

# 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10)

——エマルジョン型塗料の付着性 (その1)——

喜田大三 住野正博

## Studies on Irradiation Resisting Paints for Concrete Structures in Nuclear Power Plant (Part 10)

——Adhesion of Emulsion Type Paint (Part 1)——

Daizo Kita Masahiro Sumino

### Abstract

Irradiation resisting paints of solvent type are generally applied to indoor concrete surfaces of concrete structures in nuclear power plants. It is necessary for concrete to be thoroughly dry before application of the paint and for consideration to be given to safety and hygiene regarding the use of thinner during coating. Recently, an emulsion type irradiation resisting paint was developed in order to solve these problems, and is being marketed. However, there has been no case of this emulsion type paint used at a nuclear power plant, while the conditions for application have not been made clear either. Under such circumstances, the relations between adhesion of this paint and moisture conditions in concrete were examined and the following results were obtained. (1) This paint could be applied to concrete under conditions of higher moisture content than in case of using solvent type paint. (2) It was estimated that application of the emulsion type could be started about one month earlier than the solvent type.

### 概 要

一般に原子力発電所コンクリート建家の室内コンクリート面には溶剤型耐放射線性塗料が塗装されている。この塗料は塗装前にはコンクリートの十分な乾燥を、また塗装時にはシンナーに対する安全衛生上の配慮を必要とする。

このような問題を解決するために最近、エマルジョン型耐放射線性塗料が開発され、市販されている。しかし、この塗料を原子力発電所に適用した事例はなく、また施工条件も十分に明らかにされていない。そこで、常温放置時における塗膜の付着性とコンクリート中の水分条件（水分形態、水分量）に着目して実験した。その結果、この塗料の付着性は水分条件に影響されにくく、また溶剤型よりも高含水率条件で塗装できることが確認できた。それゆえ、エマルジョン型適用時のコンクリート中の水分管理は溶剤型適用時ほど厳重に実施しなくても良いと判断された。またコンクリートの乾燥期間は溶剤型適用時よりも1ヶ月程度、短くなると推察された。

### 1. はじめに

わが国においてはこれまで溶剤型耐放射線性塗料が原子力発電所建家の室内コンクリート面に適用されてきた。そのため、筆者はこれまで溶剤型に関する一連の研究を実施してきた。その過程で溶剤型の付着性、耐高温高湿性を十分に発揮させるにはコンクリートの十分な乾

燥、レイタンスの十分な除法および多量のシンナーで希釈した下塗り塗料の適用が必要であることが判明した。

コンクリートの乾燥は工期にかかわる重要な問題である。また、レイタンス除法の際に発生する多量の粉塵、さらにはシンナーの多量使用は作業環境と作業の安全性にかかわる重要な問題である。これらの問題は溶剤型の宿命であり、また欠点である。一方、現場では工期上や

作業の安全上、コンクリートの乾燥およびレイタンスの除去が不要で、しかもシンナーを使用しないで塗装しても塗膜の諸性能が十分に発揮できることが望まれている。しかしながら、溶剤型を適用する限りにおいては、その実現は前述したことからほとんど不可能である。

ところで、乾燥の不十分なコンクリートに適用でき、しかもシンナーを使用しない塗料としてエマルジョン型耐放射線性塗料が注目されている。しかしながら、この塗料は最近、開発され市販され始めたばかりなので、わが国では現場適用例がなく、またその塗装施工条件も十分に明らかにされていない。そこで、この塗料の付着性に着目して実験、検討した。

本報ではエマルジョン型の常温放置時における塗膜付着性とコンクリート中の水分条件(水分量,水分形態)との関係を検討した資料を報告する。

## 2. 供試塗料および供試体の作製

### 2.1. 供試塗料

市販の耐放射線性塗料から三銘柄(塗料AE, BE, CE)を供試した。

### 2.2. 被塗装体

所定の調合でコンクリートを練り、型枠に打設してサイズ80×80×200mmのブロックを作製した<sup>1)</sup>。

型枠を脱型し所定期間水中養生したのちpF 3, 4.2, 4.5および5の条件下に所要期間養生してpF-含水率の測定および供試体の作製に供した。

なお、被塗装体の上面はスラブ上面(金ごて仕上)、側面は壁面(合板型枠, 金属型枠)、下面はスラブ下面(合板型枠)を想定している。また、合板型枠および金属型枠の壁面はそれぞれ壁面W, 壁面Mで示している。

### 2.3. 供試体

被塗装体面をディスクサンダー処理(ペーパーNo.14)後ウエスぶきし、塗料メーカー指定の塗装仕様に準じて1日、1回塗りの間隔で熟練者が刷毛で全面に所定量を塗布した。塗装終了後、常温で3週間硬化、養生して実験に供した。

## 3. 実験方法

### 3.1. pF 含水率の測定

各pF条件で養生したコンクリート中の水分量をケットモルタル水分計で測定した。結

果は乾量基準の含水率(%)で示した。

### 3.2. 塗膜付着力と破断コンクリート厚さの測定

所定の方法で塗膜の引張り付着力と破断コンクリート厚さを測定した<sup>1)</sup>。

なお、本報でいう塗膜付着力とは測定時の引張り最大荷重を塗膜上に貼りつけたアタッチメントの面積で除した値(kg/cm<sup>2</sup>)をいう。

## 4. 実験結果と検討

### 4.1. 塗膜付着性と水分量,水分形態との関係

予備検討において、エマルジョン型とコンクリートとの良好な付着性はレイタンスを十分に除去したのち、水希釈率30%の下塗り塗料を適用することで得られた。そこで、ここではレイタンスを十分に除去し、また下塗り塗料の水希釈率を30%にして実験した。

図-1にコンクリート中の水分量(含水率で表示)、水分形態(pF値で表示)と塗膜付着力との関係を塗料銘柄ごとに示す。同図の縦軸に示す☒印は溶剤型で必要と判断した付着力の最小値(33kg/cm<sup>2</sup>)を示す<sup>1)</sup>。

さて、ここには図示しないが、溶剤型の付着力はいずれの塗料においてもpF値の増加すなわち含水率の低下とともに増大する傾向にあった<sup>1)</sup>。しかるに、図-1に示したエマルジョン型においては、この傾向は塗料AEのスラブ上面に認められるだけであり、この塗料の他のコンクリート面のみならず他の塗料のすべてのコンクリート面では認められない。例えば塗料BEでは付着力が溶剤型とは逆にpF値の増加とともに低下する傾向にある。また、塗料AEのスラブ上面を除くコンクリート面および塗料CEのすべてのコンクリート面においては、付着力はあるpF値まで増大するが、それ以後においては逆に減少したり横ばいになる傾向にある。しかも、この変曲点になるpF値はコンクリート面や塗料銘柄によってまちまちであり、一定しない。

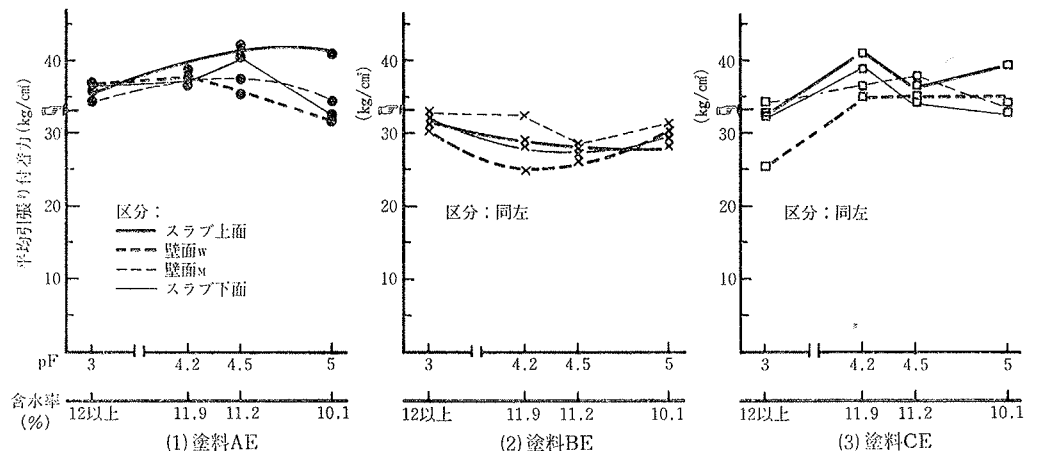


図-1 コンクリート中の水分量, pF と付着力との関係

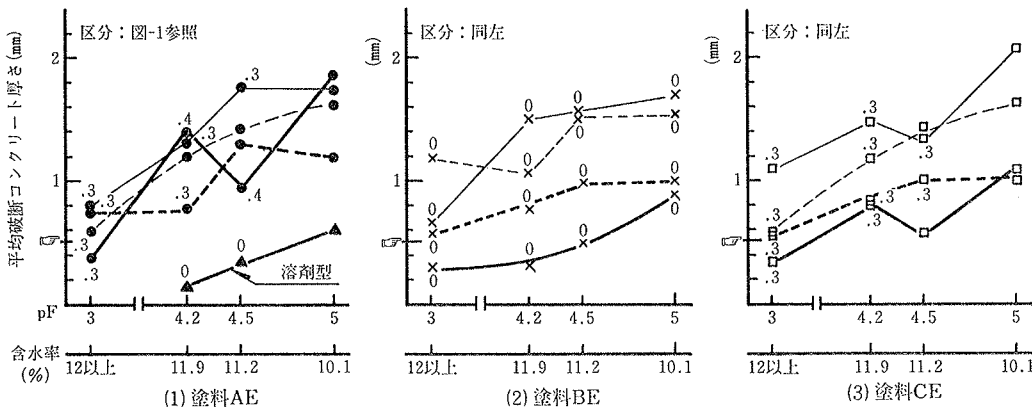


図-2 コンクリート中の水分量、pF と破断コンクリート厚さとの関係

図-2 にコンクリート中の水分量、pF 値と破断コンクリート厚さとの関係を塗料銘柄ごとに示す。同図の縦軸に示す□は溶剤型で必要と判断した破断コンクリート厚さの最小値(0.5 mm)を示す<sup>1)</sup>。図中には 0.5 mm 以下の最小破断コンクリート厚さを記入している。その際、塗料 BE の図中に示す最小破断コンクリート厚さのゼロは塗膜とコンクリートとの界面剝離部分の存在を示している。また、塗料 AE の図中には該当メーカーの溶剤型をスラブ上面に適用した際の破断コンクリート厚さを例示している。

同図において二、三の例外はあるが、それぞれのコンクリート面における破断コンクリート厚さはいずれの塗料においても pF 値の増加とともに増大する傾向にある。この傾向は例示した溶剤型のそれと同様のものであり、また、ここには示さなかった他の溶剤型を適用したすべてのコンクリート面においても顕著に認められた。

筆者は付着性良否の判断基準として、破断コンクリート厚さや破壊部位を塗膜付着力よりも重要視する。この基準から判断すれば、上述の破断コンクリート厚さがコンクリートの pF 値いいかえれば含水率に影響される傾向にあるため、エマルジョン型の付着性は溶剤型ほど顕著ではないが、やはりコンクリート中の水分条件の影響を多少受けるといえる。

ところで、溶剤型の場合、前述したように原子力発電所において必要な付着力および破断コンクリート厚さの基準値はそれぞれ 33 kg/cm<sup>2</sup>、0.5 mm と判定された<sup>1)</sup>。この基準値を溶剤型はスラブ上面の場合には pF 5 以上、壁面およびスラブ下面の場合には pF 4.5 以上で確保できた<sup>1)</sup>。エマルジョン型においては付着力は図-1 に示すように、塗料 BE および塗料 CE の壁面w を例外とするが、すでに pF 3 において上述の基準値を確保している。また、例外とした塗料 CE の壁面w においても、この基準値は pF 4.2 で確保できる。同様に破断コンクリート厚さは図-2 に示すように、塗料 AE、塗料 CE の

スラブ上面の pF 3、塗料 BE のスラブ上面の pF 3、pF 4.2 を例外とするが、pF 3 において上述の基準値を平均値として確保している。また、例外とした塗料 AE および塗料 CE のスラブ上面においても、この基準値は pF 4.2 で確保できる。このように、基準値を確保で

きる pF 値はいうまでもなくエマルジョン型で溶剤型よりも小さい。

これらのことは、エマルジョン型をかなりの低 pF 値いいかえれば高含水率のコンクリートに塗装した場合でも、その付着性はかなり良好であることを示している。また、エマルジョン型の付着性が溶剤型のそれに比べ、コンクリート中の水分条件に影響されにくいことを示している。

#### 4.2. 許容水分形態と許容水分量の検討

前述したように、エマルジョン型ではコンクリート中の水分条件の影響が破断コンクリート厚さにあらわれた。この厚さは図-2 に平均値として示しているが、図中に 0.5 mm 以下の最小値を記入しているように、0.5 mm 以上とそれ以下がかなりの pF 値において混在している。この現象は塗料 BE を例外として、スラブ上面では pF 5 以下、壁面およびスラブ下面では pF 4.5 以下で顕著である。また、塗料 BE を例外とするが、pF 3 において 0.5 mm 以上とそれ以下が混在し、しかもコンクリートと塗膜との界面剝離が認められないことは注目し値する。

また、図-3 に示すように、エマルジョン型の接着破壊割合は pF 4.2 および pF 4.5 において塗料 AE に併記した溶剤型のそれよりも著しく小さい、このことは低 pF 条件いいかえれば高含水率条件で塗装した際の付着性がエマルジョン型で溶剤型よりも格段に優れていることを示している。

さて、溶剤型で明らかにしたように、原子力発電所の LOCA 時 (Loss of Coolant Accident) の高温高湿条件に耐えるためには、破断コンクリート厚さは 0.5 mm 以上必要である<sup>2)</sup>。そこで、エマルジョン型の破断コンクリート厚さ 0.5 mm 以下の面積割合を求め、塗料 AE、塗料 CE の場合を接着破壊割合として図-3 に示す。同図の塗料 AE には該当メーカーの溶剤型をスラブ上面に適用した際の接着破壊割合を例示している。この割合は

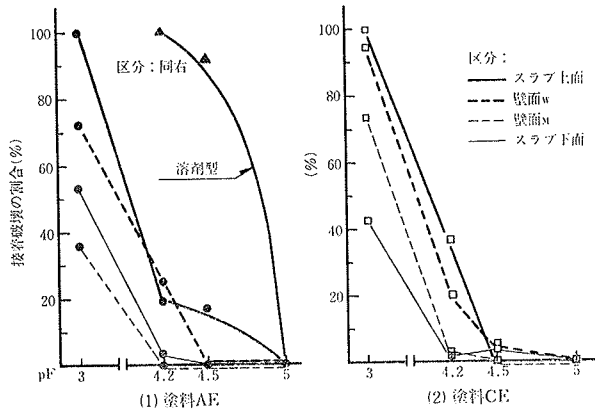


図-3 pF と塗膜の接着破壊割合との関係

付着力を測定した全面積に対する破断コンクリート厚さ 0.5 mm 以下で破壊した塗膜の面積割合を示している。当然のことながら、この割合の小さいほど付着性が良好であることを示す。また、塗料 BE は高 pF 値いいかえれば低含水率においてもコンクリートと塗膜との界面剝離が大部分であり、コンクリート内でほとんど破壊しなかったもので、ここには示していない。

図-3 において、接着破壊割合はいずれも pF 値の増加とともに減少し、最終的にはゼロになる。このゼロになる時のコンクリート中の水分条件がエマルジョン型にとって、最も望ましい塗装時の条件であると判断される。しかし、エマルジョン型の付着性は前節で述べたように、コンクリート中の水分条件に影響されにくく、また、この塗料の現場実績がないので LOCA 時の影響を受けない場所に適用を限定すれば、接着破壊割合が数パーセント存在したとしても付着性は充分であると判断される。そこで、数パーセントの接着破壊割合を示す水分条件を塗装可能な水分条件として一覧表にすれば表-1 のようである。

塗料 面	塗料		判 定
	AE	CE	
スラブ上面	5 (10.1)	4.5 (11.2)	4.5~5以上 (11~10以下)
壁 面w	4.5 (11.2)	4.5 (11.2)	4.2~4.5以上 (12~11以下)
壁 面M	4.2 (11.9)	4.2 (11.9)	
スラブ下面	4.2 (11.9)	4.2 (11.9)	4.2以上 (12以下)

注) 各欄の上段はpF値、下段の( )内は含水率(%)を示す。

表-1 許容水分形態と許容水分量

同表において、エマルジョン型の許容水分条件は塗料銘柄及びコンクリート面の違いで若干、異なるため一定

の値を特定できない。しかし、あえて判断するとすれば塗装可能な水分条件はスラブ上面で pF 4.5~5 以上 (11~10%以下)、壁面で pF 4.2~4.5 以上 (12~11%以下) およびスラブ下面で pF 4.2 以上 (12%以下) といえる。この pF 値の範囲はいずれも膨潤水・吸湿水の水分形態に一致する<sup>1)</sup>。

これらのことから、エマルジョン型はコンクリート中の水分条件の影響を受けにくいため、pF 4.2 以下の毛管水領域で塗装した際にも付着性はある程度、発揮できると判断された。しかも、その付着性は pF 4.2 以下で塗装した溶剤型のそれよりも格段に優れていると判断された。しかし、原発用耐放射線性塗料に要求される条件は非常に厳しいため、塗装は付着性を安定して得られる膨潤水・吸湿水領域の水分形態で実施すべきであると判断された。そして、塗装の際の許容 pF 値および水分量はスラブ上面、壁面およびスラブ下面ごとに決定すれば良いと判断された。

#### 4.3. エマルジョン型と溶剤型の許容水分条件の比較

溶剤型は pF 4.2 以下の毛管水領域で塗装した場合、すべて接着破壊を示すので、この条件では絶対に塗装してはいけないと判定された<sup>1)</sup>。

他方、エマルジョン型はコンクリート中の水分条件の影響を受けにくいため、溶剤型で絶対に塗装してはいけないとされた pF 4.2 のみならず pF 3 においてもコンクリートと塗膜との界面で剝離せず、ある程度の付着性を発揮できた。また、良好な付着性を発揮できる許容水分条件は塗料銘柄およびコンクリート面で若干、異なっていた。

表-2 にエマルジョン型および溶剤型の許容水分条件をコンクリート面ごとに示す。

塗料 面	塗料	
	エマルジョン型	溶 剤 型
スラブ上面	4.5~5以上 (11~10以下)	5以上 (10以下)
壁 面	4.2~4.5以上 (12~11以下)	4.5以上 (11以下)
スラブ下面	4.2以上 (12以下)	4.5以上 (11以下)

注) 各欄の上段はpF値、下段の( )内は含水率(%)を示す。

表-2 エマルジョン型と溶剤型の許容水分形態と許容水分量

同表において明らかになるように、エマルジョン型の許容水分条件は、いずれのコンクリート面においても溶剤型のそれよりもやや低 pF であり、また含水率も 1% 程度高い。そして、前述したようにエマルジョン型の付着性は pF 3 においてもある程度発揮できる。

このことから、エマルジョン型は溶剤型よりもゆるや

かな水分条件で塗装できると判定された。それゆえ、エマルジョン型を塗装する際のコンクリート中の水分管理は溶剤型ほど厳重に実施しなくても良いと判断された。

4.4. コンクリートの所要乾燥期間の検討

前述したように、エマルジョン型は溶剤型よりもやや高含水率のコンクリートに塗装できる。このことは塗装開始までに必要なコンクリートの乾燥期間がエマルジョン型適用時で溶剤型適用時よりも短いことを意味する。

さて、溶剤型の場合、某原子力発電所においては表-3に示すように、スラブ上面ではコンクリート打設4~5ヶ月後、壁面ではコンクリート打設2~3ヶ月後(型枠脱型1~1.5ヶ月後)に塗装している。エマルジョン型を塗装できる許容含水率は表-2で前述したように、溶剤型よりも1%程度高い。某現場で実測したコンクリート中の含水率の経時変化を参考にすれば、この1%の差は現場において少なくとも0.5~1ヶ月の乾燥期間の差としてあらわれると推察される。

塗料	溶剤型	エマルジョン型
スラブ上面	コンクリート打設4~5ヶ月後	コンクリート打設3~4ヶ月後
壁面	コンクリート打設2~3ヶ月後 (型枠脱型1~1.5ヶ月後)	コンクリート打設1.5~2ヶ月後 (型枠脱型0.5~1ヶ月後)

注) 溶剤型は某原子力発電所の実測値、エマルジョン型は推定値を示す。

表-3 塗装開始までのコンクリートの所要乾燥期間

このことから、エマルジョン型適用時のコンクリートの乾燥期間は溶剤型適用時のそれよりも少なくとも0.5~1ヶ月短縮できると推察された。

5. まとめ

市販のエマルジョン型耐放射線性塗料三銘柄を供試し、スラブ上面、壁面及びスラブ下面のそれぞれについて、コンクリート中の水分条件と常温放置時における塗膜付着性との関係を検討した。その際、水分条件として水分量(含水率)だけでなく水分形態(pF値)も導入して研究を行ない、以下のことが判明した。

(1) 付着力と水分条件とのあいだには明確な関係はなかった。しかし、破断コンクリート厚さはpF値の増加いいかえれば含水率の低下とともに増大する傾向にあった。このことから、エマルジョン型の付着性は溶剤型ほど顕著ではないが、コンクリート中の水分条件の影響を多少、受けると判断された。なお、この影響は溶剤型の場合に比べて著しく小さかった。

(2) エマルジョン型はコンクリート中の水分条件に影響されにくいとされたため、溶剤型で絶対に塗装してはいけないとされたpF4.2以下の毛管水領域、例えばpF3においてもコンクリートと塗膜との界面剝離が発生せず、ある程度の付着性を発揮できた。

(3) エマルジョン型は溶剤型よりも1%程度の高含水率条件で塗装できた。この1%の差によって、現場におけるコンクリートの乾燥期間はエマルジョン型適用時で溶剤型適用時よりも0.5~1ヶ月程度、短くなると推察された。

参考文献

- 1) 喜田, 住野, 後藤: 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
- 2) 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5), 大林組技術研究所報, No. 18, (1979), pp. 60~64