

報告 打込み時から継続的な封かん養生が可能なコンクリート養生用フィルムに関する実験的検討

谷 慎太郎^{*1}・河金 甲^{*2}・徳久 啓二^{*3}・尾田 英司^{*4}

要旨：打込み時から継続的な封かん養生が可能となる型枠貼付型の養生用フィルムの開発にあたり、養生用フィルムを使用した長期封かん養生によるコンクリートの品質向上効果について、標準的な施工と比較した。その結果、長期封かん養生を行うことで、コンクリート強度が養生終了後も長期的に増進することや、コンクリートの表層が緻密化することで吸水・塩分浸透・透気に対する抵抗性が向上することを明らかにした。また、粘着剤による養生用フィルムとコンクリートの付着性状はコンクリートの配合や型枠取外し時の材齢により異なることや、養生用フィルム除去後の糊残りの有無は日射が大きく影響することがわかった。

キーワード：封かん養生、養生用フィルム、表層品質、耐久性

1. はじめに

構造物のコンクリート表層を緻密化し、供用中におけるコンクリート内部への劣化因子の浸入を抑制することは、構造物の耐久性を向上させる観点より重要である。セメントが完全に水和するために必要な水量はセメント質量の25%程度¹⁾であるため、一般的な土木構造物に使用されるコンクリート（水セメント比40%～55%程度）においては、内在する水分を表面から逸散させることなく十分に水和反応を進行させることで、コンクリート表層を緻密にすることができる。さらに、材齢初期の水分逸散防止は、所要の強度が発現する前に表面だけが急激に乾燥することにより生じるひび割れを抑制できる。

コンクリート表面からの水分逸散を防止することは、打込み後、型枠を存置することで可能となる。しかし、実施工においては、施工工程やコストなどへの配慮から、次工程の作業を行うために早期に型枠を取り外す必要が生じる場合が多い。その場合、型枠取外し後速やかに養生マットを設置することで水分の逸散を抑制することはできるが、特に梁部材の底面では、養生マットを密着させて固定するための設備に要する費用や作業労力が多大となる場合が多い。一方、最近では、型枠取外し後のコンクリート表面に封かん養生を目的としたシートなどを貼付する工法も多数開発されている²⁾。これらの型枠取外し後に追加養生を実施する方法においては、型枠を取り外して養生設備などを設置するまでの期間に乾燥が進行することや、コンクリート表面に急激な乾燥影響を与える可能性が高い。

このような課題に対し、型枠取外し後もコンクリートを外気に暴露することなく継続して表面からの水分逸散

が防止できる型枠貼付型養生用フィルムの実用化を目的とした検討を行った。本報告では、型枠貼付型養生用フィルム（以下、養生フィルムと称す）の概要や施工手順を説明し、効果検証結果や各種施工条件への適用性に関する検討結果を述べる。

2. 養生フィルムを用いた封かん養生の概要

2.1 養生フィルムの概要

写真-1に養生フィルムの外観を、図-1に養生フィルムを用いた封かん養生要領を示す。養生フィルムは、ポリエチレン系フィルム（厚さ0.05mm）を基材とし、その表裏面にアクリル系の粘着剤を塗布している。コンク



写真-1 養生フィルム

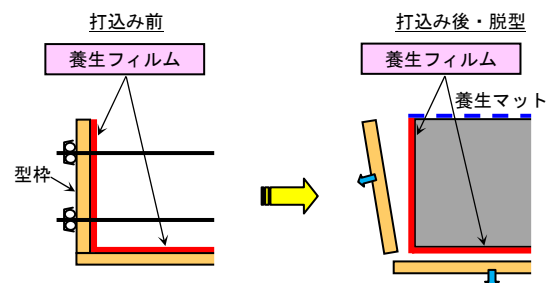


図-1 封かん養生要領

*1 極東興和(株) 広島支店技術部技術課 課長 (正会員)

*2 極東興和(株) 営業本部技術企画部技術企画課 博(工) (正会員)

*3 アオイ化学工業(株) 開発営業本部 本部長

*4 アオイ化学工業(株) 開発営業本部開発営業部開発課 主任

リート打込み前に型枠に貼り付けておいたフィルムが、型枠を取り外した後はコンクリート表面に付着残存することにより、打込み時から継続的な封かん養生を可能としている。型枠から剥離してコンクリートに付着残存する必要があるため、フィルム表裏に塗布する粘着剤は、塗布厚等の違いにより接着強度を変えている。

2.2 施工手順

(1) 型枠へのフィルム貼付

型枠加工時、フィルムにシワが入らないように注意してフィルムを型枠に貼り付ける。フィルムの継目部は重ね合わせて使用することを基本とする。

(2) コンクリート面側の接着部露出

型枠組立と並行してフィルムの剥離紙を剥がし、コンクリート面側の接着部を露出させる。

(3) コンクリート打込み・型枠取外し

型枠からのフィルムの剥がれがないことを確認しながらコンクリートを打ち込む。所定の強度が発現した後、型枠を取り外す。フィルムが型枠から剥離しコンクリート面に付着残存して封かん養生を継続する。

(4) フィルム除去（養生終了）

封かん養生を継続し、所要の日数経過後、フィルムを除去して養生を終了する。

3. 養生フィルムを用いた長期封かん養生の効果検証

3.1 試験概要

養生フィルムを用いることで、長期間の封かん養生を容易に行うことができる。そこで、標準的な施工を模した養生と比較することで、養生フィルムを用いた長期封かん養生によるコンクリートの品質向上の効果検証を行った。効果検証は、養生期間の異なる2ケースについて、水分逸散抑制効果および表層の緻密化に着目し、質量減少量・圧縮強度・吸水性・塩分浸透性・透気性を確認した。表-1に養生ケースを、表-2に各種試験概要を示す。供試体に用いたコンクリートは、PC橋の上部工を想定した設計基準強度 40N/mm²（早強セメント使用）とした。表-3に試験に用いたコンクリートの配合を示す。なお、ケース1の養生期間は、平均気温 15℃以上における標準的な養生日数としている³⁾。また、両ケースとも型枠存置期間（材齢3日まで）は、上面を布製マットで覆い、ケース2については、型枠取外し後に上面にも養生フィルムを貼付した。

表-1 養生ケース

養生ケース	ケース1 [標準施工]	ケース2 [長期封かん養生]
養生期間	3日	28日
養生方法	・材齢3日まで ：型枠存置 ・材齢3日以降 ：気中暴露	・材齢3日まで ：型枠存置 ・材齢3～28日 ：養生フィルムによる封かん養生 ・材齢28日以降 ：気中暴露

表-2 各種試験概要

No.	試験項目	試験概要	供試体寸法
1	質量減少量測定	材齢3～28日までの期間、質量変化量を測定（各ケース3体平均を比較）	幅100mm×高さ100mm ×長さ200mm
2	圧縮強度試験 (JIS A 1108-1999)	材齢28日および91日の圧縮強度（各ケース3体平均を比較）	φ100mm×高さ200mm
3	表面吸水試験	材齢56日経過後、吸水試験開始（吸水面φ38mm）。コンクリート表面の含水率の影響を取り除くため、吸水開始後1日目を原点とした吸水量を比較（各ケース3箇所平均を比較）	幅100mm×高さ150mm ×長さ300mm
4	塩分浸透性試験	材齢56日経過後、塩水（塩分濃度3%）に浸漬。浸漬期間2ヵ月時点の塩分浸透深さを比較（各ケース2体平均を比較）	幅100mm×高さ100mm ×長さ200mm
5	表面透気試験 (TORRENT法 ⁴⁾)	材齢30日時点で、TORRENT法による型枠設置面（側面・底面）の表面透気係数を算定（各ケース2体平均を比較）	幅150mm×高さ150mm ×長さ530mm

表-3 試験に用いたコンクリートの配合（効果検証）

試験 No.	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
			水	セメント	細骨材	粗骨材	高性能減水剤
1～4	46	43	160	348	783	1033	2.78
5	45	43	160	356	774	1041	2.49

3.2 試験結果

(1) 質量減少量測定

写真-2 に養生フィルムによる封かん状況を、図-2 に型枠取外し直後の質量を基準とした質量減少率を示す。材齢 28 日の時点で、ケース 1 は約 1% の質量減少が生じたことに対し、ケース 2 は質量の変化はほとんどなく、封かん状態であることがわかる。

(2) 圧縮強度試験

図-3 に材齢 28 日と材齢 91 日における両ケースの圧縮強度試験結果を示す。養生フィルムによる封かん養生が終了した材齢 28 日において、ケース 2 はケース 1 と比較し約 7% 強度が高かった。さらに、材齢 91 日になると、ケース 1 の強度は材齢 28 日からほとんど変化しなかったことに対して、ケース 2 はフィルム除去後の材齢 28 日以降も強度が増進し、ケース 1 との圧縮強度の差は 14% となった。これは、封かん養生中は水分逸散がなく材齢 28 日の時点でコンクリート中に未反応水が残存しており、その後もセメントの水和反応が継続したためと考えられる。以上のことから、材齢初期の養生期間を延長することが、長期の強度増進に大きく寄与することを確認した。

(3) 表面吸水試験

写真-3 に表面吸水試験状況を示す。吸水試験は、供試体側面に市販のプラスチック製の吸水試験器具を接着剤により固定し、吸水面中心からの水頭高さ 285mm まで水道水を注水して、水頭圧によりコンクリートへ吸水させた。器具内の水の蒸発を防ぐため、注水口はビニールテープを 2 重に貼付し閉栓した。図-4 に 28 日間の吸水水量測定結果を示す。測定開始から 28 日目に着目すると、ケース 2 の吸水水量は 3.1ml であり、ケース 1 の吸水水量 4.0ml と比較して 23% 低減する結果であった。

(4) 塩分浸透性試験

海水を想定した塩分濃度 3% の塩水に供試体を 2 カ月間浸漬させた後、曲げ荷重により露出させた供試体中央付近の断面に 0.1mol/l 硝酸銀溶液を噴霧し、目視により塩分浸透深さを確認した。硝酸銀溶液噴霧により、塩分



写真-2 養生フィルムによる封かん状況

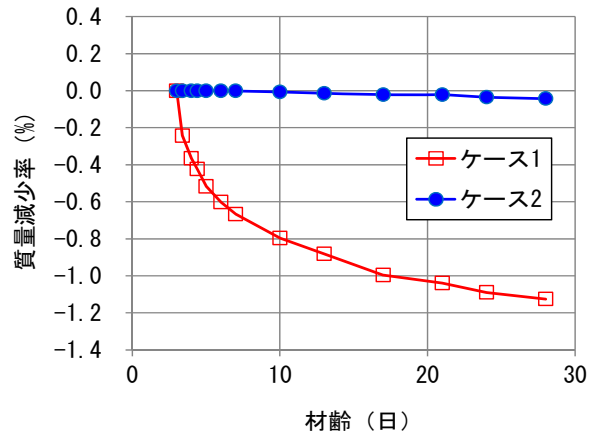


図-2 質量減少率

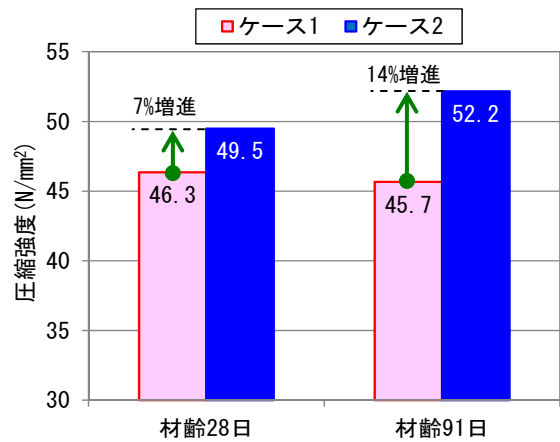


図-3 圧縮強度

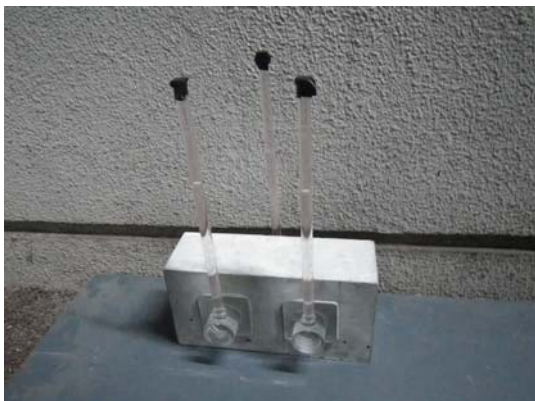


写真-3 表面吸水試験状況

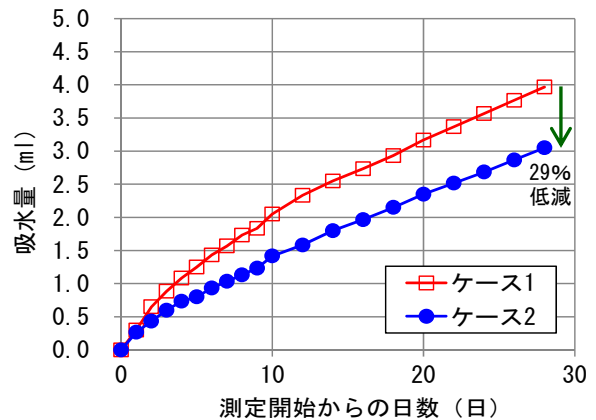


図-4 表面吸水水量

浸透領域は白色に、それ以外は褐色に変色するため、色の変化で塩分浸透深さを把握することができる。塩分浸透深さを写真-4に示す。ケース2の塩分浸透深さは14mmであり、ケース1の18mmと比較して22%低減する結果であった。

(5) 表面透気試験

写真-5に表面透気試験状況を、図-5に試験結果から求めた各ケースの透気係数KT値を示す。なお、透気試験は、封かん養生終了後の側面および底面を対象として実施している。ケース2の透気係数は、ケース1と比較して側面で61%、底面で56%低減する結果であった。

前述の表面吸水試験・塩分浸透性試験の結果と併せて、これらの試験結果は、養生フィルムを用いた長期封かん養生によりコンクリート表面が緻密になったことを示唆しており、劣化因子の浸入を抑制できると考える。

全ての試験において、ケース2はケース1と比較し、強度増進・表層の緻密化などコンクリートの品質が向上したことを示す結果であり、養生フィルムの粘着剤がコンクリートの硬化不良などの悪影響を及ぼさないことを確認できた。

4. 施工条件に対する検討

4.1 検討概要

養生フィルムの特徴は、コンクリート打込み前に型枠に貼付しておき、型枠取外し後にコンクリート表面へ付着残存することで封かん養生の継続が可能となることである。そのため、各施工段階において、型枠やコンクリートに対してフィルムを適切に脱着できる付着性能を有する粘着剤を用いることが重要となる。型枠側の粘着剤は、接着力が弱すぎるとコンクリート打込み完了までにフィルムが剥がれやすく、強すぎると型枠取外しの際にフィルムが型枠から剥がれず作業性が著しく低下する。一方、コンクリート側の粘着剤は、接着力が弱すぎると型枠取外し時にフィルムがコンクリートへ付着残存せず、強すぎると養生終了後のフィルムの除去作業が困難となることや糊残りが懸念される。粘着剤は、対象物の物性や養生期間中の環境の影響により接着強度などの性状が変化するため、各種施工条件に対する適用性を把握する必要がある。

以上を踏まえ、コンクリートの配合（セメント種別・強度）や日射が養生フィルムの接着性に及ぼす影響について検討を行った。養生フィルムは屋外での使用が基本であることから、各試験に用いる粘着剤には、耐候性に優れたアクリル系の粘着剤を用いた。

4.2 コンクリートの配合に対する検討

(1) 試験概要

使用セメントの異なる2種類のコンクリートを対象と

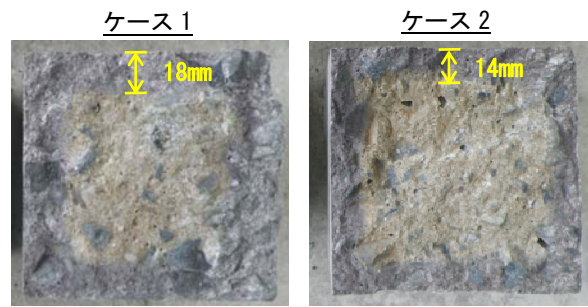


写真-4 塩分浸透深さ

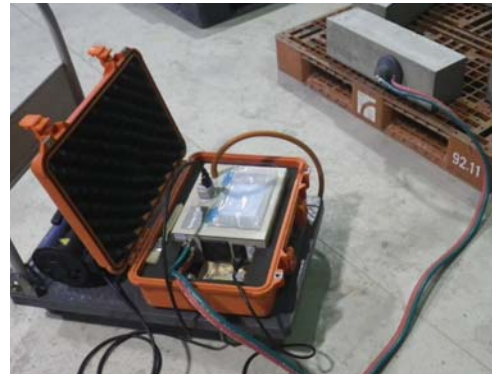


写真-5 表面透気試験状況

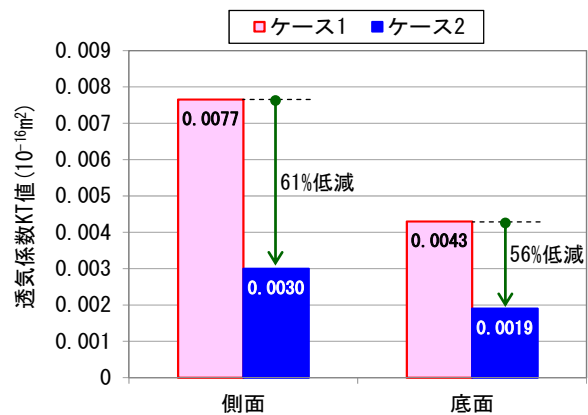


図-5 表面透気係数

し、供試体の側面型枠に養生フィルムを貼付し、脱枠時における型枠からの養生フィルムの剥離状況、コンクリートへの付着状況を確認した。配合は、早強セメントを使用した設計基準強度 30N/mm² と高炉セメント B 種を使用した設計基準強度 24N/mm² とした。表-4に試験に用いたコンクリートの配合を示す。なお、早強セメントを使用したものは、PC 橋の上部工コンクリート（横組工）を、高炉セメント B 種を使用したものは、橋梁の地覆・壁高欄および下部工コンクリートを想定したものである。型枠取外し時期については、両配合の供試体とも、材齢 3 日と材齢 7 日の 2 ケースとした。供試体は、縦 300mm × 横 300mm × 高さ 400mm の直方体を各ケース 1 体とした。なお、試験は屋外にて実施している。

表-4 試験に用いたコンクリートの配合（配合影響の検討）

セメント種別	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
			水	セメント	細骨材	粗骨材	高性能減水剤
早強	46	43	167	363	763	1027	1.09
高炉 B	55	46	167	304	836	996	1.52

表-5 試験結果

ケース	セメント	型枠取外し時期			型枠取外し時フィルム状態		
		材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	供試体表面温度 (°C)	コンクリート側 ※		型枠側
					接着	剥がれ・浮き	接着
1	早強	3	29.9	20.1	95%	5%	なし
2		7	41.4	16.0	100%	0%	なし
3	高炉	3	8.1	20.6	20%	80%	なし
4		7	14.8	16.0	80%	20%	なし

※コンクリート側の接着、剥がれ・浮きの比率 (%) は、目視による面積比率を示す。

(2) 試験結果

表-5 に試験結果を、写真-6, 7 に型枠取外し後のフィルムの状態の抜粋を示す。いずれのケースにおいても、型枠からの剥離状況は良好であり、型枠側の粘着剤は要求性能を満足していると判断できる。コンクリート側については、セメント種別によらず型枠取外し時の材齢を7日とした場合は3日としたものより接着状態が良好であった。これは、水和反応の進行に伴いコンクリート表面の水分量が減少していることに起因して、型枠取外し時点での粘着剤の接着力が高くなったためと考えられる。早強セメントを使用したケースは、型枠取外し時期によらずコンクリートへの接着性が良好な結果であった。高炉セメント B 種を使用したケースについては、早強セメントを使用したケースより、相対的に剥がれ・浮きが比較的多い結果であり、コンクリートに使用するセメント種別により、粘着剤への影響が異なる結果であった。これは、型枠取外し時点のコンクリートの表面状態の相異に起因していると考えられ、水和反応速度が遅い高炉セメント B 種のケースは、材齢初期における表面の水分量が多く、また、水セメント比が大きくコンクリート表面に微細な空隙が多いため、フィルムとコンクリートの付着強度が小さく、浮き・剥がれが多くなったと推測する。

4.3 日射の影響に対する検討

(1) 試験概要

封かん養生中の日射の有無、日射時間および封かん養生期間をパラメータとし、養生フィルム除去後の糊残りの有無に着目した試験を行った。図-6 に供試体概要図を示す。供試体形状は、縦 200mm×横 900mm×高さ 900mm とし、縦置き状態でコンクリートを打設し、材齢3日で型枠を取り外した後、養生フィルム貼付面が上



写真-6 脱枠時フィルム状況 (ケース 2)



写真-7 脱枠時フィルム状況 (ケース 3)

面となるように横置き状態で屋外にて封かん養生を継続した。屋外での封かん養生中、上面の半分は養生フィルムの上に白色の遮光フィルムを貼付し日射を遮断した。封かん養生期間の影響を確認するため、上面を4区画に分割し、材齢14・28・56・91日で段階的に養生フィルムの除去を行い、養生フィルム除去後の糊残りの有無を目視により確認した。本試験は養生フィルムが確実にコンクリートへ付着残存することを前提とするため、前述のコンクリート配合に対する検討結果を踏まえ、表-6 に示す早強セメントを使用したコンクリートを供試体に用いた。

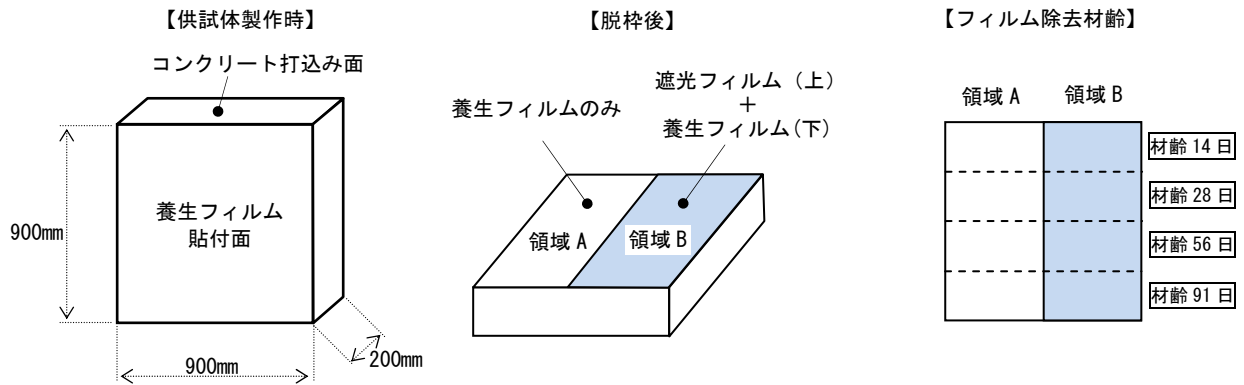


図-6 供試体概要図

表-6 試験に用いたコンクリートの配合（日射影響の検討）

セメント種別	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
			水	セメント	細骨材	粗骨材	高性能減水剤
早強	36	41	151	419	732	1049	3.35

(2) 試験結果

写真-8 に養生フィルム除去後の状況を示す。日射を遮断した領域 B においては、全域で糊残りは無かった。一方、日射の影響を受けた領域 A において、材齢 14 日に養生フィルムを除去した箇所では糊残りは無かったが、材齢 28 日に除去した箇所では面積の半分以上で糊残りがあり、材齢 56 日以降に除去した箇所では全域で糊残りがある状態であった。これは、日射に伴い紫外線の影響を受けるため、粘着剤もしくは基材が劣化し、基材から粘着剤が剥離してコンクリート表面に残ったものと推測する。

5. まとめ

打込み時からフィルムを除去するまでの期間、継続的な封かん養生が可能となる養生フィルムを開発するにあたり、標準的な施工方法と比較した場合の効果や施工条件に対する適用性の検討を行った。その結果、得られた知見を以下に示す。

- (1) 養生フィルムを使用した封かん養生により、水分の逸散を抑制することが可能となる。
- (2) 養生フィルムを使用した長期封かん養生を行うことで、養生終了後もコンクリートの圧縮強度の増進が見込める。
- (3) 養生フィルムを使用した長期封かん養生を行うことで、標準的な養生方法による場合と比較し、コンクリート表層の吸水・塩分浸透・透気に対する抵抗性が向上する。
- (4) 粘着剤による養生フィルムとコンクリートの付着性状は、コンクリート配合や型枠取外し時の材齢の相違により異なる。

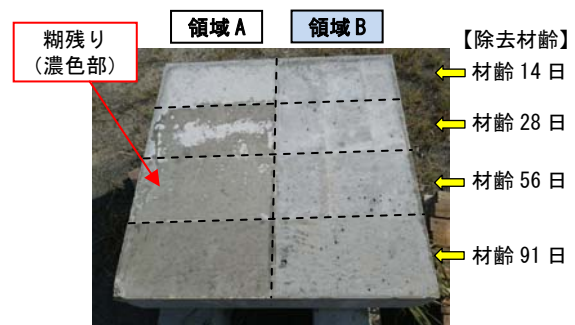


写真-8 糊残り状況

(5) 養生フィルム除去後の糊残りの有無は、日射の有無や日射時間が大きく影響する。

今後は、実施工では様々となる施工条件に対して適用条件を拡大するため、コンクリートとの付着性状の改善や糊残りの抑制に着目した粘着剤の仕様などに関する詳細な検討が必要と考えている。

参考文献

- 1) 小林一輔, 和泉意登志, 出頭圭三, 睦好宏史: 図解コンクリート事典, オーム社, pp.126, 2001
- 2) 例えば, 近松竜一, 近藤紀人, 中嶋智史: コンクリートの表面貼付型養生テープの開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.1035-1040, 2002
- 3) 土木学会: 2012年制定コンクリート標準示方書 [施工編], p.122, 2013.3
- 4) 松崎晋一郎, 吉田亮, 岸利治: 単位水量と水セメント比がコンクリートの表層の透気性に及ぼす影響とその養生依存性, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.757-762, 2009