

鋼結構及混凝土複合材料橋梁之劣化診断技術與維修、補強對策

博士(工) 日本大学 阿部 忠

博士(工)中日本ハイウェイ・エンジニアリング 東京(株) 高野 真希子

通訳 博士(工) 中国科技大学 陳 玉燕

1. はじめに

2007年8月1日、PM6:05に、アメリカのミネアポリス I-35W橋が崩落し、死者13名、負傷者100名の事故が発生した[1]。ここで、崩落時の状況を図-1に示す。この橋が崩落した原因は、トラス橋の格点の接合部しているガセットプレート厚の不足によるものと報告されている。この事故を教訓に、日本の国土交通省（以下、国交省とする）では直轄する道路橋の点検を実施している。その結果、崩落寸前の橋梁が121基である報告されている[2]。そして、同省では2009年4月に「道路橋長寿命化修繕計画事業」[3]を策定した。これによって、県、政令都市では一斉に橋梁点検を実施し、2009年4月～2012年3月に、橋長15以上の橋梁における「道路橋長寿命化修繕計画」を立案し、国交省に報告し、これに基づいて修繕を実施している。また、市、町、村では2011年4月から2014年3月で計画を立案し、国に報告し、修繕が実施されてきた。その後、国交省の橋梁点検要領が2015年6月に改訂され、これに基づいて橋長2.0m以上の橋梁点検が実施され、2回目の道路橋長寿命化修繕計画が立案されている[4]。

そこで本研究では、日本における道路橋の現状、維持管理計画における橋梁点検、劣化診断および補修・補強対策について述べる。また、2007年の橋梁点検より判明した崩落寸前の橋梁の補強対策、長寿命化修繕計画における緊急対応の必要な橋梁の点検および補強対策、および予防保全型維持管理計画に基づく高速道路橋の点検・診断・補強対策の事例をもとに現状を述べ、台湾における道路橋の危機管理および維持管理の一助としたい。



図-1 維持管理先進国での落橋事故



図-2 日本の橋梁の現状

2. 日本の橋梁の現状および予防保全型維持管理

2. 1 日本の橋梁の現状

日本の橋長 2.0m 以上の橋梁数は 2016 年 4 月現在で 73 万橋が供用されている[5]。ここで、日本の橋梁の現状を図-2 に示す。図-2 より、国土交通省が管理する橋梁数は 3 万 8 千橋 (5%) 地方公共団体 (県、市町村) が管理する橋梁数は 66 万 4 千橋 (91%)、高速道路会社が管理する橋梁数は 2 万 3 千橋 (3%) であり、地方公共団体が管理する橋梁が最も多く、その維持管理が重要な課題となっている。また、建設後 50 年が経過する橋梁は全橋梁の 20%、20 年後には 44% に達し、これを新設橋梁に架け替えした場合は、橋梁を管理する地方公共団体 (県、政令都市、市、町、村) は財政難が懸念される。これらのことから地方公共団体では、50 年間あるいは 100 年間維持管理に関わる総予算を平準化した予算で毎年修繕 (補修・補強対策) が確実に実施されて、コストの縮減および橋梁の長寿命化が図られている。

2. 1 予防保全型維持管理

従来の橋梁の維持管理は、橋梁の損傷が顕在化した時期に大規模修繕や架け替えも含めた「事後的な維持管理」であった。しかし、2009 年以降は、低コストで平準化した予算のなかで安全・安心が確保できる維持管理手法、すなわち「予防保全型維持管理 (道路橋長寿命化修繕計画)」へと移行された。ここで、予防保全型維持管理の流れは図-3 に示す。

予防保全型維持管理の流れは図-3 に示すように、橋梁の[現状把握]では、①橋梁調査の諸元などの基礎データを整理する。また、②橋梁点検の実施では、橋梁点検要領に基づいて 5 年ごとに点検を実施し、損傷状況を判定し、全てを記録する。次に、[道路橋長寿命化修繕計画]では、橋梁の定期点検の結果から③部位ごとに損傷状況を把握し、損傷度から修繕するための対策区分および健全度の評価の判定区分を行う。そして、④判定された橋梁および部位ごとに劣化予測し、補強対策を計画する。その後、⑤維持管理期間 (建設後 50 年または 100 年) を定め、その期間の修繕費用を算定し、予算の平準化を行う。なお、修繕費用については、対策工法を選定、寿命予測し、ライフサイクルコスト (LCC) を算定する。また、道路橋長寿命化修繕計画が立案された後、[計画実施]では、まず緊急対応の必要な橋梁を優先し、⑥補修・補強設計を実施する。長寿命化修繕計画では建設した当時の機能を回復することが基本であるが、橋梁の設計基準に対応する補強設計が重要となる。設計後、⑦修繕、すなわち補修・補強が行われている。これらを全て[記録]する。

以上のように、道路橋においては 5 年ごとに橋梁点検が実施され、損傷度から対策区分および健全性について判定し、優先順位を決めて計画的に維持管理が行われている。

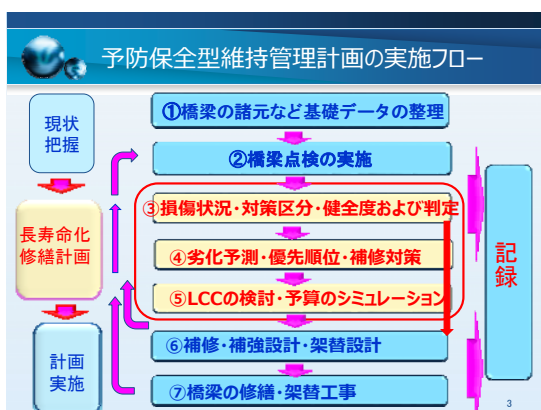


図-3 予防保全維持管理計画



図-4 近接目視による橋梁点検

3. 橋梁点検および診断[6]

3. 1 橋梁点検および損傷区分

(1) 橋梁点検

2014 改訂の橋梁点検要領の適用範囲は橋長 2.0m 以上の橋梁を対象に、近接目視で点検を実施し、必要に応じて非破壊検査を行うこととしている。そして、道路橋の各部材の状態を把握、診断し、当該道路橋に必要な措置（補修・補強）を行うために必要な情報を得る。また、安全で円滑な交通の確保や第三者への被害の防止を図り、橋梁の維持管理を適切に行うために必要な情報を得ることを目的に実施する。よって、橋梁を適切に点検し、橋梁および部材ごとの損傷状況を把握し、対策区分の判定および健全性の判定を行い、これらの結果を記録する必要がある。ここで、近接目視による橋梁点検状況の一例を図-4 に示す。

近接目視による橋梁点検を行うために、国土交通省や高速道路会社、橋梁調査を実施している企業では独自の点検車両や点検技術を開発して、点検を実施している。最近では、ドローンを用いた点検も試行されるなど、新技術の開発が進められている。さらに、橋面からの点検においては、時速 100km で走行しながら、舗装の凹凸やひび割れなどを高速で測定できる「路面性状測定車」の導入や、トンネル内設備の劣化を早期に検知できる「高速移動点検システム」などの開発を進め、維持管理の確実性と効率性を向上させている。ここで、橋梁点検における損傷度、対策区分、健全度の判定を図-5 に示す。

(2) 損傷度の判定

橋梁点検においては点検車両の導入や、足場を設置して、近接目視で点検を部位ごとに実施している。橋梁の予防保全型維持管理においては、図-5 に示すように点検結果から部材ごとに損傷度 a, b, c, d, e の 5 段階に区分する。

橋梁点検における健全度の判定区分

国土交通省橋梁点検要領

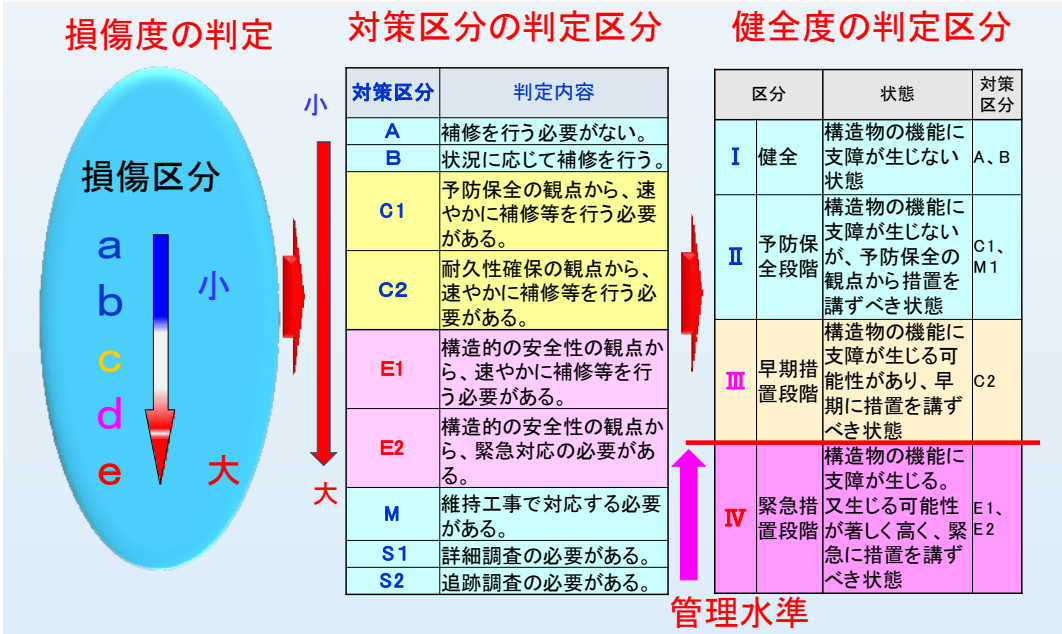


図-5 橋梁点検における健全度の判定区分

3. 2 対策区分および判定区分

橋梁点検による損傷度判定に応じた対策区分を判定し、部材の重要性や損傷の進行状況、環境条件など様々な要因を総合的に評価し、橋梁全体および部位ごとに、損傷状況に対する橋の性能や健全性などの状態についての一次的な評価（判定）を行う。

道路橋長寿命化修繕計画では、橋梁および部位ごとに対策区分の判定を行うが、維持管理計画を立案するためには判定区分 S1、S2 についても詳細調査を実施し、最終的には判定区分 B、C1、C2、E1、E2 に区分する必要がある。

3. 3 健全性の診断の判定区分

橋梁点検要領では、最終的に修繕（補修・補強）を実施するために、図-5 に示すように健全性の判定区分を I、II、III、IV の 4 段階で判定する。地方公共団体では、健全度評価において IV を優先して措置（補修・補強）を実施している。順次、健全度 III についても措置を行っている。

3. 4 道路橋長寿命化修繕計画

予防保全型維持管理計画、すなわち地方公共団体では橋長 2.0m 以上の橋梁に対して道路橋長寿命化修繕計画を立案し、緊急措置段階 IV の橋梁を、優先的に修繕を実施してい

る。修繕計画においては健全性の判定区[Ⅱ]、[Ⅲ]、[Ⅳ]で措置が講じられるが、予防保全型維持管理するためには管理水準を設けている。例えば、管理水準を健全度の判定区分[Ⅲ]とし、常に健全性の判定区分[Ⅲ]で修繕を行い、ライフサイクルコスト（LCC）を算定し、平準化した予算で修繕を実施している。よって、道路橋長寿命化修繕計画実施以降は、健全性の判定区分[Ⅳ]は発生させない管理を行っている。LCCの算定においては、補修・補強法における寿命予測を行い、寿命年数（例えば、50年、100年）における補修計画を立案している。従来は、損傷が顕在化した時点で膨大な費用を投じて大規模修繕や架け替えも含めた修繕が実施されていた。これに対して予防保全対策では、5年ごとに橋梁を点検して健全性を判定し、損傷が軽微な段階で修繕を実施するものである。その結果、予防保全型維持管理を実施することで大幅なコストの縮減効果と、橋梁および部材の延命化が図られている。

3. 6 橋梁のマネジメントサイクル

橋梁のマネジメントサイクルは図-6に示す。

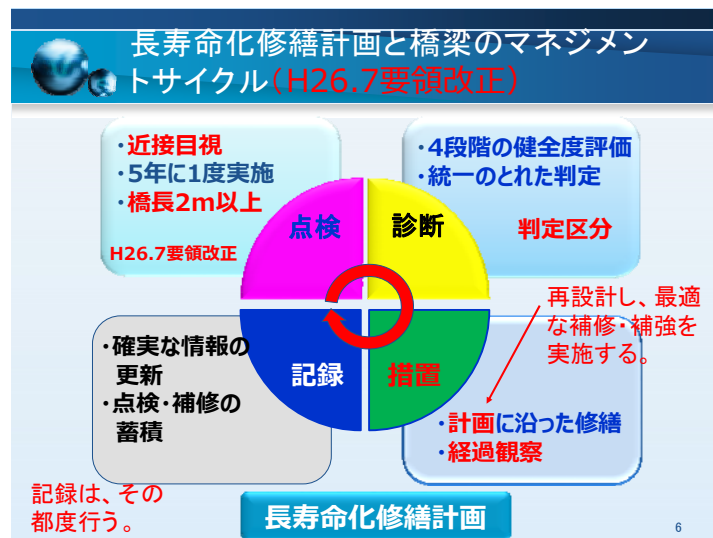


図-6 マネジメントサイクル

「点検」では、2014年の点検要領に基づいて5年ごとに橋梁点検を実施する。その後、「診断」では部位ごとに損傷度を判定し、修繕をするための4段階の健全性を判定する。そして、「措置」では、修繕計画に沿った修繕を実施し、修繕後は経過観察が必要となる。最後の「記録」では「点検」、「診断」、「措置」の全ての段階で記録を残す。記録は確実な情報の更新など、当該橋梁が供用されている期間は、これを保存する必要がある。このサイクルを5年ごとに実施し、見直しが行われている。

4. 橋梁点検および健全度の判定 [6]

4. 1 健全度Ⅲにおける一般性状

橋梁点検要領では、健全度を4段階に分けて判定している。維持管理においては、判定区分Ⅲ（構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態（早期措置段階）で修繕を実施している。なお、判定区分Ⅳ（構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態（緊急措置段階）の橋梁は、2007年橋梁点検および2013年の道路橋長寿命化修繕計画で緊急対応、すなわち判定区分Ⅳの橋梁について修繕が実施されている。したがって、日本では健全度の判定区分Ⅲの橋梁および部位についての修繕が実施されている。ここでは、鋼橋およびコンクリート橋における健全度の判定区分Ⅲの状態について述べる。ここで、鋼橋梁、コンクリート橋およびその他の部位の健全度の判定区分Ⅲにおける一般性状を図-7に示す。

鋼橋における健全度の判定区分Ⅲ（腐食・き裂・破断）

判定区分Ⅲ：構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。（早期措置段階）




<p>腐食</p>  <p>主部材に、広がりのある顕著な腐食が生じており、局部的に明確な板厚減少が確認でき、断面欠損に至ると構造安全性が損なわれる可能性がある場合</p>	<p>き裂</p>  <p>あきらかな亀裂が鋼床版のデッキプレートに伸びており、さらに進展すると路面陥没や舗装の損傷につながるが見込まれる場合。</p>	<p>破断</p>  <p>耐荷力に影響が少ない部材に破断が生じている。地震などの大きな外力に対しては構造安全性が損なわれる可能性がある場合。</p>
---	--	---

8

(1) 鋼橋梁

コンクリート橋の健全度の判定区分Ⅲ（ひび割れ損傷）

判定区分Ⅲ：構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。（早期措置段階）

<p>主桁ひび割れ</p>  <p>近接目視で容易に視認できるひびわれがあり、内部の鉄筋やPC鋼材の腐食が進行している場合。</p>	<p>主桁ひび割れ</p>  <p>桁に多数のひびわれ、剝離・鉄筋の露出が生じており、内部鋼材の腐食が広範囲で進行している場合。</p>	<p>床版ひび割れ</p>  <p>漏水を伴う密に発達した格子状のひびわれが生じている場合、あるいは、床版下面に広く湿ったひびわれ集中箇所がある場合</p>
--	---	--

9

(2) コンクリート橋

その他の部位における健全度の判定区分Ⅲ（支承・防食機能等）

<p>支承の損傷</p>  <p>支承本体全体が著しく腐食しており、板厚減少も進行している場合。</p>	<p>防食機能の劣化</p>  <p>発錆は見られないものの、上塗り塗装に顕著な劣化が見られる状態</p>	<p>漏水・遊離石灰</p>  <p>部材同士の境界部から漏水が生じている状態</p>
<p>定着部の異常</p> 	<p>ケーブル部材の定着部の防食が劣化していたり、定着部に雨水の浸入が疑われる場合。</p>	

10

(3) その他の部位

図-7 健全度の判定区分Ⅲの一般性状

(1) 鋼橋梁

鋼橋の健全度区分Ⅲの損傷状況を図-7(1)に示す。鋼橋梁の主たる損傷は腐食・き裂・破断の3点である。本来、腐食については防食機能の劣化が原因で、放置することで腐食へと進行する。き裂は、応力集中が生じる箇所に発生するき裂と車輻走行による疲労によるき裂とがある。疲労によるき裂は鋼床版のデッキプレートとUリブ等の接合部、溶接部などに発生している。破断は部材との連結部に生じる事例が多く見られたが、現在では殆どの橋梁で修繕が実施されている。

(2) コンクリート橋

コンクリート橋の健全度区分Ⅲの損傷状況を図-7(2)に示す。コンクリート橋の損傷の多くはひび割れ損傷である。とくに、海岸線に建設された橋梁では、塩害による鉄筋腐食膨張によりひび割れが発生、さらにコンクリートのはく落などが生じている。また、PC橋においては主ケーブルの破断に伴うひび割れが発生している。コンクリート部材で最も損傷が著しいのはRC床版である。日本では維持管理費用が最も多く、修繕費用の50%に達する地方公共団体もある。

(3) その他の部位

その他の部位の健全度区分Ⅲの損傷状況を図-7(3)に示す。その他の部位の損傷で最も多いのは「支承」である。支承は伸縮継手部からの漏水により、支承全体の腐食が多く、機能の低下やアンカーボルト破断もある。橋梁の維持管理において2番目に費用負担が多いのは塗装、すなわち防食対策である。防食効果が低下した鋼橋では、鋼材の腐食による減肉や断面欠損が生じている。よって、塗替え時には損傷程度に応じたケレンを実施し、塗装を施す必要がある。橋梁の美観への効果もある。次に、吊り橋、斜張橋の斜材や定着部、ローゼ橋の吊材などは、雨水の滞水や飛来塩分による腐食などを念頭に置いた点検を行う必要がある。

以上のような、損傷事例に示されるような早期処置段階で修繕することでコストの縮減および橋梁の延命化が図られることになる。

5. 劣化橋梁の補修・補強事例

5. 1 橋梁の維持管理の概要

国土交通省より「道路橋長寿命化修繕計画策定事業」が2009年に策定された。これに基づいて地方公共団体では、管理する橋梁の長寿命修繕計画を立案し、平準化した予算のなかで毎年修繕を実施している。2009年以前は、損傷が顕在化した時点で大規模な修繕を行う事後保全型の維持管理を行っていたが、2009年以降は5年ごとの橋梁点検を行い、計画的に修繕を行う予防保全型維持管理へと移行された。ここでは、①「損傷が発見され崩落寸前の橋梁の補修・補強事例」、②「道路橋長寿命化修繕計画に基づいて緊急対応の必要なPC橋の補修・補強事例」、③「損傷が軽微な段階で修繕を実施する予防保全型維持管理における高速道路の橋梁の補修事例」を説明する。

5. 2 損傷が発見され崩落寸前の橋梁の補修・補強事例[7]、[8]


(1) 損傷が顕在化したPCローゼ橋の概要

吊材ケーブル破断が発見されたPCローゼ桁橋の補強対策の事例を図-8に示す。

2007年橋梁点検における事後対策 PCローゼ橋の補強対策

橋梁名：君津新橋
架設年次：1973年(36年経過)
橋梁形式：下路式ローゼアーチ橋
橋長：68.1m(単径間)
有効幅員：14.0m(歩道1.5m+車道11.0m+1.5m)
吊材構成：纜2本で構成、上下流各10箇所(合計40本)で下弦材を支持

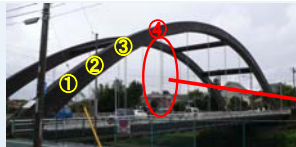
本PCローゼ橋は当時として我が国で初めて採用した橋梁



上弦材 RC構造
下弦材 PC構造
φ32mmのPC鋼棒

本橋は、広域的な主要幹線道路として二級河川小糸川に1973年建設された国内初の下路式コンクリートローゼアーチ橋で、吊材破断時には建設後36年が経過していた。吊材は1組2本のPC鋼棒(φ32mm)で構成され、上下流各10箇所計40本で下弦材を吊っていた。

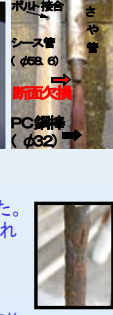
破断ケーブルの調査および復旧対策



2008年10月23日(木)14時30分 歩行者発見

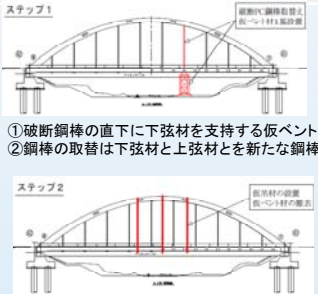
●調査
吊り材④の破断が確認された後、緊急調査を実施した。その結果、他の鋼棒にも腐食や減肉が顕著に認められた。

●復旧対策
①落橋の危険性があるため緊急対策の実施
②橋梁の長寿命化を図るための恒久復旧対策の実施



(1) 橋梁形式

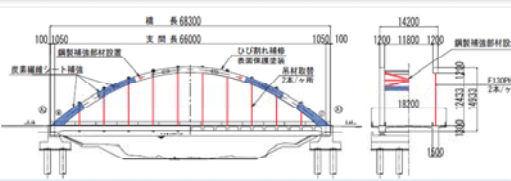
応急復旧対策(緊急対策)



①破断鋼棒の直下に下弦材を支持する仮ベント材を設置
②鋼棒の取替は下弦材と上弦材とを新たな鋼棒を着着

上弦材と下弦材に鋼製の支持梁を取付、12本の仮吊材を設置

恒久復旧対策(B活荷重対応)



●恒久復旧対策
吊材を既設PC鋼棒から耐疲労性と防食性能に優れたPCケーブルへの取替(40本)
耐震補強：鋼製補強部材設置、炭素繊維シート補強
B活荷重対応：吊材張力調整
ASR対策：ひび割れ補修、保護塗装

(3) 応急復旧対策

(4) 恒久復旧対策

耐震補強対策



1973年 竣工時 耐震補強

●耐震補強対策
耐震補強は、アーチリブに鋼製補強部材の設置と炭素繊維巻立て補強を施し、アーチ部材の曲げ補強とせん断補強を行った。
補強部材は工場で作成し、5分割にして運搬し、現場に搬入しトラッククレーン架設を行った。

補強期間1年5ヶ月 完成

(5) 耐震補強対策

図-8 PCローゼ桁橋の復旧対策

当該橋梁は千葉県の君津市を通る広域的な主要幹線道路として二級河川小糸川に

1973年に建設された国内初の下路式コンクリートローゼアーチ橋である。橋長は68.1m、幅員が14mである。2008年10月23日、アーチ部材と下弦材を繋ぐ吊材PC鋼棒の破断が発見された。吊材破断時には建設後36年が経過していた(図-8(1))。吊材は1組2本のPC鋼棒(φ32mm)で構成され、上下流各10箇所計40本で下弦材を吊っていた。破断が発見された後は、直ちに車両通行止めの措置をとり、緊急・詳細調査を行い、原因究明を進めるとともに橋梁の安全性を確保しながら段階的に補修工事を実施した。

(2) 破断ケーブルの診断・調査および復旧対策

破断した④PC鋼棒破断事故直後の緊急調査を行っている(図-8(2))。破断したPC鋼棒を採取し、腐食状況や破断部の目視による緊急調査を行った。PC鋼棒には防食塗装が施されていたが、ステンレス製のシース管により覆われていたことからPC鋼棒の腐食状況について直接目視点検ができない状態であった。PC鋼棒破断はシース管の接続部付近で生じ、施工時の防食塗装が喪失し、直径φ32mmのPC鋼棒が13mmに減肉していた。その他のPC鋼棒についてもシース管の一部を除去して観察したところ、腐食・減肉が確認された。

PC鋼棒の破断原因を究明するための詳細調査としてPC鋼棒の材料試験を行っている。この結果、硬度、金属組織、引張強度に異常は見られず、材料面の欠陥はなかったと判断された。また、破断面の性状から延性破断ではなく、表面の腐食部を起点とした脆性破断と推定された。

次に、破断PC鋼棒の腐食・減肉が著しいことから、現地でPC鋼棒とステンレスシース管の導通試験を実施した結果、PC鋼棒の塗装が残っている箇所では導通がないが、塗装を除去すると導通が確認された。さらに、シース管を繋ぎ止めているステンレス製のさや管との異種金属接触腐食試験(ガルバニック腐食試験)を行ったところ、PC鋼棒とステンレスさや管のガルバニック電流により境界部付近でPC鋼棒の腐食がかなり促進されていることが解った。これらの調査結果よりPC鋼棒の破断原因は、PC鋼棒を保護しているシース管の継手部が劣化や振動によって外れ、管内に浸透水や結露による腐食環境が生じたことに加えて、ステンレス鋼のシース管・さや管とPC鋼棒との間に部分的に電氣的接触による「異種金属接触腐食」が生じ、断面が著しく欠損したPC鋼棒が抵抗力を失い破断に至ったものと推定された。

(3) 応急復旧対策(図-8(3))

アーチリブから40本のPC鋼棒で下弦材を支持する構造であるため、PC鋼棒の破断により他のPC鋼棒に過大な負荷がかかるとともに構造物全体の構造安全性が低下する。そこで、他のPC鋼棒が破断した場合でも落橋等の重大な事態に至らない簡易な補修により再利用可能な状態に復旧することを目的に、①応急復旧対策ステップ1、と応急復旧対策ステップ2の2段階の応急復旧対策を行っている。

1) 応急復旧対策：ステップ1

破断箇所の隣接 PC 鋼棒の破断を防止するために、破断箇所の直下に下弦材を支持する仮ベント基礎を設置し、破断 PC 鋼棒を取り替えた。PC 鋼棒の取替えは下弦材内部に埋設された既設のカップラーに腐食がなかったことから、耐荷力実験を行った。その後、これを再利用して新たな PC 鋼棒を接続した。

2) 応急復旧対策：ステップ2

全吊材の 60%に相当する 24 本の PC 鋼棒が破断した場合でも落橋に至らず構造安全性を確保することを目的として 12 本の仮吊材を新たに設置した。仮吊材の構造はアーチリブ上面および下弦材下面に鋼製支持梁を取り付け、これらを新たな PC 鋼棒により連結する構造とした。設置位置は構造全体のバランスや恒久復旧対策での吊材取替え作業を考慮して既設吊材の中間部に設定した。

(4) 恒久復旧対策 (図-8(4))

恒久復旧対策の検討は、1994 年改訂の道路橋示方書・同解説に準拠して各部材の補強対策と新設橋梁へと架替えも含めて対策を検討している。その結果、吊材以外の部材は比較的健全であり、適切な補修を実施することで橋梁の長寿命化を図ることが可能となり LCC の負担の少ない補修方法を選定した。補修方法は、吊材を既設 PC 鋼棒から疲労性能と防食性能に優れた PC ケーブルへの取替えと現行道路橋示方書に準じた耐荷性能・耐震性能および耐久性の向上対策を実施した。

(5) 耐震補強 (図-8(3))

耐震補強対策は、上弦材を結ぶ鋼製補強部材の設置と上弦材への炭素繊維シート巻立により、曲げ補強およびせん断補強を図った。また、上弦材の鋼製補強部材は工場製作とした。工場からは運搬・架設を考慮して 5 分割で作製している。補強部材の取り付けは、受け金具をケミカルアンカーで上弦材に取り付けし、分割した部材を順次架設し、ボルト接合により組み立てを行った。

以上より、君津新橋（下路式コンクリートローゼ）は、上弦材から PC 鋼棒で下弦材を吊る形式であり、その内 1 本の鋼棒の破断が発見された。通行止めを行い、緊急対応で補強対策を実施し、崩落に至らなかった事例となる。さらに、B 活荷重対応で補修設計を行い、新たな PC ケーブルを配置するとともに、耐震補強が施されたことから、耐荷力性能および耐疲労性の向上が図られた。

5. 2 道路橋長寿命化修繕計画に基づいて緊急対応の必要な PC 橋の補修・補強事例



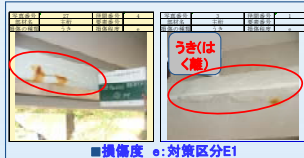
(1) 緊急対応対象の PC 橋梁の概要

千葉県道路橋長寿命化修繕計画における緊急対応の必要な PC 橋梁の補強対策を図-9 に示す。千葉県道路橋長寿命化修繕計画に基づいて、緊急対応が必要を判断された健全度区分IV判定の PC 橋に関する補強対策を述べる。PC 橋梁の補強対策を図-8 に示す。

長寿命化修繕計画における緊急対応(健全度Ⅳ)の必要なPC橋梁の補強事例

■主に塩害が原因で、重大な損傷が発生

施設名: 勝浦大橋
 位置: 千葉県 勝浦市串浜地先
 橋種: PCポストテンション単純T桁
 橋長: 229.95m(9径間)
 幅員: 8.6m(車道幅員8.0m)
 竣工: 1968年(築46年)
 交通量: 9,287台/日
 (平成22年度道路交通センサス)

■損傷度 e:対策区分E1

(1) 橋梁形式

2013年、電気防食のための点検傷状況



●2013年に電気防食のため、損傷箇所の断面修復作業中に、PCケーブルの破断が確認され、再点検および対策を検討した。(なお、仮基礎を設置し、車輛規正も行った)

支間中央付近の損傷
鉄筋の断面欠損
PCケーブルの破断
削り作業

(2) 損傷状況

塩害に対する補強対策 (断面修復、電気防食)

●勝浦大橋は、鉄筋が腐食し、破断が見られた。健全度評価はE、平成26年の点検要領では判定区分Ⅳに相当する。

●塩害対策:
鉄筋を配置し、断面修復した後、電気防食を実施する。

●千葉県での塩害対策:基本的に「電気防食」で計画している。



(1)鉄筋ケレン (2)補強鉄筋配置
(3)鉄筋間導通確認 (4)陽極設置後配線


写真 断面修復および電気防食

(3) 塩害に対する補強

外ケーブル補強工

●PCケーブルの破断
主桁:下段のPCケーブルの破断と鉄筋が破断が見られたことから、鉄筋を配置し、断面修復した後、外ケーブルで補強した。

・拡複部:鉄筋を配置し、コンクリートで断面を増厚し、せん断補強を行った。



緊結鋼棒配置状況
外ケーブル配置状況
ウェブ増厚鉄筋・ひび割れ防止組立
ウェブ増厚完了

(4) PCケーブル破断に対

電気防食・外ケーブル式補強対策完了



外ケーブル式補強
電気防食施工状況

●破断ケーブルの補強として外PCケーブルで補強

●電気防食は防食電流の供給・調整を行う。



導通確認 直流電源装置

(5) 電気防食・外ケーブル式補強

図-9 PC桁橋の補強事例

当該橋梁は、千葉県勝浦市を通る一般国道128号線に建設された橋梁である。交通量は9200台の幹線道路である。この橋梁は、1968年に竣工され、補強当時で46年が経過

している。橋種は PC ポストテンション方式の単純 T 桁橋であり、橋長は 229.95m (9 径間)、幅員は 8.6m である。この PC 橋は、海岸線から 20m 程の位置に建設されており、飛来塩分による塩害を受ける環境に立地している。

(2) 修繕および点検履歴

勝浦大橋は、重交通による疲労損傷と沿岸部の立地条件による塩害を受けている。海岸から 10~20m 程度の位置に建設されており、満潮時および台風時には直接海水を受ける場合や常時飛来塩分による塩害を受ける環境である。この PC 橋の補修歴は、1990 年にコンクリートの表面被覆工、1996 年に断面修復、コンクリートの表面被覆工、橋面防水工を実施している。

橋梁点検は 2001 年、2007 年に定期点検を実施している。2007 年時点の点検では、主桁には鉄筋の腐食膨張によるひび割れ、補修箇所には、うき、はく離やなどの損傷が著しい。2010 年橋梁長寿命化修繕計画における対策区分は E1 判定 (2016 年の点検要領では健全性の判定区分 IV に相当する損傷である) であり、緊急対応の必要な橋梁であった。これに基づいて 2011 年に断面修復が施されていた。2012 年の点検では、5, 8, 9 径間では塩害による鉄筋の腐食が著しく、電気防食の対策を検討した。

(3) 調査・診断

1) 補強前の診断

電気防食の対策の実施に先立ち、①コア採取による塩化物イオン量の測定、②コンクリート粉末の採取によるコンクリートの中性化調査、③はつり調査による鉄筋の腐食状況の診断を行った。これらの詳細調査の結果、中性化は軽微であったが、コンクリート表面から 40mm の位置の鉄筋近傍の塩分量は 4.0kg/m^3 となり、鉄筋の腐食限界濃度 1.2kg/m^3 を超えていた。

2) 補強時の診断

電気防食工の事前処理時に、スターラップ筋などの鉄筋が腐食により破断や断面欠損、炭素シートのはく離、主桁に配置された下段の PC ケーブル 5 本全てが破断していることを確認した。よって、直ちに大型車輛の通行止め (車輛規制) を行うと同時に PC ケーブルの破断が確認された径間には落橋防止のためにベント基礎を設けて対策を講じ、新たな補強設計および対策を検討した。

(4) 補強対策

補強法対策として、①鉄筋の腐食による錆汁発生箇所のコンクリートを削り、鉄筋の錆の除去および破断箇所は補強鉄筋を配置した。その後、電気防食の電極を設置するためにコンクリート表面に溝を切削し、チタンリボンメッシュ陽極 (+) を固定し、セメントモルタルを充填した。電気装置の (-) 側に鉄筋を繋ぎ、所定の電力を流し、導通確認を行う。さらに、PC ケーブルの破断に対して外ケーブルで補強を施した。定着部は PC 桁の桁間が 30mm であることから端部での定着は困難であることから、定着部は拡複部に設けた。よって、拡複部に、PC 定着部であるアンカーブレードの組み立てを

行い、コンクリートを打ち込み、強度発現を確認した後、外ケーブルを配置し、緊張した。次に、ウェブに定着部を設けることから補強筋を配置し、モルタルで増厚して、せん断抵抗を高める補強法とした。

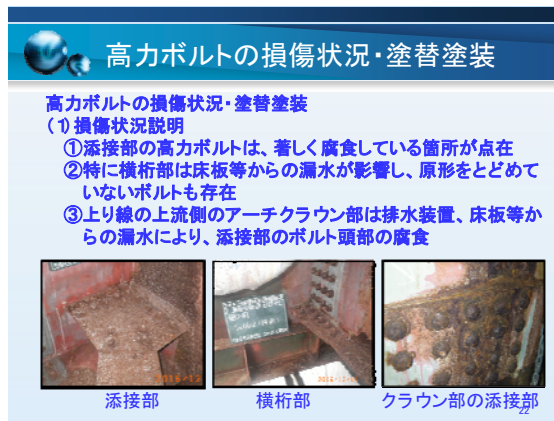
以上、本橋梁は、橋梁点検・診断においては緊急対応の必要性は認められたものの、PC ケーブルの破断は予期せぬ事態となり、これを外ケーブルで補強することで崩落に至らなかった事例である。なお、補強後2年の現時点においても異常は見られない。

5.3 損傷が軽微な段階で修繕を実施する予防全型維持管理における高速道路の橋梁の補修事例

(1) 橋梁概要

高速道路会社、ネクスコ東日本における予防保全型維持管理における補修・補強法を図-10に示す。


ネクスコ東日本が管理する高速道路上信越自動車道、高崎から佐久平区間に建設された遠入川橋は、1993年に開通し、供用後24年が経過している。この橋梁の支間は178.8m、幅員は8.75m、交通量は27000台/日であり、上・下線各2連で構成されている。主構造は、鋼逆ローゼ橋であり、コンクリート床板にはグレーチング床版（亜鉛鋼板を型枠材とした）採用が採用されている。標高600m程の位置に建設された山岳橋梁である。気象特性としては、冬季には降雪・氷点下となり、冬期間は車両スリップ防止対策として凍結防止剤の散布が行われている。よって、主な橋梁の損傷は、氷点下環境による凍害、凍結防止剤散布による塩化物を含む融解水の排水装置等からの漏水、グレーチング床版への滞水、損傷部への浸透により、鋼部材や各種ボルト類の腐食・亜鉛鋼板の腐食を促進している。




高力ボルトの損傷状況・塗替塗装

高力ボルトの損傷状況・塗替塗装
(1) 損傷状況説明


- ① 添接部の高力ボルトは、著しく腐食している箇所が点在
- ② 特に横桁部は床板等からの漏水が影響し、原形をとどめていないボルトも存在
- ③ 上り線の上流側のアーチクラウン部は排水装置、床板等からの漏水により、添接部のボルト頭部の腐食



添接部



横桁部



クラウン部の添接部

(1) 橋梁形式



予防保全対策(ネクスコ東日本)
上信越自動車道 遠入川橋梁

施設名: 上信越自動車道 遠入川橋梁
位置: 群馬県安中市松井田町
橋種: 鋼アーチ橋
橋長: 178.8m
幅員: 8.75m(1.25+7.0+0.5)
開通: 1993年3月
交通量: 約27,000台/日

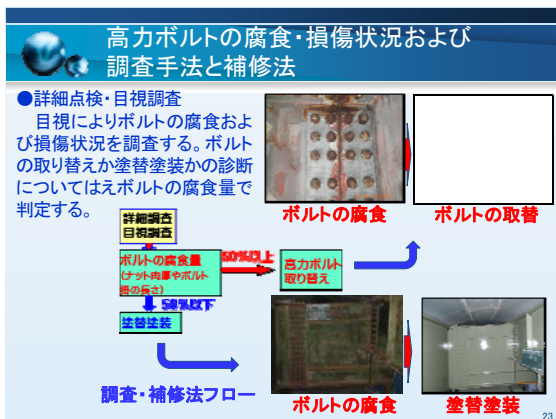


① 氷点下による融解水の滞留
② 排水装置
③ 腐食箇所

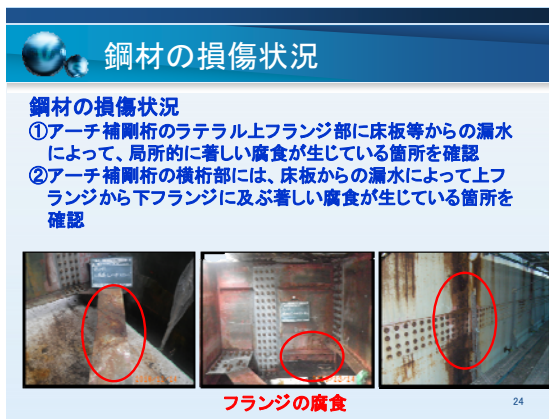


橋梁点検

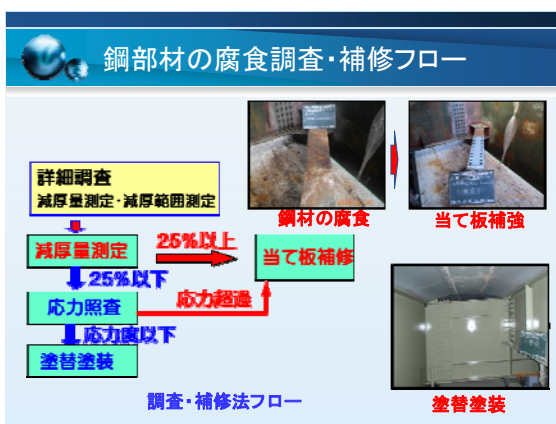
(2) 高力ボルトの損傷状況



(3) 高力ボルトの損傷に対



(4) 鋼材の腐食状況



(5) 鋼材の腐食に対する補修

図-10 鋼アーチ橋の予防保全型維持管理における補修事例

(2) 橋梁点検

橋梁点検は、詳細点検、補足点検、基本点検、日常点検により実施している。なお、詳細点検では、5年ごとに近接目視・打音点検を実施している。

当該橋梁の2017年における点検健全度評価は、上り線は、主構、床版ともにグレードⅡであった。下り線は、主構、床版ともにグレードⅠであった。

なお、国土交通省の点検要領における判定区分は4段階であるが、ネクスコ東日本の点検要領では、管理管内の劣化機構と劣化進行を考慮して5段階に区分されている。ネクスコ東日本におけるグレードⅠの変状は劣化の進行は「問題となる変状がない」、構造性能は「劣化の進行が見られない」である。また、グレードⅡは、変状は劣化の進行は「軽微な変状が発生している」、構造性能は「劣化は進行しているが、耐荷性能又は走行性能は低下している」である。

以下に損傷部位ごとの点検・診断・補修法について述べる。

(3) 高力ボルトの点検、診断および補修法

高力ボルトにおいても近接目視点検を行っている。鋼アーチ主鋼の各部材との添接部は床版からの漏水の影響により腐食が生じている。特に、横桁の高力ボルトの腐食は著しく、原形をとどめていないボルトも存在している。アーチクラウン部は、排水装置や床版からの漏水により、添接部のボルト頭部が腐食している。

補修の判断は、ボルト頭の掛長・ナットの減肉が50%を基準に取り替えの判断をしている。よって、減肉量が50%以上の損傷の場合は、ボルトの取り替え、50%以下の場合には塗替塗装を実施する。

(4) 鋼材の腐食状況に対する点検・診断・補強方法について

近接目視点検により全ての部位の点検を行っている。アーチ補剛桁のラテラル上のフランジ部に上部工からの漏水により、局所的に著しい腐食の発生が確認される。また、横桁部においても床版からの漏水によって上フランジから下フランジに及び、著しい腐食が発生している。

以上のように、高速道路会社3社（東日本高速道路、中日本高速道路、西日本高速道路）では、共通の橋梁点検要領を基に、各部位を点検し、変状グレード（国土交通省の点検要領では、健全度の判定区分）を設けている。維持管理計画は、早期に実施する予防保全型維持管理を実施し、日本の高速道路の安心・安全を確保している。

6. まとめ

日本では、道路橋の安全性の確保および低コストでの維持管理を実施するために「道路橋長寿命化修繕計画」を立案し、これに基づいて毎年、平準化した予算の中で修繕が実施されている。そこで本報告では、以下の知見を述べる。

(1) 日本では、2007年に一斉に橋梁点検を実施し、危険な橋梁および部位に対して、補修・補強を行っている。また、2009年から地方公共団体では、橋梁点検から健全度を判定し、道路橋長寿命化修繕計画を立案し、修繕を実施している。よって、2009年以降は崩落が心配される橋梁は、補修・補強が施され、安全・安心が確保された。

(2) 2006年に国土交通省は橋梁点検要領を改訂した。これによると調査対象の橋梁は支間2.0m以上、全ての橋梁が近接目視による点検が実施され、橋梁および部位ごとに健全性が評価される。現在は、健全度の判定区分Ⅳを優先し、修繕を実施している。また、予防保全維持管理として健全度の判定区分Ⅲについても平準化した予算のなかで修繕を実施している。道路橋長寿命修繕計画に基づいて修繕することで50%の費用が削減され、安全・安心できるように橋梁が維持されている。

(3) 日本における道路橋部材の中で最も損傷を受け、修繕費用の50%にも及ぶ部材は道路橋RC床版であり、床版取り替えも含めた大規模修繕が実施されている。また、交通車輛の設計荷重の増大に伴い、設計基準が改定され、道路橋床版の架け替えも多くなる。現在、老朽化した道路橋床版は新たな床版への架け替え技術の開発を行っている。

(4) 日本における崩落寸前な橋梁は 2009 年以前に、修繕され、現在においては崩落寸前の橋梁は存在しないと考えられる。鋼橋においてはトラス橋の格点で、斜材や吊材の破断が報告されたが、これらについては修繕が実施された。海岸線に建設された PC 橋は、飛来塩分による PC ケーブルが腐食し、破断も見られたが、現状では外ケーブルで補強されている。

(5) 日本の高速道路会社が管理する道路橋については、日常点検や詳細点検を行い、損傷状況を点検している。詳細点検では、5 年ごとの点検により、全ての部材の健全度評価を行い、損傷が軽微な段階で補修を実施し、安全・安心に利用できる高速道路の維持管理に勤めている。

参考文献：

- [1] 米国ミネアポリス橋梁崩落事故に関する技術調査団：米国ミネアポリス橋梁崩落事故に関する技術調査報告，2007 年 10 月．
- [2] 朝日新聞：崩落寸前の橋梁 121 基
- [3] 森下博之：道路の老朽化対策の取り組みについて、国土交通省道路局国道・防災課道路保全企画室、2017
- [4] 千葉県県土整備部道路環境課：千葉県橋梁長寿命化修繕計画、2016
- [5] 国土交通省：地方自治体の長寿命化修繕計画に関する最近の動向、国土交通省道路局国道・防災課道路保全企画室、2010
- [6] 国土交通省：橋梁定期点検要領、2014
- [7] 千葉県君津市建設部：【君津新橋】コンクリートローゼアーチ橋の吊材破断に伴う復旧事例について、道路行政セミナー 2011. 11
- [8] 大浦弘夫ほか：君津新橋の設計と施工について、橋梁、pp.2～9、1973.11.