ISSN 2186-5647

1-1

荷重分布型伸縮装置を設置したRCはりの破壊メカニズム

日大生産工(院)　○木内彬喬　日大生産工(非常勤)　阿部忠　日大生産工　水口和彦
一般社団法人日本橋梁メンテナンス協会　金子昌明　山王（株）　深水弘一

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設けられている伸縮装置は主に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多種に渡っている [1]．これら既往の伸縮装置（以下，荷重集中型伸縮装置とする）の新設工事は，一般的に 200mm 程度の間隔で設けられたアンカー筋や縦筋を既設床版に穿孔した挿入孔に直接挿入して設置するものである．しかしながら既設床版に設ける挿入孔は多く，施工時間に課題を残している．また，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して考えられ，床版の早期損傷に繋がる可能性もある．そこで，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ことを目的として伸縮装置の下面に鋼板（以下，荷重分布鋼板とする）を設けた伸縮装置（以下，荷重分布型伸縮装置とする）が開発された [2]．この伸縮装置は，荷重分布鋼板の端部のみをアンカーボルトにより既設 RC 床版と固定する装置である．よって，設置の際に穿孔する孔の大幅な削減が可能であり施工の合理化，省力化が期待できる伸縮装置でもある．そこで本研究では，荷重集中型伸縮装置と新たに開発された荷重分布型伸縮装置をそれぞれ設置した RC はりを用いて，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．

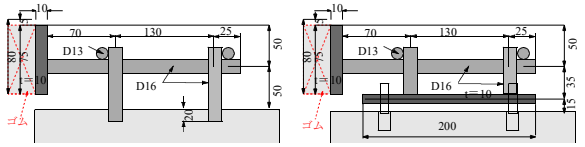
2. 伸縮装置の構造

2.1　荷重集中型伸縮装置

荷重集中型伸縮装置の断面は**図－1(1)**に示すように，板厚 10mm の鋼製パラペットに長さ 225mm のジベル筋（D16）を溶接し，そのジベル筋に長さ 120mm の縦筋（D16）を幅 130mm，奥行き 200mm 間隔で配置した．交差部には軸方向に D13 の鉄筋を配置した立体ラーメン型構造である．また，施工の際には，22 箇所ある縦筋 D16 を既設 RC 床版に 20mm 挿入させる必要がある．

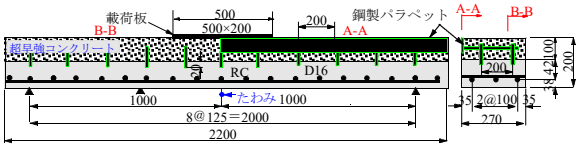
2.2　荷重分布型伸縮装置

荷重分布型伸縮装置の断面は**図－1(2)**に示すように，板厚 10mm の鋼製パラペットに長さ 225mm

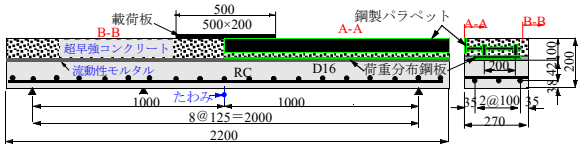


(1) 荷重分集中型伸縮装置 (2) 荷重分布型伸縮装置

図－1　伸縮装置の断面寸法



(1) 荷重集中型伸縮装置を設置する供試体



(2) 荷重分布型伸縮装置を設置する供試体

図－2　伸縮装置の断面寸法

のジベル筋（D16）を溶接する．そのジベル筋に長さ 85mm の縦筋（D16）を幅 130mm，奥行き 200mm 間隔で配置し，交差部には軸方向に D13 の鉄筋を配置した構造である．厚さ 10mm の一般鋼板を用いた荷重分布鋼板上面に縦筋を溶接する．荷重分布鋼板は幅 200mm，長さ 2,000mm の版とし，既設床版から 10mm の位置に設置する．

3. 供試体寸法

3.1　既設RCはり

一般的な伸縮装置は厚さ 100mm，幅 250 ～ 300mm 程度であることから，床版上面から 100mm，張り出し部を 270mm 程度切削して設置を行う．よって伸縮装置取り付け箇所は床版厚が 100mm 程度であり，単鉄筋配置となることから，伸縮装置を設置する既設 RC はりの寸法は高さ 100mm，幅 270mm，長さ 2,200mm とし引張側の主鉄筋に D16 を 100mm 間隔で配置する単鉄筋配置とした．

3.2　荷重集中型伸縮装置を設置した供試体

荷重集中型伸縮継手装置を設置した供試体の寸法は，**図－2(1)**に示すように，**図－1(1)**に示す荷重集中型伸縮装置の 130mm×200mm 間隔で格子状に組

Destruction mechanism of RC beam that set up expansion joint of load distribution type

Akitaka KIUCHI, Tadashi ABE , Kazuhiko MINAKUCHI , Masaaki KANEKO and Kouichi HUKAMI

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．よって，供試体の外径寸法は高さ 200mm，幅 270mm，長さ 2,200mm とし，供試体の名称を RC-J-A とする．

3.3 荷重分布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は，**図－2(2)**示すように，**図－1(2)**に示す荷重分布型伸縮装置を既設 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．ここで供試体の名称を RC-J-B とする．また，供試体 RC-J-B と同様の断面寸法であり既設 RC はりに 2 種類の接着剤を塗布した供試体を RC-J-C とする．なお，外径寸法は供試体 RC-J-A と同様である．

4. 使用材料

4.1 既設RCはり

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）[3]に規定する 24N/mm^2 を目標とした．また，供試体の鉄筋には SD345，D16 を用いる．ここで，鉄筋の材料特性値を**表－1**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^2 である．

4.2 伸縮装置

(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－1**に併記する．

(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－1**に併記する．

4.3 超速攻コンクリート

伸縮装置を設置後，供試体 RC-J-A は高さ 100mm の範囲，供試体 RC-J-B，C は荷重分布鋼板から高さ 80mm の範囲に超速攻コンクリートを打ち込み一体化する．超速攻コンクリートは材齢 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^2 を満足する材料であり，材齢 3 時間，28 日での圧縮強度の平均値はそれぞれ 25.4N/mm^2，51.9N/mm^2 である．

表－1　鋼材の材料特性値

	材料	降伏強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (kN/mm^2)
既設RCはり	D16（SD345）	360	496	200
伸縮継手装置	一般鋼板SS400	305	445	
	ジベル筋 D16	388	516	
	D16（SD345）	401	574	
	D13（SD345）	389	592	

表－2　接着剤の材料特性値

項目		浸透性接着剤	付着用接着剤
外観	主剤	無色液状	白色ペースト状
	硬化剤	無色液状	青色液状
混合比(主・硬)		10：3	5：1
硬化物比重		1.2	1.42
圧縮強度		104.4N/mm^2	102.9N/mm^2
圧縮弾性係数		3,172N/mm^2	3,976N/mm^2
曲げ強さ		92.8N/mm^2	41.6N/mm^2
引張せん断強さ		58.2N/mm^2	14.9N/mm^2
コンクリート付着強さ		2.6N/mm^2	3.7N/mm^2 以上または母材破壊

4.4 流動性モルタル

供試体 RC-J-B，C 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．なお，材齢 1 時間，3 時間での圧縮強度の平均はそれぞれ 7.7N/mm^2，26.8N/mm^2 である．

4.5 接着剤

供試体 RC-J-C において，施工時や損傷によるひび割れの補修材として浸透性接着剤，打ち込みコンクリートとの付着力を高めるために高耐久型エポキシ系接着剤（以下，付着用接着剤とする）を塗布する．ここで 2 種類の接着剤の材料特性値を**表－2**に示す．浸透性接着剤は 0.05mm 以上のひび割れにコンクリート上面から毛細管現象により深さ 30mm 程度まで浸透し，コンクリート表面を強固にする接着剤[4]であり，付着強さは 2.6N/mm^2 である．また，付着用接着剤は，RC 床版の上面増厚補強 [5]や補修技術 [6]にも採用されており，コンクリートとの付着強さは 3.7N/mm^2 以上を有している．

5. 伸縮装置の施工手順

荷重集中型伸縮装置の設置方法は，まず，既設 RC はりに深さ 20mm の孔を 22 箇所削孔し，研掃する．その後，伸縮装置の縦筋をアンカー筋として孔に挿入して設置し，超速硬コンクリートを打ち込み，表面仕上げして養生する．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．

一方，荷重分布型伸縮装置の設置方法は，既設 RC はりの表面を研掃し，アンカーボルトを用いて荷重分布鋼板の端部 4 カ所を既設 RC 床版と固定する．なお，供試体 RC-J-C では，伸縮装置の設置前に浸透性接着剤をコンクリート表面に 0.5kg/m^2，付着用接着剤を 0.9kg/m^2 でコンクリート表面および荷重

分布鋼板に塗布する．次に，ハンマーで衝撃を与えながら 200mm 間隔で荷重分布鋼板に設けられたφ30mm の孔より流動性モルタルを充填する．1 人で行った場合の充填時間は 20 分程度であり，10mm の隙間での流動性は良好であった．その後，超速硬コンクリート打ち込み，表面仕上げして，養生する．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．なお，新設工事においては付着用接着剤のみの塗布も可能である．

6. 実験方法

静荷重実験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 の載荷板を各供試体の支点方向，奥行き方向の中央に設置し，1 点載荷により行う．荷重載荷条件は 0kN から 20kN まで載荷した後，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し，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．

7. 結果および考察

7.1 最大耐荷力

静荷重実験による最大耐荷力を**表－3**に示す．供試体 RC-J-A の最大耐荷力は 100.5kN であり，この供試体を基準に最大耐荷力を評価する．供試体 RC-J-B，C の最大耐荷力はそれぞれ 140.4kN，160.8kN であり，供試体 RC-J-A の 1.40 倍，1.60 倍である．よって，伸縮装置に荷重分布鋼板を設けることで耐荷力性能は大幅に向上した．また，供試体 RC-J-C の耐荷力は供試体 RC-J-B の 1.15 倍と接着剤を塗布することで耐荷力性能はさらに向上する結果となった．

7.2 荷重とたわみの関係

各供試体の荷重とたわみの関係を**図－3**に示す．

(1) 供試体RC-J-A

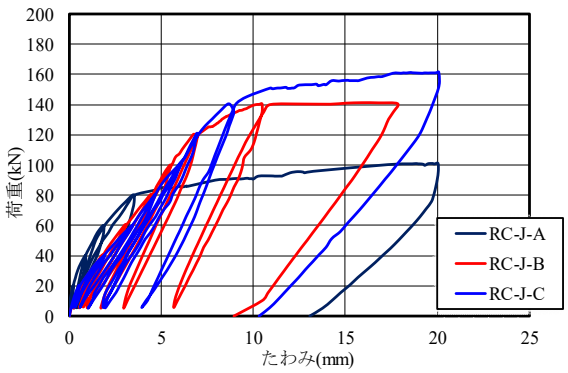
供試体 RC-J-A の荷重とたわみの関係は，初期ひび割れの発生した荷重 20kN 付近，ひび割れが上縁に進展したと考えられる 60kN 付近を境に傾きがわずかに変化するものの，荷重 85.0kN 付近までは線形的に増加している．この時点でのたわみは 3.5mm であり，その後の荷重増加において，たわみは著しく増加し曲げ破壊に至った．破壊時の最大荷重 100.5kN でのたわみは 20.0mm である．

(2) 供試体RC-J-B

供試体 RC-J-B の荷重とたわみの関係は，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，供試体 RC-J-A のたわみを大幅に下回っている．その後，荷重 120kN 付近を境にたわみの増加傾向が著しくなり，荷重 140kN に至るまでの荷重増加において，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，たわみは著しくの増加し，最大荷重 140.4kN において，たわみ 17.8mm で曲げ破壊となった．

表－3 最大耐荷力

供試体	最大耐荷力 (kN)	耐荷力比	
		B,C/A	C/B
RC-J-A	100.5	-	-
RC-J-B	140.4	1.40	-
RC-J-C	160.8	1.60	1.15



図－3 荷重とたわみの関係

(3) 供試体RC-J-C

供試体 RC-J-C の荷重とたわみの関係は，荷重 40kN 付近を境に傾きがわずかに変化するものの，初期ひび割れの発生した荷重 80kN 付近までは大きな変化は見られない。また、荷重 120kN 付近までは供試体 RC-J-B と同様の増加傾向を示している．その後，荷重 140kN 付近を境にたわみは著しくの増加し，最大荷重 160.8kN において，たわみ 20.1mm で曲げ破壊となった．

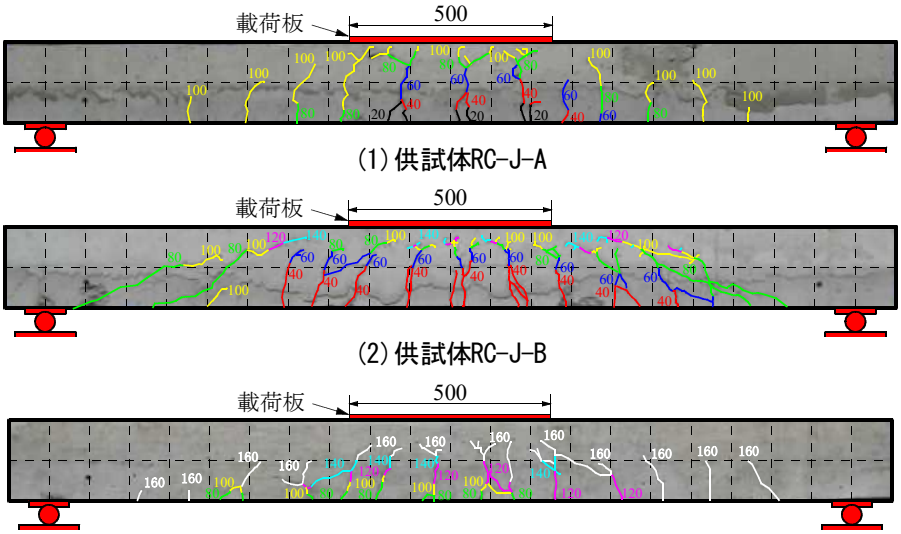
以上より，伸縮装置に重分布鋼板を設けることで曲げ剛性が高くなり，たわみの増加が抑制される結果となった．

7.3 破壊状況

各供試体の破壊状況を**図－4**に示す．

(1) 供試体RC-J-A

供試体 RC-J-A の破壊状況を**図－4(1)**に示す．初期ひび割れは，荷重 20kN 載荷時に曲げ領域に下面から発生している．その後の荷重の増加に伴いひび割れは上縁に進展し，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が発生し進展している．ひび割れの発生位置は伸縮装置のアンカ



(1) 供試体RC-J-A

(2) 供試体RC-J-B

(3) 供試体RC-J-C

図－4　破壊図

一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．

(2) 供試体RC-J-B

供試体 RC-J-B の破壊状況を**図－4 (2)** に示す．初期ひび割れは荷重 40kN 載荷時において，曲げ領域内の下面から発生している．また，荷重 80kN 載荷付近からせん断区間の支点内下面よりひび割れが発生し進展するものの，荷重分布鋼板が設置されている上面より 80mm 付近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，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，荷重分布鋼板の効果により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．

(3) 供試体RC-J-C

供試体 RC-J-C の破壊状況を**図－4 (3)** に示す．初期ひび割れは荷重 80kN 載荷時において，曲げ領域内の下面から発生している．その後の荷重増加において，荷重 140kN まではひび割れの大きな進展は見られない．ひび割れは供試体 RC-J-B と同様にアンカー筋とほぼ同位置ではり内に均等に発生しているものの，接着剤の効果によって進展は大きく抑制されている．また，流動性モルタル部のはく離に起因したひび割れも見られない．

8. まとめ

(1) 荷重分布型伸縮装置は荷重集中型伸縮装置と比して設置に要する時間の大幅な短縮が可能であり，施工性に優れている．

(2) 伸縮装置に荷重分布鋼板を設けることで，最大耐荷力は向上する結果となった．

(3) 荷重とたわみの関係においても荷重分布鋼板の効果により曲げ剛性が向上することでたわみの増加が抑制されている．

(4) 全ての供試体において，曲げ破壊に至ったが，荷重分布型伸縮装置を設置することでひび割れは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いえる．

(5) 接着剤を塗布することで，既設 RC はりと流動性モルタル部のはく離に起因したひび割れは見られず，最大耐荷力の向上やたわみ増加の抑制にも効果的であるといえる．

参考文献：

1) 日本道路ジョイント協会：伸縮縮装置設計の手引き（2010）

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）

3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I，II（1994）

4) 阿部忠ほか：RC 床版上面損傷に用いる補修材の提案およびサイクル補修における耐疲労性の評価，構造工学論文集，Vol. 60A，pp.1122-1133（2014）

5) 阿部忠ほか：RC 床版の SFRC 上面増厚補強法における接着剤が耐疲労性に及ぼす影響，構造工学論文集，Vol59A，pp1084-1091，2013

6) NEXCO 東日本：維持作業で高耐久断面修復が可能な床版 EQM 工法，E18 上信越自動車道佐久事務所現場レポート（2017）