

# 撤去橋梁を活用した調査研究の取組について —国道229号八雲町冷水橋を活用した調査研究—

函館開発建設部 八雲道路事務所 ○渡邊 創  
石山 賢二  
室蘭工業大学 瓦井 智貴

国立大学法人室蘭工業大学が取り組んでいる老朽化した橋梁を用いた調査研究に対し、函館開発建設部が試験フィールドとして本年度から撤去を開始した国道229号冷水橋を提供し、ひずみ計測による20トン車走行時における冷水橋の挙動性状について、今後の老朽化対策の参考として報告するものである。

キーワード：防災、老朽化対策、補修工法

## 1. はじめに

現在、我が国で供用されているインフラ施設の多くは1970年代の高度経済成長期に建設されており、建設後50年以上経過している構造物も多い。また、北海道内の橋梁に関しても同様の傾向があり、2040年には建設後50年以上経過する橋梁の割合が65%程度まで達する。

近年、このような老朽化が進行する既設社会基盤施設を対象とした合理的な維持管理に向けて、IoT技術やAI、UAVなどを活用した様々な技術開発、検証、実用化が行われている。また、構造物や構造部材に各種センサ等を設置し、定期的にモニタリングすることで健全性を診断する（構造ヘルスマニタリング、SHM）研究も盛んに行われている<sup>2,3)</sup>。一方で、経年劣化によって耐力が大きく低下していると考えられる橋梁を対象として、その応答性状や耐荷性能評価に関する検討事例は少ない。今後、劣化が進行している橋梁を対象として合理的な維

持管理を行うことを想定すると、現在供用されている劣化が顕在化している橋梁を対象に耐荷性能評価を行うことは肝要であるものと判断される。

このような観点より、本研究では、一般国道229号に架かる建設後65年が経過した5径間単純鉄筋コンクリートT（以後、RCT）桁橋を対象に、これまでの補修効果や現在の耐荷性能の検討を目的に、主桁側面部にひずみゲージを貼付し、車両走行時における応答ひずみ性状の検討を行った。

## 2. 実験の概要

### (1) 橋梁概要

図-1には、対象橋梁の一般図および橋梁の全景写真を示している。本研究で対象とした橋梁は、1959年に竣工し建設後65年が経過した小樽から江差に至る一般国道

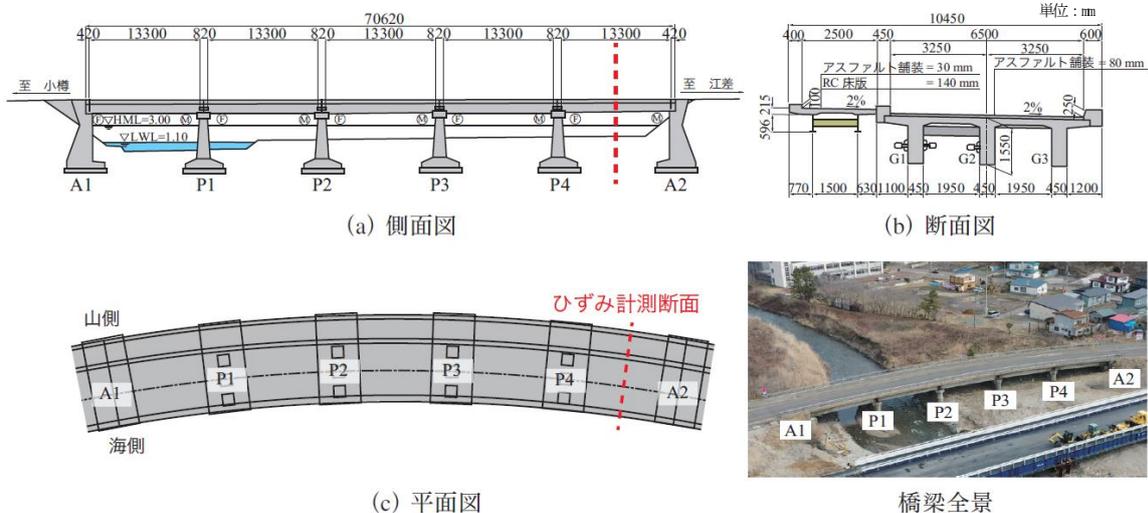


図-1 一般図および橋梁全景写真

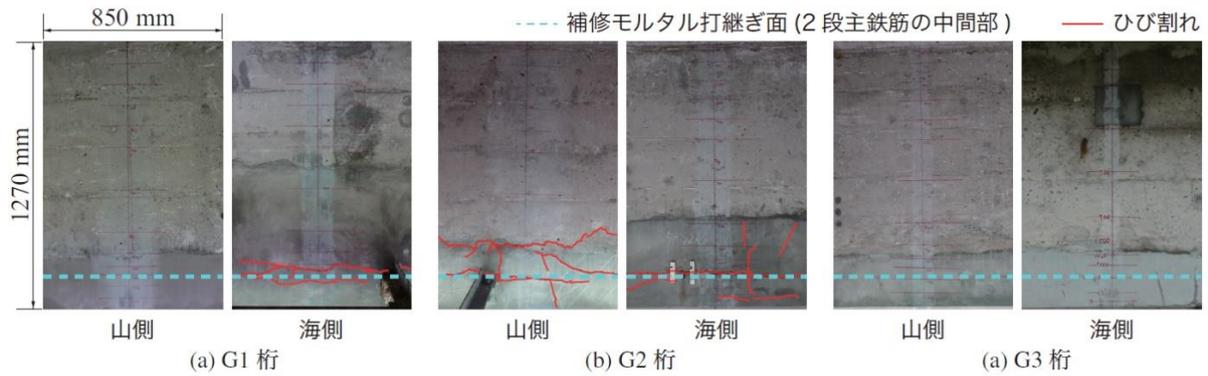


図-3 ひずみ計測位置における各桁の損傷状況

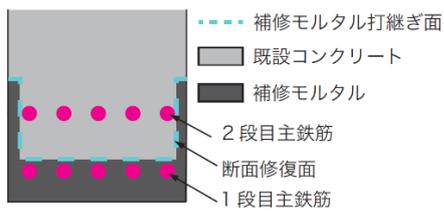


図-2 主桁断面修復工事のイメージ図

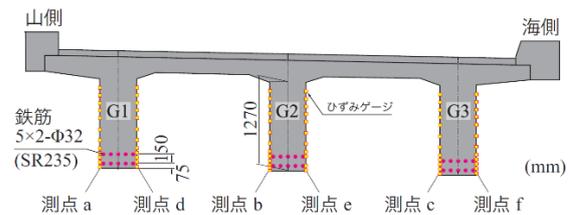


図-4 ひずみゲージ設置位置

229号に架設された5径間単純RCT桁橋（橋長70.6m、支間長13.3m、幅員10.45m）であり、いずれの径間も同様な構造形式の橋梁となっている。本橋梁は、車道部と歩道部（山側）が分離した構造で、車道部はG1(山側)～G3(海側)の3主桁で構成されている。下部構造形式はA1、A2が控え壁式橋台、P1～P4が壁式橋脚である。なお、対象橋梁は1959年に竣工し、経年劣化に伴い三度の補修・補強工事を行っている。1971年には主桁下面に鋼板接着工事を、2007年には橋梁耐震補強3カ年プログラムによる工事を、2008年には断面修復工事を実施している。

図-2には、2008年に実施された主桁の断面修復工事のイメージ図を示している。断面修復工事は、鋼板接着部の凍害によるコンクリートの脆弱化が確認されたことによって実施され、図に示すようにコンクリートの脆弱部であった1段目主鉄筋背面までの下部、側面腐食箇所をU字にはつり、鉄筋防錆処理した後、ポリマーセメントモルタルによる吹付け工によって全主桁において修復工事が実施されている。しかしながら、塩害および凍害による厳しい劣化環境下のため、損傷が大きく、架替えが確定し、令和6年度より撤去工事を行っている。

## (2) ひずみゲージ貼付位置

図-3には、ひずみ計測断面（P4-A2間スパン中央断面）における各主桁側面とその損傷状況を示している。本研究では、65年経過後における各主桁側面のひずみ分布性状の検討を目的に、計測機器設置の環境や各主桁の損傷程度等も考慮し、P4-A2間スパン中央断面においてひ



図-5 走行車両の全景

ずみ計測を行うこととした。

図より、G1桁海側およびG2桁両側に関しては梁下縁部に赤線で示す水平ひび割れが発生していることが確認できるものの、G3桁に関してはひび割れの発生は確認できない。また、前述の通り、本橋梁は厳しい塩害および凍害に起因する劣化損傷が進行しており、これまでに補修・補強工事が行われている。図中、水色点線は主桁内部における2段で配筋された主鉄筋中間部の補修モルタルの打継ぎ目（図-2）を示している。なお、本実測は2024年6月19日に実施した。

図-4には、各桁側面のひずみゲージ貼付位置の詳細を示している。図より、G1、G3桁には各側面に12点ずつ、G2桁海側側面にはひび割れが多数発生しておりひずみゲージ貼付が困難な箇所が存在したため11点、G2桁山側側面についても同様に損傷が大きいため、より詳細にデータを得るために13点の計72点のひずみゲージを貼付した。なお、ひずみはサンプリング周波数を200Hzとしてデジタルデータレコーダにて収録を行っている。

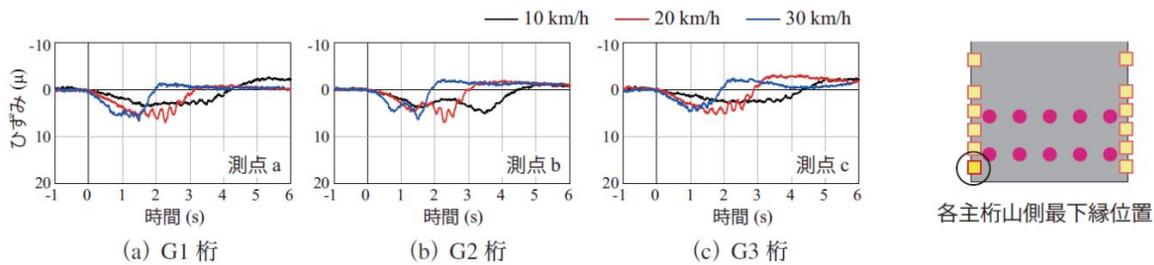


図-6 走行速度を変化させた場合における各主桁山側側面最下縁部の時刻歴応答ひずみ波形 (G2 桁上走行時)

表-1 各走行速度における車両の支間中央到達時間

車両走行速度		各車軸が支間中央に到達する時間			
		前輪	後軸前輪	後軸中心	後軸後輪
km/h	m/s	s	s	s	s
10	2.8	2.5	4.7	4.9	5.1
14	3.9	1.8	3.3	3.5	3.7
20	5.6	1.3	2.3	2.4	2.6
30	8.3	0.8	1.6	1.6	1.7



写真-1 G1 桁上走行時の状況

### (3) 計測方法

ひずみ計測は約20トンに重量調整された大型車両1台をA2橋台側からA1橋台方面に走行させることで実施した。また、計測ケースは大型車両の走行速度を $V=10$ 、 $20$ 、 $30$  km/hの3種類に変化させるとともに、車両を可能な限り各主桁直上(3箇所)を走行させる計9ケースの計測を実施することとした。

図-5には、本計測で使用した大型車両(重量:19.8トン)の全景を示している。車両全長は11.98 m、前輪と後輪前軸との距離は5.87 m、後輪の前軸と後軸との距離は1.32 mとなっている。車両左右のタイヤ間隔は外寸で2.3 m、各タイヤの接地荷重は、前輪で7,500 kg、後輪の前軸で6,400 kg、後軸で5,900 kgの合計19,800 kgである。

## 3. 計測結果および考察

### (1) 時刻歴応答ひずみ波形

図-6には、計測結果の一例として、G2桁上を走行させた場合における各主桁山側側面の最下縁部に貼付したひずみゲージより得られた時刻歴応答ひずみ波形を示している。また、各桁において走行速度を $V=10$ 、 $20$ 、 $30$  km/hの3種類に変化させた場合の結果をそれぞれ黒・赤・青線で示している。なお、計測断面を有するP4-A2間の桁に車両が進入した瞬間を0 sとし、その1秒前から車両進入後6秒間の計7秒間のデータを表している。また、表-1には、各走行速度と端部から支間中央までの距離を基に各車軸の到達時間を計算した結果の一覧を示している。

図より、いずれの桁においても、車両走行によって下縁部には引張りひずみが生じ、車両通過後はリバウンドによって圧縮ひずみに転じている傾向が確認できる。各走行速度の場合について詳細に見ると、車両走行によって励起される最大ひずみを示すタイミングは異なることが見て取れ、走行速度が大きい場合には最大値到達時間がより短いことが分かる。ここで、表-1を見ると、走行速度10 km/hの場合を除き、図-6に示す極大値到達時刻が各車軸の支間中央到達時間と対応している傾向が確認できる。なお、表より、走行速度10 km/hの場合には、実際の走行速度が14 km/h程度であったことも推定できる。

(b)図に示すG2桁に着目すると、G2桁上を車両走行していることより、いずれの走行速度においても2つの極大値が明確に生じる傾向が確認でき、2つ目の極大値が1つ目の極大値よりも大きい。これは、図-5に示すように、後輪におけるタイヤの接地荷重が前輪に比べて大きく、各車軸に対応したひずみが励起されたことによるものと推察される。最大ひずみ値に着目すると、30 km/h走行時において $5\sim 7\ \mu$ 程度のひずみ値を示しており、その値は非常に小さい。また、10 km/h走行時においては最大ひずみ値も減少する傾向を示しているものの、走行速度が各桁のひずみ値に与える影響は小さいことが推察される。なお、(a)・(c)図に示すG1/G3桁に関しては、明確な2つの極大値が励起する傾向は確認できない。これは、後述の図-7からも分かるように、各桁上に直接車両が走行していないことが要因と考えられる。

図-7には、走行速度30 km/hの場合における各主桁の両側面最下縁部より得られた時刻歴応答ひずみ波形を示

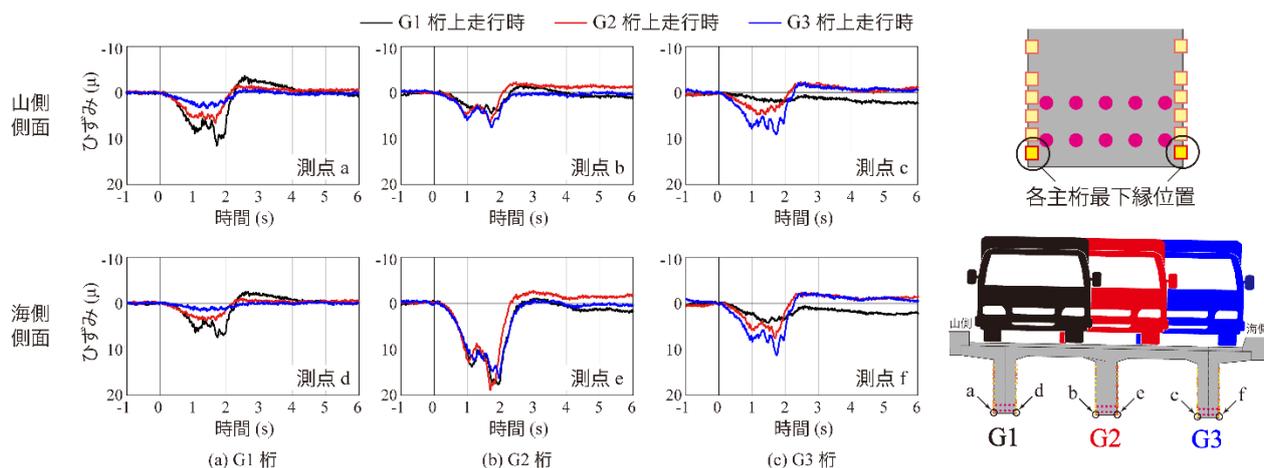


図-7 走行位置を変化させた場合における各主桁両側面最下縁部の時刻歴応答ひずみ波形 (V=30km/h 走行時)

している。図中、走行位置を G1 桁～G3 桁上の 3 種類に変化させた場合の結果をそれぞれ黒・赤・青線で示している。

(a) 図より、G1 桁に着目すると、最大ひずみの大きさは両側面ともに走行位置によって異なることが分かる。ここで、山側側面の最大ひずみ値を見ると、G1、G2、G3 桁上を走行した場合において、それぞれ約 12、7、3 $\mu$  であり、G1 桁上を走行した場合に最も大きく示されている。これより、横断面方向における車両走行位置と着目している主桁の距離の増加に対応して、そのひずみも減少する傾向を示していることが確認できる。この傾向は G3 桁の場合も同様であり、車両が G3 桁上を走行する場合においてひずみが最も大きく励起されていることが見て取れる。

一方で、(b) 図より、G2 桁に着目すると、他の 2 主桁と比較して、走行位置によるひずみ値の差異が小さい傾向がうかがえる。これは、写真-1 に示すように、本橋梁は幅員が狭く片側 1 車線の構造となっていることから、G1、G3 桁走行とした場合においても G2 桁に比較的大きい荷重が分配されたことによるものと推察される。

ここで、各桁における両側面のひずみを比較すると、G2 桁の場合には海側のひずみが山側のひずみより大きくなる傾向が確認できる。また、G3 桁に関しては両側面でほぼ同様なひずみ性状を示していることも見て取れる。これは、図-3 に示すように、G2 桁ではひび割れ損傷が大きい一方で、G3 桁はひび割れが発生していないことから概ね健全な状況にあることが要因と推察される。これらの詳細は次節にて考察をする。

## (2) 桁高さ方向のひずみ分布

図-8 には、図-7 で示した走行速度 30 km/h 時における走行位置を変化させた場合の各主桁両側面に関する高さ方向のひずみ分布を示している。図中、各ひずみ分布は、計測断面直上に後輪タイヤが到達したと考えられる 2 つ

目の極大値到達時間である 1.7-1.8 s 間のデータを平均して算出した。また、図-3 に対応して、水色点線は主桁内部における 2 段主鉄筋中間部相当の補修モルタルの打継ぎ目 (図-2) を、赤点線はひび割れ発生位置を示している。

(a) 図に示す G1 桁に着目すると、上縁から 400 mm 程度の範囲内においては概ねゼロひずみを示しているものの、黒線で示す G1 桁上走行時の場合には圧縮ひずみが若干励起していることが確認できる。また、それより下方に着目すると、下縁に向かうにつれて引張ひずみが励起しているものの、両側面ともに上縁から 1100 mm 近傍でひずみが 1 度減少し、その後再度増化する分布性状を示している。さらに、最下縁部では再度引張ひずみが小さくなる傾向もうかがえる。また、海側側面に生じるひずみが山側よりも大きく示されていることも分かる。これは、図中赤点線のひび割れ位置からも明らかのように、海側にひび割れが数本発生しているとともに、補修モルタル打継ぎ面において G1 桁下縁部に不連続面が形成されている可能性を示唆している。すなわち、断面補修を施したものの、当時の施工状況等を鑑みると、必ずしも既設コンクリート面と補修モルタルとの一体化が図られていないことを暗示している。

(b) 図に示す G2 桁に着目すると、G1 桁と同様に上縁に近い領域においては上縁で圧縮ひずみ、下方に近づくにつれて引張ひずみが励起する傾向が確認できる。下方の領域に着目すると、山側側面では、950 mm 程度で発生しているひび割れより下方でひずみが急激に小さく示されており、かつもう 1 本のひび割れ発生周辺箇所においてもひずみ分布の乱れが確認できる。また、海側側面を見ると、最下縁において 3 主桁の中で最も大きい最大 18 $\mu$  程度のひずみが発生している。これは、前述の通り、3 主桁中 G2 桁の損傷が最も大きいことによるものと推察される。特に、1100 mm 位置近傍においては両側面において同様なひび割れが発生しており、ひび割れが貫通

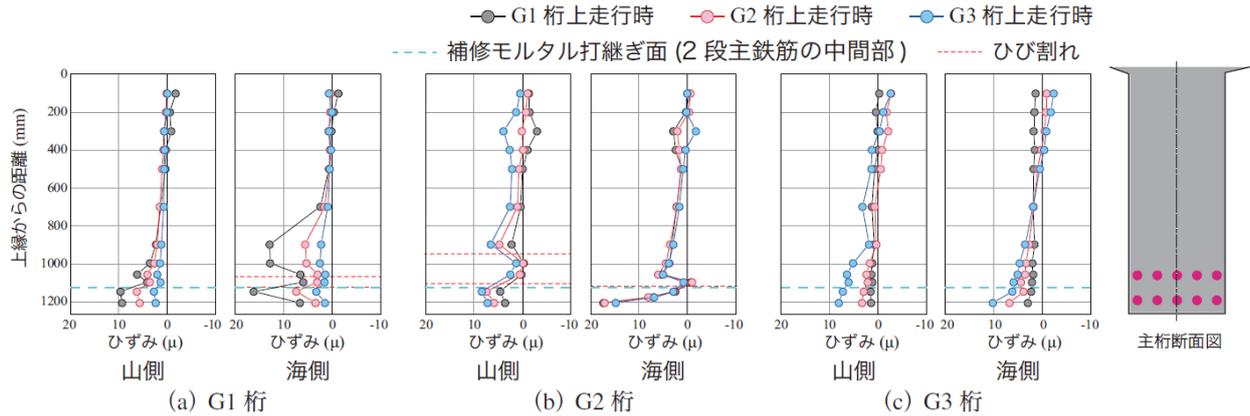


図-8 走行位置を変化させた場合に関する最下縁ひずみ最大到達時におけるひずみ分布性状 (V=30km/h 走行時)

していることが推察される。これによって、ひずみ分布からは重ね梁に近いひずみ分布性状を示していることも見て取れる。

(c)図に示す G3 桁に着目すると、走行位置によらず両側面において上縁から下縁まで概ね線形なひずみ分布を示していることが確認できる。これは、図-3に示す通り、G3 桁に関してはひび割れが生じていないことから、他の 2 主桁と比べて比較的健全な状態にあることが示唆される。

#### 4. まとめ

本報告では、建設後 65 年が経過した 5 径間単純 RCT 桁橋を対象に、過去に実施した補修効果や現在の耐荷性能を検討することを目的に、大型車両走行による各主桁側面軸方向ひずみに関する計測実験を実施した。本研究では、P4-A2 間スパンにおける 3 主桁のスパン中央部両側面にひずみゲージを貼付し、走行速度や走行位置を変化させた場合における計測を行い、各主桁の応答ひずみに与える影響について検討を行った。本研究で得られた結果を整理すると、以下のように示される。

1) 本研究の範囲内においては、車両走行速度の大小によって発生するひずみ値に大きな差異は確認されなかった。また、車両走行位置に関しては、計測箇所から載荷位置が離れるほどひずみの値は小

さくなるものの、約 20 トン積載車両走行時においても最大ひずみは 10~20 $\mu$ 程度であった。

- 2) G1、G2 桁に関しては、補修モルタル打継ぎ面やひび割れ発生箇所においてひずみ分布の乱れが生じており、桁内部に不連続面が形成されている可能性が示唆される。一方で、他の 2 主桁と比較して健全な状態であった G3 桁に関しては、概ね線形なひずみ分布性状が確認された。
- 3) これより、断面補修の方法によっては、必ずしも既設コンクリート面と補修モルタルの一体化が図られず、不連続面が形成される可能性のあることが確認された。また、断面補修の実施には、永続的かつ確実に一体化が図られる工法選定や施工方法の検討が必要である。

#### 参考文献

- 1) 内閣府：戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) インフラ維持管理・更新・マネジメント技術プロジェクト紹介-開発技術概要, 2018.
- 2) 吉岡勉, 伊藤信, 山口宏樹, 松本泰尚：鋼トラス橋の斜材振動連成とモード減衰変化を利用した構造健全度評価, 土木学会論文集 A, Vol. 66, No. 3, pp.516-534, 2010.
- 3) 服部洋, 松山卓真, 別所謙, 岡野雅, 白土博通, 八木知己：振動応答モデルを用いた損傷規模検知手法に関する研究, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol. 69, No. 2, 1741-1749, 2013.