

報告

ひび割れ補修併用下面増厚工法によるRC床版の長寿命化対策工事例報告

宗 栄一*, 中村 淳志**, 長谷川 博久***, 三輪 浩二****

*一般社団法人 日本建設保全協会,本部技術部 (〒753-0212 山口県山口市下小鯖 645-5)

**一般社団法人 日本建設保全協会,本部事務局 (〒753-0212 山口県山口市下小鯖 645-5)

***一般社団法人 日本建設保全協会,関東事務局 (〒146-0082 東京都大田区池上 2丁目 5-16)

****一般社団法人 日本建設保全協会,関西事務局 (〒529-0232 滋賀県大津市真野 2丁目 15-17)

現在、全国で道路橋の長寿命化対策が行われている。特に、鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版）は補修補強事例が多い。これは、旧基準で設計された床版へ移動輪荷重の疲労損傷に環境による複合劣化が加わった事例が多く、また、近年補修補強後の再損傷に対する再補修補強も必要となっている。道路橋示方書の改定によりRC床版の対策が必要として、過去に予防保全工法例として炭素繊維シートが掲載されたので、RC床版の補修補強対策はほとんどが炭素繊維シートにより行われている。

本文では、現行技術の問題点を見直して補強技術の原点である鋼板接着工法の利点を踏襲し、欠点を補ったひび割れ補修併用下面増厚工法によるRC床版の長寿命化対策工事例を報告するものである。

キーワード：RC床版の長寿命化、下面増厚工法、ひび割れ補修併用、補修・補強、再補強

1. 現行の補強技術と問題点

現行の床版補強工法は、交通に支障がない3工法に代表される。(図-1)各工法の特徴と問題点を以下に示す。

1.1 鋼板接着工法

昭和40年代後半から行われている床版補強工法の原点である。補強材に4.5mmの広幅鋼板を用い、エポキシ樹脂注入等で既設床版下面に接着して耐荷力向上を図る工法である。ひび割れ注入が同時に実施され、施工実績や各所での実験研究事例が多く、作業性から決められている4.5mm厚の鋼板を用いるために計算上は過大設計となっているので曲げ剛度向上による疲労耐久性が著しく改善されて補強効果が非常に高いものであった。しかしながら、床版下面が鋼板で覆われているため点検出来ず、橋面からの漏水の影響で補強鋼板が腐食して浮きによる一体化が損なわれ、補強鋼板が落下して床版が抜け落ちる事故が発生した。これにより近年では、比較工法に挙げられるが採用事例はほとんど無い。

1.2 炭素接着工法

鋼板接着工法の腐食問題解決策として、鋼板の替わりに炭素繊維シートを貼付ける工法である。平成5年以降、車両大型化対策(25トン対応)時に始まったもので、当初は全面張りであったが鋼板接着工法と同様に点検や滯

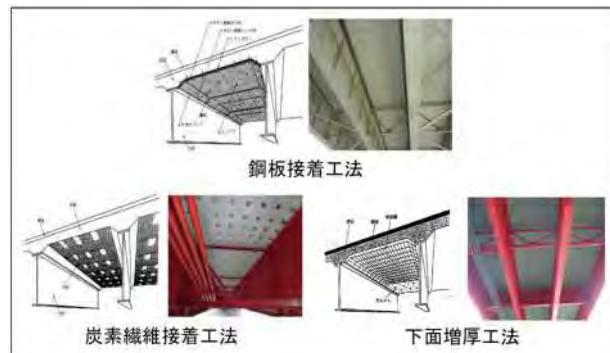


図-1 現行の床版補強技術

水の問題があり、格子張りとなった。軽量のため、作業性がよく比較的の安価である。過去に、長寿命化計画の参考工法にして事例紹介されたため施工事例が多い。しかしながら、ひび割れ補修の別途工事が必要であり、疲労耐久性は確認されているが、シート接着なので曲げ剛度向上や床版独特の破壊形態である押し抜きせん断にも効果が無い。また、維持管理として、経年劣化による上塗り塗装の塗替えが必要と土木学会の道路橋床版の維持管理マニュアルに明記されているが、現在の技術では劣化した上塗り塗装のみを除去する技術が無いので全面貼替の可能性があり、この維持管理費用を見込む必要がある。¹⁾

1.3 下面増厚工法

昭和 60 年代から行われ、D 6 の溶接網鉄筋をアンカー等で仮固定してポリマーセメントモルタルをコテ仕上げや吹付けする工法である。自然なコンクリートの様な床版面に仕上がり、通常の床版と同様の維持管理ができる。しかしながら、炭素繊維接着工法同様にひび割れ補修の別途工事が必要であり、疲労耐久性は確認されているが、車両通行時の振動や衝撃による影響による増厚部と既設床版との界面剥離が懸念されて施工事例は 3 工法中、最も少ない。

2. ひび割れ補修併用下面増厚工法

前述の下面増厚工法の問題点を解決したひび割れ補修併用下面増厚工法（図-2）を紹介する。本技術は、耐荷力性能不足が懸念される道路橋 RC 床版等に対して車両通行規制を行わず、床版の下面から補強網鉄筋をテーパー付きアンカーで圧着固定し、床版の振動・衝撃を緩和しながらポリマーセメントモルタル増厚後にエポキシ樹脂の注入を施し、既設床版と完全一体化させ耐荷力と曲げ剛性を向上して床版を長寿命化する技術である。施工手順を図-3 に示す。一般的な下面増厚工法と違い、施工全面のひび割れ樹脂注入と増厚部によるかぶり不足対策の補修、そして床版の最小全厚や耐荷力および曲げ剛度不足を計算により経済的な網鉄筋を配置する補強の両者を兼ね備えた特長を有する。平成 24 年 12 月の中央道篠子トンネル天井版落下事故を受けての平成 25 年

「緊急措置（メンテナンス元年）」以降の施工実績は、

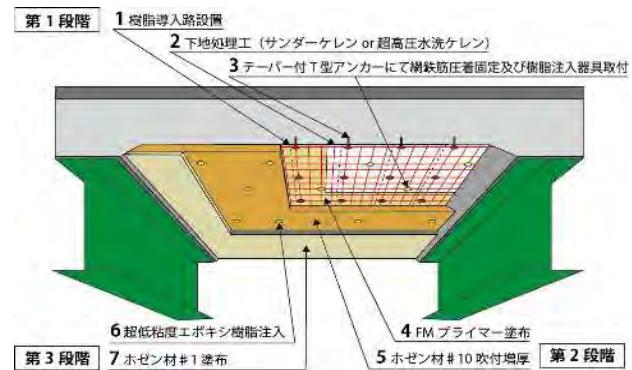


図-2 ひび割れ補修併用下面増厚工法

直近の 10 年で 25,000 m² を超えている。以下に、ひび割れ補修併用下面増厚工法の詳細を述べる。

2.1 新技術 (NETIS) と活用促進技術

鋼板接着工法を従来の技術として、国土交通省の新技術情報提供システム NETIS や各自治体に登録されている。NETIS 登録番号は、CG-110038-VR。事後評価済み技術(2018/02/15)で、技術の位置付け（有用な新技術）として活用促進技術（新技術活用評議会議（近畿地方整備局））である。この活用促進技術は、総合的に活用の効果が優れている技術、特定の性能又は機能が特に優れている技術、特定の地域のみで普及しており全国に普及することが有益と判断される技術等に該当する技術から選考されるものである。なお、現在は、掲載期間終了技術となっている。



図-3 ひび割れ補修併用下面増厚工法の施工手順

2.2 従来工法の問題点と解決策

従来工法の問題点は、車両通行時の振動や衝撃による影響による増厚部と既設床版との界面で剥離するという懸念があり、疲労耐久性と一体化に問題があった。この原因は、網鉄筋の定着方法と未処理のひび割れの開閉および網鉄筋と既設床版下面間のポリマーセメントモルタル未充填に起因するものである。そこで、網鉄筋定着にはテープ付きアンカーを考案し、30cm間隔に圧着定着することで車両通行時の振動およびひび割れの開閉を抑制した。次に、本工法の特長であるひび割れ注入は、一般的なひび割れに沿った線の対策ではなく、増厚施工面全面を対象とした面の対策である。樹脂注入のメカニズムを図-4に示した。定着用テープ付きアンカーとは別に、60cm間隔で千鳥配置した樹脂注入用テープ付きアンカーからエアタンク方式の低圧注入工法で注入すると、まず、従来工法の問題点の網鉄筋と既設床版下面間のポリマーセメントモルタル未充填部の網鉄筋に沿って樹脂が注入される。次に、この網鉄筋と交差する樹脂導入路（カッター溝）へ、樹脂が流れ隣りの網鉄筋に沿って樹脂注入される。最後に、カッター溝および網鉄筋とひび割れの交差部から0.1mm未満のひび割れまで樹脂注入される。この樹脂注入状況の確認は、山口大学で行った輪荷重走行試験後の試験体および長野県道路公社でプレキャスト床版に取替工事を予定していた橋梁

（工事1年前に施工）から、コア採取および切出し床版より紫外線撮影を行って確認した。（写真-1）上述したように、網鉄筋付近のポリマーセメントモルタル未充填部や0.1mm未満のひび割れに樹脂を確認できた。遊離石灰が見られた実橋床版のひび割れに樹脂注入されていたが、これはカッター溝が遊離石灰の影響を除去するクロスカット注入法（土研資料：コンクリート構造物の補修施工対策マニュアル（案）平成28年8月「析出物のあるひび割れへの対処方法」と同様の効果があつたものと考えられる。²⁾なお、上記の確認報告³⁾（「三才山トンネル有料道路の橋梁床版長寿命化対策について（本沢橋床版取替えに伴う旧床版の切出し調査報告）」は、平成27年度土木学会中部支部の維持管理部門の技術賞を受賞している。

2.3 土研の輪荷重走行試験による疲労耐久性の確認

車両の増加・大型化そして過積載に伴う既設道路橋RC床版の補強の必要性が高まり、各種の補強工法が提案されていった。しかしながら、これらの工法の有効性についての実験的検証は開発各社が独自に行っており、同一条件でその有効性を確認する評価方法の確立が望まれていた。つくば市にある当時の建設省土木研究所橋梁研究室では、2台の輪荷重走行試験機を導入し、一般的なRC床版の耐久性に関する評価手法をほぼ確立していた。そこで、評価手法が十分に確立されていない床版補強工法の統一的な耐久性に関する評価手法を確立することを目的

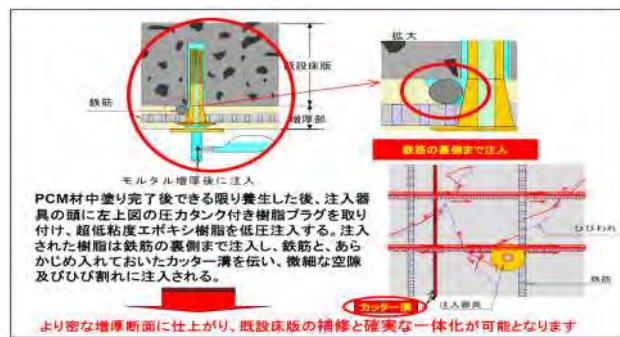


図-4 樹脂注入のメカニズム

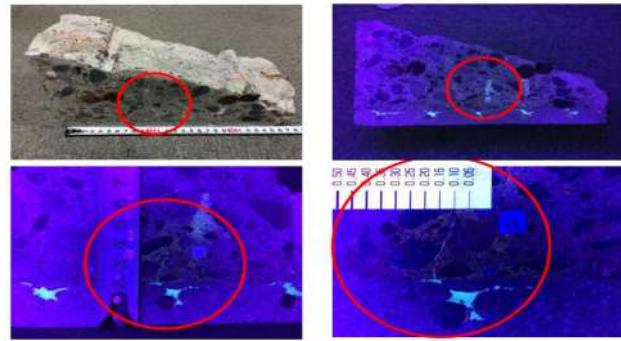


写真-1 実橋切り出し床版の樹脂注入状況

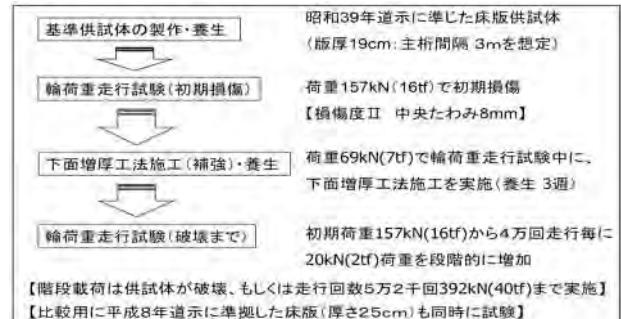


図-5 輪荷重走行試験の概要

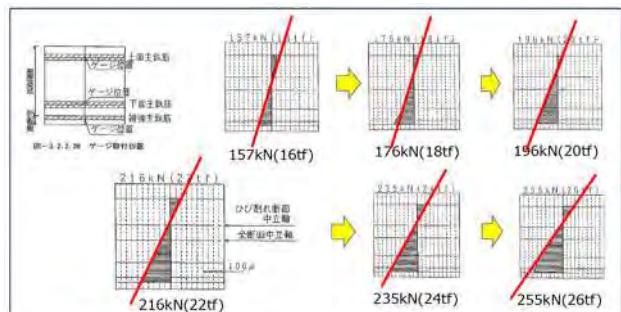


図-6 載荷試験時の各荷重におけるひずみ分布



図-7 床版の中央変位と走行回数
として現在開発が進んでいる各種の補強工法について実

大の RC 床版を用いて輪荷重走行試験機を用いた疲労耐久試験にて、土木研究所橋梁研究室と各開発会社が共同で検討を行った。⁴⁾試験概要および結果の一例を図-5 および図-6, 7 に示した。一体化の保持は各鉄筋のひずみによる比率から、補強後の養生時荷重 69 kN から 176 kN まで全断面有効の理論比率に近い値を示し、235 kN まで一体化の保持が確認された。また、試験体の中央変位と走行回数の関係より 156 kN 初期から 216 kN 終了まで新設床版（平成 8 年道路示方書：版厚 25 cm）と補強試験体（昭和 39 年道路橋示方書：版厚 19 cm + 下面増厚工法 3 cm）の疲労による変化および載荷時のたわみ（変形）が近似値で、ほぼ同様の疲労耐久性と曲げ剛度を有していた。これらは、明らかにテープ付きアンカーとひび割れ補修の相乗効果と考えられる。一般的に RC 床版の補強計算では、応力検討のみでたわみに関する検討は行っていない。これらの結果より、本工法はたわみによる影響が懸念される床版厚が薄い、または、床版支間が大きい場合に有効な補強工法と判断できる。また、ひび割れ補修、かぶり厚さ確保および各種劣化因子侵入抑制効果があることから補修工法としても活用できる。

3. 施工事例

以下に紹介する施工事例は、いずれも橋面対策（土砂化処理および防水層設置）を先行施工後に実施した。

3.1 長野県 推奨土木遺産の保全 昭和橋⁵⁾（写真-2）

昭和橋は、1937（昭和 12）年に完成した長野県の千曲川に架かる 1 等橋（大正 15 年、昭和 14, 31 年道示）RC ローゼ橋（9 連）+ 鋼 3 径間ゲルバー橋の橋梁である。土木学会から 2002 年に「長野県技師中島武の創意によって生まれた世界最初の鉄筋コンクリート・ローゼ桁の一群」として選奨土木遺産に選考されている。2013 年に長寿命化計画策定業務の補修計画（案）等を基に、外観変状調査や各種試験による劣化要因分析を行い、必要な補修設計を実施した。この劣化原因是、主桁拘束の影響と床版厚の不足および床版支間長から床版の剛性不足による疲労劣化に加えて、微細なひび割れに水分が浸入し、凍結融解の繰返し作用により床版の劣化を加速させたと考察された。歴史的な橋梁（土木遺産）であることを踏まえ、現状の使用状況を勘案して床版補修の目的を①ひび割れ補修と劣化抑制、②床版疲労に対する剛性と耐荷力向上、③漏水対策そして歴史的な橋梁（土木遺産）としての景観を考慮した対策、④目視点検が可能で維持管理が容易として対策工法を検討した結果、ひび割れ補修併用下面増厚工法を採用した。

3.2 秋田県 B 活荷重補強 生保内橋⁶⁾（写真-3）

生保内橋は、1967 年（昭和 42 年）に秋田河川国道事務所管内の一般国道 46 号に架設された単純 6 径間鋼リベ

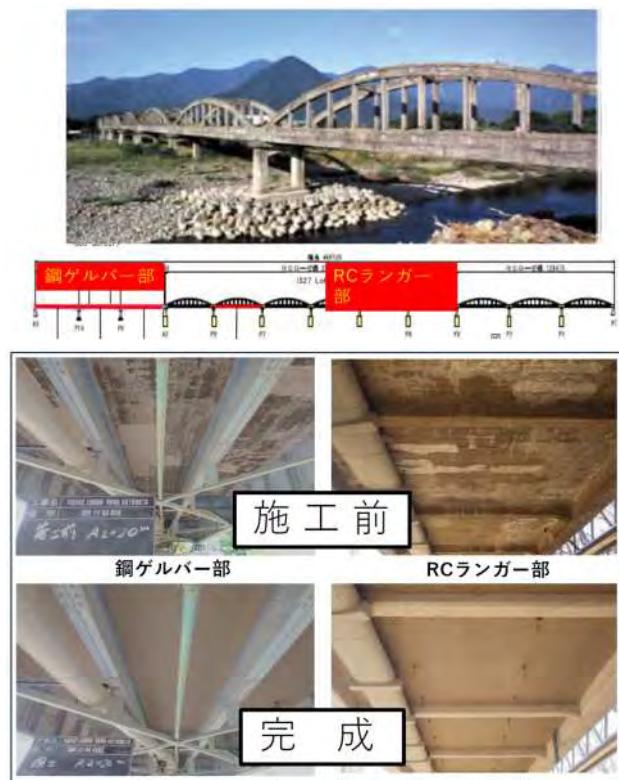


写真-2 推奨土木遺産の保全 昭和橋



写真-3 B 活荷重補強 生保内橋

ット合成鋼桁橋である。計画交通量は 1,150 台/12Hr（大型車混入率 15.2%）で供用開始後 48 年が経過し、その間に上部工は定期的な塗装、防護柵や伸縮装置および舗装・防水の補修および打換えが行われ、下部工は根固め工や橋脚巻立ての耐震対策が施されている。周知のように、直轄国道では、全ての橋梁に対して平成 16 年度より 5 年

に1回の定期的な点検結果に基づき、橋梁毎に対策の要否を診断し、道路利用者の安全確保のため補修・補強等の計画を策定して予防的な修繕を含んでの長寿命化に取組んでいる。今回、各部材の経年劣化に加えて床版ひび割れの進行が見られ、床版の耐荷力不足が懸念されることから打換えを含む床版補強が検討された結果、ひび割れ補修併用下面増厚工法による対策を採用了。

3.3 長野県 B 活荷重補強 油戸橋⁷⁾（写真-4）

油戸橋は、1976年(昭和51年)に長野県の東西県土一体化を図る目的で取組まれた国道254号の三才山トンネル有料道路に架設された1等橋TL-20(昭和47年道示)主径間 単純合成桁+単純ホロースラブの橋梁である。開通後、東信・中信地域、北関東と中京方面を結ぶ大動脈として平成23年度は年間2,545千台の通行があり、その内40%を大型車が占めている。供用開始後36年が経過し、凍害・塩害(凍結防止材)と大型車の繰返し戴荷による疲労の影響で床版の損傷が顕著となり、毎年の小規模な維持管理での対応が困難な状況となっていた。そこで修繕対策の基本方針を①通行規制が少なく、②施工後の日常点検が可能な方法を官民一体で検討および協議を重ねた結果、上下からの床版増厚工法を採用了。また、この橋梁長寿命化対策工事を実施後に、対策効果を施工段階毎に実橋戴荷試験を行って確認した。なお、本工事報告は平成24年度の土木学会中部支部の維持管理部門で技術賞を受賞している。

3.4 山形県 鋼板接着工法の再補強 鮭川橋（写真-5）

鮭川橋は、1962年(昭和37年)に一般県道平田鮭川線に架設された2等橋TL-14(昭和31年道示)6径間単純活荷重合成鋼桁橋である。供用開始後50年が経過し、その間に主桁塗装、地覆高欄取替え、伸縮装置、桁座拡幅および舗装・防水の補修および鋼板接着工法による床版補強(平成5~7年)が行われている。平成23年度に床版上面の土砂化、床版下面の接着鋼板に50%程度の浮き音と部分的に著しい発錆が確認された。接着鋼板の状況から再注入による補修はその効果が懸念されるために行わず、長寿命化対策を考慮して対策後に床版下面を目視点検できる工法(炭素繊維格子貼り接着工法、下面増厚工法および上面増厚工法)で再補強を検討した結果、土研の輪荷重走行試験を重視してひび割れ補修併用下面増厚工法を採用了。施工時には現況床版の状況を考慮して、次の対策方針を実施した。①鋼板撤去して断面修復後に再補強。②鋼板撤去した時点で床版の耐荷力が2等橋に低下するため、通常は行わない通行規制(片側一車線)を再補強完了まで終日実施。③通常はかぶり部に定着するアンカーを既設床版部まで深く定着し、断面修復部と既設床版の一体化および既設床版のひび割れ補修等を期待して樹脂注入用アンカー削孔も既設床版部まで削孔を実施した。

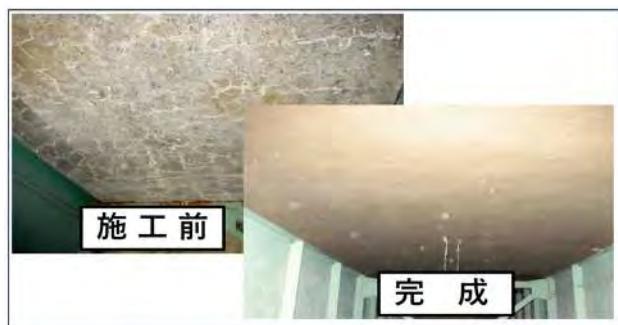


写真-4 B 活荷重補強 油戸橋



写真-5 鋼板接着工法の再補強 鮭川橋

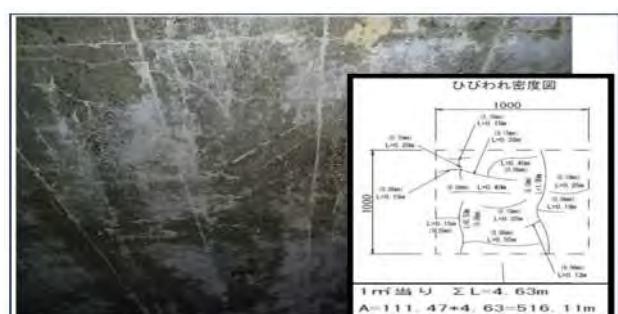
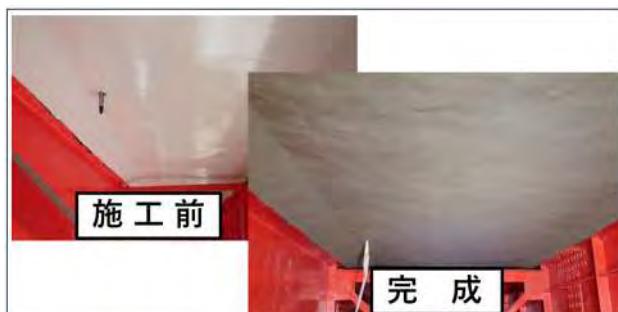


写真-6 全面貼り CFRP シートの再補強 第二多里橋

3.5 鳥取 CFRP 工法の再補強第二多里橋（写真-6）

第二多里橋は、1972年(昭和47年)に国道183号に架

設された1等橋TL-20(昭和39年道示)単純活荷重合成鋼桁橋である。供用開始後47年が経過し、その間に耐震対策(桁座拡幅および変位制限装置)や伸縮装置止水工、ひび割れ補修、舗装・防水の補修および炭素繊維接着工法による床版補強(平成13~14年)が行われている。平成24年度に実施された定期点検で変状度Ⅲ以上が確認されたので、劣化・損傷の状況確認、原因分析を目的とした詳細目視調査の結果を基に対策工法を検討した。その結果、ひび割れ補修と疲労耐久性が向上して通常のRC床版と同様の維持管理ができるひび割れ補修併用下面増厚工法を採用した。

3.6 長野県 CFRP プレート工法の再補強 天白橋(写真1,8)

天白橋および細越橋は、1974~75年(昭和49~50年)に主要地方道長野大町線に架設された橋長44.3mおよび30.7mの1等橋TL-20(昭和47年道示)単純鋼鉄桁橋である。供用開始後約50年が経過し、床版下面の全体的に遊離石灰を伴うひび割れが発生したため、平成25年(2013年)に全体の約8割をCFRPプレートによる床版補修が行われたが、床版の損傷度は改善されていない状況であった。床版の劣化・損傷の状況から原因を分析して対策工法を検討し、たわみ改善と遊離石灰を伴うひび割れ対策としてひび割れ補修併用下面増厚工法を採用した。

3.7 施工後の健全度(図-8)

本工法は、初施工後20年以上経過している。協会独自で追跡調査を行っているが、施工実績から施工後の健全度を全国道路施設点検データベースで調査した結果、65%が判定I、30%が判定II、5%が判定IIIと非常に良好な状況で長期耐久性を有していることが判明した。

4. おわりに

現在、全国で橋梁の長寿命化対策が計画的に行われている。しかしながら、比較的軽微な損傷に対してはマニュアル化されているが、最後に紹介したような補修・補強および再補強の対策事例を殆ど見ることは無い。補修・補強工事は、新設工事と違い現状に応じた検討を行っての対策が必須である。また、対象橋梁ごとに個別に施工条件、環境条件、使用条件等によって様々な材料・工法の知識の組合せと工事目的を十分に把握しての臨機応変な対応が求められる。したがって、補修強工事の情報の公開や交換を行い、経験が共有できる仕組みが求められる。本文が、今後の橋梁長寿命化対策の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 鋼構造シリーズ27(道路橋床版の維持管理マニュアル) 2016 土木学会



写真-7 CFRP プレート工法の再補強 天白橋



写真-8 CFRP プレート工法の再補強 天白橋施工状況



図-8 施工後の健全度(95%が判定IおよびII)

- 2) 土研資料第4343号(コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル(案)) 平成28年8月
- 3) 宗栄一、手塚敏徳、牧角龍憲、宮澤健一:三才山トンネル有料道路の橋梁床版長寿命化対策について(本沢橋床版取替えに伴う旧床版の切出し調査報告),土木学会中部支部研究発表会, VI-007, 2016.3
- 4) 道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同報告書(その2),建設省土木研究所, 平成11年10月
- 5) 宗栄一、竹中謙、片桐崇、関口守:土木学会選奨土木遺産 長野県昭和橋の樹脂注入併用型下面増厚工法による長寿命化対策, 土木学会第74回年次学術講演会 VI-1011, 令和元年9月
- 6) 宗栄一、小松剛、西川貴志、杉山幸一:生保内橋床版補強工事報告(樹脂注入併用型下面増厚工法による長寿命化対策) 土木学会第72回年次学術講演会, VI-687, 平成29年8月
- 7) 宗栄一、手塚敏徳、久保田努、新井千景:三才山トンネル有料道路油戸橋橋梁修繕工事報告, 土木学会中部支部研究発表会, VI-007, 2013.3,

(2024年7月12日受付)