

第3章 損傷例にみる耐久性の信頼性

3.1 はじめに

国総研では国が管理する道路橋の定期点検結果に基づき部材種別や損傷種類ごとに劣化の遷移特性の分析を行っている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。その結果からは、耐久性に関わる設計法の充実が図られていることで、多くの橋を平均的にみたときの耐久性の向上が確認できる。一方で、橋毎、また、1つの橋の中でも、要素又は部材の単位では、ばらつきが依然として大きいまま残らざる得ないこともわかっている。また、点検時の損傷箇所の確実な把握、維持修繕におけるアクセス性や作業性に支障が生じている場合も見受けられている。

そこで本章では、耐久性のばらつきの要因及び作業の確実性や容易さを把握するために、次の調査を行うことにした。

1. 国管理の道路橋に限らず、全国の道路橋の定期点検結果に基づき、損傷が大きい事例や供用年数がさほど長期に達していないにも関わらず補修等が必要とされた橋について、損傷の種類や想定される要因を網羅的に分析する。
2. 部位ごとに劣化のばらつきの形態や原因に特徴があるかどうかを考察するために、国が管理する道路橋に関する定期点検調書に記載のある損傷写真を網羅的にみて考察する。
3. 作業の確実性や容易さについて、国が管理する道路橋に関する定期点検調書に記載のある写真や共同研究者である建設コンサルタント協会に対するアンケート調査から網羅的に考察する。

3.2 健全性の診断区分がIVとされた橋の損傷の特徴

3.2.1 はじめに

平成26年度から平成28年度で実施された全国の道路橋定期点検の結果より、健全性の診断区分がIVとされた橋梁491橋に対して、架橋条件との関係性、損傷の種類等を分析した。また、調書から写真や所見等を確認し、部材種別ごとに損傷内容を類型化し損傷の特徴を分析した。

3.2.2 架橋条件に関する関係分析

健全性の診断区分がIVの橋梁について、損傷の進展に影響を及ぼす塩害環境と交通量との関係性を分析した。

(1) 塩害環境

健全性の診断区分がIVの橋梁の架橋位置の塩害環境を図-3.2.1に示す。なお、塩害地域区分や対策区分は記載のものを用いた。塩害地域区分(a)では地域区分Cが65%と最も多く、塩害対策区分(b)では対象外が88%と最も多い。また、海岸距離(km)(c)では0.7km以上離れた橋梁が85%と最も多い。

以上より、塩害環境が厳しいとされている環境が大半を占めるわけではないことがわかる。

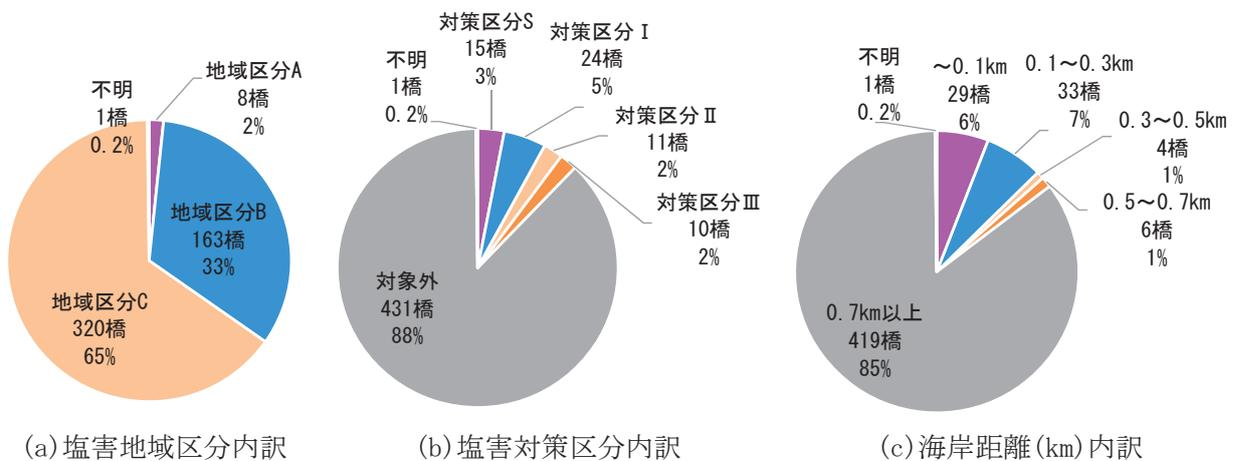


図-3.2.1 健全性の診断区分がIVの橋梁に関する塩害環境

(2) 交通量

健全性の診断区分がIVの橋梁における交通量内訳を図-3.2.2に示す。84%の橋梁で交通量は不明であるが、500台/日未満の橋梁が12%を占め、500台/日以上が2%とわずかである。

以上より、不明や人道橋を除けば500台/日以下の橋梁がほとんどであることがわかる。

また後に見るように、健全性の診断区分がIVの橋の原因となっている損傷の種類は、腐食やひびわれ、剥離・鉄筋露出が多い。これらは、交通量の多さと必ずしも直接的に関係しないものであり、図-3.2.2の結果と矛盾しない。

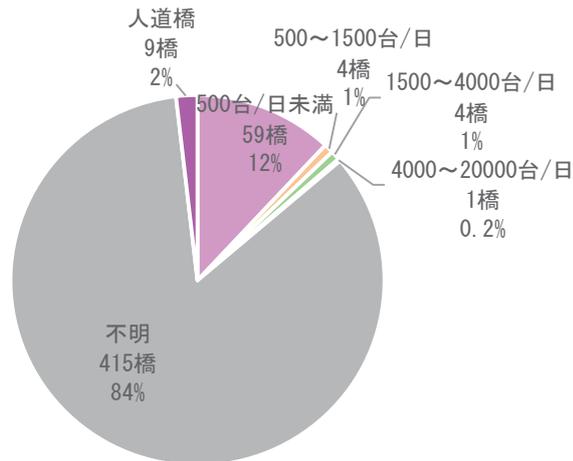


図-3.2.2 交通量内訳

(1) 鋼上部構造の損傷種類別内訳

鋼上部構造とこれを細分化した鋼主桁、鋼横桁、鋼床版の損傷種類別内訳を図-3.2.4に示す。鋼上部構造(a)の損傷種類は腐食が81%とほとんどを占めており、次いで破断が11%を占めている。また、鋼主桁(b)、鋼横桁(c)、鋼床版(d)の損傷種類別内訳をみると、全て腐食が8割前後を占めており、鋼部材の損傷は腐食がほとんどであることがわかる。

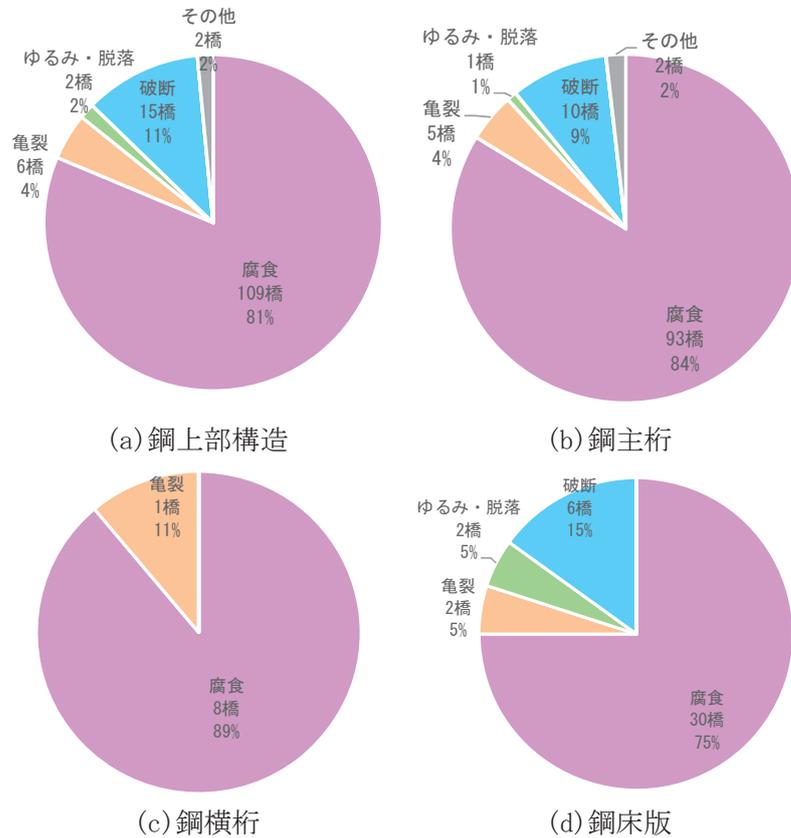
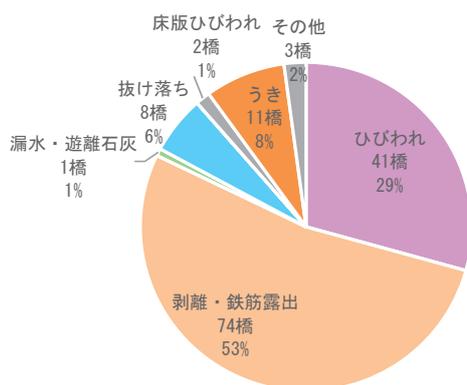


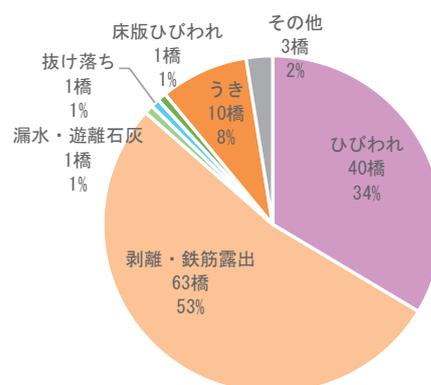
図-3.2.4 鋼上部構造における損傷種類別内訳

(2) コンクリート上部構造の損傷種類別内訳

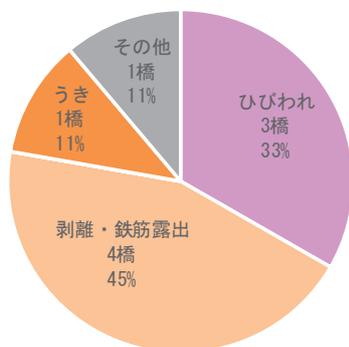
コンクリート上部構造とこれを細分化したコンクリート主桁、コンクリート横桁、コンクリート床版の損傷種類別内訳を図-3.2.5に示す。コンクリート上部構造(a)の損傷種類は剥離・鉄筋露出が53%と大半を占めており、次いでひびわれが29%を占めている。また、コンクリート主桁(b)、コンクリート横桁(c)、コンクリート床版(d)の損傷種類別内訳をみると、全て剥離・鉄筋露出が5割前後を占めており、コンクリート主桁とコンクリート横桁ではひびわれが3割を占め、コンクリート床版ではひびわれが17%を占める一方で、床版特有の損傷である抜け落ちが19%を占めている。



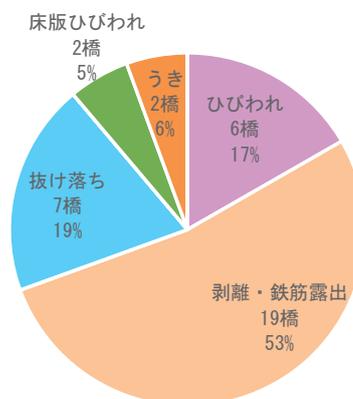
(a) コンクリート上部構造



(b) コンクリート主桁



(c) コンクリート横桁



(d) コンクリート床版

図-3.2.5 コンクリート上部構造における損傷種類別内訳

(3) 下部構造の損傷種類別内訳

下部構造の損傷種類別内訳を図-3.2.6に示す。下部構造の損傷種類はひびわれが33%を占めており、次いで沈下・移動・傾斜が20%、洗掘が15%、剥離・鉄筋露出が15%を占めている。

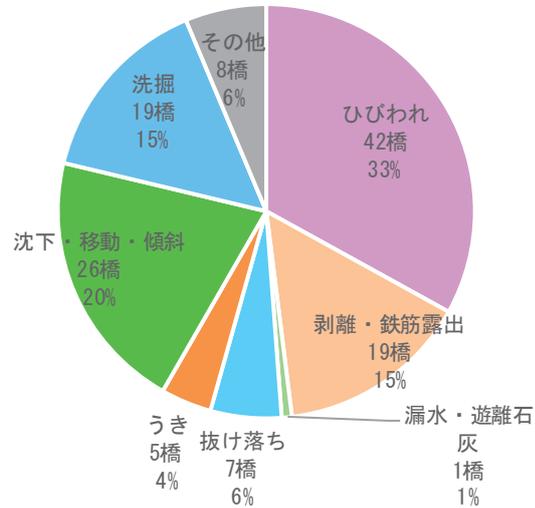


図-3.2.6 下部構造における損傷種類別内訳

3.2.4 損傷写真からみる原因分析

定期点検の調書から写真を確認し損傷の原因を推定する。3.2.3の分析で損傷種類の上位を占めていた腐食や剥離・鉄筋露出、沈下・移動・傾斜、洗掘の損傷について調書の写真を確認すると、腐食や剥離・鉄筋露出では経年劣化由来の損傷が多くみられる一方で、沈下・移動・傾斜や洗掘等では地震や出水などの突発的事象由来と推定される損傷がみられた。経年劣化由来の損傷例を写真-3.2.1、突発的事象由来の損傷例を写真-3.2.2に示す。

以上より、健全性の診断区分のIVの橋梁では経年に伴う腐食または、出水、地震なども関係した突発的事象が関係していると考えられる。そこで、3.2.2の分析のとおり、健全性の診断がIVとなっている橋の内訳は、塩害環境や交通量との相関がみられなかったと考えられる。むしろ、耐久性の信頼性を向上させる観点からは、水処理等を適切に行うこと、定期点検等を行い、予防保全を着実に実施することが重要であることがわかる。

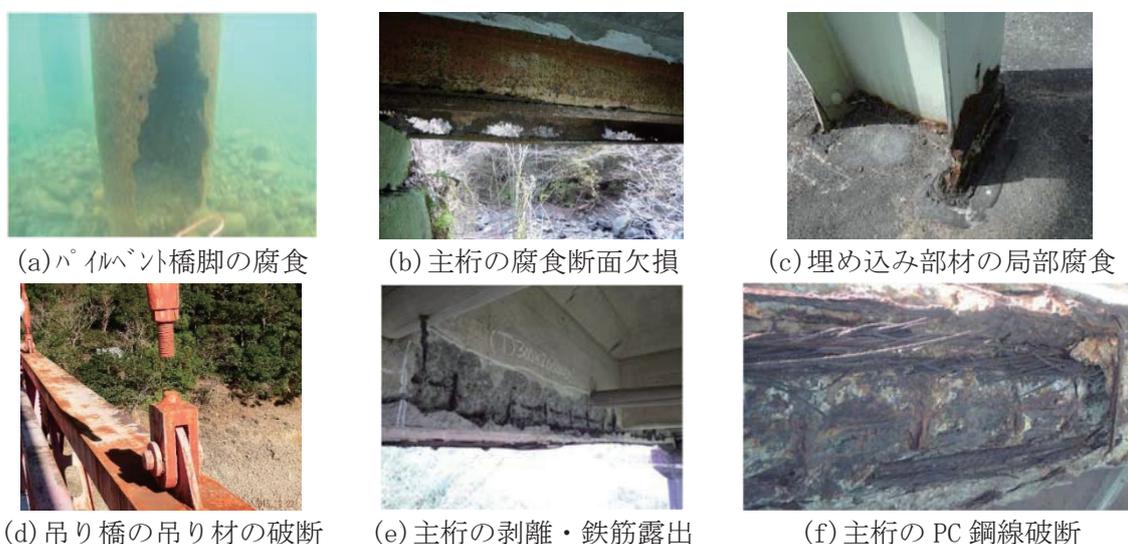


写真-3.2.1 経年劣化由来の損傷例



写真-3.2.2 突発的事象由来の損傷例

3.3 供用年数が長期には至っていないにも関わらず補修等が必要と診断された橋に関する特徴

3.3.1 はじめに

平成 26 年度から平成 28 年度で実施された全国の道路橋定期点検の結果より、供用年数が 15 年以内という早期に機能に支障が生じたと診断された健全性の診断区分がⅢの橋梁 570 橋に対して、損傷の種類と原因について、塩害環境等の架橋条件との関係を分析した。また、道路橋定期点検要領（平成 26 年 国土交通省 道路局）を用いて点検・記録された調書から写真や所見等を確認し、部材種別ごとに損傷内容を類型化し損傷の特徴を分析した。

3.3.2 架橋条件に関する関係分析

供用年数が 15 年以内に健全性の診断区分がⅢとなった橋梁について、損傷の進展に影響を及ぼす塩害環境に着目し分析した。

(1) 塩害環境

供用年数が 15 年以内で健全性の診断区分がⅢとなった橋梁における塩害環境に関する区分を図-3.3.1 に示す。塩害地域区分(a)では地域区分 C が 90%、塩害対策区分(b)では対象外が 96%とほとんどを占めている。また、海岸距離(km) (c)でも 0.7km 以上離れた橋梁が 93%とほとんどを占めている。以上より、健全性の診断区分がⅣの橋梁と同様に塩害環境のみで劣化が進むわけではないことがわかる。

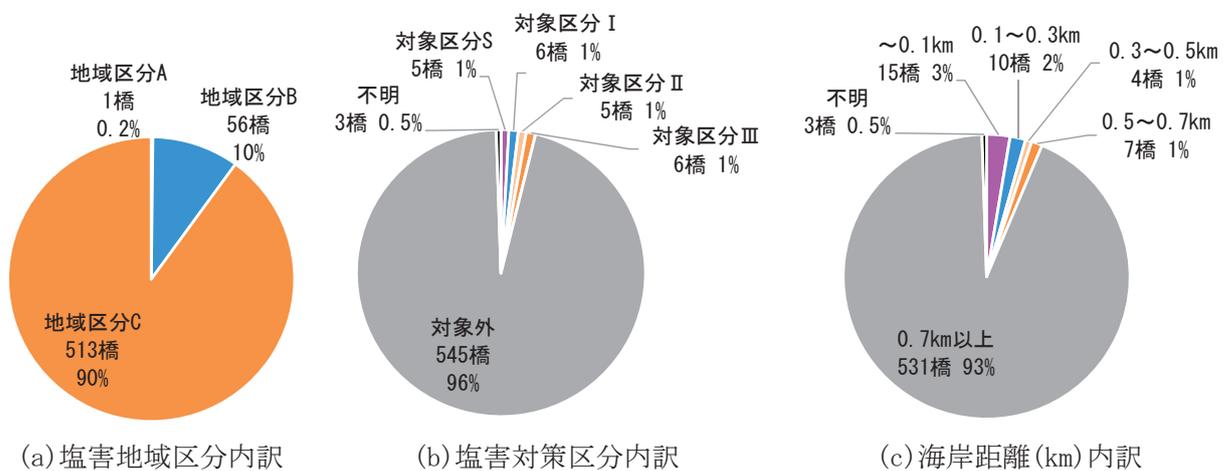


図-3.3.1 供用年数が 15 年以内で健全性の診断区分がⅢとなった橋梁に関する塩害環境

3.3.3 損傷傾向分析

供用から15年以内の早期に健全性の診断Ⅲとなった橋梁について、定期点検の調書の所見に記載されていた損傷を集計した結果を直轄管理と市町村管理に分けて図-3.3.2に示す。なお、1橋で2種類以上の損傷で健全性の診断区分をⅢとしている場合には、損傷種類ごとに1橋として集計している。図-3.3.2に示すように、直轄と市町村ともにひびわれと腐食が大半を占める結果となった。

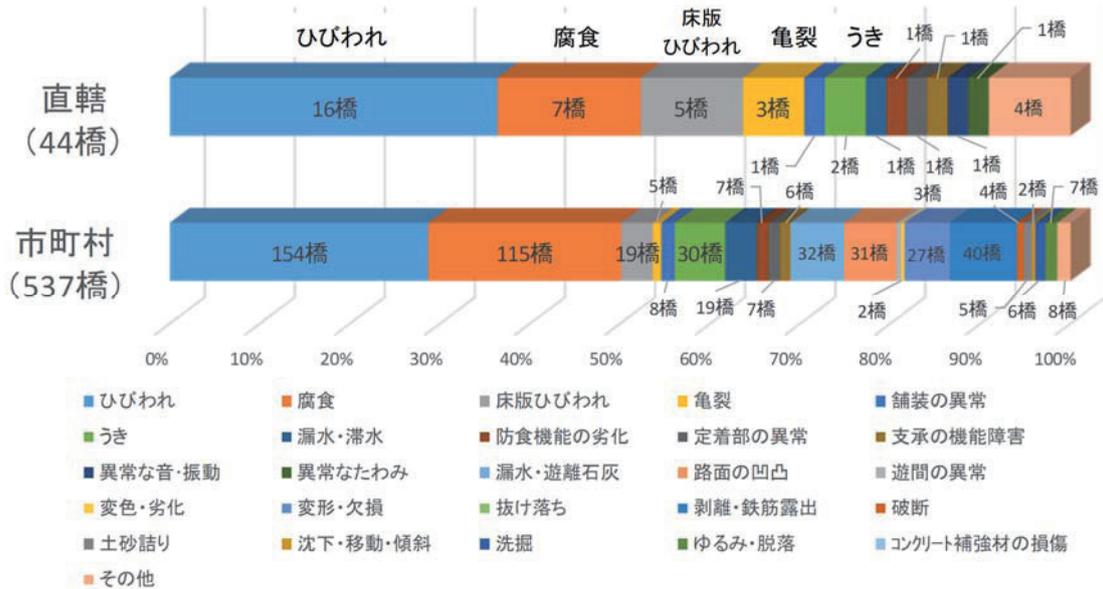


図-3.3.2 損傷種類別内訳 (直轄・市町村)

3.3.4 損傷写真から推定する原因分析

点検結果の写真を見た上で損傷原因を推定した。推定結果を図-3.3.3に示す。なお、写真からの推定であるため、必ずしも実態と正確に一致していない可能性に注意する必要がある。

それでも、水処理の不全、骨材品質に起因、施工品質に起因、環境への部分不適合などは、耐久性のばらつきを大きくしている可能性が伺える。

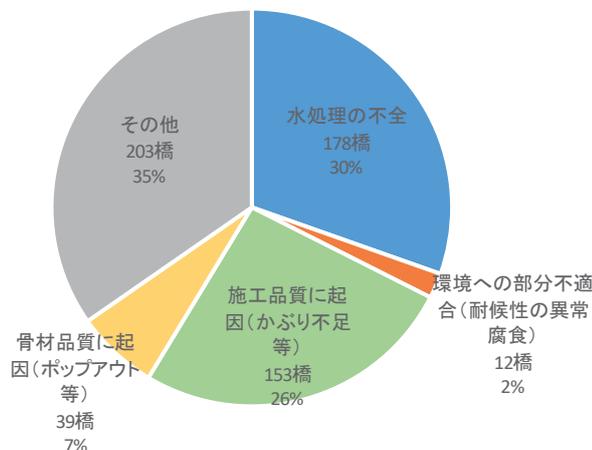


図-3.3.3 損傷原因別内訳

損傷原因の具体例を**写真-3.3.1**に示す。(a)は伸縮装置部からの漏水（排水設計の不全）、(b)は耐候性鋼材の部分腐食（環境への部分不適合）である。このような水の滞水箇所や程度は、供用してから始めてわかることも多いと考えられる。

(c)は骨材の異常によるひびわれ、(d)は床版の鉄筋のかぶり不足によるうき・鉄筋露出である。骨材については、材料や施工の品質管理を適正に行ったとしても、全ての反応性骨材を排除するようなことは行われていない。本分析から、完成物の品質のばらつきにつながる可能性が示されていると考えられる。



(a)排水設計の不全



(b)環境への部分不適合



(c)骨材の異常



(d)鉄筋のかぶり不足

写真-3.3.1 損傷原因の具体例

3.4 凍結防止剤が与える影響

3.4.1 凍結防止剤散布量と健全性の診断結果との関係

道路メンテナンス年報（平成 29 年）では平成 26 年から平成 28 年までで法定点検がされた全国の道路橋約 16,900 橋において、凍結防止剤の散布量との関係が掲載されている。凍結防止剤散布量と健全性の診断結果との関係を図-3.4.1 に示す。なお、凍結材防止散布実績は発注者からヒアリングした結果であり、管理区間単位で平成 26 年度における総散布量である。また、橋梁ごとの凍結防止剤の散布量（単位：t/km/年）は散布量を区間長で除した値とされ、当該管理区間の橋梁はすべて同条件としている。

図-3.4.1 に示すように、凍結防止剤散布量が多い路線ほど健全性の診断結果は悪い傾向があらわれている。しかし、健全性の診断については今後の損傷の進行性も加味して診断されたものであることから、実際の損傷程度と同じ橋でも、進行性の違いを考慮して凍結防止剤散布量が多いときには、技術者が厳しい判断をしていることも考えられる。そこで、凍結防止剤散布量の及ぼす影響を定量的に評価するためには技術者の主観が入らない損傷程度を表す客観的なデータで分析することも有用と考えられる。

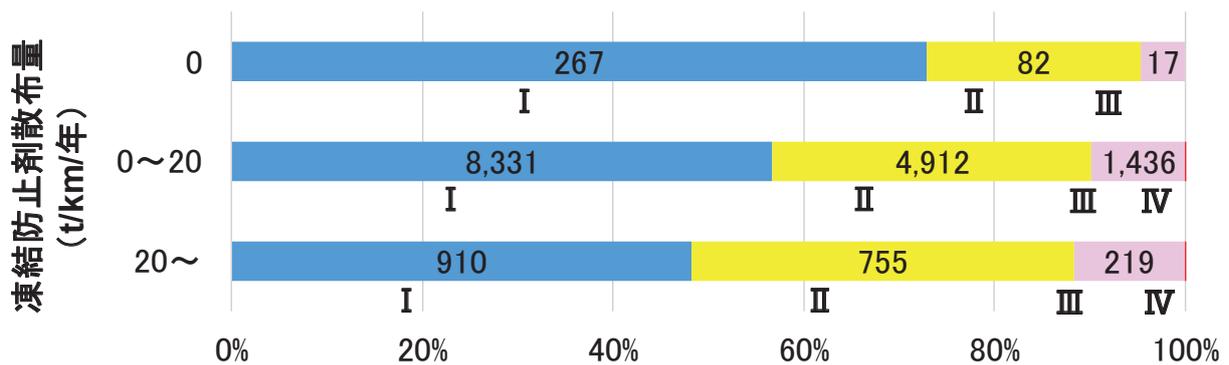


図-3.4.1 凍結防止剤散布量と健全性の診断結果との関係

3.4.2 凍結防止剤と損傷傾向との関係分析

損傷の客観的なデータについて、橋梁定期点検要領(案)(平成16年3月31日国土交通省道路局国道・防災課)や橋梁定期点検要領(平成26年6月国土交通省道路局国道・防災課)を適用した調書では損傷程度を a から e の5段階で記録している。凍結防止剤の散布量と調書に記録された損傷程度との関係を見た場合、各橋梁において供用年数や凍結防止剤の散布が開始された時期が異なったり、毎年の散布量も変化しているはずである。

しかし、ここでは簡単のため凍結防止剤の散布量は過去も今後も一定であると仮定し、橋梁群を凍結防止剤の散布量ごとに区分し、損傷程度の変化を統計的に集計し、凍結防止剤の影響を調べてみることにする。

本分析では、国総研資料第985号「定期点検データを用いた道路橋の劣化特性に関する分析」と同様にマルコフ数え上げによる方法を用いて状態遷移確率分布の作成を行った。

作成にあたって、平成26年から平成28年に点検された約16,900橋の橋梁における直近の2回分の点検結果を対象とし、経年的な状態変化を要素も損傷種類も互いに独立なマルコフ連鎖過程と仮定して、マルコフ遷移確率を求める。すなわちデータの集計において次の特性を仮定する。

- 1) 状態の遷移確率は過去の状態に無関係であり、次の時点でのどの状態にどのような確率で遷移するかはその時点の状態のみに依存する(マルコフ性)
- 2) 状態の遷移確率には時間依存性がなく、経年によらずどの時点においても同じである(斉時性)

ここでは、ある点検時点(時刻 t_A) による損傷程度が次の点検時点(時刻 $t_B (=t_A+5 \text{年})$) においてどの損傷程度にどのような確率で遷移するかについて、橋梁定期点検で蓄積された要素単位の実データを数え上げて集計し、マルコフ遷移確率を求める。点検によって状態が確認された時刻も、状態の評価も離散的な記録であり、実際の状態変化が点検間のどの時点で生じたのかは不明である。すなわち、実際には連続的に変化する状態に対して、状態遷移点と点検時点が一致することはなく、点検記録から状態遷移点を特定することもできない。そこで本分析では、各橋梁における点検間隔には多少の幅があるが、大半は概ね5年間隔で行われているので、集計上、点検間隔は一律に5年として扱う。時刻 t_A における損傷程度を i 、時刻 t_B における損傷程度を j とすると、マルコフ推移確率は式(3.1)のとおりとなる。

$$p_{ij} = \frac{\text{時刻}t_A\text{点検時に}i\text{かつ時刻}t_B\text{点検時に}j\text{である個数}}{\text{時刻}t_A\text{点検時に}i\text{である個数}} \quad (3.1)$$

ここで、 $i=a, b, c, d, e$ 、 $j=a, b, c, d, e$ であり、 a, b, c, d, e は、H16点検要領及びH26点検要領で示される損傷程度 a から e である。また、全ケースのマルコフ遷移確率を状態遷移確率行列 P とし、次の式(3.2)により表すことができる。

$$P = \begin{pmatrix} p_{aa} & p_{ab} & p_{ac} & p_{ad} & p_{ae} \\ p_{ba} & p_{bb} & p_{bc} & p_{bd} & p_{be} \\ p_{ca} & p_{cb} & p_{cc} & p_{cd} & p_{ce} \\ p_{da} & p_{db} & p_{dc} & p_{dd} & p_{de} \\ p_{ea} & p_{eb} & p_{ec} & p_{ed} & p_{ee} \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

式(3.2)は、前後の点検間で損傷程度の評価を維持した遷移確率、状態が悪くなった遷移確率、状態が改善した遷移確率を含んでいる。劣化予測を行うためにこれを用いる場合には、状態が改善した遷移確率を含むため、予測をしても状態が悪くならないことも考えられる。そこで、状態が改善した遷移確率(下三角の p_{ba} , p_{ca} , p_{cb} , p_{da} , p_{db} , p_{dc} , p_{ea} , p_{eb} , p_{ec} , p_{ed})を取り除けば、損傷程度の評価を維持した要素と状態が悪くなった要素に着目した予測を行うことも可能である。式(3.3)に下三角部分を取り除いた状態遷移確率行列を示す。

$$P = \begin{pmatrix} p_{aa} & p_{ab} & p_{ac} & p_{ad} & p_{ae} \\ 0 & p_{bb} & p_{bc} & p_{bd} & p_{be} \\ 0 & 0 & p_{cc} & p_{cd} & p_{ce} \\ 0 & 0 & 0 & p_{dd} & p_{de} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{ee} \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

遷移確率そのものは劣化メカニズムと無関係であるが、劣化の物理的メカニズムを考えれば、遷移確率を求める際に用いる母集団をある程度区分し直すことは考えられる。本分析では、凍結防止剤の影響を明らかにするために、凍結防止剤の散布量に応じて、鋼鈹桁の腐食、コンクリート桁のひびわれ、コンクリート床版のひびわれについてこの状態遷移確率行列を作成した。

次に作成した各損傷の状態遷移確率行列を用いて式(3.4)から状態遷移確率分布を作成した。

$$\{\text{損傷程度 a から e の 5m 年後の割合}\} = [1, 0, 0, 0, 0][P]^m \quad (3.4)$$

[1, 0, 0, 0, 0]は、損傷のない状態(損傷程度 a が 100%、損傷程度 b~e がそれぞれ 0%)で経過 0 年時点の状態を仮定している。[P]は、式(3.3)で表される状態遷移確率行列である。5 年毎の損傷程度を表-3.4.1 のように点数化し、頻度分布として整理すれば損傷程度の分布を算出することができる。ここで、m は整数であり、m=1 とすると経過年が 5 年後のとき、m=2 とすると経過年が 10 年後のとき損傷程度 a から e の割合を示す。

次頁以降に鋼鈹桁の腐食、コンクリート桁のひびわれ、コンクリート床版のひびわれについて、凍結防止剤の散布量ごとの状態遷移確率行列を利用して式(3.4)から得られる 5 年毎の状態確率分布の算出結果を示す。

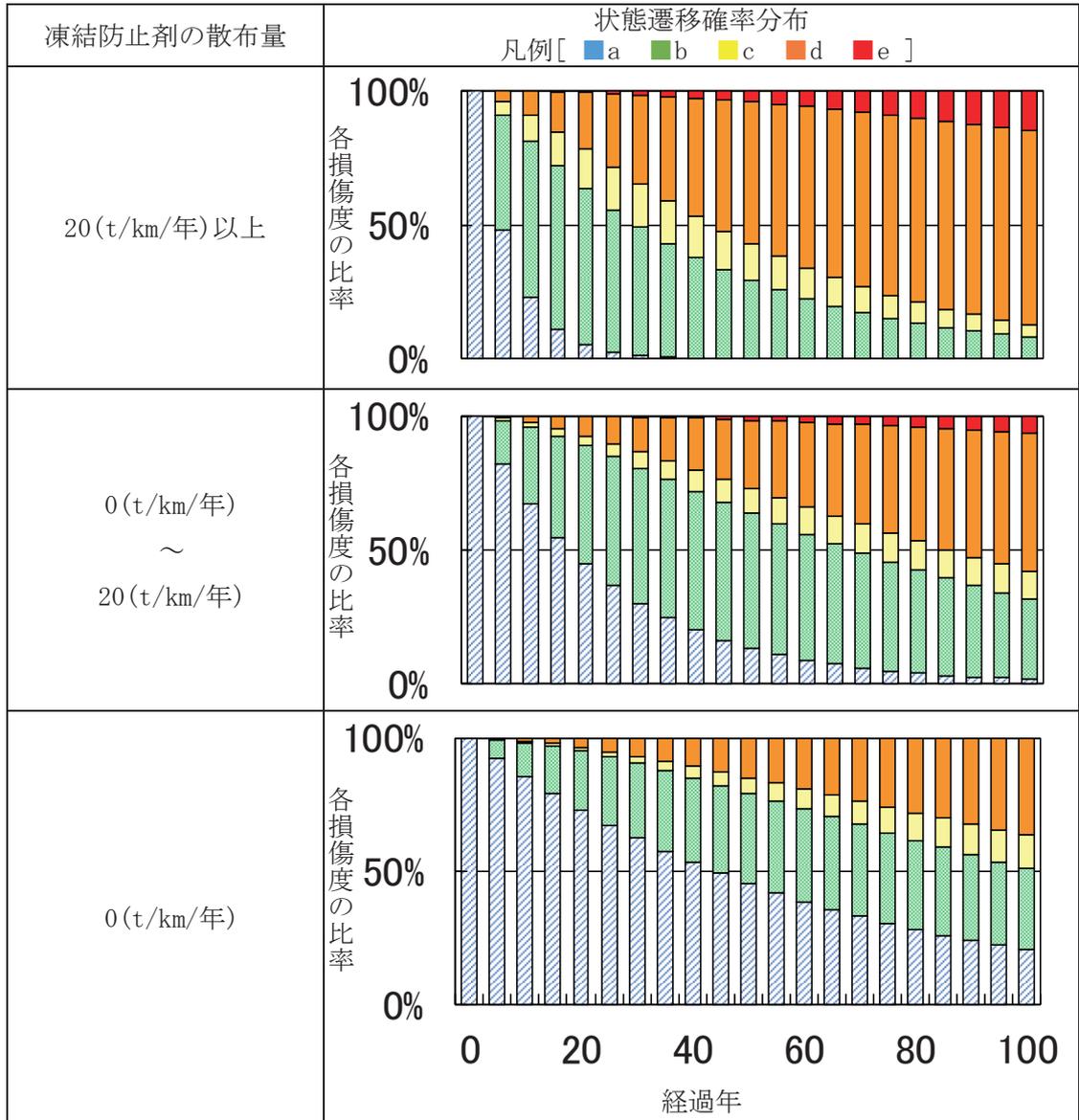
表-3.4.1 各損傷程度の点数化

	損傷無	小 ← 損傷程度 → 大			
損傷程度	a	b	c	d	e
点数	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00

(1) 鋼鈹桁の腐食

鈹桁の腐食について、経過0年の損傷度を a と仮定した状態遷移確率分布をみると、凍結防止剤の散布量が 20(t/km/年)以上の場合、損傷程度 a の割合が 50%以下となるのは経過年が 5 年からであるが、0(t/km/年)~20(t/km/年)では 20 年、0(t/km/年)では 45 年であった。また、凍結防止剤の散布量が 20(t/km/年)以上では、経過年が 45 年で損傷程度 d に推移する確率が 50%以上に高まる。従って、凍結防止剤の散布量が多いほど劣化進行が促進される傾向があらわれた。

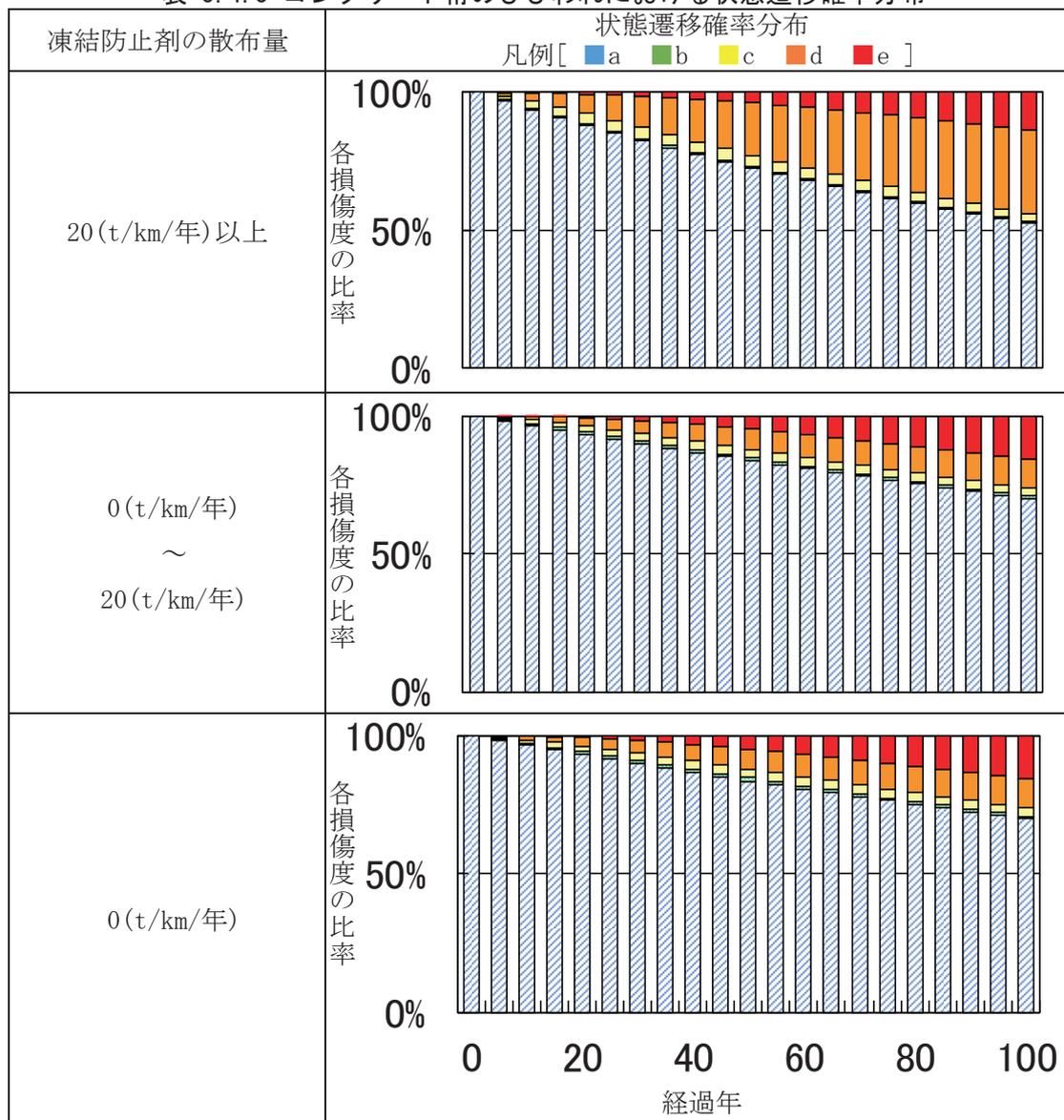
表-3.4.2 鋼鈹桁の腐食における状態遷移確率分布



(2) コンクリート桁のひびわれ

コンクリート桁のひびわれについて、経過 0 年の損傷度を a と仮定した状態遷移確率分布をみると、どの凍結防止剤の散布量の区分でも経過年が 100 年の時点で損傷程度 a の割合が 50%以下にならない結果となったが、凍結防止剤の散布量が多い区分ほど損傷程度 d に推移する確率が高い。従って、凍結防止剤の散布量が多いほど劣化進行が促進される傾向があらわれた。

表-3.4.3 コンクリート桁のひびわれにおける状態遷移確率分布

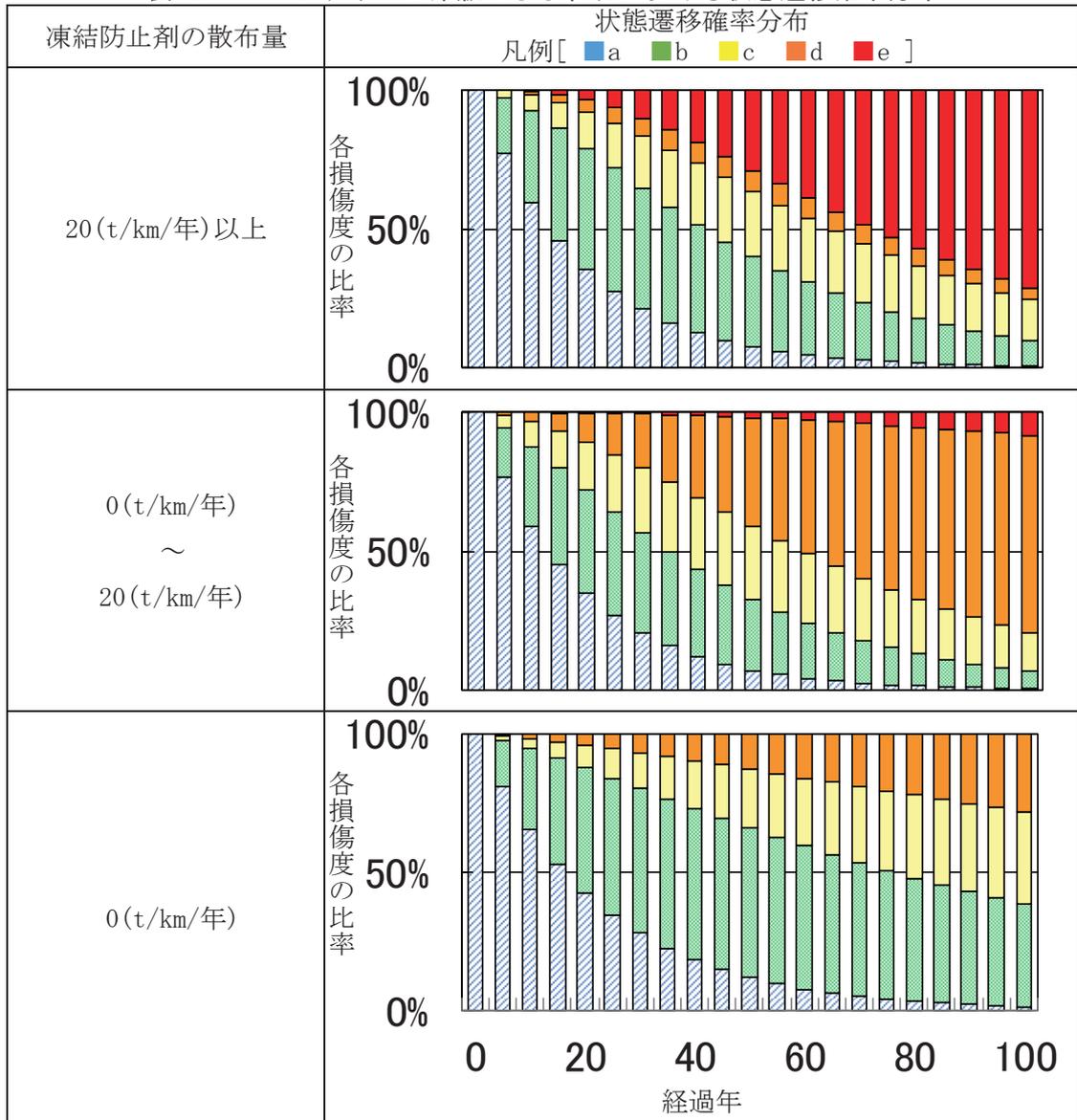


(3) コンクリート床版のひびわれ

コンクリート床版のひびわれについて、経過 0 年の損傷度を a と仮定した状態遷移確率分布をみると、凍結防止剤の散布量に関わらず、損傷程度 a の割合が 50%以下となるのは経過年が 20 年からであった。

一方で、凍結防止剤の散布量が 20(t/km/年)以上では、損傷程度 e の確率が高く、他の損傷の遷移確率分布と同様に凍結防止剤の散布量が多いほど劣化進行が促進される傾向があらわれた。

表-3.4.4 コンクリート床版のひびわれにおける状態遷移確率分布



3.4.3 凍結防止剤の散布が影響する損傷の現地確認

前項では、凍結防止剤の散布の有無で損傷の劣化進行の違いを大局的に明らかにした。本項では凍結防止剤の散布がどのように耐久性のばらつきに影響するかを定期点検結果の整理及び現地確認により整理した。なお、以下の2つの視点で整理する。

- (1) 橋梁の架橋条件から耐久性のばらつき傾向
- (2) 凍結防止剤が混入した水が顕在化している損傷まで到達する経路（水みち）

現地確認の対象橋梁の抽出は、始めに定期点検結果の調書（その10）の所見に「凍結防止」単語が記載されている橋梁を1次選定し、次に凍害による損傷に対して判定区分「C1」又は「C2」とされた橋梁454橋を選定した。次に454橋の中から現地確認を行うにあたり、橋面と桁下の状況を容易に比較可能とするため、海岸沿いの橋梁や跨線橋、跨道橋は対象外とし、桁下に徒歩や梯子で進入可能な橋梁を地域や上部構造形式が偏らないように30橋抽出した。

(1) 橋梁の架橋条件から耐久性のばらつき傾向

耐久性のばらつき傾向の要因について推定結果の例を以下に示す。

【事例1：縦断勾配により橋面水が片側に集中】

当該橋梁では、縦断勾配は起点側から終点側に2.5%上がっており、橋面排水はA1側に集まる構造となっている。そして、A2側と比べてA1側の主桁端部の腐食の方が劣化進行している。

A1側の箱桁上フランジ面と床版との接合部に一部に漏水が確認されており、箱桁端部に腐食がみられる。伸縮装置（フィンガージョイント）の遊間部に止水構造はなく、凍結防止剤を含んだ橋面排水が桁下に流れている。

すなわち、A1側、A2側とも同じ凍結防止剤の散布環境下のためだけでなく、水が桁端部へ導かれること、止水がされていないこと、桁に達した水が排水されないことの全てが、劣化を局所的に進めていると考えられる。

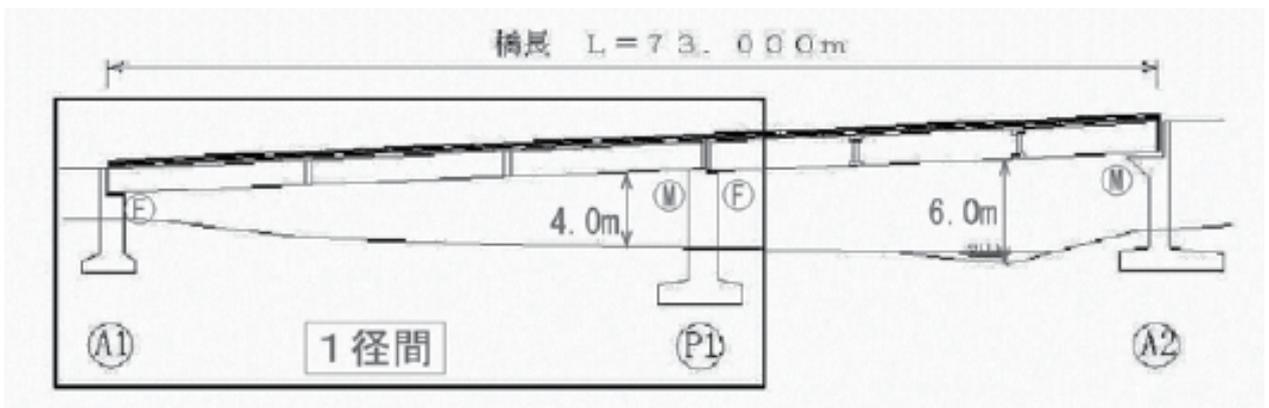


図-3.4.1 側面図



(a) A1直上の伸縮装置(排水) (b) A1側の主桁端部の腐食状況 (c) A2側の主桁端部の腐食状況

写真-3.4.1 縦断勾配が低いA1側の損傷状況

【事例 2：縦断勾配により橋面水が片側に集中】

当該橋梁では、縦断勾配が起点から終点に向かって 3.4% 下がっており、縦断勾配が低い A2 側の主桁端部には著しい腐食による層状剥離がみられた。一方、A1 側では伸縮装置で後打コンクリートの欠損と舗装との境に局部的な欠損による隙間がみられており、桁下の下部構造に漏水が確認されたが、周辺の鋼部材に著しい腐食はみられなかった。

すなわち、止水ができていないことで、A1 側でも桁端部の局所的な劣化が起きる可能性があるが、縦断勾配の向きでは A2 側に水が導かれるため、A2 側の方が劣化を局所的に進めていると考えられる。

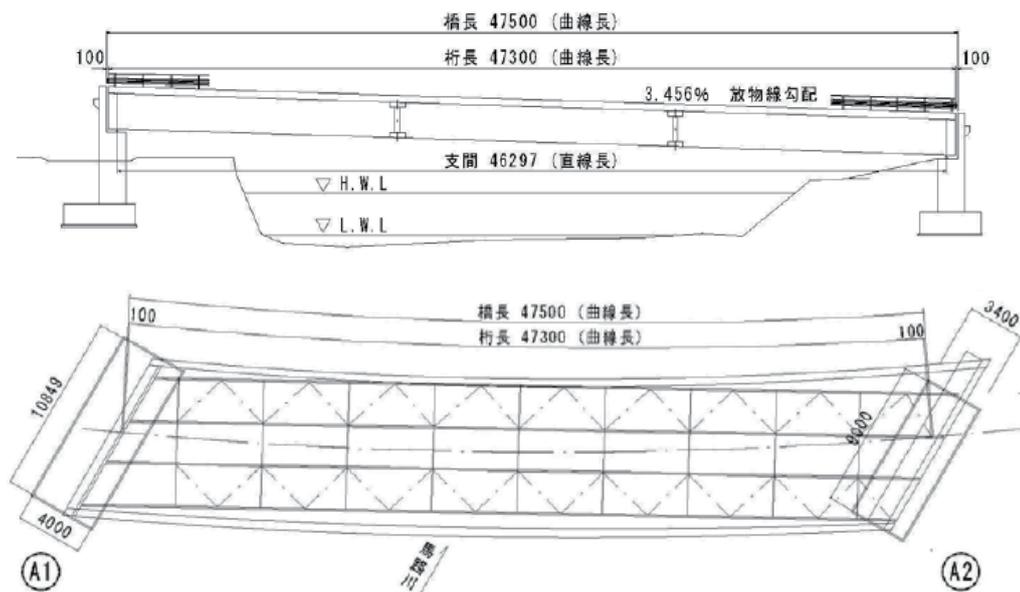


図-3.4.2 側面図・平面図



(a) A2 側の主桁端部の腐食



(b) A1 側の伸縮装置部の欠損



(c) A1 側の桁下の腐食・漏水

写真-3.4.2 縦断勾配が低い A2 側の損傷状況

【事例 3：縦断勾配により橋面水が片側に集中】

当該橋梁では、縦断勾配が起点から終点に向かって 3.5%下がっており、縦断勾配が低い A2 側では伸縮装置下面や主桁端部、支承に腐食がみられた。水みちの経路として伸縮装置端部に止水材がなく、橋面排水が桁下へ流れ込んでいるもので、直下の橋座には土砂堆積がみられた。

すなわち、A2 側に水が導かれ、桁に達した水が排水されないことで、流されてきた土砂が堆積し、より劣化進行が生じやすい環境となったことで、劣化を局所的に進めていると考えられる。

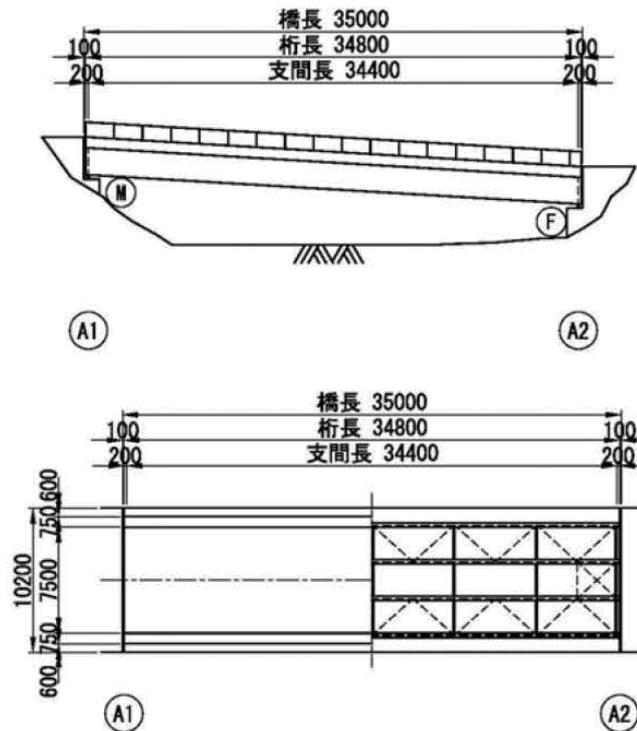


図-3.4.3 側面図・平面図



(a) A2 側の主桁側面状況



(b) A2 側の外桁上フランジの腐食



(c) A2 側の主桁下フランジの腐食

写真-3.4.3 縦断勾配が低い A2 側の損傷状況

【事例4：縦断勾配により橋面水が片側に集中】

当該橋梁では、縦断勾配が終点から起点に向かって3.5%下がっており、縦断勾配が低いA1側では端横桁や床版張出部に遊離石灰が析出している。直上の橋面は伸縮装置（舗装目地）から橋面排水が浸入しており、舗装と地覆の継ぎ目からの浸透水、または地覆側面からの伝い水により橋面排水が流下していると推定される。

すなわち、縦断勾配が低いA1側に水が導かれ、止水がされていないこと、桁下への排水ができていないことから、コンクリート部材に水が浸入し、劣化を局所的に進めていると考えられる。

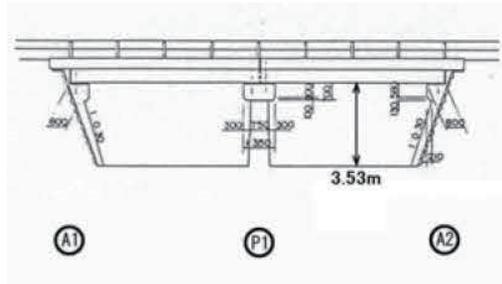


図-3.4.4 側面図



(a) A1側の橋面排水の流下方向



(b) A1 堅壁前面の漏水

写真-3.4.4 縦断勾配による橋面の流下方向



(a) A1側の堅壁前面の漏水



(b) A1 堅壁前面の漏水

写真-3.4.5 縦断勾配が低いA1側の損傷状況

【事例 5：横断が片勾配により橋面水が片側に集中】

当該橋梁では、曲線区間に位置しており、横断勾配は起点から向かって右側に下がっている構造である。そのため、A1 側の伸縮装置付近では写真-3.4.6 に示すように端部に滞水が生じており、その滞水位置では伸縮装置の後打ちコンクリートが局部的に欠損しており、そこから桁下に漏水している状況であった。また、滞水個所の直下では鋼部材で腐食がみられた。

すなわち、部分的にみれば、止水対策がされていたとしても排水処理が上手くなければ滞水することが局所的な劣化の発生要因になり得る。また、曲線区間に位置する橋梁については、片勾配によって水が片側に集水されることも、局所的な劣化が進められる要因と考えられる。

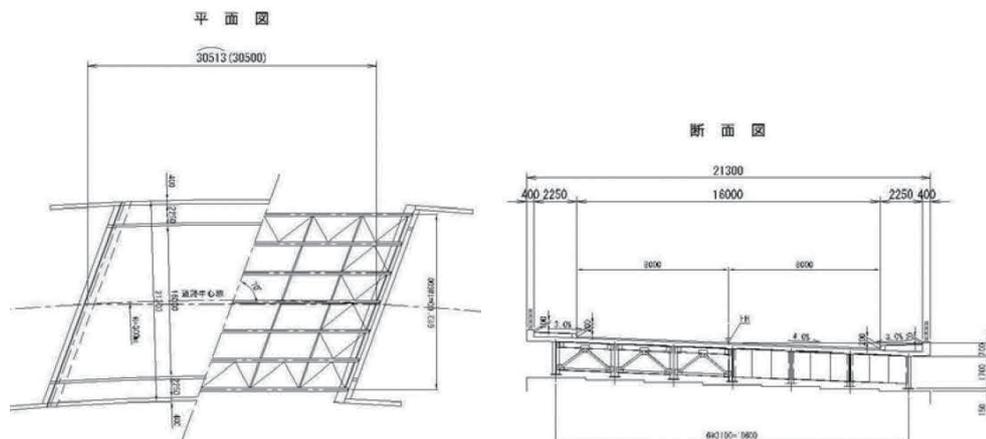


図-3.4.5 側面図・平面図



(a) A1 側の伸縮装置端部の滞水

(b) 滞水状況※(a)の近接

(c) 滞水直下の鋼部材の腐食

写真-3.4.6 道路線形に起因する損傷例（横断勾配）

【事例6：縦断勾配・横断勾配により橋面水が局所に集中】

当該橋梁は終点側から起点側に向かって縦断勾配が下がっており、橋面排水の流下方向は起点側に流れており、A1側の主桁端部や支承は局部的に著しい腐食がみられている。また、曲線区間に位置しており、横断勾配は起点から向かって左側に下がっている構造である。そのため、A1側と比べて腐食の損傷度が低いA2側においても、横断勾配が低いG1桁の支承部では支承本体及びアンカーボルトで腐食が進展している状況であった。

すなわち、縦断勾配や横断勾配の下がっている側に水が導かれ、そこで止水ができていなかったり、排水が上手くいっていなければ、そこで局所的な劣化が進むと考えられる。

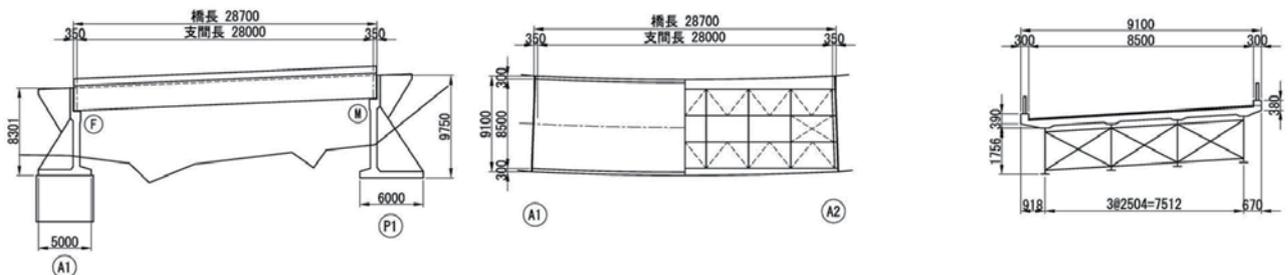


図-3.4.6 側面図・平面図・横断図



(a) A1側の伸縮装置の後打ち
コンクリートのひびわれ*

(b) A1側の伸縮装置下面の腐食

(c) 主桁端部の腐食

写真-3.4.7 道路線形に起因する損傷例（縦断勾配）

※A1側の伸縮装置状況はH26年の定期点検結果



(a) A2側の伸縮装置
(G1桁側に流下)



(b) G1桁の支承本体・アンカー
ボルトの腐食*

写真-3.4.8 道路線形に起因する損傷例（横断勾配）

※支承の腐食はH26年の定期点検結果

【事例7：道路橋と側道橋が平行】

当該橋梁は道路橋に平行して架設された側道橋である。道路橋と側道橋の間には**写真-3.4.9 (b)**に示すように隙間があり、この隙間から道路橋側で散布された凍結防止剤が橋面排水に混じって桁下に侵入したことで、主桁側面等の鋼部材に腐食が発生したと推定される。また、A1側の主桁端部には特に著しい腐食はなかったが支承の腐食が顕著であった。現地確認時は直上の伸縮装置下面はドレーンパイプによる排水処理が施されており、下部構造への漏水は確認されなかったことから、桁端部においても並行する道路橋との隙間から橋面排水が桁下に侵入したことが損傷の要因と推定される(**写真-3.4.10**)。

すなわち、平行する橋梁からの水や凍結防止剤の巻き上げといった互いへの影響、2つの橋梁の境界部の止水ができていないこと、境界部から浸入してきた水が上手く排水できなかったことで、局所的な劣化が進んだと考えられる。



(a) 橋面全景 (b) 道路橋(左)との隙間(桁下) (c) 道路橋(左)との境界(橋面)

写真-3.4.9 隣接橋が平行し近接する場合の損傷例



(a) 桁端部の道路橋との隙間 (b) 桁端部の支承の腐食

写真-3.4.10 隣接橋が平行し近接する場合の損傷例 (桁端部)

【事例8：道路橋と側道橋が平行】

当該橋梁は道路橋に平行して架設された側道橋である。主桁や横桁、縦桁が全体にわたり腐食がみられており、パネル床版の隙間から橋面水が流入していることが要因と考えられる。加えて、道路橋と側道橋の間には写真-3.4.11 (b) に示すように隙間があり、この隙間から道路橋側で散布された凍結防止剤が橋面排水に混じって桁下に侵入したことも、鋼部材の腐食が発生した要因と推定される。

すなわち、橋梁同士が近接した場合、近接する橋梁からの水の影響を受け、境界部に水の浸入に対して、止水や排水ができていなければ、桁下に滞水し局所的な劣化に繋がる可能性が考えられる。



(a) 橋面全景



(b) 道路橋(右)との隙間(桁下)



(c) 道路橋(右)との境界(橋面)

写真-3.4.11 隣接橋が平行し近接する場合の損傷例

【事例9：道路橋と側道橋が平行】

当該橋梁は道路橋に平行して架設された歩道橋である。道路橋との隙間に凍結防止剤を含む橋面排水が浸入したことで、主桁側面及び下フランジに著しい腐食がみられる。

すなわち、歩道橋を併設する場合には、車道側の橋梁との境界部について、水を浸入させないこと、浸入しても滞留させないことが、局所的な劣化を防ぐために必要と考えられる。



(a) 橋面全景



(b) 道路橋(右)との隙間(桁下)



(c) 道路橋(右)との境界(橋面)

写真-3.4.12 隣接橋が平行し近接する場合の損傷例

表-3.4.5 現地確認した水みちの例(その1)

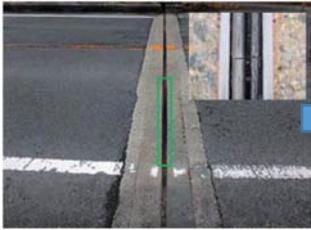
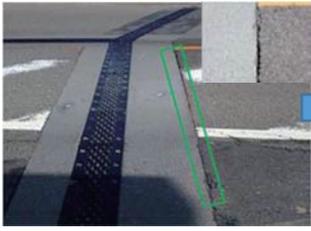
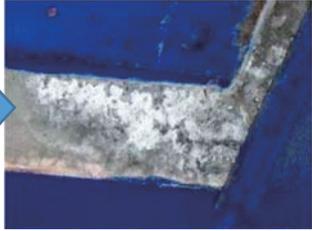
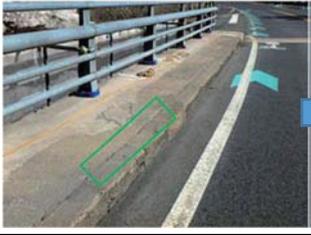
確認した水みち	現地状況		状況
	橋面	桁下	
止水ゴム			伸縮装置遊間に設置されていた止水ゴムが経年劣化し、凍結防止剤を含んだ橋面水が桁下に流れている。
			伸縮装置(フィンガージョイント)の遊間部に止水構造がないため、凍結防止剤を含んだ橋面水が桁下に流れている。
伸縮装置、遊間 後打ちコンクリートと舗装との境界			伸縮装置周辺に顕著な損傷は見られないが、後打ちコンクリートと舗装との目地が明らかに開いており、RC床版下面に遊離石灰を伴う漏水が発生している。
			現地確認時では橋面の凹部に雪解け水が溜まっていたが、遊間からの顕著な漏水は確認できなかった。後打ちコン、舗装劣化箇所から床版端部、伸縮下面に漏水が発生しているものと推定される。
埋設型			竣工時は遊間にエラストイト等緩衝材のみが施工されていたと推定され、遊間上の舗装目地から桁下への明らかな漏水が確認できる。
			遊間上の舗装目地から桁下への明らかな漏水とともに、端横桁と床版との境界より遊離石灰が析出している。

表-3.4.6 現地確認した水みちの例(その2)

確認した水みち		現地状況		状況
		橋面	桁下	
伸縮装置、遊間	地覆遊間			地覆遊間に止水材が施工されていない、若しくは抜け落ちている。路面の雪解け水が地覆遊間を通して桁下には流れている。
				地覆側面はプレートが設置されているのみで、止水構造となっていないため、路面の雪解け水が地覆遊間を通して桁下には流れている。
路面	舗装の損傷			舗装打ち継ぎ部及び周辺で、ひびわれが発生している。直下の RC 床版ひびわれが格子状、かつ遊離石灰、部分的に錆汁も見られる。
				路面にひびわれが発生、直下の RC 床版に格子状の漏水や遊離石灰をとまうひびわれが発生している。
縁石、地覆下端(舗装境界)	縁石、地覆下端(舗装境界)			縁石の劣化(鉄筋腐食の影響は低く、凍害の可能性が高い)、桁下に張り出し床版と地覆の構造継ぎ目から遊離石灰が析出している。
				路肩(地覆)に除雪された雪が堆積している。桁下で地覆と主桁構造継ぎ目から漏水、及び遊離石灰析出跡が確認出来る。

現地における水みちの確認によって、局所的な著しい損傷は構造物の防水・止水の不具合による水の浸入、供給が要因として大きいことが示唆された。これにより、凍結防止剤の対策は部材の防食仕様を挽回するだけでは十分でなく、水の浸入を防ぐことと仮に水が浸入したとしても滞留させないことも必要と考えられる。一方で、橋梁全体の構造特性をみると、架橋位置や道路線形によって橋面排水が一部分に集水しやすい構造となっている場合には、耐久性がばらつく事例が確認された。本検討で対象とした橋梁では、以下に示す構造特性による耐久性のばらつきが確認された。

- ・道路線形において、縦断勾配が起点側、又は終点側に下がっていることで橋面水が起終点のどちらか一方に集中するような構造
- ・架橋位置が曲線区間であることから、横断勾配が片勾配となっており、橋面水が片側に集中するような構造
- ・道路橋と側道橋が平行に近接して架橋されており、2橋の隙間から橋面排水や風による巻き上げによって凍結防止剤が侵入するような構造

3.5 国管理の道路橋の定期点検結果にみられる損傷写真の収集と分類

3.5.1 対象とする道路橋の選定

前項の整理により同じ橋梁の中でも漏水等で水が集中する箇所には、著しく損傷が進展する場合があることが示唆された。そこで、部位ごとに劣化のばらつきの形態や原因の特徴を把握することを目的に、国管理の定期点検結果から同じ部位や部材に対して耐久性のばらつき事例の収集を行い、耐久性のばらつきが発生した要因について考察する。対象橋梁を選定するに際して、道路橋の構造形式や地域特性に偏りがないように考慮しつつ、平成25年度に地方整備局が管理する道路橋4,553橋のうち代表対策区分の判定が「C」「E1」「E2」の道路橋2,614橋を選定した。次に、各地方整備局で上部工形式別に最大20橋を抽出することとし、これにより981橋の橋梁を選定した。表-3.5.1に選定した対象橋梁数を示す。

表-3.5.1 課題抽出のために選定した橋梁数の内訳

橋種	構造形式	対象数	1次選定数	2次選定数
RC		801	465	166
	溝橋	64	31	7
	中実床版	351	144	49
	中空床版	104	97	43
	T桁	242	153	58
	ラーメン	30	30	6
	アーチ	10	10	3
PC		1,512	830	315
	中空床版（プレテン）	490	174	46
	中空床版（ポステン）	115	104	51
	T桁（プレテン）	414	207	40
	T桁（ポステン）	347	206	112
	合成桁	45	45	17
	箱桁	82	75	38
	ラーメン	19	19	11
鋼		2,240	1,319	500
	鋼鈹桁	1,452	616	289
	鋼箱桁	341	332	140
	H桁	305	229	11
	アーチ	36	36	22
	トラス	44	44	21
	ラーメン	9	9	7
	斜張橋	15	15	2
	ゲルバー	38	38	8
合計		4,553	2,614	981

3.5.2 損傷事例の分析

3.2、3.3、3.4 で整理したように、鋼部材は腐食、コンクリート部材はひびわれ、うき・剥離・鉄筋露出が損傷種類の大半を占めている。これらの損傷に対して劣化のばらつきの形態や原因について分析を行う。なお、分析にあたっては点検要領等の基準類や国総研資料第 985 号を参考に部材の着目個所を整理した（表-3.5.2）。

表-3.5.2 損傷事例分析における着目個所

部位	着目個所	材料
上部構造	桁端部 一般部 添接部 部材取り合い部 桁内部	鋼部材
	桁端部 一般部 定着部 部材取り合い部 桁内部	コンクリート部材
下部構造	下部構造(補強材含む)	鋼部材
	下部構造	コンクリート部材
その他	支承 伸縮装置	鋼部材
	地覆・高欄・防護柵 排水施設 添架物 他	コンクリート部材

(1) 上部構造における鋼部材の損傷事例

1) 桁端部

桁端部の損傷事例を写真-3.5.1に示す。桁端部では、伸縮装置からの漏水や桁遊間から吹き込んだ雨水が胸壁や部材を伝わり、橋台天端に滞水することで湿潤環境となり、周辺の鋼部材で腐食が生じた事例が多くみられた。止水材が設置されていても止水不良によって部材の隙間から漏水している事例がみられた。また、橋台天端は平坦で勾配がないことが多く、すぐには滞水が排水されず湿潤環境になりやすい事例がみられた。

この他に、主桁側面からの伝い水、排水管の床版取り合い部からの漏水や遊離石灰の析出、橋台の側面からの土砂流入による湿潤環境となっている事例がみられた。

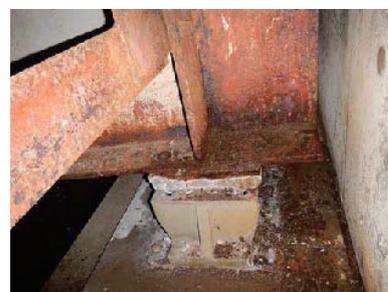
以上より、橋面水が常に浸入する、又は滞水し、すぐに排水されないことが耐久性のばらつきを生む要因となっていることが考えられる。



(a) 胸壁の漏水跡



(b) 桁端部の防水不良



(c) 主桁端部の湿潤環境



(d) 胸壁の伝い水



(e) 主桁側面からの伝い水



(f) 伸縮装置からの漏水



(g) 排水管の損傷



(h) 橋台側面からの土砂流入



(i) 橋台天端の滞水

写真-3.5.1 桁端部の損傷事例

2) 一般部

一般部の損傷事例を写真-3.5.2に示す。一般部では、主桁の下フランジが特に雨掛かりや伝い水の影響を受けて滞水しやすく、上フランジやウェブ上部と比べて損傷が発生しやすい傾向にあった。

また、水の経路は様々であり、床版からの伝い水、排水管や水抜き孔からの排水の飛散、附属物からの漏水等があり、予期せぬ個所で滞水し腐食した事例が散見された。具体的には、ブラケットからの伝い水による主桁ウェブ面が腐食した事例、主塔の部材溶接部に滞水し腐食した事例等が挙げられる。

以上より、一般部は桁端部と比べて水環境が悪化しやすい箇所ではないが、設計時点で排水が十分に考慮されていなかったことで滞水状況のばらつきを起こし、これによって局所的に腐食が進行していることがわかる。



(a) 横桁下フランジ部の滞水



(b) 床版漏水箇所からの伝い水



(c) 水抜き孔からの排水



(d) 附属物からの伝い水



(e) ブラケットからの伝い水



(f) 垂直補剛材位置の滞水



(g) 下弦材上面の滞水



(h) 上弦材上面の滞水



(i) 主塔の溶接部の滞水

写真-3.5.2 一般部の損傷事例

3) 添接部

添接部の損傷事例を写真-3.5.3 に示す。添接部では、部材を伝った雨水がボルトやリベットの凹凸、添接板の端部に滞水し腐食した事例がみられた。また、添接板で連結された部材の隙間から漏水する事例もみられた。部材の側面では、伝い水により添接部に滞水し腐食が生じることに加え、添接部が水の経路となり部材下面で腐食が生じた事例もみられた。

以上より、添接部は水の経路となりやすく、ボルトやリベット、添接板の角部の凹凸部に滞水させないということは難しいことから、設計時点で滞水状況にばらつきが生じる可能性があることがわかる。



(a) 添接板下端部に滞水



(b) リベットに滞水



(c) 桁下フランジからの伝い水



(d) 添接板の腐食



(e) 添接板の腐食



(f) 添接板の腐食



(g) 部材境界部からの漏水



(h) 部材境界部の腐食



(i) 部材境界部の腐食

写真-3.5.3 添接部の損傷事例

4) 部材取り合い部

部材取り合い部の損傷事例を写真-3.5.4 に示す。部材の取り合い部では、部材の上面に土砂堆積や滞水が生じ、周辺部材や溶接部等に腐食が生じた事例がみられた。また、部材取り合い部は水が移動して集中する個所であり、部材埋め込み部や格点部では流れてきた水が滞水したことで腐食が生じた事例がみられた。

以上より、部材の取り合い部や連結部は伝い水が集中し易く狭隘で凹凸がある状況のため、滞水や塵埃の堆積などで腐食が局所的に進行し易いことがわかる。



(a) ガセットの滞水・土砂堆積



(b) 格点部の腐食



(c) 横桁と下横構との接合部



(d) 垂直材埋め込み部の腐食



(e) 垂直材基部の腐食



(f) 部材取り合い部の滞水



(g) 支承周辺の部材取り合い部



(h) 落橋防止システムと下部構造との取り合い



(i) 下横構の腐食

写真-3.5.4 部材取り合い部の損傷事例

5) 桁内部

桁内部の損傷事例を写真-3.5.5に示す。箱桁内では、マンホールや作業孔蓋の止水機能の不全や箱桁内に設置された排水管からの漏水により、箱桁内の滞水箇所や湿潤状況となったところで局所的に腐食が進行した事例がみられた。箱桁内部に水抜き孔は設置されているが、塵埃や鳥の糞害の堆積によって排水されずに滞水している事例もみられた。なお、箱桁内部の排水管において、床版防水のスラブドレーンが設置されているものの箱内で脱落しており、橋面水が箱桁内に浸入しても外に排水されない状況となっている事例もみられた。

以上より、桁内部では水が浸入すると長期に滞水する状況となり易く、排水管等が堆積物によって機能低下し、すぐに排水できない状況となることがわかる。



(a) 箱桁内の排水不全



(b) 排水不良による腐食



(c) マンホールからの漏水



(d) マンホール付近の滞水



(e) 排水個所がない



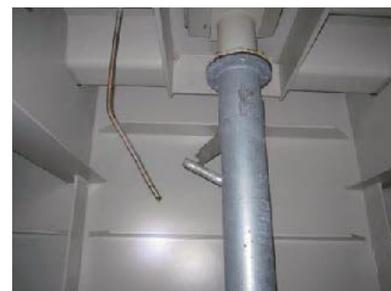
(f) 縦リブの排水経路



(g) 作業孔蓋からの漏水



(h) 排水管付近の滞水



(i) スラブドレーンの脱落

写真-3.5.5 桁内部の損傷事例

(2) 上部構造におけるコンクリート部材の損傷事例

1) 桁端部

桁端部の損傷事例を写真-3.5.6に示す。桁端部では伸縮装置や地覆遊間部から漏水し、漏水箇所付近で剥離・鉄筋露出が生じる事例がみられる。また、コンクリート桁では、部材内部に水が浸入しひびわれや施工継ぎ目部から漏水・遊離石灰が析出される事例がみられる。橋座面では、滞水や土砂堆積により桁端部を湿潤環境とする事例が多くみられる。コンクリートの桁端部は、鉄筋のかぶり厚が薄くなりがちであり、経年劣化や橋台胸壁部との接触によって剥離する場合がある。

以上より、鋼部材の桁端部と同様に、橋面水が常時浸入する状況となって水みちができていたり、滞水がすぐに排水されず湿潤環境となっていることが、耐久性のばらつきの要因の一つとなっていると考えられる。



(a) 伸縮装置からの伝い水



(b) 伸縮装置からの伝い水



(c) 桁端部の鉄筋露出、漏水



(d) 橋座面の滞水



(e) 掛け違い部の漏水



(f) 桁端部の遊離石灰を伴うひびわれ



(g) 伸縮装置からの漏水



(h) 主桁端部の剥離



(j) 主桁端部の鉄筋露出

写真-3.5.6 桁端部の損傷事例

2) 一般部

一般部の損傷事例を写真-3.5.7に示す。床版の張り出し部では、かぶり不足による鉄筋露出や遊離石灰を伴うひびわれの事例がみられる。別の個所では、地覆側面の打ち継ぎ目部からの遊離石灰、床版下面の広範囲に遊離石灰のにじみや剥離・鉄筋露出、ひびわれ補修跡で遊離石灰が析出する事例がみられる。ひびわれや剥離・鉄筋露出等のコンクリートの損傷は、水の供給によって劣化進行する可能性があり、水の供給は橋面の防水不良や地覆側面等からの伝い水、桁下の湿潤環境が要因と考えられる事例がみられる。

以上より、一般部では、打ち継ぎ目部や損傷箇所、部材外面の伝い水が水みちとなっている状況にあり、水の浸入口を特定し水を浸入させないことが必要である。



(a) 床版下面の鉄筋露出



(b) 床版ひびわれから遊離石灰



(c) 地覆側面からの伝い水



(d) 地覆継ぎ目部の遊離石灰



(e) 床版下面の遊離石灰



(f) 床版補修跡から遊離石灰



(g) PC 桁下面の鉄筋露出



(h) PC 桁下面のひびわれ



(i) RC 床版桁下面の鉄筋露出

写真-3.5.7 一般部の損傷事例

3) 定着部

定着部の損傷事例を写真-3.5.8に示す。定着具の後埋めコンクリートでは、ひびわれやうき、遊離石灰が生じている事例がみられた。また、後埋めコンクリート自体が剥落し、内部の補強鉄筋や定着具が露出している事例もみられた。主桁側面の定着部は雨掛かり部に位置し、後埋めコンクリートの境界部や発生したひびわれから水が浸入し定着具が腐食する可能性がある。

以上より、定着部の後埋めコンクリートは形状、打継面処理の方法、使用するコンクリートの種類及び補強鉄筋の状況によっては損傷が発生しやすくなる状況にある。むしろ、後埋めコンクリートに水を滞留させない工夫などのディテールの配慮を、幅広く検討していくことが必要と考えられる。



(a) 定着部からの遊離石灰



(b) 定着部のうき



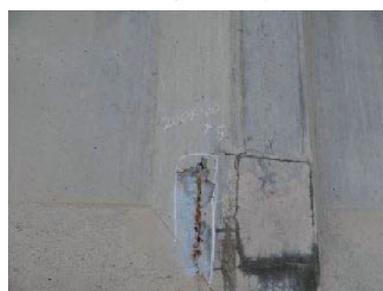
(c) 定着具の露出



(d) 定着部の境界部から漏水



(e) 定着部のうき



(f) 定着部の鉄筋露出



(g) 定着部のひびわれ



(h) 定着部の露出



(i) 定着具の露出

写真-3.5.8 定着部の損傷事例

4) 部材取り合い部

部材取り合い部の損傷事例を写真-3.5.9 に示す。コンクリート部材の部材取り合い部では漏水・遊離石灰が生じる事例がみられた。具体的発生箇所は、地覆と床版の取り合い部、主桁と横桁の取り合い部等であり、橋面防水の止水機能のばらつきが原因と推定される。また、横桁では設置された添架管との取り合い部から漏水が生じている事例、鋼桁の上フランジと床版の境界で床版側にひびわれや剥離が生じた事例がみられる。

以上より、部材取り合い部では橋面からの水の浸入によって漏水・遊離石灰が生じる状況にあり、水の浸入経路を特定し水を浸入させないようにしない限りは、周辺部材に悪影響を及ぼし続ける可能性がある。また、取り合い部は、損傷を生じさせない取り合い方法の工夫をする必要がある。



(a) 床版と地覆下面の取り合い部



(b) 桁と地覆側面の取り合い部



(c) 床版と地覆下面の取り合い部



(d) 床版と地覆下面の取り合い部



(e) 主桁と床版の取り合い部



(f) 主桁と横桁の取り合い部



(g) 横桁底部の剥離



(h) 添架物の接続部からの漏水



(i) 鋼桁上フランジ境界の剥離

写真-3.5.9 部材取り合い部の損傷事例

5) 桁内部

桁内部の損傷事例を写真-3.5.10に示す。コンクリート部材の箱桁内部ではひびわれや打ち継ぎ目部、排水管からの漏水によって、桁内部に滞水が生じている事例が多くみられた。常時、滞水が生じている箇所では箱桁の底部で剥離・鉄筋露出が生じる場合がある。

以上より、箱桁内は漏水や結露による湿潤環境により損傷が発生し、一度水が浸入すると長期に滞水が生じていることが多い。

桁内部では排水管の損傷によって水が浸入することがわかる。また、水が浸入すると長期に滞水する状況となることから、排水管をなるべく桁内部に設置しないという方法も水を浸入させない工夫であると考えられる。



(a) 側面のひびわれ部に漏水跡



(b) 打ち継ぎ目の遊離石灰



(c) 横桁ハンチ部のひびわれ



(d) 下面の剥離・鉄筋露出



(e) 箱桁内の排水管からの漏水



(f) 箱桁内の排水不良



(g) 箱桁内の滞水



(h) 排水管の漏水



(i) 添架管接続部からの漏水

写真-3.5.10 桁内部の損傷事例

(3) 下部構造における損傷事例

1) 鋼部材

下部構造の鋼部材における損傷事例を写真-3.5.11 に示す。鋼板巻立てされた橋脚では、鋼板の上端部が平坦になっており、そこに水が滞水し腐食が生じた事例がみられた。また、鋼製橋脚では伝い水によってマンホールのボルトが腐食した事例、桁内部と同様に内部で排水不全により滞水している事例がみられた。

以上より、鋼板接着の鋼板は、上端部に水が滞水する状況となることがあり、局所的に腐食が進行する場合がある。また、鋼製橋脚は桁内部の損傷事例と同様に一度滞水すると排水が難しいと考えられる。



(a) 鋼板巻立ての上端部の滞水



(b) 梁部下面からの伝い水



(c) 添接部付近の塗膜の水膨れ



(d) 伝い水によるボルトの腐食



(e) 鋼製橋脚梁部の滞水



(f) 鋼製橋脚内の滞水(約 0.2m)

写真-3.5.11 下部構造の損傷事例 (鋼部材)

2) コンクリート部材

下部構造におけるコンクリート部材の損傷事例を写真-3.5.12 に示す。下部構造は直上の伸縮装置からの漏水によって橋座面の滞水や、橋脚での伝い水がみられており、水環境の悪化によって損傷が生じた事例がある。橋座面の滞水は支承や附属物の設置位置によって排水されない場合があり、また、目視が困難な事例もあった。橋座面を部材で囲い込み、水を1箇所に集めて排水させた事例では、囲い込む部材の破損や土砂が堆積したことで排水が上手くできていない状況がみられた。なお、橋脚の梁部前面に伝い水を防止する水切りを設置している事例もみられた。

以上より、下部構造は伸縮装置からの漏水で橋座面に滞水が生じやすく、支承や附属物の配置によって滞水状況にばらつきがある。また、目視が困難で損傷が見つけられず是正が難しくなる可能性がある。



(a) 橋脚上漏水処理



(b) 継ぎ目からの漏水



(c) 伸縮装置からの伝い水



(d) RC 巻き立て部のひびわれ



(e) 橋座面の滞水による剥離



(f) 橋座面の土砂だまり



(g) 橋脚部の伝い水



(h) 橋台側面からの漏水



(i) 橋脚の水切りの設置

写真-3.5.12 下部構造の損傷事例（コンクリート部材）

(4) その他の部材における損傷事例

1) 支承

支承部の損傷事例を写真-3.5.13に示す。支承部は橋台天端で滞水によって、支承本体に腐食等の損傷が生じた事例がみられた。また、支承の設置位置が橋台天端の排水不良の原因になっている事例、支承本体が橋座を切り欠いて設置されている事例がみられ、滞水が生じやすい状況、支承本体の目視が困難となっている場合があった。沓座モルタルでは、ひびわれが発生している事例が多くみられ、支承本体下面まで欠損している場合もあった。

以上より、支承の設置位置によっては橋座面の滞水状況のばらつきの要因となる場合がある。また、沓座モルタルや台座コンクリートが損傷する例も多く、必要に応じて現在の滞水が生じやすいディテールを改めるなどの検討実施もあり得る。



(a) 滞水による支承本体の腐食



(b) 排水不良



(c) 橋座を切り欠いて設置



(d) 沓座モルタルのひびわれ



(e) 沓座モルタルの欠損



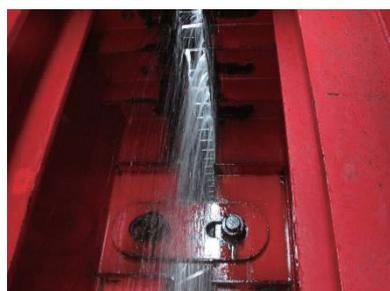
(f) レア一部のひびわれ

写真-3.5.13 支承部の損傷事例

2) 伸縮装置

伸縮装置の損傷事例を写真-3.5.14に示す。橋面側では遊間部に土砂堆積や植生が生じ、後打ちコンクリート部にひびわれがみられる。伸縮装置の下面では遊間部から橋面水が浸入し桁下へ水を供給する状況となっている事例がある。なお、遊間部に止水材を設置している場合、止水材が損傷したり脱落したりすることで漏水する事例がある。また、排水樋からの排水が橋座面に掛かる場合があり、橋座面の水環境の悪化させた事例もみられた。

以上より、桁端部に水を浸入させないためには伸縮装置の止水性が重要であり、そのためには、伸縮装置本体だけでなく止水材や排水樋を含め、破損や不適切な流末処理を生じさせないために工夫する必要がある。



(a) 遊間部からの漏水



(b) 橋面の土砂堆積



(c) 遊間部の土砂詰まり



(d) 後打ちコンクリートのひびわれ



(e) 止水材からの漏水



(f) 目地材の脱落



(g) 水抜き孔からの伝い水



(h) 排水樋の腐食



(i) 不適切な流末処理

写真-3.5.14 伸縮装置の損傷事例

3) 地覆・高欄・防護柵

地覆・高欄・防護柵の損傷事例を写真-3.5.15に示す。壁高欄では鉄筋のかぶり不足と推定される剥離・鉄筋露出、温度応力による初期ひびわれがみられる。鋼製の防護柵では、棧の隙間、支柱基部、アンカーボルト部といった凹凸のある滞水しやすい箇所で腐食が生じている。支柱が埋設式の場合、支柱基部に水が浸入することによって、地覆内の支柱が腐食膨張を起し、地覆が剥落する場合がある。

以上より、鉄筋のかぶり不足、想定していなかったひびわれ発生については、コンクリート部材のスペックを上げることを考える必要がある。また、支柱基部等の腐食については、水が浸入しても滞留させない、又は防食のスペックを上げることが必要と考えられる。



(a) 壁高欄の鉄筋露出



(b) 壁高欄のひびわれ



(c) 壁高欄目地付近の鉄筋露出



(d) 防護柵の棧の隙間の腐食



(e) 防護柵基部の腐食



(f) 支柱基部の地覆の剥離



(g) 水切り近傍の鉄筋露出



(h) 支柱基部のボルトの腐食



(i) 壁高欄の鉄筋露出

写真-3.5.15 地覆・高欄・防護柵の損傷事例

4) 排水施設

排水施設の損傷事例を写真-3.5.16 に示す。床版防水の水抜き孔や排水管の流末では、近傍の部材に水が飛散している事例がみられた。また、排水管の変曲部や接続部の破損個所で漏水が生じている事例がみられた。箱桁では排水管が桁内を通るように設置されている場合があり、部材の境界部から漏水が生じている事例がみられた。そもそも排水管自体が腐食して欠損している事例がみられた。排水管の取り付け金具では、取付金具とボルトの異種金属の接触によって電位差が生じたことによる腐食が発生した事例、橋面側の排水施設では集水枡との取り付けや土砂詰まりによって周辺部材に浸水したり排水不全になったりする事例がみられた。

以上より、排水施設の設置位置や設置方法、排水管の長さが原因で、他部材に水が浸入する状況となっていたことがわかる。また、排水管や取り付け金具に腐食が生じたことについては、防食のスペックを明らかにした上で選択したり、維持管理をするのがよいと考えられる。



(a) 水抜き孔からの排水の飛散



(b) 排水管からの排水の飛散



(c) 排水管の取り付け部から漏水



(d) 箱桁との取り付け部



(e) 排水管の破損



(f) 排水管の腐食



(g) 異種金属腐食



(h) 集水枡の取り付け



(i) 集水枡の土砂詰まり



(j) 排水管屈曲部の腐食



(k) 伝い水による主桁の腐食



(l) 排水管の脱落

写真-3.5.16 排水施設の損傷事例

5) 添架物他

添架物等の損傷事例を写真-3.5.17に示す。添架物の取り付け金具は、水みちになりやすく、滞水する状況となって腐食する事例がみられた。また、取り付け金具が設置された部材側でも剥離・鉄筋露出等の変状が生じる事例があった。照明柱の台座では平坦部で滞水が生じやすく、腐食やうき、剥離等がみられた。

以上より、添架物の取り付け部では、取り付け金具や取り付け先の部材に水を浸入させない、または滞留させないことも必要である。また、添架物自体も防食のスペックを明らかにした上で選択したり、維持管理をするのがよいと考えられる。



(a) 取付金具の腐食



(b) 取付金具の腐食



(c) 附属物の取付位置



(d) ボルトの突出不足



(e) 取り付け金具個所の剥落



(f) 添架物の取付金具の腐食



(g) 照明柱台座の腐食



(h) 照明柱台座のうき



(i) 橋歴板の脱落

写真-3.5.17 添架物他の損傷事例

3.5.3 損傷事例の分析結果

排水管の流末処理、橋台天端での排水経路、水切り・水抜きについては、万全という方法を確立することは難しいと考えられる。局所的に損傷が進行する箇所には防食のスペックを上げるような、表面を保護する対策を考える必要がある一方で、既存の事例では設計の考え方や構造の詳細もまちまちであることも改めて確認された。

これまでも指摘されているとおり、水に起因する腐食や、関連したひびわれ等の発生の事例は多くみられる。桁端部での水処理の問題、排水経路の問題がみられ、ほぼ同様の損傷形態が多くの橋で発生している。また、防食、防水・止水という水の浸入、供給を防げるという点での改善だけでなく、下部構造天端に水が滞留してしまったり、水抜きが機能せず桁内に滞水してしまったりなど、水を確実に排出するという点で配慮が不足している例も散見される。同様に、排水管取り付け部もさることながら、排水管からの排出された水が構造物にかかってしまうような寸法、水切りの方向と考えられた事例や、鋼部材、コンクリート部材ともに水切りを付けたことでかえってその箇所が滞水したり、ひびわれが発生しやすくなったりなどの弱点となっていることもある。

したがって、水に関して浸入させないということ、仮に浸入したとしても滞留させず、すぐに出ていくような構造にすることが必要と考えられる。

3.6 作業の確実性と容易さに関する事例分析及びアンケート調査

3.6.1 狭隘な構造を有する橋梁な事例分析

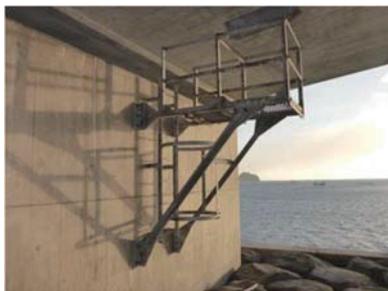
国管理の道路橋のうちランダムに抽出した約 2,500 橋のうち。半数の約 1,200 橋の橋梁で何らかの狭隘な箇所を有していることが分かった。

本分析では、点検の確実性や容易さを阻害する項目について、1)アクセスがしにくい、2)近づいても狭くて進入ができない、3)近づけたのに埋め込まれたりすることで直接状態が確認できない、4)移動性が悪いに区分し点検調書から事例収集を行った。

1) アクセスがしにくい

目的の箇所にアクセスが困難な事例を写真-3.6.1に示す。下部構造に設置された検査路において、上部工へアクセスする昇降用の検査路しかない場合、下部構造の横断方向や支承本体を点検する際には橋梁点検車を準備せざるを得ない。また、主桁の間に添架物が設置されている場合、床版を隠すように添架物が並んでいると点検者が進入することが困難な場合がある。他にも、桁下空間が狭い、トラス橋のように構成する部材が多い、箱桁内で人が届かないような箇所を点検する場合に点検施設が準備されていない、箱桁のマンホールが橋座面との間が狭隘で進入が困難な事例等がみられた。

以上より、点検通路の連続性が確保されていない、添架物等の部材の配置によって点検時のアクセス性が低下する場合がある。



(a) 横断検査路の不足



(b) 検査路の未設置



(c) 横断検査路の不足



(d) 狭隘な桁下空間



(e) トラス下弦材の確認困難



(f) 添架管位置の配慮不足



(g) 箱内上部が確認困難



(h) マンホールが開けない



(i) 桁端部の点検開口部

写真-3.6.1 アクセスがしにくい事例

2) 近づいても狭くて進入できない

目的の箇所近づいても狭くて進入できない事例を写真-3.6.2に示す。桁端部と胸壁との隙間が狭い事例、桁下面と橋座との隙間が狭い事例がみられ、いずれも支承部や桁下面の状況、桁端部の腐食等の近接目視が困難となる。桁端部は伸縮装置からの漏水、橋座面の滞水、通気性の条件等により、塗装劣化、腐食が局部的に発生しやすい場所であり、定期点検や緊急点検の際に近接目視のための点検空間の確保及び補修・補強・更新のための空間の確保が必要な場所である。

また、横桁上部と床版との隙間が無く、塗膜（防食機能）の状況を目視が出来ない事例、横桁と主桁との狭隘部にボルトが設置されて腐食状況が確認困難な事例、ゲルバー部では隙間が狭く変状の確認困難な事例がある。

定期点検において、局所的な損傷も含めて状態の把握が必要であるが、進入できるための空間が確保されていなければ適切な状態の把握ができないと考えられる。



(a) 桁端部と胸壁の離隔が狭い



(b) 桁下面と橋座の離隔が狭い



(c) 桁端部と胸壁の離隔が狭い



(d) 桁端部の進入困難



(e) 添架物で進入困難



(f) 添架物で進入困難



(g) 横桁上面の目視困難



(h) 狭隘部のボルトの目視困難



(i) ゲルバー部の目視困難

写真-3.6.2 近づいても狭くてアクセスできない事例

3)近づけたのに埋め込まれたりすることで直接状態が確認できない

定着部保護キャップにより、グラウト状態やPC ケーブル、落橋防止システム（鋼材）の状態が目視できない事例がみられた。定着部からの漏水やさび汁の発生の損傷が発生した場合、定期点検や緊急点検において近接目視の必要があるが、グラウトキャップや保護キャップにより確認ができない。以上より、狭隘箇所や部材の密集箇所、部材が保護されている箇所について外観目視が難しい場合がある。



(a) 内部の状態確認が困難



(b) 内部の状態確認が困難



(c) 定着部保護キャップ内の目視が困難



(d) 定着部保護キャップ内の目視が困難

写真-3.6.3 外観目視が困難な事例

4) 移動性が悪い

個々には近づけても断面から断面への移動性が悪いと、維持管理性が劣ることになる。移動性が悪い事例を写真-3.6.4に示す。落橋防止システムが点検通路と干渉しており移動性が悪い、安全性（手すりが不連続）が低い事例がみられた。

他には、検査路に位置する横桁の開口が小さく移動性が悪い事例がみられた。橋軸方向の移動経路となる検査路の延長上に位置する横桁等の開口は、定期点検や緊急点検において移動の障害となる場合がある。また、箱桁内に入る場合等でも、例えばマンホールが重かったり、小さかったりすると移動性が悪くなると考えられる。



(a) 検査路と附属物の輻輳



(b) 検査路上に附属物



(c) 検査路の横断性が悪い



(d) 検査路入口に附属物



(e) 横桁の開口が小さい



(f) 開口部に添架物が設置



(g) 検査路に添架物



(h) マンホールが重い・小さい



(i) 昇降部に手すりがない

写真-3.6.4 移動性が悪い事例

3.6.2 作業の確実性と容易さに関するアンケート調査

アンケートは、道路橋で点検や補修・補強・更新を行う場合の作業の確実性と容易さについて不具合例や問題意識の抽出を目的とする。具体的には、マニュアルや要領等で記載される内容で適していない構造細目や仕様、点検時に気になっているが一般的に行われている構造細目や仕様について抽出する。

アンケートの方法は、建設コンサルタント協会の各支部から協会加盟会社に対しアンケート様式を配布する形とした。

1) アンケート結果の内訳

アンケートを実施した結果、作業の確実性と容易さに関して 162 項目を収集した。その内訳は、作業の確実性に関する内容が 36 項目、作業の容易さに関する内容が 126 項目であった。なお、記載内容が全く同じものについては集約して集計している。

2) 作業の確実性に関するアンケート結果

アンケート結果で得た作業の確実性に関する課題について分類すると、「補修・補強・更新のための空間確保」が 7 件（19%）、「作業性と品質の確保」が 15 件（42%）であった（図-3.6.1）。

作業の確実性に関する主なアンケート結果を次頁（表-3.6.1）に示す。

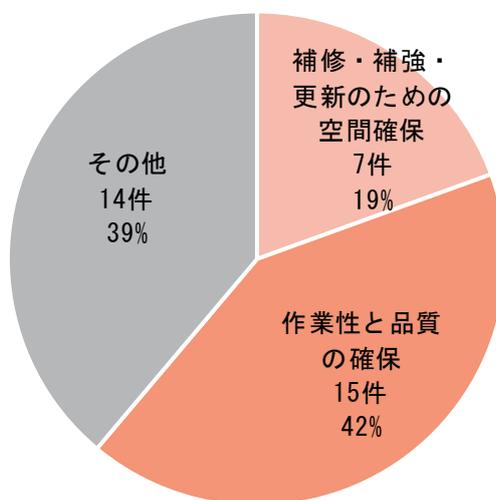


図-3.6.1 作業の確実性に関するアンケート結果の内訳

表-3.6.1 作業の確実性に関する主なアンケート結果

分類	作業の確実性に関する課題
補修・補強・更新のための空間確保	<ul style="list-style-type: none"> ・ 支取替え時に桁仮受ジャッキを設置するスペースがない。 ・ 耐震補強などで RC 壁や RC 台座を構築する際に、既設部材や補強部材と近接し、コンクリート打設が困難となる場合がある。
作業性と品質の確保	<ul style="list-style-type: none"> ・ 支取交換はゴム支取（天然ゴム）を基本としているが、現況の支取よりも大型になることが多く、施工が非常に困難（下部構造のはつり幅が大きい） ・ 補修時に床版防水システムの仕様通りの性能が期待できない例が多い。ピンホールやブリスタリング、端部からの漏水などが常に問題となる。 ・ 鋼板接着工法により補強された RC 床版が、近年、鋼板接着のうきが進行している。最近では鋼板接着による補強事例は少ないが、鋼板接着工法の場合、接着材が比較的はがれやすく、また、内部の既設床版の目視ができないことが課題となっている。また、鋼板のうきに対する再補修として、再充填工法が採用されているが、再劣化が生じることが懸念される。

3) 作業の容易さに関するアンケート結果

アンケート結果で得た作業の容易さに関する課題について分類すると、「アクセス性が悪い」が47件（37%）、「近接目視が困難」が56件（45%）、「目視による状態把握が困難」が19件（15%）であった（図-3.6.2）。

作業の容易さに関する主なアンケート結果を次頁（表-3.6.2～表-3.6.3）に示す。

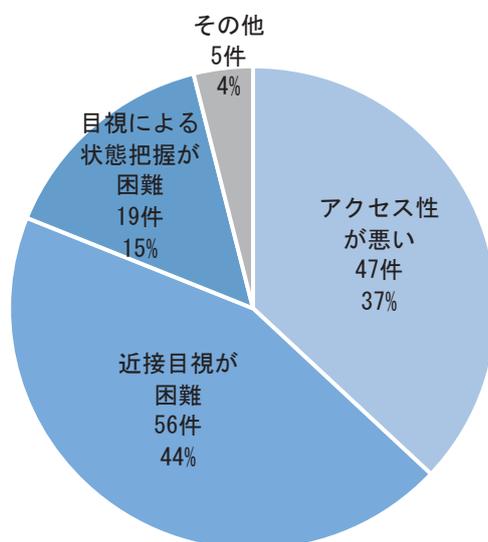


図-3.6.2 作業の容易さに関するアンケート結果の内訳

表-3.6.2 作業の容易さに関する主なアンケート結果 (1)

分類	作業の容易さに関する課題
アクセス性が悪い	<ul style="list-style-type: none"> ・ 上部工に検査路が設置されている場合でも、上部工検査路までの道が確保されていない場合がある。 ・ 後付けされた落橋防止構造（チェーン等）が、下部構造検査路の手すり内に入って設置されており、検査路の通行に支障がある。 ・ 桁端部から桁内へ進入する際、昇降梯子やステップが付いていない事例が多い。沓高が高く、下床版厚が厚い場合は、梯子がないと中に入れられないことがある。 ・ 中・長大橋において地上から検査路に到達するためのルートが1箇所しか確保されていない。
マンホール等開口部の位置や大きさ、材質	<ul style="list-style-type: none"> ・ 箱桁端部のマンホール扉について、開閉時の障害物を考慮していない場合は、扉の開閉が限定され、梯子などの点検機材の搬入が出来ない。 ・ 点検口マンホール蓋が重く、入り難い ・ 全般にマンホールのサイズが小さく、出入りが困難。400 mm x600 mmは明らかに小さすぎる。また、全周ボルト留めも点検時の作業性に難がある。 ・ 点検・管理を行う上で、身体的負担の激しい検査路（何度も腰をかがめて通る上部工検査路、箱桁内部の横リブ高さが1m程度あるにも関わらず、何度も跨ぐことになる構造）やマンホールの寸法。 ・ 鋼製橋脚の点検孔の蓋がボルトの腐食で開かず、無理やり開けたため、ボルトが破断し、蓋が落下して、事故が発生しそうになった。
橋梁下へのアクセス	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高架橋の桁下敷地内へ車両が進入できない場合がある。また、車両が進入できても、敷地の勾配が急でリフト車が設置できない場合がある。 ・ 歩道橋等の橋面に橋梁点検車が載せられない（幅員、荷重）条件下での桁下への近接。
現在位置、部位位置の把握が困難	<ul style="list-style-type: none"> ・ 箱桁内部は多数の横リブ・ダイヤフラムが設置されている構造であり、点検などで変状や損傷を確認した場合、それが何番目の部材なのか確認するのが容易でない。 ・ 床組み部の点検では主桁、横桁、横構など同形状の部材が配列されているため、点検部位がどこかわからなくなる。

表-3.6.3 作業の容易さに関する主なアンケート結果 (2)

分類	作業の容易さに関する課題
アクセス性が悪い	
箱桁内の明かり環境	<ul style="list-style-type: none"> ・箱桁内部は密閉された暗所であり、煩雑な箱桁内で照明や換気装置等の機器を持って移動しなければならない。
近接目視が困難	
点検空間の確保	<ul style="list-style-type: none"> ・桁端部（端横桁より外側）は非常に狭く、点検・再塗装・補修補強が困難な場合がある。 ・本線とランプ橋が並走するような橋梁の第三者点検が非常に実施困難な場合がある。 ・桁端部において、維持管理の観点から、桁下空間を 400 mm 程度確保することが望ましいが、耐震上の段差防止構造が必要とならないか？
添架物の配置	<ul style="list-style-type: none"> ・添架物により、点検時に橋体への近接が困難となる（主桁間、地覆側面） ・RC 構造の落橋防止突起壁の設置により、支承、端横桁の劣化状況を目視確認できない場合がある。
高所による近接困難	<ul style="list-style-type: none"> ・桁高の高い箱桁などでは、床版面の近接目視が行なえない。 ・柱頭部等、主桁高の高い箇所の点検がしづらい。
点検施設の設置	<ul style="list-style-type: none"> ・主桁間に一列配置のみの検査路では、他の主桁間の損傷を点検できない。 ・検査路を設置する場所に配慮が必要。添架物や下横構がある場合、橋梁点検車やリフト車のバケットが床版まで届かない場合が多い。 ・検査路を主桁中央に設置することがほとんどであるが、実際に点検する部材との距離があるため、近接調査等のためには、別途足場が必要となる。
目視による状態把握が困難	
外観目視が困難	<ul style="list-style-type: none"> ・プレテンション方式床版橋で用いられるパッド型支承ならびにアンカーバー方式は、点検ならびに損傷した場合の補修が依然として困難である。 ・P C グラウト充填不良による損傷事例が報告されているが、外観変状が出ていない場合、内部の PC 鋼材の状態を適切に把握することが困難である。 ・コンクリート内部の配筋状態の把握。
表面処理方法	<ul style="list-style-type: none"> ・剥落防止シートで完全に覆われた床版（あるいは桁も）点検不可能

3.6.3 作業の確実性と容易さに関する分析結果

狭隘で外観目視できない箇所を有する橋梁について事例収集を行った。その結果、供用期間中に全ての部材の状態を目視等で定期的に確認することを考えた場合にはいずれも望ましくない事例が見受けられた。設計時点で、狭隘な構造になっていないか検討しておくことが必要である。定期点検の際には特殊な検査機器などを使用して何らかの確認を行える可能性はある。しかし、維持管理では、突発的な災害や不測の事故や不具合の発生も生じないとはいえないので、確実かつ容易に近接、触診できるように設計時に配慮することを心掛けるとよい。

このことはアンケート結果でも挙がっており、支承取替時のジャッキ設置スペース等の作業空間の確保、点検時のアクセス性や外観目視方法といった作業の確実性を確保すること、点検時に現在位置や主桁、横桁、横構等の同じ形状について正確な把握、高架橋の桁下の敷地内に点検車両を進入方法といった作業の容易さが求められている。

したがって、単に点検が可能であるというだけでなく、条件によらず確実かつ容易に点検が行えることは耐久性を確実なものとするために重要な性能と考えることができる。

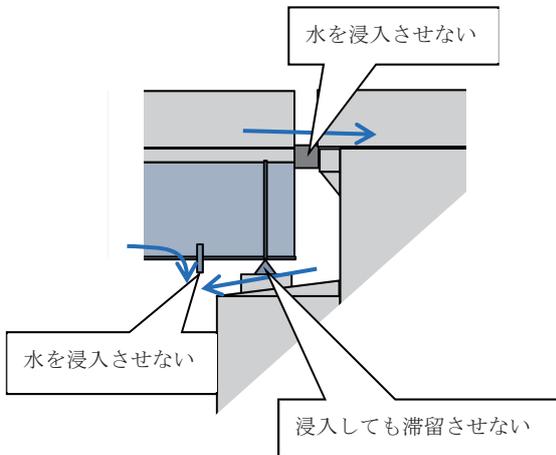
3.7 まとめ

耐久性の信頼性を向上させるにあたっては水処理の影響が大きいこと、特に凍結防止剤の散布によって塩分を含んだ水が橋梁に悪影響となることは、損傷の劣化の遷移特性からも明らかで、現地確認においても到達経路（水みち）を確認し構造細目への配慮の重要性を確認した。また、縦断勾配といった計画段階で検討する構造特性が耐久性のばらつきに起因することが示唆された。

耐久性の信頼性向上を得るためには、材料の調達や橋梁の計画・設計時において作用の累積的影響のばらつきを減らす工夫が重要であり、本章では耐久性の信頼性を向上の方法が以下の 4 つに分けられることを明らかにした。

- ・ 浸入させない
- ・ 浸入しても滞留させない
- ・ 表面を保護する
- ・ 見つけて直せる・是正できる

【桁端部のイメージ 1】



【桁端部のイメージ 2】

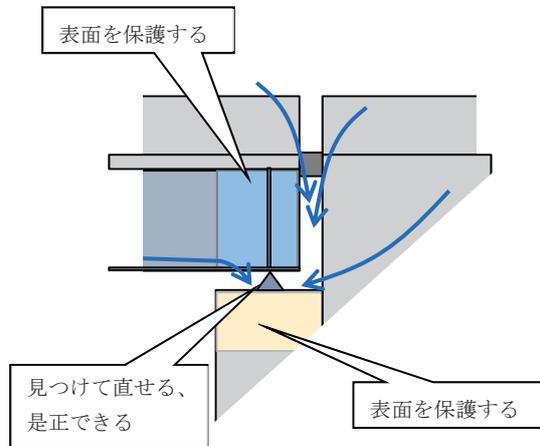


表-3.7.1 耐久性の信頼性向上を図る必要がある対象例

浸入させない	浸入しても滞留させない	表面を保護する	見つけて直せる 是正できる

参考文献：

- 1) 国総研資料 985 号 平成 29 年 9 月 定期点検データを用いた道路橋の劣化特性に関する分析
国土交通省 国土技術政策総合研究所
- 2) 玉越隆史, 横井芳輝, 石尾真理：全国規模の点検データに基づく道路橋のコンクリート部材の劣化の特徴, コンクリート工学論文集 第 25 巻, pp.167-180, 2014
- 3) 玉越隆史, 横井芳輝, 石尾真理：全国規模の点検データに基づく鋼橋の劣化の特徴, 鋼構造論文集 第 21 巻第 82 号, pp.99-113, 2014.6
- 4) Takashi Tamakoshi, Masahiro Shirato, Toshiro Kamada, Steel bridge deterioration data in Japan and modelling, Bridge Engineering Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Volume170 Issue 2, June, 2017, pp.133-146