

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11)

—エマルジョン型塗料の付着性 (その2)—

住野正博 喜田大三

Studies on Irradiation Resisting Paints for Concrete Structures in Nuclear Power Plant (Part 11)

—Adhesion of Emulsion Type Paint (Part 2)—

Masahiro Sumino Daizo Kita

Abstract

At room temperature, irradiation resisting paints of emulsion type can adhere tightly to concrete under conditions of higher moisture content than in case of using solvent type paint. If emulsion type paint were to exhibit such excellent adhesion as well as solvent type paint after being exposed to 140°C, 100% RH for three days and back water pressure, it might be expected that use of emulsion type will enable the time required for painting work to be shortened. Therefore, this possibility was examined experimentally and the following results were obtained. (1) It is necessary for emulsion type paint to be applied to concrete just as sufficiently dry as for solvent type paint in order to endure to such severe conditions. (2) If emulsion type paint were to be applied to a place exposed to such severe conditions, it is not possible to shorten painting work time. However, the time can probably be shortened about one month when emulsion type paint is applied to places other than the above.

概要

前報で述べたように、エマルジョン型の付着性は常温放置時の場合、溶剤型よりも低pF指数すなわち高含水率のコンクリートに塗装しても良好である。このことは、エマルジョン型の適用で塗装開始時期が溶剤型適用時よりも早められることを示唆している。この特長が高温高湿暴露時や背面水圧下においても発揮できれば、エマルジョン型の全面適用で塗装開始から終了までの工期は溶剤型適用時よりも短縮できると予想された。そこで、この可能性を実験的に検討した。その結果、次のことが判明した。

(1) 高温高湿暴露や背面水圧に耐えうるエマルジョン型の付着性は溶剤型適用時と同じ条件まで十分に乾燥したコンクリートに塗装して得られる。また、その際の付着性は塗料銘柄で顕著に異なる。(2) 高温高湿暴露や背面水圧の影響を受ける部位にエマルジョン型を適用しても塗装工期は溶剤型適用時よりも短縮できない。一方、このような特殊条件の部位を除けば、前報の結果から塗装工期は溶剤型適用時よりも1ヶ月程度短縮できると予想される。

1. はじめに

近年、建設される原子力発電所では工法開発、工程合理化、設計見直しなどで建設工期は以前よりも大幅に短縮されてきている。これに伴い、コンクリート建家の塗装工事についても他工事との関係上、塗装開始から終了

までの工期短縮がこれまで以上に要望されている。

この短縮には現在のところ塗装開始時期を早める方法が考えられ、それには強制乾燥でコンクリートの乾燥期間を短縮する方法、乾燥不十分なコンクリート面にエマルジョン型塗料を適用する方法が考えられる。前者は現場に多大な設備と費用を必要とするためにあまり現実的

でなく、後者が最も実現可能な方法として大いに期待され、注目されている。しかし、この塗料は最近開発されたばかりなので、わが国では現場適用例がなく、またその塗装条件ならびに性能が十分に明らかにされていないのが現状である。

ところで、前報で述べたように、常温下で検討したエマルジョン型の付着性とコンクリート中の水分条件との関係から、この塗料の塗装開始時期は溶剤型適用時よりも1ヶ月程度早められると予想された。このことは、この塗料が原子力発電所で要求される諸性能を満足できれば、これまで適用してきた溶剤型をこの塗料に全面的に代えることで塗装開始時期が1ヶ月程度早められ、ひいては塗装工期の短縮がはかれることを示唆している。

そこで、エマルジョン型の全面適用の可能性と適用区分の明確化を目的として、耐放射線性塗料に要求される諸性能から最も過酷と思われる LOCA 時 (Loss of Coolant Accident) を想定した耐高温高湿性を検討した。また、あわせて背面水圧のかかった地下水浸透を予想されるベースマット部のコンクリートに塗装した場合を想定した試験を行なった。

本報ではこれら試験後の塗膜付着性を明らかにするとともに溶剤型との性能比較からエマルジョン型の適用性について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3銘柄(塗料 AE, BE, CE)を供試した。

2.2. 被塗装体

所定調合のコンクリートで所定サイズのブロックを作製した¹⁾。型枠を脱型し、所定期間水中養生したのち pF 3, 4.2, 4.5, 5 の条件に所要期間養生して供試体作製に供した¹⁾。なお、これの上面はスラブ上面(金ごて仕上げ)、側面は壁面、下面はスラブ下面を想定している。

2.3. 供試体

(1) 高温高湿暴露試験用 被塗装体全面をディスクサン

ダーがけ(ペーパー No. 14) 後ウエスぶきし、再度、pF 養生した。次いでメーカー指定の塗装仕様準じて1日1回塗りの間隔で刷毛で全面に所定量を塗布した。塗装終了後、室温で3週間硬化、養生して実験に供した。

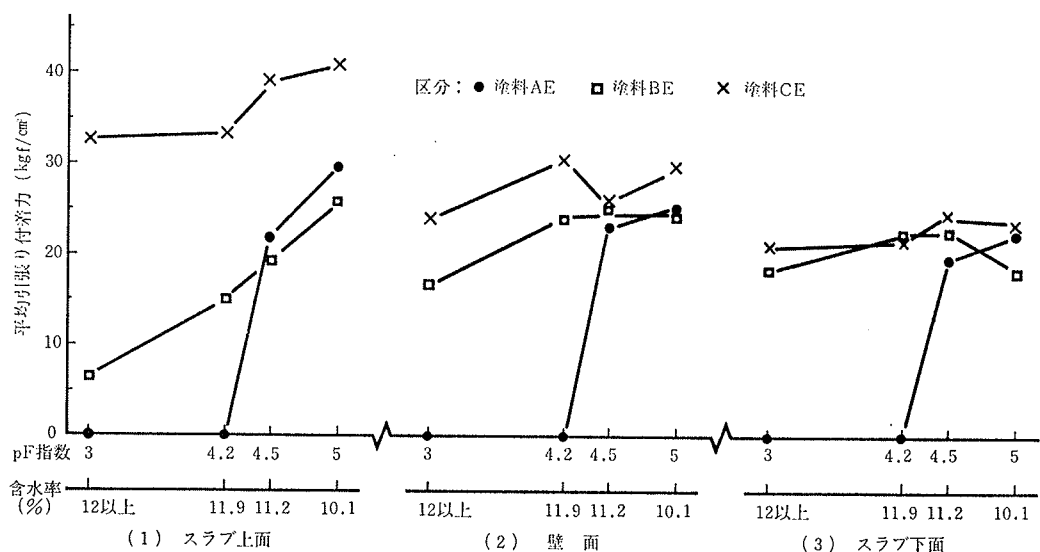
(2) 背面水圧を想定した加圧水圧下での試験用 全面をディスクサンダーがけした被塗装体を用いた。完全硬化後の塗膜(プライマー)について背面水圧の影響を見る供試体はスラブ上面のみを同様に塗装した。半硬化状態の塗膜(プライマー、20°Cで8~10時間)について、この影響を見る供試体はスラブ上面のみにプライマーを約20°Cで塗装し、所定時間放置後、塗膜下約15mmまで約20°Cの水に常圧下で水浸した²⁾。翌日から上記と同様に塗装し、それぞれの塗装が終了後、ただちに同様に水浸し、上塗りを終了した翌日に水から引きあげた。なお、上記供試体はいずれも上塗り後、室温で3週間養生して実験に供した。

3. 実験方法

下記の条件で試験したのち常法で塗膜付着力と破断コンクリート厚さを測定した¹⁾。なお、ここで言う塗膜付着力とは測定時の最大引張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をいう。

(1) 高温高湿暴露試験 所定の装置を用い温度140°C、湿度約100%の条件に供試体を3日間暴露した³⁾。

(2) 背面水圧を想定した加圧水圧下での試験 塗膜面を下にして供試体を所定の方法で容器に固定した。次いで塗装面と反対側のコンクリート面から水がコンクリート中を浸透するように水を加えたのち、コンプレッサーで3.5 kgf/cm²の圧力を4ヶ月加えた⁴⁾。



図一 高温高湿条件に暴露時の塗膜付着力

4. 実験結果と検討

4.1. 高温高湿暴露試験の結果

4.1.1. 水分条件と塗膜付着力の検討 図-1 に高温高湿暴露時の塗膜付着力と pF 指数および含水率との関係をコンクリート面ごとに示す。

同図において壁面での塗料 CE, スラブ下面での塗料 BE を例外として, 付着力は pF 指数の増加すなわちコンクリート中の水分量の減少とともに増大する傾向にある。この傾向は特に塗料 AE に顕著に認められ, 付着力は pF 4.2 を境にして顕著に異なる。pF 4.2 以下においては図-2 で後述するように, 塗膜内破壊が全面的に生じており, これが付着力に顕著な差異を生じさせたと判断される。また, 例外とした塗料 BE の場合, 付着力は pF 4.5 まで増大しながら pF 5 では pF 3 と同程度まで低下しているが, この現象にも図-2 で後述する塗膜内破壊が関与していると思われる。

ところで, いくつかの例外はあるものの, 付着力が pF 4.2 以下のみならず pF 4.5 や pF 5 においても 20~25 kgf/cm² の低い値を示していることに注目される。前報で検討した常温放置時の場合, いくつかの例外はあったものの, エマルジョン型の付着力はすべてのコンクリート面に対して pF 3 の条件でさえも 30 kgf/cm² 以上を示し, 非常に大きかった⁵⁾。また, 過去に検討した溶剤型においては, 高温高湿暴露時の付着力は常温放置時よりも低下するものの, pF 4.5 以上においては 30 kgf/cm² 程度を示した³⁾。このようにエマルジョン型の付着力が高温高湿暴露時に低くなる原因については後述の表-1 で検討する。

4.1.2. 水分条件と塗膜破壊形態の検討 図-2 に高温高湿暴露時の塗膜破壊割合と pF 指数との関係を塗料銘柄ごとに示す。この割合は付着力の全測定面積を 100 として, それぞれの破壊部位の面積の割合を百分率で示している。また, 同図の接着破壊とは破断コンクリート厚さ 0.3 mm 以下の破壊状態を言い, コンクリート破壊とは破断コンクリート厚さ 0.5 mm 以上の破壊状態を言う。

同図において, 塗膜破壊部位とその割合は塗料銘柄, pF 指数およびコンクリート面で顕著に異なる。

塗料 AE の場合, 塗膜内破壊は pF 4.2 以下のすべてのコンクリート面に全面的に生じ, コンクリート破壊はスラブ上面の pF 5, 壁面およびスラブ下面の pF 4.5 以上でほぼ全面的に生じている。その際, pF 4.2 以下における塗膜内破壊は付着力測定器の取付け中に生じたものであり, 塗膜自身の強度低下が著しいと言える。同様の傾向は塗料 CE にも認められるが, pF 4.2 以下にお

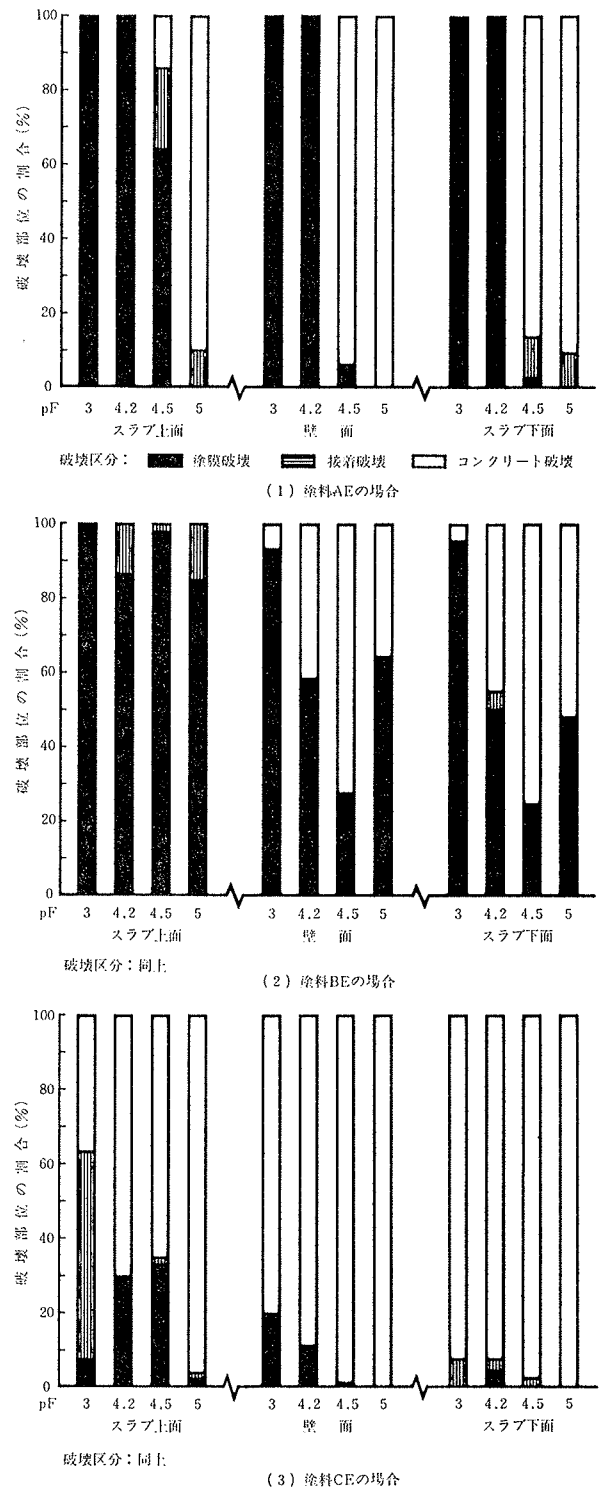


図-2 高温高湿条件に暴露時の塗膜破壊形態

ける塗膜内破壊は塗料 AE よりも大幅に少ない。塗料 BE には上記 2 銘柄のような傾向は認められず, 塗膜内破壊はスラブ上面の pF 5 でさえも 85% 生じ, 壁面およびスラブ下面の pF 4.5 以上で 25~65% 生じている。しかも, 壁面とスラブ下面においては, 塗膜内破壊が pF 5 で pF 4.5 の場合よりも増大し, pF 3 の場合と同程度

を示している。

以上のことと前述した付着力の結果は、高温高湿暴露時の付着性が塗装時のコンクリート中の水分形態や水分量に影響されるものの、その影響程度は塗料銘柄で非常に異なることを示している。例えば塗料 AE および塗料 CE はスラブ上面に pF 5 以上、含水率10%以下、壁面およびスラブ下面に pF 4.5 以上、含水率11%以下の条件で塗装すれば、高温高湿暴露にほぼ耐えられと判断される。一方、塗料 BE は塗装時のコンクリート中の水分条件とは無関係に高温高湿暴露時には塗膜自身の強度低下が他の2銘柄よりも大きいため、この暴露に耐えられるとは言いきれない。

4.1.3. 高温高湿暴露の影響 前述したように、高温高湿暴露時の付着力はエマルジョン型で溶剤型よりもかなり低い。この原因として、暴露時の影響が前者で後者よりも大きいことが予想された。そこで、この影響程度を検討するため、図-2からコンクリートでほぼ全面破壊する場合の pF 指数と塗料銘柄を選定し、付着力比と破断コンクリート厚さ比を求めて溶剤型塗料との場合を比較し、表-1に示した。その際、例えば付着力比とは常温放置時の付着力に対する高温高湿暴露時のその割合を百分率で示している。当然のことながら、同比が大きいほど付着力は高温高湿暴露で低下しにくいことを示している。

同表において、エマルジョン型の両比はスラブ下面で溶剤型よりもわずかに小さい傾向にあるが、スラブ上面および壁面では溶剤型と同等以上を示している。このことは高温高湿暴露の影響が両塗料型で同程度であることを示しており、当初予想した原因が上記した現象にあまり関与していないことを示唆している。

ところで、高温高湿暴露の影響が両塗料型で同程度であれば、当然のことながら常温放置時の付着力が低いほど高温高湿暴露時の付着力も小さくなる。そこで、常温放置時のエマルジョン型（塗料 AE、塗料 CE）と溶剤型との付着力を比較した。結果は表示しないが、エマルジョン型の付着力は溶剤型よりも pF 5 のスラブ上面で最大 8 kgf/cm²、pF 4.5 および pF 5 壁面とスラブ下面で 6~11 kgf/cm² 小さかった。このことから、高温高湿暴露時の付着力がエマルジョン型で溶剤型よりも小さかったのは、常温放置時の元来の付着性が前者で後者よりも小さかったことに起因すると予想された。

4.2. 背面水圧下での塗膜の付着力と破壊形態の検討

背面水圧の影響を検討する前に pF 4.2, 4.5 および 5 の条件で塗装し、半硬化状態になった塗膜に及ぼす常圧下の背面水の影響を予備的に検討した²⁾。その結果、pF 5 で塗装した塗料 AE、塗料 CE の付着力は 30 kgf/cm²

コンクリート面	塗料型	付着力比		破断コンクリート厚さ比	
		pF 4.5	pF 5	pF 4.5	pF 5
スラブ上面	エマルジョン型	—	71~103	—	72~177
	溶剤型	—	83~96	—	60~90
壁面	エマルジョン型	65~74	77~87	59~123	100~119
	溶剤型	69~75	70~75	41~97	74~86
スラブ下面	エマルジョン型	52~71	68~71	94~165	74~114
	溶剤型	74~80	73~85	155~214	104~117

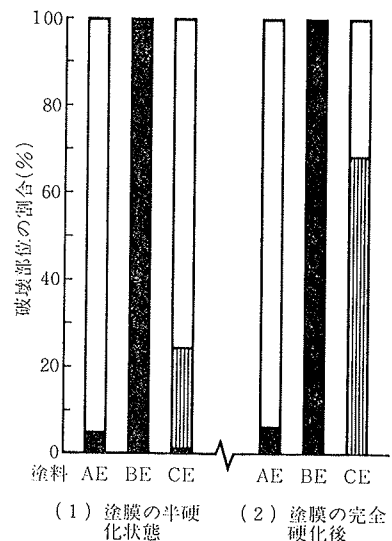
表-1 付着力比と破断コンクリート厚さ比

以上、破壊形態はコンクリートのほぼ全面破壊を示し、溶剤型塗料を同じ条件で検討した場合のそれと同等を示した。一方、塗料 BE は pF 5 においても60%以上の塗膜内破壊を示し、塗膜自身の強度低下が大きかった。このことから、背面水圧の影響は pF 5 で塗装した場合について検討することにした。

図-3に 3.5 kgf/cm² の背面水圧を4ヶ月間かけた場合の塗膜破壊形態を示す。

同図において明らかなように、塗膜破壊部位とその割合は塗料銘柄で顕著に異なる。塗料 AE は塗膜の半硬化状態および完全硬化後のいずれにおいてもコンクリート内ではほぼ全面破壊しているのに対し、塗料 BE はすべて塗膜内で破壊している。塗料 CE には接着破壊とコンクリート破壊が混在し、しかも前者はどちらかといえば塗膜とコンクリートとの界面剥離に近い状態であった。また、接着破壊の割合は塗膜の完全硬化後で半硬化状態の際の2倍以上を示し、一般に予想される現象とは逆の傾向を示している。

塗膜付着力の結果は表示しないが、塗料 AE および塗料 CE は塗膜の半硬化状態および完全硬化後のいずれにおいても 40 kgf/cm² 以上を示した。一方、塗料 BE は13~



破壊区分：図-2 参照

図-3 背面水圧下での塗膜破壊形態

15 kgf/cm² を示し、他の2銘柄の場合よりも著しく小さかった。この低い付着力は上記した塗膜内での全面破壊に起因すると判断された。

このことは背面水圧の影響を受ける部位にエマルジョン型を適用する場合、コンクリートを pF 5 以上、含水率10%以下まで乾燥させたのちに塗装するとともに塗料銘柄の選定を適切に行なう必要があることを示している。なお、この塗装時のコンクリート中の水分条件は同様の背面水圧の影響を受ける部位に溶剤型を適用する際の条件と同じである^{3),4)}。

4.3. エマルジョン型の適用性に関する一見解

前述した高温高湿暴露時と背面水圧下での塗膜付着性および前報の常温放置時のそれから、エマルジョン型の適用性について次のことが言える。

(1) 高温高湿暴露および背面水圧に耐えうる付着性を得るには、例えばスラブ上面の場合、pF 5 以上、含水率10%以下までコンクリートを十分に乾燥したのちに塗装する必要がある。この水分条件は溶剤型適用時と同じである。したがって、上記の影響を受ける部位にエマルジョン型を適用したとしても塗装開始時期を溶剤型適用時より早めることができないため、塗装工期短縮という当初の目標は達成できない。なお、後述する有機ガス対策上、エマルジョン型を適用する場合、上記した付着性は塗料銘柄で非常に異なるため、適正な銘柄選定が必要である。

(2) 高温高湿暴露および背面水圧の影響を受けない部位についてはエマルジョン型適用によって、塗装工期は溶剤型適用時よりも1ヶ月程度短縮できると予想される。また、エマルジョン型は有機ガスを発生しないため、ガス中毒の予防対策を必要としない利点が得られる。

5. まとめ

市販のエマルジョン型耐放射線性塗料について、コンクリート中の水分条件すなわち pF 指数で表示する水分形態、含水率で表示する水分量と高温高湿暴露時および

背面水圧下での塗膜付着性の関係を検討した。そして、エマルジョン型を全面適用することで原子力発電所コンクリート建家の塗装開始時期を溶剤型適用時よりも早め、塗装開始から終了までの工期を短縮する可能性について検討した。その結果を以下に示す。

(1) 高温高湿暴露および背面水圧に耐えうる塗膜付着性を得るためには、溶剤型適用時と同じ条件までコンクリートを十分に乾燥して塗装する必要がある、あわせて塗料銘柄の選定を適切に行なう必要がある。

(2) 上記のことから、高温高湿暴露および背面水圧の影響を受ける部位にエマルジョン型を適用したとしても塗装開始時期が溶剤型適用時よりも早められないため、塗装工期は溶剤型適用時よりも短縮できないといえる。一方、これらの影響を受けない部位については、前報の結果からエマルジョン型適用によって塗装工期は溶剤型適用時よりも1ヶ月程度短縮できると予想される。そのほか、エマルジョン型適用によって、有機ガス中毒の予防対策も不要になる利点が得られる。

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6), 大林組技術研究所報, No. 19, (1979), pp. 69~73
- 3) 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, (1978), pp. 60~64
- 4) 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7), 大林組技術研究所報, No. 20, (1980), pp. 101~106
- 5) 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10), 大林組技術研究所報, No. 26, (1983), pp. 126~130