

# 既設道路橋コンクリート床版の耐久性評価に関する実証的研究

宮原 史<sup>1</sup>・石尾 真理<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>国土技術政策総合研究所 道路研究部 道路構造物管理研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

直轄道路橋の定期点検要領では、コンクリート床版は、初期に橋軸直角方向に発生するひびわれが徐々に密になり、橋軸方向のひびわれの発生とともに格子状になり、最終的に抜け落ちに至るという損傷過程を辿ることを想定し、損傷程度の評価区分を設定している。一方現実には、ひびわれが格子状にならないまま漏水・遊離石灰を生じ、抜け落ちる事例が確認されており、貫通ひびわれの有無により損傷過程や疲労耐久性が大きく異なる可能性が疑われた。

そこで、本研究では、撤去された実物の道路橋の床版を用いて輪荷重走行試験を行い、貫通ひびわれにより床版の疲労耐久性が大きく低下することを実証した。

キーワード 道路橋、橋梁定期点検要領、コンクリート床版、貫通ひびわれ、輪荷重走行試験

## 1. はじめに

### (1) コンクリート床版の抜け落ち事例

道路橋の部材の1つである床版は、自動車荷重を舗装を介して支え、主桁等に荷重を伝える役割を担っている(図-1)。床版は一般にコンクリート床版と鋼床版に大別され、国土交通省及び内閣府沖縄総合事務局が管理する一般国道の橋梁(以下、直轄道路橋)の床版のうち、コンクリート床版は約9割を占めている<sup>1)</sup>。

自動車荷重の繰り返し载荷による疲労の影響を受け、損傷が進行すると、コンクリート床版が抜け落ちることがある(写真-1)。床版の抜け落ちは、自動車等の走行安全性への影響が大きく、第三者被害につながる可能性もあるため、交通規制が必要となる場合もある。

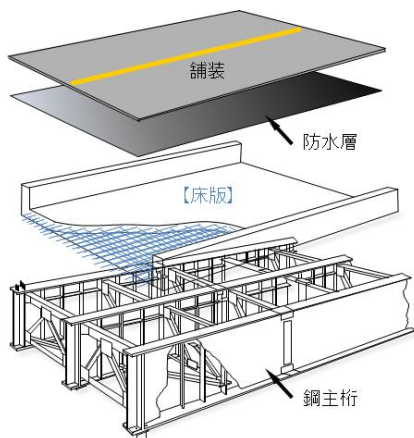


図-1 道路橋上部構造の部材 (鋼鉄桁橋の例)



写真-1 コンクリート床版の抜け落ち事例

### (2) 道路橋の点検体系-コンクリート床版に着目して-

コンクリート床版の抜け落ちは、国により点検が行われている直轄道路橋においても発生している。そこで以下では、直轄道路橋の点検体系を概観した上で、コンクリート床版の点検がどのように行われているか整理する。

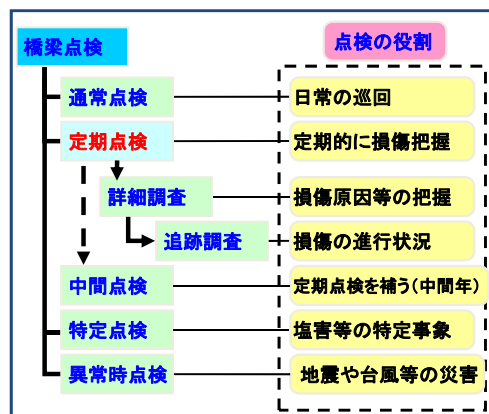


図-2 直轄道路橋の標準的な点検体系

**a) 直轄道路橋の点検体系**

直轄道路橋の点検は、巡回等に併せて日常的に行う通常点検の他、塩害等特定の事象に特化した特定点検、地震・台風等の後に行う異常時点検、予め一定の期間を定めて定期的に行われる定期点検、及び定期点検を補うため中間年に行う中間点検からなっている(図-2)。このうち定期点検は、維持や補修・補強(以下、補修等)の計画を検討する上で基礎的な資料を取得することを目的に、橋梁定期点検要領(案)<sup>2)</sup>(以下、定期点検要領)に基づき行われている。

**b) 橋梁定期点検要領**

定期点検要領は1988年に初めて策定され、2004年に改定されている。現在は、2004年改定の定期点検要領に基づき、原則として5年に1回(初回は供用後2年以内)、近接目視を基本とした定期点検が行われている。定期点検では、損傷の程度を表す客観的な事実を示す「損傷程度」を部位・部材の最小評価単位で、a~eの5段階で評価するとともに、各損傷に対する補修等や緊急対応、維持工事対応、詳細調査等の何らかの対策の必要性を示す「対策区分」を構造上の部材区分あるいは部位毎に、A~Sの7段階で判定するものとされている(図-3)。また、損傷程度と対策区分は、いずれも26の損傷の種類毎に評価、判定するものとされており、損傷の種類の一つとして、コンクリート床版を対象としたひびわれである「床版ひびわれ」がある(表-1)。



図-3 定期点検要領の変遷

表-1 損傷の種類

<b>鋼</b>	腐食、亀裂、ゆるみ・脱落、破断、防食機能の劣化
<b>コンクリート</b>	ひび割れ、はく離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰、抜け落ち、コンクリート補強材の損傷、 <u>床版ひびわれ</u> 、うき
<b>その他</b>	遊間の異常、路面の凹凸、舗装の異常、支承の機能障害、その他
<b>共通</b>	定着部の異常、変色・劣化、漏水・滞水、異常な音・振動、異常なたわみ、変形・欠損、土砂詰り、沈下・移動・傾斜、洗掘

区分	ひびわれ幅 に着目した程度	ひびわれ間隔 に着目した程度
a	〔ひびわれ間隔と性状〕 ひびわれは主として1方向のみで、最小ひびわれ間隔が概ね1.0m以上。 〔ひびわれ幅〕 最大ひびわれ幅が0.05mm以下。(A~Fの程度)	
b	〔ひびわれ間隔と性状〕 1.0m~0.5m, 1方向が主で直行方向は従、かつ格子状でない。 〔ひびわれ幅〕 0.1mm以下が主であるが、一部に0.1mm以上も存在する。	
c	〔ひびわれ間隔と性状〕 0.5m程度、格子状直前のもの。 〔ひびわれ幅〕 0.2mm以下が主であるが、一部に0.2mm以上も存在する。	
d	〔ひびわれ間隔と性状〕 0.5m~0.2m, 格子状に発生。 〔ひびわれ幅〕 0.2mm以上がかなり目立ち部分的な角落ちもみられる。	
e	〔ひびわれ間隔と性状〕 0.2m以下、格子状に発生。 〔ひびわれ幅〕 0.2mm以上が目立ち連続的な角落ちが生じている。	

図-4 床版ひびわれの損傷程度の評価区分(定期点検要領)

**c) 損傷程度の評価**

定期点検要領において評価、判定するものとされている損傷程度と対策区分のうち、損傷程度は道路橋の状態を示す最も基礎的なデータとなる。また、損傷程度は、対策区分の判定や、予防保全の実現を図るための劣化予測にも必要となるため、評価にあたっては客観性が要求される。そこで、定期点検要領では損傷評価基準が示されており、床版ひびわれについては、ひびわれの幅、本数、間隔といった下面から視認できるひびわれの性状に着目した区分により損傷程度の評価を行うものとされている(図-4)。これは、過去の研究(例えば松井(2007)<sup>3)</sup>)や経験から、コンクリート床版は主に自動車荷重の繰り返し载荷による疲労を受け、以下のような損傷過程を辿ることが想定されていることによる。図-4の評価区分は、以下の損傷過程のうち、格子状ひびわれの発生までの各段階に対応して設定されている。

＜コンクリート床版の疲労による損傷過程＞

- ・橋軸直角方向の1方向ひびわれが広い間隔で発生
- ・1方向ひびわれが徐々に密になるとともに、橋軸方向のひびわれも発生し、2方向ひびわれが発生
- ・2方向ひびわれが幅、深さを増すとともに細分化し、格子状ひびわれが発生
- ・ひびわれが貫通し、漏水、遊離石灰が発生
- ・コンクリートの剥離、陥没が発生し、やがて抜け落ちる最終破壊に至る

なお、コンクリートの剥離、鉄筋露出や、漏水、遊離石灰、錆汁等を生じている場合、また、コンクリート塊が抜け落ちた場合には、本項目で評価するとともに、それぞれ「剥離・鉄筋露出」「漏水・遊離石灰」「抜け落ち」でも評価するものとされている。

### (3) 本研究の着目点

図-4に示した通り、定期点検要領では、床版ひびわれの損傷程度の評価は、初期に橋軸直角方向に発生するひびわれが徐々に密になり、橋軸方向のひびわれの発生とともに格子状になることを想定し、損傷程度の評価区分を設定している。また、ひびわれが進展した場合、やがて貫通し、漏水・遊離石灰を生じる場合があることを想定している。

一方、定期点検や現地調査の結果から、ひびわれが格子状にならないまま貫通し、漏水・遊離石灰を生じ、抜け落ちに至るケースが確認されており、損傷過程や疲労耐久性が大きく異なる可能性が疑われる(写真-2)。

このようなケースは、図-4に示した損傷程度の評価区分にあてはまらないため、現在の定期点検要領を用いた場合、損傷程度の評価に要求される客観性が確保されない可能性がある。また、このようなケースについての知見が無ければ、対策区分の判定を誤る可能性もある。さらには、道路管理者が適切な対策を講じないことにより、第三者被害につながる可能性もある。

そこで、本研究では、床版ひびわれが格子状にならないまま貫通し、漏水・遊離石灰を生じたケースに着目し、このような損傷過程を定期点検要領の損傷程度の評価区分に適切に組み入れるのに必要な知見を得るため、貫通ひびわれ及びそれに伴う漏水・遊離石灰の有無とコンクリート床版の疲労耐久性の関係を検証することとした。ここで、松井(1987)<sup>9)</sup>は、ひびわれ内部へ水が浸透することによりコンクリート床版の疲労耐久性が著しく低下することを実証している。これに対し本研究では、現在の設計基準では床版防水層を設置することとされていることも踏まえ、貫通ひびわれそのものがコンクリート床版の疲労耐久性に与える影響に着目する。

具体的には、まず、これまでに行われた定期点検の結果を用いて、貫通ひびわれ及び漏水・遊離石灰の有無と床版ひびわれの損傷程度の評価の関係を分析する。次に、貫通ひびわれの有無がコンクリート床版の疲労耐久性に及ぼす影響の実証を試みる。実証にあたっては、撤去された実物の道路橋の床版を用いた輪荷重走行試験を行う。



写真-2 1方向のみのひびわれで漏水・遊離石灰を生じた床版

## 2. 定期点検結果の分析

まず、これまでに行われた定期点検の結果を用いて、貫通ひびわれ及び漏水・遊離石灰の有無と床版ひびわれの損傷程度の評価の関係を分析する。

### (1) 床版ひびわれの損傷程度の評価の実態

定期点検の結果のうち、床版ひびわれが格子状にならないまま貫通し、漏水・遊離石灰を生じたケースにおいて、どのように損傷程度の評価が行われているか、事例を紹介する(図-5)。例えば図-5(a)は、遊離石灰を伴うひびわれが確認されているものの、ひびわれ幅が0.2mm程度であることを考慮してか、損傷程度の評価はcに留まっている。一方、図-5(b)は、漏水・遊離石灰が確認されていることは図-5(a)のケースと同じであり、ひびわれの幅、本数、間隔も同程度であると考えられるものの、損傷程度の評価はeとなっており、大きく異なる。

以上からは、損傷程度の評価区分があてはまらないケースに対して、各橋梁点検員が独自に判断して評価を行っている現況が伺える。

### (2) 床版ひびわれの損傷過程の分析

ひびわれが格子状にならないまま貫通し、漏水・遊離石灰を生じた床版と、漏水・遊離石灰を生じていない床版の損傷の進行を比較するため、2回の定期点検の結果から以下の条件を満たす50橋、777要素(部位、部材の最小評価単位)を抽出し、1回目から2回目までの床版ひびわれの損傷程度の評価の遷移を整理した。

<対象橋梁の条件>

- ・径間毎の損傷図が照合可能
- ・2回の定期点検の間に補修・補強が行われていない
- ・床版ひびわれの損傷程度がdまたはeであり、かつ遊離石灰を生じている径間を有する橋梁

損傷程度	c	対策区分	B	径間	B	損傷原因	その他(製作・施工不良)
損傷概要							遊離石灰を伴うひびわれが発生 幅0.2mm程度
橋梁検査員の所見							程度の「床版ひびわれ」である。「機会を見て補修」するのがよい。
発生頻度						高	影響度
							低

(a) 損傷程度の評価c

損傷程度	e	対策区分	C	径間	D	損傷原因	その他(製作・施工不良)
損傷概要							床版の中間部、張出部に著しい漏水・遊離石灰が生じている。
橋梁検査員の所見							遊離石灰が著しく、主桁上フランジの腐食の原因となっている。竣工後の経年が長いことを考慮し、速やかに補修等を行なう必要があると評価する。
発生頻度						高	影響度
							低

(b) 損傷程度の評価e

図-5 貫通ひびわれを生じた床版の損傷程度の評価事例



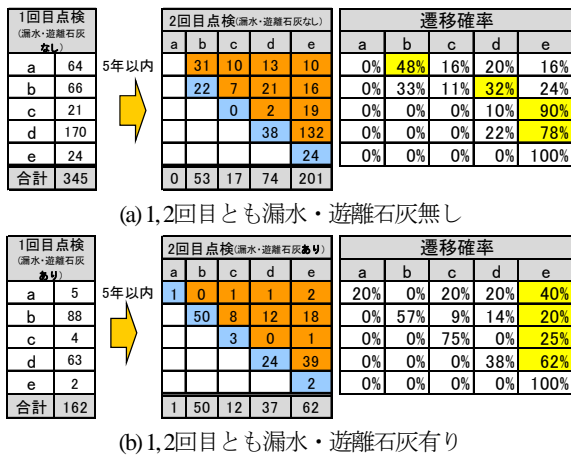


図-6 床版ひびわれの損傷程度の評価の遷移

遷移確率をみると、1, 2回目とも漏水・遊離石灰無しの要素は、1回目の定期点検でaと評価されていた床版ひびわれのうち、最も多い約5割が5年後の2回目の定期点検でbの評価に留まっている(図-6(a))。一方、1, 2回目とも漏水・遊離石灰有りの要素は、1回目の定期点検ではaと評価されていた床版ひびわれのうち、最も多い約4割が5年後の2回目の定期点検ではeと評価されており、損傷程度の評価が急速に進展していることが分かる(図-6(b))。また、1, 2回目とも漏水・遊離石灰有りの要素は、1回目の定期点検でbと評価されていたものをみても、5年後の2回目の定期点検でeと評価されているものの割合が、cやdと評価されているものの割合を上回っている。

図-6は、異なる損傷過程を辿っていると考えられる要素も含め、一律に図-4に示した現在の定期点検要領における損傷程度の評価区分に基づいて評価された結果を整理したものであること、また(1)に示したように各橋梁点検員の評価にはばらつきが想定されること等から、実際の疲労耐久性との関係は必ずしも明らかではない。しかし、貫通し、漏水・遊離石灰を生じた床版と、漏水・遊離石灰を生じていない床版では損傷過程が異なることが示唆される。また、貫通ひびわれまたは漏水・遊離石灰がコンクリート床版の損傷を急速に進行させ、疲労耐久性を低下させている可能性が示唆される。

### 3. 輪荷重走行試験

次に、貫通ひびわれの有無がコンクリート床版の疲労耐久性に及ぼす影響の実証を試みる。実証にあたっては、実際のコンクリート床版の劣化状態を縮小模型で再現することは困難であること、及び実際の供用下でコンクリート床版の疲労破壊を起こすには長期間を要することから、撤去された実物の道路橋のコンクリート床版を用いた輪荷重走行試験を行う。ここで、輪荷重走行試験とは、

輪荷重走行試験機を用い、車輪による荷重を負荷させた状態で載荷装置を移動させ、実際の輪荷重の走行を再現する試験であり、過去のコンクリート床版に関する検討<sup>5)</sup>や松井(1987)<sup>6)</sup>でも用いられている床版の疲労実験の一般的な手法である。

#### (1) 輪荷重走行試験の準備

##### a) 対象橋梁の選定

対象橋梁は長期にわたり供用されていたもので、貫通ひびわれを生じたコンクリート床版を有するものである必要がある。そこで、新橋の架設に伴い撤去することとなった1972年供用の橋梁を対象橋梁とした。当該橋梁は1964年の道路橋示方書に基づき設計された橋長L=76mの桁橋である。床版厚は170mmと現在の道路橋示方書で設計される床版と比較すると薄く、40年以上の供用の結果、複数の貫通ひびわれを有している。また、供用中に補修・補強はされていない。

##### b) 供試体の選定

供試体は、疲労耐久性を比較するため、貫通ひびわれ有り・無しの2体を選定する必要がある。また、貫通ひびわれの有無以外は同じ条件の供試体を比較することが望ましいため、下面から視認できるひびわれの性状が類似しているとともに、類似した荷重履歴を有すると考えられる同一車線上から2体を選定することとした。

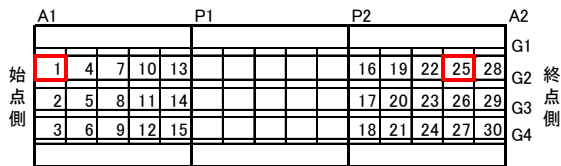


(a) No. 1 (貫通ひびわれ有り)



(b) No. 25 (貫通ひびわれ無し)

写真-3 供試体下面の状況



※下面の展開図 □は供試体位置  
図-7 供試体切り出し位置図

表-2 コンクリートコア抜き試験結果

供試体	試料名	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
No.1	A	32	27.6
	C	34.1	27
	平均	33.1	27.3
No.25	D	34.1	22.3
その他試料を含む平均		31.0	23.2

表-3 鉄筋引張試験結果

供試体	試料名	降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
No.1	1L-主筋	361	232
	1R-主筋	393	203
	1L-配力筋	361	203
	平均	372	213
No.25	1L-主筋	378	206
	1R-主筋	388	195
	1L-配力筋	394	204
	平均	387	202
その他試料を含む平均		380	205

そこで、対象橋梁から切り出した全30体の床版から、貫通ひびわれ有りのNo. 1と、貫通ひびわれ無しのNo. 25の2体を選定した(写真-3, 図-7)。なお、貫通ひびわれの有無は透水試験を行い確認した。供試体の材料物性は、コンクリートコア抜き試験及び鉄筋引張試験を行ったところ、No. 1とNo. 25でほぼ同様であった(表-2, 3)。

c) 試験条件

輪荷重走行試験機は、独立行政法人土木研究所所有のものを使用した(写真-4)。載荷荷重は、貫通ひびわれ有り・無しの2体の供試体の疲労耐久性を比較するため、一定載荷とした(図-8)。また、荷重値は、過去の荷重



写真-4 輪荷重走行試験機

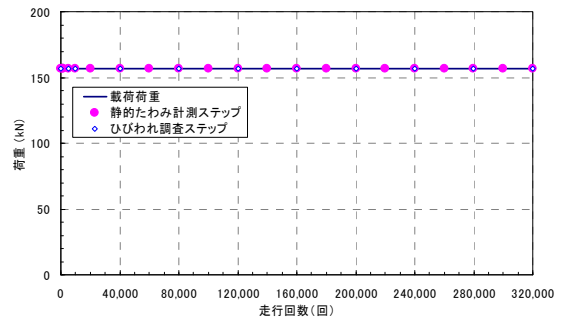


図-8 載荷荷重

実態調査<sup>6)</sup>も踏まえ、157kNとした。輪荷重の幅は300mm、載荷範囲は1.5mとした。

ここで、供試体を輪荷重走行試験機に設置するにあたり、不足する寸法分のコンクリートや鉄筋を継ぎ足す加工をしている。その際、切り出した部分と同様の挙動となることを解析により確認した。また、供試体は舗装を切削しており不均一であることから、載荷荷重を均一に伝えるため、エポキシ樹脂を用いて平滑になるよう加工をした。その際、エポキシ樹脂がコンクリート中に侵入して硬化しないよう留意した。

(2) 輪荷重走行試験の結果

輪荷重走行試験の結果、貫通ひびわれ有りの供試体No. 1は走行回数20,050回で、たわみ・ひびわれ密度とも急増し、押し抜きせん断破壊に至った(図-9)。一方、貫通ひびわれ無しの供試体No. 25は走行回数200,000回でもたわみ・ひびわれ密度に大きな変状も無く試験を終え

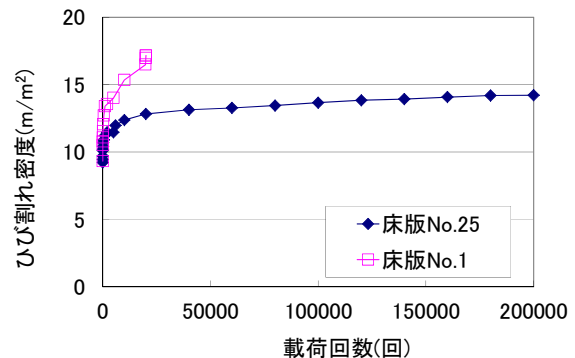
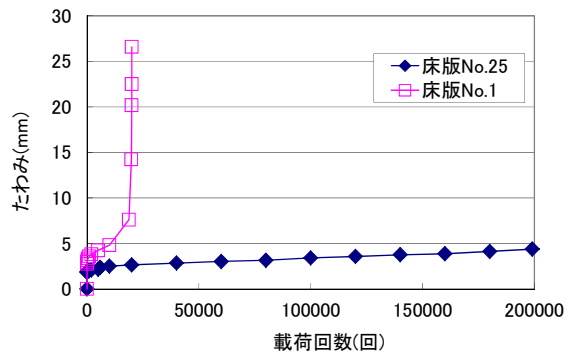
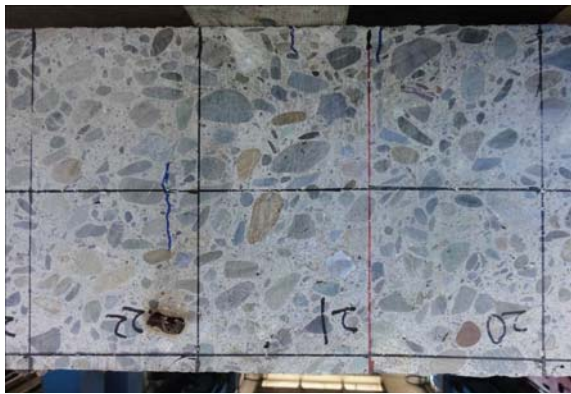


図-9 輪荷重走行試験結果  
(上: たわみ, 下: ひびわれ密度)



(a)No.1 (貫通ひびわれ有り)



(b)No.25 (貫通ひびわれ無し)

**写真-5** 試験後の供試体の状況

た。試験後の供試体をみると、供試体No. 1は、床版上面が繰り返し荷重により土砂化する、実際の道路橋で見られる破壊形態と同様であった。対照的に、供試体No. 25は試験前と大きな変状はみられなかった(写真-5)。

以上より、ひびわれの幅、本数、間隔といった下面から視認できるひびわれ性状がほぼ同じであり、荷重履歴等の条件がほぼ同じであっても、貫通ひびわれを生じた場合は、コンクリート床版の疲労耐久性が大きく低下することが確認された。

#### 4. 結論

定期点検結果の分析からは、漏水・遊離石灰を生じた床版と、漏水・遊離石灰を生じていない床版では損傷過程が異なる可能性や、貫通ひびわれまたは漏水・遊離石灰がコンクリート床版の損傷を急速に進行させ、疲労耐

久性を低下させている可能性が示唆された。また、撤去された実物の道路橋のコンクリート床版を用いた輪荷重走行試験からは、漏水・遊離石灰が生じなくとも、貫通ひびわれを生じた場合は、コンクリート床版の疲労耐久性が大きく低下し、貫通ひびわれ無しの床版よりも10倍以上早く疲労破壊に至ることが確認された。

現在の定期点検要領における「床版ひびわれ」の損傷程度の評価では、ひびわれが格子状にならないまま貫通するとともに漏水・遊離石灰を生じ、疲労耐久性が急激に低下する損傷過程が組み入れられていないことから、床版の疲労耐久性を過大に評価する可能性がある。床版ひびわれの損傷程度の評価区分に、このような損傷過程を組み入れ、床版ひびわれが格子状になっていないとしても、貫通ひびわれ及び漏水・遊離石灰を生じた場合は重大な損傷として評価する評価区分に改定することが望まれる。このことは、損傷程度の評価の客観性を確保することのみならず、対策区分の判定を誤らないための知見とすること、また、道路管理者が適切な対策を講じ、コンクリート床版の抜け落ち等による第三者被害を防止することにもつながる。したがって、定期点検要領の改定は、国土交通省及び内閣府沖縄総合事務局のみならず、全国の道路管理者に情報提供されることが重要である。以上の本研究の成果も踏まえ、次回の定期点検要領改定が今年度中に予定されている。

なお、本研究は、輪荷重走行試験を行い、貫通ひびわれによりコンクリート床版の疲労耐久性が低下する1ケースを実証したに過ぎない。今後はこの現象を解析的に検証し、ひびわれ性状から既設橋の疲労耐久性を評価する手法を開発することが課題である。

**謝辞:** 本研究にあたり、道路管理者の地方公共団体から貴重な撤去橋梁の提供を受けた。ここに記して感謝する。

#### 参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所資料第 693 号：平成 23 年度道路構造物に関する基本データ集，2012.
- 2) 国土交通省道路局国道・防災課：橋梁定期点検要領（案），2004.
- 3) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理，森北出版，2007.
- 4) 松井繁之：移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について，コンクリート工学協会第 9 回コンクリート工学年次講演会論文集，pp.627-632，1987.
- 5) 国土技術政策総合研究所資料第 28 号：道路橋床版の疲労耐久性に関する試験，2002.
- 6) 国土技術政策総合研究所資料第 295 号：道路橋の設計自動車荷重に関する試験調査報告書—全国活荷重実態調査—，2006.