

メンテナンスに優れた 橋梁伸縮装置の研究開発

産学官共同研究報告書

令和2年12月

公益財団法人 福井県建設技術公社

発刊にあたって

(公財) 福井県建設技術公社は、県および市町の建設技術の向上と良質な社会資本の整備に寄与することを目的として各種の事業を実施しています。

その中の一つであります産学官共同研究支援事業は、産学官が取り組む技術研究開発を推進するため、研究経費を補助するとともに、その研究成果を報告書として作成し、関係機関に配布することをもって技術の普及を図ることを目的としています。

さて、我が国では高度経済成長期以降に整備された社会資本の老朽化が進んでおり、道路橋は15年後には建設後50年以上経過するものが6割を超えることとなります。インフラの老朽化対策では事後保全から予防保全へと転換されることにより、維持管理費用の縮減・平準化を図っております。

福井県内の橋梁は、県および市町が管理する橋梁だけでも9120橋(令和元年度時点)あり、点検および補修し易い構造であれば、コスト縮減効果が大きく発揮されるものと思われまます。

そこで、今回、橋梁の伸縮装置に着目し、経済的かつ効果的な維持管理補修構造について平成31年2月から進められてきました。

このたび「メンテナンスに優れた橋梁伸縮装置の研究開発」として、(産) 日光産業株式会社、(学) 福井工業高等専門学校 環境都市工学科阿部研究室、(官) 福井県(土木部道路保全課、福井土木事務所、福井県工業技術センター 建設技術研究部)の共同研究による研究成果がとりまとめられましたので報告します。この研究成果が、県内の橋梁伸縮装置のメンテナンス向上に寄与できれば幸いです。

最後に、この共同研究にご協力いただきました関係各位に、心から御礼申し上げます。

令和2年12月

公益財団法人 福井県建設技術公社
理事長 辻 義則

まえがき

全国には70万を超える橋梁が整備されているが、現時点で建設後50年を経過した橋は約20%の14万橋に達し、10年後には約50%、20年後には70%に達する見込みであり、老朽橋は増加する一方である。福井県内の橋梁も同様であり、福井県が管理する約2400橋についても老朽化が著しく、車両の大型化や交通量の増大による疲労損傷や塩害、中性化による劣化等、様々な要因で健全性が損なわれてきている。

橋梁の長寿命化対策については、対象となる施設のどの部位から補修するのか、どのような補修方法を採用するのかによって、その後のメンテナンス作業に影響を及ぼす。コンクリート橋であっても鋼橋であっても、その健全度は水回りの良否に関わっていることが多い。水分の適切な排出がその橋の長寿命化に大きな影響を及ぼしている。したがって、水の侵入が起りやすい伸縮装置からの漏水という現象が点検によって発見されると、その後の大きな損傷を食い止めるために伸縮装置の更新が行われる。しかしながら、伸縮装置全体を更新するのは多額な費用を要するだけでなく、健全な部分も更新することになるとともに工事期間も長くなるために一定期間の通行規制も必須となる。

そこで本研究では、簡便な取り換えができる福井県独自の伸縮装置の製作に取り組むこととした。福井県は多雪地域であり、橋梁の構造特性を満足することはもとより、橋梁上の除雪作業にも配慮した強度、形状を有するものとして短時間での施工が可能となる構造を目標とした。

本報告書では、まず、福井県が実施した橋梁点検結果から伸縮装置の健全度に関する状況を考察している。ここで述べておきたいことが1点ある。第1回目の点検によって健全度Ⅰの判定であってもこれまでに伸縮装置の取り換えが何度行われたのかの記録がない橋梁もあった。そのため、今後の橋梁点検・診断のデータベース化には補修状況の掲載が必要であることを痛感している。どのような診断をしてどのような対策をとったのかという「橋梁カルテ」となるものが必要である。

次に、橋梁点検結果から今後取り換えが必要となる伸縮装置の形状・寸法を推定し、試作を行う伸縮装置の概要を決定した。

現段階では、伸縮量が20mm、30mm、40mm、50mmの各伸縮装置の試作品は完成しており試験施工を執り行う準備はできている。コロナ禍の状況が落ち着けば試験施工を行い、施工性や耐久性の検証を行っていくこととなる。

令和2年12月

独立行政法人国立高等専門学校機構 福井工業高等専門学校
環境都市工学科 教授 阿部孝弘

目 次

| | |
|-------------------------------------|----|
| 第1章 序論 | |
| 1. 研究の目的 | 1 |
| 2. 研究の内容および期間 | 2 |
| 2-1 研究の内容 | 2 |
| 2-2 研究の期間 | 3 |
| 3. 研究開発の体制 | 4 |
| 第2章 福井県管轄診断結果から見た橋梁伸縮装置の劣化現状 | |
| 1. はじめに | 5 |
| 2. 福井県管轄橋梁の実態 | 6 |
| 2-1 架設年度 | 6 |
| 2-2 橋種 | 6 |
| 2-3 橋長 | 7 |
| 2-4 幅員 | 8 |
| 3. 伸縮装置の現状 | 9 |
| 3-1 判定区分 | 9 |
| 3-2 現状 | 9 |
| 4. 考察 | 15 |
| 4-1 補修履歴との関係 | 15 |
| 4-2 交通量との関係 | 17 |
| 4-3 支承・主桁との関係 | 20 |
| 4-4 土木事務所別の関係 | 23 |
| 5. まとめ | 25 |
| 第3章 メンテナンスに優れた橋梁伸縮装置の開発 | |
| 1. 伸縮装置の概要 | 26 |
| 1-1 役割と性能 | 26 |
| 1-2 種類 | 26 |
| 1-3 損傷の原因 | 28 |
| 1-4 実際の損傷 | 30 |
| 2. 開発する伸縮装置 | 33 |
| 2-1 開発の背景 | 33 |
| 2-2 伸縮装置の構造 | 33 |
| 2-3 伸縮装置の検討 | 40 |
| 3. まとめ | 45 |
| 第4章 試作品の製作および今後の課題 | |
| 1. 試作品の製作 | 46 |
| 2. 今後の課題 | 46 |
| 参考文献 | 51 |
| 参考資料（構造計算書・設計図面） | 52 |

第1章 序論

1. 研究の目的

本研究では、橋梁の伸縮装置の漏水に起因する損傷等に着目し、足場等の仮設構造物を極力必要とせず、橋面上からメンテナンスを行うことができる新たな伸縮装置を開発することを目的とする。

全国には70万を超える橋梁が整備されているが、現時点で建設後50年を経過した橋は約20%の14万橋に達し、10年後には約50%、20年後には約70%に達する見込みであり、老朽橋は増加する一方である。県内の橋梁も同様であり、県が管理する約2,400橋についても老朽化が著しく、車両の大型化や交通量の増大による疲労損傷や塩害、中性化による劣化等、様々な要因で健全性が低下してきている。

このような状況を踏まえ、近年は公共事業による社会インフラの老朽化対策工事が進められているが、特に橋梁に関しては構造が複雑であるとともに部材数も非常に多く、難易性も高いことから、施設を管理する自治体もその対応に苦慮しているところである。

橋梁の老朽化対策については、対象となる施設のどの部位から補修するか、どのような補修方法にするか等、適切な時期に適切な内容で対策を行うことが重要であり、それが適切でない場合は比較的短期間のうちに再度補修を要するケースが発生することも珍しくない。

そこで、我々は橋梁の損傷原因のひとつである伸縮装置からの漏水に着目した。伸縮装置が老朽化または損傷した場合、橋面からの雨水やゴミの侵入の他、凍結防止剤散布に伴う塩化物も進入することとなり、橋桁端部や支承部周辺の滞水、土砂・ゴミの堆積等とあわせ、よく見受けられる損傷形態を示す。本来、橋桁端部や支承周辺に水がかからないよう、伸縮装置内の止水ゴムやバックアップ材等の止水構造部がその機能を果たしているが、これらの止水構造部の経年劣化等によりその機能が低下し、構造的な都合で伸縮装置全体を更新しているのが現状である。伸縮装置全体を更新するのは多額の費用を要するだけでなく、健全な部分も更新することになるとともに、工事期間も長くなるため一定期間の通行規制も必須となる。

これまで、福井県をはじめ県内自治体では、いくつもの伸縮装置の更新工事が行われてきたが、限られたメーカーによる受注製作でしか伸縮装置を手配できない状況や、止水機能部の多くは橋面下からアプローチせざるを得ない構造的制約を鑑みて、福井県独自の伸縮装置を開発したいと考えている。求める仕様としては、止水機能部のみの更新や補修が容易となるよう橋面上から工事ができる構造とする。このような構造の伸縮装置を開発しているメーカーは稀有であるとともに装置本体価格が非常に高額であるとともに、適用可能となる桁遊間も大きく、全国の橋梁に多い遊間に適していない等を踏まえると、開発後は全国展開も期待できる可能性を秘めており、本研究によって更なる県内産業技

術の高度化に繋がるものと確信している。

本研究課題は研究シーズを有する高専（学）、技術力を持つ企業（産）、構造物を管理する福井県（官）が協力して初めて形を成すものであり、産官学の協力体制が整っていることで効率的な研究を実施することができる。

以上、本研究では産官学が連携してメンテナンスに優れた橋梁伸縮装置の開発を試みる。

2. 研究の内容および期間

2-1 研究の内容

本研究では、橋梁の構造特性を満足することはもとより、橋梁上の除雪作業にも配慮した強度、形状を有するものとし、短時間での施工が可能となる構造とする。橋長に応じた桁遊間が構造計算に影響するとともに、止水機能の形状にも影響するため、県内の橋梁に多い橋長を考慮した設計とする。橋種にはコンクリート橋と鋼橋の2種類が考えられるが、どちらにも適用できる構造とし、施工後のメンテナンス性を最大限に考慮した橋面上から止水機能部にアプローチできるよう、伸縮装置上面の構造は分解可能な構造とする。

試作品を複数作製し、伸縮装置全体の施工性、止水機能の交換性、一般的な耐久性等について試験橋梁にて確認を行うとともに、並行して必要な各種試験を行い、最終検証を行う。以下に実施内容を列挙する。

- ①資料収集・材料選定：既往メーカーの伸縮装置の仕様や形状、材質を整理する。また、県管理橋梁をある一定の橋長毎に分類することで桁遊間を分析する。分析結果に基づき適用範囲が一番多い桁遊間に適した材質を選定し、構造的工夫をもって全橋梁に適用を図る。
- ②概略形状・構造計算：メンテナンスに重点を置いた施工性に優れた概略形状を検討するとともに、部材の分割やボルト固定等に配慮して概略の構造設計を行う。
- ③止水機能部の形状・材料選定：上記②の概略形状に応じた止水機能部の形状を決定する。また、劣化・損傷が顕著に表れる部位であるため、更新や補修の容易さに重点を置いた材料ならびに固定方法を決定する。なお、選定した材料の強度および耐久性について必要な試験にて確認する。
- ④仕様および構造設計の決定：上記①から③の内容を整理し、実際に作製する伸縮装置の仕様および構造計算を確定し、試作品を複数製作する。

図-1 に橋梁の損傷状況の例、図-2 に本研究において開発を目指す伸縮装置の概要を示す。

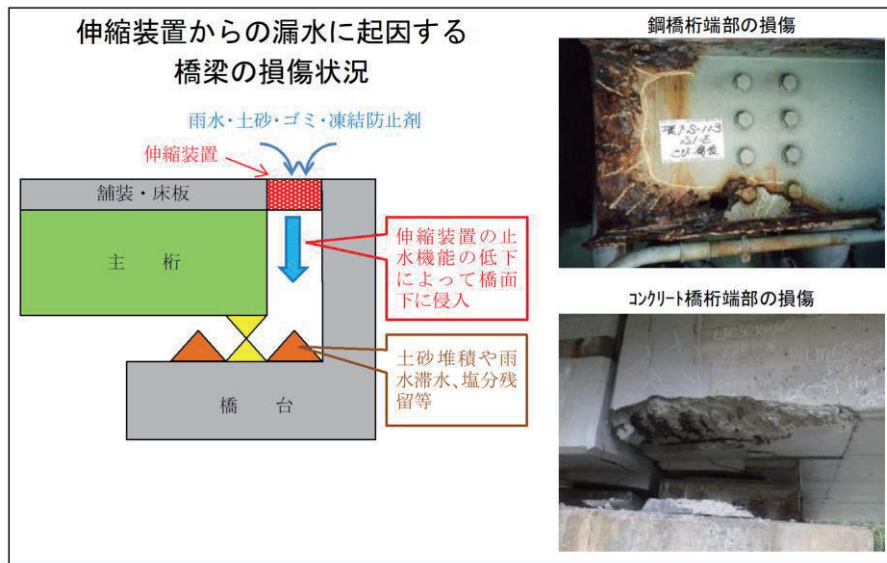


図-1 橋梁の損傷状況の例

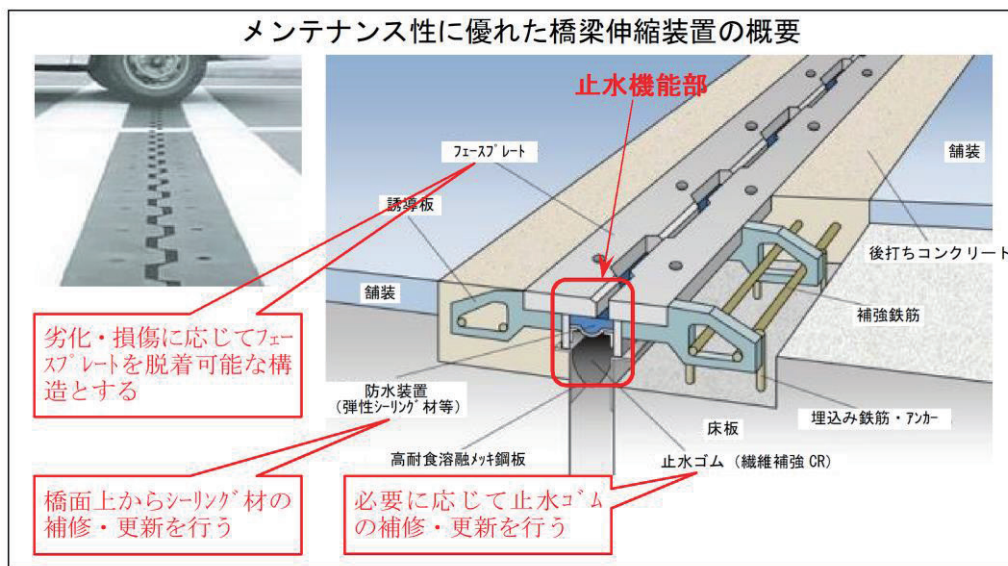


図-2 開発を目指す伸縮装置の概要

2-2 研究の期間

平成 31 年 2 月 1 日～令和 2 年 6 月 30 日

3. 研究開発の体制

| 区分 | 所属・職名 | 氏名 |
|----|----------------------------|--------|
| 産 | 日光産業株式会社 相談役 | 古木 敬三 |
| | 日光産業株式会社 営業部技術・設計部長 | 兼上 智博 |
| | 日光産業株式会社 道路保全管理部本部長 | 青山 雅俊 |
| | 日光産業株式会社 道路保全管理部課長 | 増永 知明 |
| | 日光産業株式会社 積算部長 | 木村 和則 |
| 学 | 福井工業高等専門学校環境都市工学科 教授 | 阿部 孝弘 |
| | 福井工業高等専門学校環境都市工学科 阿部研究室 | 井山 棕香 |
| | 福井工業高等専門学校環境都市工学科 阿部研究室 | 村上 ななこ |
| | 福井工業高等専門学校環境都市工学科 阿部研究室 | 岩崎 晟也 |
| | 福井工業高等専門学校環境都市工学科 阿部研究室 | 金粕 武都 |
| 官 | 福井県土木部道路保全課道路維持補修グループ 主任 | 三田村 敏彦 |
| | 福井県土木部道路保全課道路維持補修グループ 主任 | 竹山 清隆 |
| | 福井県福井土木事務所道路第一課 課長 | 山田 嘉晴 |
| | 福井県福井土木事務所道路第一課北部グループ 主任 | 平井 勝治 |
| | 福井県福井土木事務所道路第一課北部グループ 企画主査 | 小西 隆寛 |
| | 福井県工業技術センター建設技術研究部 主任研究員 | 三田村 文寛 |
| | 福井県工業技術センター建設技術研究部 主任研究員 | 林 泰正 |

※所属・職名は研究開始時点（平成31年2月）のものである。

第2章 福井県管轄診断結果から見た橋梁伸縮装置の劣化現状

1. はじめに

福井県管轄橋梁の一覧及びその診断結果から、橋梁を構成する各部材の健全性をまとめ考察し、その成果によって福井県管轄橋梁の維持管理・メンテナンス作業の効率化に寄与することを目的とする。

橋梁の老朽化対策については、対象となる施設をどの部位から補修するか、どのような補修方法にするか等、適切な時期に適切な内容で対策を行うことが重要であり、それが適切でない場合は比較的短期間のうちに再度補修を要するケースが発生することも珍しくない。

2012年山梨県の中央自動車道笹子トンネルで天井板崩落事故が発生した。トンネルの天井が138mにも渡り崩れ落ち、走行中の車複数台が巻き込まれて9名が死亡した重大事故であった。この事故の原因の大部分にあるのは、トンネルの老朽化と不十分な点検にあったと言われている。これを背景として、国土交通省は2014年7月1日から、トンネルや2m以上の道路橋などに対する近接目視による点検を義務付けた。国土交通省 道路局 国道・技術課によると、「定期点検は、供用開始後2年以内に初回を行い、2回目以降は、5年に1回の頻度で行うことを基本とする」¹⁾と定められており、福井県でもこの規定に基づいた周期で橋梁を構成する各部材毎の調査・点検がなされている。しかし、その点検から得られた結果は、傾向分析や考察が十分に行われておらず、単なるデータベースとしてとどまっているのが現状である。

そこで我々は、この点検データを使用し、福井県管轄橋梁の診断結果をもとに、県管轄橋梁の現状及び今後の橋梁点検、補修、維持管理における課題を明らかにし、メンテナンスにかかる費用、時間などに対して作業の効率化を図ることができるような調査を試みる。

調査には、福井県で2014年から開始された点検データを使用し、2018年度末時点でのデータを用いることとする。福井県土木部から提供されたデータは、Excelファイル「橋梁諸元」、「県様式_部材毎健全度」、「県橋梁台帳」とPDFファイル「交通量図」の四つである。Excelデータはすべて、KIDという橋梁別に定められたIDによって識別され管理されている。「橋梁諸元」には、橋梁名や架設地、架設年度、橋種といった基本的な情報が、「県様式_部材毎健全度」には、点検日、点検した部材名、変状タイプ、健全度など橋梁を点検した結果が部材ごとに記されている。「県橋梁台帳」には橋梁の座標、所在地、路線名、補修履歴など橋梁の基本的な情報と補修・補強の内容が記されている。PDFファイルには、県内の道路の交通量が地図上に記載されている。

本章は、「1.」で研究の背景・目的、「2.」で福井県管轄橋梁の実態、「3.」で伸縮装置の現状をそれぞれ明らかにし、「4.」で補修履歴、交通量、支承・主桁、土木事務所に分けて調査し関連を考察する構成とする。

2. 福井県管轄橋梁の実態

2-1 架設年度

はじめに、福井県管轄橋梁の実態を調査した。「橋梁諸元」より、福井県が管轄する橋梁は全部で 2351 橋であった。

まず、「橋梁諸元」をもとに福井県管轄橋梁の架設年度を求めた。架設年度と橋梁数の関係を図 1 に示す。

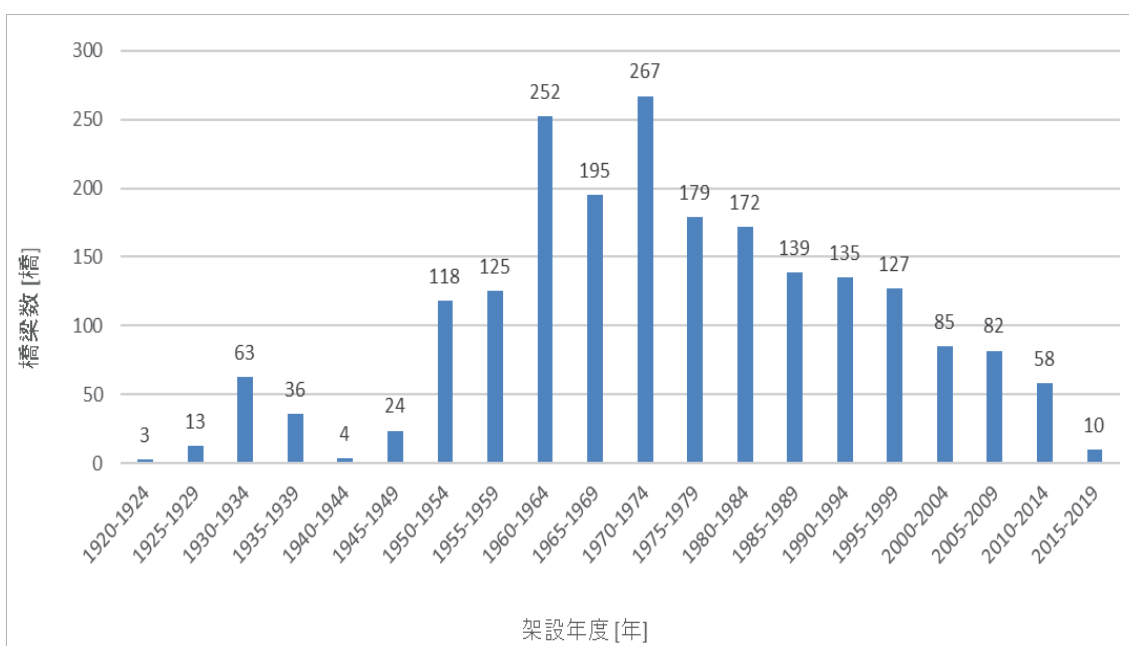


図 1 福井県管轄橋梁の架設年度

図 1 より、福井県管轄橋梁 2351 橋の架設年度は、1950 年代頃から徐々に増え始め、1960 年から 1970 年代でピークを迎えていると分かる。その後は 2019 年現在まで減少傾向にあった。1955 年から 1973 年は高度経済成長期による好景気であったため橋梁の施工が大量に行われたので、1970 年代に施工された橋梁数が最も多くなったと考えられる。

また、建設後 50 年を経過している橋梁は、833 橋であり、10 年後には 1279 橋 (54.4%) が建設後 50 年を経過することになると分かった。

2-2 橋種

次に、福井県管轄橋梁 2351 橋の橋種を求めた。橋種を求める際に用いたデータは「橋梁諸元」である。橋種と橋梁数の関係を図 2 に示す。

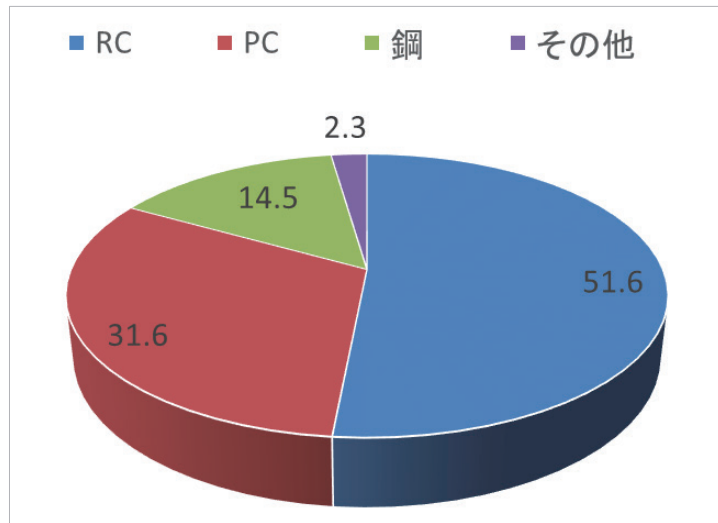


図 2 福井県管轄橋梁の橋種の内訳

図 2 より、福井県管轄橋梁 2351 橋の橋種は、RC 橋 (51.6%)、PC 橋 (31.6%)、鋼橋 (14.5%) の順で多く、RC 橋が約半数を占めていると分かる。RC 橋のうちの多くは橋長が短く、伸縮装置の入っていないボックスカルバートであると考えられる。

2-3 橋長

次に、福井県管轄橋梁 2351 橋の橋長を求めた。橋長を求める際に用いたデータは「橋梁諸元」である。橋長と橋梁数の関係を図 3 に示す。

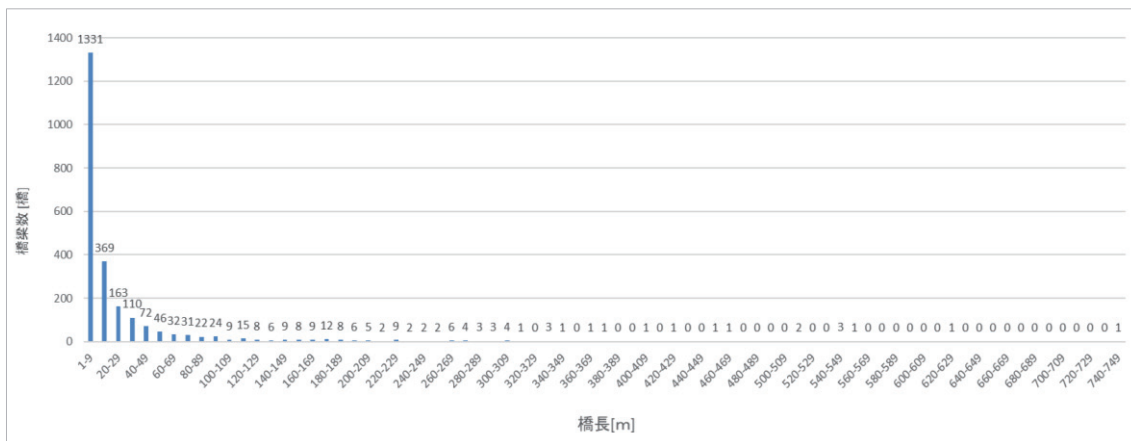


図 3 福井県管轄橋梁の橋長

図 3 より、福井県管轄橋梁 2351 橋は 1 から 9m の橋長が最も多く、1331 橋 (56.6%) である。最大は 743m であった。10 から 19m の橋数は 369 橋、20 から 29m の橋数 163 橋と減少している。

2-4 幅員

次に、福井県管轄橋梁の幅員を調べた。幅員を求める際に用いたデータは「橋梁諸元」である。幅員と橋梁数の関係を図4に示す。

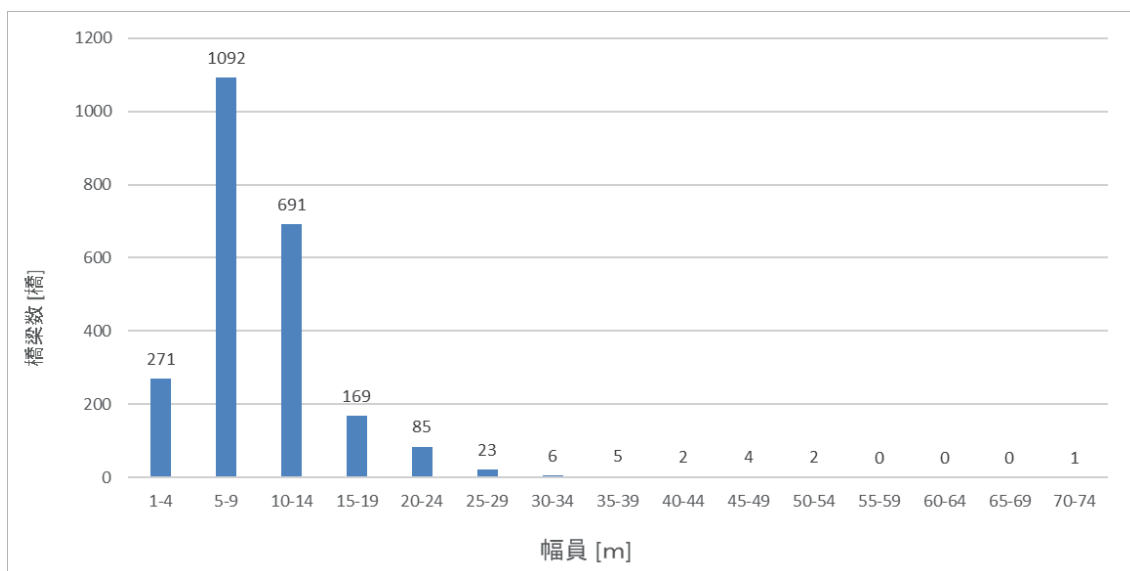


図4 福井県管轄橋梁の幅員

図4より、福井県管轄橋梁2351橋は幅員が5から9mのものが最も多くなっており、1092橋（46.4%）であった。また、福井県管轄橋梁の幅員の最大は70.05mであった。

3. 伸縮装置の現状

3-1 判定区分

橋梁診断結果は、「県様式_部材毎健全度」に健全度で表されている。健全度とは「構造物の機能に支障が生じる変状であるかどうかを評価する」²⁾ 指標である。健全度は表 1 のように 4 つの区分に分かれている。判定区分は国土交通省道路局の道路橋定期点検要領に定められている。

表 1 判定区分

| 区分 | | 状態 |
|-----|--------|--|
| I | 健全 | 構造物の機能に支障が生じていない状態。 |
| II | 予防保全段階 | 構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。 |
| III | 早期措置段階 | 構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。 |
| IV | 緊急措置段階 | 構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。 |

3-2 現状

伸縮装置に焦点を当て、伸縮装置の劣化傾向や橋梁と伸縮装置の関係の調査を行った。伸縮装置とは、「橋梁の路面端部に設置されるもので、気温の変化による橋梁の伸縮、地震時および車両の通行にともなう橋梁の変形を吸収し、自動車や人が支障なく通行できるようにするもの」³⁾ である。伸縮装置は橋梁の路面端部にあるため劣化しやすく、補修・補強の最初の対象となることが多い。

3-2-1 伸縮装置健全度

まず、福井県管轄橋梁の伸縮装置の健全度 I、健全度 II、健全度 III の橋梁数を求めた。橋梁数を調べる際に用いたデータは「橋梁諸元」、「県様式_部材毎健全度」の二つである。その結果、福井県管轄橋梁のうち、伸縮装置健全度 I の橋梁は 1751 橋、伸縮装置健全度 II の橋梁は 493 橋、伸縮装置健全度 III の橋梁は 104 橋であった。図 5 にこれらの比率を示す。

図 5 より伸縮装置健全度 I の橋梁の割合は 74.6%、伸縮装置健全度 II の橋梁の割合は 21%、伸縮装置健全度 III の橋梁の割合は 4.4% である。75% の橋梁の伸縮装置は健全であるが、残りの 25% の伸縮装置は損傷しているため保全措置または早期措置が必要である。

これ以降では、早期措置が必要な伸縮装置健全度 III である 104 橋に着目し、現状を示す。

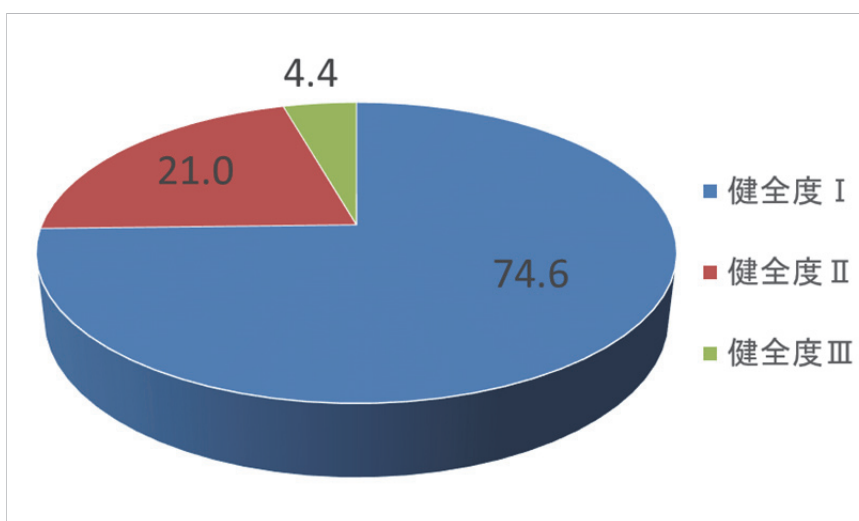


図5 福井県管轄橋梁の伸縮装置健全度内訳

3-2-2 架設場所

伸縮装置健全度Ⅲの橋梁 104 橋を福井県の地図上にプロットしたものが図6である。作成には、「橋梁諸元」,「県様式_部材毎健全度」とフリーGISソフト「QGIS」を使用した。

QGISとは、「誰でも自由に、無償で使えるオープンソースのデスクトップGISソフト」⁴⁾である。

「橋梁諸元」より伸縮装置健全度Ⅲである104橋の緯度経度を参照し、QGISに入力する方法で地図を作成した。

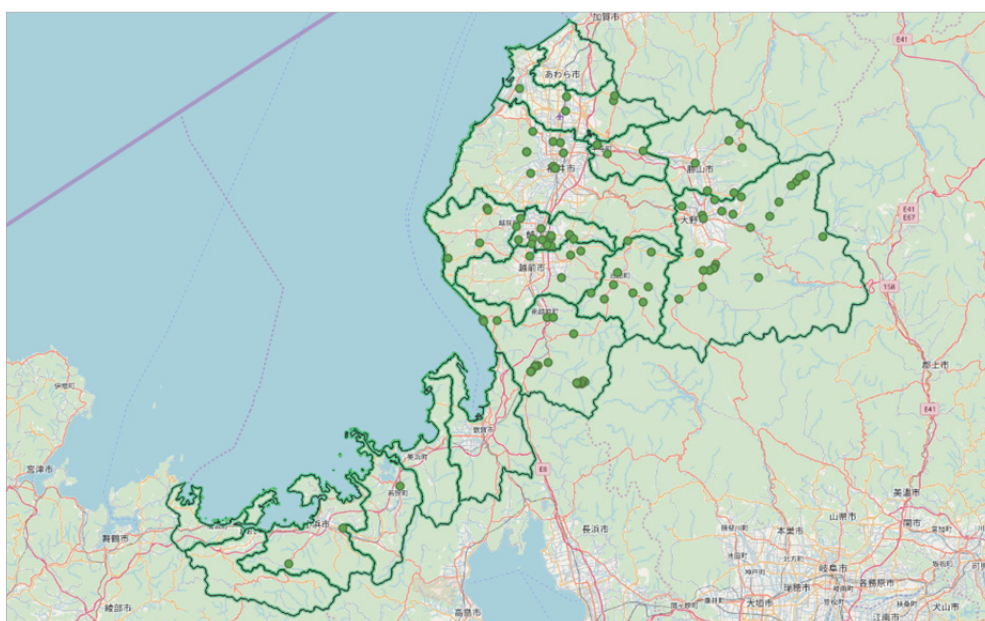


図6 伸縮装置健全度Ⅲの橋梁の分布

図 6 より,主に伸縮装置の劣化は嶺北地方に集中しており,嶺南地方の伸縮装置健全度Ⅲの橋梁は3橋のみだった.嶺南地方は伸縮装置が傷んでいる橋梁は少ない.

3-2-3 架設年度

伸縮装置健全度Ⅲの架設年度における橋梁数を図 7 に示す.架設年度を求める際に用いたデータは「橋梁諸元」である.

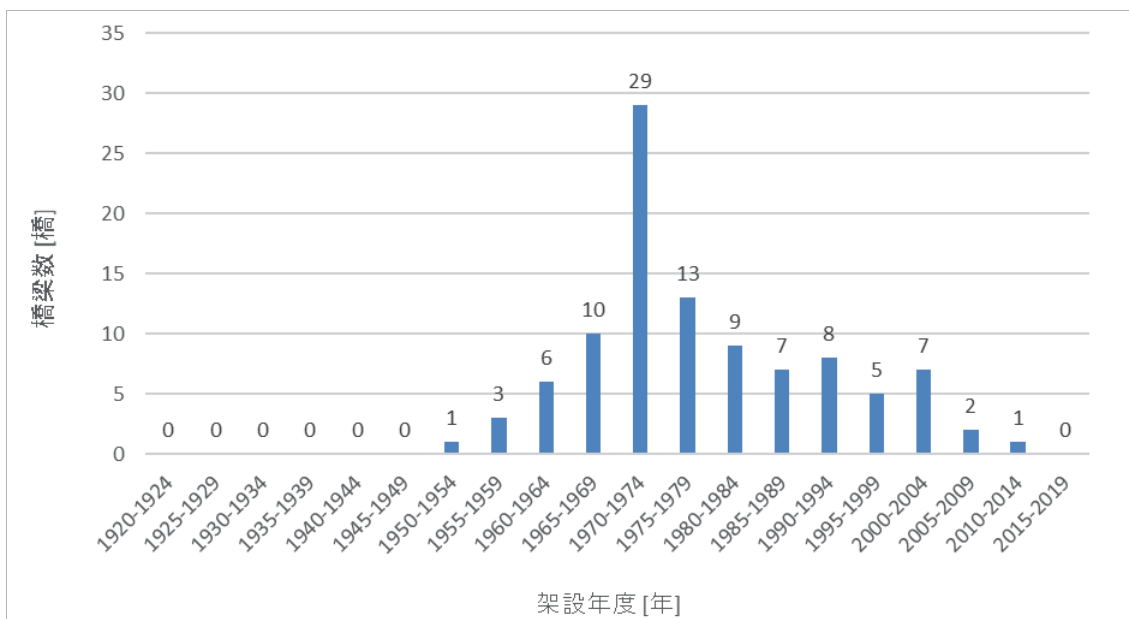


図 7 伸縮装置健全度Ⅲの橋梁の架設年度

図 7 より,伸縮装置健全度Ⅲの橋梁は1970年から1974年代に架設されたものが突出して多くなっている.また,1920年から1940年代に架設された古い橋梁はなかった.

図 1 と比べると,架設年度が1920年から1940年代の橋数が減少していることが分かる.これは経年劣化によって傷んだ橋梁を古いものから順に補修していつているのではないかと考える.また,架設年度が1990年代以降の比較的新しい橋梁でも,伸縮装置健全度Ⅲのものが23橋あった.

3-2-4 橋種

伸縮装置健全度Ⅲの橋梁の橋種の内訳を図 8 に示す.橋種を調べる際に用いたデータは「橋梁諸元」である.

伸縮装置健全度Ⅲ104橋の橋種は,鋼橋(46.2%),PC橋(32.1%)RC橋(14.2%)の順で多く,鋼橋の割合が最も高い.このことから,福井県内で伸縮装置の劣化が最も多くみられる橋種は鋼橋であるといえる.

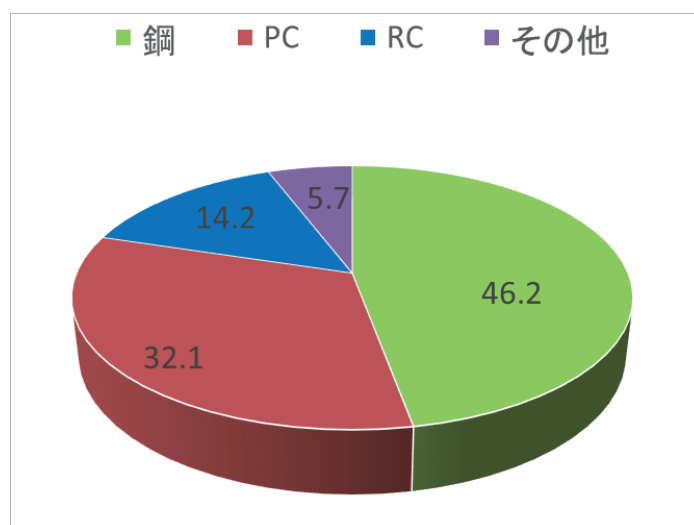


図 8 伸縮装置健全度Ⅲの橋種の内訳

3-2-5 橋長

伸縮装置健全度Ⅲ104 橋の橋長を図 9 に示す。橋長を調べる際に用いたデータは「橋梁諸元」である。

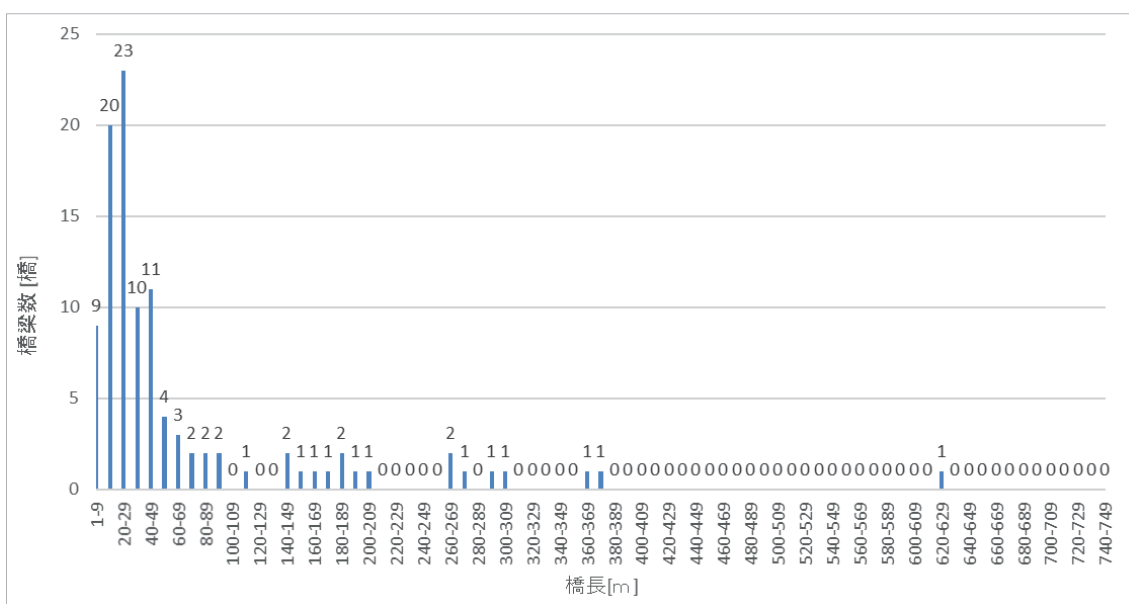


図 9 伸縮装置健全度Ⅲの橋梁の橋長

図 3 より、福井県管轄橋梁 2351 橋は 1 から 9m の橋長が最も多くなっている。しかし図 9 より、伸縮装置健全度Ⅲの橋梁は 10 から 29m の橋長のものが多いと分かる。これは 1 から 9m の範囲は橋長が短いため伸縮装置が入ってないものの割合が多いからではないかと考える。

3-2-6 幅員

伸縮装置健全度Ⅲ104橋の幅員と橋梁数の関係を図10に示す。幅員を調べる際に用いたデータは「橋梁諸元」である。

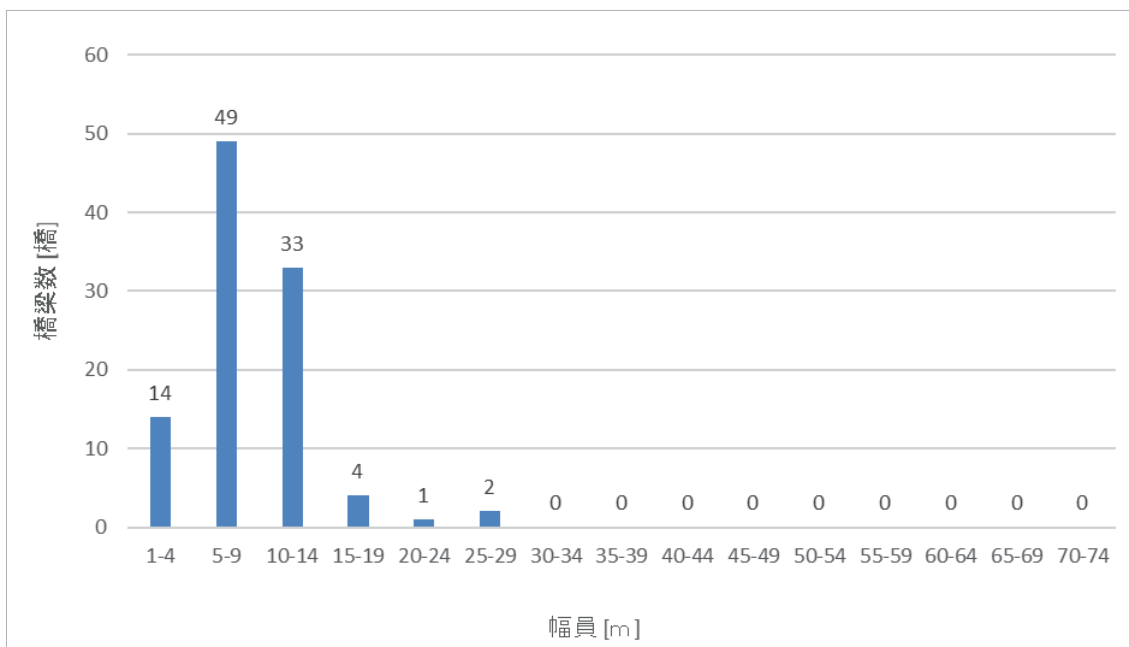


図10 伸縮装置健全度Ⅲの幅員

伸縮装置健全度Ⅲの橋梁も図4と同様に5から9mの幅員のものが多くあったが、幅員が大きい橋梁は見られなかった。これは、幅員が大きい道路は交通量の多い主要幹線道路であるため、優先的に補修が入っていると考えられる。

3-2-7 変状タイプ

伸縮装置の損傷原因を調査するため、伸縮装置健全度Ⅲの104橋の変状タイプを求めた。その結果を図11に示す。変状タイプを求めるのに用いたデータは「県様式_部材毎健全度」である。

伸縮装置健全度がⅢの104橋の変状タイプで最も多かったのは、漏水・滞水(75.0%)であり、全体の約4分の3の割合を占めている。続いて、変形・欠損(26.9%)、腐食(10.6%)の順で多くなっていた。

福井県は積雪寒冷地であり、凍結防止剤による伸縮装置の腐食、除雪車通行時の衝撃による伸縮装置の変状・欠損および伸縮装置の損傷部分から発生する漏水・滞水が発生する可能性が高い場所に位置している。よって伸縮装置の損傷しやすい環境に位置しているため、伸縮装置の補修サイクルも短いと予想される。

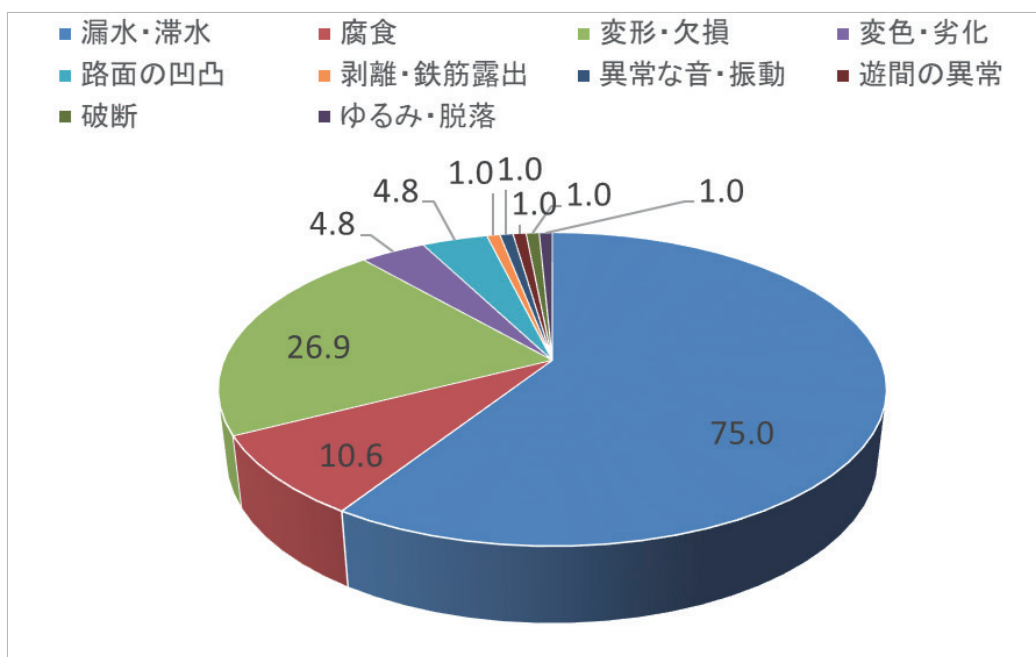


図 11 伸縮装置健全度Ⅲの橋梁の変状タイプの内訳

4. 考察

4-1 補修履歴との関係

はじめに、図5の伸縮装置健全度Ⅰに該当する橋梁の補修履歴の有無と、図7の架設年度1920年から1940年代の橋梁の補修履歴を明らかにするために、伸縮装置健全度Ⅲの橋梁の補修履歴を求めた。「県橋梁台帳」を用いて、伸縮装置に補修補強がなされている橋梁を一覧にした。さらに、伸縮装置健全度Ⅲである橋梁の補修履歴を整理した。

その結果、福井県管轄橋梁全2351橋のうち伸縮装置に補修がなされている橋は126橋であった。この126橋について「県様式_部材毎健全度」から健全度を調べると、伸縮装置健全度Ⅰの橋は65橋（51.6%）、伸縮装置健全度Ⅱの橋は47橋（37.3%）、伸縮装置健全度Ⅲの橋は14橋（11.1%）であることが分かった。以上を図示すると図12のようになる。

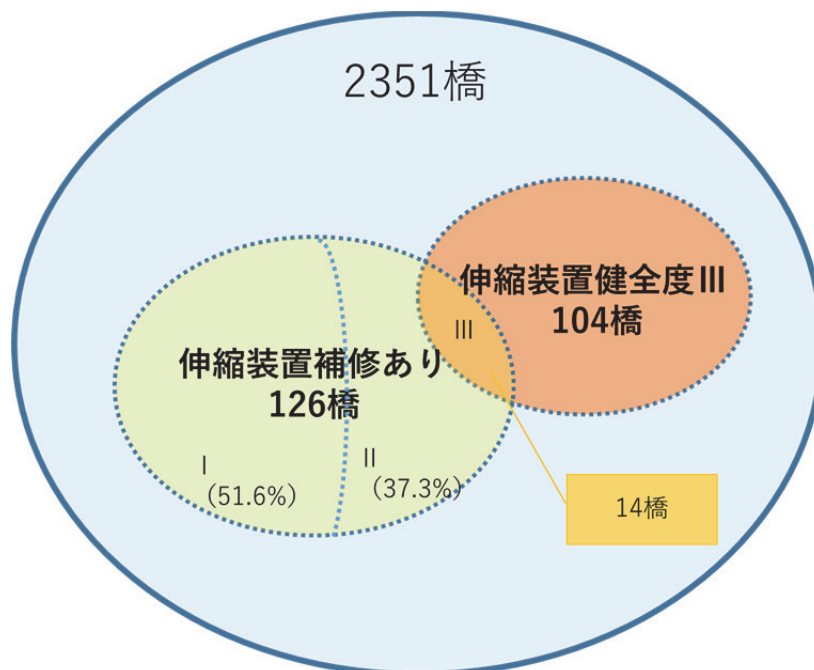


図12 2351橋の内訳

以上により、伸縮装置を補修した橋のうちの約半数が伸縮装置健全度Ⅰの状態であると分かる。

また、伸縮装置健全度Ⅲの104橋のうち、伸縮装置が補修されているものは14橋（13.5%）、されていないものは90橋（86.5%）であった。さらに「県橋梁台帳」より、補修完了年月日を調べると、図12で中央で重なりあっている、伸縮装置補修ありかつ伸縮装置健全度Ⅲの橋梁14橋はすべて2000年以降に補修されているものであることが分かった。よって、伸縮装置健全度Ⅲである104橋のうち14橋は、補修履歴があるのにもか

かわらず、健全度Ⅲと低くなっており、その 14 橋すべてが 2000 年以降に補修されているということになる。以上により、この 14 橋は短いスパンで補修を繰り返していることが分かるため、特に精密に診断する必要があると考える。

4-1-1 伸縮装置健全度 I に該当する橋梁の補修履歴

図 5 の伸縮装置健全度 I に該当する橋梁の補修履歴を求めると、伸縮装置健全度 I である 1751 橋中 65 橋が補修履歴のあるものと分かった。これは全体の約 3.7%である。よって、伸縮装置健全度健全度が I である橋梁のほとんどは、補修がなされているため健全度が高くなっているというよりは、架設時のもとの状態を保っているものが多いという結果となった。

4-1-2 架設年度と補修の関係

3.2.3 に前述したように、図 7 の架設年度 1920 から 1940 年代に伸縮装置健全度がⅢである橋梁が一つも無かったことに着目し、伸縮装置に補修が入っている橋梁の架設年度を求めた。その結果を図 13 に示す。

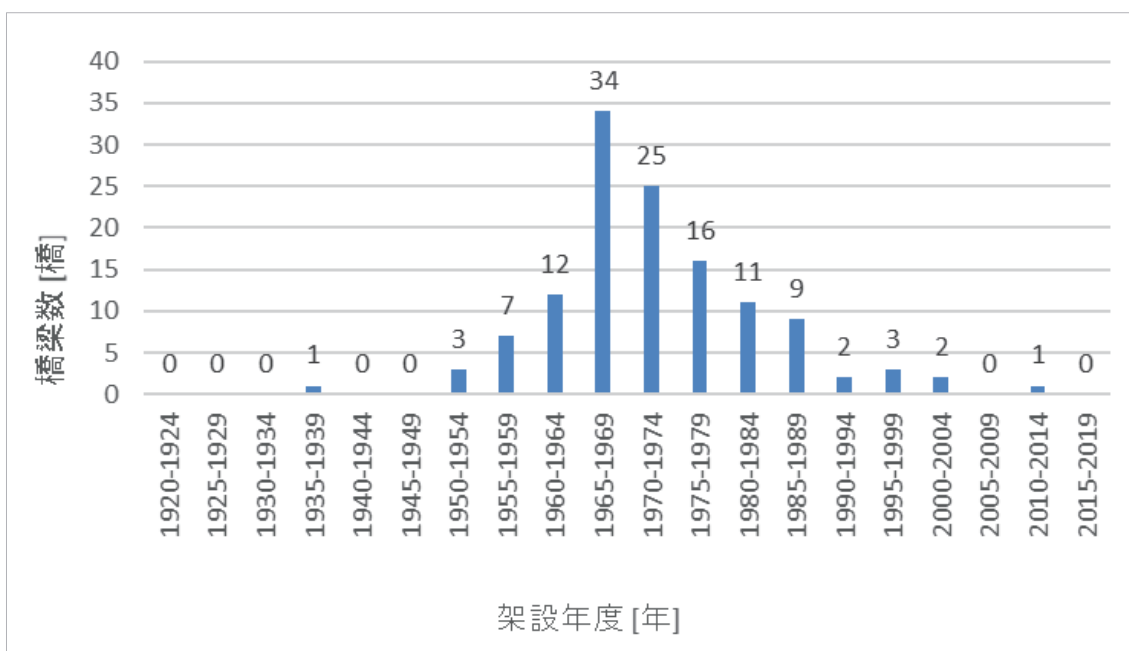


図 13 伸縮装置補修あり橋梁の架設年度

図 13 より、1920 から 1940 年代に架設された古い橋梁に伸縮装置の補修が入っているものは 1 橋のみであり、古い傷んだ橋梁から順に補修していったわけではないということが分かった。よって図 1, 図 7, 図 13 より架設年の古い橋梁の方が伸縮装置の健全度は高いと言えるのではないかと考える。

4-2 交通量との関係

4-2-1 道路の種類

交通量が多いと伸縮装置の損傷が多くなると考え、伸縮装置健全度Ⅲの橋梁に交通量との関係を調査した。「県橋梁台帳」より、伸縮装置健全度Ⅲの104橋の橋梁について、道路種別、道路規格、路線名をまとめ、整理した。その結果を図14、図15、図16に示す。

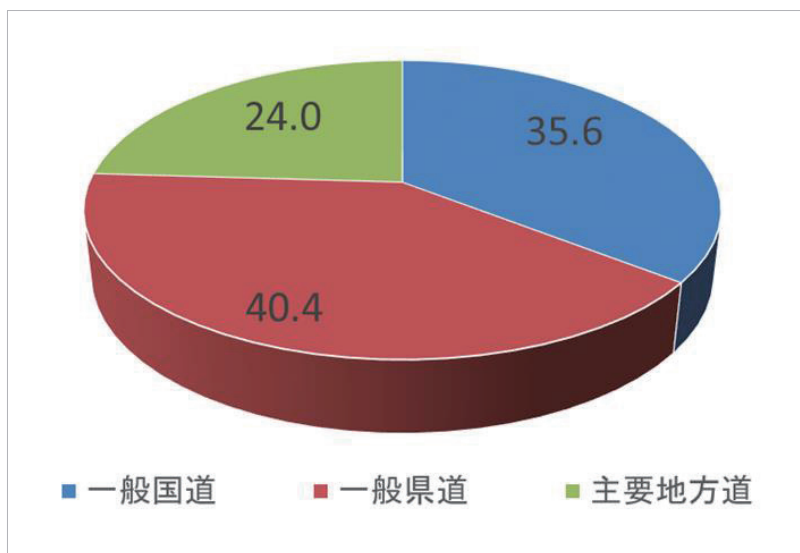


図14 伸縮装置健全度Ⅲ橋梁の道路種別の内訳

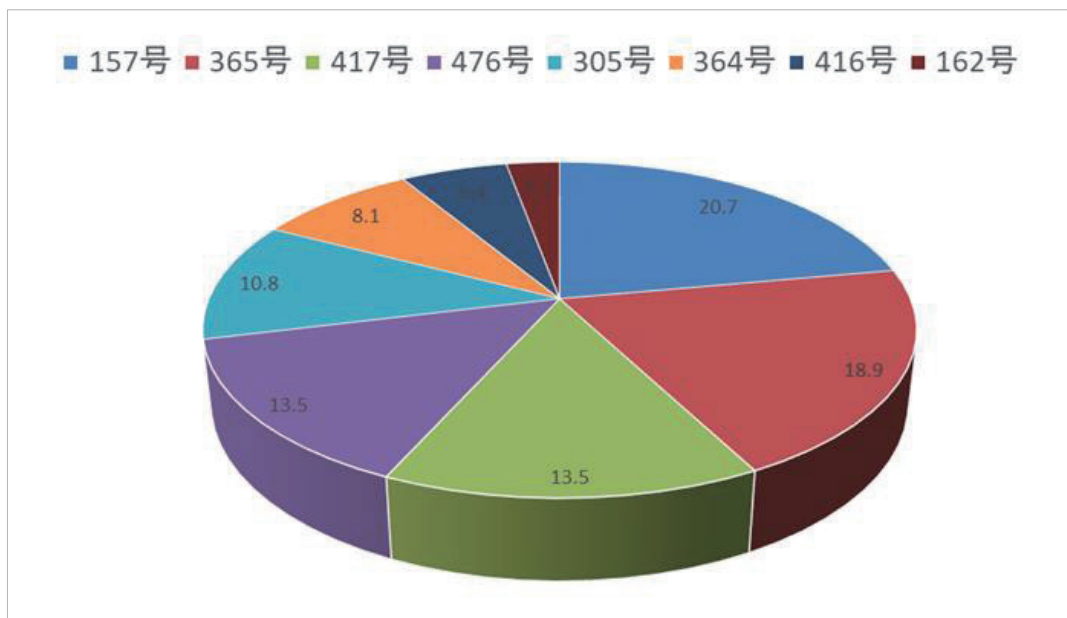


図15 伸縮装置健全度Ⅲ橋梁の路線名の内訳（国道）

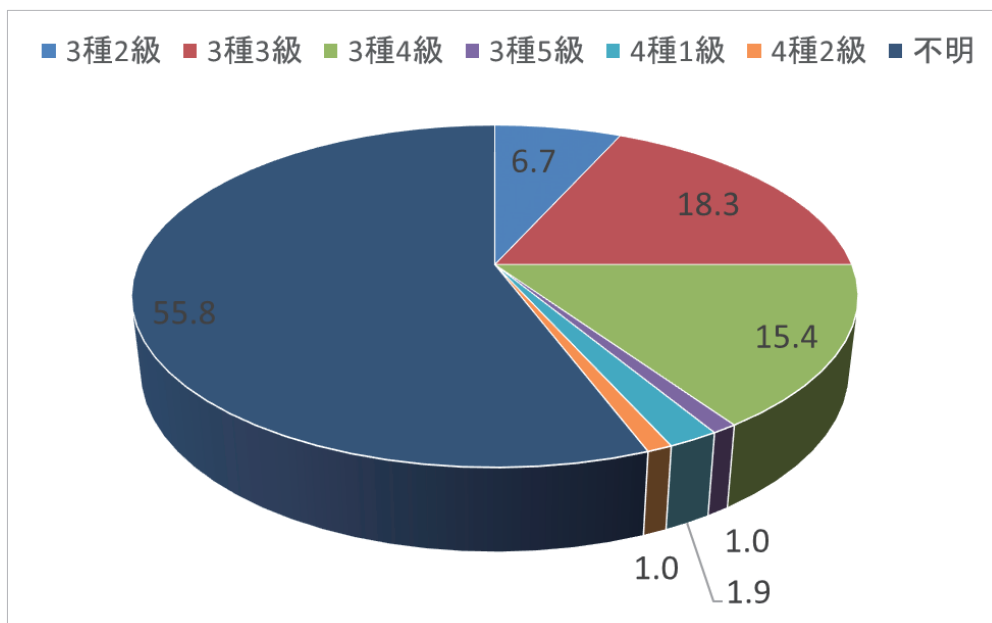


図 16 伸縮装置健全度Ⅲ橋梁の道路規格の内訳

図 14 より、伸縮装置健全度Ⅲの橋梁 104 橋のうち、道路の種別は一般県道が 42 橋 (40.4%)、一般国道が 37 橋 (35.6%)、主要地方道が 25 橋 (24.0%) であった。路線名で言えば、県道では上小池勝原線、広野大門線、図 15 より国道では 157 号、365 号に多くみられた。図 16 より、道路規格の 3 種 3 級、3 種 4 級に該当する橋梁数が多いと分かる。道路構造令第三条第二項等より道路規格について以下のように定められている。「道路規格第 3 種、第 4 種は高速自動車国道及び自動車専用道路以外のその他の道路で、それぞれ地方部にあるものと都市部にあるものを示す。級は道路の種類及び、その道路の計画交通量（単位 1 日につき台）によって定められている。」⁵⁾ここで、道路規格によって計画交通量が定められていることがわかるが、道路規格が不明となっている路線が多くあり、計画交通量を定めることができないため、次章では道路交通センサスのデータを用いて、交通量を明らかにする。

4-2-2 交通量

交通量を明らかにするために、用いたデータは「橋梁諸元」と福井県土木部から提供いただいた「交通量図」の二つである。「橋梁諸元」から伸縮装置健全度Ⅲの橋梁 104 橋の緯度経度を抜き取り、その緯度経度から Google マップで該当する橋梁の架設位置を確認し、交通量図と照らし合わせて各橋梁の平日昼間 12 時間交通量、平日 24 時間交通量をそれぞれまとめた。伸縮装置健全度Ⅲ橋梁の平日昼間 12 時間交通量を図 17 に、平日 24 時間交通量を図 18 に示す。図 17、図 18 の横軸は自動車台数、縦軸は橋梁数として棒グラフを作成した。

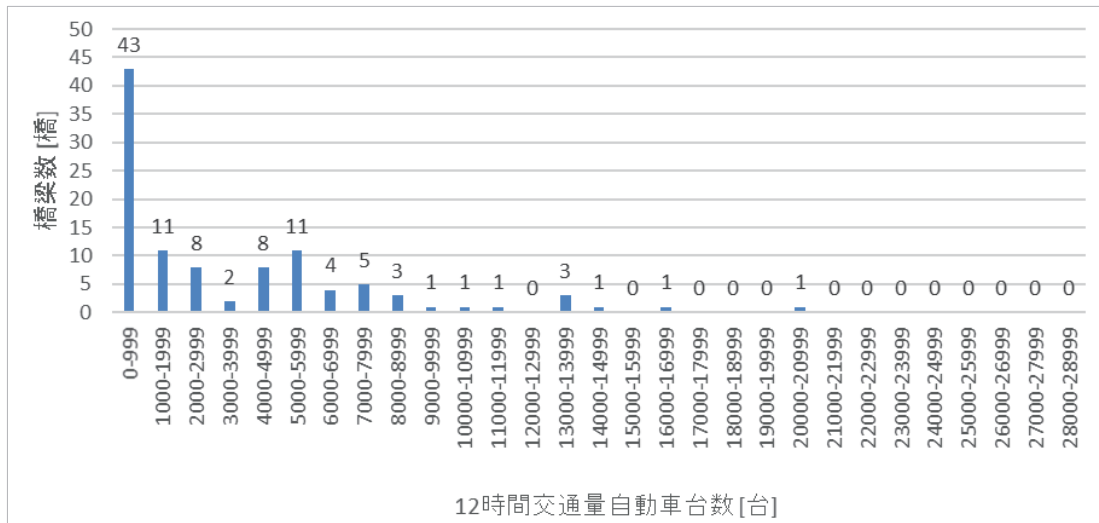


図 17 伸縮装置健全度Ⅲ橋梁の平日昼間 12 時間交通量

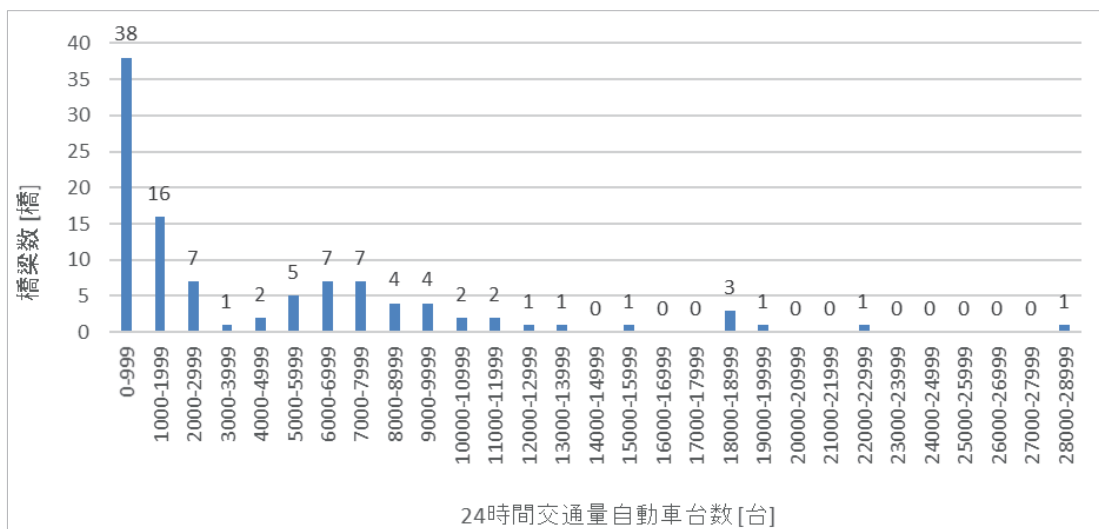


図 18 伸縮装置健全度Ⅲ橋梁の平日 24 時間交通量

図 17, 図 18 より, 伸縮装置健全度Ⅲの 104 橋の平日昼間 12 時間交通量と平日 24 時間交通量は, 2 つとも同様の傾向となっていることが分かる. どちらも, 0 から 999 台が最も多くなっており, 4000 から 8000 台にもわずかに分布している. どちらも交通量が少ない橋梁に劣化が多くみられる. しかし図 17, 図 18 は交通量と劣化した橋梁数の関係のみを反映した図であり, 地理的關係や外的要因が不明である. よって交通量と伸縮装置の劣化は図 17, 図 18 だけでは関係が分からず, 結論づけられないので更なる調査が必要である.

そこで, 交通量と地理的關係を考察するために, 図 18 の伸縮装置健全度Ⅲの橋梁の平日 24 時間交通量を地図上にプロットした. その結果を図 19 に示す.

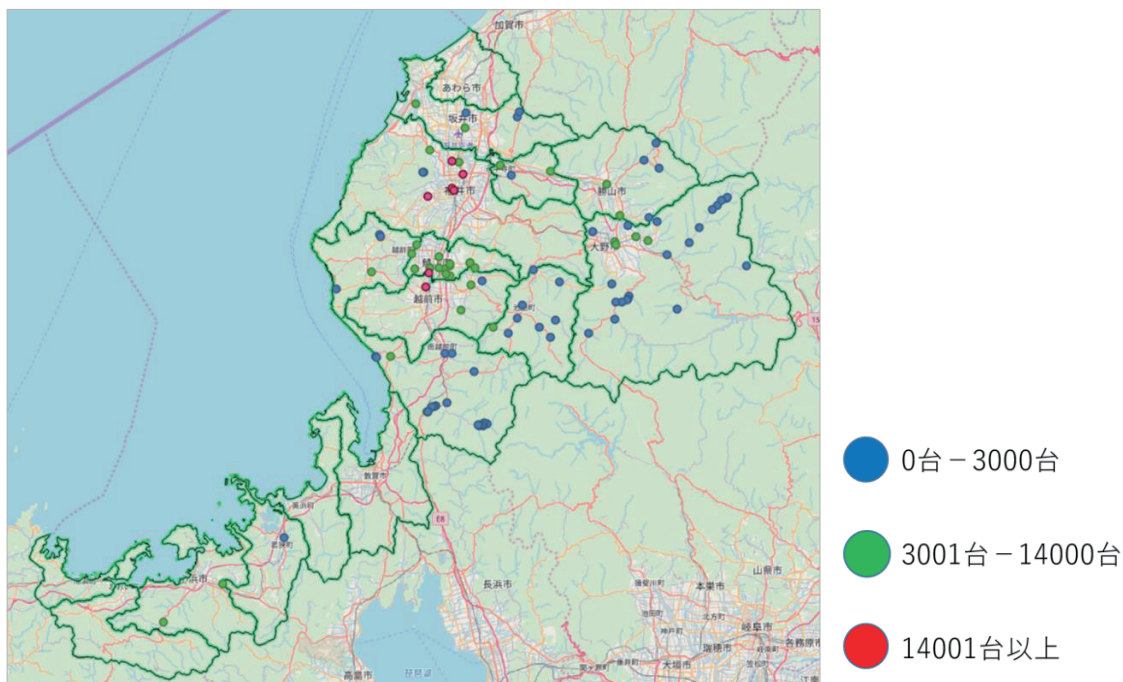


図 19 伸縮装置健全度Ⅲ橋梁の 24 時間交通量の分布

図 19 より、伸縮装置健全度Ⅲの橋梁 104 橋のうち、山間部の幹線道路の交通量は一日に 3000 台以下(青)であり、8 号線などの福井県の中心となる路線の交通量は一日に 14001 台以上(赤)であった。山間部は交通量が少なく、中心部の交通量は多くなっていることが確認できる。また、奥越の幹線道路は交通量がそれほど多くないにもかかわらず、伸縮装置に劣化がみられるのは、積雪による融雪剤や除雪車の影響であると考えられる。

4-3 支承・主桁との関係

支承は伸縮装置の下部にあり、伸縮装置が損傷すると止水機能の低下によって、橋面下に雨水、土砂、凍結防止剤が侵入する影響で損傷する。また、主桁は自重や通行荷重を支えて、その力を下部構造に伝達する構造部材であり、その端部は伸縮装置と隣接しているため、損傷の影響を受ける。よって、伸縮装置の劣化が主要な部材に与える影響を求めため、伸縮装置と支承・主桁との関係を調べた。

4-3-1 支承

支承健全度Ⅲは全部で 71 橋であり、福井県管轄橋梁 2351 橋に占める支承健全度Ⅲ71 橋の割合は 3.0%であった。これは、図 5 の福井県管轄橋梁の伸縮装置健全度Ⅲの橋梁の割合 4.4%とほぼ同じである。

伸縮装置健全度Ⅲの 104 橋に対する支承健全度Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの橋数と割合を表 2 に示す。

表 2 伸縮装置健全度Ⅲと支承健全度

| | 伸縮装置健全度Ⅲ(104橋) | | |
|--------|----------------|--------|--------|
| | 支承健全度Ⅰ | 支承健全度Ⅱ | 支承健全度Ⅲ |
| 橋数 [橋] | 54 | 23 | 27 |
| 割合 [%] | 51.9 | 22.1 | 26.0 |

表2より、伸縮装置健全度Ⅲ104橋に占める支承健全度Ⅲ27橋の割合は26.0%である。つまり伸縮装置健全度Ⅲの104橋のうち26%は伸縮装置と支承どちらも損傷しているということである。したがって、伸縮装置を補修すると、支承まで劣化が及ぶのを防ぐことができるかと予想される。

次に、「橋梁諸元」,「県様式_部材毎健全度」で支承の健全度を調べ、「QGIS」で福井県の地図上に健全度別にプロットした。図20に伸縮装置健全度Ⅲと支承健全度Ⅲ,Ⅱ,Ⅰの橋梁の分布図を示す。

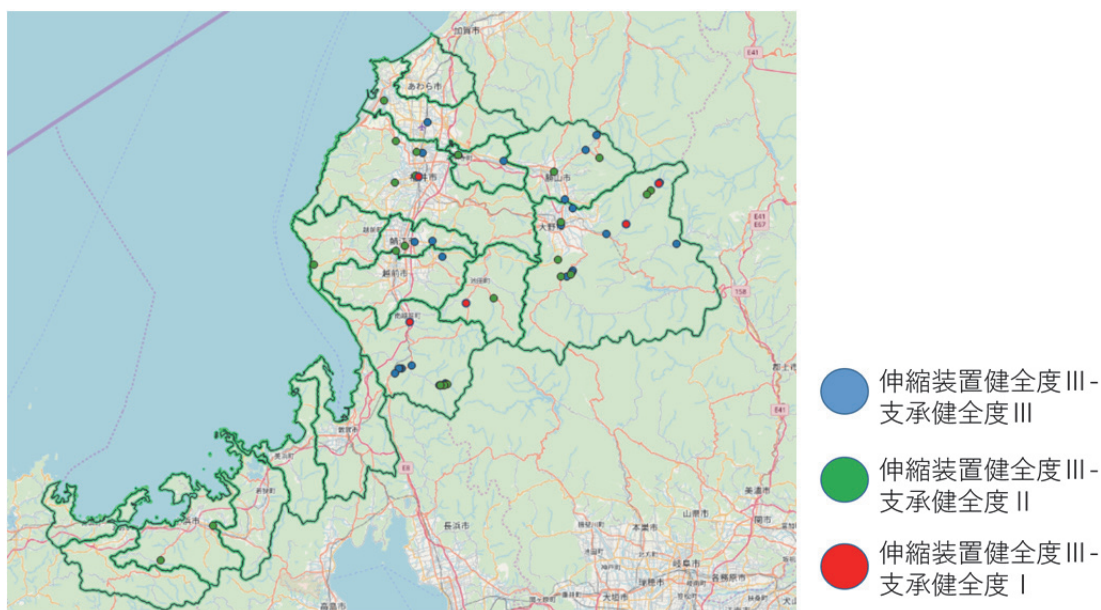


図 20 伸縮装置健全度Ⅲと支承健全度Ⅲ,Ⅱ,Ⅰの橋梁の分布図

図20より伸縮装置健全度Ⅲ,支承健全度Ⅲ(青)の橋梁は海側には全く分布していないことがわかる。これは、海沿いの橋梁の伸縮装置はすでに交換または何らかの補修がされていると考えられる。

また、伸縮装置健全度Ⅲ,支承健全度Ⅲ(青)の橋は交通量の多い大きな道路に分布しており、国道8号などの福井県の中心を通る大きな道路の周辺にも分布している。しかしそれよりも、大野,勝山を抜ける国道157号・158号,南越前町を通る国道365号などの山間部の幹線道路のほうがより多く分布していると分かる。

4-3-2 主桁

主桁健全度Ⅲは全部で 127 橋であり、福井県管轄橋梁 2351 橋に占める主桁健全度Ⅲ127 橋の割合は 5.4%であった。これは、**図 5** の福井県管轄橋梁の伸縮装置健全度Ⅲの橋梁の割合 4.4%、**表 2** の福井県管轄橋梁の支承健全度Ⅲ3.0%とほぼ同じである。

伸縮装置健全度Ⅲの 104 橋に対する主桁健全度Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの橋数と割合を**表 3**に示す。

表 3 伸縮装置健全度Ⅲと主桁健全度

| | 伸縮装置健全度Ⅲ(104橋) | | |
|--------|----------------|--------|--------|
| | 主桁健全度Ⅰ | 主桁健全度Ⅱ | 主桁健全度Ⅲ |
| 橋数 [橋] | 45 | 43 | 16 |
| 割合 [%] | 43.3 | 41.3 | 15.4 |

表 3より、伸縮装置健全度Ⅲ104橋に占める主桁健全度Ⅲ16橋の割合は 15.4%である。これは、先ほどの伸縮装置健全度Ⅲかつ支承健全度Ⅲの割合 26%より少ない。これらのことから、伸縮装置の損傷の影響が主桁まで及ぶことは少ないのではないかと考えられる。もしくは、伸縮装置に隣接していない部分では伸縮装置の損傷の影響を受けないため、割合が低くなったと考える。

次に、**図 21**に伸縮装置健全度Ⅲと主桁健全度Ⅲ、Ⅱ、Ⅰの橋梁の分布図を示す。

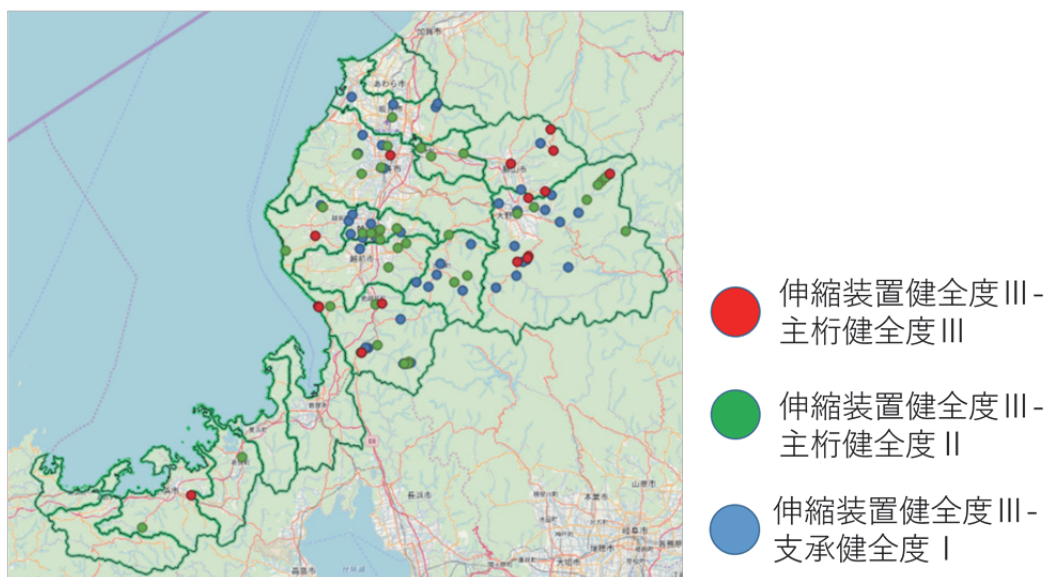


図 21 伸縮装置健全度Ⅲと主桁健全度Ⅲ、Ⅱ、Ⅰの橋梁の分布図

図 21より、伸縮装置健全度Ⅲかつ主桁健全度Ⅲの橋梁は 15 橋でそのうちの 9 橋が奥越の山間部に分布している。また、伸縮装置が損傷・劣化していても、主桁が健全な状態である橋梁は全体として多くあるとわかる。

4-4 土木事務所別の関係

図 6 より、嶺南地方には伸縮装置健全度Ⅲの橋梁は 3 橋のみと非常に少なかった。これは、福井県管轄橋梁の嶺南地方の架設数が関係していると考え、土木事務所別の管轄橋梁数と、伸縮装置健全度Ⅲ、支承健全度Ⅲ、主桁健全度Ⅲの橋梁数の割合を調べた。

土木事務所別の管轄橋梁数を調べる際に用いたデータは「橋梁諸元」、「県様式_部材毎健全度」である。土木事務所別に伸縮装置健全度Ⅲ、支承健全度Ⅲ、主桁健全度Ⅲの橋梁数をまとめたものを表 4、土木事務所別に福井県管轄橋梁に占める各部材健全度Ⅲの割合を表したものが表 5 である。

表 4 土木事務所別の伸縮装置、支承、主桁健全度Ⅲの橋梁数

| 土木事務所名 | 管轄橋梁数 | 伸縮装置健全度Ⅲ橋梁数 | 支承健全度Ⅲ橋梁数 | 主桁健全度Ⅲ橋梁数 |
|--------|-------|-------------|-----------|-----------|
| 奥越 | 454 | 32 | 19 | 18 |
| 鯖江丹生 | 226 | 19 | 2 | 9 |
| 三国 | 241 | 5 | 10 | 16 |
| 小浜 | 352 | 2 | 5 | 12 |
| 丹南 | 409 | 33 | 21 | 19 |
| 敦賀 | 166 | 1 | 3 | 7 |
| 福井 | 503 | 12 | 11 | 46 |
| 合計 | 2351 | 104 | 71 | 127 |

表 5 土木事務所の伸縮装置、支承、主桁健全度Ⅲの割合

| 土木事務所名 | 土木事務所別管轄橋梁数に占める割合 (%) | | |
|--------|-----------------------|--------|--------|
| | 伸縮装置健全度Ⅲ | 支承健全度Ⅲ | 主桁健全度Ⅲ |
| 奥越 | 7.0 | 4.2 | 4.0 |
| 鯖江丹生 | 8.4 | 0.9 | 4.0 |
| 三国 | 2.1 | 4.1 | 6.6 |
| 小浜 | 0.6 | 1.4 | 3.4 |
| 丹南 | 8.1 | 5.1 | 4.6 |
| 敦賀 | 0.6 | 1.8 | 4.2 |
| 福井 | 2.4 | 2.2 | 9.1 |

表 5 より、伸縮装置が損傷している割合が高いのは、鯖江丹生土木事務所と丹南土木事務所である。反対に、嶺南地方の敦賀土木事務所と小浜土木事務所は 0.6%と非常に少なかった。嶺南地方の土木事務所は敦賀土木事務所と小浜土木事務所の二つだけであり、この二つを合わせた管轄橋梁数は表 4 より 518 橋である。これは福井県管轄橋梁全体の 5 分の 1 以上にあたる。このことから、嶺南地方は伸縮装置健全度Ⅲの橋梁が管轄橋梁数に対しても非常に少なく、管轄橋梁が少ないため伸縮装置健全度Ⅲの橋梁が少ないのではないと分かった。

支承が損傷している割合が高いのは、奥越土木事務所と丹南土木事務所である。丹南土木事務所は伸縮装置、支承どちらも損傷の割合が高いことが分かる。反対に、鯖江丹生

土木事務所は、伸縮装置健全度Ⅲの橋梁の割合は高いのに対し、支承健全度Ⅲの橋梁の割合は最も少なくなっているため、現段階で伸縮装置を早期に補修することが、健全な支承を保護・維持することにつながると考える。

主桁が損傷している割合が高いのは、福井土木事務所である。しかし福井土木事務所は、伸縮装置、支承ともに健全度Ⅲの橋梁の割合はそれほど高くない。このことから、主桁の健全度が低くなったのは伸縮装置の影響というよりも、応力による曲げなど他の因子によるものであると考える。

結果として、伸縮装置、支承、主桁の損傷は、主に嶺北地方に集中しており、嶺南地方は比較的少なかった。

5. まとめ

本章は、福井県管轄橋梁の一覧及びその診断結果から、橋梁を構成する部材の健全性をまとめ考察し、その成果によって福井県管轄橋梁の維持管理・メンテナンス作業の効率化を検討する基礎を築くのを目標とした。

本章は、「2.」で福井県管轄橋梁の実態、「3.」で伸縮装置の現状を調査し、「4.」で交通量や地理的關係、他部材との關係を明らかにした。本章のまとめとして、

- (1) 福井県管轄橋梁 2351 橋は、1960 年代から 1970 年代に最も多く架設されており、RC 橋が半数を占めていた。また、橋長は 1 から 9m、幅員は 5 から 9mの橋梁が約半数であり、橋長 100m、幅員 25mを超えるような大きな橋梁は比較的少なかった。
- (2) 福井県管轄橋梁の伸縮装置は健全度Ⅰが 75%、Ⅱが 21%、Ⅲが 4%であった。伸縮装置健全度Ⅲの橋梁 104 橋は鋼橋が多く、橋長は 10 から 29mが多かった。変状タイプは 4分の3が漏水・滞水であった。
- (3) 伸縮装置の補修は、架設年の古いものより、1950 年代以降の橋梁に多かった。
- (4) 伸縮装置健全度Ⅲの橋梁 104 橋のうち 14 橋は補修履歴があるにもかかわらず、健全度がⅢであった。伸縮装置健全度Ⅲの橋梁は交通量の多い県の中心部、または奥越地方の幹線道路に多く分布していた。伸縮装置と支承が損傷している割合は 26%であることから、伸縮装置と支承の劣化の關係は大きく、伸縮装置と主桁が損傷している割合は 15%であることから、伸縮装置と主桁の劣化は關係が低い。伸縮装置、支承、主桁の損傷は、嶺北地方に集中しており、嶺南地方にはあまり見られなかった。

効率化を図るための今後の課題として、

- (1) 伸縮装置以外の部材でも同様の調査をし、福井県管轄橋梁の健全性をまとめる。
- (2) 効率的な橋梁の維持管理のために必要となる、橋梁を構成する各部材における補修サイクルを考える。
- (3) 県が所有する「橋梁諸元」、「県様式_部材毎健全度」、「県橋梁台帳」をさらに分かりやすく 1つのファイルとしてまとめ、誰でも管理・活用することのできるデータにする。

などが考えられる。

第3章 メンテナンスに優れた橋梁伸縮装置の開発

1. 伸縮装置の概要

1-1 役割と性能

伸縮装置とは橋梁の路面端部に設置されるもので、気温の変化による橋梁の伸縮，地震時および車両の通行にともなう橋梁の変形を吸収し，自動車や人が支障なく通行できるようにする装置であり，次の3つの性能を有しなければならない。

- (1) 常時，温度変化時および地震時の橋の変形を吸収し，車両が支障なく走行できるような路面の平坦性が確保できること。
- (2) 設置する道路の性格，橋の形式，橋の重要度，交通量に応じて適切な形式の選定が可能であること。
- (3) 設計においては，活荷重，地震の影響，強度，排水性および水密性，騒音・振動，耐久性などを考慮できること。

1-2 種類

伸縮装置は構造的に，床板遊間部で輪荷重を支持できる荷重支持型，支持しない突合せ型，特殊合材を用いて目地が露出しない埋設型の3種類に分類される．その詳細を図22に示す。

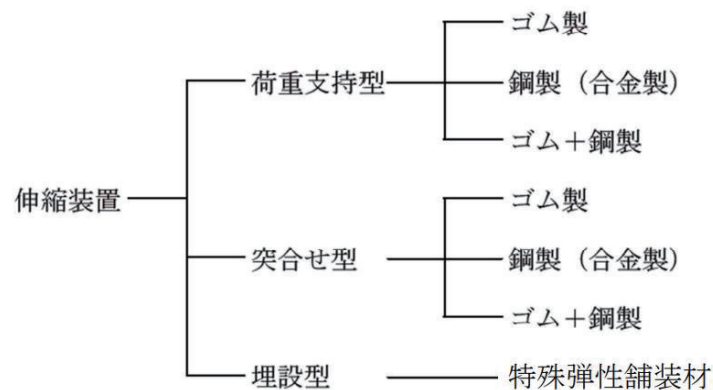


図22 伸縮装置の区分

1-2-1 荷重支持型

荷重支持型の伸縮装置は，図23に示すように床板遊間部で輪荷重を支持できる構造をいう．輪荷重とは自動車の一個の車輪を通じて路面に加わる鉛直荷重である．なお，今回開発する伸縮装置もこれに該当する．主な特徴として，主部材に鋼材が使われ，比較的伸縮量・遊間の大きな橋に使用される．また，耐候性が高く，豪雪地帯の福井県は

除雪車が通る路線が多く除雪誘導版の設置が求められる場合が多い，ということもあり耐久性に優れる荷重支持型が採用される．耐久性，伸縮量・遊間の大きな橋に対応可能ということから，一般的に橋梁には荷重支持型が多く使用されている．

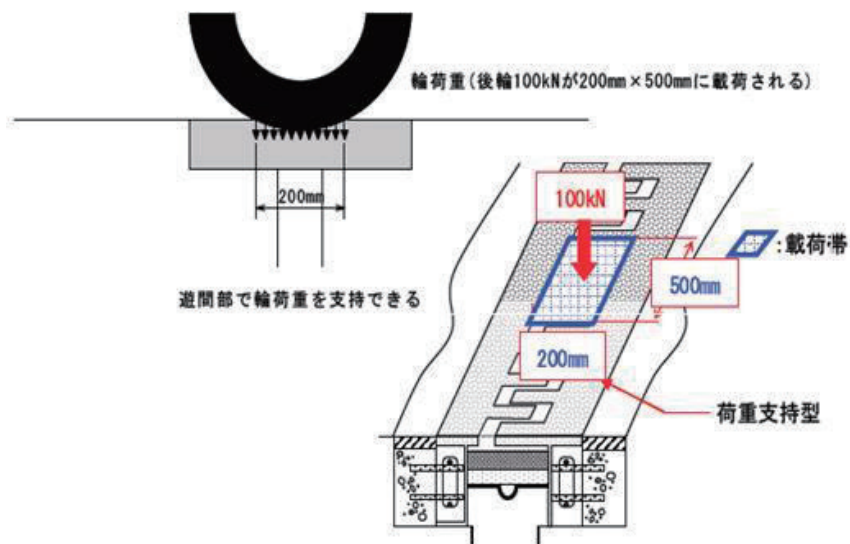


図 23 荷重支持型の伸縮装置

1-2-2 突合せ型

突合せ型の伸縮装置は図 24 に示すように床板遊間部で輪荷重を支持しない構造である．主な特徴として，小さい遊間にしか対応できないが，比較的安価である．このことから，歩道部分の伸縮装置の使用されることが多い．

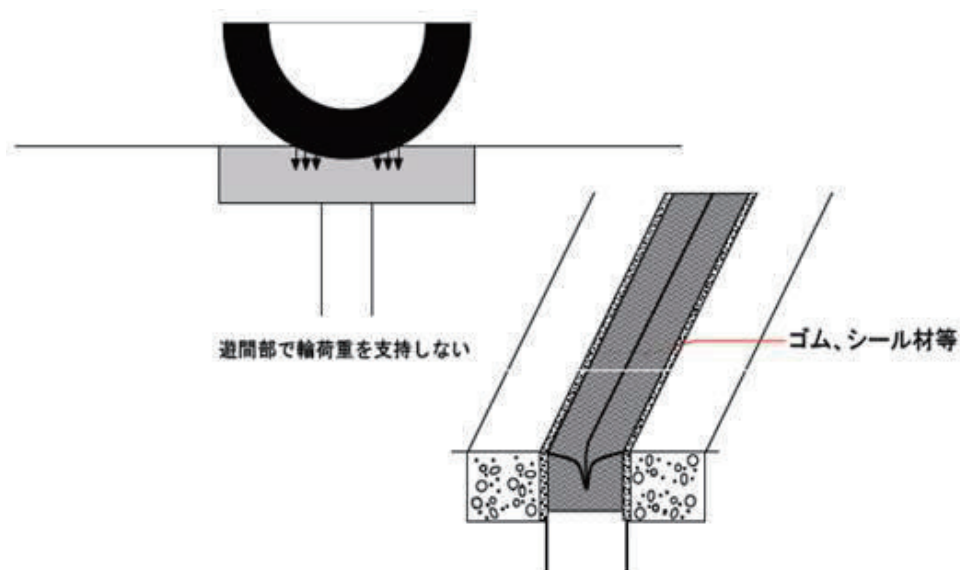


図 24 突合せ型の伸縮装置

1-2-3 埋設型

埋設型の伸縮装置は図 25 に示すように床板遊間部をシール材などで止水処理し，特殊合材を表面に設置あるいは特殊合材を舗装下に設置して，伸縮および変位を吸収・分散することにより路面の連続性を確保する構造である．主な特徴として，主部材にアスファルトに似た弾性合材が使われ，騒音が少ないことから，住宅地などで使われることが多い．また，耐久性に劣り，遊間が大きい橋梁には使用できない．

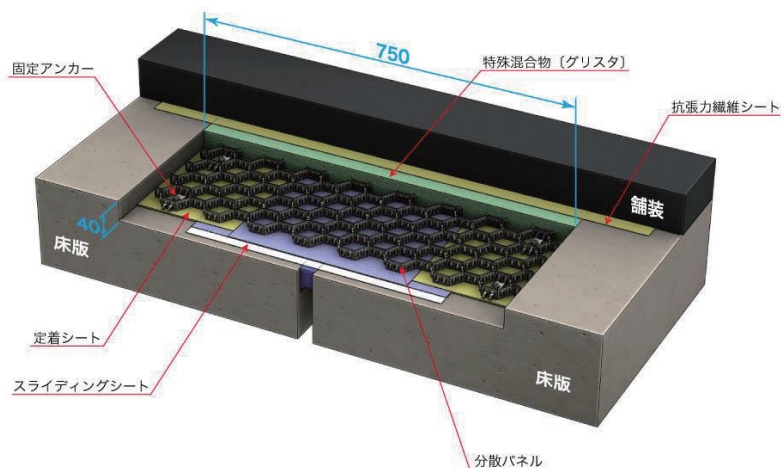


図 25 埋設型の伸縮装置

1-3 損傷の原因

次に，伸縮装置の損傷の原因について述べる．代表的な損傷形状として，阿部研究室井山・村上「伸縮装置の点検結果から見た福井県管轄橋梁診断結果の総括」で調査した，福井県管轄橋梁のうち伸縮装置健全度Ⅲの 104 橋の変状タイプを図 26 に示す．

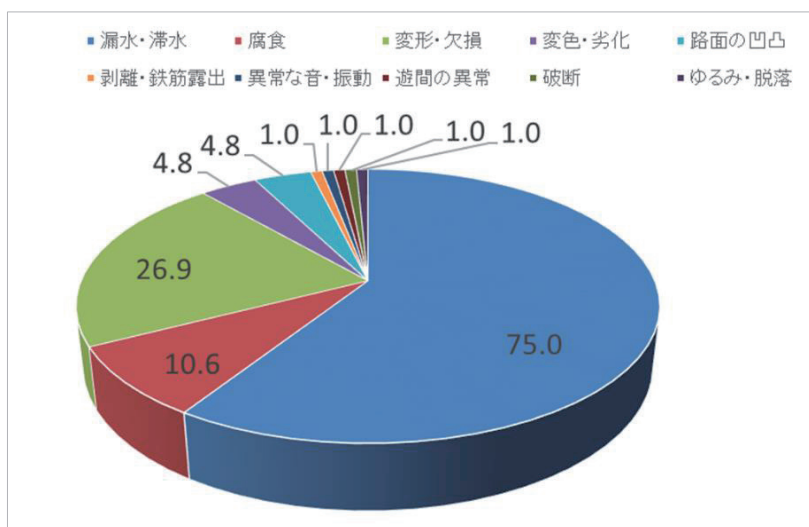


図 26 伸縮装置健全度Ⅲの橋梁の変状タイプの内訳

図 26 から分かるように、変状タイプとして橋梁漏水・滞水, 腐食, 変形・欠損などが挙げられる。また、伸縮装置健全度Ⅲの橋梁の変状タイプとして、漏水・滞水が最も多くみられる損傷, ということが分かった。本研究では、漏水・滞水に着目し、その対策に特化した伸縮装置の開発を試みた。従って、ここでは漏水・滞水の原因を示していく。

・止水構造の破損

フェースプレートの遊間に土砂詰まりが生じたり、輪荷重で雪が圧雪され、固まった雪が止水ゴムの遊間に入り込みゴムの脱落が生じる。後者については、豪雪地帯である福井県特有の事象である。また、福井県では、除雪作業時の除雪車のスノープラウが接触したことにより、フェースプレートのずれや周囲の舗装の剥離を引き起こす。フェースプレートの破損はほとんどが除雪車によるものだと考えられる。さらに、豪雪地帯では凍結防止剤が道路一帯に撒かれる。この凍結防止剤は主に塩化ナトリウムや塩化カルシウムであり、塩分が鋼材のフェースプレートに触れることでフェースプレートの腐食を引き起こす。また、凍結防止剤を含んだ水が滞水・漏水すると、内部にある鋼材の腐食をも引き起こす。

・止水機能の低下

そもそも、伸縮装置は内部に水を通すことを許容しておらず、ゴムや樹脂などの止水材によって排水する仕組みとなっている。侵入を許せば、漏水を引き起こし、周辺部材の劣化や損傷を引き起こす原因となる。止水機能の低下を引き起こす主な原因としては、施工不良による止水材の劣化や遊間部への上面からの外力等による止水材の物理的損傷である。外力とは、主に輪荷重による圧力である。また、これによってゴムにひびが入ったり、ゴムとフェースプレートの圧着が外れによって、漏水が引き起こされる。

ここで、伸縮装置健全度とは、「伸縮装置の機能に支障が生じる変状であるかどうかを評価する」指標である。その判定区分を表 6 に示す。

表 6 判定区分

| 区分 | 状態 |
|-----|--|
| I | 健全 構造物の機能に支障が生じていない状態。 |
| II | 予防保全段階 構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。 |
| III | 早期措置段階 構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。 |
| IV | 緊急措置段階 構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。 |

このような判定区分で分けられる。健全度Ⅳは即座に工事を行うため、調査段階では1つもなかった。現段階の補修方法としては、健全度Ⅲのものを順次行っている状況である。従って、伸縮装置の健全度Ⅲを減らすために、これの劣化形状に着目し、その傾向について調べた。

1-4 実際の損傷

ここで、福井県管轄の鋼橋の伸縮装置補修の実例を挙げて伸縮装置を説明していく。図 27 にその橋梁の荷重支持型伸縮装置を示す。



図 27 荷重支持型伸縮装置

ここでは、伸縮装置補修工事を行っている。これは伸縮装置の止水ゴムが劣化し漏水が発生したので、伸縮装置を取り替えている工事である。図 28 は既設の取り外した伸縮装置の断面であり、ジョイントの間にある止水ゴムが劣化していることがわかる。新しく取り付ける健全な伸縮装置を図 29 に示す。

また、今回の現場では、伸縮装置が劣化し支承付近に漏水が起こっていた。その状態を図 30 に示す。図 30 から分かるようコンクリートに水が垂れたあとが確認できる。この原因としては、除雪作業時の除雪車のスノープラウが接触したことにより、フェースプレートがずれたこと、そして止水材の劣化によるものであった。これにより、支承が痛む原因になる。図 30 のようにコンクリート自体にひび割れが生じていると、そこに漏水した水が浸透し、鉄筋コンクリートに大きな被害を与える。また、この現場では、施工時に、分割された伸縮装置を設置した際の接続個所からの漏水が最も目立った。



図 28 劣化した伸縮装置



図 29 健全な伸縮装置

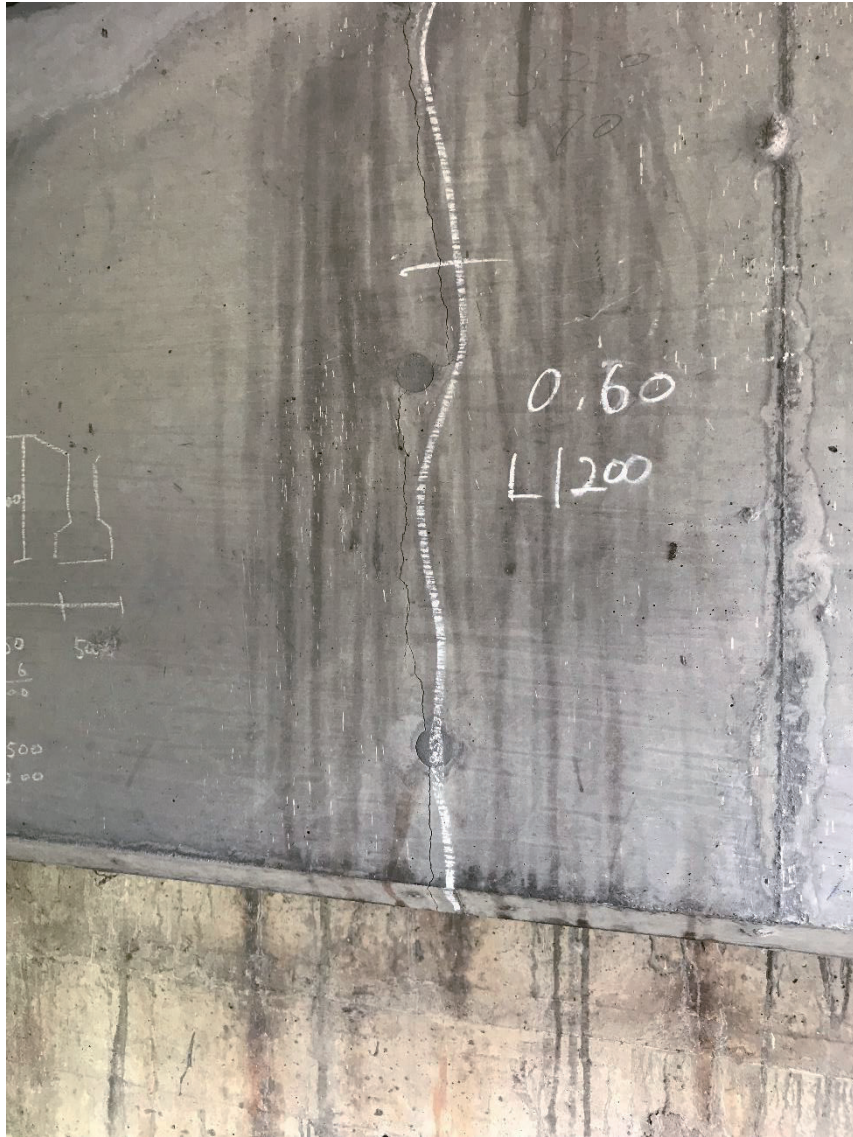


図 30 支承付近の漏水の状況

図 29 に比べ図 28 は、止水ゴムが痛み、地上からの水漏れを防げず、橋梁の損傷を引き起こす原因となる。しかし、伸縮装置の止水ゴムが時間とともに劣化していくのは防ぎようのないことである。鉄の部分は損傷がなく健全な場合でも伸縮装置全てが使用できなくなる。また、周りのコンクリートまではがさなければいけないため、交通規制も長時間を要し、工事に無駄な時間と費用が大幅にかかる。

2. 開発する伸縮装置

2-1 開発の背景

現在、日本には多くの橋がかけられているが、50年前などに架けられた橋などは、伸縮装置だけでなくその周辺のボルトや部材も傷んでいるため、伸縮装置だけを交換して費用を抑える、というわけにはいかず、結局その周りの支承なども補修が必要である。そこで、その取り換えの際に今回開発したものを取り入れ、これからの施工性、経済性を考えていく。

また、既成のものがあるが、部品や施工がその会社独自のもので、交換はその会社しか行うことができず、結果的にその補修費用で利益を上げることが目的としていて、新設の現場がなくなっても、その交換は定期的に回ってくるため、収入源とすることができる。しかし、逆に言えばその会社しか交換できないため、多くの橋が伸縮装置の交換時期となっても、工事のスピードを上げることができないため、損傷を大きくすることになってしまう。また、その会社の倒産などにより、交換がスムーズに行われなくなる、という影響も懸念される。

この状況を踏まえて、今回開発する伸縮装置は、独自の技術は一切取り入れず、ほとんどの会社が図面さえあれば交換できるものにした。というのも、この伸縮装置は荷重支持型で一般的な作り・形で、どこの鉄工所でも作れるものとなっている。耐候性・耐久性に優れること、大きい遊間にも対応可能で、幅広いスパンの橋梁に使用できる、ということから荷重支持型を採用した。また、部材も一般的なもので、容易に手に入るものとし、取り替えるコストも抑えた。そこで心配されるのが耐久性だが、実証はできていないが10年、20年は持つと考えられている。耐久性に優れているとは言えないが、その分容易に手に入る部材で取り替えるコストを抑えるという経済性、施工性に重点を置いた伸縮装置である。これにより、新設または補修に関係なく県内企業だけで伸縮装置の製作から施工までを担うことが可能にもなる。また、本県では伸縮装置の補修がまだ行き届いてない橋が多く、今現在急ピッチで行っている状況である。そしてこの状況は、サイクルを考えると、10年、50年先も同じ状況になると予想される。これを防ぐために、交換時期が来ても、多くの工事をたくさん会社、安いコストで並行して行い、工事が間に合っていないという状況を作り出さないようにした。そして、既成の製品のように儲かることを目的としたものではなく、いかにコストを安くするかを考え、福井県民の安全に務めることがこの開発の最大の目的である。

つまり、今回開発するものと既成のものとはそもそも製作の概念が異なるのである。

2-2 伸縮装置の構造

今回開発した伸縮装置は、伸縮量が20 [mm]、30 [mm]、40 [mm]、50 [mm] の4種類の試作品を作成した。それぞれの断面図を図31、図32、図33、図34に示す。また、平面図を図35、全体図を図36に示す。

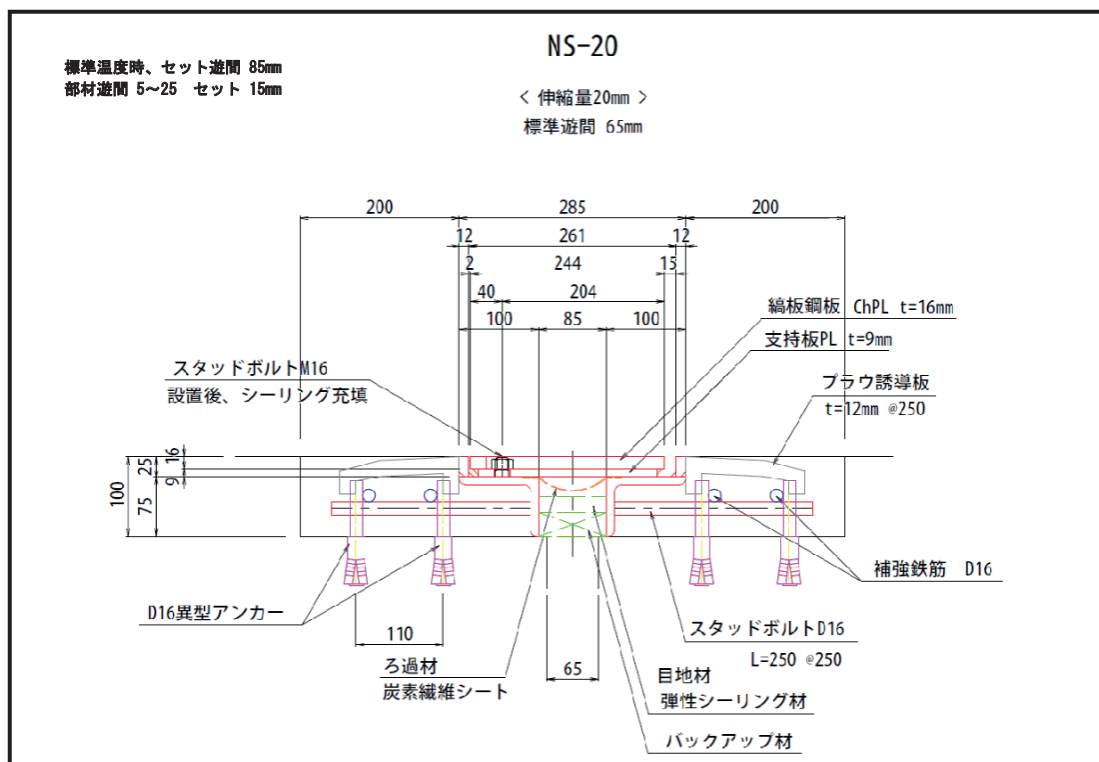


図 31 伸縮量 20 [mm] の伸縮装置の断面図

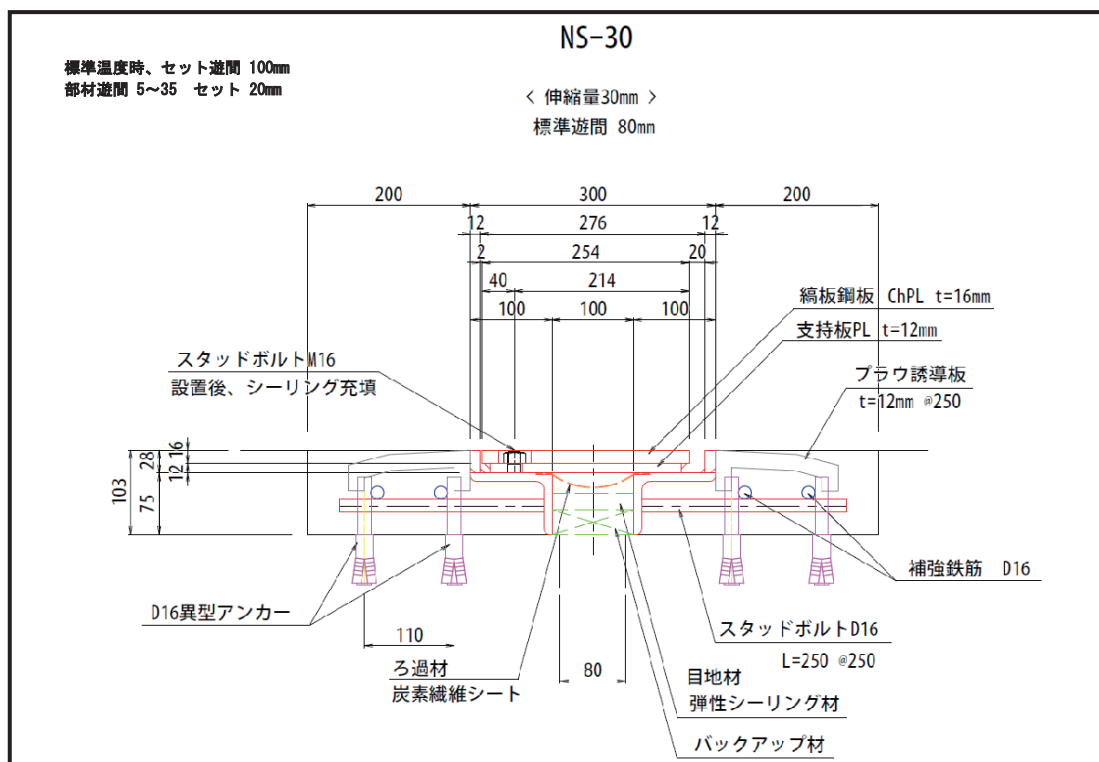


図 32 伸縮量 30 [mm] の伸縮装置の断面図

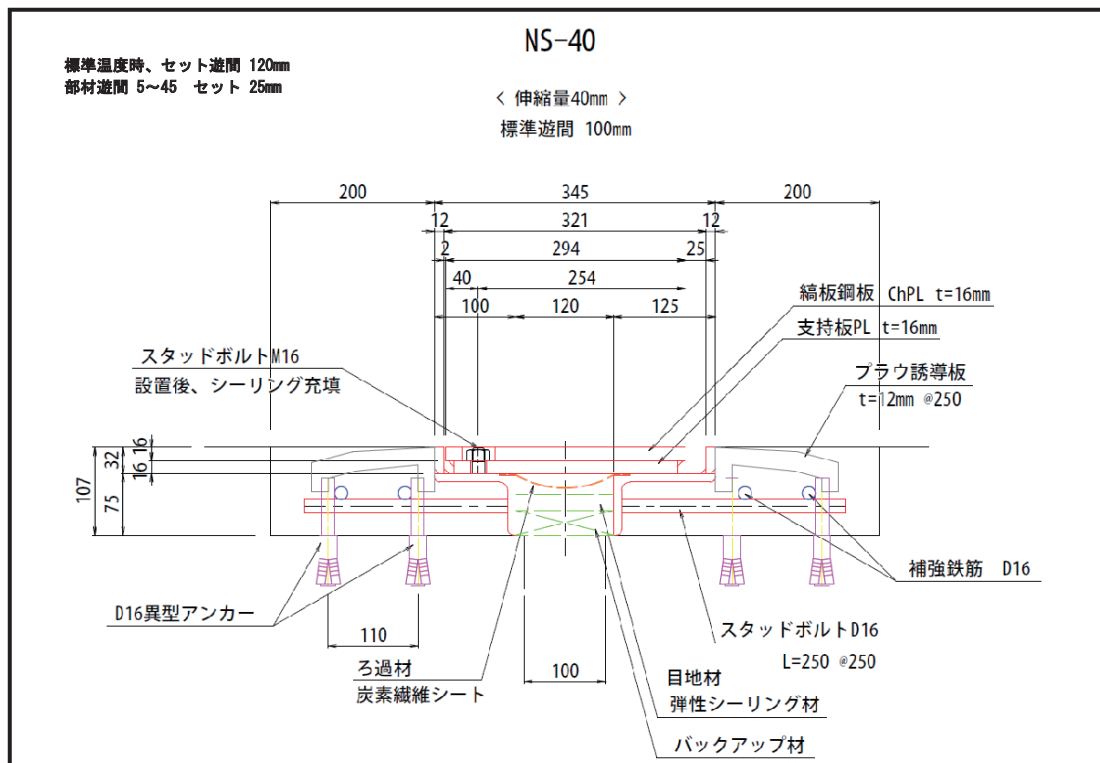


図 33 伸縮量 40 [mm] の伸縮装置の断面図

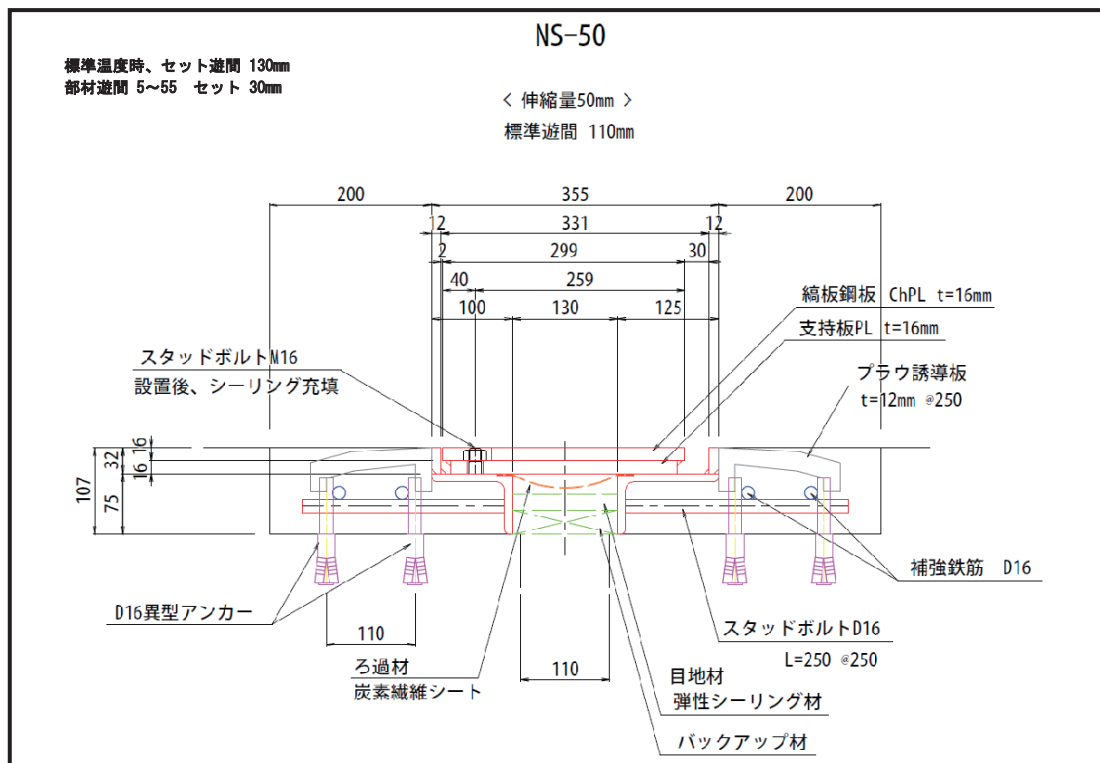


図 34 伸縮量 50 [mm] の伸縮装置の断面図

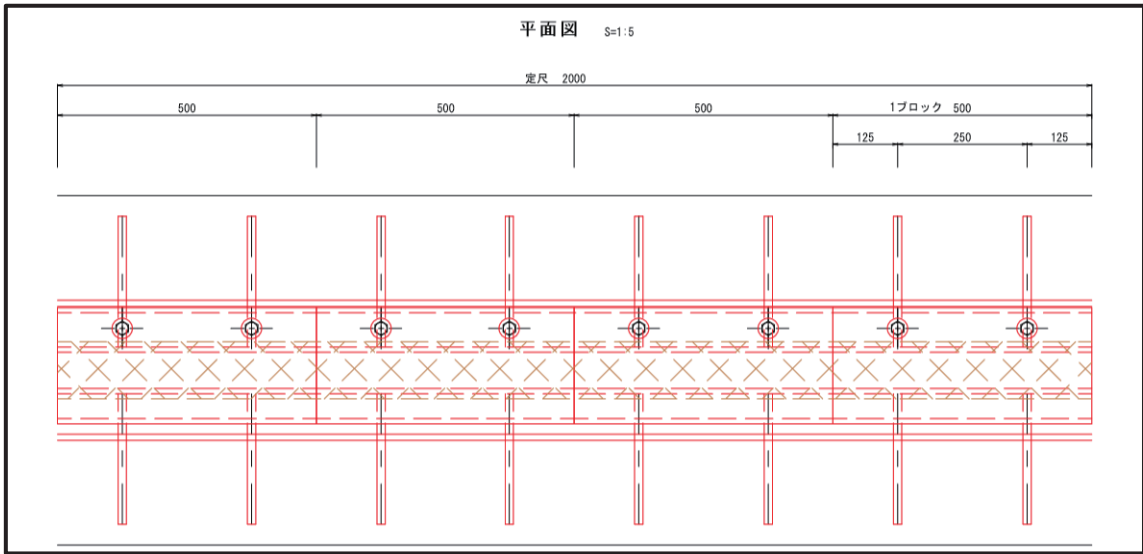


図 35 伸縮装置平面図



図 36 伸縮装置の全体図

まず、今回開発した伸縮装置の部材を説明していく。プラウ誘導版とは、2.3 損傷の原因で述べたように除雪作業時の除雪車のスノープラウが接触したことにより、フェースプレートのずれや周囲の舗装の剥離を防ぐためのものである。プラウ誘導版を図37に示す。



図 37 プラウ誘導版

図37のように、床板側のフェースプレートに沿って250 [mm] ピッチで設置していく。これがあることにより、スノープラウがフェースプレートに接触することを防ぐことができる。

弾性シーリング材とは、止水ゴムのことであり、止水と伸縮の役割を持っている。現在使われている伸縮装置のほとんどはフェースプレートについているが、今回開発した伸縮装置ではフェースプレートの下に設置しあり、表面から見ることはできない。

バックアップ材とは弾性シーリング材が底抜けするのを防ぐものである。流し込んでから1、2日で固まるものを使用する。

土木シートとは弾性シーリング材を保護するためのものであり、水は通すが土砂やごみを通させないものである。これはフェースプレートの下に設置する。

以後、伸縮装置の構造について説明していく。

開発した伸縮装置は上記したものを踏まえて、それ自体の価格は従来のものと変わら

ないものの、補修・交換の費用が格段に安く、経済性・施工性に優れたものを作成した。構造としては、従来のものとは違い弾性シーリング材をフェースプレートに設置せず、内部に埋め込み、その上にフェースプレートを設置し、被せる形とした。また、フェースプレートを脱着可能なものとし、メンテナンス性に特化させた。従来は伸縮装置のメンテナンスをする際には、伸縮装置とその周辺のコンクリートを取り壊し、また新しい伸縮装置を設置していたが、これによりフェースプレートを脱着するだけでメンテナンスを行うことを可能とした。

また、今回のフェースプレートは鋼材を二枚重ね、上から1枚目は縞板鋼板であり、2枚目は SM400 の材質の鋼板である。この2枚が重なったフェースプレートを図 38 に示す。



図 38 フェースプレート

これを2枚にしたのは、1枚だとボルトがスタッド溶接であるため、ボルトの根元に突起物が発生し、ボルトのナットが締められなくなる。この状態を図 39、図 40 に示す。図 39 のように突起物が発生するが、2枚重ねることで、図 40 のように余白を設けナットを締める空間ができる。ナットを締めた後、さらに、余白を樹脂で埋める。そして、フェースプレート脱着の際には、樹脂を剥がしこのボルトを取る。また、フェースプレートは1パネル定尺 500 [mm] で配置し、端数は端部で調整する。



図 39 スタッド溶接で発生する突起物



図 40 鋼板とボルト

そして、伸縮装置で肝心な伸縮だが、**図 38** で示すようにフェースプレートと床板の間の遊間で伸縮を行う。床板の温度変化による伸縮に伴い、伸縮装置のシーリング材が動く。伸縮装置全体としては、床板側が動き、橋壁側はボルトで固定されているため動かない構造とした。

2-3 伸縮装置の検討

2-3-1 荷重支持版の所要厚の検討

伸縮装置を設計する場合には荷重支持版の所要厚の検討を道路示方書に基づき設計計算を行わなければならない。今回開発した伸縮装置の荷重支持版の所要厚の設計計算を道路示方書に基づき説明する。

まず、設計計算で使う活荷重と支間長の設定について説明する。

●活荷重

活荷重は、伸縮装置 1 パネル当たりに**図 41** のように分布するものとする。1 パネル当たりの長さは 500 [mm] である。活荷重とは自動車など交通物の荷重の事であり、道路橋の活荷重として、床版および床組の設計には T 荷重、主桁の設計には L 荷重を用いる。伸縮装置は T 荷重を用いて、設計計算を行わなければならない。

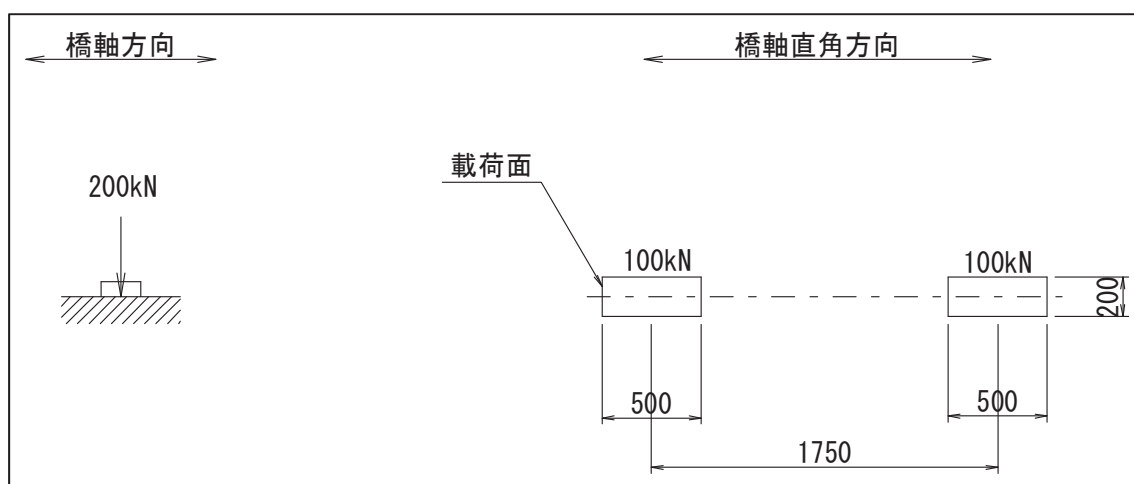


図 41 T 荷重の載荷位置

伸縮装置 1 パネル当たりの T 荷重を図 42 に示す。

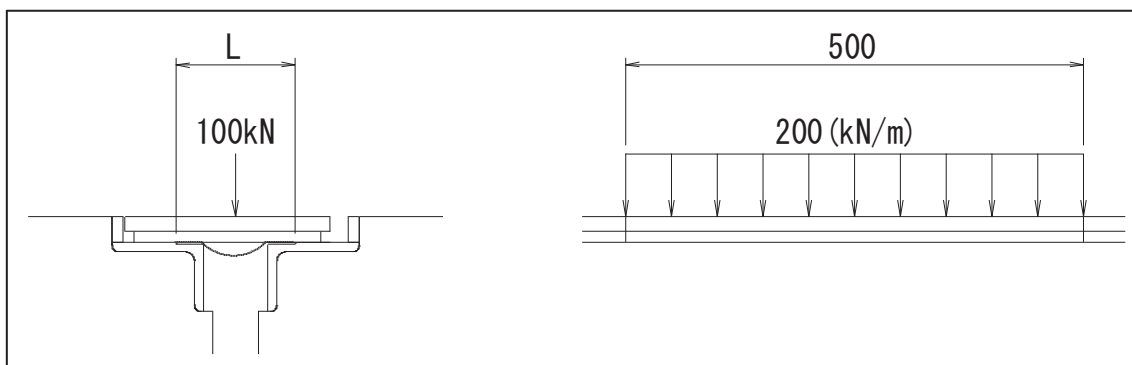


図 42 伸縮装置 1 パネル当たりの T 荷重

●支間長の設定

支間長 L は、橋梁遊間 a [mm] とした場合、左右それぞれ 10 [mm] 控えたところから伸縮装置の遊間を取り、それから、左右に、ろ過材幅 30 [mm] を取る。且つ、伸縮量 α を加算した距離とする。ろ過材幅はまだ決まっておらず、設計計算では余裕を持ち、仮に 30 [mm] とする。その詳細を図 43 に示す。

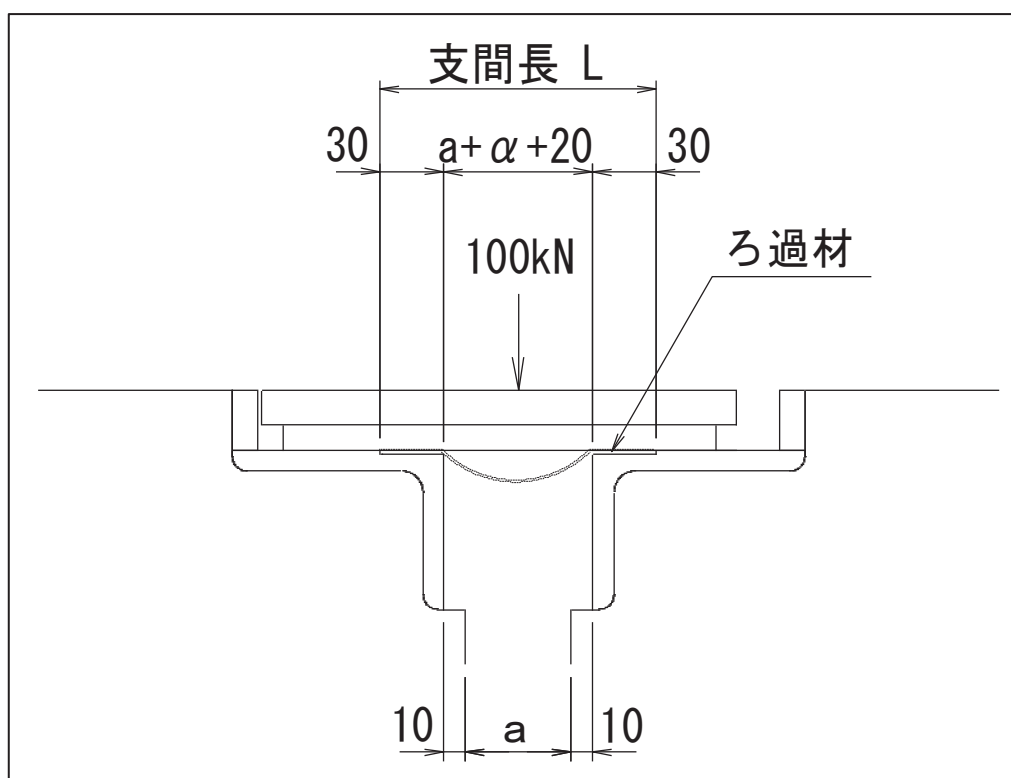


図 43 支間長の設定

また、今回開発した4パターンを表7に示す。

表7 支間長の設定の計算結果

| 伸縮量[mm] | 標準遊間[mm] | 最大遊間[mm] | 支間長[mm] |
|---------|----------|----------|---------|
| 20 | 65 | 75 | 135 |
| 30 | 80 | 95 | 155 |
| 40 | 100 | 120 | 180 |
| 50 | 110 | 135 | 195 |

次に荷重支持版の所要板厚の計算を以下に示す。

●荷重支持版の所要板厚

- ・曲げモーメント

曲げモーメントは衝撃係数が0.0の場合と0.3の場合を以下の式で求める。

$$M = \frac{Pi \cdot L}{4}$$

ここに、M : 曲げモーメント [N・mm]

Pi : 作用活荷重 (衝撃を考慮) = P・(1+i)

P : 輪荷重 =100 [kN]

i : 衝撃係数 =0.0 or 0.3

L : 支間長 [mm]

計算結果を表8に示す。

表8 曲げモーメントの計算結果

| 伸縮量 [mm] | 支間長 [mm] | 曲げモーメント [N・mm] | |
|-------------|-------------|----------------|-------------|
| | | (衝撃係数i=0.0) | (衝撃係数i=0.3) |
| 20 | 135 | 3375000 | 4387500 |
| 30 | 155 | 3875000 | 5037500 |
| 40 | 180 | 4500000 | 5850000 |
| 50 | 195 | 4875000 | 6337500 |

- ・荷重支持版の所要板厚 (使用材質 : SM400)

今回開発した伸縮装置の荷重支持板は図 31~34 から分かるように、上面に材質 SS400, 厚さ 16 [mm] の縞鋼板と、下面に材質 SM400 の鋼板が重なっている。これ

らは、ボルトと溶接により完全一体化しているものとする。これを踏まえたうえで、SM400 の所要板厚 t_2 を求めていく。

応力を求める式は、

$$\delta_a = \frac{M}{Z} = \frac{M}{\frac{b \cdot (t_1 + t_2)^2}{6}}$$

ここに、 Z : 断面係数 [mm³]

t_1 : 上面板厚 =16 [mm]

t_2 : 荷重支持板の所要板厚 [mm]

となる。 t_2 について解くと

$$t_2 = \sqrt{\frac{6 \cdot M}{b \cdot \sigma_a}} - t_1$$

ここに、 b : 伸縮装置 Face.Plate 幅 =500 [mm]

σ_a : 許容曲げ応力度 =140 [N/mm²] ($t_2 < 40$)

衝撃係数 $i=0.0$ の場合の計算結果を表 9、衝撃係数 $i=0.3$ の場合の計算結果を表 10 に示す。

表 9 衝撃係数 $i=0.0$ の場合の荷重支持板の所要板厚の計算結果

| 伸縮量 [mm] | 曲げモーメント [N・mm] (衝撃係数 $i=0.0$) | 所要板厚 t_2 [mm] | 使用板厚 [mm] |
|-------------|-----------------------------------|--------------------|--------------|
| 20 | 3375000 | 1.0 | 9 |
| 30 | 3875000 | 2.2 | 12 |
| 40 | 4500000 | 3.6 | 16 |
| 50 | 4875000 | 4.4 | 16 |

表 10 衝撃係数 $i=0.3$ の場合の荷重支持板の所要板厚の計算結果

| 伸縮量 [mm] | 曲げモーメント [N・mm] (衝撃係数 $i=0.3$) | 所要板厚 t_2 [mm] | 使用板厚 [mm] |
|-------------|-----------------------------------|--------------------|--------------|
| 20 | 4387500 | 3.4 | 9 |
| 30 | 5037500 | 4.8 | 12 |
| 40 | 5850000 | 6.4 | 16 |
| 50 | 6337500 | 7.3 | 16 |

計算結果は表 9、表 10 のようになり、使用板厚は基準を満たしており、十分安全であることがわかる。

2-3-2 伸縮量の算出

伸縮装置の伸縮量は、けたの温度上昇による伸長量と温度下降による収縮量、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮によるけた収縮量との合計量の絶対値である。活荷重によって生じるけたの回転による上部構造の移動量に施工時の据付誤差の余裕量を踏まえて設定する。

伸縮量を表 11 に示す簡易算定式より求める。福井県は寒冷な地域に該当するので()内の値を適用する。

表 11 伸縮量簡易算定式

| 橋種 | | 鋼橋 | | 鉄筋コンクリート橋 | プレストコンクリート橋 |
|------------------------|------------------|--|---------|---|---|
| | | 上路 | 下路(鋼床版) | | |
| 伸縮量 | ①温度変化 | 0.6L (0.72L) | 0.72L | 0.4L (0.5L) | 0.4L (0.5L) |
| | ②乾燥収縮 | — | — | 0.2L β | 0.2L β |
| | ③クリープ | — | — | — | 0.4L β |
| | 基本伸縮量 (①+②+③) | 0.6L (0.72L) | 0.72L | 0.4L+0.2L β (0.5L+0.2L β) | 0.4L+0.6L β (0.5L+0.6L β) |
| | 余裕量 | 基本伸縮量×20%、ただし、最小10 [mm] (施工誤差が大きい場合は別途考慮) | | | |
| L=伸縮けた長、 β =低減係数 | | | | | |
| 表中の()内は、寒冷な地域に適用 | | | | | |

また、伸縮装置に用いる乾燥収縮およびクリープ簡易低減係数 β を表 12 に示す。

表 12 伸縮装置に用いる乾燥収縮およびクリープ簡易低減係数 β

| コンクリートの材令 [月] | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 低減係数 (β) | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.1 |

例として、寒冷な地域の伸縮けた長 L=30 [m] の鋼橋であれば、

鋼橋 : $0.72 \times 30 + 10 = 31.6$ [mm]

となる。

今回開発した伸縮装置の選定では、このように伸縮量を求め、伸縮量が 20 [mm], 30 [mm], 40 [mm], 50 [mm] の中から適合するものを選ぶこととなる。

3. まとめ

本章では、橋梁の伸縮装置として、従来のもののように補修に時間・費用を費やすものではなく、橋面上から容易にメンテナンスを行うことができる新たな伸縮装置を開発することを目的とした。これにより、施工性・経済性に優れた伸縮装置を実現し、伸縮装置の補修にかかるライフサイクルコストを抑えることができる。

文中では、「1.」で橋梁の伸縮装置についての説明、「2.」で開発する伸縮装置の概要について述べた。本章の成果としては下記のとおりである。

- (1) 今現在、福井県管轄橋梁の伸縮装置の補修工事では伸縮装置とその周辺のコンクリートを剥がし、新しい伸縮装置を設置していた。この工事には多大な時間や費用を費やすこととなり、非常に非経済的であった。これを改善するため、今回の開発を試みた。
- (2) 開発する伸縮装置として、それぞれ伸縮量が 20 [mm], 30 [mm], 40 [mm], 50 [mm] の 4 種類のものを作成した。それ自体の価格は従来のものと大きく変わらないものの、補修・交換の費用を格段に安く抑えることができる可能性があり、経済性・施工性に優れたものを作成した。従来のものとは異なり弾性シーリング材をフェースプレートに設置せず、内部に埋め込み、その上にフェースプレートを設置し、被せる形とした。フェースプレートを脱着可能なものとし、メンテナンス性に特化させた。フェースプレートの脱着により、橋面状から伸縮装置の補修・交換を可能とした。

第4章 試作品の製作および今後の課題

1. 試作品の製作

今回開発した伸縮装置の試作品は、日光産業株式会社にて製作を行い、図44から図51に示すとおり管理する倉庫内において仮組ならびに保管を行っている。本試作品は県内の福井県管理橋梁のいずれかに試験的に設置する計画であり、設置対象橋梁の決定後に所定の幅員寸法に合わせて切断または追加製作を要することから、今回の共同研究の段階ではろ過材や目地材は取り付けずに保管するものとした。

2. 今後の課題

今後の課題・展開として下記の点を検討、推進することにより、本研究が実用化につながり、維持補修のライフサイクルコストの低減につながるものとする。

- 1) 開発した伸縮装置はまだ試作段階であるため、今後、試験施工と実証実験を行っていき実用化を試みる。
- 2) 製作コストや形状の検討について、実用化を踏まえて検討し、初回の伸縮装置更新時に、一般的な伸縮装置と同等に近い金額で提供できるものになるよう研鑽する。
- 3) 福井県管轄橋梁のうち、伸縮装置健全度Ⅲの橋梁から既存の伸縮装置と開発した伸縮装置を交換する工事を行っていき、10年後、50年後、その先の伸縮装置の補修・補強の経済性・施工性を考えていく。
- 4) 今回、対象数が少なかったため検討しなかった伸縮量50 [mm] より大きい伸縮装置についても検討を行う。



图 44 伸縮装置（伸縮量 20mm）断面形状

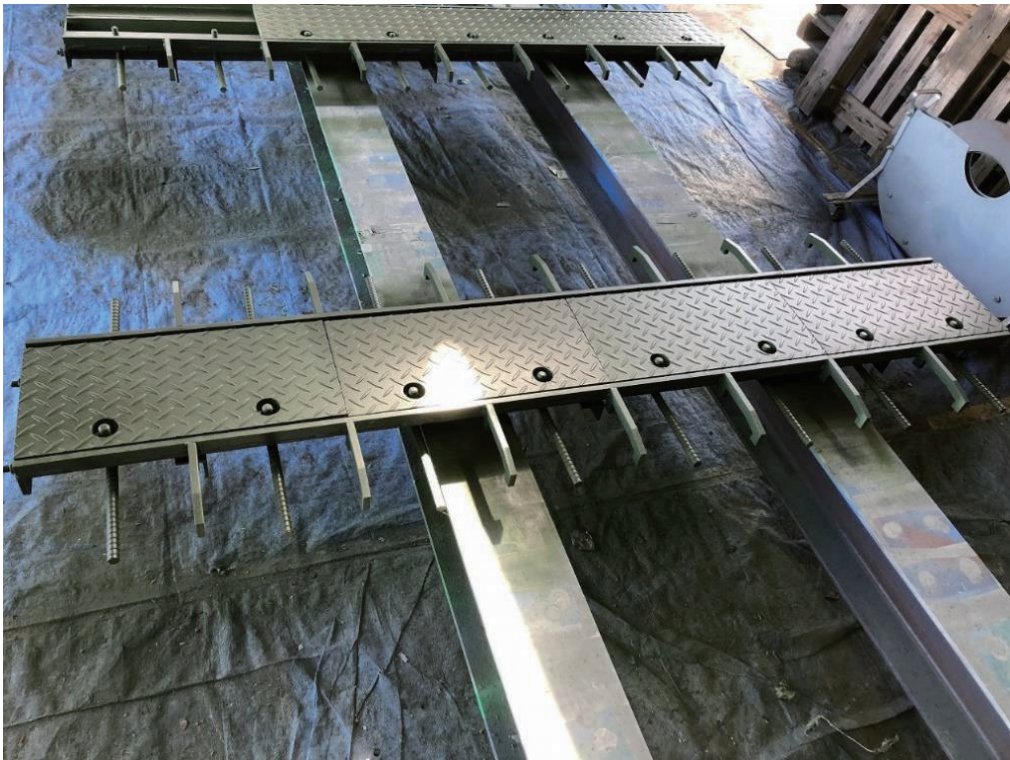


图 45 伸縮装置（伸縮量 20mm）全景

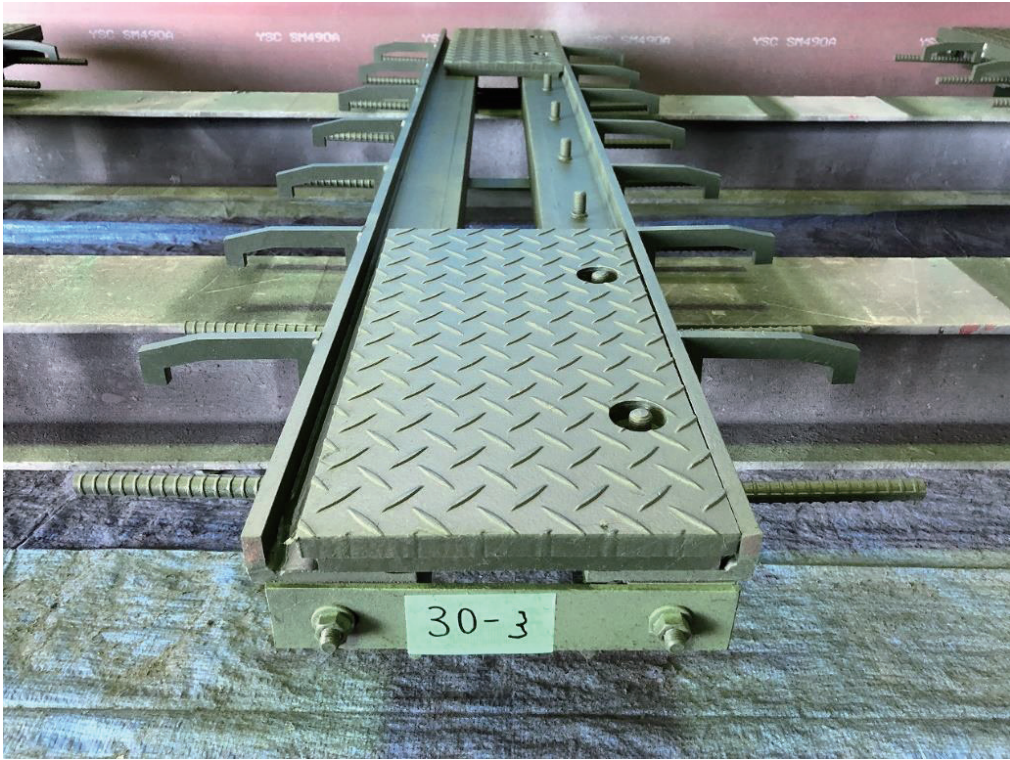


图 46 伸縮装置（伸縮量 30mm）断面形状

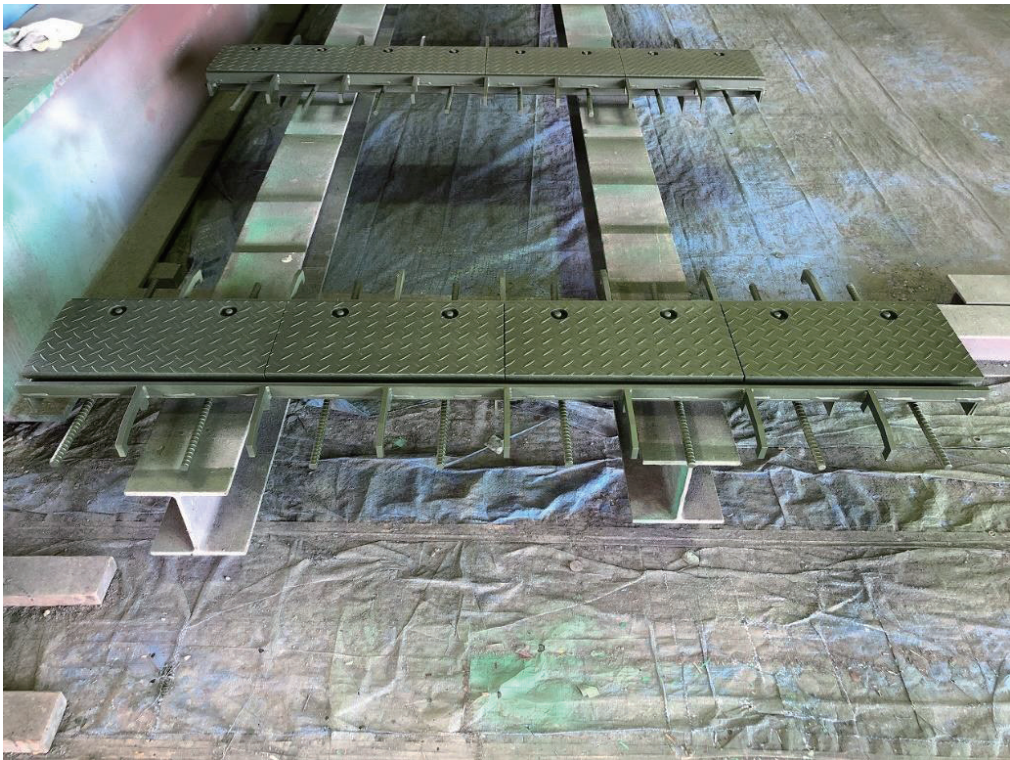


图 47 伸縮装置（伸縮量 30mm）全景



图 48 伸縮装置（伸縮量 40mm）断面形状

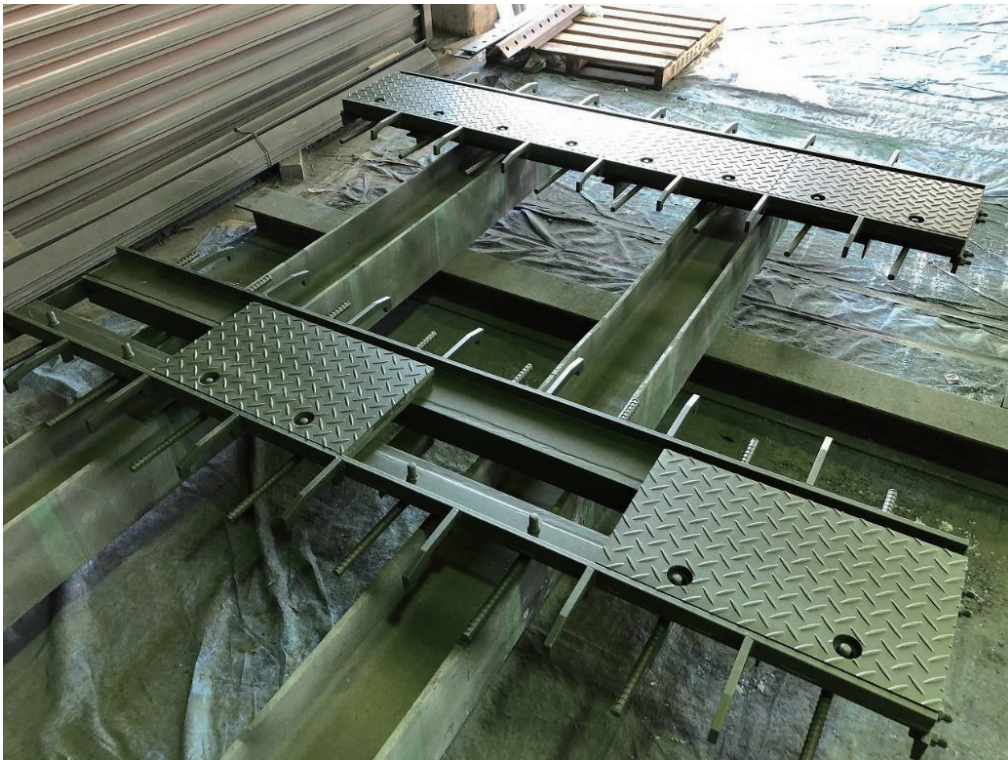


图 49 伸縮装置（伸縮量 40mm）全景

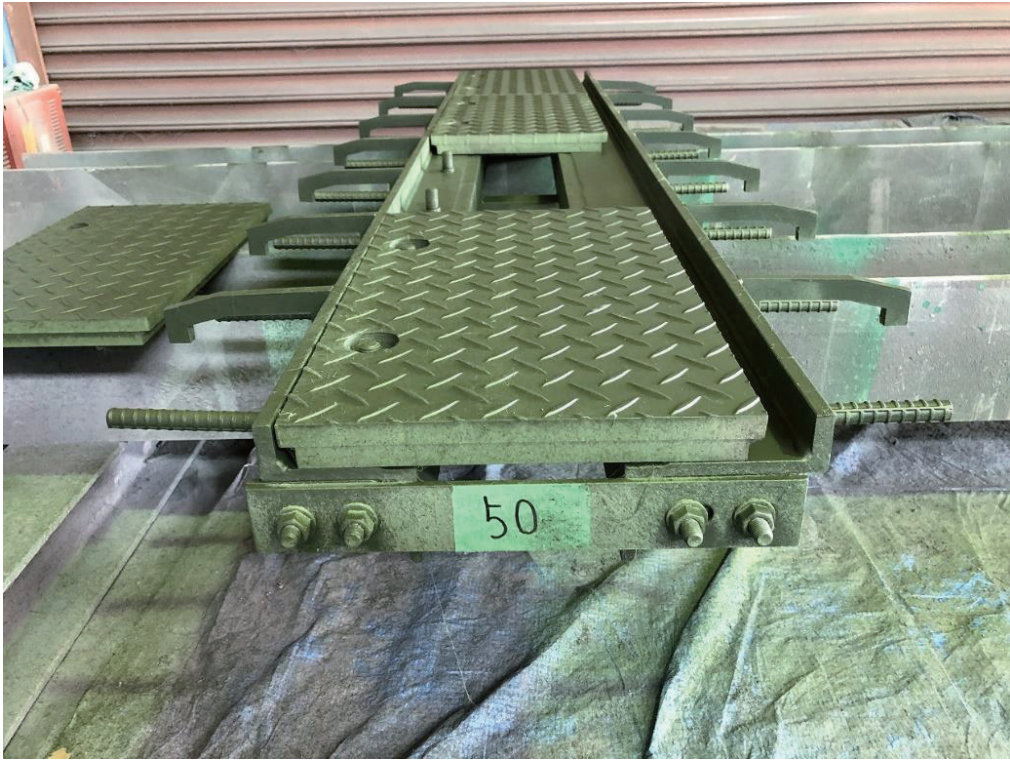


图 50 伸縮装置（伸縮量 50mm）断面形状



图 51 伸縮装置（伸縮量 50mm）全景

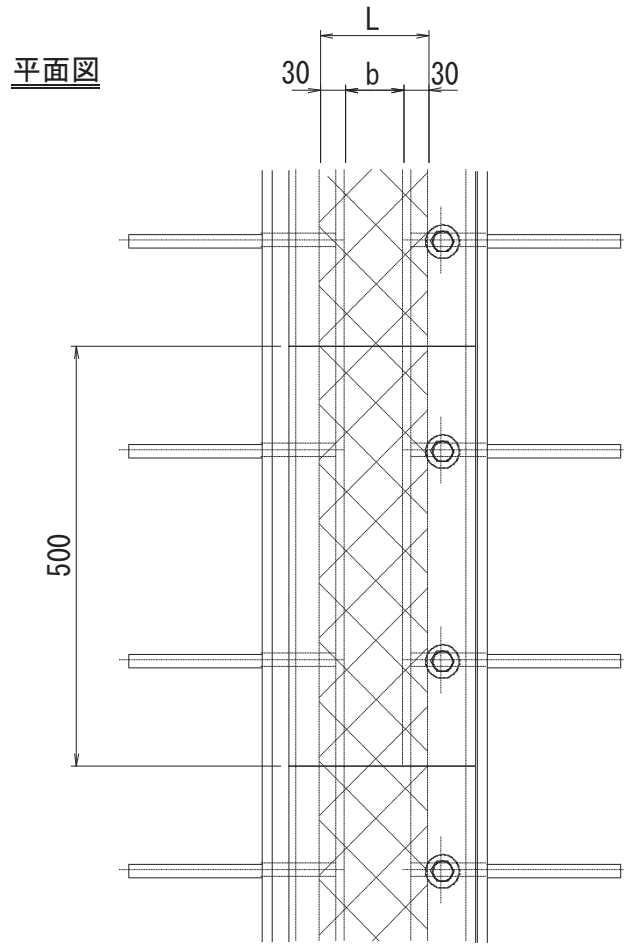
参考文献

- 1) 橋梁定期点検要領 国土交通省 道路局 国道・技術課 平成 31 年 3 月
file:///C:/Users/user/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/HQ2V1HST/yobo3_1_6.pdf
- 2) 中小規模橋梁の維持管理ハンドブック 著書 市町村橋梁維持管理研究会
発行者 一般社団法人 近畿建設協会 平成 30 年 7 月 1 日 P112, 113
- 3) 伸縮装置
http://kougiken.jp/04_seika/houkokusyo/seinou/buzai/file/body/sinsyuku/sinsyuku.html 2020/1/20 閲覧
- 4) QGIS とは
<http://www.aeroasahi.co.jp/qgis/about-qgis/> 2020/1/20 閲覧
- 5) 道路の区分と設計速度、設計車両
http://www.mlit.go.jp/road/sign/pdf/kouzourei_2-1.pdf
2020/1/29 閲覧
- 6) 伸縮装置
http://www.kougiken.jp/04_seika/pdfsystem/48_seinou_sekkei/buzai/file/body/sinsyuku/sinsyuku.html
- 7) 日本道路ジョイント協会
http://library.jsce.or.jp/Image_DB/committee/steel_structure/book/60800/60800-0206.pdf
- 8) 道路構造物ジャーナル NET
<https://kozobutsu-hozen-journal.net/news/detail.php?id=118&page=0>
- 9) 伸縮装置の設計ガイドライン 日本道路ジョイント協会
http://www.joint.ecnet.jp/pdf/tebiki_2019-4.pdf
- 10) 鋼橋伸縮装置設計の手引き 社団法人 日本橋梁建設協会

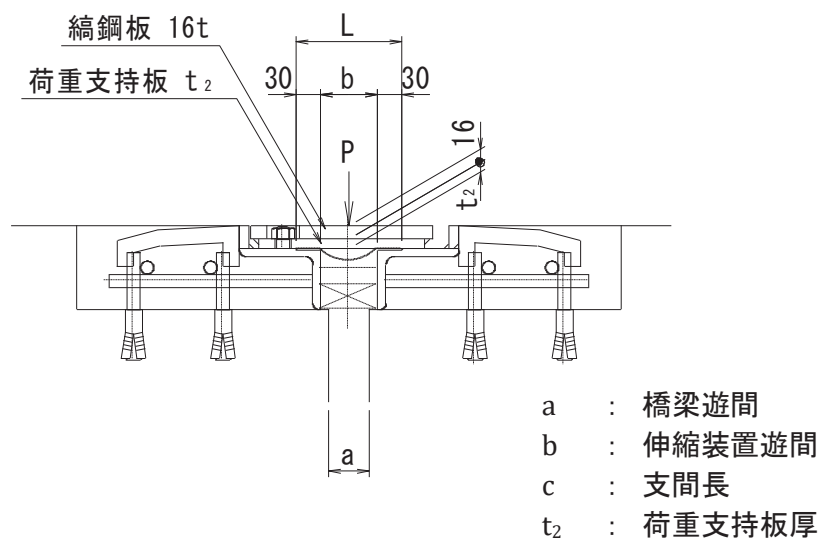
参考資料（構造計算書・設計図面）

【構造計算書】

一般寸法図

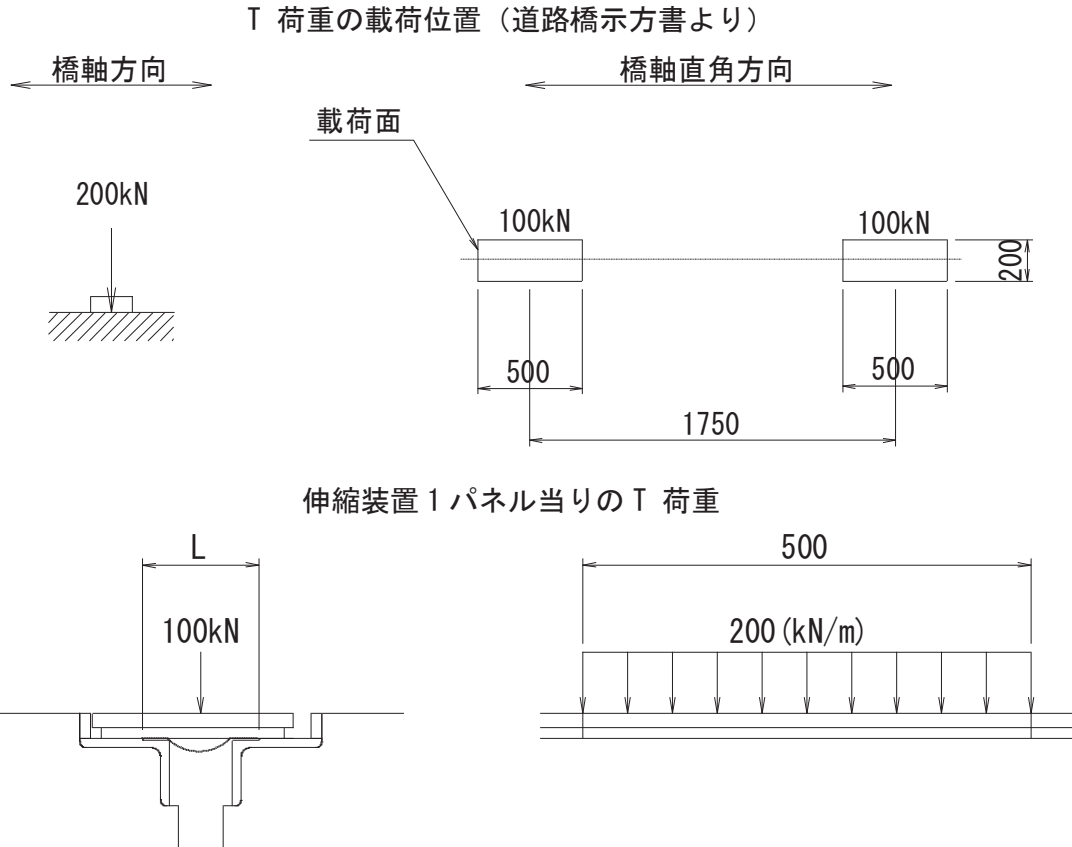


断面図



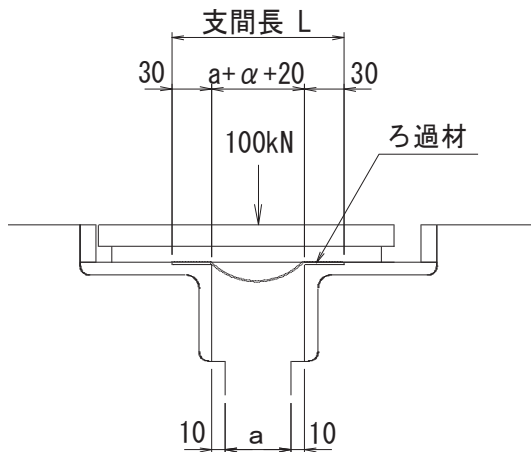
活荷重

活荷重は、伸縮装置 1 パネル当たりを下図の如く分布するものとする。



支間長の設定

支間長 L は、橋梁遊間 a (mm) とした場合、左右それぞれ 10 mm 控えたところから伸縮装置の遊間を取り、それから、左右に、ろ過材幅 30mm を取る。且つ、伸縮量 α を加算した距離とする。



| (mm) | | | |
|------|------|------|-----|
| 伸縮量 | 標準遊間 | 最大遊間 | 支間長 |
| 20 | 65 | 75 | 135 |
| 30 | 80 | 95 | 155 |
| 40 | 100 | 120 | 180 |
| 50 | 110 | 135 | 195 |

荷重指示板の所要厚

$$\text{曲げモーメント } M = \frac{P_i \cdot L}{4}$$

ここに、 M : 曲げモーメント (N・mm)
 P_i : 作用活荷重 (衝撃を考慮) = P・(1+i)
 P : 輪荷重 = 100 (kN)
 i : 衝撃係数 = 1.0
 L : 支間長 (mm)

| 伸縮量 (mm) | 支間長 (mm) | 曲げモーメント (N・mm) |
|----------|----------|----------------|
| 20 | 135 | 3375000 |
| 30 | 155 | 3875000 |
| 40 | 180 | 4500000 |
| 50 | 195 | 4875000 |

縞鋼板の断面係数 (一定厚)

上面に使用する縞鋼板は、16mm厚とし、材質はSS400とする。

$$Z_1 = \frac{b \cdot t_1^2}{6} = \frac{500 \times 16^2}{6} = 21333$$

ここに、 Z₁ : 上面縞鋼板の断面係数 (mm³)
 b : 伸縮装置 Face. Plate 幅 = 500 (mm)
 t₁ : 上面板厚 = 16 (mm)

荷重支持板の所要板厚 (使用材質: SM400)

$$\sigma_a = \frac{M}{\Sigma Z} = \frac{M}{Z_1 + Z_2}$$

$$\therefore t_2 = \sqrt{\frac{6 \cdot (M - \sigma_a \cdot Z_1)}{b \cdot \sigma_a}}$$

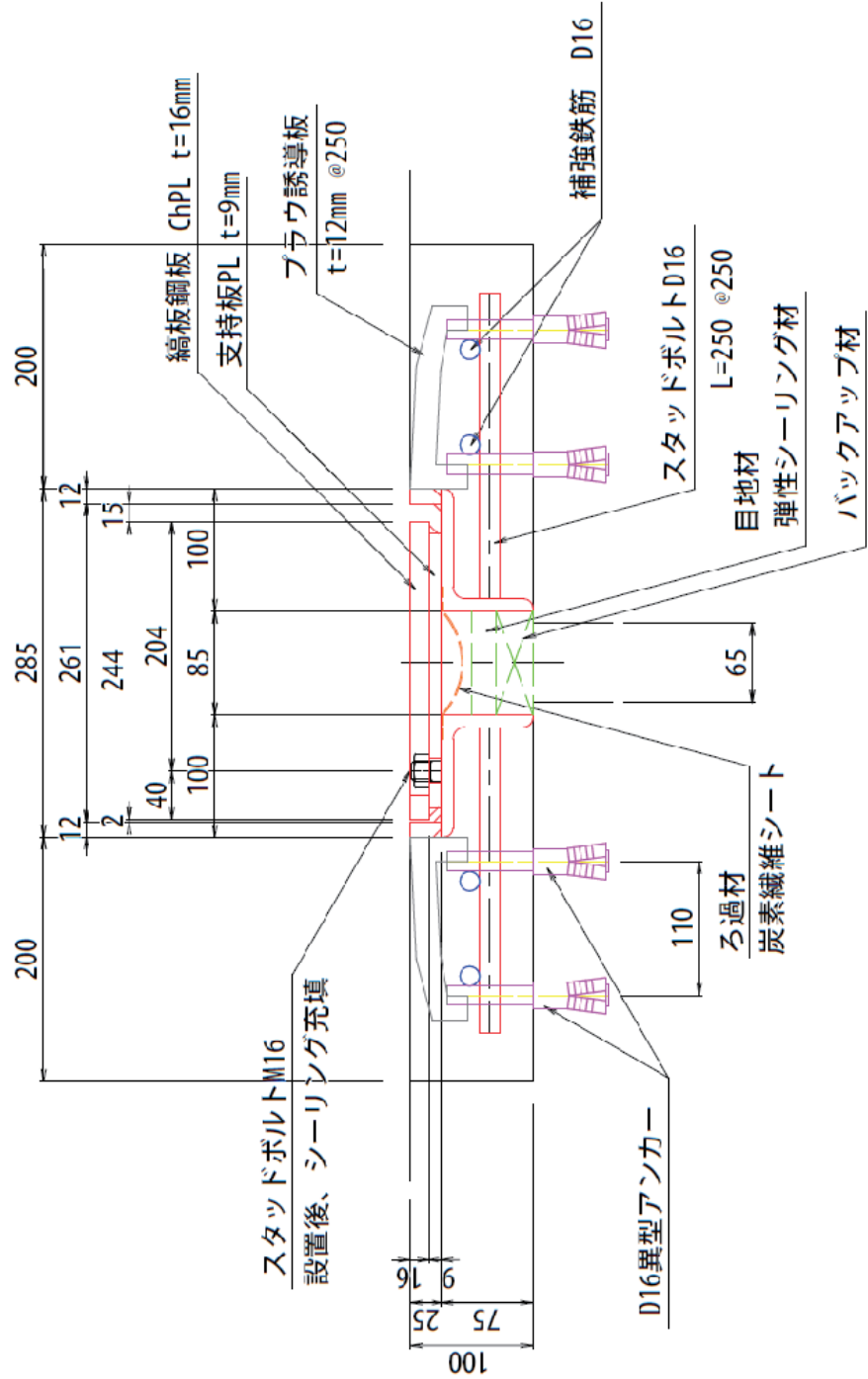
ここに、 t₂ : 荷重支持板の所要板厚 (mm)
 Z₂ : 荷重支持板の断面係数 = $\frac{b \cdot t_2^2}{6}$ (mm³)
 σ_a : 許容曲げ応力度 = 140 (N/mm²) (t₂ < 40)

| 伸縮量 (mm) | 曲げモーメント (N・mm) | 所要板厚 (mm) | 使用板厚 (mm) |
|----------|----------------|-----------|-----------|
| 20 | 3375000 | 5.8 | 9 |
| 30 | 3875000 | 8.7 | 12 |
| 40 | 4500000 | 11.4 | 16 |
| 50 | 4875000 | 12.7 | 16 |

【設計図面】

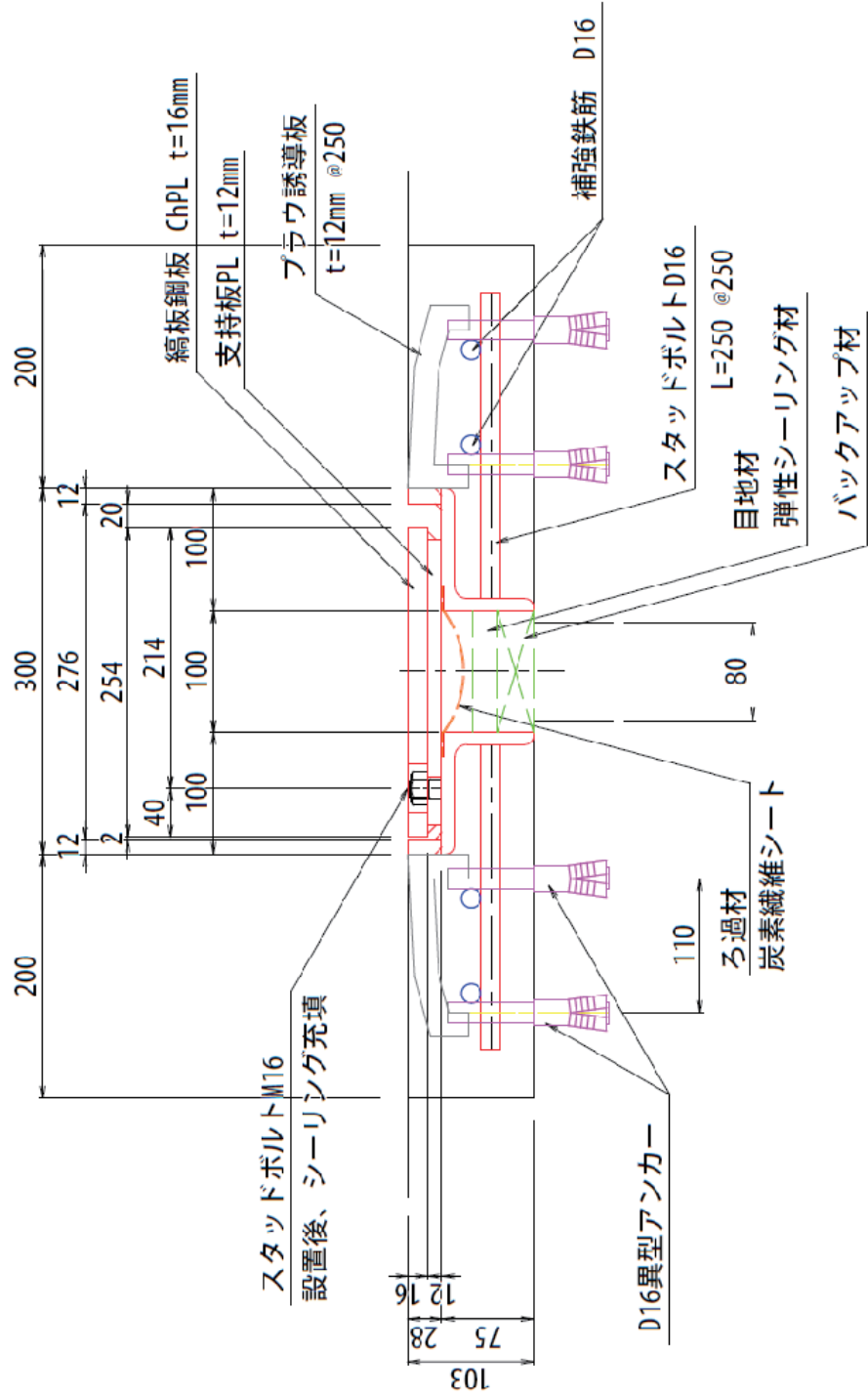
NS-20

< 伸縮量20mm >
標準遊間 65mm



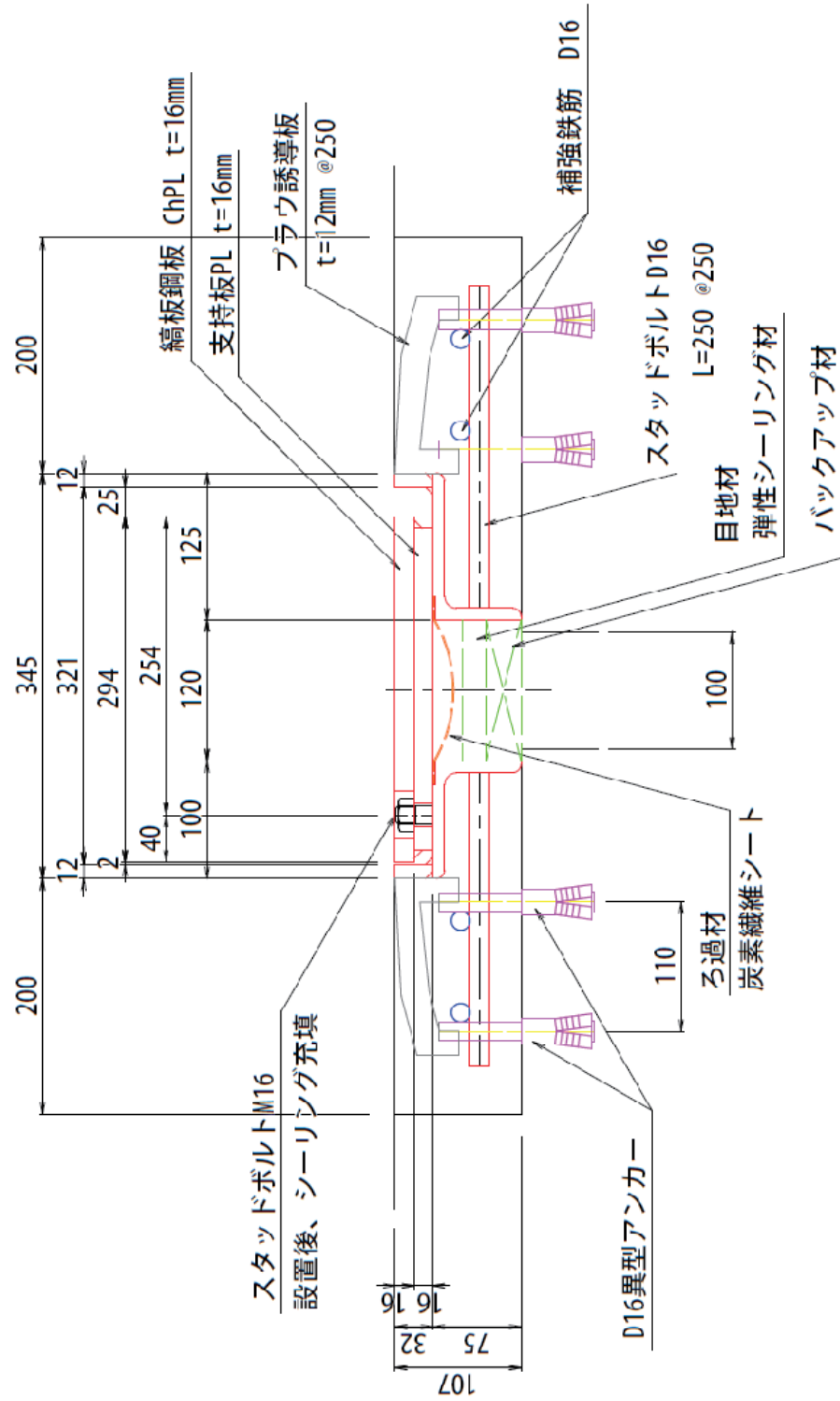
NS-30

＜ 伸縮量30mm ＞
標準遊間 80mm



NS-40

＜伸縮量40mm＞
標準遊間 100mm



NS-50

< 伸縮量50mm >
標準遊間 110mm

