

使用環境が橋の損傷に及ぼす影響に関する研究

香川高等専門学校、教授、太田貞次
福井工業高等専門学校、教授、吉田雅穂
呉工業高等専門学校、准教授、河村進一
阿南工業高等専門学校、教授、笹田修司

群馬工業高等専門学校、准教授、三上卓
舞鶴工業高等専門学校、教授、玉田和也
徳山工業高等専門学校、教授、田村隆弘

概要：

国や都道府県、政令指定都市と比較して予算、技術者数、技術力が不十分な市町村が管理する橋梁の老朽化対策が全国的に問題となっている中、全国 14 高専の教員が地元市町村の老朽化対策に協力するために、「橋の老朽化対策研究会」を立ち上げて支援の活動を行っている。本研究では、7 地域の高専教員が各地の「橋の長寿命化修繕計画策定」に協力する過程で得られた橋梁の損傷状況を損傷原因別に示すとともに、使用環境が橋の損傷に及ぼす影響について考察する。

対象地域を、使用環境により①冬季に強い海風を受け、積雪量が多い日本海沿岸地域、②気候が温暖で降雨量が少ない瀬戸内地域、及び③降雨量が多く、夏季に強い海風を受ける太平洋沿岸地域、の3つのグループに分けて、コンクリートの中酸化、塩害、アルカリ骨材反応、鋼部材の腐食に伴う損傷を対象として使用環境が橋の損傷に及ぼす影響を調べる。

キーワード：市町村管理橋梁、中性化、塩害、アルカリ骨材反応、鋼材の腐食、地域特性

1. 研究の背景

東京オリンピック以降の高度成長期に建設された橋梁が供用開始後 50 年を迎えるなかで、各地で橋の損傷事故が報告されており、それに伴って全国で橋の長寿命化に対する取り組みが活発化している。国交省では平成 15 年度から全管理橋梁の点検・調査を進めており、20 年度で一巡するとともに、5 年に一度の定期点検の二順目に入っている。また、地方公共団体が管理する橋の老朽化対策を進めるために、平成 19 年 4 月に国交省は「橋の長寿命化修繕計画策定事業補助制度」を制定している。この制度は、点検結果に基づいて補修・補強を計画的に実施し、橋の維持管理コストの削減を目指すもので、地方公共団体の道路管理者が主体的に点検・維持管理に取り組むことを促している。

都道府県や政令指定都市では、この制度を受けて点検要領、点検マニュアルを作成し一斉点検作業に入るとともに、計画策定期限である平成 23 年度末を前に、概ね計画策定を終了している。しかし、予算、技術者数、技術力が十分でない市町村では、その対応に苦慮しているのが実状である。

2. 市町村管理橋梁の老朽化対策

市町村が管理する橋梁の老朽化対策は、地域によるば

らつきが大きく、都道府県より 2 年間の猶予を与えられている平成 25 年度の計画策定期限を前に計画策定を開始したばかりの地方自治体も数多く見受けられる。地方自治体の「橋の長寿命化修繕計画策定」に地元の高専の教員が協力して支援する事を目的として、平成 22 年 8 月に全国 11 高専の教員が集まり「橋の老朽化対策研究会」を設立した¹⁾。研究会は、現在全国 14 高専の参加へと拡大され、各地の市町村の「橋の長寿命化修繕計画策定」における意見聴取者として協力している。

計画策定には点検による橋梁損傷状況の把握が必要であり、点検調査を通じて各地の市町村が管理する橋梁の損傷状況が詳らかになってきた²⁾。本研究は、市町村における計画策定の過程で得られた橋梁損傷状況を地域ごとに整理し、使用環境が橋の損傷に及ぼす影響について考察するものである。

3. 検討対象地域

本研究では、7 高専の教員が高専周辺地域で活動するなかで得られた情報を取りまとめたが、地域ごとの損傷状況の特徴を見出すことを目的とするため、次の3つのグループに分けて考察する。

グループ①：冬季に強い海風を受け、積雪量が多い日本海沿岸地域にある福井県と京都府北部地域
グループ②：気候が温暖で降雨量が少ない瀬戸内地域に

ある香川県と山口県
グループ③：降雨量が多く、夏季に強い海風を受ける太平洋沿岸地域にある徳島県

4. 損傷事例報告

ここでは、損傷原因ごとに各地の損傷事例を示すとともに、3つのグループにおける事例を比較検討して、使用環境が損傷に及ぼす影響について考察する。ここでは、損傷原因として、コンクリートの中性化、塩害、アルカリ骨材反応（以下 ASR と記載する）、及び鋼部材の腐食の4種類を取り上げる。

(1) コンクリートの中性化に伴う損傷事例

コンクリートの中性化に伴う損傷はコンクリート構造物の寿命とも言えるものである。鉄筋のかぶり厚が十分確保され、しっかりと締固めが行われれば、50 年程度では発生しないと考えられる。しかし、現実には市町村が管理する多くの中小規模の橋梁で中性化に伴って顕著な損傷が発見された。

写真-1 に RCT 桁橋の主桁部分の損傷事例を、また写真-2 には RC 床板橋の損傷事例を示す。2つの事例はともに鉄筋のかぶり厚が不十分で、早期に鉄筋に錆が生じ、鉄筋の膨張圧で表面のコンクリートが剥離した。中性化に伴う損傷は地域による偏りが少なく、海岸地域から山間部に万遍なく分布している。

写真-3 は 3 径間連続 RCT 桁橋の端支点上断面に発生した損傷である。本橋は国道橋として供用されていたがその後町に移管され、現在は車両通行止めの規制が行われている。古い RC 連続橋や RC ゲルバー橋の中間支点上断面やヒンジ部で中性化に伴う損傷を受けた橋梁が各地に見られた。

(2) 塩害による損傷事例

塩害による損傷は、グループ①～③の全ての地域の海岸沿いで発生しており、いずれも顕著な損傷状況を呈している。しかし、日本海沿岸域のグループ①では、他の地域と比較して塩害損傷の進行が顕著である。

写真-4 は昭和 16 年に国道橋として建設され、現在は市に移管されている鉄筋コンクリートゲルバー橋の主桁部分である。本橋は日本海の河口から 1km の位置に建設されており、建設後 70 年が経過しているため、随所に損傷がみられる。損傷は鉄筋コンクリート桁の曲げひび割れ、それによる鉄筋の腐食および、鉄筋膨張による主鉄筋方向ひび割れ、かぶりコンクリートの剥落があり、鉄筋コンクリート部材の損傷の各段階を見ることができる。

写真-5 は瀬戸内海の沿岸域にある RCT 桁橋の塩害損傷状況である。山口県では PC 橋と RC 橋の上部工の損傷状況の比較を行っているが、損傷区分 C より劣化が進行



写真-1 RCT 桁橋主桁の中性化損傷事例（京都府北部地域）



写真-2 床板橋の中性化損傷事例（香川県）



写真-3 連続RCT 桁橋支点上横桁の中性化損傷事例（香川県）



写真-4 RCT 桁ゲルバー橋の塩害損傷事例（京都府北部地域）



写真-5 RCT 桁橋の塩害損傷事例（山口県）



写真-6 RCT 桁橋の塩害損傷事例（香川県）

した橋梁の割合は、RC 橋が 2 倍程度となっている。

写真-6は瀬戸内海に浮かぶ島の市街地に昭和 32 年に建設された 3 主桁の単純 RCT 桁橋で、両外主桁ともに同様な損傷を受けている。鉄筋間隔が狭いためにコンクリートが行きわたらず、海岸近くの環境下で塩害による鉄筋腐食が進行し、コンクリート断面が剥落した。この橋梁は長期修繕計画と切り離して平成 22 年度に断面修復による補修工事を実施済みである

福井県の日本海側を通る国道 305 号線は冬季に激しい北風に曝されるため、海岸に沿った橋梁では著しい塩害損傷を受けた橋梁が見受けられた。**写真-7**は国道 305 号線に架かる橋梁であり昭和 53 年に完成した。橋長 460 m、径間数 17、全幅員 8.2 m である。上部工はポストテンション単純 T 桁橋、下部工は扶壁式橋台と逆 T 式橋脚で、いずれも直接基礎となっている。海上に橋脚を設けてその上に上部構造を通しており、平成 11 年に南側の 9 径間、8 橋脚、橋台の塩害対策を、平成 12 年に北側の 8 径間、8 橋脚、橋台の塩害対策が行われた。建設後 20 年足らずで塩害に対する補修工事を余儀なくされている。このような使用状況は橋梁にとって過酷であり、トンネル等による道路の付け替えを検討することも必要と思われる。

写真-8は同じく国道 305 号線に架かる RC 単純中空床板橋であり、昭和 44 年に完成した。本橋は上部工、橋脚ともに海からの飛来塩分による塩害損傷を受けており、平成 23 年度に気泡混合軽量盛土により橋梁下部を盛土充填し、完全に土工化する補修工事を実施した。福井県の日本海沿に位置する国道 305 号は劣悪な塩害環境にあるため、国道上の橋梁は補修・補強の対応に苦慮している。

(3) アルカリ骨材反応による損傷事例

ASR による損傷はアルカリ金属と反応してアルカリシリケートゲルを生成する反応性骨材を使用することが原因で発生する。そのため、地場で産出する骨材に影響される。今回の調査範囲では、瀬戸内海に面する山口県と香川県に ASR による損傷が多く見られる。



写真-7 過酷な塩害環境にある PCT 桁橋（福井県）



写真-8 気泡混合軽量盛土で土工化した橋梁（福井県）



写真-9 ASR による損傷を受けた橋脚（山口県）



写真-10 ASRによる損傷を受けた橋脚（香川県）

写真-9、写真-10に山口県と香川県におけるASRによる損傷を受けた橋脚の事例を示す。写真-10は災害時緊急道路として使用されるPCポストテンションT桁橋10連からなる橋長420mの長大橋梁の中間橋脚で、昭和57年に建設されている。

特に、香川県ではASRによる損傷を受けた橋梁の割合が高く、損傷が進行した橋梁も多い。これは、香川県小豆郡土庄町豊島で産出した反応性骨材を香川県内の工事で使用した事が、その主原因となっている。また、高度経済成長期に豊島周辺の海砂を大量に使用した事も、香川県内のコンクリート橋にASRによる損傷が多い原因の一つである。

瀬戸内海に面したグループ②以外の地域ではASRによる損傷を受けた橋梁があまり見受けられなかった。

(4) 鋼材の腐食損傷事例

写真-11は昭和28年に京都府北部に建設された下路式単純プレートガーダー橋の下フランジ部分の腐食損傷事例である。有効幅員5.1m、橋長20mのリベット橋である。海岸からの距離は1.2kmであり、水面から下フランジまでの高低差は1.5m程度である。写真からわかるとおり、支点部の下フランジの断面が欠損（2主桁の4支点いずれも同様の損傷）するほど腐食している。過去の塗替えにおいて、腐食箇所の上から塗料を増塗りされており、抜本的な防錆対策を実施されていないことがここまです激しい損傷を放置することになった原因と考えられる。

山口県内の橋梁では、各部材の腐食損傷が著しく進行した事例はあまり見受けられないが、支承部が錆びで固着化し機能を果たしていないケースはいくつか見られた。山口県内橋梁の腐食損傷の一例を写真-12に示す。

徳島県の橋梁では、鋼部材の広範囲の腐食は殆ど見られないものの、供用年数が20年を超える鋼橋で局所的な腐食が発生している。しかし、海岸線から2km以内に位置し、供用年数が約40年程度の橋梁では、広範囲で塗装の痛みが激しく、断面欠損には至らないまでも腐食が進行している部分が見られた。また、鋼製支承本体が激しく腐食し、支承としての機能を失っている事例も見られた（写真-13）。



写真-11 腐食による主桁断面欠損（京都府北部地域）



写真-12 鋼桁の腐食損傷状況（山口県）



写真-13 支承部の腐食損傷状況（徳島県）



写真-14 支承部の腐食損傷状況（香川県）

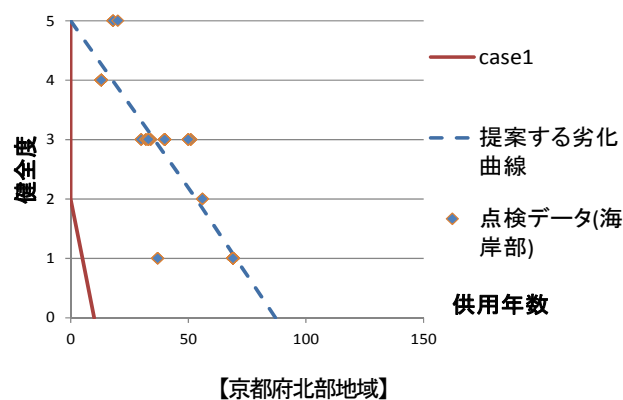
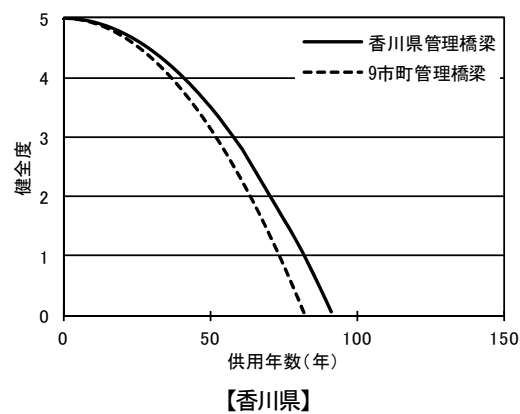


図-1 鋼桁の腐食損傷劣化曲線

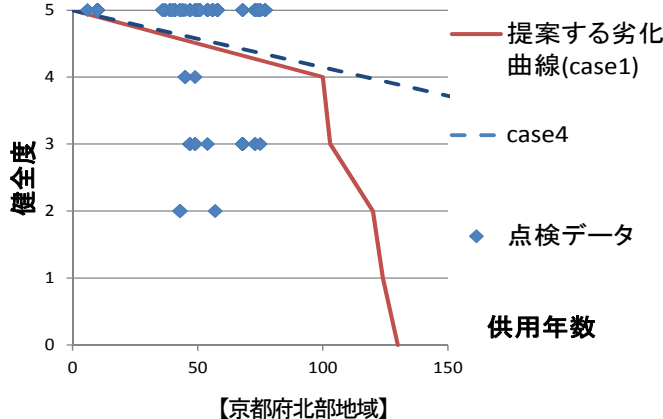
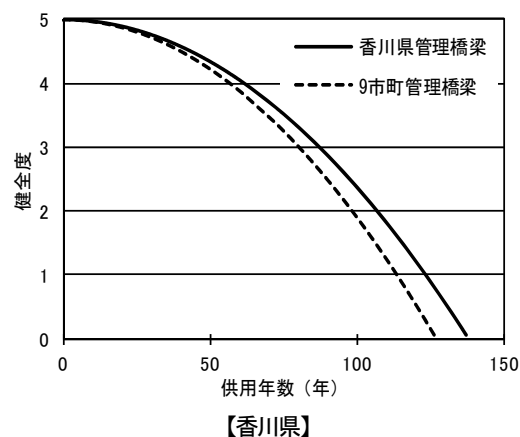


図-2 コンクリート主桁の損傷劣化曲線

写真-14 は海岸から 500m 程度離れた位置に建設された鋼H 桁橋の支点部の損傷状況で、支承が錆びにより固着化するとともに支点上補剛材が下側 10cm の範囲で欠損し、ウェブでも板厚減少が著しい。5 年前の調査時には全断面に腐食が進行していたが断面欠損は見受けられず、5 年間で急激に腐食が進行した。

5. 損傷劣化曲線

ここでは、香川県と京都府北部地域における損傷劣化曲線を比較する。損傷劣化曲線に示す健全度は、表-1 の評価区分に対応している。

香川県では損傷劣化曲線は二次曲線を仮定し、供用年数ごとの健全度の平均値を求め、最小二乗法により係数を決定している。それに対して、京都府北部では、点検結果を 5 年ごとに区切って平均値を出し、それを一次直線で回帰分析して決定している。

図-1 の鋼桁の腐食損傷劣化曲線を京都府北部地域と香川県 9 市町平均で比較すると、整理の仕方が異なるため健全度 5～3 の損傷が軽微な段階では両地域に差異が見受けられるが、損傷劣化が進行して補修・補強の対象となる 2～1 の健全度で比較すると、健全度 2 に達する

表-1 損傷評価区分と健全度

評価区分	損傷度の内容	健全度
a	健全	5
b	ほぼ健全	4
c	劣化が進みつつある	3
d	劣化損傷中	2
e	劣化損傷大	1

までの年数は 60 年程度とほぼ同じ値となっている。また、劣化損傷が大となる健全度 1 では京都府北部地域が香川県よりも 10 年程度早くなる。しかし、回帰曲線の仮定が二次曲線と一次直線で異なっており、この結果から損傷劣化の進行に有意差があるとは判定できない。

次に、コンクリート主桁の損傷劣化曲線の比較では、供用年数が 100 年を超える橋梁数がない中での回帰曲線であり、健全度 1 に損傷劣化が進行するまでの供用年数は 120～130 年で、コンクリート橋の耐用年数が 100 年を超えて長期間に及ぶことを 2 つの損傷劣化曲線が示す事は推定できるが、2 つの地域の劣化の進行を比較できるものとはならない。

6. まとめ

ここでは、損傷原因別に地域の特徴を比較し、使用環境の違いが橋の損傷に及ぼす影響を整理する。

(1) コンクリートの中性化に伴う損傷

コンクリート部材の中性化に伴う損傷事例は、京都府北部と香川県で紹介されている。損傷橋梁の分布は、両地域共に特に海岸線に偏ることもなく、対象地域の全域にわたって発生している。香川県では小規模の床板橋やボックスカルバートなどで、広範囲のコンクリート剥離・鉄筋露出が見られた。また、中小支間の RCT 桁橋で交通制限を実施している橋梁も含めて、激しい損傷を受けているものも数多く見受けられた。しかし、損傷橋梁には締固め不足やかぶり不足など施工不良に伴う損傷が多く、施工がしっかりと行われた橋梁については損傷が顕著な事例は少なかった。

(2) 塩害による損傷

塩害による損傷は海岸線に近い橋梁で全てのグループに共通に見られた。比較的気象条件が穏やかな瀬戸内にあるグループ②でも、山口県、香川県共に著しい損傷が発生している橋梁も多く見られた。ただし、グループ②の橋梁では建設後全く補修を行っておらず放置されてきた中で現況を迎えているのに対して、グループ①の橋梁では、すでに補修・補強対策を実施しているにも関わらず損傷の進行を防ぎ得ない状況にあるなど、塩害環境としてはグループ①の方が厳しい状況となっている。グループ③では対象範囲が狭いが、著しい塩害損傷を受けた橋梁は少なかった。

(3) ASR による損傷

ASR による損傷を受けた橋梁の分布は地域による偏りが大きい。今回の対象地域の中で、瀬戸内海に面するグループ②の山口県と香川県では事例が報告されている。また、日本海沿岸のグループ①の中で、福井県では事例が報告されているが、京都府北部では市町村が管理する橋梁に損傷事例は報告されていない。また、グループ③の徳島県では ASR による損傷事例は少ない。特に、香川県では ASR による損傷を受けた橋梁の割合が高く、損傷が著しく進行した橋梁も多い。

(4) 鋼橋の腐食損傷

鋼橋の腐食損傷については、全ての地域で損傷事例が

報告されている。市町村が管理する橋梁では塗装の塗替えがほとんど行われておらず、腐食の進展に伴って断面の一部が欠損したり、桁全体に板厚減少が見られる事例が数多く発見された。また、支承部が腐食により固着化して、機能を損なわれている事例も多く、これはどの地域にも共通して見られた。なお、腐食損傷を受けた橋梁の分布を見ると、海岸近くに損傷橋梁が多いが、海岸から離れた山間部においても発見されている。

(5) その他の損傷

市町村が管理する橋梁では、鋼部材の疲労損傷はほとんど見られなかった。また、床板の疲労損傷についても、多少のひび割れの発生は見受けられたが、コンクリート床板が抜け落ちる懸念を感じさせる事例はなかった。しかし、床板下面に漏水に伴う遊離石灰が析出している橋梁は多く、かなりの橋梁で橋面防水が必要と判断された。

使用環境の違いが橋梁の損傷に及ぼす影響を調べるために、日本海に面する福井県と京都府北部地域、気候温暖な瀬戸内海地域の山口県と香川県、及び太平洋に面する徳島県の 3 グループに分類して市町村が管理する橋梁の損傷状況を調べ、損傷原因別に損傷橋梁の分布を調べた。その結果、気象環境の違いが橋梁の損傷に及ぼす影響について、大きな違いを見出すことは出来なかった。

コンクリートの中性化に伴う損傷については、地域による偏りはほとんど見られず、広い範囲で損傷橋梁が分布していた。塩害による損傷を受けた橋梁は海岸線に沿って分布していたが、損傷の進行や顕在化については日本海側の橋梁が瀬戸内海に接する橋梁よりも顕著であった。ASR による損傷を受けた橋梁は、アルカリシリケート反応を呈する反応性骨材が分布している地域に限られ、使用環境との関連性は見られなかった。また、鋼桁の腐食損傷についても、地域による顕著な差異は見受けられなかった。

参考文献

- 1) 太田貞次：市町村の道路管理に向けた実践的取組み、土木技術資料、第 53 巻、第 2 号、pp. 40-43、2011. 7.
- 2) 太田貞次：香川県内市町村が管理する橋梁の現況報告と長寿命化対策、コンクリート工学、Vol. 50、No. 5、pp.325-330、2012. 4.
- 3) 太田貞次、鈴木智郎、三浦正純：道路管理者のための実践的橋梁維持管理講座、大成出版社、平成 23 年 7 月。