

# 論文 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

藤岡 彩永佳<sup>\*1</sup>・温品 達也<sup>\*2</sup>・村田 和也<sup>\*3</sup>・坂井 吾郎<sup>\*4</sup>

**要旨：**熱可塑性樹脂シートを予め型枠に貼付し、コンクリートを打込み、脱型後もシートをコンクリートに残置させて水分の逸散を抑制する養生を行う手法を実規模試験体に適用した。この養生の効果により、コンクリートの外観が向上し、非破壊試験による透気係数や吸水速度が低減し、コア試験による中性化抵抗性や遮塩性が向上することを確認した。また、空隙率試験の結果から、表層部が緻密になっていることを確認した。

**キーワード：**養生、表層品質、耐久性、表面気泡、透気試験、表面吸水試験、中性化、塩害、空隙率

## 1. はじめに

構造物の耐久性を損なう内部鋼材の腐食は、水、二酸化炭素、塩化物イオンによって引き起こされ、それらの劣化因子はかぶり部を通過して構造物内部に浸入する(図-1)。したがって、コンクリート構造物の耐久性は、かぶりコンクリートの品質、すなわち表層品質の良し悪しに大きく支配される。このことを踏まえるとコンクリートの養生は構造物の表層品質を確保し、耐久性を向上させる上で極めて重要な施工工程であると言える。

土木学会コンクリート標準示方書【施工編】では、養生についてセメントの水和反応速度を考慮し、環境温度およびセメントの種類ごとに湿潤養生期間を3日~12日の範囲で示している。これらを実現する既存の技術としては、脱型後にシートやフィルムを躯体に貼付する方法などがある。しかし、これらの養生方法は、脱型後に養生シートを設置するために、脱型からシート設置までの間に乾燥によりコンクリート表面の水分が失われるという課題がある。

筆者らは、材齢初期から長期にわたって乾燥期間を生じることなく確実な養生を可能とする、写真-1に示す高撥水性を有することを特徴とした熱可塑性樹脂シート(以下、シートと称す)を用いた養生(以下、シート養生と称す)を考案した<sup>1)</sup>。本報では、シート養生がコンクリートに与える初期および長期間の品質向上効果について、実規模の試験体を作製することによって検討した結果を述べる。

## 2. シートによる水分の逸散抑制養生方法

シート養生は、図-2に示すように予めシートを型枠内部に貼付しておき、コンクリートを打ち込み、型枠取外し後もシートを残置することで、水分の逸散を抑

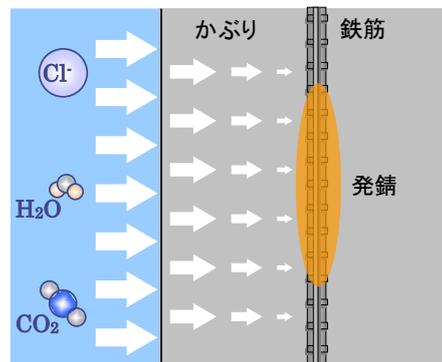


図-1 劣化因子の概念図



写真-1 熱可塑性樹脂シート

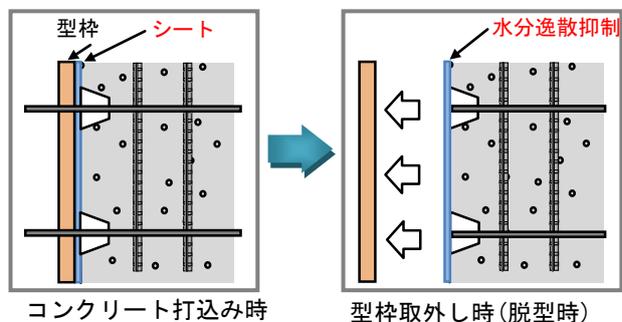


図-2 シート養生の実施概要

\*1 鹿島建設株式会社 技術研究所 土木材料グループ 研究員 (正会員)  
 \*2 鹿島建設株式会社 技術研究所 土木材料グループ 研究員 修士(工学) (正会員)  
 \*3 鹿島建設株式会社 技術研究所 土木材料グループ 研究員 修士(工学) (正会員)  
 \*4 鹿島建設株式会社 技術研究所 土木材料グループ グループ長 博士(工学) (正会員)

制する養生を実施することができ、コンクリートの表層品質を改善するものである。この工法により、コンクリート打込みから一度も表面を乾燥させることなく、長期間養生を行うことが可能となる。

### 3. 実験概要

#### 3.1 試験体の概要

実規模レベルのコンクリートを対象としてシート養生による表層品質向上効果を定量的に把握することを目的として、図-3 に示す逆 T 字型擁壁の試験体を作製した。この試験体の壁部分を試験対象として、その部分に合板型枠、鋼製型枠およびシートを貼付した合板型枠の 3 種類の型枠を用いた。シートを貼付しない（以下、シート無と称す）合板型枠および鋼製型枠には油性剥離剤を塗布し、シートを貼付する（以下、シート有と称す）ケースには合成樹脂接着剤を用い、シートを合板に接着した。

#### 3.2 材料・配合

試験体に使用したコンクリートの材料および配合を表-1 および表-2 に示す。なお、使用したコンクリートのスランプ実測値は平均 13.5cm、空気量は平均 4.1%、JIS A 1123 に準じてブリーディング試験を行った結果、ブリーディング率は 1.0% であった。

#### 3.3 打込み方法

打込みは、1 層を約 40cm として全 6 層でポンプ車を用いて行い（打上がり速度：0.8m/h）、φ50mm のパイプレータで 30cm 間隔で 20 秒ずつ締め固め、さらに 10 分後に φ30mm のパイプレータで 30cm 間隔で 10 秒ずつ再振動を実施した。なお、試験体の型枠から独立した門型フレームを設け、それを基点として下面から 250mm の位置から約 250mm ごとの高さに型枠変位計を 10 か所設置し、コンクリートの側圧による型枠の変位を測定した。

#### 3.4 養生条件

シート無の合板型枠は、材齢 7 日で脱型し、シート有の型枠は、材齢 7 日で型枠のみ脱型後、所定の材齢までコンクリートにシートを残置した。シートを残置する期間は、7・28・91・180・365 日とした。なお、以下、合板型枠の場合は「シート無（合板）」、鋼製の場合は「シート無（鋼製）」、合板型枠にシートを貼付した場合は「シート有」と称する。また、試験体は、脱型後材齢 50 日まで温度や湿度の制御が無い室内で曝露を行い、以降は雨や風の影響を受ける屋外で曝露を行った。

#### 3.5 試験項目

本検討では、表-3 に示すように 8 つの試験を実施し、それぞれシート無とシート有の比較を行った。

##### (1) 外観に与える影響の検討

シート養生が外観に与える影響を評価するために表面気泡面積率、表面粗さの測定を行った。表面気泡面積率

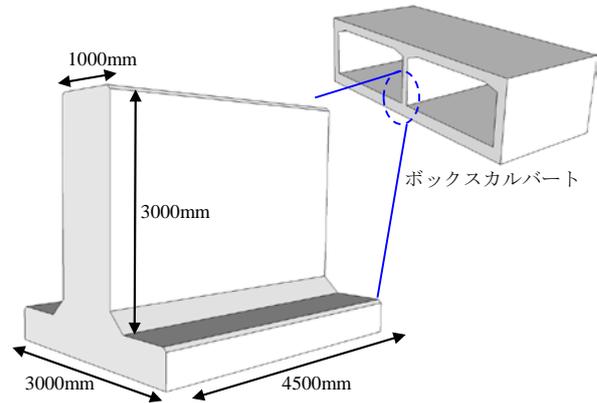


図-3 実規模試験体の概要

表-1 使用材料

使用材料	記号	摘要
水	W	地下水
セメント	C	高炉セメント B 種 密度=3.04g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S <sup>*1</sup>	S1 砕砂 (0.15~5mm) 密度=2.65g/cm <sup>3</sup> , F.M.=3.00
		S2 砕砂 (0.15~2.5mm) 密度=2.58g/cm <sup>3</sup> , F.M.=2.00
		S3 山砂 (0.15~5mm) 密度=2.65g/cm <sup>3</sup> , F.M.=3.00
粗骨材	G	碎石 (Gmax=20 mm) 密度: 2.66g/cm <sup>3</sup> , 実積率: 60.0%
混和剤	AD	AE 減水剤 主成分: リグニンスルホン酸塩, オキシカルボン酸塩, ポリカルボン酸系化合物

※1: S は S1:S2:S3=30:35:35 の割合

表-2 コンクリートの配合

W/C (%)	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
				W	C	S	G	AD
54.0	15.0	4.5	48.8	173	321	868	920	3.21

表-3 計測内容・方法

目的	試験方法	試験項目	計測方法	試験材齢
外観に与える影響の検討	非破壊試験	表面気泡面積率	OHP シート転写	脱型直後
		表面粗さ	JIS B 0601	脱型直後
耐久性に与える影響の検討	非破壊試験	湿度	埋込み型静電容量式	35 日まで
		透気係数	Torrent 法 <sup>2)</sup>	250 日まで
		吸水速度	SWAT 法 <sup>3)</sup>	250 日まで
	コア試験	塩化物イオン量	JIS A 1154	70 日
中性化試験		JIS A 1153	372 日まで	
空隙率		水銀圧入法	28 日	

の測定は、脱型直後に実施し、無色透明の樹脂製である OHP シート (210×297mm) に直径 1mm 以上の気泡をトレースし、画像解析によってその面積率を求めた。なお、表面気泡面積率は、壁部分の最上部から 500mm の上段部、中心高さの位置の中段部、壁部分の最上部から 2000mm の下段部のそれぞれ 3 か所で測定を行った。表面粗さは、表面の微細な凹凸を数値化したものであり、JIS B0601 に準拠し、脱型直後に接触針式試験器を用いて測定した。

## (2) 耐久性に与える影響の検討

シート養生が耐久性に与える影響を評価するために非破壊試験によるコンクリート中の湿度測定、透気係数と表面吸水速度の測定およびコア試験による塩化物イオン量、中性化深さ、空隙率の測定を行った。コンクリート中の湿度は、シート無 (合板) と材齢 28 日までシートを残置させたシート有を対象として、型枠表面から内側に 10mm および 30mm の深さの上面から 500mm の位置において、埋め込み型静電容量式の湿度計を設置し、コンクリート打込み時から材齢 35 日まで連続して測定を行った。透気係数は Torrent 法<sup>2)</sup> に基づく表層透気試験、表面吸水速度は SWAT 法<sup>3)</sup> に基づく表面吸水試験で測定し、コンクリート表層部の緻密性を評価した。塩化物イオン量は、シート無 (合板) および材齢 28 日までシートを残置させたシート有の 2 ケースを対象として、測定を行った。まず、材齢 70 日に試験体の中段から採取したコア (φ100mm) を 7 日間 20℃、60%RH の室内で乾燥させながら、次に試験体の側面 2 面以外をエポキシ樹脂を用いてシールした。その後、1 日 1 回、塩化物イオン濃度 2% の人工海水を 1 面につき 5ml 噴霧してこれを 1 サイクルとし、76 サイクルまで乾湿繰り返しの海水噴霧を実施した。噴霧完了後、JSCE-G572 に準拠して、0~8mm 深度の全塩化物イオン量を定量した。中性化深さは、シート無 (合板) および材齢 28・91・180・365 日までシートを残置させたシート有を対象として、シートの撤去から 7 日後の材齢 35・98・189・372 日に試験体の中段から採取したコア (φ35mm×50mm) を用い、20℃、60%RH で 7 日間の前養生実施後に促進中性化養生を実施した。促進中性化の条件は、20℃、60%RH、5%CO<sub>2</sub> 濃度とし、7・14・28 日間の促進中性化深さを測定して中性化速度係数を算出した。空隙率は、シート無 (合板) および材齢 28 日までシートを残置させたシート有の 2 ケースを対象として、材齢 189 日に試験体の中段から採取したコア (φ35mm×50mm) の表面から 3mm 部分を湿式コンクリートカッターで採取して、アセトン浸漬により水和を停止し、24 時間の真空凍結乾燥後、水銀圧入式ポロシメータを用いて測定した。

## 4. シート養生が外観に与える影響に関する試験結果

シート養生を実規模試験体に適用した結果、打込み完了時までシートにしわや、剥がれ等の不具合が生じることがないことを確認した。また、シート養生期間中もシートに浮きや剥がれがなく、水分の逸散を抑制した養生が維持できたことを目視にて確認した。

### 4.1 表面気泡面積率

各ケースにおける表面気泡面積率の結果を図-4 に示す。全てのケースにおいて表面気泡面積率が 0.5% 以下と少ない値であったものの、シート有では表面気泡が減少し、さらに上下方向の気泡のばらつきが抑制されている結果となった。これは、写真-2 に示すようにシートの撥水性が高いため、シートがコンクリート中から型枠面へ移動するブリーディング水の移動を抑制し<sup>4)</sup>、さらに水の移動に伴った気泡の移動も抑制するため、表面気泡が型枠近傍へ現れにくくなった可能性などが考えられる。

また、合板型枠を用いた場合は、上段において表面気泡が多い結果となった。ここでシートを貼付していない合板型枠および鋼製型枠における打込み開始前から打込み完了までの変位を図-5 に示す。いずれの型枠も打込み後はコンクリートによる側圧が生じるため、上段よりも下段の変位が大きいものの、合板型枠においては、1800mm の位置に設けた型枠の継ぎ目付近において型枠が著しく歪曲していることを確認した。この歪曲により、気泡の上方への移動が阻害され、その部分に気泡が集中したものと考えられる。

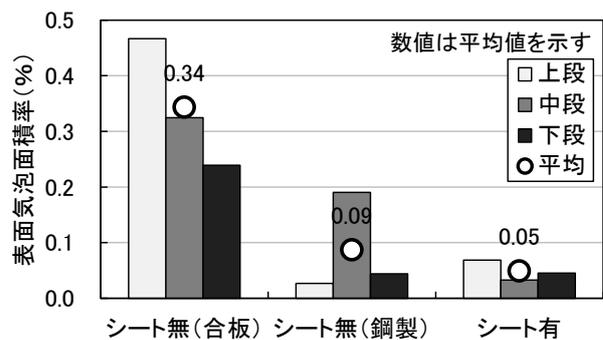


図-4 表面気泡面積率の比較



写真-2 シートの撥水性

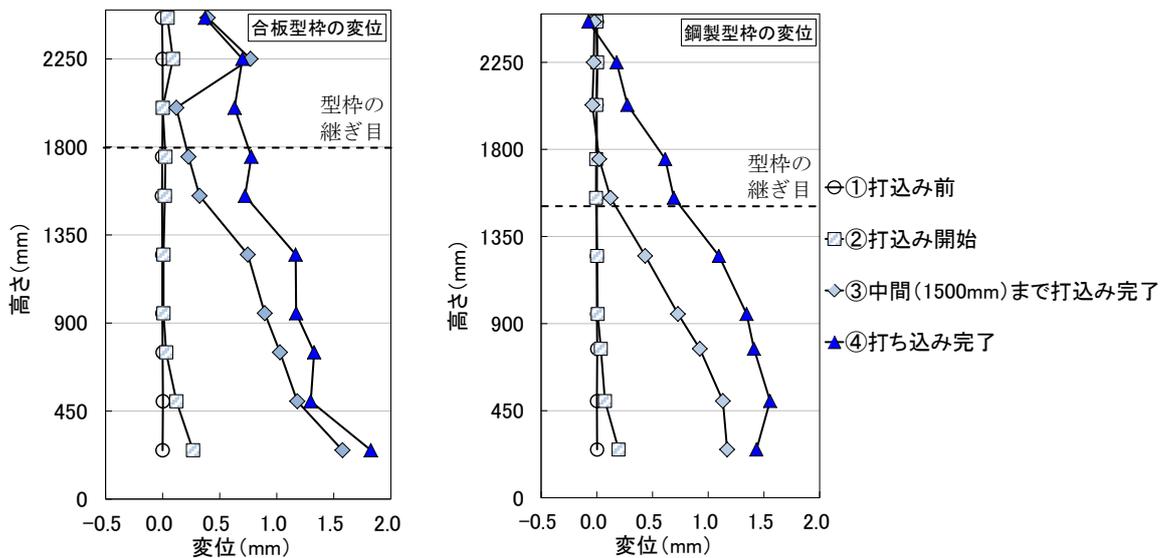


図-5 施工中における型枠変位の経時変化

#### 4.2 表面粗さ

各ケースにおけるコンクリートの表面粗さを図-6に示す。図より、シート無のケースでは、鋼製は合板よりも算術平均粗さが大きいものの、最大高さは合板よりも小さい結果となった。一方で、シートを使用した場合は、算術平均粗さおよび最大高さがシート無のケースと比べて小さくなり、平滑で均質な表面となったことが分かる。

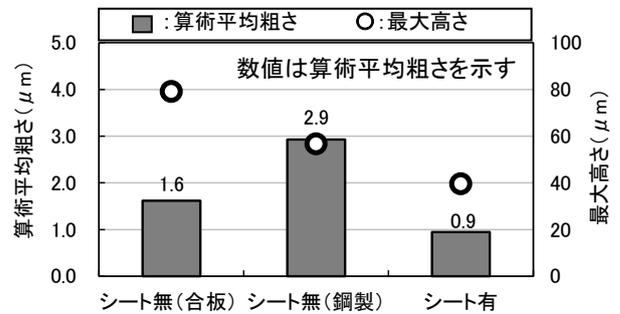


図-6 コンクリートの表面粗さ

### 5. シート養生が耐久性に与える影響に関する試験結果

#### 5.1 非破壊試験

##### (1) コンクリート中の湿度

コンクリート中の湿度の経時変化についてシート無の結果を図-7に、シート有の結果を図-8に示す。図より、シート無(合板)の場合、脱型後に表層から10mmの位置の湿度が材齢14日以降に低下し始め、材齢35日では83%となり、水分が逸散し乾燥の影響を受けていることが確認された。一方でシート有の場合、型枠脱型後も表層付近における湿度の低下が見られず、水分逸散が抑制されていることが確認され、表層付近においても十分に養生されていると考えられる。

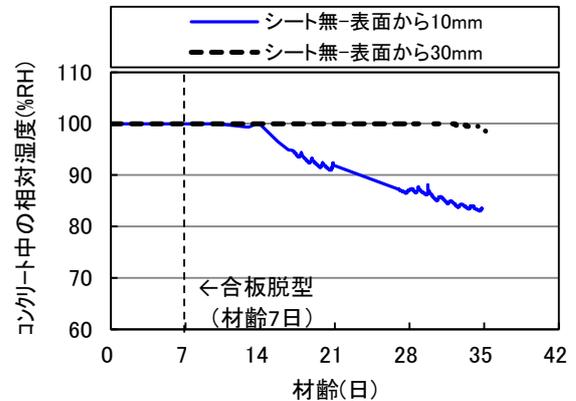


図-7 シート無の場合のコンクリート中の湿度変化

##### (2) 物質透過性

材齢28日における透気係数を図-9に示す。図より、上中下段の平均値がシート無の2つのケースではいずれも平均で $0.3 (\times 10^{-16} \text{m}^2)$ であったのに対して、シート有では $0.1 (\times 10^{-16} \text{m}^2)$ と小さい結果となっており、物質透過抵抗性が高くなる傾向が確認された。

次に脱型後から材齢250日まで所定の材齢にて透気試験を行った結果を図-10に示す。なお、シート有のケースにおいては、残置期間を図中の凡例に併記した。脱型後250日まで継続して透気試験を行った結果、シート無と比較して、シート有は、透気係数が小さくなる傾向が確認された。また、脱型後もしくはシート撤去後の透気

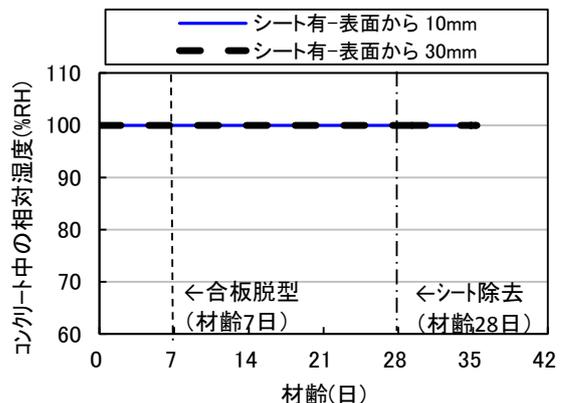


図-8 シート有の場合のコンクリート中の湿度変化

係数は、材齢の経過とともに大きくなった。これは、コンクリート表層部の水分が乾燥により逸散したためと考えられる。しかし、91日間以上シート養生を行った場合、Torrent らによって提案された<sup>5)</sup>基準に従い評価を区分して材齢250日で比較すると透気係数が「可」の領域を維持し、物質透過抵抗性の向上効果が認められた。これはシートの水分の逸散を抑制した養生効果によりコンクリートが緻密化し、空気が通過しづらい表層部となったことによるものと考えられる。さらにシート有のうち、シート残置期間が長くなるほど、透気係数が小さくなり、表層部がより緻密になっているものと考えられる。

表面吸水速度の結果を図-11に示す。透気試験と同様にシート無と比較して、シート有は吸水速度が小さくなる傾向となった。さらに、シートを長期間残置させることで、吸水速度が小さくなり、コンクリートがより緻密になっていることが推察された。また、吸水速度も透気係数と同様に、材齢の経過とともに計測値の増大が確認されたものの、材齢250日においては、シートをコンクリートに残置する期間が長いほど吸水速度が小さくなり、表面吸水試験によっても物質透過抵抗性の向上効果が認められた。

## 5.2 コア試験結果

### (1) 塩化物イオン量

φ100mm×8mmのコンクリートコア中に含まれる塩化物イオン量の結果を図-12に示す。シート無では6.8(kg/m<sup>3</sup>)であったのに対して、シート有では5.0(kg/m<sup>3</sup>)と塩化物イオン量が少ない結果となった。これはシート養生によりコンクリートの表層部が緻密になったため、遮塩性が向上されたものと考えられる。

### (2) 中性化試験結果

中性化試験の結果を図-13に示す。図より、シート養生の養生期間が長いほど中性化速度が低下することが確認された。実規模試験体の作製は、小型供試体と異なり、バイブレータの使用や型枠の建込みなど機器や時間などを要するが、それらの影響があってもシート養生によるコンクリートの耐久性向上効果が認められた。なお、シート無のケースでは、結果にばらつきが見られるが、これは材齢50日以降の暴露を屋外環境で行ったため、降雨による水和の進行が生じたことなどによる影響が考えられる。

### (3) 空隙率

空隙率の測定結果を図-14に示す。シート無と比較して、シート有は表層から0.3mmにおける空隙率が小さい結果となった。これは、シート養生の効果により、表層部分のコンクリートまで養生が可能となり、十分に水和反応が進行し、組織が緻密になった結果であると考えられる。

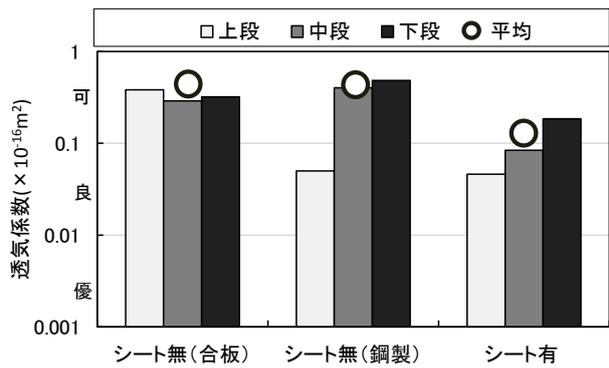


図-9 材齢28日における透気係数結果

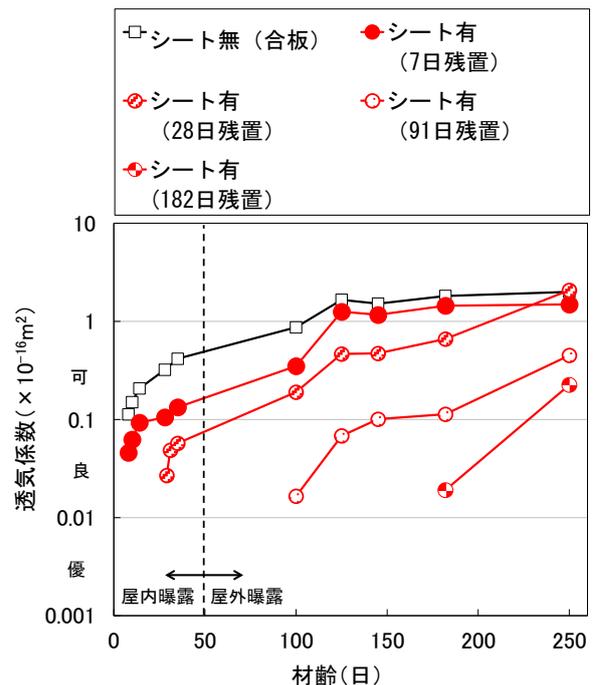


図-10 透気係数の経時変化

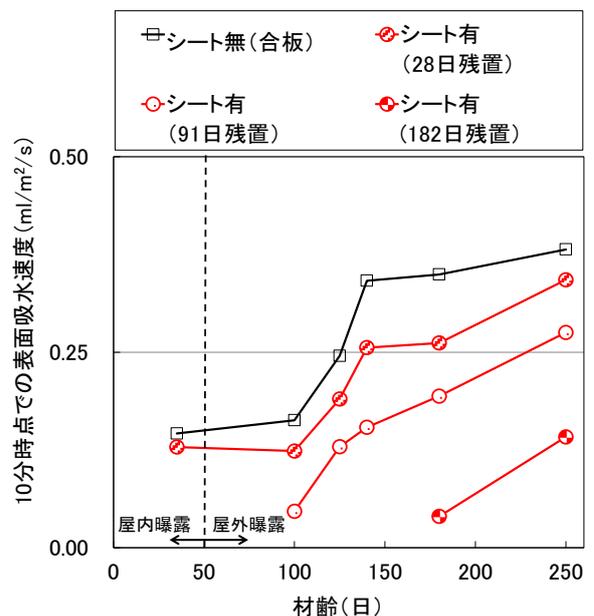


図-11 表面吸水速度の経時変化

## 6. まとめ

実規模試験体を用いて熱可塑性樹脂シートを予め型枠に貼付し、コンクリートを打込み、養生を行った結果をまとめると以下ようになる。

- (1) シート養生を行ったコンクリートの表面気泡が低減することを確認した。

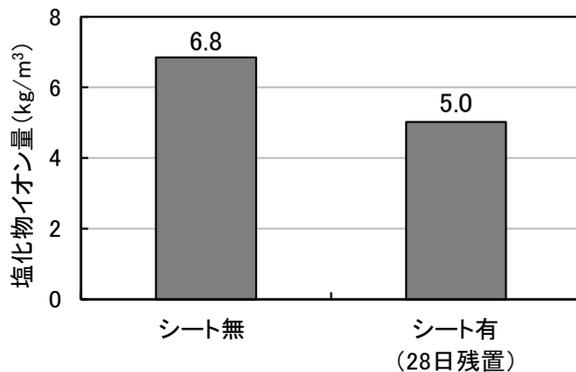


図-12 塩化物イオン量の測定結果

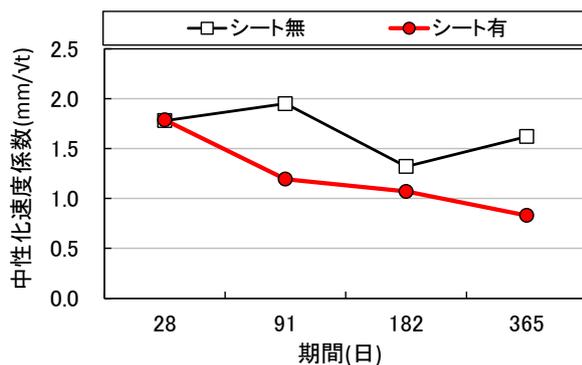


図-13 中性化深さの試験結果

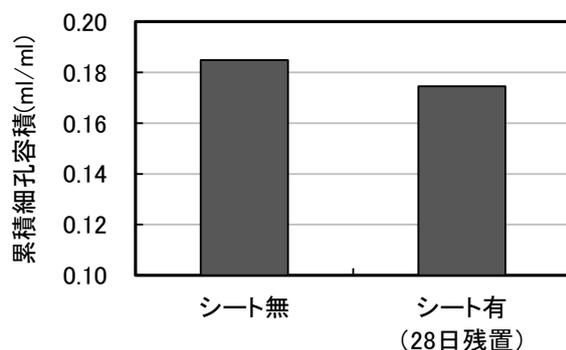


図-14 空隙率の試験結果

- (2) シート養生を行ったコンクリートの内部の相対湿度を測定した結果、コンクリートの表層部において水分の逸散を抑制する効果が認められた。
- (3) 通常の合板型枠を用いた場合と比較して、透気係数および表面吸水速度が低減したことを確認した。
- (4) シート養生による遮塩性の向上効果が認められた。
- (5) シート養生による中性化の抑制効果が認められた。
- (6) シートを残置する期間を長くすることで、さらなる物質透過性の改善を期待できる傾向が認められた。
- (7) シート養生によって、表層部の空隙率が小さくなった。これは、シート養生によりコンクリートの表層部の十分な養生が可能となり、組織が緻密になったものと考えられる。

謝辞:本研究の実施にあたり、東京大学工学系研究科 石田哲也教授、積水成型工業(株) 矢野英伸氏をはじめとする多くの皆様に多大な御協力を頂いた。ここに感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 石田哲也, 坂田昇, 渡邊賢三, 温品達也, 矢野英伸:熱可塑性シート養生によるコンクリートの表面改質, 土木学会第 69 回年次学術講演集, pp.117-118, 2014.
- 2) R.J.TORRENT : A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient permeability to air of the concrete cover on site, Materials and Structures, vol.25, pp.358-365, 1992.
- 3) 林 和彦, 細田 暁:表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価方法に関する基礎的研究, 土木学会論文集 E2, Vol.69, No.1, pp.82-97, 2013.
- 4) 木村彩永佳, 温品達也, 渡邊賢三, 鈴木秀明, 石田哲也:熱可塑性シートによるブリーディング効果, 土木学会第 69 回年次学術講演集, pp.1123-124, 2014.
- 5) R.J.Torrent and G. Frenzer : A method for the rapid determination of the coefficient of permeability of the covercrete, Proceedings of the International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering, pp.985-992,1995.