

特殊シートを用いた長期間の水分逸散抑制養生によるコンクリート表層品質の向上

New Sheet Curing Method for Enhancing Durability of Concrete

温 品 達 也 渡 邊 賢 三 藤 岡 彩 永 佳
村 田 和 也¹⁾ 坂 井 吾 郎 坂 田 昇²⁾

要 約

コンクリート構造物の耐久性を向上させるためには、劣化因子の侵入経路となるコンクリートの表層品質を向上させることが重要である。筆者らは、予め型枠内面に高撥水性の特殊シートを貼付し、脱型した後もシートをコンクリートに残置させて、コンクリート表面が乾燥の影響を受けることなく、長期間の水分逸散抑制養生が可能となる技術を開発した。本論文では、シート養生がコンクリートの美観を向上するとともに、塩分浸透や中性化を抑制できることを実験的に確認した。また、普通セメントや混合セメントを用いて作製した実規模柱においても、シート養生効果によりコンクリートの物質遮断性が向上され、特に長期間の湿潤養生を必要とする混合セメントへの効果が顕著であることを明らかにした。

目 次

- I. はじめに
- II. シート養生の概要
- III. 塩分浸透
- IV. 中性化
- V. 実規模柱における検討
- VI. おわりに

I. はじめに

持続可能な社会資本構築のために、コンクリート構造物の耐久性を向上させることが喫緊の課題となっている。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。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るが、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透する(Fig.1)。したがって、かぶり部の品質を高めることにより、コンクリート構造物の耐久性は大きく向上する。

コンクリート構造物の表層品質を向上する手法の一つとして「養生」がある。土木学会コンクリート標準示方書【施工編】では、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。これらは品質確保のための標準的な養生期間であるが、過酷環境に曝される場

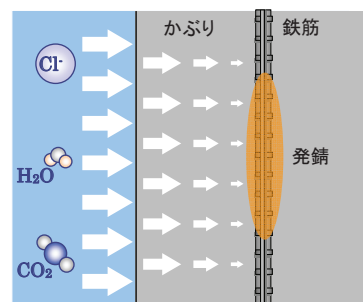


Fig.1 劣化因子の浸透概念図

(Factors affecting Deterioration of Concrete)

合、あるいは長寿命化が求められる重要構造物の場合には、材料・配合面での改善のみならず、養生期間を延長するなどの工夫を行って、コンクリートの表層品質を向上する取組みが必要となる。

II. シート養生の概要

コンクリートを養生する主な手段として、給水養生と水分逸散抑制養生がある。壁等の鉛直面、スラブ、はり等の下面においては給水養生を行うことが困難な場合が多い。したがって、型枠を取り外した後に気泡緩衝材等の養生用シートを貼付することが一般的であるが、脱型してから養生用シートを貼付するまでに、ある程度の時間を要するため、その間にコンクリートは乾燥に曝される。さらに、

1) 東北支店 Tohoku Branch

2) 土木管理本部 Civil Engineering Management Division

キーワード: 水分逸散抑制養生, 表層品質, 耐久性, 遮塩性, 中性化, 透気係数

Keywords: seal curing, surface layer quality, durability, chloride interception, neutralization, coefficient of permeability

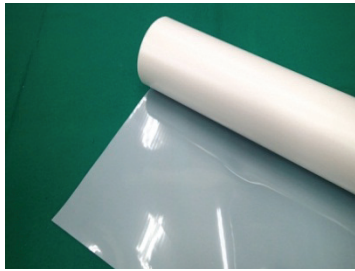


Photo 1 養生シート

(Thermoplastic and Water-repellent Sheet for Curing)

材齢初期のコンクリートは、水和反応に使われていない水分が多く残っていること、また水和発熱により構造物の表面温度も高くなること等から、乾燥による水分逸散の程度が大きくなる。

これらの既往の養生技術の課題に着目し、筆者らは予め型枠内に高撥水性の熱可塑性樹脂シート(Photo 1, 以下、シートと称す)を貼付し、Fig.2 に示すようにコンクリートを打ち込み、脱型した後もシートをコンクリートに残置させて、できる限り長期間の養生を行う新しい技術(以下、シート養生と称す)を考案した。せき板を取り外した後においても、コンクリートの表面を外気に曝すことなく、シートを用いて水分逸散抑制を実現するものである。また、このシート養生は合理的な水分逸散抑制養生を行うだけでなく、シートの撥水効果等により、Photo 2 に示すようにコンクリートの美観も向上する特徴を有している^{1, 2)}。

本論文では、シート養生による長期間の水分逸散抑制養生が塩分浸透抵抗性や中性化抵抗性などに与える影響について実験的検討を行った結果をについて述べる。

Ⅲ. 塩分浸透

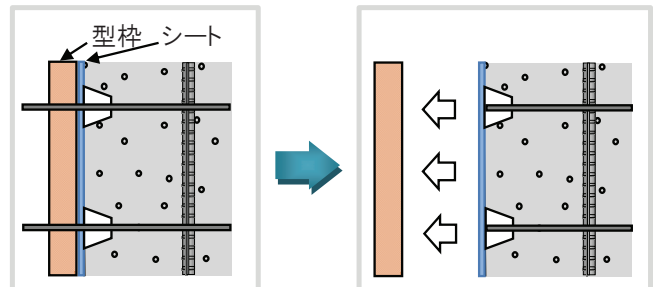
1. コンクリート

(1) 実験概要

本実験には Table 1 および Table 2 に示す材料と配合のコンクリートを練り混ぜ、100×100×100mm の化粧合板からなる型枠に打ち込み、Table 3 に示す各種条件で養生した。合板 7 日存置、型枠取り外し後 20℃、60%RH の室内にて静置するケース (以下、合板)、シート養生 (以下、シート)、水中養生 (以下、水中養生) の 3 条件とした。さらに、所定の養生終了後に 20℃、60%RH の室内で 7 日間乾燥させ、試験体の側面 2 面以外をエポキシ樹脂により密封して試験に供した。塩水の供給方法は、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、130 サイクルまで乾湿繰返しの塩水噴霧を実施した。噴霧完了後、JSCE-G572 に準拠して、表面から 0~8mm および 13~21mm 深度の全塩化物イオン量を定量した。

(2) 実験結果

Fig.3 に表面から 0~8mm のコンクリート中の全塩化物イオン量を示す。各ケースのプロットは横軸に示す養生期間までそれぞれの養生条件下に静置し、前養生して乾燥させた後に、塩水噴霧試験を実施して得られた全塩化物イオン量を示している。図より、合板に対し、水中養生のケースは養生期間が長いほど全塩化物イオン量が減少した。また、合板に対し、シートのケースはシート養生期間が



コンクリート打込み時

せき板取外し時(脱型)

Fig.2 シート養生の実施概要

(Method of Sheet Curing)

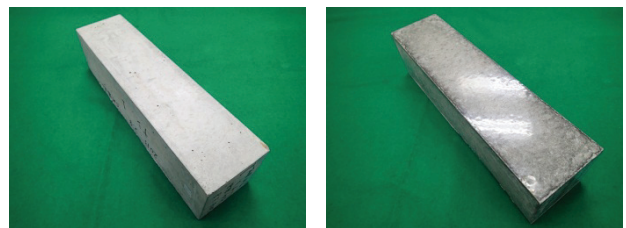


Photo 2 シート養生による美観の向上

(Aesthetic Improvement by Sheet Curing)

Table 1 コンクリートの材料

(Materials of Concrete)

材料	記号	種類	摘要
セメント	C	普通 ポルトランドセメント	密度：3.16g/cm ³ 比表面積：3320cm ² /g
細骨材	S	山砂 (千葉県君津産)	表乾密度：2.61g/cm ³ 吸水率：2.11%
		砕砂 (東京都青梅産)	表乾密度：2.65g/cm ³ 吸水率：0.96%
		山砂:砕砂=25:75 (粗粒率:2.69)	
粗骨材	G	砕石 (東京都青梅産)	粗骨材最大寸法：20mm 表乾密度：2.64g/cm ³ 吸水率：0.58% 粗粒率：6.71
混和剤	AD	AE 減水剤 (高機能タイプ)	リグニンスルホン酸塩 ポリカルボン酸系化合物

Table 2 コンクリートの配合

(Mix Proportions of Concrete)

W/C (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)				
				W	C	S	G	AD
55.0	10.0	4.5	46.0	164	298	843	993	2.98

長いほど全塩化物イオン量は低減し、養生期間 182 日における合板のケースに対して、シートのケースは約 60%まで小さくなった。

2. モルタル

(1) 実験概要

上記コンクリートの検討に加え、セメント種類および水結合材比を要因としてモルタル試験体を対象とした実環境曝露試験を実施した。10×10×40cm の合板型枠を用いて、異なる結合材種類・養生

Table 3 試験体の養生条件
(Curing Method of Specimen)

No.	材齢(日)	1	2~6	7	7~14	14~28	29~35	36~91	92~98	99~182	183~189		
1	合板(7日残置)	型枠残置 (20°C 60%RH)		型枠 取外し	*1	----->							養生完了後 各材齢から 塩水噴霧 130サイクル で計測
2	合板(7日残置→21日気中)				20°C 60%RH曝露	*1	----->						
3	合板(7日残置→84日気中)				20°C 60%RH曝露		*1	----->					
4	合板(7日残置→175日気中)				20°C 60%RH曝露		----->						
5	シート(7日残置)				*1	----->							
6	シート(28日残置)				*2	*1	----->						
7	シート(91日残置)						*1	----->					
8	シート(182日残置)						*2	----->					
9	合板(7日水中)	型枠 取外し	水中(20°C)	*1	----->								
10	合板(28日水中)		水中(20°C)		*1	----->							
11	合板(91日水中)		水中(20°C)		*1	----->							

*1: 前養生(20°C 60%RH), *2: シート残置(20°C 60%RH)

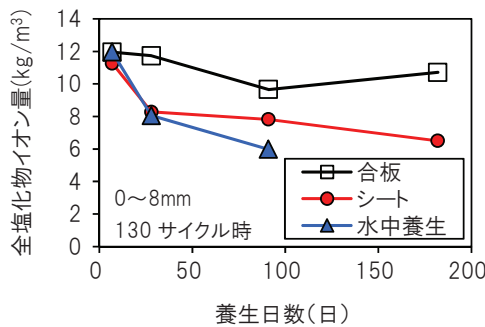


Fig.3 養生条件と塩化物イオン浸透量
(Test Results of Chloride Ion Penetration)

条件でモルタル試験体を作製した。試験体の配合を Table 4 に示す。表中の N, NB, NF, NBF は使用する結合材をそれぞれ、普通セメント、普通セメント+高炉スラグ、普通セメント+フライアッシュ、普通セメント+高炉スラグ+フライアッシュとした。また、試験体の過度なブリーディングを抑制するためにバイオポリマー系増粘剤を添加した。表中の Vi/W は練混ぜ水(W)中の増粘剤(Vi)の質量割合を示している。試験体は所定の養生終了後、試験体を約 100×100×100mm の大きさに湿式切断し、5 日間室内に置いた後に、暴露面を除く 5 面にエポキシ被覆し、暴露に供した。暴露地は、新潟県の日本海沿岸であり、海岸までの距離は約 150m、道路橋示方書では塩害の「地域区分 B」・「対策区分 I」に相当する場所である。

(2) 実験結果

暴露期間 3 ヶ月における W/B55% の試験体の塩分分布測定結果を Fig.4, Fig.5 に示す。図より、混和材を用いることで塩分浸透が抑制されていることがわかる。養生による違いを見ると、NF および NBF シリーズでは長期間シート養生を行うことで、塩分浸透が明確に抑制される結果となった。特に、NF シリーズでは 91 日シート養生を行うことで、28 日水中養生よりも塩分浸透が抑制されており、長期間の養生でポズラン反応を十分に進めることが効果的である。一方、N や NB シリーズにおいては養生の効果が見られず、現状顕著には表れていない。ただし、本稿の結果は 3 ヶ月暴露の結果のみであるため、今後も長期暴露試験と複数の計測分析を通じて慎重に検討を継続する必要があると考えている。また、すべての結合材種類でシート養生を行った場合に表面付近の塩分量が大きく、

Table 4 モルタルの配合
(Mix Proportions of Mortar)

	W/B [%]	単位体積質量 [kg/m³]					Air [%]	Vi/W [%]
		W	C	BFS	FA	S		
N	55	380	691	0	0	1000	2	0.25
NB	55	375	409	273	0	1000	2	0.25
NF	55	372	575	0	101	1000	2	0.25
NBF	55	368	341	227	100	1000	2	0.25

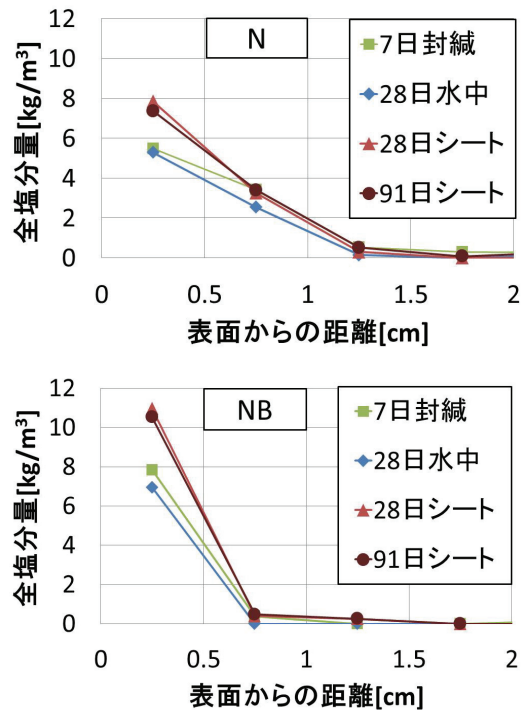


Fig.4 養生条件と塩化物イオン浸透量
(Test Results of Chloride Ion Penetration)

深部の塩分量が小さくなっている。これは表層部の緻密化によって塩分が侵入しにくくなったため、表面近傍の塩分量が増加したことによる可能性が考えられる。

IV. 中性化
1. 実験概要

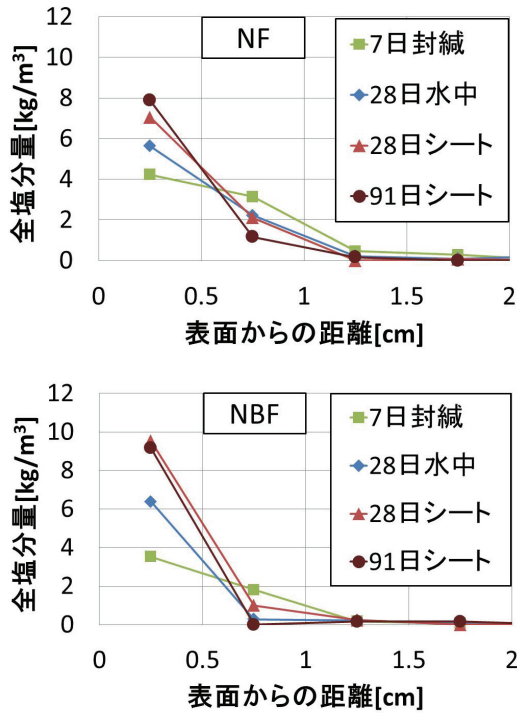


Fig.5 養生条件と塩化物イオン浸透量
(Test Results of Chloride Ion Penetration)

本実験には Table 1 および Table 5 に示す材料と配合のコンクリートを用いた。水セメント比は 45・50・55・60・70% の 5 水準とし、全ての配合において単位水量を 164kg/m³ に固定した。養生は塩分浸透の実験と同様に Table 3 に示す条件とした。なお、打ち込んだコンクリートの水セメント比は、Table 3 の No.1~4 に W/C=45・50・55%, No.5~8 に W/C=55・60・70, No.9~11 に W/C=55% を採用した。促進中性化の条件は、20℃, 60%RH, 5%CO₂ 濃度とし、養生完了後から乾燥暴露や前養生中に進行した中性化深さを含めた 7・14・28 日間の中性化深さを測定して中性化速度係数を算出した。

2. 実験結果

(1) 養生期間と中性化速度係数

W/C=55%における、各養生期間と中性化速度係数の関係を Fig.6 に示す。各ケースのプロットは横軸の養生期間までそれぞれの条件下で養生した後、促進中性化試験を実施して得られた中性化速度係数を示している。合板を 7 日存置し、その後は 20℃・60%RH の室内にて気中養生した場合、材齢とともに中性化速度が増大していることが分かる。これについて郭ら³⁾は、材齢 7 日まで封緘養生したコンクリートを 20℃, 60%RH の室内にて乾燥させたところ、経時的に細孔構造が粗大化することを明らかにし、この原因が乾燥によってマイクロクラックが増大するためであることを拘束収縮試験の結果から示している。本試験結果も、湿潤養生後の乾燥によってコンクリート表層部の組織が脆弱化したことや、含水量が減少したことによって中性化抵抗性が低下したものと考えられる。以上より、コンクリートの中性化速度は湿潤養生期間の影響を大きく受け、湿潤養生期間が短い場合は乾燥の影響を受けて増大することから、実施工においても養生方法とその期間が重要であると考えられる。また、水中養生した場合、7 日間の養生では他の養生方法と大きな差

Table 5 コンクリートの配合
(Mix Proportions of Concrete)

配合	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)				
			W	C	S	G	AD
1	45.0	42.0	164	364	746	1035	3.64
2	50.0	45.0	164	328	813	998	3.28
3	55.0	46.0	164	298	843	993	2.98
4	60.0	47.0	164	273	871	986	2.73
5	70.0	48.0	164	234	905	984	2.34

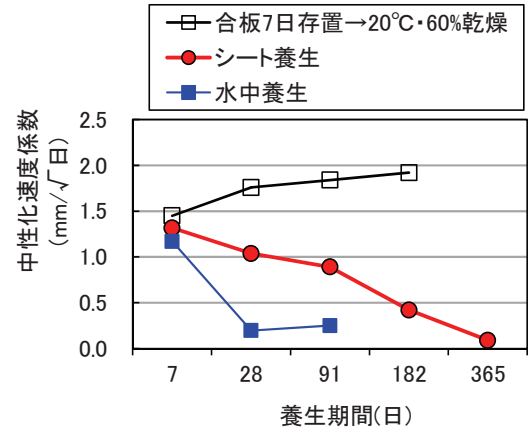


Fig.6 養生方法と中性化速度係数(W/C=55%)
(Test Results of Carbonation)

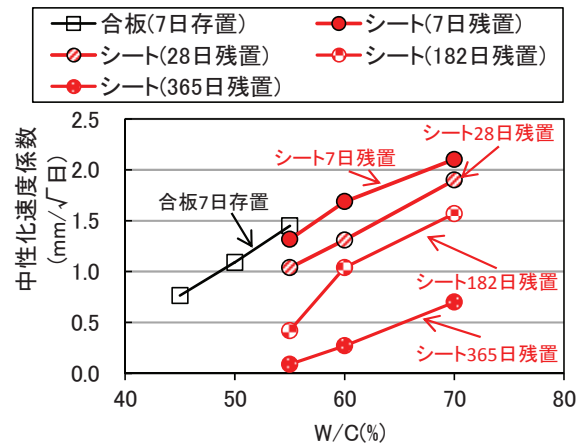


Fig.7 W/C と中性化速度係数
(Test Results of Carbonation)

異はなかったものの、水中養生期間が 28, 91 日となると中性化速度係数が著しく小さくなった。これは、セメントの水和反応が良好に進行したためであり、既往の研究³⁾では水中養生期間の経過に伴い、コンクリートの空隙量が減少するためであると報告されている。シート養生を実施した場合の中性化速度に着目すると、養生期間が 7 日から 91 日の間では合板 7 日存置と水中養生の間に位置する傾向となり、シートの残置期間が長いほど、中性化速度が低減した。シート養生を 182・365 日間行ったケースは、28・91 日水中養生したケースと同等の中性化抵抗性を示した。以上より、コンクリートの

中性化速度には、打込み後の湿潤養生期間が大きく影響し、水分逸散抑制養生を長期間実施するほど、中性化抵抗性が高まる可能性が示唆された。また、水中養生を7日以上実施することは、実施工において現実的ではない場合が多いが、シート養生の場合、養生期間を半年程度とすることは可能であり、これによって実構造物においても、28日間の水中養生と同等の養生効果が得られると考えられる。

(2) W/C と中性化速度係数

各養生条件における W/C と中性化速度係数の関係を Fig.7 に示す。いずれの養生方法、材齢においても、W/C の増大に従い、中性化速度係数も増加する傾向となった。ここで、W/C=55~70%において、シート養生期間が長いほど中性化速度係数は低下する結果が得られた。例えば、W/C=55%のケースの場合、シートを 182 日以上残置することで、合板 7 日存置した W/C=45%のケースよりも小さい中性化速度係数になることが分かった。

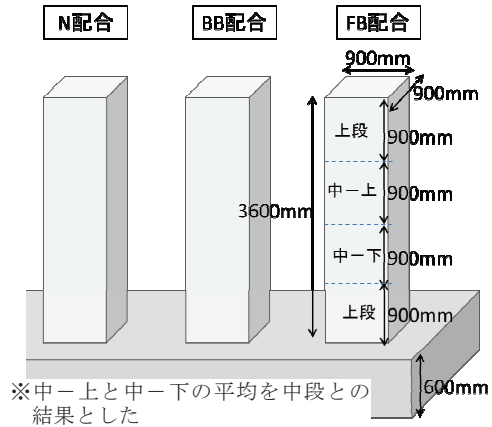


Fig.8 実規模試験体の概要
(Expose Test Using Large-scale Column Specimens)

V. 実規模柱における検討

1. 実験概要

(1) 試験体の作製概要

シート養生が実規模のコンクリートに与える影響を検証するために、柱状試験体において高さ方向を要因として Fig.8 に示す試験体を作製した。試験体のそれぞれの面には、化粧合板型枠（以下、シート無）およびシートを貼付した型枠（以下、シート有）を使用し、2種類の要因について比較検討した。試験体に使用したコンクリートの配合を Table 6 に示す。普通ポルトランドセメント (N)、高炉セメント B 種 (BB) およびフライアッシュセメント B 種 (FB) の3種類のセメントを用いた。ここで単位水量および材齢 28 日における圧縮強度がほぼ等しくなる配合とした。3種類のコンクリートは同一のレディーミクスト工場で作製・運搬し、1層を約 45cm として全 8 層でポンプ車を用いて打ち込み、φ50mm のパイプレータで 4ヶ所、各 20 秒ずつ締め固めた。その後、材齢 7 日で型枠を取り外し、シート有の場合は、型枠取外し後もシートをコンクリート表面に残置させ、材齢 28 日でシートを取り外した。なお試験体は、屋内環境に静置した。

(2) 測定概要

測定項目および試験項目は Table 7 に示すとおりである。表面気泡面積率は、Fig.8 の柱側面に無色透明の樹脂フィルム(210×297mm)に 1mm 以上の気泡をトレースし、画像処理によってその面積率を求めた。透気係数は Torrent 法⁴⁾で測定し、コンクリート表層部の物質透過性を評価した。測定位置を Fig.8 に示す各面上段、中-上、中-下、下段の 4ヶ所とし、中-上と中-下の平均値を中段の結果とした。

2. 実験結果

(1) 表面気泡

表面気泡面積率の結果を Fig.9 に示す。いずれのセメント種類においても、シート無と比較して、シート有は表面気泡が減少する結果となった。さらに、シート養生による表面気泡の低減効果を比較するために、それぞれのセメント種類において、シート有/シート無の比を算出すると、N 配合では 0.6、BB 配合では 0.9、FB 配合では 0.5 となり、FB を用いた試験体において最も低減する結果となった。以上より、要素試験体だけでなく、高さの要因を含む柱状の

Table 6 コンクリートの配合

(Mix Proportions of Concrete)

セメント	W/C (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)			
					水	セメント	細骨材	粗骨材
N	55.0	10.0	4.5	48.3	165	300	889	950
BB	53.9			47.8	165	306	871	952
FB	49.8			46.7	165	331	838	958

Table 7 計測内容・方法

(Measurement Items)

試験項目	計測方法	試験材齢
表面気泡面積率	トレース	35 日
表面含水率	静電容量式水分計	
透気係数	Torrent 法 ⁵⁾	

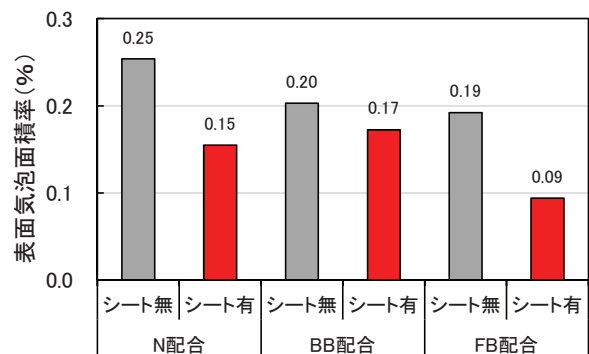


Fig.9 各配合の表面気泡面積率
(Test Results of Surface Air Bubbles-area Ratio)

実規模試験体においてもシート養生による表面気泡の低減を確認した。セメント種類によって表面気泡の低減効果が異なる要因について

Table 8 透気係数および表面含水率の測定結果
(Test Results of Air Permeability and Moisture Content)

セメント	シート	透気係数($\times 10^{-16}m^2$)		
		上段	中段	下段
N	無	0.093	0.062	0.132
	有	0.050	0.029	0.030
	有/無	0.5	0.5	0.2
		平均 0.4		
BB	無	0.193	0.029	0.030
	有	0.046	0.020	—
	有/無	0.2	0.7	—
		平均 0.5		
FB	無	0.090	0.072	0.229
	有	0.020	0.026	0.018
	有/無	0.2	0.4	0.1
		平均 0.2		

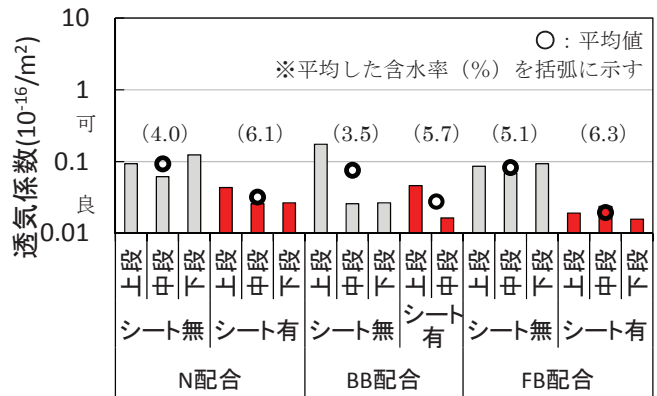


Fig.10 各配合の透気係数
(Test Results of Air Permeability)

ては、気泡抑制のメカニズムの検証も含めて今後の検討課題とした。

(2) 透気係数

透気係数および表面含水率の測定結果を Table 8 および Fig. 10 に示す。若材齢の試験であるため、シート有ではシート無と比較して表面含水率が高いものの、いずれのセメントにおいても、シート無よりもシート有の方が小さい結果となった。さらに、表面気泡面積率と同様にシート養生による向上効果を比較するために、上段・中段・下段のシート有/シート無の比を算出し、平均すると N 配合では 0.4、BB 配合では 0.5、FB 配合では 0.2 となり、FB を用いた試験体において最も効果が大きい結果となった。これは、材齢 28 日までの湿潤養生の有無がボゾラン反応に影響したものと考えられる。したがって、このシート養生は、若材齢時のコンクリートに乾燥を与えず、長期間の養生を可能とできるため、フライアッシュセメントのような湿潤養生の良否がコンクリートの品質に大きな影響を与える⁵⁾場合に、特に有効であると考えられる。

VI. おわりに

本論文ではコンクリートの表層品質を向上させる養生技術として、シート養生工法の概要を紹介した。さらに、シート養生によりコンクリートの美観向上や、塩分浸透および中性化の抑制効果が得られ

ることを示した。また、シート養生効果は、長期間の水分逸散抑制養生を必要とする混合セメントの品質を合理的に確保できることを示した。今後、本技術をコンクリート工事に適用して工法の確立を図り、コンクリート構造物の品質向上につなげていきたい。

参考文献

- 1) 石田哲也, 坂田昇, 渡邊賢三, 温品達也, 矢野英伸; 熱可塑性樹脂シート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, 2014, pp.117-118.
- 2) 木村彩永佳, 温品達也, 渡邊賢三, 石田哲也, 鈴木秀明; 熱可塑性樹脂シートによるブリーディング抑制効果, 土木学会第 69 回年次学術講演集, 2014, pp.123-124.
- 3) 郭度連, 宇治公隆, 國府勝郎, 上野敦; 乾燥によるコンクリート組織の不均質化, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, 2002, pp.711-716.
- 4) 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, 1992, pp.358-365.
- 5) 土木学会; フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針(案), 1999, p.31.

New Sheet Curing Method for Enhancing Durability of Concrete

Tatsuya Nukushina, Kenzo Watanabe, Saeka Fujioka, Kazuya Murata¹⁾, Goro Sakai, and Noboru Sakata²⁾

Concrete layer quality of surface portion affects durability of concrete structures, since degradation factors against corrosion of reinforcing bars penetrates through the surface layer of concrete. The new curing system “Seal Curing by Sheet” was developed to improve surface layer quality. In this system, new sheet is affixed on inner form, and after removing form, the sheet sticks to surface of concrete and enables to cure concrete for a long time.

From the experimental investigations, it was verified that the sheet curing improved the aesthetic appearance, chloride interception and resistivity of carbonation due to densified cover concrete. Furthermore, the experiments showed that sheet curing was effective in case of using blended cements requiring long term curing such as blast furnace slag cement and fly ash cement.