

## 論文

## 荷重分布型伸縮装置を設置したRCはりの耐荷力および製作・施工技術

佐々木茂隆\*, 阿部忠\*\*, 水口和彦\*\*, 野口博之\*\*\*\*, 深水弘一\*\*\*\*, 金子昌明\*\*\*\*\*

\*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 (〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

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

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

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

本研究では、荷重分布型伸縮装置の設置施工でコンクリート表面および荷重分布鋼板に付着用接着剤を塗布して流動性モルタルと超速硬コンクリートを打ち込みした場合の RC はりの耐荷力性能および界面の引張接着強度を検証した。その結果、既往の研究による伸縮装置を模擬した伸縮装置に対して荷重分布型伸縮装置の耐荷力は 1.4 倍となった。一方、コンクリート表面および伸縮装置に接着剤を塗布した場合の耐荷力は 1.6 倍の耐荷力性能が向上した。さらに、鋼板と流動性モルタルとの界面の建研式引張試験における引張接着強度は接着剤を塗布することで破壊時までのはく離が見られない結果が得られ、接着剤を塗布した施工法は破壊時まで付着面が一体化されることから実用的である。

キーワード：荷重分布型，伸縮装置，耐荷力性能，製作技術，施工技術

## 1. はじめに

既往の荷重支持型や突き合わせ型伸縮装置の設置の多くは、既設 RC 床版に孔を開け、アンカー筋を挿入し、伸縮装置の骨組み筋と溶接し、その後超速硬コンクリートを打ち込み一体化している。アンカー筋の数は長さ 2m 程度の伸縮装置で 20 箇所ほど打ち込みして RC 床版に設置される。この工法の課題は、アンカー筋をハンマーなどで打ち込むことによる、新たなひび割れの発生と設置に多くの時間を要することである。また、輪荷重載荷面から 45 度下方に荷重が分布されることから、その周辺に損傷が発生する。

一方、本提案の荷重分布型伸縮装置<sup>1)</sup>は、既往の伸縮装置の底面に荷重分布鋼板を設け、輪荷重を 45 度下方に分布した輪荷重をさらに荷重分布鋼板を介して既設 RC 床版の広範囲に分布させる装置である。この伸縮装置の設置方法は、RC 床版上面から 10mm の位置に設置し、荷重分布鋼板端部の 4 箇所をアンカーボルトで締め付けとアンカー筋を打ち込み設置するものである。設置においては既往の伸縮装置と比較して 50%程度の時間での設置が可能となる。よって、施工の合理化、省力化が図られる伸縮装置である。

そこで本研究では、荷重分布型伸縮装置を既往の設置技術で設置した RC はりと、旧伸縮装置の撤去

作業で発生する、微細なひび割れ補修用浸透性接着剤と、打ち継ぎコンクリートとの付着性を高める付着用接着剤を用い設置した RC はりの耐荷力を検証する。また、荷重分布鋼板と流動性モルタルおよび流動性モルタルと RC はりコンクリートとの界面の引張強度について建研式引張試験を実施し、引張強度を検証する。さらに、実橋 RC 床版に荷重分布型伸縮装置の施工技術について考察する。

2. 荷重分布型伸縮装置の概略<sup>1)</sup>

荷重分布型伸縮装置の概略を写真-1に示す。荷重分布型伸縮装置は、荷重分布鋼板上面に骨組鉄筋を溶接し、橋軸方向の鉄筋端部(ジベル筋)と伸縮ゴムを取り付ける鋼製パラペットを溶接した構造である。

RC 床版コンクリートとの設置においては、設置固定用のアンカーボルトを装置の両端部 4 点に設置しボルト締めにより固定する。さらに、4 箇所ほどアンカー筋を打ち込んで設置する。荷重は荷重分布鋼板を介して、既設 RC 床版に分布荷重として作用することが特徴である。なお、実験供試体は両側のアンカーボルト 4 箇所のみで設置した。

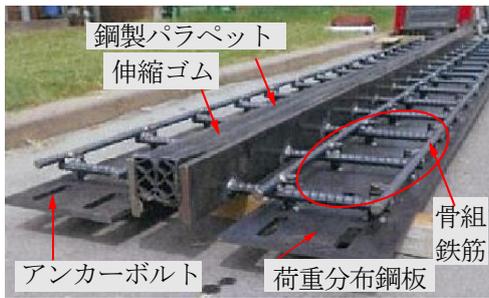


写真-1 荷重分布型伸縮装置

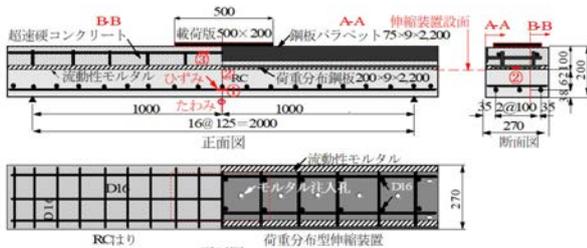


図-2 供試体寸法および配置寸法

### 3. 伸縮装置の寸法および使用材料

#### 3.1 伸縮装置の概略寸法

本実験では伸縮装置の耐荷力性能の検証を行うことを目的とし、モデル化した RC はりに伸縮装置を設置する。伸縮装置の断面方向の概略寸法を図-1 に示す。

荷重分布型伸縮装置を設置した RC はり (図-1 (a)), また、荷重分布型伸縮装置の設置において打ち継ぎモルタルや超速硬コンクリートとの付着力を高めるために接着剤を塗布した RC はり (図-1(b)) の2タイプを用いて静荷重実験を行う。

#### 3.2 供試体寸法

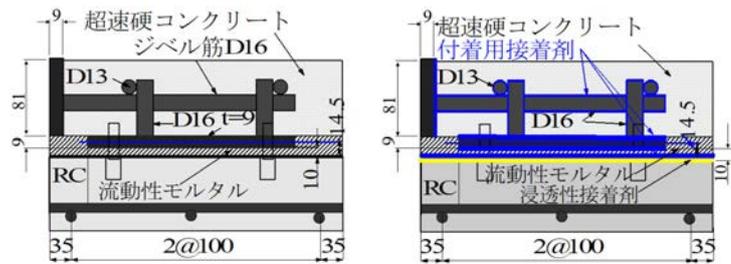
本実験に用いる供試体の寸法を図-2 に示す。

##### (1) 荷重分布型伸縮装置 (接着剤なし)

荷重分布型伸縮装置 (接着剤なし) を設置する供試体の寸法は図-2 に示すように、既設 RC 部の厚さを 100mm とし、鉄筋は引張側のみに配置する単鉄筋配置として、その上に伸縮装置を設置するものである。設置後は高さ 200mm、幅 270mm、長さ 2,200mm である。荷重分布型伸縮装置の設置は、設置固定用のアンカーボルトを装置の両端部 4 点で固定して既設 RC はりに設置した。供試体の名称を RC-J-A とする。

##### (2) 荷重分布型伸縮装置 (接着剤あり)

RC 床版コンクリート上面に 2 種類の接着剤を塗布および荷重分布鋼板下面に接着剤を塗布した荷重分布型伸縮装置を設置する。供試体の寸法は、供試体 RC-J-A と同様とし、この供試体名称を RC-J-B とする。



(a) 接着剤なし

(b) 接着剤あり

図-1 伸縮装置設置寸法

表-1 コンクリートおよび鉄筋の材料特性値

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はり	36.3	D16	360	496	200

表-2 伸縮装置に用いた材料の特性値

材料	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> )
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

#### 3.3 供試体材料

##### (1) 実験RCはり供試体の使用材料

伸縮装置を設置する 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>3)</sup> に規定する 24N/mm<sup>2</sup> を目標とした。供試体の鉄筋には SD345, D16 を用いる。コンクリートの圧縮強度および鉄筋の材料特性値を表-1 に示す。なお、鉄筋はミルシートの結果である。材齢 28 日でのコンクリートの圧縮強度は 36.3N/mm<sup>2</sup>, 鉄筋の降伏強度は 360N/mm<sup>2</sup> である。

##### (2) 伸縮装置に用いる鋼材

荷重分布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 9mm とする。パラペットに 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。鋼板および鉄筋の材料特性値を表-2 に示す。荷重分布鋼板には SS400, 厚さ 9mm の鋼板を用いた。

##### (3) 伸縮装置の施工に用いる材料

荷重分布型伸縮装置の設置は、図-1 に示すように RC はりのコンクリート表面から 10mm の位置に設置されることから、隙間 10mm および荷重分布鋼板の表面までは、流動性超速硬モルタルを用いる。流動性超速硬モルタルの示方配合を表-3 に示す。水量は、気温により流動性モルタル 25kg に対して

表-3 流動性超速硬モルタルの配合条件

水材料比	練上り量 (約13.5リットル)	
	プレミックス	水
18	25kg	4.8

表-4 超速硬コンクリートの配合

練上り量 (25リットル)		
セメント・骨材	粗骨材	水・減水剤・遅延材
30 kg	25 kg	4.0 kg

表-5 接着剤の特性値

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 <sup>2</sup>	102.9N/mm <sup>2</sup>
圧縮弾性係数		3.172N/mm <sup>2</sup>	3.976N/mm <sup>2</sup>
曲げ強さ		92.8N/mm <sup>2</sup>	41.6N/mm <sup>2</sup>
引張せん断強さ		58.2N/mm <sup>2</sup>	14.9N/mm <sup>2</sup>
付着強さ		2.6N/mm <sup>2</sup>	3.7N/mm <sup>2</sup> 以上

4.1 ~ 4.8kg の範囲とされており、本実験では流動性を考慮して 4.8kg で配合した。実験時の流動性超速硬モルタルの圧縮強度は材齢 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。高さ 81mm の範囲には材齢 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> 以上を発現可能な超速硬コンクリートを用いた。本実験供試体には、一般的に超速硬セメントに骨材が配合されたプレミックス材である超速硬コンクリートを用いる。超速硬コンクリートの示方配合を表-4 に示す。実験時の 3 時間後の発現強度は 25.4N/mm<sup>2</sup>、24 時間後では 51.9N/mm<sup>2</sup> である。

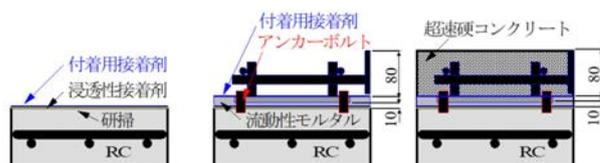
#### (4) 浸透性接着剤および付着用接着剤

伸縮装置の取替工事においては、旧伸縮装置撤去時に発生する新たなひび割れの補修として、浸透性接着剤が用いられている<sup>4)</sup>。浸透性接着剤は 0.05mm 以上のひび割れに浸透する結果が得られている。また、打ち継ぎモルタルと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）<sup>4)</sup>が用いられていることから本供試体においても 2 種類の接着剤を塗布する。浸透性接着剤および付着用接着剤の特性値を表-5 に示す。

### 4. 伸縮装置の設置方法

#### 4.1 荷重分布型伸縮装置（接着剤なし）

供試体 RC-J-A の設置手順は、RC コンクリート上面から 10mm の位置に荷重分布鋼板を設置し、4



(a)RC はり (b)設置・流動性モルタル (c)超速硬コンクリート

図-3 接着剤を用いた荷重分布型伸縮装置の設置

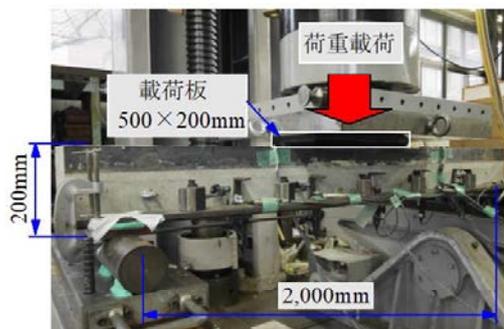


写真-2 静荷重実験

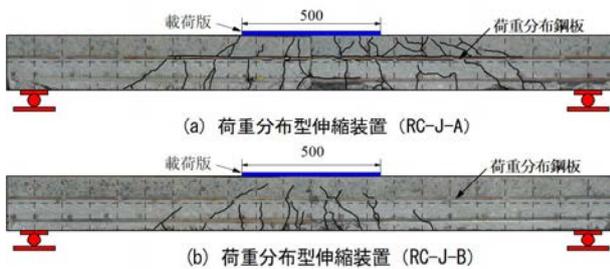
角にアンカーボルトを打ち込み固定する。そして、荷重分布鋼板中央に φ30mm の孔を 200mm 間隔で設け、この孔に流動性モルタル注入用の円錐形の漏斗を設置する。流動性モルタルは表-3 に示す配合で練混ぜた後、流動性モルタルを順次充填する。充填後、超速硬コンクリートを打ち込みする。

#### 4.2 荷重分布型伸縮装置（接着剤あり）

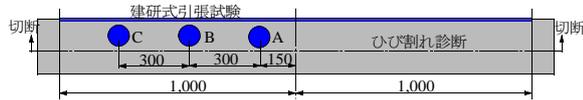
接着剤ありの供試体 RC-J-B の設置方法は図-3 に示すように、既設 RC はりコンクリート上面を研掃し、浸透性接着剤 (0.5kg/m<sup>2</sup>) と付着用接着剤 (0.9kg/m<sup>2</sup>) を塗布する。次に、図-3(b)に示すように荷重分布鋼板下面にも付着用接着剤を塗布して 4 隅にアンカーボルトを打ち込み設置し、流動性モルタルを充填する。その後、伸縮装置鋼材に付着用接着剤を塗布し、超速硬コンクリートを打ち込みして完成となる (図-3(c))。

### 5. 静荷重実験

静荷重実験は、道示に準拠した荷重状態を再現するために、輪荷重の設置面 500mm×200mm の載荷板を設けた。実験状況を写真-2 に示す。各供試体の荷重載荷位置は図-2 および写真-2 に示すように RC はりの支間中央に載荷版を設置し、荷重載荷を行う。荷重条件は 0kN から 20kN まで載荷し、その後、荷重 5kN まで除荷して残留値を計測する。これを 1 サイクルとして、1 サイクル毎の荷重を 20kN ずつ増加する漸増載荷を行う。



図－4 ひび割れ状況（切断面）



図－5 ひび割れ検証および建研式引張試験位置

## 6. 結果および考察

### 6.1 静荷重実験における最大耐荷力

荷重分布型伸縮装置を設置した供試体 RC-J-A の最大耐荷力は 140.4kN であり、接着剤を用いて荷重分布型伸縮装置を設置した供試体 RC-J-B は、最大耐荷力は 160.8kN と RC-J-A の 1.15 倍となった。よって、流動性モルタルおよび超速硬コンクリート打ち継ぎ界面に荷重分布型伸縮装置の設置において接着剤を塗布することで、耐荷力が向上する結果が得られた。

### 6.2 破壊時のひび割れ状況

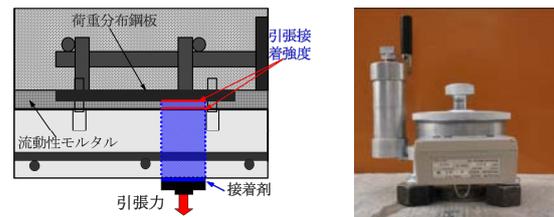
破壊時の切断面のひび割れ状況を図－4 に示す。

荷重分布型伸縮装置を設置した供試体 RC-J-A は、図－4(a)に示すように荷重分布鋼板の効果により、中央から 500mm の載荷版から 45 度の斜めひび割れが発生し、荷重が分布していることが確認できる。しかし、荷重分布鋼板と流動性モルタルとの界面ははく離している。接着剤を用いて荷重分布型伸縮装置を設置した供試体 RC-J-B は図－4(b)に示すように、接着剤を塗布したことから荷重分布鋼板とモルタルおよびコンクリートとの各界面ではく離が見られない。荷重分布鋼板下面の既設 RC はりに荷重が分布され、ひび割れの発生も少ない。この供試体は最大たわみを 20mm と設定して荷重の載荷を行ったが、ひび割れ状況から推測すると、更なる荷重増加においても抵抗できるものと推測される。

破壊時のひび割れ状況により、RC はりコンクリート上面に 2 種類の接着剤および荷重分布型伸縮装置に接着剤を塗布することで、鋼材と打ち継ぎコンクリートの付着力が終局時まで付着力が確保され、ひび割れの伸展も抑制されている。

### 6.3 建研式引張試験による接着強度

建研式引張試験は、破壊した供試体 RC-J-A およ



(a)試験法概略図

(b)試験機

写真－3 建研式引張試験

び RC-J-B の荷重分布鋼板と流動性モルタルおよび RC はりを、鋼製治具に圧着させ、載荷速度 1.0N/mm<sup>2</sup>/sec で引張試験を行う。引張付着強度は式(1)より算定する。界面の引張接着強度は図－5 に示す 3 点で検証する。建研式引張試験機の概略を写真－3 に示す。

試験方法は RC はりにコアドリルを設置し、荷重分布鋼板まで切り込みを用いる。引張付着強度の算定は、式(1)を用いる。

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

ただし、 $f_r$ ：引張付着強度 (N/mm<sup>2</sup>)、 $P$ ：最大荷重 (N)、 $A$ ：コアの断面積 (mm<sup>2</sup>)

荷重分布型伸縮装置の供試体 RC-J-A の中央から 150mm の測点 A、450mm の測点 B、750mm の測点 C でそれぞれ 0.0N/mm<sup>2</sup>、0.06N/mm<sup>2</sup>、0.97N/mm<sup>2</sup> である。一方、コンクリート表面および鋼材表面に付着用接着剤を塗布した供試体供試体 RC-J-B は測点 A、測点 B、測点 C でそれぞれ 1.34N/mm<sup>2</sup>、1.60N/mm<sup>2</sup>、1.73N/mm<sup>2</sup> である。測点 A の破壊面は流動性モルタル層、測点 B、測点 C は RC はりのコンクリート層で破壊している。

以上より、破壊時の建研式引張試験においても接着剤の効果により、基準である 1.0N/mm<sup>2</sup> 以上が得られた。よって、実施工においては 2 種類の接着剤を用いて設置することを推奨する。また、実施工においては、数カ所のアンカー筋を用いて設置することから、さらに接着力の向上が図られるものと考えられる。

## 7. 荷重分布型伸縮装置の製作・施工技術

### 7.1 荷重分布型伸縮装置の製作

実橋に用いる荷重分布型伸縮装置の製作手順を写真－4 に示す。まず、鋼板パラペットのジベル筋を等間隔で溶接する。同時に荷重分布鋼板に縦筋を等間隔で溶接する。次に、鋼板パラペットにジベル筋を溶接した部位と荷重分布鋼板に縦筋を溶接した部位とを組み合わせ、溶接する。また、鋼板パラペットの変形を防止するために補剛材を溶接し、一体化

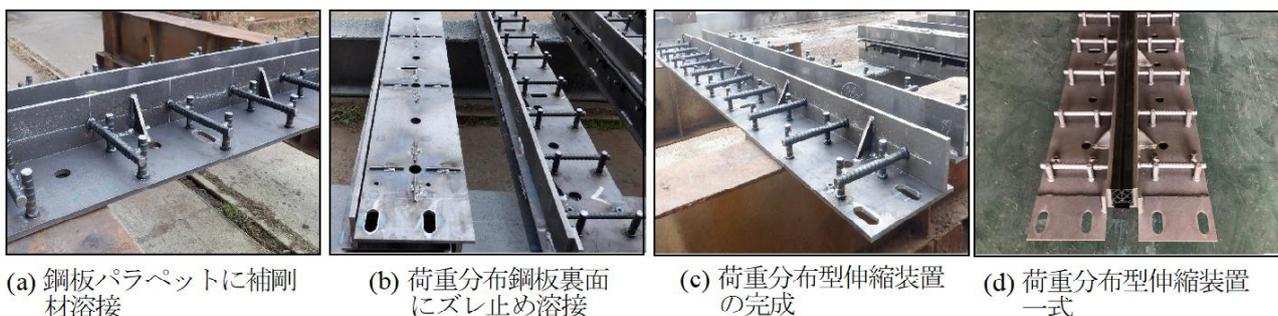


写真-4 荷重分布型伸縮装置の製作手順

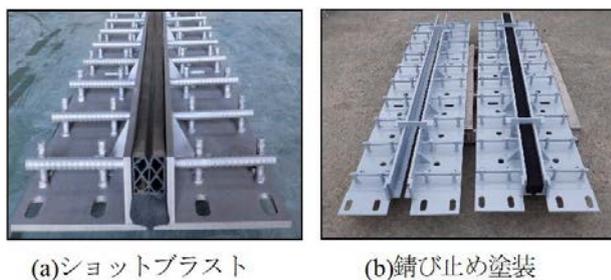


写真-5 ブラストおよび防錆処理  
表-6 高耐久型エポキシ系防錆剤

項目	測定値	備考	
外観	主剤	白色ペースト状	異物混入なし
	硬化剤	青色液状	
塗膜の概観	正常	JIS K 5600	
混合比(主剤:硬化剤)	2:01	重量比	
混合粘度	50mpa・sec以下	JIS K 7117	
塗膜乾燥時間	4時間以内	ドライングレコーダ	
引張せん断強さ	10N/mm <sup>2</sup> 以上	JIS K 6850	

して完成となる(写真-4(a)). 次に、荷重分布鋼板裏面には、輪荷重の作用により曲げ引張力が作用し、流動性モルタルとの界面のはく離が懸念されることから、D6程度の鉄筋を軸方向および軸直角方向に溶接し、ずれを防止する。実験においては付着用接着剤を用いた場合は、終局時まで一体性が得られているもの、接着剤を塗布しない場合は、はく離が発生している。そのため実橋に用いる伸縮装置の底面にはズレ止めを軸直角方向は30cm間隔、軸方向は断面の中央付近に溶接した(写真-4(b)). 本来は、伸縮装置に圧縮鉄筋を溶接するが2mごとに継手構造が必要になることから、現場溶接とした。工場での完成状況を写真-4(c)に示す。次に、完成した荷重分布型伸縮装置を仮組した状況を写真-4(d)に示す。完成後、伸縮装置表面にショットブラスト処理を行う(写真-5(a)). 最後に、高耐久型エポキシ系防錆剤を塗布する(写真-5(b)). 防錆プライマーの材料特性値を表-6に示す。防錆プライマーは錆び止め効果に加え、施工時に塗布する付着用接着剤との相性が良く、接着力を高める効果がある。なお、塗布後は7日以内に施工が必要となる。実橋に用いる荷重分布型伸縮装置を写真-6に示す。

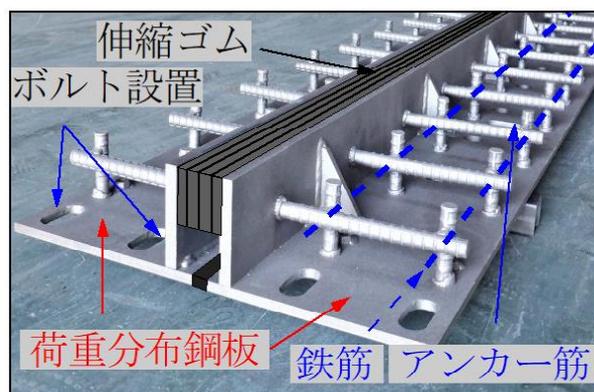


写真-6 荷重分布型伸縮装置

## 7.2 実橋での施工技術

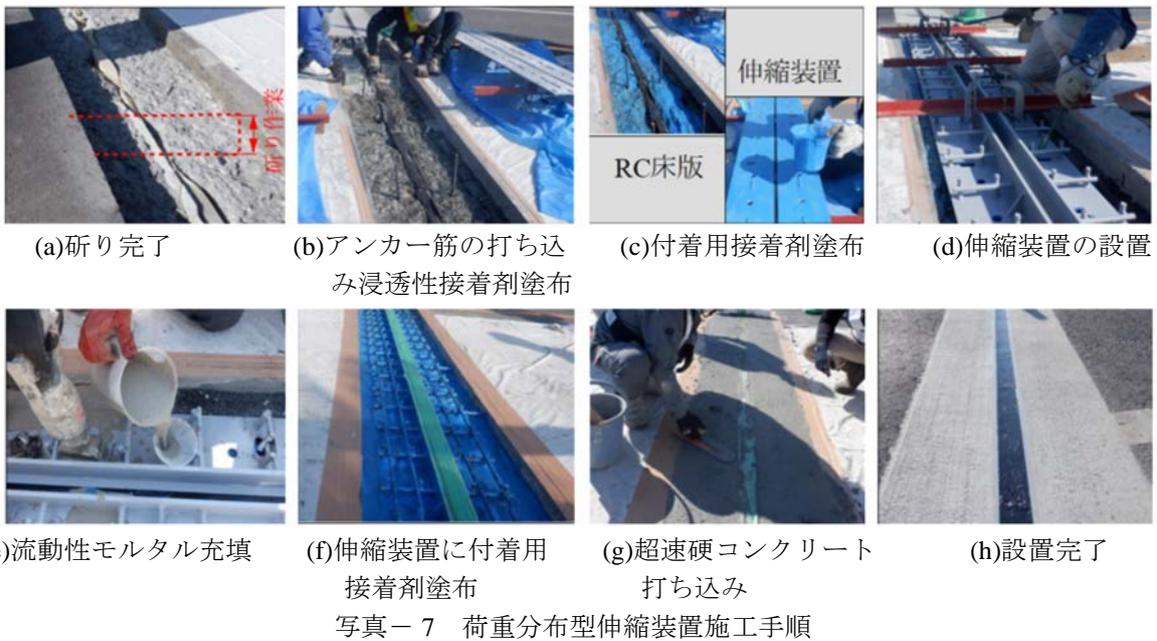
### (1) 荷重分布型伸縮装置設置

橋梁の概要伸縮装置を設置する橋梁の幅員は8mである。交通量が多いことから片側交通規制を行って設置する。荷重分布型伸縮装置の施工手順を写真-7に示す。

### (2) 実橋での施工技術

設置工事において接着剤を塗布することで、耐荷力性能が接着剤なしの供試体に対して接着剤ありの供試体は1.15倍向上し、建研式引張試験においても終局時まで付着力が得られたことから、設置においては2種類の接着剤を用いることとする。

荷重分布型伸縮装置の施工手順を写真-7に示すように、既設伸縮装置をブレーカやチップなどで撤去し、表面処置を行う(写真-7(a)). 次に、荷重分布型伸縮装置を仮設置し、アンカーボルト、アンカー筋の位置をドリルで穿孔する。止水バックアップ材を設置し、RC床版上面のひび割れ補修として浸透性接着剤を塗布する(写真-7(b)). 次に、RC床版コンクリート上面および荷重分布鋼板下面に付着用接着剤を塗布する(写真-7(c)). 塗布後硬化時間が120分程度であることから直ちに伸縮装置を設置し、端部をアンカーボルト、中間部にアンカー筋を打ち込み固定する(写真-7(d)). 設置後、流動性超速硬モルタルをφ30mmの孔から充填する(写真-7(e)). 孔は200mm間隔で設けられており、隙間10mmの場合の自然注入で300mm



以上に流動していることが確認されている。伸縮装置設置後は主鉄筋を配置し、再度付着用接着剤を塗布する（写真－7(f)）。同時に移動プラントで超速硬コンクリートを練混ぜし、直ちに超速硬コンクリートを打ち込む（写真－7(g)）。最後に遊間部に止水材を打ち込み完成となる（写真－7(h)）。

荷重分布型伸縮装置の取替設置工事は、片側車線 4m を両支点側で実施した。施工時間 8 時間での設置が可能である。また、アンカー筋を 2m で 20 箇所程度差し込む工法に比べて大幅な時間の短縮が図れると同時に、ハンマーでの打ち込みによる損傷も少なく、大きな荷重を支える構造であり、耐久性向上にも大きく寄与するものと考えられる。

## 8. まとめ

荷重分布型伸縮装置の設置施工で、2 種類の接着剤を塗布して設置した場合の耐荷力性能および破壊時のひび割れ状況、引張接着強度を検証した。

既往の研究から荷重分布型伸縮装置は、荷重集中型と比較して耐荷力性能が 1.4 倍向上しており、さらにコンクリート面および鋼材に接着剤を塗布することで 1.6 倍の耐荷力が向上した。

荷重分布型伸縮装置において、コンクリートおよび鋼材表面に付着用接着剤を塗布することでコンクリートとの付着強度が得られ、耐荷力が 1.15 倍向上する結果が得られた。

荷重分布型伸縮装置を設置した RC はりの破壊状況は、載荷版から 45 度範囲と荷重分布鋼板がさらに荷重を分布し、ひび割れが広範囲に亘っている。一方、接着剤を塗布した供試体はひび割れの進展が抑制されている。

建研式引張試験においては、接着剤を用いない供試体は荷重分布鋼板との界面ではなく離が生じ、付着力は見られない。接着剤を塗布した供試体は破壊時まで接着力が維持し、耐荷力の向上が図られた。

荷重分布型伸縮装置の設置においては、従来のアンカー筋の打ち込みを大幅に減少することで RC 床版への損傷の軽減が図れる工法である。

よって、実橋での荷重分布型伸縮装置の設置においては 2 種類の接着剤を塗布し、10mm の隙間には流動性モルタル、その上面には超速硬コンクリートを打ち込み一体化する工法であり施工が実用的と考えられる。

## 参考文献：

- 1) 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
- 2) 木内彬喬，阿部忠，深水弘一，金子昌明：接着剤塗布型荷重分布型装置の耐荷力性能および破壊モード，コンクリート工学年次論文集，Vol.43，No.2，pp.919-924，2021.7
- 3) 日本道路協会：道路示方書・同解説 I 共通編 II 鋼橋編，pp.86，2012.3
- 4) Tadashi ABE., et al. : Proposition of Thin-Layer Repairing Methods Using Low-Elasticity Polymer Portland Cement Materials and Glue and Study on the Fatigue Resistance of Reinforced Concrete Slab, International Journal of Polymer Science, Volume 2018, Article ID 6545097, pp.1-8,2018.10

(2022 年 7 月 8 日受付)  
(2022 年 9 月 9 日受理)