

論文 湿潤養生シートの転用時および実構造物への養生効果について

吉田 涼平*1・為石 昌宏*2・平泉 顕*3・鶴原谷 善一*4

要旨：筆者らは、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湿潤養生シートを考案し、既往の研究¹⁾で初回使用時では水中養生と同等の養生効果が得られることを確認した。本研究では、転用時における養生効果を確認するために、圧縮強度、透気係数、中性化深さ、耐凍害性、耐塩害性について実験を行った結果、水中養生と同等の養生効果が得られ、2回転用しても養生効果は低下しないことを確認した。また、本養生シートで実構造物を養生し表面透気試験を行った結果、封緘養生以上にコンクリート表面を緻密化できることを確認した。
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ことができる。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。本養生シートの初回使用時の養生効果は、既往の研究¹⁾で圧縮強度、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結果、水中養生と同等の効果が得られることを確認した。本研究では、圧縮強度、透気係数、中性化深さに加え、新たに耐凍害性、耐塩害性について実験を行い、かつ、本養生シートの転用時の養生効果を確認したため、その結果について述べる。また、本養生シートを実構造物の養生に使用し、養生後のコンクリート面に表面透気試験を実施することで、養生効果を評価した結果について述べる。

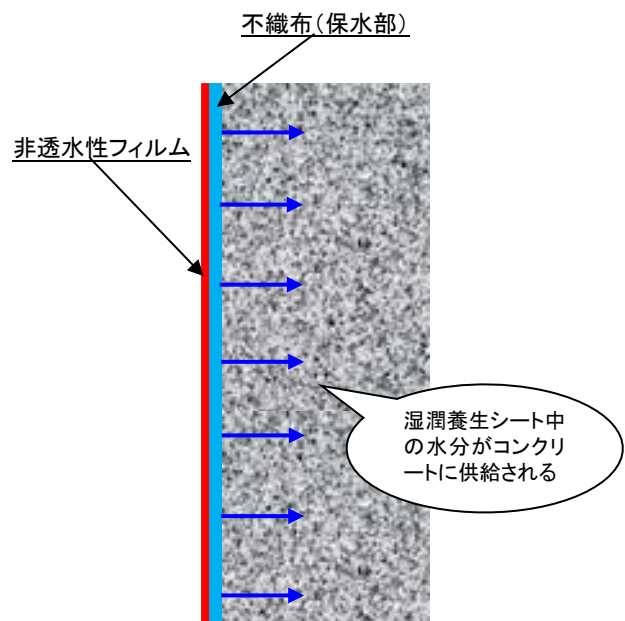


図-1 湿潤養生シートの構造

2. 湿潤養生シートの概要

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、あらかじめケイ酸塩を含む水溶液を含浸させ、乾燥させている。コンクリートを養生する際は、保水部に水をしみ込ませて貼り付けるため、養生期間中はその水分がコンクリートに供給される。

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。



写真-1 湿潤養生シート外観

*1 (株) 鴻池組 土木技術部 (正会員)

*2 (株) 鴻池組 土木技術部 (正会員)

*3 ユニチカ(株) 不織布技術部

*4 (株) クレイン



写真-2 貼り付け状況

写真-2 に本養生シートの貼り付け状況を示す。施工は1人で行うことができ、転用する場合は再度水にしみ込ませて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が、転用時に不織布が劣化して保水性能が低下し、コンクリートへの水分供給量が低下する懸念があったため、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を行った。

3.2 試験条件

試験条件を表-1 に示す。試験条件は、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。

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様とした。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-1 試験条件

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	
S ₂ -28		2回転用	

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 試験体の作成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

(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条件につき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日の試験条件は材齢24日に養生を終了させ、温度20℃、湿度60%RHの条件で試験時材齢である材齢28日まで乾燥させた。

(2) 表面透気試験

表面透気試験はTorrent法²⁾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

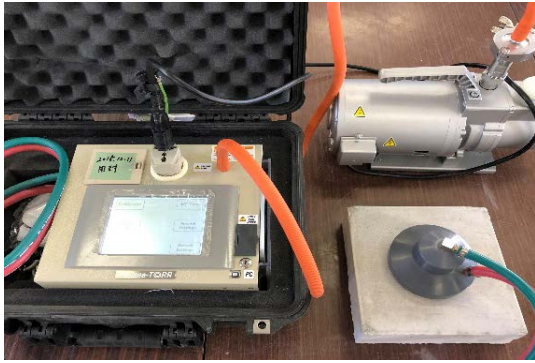


写真3-表面透気試験状況

率が5.5%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-3に表面透気試験状況を示す。

(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。試験体は各試験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。

(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。試験体は各試験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。

(5) 塩分浸透試験

試験体は各試験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³⁾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。

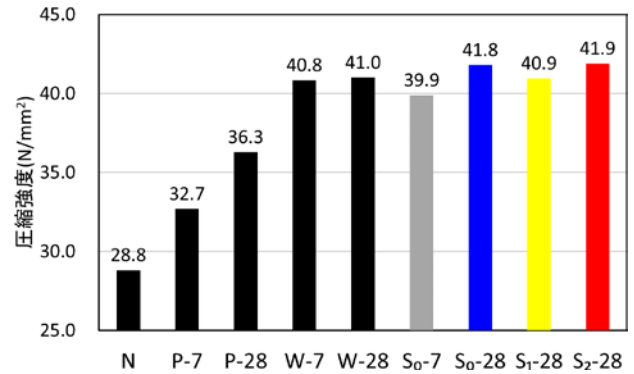


図-2 圧縮強度試験結果 (σ28)

3.6 試験結果

(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、既往の研究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。この結果は、本養生シートを転用してもコンクリートに供給される水分量が変わらないことによると考えられる。

(2) 表面透気試験結果

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、本養生シートによる養生は水中養生と同等にコンクリート表面を緻密化することができる

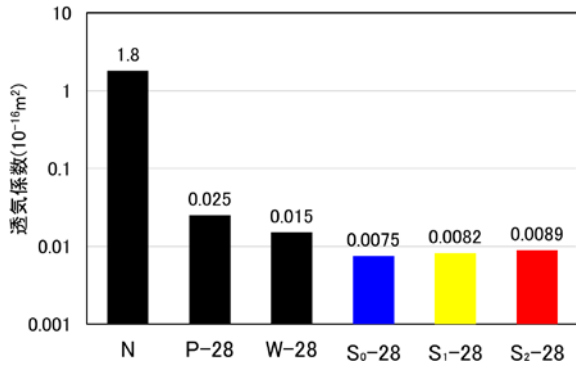


図-3 表面透気試験結果 (σ91)

考えられ、既往の研究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。この結果は、圧縮強度試験結果と同様に本養生シートを転用してもコンクリートに供給される水分量が変わらないことによると考えられる。

(3) 促進中性化試験結果

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。

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、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。この結果は、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転用してもコンクリートに供給される水分量が変わらないことによると考えられる。

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⁴⁾と同様の結果が得られた。

(4) 凍結融解試験結果

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くなった。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低下しないことを確認した。この結果は、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転用してもコンクリートに供給される水分量が変わらないことによると考えられる。

なお、本試験結果は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。その要因として、試験体コンクリートのスランブ試験測定時は空気量が4.5%あり、凍結融解作用に有効な空気量が確保されていたが、試験体作製時の締固めに内部振動機を使用し、締固めが過剰になったことから、空気量が減少し凍結融解抵抗性が損なわれた⁵⁾ことによるものと考えられる。

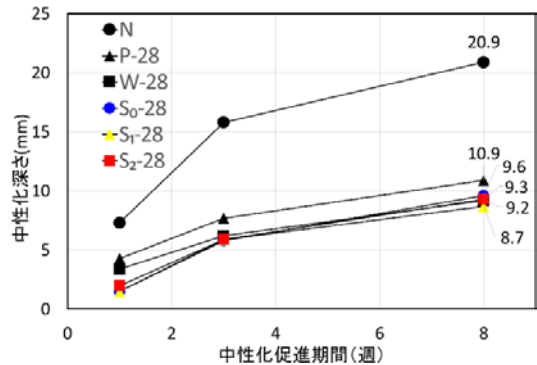


図-4 促進期間と中性化深さとの関係

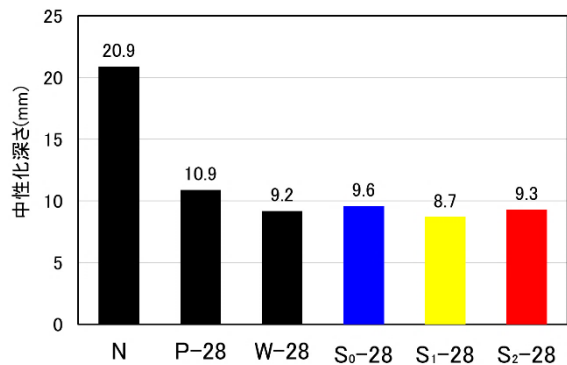


図-5 中性化深さ (促進期間8週)

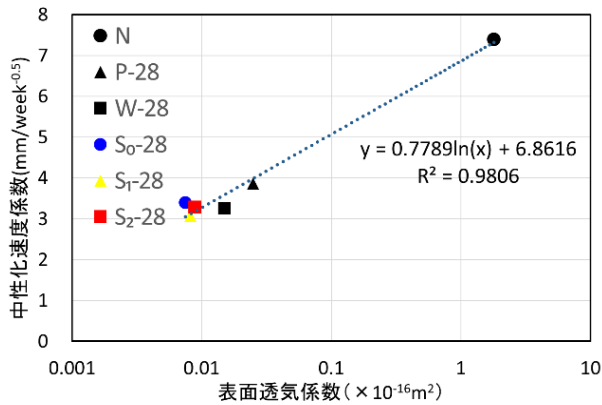


図-6 中性化速度係数と表面透気係数との関係

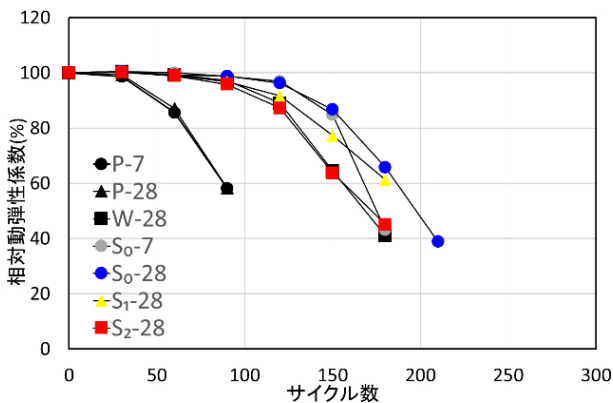


図-7 相対動弾性係数とサイクル数の関係

(5) 塩分浸透試験結果

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 6.0mm, それ以外の試験条件は 4.9~5.4mm の結果となり, P-7 以外の試験条件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。

湿潤養生シートで7日間養生した S₀-7 (5.4mm) の塩分浸透深さに着目すると, P-7 (6.0mm) と比較し 10% 低減され, かつ, 28 日間の封緘養生 P-28 (5.3mm) および水中養生 W-28 (5.4mm) 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と考えられる。

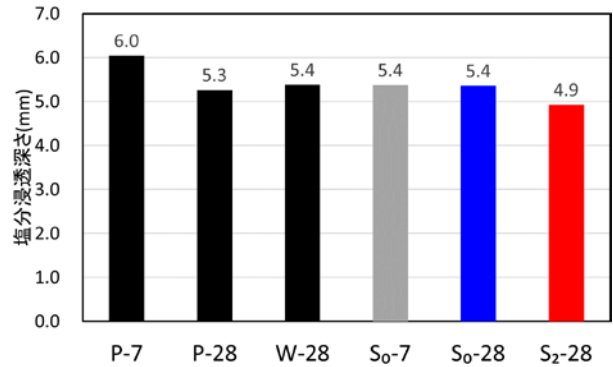


図-8 塩分浸透深さ (225 サイクル時)



写真-4 湿潤養生シートの現場適用状況

4 実構造物での養生効果の確認

4.1 試験概要

湿潤養生シートを石巻市北北上運河右岸第二排水ポンプ場復興建設工事その2 (発注者: 日本下水道事業団) のポンプ井壁の養生に適用した。その状況を写真-4 に示す。コンクリート打設後, 材齢6日で型枠を取り外し, 本養生シートを貼り付けて養生を行った。当現場では, ポンプ井壁の養生に, 本養生シートに加え, ポリフィルムシート, 気泡緩衝シートを用いた。それぞれの養生箇所について, Torrent 法²⁾による表面透気試験を実施し, 養生効果の評価を行った。

4.2 養生効果の確認

表-3 にポンプ井壁のコンクリートの配合を示す。設計基準強度 24N/mm², スランプ 12cm, 粗骨材の最大寸法 20mm, セメントに高炉セメント B 種を用いた配合であり, 湿潤養生シートの効果確認試験に用いた試験体と概ね同等の配合であった。

表-4 に試験条件を示す。試験は同日に打設したコンクリートに対して実施し, 各試験条件の養生開始日を材齢 6 日, 養生終了日を材齢 28 日で統一し, コンクリートの表面の水分率が 5.5% 以下であることを確認して, 材齢 37 日で試験を実施した。試験は各試験条件毎に 6 点測定し, 最大値と最小値を除外した平均値を試験結果

とした。測点は局所的な影響や試験への影響を避けるため、各養生範囲の端部は対象とせず、ひび割れやあばた等を避けた平滑面とした。

図-9に試験結果を示す。湿潤養生シートで養生したコンクリート表面の透気係数 ($\times 10^{-16} \text{m}^2$) は0.0064であり、ポリフィルムシートの0.026と比較し75%の低減が、気泡緩衝シートの0.020と比較し68%の低減が確認された。

この結果は、ポリフィルムシート、気泡緩衝シートによる養生が型枠解体後のコンクリート表面からの水分の蒸発を防ぐ封緘養生であることに對し、本養生シートによる養生は、型枠解体後から水分を供給した湿潤養生であったためであると考えられる。以上から、本養生シートを用いてコンクリート構造物の養生を行うことで、試験体を用いた実験結果と同様に、同期間封緘養生したコンクリートよりも小さい透気係数が得られ、表面を緻密化できることを確認した。

表-3 ポンプ井壁の配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
		W	C	S	G
53.5	44.4	318	170	785	1021

表-4 試験条件

記号	養生方法	養生期間	備考
P	ポリフィルムシート	22日	非透水性のポリフィルム製のシートでコンクリート表面を覆う。
M	気泡緩衝シート		断熱効果がある気泡緩衝シートをコンクリート表面に貼り付け。
S	湿潤養生シート		保水部と非透水性フィルムからなる湿潤養生シートを水に浸けて貼り付け (初回使用)。

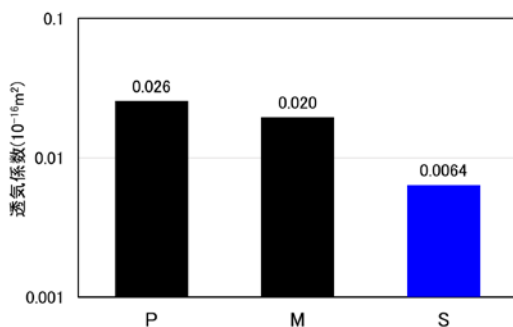


図-9 実構造物表面透気試験結果

5. 結論

湿潤養生シートの養生効果について、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、コンクリート表面を緻密化できることを確認した。
- ・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。
- ・本構造物の養生効果の確認結果から、本養生シートでコンクリート構造物の養生を行うことで、ポリフィルムシートや気泡緩衝シート用いた封緘養生よりも小さい透気係数が得られ、コンクリート表面を緻密化できることを確認した。

参考文献

- 1) 給水型コンクリート養生シートの養生効果について、コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.513-518, 2018
- 2) 表層透気試験 (トレント法) の実務展開, コンクリート工学, Vol.52, No.7, pp.595-600, 2014
- 3) 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
- 4) 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, pp.1691-1696, 2011
- 5) 坂本 久史 他: 内部振動機による締固めがコンクリート中の空気量および耐凍害性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.1054-1059, 2014