

# 原子力発電所のコンクリート建家に使用する 耐放射線性塗料に関する研究 (その9)

—下地補修材の検討—

喜田大三 住野正博

## Studies on Irradiation Resisting Paints for Concrete Structures in Nuclear Power Plant (Part 9)

—Relations Between Effects of Patching Materials  
and Work Execution Conditions—

Daizo Kita Masahiro Sumino

### Abstract

Irradiation resisting paints are applied to concrete surfaces after holes at the concrete surfaces have been plugged with epoxy resin putty, epoxy resin mortar, polymer cement mortar, cement mortar, etc. and smoothed with spatulas or trowels. Therefore, the effectivenesses of these paints are greatly influenced by the effects of these materials, for example, adhesion to concrete and layers of paints. Moreover, the effects of these materials differ with work execution conditions. Accordingly, experiments were conducted to clarify work execution conditions of these materials in order to increase adhesion to concrete and layers of paint after being exposed to high temperature and high humidity as well as normal temperature. The results showed that adhesion to concrete and layers of paint differed with kinds of patching materials and work execution conditions, and useful knowledge was obtained about these factors.

### 概 要

耐放射線性塗料はコンクリート表面の不陸やくぼみを各種材料で補修したのちに塗装される。それゆえ、適用される下地補修材の各種性能が充分でなければ、この塗料の所期性能は発揮できない。一方、下地補修材の施工条件と性能について充分に検討されていないのが現状である。そこで、下地補修材の施工条件とコンクリートや塗膜との付着性および耐高温高湿性について検討した。その結果、次の知見を得た。(1) a (エポキシ樹脂パテ) および b (エポキシ樹脂モルタル) の付着性は施工に先だってプライマーを塗布することで一層向上した。(2) 耐高温高湿性を考慮した場合、aはできるだけ薄く施工し、bは深さ10mm以下の穴に施工する必要がある。また、c (ポリマーセメントモルタル) および d (セメントモルタル) は深さ50mm程度までの穴に施工できるが、耐高温高湿性はcでdより優れていた。(3) aおよびbの施工時に金ベラ等で十分にしごきとって平滑にすれば、塗膜との付着性は充分に発揮できた。一方、cおよびdと塗膜との付着性を充分に発揮させるには、塗装前にディスク処理する必要がある。

#### 1. はじめに

耐放射線性塗料はコンクリート表面の不陸やくぼみをモルタルやパテで補修したのちに塗装されている。このことは、この塗料自身の性能がいかに優れていても適用する下地補修材の性能、例えばコンクリートや塗膜との付着性、さらには耐高温高湿性が充分でなければ前述の

塗料の所期性能は発揮できないことを示唆している。しかしながら、この下地補修材の施工条件とコンクリートや塗膜との付着性等について、充分に検討されていないのが現状である。

本報では各種下地補修材の施工条件とコンクリートや塗膜との付着性および耐高温高湿性との関係を検討した資料を報告する。

## 2. 供試材料および供試体の作製

### 2.1. 供試材料

2.1.1. 塗料 市販の耐放射線性塗料から塗料Ⅰ、Ⅱ、Ⅲを供試した。

2.1.2. 下地補修材 次の4種類を供試した。(1) エポキシ樹脂パテ 3銘柄(EP<sub>1</sub>, EP<sub>2</sub>, EP<sub>3</sub>)。ただし、EP<sub>2</sub>は樹脂に所定量の硅砂を混合して作製した。(2) エポキシ樹脂モルタル 1銘柄。(3) ポリマーセメントモルタル S.B.R.(スチレン・ブタジエンゴム)エマルジョン・セメント比0.6でセメント：砂=1：3のモルタルを作製した。(4) セメントモルタル 水セメント比0.5でセメント：砂=1：3のモルタルを作製した。

### 2.2. コンクリートブロック

所定の型枠の底面および両側面に最大50mmまでの各種厚さで幅45mm、長さ140mmの発泡スチロールを接着したのち、所定配合のコンクリートを打設した<sup>1)</sup>。打設3日後に脱型し、発泡スチロールを除去したのちに所定期間、水中養生した。次いで含水率9~10%(kettモルタル水分計による)になるまで室内に放置した。

### 2.3. 供試体

(1) 作業性、コンクリートとの付着性検討用 コンクリートブロックの凹部のへこみがなくなるまで下地補修材を1日、1回の割合で充填し、所定期間養生したのちに実験に供した。その際、エポキシ樹脂パテおよびエポキシ樹脂モルタルは施工前にブロックの凹部にプライマーを塗布する条件と塗布しない条件で金ベラで充填し、また、余分な材料は金ベラで十分にしごきとって平滑にした。また、ポリマーセメントモルタルおよびセメントモルタルはブロックを十分に水でぬらしたのちに金ごてで施工した。次いで翌日からブロックおよびモルタル部分に1日、1回の割合で3日間、十分に散水した。

(2) 塗膜との付着性検討用 ブロックの凹部に存在するレイトンスを金ブラシで十分に除去し、プライマーを塗布したのちに下地補修材を施工し、室内に5ヶ月放置した。次いで耐放射線性塗料を下地補修材の施工面に塗装し、上塗り終了後、常温で3週間養生して実験に供した。その際、塗装は下地補修材表面のディスクサンダー処理・有、無の条件で行なった。ディスクサンダーのペーパーはエポキシ樹脂パテ、エポキシ樹脂モルタルに#120、ポ

リマーセメントモルタル、セメントモルタルに#14を適用した。

## 3. 実験方法

作業性は施工時の金べら等の作業性の難易および各充填深さにおける施工回数を検討した。

コンクリートとの付着性は充填深さ5mmの供試体で常温放置、高温高湿3日暴露時(約140℃、約100%)について所定の方法で測定した<sup>1)</sup>。また、塗膜との付着性を常温放置時について同様に測定した。

## 4. 実験結果と検討

### 4.1. 作業性の検討

表一に各種下地補修材のへらさばき等の難易、施工回数を示す。

同表から明らかなように、作業性および施工回数は下地補修材の種類で異なる。

エポキシ樹脂パテのへらさばきは比較的容易であり、エポキシ樹脂モルタルのそれはかなりの力を要する。ポリマーセメントモルタルおよびセメントモルタルの金ごて押えはかなり困難である。このモルタルの作業性は後述する砂の粒径やモルタルの配合を変えることによって改善されると推察される。

また、下地補修材の種類によって、充填できる穴の深さとその施工回数には差異が認められる。EP<sub>2</sub>を除くエポキシ樹脂パテの場合、施工回数は深さ4mm程度までは2(~3)回であり、5~7mmでは3回である。そして、深さ10mm程度以上ではだれを生じるため施工で

下地補修材 穴の深さ, 他	エポキシ樹脂パテ			エポキシ樹脂 モルタル	ポリマーセメント モルタル	セメント モルタル
	EP <sub>1</sub>	EP <sub>2</sub>	EP <sub>3</sub>			
mm程度 1~2	2(~3)回	1(~2)回	2(~3)回	1回	—回	—回
3~4	3	1(~2)	2(~3)	1(~2)	1	1
5~7	3	2	3	1(~2)	1	1
10	だれ発生	2(~3)	だれ発生	2	1	1
15~50	だれ発生	3	だれ発生	2	1	1
へら作業等の難易	○	○	◎	△	△~×	△~×
備考	エポキシ樹脂パテ：施工に先だってプライマーを塗布しない場合、パテ 施工中に下地のコンクリートが露出する。 エポキシ樹脂モルタル：プライマーを塗布しないで施工しても下地のコン クリートは露出しない。					

注) へら作業等の難易：◎比較的容易、○やや力が必要、△かなりの力が必要、×困難

表一 各種下地補修材の作業性と施工回数

きない。一方、EP<sub>2</sub>の施工回数は深さ4mm程度までは1(～2)回、5～7mm程度では2回であり、前述のパテよりもそれぞれ1回少ない。そして、深さ10mm程度では2(～3)回、15～50mm程度では3回の施工回数が必要であるが、前述のパテのようにだれを生じないため、施工できる。このようにEP<sub>2</sub>と他のエポキシ樹脂パテで充填可能な穴の深さが異なるのは、前者が砂砂を加えた一種のエポキシ樹脂モルタルであるのに対し、後者が純粋のエポキシ樹脂パテであることに起因すると判断される。また、

同表に明記しているように、プライマーを塗布しないでエポキシ樹脂パテを施工した場合、下地とのなじみが悪く、下地が施工中に露出してくる。しかし、プライマーを塗布することで下地とのなじみが良くなり、前述した下地の露出はなくなる。これらのことから、エポキシ樹脂パテは下地とのなじみを良くするため、プライマーを塗布したのちに施工することが必要であると判断される。また、EP<sub>2</sub>を除くエポキシ樹脂パテは深さ10mm程度以上の穴に施工できないと判断される。

エポキシ樹脂モルタルの施工回数はそれぞれの穴の深さにおいて、前述のEP<sub>2</sub>のそれと同程度である。その際深さ50mm程度の穴に施工した場合にもだれを生じず、しかもプライマーを塗布しないで施工した場合にも下地とのなじみが良く、下地は露出しない。

ポリマーセメントモルタルおよびセメントモルタルの場合、深さ1～2mm程度の穴に充填することはほとんど不可能であり、深さ3mm程度以上のそれには1回で充填できる。これは骨材に最大粒径2.5mmの川砂を使用したことや貧配合のモルタルを使用したことに起因すると推察され、小粒径の砂の使用およびセメント:砂=1:1.4程度の富配合モルタルの使用によって、深さ2mm程度以下にも充填できると推察される。

以上のことから、ヘラさばき等はエポキシ樹脂パテで最も容易であり、エポキシ樹脂モルタルで比較的容易であり、ポリマーセメントモルタルおよびセメントモルタルでかなり困難であると判断された。その際、エポキシ樹脂パテで充填可能な穴の深さは5～7mm程度以下であり、これ以上の深さにはエポキシ樹脂モルタル、ポリマーセメントモルタルおよびセメントモルタルの適用が妥当と判断された。そして、エポキシ樹脂パテを施工する際には前もってプライマーを塗布することが必要であると判断された。

#### 4.2. 常温放置時のコンクリートへの付着性

深さ5mmの穴に充填した場合の付着力を測定し、結果を表-2に示す。同表にはコンクリートと下地補修材

下地補修材 プライマー塗布の有無	エポキシ樹脂パテ			エポキシ樹脂	ポリマーセメント	セメント
	EP <sub>1</sub>	EP <sub>2</sub>	EP <sub>3</sub>	モルタル	モルタル	モルタル
有	28.8 (0)	28.5 (0)	28.1 (0)	34.0 (0)	— (—)	— (—)
無	24.4 (15.6)	31.2 (45.7)	27.1 (37.8)	30.3 (20.3)	24.7 (0)	9.4 (100)

注1) 各欄の上段は付着力(kg/cm<sup>2</sup>)、下段は界面破壊割合(%)を示す。

注2) 界面破壊:プライマー有ではプライマーと下地補修材との界面、プライマー無ではコンクリートと下地補修材との界面で破壊したことを示す。

表-2 常温放置時における下地補修材の付着力と界面破壊の割合

との界面およびプライマーと下地補修材との界面で破壊した割合(以下、界面破壊割合という)を併記している。

同表において、付着力は下地補修材の種類で異なる。また、そのうちのエポキシ樹脂パテおよびエポキシ樹脂モルタルの付着力はプライマー塗布の有無で異なる。

エポキシ樹脂パテおよびエポキシ樹脂モルタルの付着力はプライマーを塗布した場合、それぞれ約28～29kg/cm<sup>2</sup>、34kg/cm<sup>2</sup>である。一方、プライマーを塗布しない場合のそれは前者で約24～31kg/cm<sup>2</sup>、後者で約30kg/cm<sup>2</sup>である。この付着力はEP<sub>2</sub>を例外として、いずれもプライマー有でプライマー無よりも大きい。このことは、エポキシ樹脂パテおよびエポキシ樹脂モルタルのコンクリートへの付着性がプライマーを塗布することで向上することを示している。

ポリマーセメントモルタルおよびセメントモルタルの付着力はそれぞれ約28kg/cm<sup>2</sup>、16kg/cm<sup>2</sup>である。

次に界面破壊割合について検討する。

エポキシ樹脂パテおよびエポキシ樹脂モルタルをプライマーを塗布して施工した場合、界面破壊はいずれも発生していない。しかし、プライマーを塗布しないで施工した場合、界面破壊は前者で約16～46%、後者で約20%発生し、前述したプライマーを塗布した場合よりも著しく増大している。このことから、エポキシ樹脂パテおよびエポキシ樹脂モルタルを施工する場合には前もってプライマーを塗布することが必要であると判断される。

ポリマーセメントモルタルはすべてモルタル内で破壊したため、界面破壊が全く発生せず、セメントモルタルはすべて界面で破壊している。

#### 4.3. 高温高湿暴露時の状態とコンクリートへの付着性

4.3.1. 暴露時の状態 きれつの発生程度は下地補修材の種類と充填する穴の深さで異なった。

エポキシ樹脂パテの場合、きれつがいくつもの銘柄、いくつもの穴の深さにも発生した。その発生程度にはいずれも穴の深さの違いで差異が認められなかった。また、同

じ深さの場合、その発生程度にはプライマー塗布の有、無で差異が認められなかった。さらに、このパテに発生したきれつは後述のエポキシ樹脂モルタル、ポリマーセメントモルタルおよびセメントモルタルのそれよりも著しく多く、しかもきれつの幅も同様に大きかった。このことから、エポキシ樹脂パテ自身の耐高温高湿性は小さいと判断された。

エポキシ樹脂モルタルの場合、プライマー塗布・有で深さ 5 mm の穴に施工した場合を例外とするが、いずれも非常に細いきれつが発生した。その際、プライマー塗布・有のきれつ発生は穴の深さ 20 mm 以上で穴の深くなるほど増大し、プライマー塗布・無のそれは深さ 10mm 以上で穴の深くなるほど増大した。また、穴の深さ 15~20 mm までに発生したきれつはプライマー塗布・有で無よりも少ないが、それ以上の穴の深さでは両者に差異が認められなかった。そして、このモルタルに発生したきれつはプライマー塗布・有、無のいずれにおいても前述のエポキシ樹脂パテのそれよりも非常に少なかった。このことから、エポキシ樹脂モルタルの耐高温高湿性はプライマー塗布・有、無のいずれにおいても前述のエポキシ樹脂パテのそれよりも非常に優れていると判断された。そして、安全をみた場合、エポキシ樹脂モルタルはプライマーを塗布して施工し、しかも充填深さを 10 mm 程度以下にする必要があると判断された。

ポリマーセメントモルタルの場合、非常に細いきれつがいずれの穴の深さにも発生した。この発生はいずれの穴の深さにおいても前述のエポキシ樹脂パテよりも著しく少なく、エポキシ樹脂モルタルと同程度か穴の深さによってはやや少ない傾向にあった。このことから、ポリマーセメントモルタルを 3~50 mm の穴に施工した際の耐高温高湿性は良好であると判断された。なお、このモルタルに使用したポリマー (S. B. R. エマルジョン) 自身の耐高温高湿性はエポキシ樹脂のそれよりも小さいので、このモルタルを長期間にわたり耐高温高湿性の要求される部位に適用することは好ましくないと判断された。

セメントモルタルの場合、非常に細いきれつがいずれの穴の深さにも発生した。このきれつ発生はいずれの穴の深さにおいても前述のポリマーセメントモルタルのそれと同程度であった。しかしながら、後述する高温高湿暴露時のコンクリートへの付着性が著しく劣るので、セメントモルタルの耐高温高湿性はあまり良好でないと判断された。

4.3.2. 暴露時のコンクリートへの付着性 深さ 5mm の穴に施工した場合の付着力を測定し、結果を表一 3 に示す。同表には界面破壊の割合を併記している。

同表に示していないが、エポキシ樹脂パテは付着力を

測定するために一定面積に切断中、あるいは付着力測定器の取付け中にすべてコンクリートとの界面で破壊した。

下地補修材	プライマー塗布の有無	付着力および界面破壊割合
エポキシ樹脂モルタル	有	38.0 (18.8)
	無	24.6 (20.0)
ポリマーセメントモルタル	無	32.2 (17.7)

注 1) 各欄の上段は付着力 (kg/cm<sup>2</sup>)、下段は界面破壊割合 (%) を示す。

注 2) 界面破壊の定義は表一 2 注 2) 参照。

表一 3 高温高湿暴露時の下地補修材の付着力と界面破壊割合

同様にセメントモルタルは付着力測定器の取付け中にすべてコンクリートとの界面で破壊した。このモルタルの高温高湿暴露時に発生したきれつは前述したように、わずかであったにもかかわらず、付着性は上述したように著しく小さかった。

さて、表一 3 において、エポキシ樹脂モルタルの付着力はプライマー塗布・有でプライマー塗布・無よりも約 13kg/cm<sup>2</sup> 大きい。界面破壊割合は前者で後者よりもやや小さい。また、表示していないが、破断コンクリート厚さは前者で後者よりもやや大きかった。このことは、エポキシ樹脂モルタルの高温高湿暴露時の付着性がプライマーを塗布することでやや向上することを示している。

ポリマーセメントモルタルの付着力は約 32kg/cm<sup>2</sup> であり、界面破壊割合は約 18% である。

次に高温高湿暴露時と表一 2 で前述の常温放置時について、付着力と界面破壊割合を比較、検討する。

エポキシ樹脂モルタルの場合、プライマー塗布・有における付着力および界面破壊割合は前述の常温放置時より前者で約 4 kg/cm<sup>2</sup> 大きく、後者で約 19% 大きい。プライマー塗布・無における付着力は常温放置時よりも約 5kg/cm<sup>2</sup> 小さく、界面破壊割合は常温放置時と同程度である。このことは、エポキシ樹脂モルタルの高温高湿暴露時の付着性が常温放置時のそれと同程度かやや低下する傾向にあることを示している。

ポリマーセメントモルタルの場合、付着力および界面破壊割合は常温放置時より前者で約 7 kg/cm<sup>2</sup> 大きく、後者で約 18% 大きい。このことは、このモルタルの高温高湿暴露時の付着性が常温放置時と同程度かやや低下する傾向にあることを示している。

4.4. 常温放置時における下地補修材と塗膜との付着性 施工後、5ヶ月放置していた下地補修材の施工面に塗装した塗膜の付着力を測定し、結果を表一 4 に示す。同

下地補修材 との 見合せ ディスク 処理	エポキシ樹脂パテ			エポキシ樹脂 モルタル	ポリマーセメント モルタル	セメント モルタル
	I・EP <sub>1</sub>	II・EP <sub>2</sub>	III・EP <sub>3</sub>	II	II	II
有	47.5 (2.5)	44.8 (0)	58.9 (0)	50.6 (0)	22.2 (0)	47.2 (0)
無	50.1 (3.7)	50.0 (0)	55.8 (0)	56.2 (0)	18.8 (10.3)	42.2 (8.8)

注) 各欄の上段は付着力(kg/cm<sup>2</sup>), 下段は界面破壊割合(%)を示す。

表一4 常温放置時における下地補修材と塗膜との付着性

表には塗膜と下地補修材との界面破壊の割合を併記している。また、同表のディスクサンダー処理(以下、ディスク処理という)有は塗装時に下地補修材の施工面に実施したものである。

同表において、塗膜付着力と界面破壊割合は下地補修材の種類で異なる。その際、ディスク処理の効果はポリマーセメントモルタルおよびセメントモルタルと塗膜との界面破壊割合に顕著にあらわれている。

さて、ディスク処理して塗装した場合の塗膜付着力は下地がエポキシ樹脂パテの場合で約45~59 kg/cm<sup>2</sup>, エポキシ樹脂モルタルの場合で約51 kg/cm<sup>2</sup>であり、非常に大きい。同様にディスク処理したポリマーセメントモルタルおよびセメントモルタルに塗装した場合の塗膜付着力は前者で約22 kg/cm<sup>2</sup>, 後方で約47 kg/cm<sup>2</sup>である。また、ディスク処理しないで塗装した場合の塗膜付着力はいずれも前述のディスク処理した場合と同程度である。

次に界面破壊割合について検討する。

下地がエポキシ樹脂パテ、エポキシ樹脂モルタルのそれぞれにおいて、界面破壊割合にはディスク処理・有、無で差異が認められない。すなわち、EP<sub>1</sub>を例外とするが、いずれも界面破壊は認められない。また、界面破壊の発生したEP<sub>1</sub>においてもその割合はディスク処理・有で2.5%, ディスク処理・無で3.7%であり、後方で前者よりもわずかに1.2%増加しているにすぎない。このことは、エポキシ樹脂パテやエポキシ樹脂モルタルの施工時に余分な材料を金ベラ等で十分にしごきとって平滑にすれば、前記材料の表面をディスク処理しないで塗装しても塗膜の付着性が十分に発揮されることを示している。

ポリマーセメントモルタルおよびセメントモルタルの施工面にディスク処理して塗装した場合には、いずれも界面破壊は発生していない。しかし、ディスク処理・無の場合には界面破壊が前者で約10%, 後方で約9%発生している。このことは、これらモルタルを施工し、これに塗装する場合にはディスク処理が必要であることを示

している。なお、本実験では認められなかったが、ポリマーセメントモルタルの上に溶剤型塗料を塗装した場合、ポリマーが溶剤の作用で膨潤する傾向があるので、このモルタルの上に溶剤型塗料を塗装する際には注意が必要である。

## 5. まとめ

各種の下地補修材の施工条件とコンクリートとの付着性を常温放置時のみならず高温高湿3日暴露時(約140℃, 約100%)について

検討し、あわせて下地補修材の作業性を検討した。また、下地補修材と耐放射線性塗料との付着性を常温放置時について検討した。その結果を以下に示す。

(1) 下地補修材の作業性はエポキシ樹脂パテで最も優れ、次いでエポキシ樹脂モルタルで良く、ポリマーセメントモルタルならびにセメントモルタルで劣った。その際、エポキシ樹脂パテとコンクリートとのなじみを良くするためには、パテ施工に先だってプライマーを塗布することが必要であった。

(2) エポキシ樹脂パテおよびエポキシ樹脂モルタルのコンクリートへの付着性をより一層向上するためには、施工に先だってプライマーを塗布することが必要であった。

(3) 耐高温高湿性を考慮し安全をみた場合、エポキシ樹脂パテはできるだけ薄く施工し、エポキシ樹脂モルタルは深さ10 mm程度以下の穴に施工することが必要であった。また、ポリマーセメントモルタルおよびセメントモルタルは深さ50 mm程度までの穴に施工できるが、耐高温高湿性は前者で後者よりも優れていると判断された。

(4) エポキシ樹脂パテおよびエポキシ樹脂モルタルの表面をディスク処理して塗装した場合は当然のことながら、施工時に余分な両材料を金ベラ等で十分にしごきとって平滑にすれば塗膜との付着性は十分に発揮できた。一方、ポリマーセメントモルタルおよびセメントモルタルと塗膜との付着性を十分に発揮させるためには、塗装に先だって両モルタル表面をディスク処理する必要があった。

最後に、本研究は関西電力(株)総合技術研究所構築研究室と共同で進めたものである。研究の実施にあたり構築研究室の北村一夫主任研究員、近藤正紘研究員には実験計画の段階から参加していただいたことを記し、深謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 喜田, 住野: 原子力発電所のコンクリート建家に使用する耐放射線性塗料に関する研究(その4), 大林組技術研究所報, No. 16, (1978), pp. 107~111