

メンテナンスに優れた橋梁伸縮装置の研究開発について

林 泰正¹

¹福井県産業労働部工業技術センター 建設技術研究部 (〒910-0102福井県福井市川合鷺塚町61字北稲田10)

橋梁補修の工種の一つである伸縮装置の更新において、これまで採用されてきている一般的な伸縮装置は、構造的な制約の都合上、全体的な更新が主流である。しかし、実際に漏水に発展しているケースは局所的な損傷であることが多い。そのため、全体的な更新は費用が増大するだけでなく、廃材の発生や交通規制の長期化等、社会的・環境的負荷が大きくなっている。

本研究開発では、中小企業でも製造できる簡単な構造かつ入手しやすい材料で構成し、損傷している箇所を橋面上から部分的に補修できるメンテナンスに優れた伸縮装置の開発を行ったものである。

キーワード 伸縮装置、メンテナンス、コスト縮減、環境的・社会的負荷低減

1. はじめに

我が国の社会資本ストックの内訳をみると全体の約40%近くを道路が占めている¹⁾。その道路の構造物の一つである橋梁は全国で約70万橋を超える²⁾と言われており、福井県でも県管理橋梁は2,300橋を超え、市町管理橋梁を加えると相当数にのぼる。

これらの多くが高度経済成長期に整備された橋梁であり、今後10年から20年の間に建設後50年以上を経過する老朽橋となり、その割合が急増することが明らかとなっている³⁾。また、老朽化だけでなく、通行車両の大型化や交通量の増加、経年劣化や疲労損傷等の要因により、橋梁の健全性は低下傾向にある。今後は重量規制や通行止め等、社会生活への影響が深刻化することが懸念されている。

また、橋梁は他の土木構造物と比較して特に構造が複雑で部材数も多いという特徴があり、維持管理が困難な構造物である。その橋梁の健全性低下や損傷原因の一つとして伸縮装置からの漏水が挙げられる。伸縮装置が損

傷すると図-1に示すように、橋面から雨水が侵入するだけでなく、土埃やゴミ類、冬季の凍結防止剤等が橋桁端部や支承部に滞水・堆積し、図-2に示すような橋梁に重大な損傷を与えるケースが見られる。

現在、一般的に用いられている伸縮装置は、主要構造物が鋼構造の荷重支持型が多く、止水機能部に弾性シーリング材やゴム系材料を用いている。橋梁点検⁴⁾において健全性Ⅲと判定されるケースは、図-3に示すように止水機能部のみの損傷であることが多く、現状、このような損傷形態の場合においては一般的な伸縮装置の構造的な制約により、図-4に示すように伸縮装置周囲の保護コンクリート部も含めた全体の更新が主流である。

これまで多くの伸縮装置取替工事の監督業務等に從事してきた筆者は、以前からこのような方法は健全な部材を含めた過剰な更新になっていると考えており、高コストかつ長期間の交通規制は避けたいと感じていた。

本研究開発は、伸縮装置の損傷に伴う橋梁の健全性低下に対し、伸縮装置の全体更新とは異なる補修方法として、真に損傷している必要最小限の補修ができ、橋梁の供用期間中における伸縮装置に関するメンテナンスコスト縮減と、不要な取り壊しや長期の交通規制解消といった環境的・社会的負荷の低減を可能とする新たな伸縮装置の開発を目的として実施したものである。

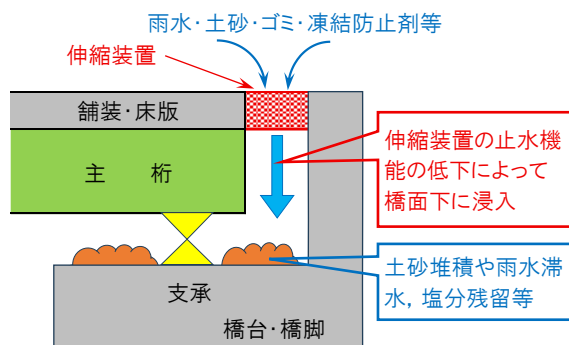


図-1 橋梁伸縮装置の損傷メカニズム



図-2 伸縮装置からの漏水による主桁端部の損傷事例



実際に損傷しているのはこの止水機能部のみが多い

図-3 撤去した旧伸縮装置の止水機能部の損傷状況



構造的な制約があり、健全な部分も含めた全体更新

図-4 現在の一般的な伸縮装置取替状況

2. 伸縮装置開発における課題

橋梁の伸縮装置の構造や形状には、その地域性や周辺環境に考慮した複数の種類があるが、本研究では以下の点を課題として整理し、開発に取り組んだ。

- ①福井県は降雪地域であり、橋梁部の除雪作業に対応可能な構造・形状が不可欠である。
- ②伸縮装置内の止水用弾性シーリング材やバックアップ材等の止水構造部が外的要因や経年劣化等により健全性が低下する。
- ③市場流通品は構造的に伸縮装置全体を更新する必要がある、不経済である。
- ④市場流通品は伸縮装置更新時に交通規制や場合によっては足場設置等を要し、工期が長期に渡る傾向にある。
- ⑤本研究で独自に伸縮装置を開発する場合、市場流通品と同様に、国土交通省や日本道路ジョイント協会が定める構造安全性や性能を確保のための試験に合格しなければならない。
- ⑥開発した伸縮装置の供用下道路での施工性、部分補修の作業性の評価、施工後の騒音・振動等の評価が不可欠である。
- ⑦伸縮装置に使用する各部材について、実際の橋梁での実証試験にて適用性を検証しなければならない。

3. 開発した試作品の伸縮装置の特徴

前述の2を踏まえ、本研究ではまず試作品を開発し、その試作品を用いて各種性能試験や実際の供用下橋梁に試験的に設置することでモニタリングデータを取得することとした。開発した試作品の伸縮装置は以下の特徴を有する。

- ①国土交通省及び一般社団法人日本道路ジョイント協会が定める基準⁵⁾に準拠した形状並びに構造設計である。
- ②福井県道路管理者が保有する各橋梁の諸元や台帳データ、2014年以降の点検義務化の法整備に伴う橋梁点検データに基づき、橋梁数が多い橋長20～50m程度の中規模橋梁（県管理橋梁数の約60%）に適用可能な

遊間・伸縮量の荷重支持型伸縮装置である。

- ③車両走行面と接するフェースプレートを脱着可能とし、止水機能部の損傷に応じた部分補修が可能となる構造である。
- ④弾性シーリング材等の止水機能部の補修を橋面上から実施可能とし、止水機能部の保護用繊維シートを設置する。
- ⑤中小企業でも製作可能でかつ簡単な構造とし、主構造の鋼構造部の接合をすみ肉溶接に限定するとともに、入手しやすい市場流通性の高い材料にて構成する。
- ⑥橋梁の供用期間を最低50年間と仮定し、初期設置1回、中間補修3回を前提とした場合、現行手法と比較して概算で約30%のトータルコスト削減を実現する。
- ⑦止水機能部のみの補修が可能となることから、現行手法と比較して中間補修1回当たり概算で約70%のランニングコスト削減を実現する。

4. 試作した伸縮装置による各種試験等

(1) 試作品の設計及び製作・設置

福井県内での積極的な採用を考え、橋梁台帳データに基づき橋長毎に桁遊間を整理し、試作品の製作対象とする伸縮量を20mm、30mm、40mm、50mmの4種類とした。その後、部材の分割や溶接形状、フェースプレート固定方法に配慮した概略形状を定め、構造計算を行うとともに、メンテナンスに重点を置いた止水機能部の形状や材料の選定を行った。

以上のことから、実際に製作する試作品の仕様及び構造計算を確定し、伸縮量4種類の試作品を製作した。

図-5に試作品の構造断面図例、図-6に試作品の外観例を示す。製作した試作品の一部について、道路管理者の協力を得て図-7のとおり福井県福井市内の県道橋に試験採用され、2021年11月に設置を完了した。

(2) 各種性能確認試験の実施

試作した伸縮装置について、所定の性能を有していることを確認する必要がある、疲労耐久性能、伸縮追従性

能、止水性能の各確認試験⁶⁾を実施した。これらの試験は静岡県富士市にある一般社団法人日本建設機械施工協会施工技術総合研究所にて行った。

a) 疲労耐久性能確認試験

疲労耐久性能確認試験については、伸縮量 50mm の試作品を供試体として用いた。図-8 に示すとおり重交通路線の交通量及び大型車混入率を考慮した疲労照査期間 20 年相当の確認試験 (200kN で 200 万回の繰返し載荷試験) を実施した。なお、現地で製作した供試体の鋼構造部、コンクリート構造部に各 4 箇所ずつひずみゲージを貼付け、疲労試験前及び試験後のひずみを計測した。図-9 及び図-10 に示すとおり残留ひずみは無く、ひずみの範囲も適正值であり、鋼材の変形、疲労亀裂の発生等の損傷もなかった。後打ちコンクリート部も伸縮装置本体との界面に開きもなく一体化しており、異常がないこ

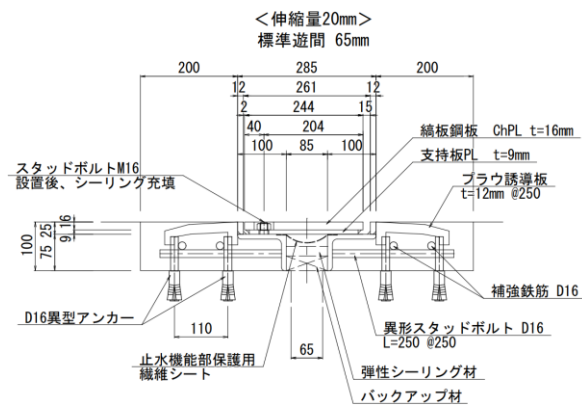


図-5 試作品の伸縮装置の構造断面図の一例

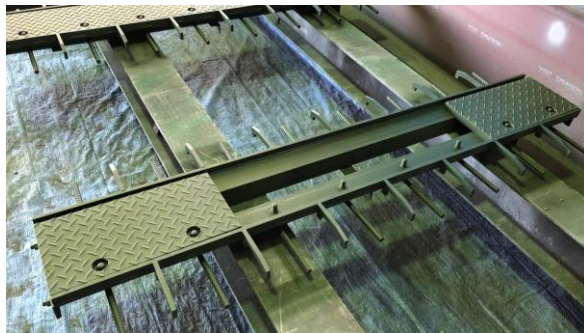
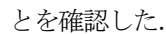


図-6 試作品の外観の一例



b) 伸縮追従性能確認試験及び止水性能確認試験

伸縮追従性能確認試験は、伸縮装置を最大遊間時～最小遊間時～最大遊間時を1回とした繰り返し試験である。本研究では耐用年数20年に加え地震動等の影響も考慮し、30回の繰り返し回数を設定して実施した。

止水性能確認試験では、伸縮追従性能試験後に供試体周囲をスタイロフォーム等で囲い、そのまま注水して漏水の有無を確認した。

使用した供試体は伸縮量 30mm と 40mm の 2 種類とした。供試体を 2 種類としたのは、止水機能部に使用する弾性シーリング材を工場で先行施工する場合（一般的なケース）と、曲線橋等の片勾配が大きい橋梁で弾性シーリング材のセルフプレバリングが困難な場合を想定した止水機能部の二次製品採用ケースの 2 工法の比較を行うためである。よって、伸縮量 2 種類 $\times$ 止水機能部 2 工法の計 4 パターンにて試験を実施することで、本研究での伸



図-7 試作した伸縮装置の設置事例



図-8 繰り返し載荷試験実施状況

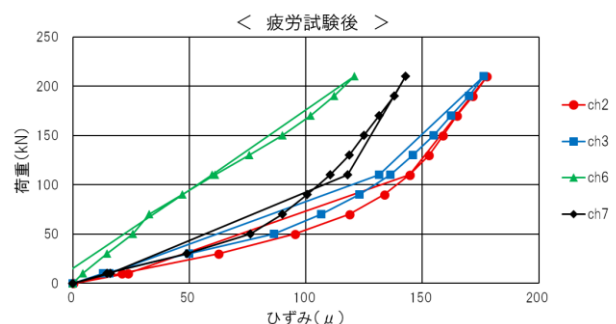
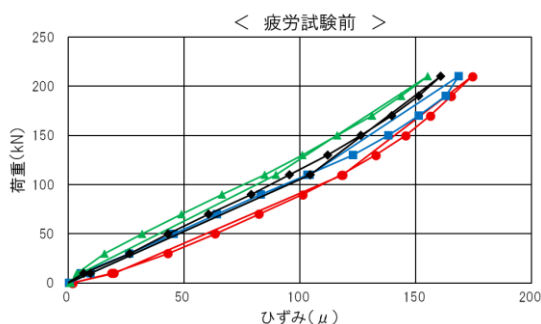


図-9 静的試験時の鋼材ひずみ（疲労試験前・疲労試験後）

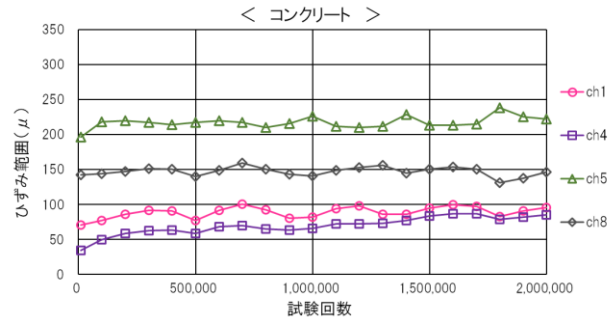
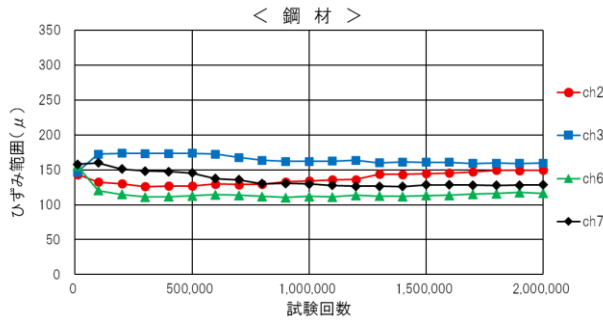


図-10 疲労試験時の鋼材・コンクリートのひずみ範囲の経時変化



図-11 伸縮追従性能確認試験（止水機能部先行形式）

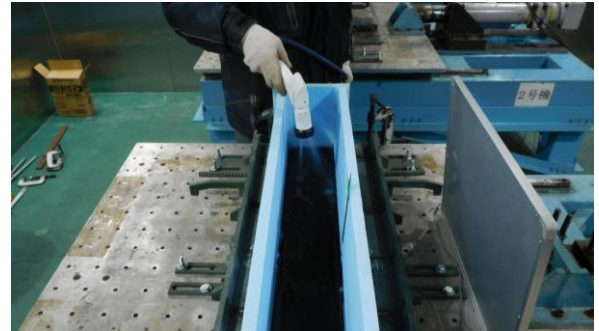


図-13 止水性能確認試験（水張り状況）

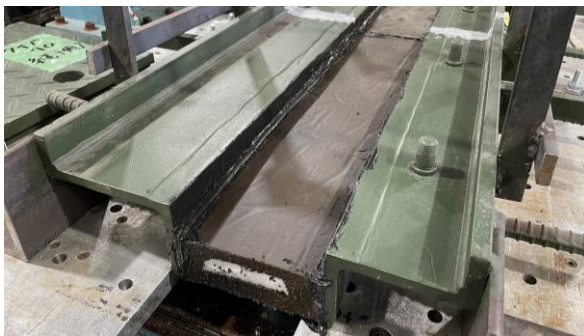


図-12 伸縮追従性能確認試験（止水機能部二次製品）

縮装置の試作品に関する設計の妥当性を確認できると判断した。図-11に止水機能部先行施工形式を、図-12に止水機能部二次製品化形式の伸縮追従性能確認試験状況を示す。また、図-13に伸縮追従性能確認試験後の止水性能確認試験の水張り状況、図-14に止水機能部二次製品化検討案を示す。

試験では止水機能部と鋼材界面での剥離、弾性シーリング材の破断や漏水等も発生せず、計4パターン全てにおいて異常が無いことを確認した。

また、止水機能部を二次製品化すると、現場での補修における作業時間の短縮はコスト削減だけでなく、交通規制期間の短縮にもなり、社会的負荷の低減に大きく寄与する。そのため、伸縮追従性能確認試験及び止水性能確認試験に向け、止水機能部を二次製品化する検討も実施した。図-14に示す3タイプを試験的に製作し、特に止水性を考慮して案③タイプを本試験で用いた。試験結果は良好であったが、今後も二次製品の製作の容易性や

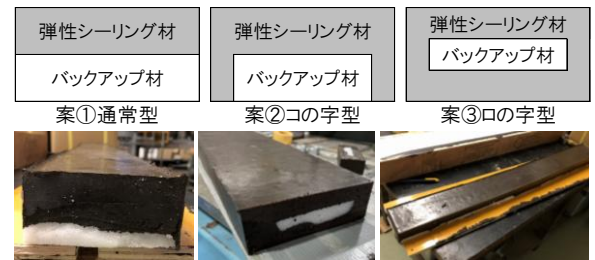


図-14 止水機能部の二次製品化検討案

補修時の作業性を考慮し、他形状も含め実用化に向けた検討を行う計画である。

5. 試作した伸縮装置の設置橋梁のモニタリング

試作品を設置した橋梁では2ヶ月に1回の頻度でモニタリング調査を実施した。モニタリング項目は、外観全景、騒音及び振動（午前・午後に分けて無作為に1時間計測）、フェースプレートと伸縮装置本体との間隔量計測（午前1回・午後1回）、伸縮装置に注水し下面からの漏水の有無の確認、フェースプレート脱着用ボルトナットのキャッピング材の損傷状況の計6項目とし、現在も継続実施している。外観全景は目視確認とし、騒音についてはリオン(株)普通騒音計 NL-42 を使用し「騒音にかかる環境基準について」⁷⁾に基づき計測した。振動については同じくリオン(株)汎用振動計 VM-83 と加速度センサ LS-10 を組み合わせて計測した。間隔量計測にはデジタルノギスを用い、漏水確認には目視の他マイクロコ

ープを使用して実施した。図-15にモニタリング状況、図-16に2025年3月までのモニタリング結果を示す。この結果から、伸縮装置本体の鋼構造において塗装の摩耗が確認されたが、これは現在使用されている一般的な伸縮装置も同様であることから大きな問題ではないと結論付けた。騒音・振動の計測値は波形計測の結果から、モニタリング箇所の環境基準の上限である65db前後を示した。最大値としては環境基準を超える値も確認されたが、金属製である伸縮装置本体とフェースプレートとの接触による金属音のような高い周波数の計測値は無く、道路舗装の段差等による影響が大きいものと考えられる。フェースプレートと伸縮装置本体との間隔量も全て規格値内の変化量であり、異常値は計測されなかった。後述するが2024年9月に試験的な補修業務を実施したためこの時は欠測であるが、その後の計測値も補修前と大きな隔たりはなく、異常が無いものと判断した。また、モニタリング期間中における漏水の発生は一度もなく、フェースプレート固定部のナットキャッピングシール材についても、本試作品設置橋梁に加え当工業技術センター敷地内でも計5種類のシール材料の暴露試験を経て1種類を選定することができ、モニタリングによる有益なデータを多く取得することができた。



図-15 伸縮装置試作品設置橋梁のモニタリング状況

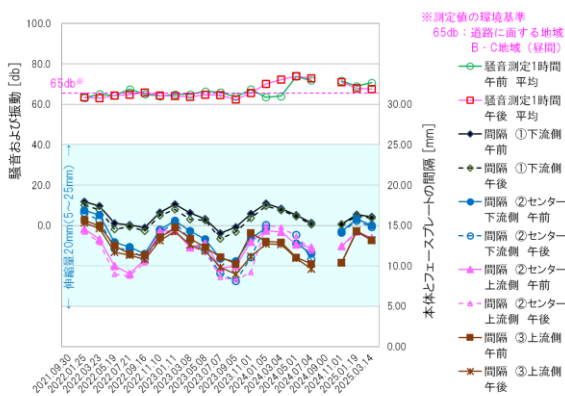


図-16 モニタリング結果

6. 試験的な補修作業と細部構造の修正

本研究で開発した伸縮装置は、部分的なメンテナンスを可能にすることが大きな特徴であるため、実際に試作品を設置した供用中の橋梁にて試験的な補修業務を実施した。これは、実際に部分的な補修の実施が可能かどうか、橋面上から安全に補修作業が行えるかを検証するためであり、施工業者が円滑に作業に従事できるよう、補修要領の作成のためのデータ取得を行った。図-17に示すとおり、フェースプレートの取り外しから止水機能部の打ち替え、スタッドボルト並びにフェースプレートの交換まで、考え得る最大限の補修内容とした。

実際の補修業務では、時間計測を行いながら半車線ずつの施工とし、各工程の作業時間や人工の配置、使用材料の種類、使用量を記録しながら進めた。本研究開発品における最大量の補修内容として実証したが、想定していたとおり交通規制期間も短く、短時間での作業完了を確認した。作業全体について作業従事者から意見聴取も行い、損傷の程度に応じた細分化した補修用施工歩掛作成のための貴重なデータ取得となった。

また、これまでに実施してきた試作品設置橋梁でのモニタリング結果や試験的な補修業務を踏まえ、当初設計の細部構造の見直し、細部形状の変更、使用材料の決定を行い、修正設計の内容を整理し、図-18に示すとおり最終修正の設計図面に反映した。



図-17 試作品設置橋梁での補修業務実施状況

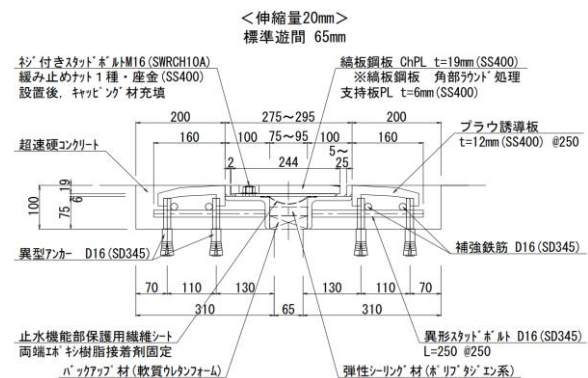


図-18 最終修正後の伸縮装置の構造断面図の一例

7. 最終試作品の製作及び設置、実証データ取得

これまでの研究開発の成果を踏まえ、図-18に基づき最終試作品を製作し、初期の試作品設置橋梁とは異なる福井県福井市内の橋長 110.0mの多径間橋梁にて、橋台部・橋脚部合わせて計 4 箇所の伸縮装置に試験採用され、2024 年 12 月に設置を完了した。図-19 に各伸縮装置の伸縮量並びに配置図を示す。この最終試作品を設置した橋梁は初期の試作品設置橋梁よりも交通量が多く、走行速度や重交通量も異なる環境となっているため、この橋梁において実供用下での長期的な耐久性検証や細部構造に不具合が発生しないかモニタリングを実施している。直近までのモニタリング結果は割愛するが、初期の試作品設置橋梁同様に不具合の発生は確認されておらず、一般的な伸縮装置と遜色なく現場に適用できていると考える。

前述してきたとおり、各種性能試験は全て合格しているが、実際の供用下での実証データ取得は本研究開発品の展開や普及において非常に重要であると位置付けており、今後も長期的にモニタリングを実施し、変更点や改良点が確認できた段階で速やかにブラッシュアップできるように努めていく。

8. 結論

本研究では、部分的に補修できるメンテナンスに優れた伸縮装置の開発に向け、各種取り組みを行ってきた。本研究で得た知見を以下に示す。

- ・国土交通省及び日本道路ジョイント協会が定める基準に準拠した形状、構造設計とし、疲労耐久性、伸縮追従性能、止水性能の各種性能を満たしていることを確認した。
- ・降雪地域でも適用可能な形状とし、橋梁部における除雪作業に支障の無い形状での構造、設計とすることができ、特に全国的に数量が多いと考えられる中規模橋梁に適用可能な遊間、伸縮量の荷重支持型伸縮装置とした。
- ・初期の試作品を用いた実際の補修作業を行うことで、車両走行面と接するフェースプレートの着脱から止水機能部の損傷に応じた部分補修が可能となる構造であることを確認し、本研究開発品の伸縮装置に合致した補修要領書の作成や補修歩掛データを取得した。
- ・部分的な補修が可能な構造であるため、橋面上からの作業に限定することが可能であり、実際の補修作業に要する期間はこれまでの一般的な伸縮装置の更新よりも短時間で終わることが可能となり、不要な取り壊しを避けることも含め、社会的、環境的負荷を小さく出来た。
- ・試作品設置橋梁でのモニタリング結果や試験的な補修業務を経て、細部構造の見直しや使用材料の選定を確

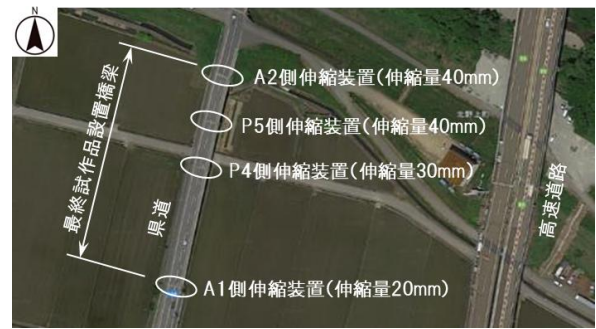


図-19 最終試作品設置橋梁の伸縮装置配置図

定し、これまでの専門的なメーカーでなくとも中小企業でも十分に製作可能な構造として整理し、また使用材料も入手しやすいもので構成した最終設計を確定した。

- ・橋梁の供用期間中におけるこれまでの伸縮装置の更新と比較して、部分的な補修や不要な取り壊しを避けることで、約 30%のトータルコスト削減と更新 1 回当たり約 70%のランニングコスト削減が可能である試算を算出した。

今後も試作品を設置した各橋梁でのモニタリング調査を継続実施し、本研究開発品へのフィードバックを行いより良い製品への改良につなげていきたい。また、本研究開発品が普及することにより、膨大な橋梁数に対してより一層の橋梁の長寿命化対策の促進とコスト削減に寄与されれば幸甚である。

謝辞：本研究開発の実施にあたり、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・阿部孝弘名誉教授、日光産業株式会社・古木敏三相談役並びに箕貴憲営業部長、北陸ロード株式会社・兼上智博福井営業所長には多大なるご協力を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 内閣府政策統括官(経済社会システム担当)：社会資本ストックの推計方法及び推計結果の概要(日本の社会資本 2023), 2025.3, p9
- 2) 国土交通省道路局：道路メンテナンス年報(令和 5 年度), 2024.8, p3
- 3) 国土交通省：社会資本の老朽化の現状と将来, 2025, https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html
- 4) 国土交通省道路局：橋梁定期点検要領, 2024.7, p9
- 5) 一般社団法人日本道路ジョイント協会：伸縮装置の設計ガイドライン, 2021.6
- 6) 東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社：NEXCO 試験方法, 第 4 編 構造関係試験方法, 2023.10
- 7) 環境庁・環境省：騒音に関する環境基準について(環境基本法第 16 条), 1998.9