

論文 補強材として新たに開発された2タイプの鋼板格子筋を用いたRCはりの増厚補強効果

阿部 忠^{*1}・師橋 憲貴^{*2}・塩田 啓介^{*3}・今野 雄介^{*3}

要旨：本研究は、RC部材の補強材に用いる鉄筋に代わる新たに開発した2タイプの鋼板格子筋を用いてRCはりの増厚補強法における補強効果を検証した。その結果、補強材に展張格子鋼板筋を用いた増厚補強は、無補強RCはりに比して2.1倍の耐力力が向上した。一方、格子鋼板筋を用いた増厚補強は無補強RCはりの2.6倍、展張格子鋼板筋を用いたRCはりの1.2倍の耐力力が向上した。また、破壊形状は通常のRCはりは曲げ破壊、2タイプの鋼板格子筋を用いた増厚補強法は曲げ剛性が高まったことにより、せん断破壊と同時に端部ではく離が見られた。しかし、RCはりに鋼板格子筋を設置することで曲げ剛性が向上し、補強効果が十分得られ実用的である。

キーワード：RCはり、展張格子鋼板筋、格子鋼板筋、耐力力、補強効果

1. はじめに

近年、高度経済成長期に建設されたコンクリート構造物は、建設後50年が経過し、老朽化が進んでいる。例えば、コンクリート部材は、老朽化によるひび割れの発生や海岸線では飛来塩分による塩害、中性化などにより鉄筋の発錆に伴うコンクリートの剥落などの損傷が生じており、これらの部材に対する補修・補強技術の開発が急務となっている¹⁾。また、建設業界においては労働者の不足が著しく、とくに鉄筋工の不足に伴い施工の合理化・省力化となる材料や補強技術の開発も重要な課題となっている。

一方、老朽化したコンクリート部材の補強法には、鋼板接着補強や引張補強材に鉄筋やFRP材を配置してセメントモルタル吹き付けによる増厚補強、炭素繊維接着補強などが挙げられる^{2), 3)}。近年では、鉄筋に変わる材料として、一体形成されたFRP格子筋が開発され、耐久性の向上や死荷重の軽減が図られている。このような背景の中、鉄筋に代わる引張補強材として新たに2タイプの鋼板格子筋が開発された⁴⁾。この鋼板格子筋は、鋼板をレーザー光線で格子状に面加工することから、鉄筋やFRP格子筋と同様に耐力力の向上、死荷重の軽減、さらには施工の合理化・省力化が図られ、コストの縮減などの効果が期待できる材料である。

そこで本研究は、新たに開発された2タイプの鋼板格子筋の性能および実用性を評価するためにRCはりに本提案した2タイプの鋼板格子筋を設置し、ポリマーセメントモルタル吹き付け増厚補強(以下、PCM増厚補強とする)を施した供試体を用いて静荷重実験を行い、補強効果および破壊状況から実用性を検証した。



(1) 水平ひび割れ (2) 脆弱部除去 (3) 鉄筋の破断

写真-1 PC橋の損傷事例

2. コンクリート構造物の損傷状況

高度経済成長期に建設されたコンクリート橋の損傷の一例を写真-1に示す。この橋梁は、1960年代に海岸線に建設されたPC橋であり、塩害対策としてポリマーセメントモルタルによる断面補修が行われていた。その後、飛来塩分による塩害により鉄筋やPCケーブルに錆が発生し、断面欠損が生じていた。また、錆の発生によりコンクリートの表面に水平ひび割れが発生している(写真-1(1))。このPC橋の補修・補強対策として、まず、損傷が著しい箇所の脆弱したコンクリートおよび鉄筋の錆を除去する(写真-1(2))。脆弱コンクリートを除去した後の鉄筋の破断状況を写真-1(3)に示す。このPC橋の補修・補強対策としては、補強鉄筋を配置し、セメントモルタル吹き付けによる断面修復や増厚補強が施された。

以上のように、海岸線および積雪寒冷地域に建設されたコンクリート部材は飛来塩分や融雪剤散布による塩害や凍害による劣化が進行している。そこで、劣化したコンクリート部材の延命化や施工の合理化を図るための補強材として2タイプの鋼板格子筋が開発された。

3. 鋼板格子筋の概略および製作方法

3.1 鋼板格子筋の概略

縞鋼板あるいは鋼板の軸方向にレーザー光線でスリット

*1 日本大学 生産工学部土木工学科教授 博士(工) (正会員)

*2 日本大学 生産工学部建築工学科教授 博士(工) (正会員)

*3 JFEシビル(株) 技術部

*4 JFEシビル(株) 社会基盤事業部

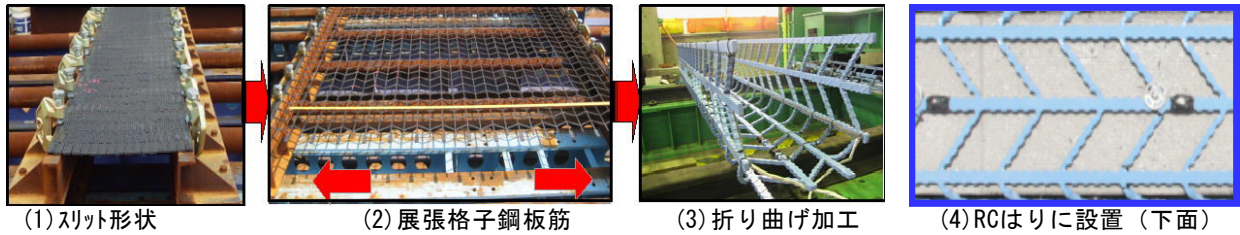


写真-2 スリット挿入型展張格子鋼板筋の製作方法

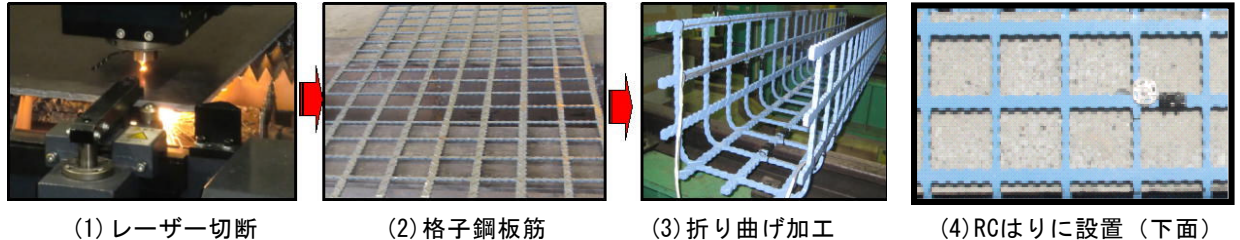


写真-3 レーザー切断加工による格子鋼板筋の製作方法

を挿入し、軸直角方向にジャッキで展張して格子状に加工した鋼板格子筋(以下、展張格子鋼板筋とする)および縞鋼板あるいは鋼板にレーザー光線で格子間を切断して格子状に加工した鋼板格子筋(以下、格子鋼板筋とする)の2タイプの鋼板格子筋が開発された。鋼種はSM400およびSM490の使用が可能である。

3.2 鋼板格子筋の製作方法

(1) 展張格子鋼板筋

展張格子鋼板筋の製作方法を写真-2に示す。展張格子鋼板筋の製作方法は、縞鋼板あるいは鋼板の軸方向にレーザーでスリットを挿入し、加工台に設置する(写真-2(1))。加工台に設置した後は専用のジャッキで全幅均等に軸直角方向に展張する(写真-2(2))。なお、軸方向筋(主筋)に対して軸直角方向の縦筋の角度は、局部応力を考量し、90度以下で展張する。また、板厚は市販されている縞鋼板および鋼板の規格厚が用いられ、設計断面積に合わせて自由にレーザーでスリットの挿入ができ、最大幅4.0mまでの展張加工が可能である。次に、はり部材の補強材として用いる場合は、面加工された展張格子鋼板筋を部材寸法に合わせて折り曲げ加工し、必要に応じて錆の発生を防止するために防錆剤を塗布する(写真-2(3))。その後、補強RCはりに設置する(写真-2(4))。

以上のように、展張格子鋼板筋は補強部材の寸法に合わせて工場内、あるいは現場付近のヤードでの加工が可能である。また、折り曲げ加工においても実構造の寸法に合わせて加工できることから施工精度にも優れているといえる。

(2) 格子鋼板筋

格子鋼板筋の製作方法を写真-3に示す。格子鋼板筋の製作方法は、縞鋼板あるいは鋼板を直接レーザーで格子状に切断加工する(写真-3(1))。切断加工された格子鋼板筋は写真-3(2)に示す形状となり、軸方向の主筋およ

び軸直角方向の縦筋、それぞれが必要とする断面積が確保できるように自由に切断加工することが可能である。切断加工された格子鋼板筋を補強部材に合わせて折り曲げ加工し、必要に応じて防錆剤を塗布する(写真-3(3))。その後、補強部材に設置する(写真-3(4))。

以上のように、格子鋼板筋は展張格子鋼板筋と異なり、鋼板を直接レーザー加工することから展張作業が省略される。本論文では補強材としての実用性を評価するが、新設RC構造への適用も可能である。

3.3 鋼板格子筋を用いた増厚補強法の特長

鋼板格子筋の特長は、鉄筋を配置してセメントモルタル吹付けによる増厚補強法と比較すると、縞鋼板あるいは鋼板を用いて格子状に面加工することから、鉄筋と比較すると格子状に組み立て施工が省略され、施工の合理化・省力化が図られる。また、鉄筋を配置した場合に比して、格子断面が鉄筋の1方向分の厚さとなり、増厚層内に配置し、有効高を確保することが可能となる。また、鋼板格子筋は格子状に面加工されることから、既設コンクリートの界面に直接配置して増厚補強した場合は、鉄筋配置の1方向分のPCMが減少され、死荷重の軽減が可能となり、施工の合理化・省力化、さらにはコスト削減効果が期待できる。

4. 使用材料および供試体概要

4.1 供試体材料

(1) RCはりのコンクリートおよび鉄筋

RCはりのコンクリートには、普通ポルトランドセメントを用いた。また、骨材には5mm～20mmの砕石および5mm以下の砕砂を用いた。次に、軸方向主鉄筋にはSD295A、D13を用い、スターラップにはD10を用いた。ここで、コンクリートおよび鉄筋の材料特性値を表-1に示す。

表-1 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)			弾性係数 (kN/mm ²)
	使用 鉄筋	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	
30.0	D13	368	516	200
	D10	370	511	

表-2 ポリマーセメントモルタルの配合

項目	単位量(kg/m ³)		水結合比 (%)
	プレミックス粉体	水	
PCM	1860	595	32

(2) ポリマーセメントモルタル

コンクリート橋や RC 床版の増厚補強に用いるポリマーセメントモルタルは、一般的な吹付け工法に用いられているビニロン繊維を配合した市販のセメント系材料を用いた。ここで、本実験供試体に用いる PCM の配合を表-2に示す。なお、PCM にはビニロン繊維が配合されているが、詳細は公表されていない。実験時における PCM の圧縮強度は 51.9N/mm²、割裂引張強度試験による引張強度は 5.1N/mm² であった。

(3) 鋼板格子筋

本供試体に用いる縞鋼板は、一般的に使用されている SS400 材を用いた。ここで、鋼板格子筋の材料特性値を表-3に示す。表-3より、展張格子鋼板筋の降伏強度は 338N/mm²、引張強度は 422N/mm² である。また、格子鋼板筋の降伏強度は 331N/mm²、引張強度は 437N/mm² である。弾性係数は 200kN/mm² である。

次に、鋼板格子筋の寸法および形状を図-1に示す。展張格子鋼板筋には、厚さ 9.0mm の縞鋼板を用いて、図-1(1)に示すように格子間寸法を 100mm×100mm とした。軸方向の主筋に相当する寸法は 9×15mm (断面積 135mm²) とし、スターラップに相当する軸直角方向の縦筋の寸法は 9×7mm (断面積 63mm²) とした。また、展張時には縦筋に支圧による応力集中が生じないように曲げ内半径を 20mm とした。さらに、9mm 間隔ごとに 2mm×9mm の突起を設け、付着力を高める構造とした。

次に、格子鋼板筋の基本的な寸法は展張格子鋼板筋と同様に格子間寸法を 100mm×100mm とした。また、軸方向の主筋の寸法は、図-1(2)に示すように 9×15mm、軸直角方向の縦筋の寸法は 9×7mm とした。よって、格子鋼板筋は圧延された縞鋼板あるいは鋼板からレーザーで直接格子状に切抜いて、製作したものである。

4.2 供試体寸法および補強法

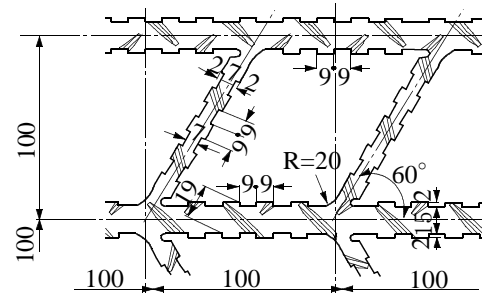
本実験の供試体の寸法を図-2に示す。

(1) RCはり供試体

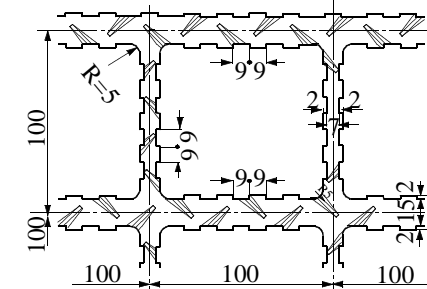
供試体寸法は図-2に示すように、支間 2000mm、張出部 200mm、全長 2400mm である。また、断面は幅 250mm、高さ 300mm とする。引張鉄筋には D13 を 3 本配置し、

表-3 展張格子鋼板筋および格子鋼板筋の材料特性値

供試体	降伏強度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (×10 ⁻⁶)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
展張格子鋼板筋	338	1690	422	200
格子鋼板筋	331	1655	437	
規格値	245以上		400~510	



(1) 展張格子鋼板筋



(2) 格子鋼板筋

図-1 鋼板格子筋の寸法

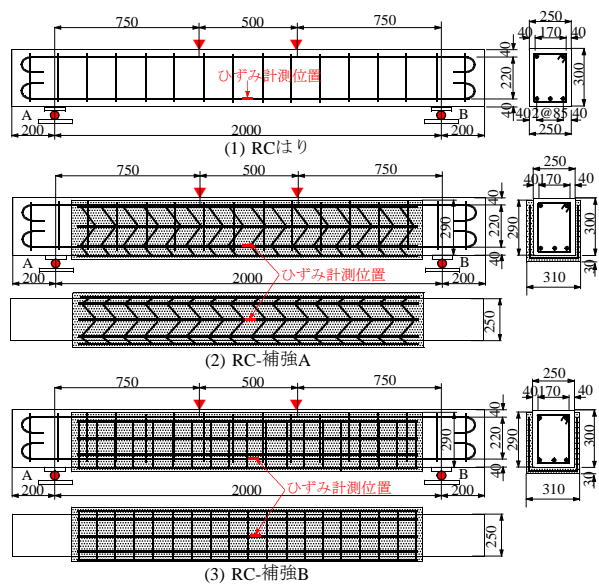


図-2 供試体寸法

有効高は 260mm である。また、圧縮側に D13 を 2 本配置し、鉄筋中心からコンクリート表面までを 40mm とした。スターラップには D10 を用い、150mm 間隔で配置した。この RC はり供試体の最大荷重および支間中央のたわみ・ひずみ値を基準に補強効果を検証する。ここで、RC はりの供試体名称を供試体 RC-1 とする。

(2) 鋼板格子筋を用いたRCはりの増厚補強供試体

補強は RC はりの下面から両側面の 290mm の位置まで

増厚補強する。よって、展張格子鋼板筋および格子鋼板筋の寸法は、幅 800mm、長さ 1800mm、厚さ 9mm を用いて U 形に折り曲げ加工し、PCM を厚さ 30mm で吹付け補強する。ここで、展張格子鋼板筋を側面全面に U 形に加工して配置した供試体寸法を図-2(2)、(3)に示す。なお、供試体名称は展張格子鋼板筋を用いた供試体を RC-補強 A、格子鋼板筋を用いた供試体を RC-補強 B とする。

4.3 補強方法

RC はりに 2 タイプの鋼板格子鋼筋を用いて PCM 吹付け増厚補強法は、「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)³⁾」に準拠して製作する。ここで、補強手順を図-3に示す。補強手順は、まず RC はり供試体を支点上に設置し、図-3(1)に示すように補強範囲をサンダーで切削・研掃する。その後、既設 RC はりへの給水を防止するために界面にプライマーを塗布する。材齢 7 日の PCM の付着強度は 1.95N/mm^2 である。次に、図-3(2)に示すように U 形に折り曲げ加工した展張格子鋼板筋あるいは格子鋼板筋を RC はりの界面から 10mm の位置に設置する。そして、図-3(3)に示すように、補強範囲に角材で型枠を設け、30mm の増厚補強を行う。PCM を吹付け図-3(4)に示すように、1 層目の PCM を鋼板格子筋が埋まる程度吹付けし、2 時間程度の養生を行い、2 層目の PCM を吹付けを行う。吹付け終了後、表面仕上げし、養生を行う。最後に型枠を除去して補強終了となる(図-3(5))。格子鋼板筋を用いた供試体 RC-補強 B も同様な補強手順で製作した。

5. 実験方法

荷重載荷位置およびたわみの計測値を図-4に示す。本実験は、図-4に示すように 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、本実験における荷重載荷位置からせん断スパン比は a/d は 2.88 (a : 支点から載荷位置までの距離、 d : 有効高)⁵⁾であり、曲げ破壊が先行する載荷条件とした。静荷重実験における荷重条件は 0kN から 5kN ずつ増加し、25kN に達した後、荷重 5kN ずつ 5kN まで除荷し、残留値を計測する。これを 1 サイクルとし、供試体が破壊するまで荷重を増減する。本実験におけるたわみ、鉄筋および鋼板格子筋のひずみの計測は支間中央のみとした。

6. 結果および考察

6.1 耐荷力

RC はりの供試体 RC-1 の最大荷重は 93.8kN である。この最大荷重を基準にして補強効果を検証する。

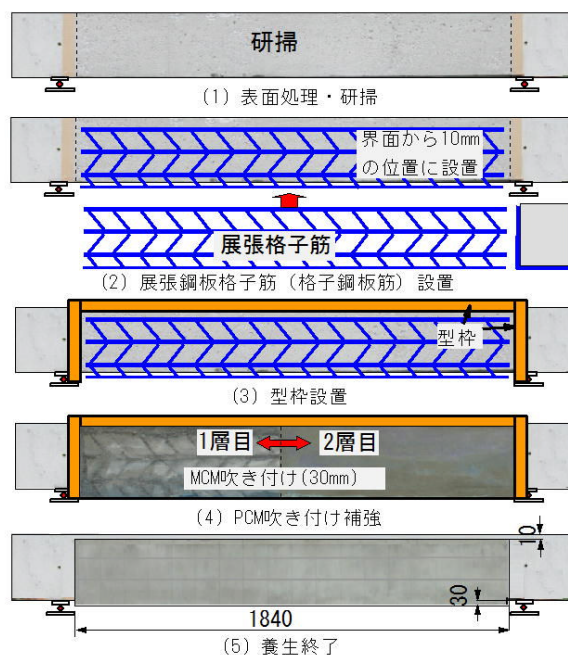


図-3 展張格子鋼板筋を用いた増厚補強法

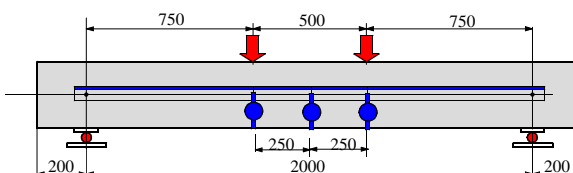


図-4 荷重載荷位置およびたわみの計測位置

展張格子鋼板筋を配置して PCM 吹き付け補強した供試体 RC-補強 A の最大荷重は 200.1kN である。供試体 RC-1 の最大荷重と比較すると 2.13 倍の補強効果が得られた。また、供試体 RC-1 の最大耐荷力との差、すなわち補強部が分担する耐荷力は 106.3kN である。次に、格子鋼板筋を配置した供試体 RC-補強 B の最大荷重は 242.5kN であり、補強部が分担する耐荷力は 148.7kN である。供試体 RC-1 の最大荷重と比較すると 2.59 倍増加している。また、供試体 RC-補強 A の耐荷力と比較すると 42.4kN 増大、すなわち 1.21 倍の耐荷力が向上している。これは、展張格子鋼板筋は軸方向の主筋に対して軸直角方向の縦筋は 100mm ごとに垂直軸から左右に 30 度の角度で折れ曲がり、縦筋が部分的に斜めひび割れの進展方向と同じ方向となり、斜め引張応力度に対する抵抗が低く、この位置では斜めひび割れが急激に進展する。また、斜めひび割れと交差する位置は斜め引張応力度に対する抵抗が高まり、斜めひび割れの進展が抑制される。一方、格子鋼板筋の縦筋は主筋に対して直角であることから RC はりのスターラップと同様に斜め引張応力度に抵抗し、耐荷力の向上が図られたものと考えられる。

6.2 荷重とひずみの関係

RC はりの鉄筋、補強 RC はりの主鉄筋および鋼板

格子筋のひずみの計測位置は支間中央とし(図-2), それぞれの荷重とひずみの関係を図-5に示す。なお, 材料特性値(表-1, 3)より鉄筋の降伏ひずみは 1840×10^6 , 展張格子鋼板筋および格子鋼板筋の降伏ひずみは, それぞれ 1690×10^6 , 1655×10^6 である。

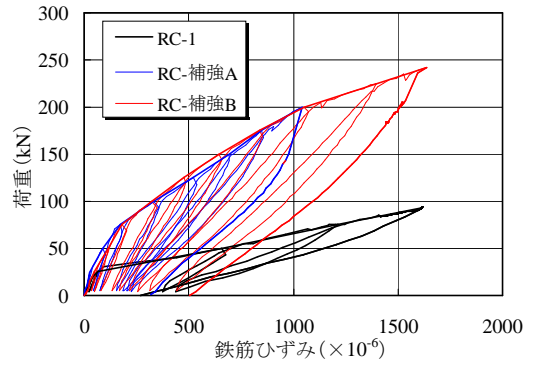
RC はり荷重と主鉄筋のひずみの関係は図-5(1)に示すように, 荷重 30kN 載荷後からひずみの増加が著しくなっている。その後の荷重増加においてはほぼ線形的に増加している。最大荷重 93.8kN のひずみは 1617×10^6 であり, 降伏ひずみに達していない。

次に, RC はりに展張格子鋼板筋を配置し, PCM 吹付け増厚補強した供試体 RC-補強 A の主鉄筋ひずみは, 荷重 50kN 載荷後からひずみの増加がやや大きくなるが, 無補強 RC はりの 14%程度である。荷重 200.1kN 載荷時まで線形的に増加し, この時点のひずみは 1041×10^6 である。最大荷重到達後に荷重は低下し, 破壊に至った。なお, 残留ひずみは 340×10^6 である。一方, 展張格子鋼板筋の荷重とひずみの関係は図-5(2)に示すように, 荷重 50kN 載荷付近までは主鉄筋と同様な増加傾向を示している。荷重 200.1kN 載荷時のひずみは 1135×10^6 であり, 鉄筋のひずみを僅かに上回っているものいづれも降伏ひずみに達していない。なお, 残留ひずみは 150×10^6 である。

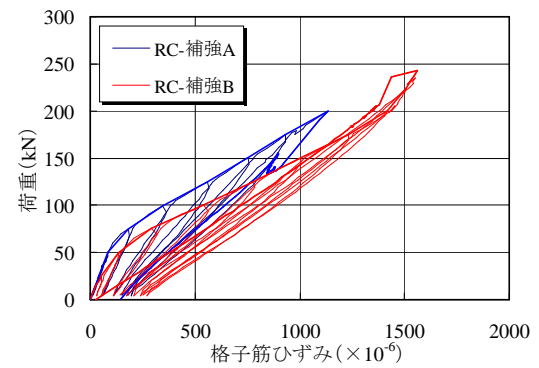
また, RC はりに格子鋼板筋を配置し, PCM 吹付け補強した供試体 RC-補強 B の主鉄筋ひずみは図-5(1)に示すように, 展張格子鋼板筋を配置した供試体 RC-補強 A と同様な増加傾向を示している。荷重 200kN 載荷付近からややひずみが増加するものの荷重 225kN 載荷時までにはほぼ線形的に増加している。最大荷重 242.5kN 載荷後から荷重が低下し始めた。最大荷重時のひずみは 1638×10^6 であり, 降伏ひずみに達していない。残留ひずみは 500×10^6 である。一方, 格子鋼板筋の荷重とひずみの関係は, 荷重 50kN 載荷後からやや増加が大きくなるものの荷重 200kN 付近までは線形的に増加している。この時点のひずみは 1421×10^6 である。展張格子鋼板筋を配置した供試体 RC-補強 A と比較すると 1.25 倍のひずみの増加である。その後の荷重増加においてはひずみの増加は減少傾向を示している。これは, せん断領域でひび割れの進展が著しく, また界面ではく離が生じ始めたためと考えられる。最大荷重 242.5kN のひずみは 1600×10^6 である。その後, 荷重が減少し破壊に至った。残留ひずみは 25×10^6 である。

6.3 荷重とたわみの関係

RC はりおよび補強 RC はりの支間中央の荷重とたわみの関係を図-6に示す。供試体 RC-1 の荷重とたわみの関係は荷重 30.0kN 付近までは線形的に増加し, 30.0kN 付近からたわみの増加がやや大きくなるものの荷重 84.5kN



(1) 鉄筋ひずみ



(2) 格子筋ひずみ

図-5 荷重とひずみの関係

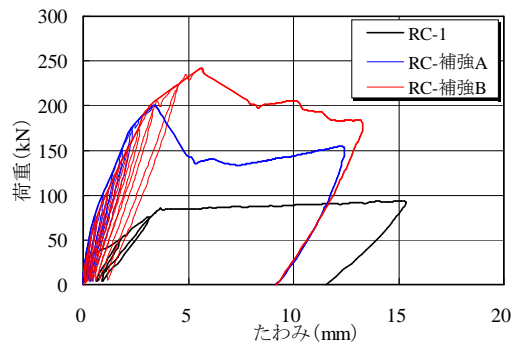


図-6 荷重とたわみの関係

付近まで線形的に増加し, この時点のたわみは 3.6mm である。その後の荷重増加においてたわみが急激に増加し, 最大荷重 93.8kN でたわみは 15.3mm で破壊に至っている。残留たわみは 11.5mm である。

次に, 供試体 RC-補強 A は荷重 80kN 付近まで線形的に増加している。荷重 84.5kN 付近のたわみは 0.7mm であり, RC はりの 19%であり, たわみの増加が抑制されている。その後, たわみの増加はやや大きくなるもの最大荷重 175kN 付近まで線形的に増加している。その後の荷重増加により, たわみが急激に増加し, 荷重 200.1kN 以降は荷重が 135kN まで減少し, 破壊に至っている。最大たわみ 12.4mm で, 残留たわみは 9.2mm である。

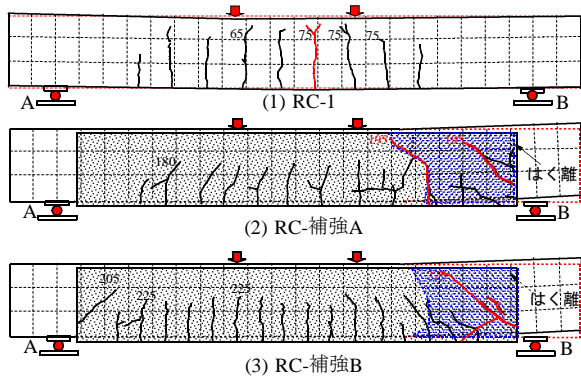


図-7 破壊状況

供試体 RC-補強 B は、荷重 80kN 付近まで線形的に増加し、荷重 84.5kN 載荷時のたわみは 0.8mm で、RC はりの 22% であり、供試体 RC-補強 A 同様にたわみの増加が抑制されている。その後、たわみの増加はやや大きくなるものの最大荷重 200kN 付近まで線形的に増加している。その後の荷重増加でたわみが急激に増加し、荷重 242.5kN 載荷後、荷重が 200kN まで減少し、最大たわみ 12.5mm で破壊に至っている。残留たわみは供試体 RC-補強 B 同様に 9.2mm である。

以上より、展張格子鋼板筋および格子鋼板筋を配置した PCM 増厚補強は、曲げ剛性が大幅に向上することからたわみ増加が大幅に抑制されている。

6.4 破壊状況

本実験における破壊状況を図-7に示す。なお、図中の赤線は破壊位置のひび割れである。

RC はりの破壊状況は図-7(1)に示すように、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、荷重の増加に伴い両支点方向にもひび割れが進展し、間隔は RC はりのスターラップ筋とほぼ同位置に発生している。破壊は荷重 93.8kN で、図中の赤で示したひび割れが先行し、曲げ破壊となった。

次に、展張格子鋼板筋を配置した供試体 RC-補強 A の破壊状況は図-7(2)に示すように、荷重 180kN 付近で、左支点から左荷重載荷位置付近までのひび割れは、垂直軸から右に 30 度傾斜している縦筋に沿った斜めひび割れが発生が先行している。その後、荷重 190kN 載荷では、支点 B 側の 2 段目の縦筋が垂直軸から左 30 度傾斜することから斜め引張応力度に対する抵抗力が小さくなり、支点 B 側の縦筋に沿って斜めひび割れが先行している。破壊は、支点 B 側のせん断領域（せん断スパン比 $a/d = 2.5$ 以下）^{5), 6)} でせん断破壊と同時に補強界面がはく離した。なお、実構造においては、継手部を設けることから支間中央から展張角度が左右対称となるように配置するこ

とで縦筋の傾斜をせん断抵抗させる配置となる。

一方、格子鋼板筋を補強した供試体は図-7(3)に示すように、荷重 200kN 付近までは、曲げ領域およびせん断領域にひび割れが発生し、上縁に進展している。格子鋼板筋は正方形の格子状を形成していることから左右対称にほぼ均等にひび割れが発生している。荷重 205kN 付近ではせん断スパン比内に斜めひび割れが進展し、荷重 225kN 載荷後、右支点側でせん断破壊と同時に補強界面がはく離した。

7. まとめ

- (1) 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は RC はりの 2.13 倍の補強効果が得られた。また、格子鋼板筋を用いた供試体においても RC はりの 2.59 倍、展張格子鋼板筋の 1.21 倍の補強効果が得られた。よって、両格子鋼板筋は RC 部材の耐荷力性能の向上を図る補強材として有効であると言える。
- (2) 荷重とひずみ・たわみの関係においては、展張格子鋼板筋および格子鋼板筋を設置して PCM 吹き付け増厚補強法は、曲げ剛性が向上することからたわみの増加が大幅に抑制されている。本実験の範囲内では鉄筋および鋼板格子筋ともに降伏ひずみに達していない。
- (3) RC はりおよび 2 タイプの鋼板格子筋を用いて補強した RC はりの破壊状況は、無補強 RC はりは曲げ破壊であったが、2 タイプの鋼板格子筋を用いた補強供試体は、曲げ抵抗が向上したことから支点 B 側に発生した斜めひび割れが先行し、せん断破壊となった。しかし、耐荷力に関しては無補強 RC はりの 2 倍以上の耐荷力となることから本提案する鋼板格子筋を用いた補強法は実用的であると言える。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋補修・補強事例集，2009.10
- 2) 土木学会：道路橋床版の維持管理マニュアル，2012
- 3) 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)，2011.7
- 4) 高木智子，阿部忠，師橋憲貴，塩田啓介，今野雄介：格子鋼板筋を用いた RC はりの補強効果に関する研究，日本大学生産工学部第 47 回学術講演会講演概要，I -21, pp.71-74, 2014.12
- 5) 岡田清，不破昭，伊藤和幸，平沢征夫：鉄筋コンクリート工学，鹿島出版，1997.3
- 6) 岡田清：鉄筋コンクリート工学，朝倉書店，1973.11