

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)

喜 田 大 三
住 野 正 博

Studies on Irradiation Resisting Paints for Concrete Structures in Nuclear Power Plant (Part 5)

Daizo Kita
Masahiro Sumino

Abstract

It is necessary for irradiation resisting paints to adhere tightly to concrete after being exposed to high temperature and high humidity as well as normal temperature. Adhesion of paints to concrete is greatly affected by moisture content and the form of moisture in concrete. Therefore, the relation between adhesion of paints after being exposed to 140°C, 100% RH conditions and these moisture conditions in concrete was examined. The following results were obtained. (1) Adhesion of paints after exposure to these severe conditions becomes stronger as the pF value increases, that is, as moisture content falls. (2) Paints must be applied to floor surfaces at pF 5 or over and moisture content 4.4% or under, to wall and ceiling surfaces at pF 4.5 or over and moisture content 4.9% or under so as not to peel off from concrete after exposure to these severe conditions. (3) Adhesion of paints after exposure to these conditions for three days showed a decrease of 20 to 30% in comparison with exposure to normal temperature.

概 要

塗膜とコンクリートとの付着性はコンクリート中の水分量のみならず水分形態 (pF 指数で表示) にも影響される。前報ではこれら水分条件と付着性との関係を常温で検討し、塗装時の許容水分条件に関する知見を得た。一方、耐放射線性塗料には常温のみならず高温高湿に暴露されても剥離しない性能が要求される。そこで、温度140°C、湿度100%の苛酷な条件に暴露したのちの塗膜付着性と塗装時の水分条件との関係を検討した。その結果、以下の知見を得た。(1)高温高湿に暴露したのちの付着力および破断コンクリート厚さは pF 指数の増加すなわち含水率の低下とともに増大した。(2)床面で pF 5 以上、含水率4.4%以下、壁ならびに天井面で pF 4.5以上、含水率 4.9%以下の許容水分条件で塗装した塗膜は高温高湿の暴露にも十分に耐えられた。(3)許容水分条件で塗装し、高温高湿に3日間暴露したのちの付着力は常温放置のそれよりも20~30%低下した。この低下には高温高湿による塗料樹脂およびコンクリートの劣化が関与したと推察された。

1. はじめに

原子力発電所の一次系建家(原子炉建家, 補助建家)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。この塗装は単に色彩調節や意匠上の美装ではなく、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、発電所運転、保守上の重要な役割を担っている。また、原子力発電所の特殊性から運転開始後の全

面的な塗替え補修が非常に困難であり、さらに耐放射線性塗料が優れた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¹⁾ではコンクリート水分をとりあげ、水分形態ならびに含水率を異にするコンクリートにメーカー指定の塗装仕様にしたがって塗装し、常温に放置した際の塗膜

附着性を検討して塗装施工時のコンクリート水分に関する知見を得た。

一方、耐放射線性塗料には常温のみならず高温高湿に暴露されても塗料樹脂の劣化しない性質はもちろんのことながら、コンクリートに十分に付着し、剝離等の発生しない性能が要求される。そこで、今回は現場施工条件を考慮し、前報で検討したコンクリート中の水分条件のいくつかを選択してコンクリートに塗装し、高温高湿に暴露したのち塗膜付着性を検討した。

本報では常温のみならず高温高湿に暴露したのちの塗膜付着性がいかに塗装時のコンクリート水分条件に影響されるかを検討し、塗装時の許容水分条件を明らかに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塗料Ⅰ～Ⅲを供試した。

2.2. 被塗装体

関西電力(株)美浜原子力発電所の実績調査を参考に中庸熱ポルトランドセメント、粒径2.5mm以下の川砂、粒径20mm以下の砕石と若干の混和剤を用いて水セメント比56.1%、砂骨材比41%、空気量3.6%、スランプ10.6cmの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。

型枠を脱型し所定期間水中養生後、pF4.2, 4.5, 5.5の条件下に所要期間養生して²⁾、pF-含水率の測定および2.3. 供試体の作製に供した。

なお、被塗装体の上面は床面(金ごて仕上)、側面は壁面(合成型枠)、下面は天井面(合板型枠)を想定している。

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)後ウエスふきし、塗料メーカー指定の塗装仕様にしたがって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30日間養生し、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

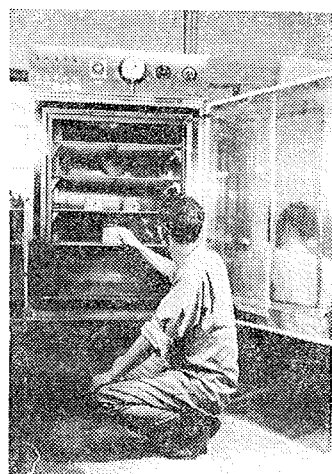


写真-1 高温高湿試験装置

たコンクリート中に含まれる水分量を全乾法(105℃乾燥)およびkett水分計で測定した。結果は乾量基準の含水率(%)で表示した。

3.2. 塗膜付着力および破断コンクリート厚さの測定

写真-1の装置を用い温度140℃、湿度100%の条件下に供試体を暴露し、床、壁、天井面における塗膜付着力および破断コンクリート厚さを常法¹⁾で測定した。その際の暴露期間は0, 3, 30日である。

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. 高温高湿条件に暴露後の塗膜付着性の検討

4.1.1. 水分量、水分形態と塗膜付着性の関係 前報¹⁾ではコンクリート中の水分形態、含水率と塗膜付着性との関係を常温で検討し、塗装時の許容水分形態および含水率を明らかにした。しかし、耐放射線性塗料には常温のみならず高温高湿条件に暴露したのちも十分な付着性を発揮することが要求される。例えばGAI(Gilbert Associates, Inc.)規定のオートクレーブ試験には(1)3000ppmのホウ素液あるいは(2)4000ppmのホウ素を含む0.7%カセイソーダ溶液中に試料を浸漬後、常温から160℃まで1時間で昇温させ、その後2時間で140℃まで温度を下げ、つづいて21時間で100℃まで温度を下げ、さらに48時間で66℃まで温度を下げたのちに塗膜にふくれ、はかれ等の発生が認められないことと規定されている。本実験では試験設備の関係から140℃、湿度100%条件(以下、高温高湿条件という)にpF4.2, 4.5, 5.5で塗装し、30日間硬化養生した供試体を暴露し、同条件が塗膜の付着性におよぼす影響を検討した。

高温高湿条件に暴露後の塗膜状態は図示しないが、各pFにおけるふくれ、きれつの発生程度は当然のことながら塗料の種類で異なっていた。しかし、各塗料におけるふくれ、きれつの発生は明らかにpF指数の増加いかえれば含水率の低下とともに減少していた。このことは塗装時のコンクリート中の水分条件と塗膜の耐高温高湿性が密接に関係していることを示唆している。

さて、図-1～3に金ごて仕上・床面(以下、床面という)、合板型枠・壁面(以下、壁面という)、合板型枠・天井面(以下、天井面という)における塗膜付着力と水分条件および高温高湿条件への暴露期間との関係を塗料ごとに示す。同図には破断コンクリート厚さと水分条件および暴露期間との関係も併記した。

同図において付着力は各塗料、各面および各pFに共通して高温高湿条件への暴露期間が長いほど低下する傾

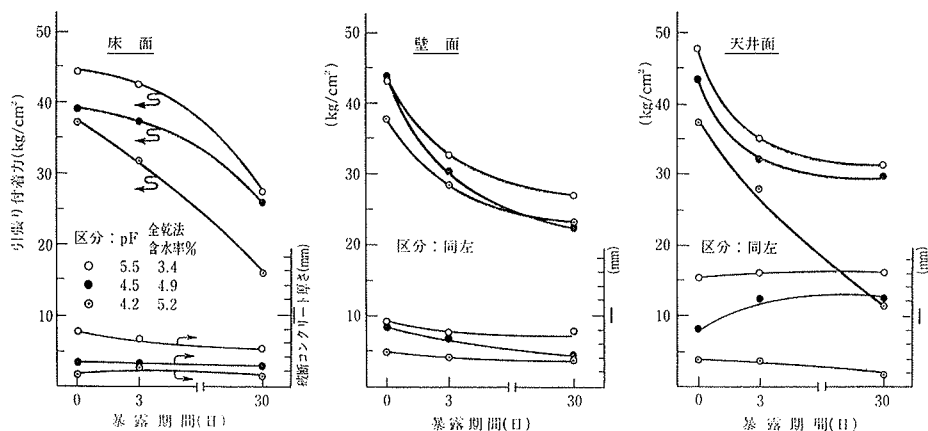


図-1 塗料Ⅰ・高温高湿条件に暴露後の付着力、破断コンクリート厚さ

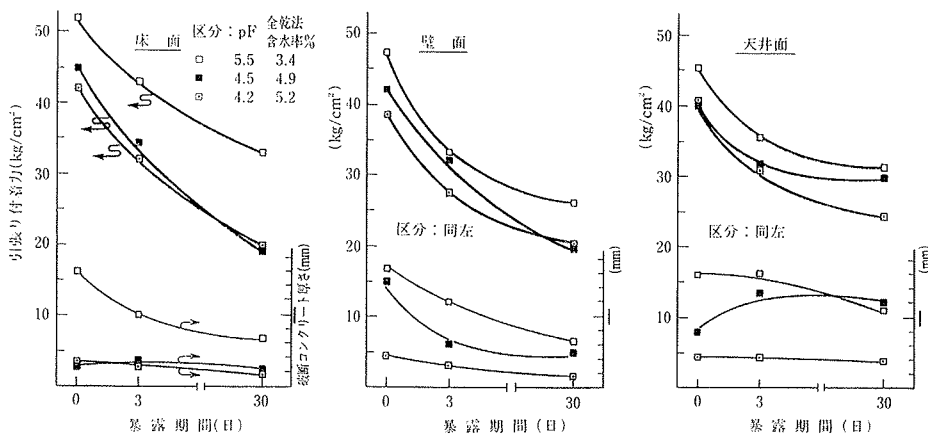


図-2 塗料Ⅱ・高温高湿条件に暴露後の付着力、破断コンクリート厚さ

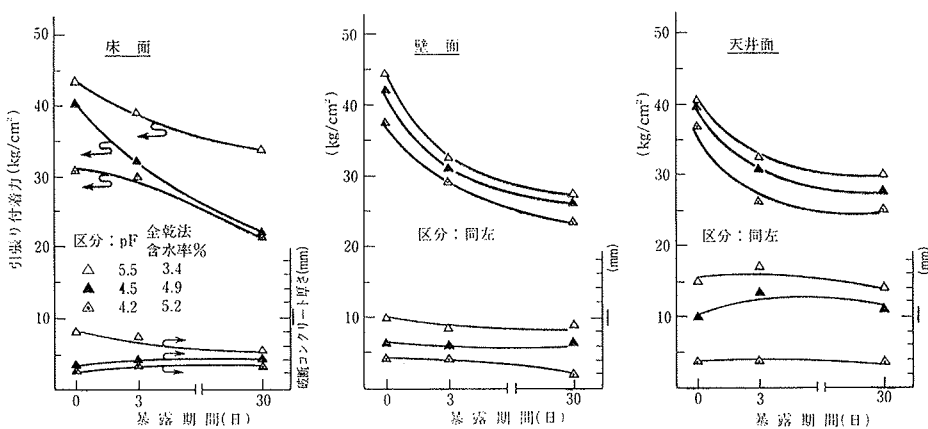


図-3 塗料Ⅲ・高温高湿条件に暴露後の付着力、破断コンクリート厚さ

向にある。その際、それぞれの暴露期間における付着力はいずれの塗料においても明らかに塗装時のコンクリート水分の pF 指数が大きいほど、いいかえれば含水率が低いほど大きい。また、天井面におけるいくつかの pF の場合を例外とするが、併記した破断コンクリート厚さにも付着力の場合と同様の傾向が認められ、高温高湿条件への暴露期間が長いほど破断コンクリート厚さは減少

し、またそれぞれの暴露期間における破断コンクリート厚さは pF 指数の増加とともに増大する傾向にある。

次にこの暴露期間が塗膜付着性におよぼす影響をさらに検討するために付着力比および破断コンクリート厚さ比を求め表-1、表-2に示す。この付着力比および破断コンクリート厚さ比とは暴露0日の付着力(以下、初期付着力という)あるいは破断コンクリート厚さ(以下、初期破断厚さという)に対する所定期間暴露後の付着力あるいは破断コンクリート厚さの割合を示しており、当然のことながら同比が大きいほど塗膜の付着性能が高温高湿条件で低下していくことを示している。また、両表には4.1.2.で後述するが、0.5mm以上の破断コンクリート厚さが安定的に得られる pF 条件下の結果を示している。

表-1 において各 pF における付着力比は暴露期間の増加とともに減少し、その減少程度は塗装面によって異なっている。例えば塗料Ⅰの場合、pF 5.5における付着力比は暴露3日の床面で96、

壁面で75、天井面で73を示し、床面における付着力比の低下が最も少ない。しかし、同 pF における暴露30日の同比は床面で60、壁面で63、天井面で66を示し、両暴露期間における同比の差は床面で36、壁ならびに天井面でそれぞれ12、7を示し、床面で最も大きくなっている。同様の傾向は他の塗料においても認められる。このことは、高温高湿に3日程度の暴露では床面における塗膜付

塗料	期間	面		床 面		壁 面		天 井 面	
		pF		5.5	4.5	5.5	4.5	5.5	
I	3日			96.2	69.4	74.5	73.6	73.1	
	30			59.9	51.6	62.9	69.2	65.8	
II	3			82.9	75.4	70.0	79.9	77.6	
	30			63.7	46.1	55.4	76.1	68.4	
III	3			86.8	73.6	72.6	77.7	84.7	
	30			74.8	62.9	61.3	69.9	74.8	

表一 付着力比一覧表

塗料	期間	面		床 面		壁 面		天 井 面	
		pF		5.5	4.5	5.5	4.5	5.5	
I	3日			87.2	78.3	85.6	155.4	107.1	
	30			71.8	53.0	85.6	156.6	103.2	
II	3			60.2	40.8	74.4	180.5	103.7	
	30			39.8	32.9	40.5	162.3	70.6	
III	3			90.1	96.8	84.0	213.8	116.7	
	30			69.1	103.1	91.0	169.2	94.0	

表二 破断コンクリート厚さ比一覧表

着性は他の2面のそれよりも良好であるが、30日という長期間の暴露では床面への付着性が最も大きく低下することを示している。この床面における急激な付着力の低下原因については今後、検討する必要がある。また、前述の GAI 規定条件に近いと考えられる暴露3日後の付着力は床面の pF 5.5 で初期付着力の80数%、壁ならびに天井面の pF 4.5 および 5.5 で初期付着力の70数%に低下すると判断される。

また、表一2において床ならびに壁面の破断コンクリート厚さ比は暴露期間の増加とともに減少している。その際、塗料IIの床面および壁面の破断コンクリート厚さ比は他の塗料のそれに比べて著しく小さい。これは図一1~3で明らかのように、塗料IIの両面における初期破断厚さが他の塗料のそれの約2倍を示しているにもかかわらず、暴露後の破断厚さが他の塗料のそれとほぼ同じであることに起因する。天井面では塗料IIならびにIIIの pF 5.5の30日暴露を除いて各 pF および各暴露期間における同比は100以上を示している。このことから、塗膜付着性能は天井面に塗装した場合に最も安定的に発揮されると判断される。その際、天井面の破断コンクリート厚さ比が前述したように、100以上を示しているにもかかわらず、表一1のように付着力比が100以下を示して

いることからコンクリートの熱劣化が推察される。

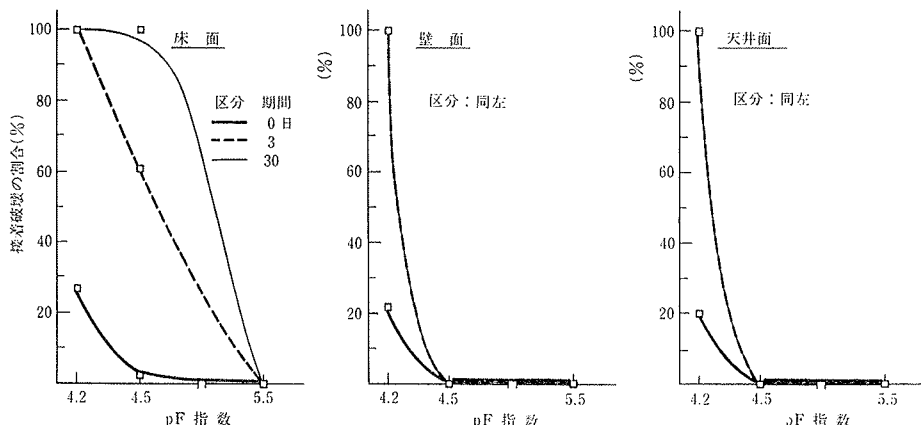
なお、図示しないが塗膜の硬化養生90日の供試体についても同様に実験したところ、付着力および破断コンクリート厚さは常温のみならず高温高湿条件に暴露後も前述の30日養生塗膜のそれと同程度であった。このことから、塗料樹脂の性能は30日の硬化養生で十分に発揮されていたと判断された。

以上のことから、温度140℃、湿度100%条件に暴露される期間が長ければ長いほど塗膜付着力の低下は当然のことながら大きい。GAI 規定の条件に近いと考えられる3日暴露後の付着力は床面で初期付着力の80%、壁ならびに天井面で70数%になると判断される。この付着力の低下には塗料自身の熱劣化はもちろんのことながら、熱劣化によるコンクリートの強度低下が大きく関与していると推察される。

4.1.2. 水分量、水分形態と塗膜破壊形態の検討 前報¹⁾において付着性良・否の判断には付着力もさることながら塗膜の破壊形態も非常に重要であり、破断コンクリート厚さ0.5mm以下の接着破壊は付着性の発現に不十分であると判定した。また、図一1~3の破断コンクリート厚さは平均値を示しているが、床面の pF 4.2, 4.5, 壁ならびに天井面の pF 4.2における実際の破断コン

クリート厚さは0mmから平均値以上のものまで混在していた。そこで、図一1~3に示した破断コンクリート厚さから接着破壊部分の面積を算定し、付着力を測定した全面積に占める接着破壊の割合を求めた。図一4に塗料IIの場合を例示する。

同図において床面の場合、pF 4.2における3お



図一4 塗料II・高温高湿条件に暴露後の接着破壊の割合

よび30日暴露の接着破壊の割合は暴露0日の27%よりも大幅に増大し、いずれも100%を示している。また、pF 4.5では暴露0日の2%よりも大幅に増大し、3日暴露で61%、30日暴露で100%を示している。しかし、pF 5.5ではいずれの暴露期間においても0%を示している。また、壁面および天井面の場合、pF 4.2における接着破壊の割合は3および30日暴露で100%を示しているが、pF 4.5および5.5におけるその割合は暴露0日はもちろんのこと、暴露3および30日でさえ0%を示している。同様の傾向は図示しなかった塗料Ⅰ、Ⅲにも認められた。

これらのことから、常温でコンクリートに十分に付着し、塗膜の破断時に0.5mm程度の破断コンクリート厚さを示す塗膜は温度140℃、湿度100%という苛酷な条件に暴露したのちにもその付着性能を保持していることが明らかである。

4.2. 塗装の際の許容水分形態、許容水分量の検討

4.1.2.から壁面および天井面の場合、pF 4.5以上の水分形態いいかえれば全乾法含水率4.9% (kett水分計で11%)以下で塗装すればGAI規定の条件に近いと考えられる温度140℃、湿度100%条件への3日暴露にも十分に耐えられる付着性が得られると判定される。この許容水分形態および含水率は前報¹⁾の結果とほぼ一致している。また、床面の場合、pF 5.5で塗装すれば完全な付着性は得られると判定されるが、前述したように壁面および天井面への塗装時の許容水分条件が前報の結果とほぼ一致していることから、前報の結果を参考にすればpF 5以上の水分形態いいかえれば全乾法含水率4.4% (kett水分計で10%)以下で塗装すれば前述の高温高湿条件に耐えうる付着性は得られると判断される。

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温度140℃、湿度100%の苛酷な条件に暴露したのちも塗料樹脂の劣化しない性質はもちろんのことながら、コンクリートに十分に付着していることが要求される。しかし、同条件に暴露したのちの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。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、前記条件に暴露したのちの塗膜付着性を塗装時のコンクリート水分条件

との関係で検討した。そして、前報¹⁾の結果も参考にし、塗装時に許容されるコンクリート中の水分条件を明らかにした。その結果、以下のことが判明した。

(1) 前記の高温高湿条件に暴露したのちの塗膜付着性と塗装時のコンクリート中の水分条件とは密接に関係し、pF 指数の増加すなわち含水率の低下とともに付着力および破断コンクリート厚さは増大した(図-1~3参照)。

(2) 下表の許容水分条件でコンクリートに塗装すれば常温のみならず高温高湿条件への暴露にも十分に耐えられる塗膜付着性が得られると判定された(図-4参照)。

区 分	仕 上 方 法 型枠の材質	許容pF指数	許容含水率(%)	
			全 乾 法	Kett水分計
床 面	金ごて仕上	5 以上	4.4以下	10以下
壁 面	合 板	4.5以上	4.9以下	11以下
天 井 面	合 板	4.5以上	4.9以下	11以下

(3) 許容水分条件で塗装した塗膜は常温のみならず高温高湿条件に3日暴露したのちにも0.5mm以上の破断コンクリート厚さを示し、良好な付着性が発揮されていた。その際の付着力は3日暴露で常温放置時よりも20~30%低下した。この低下には高温高湿による塗膜劣化のみならずコンクリートの劣化が大きく関与したと推察された(表-1~2参照)。

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総合技術研究所の原田主幹、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: 原子力発電所用耐放射線性塗料の施工性に関する実験的研究(予報), 大林組技術研究所報告書, (1977)