棒鋼の防せいに及ぼすポリマーセメントモルタル および防せい剤の併用効果[†]

大 濱 嘉 彦* 出 村 克 宣* 三 宅 雅 之**

Effect of Combined Use of Polymer-Modified Mortars and Rust-Inhibitor on Corrosion Inhibition of Reinforcing Bars

by

Yoshihiko OHAMA*, Katsunori DEMURA* and Masayuki MIYAKE**

Recently, polymer-modified mortars and rust-inhibitors have widely been used as repair materials for reinforced concrete structures. The purpose of this study is to make clear the corrosion-inhibiting property of the polymer-modified mortars with the rust-inhibitors and the effectiveness of the treatment of bonded concrete surfaces around reinforcing bars (rebars) with the rust-inhibitors in repairing works for such concrete structures.

Polymer-modified mortars using three types of cement modifiers with variation of rust-inhibitor content are prepared, and two types of specimens $40 \times 40 \times 160$ mm embedded with rebars of $\phi 10 \times 130$ mm are molded as follows:

(1) Type A Specimen: A rebar is completely embedded in a polymer-modified mortar in the specimen.

(2) Type B Specimen: Each half portion of a rebar is filled with a cement mortar and a polymer-modified mortar in the specimen. Sometimes, the bonded surface of the cement mortar is treated with a rust-inhibitor.

The specimens are cured, and subjected to accelerated corrosion. After that, the corroded areas of the rebars are measured to evaluate the corrosion-inhibiting property of the polymer-modified mortars and rust-inhibitor. The conclusions obtained from the test results are summarized as follows:

(1) The corrosion-inhibiting property of the polymer-modified mortars is improved with the addition of the rust-inhibitor.

(2) In Type B specimens using the base mortar without the rust-inhibitor, the addition of the rust-inhibitor causes a marked decrease in the corrosion rate of the rebars in the repair mortar and an increase in that of the rebars in the base mortar.

(3) In Type B specimens using the base mortar with the rust-inhibitor, the use of the repair mortars with the rust-inhibitor causes a rust inhibition of the rebars in the base mortar.

(4) In Type B specimens with the bonded mortar surfaces treated with the rust-inhibitor, the corrosion rate of the portions of the rebars close to the treated mortar surfaces decreases and that of the end portions of the rebars increases markedly.

Key words: Polymer-modified mortars, Rust-inhibitor, Reinforcing bars (rebars), Corrosion rate, Repair mortars, Coverage rate

1 緒 言

近年、鉄筋コンクリート構造物の劣化箇所の補修を目的とする各種の補修工法および材料が開発されているが、補修効果の適正な評価が行われないまま使用されているのが現状である¹⁾。一般に、鉄筋コンクリート構造物中の鉄筋の腐食が原因で、コンクリートの浮きおよびはく離、鉄筋の露出などが認められる場合には、

劣化部分をはつり取った後、各種補修材料を用いて補修が行われる。この場合、補修完了後においては、鉄筋は、補修材料と既存コンクリート部に接した状態で存在することになる。したがって、補修工事においては、補修箇所に現れている鉄筋の補修材料による防せい効果はもちろんのこと、既存コンクリート部に隠れている鉄筋の発せいについても十分に考慮する必要が

[†] 原稿受理 平成2年12月6日 Received Dec. 6, 1990

* 正会員 日本大学工学部 郡山市田村町, College of Engineering, Nihon University, Tamura-machi, Koriyama

** 学生会員 日本大学大学院 郡山市田村町, Graduate Student, Nihon University, Tamura-machi, Koriyama

Table I. Properties of cement.

Specific gravity	Blaine's specific surface area (cm ² /g)	Setting time (h-min)		Compressive strength of mortar (kgf/cm ²)			Chemical compositions (%)		
		Initial set	Final set	3d	7d	28d	MgO	SO ₃	ig. loss
3.16	3250	2-30	3-32	151	255	512	1.6	1.6	1.0

ある。²⁾ 現在、ポリマーセメントモルタルは、中性化および塩化物イオン浸透に対する抵抗性に優れるため、鉄筋コンクリート構造物の代表的な補修材料として使用され、また、コンクリート中の鉄筋の腐食を抑制する目的で、防せい剤が使用されている。^{3)~5)} したがって、ポリマーセメントモルタルへの防せい剤の添加によって、その防せい性は向上し、更に、ポリマーセメントモルタルと防せい剤の併用により、既存コンクリート部に隠れている鉄筋の発せいを抑制できるものと考えられる。

本研究では、鉄筋コンクリート構造物用補修材料としてのポリマーセメントモルタルおよびそれに防せい剤を添加した場合の防せい性を評価する。更に、鉄筋コンクリート構造物の補修箇所を想定して、普通セメントモルタルに棒鋼の全長の半分を埋込んだ基材を用い、その基材にあらかじめ防せい剤を添加するかまたは打継ぎ部に防せい剤を塗布して、防せい剤添加および未添加ポリマーセメントモルタルを打継いだ場合の基材部およびポリマーセメントモルタル部の棒鋼の発せい挙動を検討する。その結果、補修工事における棒鋼の防せいに関する有益な知見を得ている。

2 使用材料

2・1 基材モルタル用材料

基材モルタル用材料としては、普通ポルトランドセメントおよび豊浦標準砂を使用した。セメントの性質を Table I に示す。

2・2 ポリマーセメントモルタル用材料

セメントおよび骨材としては、基材モルタルと同様のものを、セメント混和用ポリマーディスペーションとしては、スチレンブタジエンゴム (SBR) ラテックス、エチレン酢酸ビニル (EVA) およびポリアクリル酸エステル (PAE) エマルジョンを使用した。Table II にセメント混和用ポリマーディスペーションの性質を示す。

2・3 防せい剤

Table II. Properties of polymer dispersions.

Type of polymer dispersion	Specific gravity (20°C)	pH (20°C)	Viscosity (20°C, cP)	Total solids (%)
SBR	1.022	9.7	64	45.0
EVA	1.056	5.7	1588	44.4
PAE	1.074	9.9	80	44.9

防せい剤としては、35% 亜硝酸カルシウム [Ca(NO₂)₂] 水溶液を使用した。

2・4 棒鋼

棒鋼としては、JIS A 6205 (鉄筋コンクリート用防せい剤) の附属書 1 の 4.1 に規定される材質で、直径 10 mm および長さ 130 mm のものを使用した。なお、その使用に当っては、JIS K 8034 [アセトン (試薬)] に規定されるアセトンで脱脂した。

3 試験方法

3・1 基材の作製

JIS R 5201 (セメントの物理試験方法) に従って、セメント：豊浦標準砂=1：2 (重量比)、水セメント比 65%、防せい剤添加率 0 および 2.0% (セメントに対する亜硝酸カルシウムの重量百分率) としたセメントモルタルを、Fig. 1 に示すように、棒鋼の全長の半分を埋込んで寸法 40×40×80 mm に成形した。その後、1 日湿空 (20°C, 80% R. H.) 養生して脱型し、更に、6 日湿空 (20°C, 80% R. H.) および 7 日乾燥 (20°C, 50% R. H.) 養生して B 形供試体用基材を作製した。

3・2 供試体の作製

セメント：豊浦標準砂=1：3 (重量比)、ポリマーセメント比 (P/C) 0 および 10%、防せい剤添加率 0, 0.5, 1.0 および 2.0% (セメントに対する亜硝酸カルシウムの重量百分率) とし、そのフロー値が 170±5 となるように、水セメント比を調整した Table III に示す割合のポリマーセメントモルタルを、JIS A 1171 (試験室におけるポリマーセメントモルタルの作り方) に従って練り混ぜ、調製した。なお、適用した防せい剤添加率は、実際に補修工事で用いら

Fig. 1. Geometry of specimens.

Table III. Mix proportions of polymer-modified mortars containing rust-inhibitor.

Type of mortar	Cement : Sand (by weight)	Polymer-cement ratio (%)	Rust-inhibitor (wt% of cement)	Water-cement ratio (%)	Flow
Un-modified Mortar	1 : 3	0	0	77.5	175
			0.5	74.7	172
			1.0	73.9	168
			2.0	75.2	175
SBR-modified mortar (SBR-10)	1 : 3	10	0	62.2	174
			0.5	60.6	171
			1.0	60.3	167
			2.0	60.9	167
EVA-modified mortar (EVA-10)	1 : 3	10	0	60.0	165
			0.5	60.9	165
			1.0	60.6	168
			2.0	61.2	173
PAE-modified mortar (PAE-10)	1 : 3	10	0	59.0	174
			0.5	56.9	169
			1.0	57.9	171
			2.0	58.5	175

れている防せい剤添加率約 1.0% を参考とし、また、ポリマーセメント比は予備実験の結果と経済性を考慮して定めた。その後、Fig. 1 に示すように、調製したポリマーセメントモルタル中に、棒鋼を埋込んで寸法 40×40×160 mm (A 形) に成形または 3・1 節で作製した基材に打継ぎ寸法 40×40×160 mm (B 形) に成形し、2 日湿空 (20°C, 80% R. H.), 5 日乾燥 (20°C, 50% R. H.) 養生して、供試体とした。なお、基材の打継ぎ面に、はけを用いて、塗布量 500 g/m² および 1000 g/m² で防せい剤を塗布した B 形供試体も作製した。また、A 形供試体のスペーサーとしては、供試体作製に用いたポリマーセメントモルタルと同様の調合で作製したものをを用いた。一試験条件当りの供試体数は 3 個とした。

3・3 促進発せい試験

耐圧容器内に供試体を静置し、5 mmHg 以下で 60 分間脱気した後、耐圧容器内に二酸化炭素を注入し、10 kgf/cm² の圧力で 24 時間加圧した。その後、耐圧容器から供試体を取り出し、温度 30°C の条件下で 7 日間乾燥した後、再び、5 mmHg 以下で 60 分間脱気し、耐圧容器内で、10 kgf/cm² の圧力で 24 時間加圧して、2.5% 塩化ナトリウム溶液を含浸した。塩化ナトリウム溶液を含浸した供試体については、ポリエチレン袋に入れて、温度 80°C の乾燥機内で 24 時間加熱した。その後、更に、ポリエチレン袋から供試

体を取り出し、温度 20°C、湿度 60% の条件下に 24 時間静置した後、供試体を割裂して、棒鋼を取り出した。

供試体から取り出した棒鋼については、10% クエン酸二アンモニウム溶液中で、ブラシを用いて 1 分間、その表面を清浄処理し、更に、アセトンで洗浄した。清浄処理後の棒鋼については、発せい部分を記録紙に写し取り、発せい面積を測定した。同一試験条件の 3 個の供試体から取り出した棒鋼 3 本の平均発せい面積から、次式により、棒鋼の発せい率を求めた。

棒鋼の発せい率 (%)

$$= \frac{\text{棒鋼 3 本の平均発せい面積 (mm}^2\text{)}}{\text{棒鋼の発せい有効面積 (mm}^2\text{)}} \times 100$$

なお、棒鋼の発せい有効面積は、A 形供試体では、両端部および両端部から長さ 20 mm までの部分を除く棒鋼の表面積、B 形供試体では、両端部を除く棒鋼の表面積を発せい有効面積とした。また、B 形供試体を用い、打継ぎ面に防せい剤を塗布して試験したものについては、棒鋼表面の打継ぎ面から 10 mm ほどの範囲における発せい率も算出した。この場合の発せい有効面積は、測定箇所における対象とする長さ 10 mm に円周値を乗じて求めた。

4 試験結果および考察

棒鋼を取り出した供試体断面にフェノールフタレインの 1.0% アルコール溶液を噴霧して中性化深さを測定した結果、いずれの供試体もその中心部まで中性化していた。また、同様の供試体断面に、UNI 7928 (Concrete-Determination of the Ion Chloride Penetration) に従い、0.1% フルオレセインナトリウム溶液および 0.1 N 硝酸銀溶液を噴霧した結果、いずれの供試体においても、その中心部まで塩化物イオンの浸透が認められ、供試体内部には、0.2% (モルタル重量に対して) 以上の塩化物イオンが浸透しているものと推察される⁶⁾。

Fig. 2 には、A 形供試体に埋込んだ棒鋼の発せい率

Fig. 2. Corrosion rate of rebars embedded in Type-A specimens.

Fig. 3. Corrosion rate of rebars embedded in Type-B specimens using base mortar with or without rust-inhibitor.

を示す。防せい剤を添加しない場合、ポリマーセメントモルタル中の棒鋼の発せい率は、普通セメントモルタル中の棒鋼のそれの1/5から4/7程度である。一方、防せい剤の添加によって、普通セメントモルタルおよびポリマーセメントモルタルの防せい性は改善され、ポリマーの種類にかかわらず、防せい剤添加率の増加に伴って、それらの発せい率は減少する傾向にある。防せい剤添加率0.5%以上では、いずれのモルタルの発せい率もほぼ一定となり、その差異もほとんど認められない。

Fig. 3には、防せい剤を0および2.0%添加した基材に、補修モルタルとして、防せい剤を0および0.5%添加した普通セメントモルタルおよびポリマーセメントモルタルを打継いだ時のB形供試体の基材部および補修モルタル部の棒鋼の発せい率を示す。なお、打継ぎ面からの距離にかかわらず、本試験における棒鋼の発せいは、基材部および補修モルタル部に埋込まれたそれぞれの部分において、ほぼ一様であった。

基材に防せい剤を添加しない（防せい剤添加率、0%）場合、補修モルタルへの防せい剤添加の有無にかかわらず、基材部の棒鋼の発せい率は、補修モルタル部の棒鋼のそれよりも大きい。基材および補修モルタルに防せい剤を添加しない場合には、普通セメントモルタルを補修モルタルとした時の基材部および補修モルタル部の棒鋼の発せい率に比べて、ポリマーセメントモルタルを補修モルタルとした時の両部の棒鋼の発せい率は小さい。一方、基材に防せい剤を添加せず、補修モルタルに防せい剤を0.5%添加することにより、補修モルタルとしての普通セメントモルタル部およびポリマーセメントモルタル部の棒鋼の発せい率は著し

く減少し、補修モルタルの種類による差異はほとんど認められなくなる。しかし、その場合、補修モルタルの種類にかかわらず、基材部の棒鋼の発せい率が增大する傾向にある。

補修モルタルの種類にかかわらず、基材に防せい剤を2.0%添加することにより、基材部の棒鋼の発せい率は相当に減少するが、基材に防せい剤を添加しない場合とは逆に、補修モルタル部の棒鋼の発せい率は、基材部の棒鋼のそれよりも大きくなる。この場合、補修モルタルへの防せい剤の添加によって、補修モルタル部の棒鋼の発せいを抑制することができる。ただし、この時の補修モルタル部の棒鋼の発せい率は、基材に防せい剤を添加しない時の補修モルタル部の棒鋼のそれよりも大きい。

これらのことから、B形供試体を鉄筋コンクリート構造物の補修箇所のモデルとして考えれば、鉄筋コンクリート構造物の補修工事において、ポリマーセメントモルタルの使用は有効であり、更に、防せい剤を添加して使用することによって、その防せい性は向上するが、既存コンクリート部の鉄筋の発せいを考慮する必要があるといえる。また、新設コンクリート打込み時に防せい剤を添加しておくことにより、鉄筋の発せいを抑制することができると共に、補修が行われた時の既存コンクリート部の鉄筋の発せいを抑制することができるものと推察される。しかしながら、既存コ

Fig. 4. Corrosion rate of rebars embedded in Type-B specimens having rust-inhibitor-treated bonded surfaces.

ンクリート部が防せい剤を含む場合には、補修用ポリマーセメントモルタルの防せい効果が妨げられる可能性のあることが示唆される。

Fig. 4 には、打継ぎ面に塗布量 0, 500 および 1000 g/m^2 で防せい剤を塗布した基材に、補修モルタルとして、防せい剤を 0 および 0.5% 添加した普通セメントモルタルおよびポリマーセメントモルタルを打継いだ時の B 形供試体の基材部および補修モルタル部の棒鋼の発せい率を示す。

補修モルタルとして防せい剤未添加普通セメントモルタルを使用した場合、打継ぎ面への防せい剤の塗布によって、基材部の棒鋼の発せい率は若干減少する。しかし、その塗布量の増加に伴って、補修モルタル部の棒鋼の発せい率が著しく増加する。また、打継ぎ面への防せい剤の塗布量にかかわらず、防せい剤を 0.5% 添加した普通セメントモルタルを補修モルタルとした場合には、補修モルタル部の発せい率は著しく減少するが、基材部の棒鋼のそれは増加する傾向にある。

Fig. 5. Corrosion rate distribution of rebars embedded in Type-B specimens having bonded surfaces treated by rust-inhibitor at coverage rate of 500 g/m^2 .

る。一方、ポリマーセメントモルタルへの防せい剤の添加および打継ぎ面への防せい剤の塗布にかかわらず、一般に、普通セメントモルタルを補修モルタルとした時の補修モルタル部の棒鋼の発せい率に比べて、ポリマーセメントモルタルを補修モルタルとした時のそれは小さい。しかし、普通セメントモルタルを補修モルタルとした時と同様に、打継ぎ面への防せい剤の塗布によって、補修モルタル部の棒鋼の発せい率は増加し、また、基材部の棒鋼の発せいは抑制されない。このように、打継ぎ面に防せい剤を塗布しても、基材部の棒鋼の発せいを抑制する効果が認められないのは、棒鋼の発せい率を基材部および補修モルタル部の全面にわたって算出していることに起因するものと考えられる。そこで、Fig. 5 には、打継ぎ面に塗布量 500 g/m^2 で防せい剤を塗布した基材を用いたものの棒鋼表面の打継ぎ面から 10 mm ごとに算出した棒鋼の発せい率を示す。この図から明らかなように、補修モルタルの種類およびそれへの防せい剤添加の有無にかかわらず、打継ぎ面に防せい剤を塗布した場合、基材部の打継ぎ面から 20~40 mm までの範囲での棒鋼の発せい率は相当に小さくなる。しかし、打継ぎ面からの距離がそれ以上になると、棒鋼端部に近づくに従い、棒鋼の発せい率が著しく増大する傾向にある。なお、打継ぎ面に塗布量 1000 g/m^2 で防せい剤を塗布した基材を用いたものについても、同様の傾向が認められた。これらのことから、鉄筋コンクリート構造物の補修工事における補修用ポリマーセメントモルタルの打継ぎ面への防せい剤の塗布により、既存コンクリート中の鉄筋の打継ぎ部に近い部分に対して防せい性を付与できるが、更にそれよりも内部については、鉄筋の発せいが促進される危険性があるものと推察される。当然のことながら、そのような発せいは、既存コンクリート中の塩化物イオン量および中性化の程度に依存するものと考えられる。

以上述べてきたように、B 形供試体における棒鋼の発せい挙動は極めて複雑である。これは、ポリマーセメントモルタルおよび防せい剤の併用によって、棒鋼の発せいの原因となる局部電池の形成が複雑化するためと考えられる。本研究における B 形供試体は、マクロセル作用が起こりやすいものであり、特に、活性-不動態電池作用および濃淡電池作用による腐食の発生が予想される^{7),8)}。このようなマクロセル作用は、補修モルタル部および基材部のモルタルの材質およびそれらの組合せに相当依存するものと推察される。

5 結 論

以上の試験結果を総括すれば、次の通りである。

(1) 普通セメントモルタルに比べて、ポリマーセメントモルタルは防せい性に優れ、防せい剤の添加に

よって、その防せい性は改善される。

(2) 防せい剤を添加しない基材を用いた B 形供試体において、補修モルタルへの防せい剤の添加により、補修モルタル部の棒鋼の発せい率は著しく減少するが、基材部の棒鋼の発せい率が増大する傾向にある。

(3) B 形供試体の基材への防せい剤の添加によって、防せい剤添加補修モルタルを打継ぐことによる基材部の棒鋼の発せいを抑制することができる。

(4) B 形供試体の打継ぎ面に防せい剤を塗布することによって、棒鋼の基材部側の打継ぎ面に近い部分の発せい率は減少するが、棒鋼の基材部側の端部の発せい率が著しく大きくなる傾向にある。

(5) 以上のことから、B 形供試体を鉄筋コンクリート構造物の補修箇所のモデルとして考えれば、鉄筋コンクリート構造物の補修工事において、ポリマーセメントモルタルの使用は有効であり、防せい剤を添加して使用することによりその防せい性は向上するが、既存コンクリート部の鉄筋の発せいを考慮する必要がある。しかし、新設コンクリート打込み時に防せい剤を添加しておくことにより、鉄筋の発せいを抑制することができると共に、ポリマーセメントモルタルによって補修が行われた時の既存コンクリート部の鉄筋の発せいを抑制することができるものと推察される。また、鉄筋コンクリート構造物の補修工事における補修用ポリマーセメントモルタルの打継ぎ面への防せい剤の塗布により、既存コンクリート中の鉄筋の打継ぎ部に近い部分に対して防せい性を付与できるが、更に

それよりも内部の部分については、鉄筋の発せいが促進される危険性があることを考慮する必要があるものと考ええる。

参 考 文 献

- 1) 日本コンクリート工学協会, “鉄筋腐食による損傷を受けたコンクリート構造物の補修技術—技術の現状—”, p. 134 (1989) 日本コンクリート工学協会
- 2) 大濱嘉彦, 出村克宣, 小野貴弘, 伊部 博, 斉藤 仁, “鉄筋腐食による損傷を受けたコンクリート構造物の補修技術に関するシンポジウム論文集”, p. 37 (1989) 日本コンクリート工学協会
- 3) 村上 聖, 平居孝之, 甲斐武久, セメント技術年報, 40, 439 (1986) セメント協会
- 4) 小林明夫, 八重樫明彦, 黒田 武, 笹野哲郎, “第 9 回コンクリート工学年次論文報告集”, p. 405 (1987) 日本コンクリート工学協会
- 5) 小林明夫, 牛島 栄, 阿南晃時, 越川松宏, “第10回コンクリート工学年次論文報告集”, p. 529 (1988) 日本コンクリート工学協会
- 6) 大濱嘉彦, 出村克宣, 佐藤和弘, “日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), A 材料 施工 防火 海洋 情報システム技術”, p. 637 (1989).
- 7) 小林豊治, “海洋コンクリート構造物の防食指針(案)”, p. 44 (1990) 日本コンクリート工学協会
- 8) 岡田 清, 小柳 治, 宮川豊章, 土木学会論文報告集, 281, 75 (1979).