

道路橋床版の補修補強

— 樹脂注入併用型下面増厚工法による事例紹介 —

一般社団法人 日本建設保全協会技術部長 宗 栄 一

1. はじめに

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は補修補強事例が多い。また、疲労損傷に環境による複合劣化が加わった損傷事例が多く、そのため補修補強後の再補修や再補強が必要になっている。

筆者は、昭和51年から平成23年の間、補修補強の専門会社で実験研究、実施設計および施工に従事し、塩害、アルカリ骨材反応を含む各種の劣化や補修補強関連技術にリアルタイムに接してきた。これらの経験を生かして、(社)日本建設保全協会(www.hozen.gr.jp)に所属して鉄筋コンクリート構造物の補修補強や維持管理に携わっている。

本稿は、(社)日本建設保全協会の活動で定期的に開催している「道路橋の長寿命化対策に関わる技術講習会」での講演内容を中心にして道路橋床版の補修補強に関して述べるものである。

2. なぜ、鉄筋コンクリート床版の補修補強が必要か？

(1) 過酷な使用状況と道路橋示方書の変遷¹⁾

鉄筋コンクリート床版は、鉄筋コンクリート構造物で最も過酷な使用状況である。僅か20cm程度の厚みの版に舗装を介して輪荷重(車両総重量25トン)の衝撃や繰り返し荷重を直接受ける。輪荷重とは、大型車両のことで道路橋示方書に規定されている。道路橋示方書は、橋梁を設計する時の技術基準である。表-1に道路橋示方書の変遷を示した。社会情勢の変化によって、鉄道輸送から道路輸送へ物流が変わり、戦後の高度成長期に大型車両の総重量は戦前の13トンから20トン、更に現行では25トンと約2倍に増加している。また、曲げモーメント式、鉄筋の許容応力度、配力鉄筋量および最小床版厚が改訂されたにも関わら

表-1 技術基準の変遷

適用基準 および示方書	発行 年月	輪荷重 P [kgf]	曲げモーメント式		鉄筋の 許容応力度	配力 鉄筋量	最小床版厚
			主鉄筋方向	配力筋方向			
道路橋示方書	昭31.5	8,000	0.4(L-1) L+0.4 (ただし、 2<L≦4m)	規定なし	SR24 1,400 kgf/cm ²	主鉄筋の 25%以上	14 cm
道路橋示方書	昭39.6				SD30 1,800 kgf/cm ²		
鋼道路橋の一方 向鉄筋コンクリ ート床版の配 力鉄筋量設計 要領	昭42.9				SD30 1,400 kgf/cm ²	3L+11≧16 cm	
鋼道路橋の床 版設計に関 する暫定指 針(案)	昭43.5	SD30 1,400 kgf/cm ²	k1・k2・d0 d0=3L+11≧ 16 cm				
鋼道路橋の鉄 筋コンクリ ート床版の設 計について	昭46.3			SD30 1,400 kgf/cm ²	曲げモー メントを 規定		
道路橋示方書	昭48.2	SD30 1,400 kgf/cm ²	床版支間は 3m以内が望 ましい。				
鋼道路橋の鉄 筋コンクリ ート床版の設 計施工につ いて	昭53.4			SD30 1,400 kgf/cm ² 200 kgf/cm ² 程 度余裕を持た せる。	k1・k2・d0 d0=3L+11≧ 16 cm		
道路橋示方書	昭55.2	8,000 (9,600)	0.8(0.12L +0.07)P			0.8(0.10L +0.04)P	SD30 1,400 kgf/cm ² 200 kgf/cm ² 程 度余裕を持た せる。
	平2.2						
	平6.2						
	平8.12						
平14.3	10,000						

ず、通行規制が無い限り、大型車両は旧基準の橋梁を通行しているのである。また、現行基準ではRC床版の耐用年数は100年とされているが、旧基準では示されていない。地方道には、戦前戦後の旧基準の橋梁が多く存在して供用されている。したがって、従来からこれらの橋梁のRC床版が損傷を受けて補修補強が行われてきたのである。

(2) 鉄筋コンクリート床版の疲労に対する耐久性に必須な床版の最小全厚と鉄筋の応力度の制限値

道路橋示方書は定期的に見直され、最新版(平成29年版)²⁾で初めて「コンクリート系床版の疲労に対する耐久性」として設計耐用期間を100年とする場合の規定を定めた。これは車道部分の床版の最小全厚と鉄筋の応力度の制限値である。まず、床版の最小全厚は、一般的な鋼橋の場合、例えば主桁間隔が3mでは20cm(3×3+11=20)となる。更に大型車交通量や支持桁の剛度差による付加モーメントを考慮して求めるものである。これは、床版の設計の基本に「床

版は活荷重に対して疲労耐久性を損なう有害な変形が生じないようにしなければならない。」という項目がある。この変形(たわみ)によってひび割れが発生し、繰り返し通行による疲労損傷に雨水の影響が加わると、疲労に対する耐久性が著しく損なわれると解説されている。したがって、床版には必要な版厚を有することが重要である。既設橋梁で昭和53年の道路橋示方書以前の床版は、交通量割増しが無い設計なので床版厚不足により疲労耐久性に問題があるといえる。

次に、鉄筋の応力度の制限値が120N/mm²とされた。これまでは、140N/mm²で有害なひび割れの発生を防ぐ意図と支持桁の不等沈下の影響を考慮して20N/mm²の余裕を持たせることが望ましいという表現に留まっていた。しかしながら、耐久性の前提に影響を与えるひび割れの発生を抑えるため、従来の考え方を踏襲して応力度の制限値を低めに抑えた方が安全であるという考えからこのような規定とされているのである。既設橋梁の場合、設計時の許容応力度に余裕を持たせていない場合があるために有害なひび割れが

発生する可能性が高い。

また、鉄筋量の計算は昭和31年および39年では主鉄筋のみの計算を行い、配力鉄筋は主鉄筋のわずか25%であった。その後、昭和42年に70%に改定されたが2方向版としてのバランスに問題があり、床版全厚不足による疲労劣化も加わり早期損傷に繋がった。現行の配力鉄筋方向の曲げモーメントによる計算が行われたのは、昭和46年以降の橋梁からである。

(3) 床版防水と土砂化について

前述に雨水の影響を述べたが、図-1にRC床版の損傷過程¹⁾を示した。この図を見ると、貫通したひび割れから雨水の影響により損傷が加速されることが分かる。このような現象は、周知の通り、昭和62年に大阪大学の松井名誉教授の研究³⁾により水が滞留した床版に繰り返し荷重が加えられるとコンクリート中の骨材とセメントの間にすり磨き現象が生じてくることが解明されていた。また、近年はこの雨水の影響と輪荷重作用位置および凍結融解作用等による土砂化が加わって、床版の損傷を加速させている。しかしながら、上述した雨水の影響を抑える防水層の設置が明記されたのは平成14年の道路橋示方書からであった。

3. 補修補強設計および施工の留意点

補修補強設計および施工の留意点は、決して机上の検討だけで終わらせないことである。既設橋梁は設計図書が存在していても、その通りに出来ていないことが多い。また、個別の施工条件を考慮した材料や工法の選定や、多くの施工経験を含む技術が必要である。新設の設計とは根本が違い、現地確認・調査から損傷原因の推定を行って、補修補強方法の検討を行わなければならない。施工にあたっては、補修補強の設計図書を基本設計として再度、足場上から現地の状況を把握し照査することが重要である。したがって、補修補強は逆算で施工設計一体型が望ましい。特に、発注図通りに施工が出来ないことが多いために臨機応変な対応や経験が重要である。例えば、施工空間には制限があり、施工時間や障害物(添架物)による制約等の問題を解決しながら施工を進めていかななければならない。既設橋梁は、個別論である。設計施工時期が同じでも、使用環境や交通量に

RC床版の損傷過程

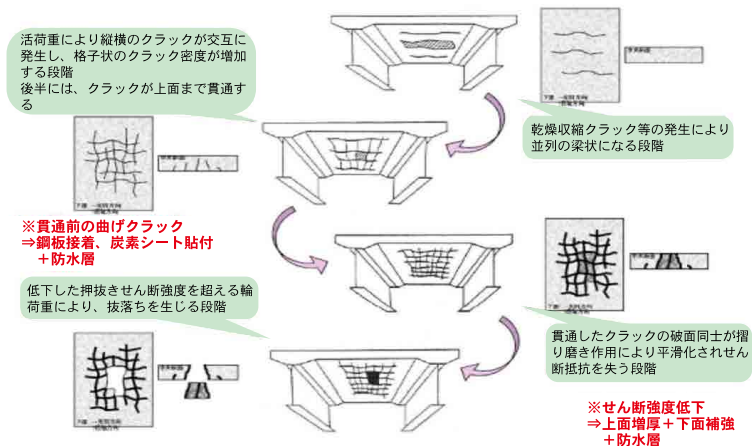


図-1 RC床版の損傷過程

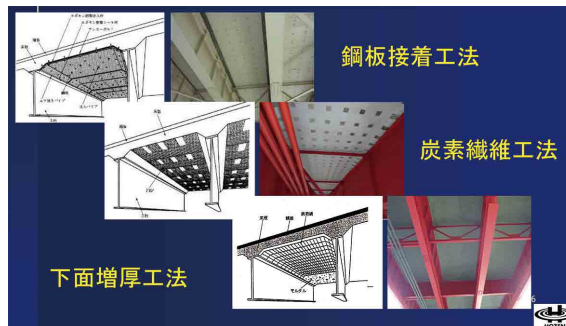


図-2 道路橋RC床版の現行の長寿命化対策工法

よって劣化損傷状況は異なる。更に、複合劣化の場合、施工順序や材料の組合せの相性および期待耐用年数を明確にすることが大切である。

また、施工後の再劣化を抑制するには、施工時において発注者、施工者が設計思想の理解と共有に努める必要がある。想定と異なる損傷や新たな損傷が見つかった場合には、速やかに発注者(監督員)に報告して、三者会議を開催する。そして、工法の変更および新たな工種の追加の可否判断をする。これらによって、各々の経験値が増し、施工後の再損傷の発生を抑えることができ、真の長寿命化対策となる⁴⁾。

纏めると、既設鉄筋コンクリート床版の補修補強設計時に考慮すべき事項は、次のとおりである。①最小全厚を確保して有害な変形を抑制する、②既設鉄筋や補強部材の応力度の制限値(120N/mm²)を遵守する、③土砂化等の床版上面を修復する、④防水層を設置する、⑤補修補強工法は、新技術の活用や国土交通省から提案されている輪荷重走行試験機を用

いた階段状荷重漸増増載荷による試験で疲労耐久性が確認されている工法を採用する、⑥複合劣化の場合は現地調査を行い、損傷原因を明確にして施工順序や材料の組合せの相性および期待耐用年数を明確にすることが肝要である。

4. 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-2)。各工法の特長を以下に示す。

(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、エポキシ樹脂注入等で既設床版下面に接着して耐力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

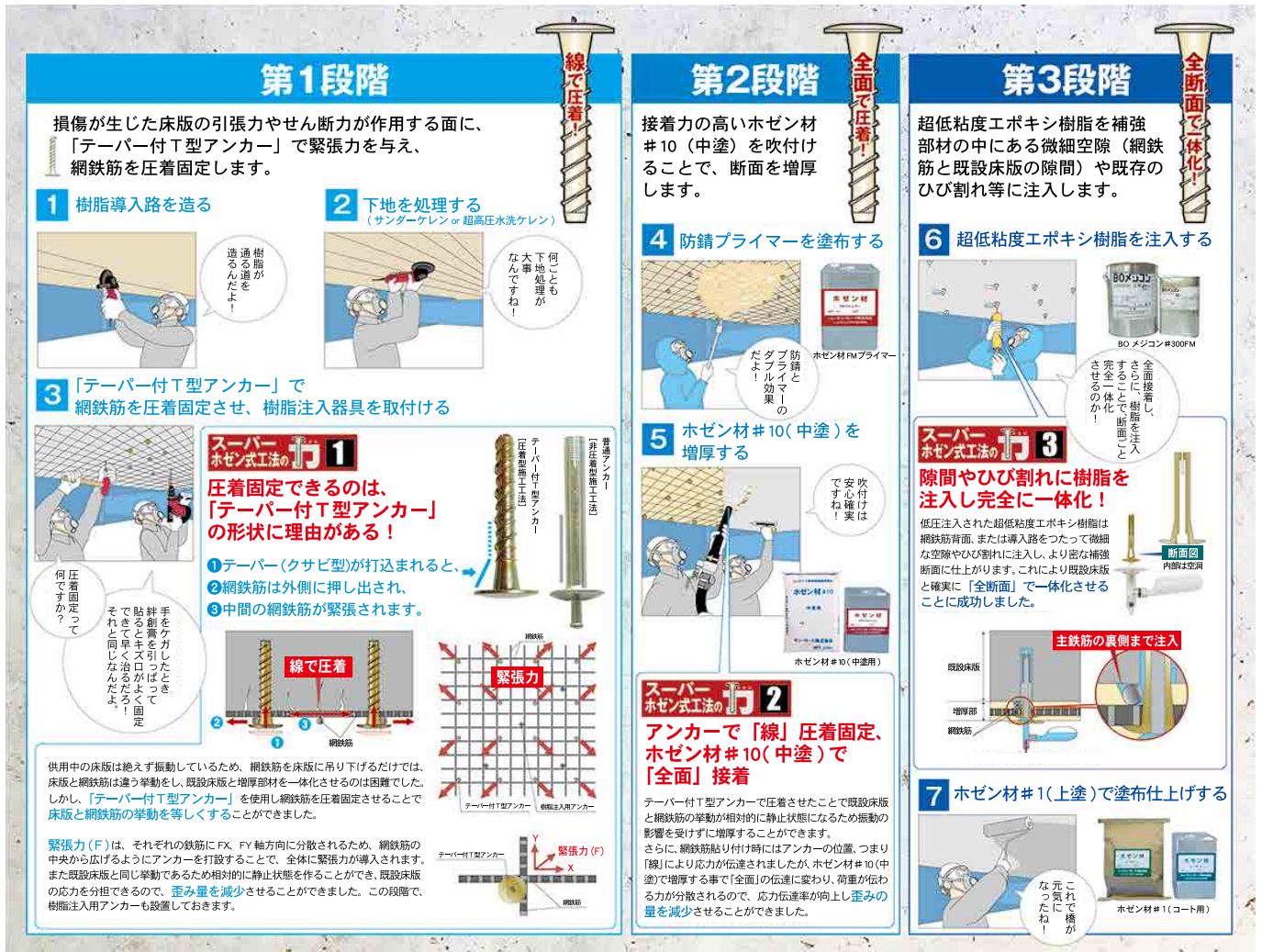


図-3 スーパーホゼン式工法の施工手順

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、補強鋼板の落下と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。

(2) 炭素繊維接着工法

鋼板接着工法の腐食問題解決策として、鋼板の代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滞水の問題があり、格子張りとなった。軽量のため、作業性がよく比較的安価である。更に、長寿命化計画の参考工法として事例で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、維持管理として格子状の角間からのひび割れ等点検は難しく、経年劣化による上塗り塗装の塗替えが必要と(公社)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となり、この維持管理費用を見込む必要がある⁵⁾。

(3) 下面増厚工法

昭和60年代から行われ、6mmの溶接網鉄筋をアンカー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ような床版面に仕上がりに、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で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。

5. 樹脂注入併用型下面増厚工法の紹介

前述の下面増厚工法の問題点を解決した樹脂注入併用型下面増厚工法(スーパーホゼン式工法)を紹介する。本工法は、耐荷力性能不足が懸念される道路橋床版等に対して車両通行規制を行わず、下面から補強網鉄筋をテーパ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工法である。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に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月の中央道笹子トンネル天井板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、18,000㎡を超えている。以下に、樹脂注入併用型下面増厚工法の詳細を述べる。

(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 (H 30/02/15) で、技術の位置付け (有用な新技術) としては活用促進技術 (新技術活用評価会議 (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、特定の性能また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。現在、下面増厚工法で NETIS 登録され、事後評価および活用促進技術認定技術は、本工法だけである。

(2) 従来工法の問題点と解決策

従来工法は、車両通行時の振動や衝撃の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パ付きアンカーを考案し、30cm間隔に圧着固定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。定着用テーパ付きアンカーとは別に、60cmおきに千鳥配置した樹脂注入用テーパ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、樹脂が流れて隣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

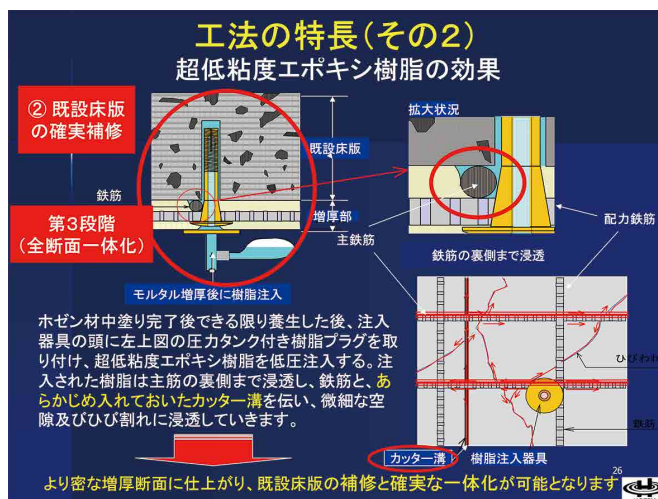


図-4 樹脂注入のメカニズムとその効果

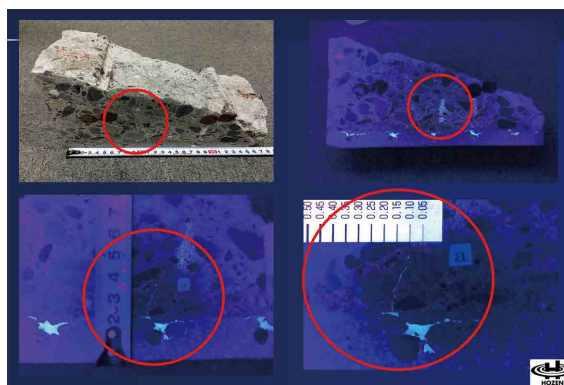


図-5 実橋床版の樹脂注入状況

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 (図-5)。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 (国研) 土木研究所資料: 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」) と同様の効果があったものと考えられる⁶⁾。なお、上記の確認報告⁷⁾「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。

(3) 国研) 土木研究所の輪荷重走行試験による疲労耐久性の確認⁸⁾

車両の増加・大型化に伴う既設道路橋 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る。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。

本研究は、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物大の 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、(国研) 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ものである。

試験概要および結果の一例を図-6および図-7, 8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 69kN から 176kN まで全断面有効の理論比率に近い値を示した。235kN 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

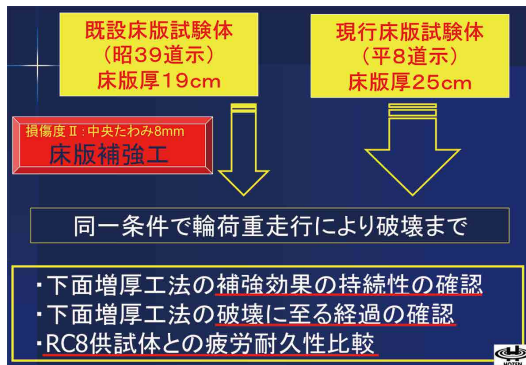


図-6 輪荷重走行試験の概要

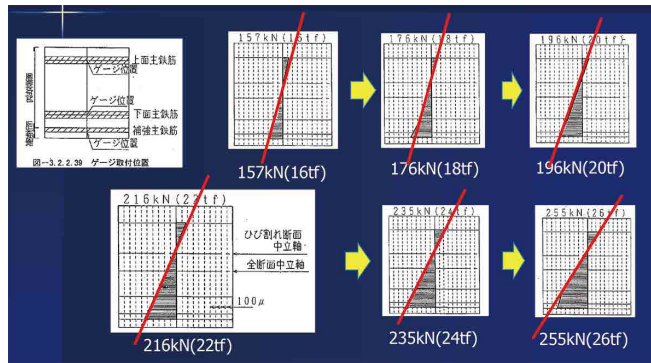


図-7 載荷試験時の各荷重におけるひずみ分布

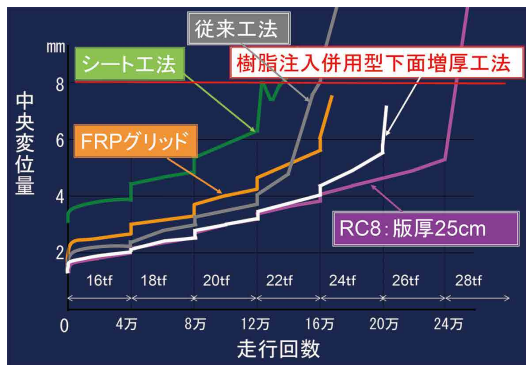


図-8 床版の中央変位と走行回数

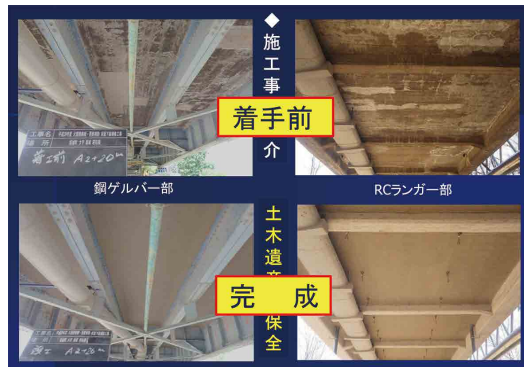


図-9 昭和橋（長野県埴科郡坂城町）H31年3月

係より156kN初期から216kN終了まで新設床版（平成8年道路示方書：版厚25cm）と補強試験体（昭和39年道路橋示方書：版厚19cm+下面増厚工法2.4cm）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。

(4) ポリマーセメントモルタルの各種性能

ポリマーセメントモルタルは、従来から断面修復材として用いられており中性化や塩害および凍結融解性はJISに準拠した試験で確認されている。特に、積雪寒冷地で重要な凍結融解性については、群馬工業高等専門学校にて北海道北見市の冬季日平均（3℃～-10℃）を想定した「繰返し気中凍結水中溶解試験」を6,000サイクル（約4年間相当）実施して補強性能に問題のないことを確認している⁹⁾。

(5) 下面増厚工法による死荷重増加について¹⁰⁾

増厚工法を検討する時に、死荷重増加による影響が話題となる。この件に関し

て、「下面増厚により上部工の死荷重が増加するが、増厚70mm程度では橋梁の上部工全死荷重の5～6%程度の増加である。このため、下面増厚に伴う死荷重増加に対する主桁や床組みの補強は基本的に行わなくともよい。」と道路橋床版の維持管理マニュアル土木学会2012年6月に明記されている。

6. 施工事例紹介

最後に代表的な補修、補強および再補強事例を紹介する。

(1) 長野県推奨土木遺産の保全昭和橋¹¹⁾（図-9）

昭和橋は、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。土木学会から平成14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。平成25年に長寿命化計画策定業務の補修計画（案）などをもとに、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。この劣化原因は、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て樹脂注入併用型下面増厚工法（スーパーホゼン式工法）を採用した。なお、補修工事は、現在も継続施工されている。

(2) 長野県三才山トンネル有料道路油戸橋¹²⁾（図-10）

油戸橋は、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+単純ホロスラブの橋梁である。開通後、東信・中信地域、



図-10 油戸橋（長野県道路公社）H24年6月



図-11 鮭川橋（山形県最上総合支庁）H28年2月

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）と大型車の繰返し载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した。また、この橋梁長寿命化対策工事の実施中に、対策効果を施工段階毎に実橋载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）山形県鋼板接着工法で補強された床版を再補強鮭川橋¹³⁾

（図-11）

鮭川橋は、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、(国研)土木研究所の輪荷重走行試験を重視して樹脂注入併用型下面増厚工法を採用した。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鋼板を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。

7. 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情報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、補修補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。本稿が、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) 道路橋示方書の変遷 土木学会鋼構造委員会第34回鋼構造基礎講座2017
- 2) 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋・鋼部材編 平成29年11月 日本道路協
- 3) 道路橋床版の長寿命化技術 松井繁之〔編著〕森北出版(株)
- 4) 山形県橋梁長寿命化総合マニュアル(案) 平成23年6月
- 5) 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
- 6) (国研)土木研究所資料第434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
- 7) 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) VI-007 土木学会中部支部研究発表会(2016.3) 宗、手塚、牧角、宮澤
- 8) 共同研究報告第233号1999年10月 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)-標準試験方法及び第2回試験報告-
- 9) スーパーホゼン、繊維シートを用いた供試体の繰返し温度変化に対する変形性能 V-42 第42回土木学会関東支部技術研究発表会(2015.3) 田島、田中
- 10) 道路橋床版の維持管理マニュアル 土木学会 2012年6月
- 11) 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 VI-1011 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会 宗、竹中、片桐、関口
- 12) 三才山トンネル有料道路 油戸橋橋梁修繕工事報告(床版の上下増厚工法による長寿命化対策) VI-007 土木学会中部支部研究発表会(2013.3) 宗、手塚、久保田、新井
- 13) 鋼板接着工法で補強された床版の樹脂注入併用型下面増厚工法による再補強工事報告 VI-237 土木学会第73回年次学術講演会(平成30年8月) 宗、伊藤、福岡、宮林