

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)*

喜田大三
住野正博

後藤友彰
(関西電力株式会社)

Studies on Irradiation Resisting Paints for Concrete Structures in Nuclear Power Plant (Part 4)

Daizo Kita Tomoaki Goto
Masahiro Sumino

Abstract

It is necessary for irradiation resisting paints to adhere tightly to concrete in order to exhibit superior effects. Adhesion of paints to concrete is greatly affected by moisture content and the form of moisture in concrete. Further, adhesion will probably be affected by differences in concrete surface conditions between floors, walls and ceilings. Therefore, experiments were conducted with concrete to make clear allowable moisture conditions and the influences of these concrete surfaces. The following results were obtained. (1) Adhesion of paint becomes stronger as pF-value increases, that is, as moisture content falls. (2) The allowable pF-values and moisture contents were respectively 5.5 over and 4.5% under at floor, 4.4 over and 4.9% under at wall, and 4.3 over and 5% under at ceiling. (3) Fractures of paint films under these allowable conditions occurred in paint-concrete composites, and the fractured concrete thickness then was 0.5-0.8 mm and measured adhesion strength was 33 kg/cm².

概 要

塗料とコンクリートとの付着性はコンクリート中の水分量に大きく影響されるといわれており、原子力発電所の建設現場などでは、塗装施工時の含水率を厳重に管理している。しかし、付着性は水分量のみならず水分形態にも影響されることが判明している。また、付着性は床、壁、天井のコンクリート表面状態にも影響されると予想される。そこで、水分に関する許容塗装条件ならびに付着力に及ぼす床、壁、天井面の影響を検討するため、耐放射線性塗料6種類と水分形態(pF指数で表示)およびpF-含水率の条件を異にするコンクリートを用いて付着性を検討した。その結果、以下の知見を得た。(1)付着力はpF指数の増加すなわち含水率の低下とともに増大する。(2)付着力が十分に発揮される。pF指数および含水率は床面でそれぞれpF 5以上、4.4%以下、壁面でpF 4.4以上4.9%以下、天井面でpF 4.3以上、5%以下であった。(3)(2)における塗膜破断はコンクリートと塗料との複合体で生じ、その際の破断コンクリート厚さは0.5~0.8 mm、付着力は33 kg/cm²であった。

1. はじめに

原子力発電所の原子炉建家および補助建家等、一次系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

めであり、発電所運転、保守上の重要な役割を担っている。

ところで、原子力発電所の特殊性から運転開始後の全体的な塗替え補修が非常に困難であることから判断してまた、塗料が優れた耐放射線性、耐熱水性、耐汚染性を十分に発揮するためにも、塗料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要因として下地コンクリート、塗料、塗装方法および塗装時の環境などがあげられる。

注) *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性能試験(その3)に続く。

現場では施工の際にコンクリートの素地調整を充分に行うことを規定した上で、付着性に影響する因子として下地コンクリート要因のうち乾燥状態、pHを、環境要因のうち温・湿度を取りあげ、このうち特に乾燥状態については含水率で厳重に管理している。

この含水率については、各塗料メーカーが独自の立場からそれぞれの塗装仕様書へ規定しているが、提示された値は塗料とコンクリートとの付着性を裏付けるデータから決定されたものではなく、多分に経験的な要素から決定されたものであり、現場の実情に応じた最適指針であるとは言いがたい。また、pF概念¹⁾²⁾を導入し、モルタルを用いた筆者の研究³⁾から塗料付着性には含水率で表わされる量的な水分もさることながら、水分形態で表わされる質的な水分の違いも影響することが明らかになっている。

このような状況において塗料付着性とコンクリート水分との関係を明らかにし、コンクリート水分に関する何らかの指針を明らかにすることが要望されている。本報では原子力発電所の実際のコンクリート配合比を用い、耐放射線性塗料の付着力発現と水分量、水分形態との関係および付着力発現に及ぼす床、壁、天井面の影響を検討した資料を発表する。

なお、本研究は関西電力(株)総合技術研究所と共同研究で実施したものである。

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試料1～6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4.3%、スランプ11.6cm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、pF4.5, 5, 5.5, 6, 6.5の条件下に所要期間養生して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4面には床面(金ごて仕上)、壁面(合板型枠、金属型枠)、天井面(合板型枠)の区分を行った。

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)後ウエスおきし、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、塗膜の乾燥、硬化を充

分に行うため20℃、50%の条件下に3週間養生し、付着力の測定に供試した。

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に含まれる水分量を全乾法(105℃乾燥)で測定した。結果は乾量基準の含水率(%)で表示した。

3.2. 付着力の測定

建研式付着力試験器を用い、所定の方法で塗膜の引張り付着力を測定した。結果はkg/cm²で表示した。

3.3. 破断コンクリート厚さの測定

コンクリートの破断厚さを精度0.5mmのステンレス製メジャーで測定した。結果はmmで表示した。

4. 実験結果と検討

4.1. 水分量、水分形態と塗料付着性の関係

金ごて仕上・床面(以下、床面M.Tと略)、合板型枠・壁面(以下、壁面Wと略)、金属型枠・壁面(以下、壁面Mと略)、合板型枠・天井面(以下、天井面Wと略)における塗膜の引張り付着力とコンクリート中の含水率およびpF指数¹⁾²⁾³⁾との関係を試料ごとに図1～6に示す。同図には破断コンクリート厚さとpF指数との関係も併記した。

同図において、同一pF指数における付着力には床面M・T、壁面W、M、天井面W間で差が認められるが、壁面W、壁面M間ではあまり差が認められない。また、付着力は、いずれの面においてもpF指数の増大すなわち含水率の低下とともに一様に増大し、pF6.5、含水率0.7%で最大になる。その際、併記した破断コンクリート厚さとpF指数との関係にも付着力の場合と同様の傾向が認められ、破断厚さはpF指数の増加とともに増大

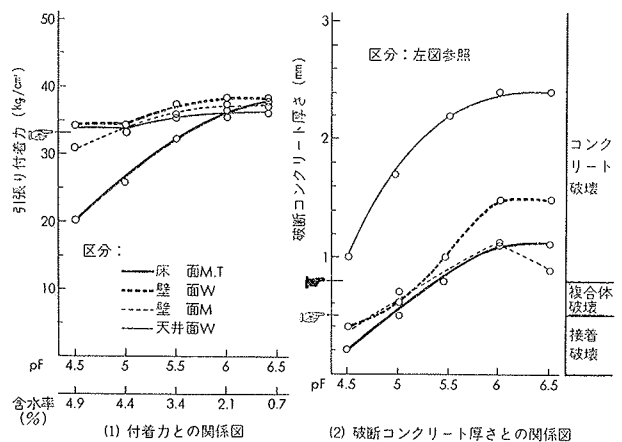


図1 試料1・コンクリート中の水分量、pFと付着力、破断コンクリート厚さとの関係

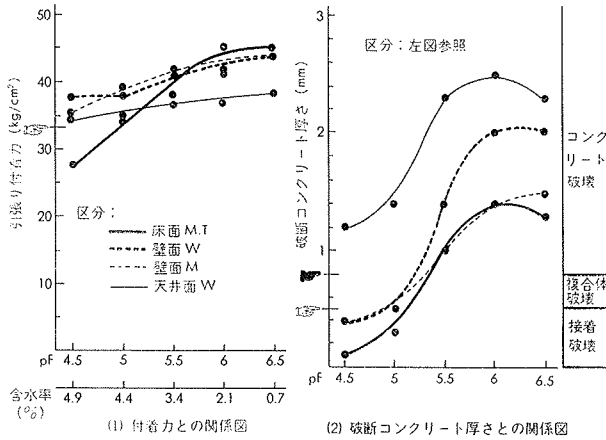


図-2 試料 2・コンクリート中の水分量, pF と付着力, 破断コンクリート厚さとの関係

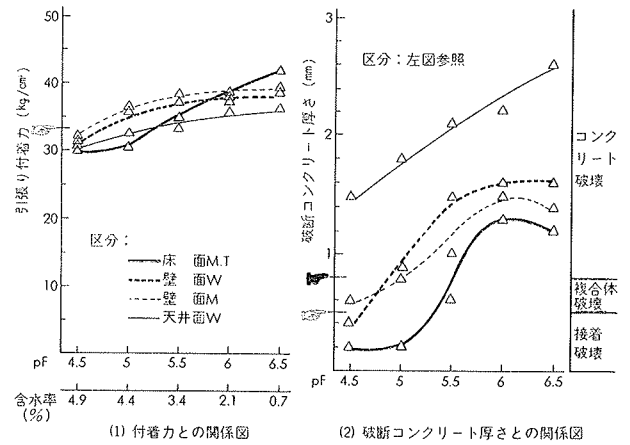


図-5 試料 5・コンクリート中の水分量, pF と付着力, 破断コンクリート厚さとの関係

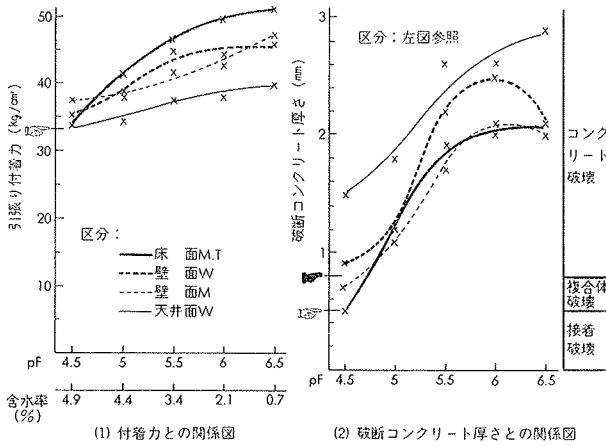


図-3 試料 3・コンクリート中の水分量, pF と付着力, 破断コンクリート厚さとの関係

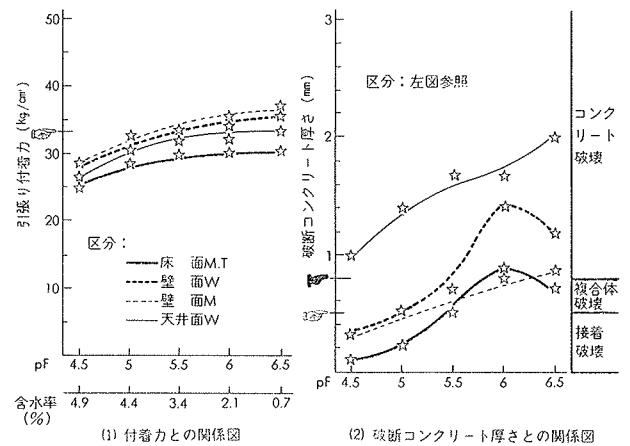


図-6 試料 6・コンクリート中の水分量, pF と付着力, 破断コンクリート厚さとの関係

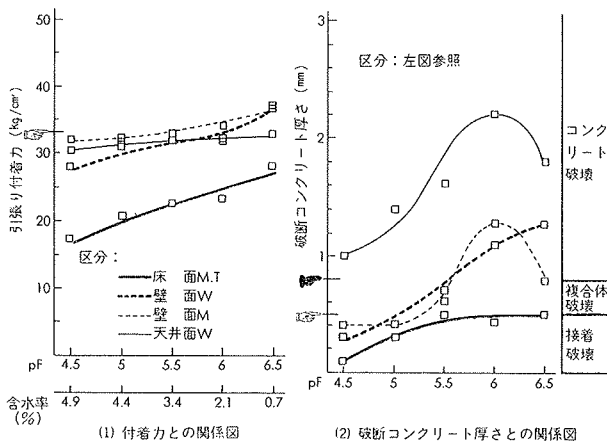


図-4 試料 4・コンクリート中の水分量, pF と付着力, 破断コンクリート厚さとの関係

し, pF 6 あるいは 6.5 で最大になる。

これらのことから, コンクリート中の水分量, pF 指数いいかえれば水分形態 (図-8 参照) と付着力とは密接

に関係し, また付着力と破断コンクリート厚さも密接に関係することが明らかである。また, ディスクサンダーで処理した場合, 型枠の材質の違いは塗料の付着性にあまり影響しないと判断された。

4.2. 建築部位の塗料付着性への影響

4.1. に前述したように同一 pF 指数における付着力には床面 M・T, 壁面 W, M および天井面 W 間で差が認められた。このことはコンクリート面の部位あるいは表面仕上方法が付着力に影響することを示唆している。そこで, 付着力発現の状況を床面 M・T, 壁面 W, M および天井面 W 間で検討するために pF 間付着力比を求めた。表-1 に試料 1 の場合を例示する。同表の各 pF における数値は, 面の種類ごとに pF 6.5 の付着力を 100 にした時の割合である。

同表において, 床面 M・T の pF 間付着力比は pF 6 以下において他の 3 面のそれよりも小さい傾向にある。すなわち, pF 4.5 における床面 M・T の同比は壁面 W の

区分	pF	4.5	5	5.5	6
床 面 M・T		52.5	67.0	85.2	94.8
壁 面 W		91.3	91.1	100.8	103.2
壁 面 M		84.0	88.8	96.4	101.6
天井面 W		93.1	92.6	98.6	96.9

表一 試料 1・pF 間付着力比一覧表

それよりも39, 壁面Mのそれよりも32, 天井面Wのそれよりも41小さい。同様に pF 5.5 においても床面 M・T の同比は壁面Wのそれよりも15, 壁面Mのそれよりも11, 天井面Wのそれよりも13小さい。しかし, このような pF 間付着力比の差は pF 6においてほとんど認められない。なお, この傾向は表示していない他の試料についても同様に認められた。

この現象は, pF 4.5から6に変化したことによる床面 M・T の付着力比の増加が他の3面のそれに比べて非常に大きいことを示している。すなわち, 試料1の場合, 床面 M・T における増加が42であるのに対し, 壁面W, 天井面W, 壁面Mのそれはそれぞれ12, 4, 18と著しく小さい。この傾向は, 表示していない他の試料についても同様に認められた。このような床面 M・T の付着力比と他の3面のそれとの顕著な差は, 床面の金ごて仕上によるコンクリート表面の緻密化とそれに伴う塗料樹脂のコンクリート内への不十分な浸透に起因すると推察される。

以上のことから, 床面 M・T に塗装し, 付着性を壁面W, Mや天井面Wに塗装した場合と同等に発揮させるには, 下地コンクリートの乾燥を壁面W, Mや天井面W以上に行うことが必要であると判断された。また, このことは床面 M・T への塗装施工が壁面W, Mや天井面Wの場合よりもむずかしいことを示唆している。

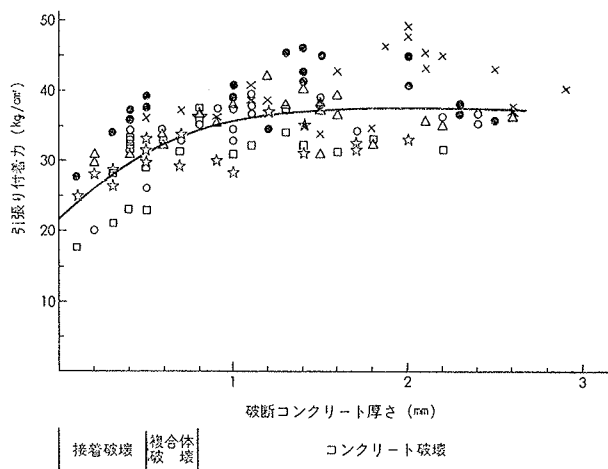
4.3. 許容水分形態, 許容水分量および付着力の下限値の検討

4.1. に前述したように, コンクリートを乾燥させればさせるほど付着力は増大し, 破断コンクリート厚さは増大する。しかし, コンクリートの乾燥には施工上, 限界があり, また必要とする付着力の下限値は明らかにされていない。この乾燥程度および付着力を決定することは施工上, ぜひ必要である。そこで, ここでは必要な乾燥程度(含水率の上限值), 許容水分形態および付着力の下限値の決定を試みた。

4.3.1. 付着力の下限値の検討 図一1~6に示した全試料, 全pF, 全面(床面 M・T, 壁面 W, M, 天井面 W)における破断コンクリート厚さと引張り付着力との関係を図一7に示す。

同図において, 付着力は約10 kg/cm²の幅で破断コン

クリート厚さ0.5~0.8 mmの区域まで急激に増大し, それ以後, 破断コンクリート厚さが増加しても付着力の増大はあまり認められない。そこで, この破断厚さ区域を付着力が十分に発揮される複合体破壊区域, これ以上の破断厚さを示す区域を付着力が完全に発揮されるコンクリート破壊区域と決めた。また, これ以下の破断厚さを示す区域を付着力が発揮できない接着破壊区域と決めた。そして, 複合体破壊を示す付着力が最低限必要であると判断した。



図一7 破断コンクリート厚さと引張り付着力との関係

そこで, 同図における複合体破壊区域の全付着力 (n=24) の母集団を求めた。その結果, 信頼限界90%で, $31.9 \leq \mu \leq 34.5$ と算定された。このことから, 付着力の下限値はほぼ32~34 kg/cm²の範囲にあり, 安全を見込んだ場合, 中間値の33 kg/cm²はぜひ必要であると判断された。

次に, この数値の妥当性を検討するため, 33 kg/cm²を与える pF を図一1~6の(1)付着力との関係図(縦軸の□部)から読みとり, (2)破断コンクリート厚さとの関係図の複合体破壊を与える pF の下限値(縦軸の□部)とを比較, 照合した。その結果は表示しないが, 両者が一致あるいは近似を示す場合は全照合結果の約60%を占め, 33 kg/cm²は実験上の付着力下限値として一応のめやすになると判断された。

なお, 以上に前述した付着力の下限値は理想条件に近い供試体から得られたものであり, 非常に高い数値を示しており, この値をただちに現場に適用することは種々の条件から非常にむずかしいと判断される。それゆえ, 今後, 種々の現場条件を考慮し, 妥当性のある付着力下限値を決定する所存である。

4.3.2. 塗装の際の許容水分形態, 許容水分量の検討

図一1~6の(2)破断コンクリート厚さとの関係図から明らかのように, 同じ破壊を示す pF 指数は試料間で異

なり、また同一試料内でも床面 M・T、壁面 W, M、天井面 W で異なっている。そこで、この関係を明らかにするため図-1~6の(2)破断コンクリート厚さとの関係図からコンクリート破壊および複合体破壊の下限(縦軸の [A]部, [B]部)を読みとり、一般化したのが図-8である。

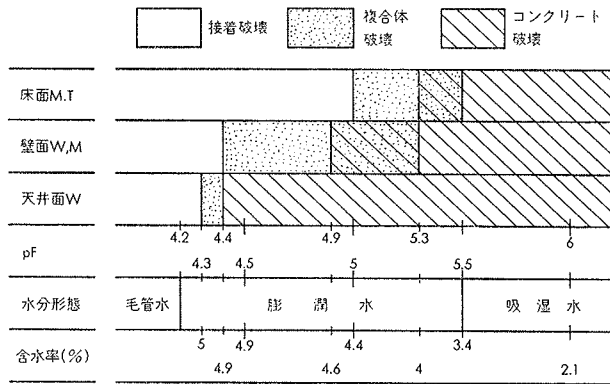


図-8 塗膜破壊区分と pF, 含水率の関係図

同図において明らかなように、破壊区分と pF との関係は床面 M・T、壁面 W, M、天井面 W 間で異なる。また、同図において明らかなように、付着力が十分に発揮される複合体破壊は床面 M・T で pF 5 以上、含水率 4.4% 以下、壁面 W, M で pF 4.4 以上、含水率 4.9% 以下、天井面 W で pF 4.3 以上、含水率 5% 以下で生じる。同様に付着力が完全に発揮されるコンクリート破壊の pF および含水率は床面 M・T でそれぞれ 5.3 以上、4% 以下、壁面 W, M でそれぞれ 4.9 以上、4.6% 以下、天井面 W でそれぞれ 4.4 以上、4.9% 以下である。また、複合体破壊およびコンクリート破壊の重複する床面 M・T の pF 5.3~5.5、壁面 W, M の pF 4.9~5.3 の pF 区域は試料の種類で付着性に差のあることを示している。

以上のことから、pF 4.2 以下の毛管水領域では塗装を絶対に実施してはいけないと判定された。そして、塗装の際の許容水分形態および含水率は、前述の複合体破壊区域を示す pF と含水率を床面 M・T、壁面 W, M、天井面 W ごとに決定すれば良いと判断された。

5. まとめ

塗料とコンクリートとの付着性はコンクリート中の水分量に大きく影響されるといわれている。しかし、筆者の研究³⁾から塗料の付着性は水分量のみならず、水のエネルギー状態変化にも影響されることが明らかになっている。そこで、水分に関する許容塗装条件を明らかにするために、耐放射線性塗料 6 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料の付着力と水分形態 (pF 指数で表示)、pF-含水率との関係を検討し、あわせて床、壁、天井面およびコンクリート表面の仕上げ方法が付着力に及ぼす影響を検討した。その結果、以下のことが判明した。

(1) 塗料付着性と水分量、水分形態とは密接に関係し、pF 指数の増加すなわち含水率の低下とともに付着力は増大した。また、破断コンクリート厚さと pF 指数とのあいだにも同様の傾向が認められた(図-1~6 参照)

(2) 絶対に塗装できない水分形態は pF 4.2 以下の毛管水領域であると判定された。一方、塗装できる許容水分形態ならびに含水率は下表のようであった。同表から床面の金ごて仕上は、コンクリート乾燥を充分に行うことが必要であるため、あまり好ましくないと判断された。また、型枠の材質の違いは付着性にあまり影響しないと判断された(図-8 参照)。

区分	仕上方法 型枠の材質	許容 pF 指数	許容水分形態	許容含水率 ^②
床面	金ごて仕上	5 以上	膨潤水 以上	4.4 以下
壁面	金属、合板	4.4 "	" "	4.9 "
天井面	合板	4.3 "	" "	5.0 "

(3) 許容水分状態において、塗膜破壊はコンクリートと塗料との複合体で生じ、その破断コンクリート厚さは 0.5~0.8 mm、その際の付着力は 33 kg/cm² であった。この付着力は非常に大きいので、今後、現場の施工条件を考慮して付着力の下限値を検討する必要がある(図-7 参照)。

終わりに、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構築研究室の原田主幹、横野主任研究員、後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) 岩田: 土壌水のエネルギー概念について, 土肥誌32, (1961), p. 572
- 2) 竹中: 土壌水のエネルギー概念 pF の工学的検討, 土壌の物理性第14号, (昭和41), p. 21
- 3) 喜田, 住野: 大林組技術研究所報 No. 10, (1975), pp. 146~150