

湿潤養生シートの開発と現場適用について

(株) 鴻池組 正会員 ○金本 和憲 正会員 為石 昌宏
正会員 小山 孝 正会員 吉田 涼平
ユニチカ (株) 江崎 孝仁 平泉 顕

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技術などが研究開発され、実際に使用されている。

コンクリートの高品質化には、水和反応において必要な水分を供給する湛水養生や給水養生が有効とされているものの、コンクリートの鉛直面や下面では先述した方法の養生が困難であり、型枠を存置する方法やシートで覆い乾燥を抑制する等の方法で実施されることが多い。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可能とするコンクリート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。その効果を検証するため、各種物性試験を実施した。本稿ではその結果と、併せて実現現場への適用事例について報告する。

2. 湿潤養生シートの概要

(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、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、施工時に一人で容易に取り扱うことができる。また、所定の養生を終了して剥がした後も、再度水をしみ込ませることで、転用して繰り返し使用することができる。

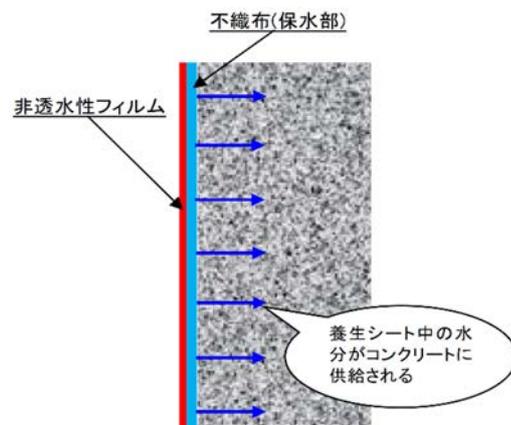


図-1 湿潤養生シートの構造

(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、洗い流す等をして取り除く
- 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



写真-1 湿潤養生シートの外観

キーワード 湿潤養生、養生シート、表面透気係数、中性化、塩害、凍害

連絡先 〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町 3-6-1 株式会社 鴻池組 土木技術部 TEL06-6245-6567

屈曲部にも貼り付けることが可能である（写真-3）。

- ③コットン系不織布の高い保水性と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。



写真-2 貼り付け状況



写真-3 屈曲部への貼り付け状況

3. 試験体による湿潤養生シートの効果確認

(1) 試験概要

本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。

(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。

(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。

(4) 試験体の作製方法および養生方法

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。

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				7
S ₁ -28		1回転用		28
S ₂ -28		2回転用		28

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

(5) 試験方法

a) 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。

b) 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

c) 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。

d) 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。

e) 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¹⁾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。

(6) 試験結果

a) 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 39.9 N/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 40.8 N/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

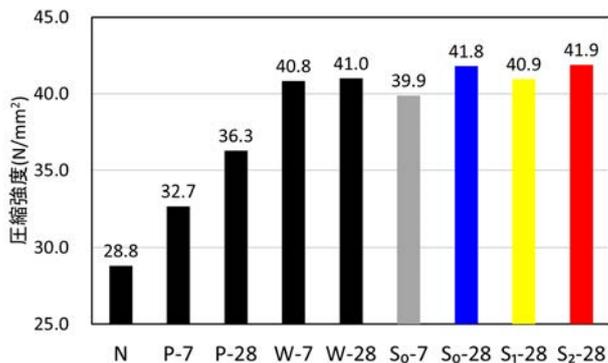


図-2 圧縮強度（試験材齢 28 日）

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.

b) 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.

c) 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.

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

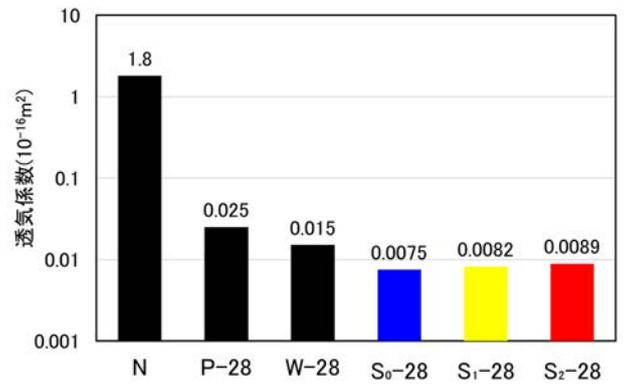


図-3 表面透気係数 (kT 値)

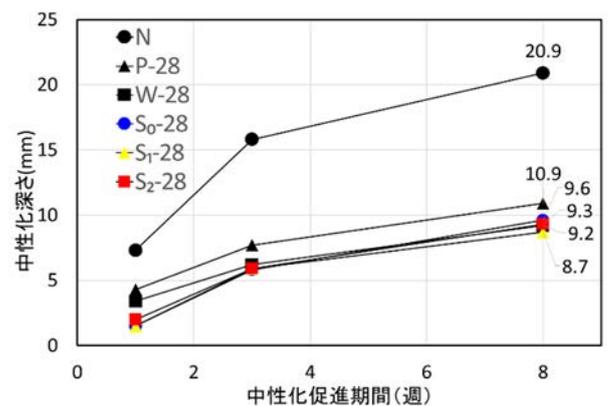


図-4 促進期間と中性化深さとの関係

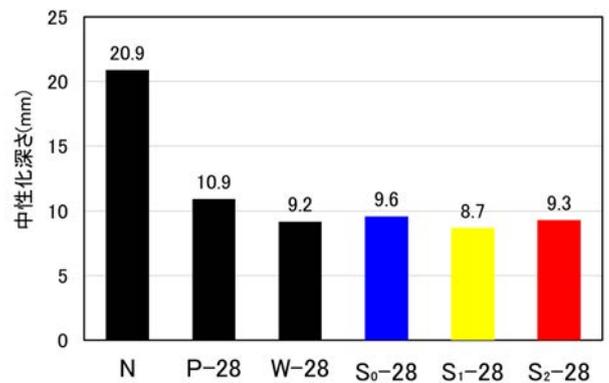


図-5 中性化深さ (促進期間 8 週)

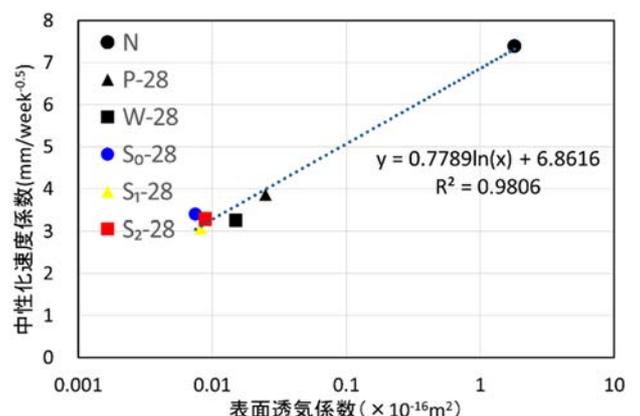


図-6 中性化速度係数と表面透気係数との関係

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。

d) 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と反応が促進し、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。

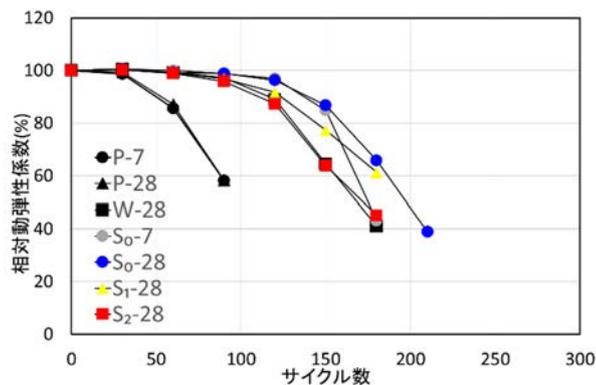


図-7 相対動弾性係数とサイクル数の関係

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。

e) 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)及び水中養生(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。

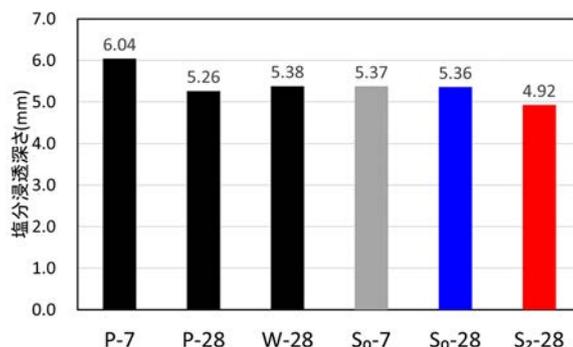


図-8 塩分浸透深さ (225 サイクル時)

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、全体的に塩分浸透深さが小さくなった可能性がある。

4. 実構造物における湿潤養生シートの効果確認

(1) 試験概要

本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)におけるポンプ井壁の実施工の養生に適用し、表面透気試験およびテスタハンマー強度試験を実施し、その養生効果を確認した。

表-3にポンプ井壁のコンクリートの配合を示す。設計基

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	170	318	785	1021

表-4 品質管理試験結果

スランブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	材齢28日圧縮強度 (N/mm ²)
11.5	4.9	13.6	32.9

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, ポンプ井壁を打設した際のコンクリートの品質管理試験の結果を表-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, 湿潤型コンクリート養生シートを貼り付けて養生を行った. その状況を写真-5 に示す. また, 比較のために本養生シートに加え, ポリフィルムシート (写真-6) および気泡緩衝シートを用いて養生を行った. なお, ポリフィルムシートはコンクリート表面に密着せず若干の空間を生じるが, 気泡緩衝シートは, コンクリート面に粘着剤が塗布してあることで, コンクリート表面に密着することができるものである. 表-5 にその試験養生ケースを一覧にして示す. なお, 各養生については, 全て材齢 28 日で撤去し, 撤去日から各試験日まででは外気環境において気乾状態とした.

表面透気試験については, 材齢 37 日で Torrent 法⁴⁾により試験を実施した. なお, 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, 試験ケース毎に 6 点測定し, 最大値および最小値を除外した 4 点の平均値を試験結果とした. テストハンマー強度試験については, 土木学会基準「硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法 (JSED-G504) に準拠し, 材齢 73 日の時点で試験を行った.



写真-5 給水型コンクリート養生シート



写真-6 ポリフィルムシート

(2) 表面透気試験結果

表-6 および図-9 に表面透気試験結果を示す. 給水型コンクリート養生シートで養生したコンクリート表面の透気係数 (×10⁻¹⁶m²) 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および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対し, 給水型コンクリート養生シートによる養生では, 型枠解体後の若材齢時に水分をコンクリート表面に供給することができ, 水和反応が十分に促進したことによると考えられる.

(3) テストハンマー強度試験結果

図-10 にテストハンマー強度試験結果を示す. 表の強度値は, テストハンマーの反発度 20 点の平均値を推定強度式に当てはめて算出したものである.

給水型コンクリート養生シートで養生したコンクリート表面のテストハンマー強度は 35.0 (N/mm²) であり, ポリフィルムシートの 30.5 (N/mm²) と比較し 15%の向上が, 気泡緩衝シートの 32.7 (N/mm²) と比較し 7%の向上が確認された. この結果は, 表面透気試験の結果と同様に, 給水型コンクリート養生シート

表-5 養生試験ケース

記号	養生方法	養生期間	備考
P	ポリフィルムシート	6 日 (型枠) + 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	給水型コンクリート養生シート		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).

表-6 透気係数の測定値

透気係数 × 10 ⁻¹⁶ m ²	養生の種類		
	P	M	S
1	0.055	0.0095	0.0095
2	0.011	0.019	0.0014
3	0.020	0.39	0.004
4	0.016	0.031	0.016
5	0.010	0.011	0.005
6	0.160	0.017	0.007
AVE	0.026	0.020	0.0064

による養生では、型枠解体後の若材齢時に水分をコンクリート表面に供給することができ、水和反応が十分に促進したことによると考えられる。なお、封緘タイプの養生では、コンクリート表面への密着性が高いものほど水分の逸散を確実に抑制することができるため、テストハンマー強度も大きくなることが確認できた。

5. 各種試験結果まとめ

養生効果の確認のために実施した圧縮強度試験・表面透気試験・促進中性化試験・凍結融解試験・塩分浸透試験の結果から、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、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。

また、実施工において、コンクリート構造物の養生に適用した結果から、本養生シートを用いてコンクリートを養生することで、同期間封緘養生するより透気係数が小さくなること、表面の強度が大きくなることが分かり、脱型後の給水とその後水分逸脱を確実に抑制することで、実際のコンクリート構造物においても表面の緻密化が図れることを確認した。

6. おわりに

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) 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.1,2008
- 2) 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.27,2017
- 3) 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
- 4) 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

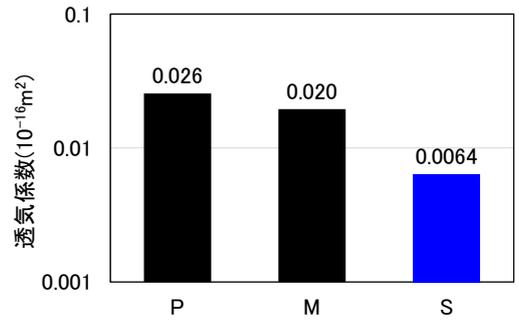


図-9 表面透気試験結果

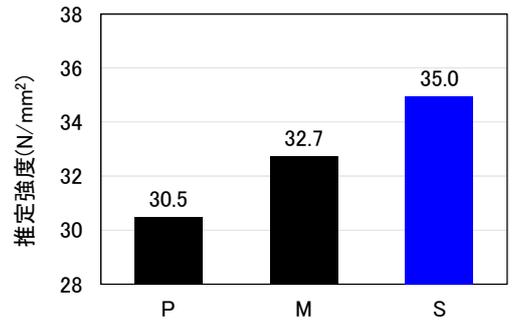


図-10 テストハンマー強度試験結果