

新しいコンクリート用養生シートの開発

Development of New Concrete Curing Sheets

為石 昌宏*1 Masahiro Tameishi
内田 博之*1 Hiroyuki Uchida
小山 孝*2 Takashi Koyama
吉田 涼平*1 Ryohei Yoshida
平泉 顕*3 Akira Hiraizumi
鶴原谷 善一*4 Zenichi Tsuruharaya

要旨

当社、ユニチカ㈱および㈱クレインとの3社で新しい給水型のコンクリート用湿潤養生シートを開発した。本養生シートは、ケイ酸塩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、コンクリートとの高い密着性を有している。また、若材齢時の水和反応に必要な水分を確実に供給でき、かつその後の水分の逸散を防止できる。本報告では、本養生シートによる養生効果（圧縮強度、透気係数、中性化深さ等）の確認結果と実現場への適用例について報告する。

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 of 長期養生を実施することを目的に、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たりシート等で覆ったりする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開発した。本

稿では、その本養生シートの特徴や効果確認試験の結果などについて報告する。

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

今回開発した養生シートは、図1に示すように保水性に優れるコットン系不織布（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。

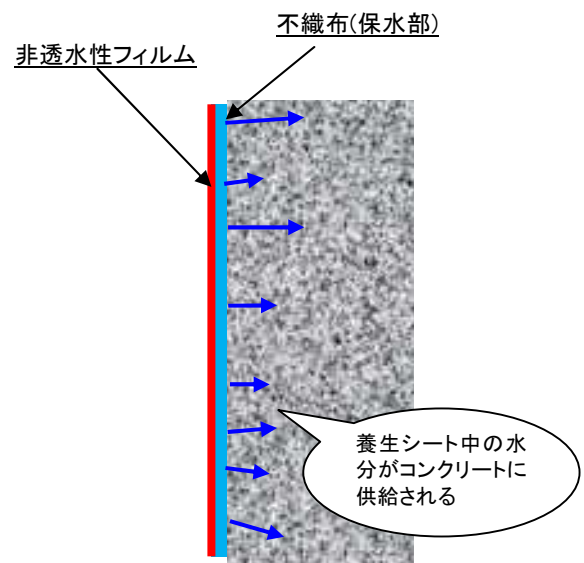


図1 本養生シートの構成

*1 技術統括本部 土木技術部 *2 技術統括本部 技術企画部 *3 ユニチカ㈱ *4 ㈱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 ロール状（幅1m）の養生シートを貼りやすい大きさにカットし、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回浸す程度でよい。



写真2 養生シートの濡らし方の一例

- ③ 写真3に示すように、フィルム面を外側にして濡らした養生シートを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程度以下の気泡は、時間の経過とともに消えることを確認している。



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水溶液を不織布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) 優れた密着性

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することで、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。

コンクリートとの付着に粘着剤等を使用しないため、湿潤面においても施工可能であり、糊残りの心配がない。

(2) 優れた保水性と給水養生

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、水中養生と同等の養生効果が得られる。その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) 優れた経済性

本養生シートは、不織布に含浸してあるケイ酸塩水溶液の効果が持続することで3回程度繰返し使用することが可能なため、経済性に優れ、かつ、環境に配慮した製品となっている。

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、養生シートを7日間貼り付け、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3.04g/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2.65g/cm³、吸水率1.51%)、粗骨材に砕石(表乾密度2.63g/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(引っかけ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した。

3.5 試験方法

3.5.1 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。

3.5.2 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。

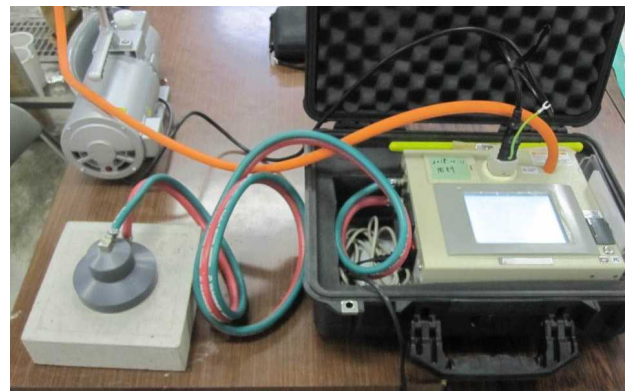


写真4 表面透気試験状況

3.5.3 引っかけ試験

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け試験器を使用して、長さ10cm、速さ2cm/secで引っかけ、その引っかけ傷の幅をクラックスケール用いて測定した。

3.5.4 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」に準拠して実施した。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。

3.5.5 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、事前に真空蒸着により導電性処理を施した。

3.6 試験結果

3.6.1 圧縮強度

全試験ケースの圧縮強度試験結果を図2に示す。

②封緘28日の圧縮強度は39.8N/mm²であり、③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、④7日養生で43.4N/mm²、⑤28日養生で44.7N/mm²であり、③水中28日の圧縮強度と同等の値が得られ、また、②封緘28日の圧縮強度と比較すると④7日養生と比較し9%、⑤28日養生と比較し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。

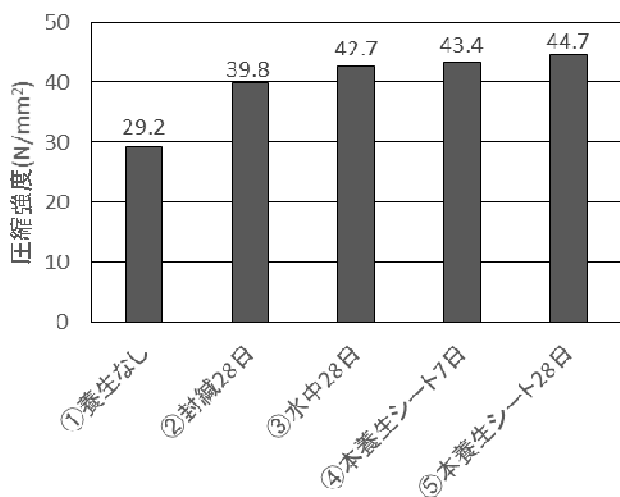


図2 圧縮強度 (試験材齢 28 日)

3.6.2 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、⑤28日養生で0.0017×10⁻¹⁶m²であり、③水中28日の0.0021×10⁻¹⁶m²と比較し19%、②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、④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、⑤28日間養生した場合より大きな数値ではあったが、②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。

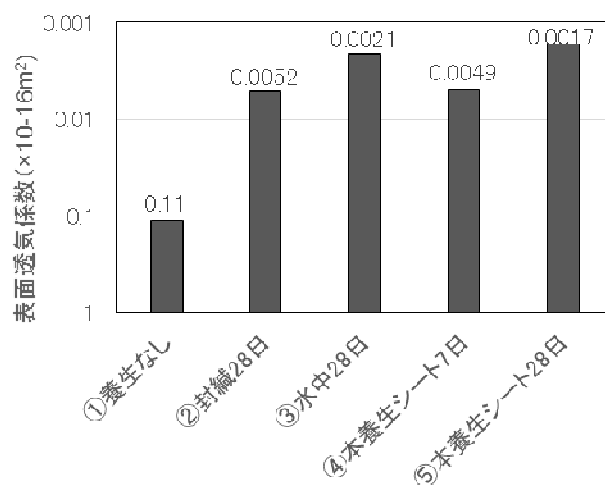


図3 表面透気係数 (kT 値)

3.6.3 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。

②封緘28日の引っかかり傷幅は、0.15mm (4.9N) および0.25mm (9.8N) であり、③水中28日の0.10mm (4.9N) および0.20mm (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、④7日養生と⑤28日養生はそれぞれ0.15mm (4.9N) および0.20mm (9.8N) でほぼ同等で、③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
①養生なし	0.20	0.35
②封緘28日	0.15	0.25
③水中28日	0.10	0.20
④本養生シート7日	0.10	0.15
⑤本養生シート28日	0.10	0.15

3.6.4 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、②封緘28日(14.9mm)と④本養生シート7日(14.5mm)の中性化深さは、③水中28日(14.2mm)とおおむね同等であった。それに対し⑤本養生シート28日(12.6mm)の値は小さく、③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日間とおおむ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¹⁾と同様の結果が得られた。

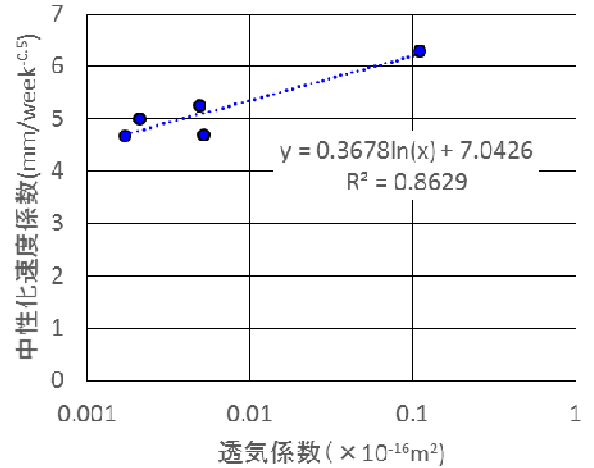


図5 中性化速度係数と表面透気係数の関係

3.6.5 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②封緘28日、③水中28日および⑤本養生シート28日のSEM画像を示す。

②封緘28日では、多数の箇所において水和初期に発生する針状結晶(エトリンガイト)が確認でき、空隙が多い状態が確認できる。一方、③水中28日および⑤本養生シート28日の場合は、これらの針状結晶が見られず、密実な安定した水和生成物(モノサルフェート等)が見られた。

これらの結果より、本養生シートで養生することで、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伴い、緻密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。

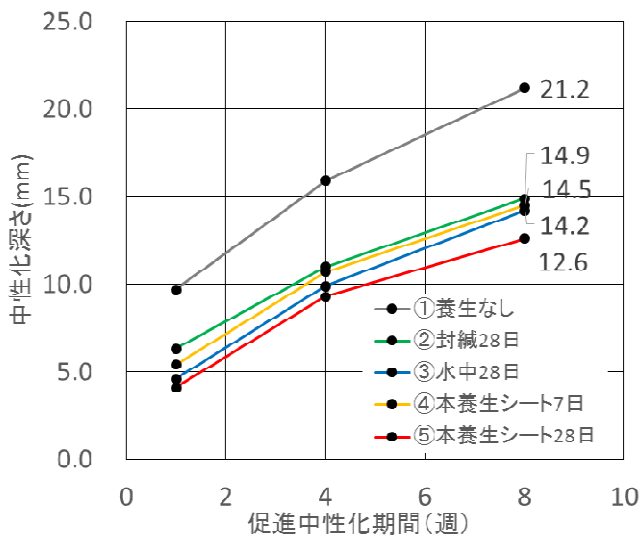


図4 中性化深さ

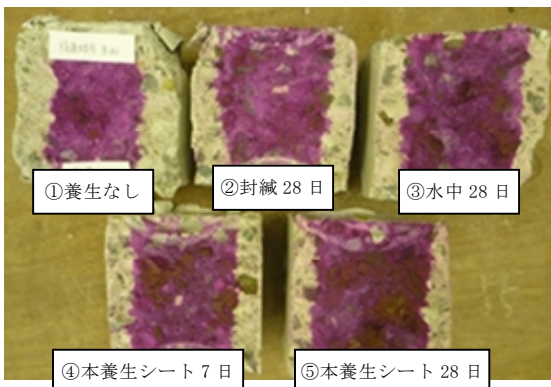


写真5 中性化深さ (促進材齢8週)

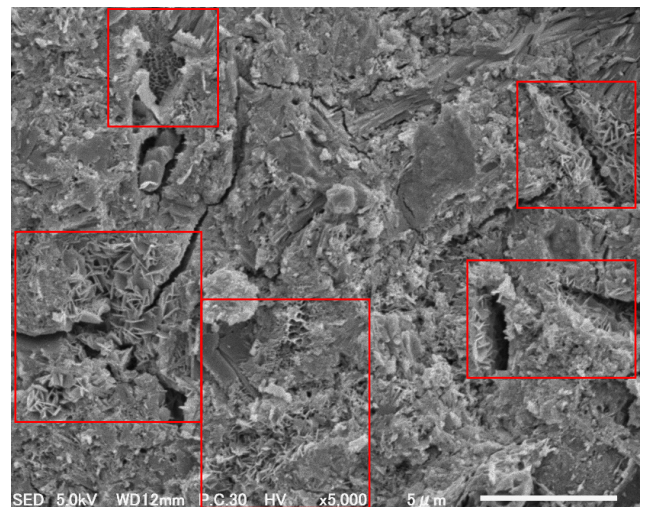


写真6 SEM画像(②封緘28日)
(赤線囲い; 針状結晶)

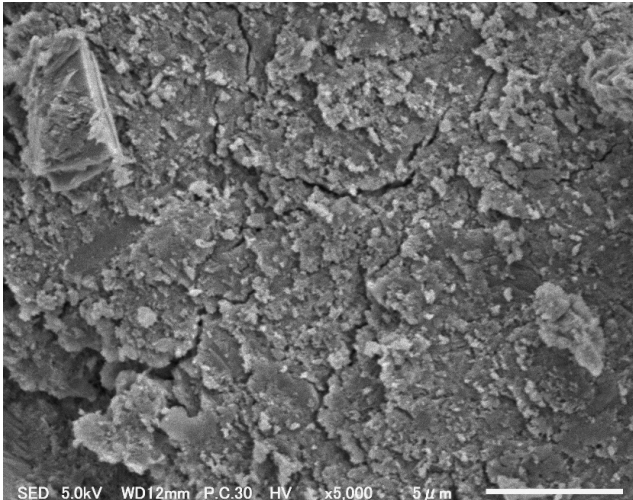


写真7 SEM画像 (③水中28日)

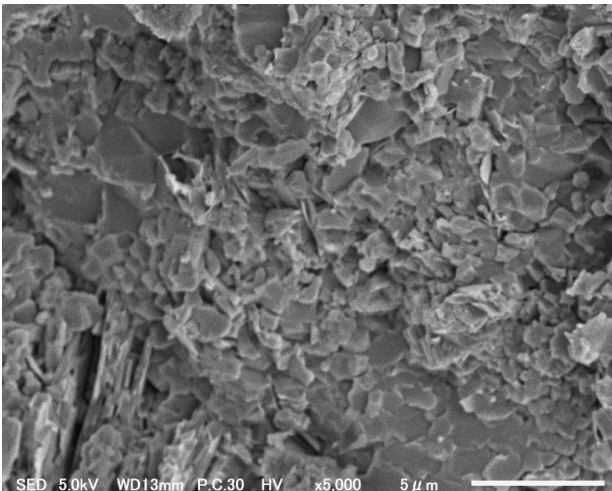


写真8 SEM画像 (⑤本養生シート28日)

3.6.6 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密実な安

定した水和生成物（モノサルフェート等）が形成されることを確認できた。

4. 施工例

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の養生に適用した。その状況を写真9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。

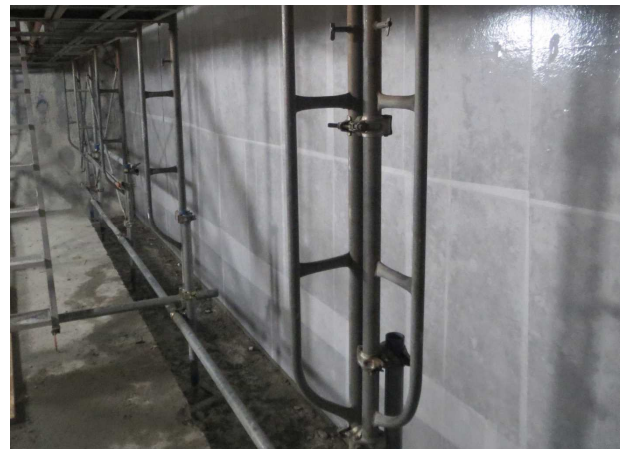


写真9 本養生シートの適用状況

5. おわりに

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。今後は、水セメント比やセメントの種類の違いによる効果への影響や、塩害や凍害に対する耐久性についても検討を実施する予定である。

かつてメンテナンスフリーと言われたコンクリート構造物も、老朽化および劣化が進展し、現在、本格的な維持管理の時代を迎えている。その背景には、施工性を優先するがあまり、養生がおろそかになったことに起因することが推察される。後世に良質なインフラ財産を残していくことは我々の使命であり、今回開発した技術がその一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 田中章夫ほか：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, pp. 1691-1696, 2011. 6