

[1051] 特殊な樹脂フィルムによるコンクリートの養生および保護

正会員 大塩 明 (小野田セメント セメント研究所)
 正会員 ○神保和巳 (小野田セメント セメント研究所)
 宮崎 昇 (小野田セメント セメント研究所)
 正会員 城国省二 (株式会社 オーテック 開発部)

1. まえがき

一般の建設工事において、コンクリートが初期材令に乾燥状態に晒されると、その諸特性に大きく影響を及ぼし、コンクリートの性能を低下させる。しかし、実際の工事で長期間型枠を存置したり、湿潤養生を続けることは難しい。そのため、コンクリート構造物はかなり初期のうちから外部環境の影響を直接受けることになる。また、施工後のコンクリートの耐久性を向上させる目的で塗料や耐食性被膜等でコンクリートを被覆したり、あるいは含浸処理等をすることが試みられているが、吸水性のある多孔質なコンクリート表面にピンホール等のない完全な被膜を形成することは困難である。

そこで、以上のような欠点を解消するために筆者らは次のようなコンクリートの養生および保護方法を検討した。その最大のポイントは特殊な樹脂フィルムを鋼製型枠の内面に塗布し、ピンホールのない連続した被膜を形成させた後、コンクリートを打設して、型枠の取りはずしと同時に被膜をコンクリート表面に反転させるものである。

2. 実験概要

2.1 実験計画

本実験においては、モルタルおよびコンクリート供試体を以下の4通りで処理して実験に供した。なお、試験の概要を表1に示す。

- ケース1 通常に成形した場合 (被膜なし)
- ケース2 被膜のみを反転させた場合 (被膜反転)
- ケース3 被膜とポリマーセメントモルタルを反転させた場合 (被膜+モルタル)
- ケース4 脱型直後に特殊塗料を塗布した場合 (塗料塗布)

ただし、ケース2およびケース3の場合、モルタルおよびコンクリートの打込み面は、打込んだ翌日に型枠面に用いた同じ材料で塗布処理を行った。

ケース2では、コンクリート面への反転を確実にを行うためエチレン-酢酸ビニル共重合エマルジョンを、ケース3ではモルタルに使用するポリマーディスパーションにスチレンブタジエンゴムラテックスをそれぞれ使用した。ケース2およびケース3における供試体の処理手順としては、型枠内面に付着した油をよく拭きとった後、特殊塗料をハケで2回塗って被膜を形成させた後、ポリマ

表1 試験の概要

試験項目	供試体の処理方法			
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
供試体の付着試験		○	○	○
強度試験 (モルタル)	○	○		
強度試験 (コンクリート)	○	○		
クリープ試験	○	○		
凍結融解試験	○		○	
吸水試験 (モルタル)	○	○	○	○
透水試験 (モルタル)	○		○	○
塩素イオン浸透試験 (モルタル)	○	○	○	○

ーディスパージョンまたはポリマーセメントモルタルを塗布した。なお、ポリマーセメントモルタルを塗布する場合には2～3mmの厚さとし、ローラーで凹凸をつけた。また、この作業はモルタルまたはコンクリート打設前日に行い、モルタルまたはコンクリートは温度20℃、湿度90%の恒温室内で打設した。

2.2 使用材料

本実験に用いた特殊塗料およびモルタルとコンクリートの使用材料は以下の通り。

- 1) 特殊塗料 アクリル系水溶性エマルジョン
- 2) モルタル 細骨材：豊浦標準砂
- 3) コンクリート 細骨材：静岡県浜岡町 陸砂 粗骨材：茨城県岩瀬町 碎石
- 4) セメント 小野田普通ポルトランドセメント

2.3 配合

本実験で使用したコンクリートの配合を表2に示す。なおモルタルとしてはJIS R 5201セメントの物理試験方法に規定するモルタルを使用した。

表2 コンクリートの配合

スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				水	セメント	細骨材	粗骨材	減水剤
18.0	4.0	60.0	46.5	172	287	840	985	0.717

2.4 供試体の調整方法

供試体は型枠に所定の処理を行った後、モルタルあるいはコンクリートを打込み、その後、図1に示す方法を標準とする養生を行った後、試験に供した。

3. 実験方法

3.1 被膜の付着試験

被膜とコンクリートの付着力を試験するため表2の配合のコンクリートを用いて、ケース2～4について、30×30×5cmの供試体を成形した。またケース3に使用するポリマーセメントモルタルの配合は表3に示す。試験は図2に示すように4×4cmのアタッチメントをエポキシ系接着剤で付けて、油圧で強制的に被膜をコンクリート面から引き剥がすことによって付着力を測定した。

3.2 モルタルの強度試験

試験はケース1とケース2について、曲げ強度、圧縮強度、重量減少率、中性化深さを測定した。

3.3 コンクリートの強度試験

径10cm×高さ20cmの標準供試体を成形し、ケース1とケース2について、圧縮強度、静弾性係数、重量減少率および中性化深さを測定した。

3.4 コンクリートのクリープ試験

10×10×40cmの供試体を成形し、材令7日まで温度20℃、湿度90%の恒温室内で型枠のまま養生し、脱型後、温度20℃、湿度60%の恒温室内で圧縮強度の1/3の荷重を載荷してクリープ試験を開始した。また、同時に同じ形状の供試体で乾燥収縮を測定した。試験はケース1とケース2について行った。

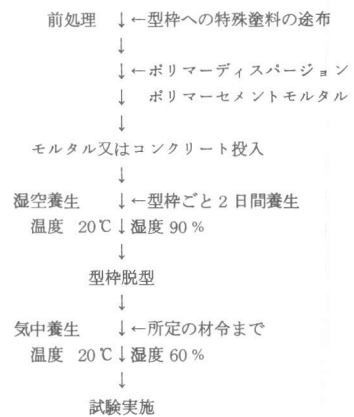


図1 供試体の標準調整手順

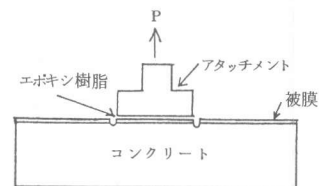


図2 被膜の付着試験方法

表3 ポリマーセメントモルタルの配合

W/C (%)	P/C (%)	単位量 (kg/m ³)				
		水	セメント	細骨材	SBR	高性能減水剤
24.8	15.0	217	880	880	132	18

3.5 コンクリートの凍結融解試験

10×10×40 cmの供試体を作製し、材令7日まで温度20℃、湿度90%の恒温室で型枠のまま養生し、脱型後、直ちに水中凍結融解試験を行った。凍結融解の1サイクル（供試体の中心温度が5℃～-18℃～5℃）は4時間とした。試験はケース1とケース3について重量減少率と動弾性係数を測定した。

3.6 モルタルの吸水試験

3.2項と同様の供試体を成形し、材令2日で脱型後、材令28日まで温度20℃、湿度90%の恒温室で養生し、その後6ヶ月間屋外養生を行った。試験は供試体を60℃の乾燥器で48時間乾燥させた後図3に示すように24時間、水中に浸漬してケース1～4について吸水率を求めた。なお、比較のためシリコン系含浸性防水剤についても試験した。

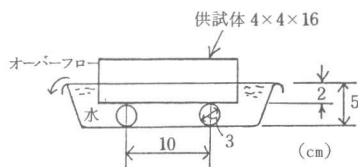


図3 吸水試験方法

3.7 モルタルの透水試験

モルタルは重量比でセメント1部、豊浦標準砂3部、水セメント比77%、フロー値160の配合とし、供試体の大きさは径15 cm×高さ4 cmとした。供試体は材令2日で脱型後、温度20℃、湿度90%の恒温室で材令21日まで養生し、その後、60℃の乾燥機で48時間乾燥させ、3 kgf/cm²の水圧で1時間透水試験を行った。試験はケース1, 3, 4および上記配合のモルタルに表3のポリマーセメントモルタルを2～3 mmの厚さに塗布したものについて行った。

3.8 モルタルの塩素イオン浸透試験

3.2項と同様の配合のモルタルを用い、径5 cm×高さ10 cmの供試体を成形し、材令2日で脱型した後、温度20℃、湿度90%の恒温室で材令7日まで養生し、その後NaCl 5%溶液に所定の材令まで浸漬した。試験は浸漬されたケース1, 2, 4の供試体を2つに割裂し、割裂面にフルオレセインナトリウム0.2%溶液と硝酸銀0.1N溶液を噴霧して白色を呈した部分を塩素イオンの浸透領域とし、平均浸透深さを算出した。

4. 結果と考察

4.1 被膜の付着力試験結果

被膜の付着力試験結果を表4に示す。試験は図2のようにアタッチメントの周囲に1 mm程度の浅い切り込みを入れて試験した。

結果として、ケース4は当然低い値を示したが、ケース2とケース3では非常に強い付着力を示した。特に、ケース3においてはポリマーセメントモルタルの強い接着力により被膜が良く密着されていたものと思われる。

塗料をコンクリート表面に塗布した場合と異なり、本方法によって形成された被膜はコンクリートの表層部の強度に支配されるため、材令と共に付着力も増加するのが特徴である。また、一枚の被膜は非常に薄くて(40～60μ)弱いものであるが、型枠からコンクリートに反転してコンクリートに密着していることから、被膜の強度および被膜自体の耐久性は著しく向上しているものと推察される。

4.2 モルタルおよびコンクリートの強度試験結果

モルタルおよびコンクリートの強度試験結果を表5および表6に示す。モルタルおよびコンクリートが初期に乾燥した環境にさらされると強度の増進率は本試験においても非常に小さくなった。特に、表6に示すケース1のコンクリートの圧縮強度、静弾性係数の値は小さく、材令と共に低下を示したが、ケース2のようにモルタルおよびコンクリートの

表4 付着力試験結果

材令 (日)	付着力 (kgf/cm ²)		
	ケース2 被膜反転	ケース3 被膜+モルタル	ケース4 塗料塗布
3	15	20	3
7	30	36	6
28	33	40	8

表面に被膜を形成すると、ケース1に比較して強度および弾性係数は非常に大きな値となった。これはモルタルおよびコンクリート内部の水分が空気中へ逸脱するのを遅らせ、セメントの水和を促進するためである。このような被膜の効果はコンクリートの体積比が小さいほど、脱型時期が早いほど有効であると思われる。

4.3 クリープ試験結果

コンクリートのクリープ試験結果を図4に示す。瞬間弾性ひずみはケース1が 33×10^{-4} 、ケース2が 34×10^{-4} でほぼ同様であったが、載荷材令1日のクリープひずみはケース1で 144×10^{-4} 、ケース2で 70×10^{-4} 、材令7日のクリープひずみはケース1で 236×10^{-4} 、ケース2で 145×10^{-4} となった。これは強度試験の場合と同様、被膜がコンクリート内部の水分を空気中に逸脱するのを遅らせ、セメントの水和を促進したためである。被膜によるクリープの低減効果について、ケース1とケース2を比較した場合に、その差は各材令においてほぼ一定の差であったが、乾燥収縮率の低減は特に材令28日までの初期材令において有効であった。また、それ以降の乾燥収縮率はケース1とケース2の差は小さくなるものの同一になることはなく、長期においても初期に発揮された被膜の効果が持続することを表わしている。また、乾燥収縮率の低減はひびわれ防止にも有効である。図5に示すような拘束器具を用いて、クリープ試験と同様の養生方法で中央部断面が 10×10 cmの供試体をケース1とケース2について、拘束ひびわれを発生させた。ひびわれ発生日数はケース1で9~11日、ケース2で33~35日になったことを確認している。この時の拘束収縮ひずみは、ケース1で 59×10^{-4} 、ケース2で 132×10^{-4} 、自由収縮ひずみはケース1で 265×10^{-4} 、ケース2で 284×10^{-4} であった。

表5 モルタルの強度試験結果

材令	7日		28日		91日	
	ケース1 被膜なし	ケース2 被膜反転	ケース1 被膜なし	ケース2 被膜反転	ケース1 被膜なし	ケース2 被膜反転
曲げ強さ (kgf/cm ²)	43	54	47	59	52	72
圧縮強度 (kgf/cm ²)	185	254	191	394	219	411
重量減少率 (%)	-8.19	-0.95	-8.81	-2.79	-9.09	-5.02
中性化深さ (mm)	2.7	0.0	6.3	0.0	11.1	0.3

表6 コンクリートの強度試験結果

材令	7日		28日		91日	
	ケース1 被膜なし	ケース2 被膜反転	ケース1 被膜なし	ケース2 被膜反転	ケース1 被膜なし	ケース2 被膜反転
圧縮強度 (kgf/cm ²)	201	225	213	300	188	306
静弾性係数 $\times 10^4$ (kgf/cm ²)	17.6	23.5	16.7	26.3	14.2	24.4
重量減少率 (%)	-2.34	-0.92	-3.13	-1.58	-3.32	-2.36
中性化深さ (mm)	1.8	0.0	6.0	0.0	8.8	0.0

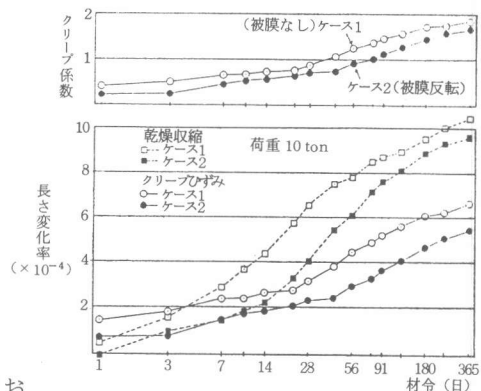


図4 クリープ試験結果

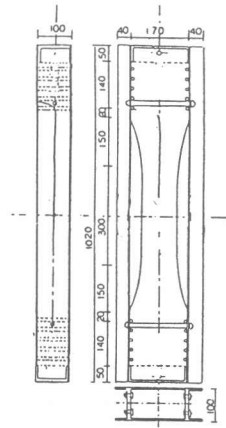


図5 拘束器具および拘束試験体

4.4 コンクリートの凍結融解試験結果

コンクリートの凍結融解試験結果を図6に示す。この試験では型枠のまま7日間しか養生しなかったことが影響して、実測値で空気量が3.8%であったにもかかわらずケース1では約150サイクルで相対動弾性係数が60%以下となった。ケース3では脱型と同時に凍結融解が作用しても、脱型と同時に被膜が形成されるため300サイクル後も相対動弾性係数は80%以上の値となった。

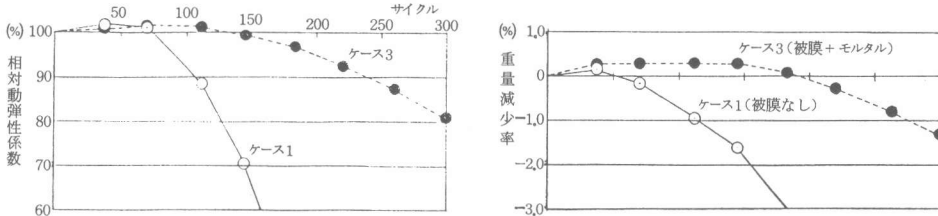


図6 凍結融解試験結果

4.5 モルタルの吸水・透水・塩素イオン浸透試験結果

モルタルの吸水試験結果を図7、透水試験結果を表7、塩素イオン浸透試験結果を図8にそれぞれ示す。吸水試験では屋外に供試体を暴露すると、含浸性防水剤やケース4のよ

うに後から塗布した場合は、モルタル表面のピンホールや材料の劣化が起因となり、被膜なしのケース1に対し、屋外養生1ヶ月ではかなり小さい値となっているが、3ヶ月ではほぼ同じような値

となってしまふ。ところがケース2やケース3のように、被膜がコンクリートに密着していると、屋外養生によっても被膜が劣化することもなく、ケース1に比べて著しく小さな値となっている。また、屋外養生6ヶ月ではケース1のモルタルにおいてもかなり緻密になっており、初期材令における養生及び保護の重要性が窺われる。透水試験においては透水比はケース1に比較してケース3は著しく小さい。特に、ケース3はポリマーセメントモルタル自体が緻密であるため、被膜との組合せにより透水に対する抵抗性が著しく改善されている。ケース4の場合はピンホールが塗料によって塞がれないためそこからの水の浸透が多く、ケース1に比較しても1/2程度の透水比しか示さなかった。

塩素イオンの浸透性に対する抵抗性も吸水や透水の場合と同様、材令91日までの結果では図8に示すように被膜の効果が発揮されている。また、図9のような拡散セルを用いて径50mm×厚さ5mmの供試体を2個のセル容器にはさみ、

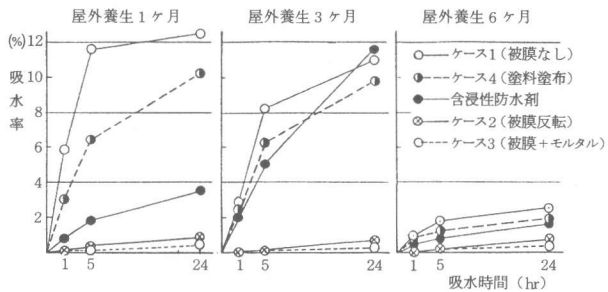


図7 モルタルの吸水試験結果

表7 透水試験結果

	ケース1 被膜なし	ケース2 被膜反転	ケース3 被膜+モルタル	モルタル 塗布
透水量(g)	107.0	0.9	58.6	4.5
透水率(%)	100.0	0.8	54.8	4.2
透水深さ (mm)	4.0	0.0	2.5	0.4

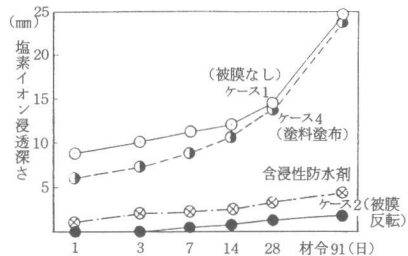


図8 塩素イオン浸透深さの経時変化

一方の容器に NaCl 10% 水溶液を入れ、イオンメーターにより塩素イオン透過量を測定し、拡散係数を算出した。その結果、ケース 1 で $1.32 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ 、ケース 2 で $0.04 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ 、ケース 3 で $0.03 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ 、ケース 4 で $0.83 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ となった。(前養生は 20℃, RH 90% で 7 日間、W/C = 54.8%, 川砂使用, 1:2 モルタル, フロー 205), これらの試験結果より本研究による方法で被膜を形成させた場合、たとえばケース 3 では表面に水やイオンの浸入を防ぐ被膜層を有し、第 2 層としては緻密なポリマーセメントモルタル層を有し、さらにその下のコンクリートの表面層は緻密になっており、コンクリートの上から後で塗料を塗った場合や、モルタルで表面仕上げした場合に比べて非常に優れているものと思われる。また、中性化はモルタルおよびコンクリートの表面に被膜を形成すると材令 91 日までほとんど進行しない。(表 5, 表 6) これは被膜が空気中の炭酸ガスを遮断しているためであり、被膜を型枠面からコンクリート面へ反転させた場合、その連続性のためピンホールが出来ず、一層効果を高めていると思われる。図 10 に示すように材令 28 日および材令 180 日の表面付近の細孔径分布は、ケース 1 に比較してケース 2 の方が 750 ~ 7500 Å が少くなり、75 Å 以下の細孔径が多くなっている。このようにコンクリート表面に被膜を形成することによって、表面を緻密にし、強度や中性化に対する改善だけでなく、被膜自体の性能も加わって吸水や透水に対する抵抗性が改善されるものと考えられる。

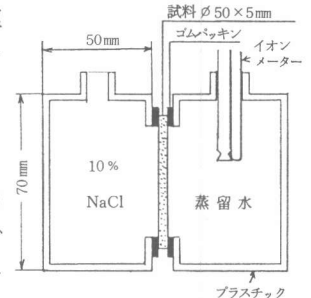


図 9 拡散セル

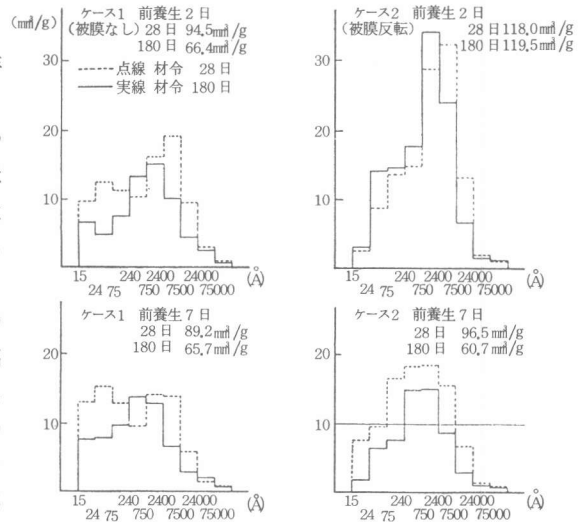


図 10 コンクリートの細孔径分布

5. 結論

本研究では特殊樹脂フィルムの特性に着目し、各種の実験を行い次のような結論を得た。

- 1) 本研究による方法では、特殊塗料の弱い付着力を利用し、型枠の内面に塗布した被膜をコンクリート表面にピンホールの無い連続的な被膜として形成することが出来る。コンクリート表面に形成された被膜はその優れた特性により、後から塗った場合に比較して非常に劣化しにくい。
- 2) コンクリートの表面に被膜を形成することによって、乾燥状態におけるモルタルおよびコンクリートの強度および弾性係数の低下をかなり防ぐことができ、さらに、クリープ乾燥収縮を低減し、拘束ひびわれを少なくすることができる。
- 3) 被膜の形成により凍結融解、吸水、透水、塩素イオン浸透に対する抵抗性を著しく改善することができる。特に被膜とポリマーセメントモルタルによってコンクリートを保護した場合は厳して環境において有効であると考えられる。
- 4) 本研究による方法では型枠内面に被膜を形成することによって、型枠からの漏水を防ぎ、均一なコンクリートを造り、脱型と同時にコンクリート表面に被膜を形成することができるので、材令初期からコンクリートに欠陥が生じることを防ぎ、優れた耐久性を提供するものと考えられる。