

## 論文

## 荷重分布鋼板を設けた伸縮継手装置の耐荷力性能

木内彬喬\*, 阿部忠\*\*, 水口和彦\*\*\*, 金子昌明\*\*\*\*, 深水弘一\*\*\*\*\*

\*日本大学大学院, 生産工学研究科土木工学専攻 (〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

\*\*博(工), 日本大学名誉教授教授, 生産工学部土木工学科 (〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

\*\*\*博(工), 日本大学教授, 生産工学部土木工学科 (〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

\*\*\*\*一般社団法人 日本橋梁メンテナンス協会 (〒 103-0012 東京都中央区日本橋堀留町 2-8-11)

\*\*\*\*\*山王株式会社 (〒 861-8043 熊本県熊本市東区島西 5-5-57)

伸縮継手装置の多くは縦筋端部を床版表面に挿入し、超速硬セメントで一体化する荷重集中型伸縮継手装置である。本研究では荷重分布鋼板を設ける新たな構造の伸縮継手装置を開発し、RC はりを用いて静荷重実験を実施した。その結果、同一断面寸法を有する RC はりに対して荷重集中型伸縮継手を設けた RC はりの最大耐荷力は 1.50 倍、荷重分布型伸縮継手を設けた RC はりは 2.10 倍となった。また、荷重分布鋼板の効果により曲げ剛性が向上することから、ひび割れの進展やたわみの増加を抑制できる。よって、荷重分布鋼板を設けた伸縮装置は、大幅に耐荷力が向上し、実用的である結果が得られた。

キーワード: RC はり, 荷重分布型伸縮継手装置, 最大耐荷力, 破壊メカニズム

## 1. はじめに

道路橋における取付道路と橋梁間や橋梁遊間部には伸縮装置が設けられている。この伸縮装置は荷重支持型や突き合わせ型、埋設型に分類され、使用材料についても鋼製やゴム材、特殊合材など多種に渡っている<sup>1)</sup>。一般的な伸縮装置の構造は格子状に組まれた鉄筋に鋼板が接合され、鋼板間に取り付けられたゴム材によって伸縮機能を果たしている。また、近年では輪荷重の走行に伴う衝撃荷重により損傷事例も多く報告されている。既往の伸縮装置における取替施工では、損傷した伸縮装置をブレーカなど衝撃を与えながら撤去し、新たな伸縮装置が設置されている。これらの伸縮装置における施工方法は、アンカー筋や格子状に組まれた縦筋を挿入するための孔を RC 床版に穿孔し、伸縮装置設置後、コンクリートが打ち込まれている。この格子状に組まれた縦筋の間隔は 200mm 前後であることから、伸縮装置長が 2.0m の場合、22 箇所程度の挿入孔が必要とされている。よって、アンカー筋や縦筋には輪荷重が集中して作用するものと考えられ、床版の早期損傷に繋がる可能性もある。なお、本論文ではアンカー筋や縦筋を直接挿入して設置する伸縮装置を荷重集中型伸縮継手装置とする。

一方、伸縮装置の下面に荷重を分布させる鋼板（以下、荷重分布鋼板とする）を設けることで、支持した輪荷重を既設 RC 床版に等分布荷重として作用させる伸縮継手装置（以下、荷重分布型伸縮装置とする）が開発された<sup>2)</sup>。この伸縮継手装置は、荷重分布鋼板の



(1) 健全度Ⅲの損傷

(2) 健全度Ⅳの損傷

写真-1 遊間部の異常

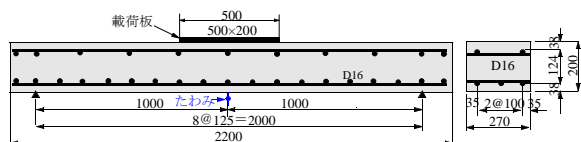
角 4 箇所、または 1m 間隔で 6 箇所をアンカーボルトにより既設 RC 床版と固定し、流動性モルタルおよび超速硬コンクリートで一体化する伸縮装置である。よって、荷重集中型伸縮継手装置と比較して設置の際に設ける孔が 70 % ~ 80 % 程度削減できることから、施工の合理化、省力化が図られる伸縮装置でもある。

そこで本研究では、橋梁遊間部である RC 床版端部を RC はり部材とした供試体に荷重集中型伸縮装置および荷重分布型伸縮継手装置をそれぞれ設置した供試体を用いて、静荷重実験を行い、耐荷力性能、支間中央におけるたわみ、破壊状況について検証を行う。また、施工性についても検証し荷重分布型伸縮継手装置の実用性について評価することで地方公共団体が管理する伸縮継手装置の施工の一助としたい。

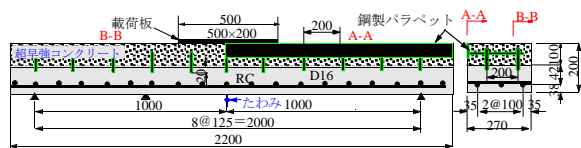
## 2. 定期点検要領に示す伸縮装置の損傷状況

橋梁定期点検要領に示す伸縮継手の損傷状況と健全度評価の一例を写真-1 に示す<sup>3)</sup>。橋梁点検要領

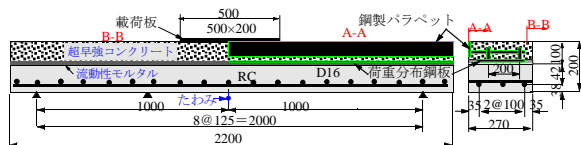




(1) RC はり



(2) 荷重集中型伸縮装置を設置する供試体



(3) 荷重分布型伸縮装置を設置する供試体

図-4 供試体寸法

よって、既設 RC はりは高さ 100mm、幅 270mm、長さ 2,200mm とする。また、図-2(1)に示す荷重集中型伸縮装置の 200mm×200mm 間隔で格子状に組まれた縦筋 22 点の端部を既設 RC はりに 20mm 挿入させる構造とした。なお、外径の寸法は供試体 RC-N と同様であり、既設 RC はりに荷重集中型伸縮装置を設置した供試体の名称を RC-J-A とする。

#### 4.3 荷重集中型伸縮装置を設置した供試体

荷重分布型伸縮継手装置を設置した供試体の寸法を、図-4(3)示す。既設 RC はりの寸法は供試体 RC-J-A と同様に、高さ 100mm、幅 270mm 長さ 2,200mm とし、単鉄筋配置とする。また、図-2(2)に示す荷重分布型伸縮装置は既設 RC はりから 10mm の位置で荷重分布鋼板の端部 4 点に設けられた、設置固定用のアンカーボルトで固定するものとした。なお、外径の寸法は供試体 RC-N と同様であり、既設 RC はりに荷重分布型伸縮継手装置を設置した供試体の名称を RC-J-B とする。

### 5. 使用材料

#### 5.1 RC はりおよび既設 RC はり

RC はりおよび既設 RC はりのコンクリートには、普通セメントと 5mm 以下の砕砂および 5mm ~ 20mm の砕石を使用した。コンクリートの設計基準強度は道路橋示方書・同解説（以下、道示とする）<sup>4)</sup>に規定する 24N/mm<sup>2</sup> を目標とし、配合条件を表-1 に示す。また、供試体の鉄筋には SD345, D16 を用いる。ここで、コンクリートの圧縮強度および鉄筋の材料特性値を表-2 に示す。なお、材齢 28 日でのコンクリートの圧縮強度は 36.3N/mm<sup>2</sup> である。また、鉄筋はミルシートの結果であり、降伏強度は 360N/mm<sup>2</sup> である。

表-1 コンクリートの配合条件

スランブ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位重量 (kg/m <sup>3</sup> )				減水剤 (C×%)
			W	C	S	G	
8.0±2.5	39	44.4	160	410	791	1002	2.45

W：水、C：セメント、S：砂、G：粗骨材

表-2 RC はりおよび既設 RC はりの材料特性値

供試体	コンクリート 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋 (SD345)			
		使用 鉄筋	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
RC-N RC-J	37.1	D16	360	496	200

表-3 鋼板および鉄筋の材料特性値

材料	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
一般鋼板SS400	305	445	200
ジベル筋	388	516	200
鉄筋D16(SD345)	401	574	200
鉄筋D13(SD345)	389	592	200

表-4 超速硬コンクリートの示方配合および圧縮強度

練り上げ量 (25L)			圧縮強度	
セメント 骨材	粗骨材	水・減水剤 遅延剤	材齢 3時間	材齢 24時間
30kg	25kg	4.0kg	25.4N/mm <sup>2</sup>	51.9N/mm <sup>2</sup>

#### 5.2 伸縮継手装置

##### (1) 荷重集中型伸縮装置

荷重集中型伸縮装置の鋼板パラペットには一般鋼板 (SS400) を用い、厚さを 10mm とする。また、パラペットには SD345 D16 のジベル筋と D16 および D13 の鉄筋を用いて立体ラーメン構造とし、各交差部等は全て溶接接合とする。ここで、鋼板および鉄筋の材料特性値を表-3 に示す。

##### (2) 荷重分布型伸縮装置

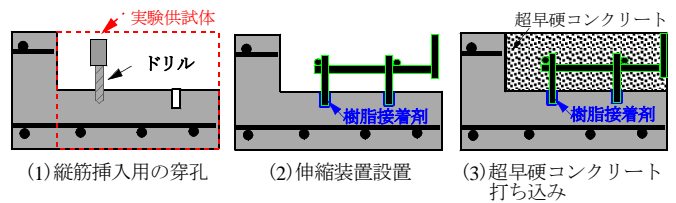
荷重分布型伸縮装置の鋼板パラペットおよび荷重分布鋼板には一般鋼板 (SS400) を用い、厚さを 10mm とする。また、パラペットには SD345 D16 のジベル筋と D16 および D13 の鉄筋を用いて立体ラーメン構造とし、各交差部等は全て溶接接合とする。ここで、材料特性値を表-3 に併記する。

#### 5.3 超速硬コンクリート

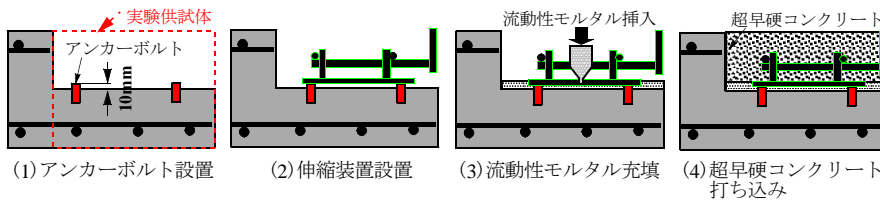
継手装置を設置後、供試体 RC-J-A は高さ 100mm の範囲、供試体 RC-J-B は荷重分布鋼板から高さ 80mm の範囲におけるコンクリートには、材齢 3 時間で道示に規定するコンクリートの設計基準強度 24N/mm<sup>2</sup> を満足する超速硬コンクリートを用いる。ここで、超速硬コンクリートの示方配合および圧縮強度を表-4 示す。この材料は市販のプレミックス材であり、25 ℓずつ練り混ぜて順次打ち込みする。材齢 3 時間での圧

表－5 流動性モルタルの示方配合および圧縮強度

示方配合			圧縮強度	
水 材 料 比	練り上げ量 (約13.5L)		材 齢 1 時 間	材 齢 3 時 間
	プレミックス	水		
18	25kg	4.5L	7.7N/mm <sup>2</sup>	26.8N/mm <sup>2</sup>



図－5 荷重集中型伸縮継手の設置手順



図－6 荷重分布型伸縮継手の設置手順



写真－2 流動性モルタル充填

縮強度の平均は 25.4N/mm<sup>2</sup>、材齢 28 日で 51.9N/mm<sup>2</sup> である。

#### 5.4 流動性モルタル

供試体 RC-J-B における荷重分布鋼板と既設 RC 床版との隙間 10mm および鋼板の表面までは市販の流動性モルタルを充填する。ここで、流動性モルタルの示方配合および圧縮強度を表－5 に示す。水量は気温により流動性モルタル 25kg に対して 4.1 ～ 4.8kg であり、本実験では流動性を考慮して 4.8kg で配合した。また、材齢 1 時間での圧縮強度の平均は 7.7N/mm<sup>2</sup>、材齢 3 時間での圧縮強度の平均は 26.8N/mm<sup>2</sup> である。

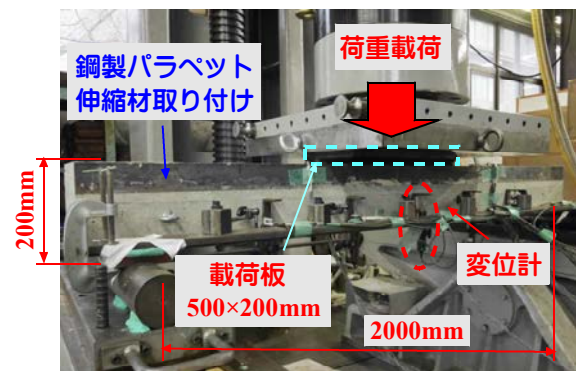
### 6. 伸縮装置の設置方法

#### 6.1 荷重集中型伸縮装置

荷重集中型伸縮装置の設置手順を図－5 に示す。まず、図－4(2)に示す RC 床版張出部を模擬した既設 RC はりを型枠に設置し (図－5(1)) に示す赤枠)、コンクリート上面にドリルで深さ 20mm の孔を 22 箇所削孔し、研掃する。次に、伸縮装置の縦筋をアンカー筋として孔に挿入する (図－5(2))。既往の設置では、孔に設置した後はそのままの状態でもコンクリートを打ち込まれるが本供試体の孔と縦筋の隙間には樹脂接着剤を充填し、設置した。設置後、表－4 に示す配合条件で練混ぜた超速硬コンクリートを既設 RC はり上面から 100mm の範囲に打ち込み、バイブレータで締め固め、表面仕上げして養生する (図－5(3))。なお、鉄筋端部を埋め込む孔の削孔からコンクリート打ち込み終了までの時間は 180 分程度であった。

#### 6.2 荷重分布型伸縮装置

荷重分布型伸縮装置の設置方法を図－6、流動性モルタルの充填状況を写真－2 に示す。まず、型枠に設置した後、RC 床版を模擬した RC はりコンクリート



図－7 静荷重実験状況

の表面を研掃する。研掃後、荷重分布鋼板の端部 4 カ所にアンカーボルトを設置する (図－6(1))。次に、荷重分布型伸縮装置をアンカーボルトに固定する (図－6(2))。流動性モルタルの注入方法は写真－2 に示すように荷重分布鋼板にはφ 30mm の孔が 200mm 間隔で設けられており、この孔に専用の円錐形のジョウゴを設置し、表－5 に示す配合条件で、流動性モルタルを練混ぜ、充填する (図－6(3))。充填はハンマーで衝撃を与えながら順次充填する。流動性モルタルの充填時間は 1 人で行った場合、20 分程度であり、10mm の隙間における流動性は良く十分であった。その後、荷重分布型伸縮装置の荷重分布板表面から 80mm の高さで超速硬コンクリート打ち込み、バイブレータで締め固めた後、表面仕上げして、養生する (図－6(4))。伸縮装置設置からコンクリート打ち込み終了までの時間は 90 分程度であり、荷重集中型伸縮装置と比較して設置に要する時間は大幅に短縮される。

### 7. 静荷重実験方法

静荷重実験の状況を図－7 に示す。実験では道示に規定される荷重状態を再現するために、輪荷重の載荷面である幅 500mm、奥行き 200mm の載荷板を設け、

表－6 最大耐荷力および破壊モード

供試体	最大耐荷力 (kN)	耐荷力比		破壊 モード
		J/N	J-B/J-A	
RC-N	66.9	-	-	曲げ破壊
RC-J-A	100.5	1.50	-	
RC-J-B	140.4	2.10	1.40	

荷重載荷を行う。各供試体の荷重載荷位置は図－4(1)～(3)に示すようにはりの支点方向，奥行き方向の中央に載荷版を設置し，1点載荷により行う。荷重載荷条件は0kNから20kNまで載荷し，その後，荷重5kNまで除荷し，残留値を計測する。これを1サイクルとして，1サイクル毎の荷重増加を20kNとする漸増載荷を行う。本実験における計測は支間中央におけるたわみを計測する。また，1サイクル毎に供試体側面におけるひび割れ状況の観察も行う。

## 8. 結果および考察

### 8.1 最大耐荷力

静荷重実験による最大耐荷力および破壊モードを表－6に示す。供試体RC-Nの最大耐荷力は66.9kNであり，この供試体を基準に最大耐荷力を評価する。

次に，荷重集中型伸縮装置を設置した供試体RC-J-Aの最大耐荷力は100.5kNであり，供試体RC-Nの1.50倍である。また，荷重分布型伸縮装置を設置した供試体RC-J-Bの最大耐荷力は140.4kNであり，供試体RC-Nの2.10倍，供試体RC-J-Aの1.40倍である。

以上より，荷重分布鋼板を設けることで耐荷力性能は大幅に向上する結果となった。

### 8.2 荷重とたわみの関係

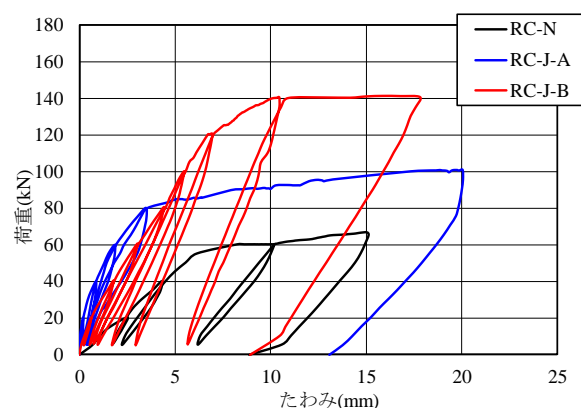
各供試体の支間中央の荷重とたわみの関係を図－8に示す。

#### (1) 供試体RC-N

供試体RC-Nの荷重とたわみの関係は図－8黒線に示すように，初期ひび割れの発生した荷重20kN付近を境にたわみの増加傾向がやや変化するものの，荷重50kN付近までは線形的に増加している。荷重50kN載荷時点におけるたわみは5.6mmである。その後の荷重増加に伴い，たわみは著しく増加し，曲げ破壊に至った。破壊時の最大荷重66.9kNでのたわみは15.2mmである。

#### (2) 供試体RC-J-A

供試体RC-J-Aの荷重とたわみの関係は図－8青線に示すように，初期ひび割れの発生した荷重20kN付近を境に傾きがわずかに変化している。また，荷重60kN付近を境に傾きがわずかに変化し，この付近を境にひび割れが上縁に大きく進展したと考えられる。



図－8 荷重とたわみの関係

しかしながら，荷重85.0kN付近までは線形的に増加し，この時点でのたわみは3.5mmである。その後の荷重増加に伴い，たわみは著しく増加し曲げ破壊に至った。破壊時の最大荷重100.5kNでのたわみは20.0mmである。

#### (3) 供試体RC-J-B

供試体RC-J-Bの荷重とたわみの関係は図－8赤線に示すように，初期ひび割れの発生した荷重40kN付近を境に傾きがわずかに変化するものの，荷重100kN付近までは線形的に増加している。荷重100kNでのたわみは5.5mmであり，荷重集中型伸縮装置を設置した供試体RC-J-Aのたわみを大幅に下回っている。その後の荷重増加において，荷重120kNを境にたわみの増加傾向が著しくなった。荷重140kNに至るまでの荷重増加において，既設RCはりと同様に荷重分布鋼板の間隙10mmに充填した流動性モルタル部における，水平方向のひび割れやはく離が発生したと推察される。その後，たわみの増加は著しくなり，最大荷重140.4kNにおいて，たわみ17.8mmで破壊となった。

以上より，荷重分布型伸縮継手装置を設置することで荷重分布鋼板の効果により曲げ剛性が高くなることから，たわみの増加が抑制される結果となった。

### 8.3 破壊状況

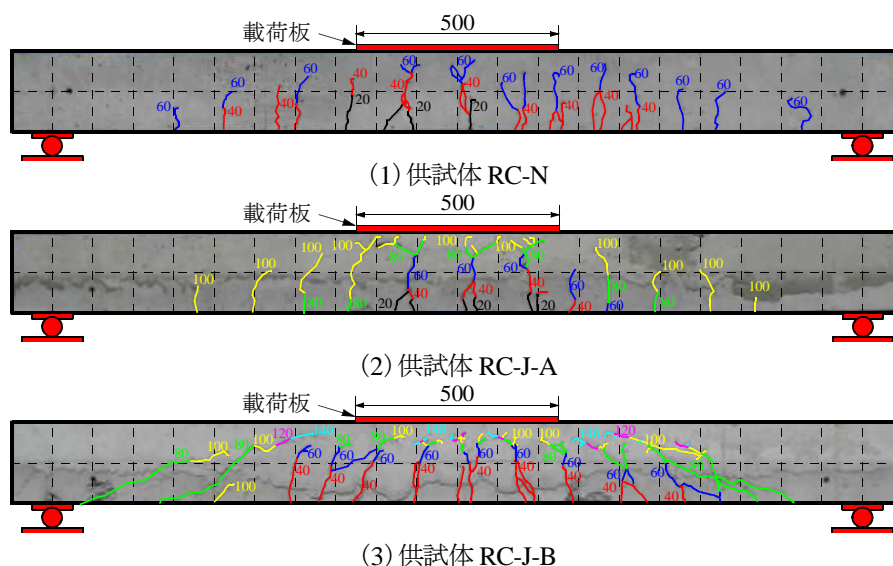
各供試体の側面の破壊状況を図－9に示す。

#### (1) 供試体RC-N

供試体RC-Nの破壊状況を図－9(1)に示す。初期ひび割れは，荷重20kN載荷時に発生し，曲げ領域に下面から発生したひび割れが荷重の増加に伴い上縁に進展している。また，せん断区間の支点内下面においても，荷重60kN載荷付近からひび割れが発生し進展している。なお，ひび割れは軸直角方向に配置した配力筋とほぼ同位置で発生しており，最終的な破壊モードは曲げ破壊に至った。

#### (2) 供試体RC-J-A

供試体RC-J-Aの破壊状況を図－9(2)に示す。初期ひび割れは，荷重20kN載荷時に発生し，曲げ領



図－9 各供試体の破壊状況

域に下面から発生したひび割れが荷重の増加に伴い上縁に進展し、圧縮鉄筋付近で横方向に分岐している。また、せん断区間の支点内下面においても、荷重 80kN 載荷付近からひび割れの発生と進展している。ひび割れの発生位置は伸縮装置のアンカー筋とほぼ同位置で発生しており、荷重載荷板の範囲に集中している。最終的な破壊モードは曲げ破壊に至った。

### (3) 供試体RC-J-B

供試体 RC-J-B の破壊状況を図－9(3)に示す。初期ひび割れは、荷重 40kN 載荷時点において、曲げ領域内の下面から発生している。しかしながら、その後の荷重の増加においては荷重分布鋼板が設置されている上面より 80mm 付近からひび割れの進展が抑制されている。また、せん断区間の支点内下面においても、荷重 80kN 載荷付近からひび割れが発生し進展するものの、荷重分布鋼板を境にひび割れの進展が抑制されている。その後の荷重増加に伴い、荷重 120kN 付近からひび割れが上縁に進展した。なお、両支点付近から載荷位置に向かってひび割れが進展していることから、既設 RC はりと荷重分布鋼板の隙間 10mm に充填した流動性モルタル部において、水平方向のひび割れやはく離が発生していると推察される。また、ひび割れの発生位置は伸縮装置のアンカー筋とほぼ同位置で発生しているものの、荷重分布鋼板の影響によりひび割れははり内に均等に発生している。最終的な破壊モードは曲げ破壊に至った。

## 9. まとめ

1) 荷重集中型伸縮装置はアンカー筋を挿入するために削孔する箇所が多く、設置に時間を要する装置である。一方、荷重分布型伸縮装置は固定

用アンカーボルトを 4 ヶ所のみ設けることから削孔する孔の数が 80 %程度低減し、施工時間の大幅な短縮が可能な装置である。

- 2) 荷重分布型伸縮装置の設置において、既設 RC はりと荷重分布鋼板の隙間に充填する流動性モルタルは、10mm の隙間に適切に充填され、施工性も良い。
- 3) 基準となる RC はりの耐荷力に対して、荷重集中型伸縮装置および荷重分布型伸縮装置を設置した RC はりの耐荷力はそれぞれ 1.50 倍、2.10 倍となり、荷重分布型伸縮装置を設置することで、耐荷力が大幅に向上した。
- 4) 荷重とたわみの関係においても、荷重分布型伸縮装置を設置することで、荷重分布鋼板の効果により曲げ剛性が向上することから、たわみの増加が抑制されている。
- 5) すべての供試体で曲げ破壊に至った。しかしながら、荷重分布型伸縮装置を設置することで荷重分布鋼板の効果により曲げ剛性が向上し、ひび割れがはり内に均等に発生していることから既設 RC はりに荷重が適切に分布作用していると考えられる。なお、既設 RC はりと分布鋼板の隙間に充填したモルタル部に発生する水平方向のひび割れについては検討が必要である。

### 参考文献：

- 1) 日本道路ジョイント協会：伸縮装置設計の手引き，2010.3
- 2) 深水弘一：道路橋の伸縮装置及び道路橋伸縮装置の施工方法，特許第 6567920 号，2019.8
- 3) 国土交通省：橋梁点検要領，2014.
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I, II, 2012.3 (2020 年 7 月 17 受付)