

# 論文 打継目を有する低鉄筋比 RC はりを対象とした PCM 吹付け工法による曲げ補強効果に関する実験的研究

金丸 亜紀\*1・日野 伸一\*2・島山 繁忠\*3・山下 翔真\*4

**要旨:** 本研究では、打継目を有する低鉄筋比 RC 部材の補強工法として PCM (ポリマーセメントモルタル) 吹付け工法を採用し、断面幅方向に部分的な補強しかできない場合の補強効果について検討した。補強範囲、補強量および打継目の数をパラメータとして、曲げ試験を行い補強効果の確認を行った。その結果、部分補強となる場合や打継目の有無で、曲げ耐力は部分的に低下するものの、その分補強量を増やすことで所要の曲げ補強が可能であることを明らかにした。

**キーワード:** ポリマーセメントモルタル吹付け工法, 曲げ補強, 部分補強, 打継目

## 1. はじめに

戦前に造られたコンクリート構造物の中には、構造用鉄筋量やコンクリート強度の不足、打継目不良による耐力不足の問題を抱えているものが多数あり、これら構造物で耐震補強等の対策が急務となっている。しかし、工期の制限や補強の範囲、部材厚の制約などの問題が多々あり、従来工法が適用できないことがある。そこで、薄肉での施工および工期短縮が可能となる工法として、コンクリートより強度特性および耐久性に優れたポリマーセメントモルタル (以下、PCM) を高压で吹付けることで既設コンクリートとの一体化をはかる PCM 吹付け工法の適用について検討した<sup>2),3)</sup>。

本研究では、曲げ補強効果について以下の検討条件を設けて PCM 吹付け工法の有効性を確認した。低鉄筋比コンクリート部材で、はりの幅方向に部分的な補強しかできず、かつ打継目が曲げスパン内に存在するという条件を設定した。そして、部分補強、打継目の有無、打継目の数および補強量の増加が曲げ耐力に及ぼす影響について検討した<sup>4)</sup>。

## 2. 試験概要

### 2.1 はじめに

曲げ補強効果を検討するにあたり、一連の試験をシリーズ A および B の 2 段階に分けて行った。シリーズ A では、打継目を有する場合や断面内の部分補強が曲げ耐力に及ぼす影響について、シリーズ B では、シリーズ A の結果を踏まえ、曲げ補強量の増加が曲げ耐力に及ぼす影響について検討した。なお、両シリーズとも既設部の断面寸法 (幅×高さ) 1100×260mm および載荷方法は同様である。

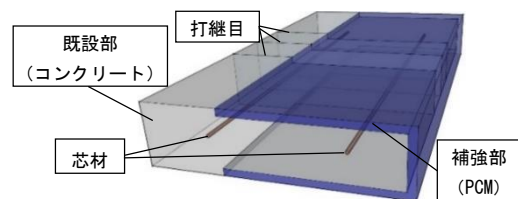


図-1 試験体イメージ図 (部分補強試験体)

表-1 材料特性値

シリーズ	部位	部材	径	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 ×10 <sup>4</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
A	既設部	コンクリート	-	14.9	-	1.94	1.90
		芯材	D16	-	356	500	20.0
		曲げ補強筋	D6	-	334	525	
		せん断補強筋	D10	-	379	565	
	補強部	PCM	-	64.5	-	4.12	2.70
		曲げ補強筋	D13	-	366	504	20.0
		曲げ補強筋	D16	-	356	500	
		せん断補強筋	D10	-	379	-	
B	既設部	コンクリート	-	31.8	-	3.23	2.21
		芯材	D16	-	356	500	20.0
		曲げ補強筋	D6	-	334	525	
		せん断補強筋	D10	-	377	544	
	補強部	PCM	-	72.3	-	3.23	2.70
		曲げ補強筋	D13	-	366	504	20.0
		曲げ補強筋	D16	-	356	500	
		せん断補強筋	D10	-	377	544	

表-2 試験体一覧表

試験体	A0	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B0
補強範囲	全周			2/3				-
曲げ補強量	D13×5 本 (圧縮側)		D16×3 本 (圧縮側)		D16×5 本 (圧縮側)			-
	D13×2 本 (側面)		D16×1 本 (側面)		D16×1 本 (側面)			
	D13×5 本 (引張側)		D16×3 本 (圧縮側)		D16×5 本 (圧縮側)			
打継目数	0	1	3	0	3			

\*1 九州大学大学院 工学府 都市環境システム工学専攻 (学生会員)

\*2 九州大学大学院 工学研究院 社会基盤部門 教授 工博 (正会員)

\*3 九州大学大学院 工学研究院 社会基盤部門 助教 修(工) (正会員)

\*4 九州大学大学院 工学府 都市環境システム工学専攻

## 2.2 試験体

試験体のイメージ図を図-1、概略図を図-2、使用材料の材料特性値を表-1、試験体一覧を表-2に示す。試験体は、スパン長 2.0m、載荷スパン 0.8m の 2 点線載荷とし、図-2 中に黒破線で示した打継目を既設部に設けた。打継目作製は写真-1 のようにコンクリート打設を 2 度

に分けて行い、打継面にグリスを塗布して、隣接するコンクリートと付着しないよう施した。これにより実構造物の打継目不良を再現した。打継目の鉄筋は、芯材として D16 鉄筋 2 本のみが連続している。試験体作製時の試験体の自重や運搬時の衝撃荷重などに対しては、芯材が抵抗する。

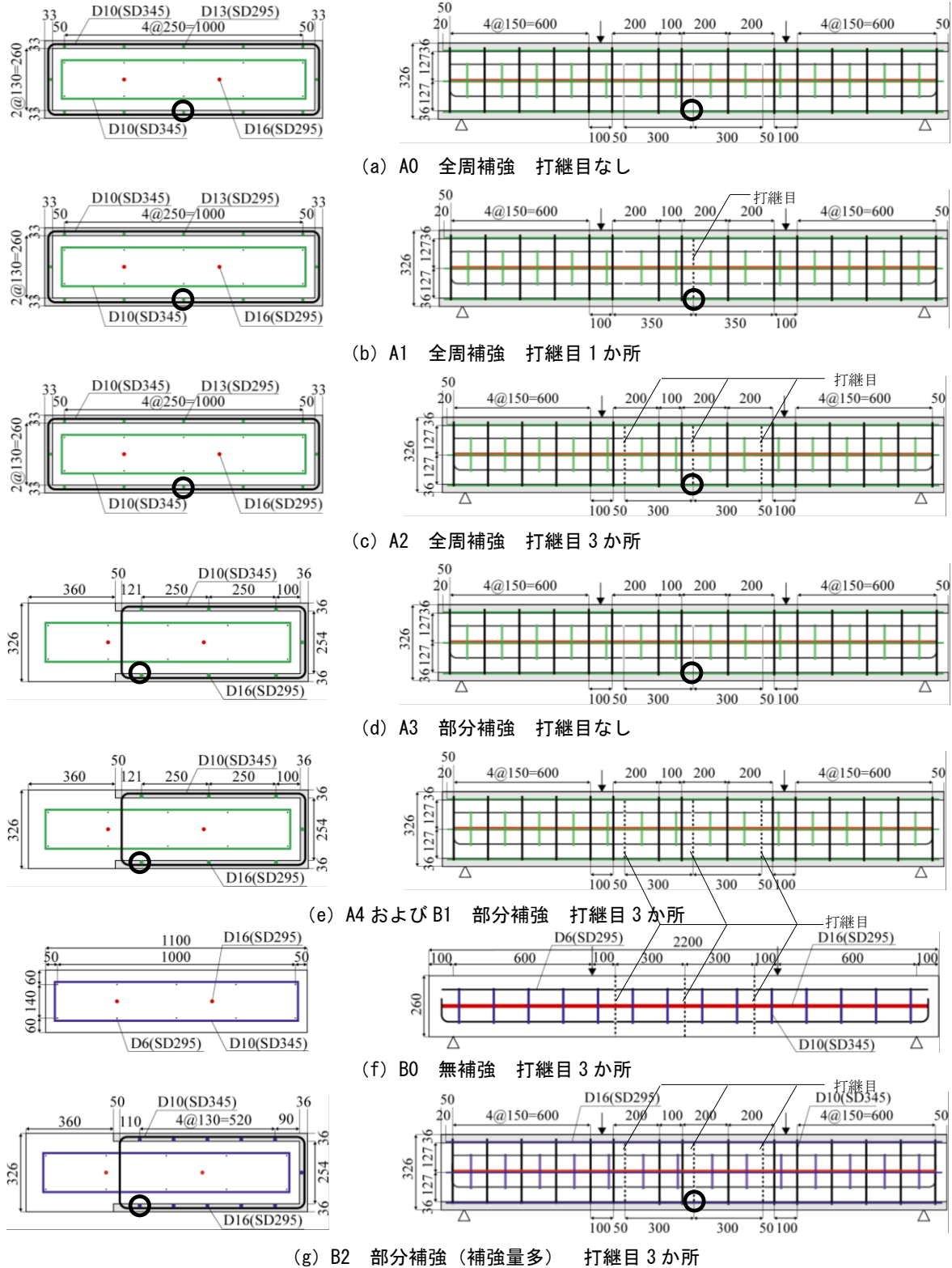
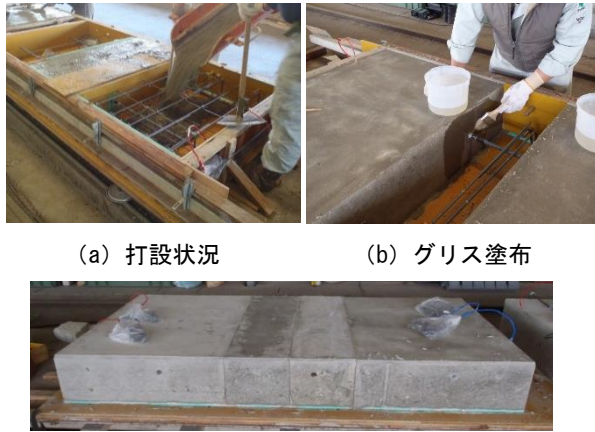


図-2 試験体図



(a) 打設状況

(b) グリス塗布

(c) 既設コンクリート完成

写真-1 打継目作製状況

### (1) シリーズ A

シリーズ A では、打継目の数や補強範囲をパラメータとした。A0, A1 および A2 は試験体の全周を補強した試験体、A3 および A4 は実施工を想定してはりの幅方向に 2/3 の範囲に部分補強した試験体である。また、全試験体とも曲げ補強量はほぼ同程度である。さらに、A0 および A3 は打継目なし、A1 は 1 ヶ所、A2 および A4 は 3 ヶ所の打継目を設けた。また、全試験体とも曲げ補強量はほぼ同程度である。打継目の有無や数、補強範囲を変化させることで、それぞれが曲げ耐力に及ぼす影響を確認できるようにした。なお、シリーズ A はそれぞれ 3 体ずつ作製した。また、曲げ破壊を先行させるために、既設部にはせん断補強筋を配筋し、せん断破壊が生じないように設計した。

### (2) シリーズ B

全試験体とも打継目を 3 ヶ所設けた。ここで、シリーズ A の A4 と B1 は同じ断面諸元である。B0 は無補強試験体、B1 および B2 は 2/3 の範囲に部分補強した試験体であり、B1 は補強部曲げ補強筋を引張・圧縮側ともに 3 本ずつ、B2 は 5 本ずつ配筋した試験体でそれぞれ 1 体ずつ作製した。

## 3. 補強効果に及ぼす打継目および補強範囲の影響(シリーズ A)

### 3.1 変形性状

全ての試験体において、破壊形態は曲げ破壊であった。シリーズ A の荷重-スパン中央変位関係を図-3 に示す。A0, A1, A2 の比較より、同じ全周補強試験体であっても、打継目の数が 0, 1, 3 と増加するにつれて、同荷重時で変位が大きくなった。A3, A4 の比較より、部分補強試験体同士では打継目を設けた A4 のほうが同荷重時では変位が大きかった。また、A0, A3 の比較より、打継目を設けなかった場合、部分補強の影響を受け、A3 のほう

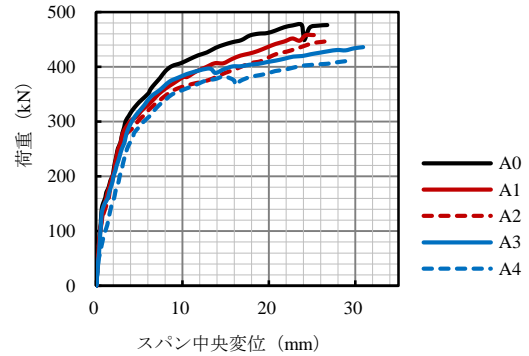


図-3 荷重-スパン中央変位関係 (シリーズ A)

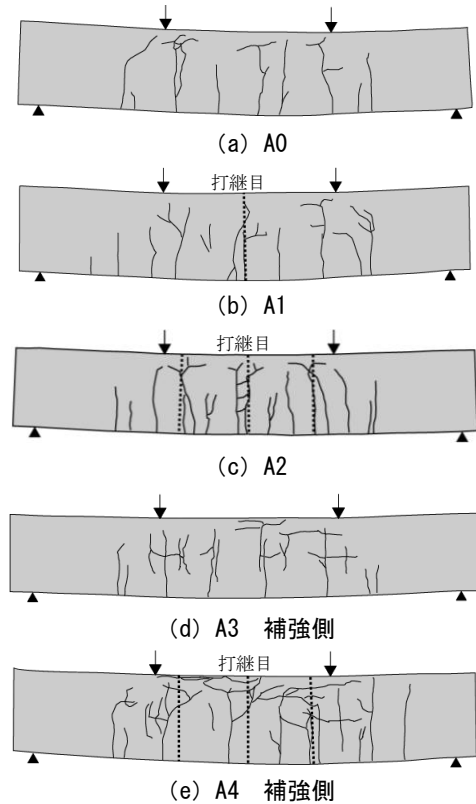


図-4 ひび割れ図 (シリーズ A)

が同荷重時での変位は大きくなった。同様にして、打継目が 3 ヶ所の場合も、A2, A4 の比較より、A4 のほうが大きくなった。以上より、部分補強で打継目を 3 ヶ所所有する A4 は、他の試験体に比べ、全体的な剛性は小さくなった。補強範囲や打継目の有無によって、耐力低下はあるが、定性的な挙動に明確な差異は認められなかった。

### 3.2 ひび割れ性状

ひび割れ図を図-4 に示す。ここで、部分補強試験体においては補強側を示した。打継目がある試験体は、通常の曲げひび割れと同様、打継目位置にも集中してひび割れが発生した。これは、打継目の開きによるものである。ただし、各試験体とも打継目位置を除けば、ひび割れ性状に大きな差異はなかった。

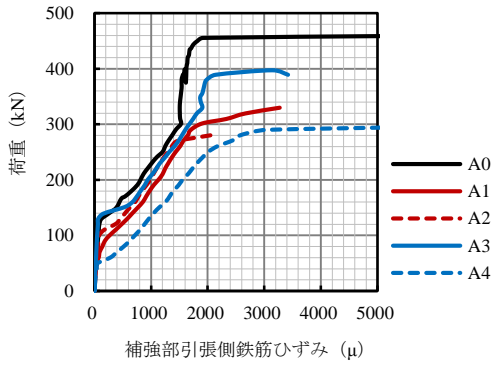


図-5 補強部引張側補強鉄筋ひずみ

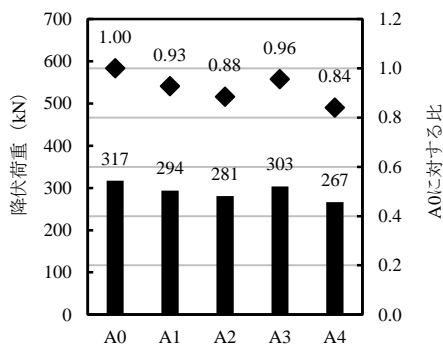


図-6 基準試験体に対する降伏荷重の比

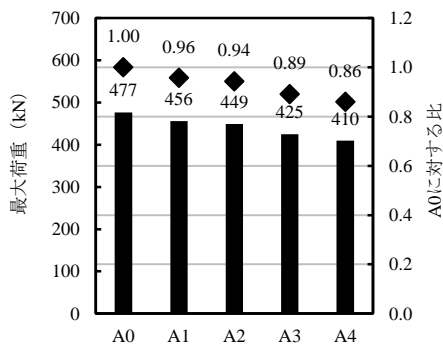


図-7 基準試験体に対する最大荷重の比

荷重-補強部引張側鉄筋ひずみ関係を図-5 に示す。試験体 A0~A4 はそれぞれ 3 体ずつ作製したが、ここでは 3 体のうち最大荷重が中間値のものを抽出して、グラフ化した。また、計測位置は、図-2 中に黒丸で示した全周補強試験体では幅方向中央の鉄筋、部分補強試験体では、無補強部に一番近い鉄筋とし、軸方向中央の打継目直下とした。まず、初期剛性は全試験体で同等であった。また、打継目のない A0, A3 は、はりの降伏荷重付近でひずみ増加が停滞し、打継目を有する A1, A2, A4 に比べてひずみの増加がやや遅れている。これは、打継目における開口の影響がないため、卓越したひび割れ位

表-3 耐力の評価

試験体	降伏荷重			最大荷重		
	設計値 (kN)	試験値 (kN)	試験値/設計値	設計値 (kN)	試験値 (kN)	試験値/設計値
A0		331 311 310	1.28 1.21 1.20		486 478 466	1.44 1.41 1.38
A1	258	301 291 290	1.17 1.13 1.12	338	466 444 458	1.38 1.31 1.36
A2		282 280 280	1.09 1.09 1.09		448 465 434	1.33 1.38 1.28
A3	243	300 300 310	1.23 1.23 1.28	316	400 436 438	1.27 1.38 1.39
A4		260 270 270	1.07 1.11 1.11		404 415 410	1.28 1.31 1.30
B0	57	52	0.91	60	52	0.87
B1	243	280	1.15	322	413	1.28
B2	368	419	1.14	452	577	1.28

置とひずみ計測位置との相違によるものと考えられる。シリーズ A, B ともに補強部引張側鉄筋が降伏ひずみ(約 1800μ) に達していることから、鉄筋が終局時まで、曲げ引張力を負担していることがわかった。

### 3.3 曲げ耐力の評価

それぞれの試験体の降伏荷重および最大荷重を表-3 に示す。ここで、降伏荷重の試験値ははりのたわみ、鉄筋のひずみ挙動から総合的に判断した。なお、降伏荷重の設計値は、補強部曲げ補強鉄筋が降伏するときの荷重とし、降伏および最大荷重の設計値は PCM 補強部を含めコンクリート標準示方書<sup>5)</sup>に示されている RC 理論に基づき算出した。まず、全周補強で打継目がない基準試験体 A0 に対して、打継目や部分補強の耐力に及ぼす影響について考察する。降伏および最大荷重について、各試験体および基準試験体に対する比を、それぞれ図-6、図-7 に示す。これより、部分補強の影響については、打継目の有無 (A3/A0 および A4/A2) に関わらず、降伏荷重で 5%、最大荷重で 10%程度低下していることがわかる。また、打継目が 3ヶ所存在する影響 (A2/A0 および A4/A3) については、逆に降伏荷重で 12%、最大荷重で 5%程度の低下が認められた。打継目 3ヶ所と部分補強の最も不利な条件である A4 の場合で、降伏および最大荷重ともに基準試験体 A0 に対して 15%程度低下した。

次に、降伏荷重および最大荷重についての設計値、試験値および安全率を図-8、図-9 に示す。ここでいう安全率とは、降伏荷重および最大荷重の設計値に対する試験値の比である。全試験体ともに、いずれも安全率は 1.0 を超え、安全側に評価できた。また、全周補強、部分補強ともに、当然ながら打継目があるほうが安全率は小さくなった。最大荷重については、現行の RC 理論に基づく設計法を適用した場合でも、いずれのケースにおいても 1.3 以上の安全率を保有することがわかった。



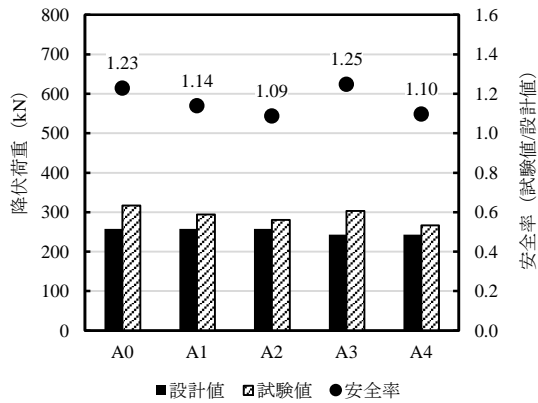


図-8 降伏荷重および降伏荷重時の設計値に対する試験値の比

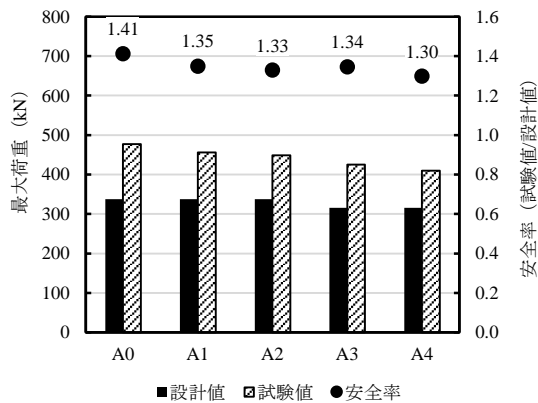


図-9 最大荷重および最大荷重時の設計値に対する試験値の比

しかし、降伏荷重については、全周・部分補強によらず、打継目のない場合には 1.2 以上の安全率を保有したのに対し、3ヶ所打継目がある場合には、安全率が 1.1 まで低下することがわかった。

以上より、打継目を有する低鉄筋比 RC はりを、2/3 断面の範囲で PCM 吹付け補強をする場合、既存の RC 理論に基づく設計法を適用しても、1.0 以上の安全率を確保する補強設計が可能であることがわかった。しかし、打継目や補強範囲に制限がない通常の場合（基準）に比べては 15% 程度の耐力低下が生じることに對する配慮も合わせて必要である。

#### 4. 補強鉄筋量の割増しによる補強効果（シリーズ B）

シリーズ A の結果を踏まえ、シリーズ B では補強鉄筋量の増量が曲げ耐力に及ぼす影響について検討した。

##### 4.1 変形性状

シリーズ B の荷重-スパン中央変位関係を図-10 に示す。無補強試験体と補強試験体の比較より、著しい補強効果を確認できた。

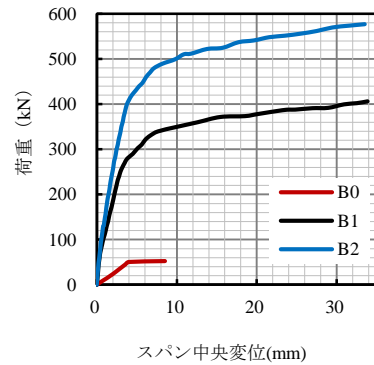


図-10 荷重-スパン中央変位関係（シリーズ B）

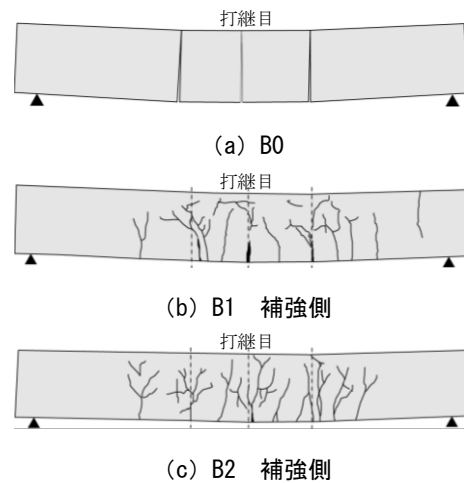


図-11 ひび割れ図

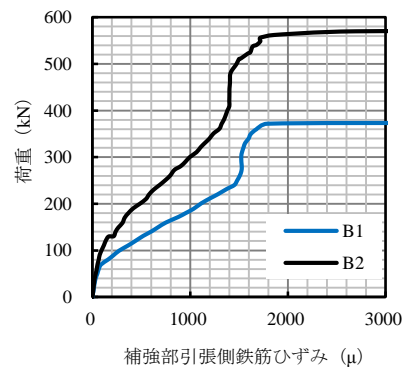


図-12 補強部引張側補強鉄筋ひずみ

また、補強試験体 2 体の比較より、補強量が多いほど、降伏および最大荷重が増加することにより、それに伴う変形挙動を呈することが確認できた。図-12 に示すスパン中央点の打継目位置における補強鉄筋のひずみ挙動についても同様のことがいえる。

##### 4.2 ひび割れ性状

シリーズ B のひび割れ性状を図-11 に示す。B0 無補強試験体においては、曲げひび割れが発生することなく、打継目が開いて終局となった。さらに、シリーズ A と同

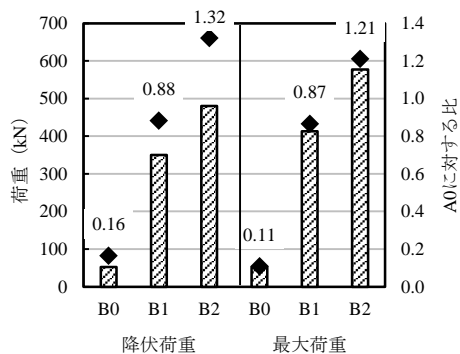


図-13 基準試験体に対する降伏および最大荷重の比

様、シリーズ B でも、部分補強試験体において補強側は多数ひび割れが分散した。3ヶ所の打継目を設けて部分補強とした B1, B2 において、無補強側は A4 と同様に曲げひび割れが発生することなく、打継目が開いて終局となった。

#### 4.3 曲げ耐力の評価

図-13 に、打継目のない全周補強の基準試験体 A0 (シリーズ A) に対する降伏および最大荷重の比を示す。また、設計値と各試験値との比較ならびに安全率を図-14 に示す。降伏および最大荷重ともに基準試験体に対して B1 は曲げ耐力が低下したが、B2 は増加していることがわかる。また、補強試験体 B1 と B2 を比較しても、補強鉄筋量を 1.67 倍増量することで約 1.4 倍の曲げ耐力の増加が見られた。補強試験体 B1 と B2 の比較より、打継目や部分補強の影響で耐力が減少したとしても、補強鉄筋量を増やすことで必要な耐力を補えることがわかった。

また、シリーズ A の A4 試験体とほぼ同様に、設計値に対する試験値の比は、降伏で 1.15、最大で 1.3 程度であった。なお、本研究で前提となる補強前の断面諸元をもつ試験体 B0 に対して、いずれも顕著な補強効果を発揮していることは明らかなおりでである。

#### 5. まとめ

本研究では、打継目を有し低鉄筋比 RC 部材を断面内で部分補強する場合でも、PCM 吹付け工法およびその補強設計法の適用が妥当であるかについて検討した。その結果、次のことがわかった。

- (1) 打継目を有するコンクリート部材を断面幅方向に部分的な補強しかできない場合、全周補強と比較して荷重や曲げ剛性の低下は見られるが、定性的なひび割れ性状や荷重変位挙動に大きな差異はなく、PCM 吹付け工法により曲げ補強できることが示された。
- (2) 2/3 幅での部分補強では、打継目の有無に関らず、基準試験体に対して降伏で 5%、終局で 10% 程の耐

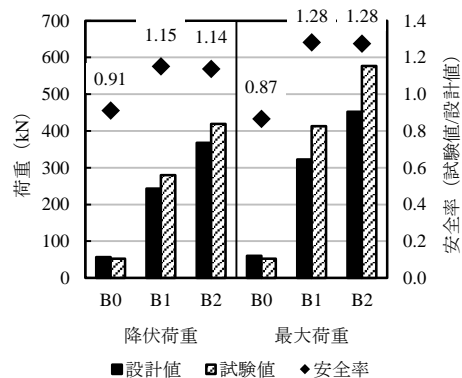


図-13 降伏および最大荷重時の設計値に対する試験値の比

力低下がみられた。

- (3) 3ヶ所の打継目を有する場合、補強範囲の程度に関わらず、降伏で 12%、終局で 5% 程の耐力低下がみられた。
- (4) 本試験で最も不利な条件下である打継目 3ヶ所、部分補強の場合で、基準試験体に対して 15% の耐力低下がみられた。
- (5) いずれのケースにおいても、現行の RC 理論に基づく設計値に対し、最大耐力については 1.3 以上、降伏耐力については 1.1 以上の安全率を有することが示された。
- (6) 打継目と部分補強の不利な条件下では、補強鉄筋量を設計値よりも増量することによって、基準試験体以上の所要の降伏ならびに最大耐力までの補強が可能であることが明らかとなった。

今後、補強範囲の影響や、所要の補強耐力に対する増量すべき補強鉄筋量について検討する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 三浦尚：土木材料学（改訂版），コロナ社，2002
- 2) 中村智，日野伸一，山口浩平，佐藤貢一：PCM 吹付け工法による既設 RC 橋脚の耐震補強に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.29, No.3, pp.1219-1224, 2007.7
- 3) 中村智，日野伸一，山口浩平，佐藤貢一：PCM 吹付け工法による既設 RC 橋脚の段落とし部の耐震補強に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.30, No.3, pp.1171-1176, 2008.7
- 4) 金丸亜紀，山下翔真，日野伸一：打継目を有する低鉄筋比 RC はりを対象とした PCM 吹付け工法による曲げおよびせん断補強効果，第 70 回年次学術講演会，V-139, 2015
- 5) 2012 年制定 コンクリート標準示方書 [設計編]，土木学会，2013