

(39) ひび割れ損傷を与えた RC はりに展張格子筋を配置した 接着剤塗布型 PCM 補強法における補強効果の検証

田中佐愛¹・阿部 忠²・師橋憲貴³・塩田啓介⁴・吉岡泰邦⁵・中島博敬⁶

¹ 正会員 JFE シビル株式会社 社会基盤事業部 (〒111-0051 東京都台東区蔵前 2-17-4)

² フェロー会員 博士(工学) 日本大学教授 生産工学部土木工学科 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)
E-mail:abe.tadashi@nihon-u.ac.jp

³ 正会員 博士(工学) 日本大学教授 生産工学部建築工学科 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

⁴ 正会員 JFE シビル株式会社 技術部 (〒111-0051 東京都台東区蔵前 2-17-4)

⁵ 正会員 JFE シビル株式会社 社会基盤事業部 (〒111-0051 東京都台東区蔵前 2-17-4)

⁶ 正会員 株式会社新星コンサルタント (〒300-2721 茨城県常総市篠山 885-3)

本研究は、たわみが支間 L の $1/400$ まで荷重を載荷し、応力履歴を与えた RC はりに、ひび割れ補修と展張格子筋を配置し、PCM 増厚補強を併用した RC はりの耐荷力および補強効果について検証した。その結果、ひび割れ補修した後、展張格子筋を配置し、PCM 増厚補強した RC はりは、無補強 RC はりの耐荷力に対して 1.61 倍の耐荷力が向上した。また、未損傷 RC はりに展張格子筋を配置し、PCM 増厚補強した供試体の耐荷力と同等な結果が得られた。よって、老朽化によるひび割れが発生した RC 部材の補修および補強法として、ひび割れ補修と併せて展張格子筋を配置した接着剤塗布型 PCM 増厚補強は耐荷力性能が大幅に向上することから実用的な補強法であると考えられる。

Key Words : RC beam, Metal-Grid expanded type, Load-carrying capacity, Stiffening effect

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。また、建設地域の環境条件によっても老朽化の現象が異なっている。例えば、海岸線に建設された PC 橋やコンクリート部材は飛来塩分や直接海水を受けることから、PC ケーブルや鉄筋が腐食し、部分的なコンクリートのはく落などの損傷を受けている。また、港湾施設のコンクリート部材も直接、海水を受けることから鉄筋の腐食に伴う、剥落も多い。よって、海岸線に建設されたコンクリート橋や港湾施設のコンクリート部材は、腐食による断面欠損が生じ、当初の耐荷力が大幅に低下し、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⁾。

一方、老朽化した RC 部材の引張補強材として、FRP 材が開発されている。さらに、縞鋼板や鋼板にレーザでスリットを挿入し、格子状に一面加工した展張格子筋と、直接レーザで格子状に一面加工した格子鋼板筋の 2 タイプの鋼板格子筋が開発され、コンクリート部材の補強材や新設構造の引張材として提案された^{2),3)}。この鋼板格子筋は、FRP 格子筋と同様に耐荷力の向

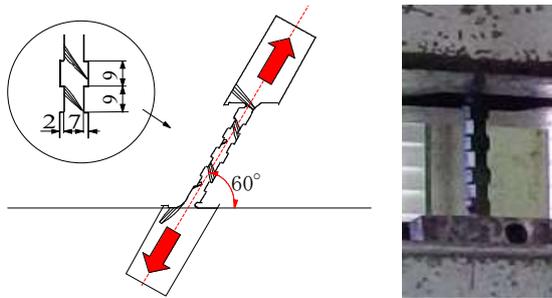
上を図ると同時に、施工の合理化・省力化が図られ、コストの縮減などの効果が期待できる材料であり、RC 部材の耐荷力の向上や耐震補強材として提案されている。また、亜鉛メッキやエポキシ樹脂塗装することで防食性にも優れている。

そこで本研究は、未損傷 RC はりおよび応力履歴を与えた RC はりに展張格子筋を配置し、接着剤塗布した後、ポリマーセメントモルタル (PCM) で増厚補強した場合の補強効果を検証する。応力履歴の作用は RC はりのたわみが支間 L の $1/400$ に達するまで荷重を作用させ、ひび割れを発生させる。補強効果については未補強 RC はりの最大耐荷力を基準に補強した RC はりの最大耐荷力から評価する。

2. 展張格子筋の材料特性

(1) 展張角度別による格子筋の降伏・引張強度

展張格子筋の製作は、鋼板および縞鋼板にスリットを挿入し、専用の展張機で展張して格子状にするものである。そこで、展張後の材料特性値を検証するために展張角度 60 度で展張し、展張角度が降伏強度、引張強度に及ぼす影響を検証する。ここで、展張後の



(1) 展張角度 (2) 引張試験

図-1 材料試験における展張角度および引張試験

表-1 展張格子筋の材料特性値

展張角度	供試体	断面積 (mm ²)	最大荷重 (kN)	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
60°	A-1	63.90	27.35	333.15	428.02
	A-2	61.33	27.57	354.56	449.52
	A-3	63.35	27.95	349.04	441.23
	平均	62.86	27.62	345.58	439.59
JIS (0°)	J-1	114.64	59.25	351.21	516.82
	J-2	114.74	59.05	346.14	514.64
	J-3	114.65	59.00	345.71	514.61
	平均	114.68	59.10	347.69	515.36
ミルシート				338.00	448.00
道示				245.00	400.00

材片を図-1に示す。

a) 引張試験用材片

引張試験には厚さ9mm、幅7mm、公称断面積63mm²の縞鋼板で引張試験用の材片を製作する。なお、付着性を高める目的で9mmごとに厚さ2mmの凹凸を設けてある。試験体は各タイプ3体用いる。また、比較用として同一鋼板から採取したJIS 13B号に準拠した寸法で材片を製作して引張試験を行う。

b) 実験方法

展張格子筋の引張試験は、展張角度60度(図-1(1))および同一縞鋼板からJIS13B号に準拠の材片、それぞれについてJIS Z 2241に準拠して引張試験を実施する。展張試験の状況を図-1(2)に示す。

c) 引張試験による材料特性値

展張格子筋および縞鋼板からJIS13B号に準拠の材片の引張試験における材料特性値を表-1に示す。

展張格子筋における展張角度60度の格子筋の平均降伏強度は345.6N/mm²、平均引張強度は439.6N/mm²である。一方、JIS規格で製作した縞鋼板材片の平均降伏強度は347.7N/mm²、平均引張強度は515.4N/mm²である。よって、展張角度60度で展張した供試体の降伏強度および引張強度はミルシートの結果とほぼ同等であり、強度は確保されている。

d) 破断状況

本実験に用いる展張格子筋と同様な展張角度60度およびJIS規格の材片の引張試験における破断状況の一例を写真-1に示す。

展張角度60度の破断位置は写真-1(1)に示すよう

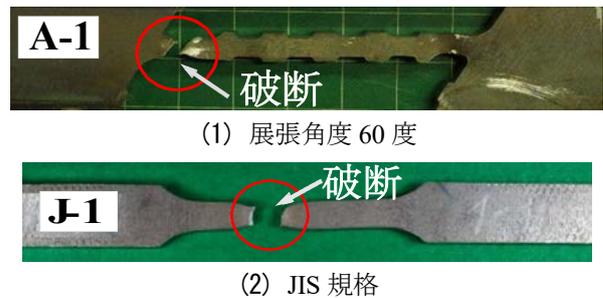


写真-1 引張試験における破壊状況

に展張止端から5mm付近で破断している。また、JIS規格の材片は写真-1(2)に示すように中央で破断している。展張角度60度の材片は、表-1に示すように降伏強度、引張強度は、JIS規格の材片と同程度であることから本実験の展張角度においては、破断荷重に与える影響はほとんど見られない。なお、鉄筋を用いた場合も90度の折り曲げやフックを設けることから、これと同等な強度であると考えられる。なお、主筋となる軸直角方向筋の降伏強度および引張強度はJIS規格の値と同等である。よって、補強引張材として用いる場合は道示に規定する降伏強度が確保されている。

(2) 展張格子筋の付着強度

a) 付着試験用材片

鋼板格子筋には、材質SS400、厚さ4.5mmの縞鋼板を用いる。付着試験に用いる材料特性値は、展張加工後の降伏強度は339N/mm²、引張強度は441N/mm²である。

b) 付着強度の検証

展張格子筋には縞鋼板や鋼板が用いられることから、異形鉄筋と異なりコンクリートとの付着面が平滑であることから付着性が確保されるか課題である。そこで、格子鋼板筋の引き抜き試験を行い、付着強度試験を評価した。引き抜き試験はJSCE-E 516-2003に準拠する。

c) コンクリートおよび格子筋の使用材料

コンクリートには、普通ポルトランドセメント、粗骨材最大寸法20~25mm、圧縮強度30.0±3.0N/mm²(28日強度)、スランプ10±2.5cm、コンクリート強度試験用供試体(JIS A 1132)の製作に準拠した。

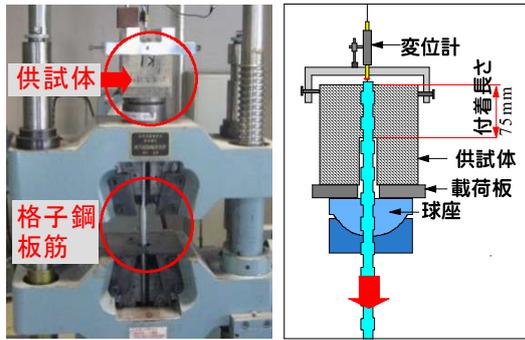
展張格子筋には、板厚9.0mm、縦筋幅15mm、縞鋼板(SS400)を用いた。付着面は9mmごとに2mmの突起を設けた。また、異形鉄筋SD295A D13を用いた。

d) 引き抜き試験(引張試験)

格子鋼板筋の引き抜き試験は、エポキシ系樹脂塗装を用いる鉄筋コンクリートの設計指針(土木学会)の付着試験方法(JSCE-E516-2003)に準拠した⁴⁾。ここで、実験状況を図-2に示す。

e) 付着強度

引き抜き試験による荷重と変位の関係を図-3に示



(1) 引き抜き試験 (2) 供試体概略

図-2 引き抜き試験の概略

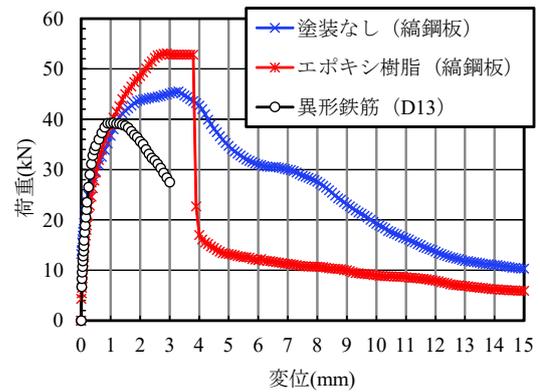


図-3 付着試験による荷重と変位の関係

表-2 格子鋼板筋および鉄筋の付着強度

鋼材	鋼種	付着面の状態	表面積 (mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	変位0.04mm時の平均荷重 (kN)	付着強度 (N/mm ²)
格子鋼板筋	一般鋼板 (9×15mm)	塗装無し	3600	245	400	11.47	3.19
		亜鉛メッキ	3600			11.60	3.11
	縞鋼板 (9×15mm)	塗装無し	3600			16.30	4.53
		エポキシ樹脂塗装	3600			9.53	2.65
异形鉄筋	SD295A D13	—	3000	295	400	8.97	2.99

す。図-3より塗装無しの格子筋の材片は、変位が0.01mmの荷重は13.2kNであり、その後の荷重増加から線形的に増加している。変位が0.04mmに達した時点の荷重は15.5kNである。なお、変位が0.04mmに達した時点の3体の平均荷重は16.30kNである。また、展張格子筋にエポキシ樹脂塗装した材片は、変位が0.01mmに達した時の荷重は4.3kNであり、その後の荷重増加において線形的に増加している。変位は0.04mmに達した時点の荷重は14.4kNである。材片3体の平均荷重は9.53kNである。その後、変位2.5mm付近まで急激な付着切れは見られない。次に、异形鉄筋の材片は変位0.01の荷重は6.7kNである。変位が0.04mmに達した時点の荷重は9.6kNである。3体の平均荷重は8.97kNである。その後、変位が1.0mm付近まで急激な付着切れは見られない。

f) 付着強度

縞鋼板を用いた展張格子筋に9mmごとに2mmの突起を用いた材片の付着試験の結果を表-2に示す。表-2より、縞鋼板を用いた展張格子筋の付着強度の平均は4.53N/mm²である。また、エポキシ系樹脂塗装した鋼板の付着強度の平均は2.65N/mm²である。一方、异形鉄筋(SD295A) D13の付着強度の平均は2.99N/mm²であり、异形鉄筋と同等の付着強度を有している。よって、RCはりの補強実験に用いる展張格子筋はエポキシ系樹脂塗装を施した供試体を用いる。

3. 使用材料および供試体寸法

(1) 供試体材料

a) RCはりのコンクリートおよび使用鉄筋

表-3 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	516	200
	D10	370	511	

表-4 PCMの配合表

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

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-3に示す。

b) 展張格子筋 (75×75mm)

展張格子筋にはSS400材の縞鋼板を用いる。ここで、展張格子筋の寸法をおよび形状を図-4に示す。展張格子筋の材料特性値は、降伏強度が345N/mm²、引張強度は439N/mm²、弾性係数は200N/mm²である(表-1)。

展張格子筋の寸法は図-4に示すように、厚さ4.5mmの縞鋼板を用いて格子間寸法を75×75mmとした。また、主筋に相当する寸法は4.5×7mm(断面積31.5mm²)とし、縦筋すなわちスターラップに相当する寸法は4.5×4mm(断面積18mm²)とした。また、展張角度は60度とし、付着性を高めるために7mm間隔ごとに2mmの突起を設け、付着力を高める構造とする。

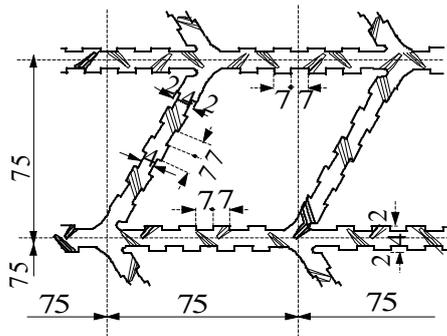


図-4 展張格子筋の寸法および形状

表-5 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	青色液状
混合比	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

c) ポリマーセメントモルタル (PCM)

RC はりの増厚補強に用いる PCM 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た。ここで、本実験供試体に用いる PCM の配合を表-4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。

d) 浸透性接着剤および付着用接着剤

浸透性接着剤は劣化したコンクリート部材の表面を強固にすることができ、ひび割れ幅が 0.05mm まで浸透する接着剤である。本研究では、RC はりに応力履歴、すなわちひび割れ損傷を与えた後に、そのひび割れに浸透性接着剤を注入し、一体化した後に展張格子筋を配置して PCM 増厚補強するものである。ここで、浸透性接着剤の性能試験の結果を表-5に示す。表-5に示すように付着強度は 2.6N/mm² であり、母材コンクリートで破壊している。

次に、PCM 増厚補強法においては、展張格子筋を配置した後に、既設コンクリートの削り面と PCM との付着性を高めるために補強界面に高耐久型エポキシ系樹脂接着剤（以下、付着用接着剤とする）を用いる。ここで、付着用接着剤の材料試験の結果を表-5に併記する。表-5に示すように付着強度は 3.7N/mm² 確保され、母材コンクリートで破断している^{5), 6)}。

(2) RCはりの供試体寸法

本実験の供試体の寸法を図-5に示す。供試体寸法は支間 2,000mm、張出部 200mm、全長 2,400mm である。また、断面寸法は、幅 250mm、高さ 300mm とする。引張鉄筋には D13 を 3 本配置し、有効高は 260mm

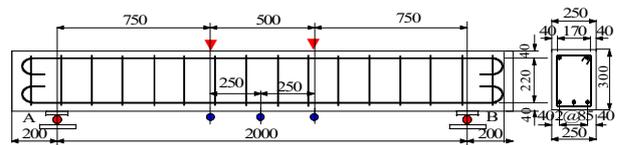


図-5 供試体寸法および荷重位置

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。ここで、RC はりの供試体名称を供試体 RC-N、未損傷 RC はりに展張格子筋を配置して、接着剤塗布型 PCM 補強する供試体を RC-展張、応力履歴を与える RC はり供試体名称を RC-展張(応)とする。

4. RCはりおよび応力履歴に関する実験方法

(1) 実験方法

a) RC はりの静荷重実験

荷重載荷位置およびたわみの計測位置を図-5に示す。本実験は、図-5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、残留値を計測した。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、鉄筋のひずみの計測は支間中央のみとした。

b) 応力履歴に関する実験方法

応力履歴に関する荷重載荷は、RC はりと同様に 0kN から 5kN ずつ増加し、25kN ごとに、荷重を 5kN まで除荷し、その後 5kN ずつ増加する。応力履歴の作用は、はり中央たわみが支間 L の 1/400 に達するまで荷重を作用させる。たわみが支間 L の 1/400 に達した後荷重を除荷した。たわみの計測位置は図-5に示すように支間中央とする。また、鉄筋のひずみは RC はりと同様に支間中央とした。

c) 補強後の実験方法

展張格子筋を用いた補強法に関する実験方法は未損傷の RC はりの静荷重実験と同様である。よって、荷重載荷位置は RC はりの両支点から 750mm の位置に荷重を載荷する 2 点載荷とする。静荷重実験における荷重条件は 0kN から 5kN ずつ増加し、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する。

(2) RCはりおよび応力履歴時の実験結果

a) RC はりの破壊荷重および応力履歴時の荷重

静荷重実験における未損傷 RC はりの最大耐荷力は 93.8kN である。一方、応力履歴を与える条件ははり

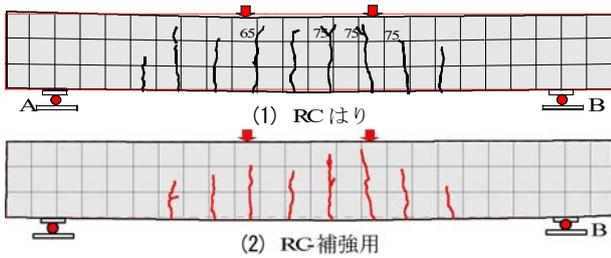


図-6 RC はりのひび割れ状況

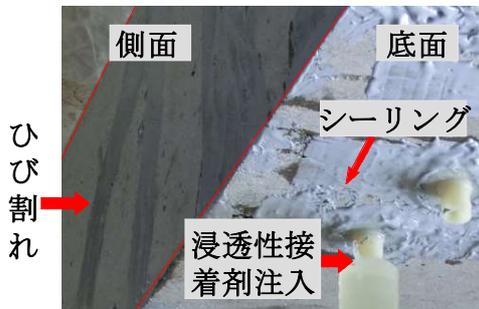


写真-2 ひび割れ補修

のたわみが支間 L の $1/400$ ，すなわち 5.0mm に達した荷重は 84.1kN であり，RC はりの最大耐荷力の 90% の荷重である。

b) RC はりおよび応力履歴後のひび割れ状況

RC はりの破壊時におけるひび割れ状況および応力履歴時の RC はりのひび割れ状況を図-6 に示す。

RC はりの破壊時のひび割れは図-6 (1) に示すように荷重載荷位置，すなわち曲げ領域にほぼ等間隔で発生している。一方，応力履歴を受けた RC はりは，図-6 (2) に示すように，RC はりと同様に曲げ領域に等間隔でひび割れが発生している。このひび割れ補修後に展張格子筋を配置して，接着剤塗布型 PCM 増厚補強を施すこととする。

(3) 応力履歴を受けたRCはりのひび割れ補修法

曲げひび割れが発生した RC はりの補修法は図-6 (2) に示すひび割れを適切に補修する。補修方法は，写真-2 に示すように，ひび割れ箇所に浸透性接着剤が漏れないようにコンクリート表面をシーリング材で覆う。浸透性接着剤 (表-4) はひび割れ幅が 0.05mm まで浸透することから確実にシーリング材で覆う必要がある。その後，浸透性接着剤注入用の弁を取り付けし，接着剤を注入する。養生は 8 時間行った。養生後は，シーリング材をデスクサンダーで研掃する。

5. 補強供試体寸法および補強法

(1) 補強供試体寸法

未損傷 RC はり (図-5) に展張格子筋を配置する補強用供試体に応力履歴を与えた後に展張格子筋を配置する補強用供試体の寸法を図-7 に示す。

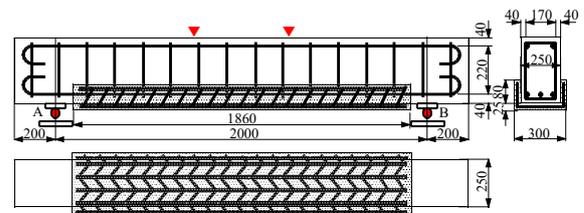


図-7 増厚補強はりの供試体寸法



図-8 補強手順

RC はりの支間は $2,000\text{mm}$ であることから支間内に展張格子筋 (図-2) を配置する。また，はりの高さ方向は RC はりの底面から 80mm とした。よって，展張格子筋の寸法は，長さ $1,800\text{mm}$ ，外側軸方向筋の中心間隔は 450mm ($=6@75\text{mm}$) であり，C 形に折り曲げ加工し，PCM を厚さ 25mm で吹付け補強する。ここで，未損傷 RC はりに展張格子筋を用いた供試体名称を RC-展張とし，応力履歴を与えた RC はりを補強した供試体名称を RC-展張(応)とする。

(2) 補強法

展張格子筋を用いた補強手順を図-8 に示す。

補強手順は，RC はりおよび応力履歴を与えた RC はりの補強範囲をデスクサンダーで研掃する。その後，展張格子筋を設置し (図-8 (1))，補強範囲に型枠を設ける (図-8 (1))。展張格子筋はコンクリートから 10mm のかぶりを設けた。次に，RC はりのコンクリートと PCM との付着性を高めるために付着用接着剤 (表-4) を厚さ 1.0mm 程度で塗布する。この接着剤の硬化時間は 120 分ほどであることから，接着剤塗布後は直ちに PCM を増厚補強する (図-8 (2) 1)。表面仕上げ (図-8 (2) 2) した後，養生し，型枠を撤去する (図-8 (3))。

6. 結果および考察

(1) 静荷重実験における最大耐荷力

RC はり，未損傷 RC はりおよび応力履歴を与えた RC はり，それぞれに展張格子筋を配置し，接着剤塗布型 PCM 増厚補強した供試体の静荷重実験における最大耐荷力，耐荷力比を表-6 に示す。

表-6 耐力力および耐力力比

供試体	最大耐力力 (kN)	分担耐力力 (kN)	耐力力比
RC-N	93.8	—	—
RC-展張	152.1	58.3	1.62
RC-展張(応力)	151.4	57.6	1.61

a) RC はり

RC はりの供試体 RC-N の耐力力は表-6より、93.8kN である。この耐力力を基準にして補強効果を検証する。

b) 未損傷 RC はりに展張格子筋を配置した供試体

未損傷 RC はりに展張格子筋を配置し、接着剤塗布型 PCM 増厚補強した供試体 RC-展張の耐力力は 152.1kN である。なお、表-6に示す分担耐力力は RC はりの供試体 RC-N の耐力力と補強後の耐力力の差であり、補強効果による耐力力を示すものである。よって、供試体 RC-展張の分担耐力力は 58.3kN であり、この分担耐力力が補強効果となる。RC はりの耐力力と補強後の耐力力との比、すなわち表-6に示す耐力力比 (= RC-展張/RC-N) は 1.62 倍となり、耐力力が大幅に向上する結果が得られた。

c) 応力履歴を与えた RC はりに展張格子筋を配置した供試体

応力履歴は RC はりのたわみが支間 L の 1/400、すなわちたわみが 5.0mm に達した時点の荷重は 84.1kN である。応力履歴時に発生したひび割れに浸透性接着剤を注入してひび割れ補修した後、展張格子筋を配置し、接着剤塗布型 PCM 増厚補強を施した。補修・補強後の供試体 RC-展張(応)の耐力力は 151.4kN であり、補強による分担耐力力は 57.6kN である。RC はり供試体 RC-N の耐力力に対して 1.61 倍向上した。

以上より、未損傷 RC はりおよび応力履歴を受けた RC はりに展張格子筋を設置し、接着剤塗布型 PCM 増厚補強を施した RC はりの耐力力および補強効果を検証する。

(2) 荷重とたわみの関係

荷重とたわみの関係を図-9に示す。

a) RC はり

静荷重実験における RC はりの最大耐力力は 93.8kN である。荷重とたわみの関係は図-7に示すように荷重 25kN 載荷時からたわみの増加はやや大きい荷重 85kN 載荷時までには線形的に増加している。その後の荷重増加からたわみの増加が著しい。最大耐力力は 93.8kN でその時点のたわみは 15.4mm、荷重除荷時のたわみは 11.6mm である。

b) 未損傷 RC はりに展張格子筋を配置した供試体

未損傷 RC はりに展張格子筋を配置し、接着剤塗布型 PCM 吹付け補強した供試体 RC-展張の荷重とたわみの関係は図-9に示すように、荷重 50kN 付近からたわみの増加がやや大きくなるものの、荷重 145kN 付

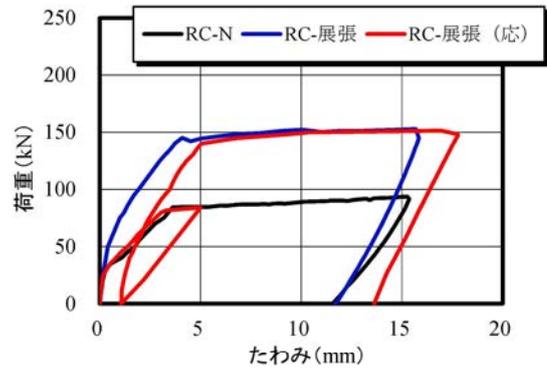


図-9 荷重とたわみの関係

わみの増加がやや大きくなるものの、荷重 145kN 付近までは線形的に増加している。この時点のたわみ 4.1mm であり、支間 L の 1/490 である。供試体 RC-N のたわみの増加傾向はたわみ 3.7mm、すなわち支間 L の 1/540 まで線形的に増加傾向を示しており、補強後の RC はりは無補強 RC はりに比べて僅かであるが線形的に増加している。これは、展張格子筋を配置して接着剤塗布型 PCM 増厚補強を施すことにより曲げ剛性の向上によるものである。その後の荷重増加からたわみが急激に増加し、最大耐力力時のたわみは 15.8mm である。

以上より、未損傷 RC はりに鋼板格子筋を配置し、接着剤塗布型 PCM 増厚補強した供試体は、展張格子筋を配置し、PCM 増厚補強することで、曲げ剛性が向上し、たわみの増加が抑制され、耐力力が大幅に向上している。

c) 応力履歴を与えた RC はりに展張格子筋を配置した供試体

応力履歴を与え、展張格子筋を配置した供試体の荷重とたわみの関係は、応力履歴作用時のたわみは荷重 92.4kN 載荷時まで未損傷 RC はりと同等な増加傾向を示している。荷重 82.4kN 時のたわみは 3.4mm である。たわみがはり支間 L の 1/400、すなわち 5mm に達した時点の荷重は 85.5kN、荷重除荷時の残留たわみは 1.22mm である。よって、補強後のたわみは残留たわみを初期値として図-9に示した。

展張格子筋を配置した供試体 RC-展張(応)は、荷重 140kN までほぼ線形的に増加している。この時点のたわみは 5.0mm、支間 L の 1/400 である。その後の荷重増加からたわみの増加が著しくなり、最大耐力力時のたわみは 17.4mm である。

以上より、無補強 RC はりの支間 L の 1/400 まで応力履歴を与え、ひび割れ損傷を与え、そのひび割れ補修に浸透性接着剤(表-5)を注入して補修した後、展張格子筋を配置し、接着剤塗布型 PCM 増厚補強することで破壊時まで一体性が確保され、曲げ剛性が向上し、たわみの増加が抑制された。

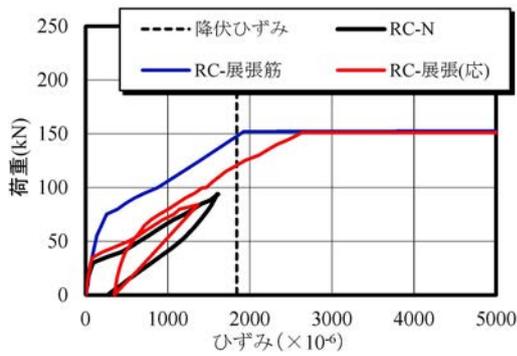


図-10 荷重とひずみの関係 (鉄筋)

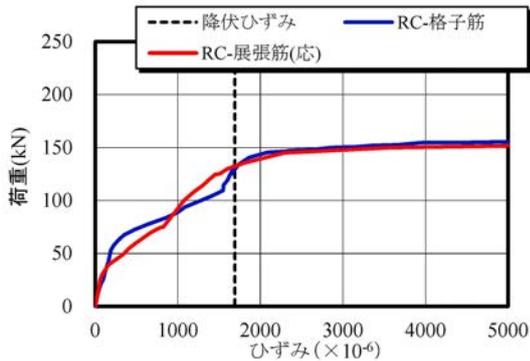


図-11 荷重とひずみの関係 (展張格子筋)

(3) 荷重とひずみの関係

荷重と鉄筋および展張格子筋ひずみの関係をそれぞれ図-10、図-11に示す。

a) RC はり

RC はりの荷重とひずみの関係は、荷重 30kN 載荷時からひずみの増加が大きくなるものの最大耐荷力 93.8kN までは線形的に増加し、最大ひずみは 1615×10^6 であり、降伏ひずみ ($=1840 \times 10^6$) に達していない。

b) 未損傷 RC はりに展張格子筋を配置した供試体

未損傷 RC はりに展張格子筋を配置した供試体 RC-展張の鉄筋ひずみは、荷重 75kN 載荷後からひずみの増加も大きいものの荷重 152kN 付近までは線形的に増加している。鉄筋の降伏ひずみ ($=1840 \times 10^6$) に達した荷重は 146kN である。また、展張格子筋のひずみは荷重 65kN 付近から増加が大きくなり、降伏ひずみ ($=1695 \times 10^6$) に達した荷重は 141kN である。

c) 応力履歴を与えた RC はりに展張格子筋を配置した供試体

応力履歴を与え、展張格子筋を配置した供試体の荷重とひずみの関係は、応力履歴作用時の実験においての荷重とひずみの関係は、荷重 85.5kN 載荷時までは線形的に増加し、この時点のひずみは 1370×10^6 であり降伏に至ってない。荷重除荷時の残留ひずみ 349×10^6 である。よって、補強後のひずみ残留ひずみを初期値として図-10に示した。

応力履歴を受けた RC はりに展張格子筋を配置した供試体 RC-展張(応)の鉄筋ひずみは応力履歴時の残留

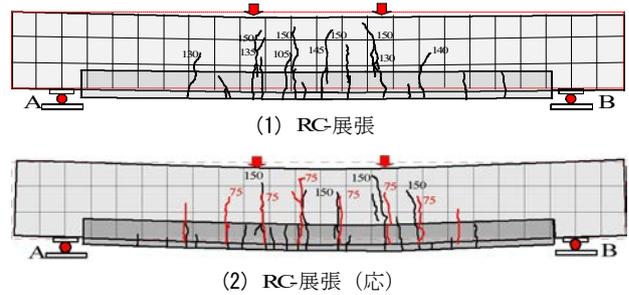


図-12 補強後の破壊状況

ひずみが 349×10^6 を初期値とした。荷重 150kN までは線形的増加し、その後の荷重増加からひずみの増大が著しい。鉄筋が降伏に至った荷重は 130kN である。また、展張格子筋のひずみは、荷重 145kN までは線形的に増加している。展張格子筋が降伏に至った荷重は 130kN である。展張格子筋のひずみは図-11に示すように荷重 145kN までは線形的に増加している。格子筋が降伏に至った荷重は 130kN である。

以上より、最大耐荷力に達した付近までは鉄筋と鋼板筋が応力を分担し、耐荷力性能が向上されている。

(4) 破壊状況

未補強 RC はりの破壊時のひび割れ状況は図-6(1)、補強した RC はりの破壊時のひび割れ状況を図-12に示す。

a) RC はり

RC はりの破壊時のひび割れ状況は図-6(1)に示すように曲げ領域にほぼ等間隔で発生している。

b) 未損傷 RC はりに展張格子筋を配置した供試体

未損傷 RC はりに展張格子筋を配置し、接着剤塗布型 PCM 増厚補強した供試体 RC-展張の破壊時のひび割れ状況を図-12(1)に示すように、鉄筋配置位置にひび割れが発生し、荷重増加に伴い、上縁方向に進展している。また、PCM 増厚補強した位置にもひび割れが発生している。しかし、増厚界面に接着剤を塗布した後、PCM 増厚補強したことから破壊時においても一体性が確保されている。破壊は RC はりの中央付近で曲げ破壊となった。

c) 応力履歴を与えた RC はりに展張格子筋を配置した供試体

応力履歴を与えた RC はりを、支間 L の $1/400$ に達した場合に発生したひび割れに浸透性接着剤を注入によるひび割れ補修した後、展張格子筋および格子筋を配置し、増厚用 PCM との付着性を高めるために増厚界面に接着剤を塗布し、PCM 増厚補強した供試体のひび割れ状況を図-12(2)に示すように、応力履歴時に発生したひび割れは浸透性接着剤がひび割れに浸透され、適切に修復されている。よって、ひび割れは新たな位置に等間隔で。よって、補強箇所も補強界面に接

着剤を塗布したことから破壊時においても付着界面がはく離することなく一体性が確保されている。

7. まとめ

(1) 展張角度 60 度の引張試験による降伏強度および引張強度はそれぞれ 345.6N/mm^2 , 439.6N/mm^2 あり、道示の規定を満足している。また、付着試験においても異形鉄筋と同等な付着力を有している。よって、異形鉄筋同様に補強引張材として有効な材料である。

(2) 未損傷 RC はりに展張格子筋を配置し、接着剤塗布型 PCM 増厚補強した供試体 RC-展張の耐荷力は RC はりの供試体 1.62 倍に耐荷力が向上した。よって、展張格子筋を配置し、接着剤塗布型 PCM 増厚補強法は耐荷力性能の向上を図る補強法として実用性が評価できる。

(3) 無補強 RC はりにたわみが支間 L の $1/400$ まで荷重を載荷し、応力履歴を与えた後、浸透性接着剤注入によるひび割れ補修と展張格子筋を配置し、接着剤塗布型 PCM 増厚補強した RC はりは 1.61 倍に耐荷力が向上した。よって、老朽化した RC はり疲労によりひび割れ発生した RC 部材においてひび割れ補修後、鋼板格子筋を配置し、接着剤塗布型 PCM 増厚補強を施すことで大幅な耐荷力の向上を図られた。

(4) 無補強 RC はりの支間 L の $1/400$ まで応力履歴を与え、ひび割れ補修に浸透性接着剤を注入させ、展張格子筋を配置し、接着剤塗布型 PCM 増厚補強することで破壊時まで一体性が確保され、曲げ剛性が向上し、

たわみの増加が抑制され耐荷力が大幅に向上する結果が得られた。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋補修・補強事例集，2009.10
- 2) 阿部忠，塩田啓介，吉岡泰邦，今野雄介：2 タイプの鋼板格子筋を用いた RC はりの PCM 増厚補強における補強効果の検証，セメントコンクリート論文集 Vol.69, pp.634-641, 2016.3
- 3) 高木智子，阿部忠，師橋憲貴，塩田啓介：展張格子鋼板筋を用いた RC はりの PCM 増厚補強における耐荷力性能，セメントコンクリート論文集 Vol.69, pp.626-633, 2016.3
- 4) 土木学会：エポキシ系樹脂塗装を用いる鉄筋コンクリートの設計指針の付着試験方法 (JSCE-E516-2003)，2005
- 5) 児玉孝喜，西元央，鎌田修，福手勤：フレッシュコンクリートの接着接合における接着剤成分が耐久性に及ぼす影響に関する研究：セメントコンクリート論文集 Vol.63, pp.546-553, 2009.3
- 6) 阿部忠，木田哲量，高野真希子，小森篤也，児玉孝喜：輪荷重走行疲労実験における RC 床版上面増厚補強法の耐疲労性の評価法，構造工学論文集，Vol. 56A, pp. 1270-1281(2010.3)
- 7) 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

VERIFICATION OF STIFFENING EFFECT OF METAL-GRID EXPANDED TYPE COMBINED WITH ADHESIVE COATING AND PCM AS THICKNESS REINFORCEMENT ON CRACK DAMAGED RC BEAM

Sahika TANAKA, Tadashi ABE, Noritaka MOROHASHI, Keisuke SHIOT,
Yasukuni YOSHIOKA and Hirotaka NAKAZIMA

This study verified the effect of Metal-Grid expanded type combined with crack repair and PCM as thickness reinforcement on the load carrying capacity and stiffening effect of RC beam deflected to $1/400$ of the beam span. Results shows that the load-carrying capacity of reinforced crack-repaired RC beam using Metal-Grid expanded type was increased 1.61 times as compared to that of the un-reinforced RC beam. Furthermore, the load carrying capacity of the damaged RC beam reinforced with Metal-Grid expanded type and thickness increased by PCM was equivalent to the load carrying capacity of the non-damaged reinforced RC beam. Therefore based on the result on the damaged RC beam, we can conclude that Metal-Grid expanded type combined with crack repair, adhesive coating and PCM as thickness reinforcement is a useful reinforcement method for aging crack damaged concrete.