

積雪寒冷地における鋼板接着補強床版の損傷調査

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地構造チーム ○角間 恒
仁平 陽一郎
石原 寛也

北海道開発局が管理する道路橋では、下面への鋼板接着補強を行ったRC床版において、補強後の経過年数が20年を超えるものが増加している。一方、これら床版の損傷実態が明確でなく、今後の経年による損傷の顕在化が懸念される。本稿では、北海道開発局が管理する鋼板接着によって補強した床版を対象に、点検調書に基づく損傷傾向の調査を行うとともに、撤去床版を用いた損傷形態の詳細調査、損傷を模擬した床版試験体に対する打音試験による損傷検知精度の調査を行った結果を報告する。

キーワード：床版、鋼板接着補強、損傷調査

1. はじめに

昭和 39 年以前の鋼道路橋設計示方書（以下、示方書）に準じて設計された鉄筋コンクリート床版（以下、床版）では、床版厚や鉄筋量の不足によって昭和 48 年以降の示方書により設計された床版と比較して疲労耐久性が劣る。そのため、これらの床版では、疲労損傷の進行や平成 6 年示方書での B 活荷重の導入を受けて、下面への鋼板接着による補強が行われてきた（写真-1）。北海道開発局が管理する道路橋では、昭和 50 年頃～平成 10 年頃にかけて本工法を採用した事例が多く、現在、補強後の経過年数が概ね 20 年を超え、中には 40 年に達する橋梁もある。

鋼板接着による下面補強が行われた床版（以下、鋼板接着補強床版）では、今後の経年による損傷の顕在化が懸念されるが、外観では損傷状況の把握が困難なことが多く、損傷実態を調査した事例は限られる。それも、都市高速道路などの重交通路線を対象にした調査¹⁾²⁾がほとんどであり、積雪寒冷地の一般国道を対象にした損傷実態の調査ではない。

そこで本稿では、北海道開発局が管理する道路橋の鋼板接着補強床版を対象に、損傷実態を把握するための調査・試験を実施した。具体的には、まず、点検調書に基づく鋼板の損傷傾向の調査、および、実橋から撤去した床版の切断面観察による下面側の損傷状況の詳細調査を行った。また、下面側で発生する各種損傷に対し、打音検査による検知精度を把握するための試験を実施した。

2. 点検調書に基づく損傷状況の調査

(1) 調査方法

北海道開発局が管理する鋼板桁橋を上部構造とする



(a) 全面貼り (b) 短冊状
写真-1 鋼板接着補強の例

RC 床版形式の道路橋から、床版下面への鋼板接着補強が行われた橋梁を抽出し、平成 16～30 年度の定期点検結果を反映した点検調書を基に損傷状況を調査した。これ以降、平成 16～20 年度の点検結果を 1 回目点検、平成 21～25 年度の点検結果を 2 回目、平成 26～30 年度の点検結果を 3 回目点検と呼ぶ。

調査対象橋梁の抽出に当たっては、まず点検調書から床版下面に鋼板の存在が確認できる橋梁を抽出（1 次抽出）し、そこから鋼板の設置時期が明確である橋梁を抽出（2 次抽出）した。その結果、調査対象とした橋梁は 37 橋、要素数は 2070 要素となり、補強タイプ別では、下面全面（ハンチ補強有）が 18 橋 760 要素、下面全面（ハンチ補強無）が 8 橋 492 要素、短冊状が 11 橋 818 要素であった。なお、これは鋼板接着補強床版を持つ橋梁および要素の全数ではないこと、また、37 橋の中には、床版の上下面に鋼板を設置したサンドイッチ床版等が含まれていることを断っておく。

図-1 は、調査対象橋梁の 3 回目点検時における供用年数と補強後経過年数の分布であり、床版打替えの履歴が確認された橋梁では、床版打替えの実施年を供用開始年と見なして整理した。図より、対象橋梁の 3 回目点検時における供用年数は 16～64 年（平均 47 年）、補強後経

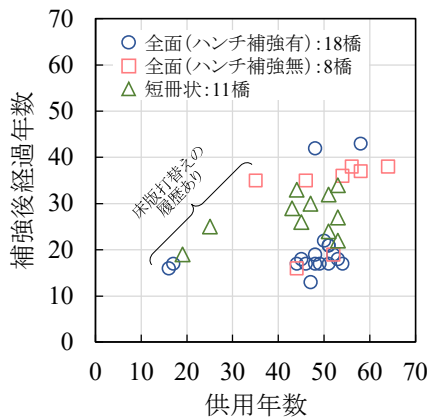


図-1 調査対象桥梁の概要

過年数は13～43年(平均25年)の範囲にあった。

調査では、3回分の点検調書から「補修・補強材の損傷(分類1:鋼板)」の記録を抽出し、損傷程度の評価区分(表-1、表-2)を整理した。表のとおり、点検時期によって損傷程度の区分方法が異なるが、整理に当たっては点検調書内の区分を踏襲している。また、区分eについては、腐食・うきのいずれかが発生している場合と両者が発生している場合があることから、点検調書内の損傷写真等を基に、損傷種類も併せて整理した。

損傷状況の集計は桥梁単位および要素単位で行い、集計時の損傷状況の分類は表-3のとおりとした。一つの橋梁・要素に対して程度の異なる複数の損傷が記録されている場合には、損傷程度が最も大きい区分により当該橋梁・要素の損傷状況を代表させた。

(2) 調査結果

a) 損傷橋梁数・要素数の推移

図-2(a)に、鋼板の損傷状況を桥梁単位で集計した結果を示す。図より、点検回数が増加するに連れ補強後の経年とともに損傷が記録される橋梁が増加し、鋼板に何らかの損傷が発生している橋梁(区分c、e)の割合は、1回目点検の約20%から3回目点検では約70%となっている。また、図-2(b)は、鋼板の損傷状況を要素単位で集計した結果である。桥梁単位の集計と同様、点検回を追うごとに損傷が記録される要素が徐々に増加しているが、3回目点検において損傷が発生している要素の割合は約20%であり、桥梁単位での割合と比較して少ない。図-2(c)は、3回目点検を対象に橋梁毎に損傷分類の割合を集計した結果である。多くの橋梁では、損傷した要素の割合が20%程度以下となり部分的な損傷に留まっているが、中には、No.13およびNo.15のように全ての要素に区分eの損傷が記録された橋梁も見られた。

b) 種類別の損傷傾向

次に、損傷が発生した要素について、損傷種類に着目して損傷状況を整理する。図-3は、区分c相当の腐食(以下、腐食c)、区分e相当の腐食(以下、腐食e)、うきが記録された要素数の推移を示したものであり、い

表-1 損傷程度の区分³⁾(1回目点検)

区分	一般的状況
a	損傷なし
c	補修部の鋼板のうきは発生していないが、シール部が一部剥離し、錆及び漏水が見られる。
e	補修部の鋼板のうきが大きく発生している。シール部分がほとんど剥離し、一部にコンクリートアンカーのうきが見られ、錆及び漏水が著しい。

表-2 損傷程度の区分⁴⁾⁵⁾(2～3回目点検)

区分	一般的状況
a	損傷なし
c	補修部の鋼板のうきは発生していないものの、シール部の一部剥離又は錆又は漏水のいずれかの損傷が見られる。
e	次のいずれかの損傷が見られる。 <ul style="list-style-type: none"> 補修部の鋼板のうきが発生している。 シール部分がほとんど剥離し、一部にコンクリートアンカーのうきが見られ、錆及び漏水が著しい。 コンクリートアンカーに腐食が見られる。 一部のコンクリートアンカーに、うきが見られる。

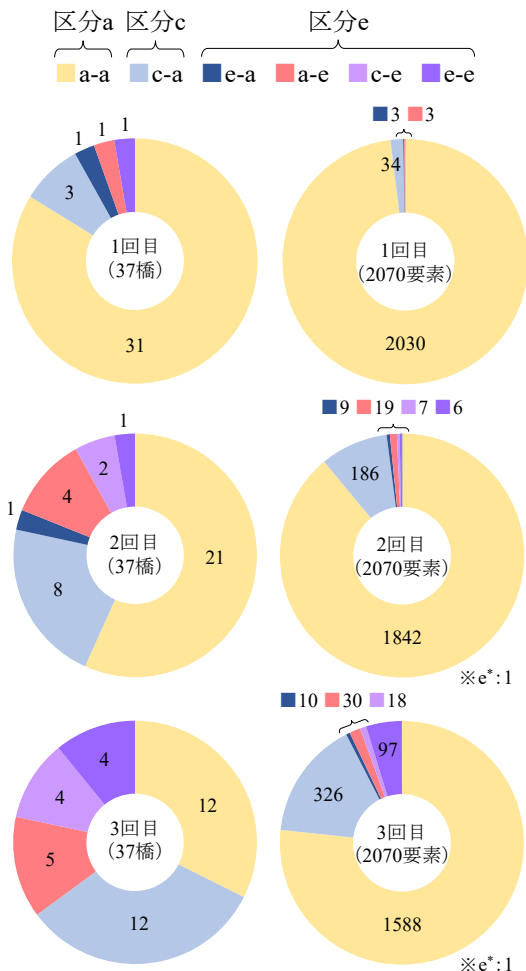
表-3 損傷状況の分類

分類	損傷状況	
	腐食	うき
a-a	なし	なし
c-a	あり(区分c相当)	なし
e-a	あり(区分e相当)	なし
a-e	なし	あり
c-e	あり(区分c相当)	あり
e-e	あり(区分e相当)	あり
e*	不明	不明

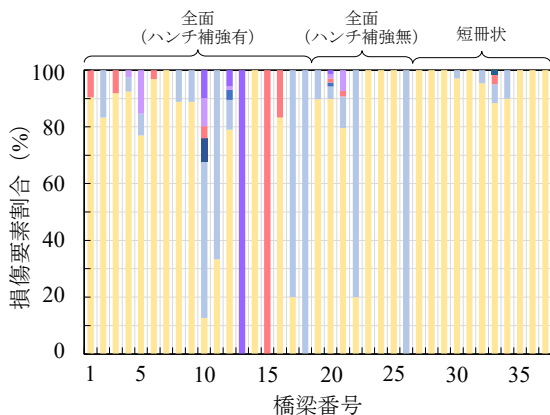
ずれの損傷種類・区分も徐々に要素数が増加していることがわかる。特に腐食cの増加が目立つが、健全性への影響(損傷程度の区分)を加味すると、うきの発生・進行が顕著となっており、維持管理において留意すべき損傷として、今後の推移を注視したい。

c) 損傷が記録されるまでの期間

図-4に、補強後経過年数ごとに新たに腐食・うきが記録された要素数を示す。整理に当たっては、補強後経過年数と損傷発生要素数に正の相関関係があると考えられたが、両者の間に明確な関係は見られず、本調査の範囲では、損傷が増加する時期として大きく補強後10～20年程度(腐食c、腐食e、うき)、30年程度以降(腐食c)、35年程度以降(うき)の三つがあった。また、補強後経過年数21年での腐食eおよびうきの急増、37年でのうきの増加は、それぞれ1橋(No.13、15)で増加したものであり、いずれも橋梁を構成する全ての要素で区分eの損傷が記録されていた。鋼板の損傷は、供用環境や施工条件などの違いによりその発生時期や範囲を予測するのは困難であるが、本調査の結果として、経過年数を問わず発生する可能性があること、その範囲が急激に橋梁全体に及ぶ可能性があることを、鋼板接着補



(a) 損傷内訳(橋梁単位) (b) 損傷内訳(要素単位)



(c) 損傷要素の割合(3回目点検)

図-2 損傷状況の集計結果

強床版の点検・調査時における留意事項に挙げたい。

3. 撤去床版の目視調査に基づく鋼板接着補強床版の損傷形態の分類

(1) 概要

鋼板の損傷のうち、うきに関しては、発生範囲や発生位置によっては即座に補強効果の喪失に繋がり、ひいては床版の抜け落ちを招く可能性があり、点検・調査にお

KAKUMA Ko, NIHIRA Yoichiro, ISHIHARA Hiroya

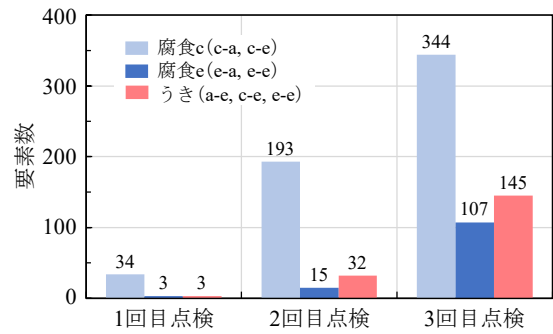


図-3 点検回との腐食・うき要素の推移

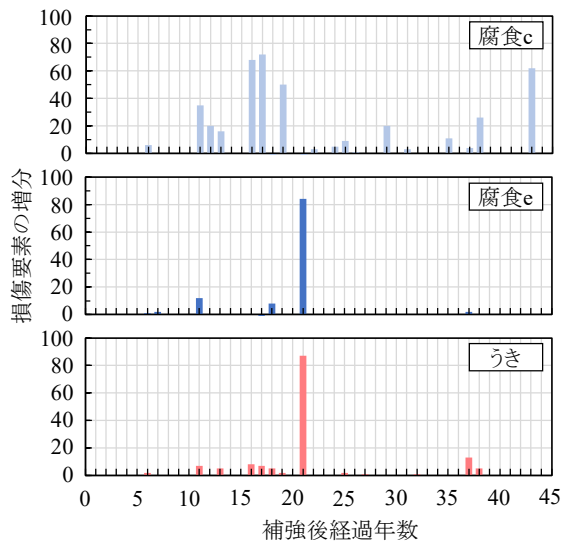


図-4 補強後経過年数ごとの損傷要素増分

いてその状態を的確に把握する必要がある。しかしながら、点検調査にはうき状況の詳細が明記されないことが多く、また、鋼板のうきに着目した詳細調査事例が極めて少ないこともあり、うきの発生状況は十分に整理されていない。

そこで本章では、積雪寒冷地における鋼板のうき状況の詳細調査として、実橋から撤去した床版の切断面観察を行い、うきの発生形態を整理・分類した。なお、本稿では、鋼板内側の床版コンクリートで発生するうきも、広義の意味での鋼板のうきに位置付けている。

(2) 調査方法

a) 対象橋梁

調査対象とした橋梁の平面図および断面図を図-5に示す。本橋梁は、昭和39年の示方書に準じて設計された3径間単純非合成鈹桁橋であり、昭和40年の供用開始から22年が経過した昭和62年に床版の曲げモーメントの低減や配力鉄筋不足の解消を目的とした縦桁増設および床版下面への短冊状の鋼板接着が施工されている。また、平成19年には床版上面の部分補修および橋面全体への床版防水層の施工が行われている。その後、供用開始から46年、鋼板接着補強から24年が経過した平成24年に床版全面打替えに伴って床版撤去に至った。

本橋梁が位置する路線における大型車交通量は上下線

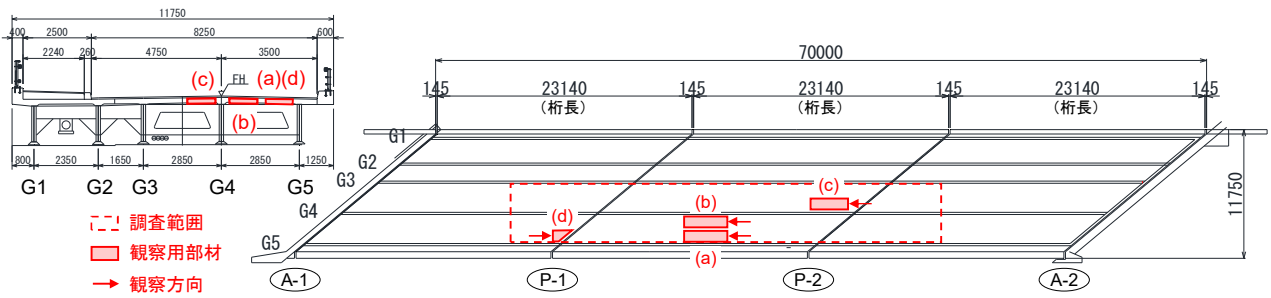


図-5 調査対象橋梁の平面図および断面図

合計で 2,170 台/日（平成 17 年道路交通センサス）、凍害発生危険性を表す凍害危険度は 3（凍害の予想程度がやや大きい）である。また、撤去床版を対象としたコンクリートの調査では、アルカリシリカ反応による膨張ひび割れが確認されたが、塩化物イオン量は最大でも 0.3kg/m^3 であり、鉄筋腐食は認められなかった。

b) 切断面の観察

本調査では、図-5 に示す調査範囲から切断・採取した幅 1.0m 程度×長さ 3.0~4.0m 程度の床版ブロックについて、橋軸方向に直交する断面の観察を行った。本床版では、既報⁹⁾にて、上面の土砂化や内部の層状ひび割れに着目した損傷状況の調査が行われているが、本稿では、床版下面側に着目して損傷状況の再調査を実施した。なお、本床版は撤去から既に 10 年が経過し、その間、屋外にて保管されていたことから、撤去後の損傷進行が想定された。そのため、切断面の観察は、撤去直後に撮影した切断面写真に基づいて実施している。

(3) 調査結果

撤去床版の切断面観察により確認された損傷形態を表-4 に分類し、以下にそれぞれの特徴を説明する。

a) 鋼板の剥離

表中の形態 A は、鋼板と床版コンクリートとの間で付着切れが生じた状態である。本床版で確認できた範囲において、これらは全て床版コンクリートと接着用樹脂との間で生じたものであったが、他の調査事例²⁾では、鋼板と接着用樹脂との間で生じることも報告されている。

鋼板の剥離が生じる原因としては、接着用樹脂の劣化や大型車交通の繰返し走行といった補強後の供用環境に起因するもののほか、接着用樹脂の注入や接着面の不陸処理、施工環境管理（コンクリートの温度や水分量等）の不足といった施工要因に起因するものが考えられる。

b) かぶりコンクリートの剥離

形態 B は、床版コンクリートの下側鉄筋位置付近に水平方向のひび割れが発生し、鋼板内側でかぶりコンクリートが剥離した状態である。かぶりコンクリートの剥離は輪荷重走行に対する耐久性を著しく低下させる⁷⁾ほか、コンクリートアンカー部で剥離が発生している場合には、アンカーの引抜強度の低下に繋がる。

都市高速道路における既往の調査事例⁸⁾によると、鋼

板内側における水平ひび割れは、コンクリートアンカーの打込みにより発生した先端部のひび割れが、車両走行に伴う床版の変形によって面的に進行した可能性が示唆されている。一方、本橋梁は、既往事例と比較して供用環境が大きく異なるものであり、かぶりコンクリートの剥離が発生する要因については、今後詳細に検討していきたい。

c) アンカー部コンクリートの損傷

形態 C は、コンクリートアンカーの打込み部において、床版コンクリートの損傷が進行し、鋼板との一体性の喪失が懸念される状態である。また、調査範囲においては、アンカー周辺のコンクリートで骨材が分離するなどして脆弱化している様子も確認された。これらは、床版上面から浸入した水が下面側に到達してコンクリートの凍害やアルカリシリカ反応が進行したものと推察され、健全性に与える影響は形態 B（アンカー部）と似ているが、発生メカニズムから積雪寒冷地特有の損傷形態であると考えられる。

表中に示す損傷例では、床版上面の断面修復を行った直下で損傷が発生していることがわかる。調査対象の床版では、補修履歴として鋼板接着（供用開始 22 年後）と上面の断面修復（同 42 年後）があり、これらの履歴と損傷発生時期の関連性は不明であるが、断面修復時には既に下面側に損傷が発生しており、損傷部の除去が不完全なまま断面修復が行われた可能性を否定できない。アンカー部の健全性の低下は補強効果の低下だけでなく鋼板の落下や床版の抜け落ちに繋がるものであり、特に積雪寒冷地における鋼板接着補強床版の調査・補修に当たっては、上面の土砂化に加えてアンカー部の損傷状況を確実に把握することが重要である。

4. 鋼板接着補強床版のうき検知に関する打音試験

(1) 概要

3 章では、鋼板のうきを三つの形態に分類した。鋼板のうきは、形態によって健全性に与える影響が異なるため、点検・調査において損傷形態の把握が不可欠であるが、現状の点検・調査の範囲における損傷検知および形態分類の精度はわかっていない。

そこで本章では、下面側で発生する各種損傷状況を模

表-4 うきの発生形態の分類

うき形態	損傷例	特徴
A) 鋼板の剥離		<ul style="list-style-type: none"> 注入樹脂による接着部において、接着用樹脂と床版コンクリートが剥離した状態である。 補強後の経年の影響のほか、樹脂の注入不足等の施工不良が原因となっていると考えられる。
B) かぶり剥離		<ul style="list-style-type: none"> 鋼板内側で床版コンクリートのかぶりが剥離した状態である。 剥離範囲がコンクリートアンカー部に及ぶ場合には、アンカーの引抜強度の低下に繋がる。 アンカー打込み時に先端で発生したひび割れが、輪荷重の繰返し走行によってかぶりの剥離に進展した可能性が考えられる。
C) アンカー部コンクリートの損傷		<ul style="list-style-type: none"> コンクリートアンカー打込み部においてコンクリートの損傷が進行した状態である。 上面から浸透した水が下面側に達し、コンクリートの凍害や ASR が進行したものと推察される。 左の事例では、上面の断面修復時に損傷部の除去不足があった可能性が推察される。

擬した鋼板接着補強床版を製作し、打音検査による損傷検知精度の把握を試みた。

(2) 試験方法

a) 試験体

試験には輪荷重走行試験により押抜きせん断破壊を生じさせた床版試験体を使用し、これを切断して鋼板接着補強を行った。図-6 に試験体概要を示す。No.1 は、輪荷重走行範囲の端部から切出した床版ブロックであり、一部に上側かぶりコンクリートの剥離が生じていた。No.2 は輪荷重走行範囲の中央から切出した床版ブロックであり、押抜きせん断破壊によって上下かぶりコンクリートの剥離や斜めひび割れが生じていた。No.2 では、切断面の状況より、輪荷重走行方向に概ね一様の損傷状態が形成されていたと考えられる。

鋼板 (SS400) は平面寸法 800mm×800mm、厚さ 4.5mm、コンクリートアンカー (M10) は設置間隔 300mm とし、接着樹脂には二液性エポキシ樹脂 (混合粘度 2000±1000mPa・s、20°C) を使用した。ここでは、複数の損傷形態を対象とするため、No.1 は上面、No.2 は下面を鋼板接着面とし、部分的にビニルシートを貼り付けることで鋼板の剥離を模擬する箇所を設けた。

図-7 に、試験体に設定したうき状況をまとめる。これは、切断面におけるひび割れ性状および鋼板接着前に

計測した床版コンクリートの超音波伝播速度から想定したものである。なお、表-4 のうち形態 C については、本試験の対象としていない。

c) 打音試験

上記の試験体 2 体に対して、点検ハンマーによる打音試験を実施した。1 体当たりの試験範囲は鋼板接着した 800mm×800mm およびアンカーボルト 9 本とし、試験は、北海道開発局の発注する橋梁補修設計業務に 10 年程度の従事経験を有する技術者が実施した。なお、試験者に対して事前に試験目的を明示せず、試験体切断面の状況から内部の損傷状態を推定できないよう、試験体周囲にはマスキング処理を施した。

(3) 試験結果

図-7 は打音試験結果であり、調査対象範囲を 100mm×100mm のメッシュに区切り、うきの発生が疑われたメッシュを灰色に塗りつぶしている。図より、No.1 および No.2 とともに、樹脂による接着部での部分的なうきの発生を検知した。試験体に設定したうき状況と比較すると、打音試験により検知したうきは鋼板の剥離 (形態 A) を模擬した範囲に概ね一致しており、定期点検において、形態 A は十分に検知できていると考えられる。

一方で、かぶりコンクリートの剥離 (形態 B) が生じている箇所では、樹脂による接着部およびアンカー部と

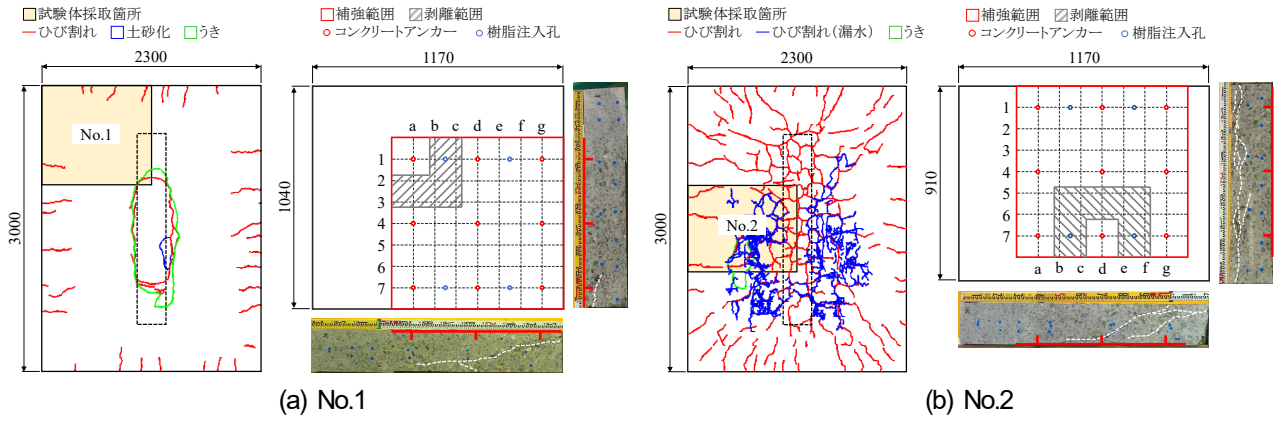


図-6 試験体概要

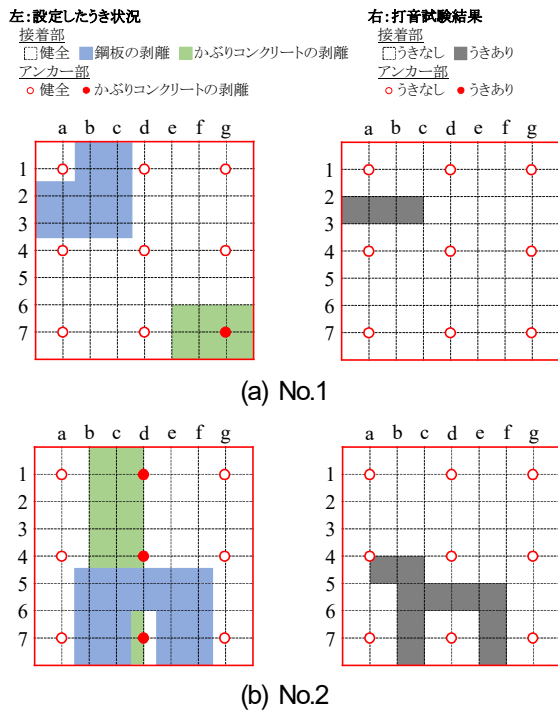


図-7 設定したうき状況と打音試験結果

もに、うきの発生を検知できなかった。本試験は、点検・調査等業務への従事経験が比較的浅い技術者による評価であり、今後、試験サンプルの増加による詳細な検証が必要であるが、点検ハンマーによる打音では鋼板接着補強床版のコンクリート内部で発生するうきを検知できていない可能性がある。形態 B は、形態 A よりも健全性への影響が大きい損傷であり、鋼板接着補強床版の点検・調査に当たっては、内部に損傷が発生している可能性があることに留意した上で、損傷状況を的確に把握できる点検・調査手法を選択することが重要になる。

5. おわりに

本稿では、北海道内の国道橋における鋼板接着補強床版の損傷実態を把握するための各種調査・試験を実施し

た。それにより得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 平成 16～30 年の点検調査書の調査より、鋼板の損傷（腐食、うき）が記録される橋梁および損傷は点検回を追うごとに増加しており、健全性への影響を加味すると、うきの発生・進行に留意すべきであることを示した。
- 2) 撤去床版の切断面観察より、積雪寒冷地における鋼板接着補強床版の下面側で発生するうきには、「鋼板の剥離」、「かぶりコンクリートの剥離」、「アンカー部コンクリートの凍害等による損傷」の三つの形態があることを確認した。
- 3) 下面側での各種うき状況を模擬した鋼板接着補強床版の打音試験より、うきの形態によっては、点検ハンマーによる打音ではうきの発生を検知できない可能性があることを確認した。

本稿におけるうき形態の調査（3 章）や打音試験（4 章）は、限られたサンプルに対して実施したものである。今後も、鋼板接着補強床版の損傷実態の把握を進めるとともに、鋼板の内側で発生する損傷の検知手法を検討していきたい。

参考文献

- 1) 福島ら:鋼板接着 RC 床版における損傷事例、第 8 回道路橋床版シンポジウム論文報告集、pp.111-114、2014。
- 2) 繪嶋ら:RC 床版に設置された補強鋼板の損傷実態、土木学会第 74 回年次学術講演会、VI-569、2019。
- 3) 国土交通省道路局国道・防災課:橋梁定期点検要領(案)、2004。
- 4) 国土交通省道路局国道・防災課:橋梁定期点検要領、2014。
- 5) 国土交通省道路局国道・技術課:橋梁定期点検要領、2019。
- 6) 三田村ら:46 年間供用した積雪寒冷地における道路橋 RC 床版の損傷状況の調査、土木学会北海道支部論文報告集、第 69 号、A-11、2013。
- 7) 佐藤ら:鋼板接着補強された既設 RC 床版の輪荷重走行試験、土木学会第 71 回年次学術講演会、I-350、2016。
- 8) 西田ら:鋼板接着補強された実コンクリート床版の損傷評価、コンクリート工学年次論文集、Vol.42、No.2、pp.1201-1206、2020。