

積雪寒冷地に対応した橋梁点検評価等維持管理技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（重点研究）

研究期間：平 23～平 26

担当チーム：寒地構造チーム、寒地技術推進室

研究担当者：西 弘明、今野久志、三田村浩、佐藤 京、表 真也
澤松俊寿、横山博之、中村直久、高玉波夫、宮本修司

【要旨】

積雪および寒冷地域に架設されている橋梁は、霧囲気温度の高低差が大きく、積雪による長期乾湿の繰り返しを受けるなど、厳しい環境条件下に置かれていることから、複合劣化過程の特殊性による損傷発生や劣化進行度合いに特異性を有していると考えられる。

本研究では、積雪および寒冷環境下における橋梁の劣化損傷の形態、要因、進行度合いなどを橋梁点検や損傷事例より明らかにするとともに、劣化損傷特性に応じた点検・診断技術や寿命予測技術等を含めた維持管理技術を確立することを目的とする。

積雪寒冷環境下における橋梁の点検・診断技術の提案については、劣化損傷形態を橋梁定期点検結果等により整理・分析を実施するとともに、RC床版の上面損傷に対する合理的な日常点検手法を確立するための基礎的実験を実施した。

積雪寒冷環境下における橋梁の寿命予測技術の開発については、積雪および寒冷地域における損傷促進要因を考慮した劣化損傷メカニズムを解明するために現地調査を実施した。

キーワード：RC部材、橋梁点検、RC床版損傷、劣化損傷メカニズム

1. はじめに

厳しい経済状況の下で公共事業の一層のコスト縮減と品質を確保するには、その地域の条件にあった技術を用い、規格を適切に設定することが必要である。供用中の橋梁の多くは高度経済成長期に建設され、建設後数十年を経過していることから、今後維持管理費が急増することは明らかであり、これまで以上に効率的な維持管理が求められる。また、北海道は全国的にみて極めて特殊な気象特性を有する地域であり、架設されている橋梁に対しては、霧囲気温度の高低差が大きく、積雪による長期乾湿の繰り返しを受けるなど、厳しい環境条件下に置かれていることから、劣化損傷状況の特殊性による複合損傷発生の複雑さや劣化進行度合いに特異性を有していると考えられる。

しかしながら、RC部材の劣化損傷は、結果としての現象を確認出来ているものの、そのメカニズムは解明されておらず、目視損傷が確認出来ない部材においては、戦略的維持保全対策が出来ないのが現状である。

本研究では、積雪寒冷環境下における橋梁の劣化損傷形態を橋梁定期点検結果等により整理・分析を実施するとともに、RC床版の上面損傷に対する合理的な日

常点検手法を確立するための技術開発を実施する。また、積雪および寒冷環境下における橋梁の戦略的維持管理計画を立てるためにRC床版の寿命予測技術の開発を実施する。

2. 調査研究の手法

2.1 積雪寒冷環境下における橋梁の点検・診断技術の提案

2.1.1 積雪寒冷地における橋梁部材毎の劣化損傷形態の整理・分析

北海道にある一般国道は、昭和63年から橋梁定期点検を実施し、現在までに同一橋梁において複数回の点検実績がある。このデータより、劣化要因として、交通荷重、塩害、凍害と中性化に、損傷種別として、腐食、塗装劣化、ひびわれ、床版ひびわれに着目し、損傷に関するデータ整理を行い、とりまとめを実施した。なお、とりまとめに当たり、現在の点検結果を旧点検要領（案）により、損傷ランクを読み替えて実施している。

2.1.2 各部材毎の点検・診断技術の検討

本研究においては、RC床版の上面損傷に対する合理

的な日常点検手法を確立することを目的としており、文献調査による既存技術の整理を実施し、日常点検における調査機器の可能性について、モデル床版を用いて実験的に確認を行った。

実験的検討においては、既存資料を基に非破壊検査法として、最も簡便な打撃系調査を実施し、打撃入力に対して出力を、加速度センサーで振動としてとらえる。また、デジタル聴診器で音として記録した。

実験に用いた RC 床版を図-1 に示す。

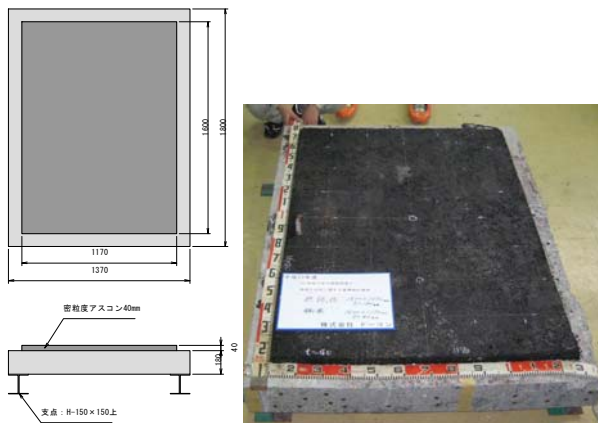


図-1 モデル RC 床版一般図と写真

実験は、損傷が打撃の入力に影響を与えるのか、出力に影響を与えるのかに着目して実施した。図-2 および図-3 にあるようにセンサーを設置し、赤丸の位置で打撃を実施した。図-2 のケースは、無損傷と有損傷箇所での記録取得を損傷の有無箇所での打撃入力を行い、その出力の違いについてデータを取得した。また、図-3 は、センサーと打撃入力箇所との 2 点間距離の影響も考察するためのケースである。なお、打撃実験者には、モデル RC 床版上面に存在する損傷を伏せた状態で行った。

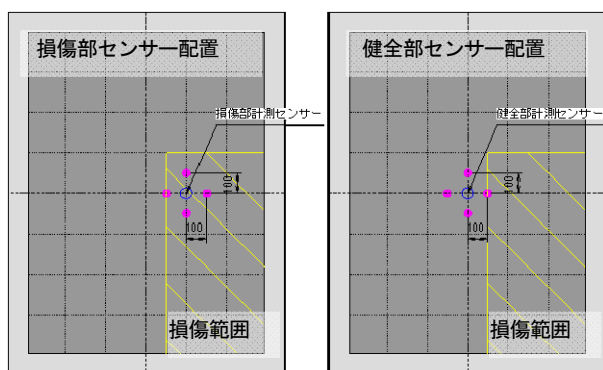


図-2 実験パターン 1

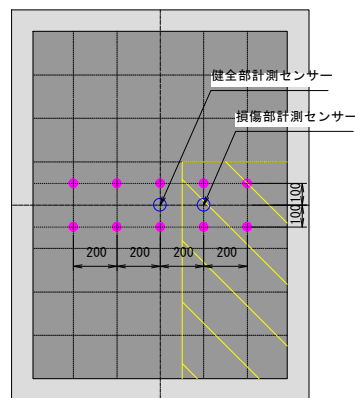


図-3 実験パターン 2

2. 2 積雪寒冷環境下における橋梁の寿命予測技術の開発

2. 2. 1 コンクリート系床版の劣化損傷メカニズムの分析

当チームの調査により、積雪および寒冷地域における RC 床版では、交通量の多少に関わらず、コンクリート上面の劣化が進行していることが確認されている。

本年度は、写真-1 に示す昭和 43 年に架橋された一般国道橋梁を対象に塩害および凍害に着目した現地 RC 床版点検を実施した。現地調査においては、橋梁点検を基本として近接目視を実施し、外観による損傷箇所特定およびその分布や材料劣化を調査するためにコア採取を行い、材料試験を実施した。さらに上面舗装撤去後の RC 床版コンクリート上面の損傷状況舗装を切削によらずに撤去した上面部を図-4 に示す位置で点検を実施した。



写真-1 調査対象橋梁

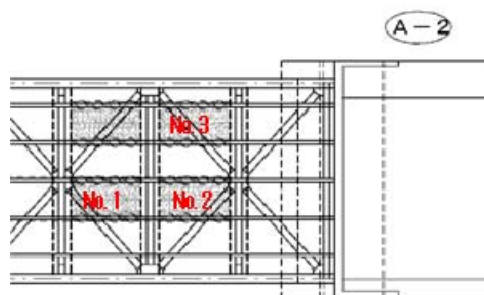


図-4 上面調査箇所

3. 調査研究の成果

3.1 積雪寒冷環境下における橋梁の点検・診断技術の提案

3.1.1 積雪寒冷地における橋梁部材毎の劣化損傷形態の整理・分析

まず、積雪および寒冷地域での大枠を示すため、損傷種別、部材別に傾向を整理した。図-5 に部材別の損傷を示す。主な損傷は、主桁、床組、床版、支承で、悪い状態が多い部材は、床版であることが分かった。次に損傷種類別の結果を図-6 に示す。腐食、防食機能劣化、漏水・遊離石灰、床版ひびわれが主な損傷と考えられる。特に漏水・遊離石灰においては、状態が悪いものが多いことが分かる。

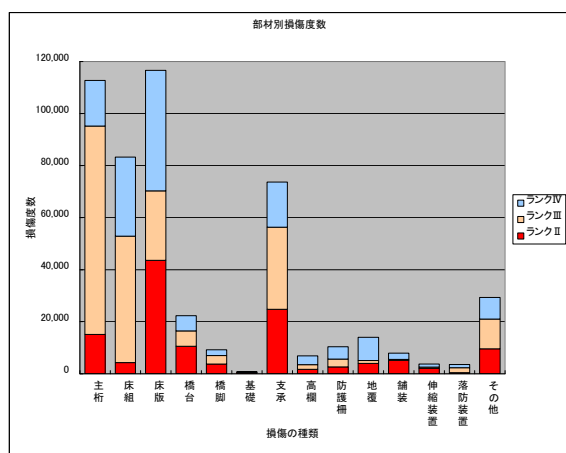


図-5 部材別損傷ランク分布

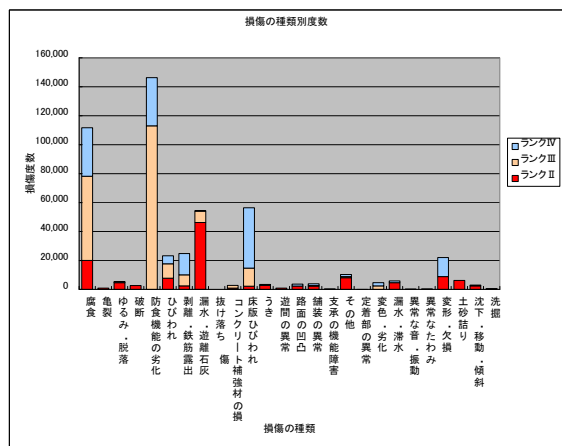


図-6 損傷種類別損傷ランク分布

図-7 と図-8 では、凍害危険度により区分した損傷種類別損傷ランク分布を示す。図-7 より、凍害危険度 1 の地域では、腐食、防食機能の劣化が多く確認されている。ランク II が多い損傷は、腐食、漏水・遊離石灰である。図-8 より、凍害危険度 5 の地域でも腐食や防食機能の劣化が多く確認されているものの、漏水・遊離石灰や床版ひびわれも多く確認されている。特に

ランク II に着目すると漏水・遊離石灰の損傷が最も多く確認され、凍害の影響が内在されている可能性が示唆された。

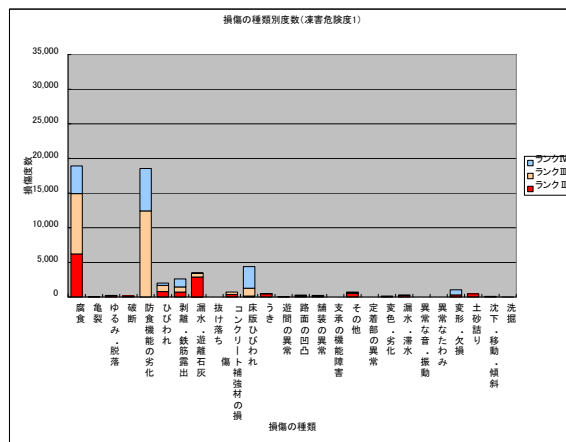


図-7 損傷種類別損傷ランク分布 (凍害危険度 1 のみ)

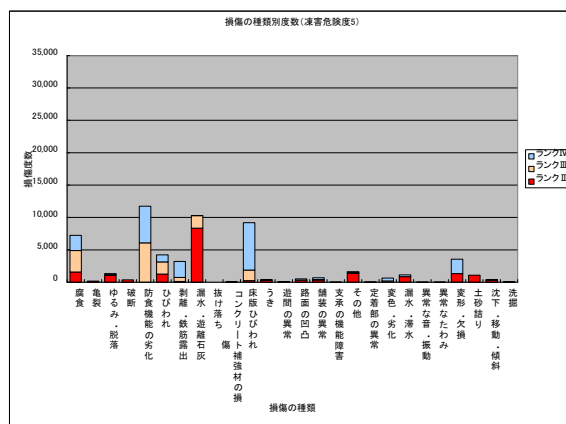


図-8 損傷種類別損傷ランク分布 (凍害危険度 5 のみ)

交通荷重による影響を分析するため床版の損傷に着目し、対象橋梁の大型車交通量の累積交通量をセンサスデータにより整理し、交通量毎の損傷ランクについてとりまとめた結果を図-9 に示す。

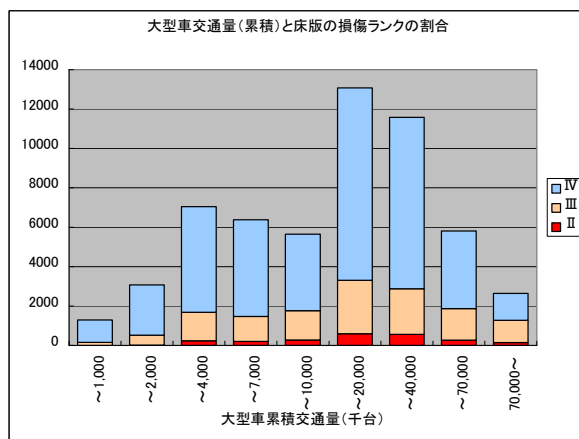


図-9 累積大型車交通量と床版の損傷ランク分布

交通量が多くなるに従い床版ひびわれの状態が悪いランクのものが増加する傾向にあるが、40,000千台を超える交通量から減少する傾向にある。なお、床版補修に合わせた累積交通量の補正作業は行っていない。

3. 1. 2 各部材毎の点検・診断技術の検討

文献調査より既存の調査技術としては、各種の弾性波法により得られる振幅や周波数特性から損傷を評価する手法が有効であることが分かった。本研究で対象としている部材は、アスファルト舗装を有するRC床版であり、これを踏まえると衝撃弾性波法、小型起振機による振動法、赤外線による調査法が挙げられることが整理出来た。

本研究では、これらを踏まえて衝撃弾性波法に着目し、実験的検討を行った。その結果は、以下の通りである。

実験ケースを表-1に示す。なお、センサー設置位置は、打撃箇所別で、損傷の有無の場所に設置してその入力についても調査している。

表-1 実験ケース

| 打撃箇所 | センサー | | | ハンマー |
|-------|--------|--------|---------|-------------|
| | 鉛直加速度計 | 水平加速度計 | デジタル聴診器 | |
| 健全部 | 4回 | 4回 | 4回 | スチール・ウレタン2種 |
| 劣化損傷部 | 4回 | 4回 | 4回 | |
| 健全～損傷 | 5回×2 | 5回×2 | 5回×2 | |

加速度センサーを用いたすべてのケースにおいて、鉛直成分波形および水平成分波形とも損傷の有無の想定につながる記録の分析にいたらなかったもののデジタル聴診器を用いたケースでは、その可能性が確認できた。

デジタル聴診器を用いた場合の結果の一例として図-10にはセンサー位置と打撃箇所を図-11にはその結果を示す。

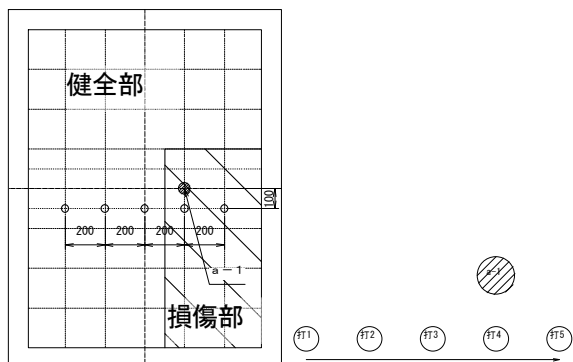


図-10 センサー位置と打撃箇所

図中 a-1 と示しているのがセンサー位置、打1～打5がスチールハンマーによる打撃位置である。打1、打

2の床版は、健全であり打4、打5が損傷のある箇所である。打3は境界位置となっている。

打撃位置が健全な場合、パワースペクトル図に示される卓越周期が複雑ではない。しかし、打撃位置が境界位置から損傷部に至ると複雑な卓越周期が発現する傾向がわかる。また、ここでは示していないが、可聴周期による整理として、健全部を打撃した場合には、損傷部を打撃するよりも振動減衰が大きく音が確認しにくい。それに対して損傷部では鈍い音が伝達される傾向にあるなど、周波数分析結果で卓越周波数が明瞭になる場合も確認できた。

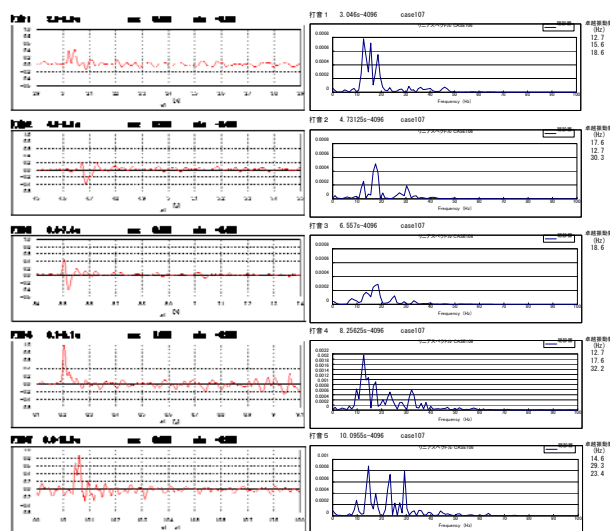


図-11 デジタル聴診器を用いた測定結果

(右:記録波形、左:表示波形区間のパワースペクトル)

3. 2 積雪寒冷環境下における橋梁の寿命予測技術の開発

3. 2. 1 コンクリート系床版の劣化損傷メカニズムの分析

写真-2内の波線で示す、直接輪荷重を受けていた箇所の損傷が顕著で、コンクリートの砂利化が上面鉄筋の深さまで達している箇所も存在している。しかしながら、下面状況は、二方向クラックがあるもののひび割れ幅が0.1mm以下で、密度も1~2m/m²程度であり、直ちに補修となる程度ではないため、定期点検結果における下面目視点検からのみでは、上面の大きな損傷を想定することは不可能な状況もあることが、調査結果より明確となった。

また、現地で採取したコアより、中性化・アルカリ骨材反応試験を実施したが、その影響は確認できなかった。さらに上面からの塩分量試験では、塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度に近い1.14kg/m³であった

が、鉄筋の発錆は確認されず、耐久性低下となる状況に無いことを確認した。

このことから、調査橋梁の劣化主要因は、凍害である可能性が高いと判断される。



写真-2 RC床版コンクリート上面の損傷箇所

4. まとめ

4.1 積雪寒冷環境下における橋梁の点検・診断技術の提案

(1) 積雪および寒冷地域における橋梁の劣化促進に関しては、凍害と大型車累積交通量に関係しているものと推察され、さらに分析を進める。

(2) 日常的な調査手法を前提とした場合、衝撃系入力による調査が有用と考えられる。

(3) 加速度センサーで振動をとらえるような調査法では、損傷の有無を推測するような傾向が確認できなかったが、デジタル聴診器をもちいた調査法では、若干ではあるが損傷を想定しうる情報が記録された。また、デジタル聴診器を用いて直接、耳で確認した際に、健全部の音は響かず、損傷部の音は低温が響くことが、複数の調査者の聞き取りで確認できた。

これらを踏まえ、取得したデータをさらに分析するとともに、現場での適応性について現地調査を試みる。

4.2 積雪寒冷環境下における橋梁の寿命予測技術の開発

(1) 凍害劣化損傷が主要因となっていた RC 床版を調査することにより、下面からの目視点検では限界があることが明白となった。

今後は、さらに現地調査を行い、事例を基に早急に凍害劣化損傷のメカニズムを解明するとともに、余寿命予測技術のためのシミュレーション解析を実施する。

RESEARCH FOR DAMAGE APPRAISAL TECHNOLOGY AND THE MAINTENANCE TECNOLOGY FOR THE BRIDGE IN SNOWY, COLD REGIONS

Budged : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2014

Research Team : Structure Research Team,
Cold Region Technology Promotion Division

Author : NISHI Hiroaki, KONNO Hisashi
MITAMURA Hiroshi, SATO Takashi
OMOTE Shin-ya, SAWAMATSU Toshikazu
YOKOYAMA Hiroyuki, NAKAMURA Naohisa
TAKADAMA Namio, MIYAMOTO Syuji

Abstract: Bridges in snowy, cold regions have peculiar deterioration-damage process due to severe environment such as large amplitude of temperature change and repetitions of dry-wet cycles. The objective of this research is to investigate the deterioration-damage mechanism of bridges under snowy, cold environment based on inspection and case studies, and to develop the inspection, diagnosis and life prediction methods for such environment. For the proposition of inspection and diagnosis method, the deterioration-damage modes observed from periodic inspection were analyzed, and fundamental experiment was conducted in order to establish the rational daily inspection method of upper concrete of RC deck slabs. For the development of life prediction method, field work was carried out in order to reveal the deterioration-damage mechanism with promotion factors which specify to cold and snowy regions.

Key words: RC member, bridge inspection, RC slab damage, deterioration-damage mechanism