

## 展張鋼板筋と正方形鋼板筋を用いたRCはりの補強効果に関する研究

日大生産工(院) ○及川 裕介　日大生産工 阿部 忠, 師橋 憲貴  
JFE シビル(株) 塩田 啓介, 今野 雄介

### 1. はじめに

近年、高度経済成長期に建設された社会資本施設は、建設後 50 年を経過し、老朽化が進んでいる。とくに、コンクリート構造部はひび割れの発生や海岸線に建設されたコンクリート構造部は飛来塩分による塩害を受け鉄筋が腐食し、錆の発生に伴うはく落が生じている。また、コンクリート構造物の設計基準は、現行の基準に至るまでに数回の改定が行われている<sup>1), 2)</sup>。したがって、老朽化しているコンクリート部材の耐荷力性能および耐震性は、現行の設計基準で設計された部材と比較して大幅に低下し、これらの部材の補強対策が重要な課題となっている。一方、コンクリート構造物の耐荷力性能および耐震性の向上を図るために補強法には、鋼板や炭素繊維材料 (FRP) を既設コンクリート部材に接着する工法や、鉄筋を格子状に配置し、モルタル吹き付けによる増厚する補強法が施されている<sup>3)</sup>。近年は、施工の合理化、省力化を図るために鉄筋に変わる材料として格子鋼板筋が開発されている。

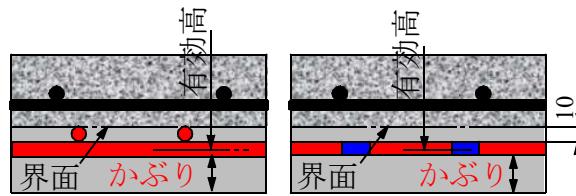
そこで本研究は、新たに開発された格子鋼板筋の性能および実用性を評価するために RC はりに 2 タイプの格子鋼板筋を配置し、ポリマーセメントモルタル吹付け補強した供試体を用いて、静荷重実験を行い、補強効果を検証する。

### 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事例を写真-1 に示す。この橋梁は、1960 年代に建設された 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表面補修が行われている。その後においても飛来塩分による塩害を受け鉄筋や PC ケーブルの腐食が進行し、コンクリート表面に錆汁が沈着している。また、錆の発生による水平ひび割れも発生している（写真-1 (1)）。劣化したコンクリート橋の再補強対策として損傷が著しい箇所のコンクリートをウォータージェットやブレーカーで除去し（写真-1 (2)）、脆弱したコンクリートや鉄筋の錆を除去する（写真-1 (3)）。その後、鉄筋を配置し、モルタル吹き付けによる断面修復が行われている。



(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



(1) 鉄筋 (2) 鋼板格子筋  
図-1 鉄筋および鋼板格子筋の配置

以上のように、海上に建設された桟橋や海岸線や積雪寒冷地域の橋梁は飛来塩分や融雪剤散布による塩害により老朽化が進行している。よって、コンクリート部材の延命化を図るために補強材や補強技術の開発が重要な課題となっている。

### 3. 格子鋼板筋の製作方法

格子鋼板筋は、縞鋼板の軸方向にレーザー光線でスリットを挿入し、軸直角方向にジャッキで展張して格子加工した格子鋼板筋（以下、展張鋼板筋とする）および縞鋼板をレーザー光線で格子間を切断して格子加工した格子鋼板筋（以下、正方形鋼板筋とする）の 2 タイプ提案されている。格子鋼板筋の特長は、鉄筋を配置した場合と比較すると格子加工された格子鋼板筋を補強部に取付することから鉄筋の組み立てに比して、施工の合理化、省力化が可能となる。ここで、鉄筋および格子鋼板筋を配置した場合の増厚補強法の一例を図-1 に示す。従来の鉄筋を配置した補強法は図-1 (1) に示すように既設コンクリート部材の界面に軸方向および軸直角方向に直接鉄筋を配置し、ポリマーセメントモルタルを吹付け補強している。一方、格子鋼板筋を用いた場合は格子加工されていることから、既設コンクリート界面に直接配置した場合は鉄筋の一方向分の厚さを減少することができ、死荷重の軽減が可能となる。さらに、格

Study on stiffening effect of RC beam with expanded and square metal grid

Yusuke OIKAWA, Tadashi ABE, Noritaka MOROHASHI, Keisuke SHIOTA and Yusuke IMANO



子鋼板筋に耐荷力を分担させるためには図-1(2)に示すように、補強コンクリート内に格子鋼板筋を配置することで増厚層内に配置することが可能となる。次に、格子鋼板筋に用いる板厚は縞鋼板を使用することから最小4.5mm、最大13mmまでの規格の厚さが用いることができる。幅方向はレーザー加工できる範囲を自由に設計することができる。また、加工後には防錆材を塗布することで、塩害対策としても有効な材料となる。

#### (1) 展張鋼板筋

展張鋼板筋の製作方法を写真-2に示す。展張鋼板筋の製作は、縞鋼板の軸方向にレーザー光線でスリットを挿入し、加工台に設置しする(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))。展張鋼板筋は、格子間が軸方向および軸直角方向が同一寸法となるまで展張(写真-2(3))する。現状における展張鋼板筋の最大寸法はスリット挿入時の幅の約4倍の寸法までが可能である。はり部材の補強材として用いる場合は、展張された格子鋼板筋を合わせて折り曲げ加工する。ここで、本実験に用いるはり部材の補強材に折り曲げ加工した展張鋼板筋を写真-2(4)に示す。最後に、錆の発生を防止するために防錆剤を塗布する(写真-2(5))。ここで、RC部材の補強として展張鋼板筋の設置状況を写真-3(1)に示す。

以上のように、展張鋼板筋は補強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言える。

#### (2) 正方形鋼板筋

正方形鋼板筋は、縞鋼板にレーザー光線で直接格子状に加工して製作する。よって、縞鋼板の軸直角方向および軸方向に設計書に基づいて軸方向および軸直角方向、それぞれ必要断面積を有するように切断加工が可能である。その後、既設コンクリート構造物に設置できるように折り曲げ加工するものである。ここで、格子鋼板筋をはり部材に設置した場合の状況を写真-3(2)に示す。

### 4. 使用材料および供試体概要

#### 4.1 供試体材料

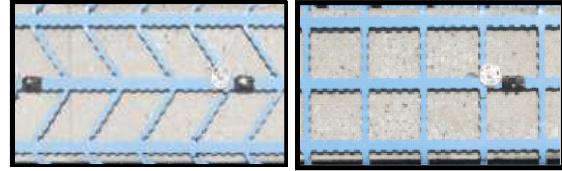


表-1 コンクリートおよび鉄筋の材料特性値

コンクリート 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋(SD295A)			
	使用 鉄筋	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
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 <sup>3</sup> )		水結合比 (%)
	プレミックス粉体	水	
PCM	1860	595	32

表-3 縞鋼板および格子鋼板筋の材料特性値

供試体	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏ひずみ (×10 <sup>-6</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
縞鋼板	327	1635	435.0	200(道示)
加工後	338	1690	422.3	
規格値	245以上		400以上	

#### (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を用いる。また、骨材には5mm～20mmの碎石および5mm以下の碎砂を用いる。次に、軸方向主鉄筋にはSD 295A、D13を用い、スターラップにはD10を用いる。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。

#### (2) 補強材

##### 1) 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(以下、PCMとする)は、一般的に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材料を用いる。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/mm<sup>2</sup>である。

##### 2) 格子鋼板筋

本供試体に用いる縞鋼板は、一般的に使用され

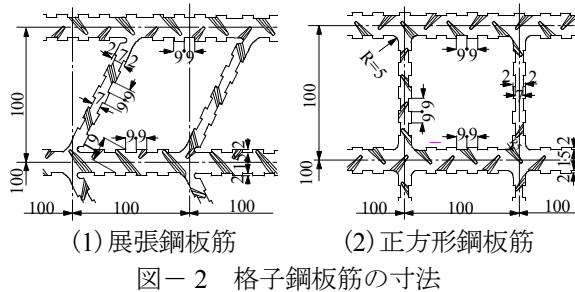


図-2 格子鋼板筋の寸法

ているSS400材を用いるものとする。本供試体に用いる格子鋼板筋の寸法および形状を図-2に示す。本実験に用いる展張鋼板筋には、厚さ9.0mmの縞鋼板に格子間寸法が100mm×100mmとなるように展張させたものを用いる。軸方向筋すなわち主筋に相当する寸法は9×15mm(断面積135mm<sup>2</sup>)とし、軸直角方向筋すなわちスタートラップに相当する寸法は9×7mm(断面積63mm<sup>2</sup>)とする。また、9mm間隔ごとに2mm×9mmの突起を設け、付着力を高める構造とする。

次に、正方形鋼板筋の寸法は基本的な厚さ、幅は展張鋼板筋と同様である。よって、図-2(2)に示すように軸方向の主筋に相当する寸法は9×15mm、軸直角方向のスタートラップに相当する寸法は9×7mmとする。なお、格子間は100×100mmである。以上の両格子鋼板筋の材料特性値を表-3に示す。表-3より、格子鋼板筋の降伏強度は338N/mm<sup>2</sup>、引張強度は442.3N/mm<sup>2</sup>、弾性係数は200kN/mm<sup>2</sup>である。

#### 4.2 供試体寸法

本実験の供試体の寸法を図-3に示す。

##### (1) RCはり供試体

供試体寸法は、支間2000mm、張出部200mm、全長2400mmである。また、断面方向は幅250mm、高さ300mmとする。引張鉄筋はD13を3本配置し、有効高は260mmである。また、圧縮側に2本配置し、かぶりを33.6mmとする。スタートラップにはD10を用い、150mm間隔で配置した。本研究する2タイプの格子鋼板筋を用いたPCM補強法における補強効果の検証についてはRCはり供試体の最大荷重を基準に検証する。ここで、無補強RCはりの供試体名称をRCはりとする。

##### (2) 格子鋼板筋を用いた増厚補強供試体

RCはりの上面から10mmの位置まで格子鋼板筋を配置できるように主筋中心幅800mm、長さ1800mm、厚さ9mmの展張鋼板筋および正方形鋼板筋をU字状に折り曲げ加工し、PCMを厚さ30mmで吹付け補強する。ここで、格子鋼板筋を側面全面にU字状に加工して配置した供試体寸法を図-3(2)、(3)に示す。ここで供試体名称を、展張鋼板筋を用いた供試体をRC-A、正方形鋼板

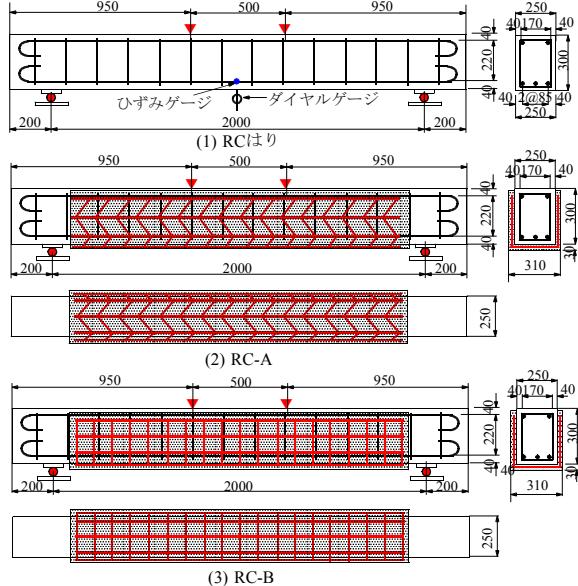


図-3 供試体寸法



写真-4 補強終了

筋を用いた供試体をRC-Bとする。

#### 5. 補強方法

RCはりの引張補強材に2タイプの格子鋼板筋を用いた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)<sup>4)</sup>に準拠して製作する。格子鋼板筋を用いたRCはりの補強手順は、まず供試体を支点上に設置する。次に、格子鋼板筋を設置する。本供試体は補強界面と格子鋼板筋表面との間隔を10mmとする。その後、型枠を設置し、PCMを吹き付ける。一次養生を2時間程度行い、2層目の吹き付けを行う。吹付け終了後、表面仕上げし、養生を行う。ここで、補強終了後の状況を写真-4に示す。

#### 6. 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。せん断スパン比は2.88(=750/260)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サイクルとする。1サイクルごとの荷重増加を25kNとし、供試体が破壊するまで荷重を漸増する。

#### 7. 結果および考察

##### 7.1 耐荷力

RCはりの最大荷重は93.8kNである。この最大荷重を基準とし補強効果を検証する。次に、展張

鋼板筋を配置した供試体 RC-C は、200.1kN である。補強部が分担する耐荷力は 106.3kN であり、RC-A の最大荷重と比較すると 2.13 倍の補強効果が得られている。また、正方形鋼板筋を配置した供試体 RC-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。RC はりの最大荷重と比較すると 2.59 倍、展張鋼板筋を配置した供試体 RC-A と比較すると 1.21 倍の補強効果が得られた。以上より、展張鋼板筋は主筋（9mm×15mm）に対してスタートラップとなる縦筋（9mm×7mm）は 60 度の角度で配置するのに対して、正方形鋼板筋を配置した供試体は、スタートラップの役割となる縦筋が主筋に対して直角であることからせん断抵抗に大きく貢献し、耐荷力の向上が図られたものと考えられる。

## 7.2 荷重とひずみの関係

荷重とひずみの関係を図-4 に示す。

### (1) 無補強 RC はり

RC はりの主鉄筋中央の荷重とひずみの関係は、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。荷重 50.2kN 載荷時のひずみは  $658 \times 10^{-6}$ 、荷重 75.5kN 載荷時のひずみは  $1215 \times 10^{-6}$  である。破壊時の荷重は 93.8kN であり、最大ひずみは  $1617 \times 10^{-6}$  であることから、この位置のひずみは降伏に至っていない。

### (2) 展張鋼板筋増厚補強 RC はり (RC-A)

RC はりに展張鋼板筋を配置し、PCM 吹付け補強した供試体 RC-A のひずみの増加は荷重 50.2kN 載荷時のひずみは  $86 \times 10^{-6}$ 、荷重 75.0kN で  $171 \times 10^{-6}$  であり、無補強 RC はりの 14%程度である。その後の荷重増加においてひずみの増加はやや大きくなるものの、荷重 200.1kN 載荷時まで線形的に増加している。この時点のひずみは  $1041 \times 10^{-6}$  である。最大荷重到達後に荷重は低下し、この時点での破壊に至った。よって、本実験では厚さ 9mm、幅 15mm の展張鋼板筋を配置し、PCM を 30mm 増厚したことから無補強 RC はりの耐荷力以上を補強部で分担していると考えられる。

### (3) 正方形鋼板筋増厚補強 RC はり (RC-B)

RC はりに正方形鋼板筋を配置し、PCM 吹付け補強した供試体 RC-B は、荷重 50kN 時のひずみは  $115 \times 10^{-6}$ 、荷重 75kN 載荷時のひずみは  $179 \times 10^{-6}$  であり、無補強 RC はりの 15 %程度である。この時点では展張鋼板筋を用いた供試体の増加傾向と同様である。その後、荷重 200kN 載荷後からややひずみが増加するものの荷重 225kN 載荷時までは線形的に増加している。荷重 200.3kN 載荷時のひずみは  $1050 \times 10^{-6}$  であり、展張鋼板筋を用いた増厚補強 RC はりとほぼ同等な増加傾向を示して

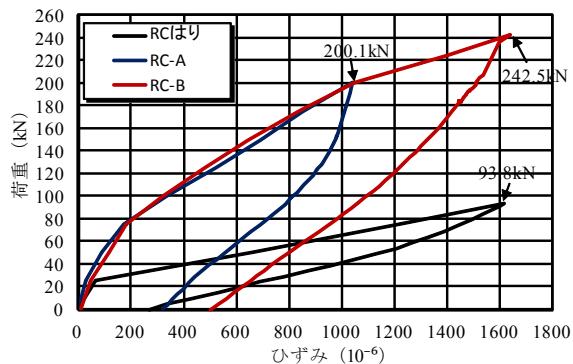


図-4 荷重とひずみの関係

いる。その後、荷重 224.0kN 載荷時のひずみは  $1395 \times 10^{-6}$  である。最大荷重 242.5kN 載荷後から荷重が低下し始めた。この時点のひずみは  $1638 \times 10^{-6}$  であり、降伏ひずみに達していない。以上より、正方形鋼板筋を用いた補強供試体は RC はりに比して 2.59 倍、展張鋼板筋を用いた補強供試体の 1.2 倍の耐荷力性能を有している。

## 8. まとめ

増厚補強 RC はりの引張補強材として 2 タイプの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。

- ① 縞鋼板にレーザーによるスリットを挿入して展張した格子鋼板筋の材料特性値は加工後においても降伏強度および引張強度が加工前の鋼板と同様の材料特性を有している。
- ② RC はりに展張鋼板筋を配置し、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、正方形鋼板筋を用いた供試体においても RC はりの 2.59 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ことが実証できた。
- ③ コンクリート部材の引張補強材である展張鋼板筋および正方形鋼板筋は、工場で折り曲げ加工され、防錆剤の塗布が可能で有り、施工の合理化・省力化、さらには塩害対策としても有効的な材料といえる。

## 「参考文献」

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I, II, III (2002).
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (2010)
- 3) 土木学会：道路橋床版の維持管理マニュアル (2012.6)
- 4) 吹付け協会：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)