

戦-44. 補修・補強効果の長期持続性・耐久性に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 21～平 24

担当チーム：橋梁構造研究グループ

研究担当者：星隈順一、薄井稔弘

【要旨】

道路橋に対して現場で実施されている補修・補強工事について、その補修・補強の効果や長期持続性・耐久性、コスト、追加補修の必要性の判断等について評価を実施するとともに、現場において適切な補修・補強工法を選定、維持管理するためのガイドライン（案）を提案することを目的として調査研究を実施している。平成 21 年度は対象となる補修・補強工法を整理するとともに、疲労・塩害・ASR の三大損傷に対する補修及び耐震補強の事例について補修・補強後のフォローアップ調査を実施し、その効果の持続性という観点から、これら補修・補強工法の課題について整理を行った。

キーワード：補修、補強、長期持続性、耐久性、三大損傷、耐震

1. はじめに

供用開始から 50 年を経過する橋梁が今後加速度的に増加することから、橋梁の老朽化に対して適切に維持管理していくことが社会的重要事項となっている。これら老朽化した橋梁には、有効かつ適切な補修・補強工法を適用していくことが必要である。しかし、これまでに実施されてきた補修・補強工法において、その後の劣化・耐久性に関しては十分なデータが取られておらず、適切な補修・補強工法の選定という観点からも補修・補強工法の効果の長期持続性の評価研究を行うことが不可欠である。

本研究は、道路橋に対して現場で実施されている補修・補強工事について、その補修・補強の効果や長期持続性・耐久性について評価を実施するとともに、これを踏まえ、現場において適切な補修・補強工法を選定、維持管理するための参考とできるように調査・検討を行うものである。

初年度となる平成 21 年度は、対象となる補修・補強工法を整理するとともに、疲労・塩害・ASR の三大損傷に対する補修及び耐震補強の事例について補修・補強後のフォローアップ調査を実施し、これら補修・補強工法の課題について整理を行った。

2. 補修・補強工法の整理

実橋におけるフォローアップ調査を有効に実施するために、予め対象となる補修・補強工法を整理した。整理に当たっては文献 1)～4)を参考に、損傷の原因、損傷の状況、補修・補強の材料、補修・補強の目的等

の観点別に整理を行った。整理した補修・補強工法の一覧表の一例を表 2.1 に示す。

3. フォローアップ調査

3.1 疲労損傷の事例

3.1.1 RC 床版の損傷事例

RC 床版の疲労による損傷事例として、平成 16 年に床版の抜け落ち（写真 3.1）が発生した橋梁のフォローアップ調査を実施した。

当該橋梁は 5 連の鋼単純合成鈹桁橋である。損傷の原因としては、舗装のひび割れ等からの水の浸入による局所的な疲労の急速な進行によるものと考えられる。このため補修としては、平成 16 年に応急的な措置として鋼板の敷設を実施し、架替えを数年後に控えていたことから床版の部分打換え、舗装の全面打換え、防水層の設置を実施している。

フォローアップ調査の結果としては、写真 3.2 に見られるように、既設床版や打換え部等にひび割れ箇所が見られたが、漏水箇所や極端に劣化が進行している箇所は見られず、当面の耐久性は確保されているもの



写真 3.1 RC 床版の抜け落ち

表 2.1 補修・補強工法の一覧表

部位	種別	損傷原因	補修方針	工法	細分工法	(一般的な)使用範囲
上部工 下部工	コンクリート	初期欠陥、 施工不良	ひびわれの補修	ひび割れ被覆工法		ひび割れ幅0.2mm以下
				ひび割れ注入工法		ひび割れ幅0.2~0.5mm
				充填工法		ひび割れ幅0.5mm以上
				電気化学的防食工法	電着工法	海水中(電解質溶液必要)
		コンクリートの浮き、剥離、鉄筋露出の補修	断面修復工法(鉄筋防錆工法)	モルタルパッチング工法	欠損断面 小	
				プレバックドコンクリート工法	欠損断面 大	
				吹付け工法	欠損断面 小、広	
		補修後等の劣化因子の遮断	表面被覆工法	塗膜被覆工法		
				モルタル被覆工法		
	剥落防止	剥落防止工法				
	塩害	コンクリートの浮き、剥離、鉄筋露出の補修	断面修復工法(鉄筋防錆工法)	モルタルパッチング工法	欠損断面 小	
				プレバックドコンクリート工法	欠損断面 大	
				吹付け工法	欠損断面 小、広	
		浸入した塩化物イオンの除去	電気化学的防食工法	脱塩工法		
		補修後等の劣化因子の遮断	表面被覆工法	塗膜被覆工法		
				モルタル被覆工法		
	鉄筋の電位制御	電気化学的防食工法	電気防食工法	陸上部		
	剥落防止	剥落防止工法				
	中性化	コンクリートの浮き、剥離、鉄筋露出の補修	断面修復工法(鉄筋防錆工法)	モルタルパッチング工法	欠損断面 小	
				プレバックドコンクリート工法	欠損断面 大	
				吹付け工法	欠損断面 小、広	
補修後等の劣化因子の遮断		表面被覆工法	塗膜被覆工法			
	モルタル被覆工法					
アルカリ供給	電気化学的防食工法	再アルカリ化工法	陸上部			
アルカリ骨材反応	ひびわれの補修		ひび割れ被覆工法	ひび割れ幅0.2mm以下		
			ひび割れ注入工法	ひび割れ幅0.2~0.5mm		
			充填工法	ひび割れ幅0.5mm以上		
	水分供給抑制	表面被覆工法	塗膜被覆工法 モルタル被覆工法			
鋼	腐食	欠損断面の復旧	添接板締付け工法	断面欠損部		
		損傷部の取替え	損傷リベットの取替え工法	リベット部		
			高力ボルトの取替え工法	高力ボルト部		
	劣化因子の遮断	塗り替え塗装				
		ボルトキャップ工法	ボルト部			
	疲労	局部応力低減、疲労強度改善	き裂先端部の除去・応力集中緩和	き裂部		
			断面補強工法	き裂部~部材・構造全体		
支承および落橋防止システム	腐食	劣化因子の遮断	塗り替え塗装			
			損傷部の取替え	支座部		
			支座モルタルの打ち替え	支承、落橋防止装置部		
			アンカーボルトの交換	支承部		

と考えられ、補修時の防水層の施工が効果を発揮しているものと考えられる。

3.1.2 鋼製橋脚の損傷事例

鋼製橋脚の疲労による損傷事例として、平成 14 年に鋼製円柱橋脚で複数箇所での疲労き裂が発見された橋梁のフォローアップ調査を実施した。

当該橋梁は鋼 3 径間連続箱桁橋である。損傷箇所は図 3.1 に示す橋脚の横梁と柱の接合部(溶接部)であり、複数箇所縦方向に最大 800mm 超のき裂が見ら

れた。このため補修としては、応急的な措置として、仮支柱を設置して安全を確保する一方、溶接構造の詳細や他のき裂の有無を確認するための調査が行われている。恒久的な補強対策としては、平成 15 年に写真 3.3 に示す補強ブラケットを設置しており、き裂の進展及び溶接部の破断が生じても梁全体をブラケットで支持することで落橋等の事態を確実に防止できるようにしている。また、梁ウェブのき裂が梁の上フランジに進展しないようにするとともに、速やかにき裂を



写真 3.2 補修箇所の現状

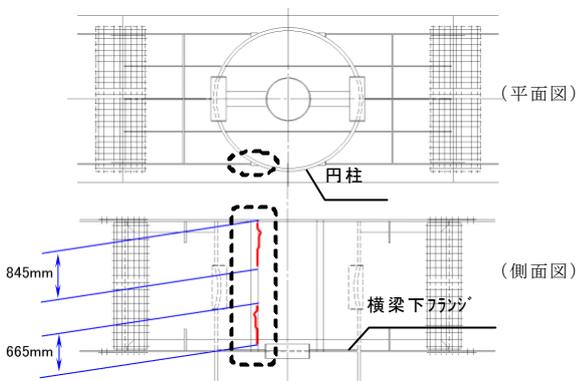


図 3.1 き裂発生位置 (赤線の箇所)

発見できるように**写真 3.4**に示すスカラップを梁ウェブと上フランジ交差部に施工している。しかしながら、その後の経過観察時に、未除去のき裂の進展が発見されている。

フォローアップ調査の結果としては、経過観察時からのき裂の進展は見られなかった。ただし、今後もき裂が進展しないとは言えないため、未除去のき裂の進展や新たなき裂の発生等に注意を払い継続的に状態把握を行うとともに、き裂の進展抑制の対策工の可否を併せて検討することが望ましいと考えられる。

3.1.3 鋼製箱桁の損傷事例

鋼製箱桁の疲労による損傷事例として、昭和 62 年にダイヤフラムの隅角部、鋼床版のリブ交差部及び支承ソールプレート溶接部等の複数箇所での疲労き裂が発見された橋梁のフォローアップ調査を実施した。

当該橋梁は 3 径間連続鋼床版 2 箱桁橋である。き裂は箱桁間をつなぐ横桁部よりもブラケット側の隅角部の方が大きい傾向が見られ、面内剛性の高いダイヤフラム部の損傷程度が中間横リブ部よりも大きかった。損傷原因については、橋軸方向に特定の傾向が見られ



写真 3.3 ブラケット補強



写真 3.4 横梁ウェブ上端のスカラップ施工



写真 3.5 ダイヤフラムの補強

ないことから、外側車線の車両の走行による繰り返し荷重に起因して、ダイヤフラムコーナー部（垂直部材フランジの控えリブのない部位）に応力集中が生じたためと考えられる。補修・補強においては、ダイヤフラム隅角部の損傷が激しいため、平成 3 年に**写真 3.5**に示すような、トラス組によりダイヤフラムの構造自体を補強している。

フォローアップ調査の結果としては、**写真 3.6**に示すように、き裂の存置箇所では塗装を行っており、目

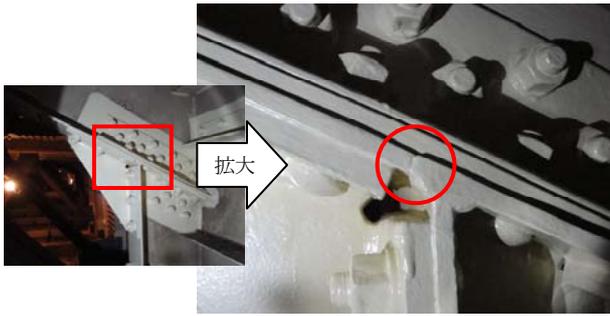


写真 3.6 き裂による破断箇所



写真 3.7 表面被覆再劣化、ひび割れの再発

視ではき裂の進展は確認されなかった。また、新たなき裂の発生も見られないことから、構造そのものの見直しが効果を上げていると考えられる。

3. 2 塩害及び ASR による損傷の事例

3.2.1 下部構造の損傷事例（その 1）

下部構造の塩害及び ASR による損傷事例として、緊急輸送道路の耐震補強 3 箇年プログラムに合わせて、塩害及び ASR による損傷の補修工事を行った橋梁のフォローアップ調査を実施した。

当該橋梁は 3 径間鋼単純合成鈹桁橋である。橋台及び橋脚に塩害及び ASR によるものと考えられるひび割れや鉄筋の露出等の損傷が見られた（写真 3.7）。なお、当該橋梁は、海からの飛来塩分を受ける塩害影響地域にないこと、同時期に施工された隣接する下り線では被害が見られないこと、海砂の使用実績が多い地域であることなどから、除塩が不十分な海砂を使用したことによる塩害が疑われる事例である。

補修・補強においては、平成 20 年に鋼材腐食及び ASR による劣化範囲を除去し、断面修復を行い、腐食抑制効果を持つシラン系表面含浸材を表面に塗布している。また、破断している鉄筋は置き換えられている。



写真 3.8 ひび割れの発生状況（はつり部あり）



写真 3.9 鉄筋の露出、錆汁の流出

フォローアップ調査の結果としては、写真 3.8 に示すように補修が行われていない部位が橋脚柱部等で見られ、写真 3.9 に示すように腐食により断面欠損した鉄筋の露出が見られる箇所もあった。全体にかぶり小さいように見られ、長期的には塩害による鉄筋腐食が耐力に影響を及ぼす恐れがあると考えられる。

3.2.2 下部構造の損傷事例（その 2）

下部構造の塩害及び ASR による損傷事例として、緊急輸送道路の耐震補強 3 箇年プログラムに合わせて、塩害及び ASR による損傷の補修工事を行った橋梁のフォローアップ調査を実施した。

当該橋梁は鋼単純合成鈹桁橋他からなる上り線 10 径間、下り線 14 径間の高架橋である。橋台及び橋脚に塩害及び ASR によるものと考えられるひび割れや鉄筋の露出等の損傷が見られた。補修・補強においては、一部の橋台、橋脚において平成 16 年にリチウム注入工法による ASR 対策が行われている。その他、断面修復、ひび割れ注入及び塗装による表面保護が行われている。



写真 3.10 リチウム注入箇所の再劣化



写真 3.11 橋脚梁部の再劣化（塗膜の割れ）

フォローアップ調査の結果としては、写真 3.10 に示すようにリチウム注入による補修箇所において、膨張が継続していると見られる表面塗膜のひび割れが認められる箇所があった。また、それ以外にも、写真 3.11 に示すように、補修箇所のなかには内部コンクリートの膨張によるものと考えられる、再劣化した箇所が見られた。リチウム注入工法の補修効果については明確とはなっていないが、Li/Na イオン比を大きくする必要があるので、海砂として多量の Na イオンが混入している場合に補修効果を得るのは容易でないと考えられる。

3. 3 耐震補強部材の劣化の事例

3.3.1 巻立て鋼板の腐食事例

RC 橋脚に対して鋼板巻立て工法により耐震補強が施工された橋脚において、補強後に鋼板の腐食が確認された事例を対象としてフォローアップ調査を実施した。

当該橋梁は PC 単純合成桁橋、RC 床版桁橋他から



写真 3.12 腐食状況の差異（左：海側、右：陸側）



写真 3.13 鋼板上端部の腐食



写真 3.14 皿ボルト部の腐食の進展

なる 5 径間の高架橋であり、海岸に近接して立地している。なお、当該橋梁は昭和 50 年に設計されたものであり、平成 9 年に曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法により耐震補強がなされている。

フォローアップ調査の結果としては、写真 3.12 に示すように巻立て鋼板の腐食状況が海に面している側と陸側とで明らかな差異があり、腐食の主要因は飛来塩分によるものと考えられる。また、写真 3.13 及び写真 3.14 に示すように鋼板端部、皿ボルトの上端、仮アンカー一部等において腐食の発生が目立っており、これら



写真 3.15 卷立て RC のひび割れ (小判型橋脚)



写真 3.16 卷立て RC のひび割れ (円柱橋脚)

のシーリング工の施工について検討課題があると考えられる。本橋脚では特に、鋼板取付けのための皿ボルトの設置間隔が通常よりも密であることから、シーリングによる保護がその後の鋼板の劣化対策として重要になるものと考えられる。

3.3.2 卷立て RC のひび割れ事例

RC 卷立て工法により耐震補強を施工した後に卷立て部のコンクリートにひび割れが生じている事例があったことから、最近において RC 卷立て工法により耐震補強を実施した直轄国道の橋脚を対象として同種事例の調査を実施した。

調査の結果としては、橋脚形式ごとにひび割れの発生橋脚数を整理すると、ひび割れ幅が大きい橋脚では、写真 3.15 に示すような小判型、写真 3.16 に示すような円柱型の橋脚の構成比率が大きくなる傾向が見られた。また、脱型時に既にひび割れが発生している事例は少なく、ひび割れの発生は脱型後の乾燥収縮が主要因になっていると考えられる。これら RC 卷立て工法は、既設建造物の周囲を比較的薄い厚さの RC で卷立てることから、乾燥収縮によるひび割れが生じやすい構造とも考えられる。このようなひび割れを抑制するためには、冬期の寒く乾燥した時期をなるべく外してコンクリートの打設を行う、コンクリート打設後の養生には適切な方法をとって湿潤状態を維持する、脱型

の時期をなるべく遅らせる、等の配慮が必要であると考えられる。

4. まとめ

平成 21 年度は補修・補強の効果や長期持続性・耐久性を検討するための対象となる補修・補強工法を整理するとともに、疲労・塩害・ASR の三大損傷に対する補修及び耐震補強の事例について補修・補強後のフォローアップ調査を実施し、これら補修・補強工法の課題について整理を行った。

今後は、さらに既存の補修・補強工法の経年変化や耐久性データの収集・整理、フォローアップ調査等を継続するとともに、必要に応じて補修・補強工法の耐久性試験・評価を行い、補修・補強工法の選定方法や維持管理方法等を含むガイドライン(案)の提案につなげていくための検討を進める。

参考文献

- 1) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針 2003、2003.6
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説、2002.3
- 3) (財)道路保全技術センター・(財)海洋架橋・橋梁調査会：道路橋の補修・補強計算例、2008.12
- 4) (財)海洋架橋・橋梁調査会：既設橋梁の耐震補強工法事例集、2005.4

ON LONG-TERM PERSISTENCE AND DURABILITY EFFECT OF REPAIR AND RETROFIT FOR HIGHWAY BRIDGES

Budgeted : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2009-2012

Research Team : Bridge and Structural Technology
Research Group

Author : HOSHIKUMA Junichi
USUI Toshihiro

Abstract : Various kinds of repair/retrofit technique for highway bridges have been applied, to prevent the damages and thus to prolong the bridge live. This research is conducted to study the effect of repair and retrofit on the long-term persistence and durability. In FY 2009, three major damages for bridges (i.e. fatigue, chloride attack and ASR) were targeted and on-site investigation was conducted for follow-up the effect of repair/retrofit, for those damages. Based on the investigation, next research issues on long-term persistence and durability of repair/retrofit effect were discussed.

Key words : repair, retrofit, long-term persistence, durability, the three major damaged, earthquake resistance