

展張格子筋量の異なるPCM増厚補強RCはりの補強効果に関する研究

日大生産工 (院) ○高木智子 日大生産工 阿部 忠, 師橋憲貴
JFE シビル (株) 塩田啓介

1. はじめに

高度経済成長期に建設された橋梁は、劣化が急激に進行し、その破壊メカニズムの検証や補修・補強対策の開発が急務となっている。また、昭和40年代の設計基準で設計されたRC部材は、現行の設計基準に比して設計自動車荷重や耐震設計基準、設計法に差異が生じている。

RC部材の耐力性能の向上や耐震性の向上には、これまで様々な工法が提案されている。たとえば、鋼板やFRPシートをRC部材に接着剤を用いてRC部材と一体化させる接着補強法や、鉄筋を配置してポリマーセメントモルタル（以下、PCMとする）や高じん性モルタルを用いて断面を増厚する増厚補強法がある。これらは既に実橋梁において施工されており、補強効果が得られている。近年、増厚補強法に使用する鉄筋の代わりとして展張格子鋼板筋が開発された。そこで本研究は、RCはりに展張格子鋼板筋を配置し、PCM吹付け補強した供試体を用いて静荷重実験を行い、展張格子鋼板筋厚さおよび補強面積の異なる3タイプの供試体の耐力、荷重とたわみの関係、破壊メカニズムから、展張格子鋼板筋を用いたPCM増厚補強法の実用性を検証する。

2. 材料特性値

2.1 RCはり

RCはりのコンクリートには、普通ポルトランドセメント、5~20mmの砕石および5mm以下の砕砂を用いる。主鉄筋にはSD295A、D13を用い、スターラップにはSD295A、D10を用いる。ここで、コンクリート配合を表-1に、供試体のコア採取によるコンクリート強度および鉄筋の材料特性値を表-2に示す。

2.2 PCM増厚補強RCはり

PCM増厚補強の引張補強材には展張格子鋼板筋を配置する。従来の増厚補強法の引張補強材にはD6~D13の異形鉄筋が格子状に配置されることが多いことから、本実験では厚さ9.0mm×幅15mm（断面積135mm²）の展張格子鋼板筋を用いて実験を行う。さらに、厚さ

表-1 コンクリート配合表

スランブ (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				C	W	S	G	Ad
15	4.5	58.5	48.0	298	174	852	964	3.0

表-2 コンクリートおよび鉄筋の材料特性値

コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	鉄筋 (SD295A)			
	使用鉄筋	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
25.5	D13	368	511	200
	D10	370	511	



(1) スリット挿入



(2) ジャッキで展張



(3) 折り曲げ加工



(4) 設置状況

写真-1 展張格子鋼板筋の製造工程

表-3 展張格子鋼板筋の材料特性値

供試体	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
展張格子鋼板筋 (4.5×75×75mm)	339	441	200
展張格子鋼板筋 (9.0×100×100mm)	338	422	200

4.5mm×幅7.0mm（断面積31.5mm²）の展張格子鋼板筋を用いて、展張格子鋼板筋厚さの差異による補強効果を検証する。

(1) 既設RCはり

補強に用いる既設RCはりの使用材料および材料特性値はRCはり供試体と同様とする。

(2) 展張格子鋼板筋

本実験では、増厚材との付着性を考慮し、SS400材、厚さ4.5mmおよび9.0mmの縞鋼板を用いた。ここで、本実験用に加工した展張格子鋼板筋の製作手順を写真-1に、材料特

Study on Reinforcing Effects of RC beams Strengthened by PCM Thickness Increased Method using Metal-Grid Expanded Type Different from Amount of Metal-Grid

Tomoko TAKAGI, Tadashi ABE, Noritaka MOROHASHI and Keisuke SHIOTA

性値を表-3に示す。展張格子鋼板筋の製作手順は、縞鋼板の軸方向にレーザ光線でスリットを挿入し(写真-1(1))、これを加工台に設置する。その後、軸直方向にジャッキが必要に応じて防錆剤を塗布する(写真-1(3))。加工終了後、RC部材にコンクリートアンカー等を使用して展張格子鋼板筋を設置し(写真-1(4))、セメントモルタルで吹付け補強する。

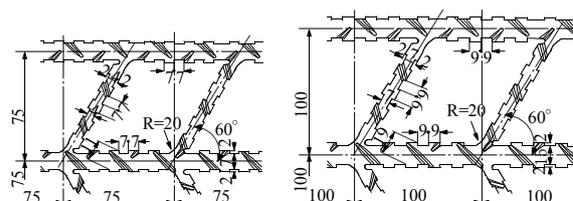
これまでの工程は、工場および施工現場で行うことが可能であるため、鉄筋組立てによる増厚補強法に比して施工の合理化・省力化が可能である。さらに、展張格子鋼板筋は一面形成されているため、鉄筋を格子状に配置した場合に比して一方向の厚さとなるため、増厚層の減少も可能である。

ここで、厚さ4.5mmの展張格子鋼板筋の詳細寸法を図-1(1)に示す。厚さ4.5mmの展張格子鋼板筋は格子間隔75×75mm、展張角度が60度となるように展張した。軸方向筋は4.5×7.0mm(断面積31.5mm²)とし、軸直方向筋は4.5×4.0mm(断面積18.0mm²)とする。また、7.0mm間隔ごとに2.0×7.0mmの突起を設け、増厚材との付着力を高める構造とした。また、展張作業による応力集中が生じないように、鉄筋の曲げ内半径と同様に、軸方向筋の曲げ内半径Rを20mmとした。

厚さ9.0mmの展張格子鋼板筋の詳細寸法を図-1(2)に示す。厚さ9.0mmの展張格子鋼板筋は格子間隔100×100mm、展張角度が60度となるように展張した。軸方向筋は9.0×15mm(断面積135mm²)とし、軸直方向筋は9.0×7.0mm(断面積63.0mm²)とする。また、9.0mm間隔ごとに2.0×9.0mmの突起を設け、増厚材との付着力を高める構造とした。また、展張作業による応力集中が生じないように、鉄筋の曲げ内半径と同様に、軸方向筋の曲げ内半径Rを20mmとした。

(3) PCM

増厚材として用いるセメントモルタルには、一般的に吹付け工法に用いられているPCMを用いる。PCMは一般的に市販されているプレミックス材であり、セメント系材料にビニロン繊維を配合した材料である。ここでPCMの材料特性値を表-4に示す。なお、ビニロン繊維の配合条件は公表されていない。実験時の直径φ50mmの円柱供試体の圧縮強度は51.9N/mm²、割裂引張試験による引張強度は5.1N/mm²である。

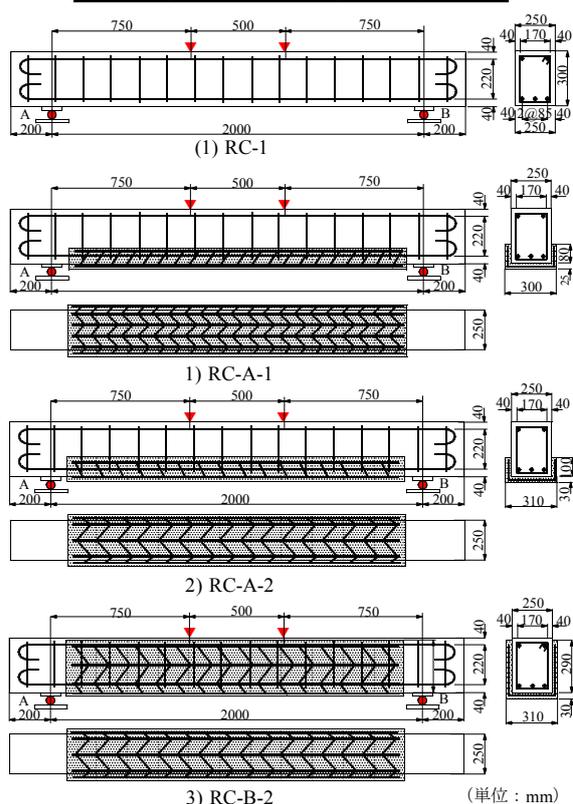


(1) 厚さ4.5mm (2) 厚さ9.0mm

図-1 展張格子鋼板筋の寸法

表-4 PCMの配合

PCM	単位量(kg/m ³)		W/C (%)
	プレミックス粉体	水	
PCM	1,860	595	32



(2) 側面補強供試体

図-2 供試体寸法

3. 供試体寸法

無補強 RC はりおよび展張格子鋼板筋を配置した供試体の供試体寸法および鉄筋の配置位置を図-2に示す。

(1) 無補強供試体

RC はりの供試体寸法は、支間2,000mm、張出部200mm、全長2,400mmである。また、断面は高さ300mm、幅250mmである。引張鉄筋にはD13を3本配置し、有効高は260mmである。圧縮側にはD13を2本配置し、かぶり40mmである。スターラップにはD10を用い、150mm間隔で配置する。無補強 RC はりの供試体名称をRC-1とする。ここで、RC-1の供試体寸法および鉄筋配置を図-2(1)に示す。

(2) PCM 増厚供試体

RC はりの底面から 80mm の位置まで厚さ 4.5mm の展張格子鋼板筋を用いて補強した供試体を RC-A-1 とする。RC-A-1 には長さ 1,800mm、幅 375mm の展張格子鋼板筋を U 字に折り曲げ加工し、既設 RC はりの界面から 10mm の位置に設置した後、PCM を 25mm の厚さで吹付け補強する。RC-A-1 の供試体寸法を図-2 (2) 1) に示す。

RC はりの底面から 100mm の位置まで厚さ 9.0mm の展張格子鋼板筋を用いて補強した供試体を RC-A-2 とする。RC-A-2 には長さ 1,800mm、幅 400mm の展張格子鋼板筋を U 字に折り曲げ加工し、既設 RC はりの界面から 10mm の位置に設置した後、PCM を 30mm の厚さで吹付け補強する。RC-A-2 の供試体寸法を図-2 (2) 2) に示す。

さらに、RC はりの底面から 290mm の位置まで厚さ 9.0mm の展張格子鋼板筋を用いて補強した供試体を RC-B-2 とする。RC-B-2 には長さ 1,800mm、幅 800mm の展張格子鋼板筋を U 字に折り曲げ加工し、既設 RC はりの界面から 10mm の位置に設置した後、PCM を 30mm の厚さで吹付け補強する。RC-A-2 の供試体寸法を図-2 (2) 3) に示す。

4. 補強方法

本実験で用いた既設 RC はりに PCM 増厚補強供試体は、ポリマーセメントモルタル吹付け工法によるコンクリート構造物の補修・補強 設計・施工マニュアル (案) (増厚補強編) に準拠して製作した¹⁾。

5. 実験方法

本実験は、RC はりの両支点から 750mm の位置に荷重を載荷する 2 点載荷とし、荷重載荷間隔を 500mm とする。ここで、荷重載荷位置およびたわみの計測位置を図-3 に示す。せん断スパン比 a/d は図-3 より 2.88 であり、曲げ破壊が先行する載荷条件である。静荷重実験における荷重条件は、0kN から 5kN ずつ荷重を増加させ、25kN に達した後 5kN ずつ 5kN まで除荷し、残留値を計測する。これを 1 サイクルとする。1 サイクルごとの荷重増加を 25kN とし、供試体が破壊に至るまで荷重を増加させる。たわみの計測位置は図-3 に示すように支間中央、載荷点直下の 3 点で計測するが、本論文では支間中央のみを考察する。

6. 実験結果および考察

6. 1 最大耐荷力

本実験における RC はり供試体および展張格子鋼板筋を用いて増厚補強した供試体の最大

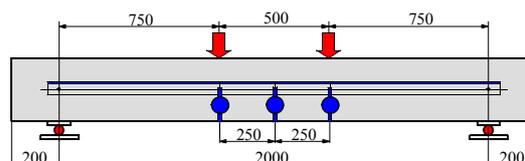


図-3 荷重載荷位置

表-5 最大耐荷力および破壊モード

供試体	耐荷力 (kN)	耐荷力比	破壊モード
RC-1	93.8	-	曲げ破壊
RC-A-1	152.1	1.62	曲げ破壊
RC-A-2	175.3	1.87	せん断破壊
RC-B-2	200.1	2.13	せん断破壊

耐荷力および破壊モードを表-5 に示す。

(1) 無補強供試体

RC-1 の最大耐荷力は 93.8kN であり、この最大耐荷力を基準として PCM 増厚補強した RC はりの補強効果を検証する。RC-1 は等曲げ区間で曲げ破壊に至った。

(2) PCM 増厚補強供試体

RC-A-1 の最大耐荷力は 152.1kN であり、RC-1 の 1.62 倍の補強効果が得られた。破壊は等曲げ区間で曲げ破壊に至った。

RC-A-2 の最大耐荷力は 175.3kN であり、RC-1 の 1.87 倍、RC-A-1 の 1.15 倍の耐荷力が得られた。RC-A-2 は、せん断領域で増厚界面のはく離が先行し、せん断破壊に至った。

さらに、RC-B-2 の最大耐荷力は 200.1kN であり、RC-1 の 2.13 倍、RC-A-2 に比して 1.14 倍の耐荷力が得られた。RC-B-2 は、せん断領域で増厚界面のはく離が先行し、せん断破壊に至った。

6. 2 荷重とたわみの関係

RC はりおよび展張格子鋼板筋を用いて PCM 増厚補強した供試体の荷重とたわみの関係を図-4、5 に示す。

(1) 無補強供試体

RC-1 のたわみは、30.0kN までは線形的に増加し、30.0kN 付近から荷重がやや大きくなるものの、荷重 85kN 付近までは線形的に増加している。このときのたわみは 3.7mm である。その後の荷重増加でたわみの増加が著しくなり、荷重 93.8kN でたわみが 15.4mm に達した後、破壊に至った。(図-4)

(2) PCM 増厚補強供試体

展張格子鋼板筋厚さの異なる RC-A-1 および RC-A-2 の荷重とたわみの関係を図-4 に示す。

RC-A-1 のたわみは、荷重 60kN 付近まで線形的に増加し、その後の荷重増加に伴いたわみの増加はやや大きくなるものの、145.0kN

付近までは線形的に増加している。荷重 145.0kN 載荷時のたわみは 4.0mm である。その後の荷重増加に伴い、曲げひび割れが進展してたわみが急激に増加した。最大荷重 152.1kN でたわみが 10.0mm となり、その後荷重がやや低下し、荷重 150.3kN、最大たわみ 12.1mm で破壊に至った。なお、実験後の打音検査では RC-A-1 の増厚界面にはく離は見られなかった。

RC-A-2 のたわみは、荷重 75kN 付近まで線形的に増加し、その後の荷重増加に伴いたわみの増加はやや大きくなるものの、最大荷重 175.3kN までは線形的に増加している。最大荷重 175.3kN 載荷時のたわみは 3.1mm である。その後、増厚界面のはく離に伴い荷重が 136.1kN まで減少し、たわみが 12.9mm で破壊に至った。

RC-A-1 に比して RC-A-2 の曲げ剛性が高いため、RC-A-2 はたわみが 3.1mm で増厚部のはく離し、せん断破壊に至っているのに対し、RC-A-1 はたわみ 4.0mm 付近から急激にたわみが増加し、曲げ破壊に至っている。このことから、RC-A-1 および RC-A-2 の展張格子鋼板筋量の差が破壊モードを曲げ破壊からせん断破壊へ移行させたものと考えられる。

次に、増厚面積の異なる RC-A-2 と RC-B-2 の荷重とたわみの関係を図-5 に示す。

RC-B-2 のたわみは、荷重 80kN 付近までは線形的に増加し、その後の荷重増加に伴いたわみの増加はやや大きくなるものの、荷重 175kN 付近までは線形的に増加している。荷重 175.0kN 載荷時のたわみは 2.3mm である。その後の荷重増加でたわみが急激に増加し、最大荷重 200.1kN 載荷時のたわみは 3.4mm である。荷重 200.1kN 載荷後、増厚界面のはく離に伴い荷重が 135.0kN まで減少したが、耐荷力がわずかに上昇し、最大たわみ 12.4mm でせん断破壊に至った。

以上より、RC-A-1 は荷重の急激な低下や増厚界面のはく離が見られず曲げ破壊に至ったのに対し、RC-A-2 および RC-B-2 ではせん断破壊に伴い増厚界面のはく離し、荷重が急激に低下した。これは、厚さ 9.0mm の展張格子鋼板筋を用いて増厚補強したため、RC-A-2 および RC-B-2 の曲げ耐力がせん断耐力よりも大きくなったためであると考えられる。

7. まとめ

RC はりの引張補強材として展張格子鋼板筋を用いて静荷重実験を行った結果、以下の知見が得られた。

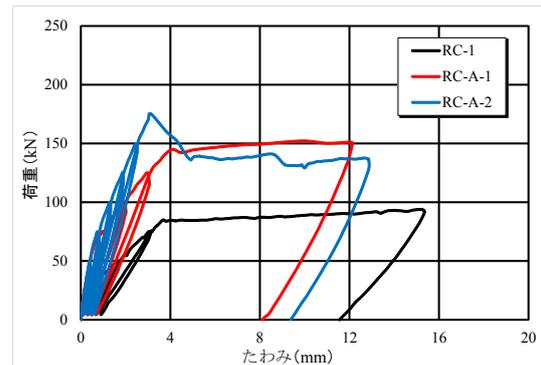


図-4 荷重とたわみの関係 (RC-A-1、RC-A-2)

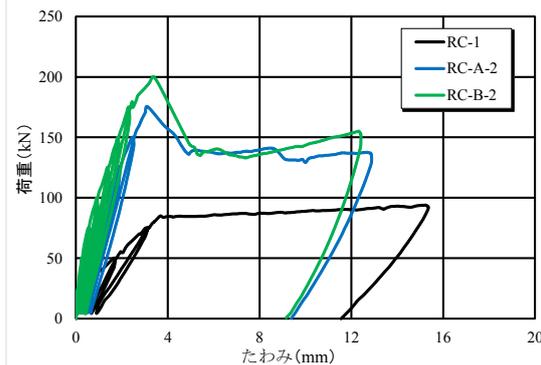


図-5 荷重とたわみの関係 (RC-A-2、RC-B-2)

- (1) 無補強供試体 RC-1 と厚さ 4.5mm の展張格子鋼板筋を用いて既設 RC はりの底面から 80mm の位置まで補強した供試体 RC-A-1 は 1.62 倍、厚さ 9mm の展張格子鋼板筋を用いて既設 RC はりの底面から 100mm の位置まで補強した供試体 RC-A-2 は 1.87 倍の耐荷力が得られた。
- (2) 無補強供試体 RC-1 と厚さ 9.0mm の展張格子鋼板筋を用いて既設 RC はりの底面から 290mm の位置まで補強した供試体 RC-B-2 は 2.13 倍の耐荷力が得られた。
- (3) 本実験から、RC-A-1 はせん断耐力が曲げ耐力よりも大きいため曲げ破壊に至ったが、RC-A-2、RC-B-2 は厚さ 9.0mm の展張格子鋼板筋を用いたことから曲げ耐力が向上し、せん断破壊に至った。よって、RC-A-1 と RC-A-2 の間にせん断耐力と曲げ耐力の分岐点となる補強量があると考えられるため、今後は曲げ破壊に至る展張格子鋼板筋量の検討をする必要がある。

参考文献：

- 1) RC 構造物のポリマーセメントモルタル吹付け補修・補強工法協会：ポリマーセメントモルタル吹付け工法によるコンクリート構造物の補修補強 設計・施工マニュアル (案) (増厚補強編) (2011)