

グリッドメタルを用いたRCはりの補修・補強法に関する実験研究

JFE シビル(株) ○田中 佐愛 日大生産工 阿部 忠
JFE シビル(株) 塩田 啓介 吉岡 泰邦 (株) 新星コンサルタント 中島 博敬

1. はじめに

近年、高度経済成長期に建設された RC 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、RC 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や直接海水を受け、鉄筋の腐食に伴う断面欠損、発錆によるコンクリートのはく落などの損傷を受け耐荷力が低下している。よって、劣化した RC 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⁾。

そこで本研究は、静荷重実験を行い、ひび割れ損傷を与えた RC はりのひび割れ補修を行い、2 タイプのグリッドメタル（展張筋および格子筋）を配置し、接着剤を塗布し、PCM 増厚補強^{2), 3)}（以下、接着剤塗布型 PCM 増厚補強とする）を施した場合の補強効果を検証する。

2. 使用材料および供試体寸法

2.1 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と 5mm ～ 20mm の砕石および 5mm 以下の砕砂を用いる。次に、軸方向主鉄筋には SD 295A, D13, 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) グリッドメタル⁴⁾

1) 展張筋 グリッドメタルには、厚さ 4.5mm の縞鋼板（SS400）を用いた。展張筋の製作は縞鋼板にレーザーでスリットを挿入し、専用の装置で展張する。軸方向の主筋に相当する寸法は 4.5×7mm（断面積 31.5mm²）とし、軸直角方向の縦筋の寸法は 4.5×4mm（断面積 18mm²）とする。格子間寸法を 75×75mm とし、展張角度を 60 度とする。ここで、グリッドメタルの材料特性値を表-2に示す。また、展張筋の寸法を図-1(1)に示す。

2) 格子筋 格子筋の製作方法は、鋼板にレーザーで格子状に加工する。格子筋の主筋および縦筋の寸法は、展張筋同様とする。ここで、格子筋の材料特性値を表-2に併記する。また、格子筋の寸法を図-1(2)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)	使用 鉄筋	鉄筋(SD295A)		
		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-2 グリッドメタルの材料特性値

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	339	441	200
格子鋼板筋	338	451	

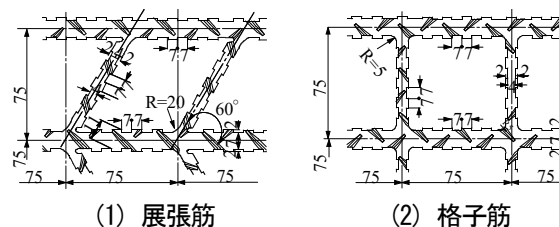


図-1 グリッドメタルの寸法

表-3 PCMの配合条件

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

(3) ポリマーセメントモルタル (PCM)

RC 床版の増厚補強に用いる PCM は、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-3に示す。

(4) ひび割れ補修用接着剤

ひび割れ補修用の接着剤には、浸透性接着剤⁵⁾を用いる。本研究では、RC はりの静荷重実験におけるひび割れ発生箇所に浸透性接着剤を注入し、補修する。ここで、浸透性接着剤の性能試験の結果を表-4に示す。

(5) RCはりとPCMの付着性を高める接着剤

PCM 増厚補強法においては、既設コンクリートの削り面と PCM 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⁶⁾（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

Experimental Study on Repair and Reinforcement Method of RC Beam Using Grid-Metal

Sachika TANAKA, Tadashi ABE, Keisuke SHIOTA, Yasukuni YOSHIOKA and Hirotaka NAKAJIMA

表-4 エポキシ系接着剤の特性値

項目	浸透性接着剤		付着用接着剤	
	主剤	硬化剤	無色液状	白色ペースト状
外観	硬化剤		無色液状	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	

材料試験の結果を表-4に併記する。

2.2 RCはり供試体の寸法

本実験の供試体の寸法を図-2に示す。

(1) RCはり

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 である。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 とする。スターラップには D10 を用い、150mm 間隔で配置する。ここで、RC はりの供試体名称を供試体 RC-N とする。

(2) 補強供試体寸法

補強用供試体に応力履歴を与えた後にグリッドメタルを配置する補強用供試体の寸法は図-2(2)に示すように、グリッドメタルの配置は支間内とし、はりの高さ方向は RC はりの底面から 80mm とする。ここで、応力履歴を与える RC はり供試体名称を RC-展張(応力), RC-格子(応力)とする。また、未損傷 RC はりに展張筋および格子筋を配置する供試体を RC-展張, RC-格子とする。

3. RCはりおよび応力履歴に関する実験方法

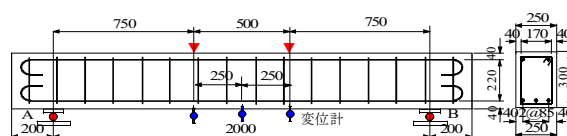
3.1 実験方法

(1) RCはりの静荷重実験

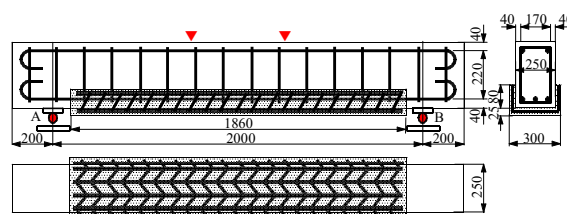
荷重載荷位置およびたわみの計測位置を図-2に示す。静荷重実験における荷重条件は 0kN から 5kN ずつ増加し、25kN に達した後、荷重 5kN ずつ 5kN まで除荷し、残留値を計測した。これを 1 サイクルとし、供試体が破壊するまで荷重を増減する。本実験におけるたわみ、鉄筋のひずみの計測は支間中央のみとした。

(2) 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 はりと同様とする。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支間中央とする。また、鉄筋のひずみ

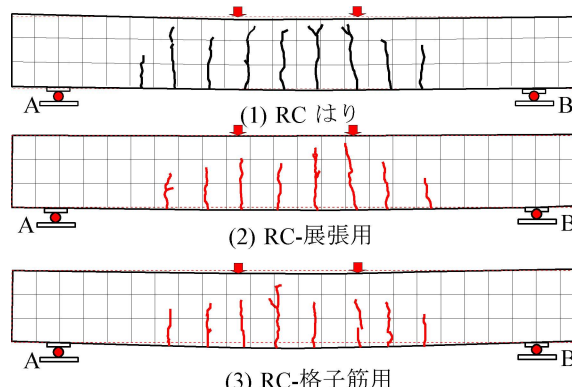


(1) RCはり



(2) 補強供試体

図-2 RCはりおよび増厚用供試体の寸法



(3) RC-格子筋用

図-3 RCはりのひび割れ状況

は RC はりと同様に支間中央とした。

(3) 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。

3.2 RCはりおよび応力履歴時のひび割れ状況

たわみが床版支間 L の 1/400 に達した時点のひび割れ状況を図-3に示す。

(1) RCはり

RC はりの破壊時のひび割れ状況はスターラップの配置位置に発生している。

(2) 応力履歴を与えたRCはり

グリッドメタルを配置する RC はりのたわみが床版支間 L の 1/400 に達した時点の 1/400 に達した時点のひび割れ状況は図-3(2), (3)に示すように、両供試体もほぼ同位置にひび割れが発生している。

3.3 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、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。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。



図－4 補強手順

3.4 補強法

補強手順を図－4に示す。補強手順は、RC はりおよび応力履歴を与えた RC はりの補強範囲を研掃する。その後、グリッドメタルを設置し（図－4(1)）、補強範囲に型枠を設ける。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－4(2) 1)）。表面仕上げ（図－4(2) 2)）した後、養生し、型枠を撤去する（図－4(3)）。

4. 結果および考察

4.1 静荷重実験における最大耐荷力

RC はりおよびグリッドメタルを配置し、PCM 増厚補強した RC はりの耐荷力・耐荷力比を表－5に示す。

(1) RCはり

RC はりの供試体 RC-N の最大耐荷力は 93.8kN である。この最大耐荷力を基準にして補強効果を検証する。

(2) 未損傷RCはり

供試体 RC-展張の最大耐荷力は 152.1kN であり、RC はりの供試体 RC-N の耐荷力の 1.62 倍である。なお、補強後の耐荷力の差が補強効果による耐荷力である。よって、供試体 RC-展張の補強効果による耐荷力の増加は 58.3kN である。次に、供試体 RC-格子の耐荷力は 157.4kN であり、供試体 RC-N の耐荷力と比較すると 1.68 倍、補強効果は 63.6kN である。

(3) 応力履歴を受けたRCはり

補修・補強後の供試体 RC-展張(応力)の 151.4kN であり、RC はりの供試体 RC-N の耐荷力の 1.61 倍である。また、補強効果は 57.6kN である。次に、供試体 RC-格子(応力)の耐荷力は 148.7kN であり、供試体 RC-N の耐荷力と比較すると 1.59 倍、補強効果は 54.9kN である。破壊モードは全ての供試体で

表－5 耐荷力および耐荷力比

供試体	最大耐荷力 (kN)	分担耐荷力 (kN)	耐荷力比
RC-N	93.8	—	—
RC-展張	152.1	58.3	1.62
RC-格子	157.4	63.6	1.68
RC-展張(応力)	151.4	57.6	1.61
RC-格子(応力)	148.7	54.9	1.59

曲げ破壊となった。

4.2 荷重とたわみの関係

本実験における各供試体の荷重とたわみの関係を図－5に示す。

(1) RCはり

RC はりの荷重とたわみの関係は図－5に示すように荷重 84.2kN まで線形的に増加し、その後の荷重増加によりたわみが急激に増加している。破壊時のたわみは荷重 93.8kN で 15.4mm である。

(2) 未損傷RCはり

供試体 RC-展張の荷重とたわみの関係は、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 である。その後の荷重増加からたわみが急激に増加し、最大耐荷力時には 15.8mm である。次に、供試体 RC-格子の荷重とたわみの関係は、荷重 145.5kN まで線形的に増加し、この時点のたわみは 4.5mm 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、最大耐荷力時のたわみは 15.5mm である。

(3) 応力履歴を受けたRCはり

供試体 RC-展張(応力)の荷重とたわみの関係は荷重 140kN までたわみはほぼ線形的に増加している。この時点のたわみは 4.0mm 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、最大耐荷力時のたわみは 16.7mm である。残留値を加えると 18.9mm である。次に、格子筋を配置した供試体も同様に荷重 140kN 付近まで線形的に増加している。最大耐荷力時のたわみは 19.9mm である。残留値を加えると 22.0mm である。

4.3 荷重と鉄筋ひずみの関係

荷重とひずみの関係を図－6、荷重とグリッドメタルのひずみの関係を図－7に示す。

(1) RCはり

RC はりの荷重と鉄筋ひずみの関係は最大耐荷力時まで線形的に増加している。この時点の鉄筋のひずみは 1620×10^{-6} であり降伏に至っていない。

(2) 未損傷RCはり

供試体 RC-展張の荷重と鉄筋のひずみの関係は、荷重 152kN 付近までは線形的に増加している。鉄筋

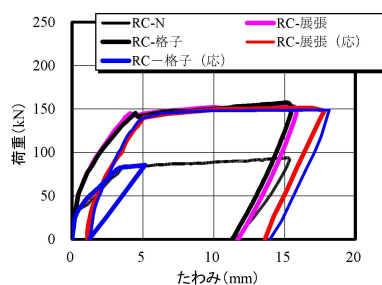


図-5 荷重とたわみの関係

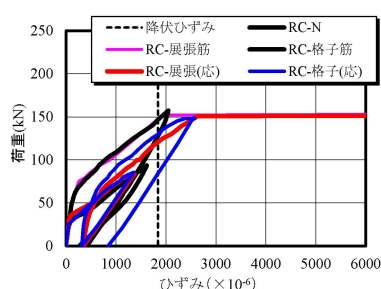


図-6 荷重とひずみの関係
(鉄筋)

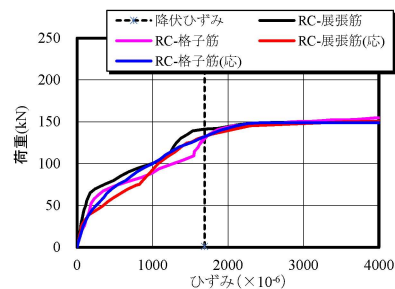


図-7 荷重とひずみの関係
(グリッドメタル)

が降伏した荷重は 146kN である。また、展張筋のひずみは図-7に示すように荷重 65kN 付近からひずみの増加が多くなり、降伏ひずみ (1690×10^{-6}) に達した荷重は 141kN である。降伏ひずみに達した後、ひずみは急激に増加している。

次に、供試体 RC-格子の鉄筋ひずみは、最大耐力時、荷重 157kN 付近までは線形的に増加している。鉄筋が降伏した荷重は 141kN である。また、図-7より、格子筋が降伏ひずみに達した荷重は 132kN である。降伏ひずみに達した後、ひずみは急激に増加している。

(3) 応力履歴を受けたRCはり

供試体 RC-展張(応力)の荷重と鉄筋ひずみの関係は図-6に示すように応力履歴時の残留ひずみが 650×10^{-6} であり、補強後の鉄筋ひずみはこの残留ひずみを起点とする。荷重 150kN までは線形的増加し、これを越えた荷重から急激に伸びている。また、展張筋が降伏した荷重は図-7に示すように 135kN であり、その後の荷重増加でひずみは急激に増加している。

次に、供試体 RC-格子(応力)の鉄筋ひずみは応力履歴時の残留ひずみが 650×10^{-6} であり、補強後の鉄筋ひずみはこの残留ひずみを起点とする。荷重 150kN までは線形的増加し、これを越えた荷重から急激に伸びている。また、格子筋が降伏した荷重は展張筋と同様に 135kN であり、その後の荷重増加でひずみは急激に増加している。

以上より、最大耐力に達した付近までは鉄筋とグリッドメタルが応力を分担し、耐力性能が向上している。

5. まとめ

- (1) 未損傷 RC はりに展張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 RC-展張の耐力は RC はりの供試体の 1.62 倍、格子鋼板筋を配置した供試体は 1.68 倍に耐力が向上した。よって、C 型に折り曲げ加工した鋼板格子筋を

配置し、接着剤塗布型 PCM 増厚補強法は耐力性能の向上を図る補強法として実用性が評価できる補強法である。

- (2) 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した後、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、格子鋼板筋を配置した供試体は 1.59 倍に耐力が向上した。よって、老朽化した RC はり部材にひび割れ補修後、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力の向上を図られた。
- (3) 無補強 RC はりの最大耐力の 90%の荷重、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浸透させ、それぞれの鋼板格子筋を配置し、接着剤塗布型 PCM 補強することで破壊時まで一体性が確保され、たわみの増加が抑制され補強効果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) 土木学会：鋼構造シリーズ 27 道路橋床版の維持管理マニュアル 2016，2016.10
- 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) 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
- 5) 伊藤清志，阿部忠：2 タイプの接着剤を塗布した RC 床版の上面補修法の耐疲労性の評価および施工技術，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.1，pp.2131-2136，2017.7