

論文 展張格子筋を用いて増厚補強した RC 柱部材の軸圧縮性状に関する実験研究

水口 和彦*1・阿部 忠*2・師橋 憲貴*3・吉岡 泰邦*4

要旨：本研究は、応力履歴を受けて損傷した 2 種類の RC 柱部材に対し、ひび割れ補修を行った後、鉄筋に替わる新材料として展張格子筋を用いて増厚補強を施した供試体に軸圧縮力载荷を行い、補強効果について検討したものである。その結果、応力損傷を与える際の無補強供試体における耐力力ではビニロン繊維添加の有無による顕著な差異は認められなかった。また、増厚補強を行うことで耐力力は 2.1～2.2 倍の向上が確認されたことから、従来の鉄筋の代替え材として展張格子筋を使用した場合でも十分な補強効果が得られることを明らかにした。

キーワード：RC 柱、展張格子筋、ひび割れ補修、増厚補強、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橋梁は、建設後 50 年を超える老朽化した橋梁の増大に伴い、その補修・補強技術の開発が喫緊の課題とされている。一方、建設現場においては建設技能労働者の減少が著しく、労働者不足は深刻な問題となっている。とくに、コンクリート構造物の建設では、鉄筋の加工や組立て作業を行う鉄筋工事に関わる技能労働者が不足している。しかしながら、コンクリート構造物の建設にあたっては、鉄筋の加工や組立工は人力に頼らざるを得ないのが現状であり、このような状況を踏まえて国土交通省では、i-Construction（建設現場の生産性革命）において、コンクリート施工の生産性向上を図るための対策として、鉄筋加工・組立てのプレキャスト化が掲げられている¹⁾。

このような背景の中、鉄筋加工・組立てのプレキャスト化が図れる新しい材料として、縞鋼板および一般鋼板にレーザでスリットを挿入し、専用の機械で主鉄筋の直角方向に展張した展張格子筋（以下、展張筋とする）が開発されている。この展張筋は、主鉄筋および配力筋が一面形成となることから、鉄筋を格子状に配置した場合に比べて、断面の薄肉化が可能で死荷重の軽減が図れる。また、部材に合わせて折り曲げ加工から防錆処理までを工場で製作できることから、施工現場では設置のみとなり施工の合理化や省力化が図れるなどの特徴を有している。既往の研究では、RC 床版の上・下面増厚補強^{2),3),4)}や RC はり部材の補強^{5),6)}、ボックスカルバートなどの引張補強筋⁷⁾として適用させた場合の実験検証が行われており、鉄筋の代替材として十分に有用であることが報告されている。しかしながら、RC 柱部材などの増厚補強な

どへの適用に関しては、検証が行われていないのが現状である。

そこで本研究では、普通コンクリートと構造耐力力上の補強効果を期待してコンクリートにビニロン繊維を添加した 2 種類の RC 柱供試体に、軸圧縮力载荷により損傷を与えた後に、ひび割れ補修および展張筋を用いて増厚補強した補強 RC 柱供試体を作製し、基礎的研究として軸圧縮耐力力に着目して軸圧縮力载荷試験を行い、補強効果および破壊状況について検証した。

2. 道路橋におけるコンクリート部材のひび割れ損傷

橋梁定期点検要領⁸⁾で規定される健全性評価における判定区分Ⅳのコンクリート部材（下部工）のひび割れ損傷状況の一例を写真-1 に示す。

写真-1(1)に示すひび割れは、パイルベントの軸方向に顕著なひび割れが生じており、偏心荷重の作用によりパイルベントの破壊、さらには落橋に至る可能性も疑われる損傷である。写真-1(2)は、下部工である橋脚に顕著なひび割れが生じており、進展すると落橋する可能性



(1)パイルベントの損傷



(2)橋脚の損傷

写真-1 コンクリート部材の損傷事例

*1 日本大学 生産工学部土木工学科教授 博士(工学) (正会員)

*2 日本大学 名誉教授 博士(工学) (正会員)

*3 日本大学 生産工学部建築工学科教授 博士(工学) (正会員)

*4 日本大学大学院 生産工学研究科土木工学専攻博士後期課程 (正会員)

も疑われる損傷である。橋梁定期点検要領に示す健全性の判定区分 IVは、構造物の機能に支障が生じている、または生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態であることから、緊急措置段階の損傷とされている。

一般的に、橋脚などを含む柱部材の補強対策としては耐震補強が検討されるが、橋梁の維持管理対策においては補強効果も重要である一方、機能回復を目的とした補修・補強技術も重要な課題となっている。よって、本研究は橋梁部材の維持管理における補修・補強技術の提案を行うものである。

3. RC 柱供試体の概要

3.1 使用材料

RC 柱供試体のコンクリートには、普通ポルトランドセメントと 5mm 以下の砕砂および 5mm～20mm の砕石 (JIS-A5005) を使用し、コンクリートの設計基準強度は 24N/mm^2 を目標値として配合した。また、ビニロン繊維はポリビニルアルコールを原料として得られた合成繊維を使用した。ビニロン繊維の形状および標準物性は、採用したメーカーのコンクリート用製品としてのサイズが最大である直径 $660\mu\text{m}$ 、標準長 30mm、引張強度 900N/mm^2 、引張弾性係数 $2.30 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ で、コンクリートの全体積に対して 1.0vol.% 添加した。ここで、RC 柱の配合条件を表-1 に鉄筋の材料特性値を表-2 に示す。

3.2 RC 柱供試体寸法および鉄筋配置

RC 柱試験体の寸法は、高さ 900mm、断面の直径 300mm、かぶりコンクリート厚さ 25mm である。帯鉄筋はフラッシュバット溶接を用いた閉鎖型で最外径 (直径) は 250mm である。主鉄筋には D13 を 9 本配筋し、上下端に設けた鋼板と溶接した。また、帯鉄筋には D10 を使用した。柱中央部の帯鉄筋間隔は 100mm とした。これらの鉄筋の配筋により、コンクリート全断面積に対する主鉄筋の全断面積の割合は 1.62% となっている。供試体名称は、ビニロン繊維添加無の供試体を CN、ビニロン繊維添加有の供試体を CNV とする。ここで、RC 柱供試体の寸法および鉄筋配置を図-1 に示す。

3.3 荷重載荷方法

本実験における荷重載荷条件は、軸方向力に対する検討を行うことから 1 軸圧縮単調載荷とした。荷重載荷方法は、構造物試験機自動計測制御システム (載荷容量 $5,000\text{kN}$) を用いて、荷重を 50kN ずつ増加させる段階載荷とした。また、荷重 500kN 増加ごとに荷重を 0kN に除荷させる包絡荷重として繰返し荷重を載荷した。

4. 無補強 RC 柱の実験結果および考察

4.1 無補強 RC 柱の最大耐荷力

実験より得られた各供試体の最大耐荷力を表-3 に示

表-1 コンクリートの示方配合

供試体	W/C (%)	単位重量 (kg/m^3)				
		W	C	S	G	AE減水剤
CN	67	184	275	932	876	2.75
CNV						

表-2 コンクリートおよび鉄筋の材料特性

供試体	使用鉄筋	降伏強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (kN/mm^2)
CN,	主鉄筋(SD345,D13)	377	551	184
CNV	帯鉄筋(SD295,D10)	356	509	188

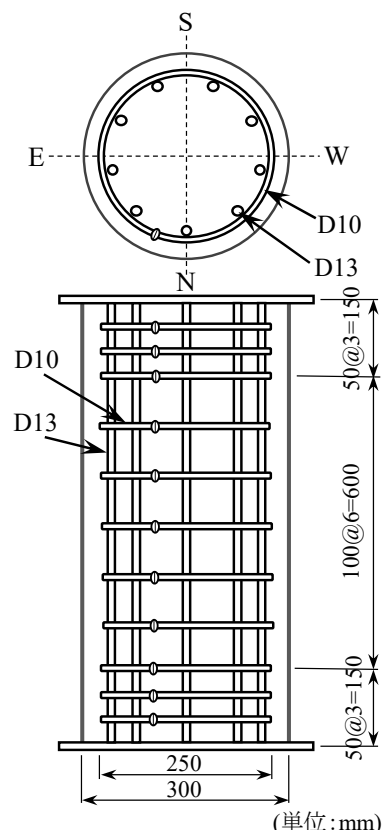


図-1 供試体形状

表-3 実験および理論耐荷力

供試体	コンクリート圧縮強度 (N/mm^2)	理論耐荷力 (kN)	実験耐荷力 (kN)	耐荷力比 (実験/理論)
CN	26.7	2034	2115	1.04
CNV	27.4	2076	2200	1.06

す。なお、表中には土木学会コンクリート標準示方書⁹⁾で規定されている帯鉄筋を使用した場合の軸圧縮耐荷力を受ける部材における軸方向圧縮耐荷力の上限値 N'_{oud} (式(1)) より算定した結果を併記した。なお、計算値の算出では部材係数を 1.0 として適用した。

$$N'_{oud} = (K_I \cdot f'_{cd} \cdot A_c + f'_{yd} \cdot A_{st}) / \gamma_b \quad (1)$$

ここで、 A_c : コンクリートの断面積 (mm^2)、 A_{st} : 軸方向鉄筋の全断面積 (mm^2)、 f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm^2)、 f'_{yd} : 軸方向鉄筋の設計圧縮降伏強度 (N/mm^2)、 K_I : 強度の低減係数 ($=1-0.003f_{ck}<0.85$)、 f_{ck} : コンクリート

強度の特性値(N/mm²), γ_b : 部材係数(一般に 1.3)

表-3 より, 実験時のコンクリートの圧縮強度は CN 供試体で 26.7N/mm², ビニロン繊維を添加した CNV 供試体で 27.4N/mm²であった。各供試体の最大耐荷力はCN 供試体が 2,115kN, CNV 供試体が 2,200kN であり, ビニロン繊維を添加した場合, 若干の耐荷力の向上が認められるがコンクリートの圧縮強度の違いによるものと推測される。なお, この耐荷力を基準として展張筋を用いて増厚補強した供試体の補強効果の検証を行う。また, 計算値との比較では, 両供試体ともに比較的近似した結果が得られている。

4.2 無補強 RC 柱のひび割れ状況

本実験におけるひび割れ損傷の状況を図-2 に示す。なお, ひび割れ状況は, 1 試験体につき北(N), 東(E), 南(S), 西(W)の 4 方向(図-1)から観察したひび割れを示した。

図-2 より, ひび割れ状況は, CN, CNV 供試体ともに比較的類似したものとなっており 1,500kN 荷重まではひび割れの発生は認められなかった。荷重 1,500kN 以降の荷重においてひび割れの発生が認められ, 荷重の増加に伴いひび割れの進展および発生箇所の増加が見られた。また, ビニロン繊維を添加した CNV 供試体においては, CN 供試体に比して供試体全体にひび割れが分散する傾向が認められたが, これはビニロン繊維による架橋効果によるものと推測される。いずれにしても, 両供試体ともにコンクリート表面のひび割れは多く発生し, 一部はく離が見られるものの, 急激な荷重の減少などは見られなかった。本研究では, この応力損傷を受けた供試体に対し, ひび割れ補修および展張筋を用いての増厚補強を行い軸圧縮力に対する検証を行う。

5. 増厚補強 RC 柱の実験概要

5.1 使用材料

(1) 無収縮モルタル

増厚補強に使用するモルタルには, ひび割れ低減型繊維入り無収縮の流動性モルタルを用いた。この材料は, ナイロン繊維を特殊配合したもので, ひび割れ抵抗に優れ, 強度物性および流動性は従来の無収縮モルタルと同等の性能を有している。ここで, 本実験に用いた無収縮モルタルの示方配合を表-4 に示す。なお, 実験時の圧縮強度は供試体 3 本の平均で 42.3N/mm²であった。

(2) 展張筋

展張筋には SS400 材の鋼板を用いた。ここで, 展張筋の材料特性値を表-5, 寸法および形状を図-3 に示す。

表-5 より, 展張筋の降伏強度は 315N/mm², 引張強度は 450N/mm², 弾性係数は 200kN/mm²である。展張筋の寸法は図-3 に示すように, 厚さ 4.5mm の鋼板を用いて

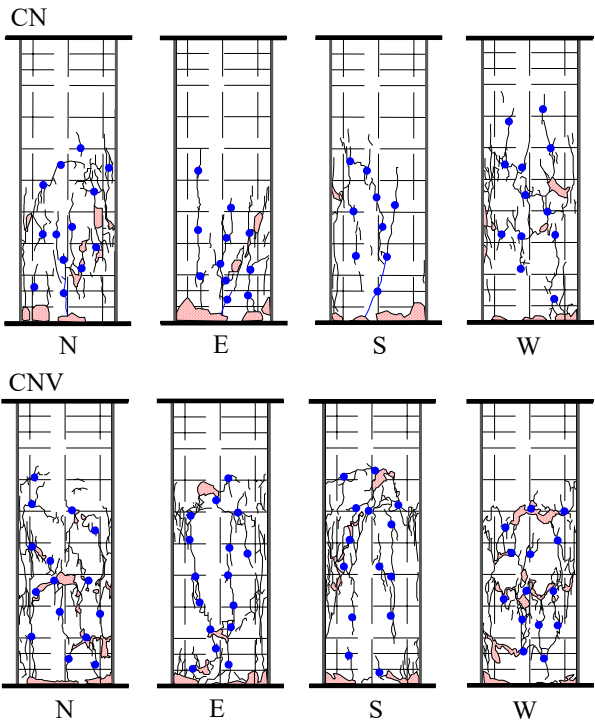


図-2 ひび割れ状況(無補強 RC 柱)

表-4 無収縮モルタルの示方配合

項目	単位体積重量(kg/m ³)	
	プレミックス粉体	水
無収縮モルタル	1875	228

表-5 展張筋の材料特性値

一般鋼板 SS400	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
展張筋	328	467	200

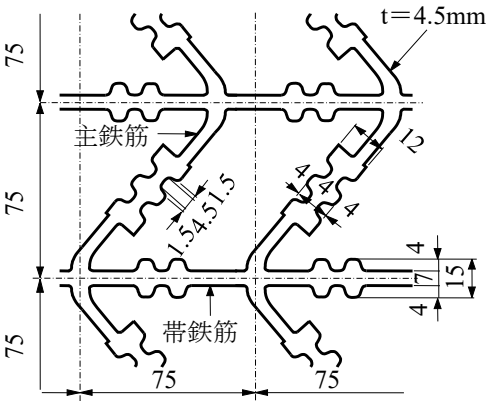


図-3 展張筋の形状寸法

格子間寸法を 75×75mm とした。また, 主鉄筋に相当する寸法は 4.5×4mm (断面積 18mm²), 帯鉄筋に相当する寸法は 4.5×7mm (断面積 31.5mm²) とした。展張角度は 70 度とし, 付着性を高めるために高さ 4mm の突起を設ける構造とした。

(3) ひび割れ浸透性接着剤および付着用接着剤

実験によって損傷を与えた供試体のひび割れ補修には,

ひび割れ補修用浸透性接着剤（以下、浸透性接着剤と称す）を用いた。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可能で、ひび割れ幅 0.05mm まで浸透する接着剤である¹⁰⁾。本研究では、損傷した RC 柱供試体のひび割れ損傷箇所に、浸透性接着剤を注入し、補修を行った。ここで、浸透性接着剤の材料特性値を表-6 に示す。

次に、増厚補強に関しては、展張筋を配置した後に、既設コンクリートの削り面と無収縮モルタル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（付着用接着剤）を用いた。この接着剤は、既設コンクリートとフレッシュモルタルやフレッシュコンクリートとの付着を高める材料である。よって、本実験においても破壊時の界面におけるはく離を抑制させることを目的として使用する。ここで、付着用接着剤の材料特性値を表-6 に併記する。

5.2 ひび割れ補修手順

軸圧縮載荷試験で損傷を受けた RC 柱のひび割れ補修には、浸透性接着剤を用いて補修を行う。ひび割れ補修に関する概要を図-4 に示す。

補修手順は、RC 柱のひび割れ発生箇所の中で比較的ひび割れ幅の大きい箇所 (0.25~0.5mm 程度) を選定 (図-2 に併記：青点) し、浸透性接着剤をひび割れ内部に浸透させるために $\phi 3\text{mm}$ 、深さ 30mm 程度の孔をドリルで削孔 (図-4(1)) して、自動式低圧器具の取り付けを行う。また、浸透性接着剤 (表-4) は、ひび割れ幅 0.05mm まで浸透することから接着剤が漏れないようにコンクリート表面をシール材で覆う。その後、浸透性接着剤を自動式低圧器具に入れて低圧注入 (図-4(2)) し、注入後は 8 時間の養生を行った。養生後は、シール材をディスクサンダーで研掃した。なお、その他の微細なひび割れについては浸透性接着剤を表面に塗布した。

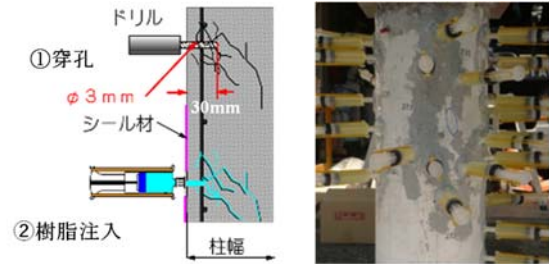
5.3 補強RC柱の供試体寸法

ひび割れ補修を施した RC 柱全体に展張筋を配置して増厚補強を行う。ここで、補強 RC 柱の寸法および展張筋の配置状況を図-5 に示す。

図-5 より、展張筋を配置した増厚の寸法は、RC 柱から 10mm の間隔をあけて展張筋を配置し、増厚は片側 40mm とすることから、断面の直径は 380mm とした。また、展張筋は半円筒状に曲げ加工したものを重ね合わせる構造 (重ね継手長：140mm) とし、内径が 320mm となるように製作した。高さ方向は、展張筋が上下 30mm の隙間を設けるために 860mm とした。よって、補強後の供試体寸法は、高さ 900mm、断面の直径 380mm、かぶりコンクリートの厚さ 25mm である。ここで、普通コンクリートで作製した RC 柱供試体に増厚補強を行った供試体の名称を R-CN、普通コンクリートにビニロン繊維を添加した

表-6 接着剤の材料特性値

項目	浸透性接着剤	付着用接着剤	備考
外観	主剤	無色液状	白色ペースト状
	硬化剤	無色液状	青色液状
混合比	10 : 3	5 : 1	重量比
硬化物比重	1.20	1.42	JIS K 7112
圧縮強さ	104.4 N/mm ²	102.9 N/mm ²	JIS K 7181
圧縮弾性係数	3,172 N/mm ²	3,976 N/mm ²	JIS K 7181
曲げ強さ	92.8 N/mm ²	41.6 N/mm ²	JIS K 7171
引張せん断強さ	58.2 N/mm ²	14.9 N/mm ²	JIS K 6850
コンクリート付着強さ	2.6 N/mm ²	3.7 N/mm ² 以上 または母材破壊	JIS A 6909



(1) ひび割れ補修概要 (2) 樹脂注入状況

図-4 ひび割れ補修

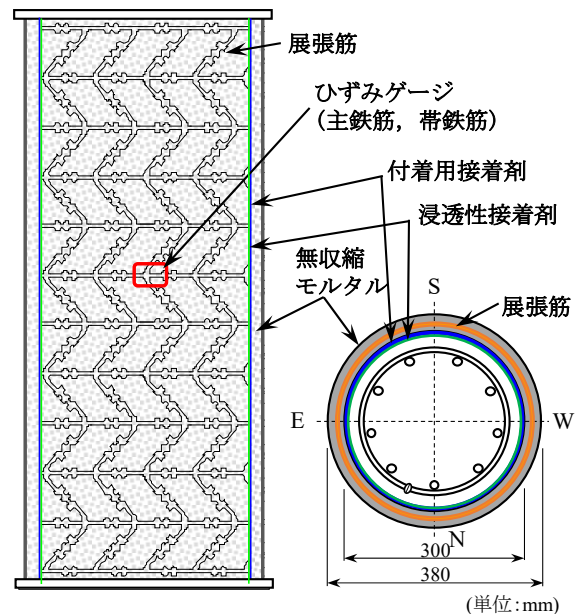


図-5 補強 RC 柱の供試体寸法

供試体に増厚補強を行った供試体の名称を R-CNV とする。

5.4 増厚補強の手順

本実験で行った、展張筋を用いた増厚補強の補強手順を以下に示す。なお、本補強法は劣化したコンクリート柱の維持補強を対象とするもので耐震補強とは異なるものであり、元の機能を回復するための補強法である。

補強の手順として、最初に RC 柱の表面をディスクサンダーで研掃し、コンクリート表面に浸透性接着剤を塗布し、コンクリート表面を強固にする。その後、RC 柱のコンクリートと無収縮モルタル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（0.9kg/m²）で塗布する。

次に、半円筒状に曲げ加工した 2 枚の展張筋を RC 柱の周りに柱表面から 10mm の間隔を保つように設置する（展張筋の内径：320mm）。展張筋設置後、上下に設置している鋼板に展張筋が直接触れないように展張筋の下部にコンクリートブロックを設置して隙間を設け、型枠を設置する。型枠には上下 2 箇所は無収縮モルタルを注入するための孔を設け、無収縮モルタルを圧入し充填させる。最後に、養生してから型枠を撤去し、表面仕上げを行った。

5.5 補強 RC 柱の軸圧縮载荷試験

補強 RC 柱における荷重载荷方法は、無補強の RC 柱の場合と同様の荷重条件とした。また、軸方向変位の計測は供試体上下に設置した鋼板間の変位量を変位計により計測し、展張筋のひずみは供試体中央部の位置で帯鉄筋、すなわち横拘束方向のひずみ計測を行った。計測は、荷重 100kN 増減ごとに行った。

6. 無補強 RC 柱の実験結果および考察

6.1 補強 RC 柱の最大耐力

実験より得られた各補強 RC 柱供試体の最大耐力を表－7 に示す。

表－7 より、各供試体の最大耐力は R-CN 供試体が 4,450kN、R-CNV 供試体が 4,850kN であった。なお、R-CNV 供試体に関しては、荷重 4,850kN 载荷時においても急激な荷重の低下は認められなかったが、荷重载荷装置の载荷性能および軸変位、横拘束方向のひずみ値などの状況から最大耐力として、荷重を除荷し終了した。

CN、CNV 供試体との耐力力の比較を行うと、R-CN 供試体は CN 供試体に比して 2.1 倍、R-CNV 供試体では CNV 供試体に比して 2.2 倍の補強効果が得られる結果となった。また、ビニロン繊維の有無による比較では、1.01 倍（R-CNV/R-CN）でほぼ同等の補強効果となっていることから、本実験の範囲内ではビニロン繊維の有無が補強効果に及ぼす影響は確認できなかった。

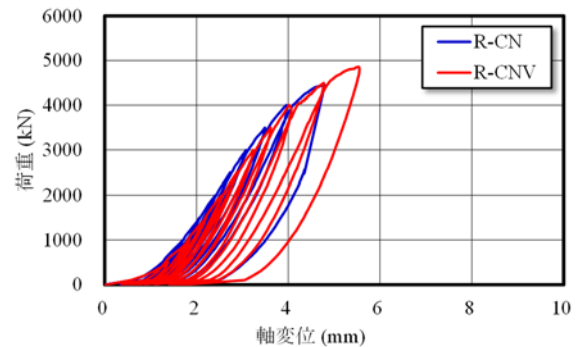
6.2 荷重と軸方向変位との関係

各供試体の荷重と軸方向変位との関係を図－6 に示す。

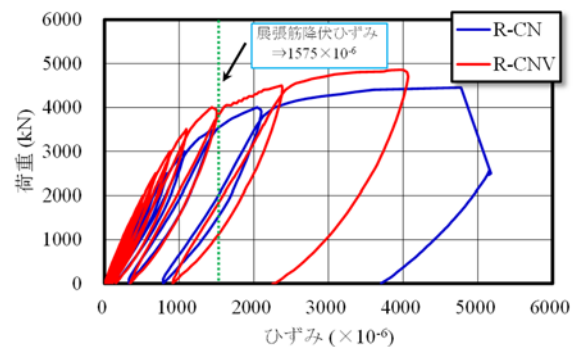
図－6 より、R-CN、R-CNV 供試体ともに同様の増加傾向を示しており、荷重 200kN 付近までは増加は緩やかであったが、その後の荷重増加では比較的線型的な挙動を示している。最終的な変位量は、R-CN 供試体で最大荷重 4,450kN で 4.79mm、R-CNV 供試体で最大荷重 4,850kN で 5.55mm であった。また、残留変位は R-CN 供試体で 1.73mm、R-CNV 供試体で 1.49mm となっており、両供試体において顕著な差異は見られなかった。

表－7 補強 RC 柱の最大耐力

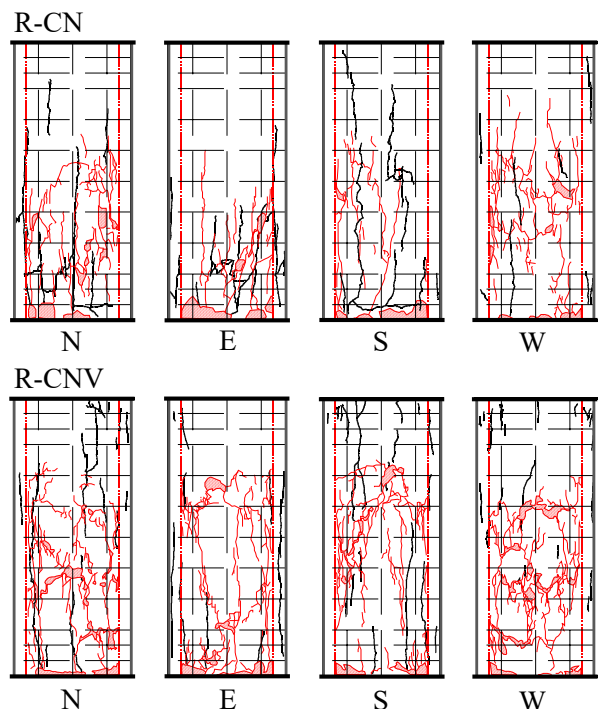
供試体	無収縮モルタル圧縮強度 (N/mm ²)	無補強RC柱耐力 (kN)	補強RC柱耐力 (kN)	耐力比 (補強/無補強)
R-CN	42.3	2,115	4,450	2.1
R-CNV		2,200	4,850	2.2



図－6 荷重と軸方向変位の関係



図－7 荷重と横拘束方向ひずみの関係(展張筋)



図－8 ひび割れ状況(補強 RC 柱)

6.3 荷重と横拘束方向のひずみとの関係

荷重と展張筋の横拘束方向のひずみとの関係を図-7に示す。

図-7より、R-CN 供試体では 2,500kN、R-CNV 供試体では 3,000kN までは比較的直線的なひずみの増加となっている。その後の荷重増加で緩やかに増加し、材料特性値より算出した展張筋の降伏ひずみ $1,575 \times 10^{-6}$ (=315/200,000) を超えた付近からひずみの増加が著しくなり、最大ひずみは R-CN 供試体で $5,154 \times 10^{-6}$ 、R-CNV 供試体で $4,067 \times 10^{-6}$ であった。よって、両供試体ともに軸圧縮力に対し従来の鉄筋を配置した場合の帯鉄筋と同様の機能が發揮され横方向の膨張を抑制しているものと推測される。また、ビニロン繊維添加の有無による比較では、ビニロン繊維を添加した R-CNV 供試体が R-CN 供試体に比してひずみの増加が若干抑制される結果となった。

6.4 補強 RC 柱のひび割れ状況

補強 RC 柱のひび割れ状況を図-8 に示す。なお、図中の赤線は補強前のひび割れ状況であり、黒線は補強後のひび割れ状況である。

図-8 より、R-CN 供試体のひび割れ状況は、荷重 2,500kN まではひび割れの発生は認められなかった。その後の荷重増加で、供試体の中央部および下部にひび割れが発生し、ひび割れの進展およびひび割れ発生箇所の増加がみられた。最終的には、荷重増加中に一部のひび割れが急激に進展、かつ、ひび割れ幅が増大し荷重が急激に低下して破壊に至った。

次に、R-CNV 供試体のひび割れ状況は、荷重 3,000kN まではひび割れの発生は認められなかった。その後の荷重増加で R-CN 供試体同様にひび割れが発生し、ひび割れの進展およびひび割れ発生箇所の増加がみられた。なお、R-CNV 供試体では最大荷重時においても荷重の急激な低下は見られなかったが、最大で 1mm 程度のひび割れ幅が生じていた。また、両供試体ともに補強前のひび割れ（赤線）とは異なる位置に新たにひび割れが発生していることから、浸透性接着剤が適切に浸透し、かつ、付着用接着剤により RC 柱部と増厚部の付着状況が良好で一体性が保たれていたものと推測される。

7. まとめ

2 種類の損傷した RC 柱に、鉄筋に替わる新材料として展張筋を用いて増厚補強を施した供試体に軸圧縮力載荷試験を行った結果、以下の知見が得られた。

1) 無補強 RC 柱のひび割れ状況より、ひび割れ状況には顕著な差異は認められないが、ビニロン繊維を添加した供試体の場合、全体的にひび割れが発生している。これはビニロン繊維による架橋効果によってひび割れが分散したためである。

2) 損傷を与えた RC 柱に、ひび割れ補修後、展張筋を配置して増厚補強を施した場合、無補強 RC 柱に対して R-CN 供試体で 2.1 倍、R-CNV 供試体で 2.2 倍の補強効果が得られた。

3) 補強 RC 柱供試体のひび割れ状況より、両供試体ともに比較的類似したひび割れ挙動を示しており、補強前に発生したひび割れ箇所とは異なる位置でのひび割れが発生していることから、浸透性接着剤によるひび割れ補修が適切になされたものと判断できる。

4) RC 柱の増厚補強において、鉄筋の代替えとして展張筋を用いた場合でも約 2 倍の補強効果を有していることから、橋梁の機能回復を目的とした維持管理補強として実用性があるものと判断できる。

参考文献

- 1) 国土交通省：i-Construction～建設現場の生産性革命～参考資料，2016
- 2) 水口和彦，阿部忠，野口博之，塩田啓介：鋼板格子筋を用いた下面増厚補強 RC 床版における耐疲労性の評価，構造工学論文集，Vol.62A，PP.1250-1260，2016.3
- 3) 水口和彦，阿部忠，塩田啓介，新田裕之：格子鋼板筋を用いた床版部材の押し抜きせん断耐荷力および耐疲労性評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.2，pp.1369-1374，2017.7
- 4) 中島博敬ほか：増厚層内に補強筋の継手構造を設けた SFRC 上面増厚補強法における RC 床版の耐疲労性の評価，構造工学論文集，Vol.66A，pp.752-761，2020.3
- 5) 阿部忠，師橋憲貴，塩田啓介，今野雄介：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，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.2，pp.1387-1392，2015.7
- 6) 田中佐愛ほか：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，第 12 回復合・合成構造の活用に関するシンポジウム，pp.(39)1-8，2017.11
- 7) 阿部忠，新田裕之，塩田啓介，吉岡泰邦：展張格子筋を用いたボックスカルバートの補強技術および補強効果の検証，セメント・コンクリート論文集，Vol.71，pp.540-547，2018.3
- 8) 国土交通省道路局：道路橋定期点検要領，2019.2
- 9) 土木学会：コンクリート標準示方書，2018
- 10) 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，日本コンクリート工学会年次論文集，Vol.39，No.1，pp.2131-2136，2017.