐力計算結果から耳桁に5枚、中桁に2枚を橋軸方向に貼付けた。写真-4に炭素繊維プレート貼付状況
を示す。

表-2 炭素繊維プレートの規格

種類	弾性率 (kN/mm ²)	幅 (mm)	厚さ (mm)	重量 (g/m)
高弾性	450	100	2	364

表-3 エポキシ樹脂接着剤の規格

商品名	引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	引張せん断強度 (N/mm ²)	接着強度 (N/mm ²)
シーカデュア 30	20 以上	50 以上	10 以上	1.5 以上



写真-3 炭素繊維プレート



写真-4 炭素繊維プレート貼付状況

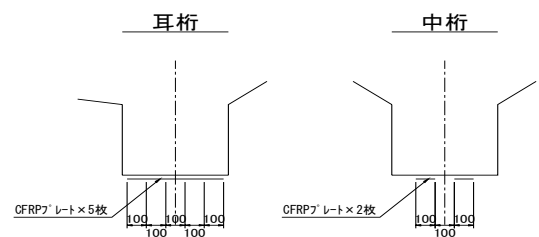


図-4 主桁補強詳細図

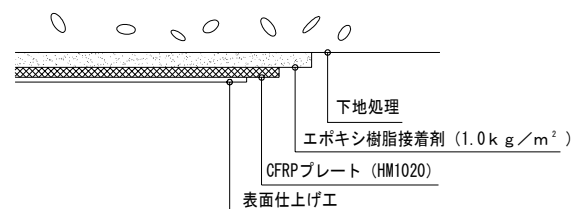


図-5 炭素繊維プレート補強施工断面図

貼付け作業は、プレート貼付け位置の墨出し→
サンダーケレン (下地処理) →エポキシ樹脂の塗布
→プレートの接着→押さえ→継手部の処理→保護
塗装の順に行った。

2.3 床版増厚工法

主桁および床版補強は、上面増厚工法とした。

増厚コンクリートは、新旧コンクリートの打重ねとなること、その厚さが10cmと薄いことから初期の乾燥収縮の防止と疲労耐久性向上を目的に、PVA繊維を混入した繊維補強コンクリートとした。

表-4にPVA繊維の規格を、写真-5にPVA繊維を示す。配合は、30-12-20 H(膨張材添加)とし、PVA繊維の混入量は、1.0Vol%とした。表-5に配合表を示す。繊維の混入量は、メーカーの試験結果を参考に決定した。

表-4 PVA繊維の規格

銘柄	直径 (μ)	標準長 (mm)	引張強度 (N/mm ²)	切断伸度 (%)	弾性率 (kN/mm ²)
RF4000×30	660	30	880	7	28

表-5 繊維補強コンクリート配合表

セメント	混和材① (膨張材)	混和材② (PVA繊維)	水	細骨材	粗骨材	混和剤 (高性能 AE 減水剤)
366	20	13	175	843	882	3.09
水結合材比		45.4%		細骨材率		49.2%



写真-5 PVA繊維

PVA繊維は現場にて生コン車に混入し、攪拌した。写真-6に混入状況を、写真-7に打設状況を示す。打設方法は、人力打設とした。写真-8に仕上げ面を示す。

PVA繊維を混入したコンクリートを打設した結果、乾燥収縮によるひび割れの発生を防止できた。



写真-6 PVA繊維混入状況

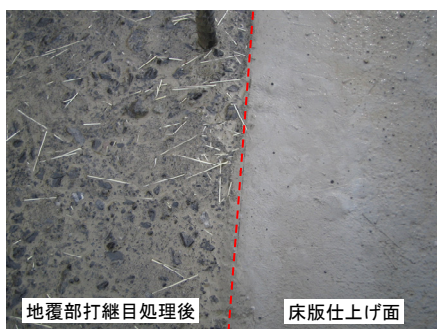


写真-8 コンクリート仕上げ面



写真-7 打設状況

3. 施工上の問題点

炭素繊維プレート貼付作業にあたり、貼付長さが 8.2m であり、一枚のプレートで施工することが困難であるため、継手を設ける必要があった。継手部は、継手用のプレートを重ね合わせにより(貼付長さは、エポキシ樹脂の付着強度より片側 200mm とした)貼付けた後、炭素繊維シートを直角方向に貼付け、継手が無いものと同等の強度とした。

図-6 に重ね継手詳細図を、図-7 に継手部補強用シート施工断面図を、写真-9 に継手部補強後状況を示す。

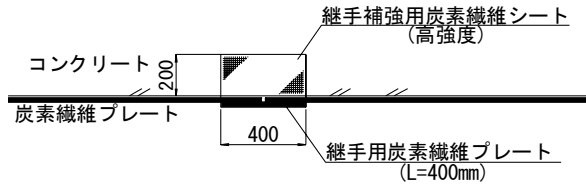


図-6 重ね継手部詳細図

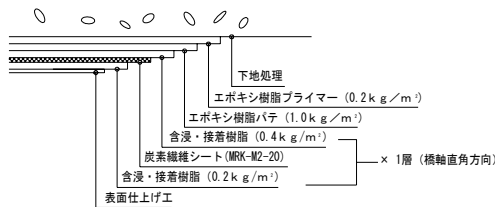


図-7 継手部補強用シート施工断面図



写真-9 継手部補強状況

継手方法は、施工前に供試体を作成し、静的荷重試験により継手部強度の確認を行い、補強方法の妥当性確認を行った。

以下に継手強度確認試験の概要および結果を、図-8 に試験概要図を示す。供試体は、支持スパン 1800mm の単純支持梁で、中央一点集中荷重荷重とした。表-4 に供試体の諸元および写真-10 に試験状況を示す。供試体は、無補強(NS)、継手無し(HM)および継手有り(HM-S)の3種類とした。試験結果を図-9 に示す。試験の結果、継手有りの供試体の耐力は、ほぼ 100kN であり継手無しと同等の値となった。

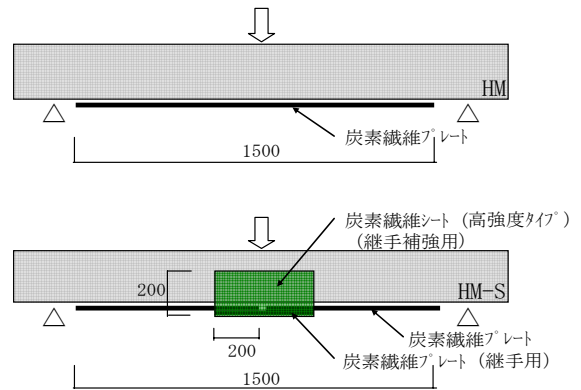


図-8 試験概要図

表-4 供試体の諸元

供試体		炭素繊維プレート				
名称	種類	弾性率(kN/mm ²)	幅(mm)	厚さ(mm)	枚数	継手
NS	無補強	—	—	—	—	—
HM	高弾性	450	50	2	1	—
HM-S	高弾性	450	50	2	1	有り



写真-10 試験状況

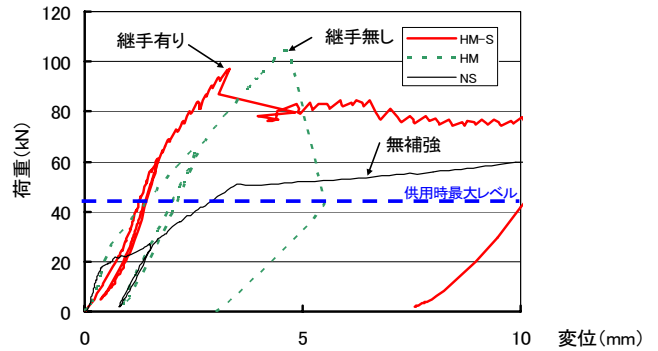


図-10 試験結果

4. 炭素繊維プレート接着工法の疲労試験

炭素繊維プレート接着工法を橋梁補強で採用した工事は、国内では初めてであった。このため、疲労特性と継手部の影響を確認する目的で疲労载荷試験を行った。

試験の結果、以下のことが確認された。①継手なし、継手供試体とも引張鉄筋降伏レベルまでの曲げ耐力を有しており、本工法（継手方法）は疲労試験後も高い補強性能を保持している。②補強供試体の終局耐力は、継手の有無によって若干の差が見られるが、供用荷重作用下での補強で用いる場合は影響ない。

図-11に試験結果を写真-11に疲労試験状況の写真を示す。

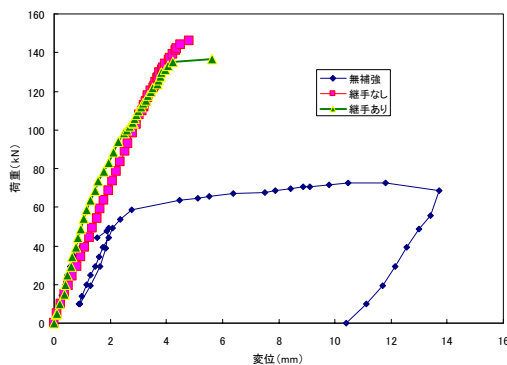


図-11 試験結果

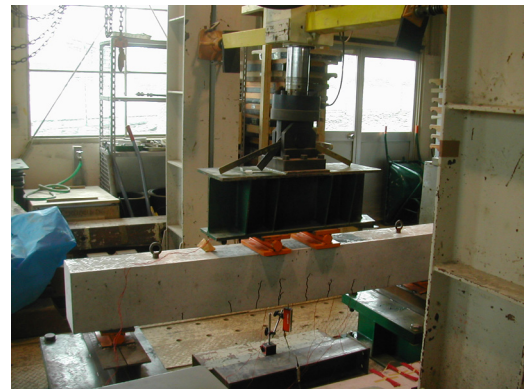


写真-11 疲労試験状況

5. まとめ

本稿では、炭素繊維プレート接着工法による主桁補強工事について報告を行った。写真-12に主桁補強後状況を示す。主桁の補強に炭素繊維プレートを使用することで、炭素繊維シート接着工法に比べて、工期短縮・省力化等につながる施工を行うことができた。また、床版の増厚コンクリートをPVA 繊維補強コンクリートとすることによる有効性の確認ができた。

本稿が、今後更に増加するであろう床版および主桁の補強工事の参考になれば幸いである。

最後に、本橋の施工にあたり試験データ等を提供して頂いた三菱化学産資（株）の関係各位に感謝の意を表します。



写真-12 主桁補強後状況