

[101] 含浸塗料の含浸深さに及ぼす各種要因の影響

正会員 ○沼尾達弥 (茨城大学工学部)
 正会員 福沢公夫 (茨城大学工学部)
 岩松幸雄 (茨城大学工学部)

1. はじめに

コンクリート構造物の早期劣化が社会問題化してから、コンクリートの保護材として塗料が見直されている。塗料には、①コンクリート表面に膜を形成する塗膜系塗料と、②コンクリート表層部に含浸して保護層を形成し、空隙充填または発水性をもたせる含浸塗料に分けられる¹⁾。前者は、金属の塗装には長年の使用実績があるが、コンクリートのような多孔質の材料には耐久性の点で適当とは考えられない。そこで、含浸塗料が考慮の対象となるが、これらは、これまで使用実績も少なく、効果に関しても^{2,3)}の報告はあるが¹⁾²⁾³⁾、評価が定まっていない。含浸塗料を用いる場合、含浸層が形成され、それによって水分等の移動を遮断あるいは抑制することにより劣化防止の効果があると考えられるので、含浸深さを考慮した上で、効果についても議論することが必要である。ところが、既往の研究例では、この点に触れたものがなく、コンクリートの状態、塗料の施工方法等の要因が含浸深さに及ぼす影響について論じた例もない。

本研究は、上記の点を考慮し、効果を判定する標準的な試験方法の確立、含浸塗料を用いる場合の施工方法の確立、および含浸機構解明のための基礎的実験として、含浸塗料の種類、コンクリートの品質・施工方法、および塗料の塗布方法などの含浸深さへの影響を実験的に調べたものである。

2. 実験方法

2.1 要因と水準

表-1 各実験の要因と水準および実験方法

含浸塗料の含浸深さに影響を及ぼすと思われる要因の中から、コンクリートについては、水比^{W/C}、空気量、養生方法、乾燥度および表面状態などを取上げ、塗料については、塗料の種類、塗布手段および塗布間隔を取上げた。L8、L16直交表による実験、あるいは3元配置法による実験を行い、各種要因の影響を比較していった。実験は、全体で5種類行った。各実験の要因と水準および実験方法を表-1に示す。ここで、実験-4においては、仕上げ方法を変化させた実験と、型枠の種類を変化させた実験を同時に行い、実験-4.1、実験-4.2とした。但し、他の要因と水準に関しては同一とした。

2.2 使用材料

1)セメントおよび骨材
 セメントは普通ポルトランドセ

要因	水準	実験1	実験2	実験3	実験4	実験5
コンクリート	W/C	45、60 (%)	○	○		
		40、50、60 (%)			○	
	空気量	2、5 (%)	○	○		
	細骨材率	40、50 (%)				○
	養生方法	水中養生、気中養生	○			
	乾燥度	7日、14日、28日		○		
	表面状態	木ゴテ仕上げ、金ゴテ仕上げ				○
木製型枠面、鋼製型枠面					○	
木ゴテ仕上げ面、鋼製型枠面						○
塗布手段	ハケ塗り、スプレー塗り				○	○
	塗布間隔	1時間、24時間				○
塗料種類	ビニル系、反応シリコン系	○	○			○
	ビニル系、モルタル系、反応シリコン系			○		
	ビニル系、モルタル系、反応シリコン系、アクリル系				○	
実験方法	三元配置法		○	○		
	L8直交表					○
	L16直交表	○			○	

注) ○印は各実験で取上げた要因と水準、および実験方法を示す。

表-2 含浸塗料の性質

記号	含浸塗料 ¹⁾	比重	不揮発成分 ²⁾	外 観	形 態
A	ビニル系	0.82	46.5 %	茶褐色の液体	一液型
B	モノシラン系	0.85	18.4 %	茶褐色(濃)の液体	〃
C	反応シラン系	0.83	31.6 %	おうど色の液体	〃
D	アクリル系	0.80	5.0 %	無色の液体	〃

注) 1)系の分類はカタログによる。2)30日間気中放置による。

骨を、粗骨材は、粗骨材最大寸法20mmの久慈川産川砂利(比重2.57)、細骨材は、久慈川産川砂(比重2.56)をそれぞれ使用した。

2)含浸塗料

含浸塗料は、市販されているもののうち、表-2に示す4種類を使用した。系の分類は、各社のカタログによった。また、同表に各塗料の性質等についても示す。

2.3 試験方法

1)試験迄の手順

供試体の製作から含浸深さ測定までの基本的な手順を、図-1に示す。

2)供試体

コンクリートの配合は、スランブを12cmとし、実験の水準に応じた配合を試練りを行い決定した。また、塗料を塗布する迄の供試体の養生は、打設後14日間の気中(20℃、60%RH)養生を基本とした。なお、養生方法の影響を試験する場合には、水中養生(20℃)も行った。供試体寸法は、15x15x3cm、30x30x5.5cm 2種類の平板とし、実験-1~3では前者を使用し、実験-4および5では、スプレーによる塗布も行ったため後者を使用した。平板は水平に置いて塗布作業を行った。また、本研究では、供試体に塗料を塗布後、20℃、60%RHで24時間静置した後含浸深さの測定を行った。

3)含浸深さの測定方法

塗布供試体を2つに割り、その断面に赤インクをスプレーした後水で洗い流すと、インクの付着部分と付着しない部分に識別できる。

含浸塗料は、発水性または細孔充填性を持つ塗材であり、含浸層を形成している部分では、水の浸透が少なく、他の部分と断面の色の変化で識別できる。本研究では、色の変化をより鮮明にさせるため、赤インクを使用した。赤インクを塗布した例を写真-1に示す。測定位置は図-2に示すとおりであり、赤インクの付着していない部分について、中央およびその両側3cmの3点をノギスで測り、供試体3体の平均を含浸深さとした。なお、骨材が表層部にあつて含浸深さが著しく変化する場合には、その場所をはずして測定した。

3. 実験結果および考察

分散分析の結果、有意となった要因の一覧を表-3に示す。これらの実験から得られた主な結果は以下のとおりである。

1)コンクリートの各種要因による影響

①コンクリートの配合による影響

水比(以下W/Cとする)と空気量とで交互作用が実験-1、お

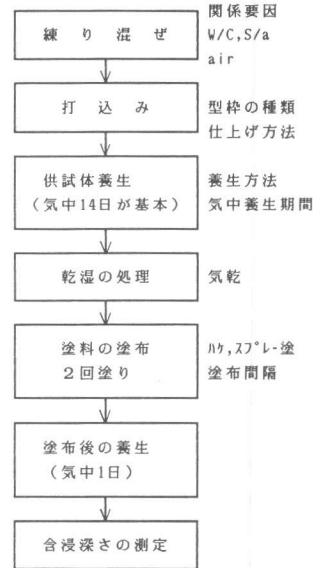


図-1 実験手順

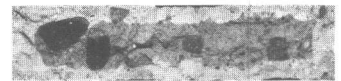


写真-1 赤インク付着例・15cm供試体

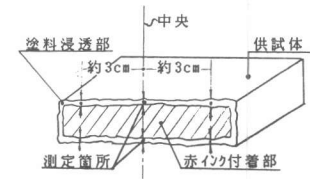


図-2 含浸深さ測定部分

表-3 分散分析の結果

要因	実験1	実験2	実験3	実験4	実験5
A W/C	□	*	*		
B 空気量	□		*		
C 細骨材率					*
D 養生方法	*				
E 乾燥度		*			
F 表面状態				□	*
G 塗布手段				*	□
H 塗布間隔				□	
I 塗料種類	*	*	*	*	*
A x B	*		*		
G x I					*

注) *印は有意(5%の危険率)を示す。
 □印は有意とならないものを示す。

よび実験-3で有意となった。その実験-3における点推定を図-3に示す。この図より、W/C40%では、空気量が2%、5%とも同程度の含浸深さを示すが、それぞれW/C50%でピークに達し、W/C60%では減少している。特に空気量5%の場合にその傾向が強い。W/C 60%の含浸深さが最大とならなかった理由としては、未反応水分が多く、その蒸発部の細孔径が大きく、含浸させる力と考えられる表面張力による毛細管力が小さくなり、また塗料の滞留により、かえって含浸深さが減少するためと思われる。

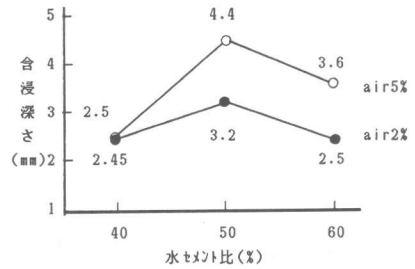


図-3 W/C, Airの交互作用の影響

細骨材率（以下S/aとする）については実験-5で取上げた。図-4に示すようにS/a=40%より50%の方が若干大きい値を示した。一般にS/aを上げると単位水量が増加するのでその影響かと思われる。

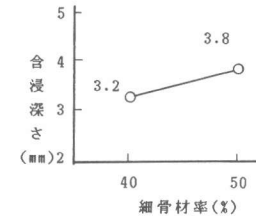


図-4 S/aの影響

②養生方法、乾湿、表面状態による影響

供試体に塗料を塗布する迄の養生方法による影響については、実験-1で取上げた。その結果図-5に示すように、気中養生（20℃、60%RH）の方が、水中養生（20℃）より約1.8倍程度含浸することが分かった。気中養生では、表層部分の水和反応が停滞し、結果として水中養生よりも表層での細孔容積が大きく含浸し易いためと思われる。なお、この実験では、乾燥状態を同一にするため、14日間それぞれの養生を行った後水中に1日漬け、その後気中に放置（1日）して塗料の塗布を行った。この場合の含浸深さは、乾燥が十分でなく全体として小さな値を示した。

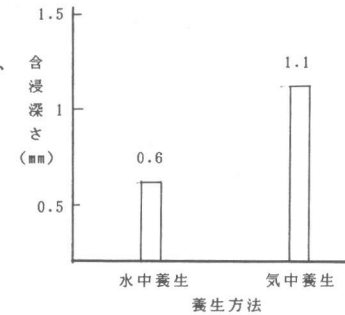


図-5 養生方法の影響

また、乾燥による影響を調べるため、実験-2では気中養生期間を7, 14, 28日と変化させた。結果は図-6のとおりであり、7~28日の間ではほぼ直線的に含浸深さが増加する。28日では7日の約1.8倍になっており、含浸深さはコンクリートの乾燥の程度に大きく影響されることが分かる。気中養生のコンクリート表面では水の補給がなく、材令とともに乾燥していくためと考えられる。

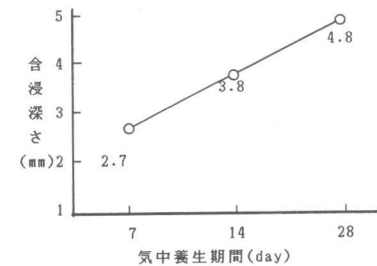


図-6 乾燥の影響

次に、コンクリート供試体の表面状態の影響を試験するため、実験-4.1では、木ゴテおよび金ゴテ仕上げ面の比較を行い、実験-4.2では、木製および鋼製型枠面の比較を行った。これらの場合、それぞれの組み合わせでは有意とならなかったが、実験-5で木ゴテ仕上げ面と鋼製型枠面とを比較したところ有意となった。実験-4、実験-5の結果を合わせて示すと図-7のとおりである。これより、型枠面の方が、仕上げ面よりも含浸しにくいことが分かる。このことは、表面状態が粗いほど表面での保水性が良くなり、塗料のたれ等を防ぎ、含浸する塗料の量が増えるためと思われる。

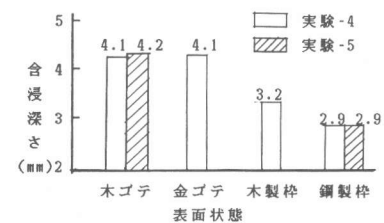


図-7 表面状態の影響

2) 塗料の要因による影響

① 各塗料による含浸深さについて

塗料による含浸深さについては、全ての実験について比較を行った。どの場合も大きな有意差を示した。実験-4におけるW/C=60%空気量5%のコンクリート・木ゴテ仕上げ面・スプレー塗りの条件での含浸深さの推定結果を図-8に示す。含

浸深さはビニルエステル系が最も大きく、以下反応シラン系、モノシラン系、アクリル系の順となった。含浸深さの推定結果はそれぞれ、6.1mm、5.2mm、2.9mm、2.7mmであった。

また、図-8には、塗料の含浸し易さの目安として、浸透時間も合わせて示した。浸透時間とは、20x20cmの2枚のガラス板を用い、左端を密着させ、右端に0.3mmの板を挟み、下端を塗料に浸漬させた場合の、高さ20cmまで塗料が浸透する時間とした。これは、太田らの方法に基づいている¹⁾。図-8より、アクリル系で約1分40秒、モノシラン系で2分20秒また、反応シラン系で4分、ビニルエステル系が約6分30秒となった。これらは、浸透時間の短い程、含浸し易い傾向を示すものと言えよう。ところが、コンクリートの含浸深さの結果と全く逆の傾向を示している。これは、毛細管浸透による入り易さと、含浸深さとは必ずしも一致しないことを示している。この点についての詳細な検討は今後の研究課題としたい。

②塗布方法による影響

塗布手段として、ハケ塗り、およびスプレー塗りについて、実験-4でその影響を調べた。実験-4の結果、図-9に示すように、後者の法が含浸深さが大きくなることが示された。また、2回目の塗布を行う迄の間隔の影響は、1時間と24時間について比較したが、有意差はなかった。

4. まとめ

以上の実験結果より以下のことが言えよう。

①水比が40、50および60%の範囲では、50%の場合に含浸深さが大きくなる。空気量が5%の場合に特にその傾向が強い。

②コンクリートの養生が十分に行われない場合においては、表面が粗いほど、乾燥期間の長いほど含浸深さが大きくなる。

③ハケ塗りとスプレー塗りでは、後者の場合の含浸深さが大きい。また、2回目を塗るまでの間隔の影響は、1時間と24時間で有意差はみられなかった。

④含浸塗料の種類により含浸深さが変化する。実験に用いた塗料の中では、ビニルエステル系および反応シラン系のもが大きく、モノシラン系およびアクリル系のもが小さかった。塗料の物性と含浸深さの関係については明確な関係をみつけることができなかったが、発水材を含むものの含浸量が小さくなっている。

⑤気中養生を行う場合の実験で得られた含浸深さの最大値は6.6mmであり、また、最小値は1mm以下である。このように、含浸深さは、各種要因の影響を受け易く、また、含浸深さの絶対値は決して大きくない。したがって、含浸塗料の施工にあたっては、①～④の条件に留意して方法を定める必要がある。また、含浸塗料の評価は施工条件に合わせた方法で行うべきである。

5. おわりに

本研究では、コンクリートおよび塗料の施工的な側面から含浸深さに対する影響を検討した。今後の課題として、コンクリートの配合等ではなく、細孔分布を指標として含浸深さをとらえ、含浸機構も解明する必要がある。また、含浸層を変化させる場合の劣化防止効果についても明らかにする必要がある。なお、後者については、現在一部実験中である。

参考文献

- 1)太田・国府：含浸系塗料による塩害防止の可能性 トマトコンクリート, No.463, 1985
- 2)大浜：塗布含浸型防水材料の性能比較 コンクリート工学, Vol.10, 1985
- 3)建設省土木研究所：防食材料の基礎室内試験報告(含浸性塗料の開発), 1984

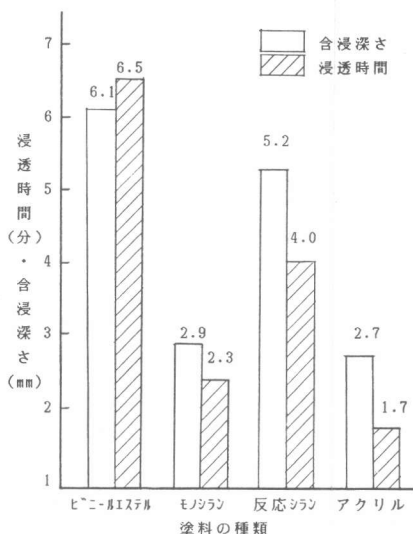


図-8 各塗料の含浸深さ

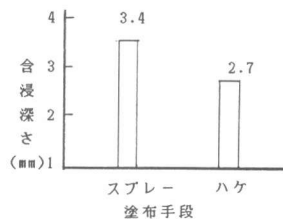


図-9 塗布手段による影響