

戦-60 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，塚淳一，張広鋒

【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 22 年度は、補修・補強が実施された橋梁の損傷事例に基づき、一般的によく用いられる耐震補強工法の損傷特徴とその原因をまとめるとともに、塩害を受けた撤去予定の桁橋の被害状況を分析し、その橋に対して施されていた耐震補強の効果および耐久性を検討するための実験用の部材を当該撤去橋から計画的に確保した。さらに、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震において、耐震補強が実施された橋の被害状況を調査した。

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重要であり、また、そのために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・補強効果の長期持続性の評価を行うことが不可欠である。このような背景を踏まえ、本研究は、道路橋に対して現場で実施されている補修・補強対策について、その補修・補強効果や長期持続性・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・補強工法の選定、維持管理を効率よく行うための参考とできるように調査・検討を行うものである。

平成 22 年度は、補修・補強が実施された橋梁の損傷事例に基づき、鉄筋コンクリート（RC）橋脚の一般的な耐震補強工法の損傷特徴およびその原因を整理するとともに、塩害を受けた撤去予定の桁橋の被害状況を分析し、当該橋に対して施されていた耐震補強の効果および耐久性を検討するための実験用の部材を計画的に採取した。さらに、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北大震災において、耐震補強が実施された橋の被害状況を調査した。

2. RC 橋脚の一般的な耐震補強工法とその損傷事例

RC 橋脚の耐震補強工法として、RC 巻立て工法、鋼板巻立て工法および連続繊維シート（FRP シート）巻立て工法が一般的に用いられている。昨年度に続き、今年度もこれらの補強工法によって耐震補強が実施された実橋梁のフォローアップ調査を実施した。現地調査の結果に基づき、これらの補強工法における一般的な損傷事例は以下のようにまとめられる。

RC 巻立て工法は、既設橋脚の周囲に鉄筋コンクリートを巻立てることによって、既設橋脚の耐力や変形能を補強する工法である。本工法における一般的な経時的な影響による損傷事例としては、RC 巻立て部のひび割れ、ひび割れ部からの遊離石灰の発生などが取り上げられる。また、事例は少ないが、RC 巻立て部のコンクリートの剥離・剥落、軸方向鉄筋や帯鉄筋の錆などが生じた場合もある。鋼板巻立て工法は、既設橋脚の周囲に鋼板を巻立てることによって、既設橋脚の耐力や変形能を補強する工法である。本工法の場合は、鋼板を取り付ける際に設置する皿ボルト周辺の発錆、鋼板端部の発錆、根巻きコンクリート部のひび割れ等が経時的な影響による損傷として見られる。FRP シート巻立て工法は、既設橋脚の周囲に FRP シートを巻立てることによって、既設橋脚の耐力や変形能を補強する工法である。FRP シートは、鉄筋コンクリートや鋼板と違ってひび割れや錆が生じないが、紫外線による劣化、衝突や人為的な要因によるシートの破損などの損

表-1 補強工法別の主な損傷形態およびその損傷要因の推定

補強工法	損傷の種類	損傷要因の推定
RC 巻立て工法	ひび割れ	<ul style="list-style-type: none"> 水和熱による温度ひび割れ 乾燥収縮による初期ひび割れ 既設コンクリートの拘束による乾燥収縮差によるひび割れ 施工不良（ブリージング[®]処理, コールドジョイント等）によるひび割れ
	遊離石灰	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れ部や打継ぎ目等からの浸水による遊離石灰 材料（骨材やセメント）の要因による遊離石灰
	剥離, 剥落	<ul style="list-style-type: none"> アルカリ骨材反応や遊離石灰によるひび割れの進行 鉄筋の腐食による膨張圧
	補強鉄筋の錆	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れ等の水みちからの水分、酸素、炭酸ガスの供給 かぶり不足
鋼板巻立て工法	鋼板の錆	<ul style="list-style-type: none"> 材料選定および塗膜厚不足による錆 人為的要因による損傷部からの錆
	皿ボルトや鋼板端部の錆	<ul style="list-style-type: none"> シーリング部の施工上の欠陥による浸水による錆 シーリング材の劣化や剥落等による浸水による錆
	根巻きコンクリートの損傷	<ul style="list-style-type: none"> 乾燥収縮等によるひび割れ ひび割れ等からの水の侵入による滞水
FRP 巻立て工法	FRP シートの劣化	<ul style="list-style-type: none"> 紫外線による FRP シートの劣化 接着剤の経年劣化
	FRP シートの破損	<ul style="list-style-type: none"> 通行車両等の衝突による損傷 河川の漂流物等による損傷 いたづら等による損傷



図-1 鋼板巻立て工法におけるシーリングのイメージ図と発錆事例



写真-1 橋梁の全景

表-2 橋梁諸元

路線名	国道 8 号
橋長	140.50m (支間 5@27.3m)
幅員	全幅員 8.80m、有効幅員 8.0m (車道幅 3.5m×2)
上部構造	単純 PC ポステン T 桁橋
下部構造	逆 T 式橋台 2 基、T 型橋脚 (RC) 4 基
基礎形式	直接基礎 2 基、オープンケーソン 4 基
適用示方書	昭和 39 年
供用開始年	1967 年

傷事例がある。

表-1 に、耐震補強工法別の主な損傷形態および推定した損傷要因の一覧を示す。今後、これらの損傷原因を考慮しながら、損傷の早期発見や予防保全等に着眼して、耐久性を確保するための措置を考案していく予定である。

ここで、一例として、鋼板巻立て工法におけるシーリング部の発錆状況とそのメカニズムについて分析を行った。図-1 に、鋼板巻立て工法におけるシーリングのイメージ図と発錆事例を示す。鋼板巻立て工法では、鋼板端部や鋼板の取付け皿ボルトの上面にエポキシ樹脂系材料等のシーリングを施すことが一般的である。図-1(a)は鋼板上端部のシーリングのイメージ図、図-1(b)は皿ボルトの上面のシーリングのイメージ図を示すものである。鋼板巻立て工法における発錆は、これらのシーリングの周辺に生じていることが多く、その直接な原因としては、シーリングと鋼板間の隙間やシーリング部の塗装の割れが発生し、これらの箇所より水が浸入したことによるものが考えられる。図-1(c)に、鋼板上端部および皿ボルト部の発錆状況の実橋例を示す。なお、シーリングと鋼板間の隙間やシーリング部の塗装の亀裂が発生する原因については、シーリングに用いた材料そのものの劣化や施工時におけるシーリングによる被覆が不十分であること等が要因として考えられるが、今後、



写真-2 RC 橋脚の横梁の損傷状況



写真-3 RC 巻立て部のひび割れ

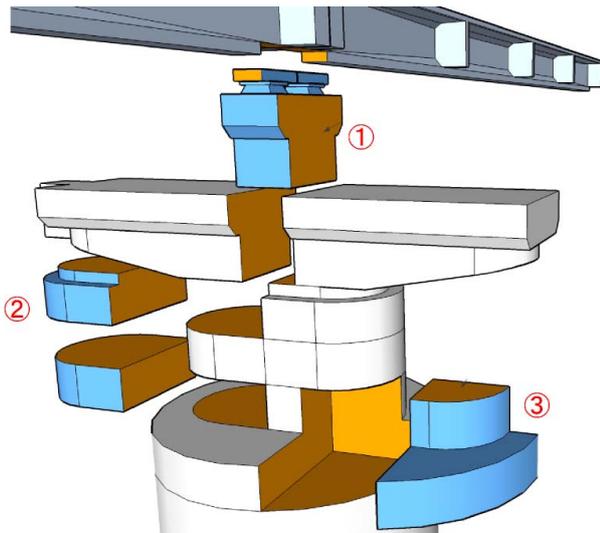
これらの調査結果に基づき、シーリングの施工等における改善策を検討していきたい。

3. 塩害を受けた撤去橋梁に関する検討

3.1 橋梁の概要

本研究では、橋脚の耐震性能に及ぼす塩害の影響を検討するため、塩害を受けた撤去予定の橋梁の被害状況を調査し、塩害による損傷が生じた状態の橋梁部材の耐荷・耐震性能を実験的に検討することとしている。H22 年度では、検討目的に応じた実験計画を立て、その実験のための撤去部材を計画的に確保した。

対象とした橋は、1967 年に架設された PC5 径間単純ポストテンション方式 T 桁橋である。写真-1 に橋梁の全景写真、表-2 に橋梁の諸元を示す。支間長は 27.3m、橋長は 140.5m である。橋脚は T 型 RC 橋脚である。本橋は、日本海沿岸の海岸線に近くに位置し、厳しい塩害環境に長期的に曝されていた。1983 年 (供用 17 年)、2000-2001 年 (供用 34-35 年)、2008 年 (供



- ①: RC 巻立て部と既設柱間の付着性能の検討
- ②: 横梁の拡幅部の定着性能の検討
- ③: RC 巻立て部の軸方向鉄筋の定着性能の検討

図-2 実験対象部位と実験内容

用 42 年) と、複数回にわたり上部構造の補修(断面修復, 表面被覆など)を施しているが、いずれも再劣化が生じている。2010 年 9 月より交通を仮橋に迂回させ、下部工を含めた架け替え工事が実施されている。

3.2 橋梁の損傷状況と載荷実験の計画

本橋は、耐震補強として、2000-2001 年桁かかり長を確保するための横梁の拡幅、RC 橋脚の曲げ耐力や変形性能を向上させるための RC 巻立て補強が実施されている。写真-2 に横梁と拡幅部の損傷状況、写真-3 に柱部に施した RC 巻立て部のひび割れの発生状況を示す。このような損傷状況を鑑み、本研究では、図-2 に示すように、耐震補強で実施された横梁の拡幅部と RC 巻立て部に着目し、これらの部位の耐震性能を実験的に確認することとする。写真-4 に、図-2 の③を撤去した際の状況写真を示す。

本研究で実施する実験の内容は、具体的に以下のようである。横梁の拡幅部については、拡幅部と横梁の一部分(図-2 の①)を対象として、拡幅部の引き抜きやせん断に対する抵抗性能を実験的に確認する。RC 巻立て部については、2 つの項目に対して実験を行う予定である。一つは、図-2 の②を用い、RC 巻立て部と既設柱間の付着性能を検討する。もう一つは、図-2 の③を用い、RC 巻立て部の軸方向鉄筋の定着性能を検討する。図-2 の②に対する実験では、RC 巻立て部に引張やせん断方向に載荷し、両者間の引張とせん断に



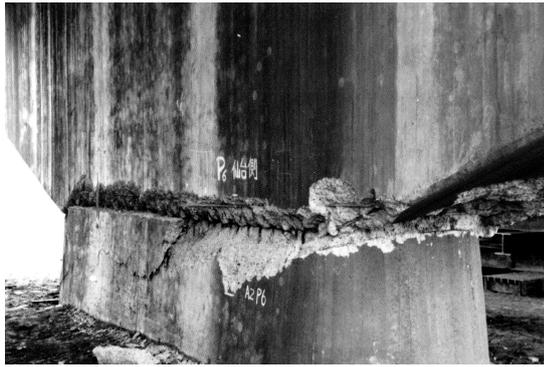
写真-4 RC 橋脚の撤去状況

対する抵抗性能を検討する。図-2 の③に対する実験では、RC 巻立て部のコンクリートを削り、軸方向鉄筋を剥きだした状態で引き抜きせん断実験を実施することによって、軸方向鉄筋の定着性能を検討する。これらの実験により得られた結果を設計時に考慮した設計値と比較することにより、これらの部位の性能に及ぼす塩害による劣化の影響について今後検討していく予定である。

4. 東北大震災における耐震補強された橋梁の挙動

4.1 調査の概要

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分頃、三陸沖を震源とするモーメントマグニチュード 9.0 の平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震が発生した。今回の地震では、地震による揺れだけでなく、地震後に大規模な津波が発生し、これにより社会基盤施設にも大きな被害が生じた。道路橋においては、津波によって上部構造が流出した橋や、地震の揺れによって橋脚や支承部に損傷が生じた橋などが数多く広範囲で確認されている。地震の揺れによって被災した橋の多くは、古い基準で設計されかつ耐震補強が実施されていない橋であったが、既に耐震補強が実施されていた橋の中にも損傷が生じた事例があった。1995 年兵庫県南部地震以降、これまでに優先度を考慮しながら順次既設橋の耐震補強が進められてきているところであるが、このような耐震補強対策を施した橋が大きな地震の影響を受けたことになる。そこで、構造物メンテナンス研究センター(CAESAR)では、国総研と連携して、地震動の影響が比較的大きかった岩手県、宮城県および福島県を対象とし、各県内を通過する直轄道路にある橋や市町村管理の橋について現地調査を行った。



(a) 1978年宮城県沖地震後の状況



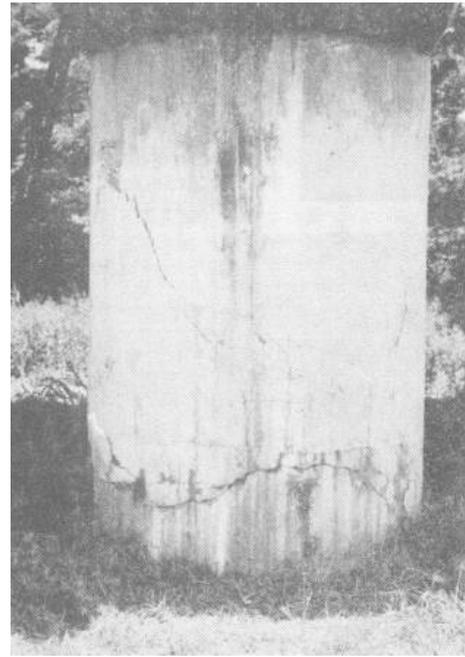
(b) 東北地方太平洋沖地震後の状況

写真-5 千代大橋の橋脚の損傷状況

本文では、1978年宮城県沖地震において被害を受け、その後耐震補強が実施されたRC橋脚を対象として、耐震補強された橋に関する調査結果を報告する。今後、これらの調査結果に基づき、耐震補強工法の長期持続性等について分析を行うこととする。

4.2 耐震補強された橋梁の挙動

写真-5に、宮城県仙台市に位置する千代大橋の損傷状況に関する比較を示す。本橋は、1965年に架設された9径間単純合成鉄桁橋である。1978年の宮城県沖地震では、8基の橋脚のすべてが被害を受けた。写真-5(a)に、P6橋脚の当時の被災状況写真を示す。横梁と躯体の接合部付近で全周にわたる水平ひびわれが生じるとともに、かぶりコンクリートが剥落し、軸方向鉄筋が露出するような被害が生じた。P1～P4橋脚でも、橋脚基部付近で全周にわたる水平ひびわれが生じ、局部的に軸方向鉄筋がはらみ出すような損傷が生じた。また、1978年宮城県沖地震後、RC巻立て工法により橋脚の耐震補強が実施され、その後車線の拡幅に伴い、既設橋脚部の両側に拡幅部を支持する橋脚が新たに構築された。さらにその後、これら3基の橋脚が一体化されて壁式橋脚となり、その中間高さ位置付近を炭素



(a) 1978年宮城県沖地震後の状況



(b) 東北地方太平洋沖地震後の状況

写真-6 関上大橋の橋脚の損傷状況

繊維シート巻立てにより補強がなされた構造となっている。写真-5(b)に、東北地方太平洋沖地震後のP6橋脚の状況写真を示す。本橋脚では、今回の地震による構造的な損傷は確認されなかった。ただし、写真-5に示すように、1978年宮城県沖地震時と東北地方太平洋沖地震時の橋脚の構造が大きく異なっているため、単純な比較もできないため、今後、定量的な補強効果については吟味する必要がある。

写真-6は、宮城県名取市に位置する関上大橋の損傷状況に関する比較を示したものである。本橋は、1974年に架設された3径間有ヒンジPCラーメンと7連PC単純桁橋である。写真-6(a)に、1978年宮城県沖地震後のP1橋脚の損傷状況を示す。本橋脚は、1978年宮

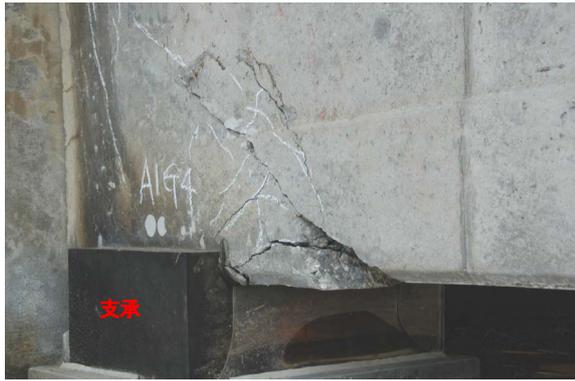


写真-7 関上大橋の桁端部の損傷状況⁶⁾

城県沖地震では、軸方向鉄筋の段落し部に大きな斜めひび割れが生じた。その後、RC 巻立て工法により耐震補強が実施されたものである。今回の地震では、P1 橋脚(写真-6(b))を含め下部構造に損傷が確認されなかった。なお、上部構造については、今回の地震によって橋台側の主桁の端部に斜め方向のひび割れが大きく生じたことが確認された(写真-7)。

一方、今回の地震による仙台市や名取市での揺れの特性が 1978 年宮城県沖地震におけるこれらの地点での揺れの特性と完全に同一ではないため、両地震による損傷状況を単純に比較して評価することはできないものの、今回の地震においてこれらの橋の橋脚に損傷が生じなかったのは、耐震補強の効果が貢献しているためと考えられる。なお、今回の地震では、仙台地区の揺れが大きく、K-NET 仙台では L2 地震動と同程度のスペクトルを記録した⁷⁾。

5. まとめ

平成 22 年度は、補修・補強が実施された橋梁の損

戦-60 補修・補強効果の長期持続性・耐久性に関する研究

傷事例に基づき、鉄筋コンクリート (RC) 橋脚の一般的な耐震補強工法の損傷特徴およびその損傷要因の推定を整理した。その中、鋼板巻立て工法においては、主な発錆箇所およびその原因について詳細に検討した。また、塩害を受けた撤去予定の桁橋の被害状況を分析した上、耐震補強の効果および耐久性を検討するための実験計画を立ち、実験に用いられる橋梁部材を計画的に確保した。さらに、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北大震災において、耐震補強効果の長期持続性を検討するために、耐震補強が実施された橋の被害状況の調査・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・評価を行っていきたい。

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
- 5) 1978 年宮城県沖地震災害調査報告, 土木研究所報告, 第 159 号, 1983.3
- 6) 土木学会東日本大震災被害調査団(地震工学委員会)緊急地震被害調査報告書, 2011.4
<http://committees.jsce.or.jp/report/taxonomy/term/25>
- 7) 防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET ホームページ
<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>

EFFECT OF LONG-TERM PERSISTENCE AND DURABILITY ON EFFECTIVENESS 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 Jun-ichi, SAKAI Junichi and
ZHANG Guangfeng

Abstract : This research is conducted with the purpose to study the repairing/retrofitting effects on the long-term persistence and durability against the deterioration causes including alkali silica reaction (ASR), chloride attack and fatigue. In the FY 2010, field investigations were conducted on highway bridges that were retrofitted seismically with concrete jacketing method or steel jacketing method. The conditions of the deterioration were summarized and typical deterioration patterns were classified according to the retrofit method. Furthermore, countermeasures for improving the effects of the seismic retrofit methods on long-term persistence and durability were also studied.

Key words : repair, retrofit, long-term persistence, durability, earthquake resistance