

2種類の接着剤を塗布した荷重分布型伸縮装置の耐荷力性能および破壊メカニズムに関する実験研究

日大生産工(院) ○木内彬喬 日大(名誉教授) 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

道路橋に設置される伸縮装置は、輪荷重の支持条件により構造的に分類され、使用材料も多種に渡っている¹⁾。伸縮装置の取替工事では撤去時の削り作業による既設部への微細なひび割れが懸念される。とくに荷重支持型伸縮装置は、アンカー筋や縦筋を既設床版に直接挿入して設置するため、縦筋への輪荷重集中作用による既設床版への負担も大きい。よって、取替工事後の伸縮装置や既設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床版に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⁾。荷重分布型伸縮装置は既設部への負担を軽減させる構造ではあるが、一体化には流動性モルタルと超速硬コンクリートが使用され、荷重分布鋼板と各材料での付着力不足によるはく離が懸念される。

本研究では、荷重分布型伸縮装置を設置したRCはりを用いて、静荷重実験を行い、耐荷力性能、破壊状況および試験終了後の建研式引張試験による引張接着強度について検証を行う。

2. 荷重分布型伸縮装置の構造

荷重分布型伸縮装置の外観を図-1、断面寸法を図-2に示す。荷重分布型伸縮装置は、板厚10mmの鋼製パラペットに長さ225mm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の鉄筋を配置した立体ラーメン型構造である。また、幅200mm、長さ2,000mm、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。荷重分布鋼板には流動性モルタル充填用の孔が200mm間隔で設けられており、既設床版から10mmの位置に設置するものとした。

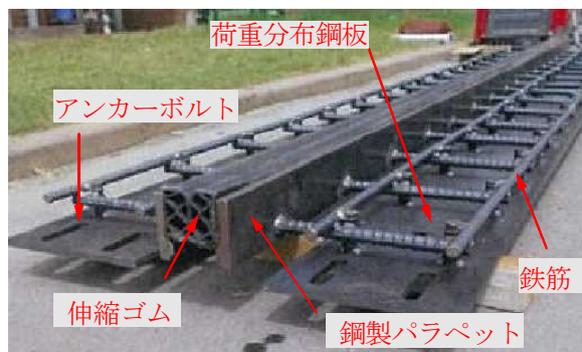


図-1 荷重分布型伸縮装置の外観

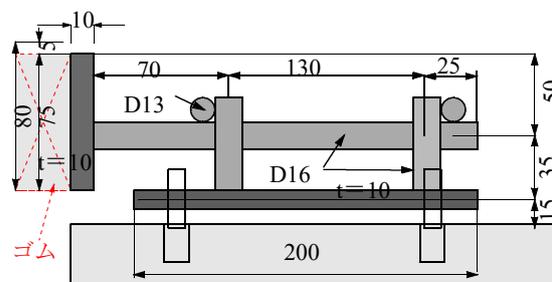


図-2 荷重分布型伸縮装置の断面寸法

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	

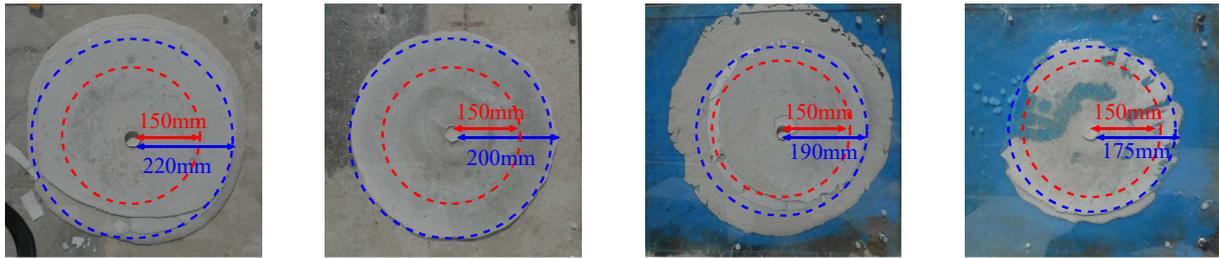
3. 使用材料

3.1 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/mm²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/mm²で

Study on Load Carrying Capacity Performance and Failure Mode of Expansion Jjoint
of Load Distribution Type Applied with 2 Kinds of Adhesive

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



(1) 隙間10mm接着剤無し (2) 隙間5mm接着剤無し (3) 隙間10mm接着剤有り (4) 隙間5mm接着剤有り

図-3 流動性モルタルの充填状況

ある。

3.2 荷重分布型伸縮装置の鋼材

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のジベル筋と縦筋D16および交差部軸方向筋D13を用いた。ここで、材料特性値を表-1に併記する。

3.3 流動性モルタル

(1) 材料特性

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。流動性モルタルの水量は流動性モルタル25kgに対して4.1～4.8kgであるが、本実験では流動性を考慮して4.8kgで配合した。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/mm²、26.8N/mm²である。

(2) 充填性能

荷重分布鋼板と既設RCはりとの隙間10mmに接着剤を塗布した場合における流動性モルタルの充填状況について検証した。アクリル板にφ30mmの孔を開け、流動性モルタル注入用の漏斗を設置し、流動性モルタルを注入した場合の充填範囲の結果を図-3に示す。コンクリート面とアクリル板の隙間10mmに注入した場合の充填範囲は半径150mm以上、隙間5mmの場合も同様に半径150mm以上の範囲に充填された(図-3(1),(2))。一方、コンクリート表面に浸透性接着剤を0.5kg/m²以上、高耐久型エポキシ系接着剤(以下、付着用接着剤とする)を0.9kg/m²を塗布した場合の隙間10mmおよび隙間5mmにおいても半径150mm以上の範囲に充填される結果が得られた(図-3(3),(4))。よって、荷重分布鋼板にφ30mmの孔を200mm間隔で設けることで流動性モルタルは十分に充填が可能であるといえる。

3.4 超速硬コンクリート

伸縮装置を設置後、荷重分布鋼板から高さ80mmの範囲に超速硬コンクリートを打ち込み

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
	硬化剤	無色液状
		白色ペースト状
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

一体化する。超速硬コンクリートは材齢3時間で道示に規定されるコンクリートの設計基準強度24N/mm²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/mm²、51.9N/mm²である。

3.5 接着剤

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付着用接着剤を塗布する。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/mm²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/mm²以上を有している。

4. 供試体寸法

4.1 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。

4.2 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-4に示すように、図-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構造とした。その後、流動性モルタルおよび超速硬コンクリートによって一体化を図る。供試体の外径寸法は、高さ 200mm、幅 270mm、長さ 2,200mm である。ここで、供試体の名称を RC-J とする。また、供試体 RC-J と同様の断面寸法として既設 RC はりに浸透性接着剤と付着用接着剤、荷重分布鋼板に付着用接着剤を塗布した供試体を RC-J-A とする。

5. 実験方法

5.1 静荷重実験

静荷重実験では、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設置したたわみを計測する。また、試験終了後に供試体中央における支点方向、奥行き方向を切断し、断面のひび割れ状況の観察を行った。

5.2 建研式引張試験

静荷重実験終了後に、荷重分布鋼板と流動性モルタルおよび RC はりコンクリートとの付着強度を引張接着強度試験より検証する。試験位置は供試体中央から 150mm、450mm、750mm の位置とし、それぞれ No.1, No.2, No.3 とする。なお、強度の算出式は式(1)として与えられる。

$$f_t = P/A \quad (1)$$

ここで、 f_t ：引張接着強度(N/mm²)、 P ：接着荷重(N)、 A ：接着面積(mm²)

6. 結果および考察

6.1 最大耐荷力

各供試体の最大耐荷力を表-3に示す。供試体 RC-J の最大耐荷力は 140.4kN 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-A の最大耐荷力は 160.8kN であり、耐荷力比は 1.15 倍である。

以上より、既設 RC はりに 2 種類の接着剤、荷重分布鋼板に付着用接着剤を塗布することで耐荷力性能は向上する結果となった。

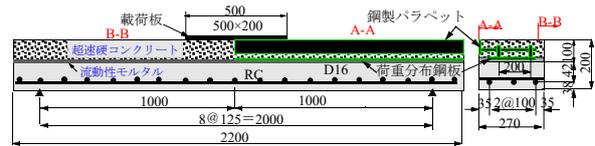


図-4 供試体の寸法

表-3 最大耐荷力

供試体	最大耐荷力 (kN)	耐荷力比 J-A/J
RC-J	140.4	-
RC-J-A	160.8	1.15

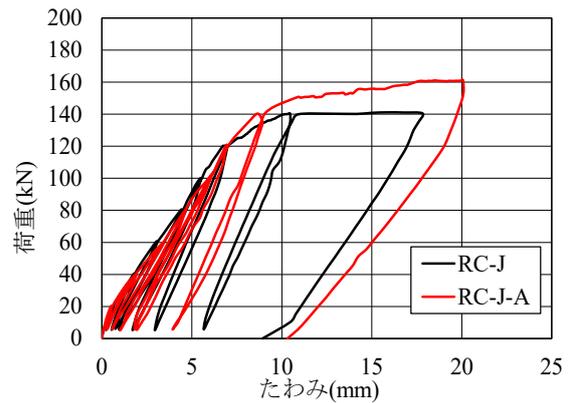


図-5 荷重とたわみの関係

6.2 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-5に示す。供試体 RC-J の荷重とたわみの関係は、荷重 40kN 付近以降から傾きがわずかに変化するものの、荷重 120kN 付近までは線形的に増加している。その後、荷重 120kN 以降から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いて水平方向のひび割れやはく離が大きく進展した。なお、荷重 140kN 到達時点でのたわみは 10.9mm であった。その後、たわみは著しくの増加し、最大荷重 140.4kN において、最大たわみ 17.8mm で曲げ破壊に至った。

供試体 RC-J-A の荷重とたわみの関係は、荷重 40kN 付近以降で傾きがわずかに変化するものの、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 120kN ~ 140kN では供試体 RC-J と比べて緩やかな増加傾向を示し、荷重 140kN 時のたわみは 8.7mm と供試体 RC-J を下回っている。その後、たわみは緩やかに増加し、最大荷重 160.8kN において、最大たわみ 20.1mm で曲げ破壊に至った。

以上より、接着剤を塗布することで破壊荷重付近においても一体性が確保され、たわみの増加が抑制される結果となった。

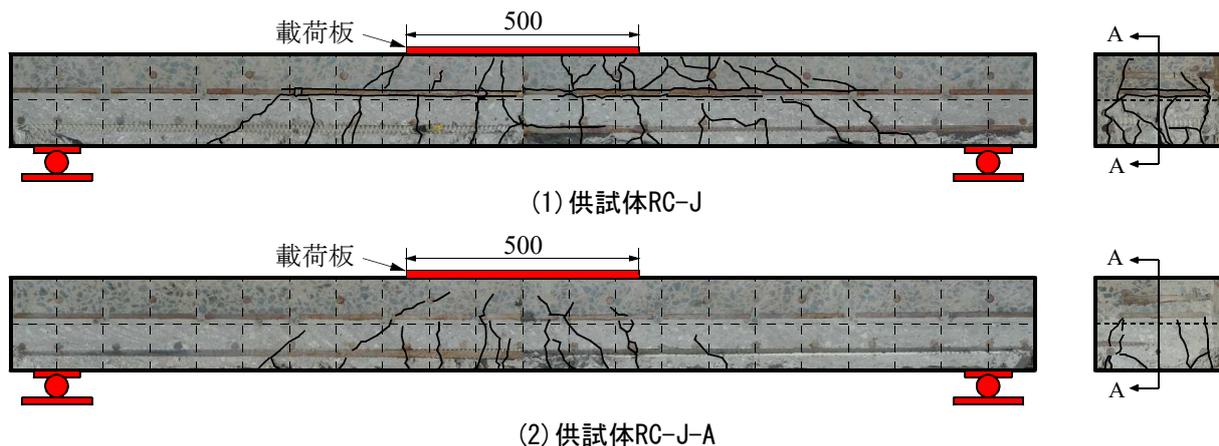


図-6 断面の破壊状況

6.3 断面の破壊状況

各供試体の断面の破壊状況を図-6に示す。供試体 RC-J では、載荷位置から 45 度範囲内にひび割れが集中し、荷重分布鋼板を介してさらに広範囲に発生している。これは荷重分布鋼板の効果により荷重が分散されたことに伴い、支点間内で比較的均等にひび割れが発生したと推測される。また、荷重分布鋼板に沿うように水平方向のひび割れやはく離が発生している。最終的な破壊モードは曲げ破壊であった。次に、供試体 RC-J-A では供試体 RC-J と同様にアンカー筋とほぼ同位置でひび割れははり内に均等に発生している。しかしながら、接着剤の効果によって進展は大きく抑制され、上縁には到達していない。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。最終的な破壊モードは曲げ破壊であった。

6.4 引張接着強度

建研式引張試験による引張接着強度を表-4に示す。供試体 RC-J における No.1 ~ No.3 の引張接着強度はそれぞれ 0.00N/mm^2 、 0.06N/mm^2 、 0.98N/mm^2 であり、全ての位置において引張接着強度 1.00N/mm^2 を下回っている。破断面は荷重分布鋼板と流動性モルタルとの界面である。一方、供試体 RC-J-A ではそれぞれ 1.34N/mm^2 、 1.60N/mm^2 、 1.73N/mm^2 と全ての位置において基準値 1.00N/mm^2 を上回っている。また、破断面においても No.1 ではモルタル層、No.2、No.3 ではコンクリート層と接着剤を塗布することで十分な付着強度が確保されている。

7. まとめ

- (1) 荷重分布型伸縮装置の一体化に用いる流動性モルタルは 200mm 間隔で荷重分布鋼板に設けた ϕ 30mm の孔から十分に充填が可能である。

表-4 引張接着強度

供試体	接着面積 (mm ²)	接着荷重 (kN)	引張接着強度 (N/mm ²)	破断位置	
RC-J	No1	7698	0.0	0.00	鋼板界面
	No2	7698	0.5	0.06	鋼板界面
	No3	7698	7.6	0.98	鋼板界面
RC-J-A	No1	7698	10.3	1.34	モルタル層
	No2	7698	12.3	1.60	コンクリート層
	No3	7698	13.3	1.73	コンクリート層

- (2) 既設 RC はりに 2 種類の接着剤、荷重分布鋼板に付着用接着剤を塗布することで、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、接着剤の効果によりたわみの急激な増加が抑制されている。
- (4) 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、破壊時においても一体性が確保されている。

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)