

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)

喜 田 大 三
住 野 正 博

Studies on Irradiation Resisting Paints for Concrete Structures in Nuclear Power Plant (Part 6)

Daizo Kita
Masahiro Sumino

Abstract

It is said that adhesion of paints to concrete is greatly decreased by action of water exuded from concrete and laitance layers at concrete surfaces, but details are not clearly known. Therefore, the relations between adhesion of paint, exudation time of water after application of primer to concrete, and thickness of laitance were examined. The following results were obtained. (1) The necessary adhesion of paint was not obtained in case of water exuded while primer is less than half dry. (2) Good adhesion of paint was obtained with laitance less than 8μ in thickness and it was learned that the thickness could be made less than 8μ with a disk sander. (3) The laitance thickness can be readily judged by change of color when clear epoxy coating is applied to the concrete surface.

概 要

塗膜とコンクリートとの付着性は前報で検討したコンクリート中の水分条件のほか、コンクリート内からの浸出水やコンクリート表面のレイタンスによって大きく低下するといわれているが、その詳細は明らかでない。そこで、塗膜付着性をプライマー塗装後の養生時間と浸出水のコンクリート・プライマー界面への到達時間との関係およびレイタンス厚さとの関係で検討した。その結果、以下の知見を得た。(1)プライマーの半硬化時間以前に水がコンクリート・プライマー界面に浸出し、凝縮すれば所要の付着性は得られなかった。(2)プライマーの硬化後に同様に水が浸出し、長期間、前記界面に凝縮する場合には付着性は低下するが、その低下の程度は塗装時のコンクリートの乾燥程度と塗料の種類で異なった。(3)レイタンスの厚さが 8μ 以下において良好な塗膜の付着性が得られ、従来のディスクサンダー処理で 8μ 以下にできることが判明した。また、レイタンス厚さはエポキシ塗料のクリアーをコンクリート表面に塗布した際の色の変化で容易に判別できた。

1. はじめに

原子力発電所の一次系建家（原子炉建家、補機建家）の室内コンクリート面には耐放射線性塗料が塗装されている。この塗装は放射性物質の床、壁面などへの付着防止と除染性向上のためであり、発電所の運転、保守上の重要な役割を担っている。この役割を果し、また優れた塗料の諸性能を十分に発揮するためにも塗膜は下地コンクリートと十分に付着することが必要である。この付着性に影響するコンクリートからの要因として水分、素地調整程度等があげられる。

前報ではコンクリートの乾燥過程で外気の温・湿度条件で定まるコンクリート内の水分条件をとりあげ、水分形態（pF 指数で表示）ならびに含水率と塗膜付着性との関係を検討した¹⁾²⁾。一方、塗膜付着性に影響する水分には地下水等がコンクリート内へ浸透し、コンクリート表面に浸出する水分も考えられる。例えば、現場では塗装日程に余裕がなく、しかもコンクリートの含水率が高い場合、所定含水率まで強制乾燥したのちに塗装しているが、この方法では塗膜の付着性が十分に発揮されない場合もあり、特にベアスマット部の床面の塗膜にふくれ、はがれ等のトラブルの発生する場合がある。この現象に

は前述の浸出水が主に関与していると考えられるが、その詳細は明らかでない。また、塗膜付着性はコンクリート表面のレイタンスで低下するといわれ、前報ではレイタンスを完全に除去して実験、検討した¹⁾²⁾。現場でも当然のことながらレイタンスを十分に除去したのちに塗装している。しかし、レイタンス厚さと塗膜付着性との関係は検討されておらず、どの程度まで素地調整を実施すれば良いのか明らかでない。

このような状況において浸出水やレイタンス厚さと塗膜付着性との関係を明らかにすることは塗装上、重要である。本報ではコンクリート内からの浸出水が硬化中あるいは硬化後のプライマーいいかえれば塗膜の付着性にいかん影響するかを検討し、またレイタンス厚さと塗膜付着性との関係を検討した資料を報告する。

2. 供試塗料および被塗装体の作製

2.1. 供試塗料

市販の耐放射線性塗料から塗料Ⅰ～Ⅲを供試した。

2.2. 被塗装体の作製

関西電力(株)美浜原子力発電所の実績調査を参考に前報と同じ条件でサイズ 80×80×200 mm のブロックを作製し²⁾、所定期間、水中養生後、実験に供した。

なお、被塗装体の上面は床面、側面は壁面、下面はスラブ下を想定している。

3. 実験方法

3.1. 付着性へのコンクリート内からの浸出水の影響

3.1.1. 硬化中のプライマーへの浸出水の影響 所定の方法で pF 5.5 に調整し¹⁾、ディスクサンダー処理した被塗装体の床面に温度約20℃でプライマーを刷毛塗装し、所定時間放置後、約20℃の水中に床面下約2 cm まで一晩浸漬した。翌日から1日、1回塗りの間隔で塗装し、それぞれの塗装が終了後、ただちに同様に水浸した。上塗り終了後、30日間水浸したのちに所定の方法で塗膜の付着力を測定した¹⁾。なお、同様に処理した別の被塗装を用い、塗装しないで同様に水浸し、床表面への水の浸出時間をあらかじめ測定した。

3.1.2. 硬化後のプライマーへの浸出水の影響 pF 4.5, 5.5 に調整し、ディスクサンダー処理した被塗装体の床面に1日、1回塗りの間隔で塗装し、上塗り終了後21日間室内で養生したのちに3.1.1.と同様に12ヶ月間水浸し、塗膜付着力の経時変化を求めた。

3.2. 付着性への素地調整法とレイタンス厚さの影響

若材令コンクリートを用い床面に金ごてで仕上、金ブラシ処理(打設約20時間後)、刷毛びき処理(打設約6時間後)の素地調整を行なったのちに所定の方法で水中養生、

pF 養生を行なった。また、pF 養生後のコンクリートを用い床、壁、スラブ下のディスクサンダー処理、壁、スラブ下のウエスぶきを行なった。以後の塗装、養生および付着力の測定は所定の方法で行なった¹⁾。また、レイタンス厚さはペイントインスペクションゲージ(エリクセン社製、455型)で測定した。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をいう。

4. 実験結果と検討

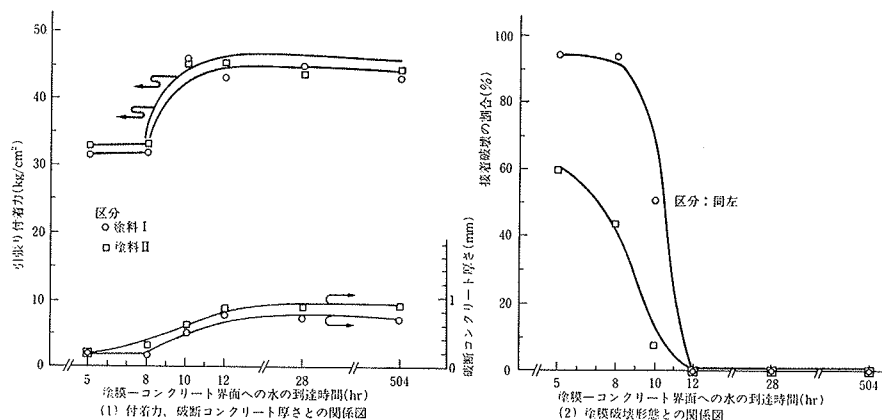
4.1. 付着性へのコンクリート内からの浸出水の影響

4.1.1. 硬化中のプライマーへの浸出水の影響 塗装日程に余裕がなく、しかもコンクリートの含水率が高い場合、現場ではジェットヒーター等でコンクリート表面を所定含水率まで強制乾燥後、塗装している。しかし、この方法では塗膜の付着性が十分に発揮されない場合もあり、特にベースマット部の床面の塗膜にふくれ、はがれ等のトラブルの発生する場合がある。この現象はプライマーの塗装後にコンクリート内部から浸出水がコンクリートとプライマーとの界面に凝縮し、塗料の硬化反応に悪影響することに起因すると推察された。そこで、塗膜の付着性が完全に発揮できる pF 5.5 の被塗装体の床面に約20℃の温度条件下で塗装し、コンクリート内からの浸出水が硬化反応中のプライマーにおよぼす影響を検討した。

図-1に浸出水の到達時間と塗膜付着力および破断コンクリート厚さとの関係を示す。同図には塗膜の接着破壊割合と浸出水の到達時間との関係も併記した。

同図において、両塗料の付着力は水の到達時間10時間で急激に増大し、それ以後、付着力の増大は認められない。その際、10時間以前と以後における付着力の差は約10 kg/cm²と非常に大きい。また、付着力の場合と時間的ずれがやや認められるものの破断コンクリート厚さにも同様の傾向が認められる。すなわち、8時間以前において破断コンクリート厚さは全て0.5 mm 以下を示し、10時間では0.5 mm 以下と以上が混在している。しかし、12時間以後では全て0.5 mm 以上を示している。この塗膜付着性と水の到達時間との関係は併記した塗膜破壊形態との関係で一層明らかになり、10時間における接着破壊の割合は塗料Ⅰで48%、塗料Ⅱで9% 存在しているが12時間以後では両塗料とも0% を示している。なお、本報では接着破壊を破断コンクリート厚さ0.5 mm 以下で塗膜が破壊した状態と定義する。

これらのことから、20℃で塗装した場合にはプライマーの塗装後、12時間以前に水がコンクリート・プライマー界面に浸出し、凝縮すればプライマーの付着性は発揮



図一 硬化中のプライマーの付着性におよぼすコンクリート内からの浸出水の影響

されないと判断される。この時間は20℃におけるプライマーの半硬化時間にはほぼ一致している。

ところで、前述の半硬化時間は当然のことながら温度によって異なり、メーカーの資料および一部行なった実験から同時間を求めたところ下表のようである。同表の時間を基に同様の実験は実施しなかったが、同様の結果が得られると推察される。

温 度 ℃	5	10	20	30
半 硬 化 時 間 hr	30~35	20~24	10~12	3~4

以上のことから、プライマーの半硬化時間以前に水がコンクリート・プライマー界面に浸出し、凝縮する場合にはプライマーいにかえれば塗膜の付着性は十分に発揮されないと判断された。なお、床面の場合、この時間の現場管理はゴムシートの敷設が可能であると考えられる。これは、適当なサイズのゴムシートを敷き、所定時間経過後にそのシートを除去した際にコンクリート表面が黒ずんだ色をしている場合には塗装不可と判断する方法である。

4.1.2. 硬化後のプライマーへの浸出水の影響 現場では塗膜が硬化したのちにおいても、防水の不十分なコンクリート部分から地下水がコンクリート内へ浸透し、コンクリート・プライマー界面へ浸出し、凝縮する状況が予想される。このような場合には前記界面が長期間、水と接することとなり、プライマーの付着性が不十分な部分では塗膜にふくれ、はがれ等の発生することが予想される。しかし、現場では、このような水の条件でも塗膜にふくれ、はがれ等の発生しないことが要求される。そこで、pF 4.5, 5.5の被塗装体の床面に塗装し、21日間養生したのちに4.1.1.に準じて12カ月間、水浸し、硬化後のプライマーいにかえれば塗膜におよぼす浸出水の影響

を床面について検討した。

結果は図示しないが、塗膜の硬化後にコンクリート・プライマー界面が長期間、水と接する場合の塗膜付着性は塗料の種類と塗装時のコンクリートの乾燥程度によって異なると判断された。すなわち pF 4.5 のコンクリートに塗装した場合には、付着性はいずれの塗料も水との接触期間の増

加とともに低下した。しかし、pF 5.5 のそれに塗装した場合には塗料によって若干の差が認められるが、12カ月後も付着性はほとんど低下しなかった。

4.2. 付着性への素地調整法とレイタンス厚さの影響

4.2.1. 素地調整法の影響 一般に十分に硬化、乾燥したコンクリート面の素地調整法にはディスクサンダー処理以外にプラスト処理、高压空気処理、高压水処理、酸処理等がある³⁾⁴⁾。また、若材令コンクリート床面の素地調整法には刷毛びき処理、金ブラシ処理等がある³⁾⁴⁾。ここではディスクサンダー処理以外に床面では金ごて仕上、金ブラシ処理(打設約20時間後)、刷毛びき処理(打設約6時間後)、壁ならびにスラブ下ではウエスぶきを採用して実験、検討した。

図-2の床面においてディスク処理ならびに金ごて仕上の付着力は pF 指数の増加とともに増大している。しかし、金ブラシおよび刷毛びき処理では pF 4.2 から4.5に増加した際の付着力の増大は認められるが、pF 4.5から5.5に増加した際の付着力の増大は認められない。壁面においてディスク処理の付着力は pF 指数の増加とともに増大しているが、ウエスぶきのそれは増大せず、しかも両処理におけるその差は pF 指数の増加とともに拡大する傾向にある。また、スラブ下において、ディスク処理の付着力は pF 指数の増加とともにゆるやかに増大するが、ウエスぶきのそれは急激に増大し、しかも両処理のその差は pF 指数の増加とともに縮小する傾向にある。同様の傾向は図-3でも認められる。

次に非ディスク処理の効果を一層明らかにするため、図-2~3に示した破断コンクリート厚さから接着破壊の割合を求めた。図-4に塗料IIの場合を例示する。

同図において各面および各素地調整法における接着破壊の割合は pF 指数の増加とともに減少する傾向にあ

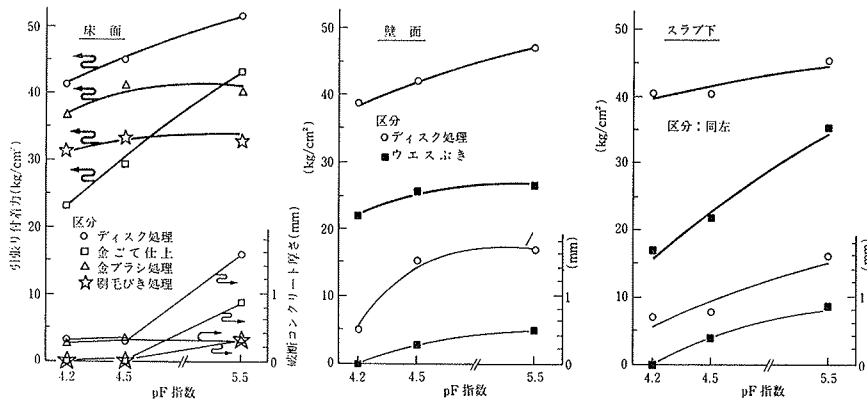


図-2 各種素地調整法と塗膜付着力との関係—塗料Ⅱ—

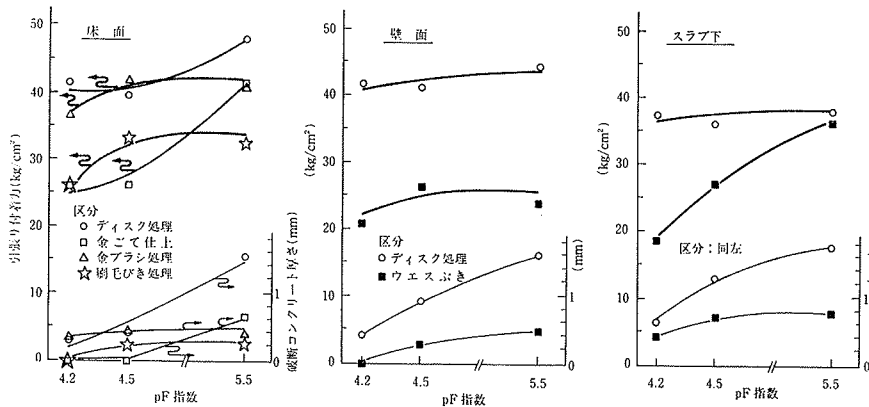


図-3 各種素地調整法と塗膜付着力との関係—塗料Ⅲ—

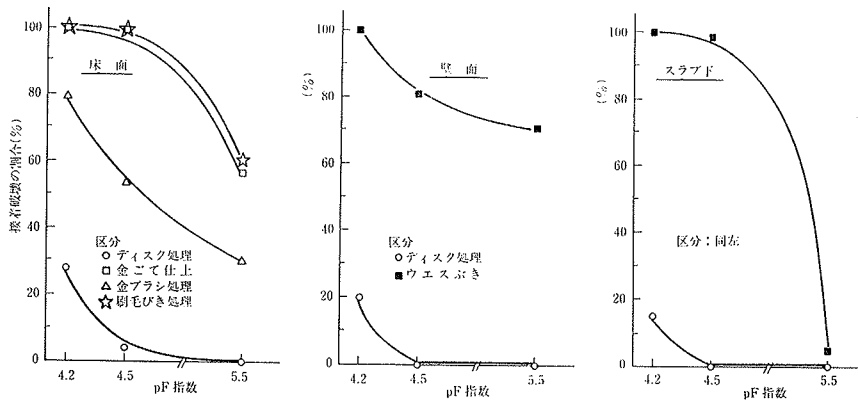


図-4 各種素地調整法と接着破壊の割合—塗料Ⅱ—

る。その際、床面における接着破壊の割合は例えばディスク処理の pF 5.5 で 0% であるのに対し、金ごて仕上および刷毛びき処理のそれは pF 5.5 でそれぞれ 56%、62% と非常に大きい。一方、金ブラシ処理のそれは pF 5.5 で 29% であり、前述の金ごて仕上ならびに刷毛びき処理のそれよりも大幅に減少している。壁およびスラブ下におけるディスク処理の接着破壊の割合は pF 4.5 以

上で 0% を示すのに対し、ウエスふきの壁面では pF 4.5 で 81%、pF 5.5 で 71% を示している。また、ウエスふきのスラブ下では pF 4.5 で 98% と非常に大きい、pF 5.5 ではわずか 5% に減少している。

これらのことから、ディスクサンダー処理ではいままでもなく非常に良好な付着性が発揮できると判断された。また、塗装時にコンクリートが十分に乾燥していれば、かなりの付着性を発揮できる処理法は床面の金ブラシ処理、スラブ下のウエスふきであると判断された。一方、コンクリートが十分に乾燥してもあまり付着性を発揮できない処理法は床面の金ごて仕上、刷毛びき処理、ほとんど付着性を発揮できないそれは壁面のウエスふきであると判断された。

4.2.2. レイタンス厚さの影響 前述の素地調整法の違いによる塗膜付着性の著しい差異はコンクリート表面のレイタンス厚さの違いに起因すると判断された。そこで、この厚

さをペイントインスペクションゲージ (エリクセン社製、455 型) で測定した。表-1 に素地調整法とレイタンス厚さとの関係を示す。

同表から明らかなように、レイタンス厚さは素地調整法で非常に異なる。この厚さと 4.2.1. に前述の結果から判断して、レイタンス厚さが 8 μ (ミクロン) 以下の場合には良好な付着性が得られ、30~40 μ の場合には、付着

面の区分	素地調整法	レイタンス厚さ	塗布後の色
床 面	ディスク処理	0 μ	黒 褐 色
	金ブラシ処理	5~8	黒 褐 色 (充分に処理した場合)
	金ごて仕上 刷毛びき処理	5~8	黒 褐 色
		15~23	灰 色
	30~40	黄 白 色	
壁 面	ディスク処理	0	黒 褐 色
	ウエスぶき	30~40	黄 白 色
スラブ下	ディスク処理	0	黒 褐 色
	ウエスぶき	5~8	黒 褐 色
		15~23	灰 色
		30~40	黄 白 色

表一 各種素地調整法とレイタンス厚さの関係

性は発揮できないと判断される。この付着性の差異は塗料樹脂のコンクリート内への浸透深さがレイタンス厚さで異なることに起因すると推察される。

また、同表において、従来のディスクサンダー処理はレイタンス厚さを8 μ 以下にできることは明らかであり、また、金ブラシで充分に処理した場合にも8 μ 以下にできると判断される。一方、金ごて仕上、刷毛びき処理およびスラブ下のウエスぶきでは40 μ までのレイタンス厚さが混在すると判断され、壁面のウエスぶきでは40 μ 程度のそれが存在すると判断される。

ところで、レイタンス厚さの違いによって塗膜付着性が異なる以上、この厚さを現場で塗装時に判断することが必要である。そして、この厚さはエポキシ塗料のクリヤーを塗布した際の色の変化で容易に判別できることが判明した。この色の変化とレイタンス厚さとの関係は、表一に示している。同表から色の変化とレイタンス厚さが密接に関係することが明らかである。

これらのことから、レイタンス厚さが8 μ 以下において塗膜の良好な付着性が得られ、従来のディスクサンダー処理で8 μ 以下にできると判断された。また、レイタンス厚さはエポキシ塗料のクリヤーをコンクリート表面に塗布した際の色の変化で容易に判別できることが判明した。

5. まとめ

原子力発電所のコンクリート建家内部に塗装する耐放射線性塗料には塗料の硬化中あるいは硬化後に水がコンクリート内から浸出し、コンクリート・プライマー界面に凝縮しても所期の付着性能を維持することが要求され

る。しかし、このような水分条件における塗膜付着性については十分に検討されていないのが現状である。また塗膜付着性はコンクリート表面のレイタンスで大きく低下するといわれているが、その詳細は明らかでない。そこで、耐放射線性塗料3種類と関西電力(株)美浜原子力発電所のコンクリート配合を用いて、塗膜付着性をプライマー塗装後の養生時間と浸出水の前記界面への到達時間との関係およびレイタンス厚さとの関係で検討した。その結果を以下に示す。

(1) プライマーの半硬化時間以前に水がコンクリート・プライマー界面に浸出し、凝縮すれば所要の付着性は得られない。この浸出時間の現場管理法として、床面の場合にはゴムシートの敷設法が考えられた。

(2) プライマーの硬化後に同様に水が浸出し長期間、前記界面に凝縮する場合には付着性は低下する。その際、乾燥の充分なコンクリートに塗装した場合の付着性低下はごくわずかであり、乾燥の不十分なそれに塗装した場合の付着性低下は大きくなると判断された。

(3) レイタンスの厚さが8 μ 以下において良好な塗膜の付着性が得られ、従来のディスクサンダー処理で8 μ 以下にできることが判明した。また、レイタンス厚さはエポキシ塗料のクリヤーをコンクリート表面に塗布した際の色の変化で判別できることが判明した。

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、関西電力(株)建設部の方々ならびに構築研究室の原田主幹、横野主任研究員、近藤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
- 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
- 3) B. Lindberg: Painting Concrete, Journal of the Oil and Colour Chemist's Association, Vol. 57, (Mar. 1974), pp. 100~113
- 4) M. Berger: Preparing Concrete Surfaces for Painting, Chemical Engineering, (Oct. 25, 1976), pp. 141~148