

論文 ポリマーセメントモルタルで補修した RC 梁の曲げ性状に関する研究

吉田己理^{*1}、小玉克巳^{*2}、佐藤貢一^{*3}、渡辺裕一^{*4}

要旨：本研究は、劣化を再現したRC梁に、PAE系及びSBR系の2種類のポリマーセメントモルタルを補強材料に用い、無振動及び振動環境下の2つの条件のもと下面増厚補強を行ないその静的曲げ性状について検討を行なった。その結果、PAE系材料・SBR系材料共に補強効果の有効性が認められ、環境の違いについては、振動環境下の場合材料分離や鉄筋の定着不良等の問題点は認められず、むしろ強度が強くなりひび割れ発生荷重の向上につながる結果が得られた。

キーワード：補強、補修、ポリマーセメントモルタル、下面増厚工法

1.はじめに

今日、コンクリート構造物の劣化の進行が社会問題化している。特に、道路橋等のRC曲げ部材は、交通量の増大等の要因から早急な補修補強工法の確立が望まれている。

そこで、劣化した鉄筋コンクリート曲げ部材を想定したRC梁に対し、種類の異なった2種類のポリマーセメントモルタルを用いて、無振動補強、振動補強の2種類の工法により補強を実施した。この補強RC梁に関して静的曲げ試験を行ない、その補強材料の違い、補強工法の違いが最大耐荷力の変化、鉄筋応力度の変化、破壊形態の違い等の曲げ性状に与える影響から補強効果の検討を行なった。

2.実験概要

2-1.RC梁の作製

RC梁の寸法は、高さ15cm、幅20cm、長さ120cmとした。主鉄筋は、D10鉄筋（SD295A、公称断面積0.7133cm²）を2本配筋した。その概略図を、図-1に示す。鉄筋の性状は、降伏点強度3800kgf/cm²、破断強度

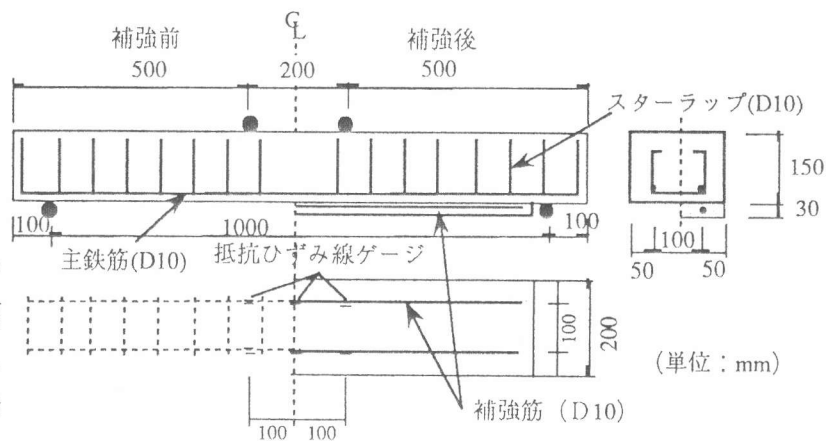


図-1 供試体寸法及び配筋概略図

5300kgf/cm²、ヤング係数1.92×10⁶kgf/cm²であった。

また、使用コンクリートの配合表を表-1に示す。材令28日経過後の圧縮強度は263kgf/cm²（平均）、ヤング係数は2.35×10⁶kgf/cm²（平均）であった。

RC梁は、材令28日経過まで湿布養生を実施した。

- *1 武蔵工業大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (正会員)
- *2 武蔵工業大学教授 工学部土木工学科、工博 (正会員)
- *3 奈良建設(株) 土木技術研究所主任研究員 (正会員)
- *4 奈良建設(株) 土木技術研究所研究員

表-1 コンクリートの配合表

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
20	8±1	4.5±0.5	60	47.5	300	180	831	930	0.554

2-2.補強材料特性

本研究に用いた補強材料は、表-2に示すPAE系及びSBR系の2種類のポリマーセメントモルタルを用いた。

ポリマーセメントモルタルは、一般的に圧縮強度に比べ引張強度、曲げ強度及び付着強度が大きく現れることや、優れた防水性、気密性、耐薬品性、耐凍結融解性を持つことが知られている。その中でPAE系は、初期接着性に優れ、また、SBR系は、防水性・中性化に優れると言われている[1]。今回用いたポリマーセメントモルタルは、粉体成分（コンパウンド）、液体成分共にプレパッケージド（prepackaged）型の材料を用い、PAE系のコンパウンドは白色セメント(30%)と珪砂(70%)からなり、液体成分は樹脂エマルジョンに分類され、ポリアクリル酸エステル(27%)溶液である。SBR系のコンパウンドは普通セメント(40%)と珪砂(60%)からなり、液体成分はゴムラテックスと分類され、スチレンブタジエンゴムの45%溶液である。その配合を表-2に示す。

その試験実施時（材齢7日）の諸性状は表-3に示すように、SBR系は曲げ、引張、付着の各強度についてPAE系の2倍近い値であり、圧縮強度は約1.5倍となった。ヤング係数も約2倍となった。

なお、補強部分中に補強鉄筋としてRC梁に用いた鉄筋と同一性状のD10鉄筋を2本用いた。

表-2 ポリマーセメントモルタル配合表

	系統名	コンパウンド	エマルジョン	追加水量	p/c
PAE系	ポリアクリル酸エステル系	1袋(20kg)	3.33kg	0kg	15%
SBR系	スチレンブタジエンゴム系	1袋(20kg)	2.67kg	0.82kg	15%

p/c=ポリマーセメント比

表-3 強度性状一覧

	曲げ強度	圧縮強度	引張強度	ヤング率	付着強度
PAE系	60.9	178.3	19.7	0.96×10 ⁵	12.3
SBR系	102	293.0	32.0	1.82×10 ⁵	28.1

材齢7日（単位：kgf/cm²）

2-3.補強梁の作製

補強梁は、補強実施以前にRC梁の主鉄筋降伏応力度の75%まで静的曲げ载荷を行い、建設省等の補修補強対象となる、約0.3mm程度のクラックを発生させ、劣化を再現した。また、RC梁と補強部分との接着界面は、ダイヤモンドサンダーを用いてぜい弱部の除去を行った。次に補強鉄筋の配筋については、RC梁底面部の図-2に示す位置に穴

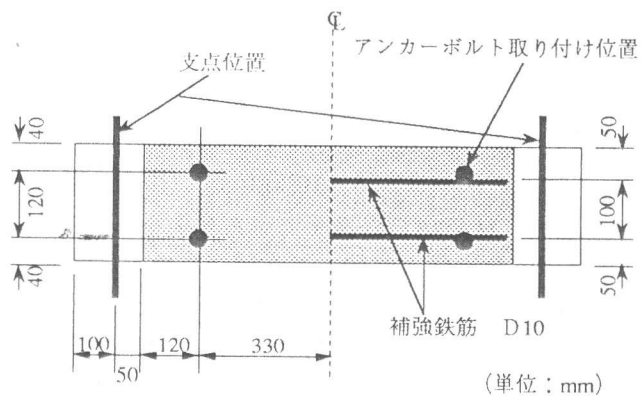


図-2 RC梁下面図

をさく孔し、打撃により先端が開き固定するタイプのアンカーボルトを打設し、全螺子をアンカーボルトに装着し、ナットを用いて挟み込み固定した。補強鉄筋1本に対し2箇所固定した。

その後、ポリマーセメントモルタルを厚さ 3cm、幅 20cm、長さ 90cmに渡って打ち込み、新旧梁を一体化させた。なお、本研究では、ポリマーセメントモルタルの打ち込みを無振動補強、振動補強の2通りの工法によって行った。

無振動補強梁は、補強鉄筋を配筋した後、RC梁の天地を逆さまにし、RC梁周囲に高さ3cmの型枠を設置。その後施工面にポリマーセメントモルタルを流し込む工法であり、養生方法は、室内気中乾燥養生とした。

振動補強梁は、交通振動を想定したRC梁の主鉄筋降伏応力度の30%~40%を作用させる繰返し荷重を周波数0.5Hzで作用させ、RC梁の下縁部に型枠を設置し、その中へ圧力ポンプを用いてポリマーセメントモルタルを注入し作製する工法とした。養生方法は、室内気中乾燥養生とし、養生中も繰返し荷重を作用させた。

両補強梁共に、補強後の養生期間は7日間とし、振動補強梁の振動回数は、約30万回に達した。

2-4. 静的曲げ試験方法

スパン長100cm、載荷スパン長20cmの2点載荷とし漸増載荷方式にて静的曲げ試験を、無補強梁は2-1.にて作成したRC梁(無振動無補強)及びRC梁を1週間振動環境下に置いた物(振動無補強)の計2体について、補強梁は2種の補強材料にて2-3.の通りに作成した計4体の梁について行った。

無補強梁に関しては、荷重制御にて0~1t、0~3tまで荷重を載荷した後、変位制御にて破壊まで試験を実施した。PAE系補強梁に関しては、無補強梁の載荷パターンに加え荷重制御にて0~6t、変位制御にて0~4mm、0~6mm、その後破壊までの試験を実施した。SBR系補強梁に関しては、無補強の載荷パターンに加え荷重制御にて0~6t、変位制御にて0~4mm、その後破壊までの試験を実施した。

計測は、ロードセルによって載荷荷重の計測、変位計にてスパン中央部の変位量の計測、抵抗線ひずみゲージを用いて主鉄筋、補強鉄筋のひずみの計測を実施した。

3. 結果及び考察

3-1. 最大耐荷力及び破壊形態に関して

図-3に各RC梁の最大耐荷力を示す。まず、無補強梁の最大耐荷力について、無振動梁・振動梁の比較を行なうと、0.2tほどわずかに振動梁の方が強く表れたが、破壊形態に関しては共に曲げ破壊であったことより本研究にて実施したRC梁に与えた振動によっての母材の劣化進行はないと言える。

補強梁の最大耐荷力に関しては、図-3に示すようにPAE系補強梁は、無振動梁で無補強の1.9倍、振動梁で1.5倍。SBR系補強梁は、無振動梁で1.7倍、振動梁では1.8倍へ向上し、両材料とも補強効果が認められた。しかし、PAE系振動補強梁に関しては、最大耐荷力5.40tと他の補強梁に

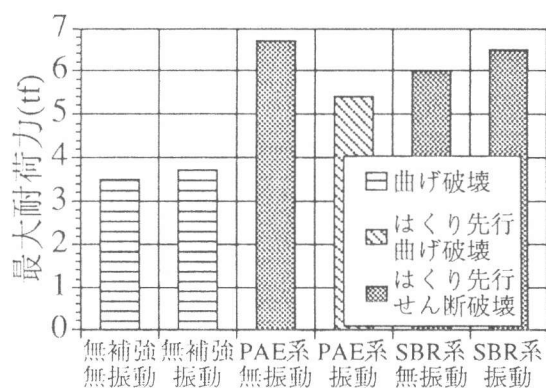


図-3 最大耐荷力及び破壊形態一覧

比べて、1.0t程度弱く表れている。これは破壊形態の違いから、新旧梁界面の付着強度がPAE系無振動補強梁より弱く発現し、はくりが急激に最大曲げモーメント区間まで進行し、曲げ破壊を引き起こしたためと考えられる。その原因として、今回用いたPAE系ポリマーセメントモルタルは、打ち込み温度の上昇や時間の経過により流動性状の低下を引き起こす事が知られており[2]、注送中に施工性が悪化し、新旧梁界面の付着が弱まった結果、急激なはくりを引き起こしたのではないかと考えられる。

その他の補強梁の破壊形態はまず補強界面にはくりが発生し、はくりの進行した点からのせん断ひび割れによって破壊にいたる補強部分のはくり先行せん断破壊であり、RC梁自体のせん断耐力の影響により強度差が発生したものと考えられる。

今回全ての補強梁は、新旧梁接着界面のはくりに起因する破壊であり設計上許されない脆性的な破壊であった。はくりを抑止するためにアンカーボルトの本数を増やすことや、ポリマーセメントモルタルの施工性を向上させる事により、新旧梁界面の付着が強まるのではないかと考えられる。

3-2. ひび割れに関して

載荷荷重と主鉄筋応力度の関係を図-4に示す。図中の変曲点をひび割れ発生荷重とした。

PAE系補強梁は無振動では載荷荷重が約1600kgf時に変曲点があるのに対し、振動は約3000kgf時と1.9倍となり、SBR系補強梁では無振動で載荷荷重2500kgfに変曲点があるのに対して、振動で約4000kgfと1.6倍に向上し、両材料共に無振動補強梁よりも振動補強梁の方が、ひび割れ発生荷重を向上させる結果が得られた。また材料の違いに関しては、引張強度の優れるSBR系補強梁が(表-2)、無振動補強・振動補強共に強く表れた。

補強梁断面は無振動・振動の両補強梁は同一であり、ひび割れ発生荷重が同等であると考えられるが、先に示すように両材料共に差が発生した。その原因としてポンプの圧力により引張強度が向上し、ひび割れ発生を抑止したことが考えられる。そこで、補強梁の曲げ試験終了後、補強モルタルの一部を採集し密度の測定及び圧縮強度試験を行なった。その結果を図-6に示す。

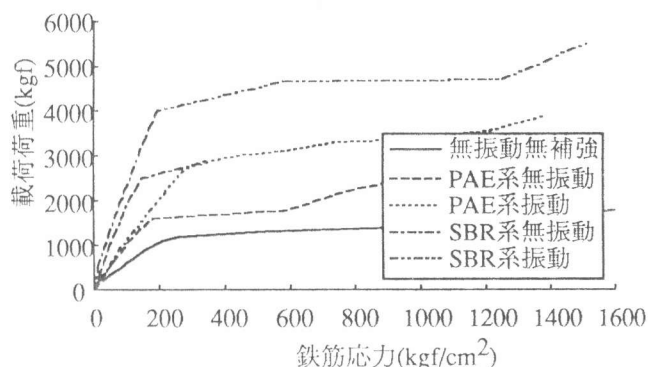


図-4 載荷荷重と主鉄筋応力の関係

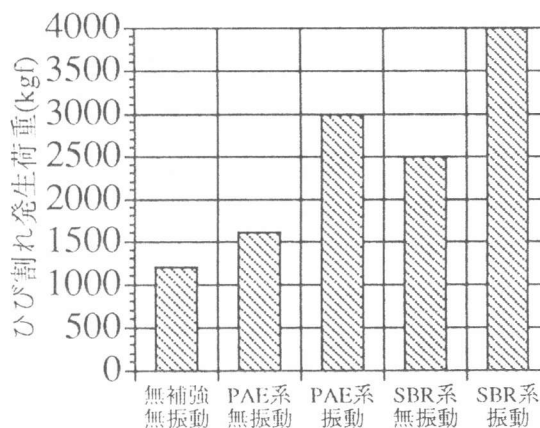


図-5 ひび割れ発生荷重一覧

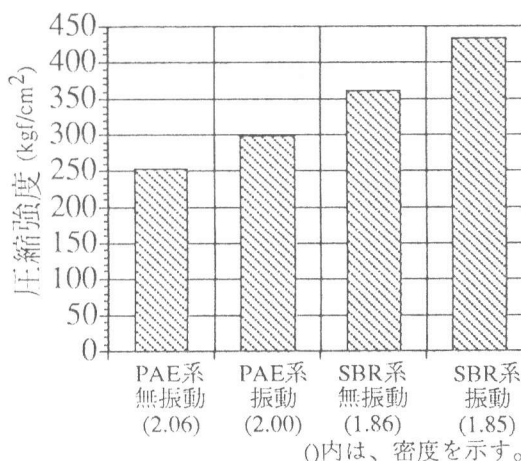


図-6 補強部材圧縮強度一覧

その結果から、密度がPAE系は0.06の差、SBR系は0.01の差と両材料共にわずかに無振動のポリマーセメントモルタルの方が密度は高かったが、圧縮強度は両材料共に振動補強梁のモルタルの方が強度が強く発現した。このことから、引張強度についても、振動補強梁の方が強く発現し、ひび割れ発生を抑制したのではないかと考えられる。

表-4 鉄筋応力一覧

	載荷荷重1500kgf (ひび割れ発生前)		載荷荷重5000kgf (ひび割れ発生後)	
	主鉄筋応力 (kgf/cm ²)	補強筋応力 (kgf/cm ²)	主鉄筋応力 (kgf/cm ²)	補強筋応力 (kgf/cm ²)
PAE系無振動	180 (1.00)	350 (1.00)	2100 (1.00)	2500 (1.00)
PAE系振動	150 (1.00)	250 (1.00)	2000 (1.00)	2500 (1.00)
SBR系無振動	80 (0.44)	250 (0.71)	1500 (0.71)	1800 (0.72)
SBR系振動	70 (0.47)	200 (0.80)	1400 (0.70)	2500 (1.00)

()内は、PAE系を1.00としたときの比率

3-3. 鉄筋応力に関して

次に補強材料の違いについては、振動の有無を問わずSBR系補強梁は、PAE系補強梁と比較するとひび割れ発生以前は約50%まで、ひび割れ発生以降では、約70%まで主鉄筋応力度を低減する結果が得られた。これは、PAE系材料に比べSBR系材料のヤング率が高いため、ポリマーセメントモルタルの負担引張力がPAE系よりも強く表れ主鉄筋応力度を低減したと考えられる。

まず振動補強梁に関しては、ポリマーセメントモルタルが硬化進行中に振動環境下にある為に過度の締め固めが行なわれポリマーセメントモルタルが材料分離を発生することや、補強鉄筋自体も振動しているために定着不良を起こすことなど補強が無効になることが考えられる。表-3は補強梁のひび割れ発生前後の鉄筋応力度についてまとめたものである。無振動補強梁と振動補強梁の負担応力にわずかな差が発生したが、これは先に示したポリマーセメントモルタルの強度発現の違いが原因と考えられ、振動の有無を問わず共に主鉄筋応力が低減され、補強は有効であると言える。

3-4. たわみ性状に関して

まず図-7に両補強材料の補強部分と同一寸法の物を別途作成し、それにておこなった静的曲げ試験の結果を示す。本試験は、RC梁の補強に用いたもとの寸法の供試体を作成しアンカーボルトの位置を支点に設定し2点荷重にて実施した。その結果、PAE系補強部材は、100kgf荷重時にひび割れが発生し破壊、また、SBR系補強部材は、135kgf荷重時に破壊した。破壊時のたわみ量は、PAE系補強部材は1.47mm、SBR系補強部材は1.02mmであり、PAE系補強部材の方がたわみ量は多く表れ、フレキシブルであった。

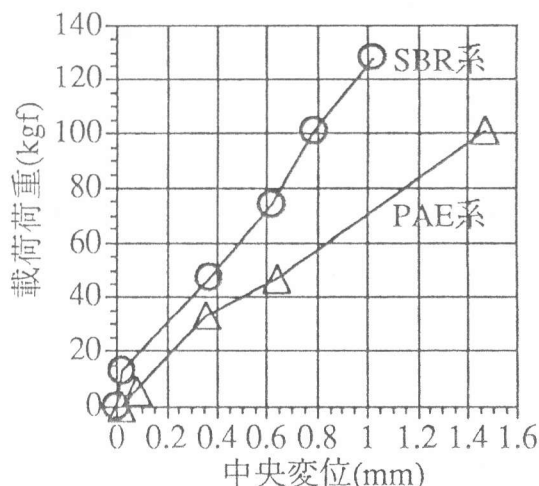


図-7 補強部材の載荷荷重と中央変位の関係

そして、図-8にひび割れ発生以前の載荷荷重と中央変位の関係について示す。

たわみ量は全ての補強梁に関して、ひび割れ発生の前後を問わず無補強梁よりも低減され、補強効果が認められた。しかし、先に述べた補強部材単体の試験結果から同一荷重の際にSBR系補

強梁の方が、PAE系補強梁よりもたわみ量は低減されると考えられるが、振動補強梁については、SBR系補強梁の方がたわみ量が多く表れた。これは、先に述べた施工性の問題ではないかと考えられる。また、各材料ごとの比較はPAE系では、無振動補強梁の方が、SBR系では、振動補強梁の方がたわみ量が低減される結果となり、同一の傾向ではなかった。

図-9は漸増载荷におけるひび割れ発生以降の载荷荷重と中央変位の関係について示したものである。

ひび割れ発生以降でも同様に補強梁は無補強梁よりもたわみ量が低減し、PAE系補強梁・SBR系補強梁共に無振動補強梁は、振動補強梁よりもたわみ量が低減される結果が得られた。また、補強部材単体での試験結果を反映しSBR系補強梁はPAE系補強梁よりもたわみ量が低減される結果となった。これは、補強部分がRC梁にひび割れ発生以降も一体化している事を示し、補強が機能していると言える。

4.まとめ

今回用いた補強材料は、振動補強、無振動補強の両工法共に、最大耐荷力の向上、ひび割れ発生荷重の向上、主鉄筋応力の低減、たわみ量の抑止効果以上の4項目から補強効果を確認できた。その中でSBR系補強材料はひび割れ発生荷重の向上、主鉄筋応力の低減、ひび割れ発生以降のたわみ性状にPAE系補強材料に比べ優れた効果を発揮した。

また、今回与えた振動環境下では、本工法は有効性が低下することはないと言え、むしろ振動補強工法の方が補強ポリマーセメントモルタルの強度が強くと発現し、ひび割れ発生荷重の向上させる結果が得られた。

【参考文献】

- [1]大浜 嘉彦：鉄筋コンクリート構造物の劣化対策技術、テクノシステム、pp.75-85、pp.201、1994.10
- [2]吉田己理・小玉克巳・渡辺裕一・佐藤貢一：ポリマーモルタルの基礎性状について、土木学会第49回年次学術講演会、pp.1052-1053、1994.8
- [3]佐藤貢一・小玉克巳：FRPと各種モルタルで補強したRC梁の曲げ破壊性状に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.14、no.2 pp.979-984、1992.6
- [4]佐藤貢一・小玉克巳：FRPとポリマーモルタルで補修したRC梁の曲げ性状に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.13、no.2 pp.877-882、1991.6

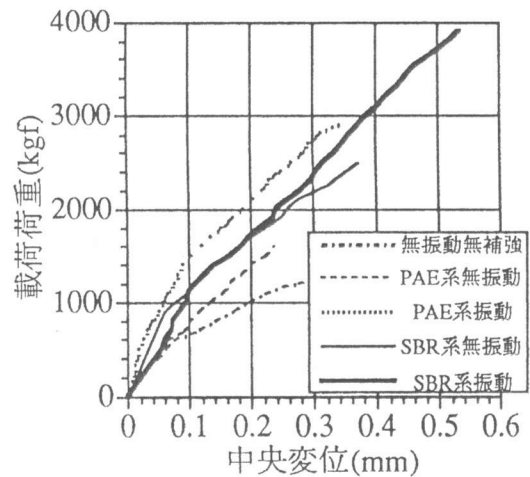


図-8 载荷荷重と中央変位の関係
ひび割れ発生前

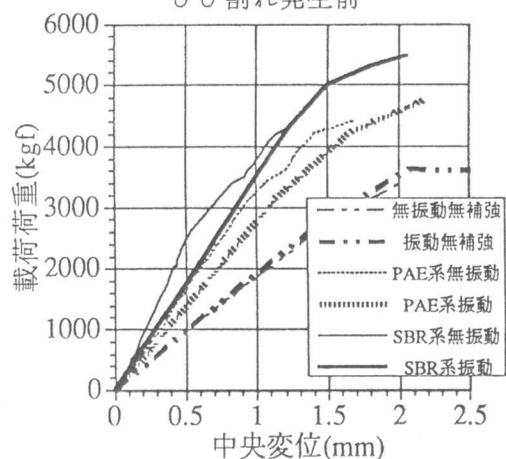


図-9 载荷荷重と中央変位の関係
ひび割れ発生後