

新しいコンクリート用養生シートの開発（その2）

Development of New Concrete Curing Sheets ,Part 2

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

要旨

当社、ユニチカ㈱および㈱クレインとの3社で新しい湿潤養生シートを開発した。本養生シートは、水をしみ込ませてコンクリート面に貼り付けることで、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。また、本養生シートは所定の養生を終了して剥がした後も、転用して繰り返し使用することができる。本報告では、本養生シートの転用時における養生効果と、新たに実施した耐凍害性、耐塩害性に対する養生効果の確認結果、さらに、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 湿潤養生 表面透気係数 中性化 塩害 凍害

1. はじめに

著者らが考案した湿潤養生シート¹⁾は、水をしみ込ませてコンクリート面に貼り付けることで、型枠取り外し後のコンクリートに水分を供給し、かつ、コンクリート表面からの水分の逸散を防止する。また、本養生シートは所定の養生を終了して剥がした後も、転用して繰り返し使用することができるため、経済性に優れ、かつ、環境にも配慮したものである。本養生シートの養生効果は既往の報告¹⁾で示しているが、その内容は初回使用時の養生効果の確認であった。本報告では、本養生シートの転用時の養生効果と新たに実施した耐凍害性や耐塩害性に対する養生効果の確認結果、さらに、実現場への適用例について報告する。

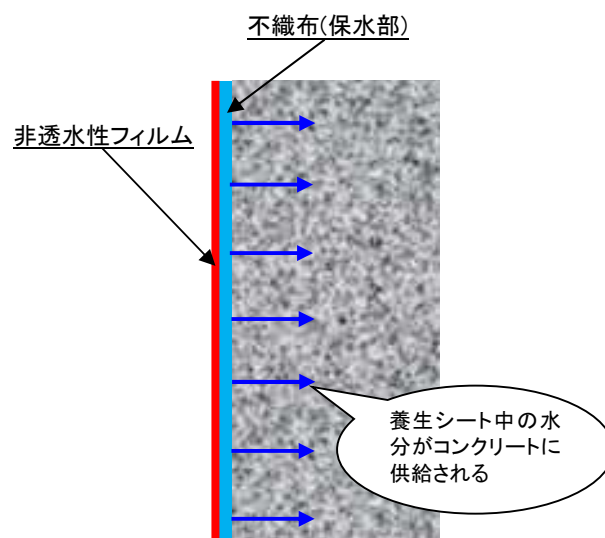


図1 湿潤養生シートの構造

2. 湿潤養生シートの概要

2.1 概要

湿潤養生シートは、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、コンクリート表面の改質効果を有するケイ酸塩水溶液を含む養生剤をあらかじめ含浸して、乾燥させている。

写真1に本養生シートの外観を示す。寸法は950mm×600mm、厚さ約0.55mm、重さは乾燥時で約60g、保水時で約300gである。そのため、施工時にひとりで容易に取り扱うことができる。



写真1 湿潤養生シートの外観

*1 技術本部 土木技術部 *2 技術本部 技術企画部 *3 ユニチカ㈱ *4 ㈱クレイン

2.2 施工方法

湿潤養生シートの基本的な施工方法は以下のとおりである。

- 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、洗い流すなどをして取り除く。
- ② プラスチック製容器等に張った水を本養生シートの保水部にしみ込ませ、フィルム面を外側にしてコンクリート面に貼り付ける（写真 2）。貼り付けの際はローラー刷毛等を使用し、コンクリートと本養生シートの間に大きな気泡が入らないように密着させる。なお、本養生シートは柔軟性があるため、平坦なコンクリート面だけでなく、張り出し部や隅角部などの屈曲部にも貼り付けることが可能である（写真 3）。



写真 2 貼付け状況



写真 3 屈曲部への貼付け状況

- ③ コットン系不織布の高い保水性与非透水性フィルムの乾燥防止効果により、養生期間中に水を供給する必要はなく、所定の養生期間までコンクリート面を湿潤状態に保つことが可能である。
- ④ 養生終了後、本養生シートをコンクリート面から取り外す。転用する場合は再度水をしみ込ませて初回と同様に①、②の方法でコンクリート面に貼り付ける。

3. 湿潤養生シートの効果の確認

3.1 試験概要

湿潤養生シートで養生したコンクリート試験体と気中養生、封緘養生および水中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、凍結融解試験および塩分浸透試験を実施し、結果を比較することで本養生シートの養生効果を確認した。なお、本養生シートは転用して繰り返し使用することができるため、1 回転用時および 2 回転用時の養生効果についても確認した。

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 9 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、気中養生、封緘養生、水中養生、湿潤養生シート（初回、1 回転用、2 回転用）とした。1 回転用のシートは事前に屋外コンクリート壁の養生に 7 日間使用したもの、また、2 回転用のシートは同様に 7 日間養生を 2 回使用したものとした。養生期間は 7 日と 28 日とし、養生期間終了後は各試験を実施するまで温度 20℃、相対湿度 60%の条件で気中養生した。

表 1 試験ケース

記号	養生方法	養生期間 (日)	備考	
N	気中養生	—	材齢 1 日で脱型、以降、気中 (20℃、60%RH)。	
P-7	封緘養生	7	材齢 1 日で脱型し、保水テープで各養生期間密封。以降、気中 (20℃、60%RH)。	
P-28		28		
W-7	水中養生	7	材齢 1 日で脱型し、各養生期間水中 (20℃)。以降、気中 (20℃、60%RH)。	
W-28		28		
S ₀ -7	湿潤養生シート	初回	材齢 1 日で脱型し、湿潤養生シート (各種) を各養生期間貼り付け。以降、気中 (20℃、60%RH)。	
S ₀ -28				28
S ₁ -28		1 回転用		28
S ₂ -28		2 回転用		28

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、細骨材にはコンクリート用砕砂に石灰石砕砂を 3 割使用した混合砕砂、粗骨材に砕石、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	951

3.4 試験体の作製方法および養生方法

試験体は、円柱（圧縮強度試験、塩分浸透試験用）、平板（表面透気試験用）、角柱（促進中性化試験、凍結融解試験用）の3種類とした。

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期間で養生した。

3.5 試験方法

3.5.1 圧縮強度試験

材齢28日の試験体について圧縮強度試験をJIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠して実施した。試験体は円柱供試体（直径100mm、高さ200mm）とし、1ケースにつき3本の圧縮強度試験を実施し、その平均値を試験結果とした。なお、試験体の保水状態の違いによる強度変化を考慮し、養生期間が28日のケースの養生は材齢24日に終了させ、温度20℃、湿度60%RHの条件で材齢28日まで乾燥させた。

3.5.2 表面透気試験

表面透気試験はTorrent法により実施し、表面透気係数（kT値）を計測した。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て材齢91日で試験を実施した。写真4に表面透気試験状況を示す。

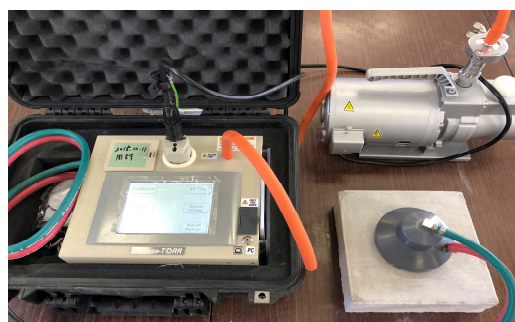


写真4 表面透気試験状況

3.5.3 促進中性化試験

JIS A 1153「コンクリートの促進中性化試験方法」に準拠し、試験を実施した。試験体は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の条件で材齢28日から乾燥させ、材齢56日から試験を実施した。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1週、3週、8週で中性化深さを測定した。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箇所を測定し、その平均値を試験結果とした。

3.5.4 凍結融解試験

JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」A法に準拠し、試験を実施した。試験体は各ケースの条件に従い養生した後、保水状態の違いによる試験結果への影響を考慮し、温度20℃、湿度60%RHの条件で材齢28日から乾燥させ、材齢56日から試験を実施した。たわみ振動の一次共鳴振動数、質量の測定は30サイクル間隔で行い、相対動弾性係数が60%以下になるまで試験を実施した。

3.5.5 塩分浸透試験

試験体は各ケースの条件に従い養生した後、温度20℃、湿度60%RHの条件で材齢28日から気中養生し、材齢56日で試験を開始した。試験体は円柱供試体（直径100mm、高さ200mm）とし、塩水噴霧2時間（35±1℃）、乾燥4時間（20～30%RH）、湿潤2時間（95%RH以上）を1サイクルとして、JIS K 5600-7-9「サイクル腐食試験方法」サイクルAに準拠して5±1%濃度の塩水を噴霧した。塩分浸透深さの測定は沖縄における5年間暴露に相当する225サイクル終了時に実施した。測定方法は、硝酸銀溶液噴霧法²⁾とした。試験体を縦方向に割裂し、割裂断面に0.1mol/L硝酸銀水溶液を噴霧して塩化物イオンを着色させ、その後、粗骨材の影響を受けないコンクリート表面から白色に呈色した境界までの距離を各10箇所測定し、その平均値を試験結果とした。

3.6 試験結果

3.6.1 圧縮強度試験結果

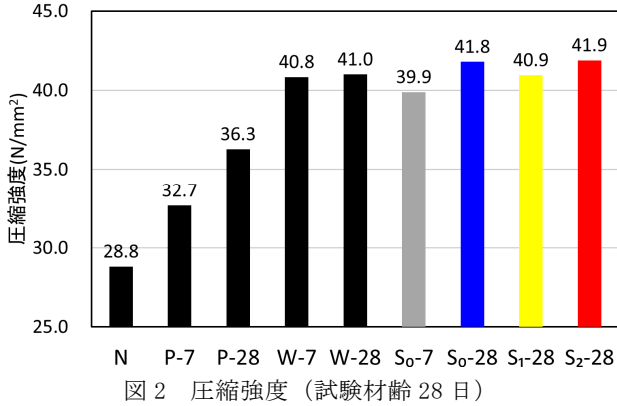
圧縮強度試験結果を図2に示す。

7日間の養生で比較すると、湿潤養生シートで養生したS₀-7の圧縮強度は39.9N/mm²であり、封緘養生のP-7の圧縮強度32.7N/mm²と比較し約22%の強度増加となり、水中養生のW-7の圧縮強度40.8N/mm²とほぼ同等の圧縮強度を有することを確認した。また、28日間の養生では、本養生シートのS₀-28の圧縮強度は41.8N/mm²であり、封緘養生のP-28の圧縮強度36.3N/mm²と比較し約15%強度増加となり、水中養生のW-28の圧縮強度41.0N/mm²と比較してもほぼ同等の圧縮強度を有することを確認した。この結果は、本養生シートで養生を行うことで、水和反応に必要な水分が供給され、水中養生と同等に水和反応が促進されたと考えられ、既往の報告¹⁾と同様の結果であった。

以上の結果から、本養生シートで養生を行うことで、封

封緘養生以上の、かつ、水中養生と同等の圧縮強度が得られることを確認した。

また、本養生シートを転用した S₁-28、S₂-28 の圧縮強度は初回使用である S₀-28 と同等の圧縮強度が得られたため (40.9、41.9N/mm²)、本養生シートを3回まで使用 (2回転用) しても圧縮強度に与える養生効果は低下しないことを確認した。

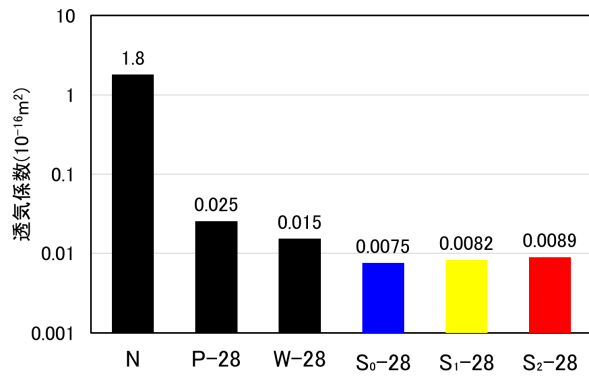


3.6.2 表面透気試験

材齢 91 日における表面透気係数 (kT 値) を図 3 に示す。

湿潤養生シートで 28 日間養生した S₀-28 の透気係数 (×10⁻¹⁶m²) は 0.0075 であり、封緘養生の P-28 の 0.025 と比較し 70% の低減が、水中養生の W-28 の 0.015 と比較し 50% の低減が確認された。

以上の結果から、本養生シートで養生を行うことで、水中養生以上にコンクリート表面を緻密化することができると考えられ、既往の報告¹⁾と同様の結果であった。



また、本養生シートを1回転用した S₁-28 の透気係数 (×10⁻¹⁶m²) は 0.0082、2回転用した S₂-28 は 0.0089 であり、それぞれ初回使用の S₀-28 と同等の透気係数が得られており、圧縮強度試験結果と同様に本養生シートを3回まで使用 (2回転用) しても透気性に対する養生効果は低下しないことを確認した。

3.6.3 促進中性化試験

促進期間と中性化深さとの関係を図 4 に示す。また、中性化深さ (促進期間 8 週) を図 5 に示す。

促進材齢 8 週の中性化深さに着目すると、湿潤養生シートで 28 日間養生した S₀-28 の中性化深さは 9.6mm であり、28 日間封緘養生した P-28 の中性化深さ 10.9mm と比較し約 12% 低減されることを確認した。また、本養生シートで養生した S₀-28、S₁-28、S₂-28 の中性化深さはそれぞれ 9.6mm、8.7mm、9.3mm であり、28 日間水中養生した W-28 の中性化深さ 9.2mm と概ね同等であることを確認した。

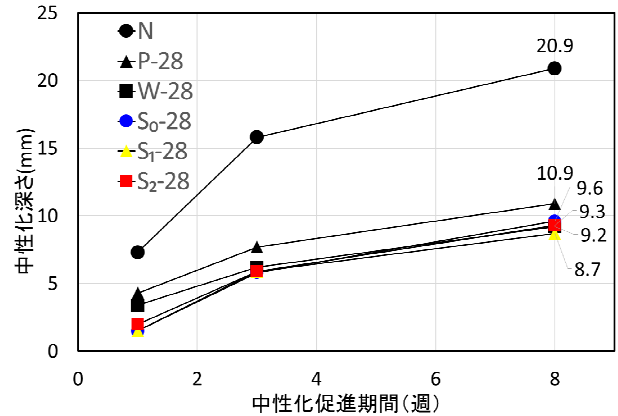


図 4 促進期間と中性化深さとの関係

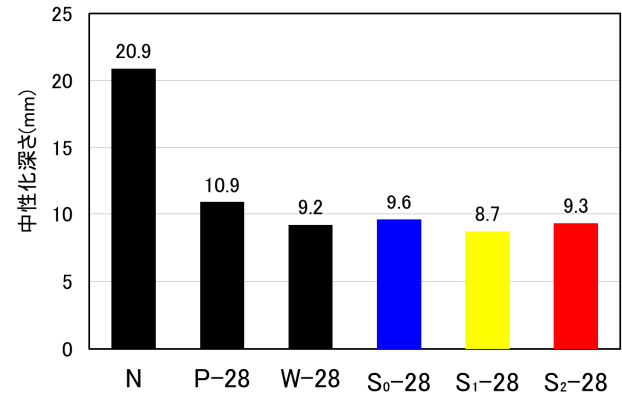


図 5 中性化深さ (促進期間 8 週)

以上の結果から、本養生シートでコンクリートの養生を行うことで封緘養生以上、かつ、水中養生と同等の中性化に対する抵抗性が得られることを確認できた。また、圧縮強度試験、表面透気試験結果と同様に、本養生シートを3回まで使用 (2回転用) しても中性化抵抗性に対する養生効果は低下しないことを確認した。

図 6 に中性化速度係数と表面透気係数との関係を示す。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 0.98 と極めて高く、両者間の相関関係が大きいとする既往の研究³⁾と同様の結果が得られた。

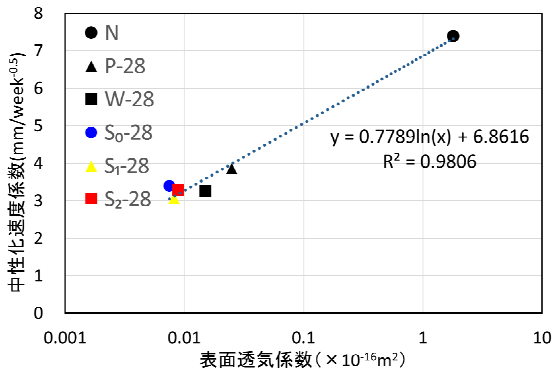


図6 中性化速度係数と表面透気係数との関係

3.6.4 凍結融解試験

相対動弾性係数とサイクル数の関係を図7に示す。

封緘養生を行ったP-7、P-28は養生期間にかかわらず90サイクルで相対動弾性係数が60%を下回る結果となった。それに対し、湿潤養生シートで養生を行ったS₀-7、S₂-28は水中養生を行ったW-28と同等の相対動弾性係数の経時変化をしており、また、S₀-28とS₁-28はそれらよりも相対動弾性係数の低下が少なかった。この結果から、本養生シートでコンクリートの養生を行うことで、耐凍害性が封緘養生より向上し、水中養生と同等となることが確認できた。このことは、本養生シートにより水和反応が促進し、水中養生と同等の圧縮強度が得られたことによると考えられる。また、圧縮強度試験、表面透気試験、促進中性化試験結果と同様に、本養生シートを3回まで使用しても耐凍害性に与える養生効果は圧縮強度試験結果と同様に低下しないことを確認した。

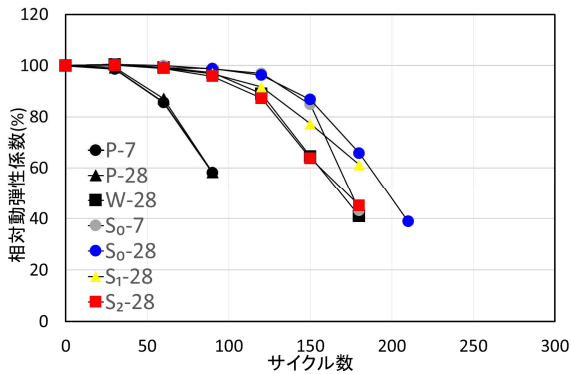


図7 相対動弾性係数とサイクル数の関係

なお、水中養生も含め全体的にサイクル数増加に伴う相対動弾性係数の低下が大きいが、その要因は各ケースの養生終了後から試験開始までの28日間に試験体を乾燥させたことによる影響等が考えられる。

3.6.5 塩分浸透試験

225サイクル時の塩分浸透深さを図8に示す。

封緘養生を7日間行ったP-7の塩分浸透深さが最大で

6.04mm、それ以外の試験ケースは5mm程度の結果となり、P-7以外の試験ケースはいずれも養生方法の違いによる塩分浸透深さに大きな差異は見られなかった。

しかしながら、湿潤養生シートで7日間養生したS₀-7(5.37mm)の塩分浸透深さはP-7(6.04mm)と比較し約11%低減され、かつ、28日間の封緘養生(5.26mm)および水中養生(5.38mm)と同等の耐塩害性を有していることを確認した。以上の結果から、W/C=55%、高炉セメントB種を使用した本試験配合条件において、7日間の封緘養生では耐塩害性が低下する恐れがあること、また、本養生シートで7日間養生したコンクリートは、28日間水中養生したコンクリートと同等の耐塩害性を有することを確認した。

なお、以上の結果は、試験体に使用したセメントが高炉セメントB種であり、混合された高炉スラグ微粉末によって塩化物イオンの浸透が抑制された影響が考えられるため、今後耐塩害性の検討を行う際は、養生方法の違いによる塩分浸透深さの差異がより顕著となるように、高炉スラグが混合されていない配合を採用することが望ましい。

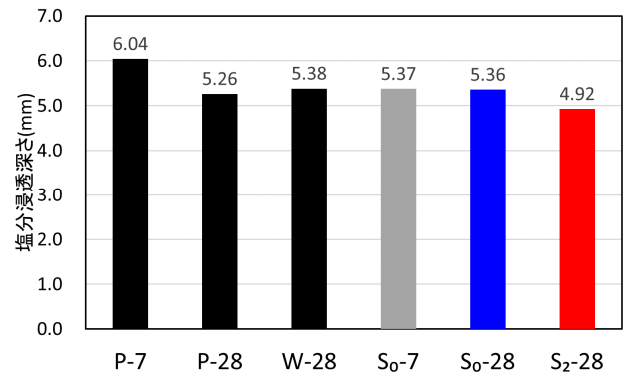


図8 塩分浸透深さ (225サイクル時)

3.6.6 試験結果のまとめ

湿潤養生シートによる養生効果の確認のために実施した試験の結果について以下にまとめる。

- 圧縮強度試験結果から、本養生シートで材齢7日以上養生することで、28日間封緘養生より圧縮強度が大きくなり、かつ、28日間水中養生と同等の圧縮強度が得られることを確認した。
- 表面透気試験結果から、本養生シートで材齢28日間養生することで、28日間水中養生と同等の透気係数が得られることを確認した。
- 促進中性化試験結果から、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の中性化に対する抵抗性を有することを確認した。
- 凍結融解試験結果から、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の耐凍害性を有することを確認した。

- ・塩分浸透試験結果から、W/C=55%、高炉セメントB種を使用した本試験配合条件において、7日間の封緘養生では耐塩害性が低下する恐れがあること、また、本養生シートで7日間養生したコンクリートは、28日間水中養生したコンクリートと同等の耐塩害性を有することを確認した。
- ・本養生シートを3回まで使用（2回転用）しても、圧縮強度、表面透気係数、中性化抵抗性、耐凍害性に対する養生効果は低下しないことを確認した。

4. 実現場への適用例

湿潤養生シートをボックスカルバートや擁壁、浄水施設の耐震壁やポンプ場などのコンクリート構造物の養生に適用した。宅地造成工事の擁壁における適用状況を写真5に、ポンプ場の躯体壁における適用状況を写真6に示す。本養生シートを28日間貼り付けた場合でも、剥がした後のコンクリート表面は湿っており、継続的に湿潤養生できることを確認した（写真7）。また、ポンプ場の適用においては、



写真5 擁壁における適用状況



写真6 ポンプ場における適用状況



写真7 養生後のコンクリート面の湿潤状態

貼り付け施工中に降雨があったが、本養生シートのコンクリートへの付着には影響がなく、多少の降雨であれば問題なく貼り付けの施工が可能であることを確認した。

5. おわりに

湿潤養生シートの開発検討において、圧縮強度試験、表面透気試験、促進中性化試験、凍結融解試験および塩分浸透試験の結果より、本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と同様の効果が得られることを確認した。また、本養生シートを3回まで使用（2回転用）しても、養生効果が低下しないことを確認した。今後は、水セメント比やセメント種類の違いなど、コンクリートの配合の違いによる養生効果への影響の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、現在、その老朽化により本格的な維持管理の時代を迎えている。その背景には、施工性を優先するあまり、養生がおろそかになり、老朽化が加速度的に進行したことが一因にあることは否めない。後世に良質なインフラ資産を残していくことは我々の使命であり、今回開発した湿潤養生シートがコンクリート構造物の長寿命化に寄与する技術のひとつとして貢献できれば幸いである。

参考文献

- 1) 新しいコンクリート用養生シートの開発、鴻池組技術研究報告、Vol.27、pp.1-6、2017.7
- 2) 青木 優介 他：硝酸銀溶液噴霧法による硬化コンクリート中への塩化物イオン浸透予測、コンクリート工学年次論文集、Vol.30、No.1、pp.759-764、2008.6
- 3) 田中章夫他：ダブルチャンパ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