

# 炭素繊維材料を活用した大規模改修工事新工法の開発

技術開発部 土木構造物技術チーム 鋼構造・コンクリートグループ グループリーダー 他谷 周一  
 技術開発部 土木構造物技術チーム 鋼構造・コンクリートグループ 研究員 北田 宗一郎  
 (現：新幹線鉄道事業本部 米原保線所)

## 1 はじめに

開業から 60 年を迎えた東海道新幹線の土木構造物を将来にわたって健全に維持し続けることを目的として、2013 年度より予防保全の観点から、「鋼橋」「トンネル」「コンクリート橋」を対象とした土木構造物の大規模改修工事を進めています。

コンクリート橋の経年劣化の 1 つに、コンクリートの中性化に伴う鉄筋の腐食が挙げられます。コンクリートの内部は、通常アルカリ性です。アルカリ下では鉄筋表面に不働態皮膜が形成されるため、鉄筋は非常にさびにくくなっています。しかし、経年とともに大気中の二酸化炭素がコンクリートの内部に侵入すると、内部はアルカリから中性へと変化していきます。コンクリート内部が中性になると、鉄筋表面の不働態皮膜が破壊され、鉄筋が錆び、膨張することでコンクリートにひび割れが入りやすくなります。

そこで、コンクリート橋に対しては、経年による中性化の進行とひび割れなどの発生を抑制することを目的として、図 1 に示すはね出しスラブと呼ばれる部材を高耐食性めっき鋼板（以下、鋼板）で覆う工法を採用し、施工を進めてきました。

今後もコンクリート橋に対する大規模改修工事を着実に進めるべく、技術開発を通じて、重い鋼板を使用する従来工法の改善を目指し、当社の小牧研究施設における各種検証試験を踏まえ、この度、軽くて高強度な炭素繊維材料を活用した新工法を開発しました。本稿では、その開発概要を報告します。

## 2 従来工法の問題点

従来工法は、はね出しスラブの上下面に鋼板をアンカ

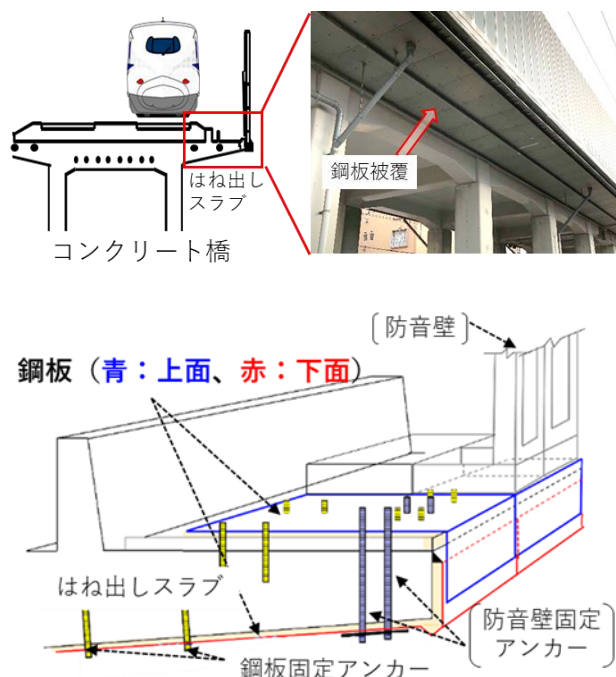


図 1 コンクリート橋の大規模改修工法（従来工法）

ーで固定し、鋼板とはね出しスラブ表面の隙間を樹脂で充填する工法です（図 1）。昨今、鋼材価格が高騰しており、今後も鋼材価格の高騰が続くことを想定すると、コンクリート橋の大規模改修工事を推進していくうえでは材料費の抑制が課題となります。また、大規模改修工事で使用する鋼板は 1 枚あたり最大 60kg と重いため、取付作業においては最低でも 3 人以上で行う必要があるなど、作業員に大きな負担がかかっていました。将来の労働力不足の懸念や人件費の高騰を踏まえると、作業の負担軽減や省力化を図る必要があります。

さらに、大規模改修工事の施工対象箇所の中には、高架下に建物があり、はね出しスラブの高さまで建物の外壁が設置されている箇所も少なくありません（図 2）。こ

のような箇所では従来工法を適用する場合には、鋼板を設置するために支障する外壁の撤去・復旧が必要となり、場合によっては建物の支障移転・復旧も必要になります。このため、支障移転が不要あるいは最小限とするはね出しスラブ下面の対策工法を開発する必要がありました。

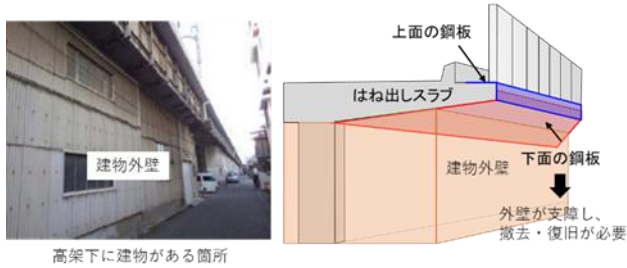


図2 高架下に建物がある箇所の大規模改修工事

### 3 新工法の開発

2章に述べた問題を解決するため、軽くて高強度な炭素繊維材料を活用した新しい工法を開発しました。新工法では、はね出しスラブの表面を炭素繊維シートで覆い、炭素繊維シートの表面に表面保護材を塗布します(図3)。炭素繊維材料の引張強度は、一般的に鋼材の引張強度の約10倍であり、十分な強度を有しているほか、炭素繊維シートと表面保護材を組み合わせることで、コンクリートを劣化させる二酸化炭素などの侵入を抑制することができます。これまでの鋼板による被覆と同等以上にコンクリートのひび割れ、つまり経年劣化を抑止することができます。また、新工法で使用する炭素繊維シートの重さは鋼板と比べて1/60以下であり、取扱いが容易です。炭素繊維シートを採用することで作業員の負担が大幅に軽減され、被覆作業の安全性が大きく向上することに加え、1人でも施工が可能となり、作業効率の向上が期待されます。また、新工法では被覆作業の省人化が図れるほか、構成部材が少なく、材料費も鋼板より安価となるため、従来工法と比較して3割程度のコスト低減が見込まれます。

高架下に建物がある箇所に対しては、炭素繊維シートを建物壁の内外に分割して被覆し、建物壁の内外の炭素繊維シートを炭素繊維アンカーで一体化する工法を開発しました(図4)。炭素繊維アンカーとは、炭素繊維シ-

トと同じ材質の素線 24,000 本を一束とし、これを太さ 1~2cm の紐状で取りまとめたものです。炭素繊維シートを分割したままだと、防音壁の外側からの荷重(暴風)が作用した時に、はねだしスラブが持ち上がるように曲がる動きに対して、分割境界部(建物壁の位置)が弱点箇所になりひび割れが発生しやすくなる可能性があります。そこで、炭素繊維アンカーで一体化することで、分割境界部を含めてはね出しスラブ全体に荷重を分散することができ、分割境界部でのひび割れを抑制できます。また、炭素繊維アンカーを用いることで、外壁には小さな孔を開けるのみで施工ができるため、建物の大規模な撤去復旧が不要となり、工期の短縮が見込まれます。

新工法を開発するにあたっては、当社の小牧研究施設で各種検証試験を行い、性能を評価しました。以下でその内容を説明します。試験条件等については文献<sup>3)</sup>にて詳しく示しています。

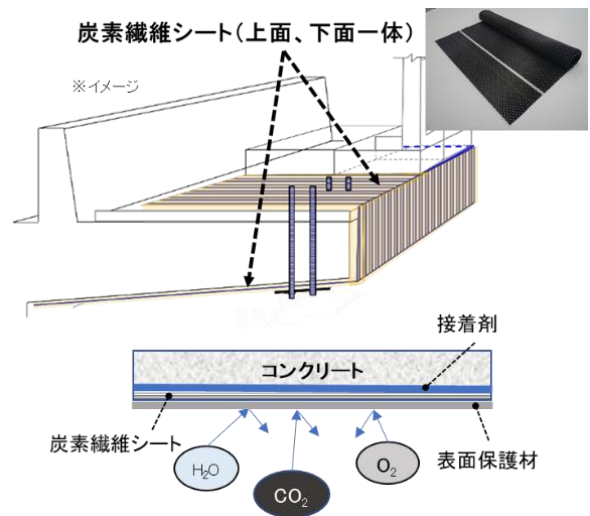


図3 コンクリート橋の大規模改修工法(新工法)

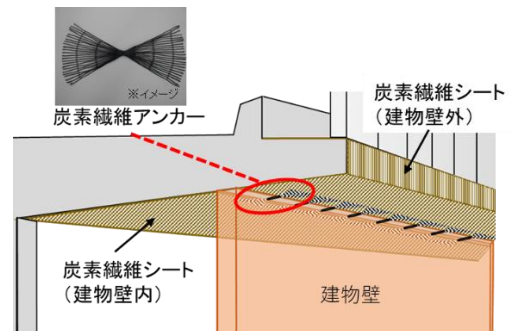


図4 高架下に建物がある箇所での新工法

### (1) 中性化抑止性

検証は「JHS417-2004 コンクリート塗装材の品質規格試験方法」に準じて行いました。試験体は図5に示すように、立方体のコンクリート試験体の2面を、検証を行う炭素繊維シートで被覆するとともに、中性化抑止性および耐候性を確保するために、フッ素系塗料をエポキシ系含浸接着樹脂の上に重ね塗りしました。検証を行わない面は二酸化炭素が侵入しないようエポキシ樹脂でコーティングしました。

この試験体を温度  $23 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、湿度 60%、二酸化炭素濃度 5%の試験室内に 70 日間静置後、試験体を割り、その断面にフェノールフタレイン溶液を噴霧し、中性化深さを測定しました。これは約 20 年分の二酸化炭素を与えたことに相当します。結果を図6に示します。全断面が着色されていることから中性化深さは 0mm であり、十分な中性化抑止性があることを確認しました。

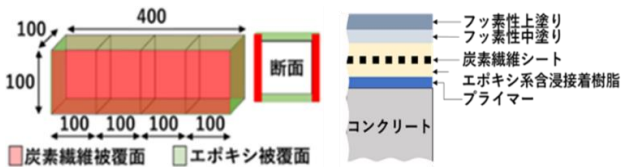


図5 中性化抑止性試験の試験体

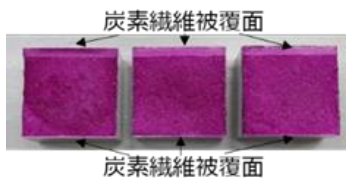


図6 中性化抑止性試験結果

### (2) 押し抜き抵抗性

炭素繊維シートにコンクリート片の剥落を抑止する効果があるかを確認するため、押し抜き荷重の抵抗性を検証しました。検証は「JHS424-2004 はく落防止の押し抜き試験方法」に準拠して行いました。試験体は、図7の左に示すようにコンクリート板をコア抜きし、抜いたコアを戻してセメントモルタルで仮接着させたコンクリートに炭素繊維シート被覆して3体作成しました。図7の右に示すようにコア部分に載荷し、最大荷重を押し抜き抵抗値としました。

結果として試験体 3 体の押し抜き抵抗値の平均値は 2.80kN であり、基準値(1.5kN)を上回る結果を得ました。

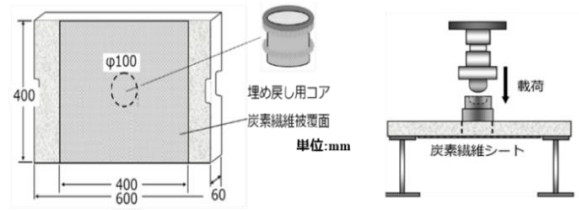


図7 押し抜き抵抗性の試験体と試験概要

### (3) 耐候性

炭素繊維シートによる工法の耐候性を検証しました。劣化促進は耐候性試験機(スガ試験機製 SX75)を用いて、「JIS K 5600-7-7 促進耐候性及び促進耐光性(キセノンランプ法)」によって促進耐候性試験(方法I、サイクルA)を実施し、紫外線を放射照度  $75\text{W}/\text{m}^2$  で 3,000 時間にわたって照射しました。これは 100 年分相当の紫外線となります。図8に試験結果を示します。試験後は劣化の基準となる割れ、剥がれ、白亜化、変色などが見られず、十分な耐候性があることを確認しました。

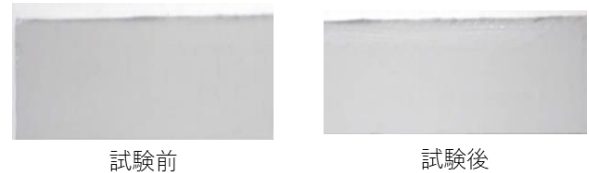


図8 耐候性試験結果

### (4) 耐荷性

防音壁に単位面積当たりの設計風荷重( $3.0\text{kN}/\text{m}^2$ )が作用した際に、炭素繊維シート及び炭素繊維アンカーに剥離や破断が生じないか把握するため、東海道新幹線の標準高架橋と同じ寸法の実物大模型を用いた載荷試験を行いました。図9に試験概要図を示します。はね出しスラブ先端地覆部に鋼製の防音壁(高さ 3.35m)を取付け、図9に示す位置にジャッキ・ロードセルをセットし、水平方向に風荷重を模擬した載荷を行いました。荷重をかけたときのはね出しスラブ下面中央の炭素繊維シートのひずみと荷重の関係を図10に示します。図10より、設計上の異常時風圧を想定した設計荷重の  $3\text{kN}/\text{m}^2$  を超え



た段階では荷重とひずみの関係に変化はなく、設計荷重を大きく上回る 8.0 kN/m<sup>2</sup> 以上で荷重の増分に対してひずみの増分が大きくなっていることが分かります。試験体には 8.5 kN/m<sup>2</sup> で曲げひび割れが発生しました。このことより、本構造は風荷重設計値を大きく上回る耐荷力を持つ構造であることが分かりました。

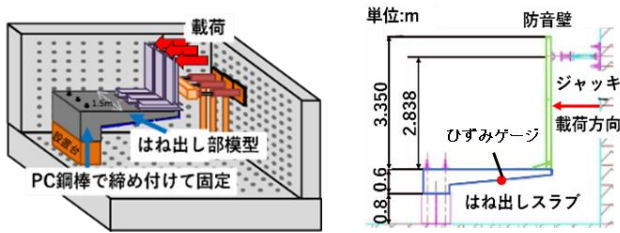


図9 耐荷性試験概要

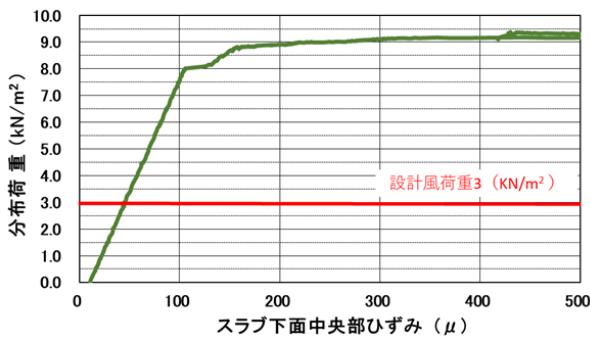


図10 炭素繊維シートのひずみと荷重の関係

### (5) 施工性

炭素繊維シートが隙間なくはね出しスラブと一体化できるか、また、従来工法と比較して施工効率ほどの程度向上しているか確認するため、小牧研究施設内の試験高架橋で試験施工を行いました。図11に施工状況を示しており、炭素繊維シートの接着は問題なく施工でき、施工途中や仕上がり状態に不具合は生じませんでした。



図11 新工法試験施工状況

## 5 おわりに

以上の試験結果を総合的に評価し、新工法は東海道新幹線コンクリート橋の大規模改修工事の工法として適切であると判断しました。今回紹介した新工法は、本年9月から順次導入し、施工を進めています。今後も大規模改修工事を着実に推進すべく、コストダウンに資する施工方法の改善等の技術開発を継続していきます。

### 参考文献

- 1) 森川昌司, 「東海道新幹線大規模改修工事の概要」, 2014, JREA, Vol.55, No.10, pp.64-67
- 2) 吉田幸司, 西田貴裕, 北村駿太, 「東海道新幹線コンクリート橋の大規模改修」 2014, JREA, Vol.55, No.10, pp.81-84
- 3) 北田宗一郎, 他谷周一, 吉田幸司, 「炭素繊維シートを用いた鉄道高架橋スラブの中性化抑止対策工法に関する検討」, 2024, コンクリート工学会年次論文集 Vol.46, No.1



他谷 周一  
土木構造物技術チーム 鋼構造・コンクリートグループ  
博士(工学)、技術士(建設部門・総合技術監理部門)  
土木学会 正会員、日本コンクリート工学会 正会員  
構造物の劣化メカニズムを深く理解し、効果的なメンテナンス方法を研究開発したい。



北田 宗一郎  
土木構造物技術チーム 鋼構造・コンクリートグループ  
土木学会 正会員、日本コンクリート工学会 正会員

コンクリート構造物メンテナンス技術力の社内 No.1 となり、土木構造物の安全性を永続的なものにすることに貢献したい。