

論文 給水型コンクリート養生シートの養生効果について

為石 昌宏*1・吉田 涼平*2・平泉 顕*3・鶴原谷 善一*4

要旨：筆者らが新しく考案した給水型コンクリート養生シートは、ケイ酸塩を含む水溶液を含浸させた不織布（保水部）と非透水性フィルムで構成され、保水部を十分含水させた後、コンクリート表面に張付けるものである。本養生シートより若材齢時に水分を供給でき、かつその後の水分の逸散を防止できる特徴を有している。そこで、本研究では、本養生シートによる養生効果を把握するため、圧縮強度、透気係数、中性化深さおよび SEM による組成観察について実験を行った。その結果、本養生シートを使用した養生を実施することにより、水中養生を実施したコンクリートと同等の効果が得られることがわかった。

キーワード：養生, 養生シート, 給水養生, 引っかき試験, 中性化, 表面透気係数, SEM

1. はじめに

コンクリート構造物の品質を確保する上で、施工時におけるコンクリートの養生はきわめて重要である。そのため、近年、材齢 28 日以上での長期養生を実施する目的に、型枠取り外し後のコンクリート表面を確実に養生する新しい技術などが研究開発され、実際に使用されている。

養生方法としては、湛水養生、給水養生のような水中養生に近い方法や、コンクリート表面に非透水性フィルムを貼り付ける方法や、シート等で覆うことによりコンクリート表面からの水分の逸散を防止する方法（封緘養生）、さらには、コンクリート表面に養生液を散布することで水分の逸散を抑制する方法に大別される。

これらの養生方法において、水和反応に必要な水分を外部から供給できる湛水養生や給水養生が最も養生効果が大きい方法であると考えられる。しかし、水平打継ぎ面のように型枠を堰にしてコンクリート面を湛水することは比較的容易に実施可能ではあるが、鉛直面や下面に対して給水養生を実施することは容易ではなく、現状では型枠を存置する方法や、非透水性のフィルムで覆う方法などが用いられている。

そこで、筆者らは、鉛直面や下面においても比較的容易に給水養生を実施可能な技術を検討した。その結果、若材齢時にコンクリート表面に水和反応に必要な水分を供給し、かつ、長期的にコンクリート表面の湿潤状態を保持することが可能な新しい給水型の湿潤養生シートを考案し、その本養生シートによる養生効果を把握するため、圧縮強度、透気係数、中性化深さおよび SEM による組成観察について実験を行った。本稿では、その本養生シートの特徴や効果確認実験の検討結果について述べる。

2. 本養生シートの概要および特徴

2.1 本養生シートの概要

今回考案した養生シートは、図-1 に示すように保水性に優れたコットン系不織布（保水部）とポリエステル製非透水性フィルムで構成される。保水部の不織布には、あらかじめケイ酸塩を含む水溶液を含浸させ、乾燥させてある。写真-1 に本養生シートの外観を示す。

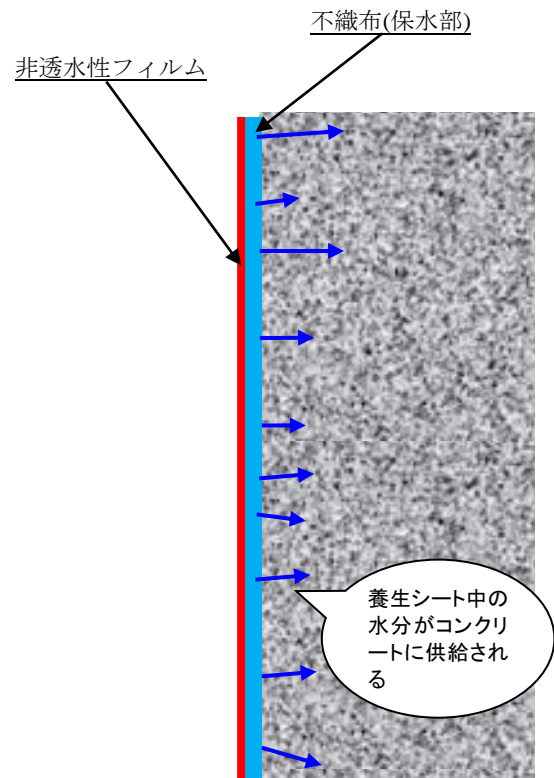


図-1 本養生シートの構成

*1 (株) 鴻池組 土木技術部 (正会員)

*2 (株) 鴻池組 土木技術部

*3 ユニチカ (株) 不織布技術部

*4 (株) クレイン

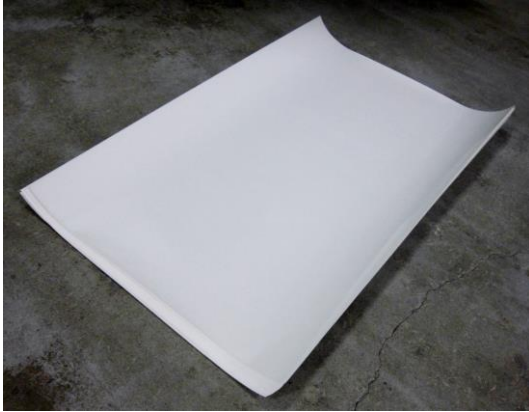


写真-1 本養生シートの外観

2.2 本養生シートの施工方法

以下に、本養生シートの基本的な施工方法を示す。

- 1) 型枠を取り外し、コンクリート面に埃やレイタンス処理に伴う汚れ等が付着している場合は、洗い流す。
- 2) 養生シートの不織布側を水で濡らす。この場合、写真-2に示すように水に1回浸すだけで十分に含水する。



写真-2 養生シートの濡らし方の一例

- 3) フィルム面を外側にして濡らした養生シートを写真-3に示すようにコンクリート面に貼り付ける。この際、大きな気泡が残らないように貼り付ける。なお、直径3cm以下の気泡は、張付け後の、目視検査により、時間の経過とともに消えることを確認した。



写真-3 養生シートの貼り付け状況

- 4) 所定の養生期間終了後、養生シートを取り外す。

2.3 本養生シートの特徴

本養生シートは、あらかじめケイ酸塩を含む水溶液を不織布部に含浸し乾燥させてあり、これにより以下の特徴を有する。

(1) 密着性

貼り付け初期は、濡れた養生シートの不織布とコンクリート表面が表面張力により密着する。その後、不織布に含浸したケイ酸塩系水溶液がコンクリート表面との界面で結晶化することにより、引き続き密着し続ける。このように養生シートとコンクリート表面が密着し、かつシート表面に非透水性フィルムがあることで、コンクリート表面からの水分の逸散を確実に防止することができる。

コンクリート面が湿潤状態にあっても施工可能であり、また、糊残りの心配がない。

(2) 保水性と給水養生

不織布は主に保水性に優れた天然コットン繊維で構成され、約400g/m²の保水量を有するため、脱型後のコンクリート面に対し効果的な給水養生が可能である。また、シート表面の非透水性フィルムが水分の逸散を防止し、コンクリート面の湿潤状態を保持するため、コンクリートの表面が緻密化し、中性化に対する抵抗性などの耐久性が向上する（詳細は後述）。

(3) 経済性

本養生シートは、不織布に含浸してあるケイ酸塩を含む水溶液の効果が持続することで、転用して2回繰返し使用することが可能なため、経済性に優れ、かつ、環境に配慮したものとなっている。

3. 本養生シートの効果の確認

3.1 試験概要

本養生シートを用いて養生したコンクリート試験体と従来の方法で養生した試験体について、圧縮強度試験、表面透気試験、促進中性化試験および引っかかり試験を実施し、結果を比較することで養生シートの養生効果を確認した。また、走査型電子顕微鏡（以下、SEM）を用いて各試験体の養生面の組成構造を観察した。

3.2 試験ケース

試験ケースを表-1に示す。試験ケースは、養生方法および養生期間の違いによる5種類とし、コンクリートの配合は全て同一とした。養生方法は、養生なし、封緘養生、水中養生、本養生シートの4種類とした。また、養生期間は28日を基本として、本養生シートについては7日を追加した。

表-1 試験ケース

No.	養生方法	養生期間(日)	備考
1	養生なし	—	材齢1日で脱型,以降,気中(20℃,60%RH)
2	封緘養生	28	材齢1日で脱型し,ビニルシートで密封,以降,気中(20℃,60%RH)
3	水中養生	28	材齢1日で脱型し,以降,水中(20℃)
4	本養生シート	7	材齢1日で脱型し,本養生シートを7日間貼り付けた後,シートを剥がし,以降,気中(20℃,60%RH)
5		28	材齢1日で脱型し,養生シートを28日間貼り付けた(20℃,60%RH)

3.3 コンクリートの配合

試験に用いたコンクリートの配合を表-2に示す。配合は設計基準強度 24N/mm²の土木構造物に適用されるものと同等とした。セメントに高炉セメント B 種(密度 3.04 g/cm³),細骨材に石灰石砕砂を3割使用した混合砕砂(表乾密度 2.65 g/cm³,吸水率 1.51%),粗骨材に砕石(表乾密度 2.63 g/cm³,吸水率 0.94%,最大寸法 20mm),混和剤にはポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤を用いた。目標スランプは 8±2cm とし,空気量は,空気連行剤を使用し,4.5±1.5%とした。

表-2 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)			
		W	C	S	G
55.0	47.1	166	302	849	960

3.4 試験体の作製方法および養生方法

試験体は,円柱供試体(圧縮強度試験用),平板供試体(引っかかり試験および表面透気試験用),角柱供試体(促進中性化試験用)とした。コンクリートは強制2軸練ミキサ(容量 60L)で製造した。

試験体は,型枠打込み後,脱型までは,20±3℃(60±5%RH)の恒温室に置き,材齢1日で脱型後,引き続き恒温室において表-1に示す各養生方法と養生期間で養生を実施した。なお, No.4 および No.5 の養生においては,各試験体の全面に養生シートを張付けた。

3.5 試験方法

(1) 圧縮強度試験

全ての試験ケースにおいて材齢 28 日において, JIS A 1108 に準拠して圧縮強度試験を実施した。試験体は円柱供試体(直径 100mm,高さ 200mm)とし,試験体数は1ケースにつき3本とし,その平均値を試験結果とした。

(2) 表面透気試験

試験体は平板供試体(長さ 200mm,幅 200mm,高さ 60mm)とし,コンクリート表面の水分率が5%以下であることを確認し,材齢 28 日で試験を実施した。試験方法は Torrent 法¹⁾により表面透気係数(kT 値)を計測した。試験状況を写真-4に示す。



写真-4 表面透気試験状況

(3) 引っかかり試験

材齢 28 日で,表面透気試験実施後の平板供試体の表面を日本建築仕上学会認定の引っかかり試験器を使用して,長さ 10cm,速さ 2cm/s で引っかかり,その引っかかり傷の幅をクラックスケールで測定した。

(4) 促進中性化試験

試験は JIS A 1153「コンクリートの促進中性化試験方法」に準拠し実施した。試験体を材齢 28 日まで各ケースの条件に従い養生を実施した後,温度 20℃,湿度 60%RH の条件で1ヶ月間乾燥させた。促進環境条件は温度 20℃,湿度 60%RH,二酸化炭素濃度 5%とし,促進期間を1週,4週,8週とした。中性化深さの測定は, JIS A 1152「コンクリートの中性化深さの測定方法」に準拠し,粗骨材の影響を受けない 10 箇所の測定値の平均を試験結果とした。

(5) SEMによる組成構造観察

材齢 28 日まで各条件で養生を実施した後,試験体の表面付近から試料を採取し,SEMを用いて表層内部の組成構造を観察した。なお,試料は,撮像障害を抑制するために,事前に金を真空蒸着し,導電性処理を施した。

3.6 試験結果

(1) 圧縮強度試験

全試験ケースの圧縮強度試験結果を図-2に示す。

封緘28日の圧縮強度は39.8N/mm²であり、水中28日の42.7N/mm²より7%低い値であった。一方、本養生シートで養生した試験体の圧縮強度は、7日養生で43.4N/mm²、28日養生で44.7N/mm²であり、水中28日の圧縮強度と同等の値が得られ、また、封緘28日の圧縮強度と比較すると7日養生では9%、28日養生では12%の強度増加が確認された。この結果は、本養生シートで養生することで、若材齢時において水和反応に必要な水分が供給され、水中養生と同様に水和反応が十分に促進されたことによると考えられる。

以上の結果より、本養生シートで材齢7日以上養生することで、28日間封緘養生したものより圧縮強度が大きくなり、かつ28日間水中養生をしたコンクリートと同等の圧縮強度が得られることが確認できた。

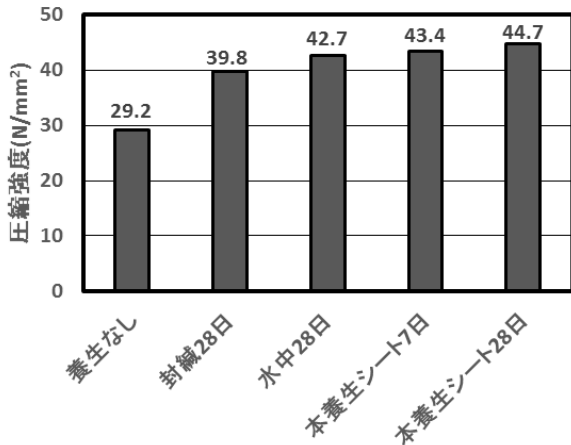


図-2 圧縮強度 (試験材齢 28 日)

(2) 表面透気試験

全試験ケースの材齢28日の表面透気係数 (kT 値) を図-3に示す。

本養生シートで養生した試験体の表面透気係数は、28日養生で0.0017×10⁻¹⁶m²であり、水中28日の0.0021×10⁻¹⁶m²と比較し19%、封緘28日養生の0.0052×10⁻¹⁶m²と比較し67%の低減(良化)が確認できた。

また、本養生シートで7日間養生した表面透気係数は、0.0049×10⁻¹⁶m²であり、養生シート28日間より大きな数値ではあったが、封緘28日と比較し9%の低減(良化)が確認できた。

これらの結果は、圧縮強度試験結果と同様に、本養生シートで養生することで、若材齢時においてコンクリートに水分が供給され、水和反応が十分に促進し、コンクリート表面が緻密化したことによると考えられる。

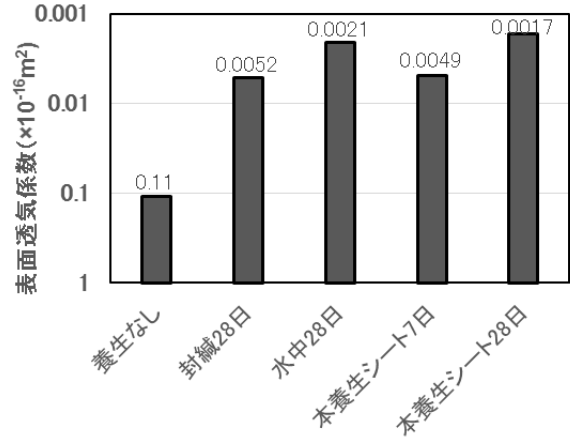


図-3 表面透気係数 (kT 値)

(3) 引っかかり試験

全試験ケースの材齢28日の引っかかり試験結果を表-3に示す。

封緘28日の引っかかり傷幅は、0.15mm (加圧力4.9N) および0.25mm (加圧力9.8N) であり、水中28日の0.10mm (加圧力4.9N) および0.20mm (加圧力9.8N) と比較し若干大きな値となった。一方、本養生シートで養生した試験体の引っかかり傷幅は、7日養生と28日養生はそれぞれ0.10mm (加圧力4.9N) および0.20mm (加圧力9.8N) でほぼ同等であり、水中28日と比較すると同等もしくはそれ以上(幅が小さい)の値が得られた。これらの結果より、本養生シートで養生することで、28日間水中養生と同等の表面強度が得られることが確認できた。

これらの試験結果は、圧縮強度試験や表面透気試験の結果と同様に本養生シートで養生することで、若材齢時においてコンクリートに水分が供給され、水和反応が十分に促進されたことにより、表面強度が向上したものと考えられる。

表-3 引っかかり試験 (引っかかり傷幅)

養生ケース	引っかかり傷幅 (mm)	
	加圧力 4.9N	加圧力 9.8N
養生なし	0.20	0.35
封緘28日	0.15	0.25
水中28日	0.10	0.20
本養生シート7日	0.10	0.15
本養生シート28日	0.10	0.15

(4) 促進中性化試験

全試験ケースの促進期間と中性化深さの関係を図-4に、促進材齢8週における試験体の状況を写真-5に示す。

促進材齢 8 週の中性化深さに着目すると、封緘 28 日 (14.9mm) と本養生シート 7 日 (14.5mm) の中性化深さは、水中 28 日 (14.2mm) と概ね同等であった。それに対し本養生シート 28 日 (12.6mm) の値は小さく、水中 28 日と比較し、中性化深さが 11% 低減されることが確認された。これらの結果より、本養生シートで 7 日間養生することで、水中養生 28 日間と概ね同等の中性化に対する抵抗性を有し、さらに本養生シートで 28 日間養生することで、水中養生 28 日間以上の中性化に対する抵抗性を有することが確認できた。

図-5 に中性化速度係数と表面透気係数の関係を示す。表面透気係数が大きくなるほど中性化速度係数も大きくなる傾向がある。相関係数は 0.86 と高く、両者間の相関が大きいとする既往の研究と同様の結果が得られた。

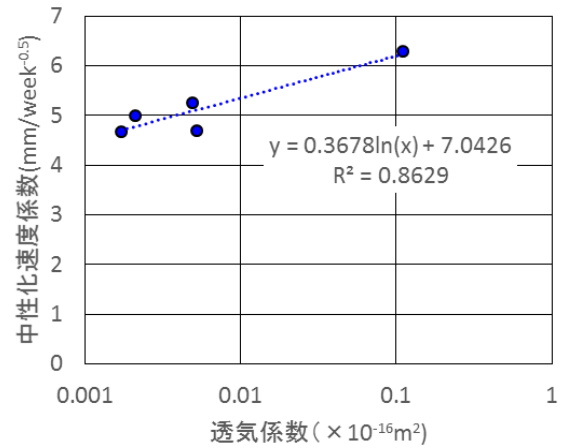


図-5 中性化速度係数と表面透気係数の関係

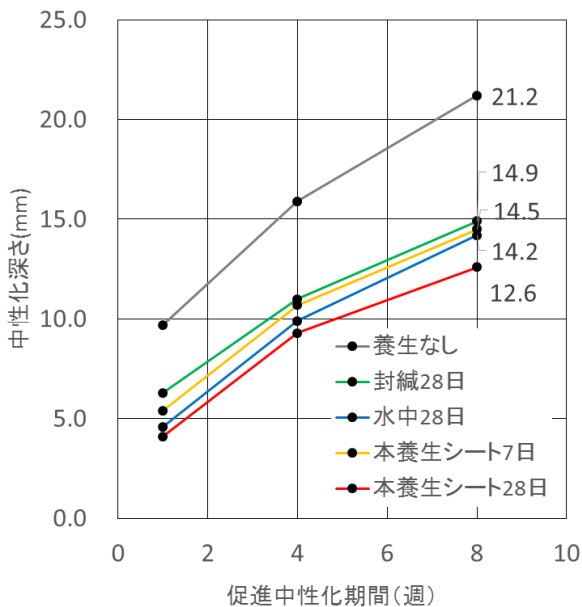


図-4 中性化深さ

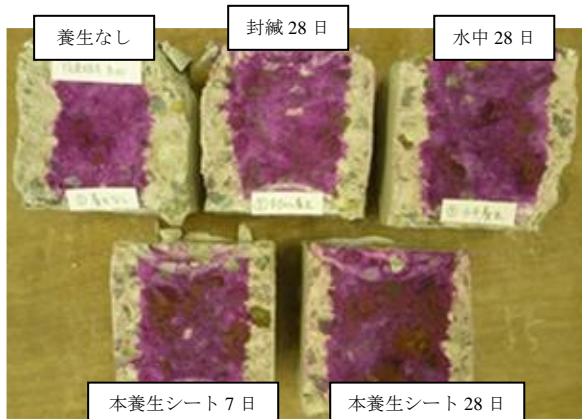


写真-5 中性化深さ (促進材齢 8 週)

(5) SEMによる組成構造観察

写真-6、写真-7 および写真-8 にそれぞれ封緘 28 日、水中 28 日および本養生シート 28 日の SEM 画像を示す。

封緘 28 日では、層状の水和生成物中に、エントリングイトと思われる針状結晶を有する空隙が多数確認された。一方、水中 28 日および本養生シート 28 日の場合は、層状の水和生成物中に、これらの針状結晶を有する空隙が見られず、緻密なセメントマトリックスが形成されることが確認できた。

これらの結果より、本養生シートで養生することで、水中養生と同様に、若材齢時からコンクリートに水分が供給され、水和反応が十分に促進されたことに伴い、空隙の少ない構造となったものと推測できる。

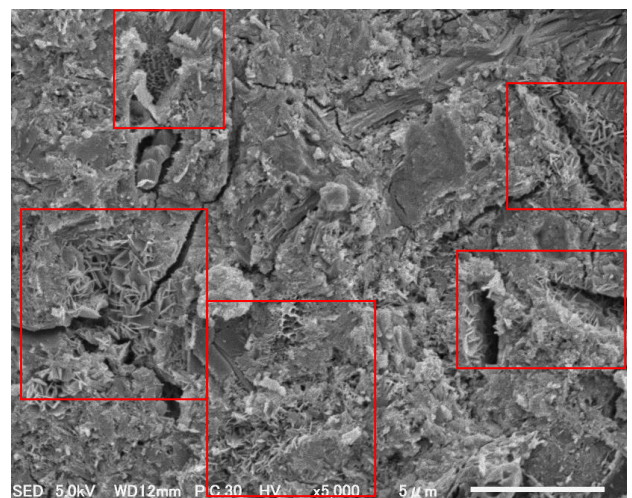


写真-6 SEM画像 (封緘 28 日)
(赤線囲い; 針状結晶)

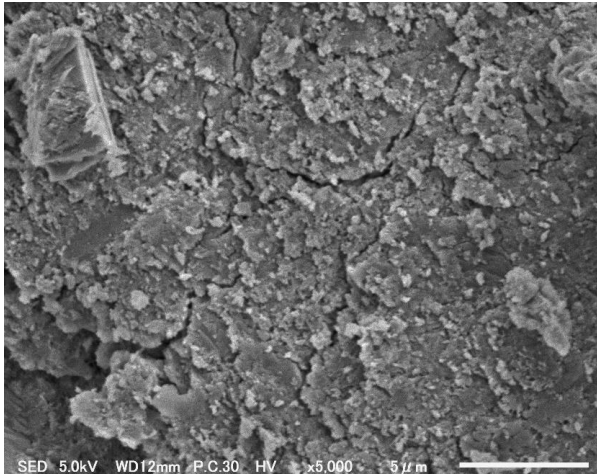


写真-7 SEM画像（水中28日）

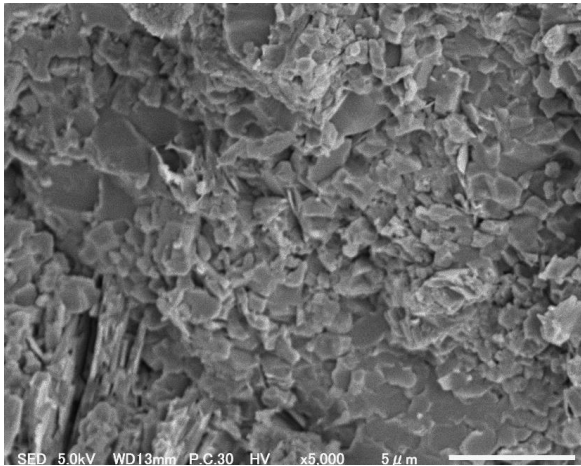


写真-8 SEM画像（本養生シート28日）

(6) 効果確認試験結果のまとめ

本試験より得られた結果を以下にまとめる。

- ・圧縮強度および表面強度に関し、本養生シートで材齢7日以上養生することで、28日間封緘養生と比較し強度が大きくなり、かつ28日間水中養生と同等の強度が得られることが確認できた。
- ・表面透気係数に関し、本養生シートで材齢28日まで養生することで、28日間水中養生と同等の数値が得られることが確認できた。
- ・中性化抵抗性に関し、本養生シートで7日間養生することで、28日間水中養生とほぼ同等の中性化に対する抵抗性を有し、本養生シートで28日間養生することで、28日間水中養生以上の中性化に対する抵抗性を有することが確認できた。
- ・SEMによる組成構造観察により、本養生シートで28日間養生することで、28日間水中養生と同等に、空隙の少ない密実なセメントマトリックスが形成されていることが確認できた。

4. 実構造物での適用

試験的に本養生シートを万博公園浄水施設浄水池耐震補強工事（発注者；大阪広域水道企業団）の増厚コンクリート壁の一部の養生に適用した。その状況を写真-9および写真-10に示す。型枠撤去後のコンクリート表面に本養生シートを貼り付けた。2週間経過した後もコンクリートから剥がれることなく、コンクリート表面は湿っており、継続的に湿潤養生ができることを確認できた。



写真-9 張付け直後



写真-10 2週間後

5. 結論

本養生シートの開発検討における圧縮強度試験、引っかかり試験、表面透気試験および促進中性化試験の結果より、本開発の給水型養生シートを用いてコンクリートを養生することで、水中養生を実施することと同様の効果が得られることが確認できた。

参考文献

- 1) 田中章夫他：ダブルチャンバー方を用いた既存鉄筋コンクリート造建築物の中性化予測に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文集 Vol.33, No.1, 2011