

コンクリート構造物の耐久性を向上する長期養生工法の開発

鹿島建設(株)	正会員	○芦澤 良一	正会員	坂井 吾郎
	正会員	渡邊 賢三	正会員	温品 達也
	正会員	藤岡 彩永佳	正会員	仲森 稔晃
積水成型工業(株)	正会員	渋谷 能成		
東京大学大学院工学系研究科	正会員	石田 哲也		

1. はじめに

高度経済成長期に構築された社会基盤の多くが大規模更新を迎える中、新設のコンクリート構造物については施工上の工夫などによって耐久性を確保・向上し、長期的に構造物を利用していくことが重要視されている。このような背景のもと、質の高いコンクリート施工を実現する手段の一つとして、コンクリート構造物の養生に着目した新たな工法である「美（うつく）シール工法」を開発した¹⁾。

本報では、本工法の概要と耐久性の向上効果を示すとともに、橋梁の上下部工や高架橋の柱部材などの実構造物に適用した事例について紹介する。

2. 「美シール工法」の概要

2.1 本工法の特長

本工法は、図-1 に示すように高撥水性を有する写真-1の熱可塑性樹脂シート（以下、シートと称する）を予め型枠に貼付してコンクリートを打ち込み、脱枠時にはコンクリート表面にシートのみを残すものである。このことにより、シートを撤去するまでの間、コンクリート表面を一度も外気に曝すことなく水分の逸散が防止される。また、シートは現場条件に応じて数カ月から半年以上にわたって残置することが可能であり、通常の一般的な養生に比べて「超」長期的な湿潤養生が実現できる。

また、高撥水性のシートを使用していることから、シート撤去後のコンクリート表面は、通常の化粧合板を用いた場合よりも平滑となり、写真-2 のように表面気泡が減少する。図-2 は、壁面において本工法の有無による表面気泡の発生面積の違いを評価したものである。同図によれば、本工法ではシート無に比べて表面気泡が 1/10 程度に減少し、ばらつきも小さくなることを確認される。表面気泡の減少により、美観が向上するとともに、上述した養生効果との相乗によって耐久性が向上する。

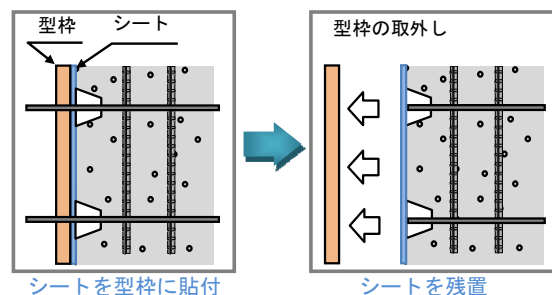


図-1 本工法の施工方法



写真-1 熱可塑性樹脂シート



写真-2 表面気泡の発生状況

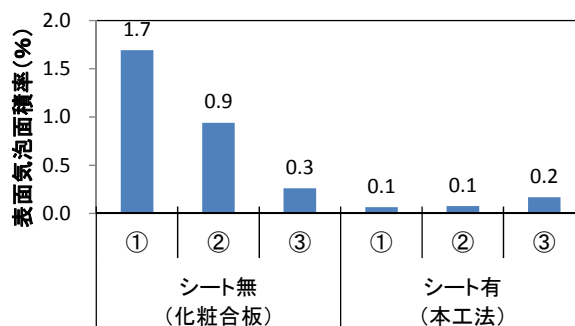


図-2 表面気泡の抑制効果

キーワード 水分逸散抑制養生、耐久性、表面気泡、熱可塑性樹脂シート

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設 技術研究所 TEL 042-489-6740

2.2 本工法の概念

コンクリート標準示方書[施工編]では、コンクリートを湿潤状態に保つための養生として、湛水や散水などの「給水」と、せき板存置や脱枠後のシート被覆などの「水分逸散抑制」が示されている。本工法は、水分を全く逸散させないことから、「水分逸散抑制」ではなく「水分逸散防止」を可能とする。

図-3 は、幅 1.0m、高さ 3.0m の壁状試験体について、本工法の有無が表面から 10mm の深さにおけるコンクリート中の相対湿度に及ぼす影響を評価した結果である²⁾。材齢 7 日で脱枠後、シート無ではコンクリート表面が直接外気に曝されるため材齢 14 日程度から相対湿度が低下する。一方で、本工法では脱型後も継続して相対湿度が高い状態にあることが確認される。このように、コンクリート構造物自身に含まれる自由水を保持することで効果的に長期間の水和反応に寄与させることができると考えられる。

図-4 は、各水セメント比における養生効果の概念図である。同図のように、特に、土木工事に広く用いられる水セメント比 50% 前後のコンクリートは水和反応に必要な水量よりも多くの自由水を保有していることから、給水養生を施すのと同等の効果が得られるものと考えられる。この効果は、図-5 のように水和反応がゆっくりと進行する低熱ポルトランドセメントやフライアッシュセメントなどの混合セメントで、より顕著になると考えられる。

2.3 耐久性の向上効果

本工法による耐久性向上効果として、遮塩性に関する効果を示す³⁾。

普通ポルトランドセメントを使用した水セメント比 55% のコンクリートを用いて 100×100×100mm の供試体を作製し、養生方法と期間を要因として試験を行った。養生方法は、材齢 7 日で脱枠後、シート養生の有無および標準水中養生とした。所定の養生期間が終了後、7 日間は 20℃、60%RH の環境下で乾燥させ、その後、1 日に 1 回あたり塩化物イオン濃度 2% の塩水を供試体に 5mL 噴霧してこれを 1 サイクルとし、130 サイクルまで乾湿繰り返しを行った。130 サイクルまで終了後、JSCE-G572 に準拠して表面からの深さ 0～8mm の位置における塩化物イオン濃度を測定した。

図-6 に塩化物イオン濃度の測定結果を示す。同図より、いずれのケースも養生期間が長いほど塩化物イオン濃度は低くなる結果であった。この傾向は、シート無よりも本工法や標準水中養生の方が顕著であり、養

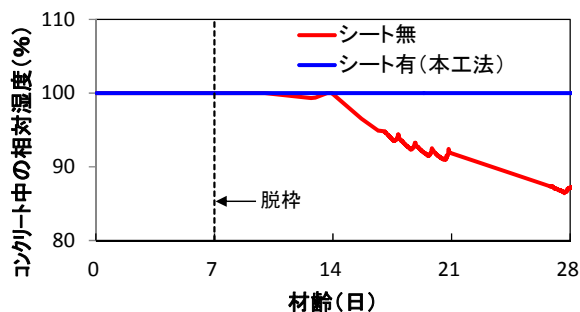


図-3 コンクリート中の相対湿度（深さ 10mm）

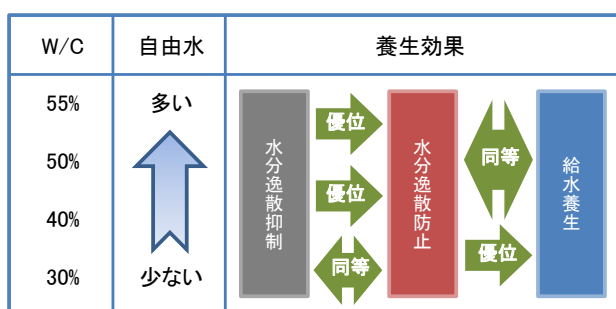


図-4 各水セメント比における養生効果の概念図

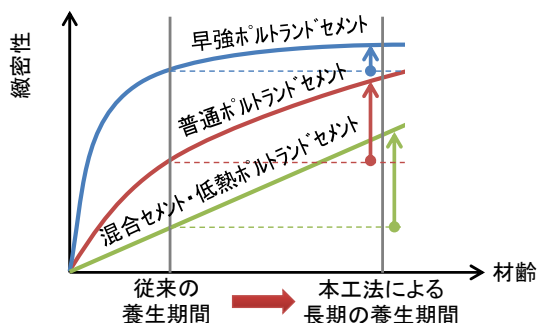


図-5 セメント種類による養生効果の概念図

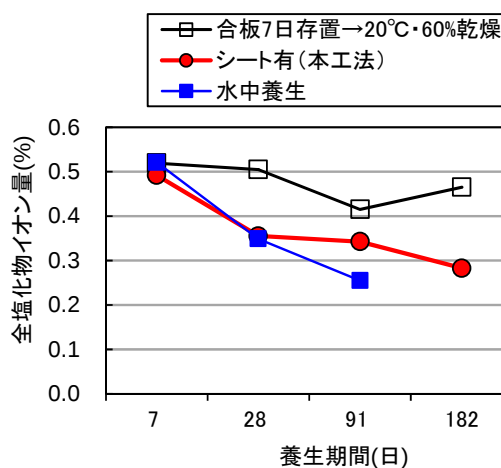


図-6 塩化物イオン濃度の測定結果

生期間 182 日では本工法の塩化物イオン濃度はシート無の 6 割程度に低減していることが確認される。このことから、本工法による長期的な養生によって、塩害に対する抵抗性が向上するものと考えられる。

3. 実構造物への適用事例

3.1 橋梁工事への適用事例

国道 45 号長部高架橋工事の橋脚（475m²）および上部工（1,104m²）に、本工法を適用した^{4) 5)}。本橋梁は、復興道路として位置づけられる三陸沿岸道路の一部で、延長 408m の PC6 径間連続ラーメン箱桁橋である。迅速な復興を支援するための早期供用開始と当該地域の重要社会基盤として長寿命化が望まれていた。

（1）橋梁下部工への適用事例

橋脚は、断面が 7.5m×5.0m、高さが約 22m であり、6 リフトで施工した。表-1 に、コンクリート配合を示す。ここでは、900×1800mm の化粧合板にシートを設置し、型枠の建込みを行った。コンクリートの打込みは、コンクリート標準示方書[施工編]に準拠し、通常の方法で行った。脱枠時におけるシートの剥がれや損傷などは認められず、シート養生の期間はリフトに応じて 99～186 日間と一般的な養生に比べて長期間の養生を行った。

シート撤去後のコンクリート表面の状態は、写真-3 に示すように表面気泡が少なく平滑な面に仕上がった。図-7 に、2 リフトおよび 5 リフトにおいて、Torrent 法により透気係数を測定した結果を示す。シート養生を実施していない箇所の比較がないものの、いずれも「良」の評価であった。

表-1 コンクリート配合（橋脚）

セメントの種類	Gmax (mm)	スランプ [°] (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 AD
N	25	8.0	42.5	4.5	37.3	165	388	650	1120	3.88



（シート養生中）



（シート撤去後）

写真-3 シート養生およびシート撤去後の状況

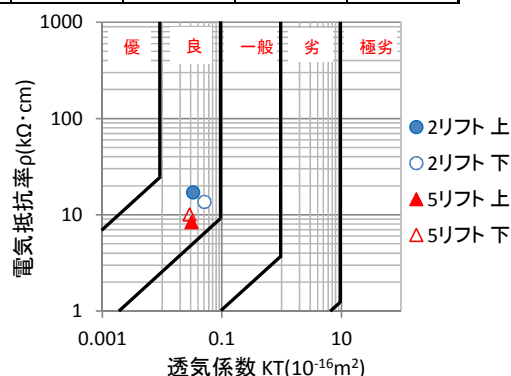
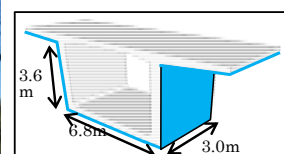


図-7 透気係数の測定結果（橋脚）

（2）橋梁上部工への適用事例

上部工については、図-8 に示す箱桁の外面を対象とした。表-2 に、コンクリート配合を示す。ここでは、早強コンクリートに対する効果を検証するため、上部工 1BL 目の施工に併せて表-3 に示す供試体を作製し、本工法の有無による圧縮強度や遮塩性、Torrent 法による透気係数の評価を行った。



（1 ブロック目）

図-8 シート養生の対象範囲（上部工）

表-2 コンクリート配合（上部工）

セメント の種類	Gmax (mm)	スランプ ^o (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 SP
H	20	16.0	39.5	4.5	39.5	160	405	696	1090	3.24

表-3 試験項目および方法

試験項目	供試体寸法	試験方法	養生条件
圧縮強度	φ100× 200 mm	JIS A 1108 による	①材齢 3 日で脱型後、20℃、60%RH ②所定の試験材齢までシート養生 ③所定の試験材齢まで標準水中養生
遮塩性	□100× 100 mm	Cl ⁻ 濃度 2%の塩水に 1 日浸漬、 6 日乾燥を 13 サイクル実施	①材齢 3 日で脱型後、試験開始 ②シート養生 91、182 日終了後、試験開始
透気係数	□700× 700 mm	Torrent 法による	①材齢 3 日で脱型後、屋外に静置 ②シート養生 28、56 日

図-9 に、圧縮強度の試験結果を示す。化粧合板 3 日のケースでは、材齢 28 日以降の強度増進が収束している。これに対し、シート養生を行ったケースでは材齢 28 日以降も強度の増進が認められ、水中養生を行ったケースと同等の強度発現を示した。水セメント比が比較的低い配合ではあるが、早強ポルトランドセメントを用いた配合においても供試体内部の自由水によって水和反応が長期にわたり促されているものと考えられる。

図-10 に、塩化物イオンの見掛けの拡散係数を示す。同図より、養生期間が長いほど塩化物イオンの拡散係数が低減し、遮塩性が向上していることが確認された。

また、透気係数については、図-11 に示すように化粧合板 3 日のケースが「一般」の判定であるのに対し、シー

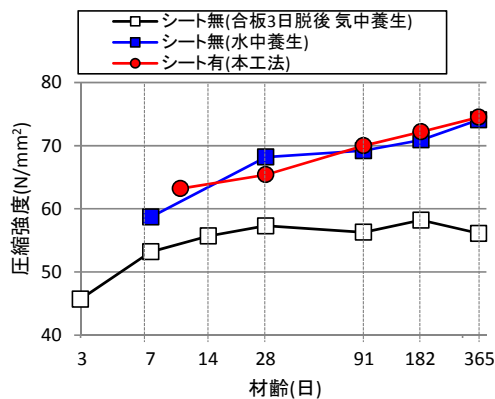


図-9 圧縮強度の結果

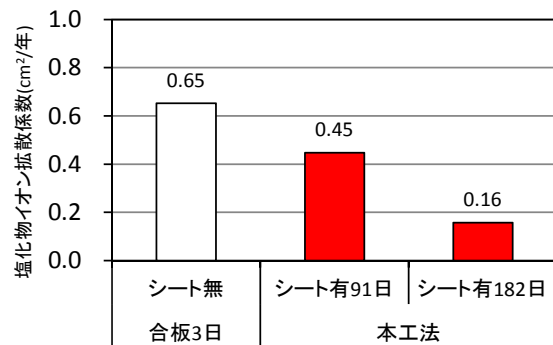


図-10 塩化物イオンの見掛けの拡散係数

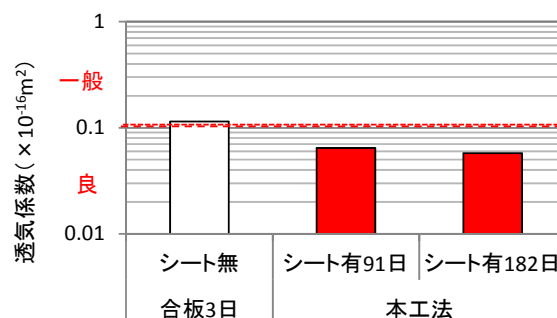
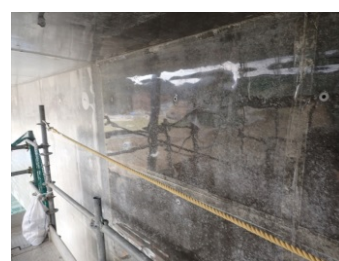


図-11 透気係数の測定結果

ト養生を行ったケースでは「良」の判定となり、透気係数が低減していることが確認された。

上部工の施工においては、一般に型枠、鉄筋、コンクリート打込みの施工順序となり、当該現場においても鋼製型枠にシートを貼付してから鉄筋の組立を行った。このため、鉄筋の組立作業やスペーサによって下床版に設置したシートが破損することが懸念された。そこで、シートの厚さを通常よりも厚くすることで対処

し、問題なく施工することが可能であった。上部工の施工には約4カ月を要し、ワーゲンを後退する際に順次シートを撤去した。結果として、最も長いBLで119日間のシート養生を実施することができた。シート撤去後のコンクリート表面の状態は、写真-4に示すように橋脚と同様に表面気泡が少なく、平滑な仕上がりとなった。



(シート養生中)

(シート撤去後)

写真-4 シート養生およびシート撤去後の状況

3.2 柱部材への適用事例

本工法を、高架橋の柱部材（約26m²）に適用した事例を示す⁶⁾。柱部材は、断面が0.9m×0.9m、高さが3.6mであり、1リフトで施工した。表-4に、コンクリート配合を示す。本事例では、900×1800mmの化粧合板を長手方向に2枚接続して用いたため、建込み時に型枠のねじれや継目部分の変形などの影響によって型枠に貼付したシートにシワが発生することが懸念された。さらに、コンクリートの打込み高さが3.6mと比較的高いことから型枠にパイププレートが接触してシートが破れることが懸念された。このため、型枠の継目を桟木で補強するとともに、建込み時は作業員2名がねじれなどを生じないように慎重に作業することに留意した。また、コンクリートの打込み時は、パイププレートを直接かぶりに挿入しないこととした。その結果、シートにシワや破れを生じることなく施工できた。コンクリートの打込み後、材齢12日で脱枠し、その後はシート養生を行った。ここで、養生効果を比較するため柱の面ごとに材齢を変えてシートを撤去した。シート撤去材齢は、12日（脱枠日）、28日および91日とし、材齢91日時点でTorrent法により実構造物の透気係数を計測した。

シート撤去後の外観状況は、写真-5に示すように化粧合板のみを使用した箇所と比べて表面気泡が少ない結果となった。また、図-12に透気係数の計測結果を示す。同図より、透気係数は、シート無に比べてシート養生を施した方が小さく、また養生日数が長いほど小さい結果であった。このことから、長期間のシート養生により表層の品

表-4 コンクリート配合（柱部材）

セメント の種類	Gmax (mm)	スランプ ^o (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 AD
N	20	12.0	50.0	4.5	45.2	170	340	810	976	2.35



写真-5 シート撤去後の状況

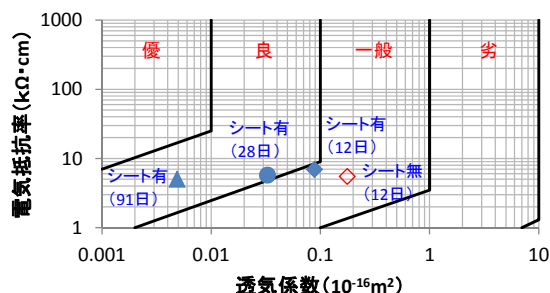


図-12 透気係数の計測結果（柱部材）

質が向上したものと考えられる。

4. まとめ

コンクリートの水分逸散防止養生を「超」長期間にわたって実施可能な「美シール工法」を開発した。ここでは、本工法の概念を示すとともに、室内試験や実構造物の適用事例に基づき遮塩性や透気係数の低減効果、表面気泡の抑制効果について述べた。今後、コンクリート構造物の品質確保・向上に寄与するため、種々の実構造物へのさらなる展開を図るものとした。

参考文献

- 1) 坂井ら：コンクリート表層の耐久性を向上する『美シール®工法』, セメント・コンクリート, No. 827, pp. 52-55, 2016
- 2) 藤岡ら：実規模試験体を用いた熱可塑性樹脂シートによる養生効果の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 37, No. 1, pp. 1891-1896, 2015
- 3) 石井ら：熱可塑性樹脂シートを用いた水分逸散防止養生による塩分浸透抑制効果, 土木学会第 70 回年次学術講演会, pp. 555-556, 2015.9
- 4) 柿本ら：橋脚における熱可塑性樹脂シートを用いた長期間の水分逸散防止養生, 土木学会第 71 回年次学術講演会, pp. 345-346, 2016.9
- 5) 温品ら：橋梁上部工における熱可塑性樹脂シートを用いた長期間の水分逸散防止養生, 土木学会第 71 回年次学術講演会, pp. 347-348, 2016.9
- 6) 芦澤ら：実構造物における熱可塑性樹脂シートを用いた水分逸散防止養生の適用実績, 土木学会第 71 回年次学術講演会, pp. 343-344, 2016.9