

論文 少量添加したラテックスが養生期間および耐久性に与える影響と屋外試験における耐久性評価

東 洋輔*1・片山 太貴*2・宮里 心一*3

要旨：フライアッシュなどの混和材や初期養生後に追加で養生を行う手法は耐久性を向上するが、湿潤養生期間を長く設定する必要や、養生を行うための施工を要する。そこで、生産性の向上や省力化施工を達成するため、ポリマーコンクリートに使用されるラテックスをコンクリートに添加することで養生効果を発揮する手法を検討した。本論では添加量の影響、初期養生効果、耐久性に及ぼす影響を把握し、屋外暴露を行って耐候性も評価した。検討の結果、透気係数や透水量などの物質移動抵抗性を改善し、初期養生期間を短縮しても各種評価では従来の期間養生したものと同程度かそれ以上の物性であることがわかった。

キーワード：ラテックス、養生期間、透気性、透水性

1. はじめに

現場で施工されるコンクリートは打込み後に湿潤養生を日平均気温に応じた期間において実施すること(以下、初期養生)が求められる。これは、コンクリートの強度、耐久性および水密性などの所要の性能を確保するために実施されている。近年、環境負荷の低減や耐久性の向上を目的にフライアッシュや高炉スラグ微粉末などの混和材の検討が進められているが、混和材を使用する場合には湿潤養生期間を普通ポルトランドセメントの場合よりも長く設定する必要があり、工期の延長が懸念される。また、耐久性の向上を目的に、所定の湿潤養生を実施したあとに封緘養生テープなどの水分の逸散を防止するシートなどによる追加の養生を実施し、コンクリート中の水分の逸散を防ぎ水和反応を継続的に進行させ、コンクリート表層部の耐久性を改善する試みも実施されているが、封緘養生テープの設置および撤去工が発生することやそのための施工足場などを確保する必要がある。このように、コンクリートの養生においては、セメント種類に応じた養生期間の確保や養生材の施工などが必要となる。そのため、所定の性能を確保しつつ初期養生期間を短縮し生産性を向上することや別途養生材の施工を必要としない省力化した養生方法などが望まれ、今回、コンクリートへ添加することで養生効果を付与する手法について検討するに至った。養生効果を発揮する材料は、ポリマーセメントコンクリートなどに使用されるラテックスである。一般的なポリマーセメントコンクリートのポリマーセメント比は5%~20%の範囲で検討され、中性化および塩化物イオン浸透に対する抵抗性の改善^{例えば1)}などの特徴を有することが報告されている。しかしなが

ら、ラテックスなどのポリマーディスパーションは高価なためコスト面への負荷などのデメリットも有する。そのため、少量のラテックスを添加することで所要の効果を得られることができれば、コストデメリットを解消することができる。

上述した背景を踏まえて本検討では、ラテックスの添加量が耐久性に及ぼす影響を評価した。さらに、普通ポルトランドセメントやフライアッシュを用いたコンクリートに対してラテックスを少量添加(ポリマーセメント比 0.225%および 0.450%)し、初期養生期間を変えて初期養生期間の短縮効果や耐久性に及ぼす影響について評価した。さらに、ラテックス成分が紫外線劣化等によって得られる効果に変化がないか検証するため、屋外にて耐候性評価を行った。

2. ラテックス添加量が耐久性に及ぼす影響

ラテックスの添加量が耐久性に及ぼす影響を把握するため、モルタルに対してラテックス添加量を変えて添加し、透水性や透気性を評価した。

2.1 実験概要

使用材料を表-1に、モルタル配合を表-2に示す。使用材料は他の検討で使用した材料も示す。モルタルの配合は普通ポルトランドセメントを用いて、水セメント比を50%とした。練上りりのモルタルのフレッシュ性状は、15打モルタルフロー値が $240 \pm 20 \text{mm}$ 、空気量が5.0% $\pm 1.5\%$ となるようにAE減水剤および消泡剤を調整した。ラテックスの添加量は、少量添加の影響を把握するため、ポリマーディスパーションとしてセメント重量の0~5%(ポリマーセメント比:0~2.25%)の範囲で添加した。

*1 オリエンタル白石(株) 技術研究所 修士(工学) (正会員)

*2 金沢工業大学大学院 工学研究科環境土木工学専攻 (学生会員)

*3 金沢工業大学 工学部環境土木工学科教授 工博 (正会員)

表-1 使用材料

材料名	記号	物性値ほか
普通ポルトランドセメント	N	密度3.16g/cm ³ , 比表面積3280cm ² /g
早強ポルトランドセメント	H	密度3.14g/cm ³ , 比表面積4490cm ² /g
フライアッシュ	FA	JIS II 種品:七尾産, 密度2.45g/cm ³ , 強熱減量1.8%, 比表面積4770cm ² /g
細骨材	S	桜川市岩瀬産砕砂, 表乾密度2.63g/cm ³
粗骨材	G	桜川市岩瀬産砕石, 表乾密度2.66g/cm ³
AE減水剤	Ad	リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体
高性能AE減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系化合物
AE剤	AE	アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤
消泡剤	AF	ポリアルキレングリコール誘導体
ラテックス	LX	SBRラテックス, 固形分率45%

表-2 モルタル配合

水準名	W/C (%)	S/C	単位量(kg/m ³)			Ad (C×%)	AF (C×%)	LX (C×%)
			W	C	S			
NLX0%-3d	50	2.7	271	542	1414	0.5	-	-
NLX0.25%-3d						0.5	0.016	0.3
NLX0.5%-3d						0.5	0.025	0.5
NLX1.0%-3d						0.5	0.030	1.0
NLX2.5%-3d						0.5	0.035	2.5
NLX5.0%-3d						0.5	0.035	5.0

なお、ラテックスは液体で固形分率が45%である。残りの55%分は単位水量の一部として扱った。

モルタルの製造は20℃、RH60%環境下で行い、ベースモルタルを練り混ぜたあとにラテックスを添加した。モルタルはφ100mmの鋼製型枠に高さ100mmとなるよう打込み、封緘養生を行い、20℃環境下で静置した。全ての供試体は初期養生期間を3日間行い、その後20℃環境下で気中養生を行った。なお、気中養生中は供試体の底版が上面となるように静置した。

2.2 測定概要

ラテックスの添加量を評価するため、材齢28日に表層透気係数(トレント法)および透水量(JIS A 6909B法)を測定および評価した。測定は円柱供試体の底版面に対して行った。表層透気係数の測定では、測定箇所含水状態を把握するため、直流電気抵抗式水分計を用いてコンクリートの表面含水率を測定した。

2.3 測定結果

表層透気係数の結果を図-1に示す。表層透気係数の測定の直前に行った表面含水率の測定は約1.3~2.1%で概ね同程度の水分状態であった。結果からラテックスの添加量が多くなると表層透気係数が低下し、添加量が1%以上になると表層透気係数の低下量は緩やかであった。

透水量の結果を図-2に示す。結果からラテックス添加量が多くなると透水量が低下し、添加量が1~5%の範囲では同程度で推移した。

表層透気係数および透水量の結果から、ラテックスの添加量を既往の文献の検討範囲から低く設定した場合であっても、表層透気係数や透水量においては改善するこ

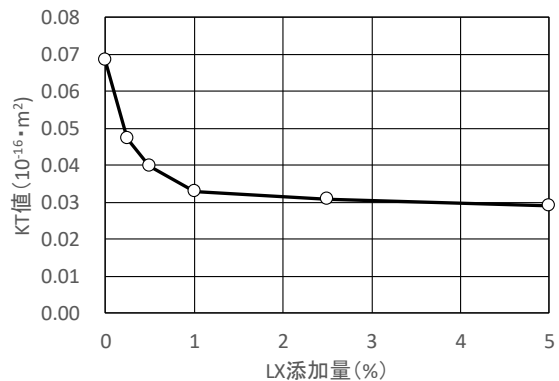


図-1 表層透気係数

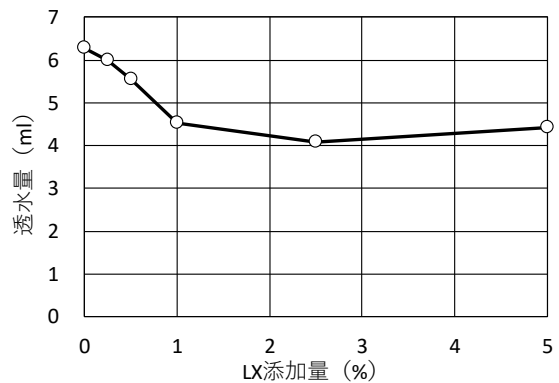


図-2 透水量 (試験7日経過後)

とを確認できた。また、ラテックス添加量が1%以上の場合には概ね同程度であった。以上の検討から、ラテックスの添加量1%を基準とし、コスト面も配慮して添加量0.5%も含めて、次章以降で示す養生期間や耐久性の評価対象とした。

3. ラテックスが養生期間および耐久性に与える影響

3.1 コンクリート配合および実験水準

本検討で用いた使用材料を表-1に、コンクリート配合を表-3に示す。コンクリートの配合は、普通ポルトランドセメントのみ(以下、N配合)、早強ポルトランドセメントにフライアッシュセメントを混和した配合(以下、FA配合)の2種類とした。スランプはN配合において $12\pm 2.5\text{cm}$ 、FA配合で $18\pm 2.5\text{cm}$ 、空気量はN配合およびFA配合ともに $4.5\%\pm 1.5\%$ となるように混和剤を適宜調整した。ラテックスはポリマーセメント比で0.225%あるいは0.450%(ポリマーディスパーションとして0.5%あるいは1.0%)の2水準と無添加の水準を用意した。コンクリートの製造は 20°C 、RH60%環境下で行い、ベースコンクリートを練り混ぜたあとにラテックスを添加した。コンクリートは打込み後、直ちに封緘養生を行い、 20°C 環境下で初期養生を行った。初期養生期間は3日あるいは7日の2種類とし、ラテックスを添加した水準は3日のみとした。したがって、実験水準はセメント種類、ラテックス添加量および初期養生期間を組み合わせ、N配合で4種類、FA配合で4種類の計8水準とした(表-4)。初期養生後は脱型し試験材齢になるまで 20°C 、RH60%で気中養生とした。なお、以降の水準の示し方は表-4の記号欄に示すとおりとする。

3.2 測定概要

本検討で行った試験とその概要を表-5に示す。測定は、コンクリートの物性として、圧縮強度、ヤング係数および長さ変化を、耐久性として、表層透気係数および透水量を評価した。また、ラテックスによる各結果への

効果を考察するため、細孔空隙径を評価した。試料の採取箇所はコンクリートの表層部に着目した検討であるため、表面から深さ10mmの範囲で、ダイヤモンドカッターで5mm角に切断し、アセトンで水和反応を停止後、真空乾燥を3日間、D-Dryを7日間行い、水銀圧入ポロシメーターを用いて細孔径ごとの空隙量を算出した。

3.3 実験結果

(1) 圧縮強度

圧縮強度の結果を図-3に示す。N配合では、初期養生期間の影響は本研究の範囲では確認できなかった。ラテックスの添加の影響は0.5%では同程度であったが、1.0%では低下する結果であった。FA配合では、養生期間の影響は初期養生期間3日間よりも7日間の方が強度の増進を確認できた。ラテックスの添加の影響は0.5%では微増したが、1.0%では低下する傾向を示した。藤原らはポリマーセメント比が5~10%の間で圧縮強度や耐久性の関連性を評価しており、圧縮強度は添加量に応じて減少することやその理由をポリマーフィルム自体の強度が小さいことを理由にしている²⁾。そのため、今回の結果を踏まえるとラテックスの添加量が0.5%では力学強度に与える影響は小さく、1.0%では影響があるということが分かる。

(2) ヤング係数

ヤング係数の結果を図-4に示す。N配合では、初期養生期間の影響は本研究の範囲では確認できなかった。ラテックスの添加の影響は0.5%では同程度であったが、1.0%では低下する結果であった。FA配合では、養生期間の影響は初期養生期間3日間よりも7日間の方がヤング

表-3 コンクリート配合

水準	SL (cm)	Air (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)									
					W	B			S	G	Ad (B×%)	SP (B×%)	AE (B×%)	LX固形分 (B×%)
						N	H	FA						
N														
NLX0.5%	12.0	4.5	50.0	45.0	165	330	-	-	811	1003	1.10	-	0.001	-
NLX1.0%											1.00	-	-	0.225
FA														
FALX0.5%	18.0	4.5	34.5	44.0	153	-	377	66	758	976	-	0.85	0.008	-
FALX1.0%											-	0.75	0.008	0.225
											-	0.75	0.007	0.450

表-4 実験水準

記号	N3d	N7d	NLX0.5%3d	NLX1.0%3d	FA3d	FA7d	FALX0.5%3d	FALX1.0%3d
コンクリート配合	N配合				FA配合			
ラテックス添加量	0%		0.5%	1.0%	0%		0.5%	1.0%
初期養生期間	3日	7日	3日	3日	3日	7日	3日	3日

表-5 試験項目と概要

測定項目	試験方法	材齢(日)	寸法(mm)	試験毎の供試体(測定)数
圧縮強度	JIS A 1108	3, 7, 28, 91	φ100×200	3
ヤング係数	JIS A 1149			
長さ変化	JIS A 1129-3	適宜		
透水量	JIS A 6909 B法	91	100×100×400	4
表層透気係数	トレント法			
細孔径分布	水銀圧入法	28	表面から深さ10	2

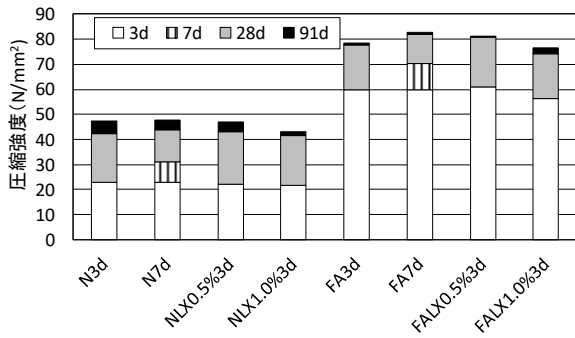


図-3 圧縮強度

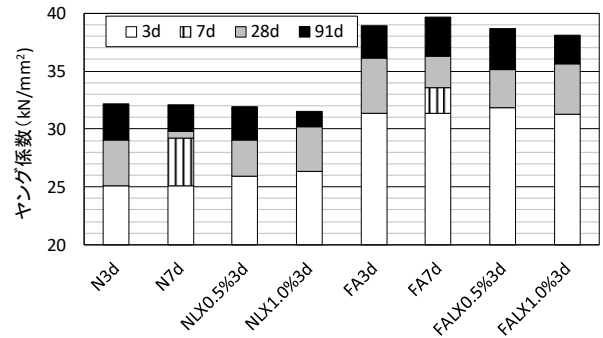


図-4 ヤング係数

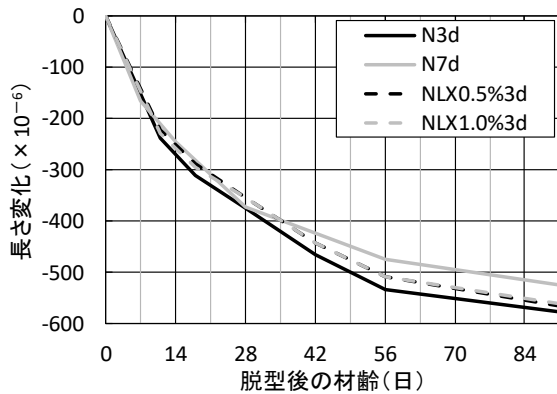


図-5 長さ変化 (N 配合)

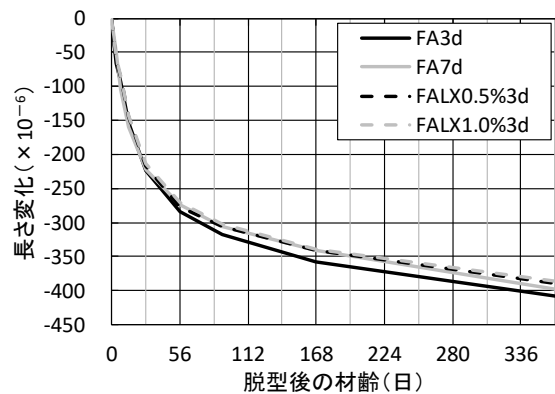


図-6 長さ変化 (FA 配合)

係数の増進を確認できた。ラテックスの添加の影響は0.5%では微減したが、1.0%では低下する傾向を示した。これは、ポリマーフィルムの弾性係数が小さいことが影響していると考えられる。

(3) 長さ変化

図-5 に N 配合，図-6 に FA 配合の長さ変化の結果を示す。図-5 から，ラテックス水準は乾燥材齢約 28 日までは N7d と同程度で，乾燥材齢 91 日では N3d と概ね同程度であったが，長さ変化量は小さくなる傾向を示した。N7d は他水準と比較して長さ変化量が小さくなる傾向を示した。次に，図-6 から，乾燥材齢約 42 日以降からは，ラテックス水準において長さ変化が約 20×10^{-6} 小さくなる傾向を示し，FA7d と同程度となった。

(4) 表層透気係数

図-7 に表層透気係数の結果を示す。表層透気係数の測定の前に行った表面含水率の測定は約 2.5~3.3%で概ね同程度の水分状態であった。表層透気係数の結果から，N3d および FA3d に対して，N7d やラテックスを添加した場合に表層透気係数が小さくなった。また，N 配合ではラテックス添加量 1.0%の場合に N7d よりも低くなり，N 配合の場合にラテックスや初期養生期間の影響が顕著になった。以上より，表層透気係数はラテックスの添加によって初期養生期間が同じ場合には改善する効果があり，初期養生期間を 7 日間から 3 日間へ短縮しても同程度まで改善できると判断できる。なお，N 配合で

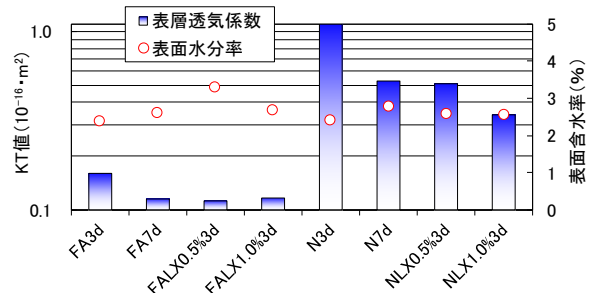


図-7 表層透気係数

ラテックスや初期養生期間の影響が顕著になったことは，N 配合の水セメント比が FA 配合と比較して高く設定しており，影響が顕著になったものと考えられる。

(5) 透水量

透水量の結果を図-8 に示す。N 配合の結果から，初期養生期間の影響として N3d および N7d は同程度であった。ラテックス添加量の影響として 0.5%は値が小さくなり，1.0%では大きく低減した。次に，FA 配合の結果から，FA 配合は水結合材比を低く設定しており，N 配合と比較して値が大きく減少した。その中で，初期養生期間の影響として FA3d に対して FA7d が小さくなり，ラテックスの添加量の影響として 0.5%や 1.0%は FA7d よりも若干小さくなった。したがって，透水性はラテックスの添加によって初期養生期間が同じ場合には改善する効果があり，初期養生期間を 7 日間から 3 日間へ短縮しても

同程度かそれ以上に改善できることが示唆された。

(6) 細孔空隙径分布

図-9 に N 配合, 図-10 に FA 配合における供試体表層部の細孔空隙径分布を示す。図-9 から, 比較的粗大な空隙径 (約 100~200nm) に着目すると, N3d と比較して N7d は空隙容積が減少しており, 水和等の進行によって空隙が充填されたものと推察できる。また, ラテックス 1.0% も空隙容積が減少している。次に, 空隙径 30~100nm に着目すると, N3d は細孔径ピークが広く高くなっており, ラテックス 0.5% はそれよりも若干小さくなっている。一方, N7d は N3d よりも空隙径が小さい箇所までピークを確認でき, N3d よりも空隙量が小さいことがわかる。ラテックス 1.0% は細孔径ピークが 40~50nm に位置しており, 全水準の中で小さいものであった。次に, 20nm 以下のゲル・層間空隙径に相応する範囲の細孔空隙容積は N3d が一番小さく, それ以外の水準で大きくなる結果であった。次に, FA 配合の結果である図-10 から, 空隙径のピークが 20~30nm であった。N 配合の空隙径のピークであった空隙径 30~100nm に着目すると, FA3d が一番高く, ラテックスの添加によって空隙量が小さくなっていった。また, 粗大な空隙径 (約 200~4000nm) に着目すると, FA3d で空隙量が大きい, FA7d やラテックス水準はそれよりも小さくなっていった。なお, 積算細孔空隙容積量は, N 配合と FA 配合それぞれの初期養生 7d とラテックス水準は同程度であった。

上記結果は供試体表層部の 10mm を対象とした。結果から初期養生期間を 7 日間行った場合やラテックスを添加した場合には, 初期養生期間 3 日間の場合と比較して, 空隙量が小さくなる結果であった。したがって, 表層部においては初期養生期間 3 日間的水準は初期養生終了後から乾燥の影響を受け, 水和の進行が停滞したものと推察される。一方で, ラテックスの添加あるいは初期養生期間を 7 日間実施する場合, 表層部からの水分の逸散が抑制され, 表層部の水和反応が持続して進行し, 約 100nm~1000nm の細孔空隙容積が減少したものと推察される。さらに, ラテックスを添加した場合には, ラテックスポリマー自身が細孔部に充填形成されたことも影響したと推察される。

4. 屋外暴露試験における耐久性評価

3 章で評価した供試体を屋外の自然環境に暴露し, 紫外線等の影響を確認するため, 透気性および透水性の評価を行った。

供試体は材齢 91 日まで 20°C, RH60%環境下で気中養生を行い, 表層透気係数や透水量を評価したものを使用した。屋外への暴露は材齢 91 日の表層透気係数や透水量の試験を実施した後に開始し, 栃木県真岡市の雨水や

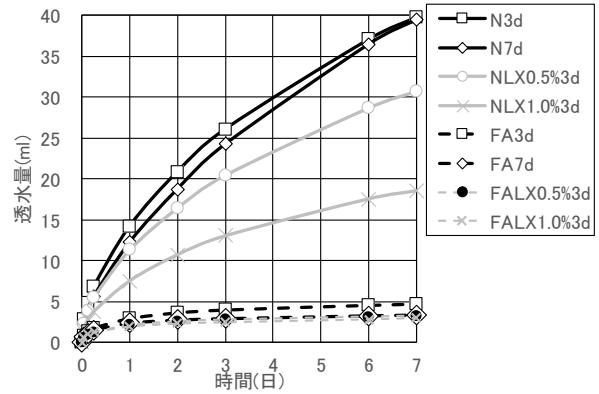


図-8 透水量

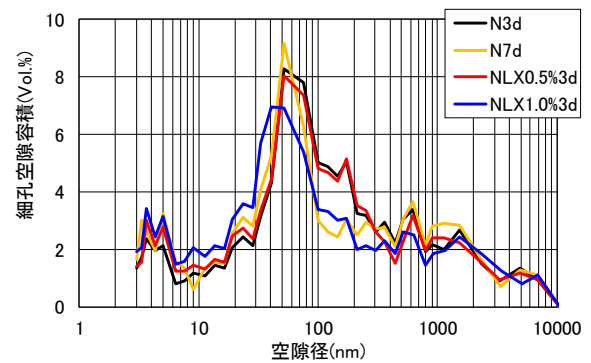


図-9 細孔空隙径分布 (N 配合)

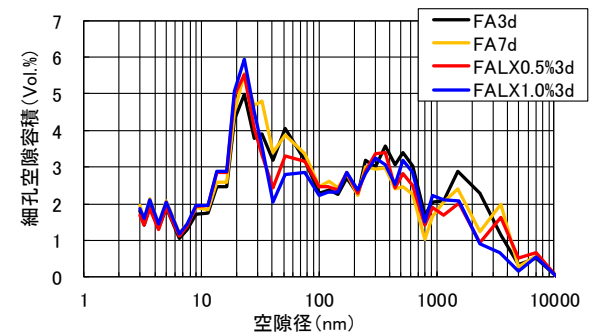


図-10 細孔空隙径分布 (FA 配合)

日光が作用する自然環境下 (12 月~3 月) で約 100 日間屋外暴露を行った。

屋外暴露後の表層透気係数の結果を図-11 に示す。材齢 91 日で測定した結果 (図-7) と比較すると, 全水準において値が小さくなっており, 屋外暴露中の雨水の作用により水和が進行したものと推察される。また, 各水準の優劣について, N 配合は材齢 91 日の結果と同様であったが, FA 配合は FA3d が FALX0.5%3d と同程度で, FALX1.0%3d および FA7d は低くなる傾向であった。したがって, ラテックスの添加量を 1.0% とすると初期養生 7 日間と同程度の性能を保持できる可能性が高いと推察される。

屋外暴露後の透水量の結果を図-12 に示す。材齢 91 日で測定した結果 (図-8) と比較すると, 全水準におい

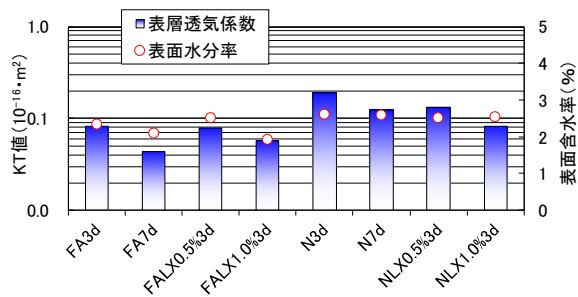


図-11 屋外暴露後の表層透気係数

て値が小さくなっており、屋外暴露中の雨水の作用により水和が進行したものと推察される。また、各水準の優劣について、N 配合は N7d が N3d よりも低下し、NLX0.5%3d と同程度となり、NLX1.0%3d が小さくなった。また、FA 配合概ね同程度であったが、傾向としてラテックスを添加した場合に若干小さくなる結果であった。したがって、透水試験の結果から、ラテックスの添加量を 0.5%以上とすると初期養生 7 日間と同程度以上の性能を保持できると考えられる。

以上の結果から、屋外にて約 100 日間の暴露を行った時点では、紫外線等によるラテックス水準への影響は無いと判断できる。

5. ラテックスの効果に関する考察

3 章および 4 章から得られた各種結果を踏まえて、ラテックスが物質移動抵抗性に与える効果について考察する。ラテックスは練混ぜ時点では液体として添加するため、添加後はコンクリート中の水分の中で水溶液として存在し、セメントなどの水和反応は水によって進行していくものと考えている。ラテックスディスページョンは乾燥に伴い液体状から被膜状に変質するが、初期養生終了後における養生材の撤去や脱型等によるコンクリート表層部から水分が逸散して乾燥する過程では、細孔空隙中の水分の逸散に伴い被膜状に変質したラテックスが細孔中に残留すると考えられる。これが水分の逸散を緩慢にし、養生効果を発揮したものと推察される。これは、積算細孔空隙容積が初期養生期間 7 日間と同程度であった結果と一致する。

ラテックスを添加したコンクリートが乾燥した以降は、ラテックス被膜が細孔空隙中に残存すると考えられる。そのため、水和反応が持続し空隙構造が緻密になったことに加えて、ラテックス被膜の存在によって透気性および透水性を改善できたものと考えられる。これは、積算細孔空隙容積が初期養生期間 7 日間とラテックスを

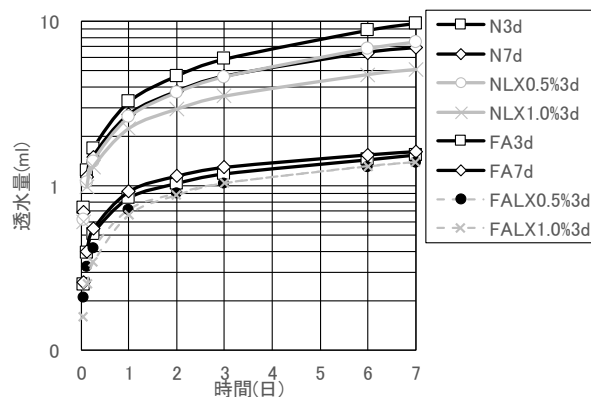


図-12 屋外暴露後の透水量

添加した場合は同程度の空隙構造であるにもかかわらず、透水性や透気性に関する結果は初期養生期間 7 日間よりもラテックスを添加した場合に優位である結果と一致する。今後は、乾燥の影響を受けにくい供試体内部の空隙径評価や成分分析等を行い、養生効果とラテックスの影響度合いについて精査していきたい。

6. まとめ

本検討では、ポリマーセメントコンクリートに使用されるラテックスに着目し、その添加量をポリマーセメント比で 0.225%あるいは 0.450%と少量としたときの初期養生効果、物質移動抵抗性に及ぼす影響を把握した。得られた結果を以下に示す。

- (1) ラテックスを少量添加した場合、材齢初期の養生期間を 7 日間から 3 日間へ短縮しても表層透気係数および透水性が同程度かそれ以上に改善する。また、約 100 日間に亘る屋外暴露の試験から紫外線による透気性や透水性への影響がないことを確認した。
- (2) コンクリート表層部における物質移動抵抗性の改善は、各種耐久性評価や細孔径分布の結果から、ラテックスの添加による養生効果やラテックス被膜が細孔空隙内に残留したことが影響したと推察された。

参考文献

- 1) 朱 明基, 大濱嘉彦, 出村克宣: 高炉スラグ微粉末を混入したポリマーセメントモルタルの性質, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.1, pp.133-138, 1999
- 2) 藤原正佑, 三坂岳広, 井上善彦, 熊野知司: SBR を添加したコンクリートの力学特性と耐久性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1291-1296, 2013