

## 一般-25 積雪寒冷地における新構造形式を用いた橋梁等の設計施工法に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 20 ～平 22

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、山口 悟、表 真也、  
澤松俊寿、宮川智史、葛西隆廣

### 【要旨】

昨今、建設コスト縮減等の観点から鋼・コンクリート合成構造などの新構造形式の導入が進んできている。積雪寒冷地では、冬期間の施工や床版上面の耐凍害劣化等の観点からも、このような新技術の導入が望ましいと考えられることから、厳しい積雪寒冷環境下における安全性や耐久性等を適切に検証しつつ、新構造形式の普及を図っていくことが重要である。

新構造形式の導入に向け、事前の適切な性能検証を行うとともに、導入後においても適切な追跡調査を実施し、必要に応じその設計施工法を改善するなど、積雪寒冷地における適応性を十分に考慮した、新構造形式の設計施工に関する研究を進めていく必要がある。

本研究課題では、頂版に鋼・コンクリート合成構造を用いた複合構造横断函渠工の開発・改善及び伸縮継手装置の開発に基づいた性能評価に関する検討を行い、積雪寒冷地における新構造形式構造物の設計施工法を提案した。

キーワード：積雪寒冷地、複合構造横断函渠工、疲労耐久性、輪荷重走行試験、補修補強、FEM 解析、  
鋼コンクリート合成構造、伸縮装置、スノーブラウ、止水機能、金属溶射

## 1. 積雪寒冷地における鋼・コンクリート合成構造物の性能の検証および設計・施工法の提案

### 1. はじめに

近年、輪荷重の影響を受ける鋼床版等の溶接部において、疲労亀裂が生じるケースが確認されている。そのため、疲労耐久性の検証を行い、長期耐久性の確保された構造を採用することが求められている。

既往の鋼・コンクリート合成構造物として、鋼・コンクリート合成サンドイッチ頂版（以下；合成頂版）を用いた複合構造横断函渠工があるが、その頂版はパイプジベルと上下鋼板の接続を溶接構造としている。また、本頂版は架設時に支保工が必要となる構造となっている。疲労耐久性に関しては、輪荷重走行試験により確認されているが、コスト縮減の観点から施工の省力化及び、重交通路線への適用を考慮し、さらなる疲労耐久性向上が必要である。

本研究では、架設時に支保工を必要とせず、溶接構造を用いないトラス部材を用いたボルト支圧構造を提案し、疲労載荷実験等により性能の検証を行い、設計施工法を提案した。

### 2. 合成頂版の溶接構造とボルト支圧構造の概要

#### 2. 1 従来の溶接構造とした合成頂版の概要

複合構造横断函渠工は、頂版に合成頂版を用い、側壁には鉄筋コンクリート構造を用いて、頂版と側

壁を剛結合とした構造である。合成頂版の製作には、自動溶接機を用いてパイプジベルと上下鋼板を接合し、パネル化している。

また、合成頂版の架設および高流動コンクリート打設は函渠工の内空に支保工を設置してから施工する。構造の概要を図 I-1、図 I-2、写真 I-1～写真 I-3 に示す。

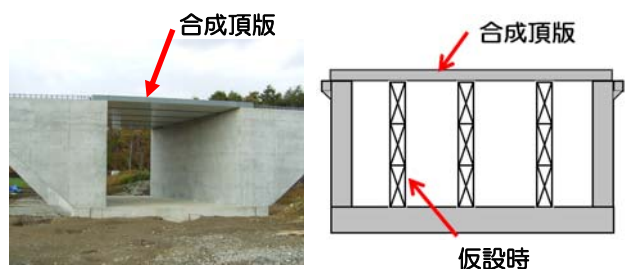


写真 I-1 頂版施工完了時 図 I-1 函渠工断面図

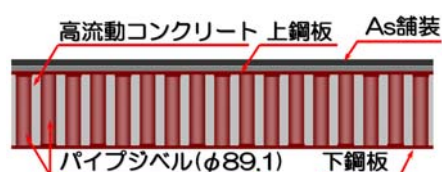


図 I-2 合成頂版断面図

一般-25 積雪寒冷地における新構造形式を用いた  
橋梁等の設計施工法に関する研究



写真 I-2 合成頂版の内部鋼板組立状況



写真 I-3 パイプジベル溶接施工状況

2. 2 ボルト支圧構造とした合成頂版の概要

合成頂版における溶接疲労の影響を解消し、支保工を必要としない耐荷性(剛性)の付与を目指してトラス部材によるボルト支圧構造を提案した。構造の概要を図 I-3、写真 I-4、写真 I-5 に示す。

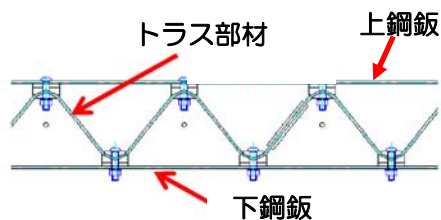


図 I-3 トラス部材の合成頂版断面図

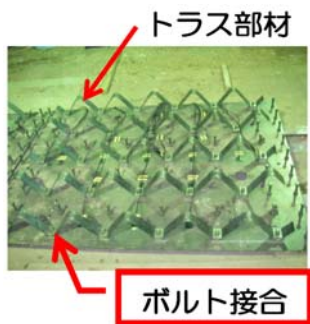


写真 I-4 内部鋼板組立状況および完成状況



写真 I-5 合成頂版供試体の完成状況

3. ボルト支圧構造の疲労と耐荷力の検証実験

3. 1 実験供試体

合成頂版の実験供試体は、標準的な規模として内

空 8m の横断函渠工を想定して設計を行った。

また、実験装置に干渉しないように、供試体のスパンを決定し、活荷重たわみが内空幅 8m の横断函渠工と同等 ( $\delta = 2.59\text{mm}$ ) になるように有効幅 ( $W = 1280\text{mm}$ ) を決定した。実験供試体の計画図を図 I-4、図 I-5 に示す。

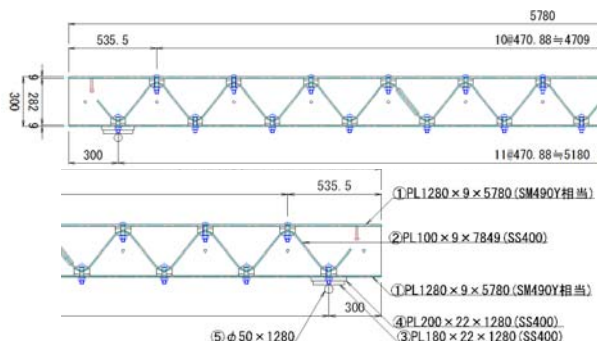


図 I-4 合成頂版側面図

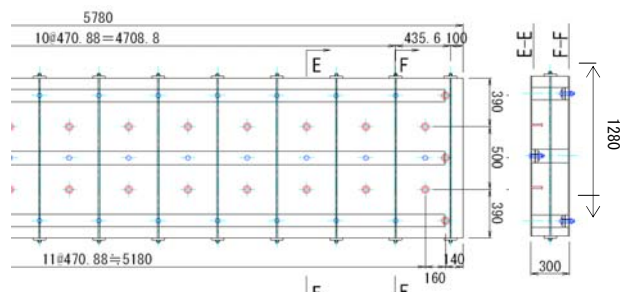


図 I-5 合成頂版平面図・断面図

3. 2 実験方法

輪荷重走行試験によって、疲労耐久性と剛性を確認する。載荷はゴムタイヤ方式で、載荷荷重は、活荷重許容たわみ量が  $L/2000$  となるように荷重を  $137.3\text{ kN}$  とし、載荷回数は 200 万回とした。その試験状況を写真 I-7 に示す。また頂版設置状況を写真 I-6 に、輪荷重部を図 I-6 と図 I-7 に示した。



写真 I-6 頂版設置状況

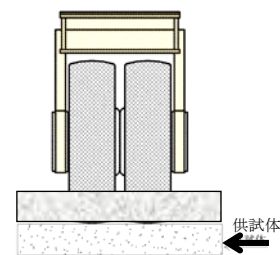


図 I-6 載荷概要図

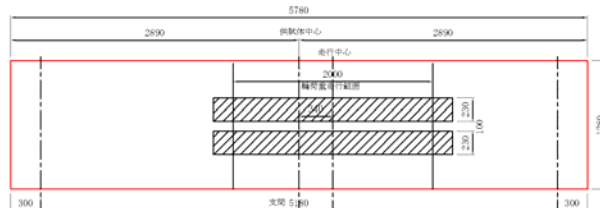


図 I-7 頂版の輪荷重走行位置

- ・頂版の施工方法および施工手順



写真 I-7 輪荷重走行載荷試験状況

#### 4. 実験結果

実験終了後の供試体には特に大きな変状は見られず、中詰めコンクリートの微細なクラックのみ確認され、実験値も RC 断面での計算値とほぼ近い値となった。

よって、計算方法の妥当性、トラス型合成床版の疲労耐久性についても、実構造での使用には問題ない結果となった。

また、頂版の剛性は従来の構造よりも増加することが確認できた。実験後供試体のクラック発生状況を写真 I-8 に示す。(クラック幅の最大約 0.1mm)

支点部



支間部



写真 I-8 試験後供試体のクラック発生状況

#### 5. 複合構造函渠工設計施工マニュアル(案)の改訂

トラス部材を用いた合成頂版構造について、既往の設計・施工マニュアルに、以下の項目を追記した。

なお、施工性の確認を行った時の、下鋼板とトラス部材の組み立て状況を写真 I-9 に示す。

追加した項目

- ・頂版の使用材料
- ・頂版の耐荷力とたわみの照査方法
- ・頂版の構造細目



写真 I-9 下鋼板とトラス部材の組み立て状況

#### 6. まとめ

- 1)トラス部材を用いたボルト支圧構造の合成頂版を提案し、試験製作による施工性の確認と、走行載荷試験により耐荷力(剛性)と疲労耐久性、実用化に必要な性能を確認することができた。
- 2)頂版の剛性増加により仮設時の支保工は不要となり、経済性に優れる。
- 3)疲労耐久性に優れる構造形式を、設計・施工マニュアルに追記し、合成頂版の適用範囲を広げることができた。

#### 参考文献

- 1) 今野久志、三田村浩、石川博之：「コスト縮減に寄与する複合構造函渠の開発」、月報 (技術資料)、平成 18 年 8 月
- 2) 吉田勝章、今野久志、齊藤直之、谷口直弘：「施工ステップを考慮した複合構造函渠工の現場計測」、平成 18 年度土木学会北海道支部論文報告集、第 63 号、平成 19 年 2 月
- 3) 石川博之、今野久志、三田村浩：「The Study on the New Construction Method of the Transverse Box-culvert by Using the Steel-concrete Composite Sandwich」、7th German-Japanese Bridge Symposium Program and Abstracts、平成 19 年 8 月

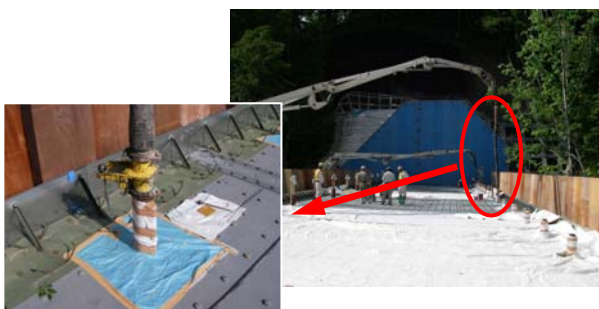


## Ⅱ. 雪寒地における鋼・コンクリート合成構造物の改善

### 1. はじめに

鋼・コンクリート合成床版及び頂版では、現場において鋼殻に高流動コンクリートを打設するための打設孔が設置されている。近年、初期(平成12年頃)に施工された、鋼・コンクリート合成床版の輪荷重直下の打設孔位置における舗装で変状が見られるケースがある。詳細調査により、活荷重載荷時は上鋼板とコンクリート間に空隙が生じる状態となり、防水工は損傷し床版内への橋面水が浸入する事象を確認した。このことが舗装の変状の原因と考え、打設孔の処理方法として蓋をする改善案を提案し、妥当性を確認するための実験を行なった。

高流動コンクリートの打設状況を写真Ⅱ-1に、供用後の打設孔の変状状況を写真Ⅱ-2に示す。



写真Ⅱ-1 高流動コンクリートの打設状況



写真Ⅱ-2 打設孔の変状状況

### 2. 実験の概要

今回実験する打設孔蓋は、

- ・ 上面鋼板との段差をなくする。
- ・ 打設孔蓋を固定するボルトは、本体で使用する高ナットと特殊高力ボルトを使用し、軸力を導入する。
- ・ 輪荷重走行時に打設孔蓋と上面鋼板との隙間に、ズレが発生しようとした場合でも、それに追従できるような、ゴム状の接着剤を使用する。

以上を考慮した打設蓋を提案し、実験を行った。

打設孔上には、20~30mmのコンパネを敷設し、その上に6mmの鋼板を設置し、ゴムタイヤによる輪荷重走行試験を行う。

荷重は、衝撃を考慮した鋼板の照査として9tfとし、走行回数は橋面舗装打ち換え期間の20年を目安

として40万回(200万回/100年×20年)とし、実験終了後、各タイプが機能しているかどうかを目視確認する。40万回以前にその機能を失ったタイプについては、その回数を記録する。

供試体のセンターラインに於いて、中央と両支点上に変位計を設け、5万回毎に変位の測定を行う。

供試体(2400mm×3000mm)の作成で打設孔を4個作成(輪荷重走行方向に平行と直角×輪荷重直下と半分輪荷重直下)し、供試体上に水を張り、輪荷重移動載荷試験機により、耐久性の検証を行う。

改善した打設孔蓋の計画図を図Ⅱ-2に示し、実験供試体の計画図を図Ⅱ-1に示す。

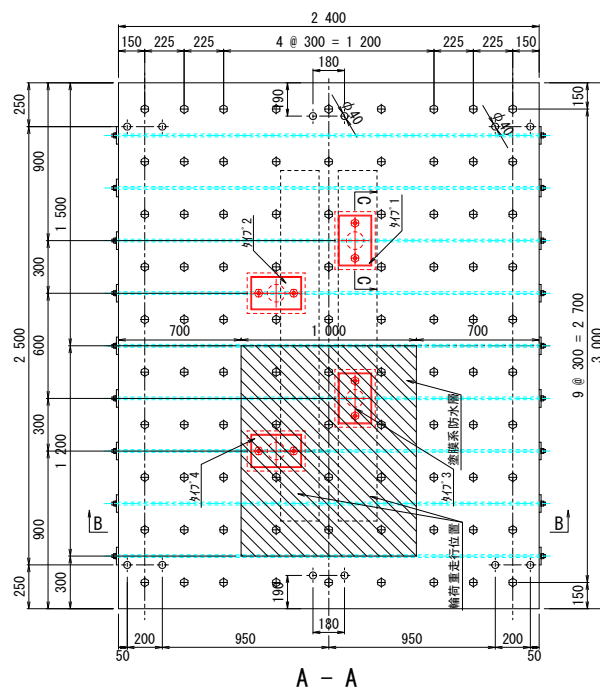
<打設孔処理の種類；蓋の向きと荷重条件>

タイプ1：輪荷重走行方向に平行(輪荷重直下)

タイプ2：輪荷重走行方向に直角(半分輪荷重直下)

タイプ3：輪荷重走行方向に平行(輪荷重直下)  
+塗膜防水

タイプ4：輪荷重走行方向に直角(半分輪荷重直下)  
+塗膜防水



図Ⅱ-1 実験供試体の計画図

一般-25 積雪寒冷地における新構造形式を用いた  
橋梁等の設計施工法に関する研究

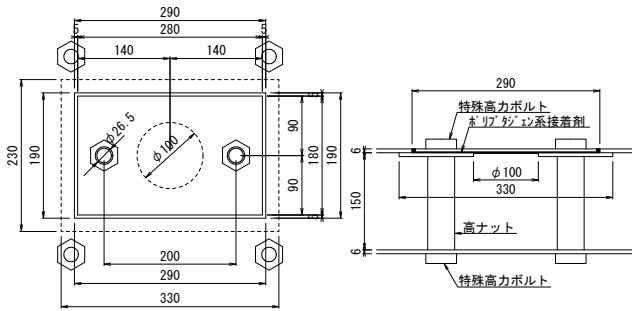
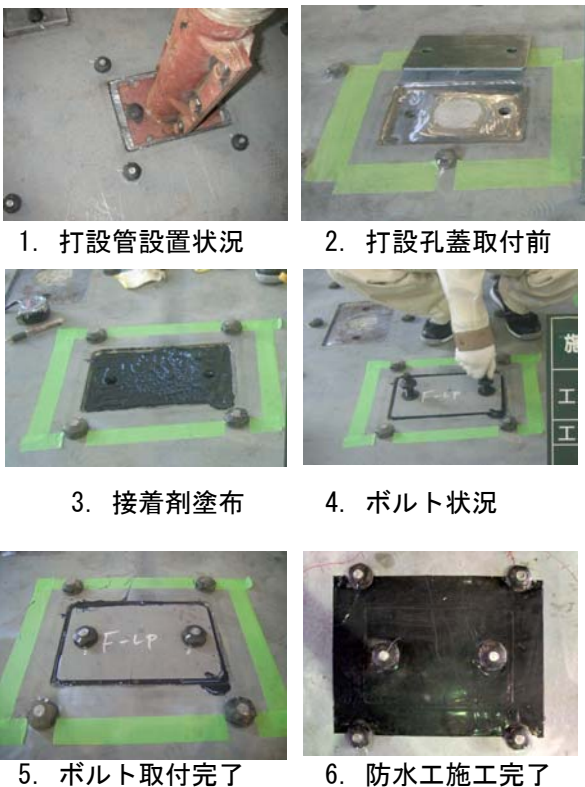


図 II-2 打設孔蓋の計画図

3. 打設孔蓋の施工状況

打設孔蓋による改善案の具体的な施工手順を、写真 II-3 に示す。



1. 打設管設置状況

2. 打設孔蓋取付前

3. 接着剤塗布

4. ボルト状況

5. ボルト取付完了

6. 防水工施工完了

写真 II-3 打設孔蓋の施工手順

4. 水張り試験による確認結果

試験状況を写真 II-4 に示す。また、試験の結果、以下の事項が確認された。



写真 II-4 輪荷重走行載荷試験状況(水張り)

- ・輪荷重直下では走行回数 350,000 回以降で打設孔からの浸水する箇所が確認された。上鋼板を除去して確認した浸水状況を写真 II-5 に示す。(着色している箇所は浸水した箇所を表す。)
- ・タイプ 1, 3 の輪荷重直下のケースに関しては、浸水が確認され、タイプ 2, 4 の半分輪荷重直下のケースに関しては、浸水が確認されなかった。

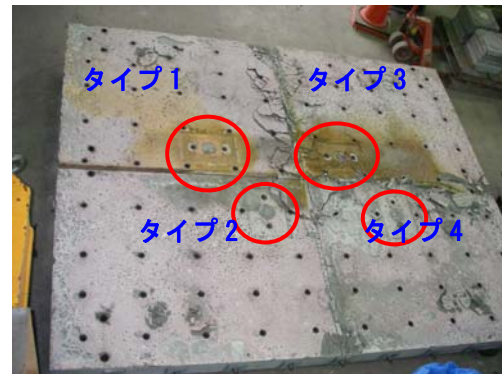


写真 II-5 試験終了後の浸水確認状況

5. まとめ

実験の結果より、打設孔の設置位置は、輪荷重直下は避ける計画とすることが重要である。輪荷重直下を避けた位置の打設孔とすることで、十分に実用に耐えるものと考えられる。

以上により、疲労耐久性は確保された構造に改善されていることを確認した。

参考文献

- 1) 船谷智浩、安東祐樹、三田村浩、石川博之、松井繁之：「鋼板・コンクリートサンドイッチ床版の耐久性に影響を及ぼす空隙深さの検討」、第 61 回年次学術講演会講演概要集、平成 18 年 9 月
- 2) 星野和行、海野晃治、今野久志：「角型鋼管を用いた複合構造函渠工の施工について」、北海道開発局技術研究発表会論文集第 51 回（平成 19 年度）、平成 20 年 2 月
- 3) 石川博之、今野久志、三田村浩：「A study of the new construction method for transverse box culverts by using the steel-concrete composite sandwich deck slab-cutting the cost of constructing expressways」、Steel Construction 3 Volume2 September2009、平成 21 年 9 月



### Ⅲ. 雪寒地に対応した新型の伸縮継手装置 の設計・施工法の提案及び改良

#### 1. はじめに

道路橋の損傷部材の一つに伸縮装置がある。特に積雪寒冷地における伸縮装置は、凍害や塩害および除雪作業に伴う衝撃作用など、過酷な条件下にあるため橋梁部材の中で最も早く劣化損傷が生じる部位である。また、それらの損傷が影響して沓座の支承の腐食に発展しているのが現状となっている。

近年、劣化損傷による伸縮装置の取替工事が急増していることから、その原因の究明と対策が強く求められている。また、損傷した伸縮装置を対策済みの新しい伸縮装置に効率的に取換えていくことが、二次被災の抑止と伸縮装置本体の余寿命向上および将来的なLCCの削減に大きく貢献することとなる。

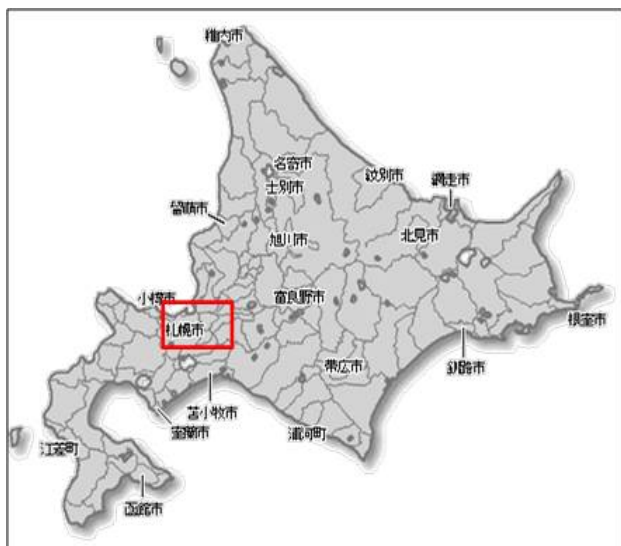
本研究では、北海道における既設橋梁の調査から、伸縮装置の劣化・損傷原因を推定するとともに、その結果を踏まえた改良型の伸縮装置の開発と試験施工の結果について報告する。

#### 2. 伸縮装置の現況調査について

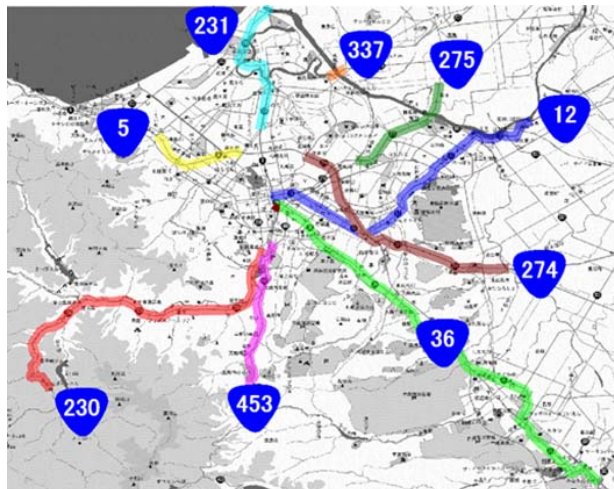
##### 2.1 調査概要

伸縮装置の損傷の分析や原因究明を行うため、交通量の多い札幌市近郊において伸縮装置の設置状況について調査した(図Ⅲ-1、Ⅲ-2)。

対象橋梁は、表Ⅲ-1に示すように、橋梁数186橋、伸縮装置箇所数は561箇所であり、伸縮装置本体、前後の舗装の現状、床版部への取付状況等について損傷の有無を基本に目視により点検・調査した。



図Ⅲ-1：調査位置図



図Ⅲ-2：札幌市の主要幹線道

表Ⅲ-1：調査した橋梁箇所数

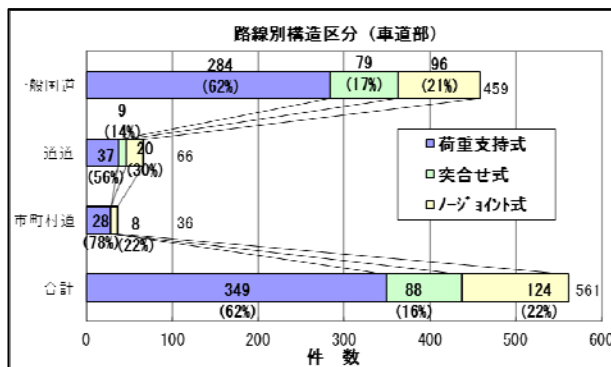
	橋梁数	伸縮装置箇所数
一般国道	136	459
道道	33	66
市町村道	17	36
札幌近郊合計	186	561

##### 2.2 既設伸縮装置の種類

伸縮装置の種類は、大きく「荷重支持式」、「突合せ式」、「ノージョイント式」に分類される(写真Ⅲ-1)。調査結果から、図Ⅲ-3に示すように路線全体で荷重支持式の伸縮装置が約6割、突合せ式が約2割弱、ノージョイント式が約2割を占めていることが確認された。



写真Ⅲ-1：伸縮装置の種類

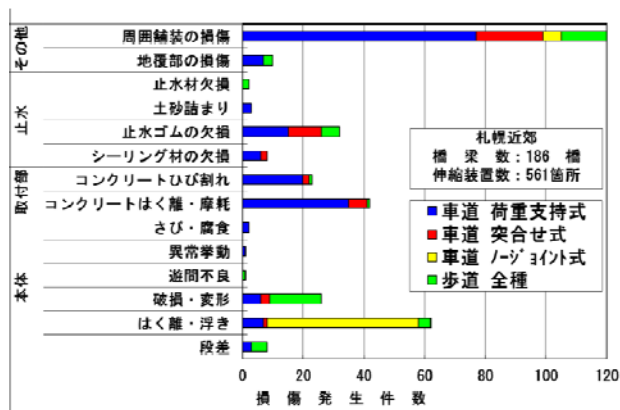


図Ⅲ-3：路線別の伸縮装置種別割合

## 2.3 損傷の発生状況

調査結果を基に損傷別の発生件数を図Ⅲ-4にまとめた。また、代表的な損傷状況を写真Ⅲ-2に示す。

- 伸縮装置本体の損傷では、ノージョイント式の剥離や浮きが最も多く、次に歩車道部の本体櫛部の破損・変形となっている。
- 伸縮装置の取付部では、荷重支持式の車道コンクリートの剥離・ひび割れが顕著となっている。
- 止水材の損傷については、装置種別に関係無く止水ゴムの欠損が一番多い損傷となっている。
- その他では、伸縮装置前後に敷設している舗装損傷が最も多く、特に車道部の荷重支持式に多く発生している。
- 種別で多い荷重支持式と突合せ式では、伸縮装置前後の舗装損傷および伸縮装置取り付け部のコンクリートのはく離・摩耗の順に多く、伸縮装置本体の破損・変形は全体の約1割程度にとどまっている。



図Ⅲ-4：調査橋梁の損傷件数（歩車道別）



写真Ⅲ-2：代表的な損傷

## 3. 損傷原因

### 3.1 損傷原因の推定

調査状況をもとに、積雪寒冷地における損傷原因として類推される事項・項目を以下に示す。

- 伸縮装置本体（フェイスプレートおよび櫛部）の損傷と前後の舗装・コンクリート部の損傷については、除雪作業時のスノープラウの衝撃および重交通車両の輪荷重の繰り返しおよび冬季のすべり防止チェーン等による損傷が考え

られる。

- 止水材の飛出しや欠損および脱落等の損傷については、伸縮装置遊間部の土砂詰まりや圧雪状態での輪荷重の繰り返し伝達によるものと考えられる。また、鋼材腐食による接着破壊や、低温時の伸縮装置自体の追従性の機能不足なども要因である。
- 伸縮装置本体の腐食損傷や装置前後の舗装およびコンクリート部の脆弱化については、路面凍結防止剤の散布による錆の発生と凍結融解の促進および貧配合コンクリートの経年劣化等が考えられる。

### 3.2 損傷原因のまとめ

以上、損傷原因をまとめると「除雪作業時の衝撃」、「圧雪および凍結防止剤の散布」、「凍結融解に伴う凍害と水の影響」など寒冷地特有の条件が原因となっているものが多いことが確認された。

以上のことから、積雪寒冷地での伸縮装置の損傷は、「耐久性の不足」、「止水機能の不足」、「防食機能の不足」が考えられる。

## 4. 寒冷地仕様伸縮装置の改良点

### 4.1 寒冷地環境下における要求性能

損傷発生原因の推定を踏まえ、積雪寒冷地仕様伸縮装置が、輪荷重、経年劣化、積雪寒冷環境下で要求性能を満足するための条件を以下に示す。

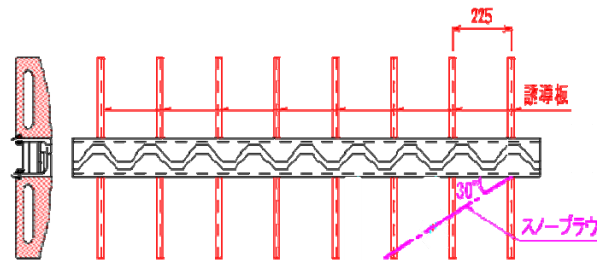
- 耐久性向上 → 除雪車より受ける衝撃に対して安全性を確保する。
- 止水機能向上 → 輪荷重が伝達された場合でも遊間部に土砂堆積や圧雪等によって、破損しにくい止水構造とする。
- 防食機能の向上 → 凍結防止剤等の散布による腐食環境に対して、耐腐食性を向上させる。

### 4.2 伸縮装置内部構造の検討

上記の要求性能を満足できるように、以下に示す改良を実施した。

#### (1) 耐久性向上（プラウ誘導板の改良）

図Ⅲ-5に示すように、プラウ誘導板に作用する衝撃安定性の確保を目的として、誘導板取付間隔を大型ダンプ後輪タイヤ幅  $W=230\text{mm}$  を考慮して、 $225\text{mm}$  間隔に変更することで、誘導板の枚数を増やし、除雪車のプラウ衝撃の緩和と大型車両の輪荷重を分散できる構造を提案した。

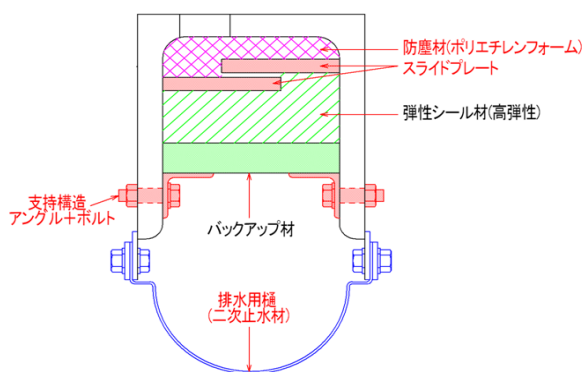


図Ⅲ-5：プラウ誘導板改善点



## (2) 止水機能向上（止水構造変更）

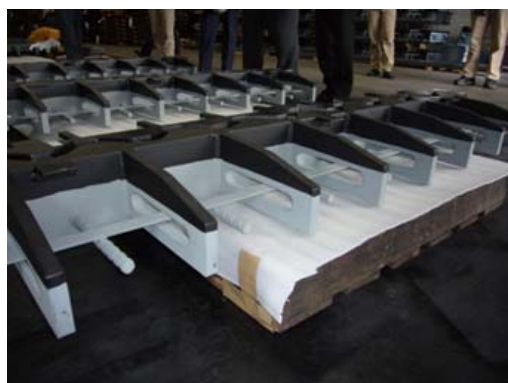
伸縮装置遊間部に土砂・雪詰まり状態時に輪荷重が伝達した場合でも止水材が損傷しないようにするため、フェイスプレート下部に防塵材（ポリエチレンフォーム）を設け、その直下にスライドプレートを設置し、かつバックアップ材の支持構造を追加することで、土砂堆積物の進入防止並びに圧雪押込み力を緩和する構造を提案した。また、止水強化策として排水用樋（二次止水材）を設置した（図Ⅲ-6）。



図Ⅲ-6：改善した止水部

## (3) 耐腐食性能向上（金属溶射）

伸縮装置を構成する鋼材（伸縮装置本体内面・フェイスプレート・本体側面の舗装部分面・誘導板舗装部分面）に Al-Mg（アルミニウムマグネシウム）プラズマ溶射処理を行い、耐腐食性を向上させた（写真3-3）。この金属溶射は、傷付いた部分に対してマグネシウムが溶出することによる、自己防食機能を持ち合わせていることも確認されている。



写真Ⅲ-3：改良型伸縮装置



写真Ⅲ-4：輪荷重走行試験および現地試験施工の状況

## 5. 改善後寒冷地仕様伸縮装置の性能評価

改良型伸縮装置の性能評価を行うため、実物大の供試体を用いた、疲労実験および国道橋における験施工の追跡調査を実施した。

なお、実験には輪荷重走行試験機を用い（写真Ⅲ-4）、実験供試体は最大遊間とし、路面との段差を設けた。

### 5.1 輪荷重走行試験について

載荷荷重は 98kN とし、走行回数は北海道幹線道路における供用期間約 20 年間相当の輪荷重を想定して 100 万回とした。

実験の結果、伸縮装置の構造部材に発生する応力は非常に小さいことが明らかになった。また実験終了時までその値は増加することなく、各構造部材は弾性挙動範囲内にあり、健全な状態であった。

### 5.2 追跡調査について

試験施工箇所は、札幌市内の国道橋であり、追跡調査では、誘導板の損傷、伸縮装置の段差、錆、漏水、2次止水材の状況について確認を行った。

調査結果については、走行性の異常、漏水、大きな発錆もなく、正常に機能していた。

## 6. まとめ

本研究では、雪寒地での実橋の伸縮装置の調査より、改善案を提案するとともに、その性能評価手法の提案を行った。以下にまとめを記す。

- 1) 積雪寒冷地における伸縮装置の対応処置は、「除雪機対策」、「止水材の保護」、「防錆処理」の3点であることが確認でき、これらのことが橋梁の延命化、LCC低減に繋がると考える。
- 2) 水張り条件で輪荷重走行試験を行った結果、漏水やシール材の剥離は無く、十分な防水機能や耐久性があることが確認された。
- 3) 実況での追跡調査から、走行部については溶射の摩耗が一部確認されたが、走行性の異常、止水構造の損傷、腐食は無く、正常に機能していることが確認された。

## 参考文献

- 1) S. Omote, H. Mitamura : 「Development of an expansion device for cold regions」 - Test installation of an expansion device on a National Route 274 interchange viaduct -, 8th Japanese German Bridge Symposium, 2009
- 2) 吉田、三田村、石川 : 「積雪寒冷地における橋梁用伸縮装置の損傷状況とその対策に向けた検討」 寒地土木研究所月報 No. 676、2009年9月