

調布高架橋（都計 213 橋）の補強工事 —炭素繊維プレート緊張工法による補強—

藤田 真実 *1・森北 一光 *2・高橋 秀樹 *3・安森 浩 *4

1. はじめに

中央自動車道の調布高架橋（都計 213 橋）は、3 径間連続 2 室 RC 箱桁橋であり、供用後 28 年が経過している。

本橋は、東京都調布市内の調布 IC の近くに位置し、近年の交通量の増加と経年劣化により、主桁の下床版のコンクリートに、橋軸直角方向の曲げひび割れや漏水が多数発生していた。さらに、交通車両による主桁のたわみも大きく、剛性低下が明らかであったため、耐荷力を向上させるとともに、ひび割れを抑制して主桁剛性を向上させる必要があった。

その場合、プレストレス導入工法の適用がもっとも妥当であると考えられるが、桁下の建築限界や橋面の交通規制に与える影響が小さく、しかも、緊張材の定着部に補強が不要な方法が望まれた。そのため、炭素繊維プレートを緊張してコンクリートに定着し、プレストレスを導入する補強方法を初めて RC 橋に採用した。以下、この補強工法をアウトプレート工法と称す。

本工事では、写真 - 1 に示すように、アウトプレートを各径間の主桁下面に 6 本配置した。本稿では、本工事に用いた本工法の概要ならびに施工について報告する。

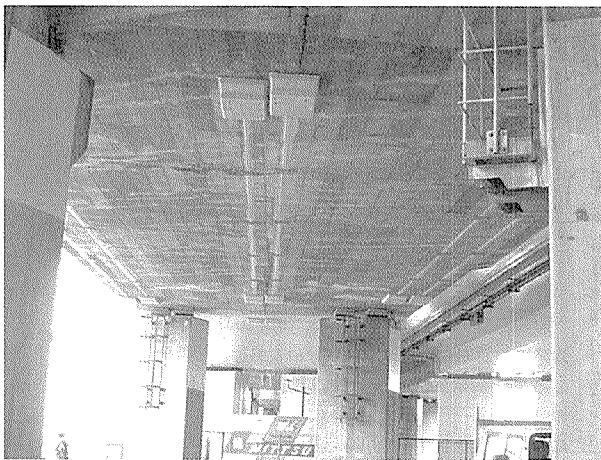


写真 - 1 完成

2. 橋梁概要

橋梁概要を以下に示す。また、図 - 1 に構造一般図を示す。

す。

工事名：中央自動車道 国立橋床版補強工事

発注者：日本道路公団 東京管理局

八王子管理事務所

構造形式：3 径間連続 RC 箱桁橋（上り線、下り線）

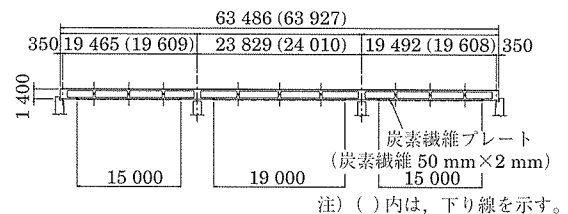
橋長：63.586 m（上り線）、64.027 m（下り線）

支間：19.465 + 23.829 + 19.492 m（上り線）

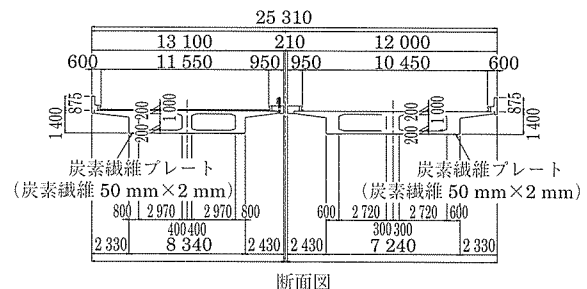
19.609 + 24.010 + 19.608 m（下り線）

幅員：12.459 ~ 10.830 m（上り線）

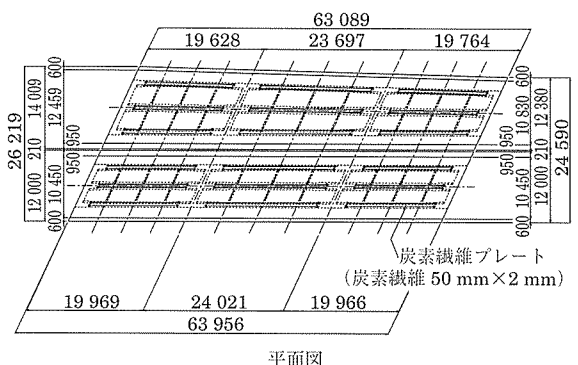
10.450 m（下り線）



側面図



断面図



平面図

図 - 1 構造一般図

*1 Masami FUJITA：日本道路公団 東京管理局 八王子管理事務所

*2 Kazuteru MORIKITA：日本道路公団 東京管理局 八王子管理事務所

*3 Hideki TAKAHASHI：鉄建建設(株) 東京支店

*4 Hiroshi YASUMORI：ドービー建設工業(株) 東京支店

3. アウトプレート工法

3.1 概 要

アウトプレート工法による補強概念を図-2に示す。

本工法は、炭素繊維プレート（炭素繊維強化ポリマー製、断面 $50\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ ）に約 140 kN ／本の有効緊張力を導入して、部材コンクリートに定着し、接着樹脂で接着することで、主に曲げ耐力の向上を図る補強工法である。

そのため、本工法では、プレストレス導入工法と同様に、死荷重による応力や変形を改善することができ、発生ひび割れを積極的に制御す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、定着に伴う支圧、割裂、背面引張応力に対する補強が不要である。

さらに、本橋のような連続桁構造の中間支点上では、導入プレストレスの不静定力を利用することにより、中間支点断面に対しても、下面からの補強で補強効果を得ることができる。

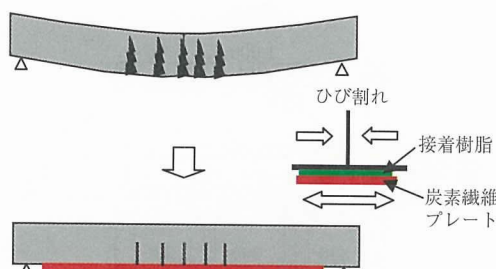


図-2 補強作用のメカニズム

3.2 システムの概要

本工法のシステム概要を図-3に示す。アウトプレートは、炭素繊維プレートの両端に工場で定着体を一体化した緊張材である。定着装置は、アウトプレートの定着体、固定プレート、固定アンカーならびに定着ボルト・ナットで構成される。また、アウトプレートの引張耐力を負担できるように設計を行なっている。

また、炭素繊維プレートの中には、中間定着体を約 3.0 m の間隔で設け、終局荷重時におけるコンクリートとの剥

離耐力を向上させている。

3.3 炭素繊維プレートの材料特性

表-1に、炭素繊維プレートの材料特性を示す。

表-1 炭素繊維プレートの材料特性

幅 (mm)	50.0
厚み (mm)	2.0
公称断面積 (mm^2)	100.0
弾性係数 (N/mm^2)	1.65×10^5
引張強度 (N/mm^2)	2 300
純リラクセーション	6.0 %

4. 設計概要

本橋は、3 径間連続橋であるため、荷重とプレストレスによる曲げモーメントは、図-4に示す分布となる。補強後の中間支点上の曲げモーメントは、プレストレスの不静定力により、低減される。また、アウトプレートの定着は、1 本あたりのプレストレス導入量が小さいため、位置の決定に配慮は必要ないが、引張応力が卓越していない支点付近の主桁下面に設けた。

アウトプレートは、B 活荷重に対して補強するため、補強量は、既往の死荷重と B 活荷重にプレストレスによる軸力、偏心モーメント、ならびに不静定力を加算した断面力

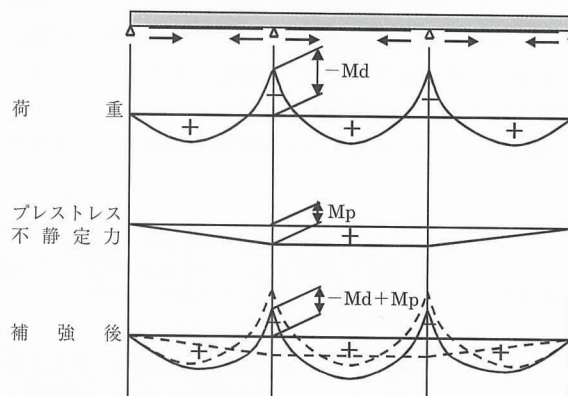


図-4 曲げモーメントの分布

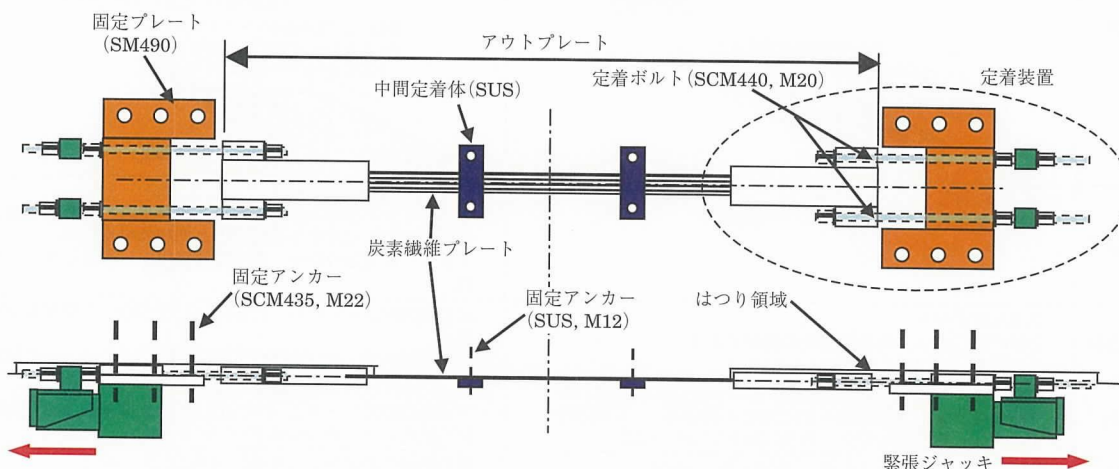


図-3 緊張システムの概要（両引き緊張の場合）

に対して、通常の RC 部材と同様の設計手法で算出した。その結果、アウトプレートを各径間の主桁下面に 6 本配置した。

ただし、中央径間では、他径間と同本数のアウトプレート 6 本の配置では、曲げ耐力が不足するため、道路上に対するコンクリートの剥落対策も講じる必要があることから、炭素繊維シート接着工法を併用した。

5. 補強工法の選定

本工事に対する補強工法について、標準的な従来工法と本工法の比較結果を表 - 2 に示す。本工法は、プレストレス導入工法と同様の補強効果が得られることから、死荷重による応力や変形にはきわめて有効な補強方法である。また、上面補強が必要な補強工法と比較すると、経済性や工期の点で優れている。本橋が支間中央に交差道路を抱えることから、その建築限界を満足し、桁下の交通規制が生じないアウトプレート工法を採用した。

6. 定着構造の安全性確認試験

本工事では、コンクリートの設計基準強度が 24 N/mm^2 と比較的強度の低いコンクリート部材にアウトプレートを緊張して定着するため、事前に定着構造に対する安全性確保が課題であった。

本工法のアウトプレートは、コンクリート部材に固定アンカーとして樹脂アンカーで定着する。固定アンカー周辺のコンクリートには、プレストレスにより局部的な引張応力（背面）や圧縮応力（前面）が発生するため、アンカーの本数を増やし、その負荷応力を分散させている。この定着構造に対して、コンクリートの試験体を作製し、安全性を

確認した。

6.1 定着構造の安全性

図 - 5 に示す試験体は、幅 1000 mm 、長さ 5500 mm 、厚さ 200 mm の RC 構造とし、コンクリートの設計基準強度を 21 N/mm^2 とした。

定着部には、実橋と同様に 6 本の樹脂アンカーを使用した。そのアンカーには、緊張時に引き抜き力が発生せず、主に定着による純せん断力が作用することが確認されているので、コンクリートの削孔量を極力小さくするために、埋め込み長を市販されているショートタイプ程度の長さとした。

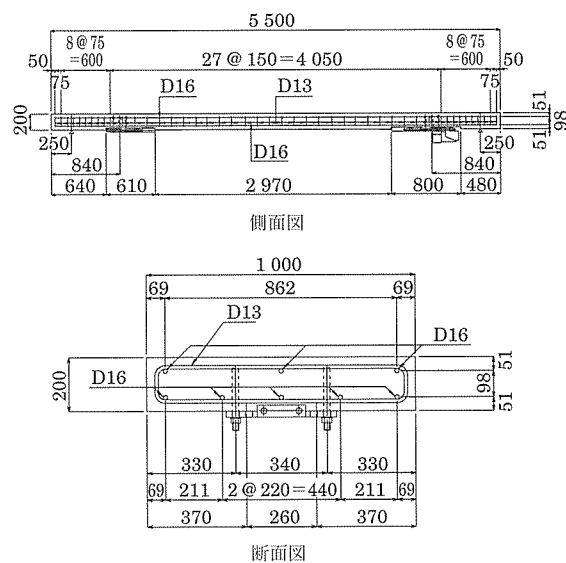


図 - 5 試験体

表 - 2 補強工法の比較

	従来工法（設計要領：保全編）	アウトプレート工法
補強方法	上面：増厚（中間支点上）⇒今回は炭素繊維シートで検討 下面：鋼板接着（側径間＋中央径間＋側径間）[もしくは炭素繊維シート補強]	上面：補強なし 下面：炭素繊維プレート（側径間＋中央径間＋側径間）[併用] 炭素繊維シート（中央径間）
概要図		
構造的性	長所	・死荷重＋活荷重に対して、補強効果大 ・プレストレスが導入されるため、死荷重時のたわみ改善、ならびにひび割れに対する閉塞効果と抑制効果がある ・フラットな補強のため、桁下の建築限界に影響しない（中央径間）
	短所	・施工実績が少ないため、施工時に補強効果の確認試験が有効である ・剥落対策には、シート系の補強材が必要である（中央径間）
経済性	・炭素繊維シート補強 [中間支点上]：上面補強 (373.9 m ²) ・下面鋼板接着費 [側径間＋中央径間＋側径間]：下面補強 (911.3 m ²) 橋面積あたり 約 75 000 円 / m ² (1.00)	・炭素繊維プレート緊張工：36 本 (= 6 × 3 × 2) ・下面炭素繊維シート工 [中央径間]：下面補強 4 層 (343.0 m ²) 橋面積あたり 約 60 000 円 / m ² (0.80)
施工性	・昼夜連続規制を伴う（本線）、標準工程：60 日	・車線規制の必要なし（本線）、標準工程：40 日
総合評価	△	○

また、事前に、試験体をモデル化して、FEM 解析を実施し、定着部付近の応力状態を解析した。FEM 解析による版軸方向の応力度分布を図 - 6 に示す。解析では、定着部背面に 0.3 N/mm^2 の引張応力度が発生し、前面に 1.9 N/mm^2 の圧縮応力度が発生した。

アウトプレート初期緊張力 160 kN で緊張した結果、コンクリートの圧縮強度が 21 N/mm^2 であった材齢 21 日に、定着部付近で、最大引張ひずみが、 16.3μ （応力度換算値 0.38 N/mm^2 ）であった。さらに、コンクリートの材齢が 41 日に再び緊張した結果、最大引張ひずみは、 22.8μ （応力度換算値 0.68 N/mm^2 ）であった。計測された引張応力度は、FEM 解析値を若干超えるものの、コンクリート標準示方書によるひび割れ発生限界値の 1.8 N/mm^2 と比較すると 30 % 前後であった。また、その後、数回の緊張を繰り返しても、定着部付近のコンクリートにひび割れがまったく発生しなかったため、定着構造が安全であると判断した。

6.2 偏向構造の安全性

定着部では、図 - 7 に示すように、アウトプレートをコンクリート表面に、直線的に配置するため、深さ 30 mm 程度、かぶりコンクリートをはつる必要がある。しかし、実橋では、かぶりが不足している場合が想定されるため、定着部近傍でアウトプレートを偏向させ、はつりの深さを小さくする構造を用いることとした。この構造では、アウトプレートに摩擦が発生し、張力の損失が想定されるため、

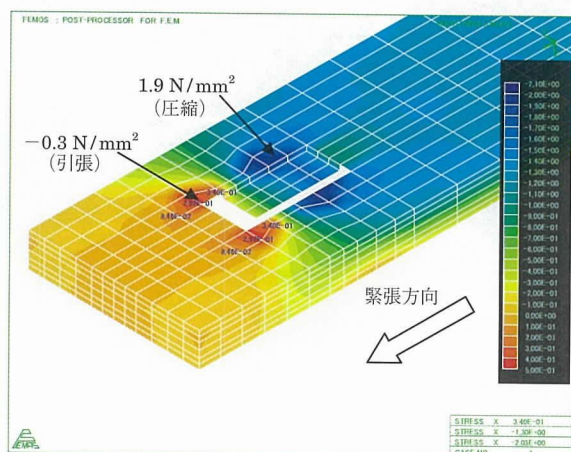


図 - 6 版軸方向の応力度分布

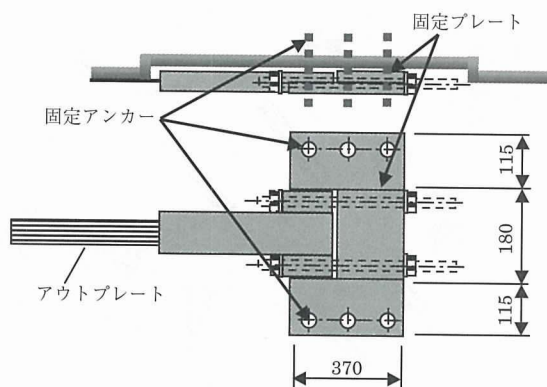


図 - 7 定着部の概要

6.1 の試験体に偏向部を設け、プレストレスの導入試験を実施した。

試験は、図 - 8 に示すように、中間定着体により、アウトプレートに 0° 、 0.89° 、 0.68° の偏向角度を設け、 160 kN の初期緊張力でアウトプレートを緊張した。

その結果、アウトプレートの張力は、偏向角度がまったくない CASE - 1 に対して、CASE - 2 が 7.2 %、CASE - 3 が 5.3 % 低下しており、偏向角が大きくなるほど、張力が減少していた。

しかしながら、この張力損失量は、緊張時の荷重計示度と伸びに対する管理限界値の $\pm 10 \%$ 以内であったので、通常の緊張管理における引き越しにより、十分対処できることを確認した。

したがって、実橋において、所要のはつり量が確保できない定着部には、本試験で用いた CASE - 2 と同様な写真 - 2 に示す偏向構造を適用した。また、CASE - 2 の偏向角度を許容偏向角度とした。

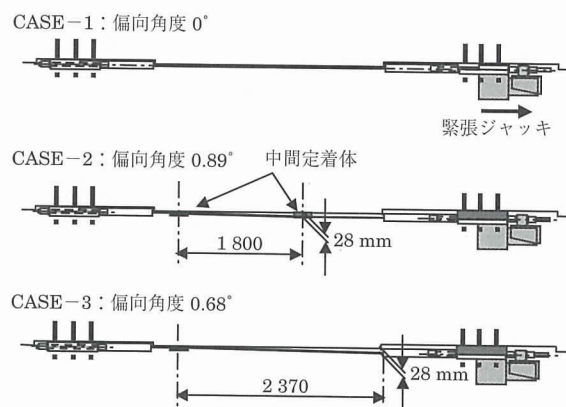


図 - 8 偏向角度の種類

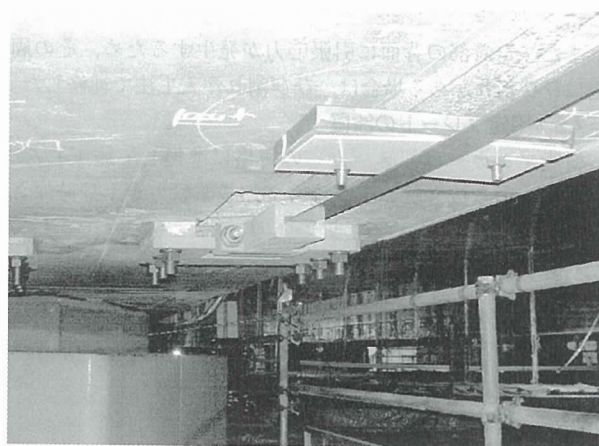


写真 - 2 偏向構造

7. 施 工

7.1 施工フロー

本工法の標準的な施工手順を図 - 9 に示す。

7.2 定着部の削孔とはつり

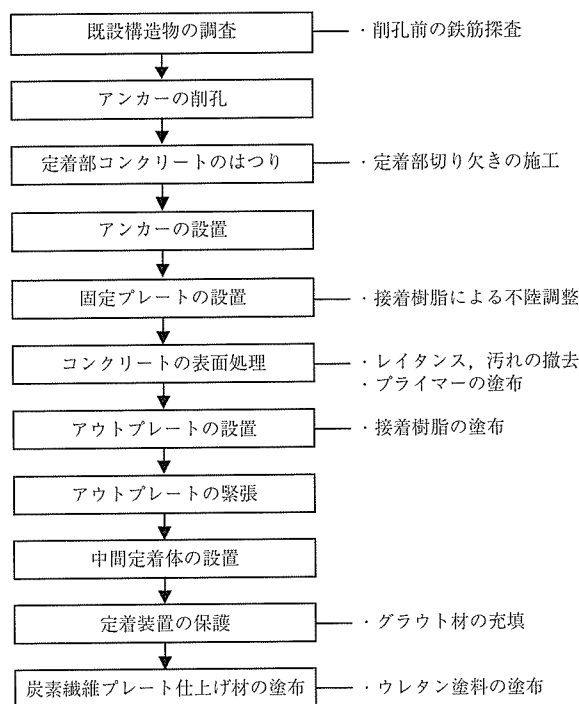


図 - 9 施工手順

定着部の固定プレートは、写真 - 3 に示すとおり、一箇所あたり 6 本の樹脂アンカー（削孔： $\phi 28 \text{ mm} \times 180 \text{ mm}$ ）により、コンクリートに固定する。削孔位置は、既設のコンクリート内の鉄筋位置を RC レーダーで探査を行い、決定した。

本橋は斜橋であるため、定着部では、橋軸直角方向鉄筋が斜方向に配置されており、橋軸方向鉄筋もウエブ厚が変化している区間であるため、鉄筋間隔が変化している。削孔は、鉄筋と干渉しない位置において実施するため、定着部ごとに固定プレートのアンカー孔の位置を変更して対処した。

また、定着部の背面に引張応力が発生するため、その周辺にひび割れがある場合は、ひび割れ注入工法で補修した。

7.3 固定プレートの設置

樹脂アンカーは、メーカーの規格に準拠して施工した。品質は、引き抜き試験を実施して、基準耐力が十分確保さ



写真 - 3 定着部状況

れていることを確認した。

固定プレートは、コンクリート表面の不陸を調整するため、固定プレートにエポキシ系の接着樹脂を盛り上げた状態で仮固定した後、ナットで十分に締め付けた。

7.4 コンクリートの表面処理

炭素繊維プレートが接触するコンクリートの部位は、エポキシ系の接着樹脂の接着性を向上させるため、ディスクサンダーにより、コンクリート表面のレイタンスや汚れなどを研磨ならびに削除した。その後、コンクリート表面と接着樹脂の接着性を向上させるため、プライマーを塗布した。

7.5 アウトプレートの設置

アウトプレートは、直径 1.0 m ほどに巻かれ、パレットに梱包された状態で搬入した。炭素繊維プレートの片面には、施工時に傷が付かないように養生シールが貼ってあり、梱包材を含んだ全重量は、30 kg 程度である。設置方法は、梱包した状態で足場上の木製ターンテーブルにセットし、パレットを回転させながら写真 - 4 に示すように引き出す。アウトプレートは、折れやねじれが生じないように注意を払い、直線状であることを確認して、固定プレートに取り付けた。定着装置の状況を写真 - 5 に示す。



写真 - 4 アウトプレートの引き出し



写真 - 5 緊張前の定着装置

7.6 アウトプレートの緊張

アウトプレートは、油圧式電動ポンプと 245 kN (25 t) 型の爪付きジャッキを使用して、炭素繊維プレート上に接着樹脂を塗布した後、両引き緊張した。緊張作業の状況を写真 - 6 に示す。



写真 - 6 緊張作業

緊張ジャッキは、反力台となるブロック部（材質：アルミ合金、重量：6.1 kg）とシリンダー部（材質：チタン、重量：20.0 kg）で構成され、分割できる。そのため、桁下作業においては、とくに使用性が良好である。ただし、アウトプレートにプレストレスを伝達する爪部とシリンダー中心が偏心した特殊な構造であるため、事前のキャリブレーションから機械的損失量を緊張時に考慮しなければならないことが判った。

緊張は、電動ポンプの荷重計示度とアウトプレートの伸び量により管理し、管理限界値を±10%とした。側径間の場合、約 160 kN / 本の初期緊張力で、伸び量の合計は、126.0 mm であった。

中間定着体は、アウトプレート緊張後に固定した。中間定着体を固定することで、部材コンクリートのたわみや不陸による炭素繊維プレートとコンクリート面の隙間が完全に埋められた。

7.7 定着装置の保護

定着装置の保護では、鋼製部分に防錆塗料を塗布後、FRP製の保護カバーをコンクリート用ネジでコンクリート面に固定し、保護カバー内に低粘性のグラウトを充填した。なお、写真 - 7 に示す保護カバーは、固定プレートにボルトで連結した。

一方、炭素繊維プレートの部分には、ウレタン系の耐候性塗装を塗布した。この仕上げの目的は、長期的な紫外線による変色の予防とコンクリートと同色な色調を用いて、景観性の向上を図ることである。

8. 今後の展望と課題

本工事において、既設 RC 橋の補強に、写真 - 8 に示すアウトプレート工法を初めて採用した。従来、場所打ち施工の中空床版橋や箱桁橋の補強に、プレストレス導入工法の適用が望まれていても、主桁の構造や桁下の建築限界や

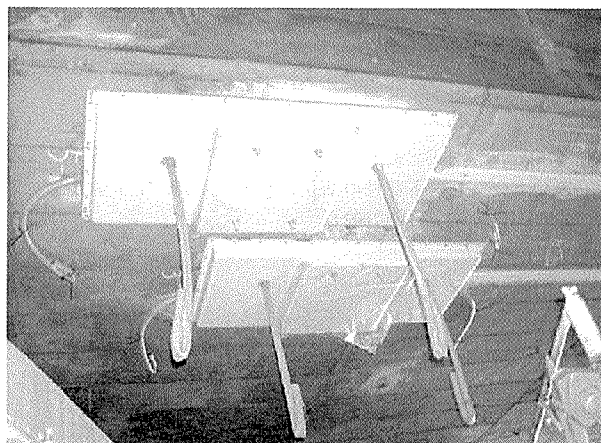


写真 - 7 定着装置の保護

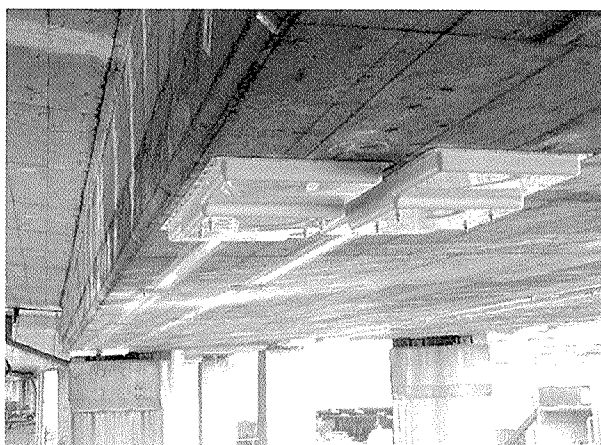


写真 - 8 補強後の状況

交通規制などの施工条件が厳しく、外ケーブルを設けるのが困難な場合があった。しかしながら、そのような場合においても、緊張材に高強度で厚さの薄い炭素繊維プレートを用いることで、コンクリートにプレストレスを導入して補強することが可能となった。

しかし、本工事では、定着体を固定するためのアンカーの設置工で、鉄筋との干渉回避に日数をもっとも要している。また、固定プレートの寸法が、アンカー位置が確定した後に、正式に決定することから、その製作に時間を費やし、以降の工程に影響を与えた。

今後、定着部は、既設のコンクリートや鉄筋に影響されない定着構造に標準化することが、最大の課題である。その実現により、本工法は、さらに、工期短縮とコスト縮減を図ることができると考えられる。

9. おわりに

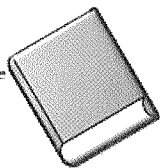
本工事では、本工法による補強前後に既知荷重車（440 kN (45 t) ラフター）による実橋載荷試験を実施しており、主桁の耐荷性や剛性の向上に対して、十分な補強効果を有していることを確認している。本稿が、既設のコンクリート構造物に対する工事の一例として、参考になれば幸いである。

最後に、本工事の関係各位に、心からお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 濱田，井上，小林，高木，児島：緊張した炭素繊維プレートによる既設コンクリート部材の補強に関する研究，土木学会論文集 No.711/V-56，27 - 44，2002.8
- 2) 長谷川，濱口，江本，小林：炭素繊維プレート緊張材を用いた「平和橋」の補強，第12回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.349-352，2003年10月
- 3) 安森，高橋，濱田，小林：炭素繊維プレート緊張システムの開発，第12回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.610-612，2003年10月

【2004年6月30日受付】



●関連書籍のご案内

・初期応力を考慮した RC 構造物の非線形解析法とプログラム

平成16年3月発行

田辺忠顕編著／技報堂出版刊

B5判・358頁（本体価格 6,000 円＋税 5 %）

技報堂出版

〒102-0075 東京都千代田区三番町 8-7 第25興和ビル

TEL03(5215)3165 FAX 03(5215)3233