

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)

——ベースマット部の塗膜付着性向上におよぼす防水材の効果——

喜 田 大 三
住 野 正 博

Studies on Irradiation Resisting Paints for Concrete Structures in Nuclear Power Plant (Part 7)

——Effect of Waterproofing Materials to Improve Adhesion
of Paints to Underground Concrete——

Daizo Kita
Masahiro Sumino

Abstract

Adhesion of paints applied to underground concrete surfaces is greatly decreased in some cases by excessive capillary moisture or hydrostatic pressure. On the other hand, it has been proven that adhesion is not decreased by the action of such moisture after the primer has become half-dry. Therefore, the ability of waterproofing materials to prevent permeation of this moisture and adhesion of paints to waterproof concrete were examined. The following results were obtained. (1) Waterproofed concrete was capable of preventing permeation of capillary moisture and adhesion of paint to this concrete was not impaired by the action of moisture. (2) The adhesion of paint to this concrete was not decreased in comparison with plain concrete after being exposed to 140°C, 100% RH conditions as well as to normal temperature.

概 要

原子力発電所ベースマット部は地盤と接するため、毛管作用による地下水のコンクリート内への浸透とコンクリート表面への浸出によって絶えず湿潤状態にあり、乾燥しにくい。この部分への塗装はジェットヒーター等で強制乾燥したのちに行っているが、この毛管水の作用で塗膜の付着性が十分に発揮されず、塗膜にふくれ等の発生する場合がある。

そこで、躯体防水材および無機質浸透性塗布防水材を適用し、毛管水の浸出を抑える能力すなわち遮水力を検討するとともに防水材の塗膜付着性への影響を検討した。その結果、優れた防水コンクリートはプレーンコンクリートよりも2~2.8倍の遮水力を有し、しかも防水コンクリートに塗装した塗膜の付着性は毛管水の浸出によってもほとんど低下しないことが判明した。また、防水コンクリートへの塗膜付着性は常温のみならず高温高湿(140°C, 約100%)に暴露した際にもプレーンコンクリートへのそれよりも低下しないことが判明した。

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, 耐熱水性, 耐汚染性などに優れた性能を有する耐放射線性塗料が塗装されている。この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。

ところで、原子力発電所コンクリート建家の地盤と接するコンクリートのうち、壁部分はアスファルト防水材などで防水されているが、ベースマット部にはこのような防水が行われていない。そのため、地下水がベースマットのコンクリート内へ浸透し、コンクリートは常に湿潤状態にあり、乾燥しにくい。現場では強制乾燥したの

ちに、この部分に塗装しているが、塗膜にふくれ、はがれ等の発生する場合がある。この現象にはコンクリート内に浸透した地下水が関与していると考え、前報¹⁾では地下水が地盤と接触しているコンクリート内へ浸透し、毛管作用でコンクリートと塗膜との界面に浸出する場合を想定してプライマー塗装後の毛管水の浸出と塗膜付着性との関係を検討した。その結果、プライマーが半硬化状態になるまで毛管水の浸出を抑えることができれば、所要の塗膜付着性は得られると判断された。

本報では躯体防水材混入および無機質浸透性塗布防水材施工コンクリートが有する毛管水の浸出を抑える能力すなわち遮水力と塗膜付着性との関係を検討した。さらに、防水コンクリートへの塗膜付着性を常温ならびに高温高湿暴露時について検討した資料を報告する。

2. 供試材料および供試体の作製

2.1. 供試材料

2.1.1. 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。

2.1.2. 供試防水材 市販の躯体防水材 C₁, C₂ および無機質浸透性塗布防水材 P₁～P₃ を供試した。

2.2. 被塗装体の作製

(1) プレーンコンクリート 前報の条件でサイズ80×80×200 mm のブロックを作製し、所定期間水中養生した¹⁾。次いで pF 4.5 および pF 5 の条件に所定期間養生した²⁾。なお、被塗装体の上面は床面を想定している。

(2) 躯体防水材混入コンクリート メーカーの仕様にしたがって所定量の防水材をプレーンコンクリートに混入し、同様にブロックの作製、養生を行なった。

(3) 塗布防水材施工コンクリート メーカーの仕様にしたがって所定量の防水材をプレーンコンクリートブロックの床面に1日、1回の間隔で刷毛で2回施工した。施工後3日間は十分に散水し、施工4日後に脱型した。次いで床面下約2 cm まで所定期間水中養生したのちに同様に pF 養生した。

2.3. 供試体の作製

(1) 常温および高温高湿暴露時の塗膜付着性検討用供

試体 被塗装体の床面をディスクサンダー処理したのちに所定の方法で刷毛で全面に塗装した²⁾。塗装終了後、常温で3週間硬化、養生したのちに実験に供した。なお、使用したディスクペーパーはプレーンならびに躯体防水材混入コンクリートで #14, 塗布防水材施工のそれで #120 である。

(2) 水浸後の塗膜付着性検討用供試体 プレーンコンクリートにおける毛管水の浸出時間8時間の条件で前報に準じて被塗装体の床面に塗装し、水浸した¹⁾。上塗り終了後、同様に30日間、水浸したのちに実験に供した。

3. 実験方法

3.1. 防水材の遮水力の検討

3.1.1. 透水試験による検討 インพุット法に準じて 3.5 kg/cm² の水圧で10日間、加圧したのちの水の浸透深さを測定した³⁾。

3.1.2. 水浸時の塗膜のふくれによる検討 水浸30日後に床面の塗膜に発生したふくれの数と径を肉眼で観察して遮水力を検討した。

3.2. 防水コンクリートへの塗膜付着性の検討

常温、高温高湿暴露および水浸後の塗膜の付着力と破断コンクリート厚さを所定の方法で測定した²⁾。

4. 実験結果と検討

4.1. 防水材の遮水力の検討

原子力発電所ベースマツト部のコンクリートは地盤と接するために絶えず湿潤状態にあり、乾燥しにくい。この湿潤状態は地下水が毛管作用でコンクリート内に浸透し、コンクリート表面に浸出することに起因する。現場ではこの部分にはジェットヒーター等で強制乾燥したのちに塗装している。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、ベースマツト部の塗膜にふくれ、はがれ等のトラブルの発生する場合がある。

一方、前報において、プライマーが半硬化状態になるまで毛管水の浸出を抑えることができれば、所要の塗膜付着性を得られることが判明している¹⁾。

そこで、この毛管水の浸出を防止するために躯体防水材、無機質浸透性塗布防水材を適用した。

表一1に前報¹⁾で塗膜付着性が十分に発揮できなかったプレーンコンクリートにおける毛管水の浸出時間8時間の条件で塗装し、30日間、水浸したのちの塗膜の状況を示す。

同表において、プレーンコンクリート(以下 Cp という)では pF 4.5

防水 塗料 pF	プレーンコンクリート			躯体防水材						塗布防水材								
	Cp			C ₁			C ₂			P ₁			P ₂			P ₃		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
4.5	×	×	×	×	○	○	×	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	×	△	△
5	×	○	△	△	○	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	×	△	◎

注) ◎ふくれなし、○1~3mmφのふくれ数個、△1~5mmφのふくれ10数個、×1mm以下および1~5mmφのふくれ多数

表一1 水浸30日後の床面塗膜のふくれ発生状況

ですべての塗料に多数のふくれが発生している。また、pF 5 では塗料 I に多数のふくれが発生し、塗料 II に 1~3 mm ϕ 数個、塗料 III に 1~5 mm ϕ 10 数個発生している。一方、躯体防水材 C₁ 混入コンクリート（以下 C₁ という）では pF 4.5 の塗料 I のふくれは C_p のそれと同程度であるが、pF 5 では 1~5 mm ϕ 10 数個に減少している。また、塗料 III では両 pF ともにふくれは 1~3 mm ϕ 数個に減少している。躯体防水材 C₂ 混入コンクリート（以下 C₂ という）における各塗料のふくれは pF 4.5 で C₁ のそれと同程度かやや多い傾向にあるが、pF 5 では C₁ のそれよりも大幅に少ない。このことから、躯体防水材混入コンクリートの遮水力はプレーンコンクリートのそれよりも優れていると判断される。また、C₁ の塗料 II, III を例外とするが、ふくれの発生は pF 5 で pF 4.5 よりも少ない。このことから、毛管水の影響を受けるコンクリート部分への塗装は躯体防水材混入コンクリートといえども十分に乾燥させたのちに行なうことが必要であると判断される。

同表の塗布防水材 P₁ および P₂ 施工コンクリート（以下 P₁, P₂ という）では両 pF においてすべての塗料にふくれが全く発生していない。しかし、P₃ 施工コンクリート（以下 P₃ という）では pF 5 の塗料 III を除いて程度に差があるもののふくれが発生し、その発生は前述の躯体防水材のそれと同程度かやや多い傾向にある。

次に防水コンクリートの遮水力を一層明らかにするために水圧 3.5 kg/cm²、加圧時間 10 日の条件でインプット法による透水試験を行ない、水の浸透深さを測定した³⁾。その結果を表一 2 に示す。当然のことながら浸透深さが小さいほど遮水力は優れている。

同表において明らかなように、防水コンクリートの遮水力はいずれもプレーンコンクリートのそれよりも優れている。その際、躯体防水材混入コンクリートの遮水力は C₂ で C₁ よりもやや優れ、塗布防水材施工コンクリートのそれは P₂ よりもやや優れている。また、この両塗布防水材の遮水力は前述の躯体防水材のそれよりも優れている。一方、塗布防水材 P₃ を施工したコンクリートの遮水力は前述の躯体防水材のそれよりも劣っている。

防水材	C _p	C ₁	C ₂	P ₁	P ₂	P ₃
水の浸透深さ cm	7.0	3.5	3.3	2.5	2.8	4.8

表一 2 防水コンクリートの透水試験結果

次に防水コンクリートの遮水力とプレーンコンクリートのそれを詳細に比較検討するため、C_p における水の浸透深さ (a) と防水コンクリートのそれ (b) との浸

透深さ比 (a/b) を求め表一 3 に示す。当然のことながら同比が 1 であれば防水コンクリートの遮水力はプレーンコンクリートのそれと同じであり、同比が 2 であれば前者の遮水力は後者のその 2 倍であることを示している。

同表において明らかなように、C₁ および C₂ 混入コンクリートの遮水力はそれぞれ C_p の 2.0, 2.1 倍を有している。また、P₁ および P₂ 施工コンクリートのそれはそれぞれ C_p の 2.8, 2.5 倍を有し、前述の躯体防水材混入コンクリートのそれよりもやや大きい。しかし、P₃ を施工したコンクリートの遮水力は C_p のわずかに 1.4 倍であり、前述の躯体および塗布防水材のそれよりもかなり小さい。また、この遮水力の優劣は表一 1 で前述した塗膜のふくれ発生程度から判断した結果と一致している。

防水材	C ₁	C ₂	P ₁	P ₂	P ₃
浸透深さ比	2.0	2.1	2.8	2.5	1.4

表一 3 防水コンクリートの水の浸透深さ比

以上のことから、躯体防水材 C₁, C₂ の混入で遮水力はプレーンコンクリートよりも 2 倍程度向上し、また、塗布防水材 P₁, P₂ の施工で 2.5~2.8 倍向上すると判断された。

4.2. 防水コンクリートへの塗膜付着性の検討

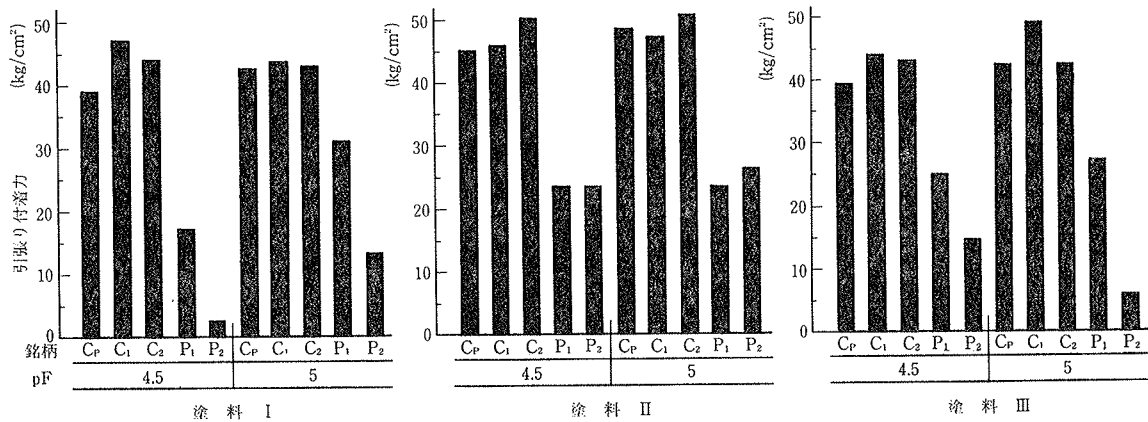
4.2.1. 常温放置時の塗膜付着性の検討 防水コンクリートは前述したように優れた遮水力を有する。しかし、防水材によって塗膜の付着性が阻害されるようでは耐放射線性塗料の所期の目的が達せられない。そこで、常温放置時における防水コンクリートへの塗膜付着性を検討した。

図一 1 に防水材の種類と塗膜付着力との関係を示す。同図には遮水力の不十分な P₃ の結果は示していない。

同図において、pF 5 における C₁ の塗料 II を例外とするが、付着力はいずれも躯体防水材混入コンクリートで C_p よりも大きい。

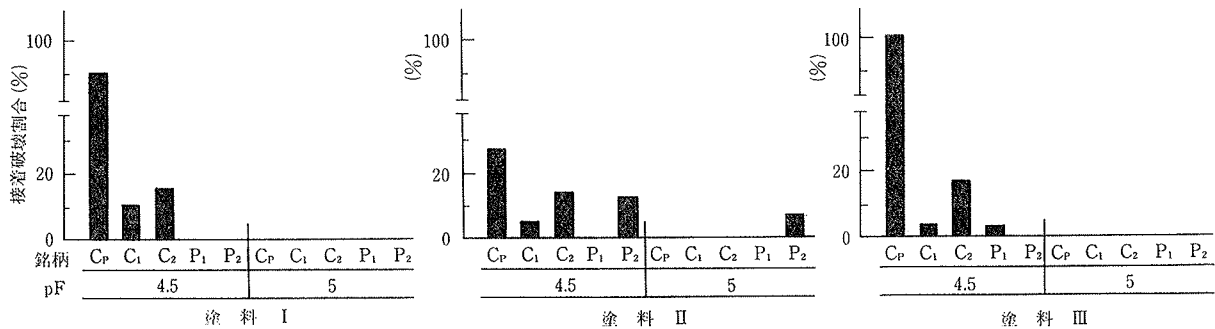
一方、塗布防水材施工コンクリートにおける付着力は C_p のそれよりも大幅に小さい。これは付着力測定時に塗布防水材内で破断したので、塗布防水材自身の強度が C_p のそれよりも小さいことに起因すると判断される。また、P₂ における付着力は塗料間で著しく異なり、例えば pF 5 の場合、塗料 I, II, III でそれぞれ 13.3, 26, 5.3 kg/cm² と大幅に異なる。しかし、P₁ にはこのような著しい差異は認められない。このことは P₂ 内で破断した際の塗膜付着力いかにあっても P₂ 自身の強度の発現にばらつきがあることを示している。

ところで、塗膜付着性良・否の判断には付着力もさる



注) Cp: プレーンコンクリート C1, C2: 躯体防水材混入コンクリート P1, P2: 塗布防水材施工コンクリート

図一 防水材の種類と常温放置後の塗膜付着力との関係



図二 防水材の種類と常温放置後の塗膜の接着破壊割合

ことながら、塗膜の破壊形態も非常に重要である。すなわち、塗膜とコンクリートとの界面で剝離する場合はもちろんのこと、破断コンクリート厚さ 0.5 mm 以下で破壊する接着破壊は耐放射線性塗料の付着性発現に不充分である²⁾。そこで、図一に示した塗膜付着力を測定した際に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。その結果を図二に示す。

同図において、pF 4.5 における接着破壊の割合は躯体防水材混入コンクリートで Cp よりも小さく、躯体防水材のうちでも C1 で小さい。その際、Cp における pF 4.5 の塗料 I, III の接着破壊割合はそれぞれ 90, 100% を示しているが、これは破断コンクリート厚さがすべて 0.3 mm 程度を示したためであり、塗膜の付着性が著しく悪いため現象ではない。また、pF 5 では躯体防水材混入コンクリートのみならず Cp でも 0% を示している。同様の傾向は塗布防水材施工コンクリートでも認められ、pF 5 における P2 の塗料 II を例外とするが、接着破壊割合は Cp よりも小さい。また、pF 4.5 で接着破壊 0% を示した塗布防水材は pF 5 でも当然のことながら 0% を示し、pF 4.5 で接着破壊の存在した塗布防水材

では pF 5 でその割合が大幅に減少している。このことから、躯体防水材混入および塗布防水材施工コンクリートへの塗膜付着性はプレーンコンクリートへのそれよりも低下しないと判断される。また、塗膜付着性はプレーンコンクリートのみならず防水コンクリートにおいても塗装時にコンクリートが乾燥しているほど向上すると判断される。

以上のことから、常温放置時における躯体防水材混入および塗布防水材 P1 施工コンクリートへの塗膜付着性はプレーンコンクリートへのそれよりも低下しないと判断された。

4.2.2. 水浸時の塗膜付着性の検討 防水材の優れた遮水力が毛管水による塗膜付着性の低下防止に有効に作用すれば、現場においてもベースマツト部の塗膜のトラブル発生を防止できると判断される。そこで、表一で前述した水浸30日後の供試体を用い塗膜の付着性を検討した。

図一に防水材の種類と水浸後の塗膜付着力との関係を pF 5 の場合について例示する。同図には強度発現にばらつきのある塗布防水材の P2 および遮水力の不充分な P3 の結果は示していない。

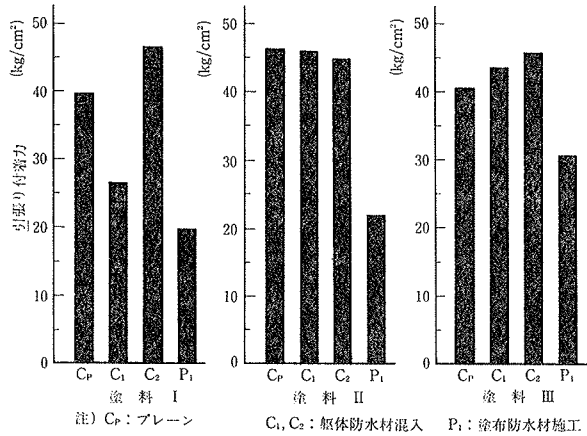


図-3 防水材の種類と水浸後の塗膜 付着力との関係

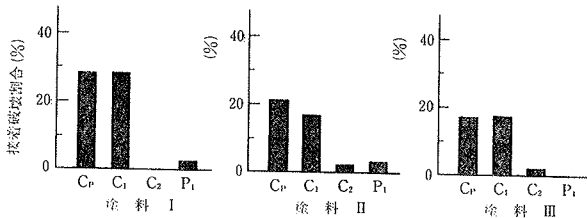


図-4 防水材の種類と水浸後の塗膜 の接着破壊割合

同図において、 C_1 における塗料Iを例外とするが、躯体防水材混入コンクリートにおける塗膜付着力は C_p のそれと同等以上を示している。一方、塗布防水材施工コンクリートにおける塗膜付着力は C_p のそれよりも小さい。この傾向は前述した常温放置時にも認められた。

図-4に水浸後の塗膜の接着破壊割合をpF5の場合について例示する。

同図において、躯体防水材混入コンクリートにおける接着破壊の割合は C_1 の塗料IIIを例外とするが、いずれも C_p のそれよりも小さく、躯体防水材のうちでも C_2 で小さい。また、塗布防水材 P_1 施工コンクリートにおける接着破壊割合は躯体防水材混入コンクリートのそれよりも小さい。この接着破壊割合の差異はコンクリートの遮水力に起因するものである。そこで、プレーンコンクリートの接着破壊割合(c)と防水コンクリートのそれ(d)との接着破壊比(d/c)を求め表-4に示す。当然のことながら同比が1以下を示し、しかも0に近いほど遮水力に優れ、水浸時の塗膜付着性の低下が小さいことを示す。

同表において、 C_1 における接着破壊比は塗料I、IIIで1を示し、塗料IIで0.7を示している。このことは C_1 の遮水力にばらつきがあり、プレーンコンクリートと同程度の遮水力しか発揮できない場合があることを示唆して

防水材	C_1			C_2			P_1		
塗料	I	II	III	I	II	III	I	II	III
接着破壊比	1.0	0.7	1.0	0	0.1	0	0.1	0.1	0

表-4 水浸後のプレーンコンクリートと防水コンクリートとの塗膜の接着破壊比

いる。一方、 C_2 および P_1 における同比はいずれも0か0.1を示している。このことは C_1 混入および P_1 施工コンクリートの遮水力がプレーンコンクリートのそれよりも非常に優れ、しかも安定して発揮されることを示している。

以上のことから、躯体防水材 C_2 混入および塗布防水材 P_1 施工コンクリートは遮水力に優れ、そのために塗膜が半硬化状態になるまで毛管水の浸出を防止でき、水浸時にも塗膜付着性をほとんど低下させないと判断された。一方、躯体防水材 C_1 混入コンクリートは遮水力にばらつきを生じ、そのために毛管水の浸出を防止できる場合と防止できない場合があり、また水浸時の塗膜付着性にもばらつきを生じると判断された。

4.2.3. 高温高湿暴露時の塗膜付着性の検討 耐放射線性塗料に要求される高温高湿に暴露した際の十分な付着性能が防水処理で低下するようでは、遮水力に優れて

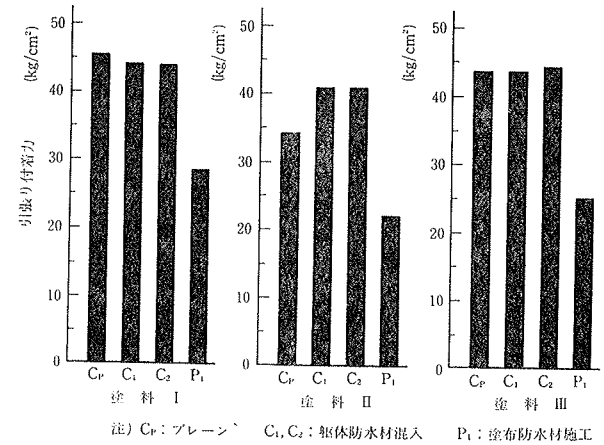


図-5 防水材の種類と高温高湿暴露後の塗膜付着力との関係

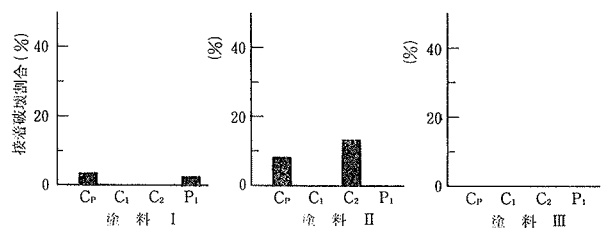


図-6 防水材の種類と高温高湿暴露後の塗膜の接着破壊割合

いる防水材といえども原子力発電所に適用できない。そこで、高温高湿条件（140°C，約100%）に3日間，暴露した際の塗膜付着性を検討した。

図-5，図-6に高温高湿条件に暴露後の塗膜付着力と塗膜の接着破壊割合をそれぞれ pF5 の場合について例示する。両図には塗布防水材 P₂，P₃ の結果は示していない。

図-5において，躯体防水材混入コンクリートにおける塗膜付着力は塗料Ⅰの場合を例外とするが，C_p のそれと同等以上を示している。一方，塗布防水材 P₁ における塗膜付着力は C_p のそれよりも小さい。同様の傾向は前述した常温放置時，水浸時にも認められた。

図-6において，C₂ の塗料Ⅱを例外とするが，防水コンクリートにおける接着破壊の割合は C_p のそれよりも小さい。このことは防水コンクリートへの塗膜付着性が高温高湿暴露時にもプレーンコンクリートへのそれよりも低下しないことを示している。

以上のことから，躯体防水材 C₁，C₂ 混入コンクリートおよび塗布防水材 P₁ 施工コンクリートに塗装した塗膜は高温高湿条件に暴露した際に，プレーンコンクリートに塗装した塗膜と同等以上の性能を発揮できると判断された。

5. まとめ

原子力発電所ベースマツト部のコンクリートは地盤と接するために絶えず湿潤状態にあり，乾燥しにくい。この湿潤状態は地下水が毛管作用で毛管水としてコンクリート内に浸透し，コンクリート表面に浸出することに起因する。この毛管水がプライマーの半硬化状態になる前にコンクリートとプライマーとの界面に浸出した場合に

は塗膜にふくれ，はがれ等が発生し，半硬化状態になったのちに同様に浸出した場合には塗膜にこのようなトラブルは発生しない¹⁾。

そこで，この毛管水の浸出を抑えるために躯体防水材および無機質浸透性塗布防水材を適用し，毛管水の浸出を抑える能力すなわち遮水力を検討するとともに防水材の塗膜付着性への影響を検討した。その結果，優れた防水コンクリートはプレーンコンクリートよりも2～2.8倍の遮水力を有し，そのためにプライマーが半硬化状態になるまで毛管水の浸出を防止でき，水浸時にも塗膜付着性をほとんど低下させないことが判明した。また，防水コンクリートへの塗膜付着性は常温放置時のみならず耐放射線性塗料に必須の高温高湿（140°C，約100%）に暴露した際にもプレーンコンクリートへのそれよりも低下しないことが判明した。

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
- 2) 喜田，住野：原子力発電所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
- 3) 日本材料学会：建設用材料と試験法，（1967），pp. 251～253