

## 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

オリエンタル白石(株) 正会員 修士(工学) ○東 洋輔  
オリエンタル白石(株) 正会員 石井 智大

Abstract : Admixtures such as fly ash improve durability, but wet curing generally requires 7 days. In addition, if a method to improve durability is selected by performing secondary wet curing with a dedicated tape after initial wet curing, work for performing secondary wet curing is required. Therefore, development of admixtures with wet curing effects is desired from the improvement of productivity and the labor saving of construction perspective. In this study, we focused on latex used for the polymer cement concrete, and grasped the influence on the initial wet curing effect and durability when using a little amount of latex. The main findings for this study are: The latex added concrete with an initial wet curing period of 3 days improved the surface permeability and the mass transfer resistance, and was equal to or better than that of the concrete with the initial wet curing period of 7 days.

Key words : Latex , Initial wet curing , Surface permeability , Mass transfer resistance

### 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、封緘養生テープを設置および撤去する施工を別途要する。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設定や養生材の施工が必要となる。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、強度性状の改善<sup>たとえば1)</sup>や防水性、中性化および塩化物イオン浸透に対する抵抗性の改善<sup>たとえば2)</sup>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ジ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。そのため本検討では、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%)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。このラテックス量はコストパフォーマンスを鑑みて、AE減水剤から高性能AE減水剤へ混和剤種類を変更した場合に上昇する価格帯になるように設定した。

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 <sup>3</sup> , 比表面積3280cm <sup>2</sup> /g
早強ポルトランドセメント	H	密度3.14g/cm <sup>3</sup> , 比表面積4490cm <sup>2</sup> /g
フライアッシュ	FA	JIS II 種品:七尾産, 密度2.45g/cm <sup>3</sup> , 強熱減量1.8%, 比表面積4770cm <sup>2</sup> /g
細骨材	S	桜川市岩瀬産砕砂, 表乾密度2.63g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	G	桜川市岩瀬産砕石, 表乾密度2.66g/cm <sup>3</sup>
AE減水剤	Ad1	ポリカルボン酸エーテル系化合物
AE減水剤	Ad2	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
AE剤	AE	アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤
ラテックス	LX	SBRラテックス, 固形分率45%

表－2 コンクリート配合

水準	SL (cm)	Air (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )									
					W	B			S	G	Ad1 (B×%)	Ad2 (B×%)	AE (B×%)	LX固形分 (B×%)
						N	H	FA						
N	12.0	4.5	50.0	45.0	165	330	—	—	811	1003	1.10	—	0.001	—
NLX					165	330	—	—	811	1003	1.00	—	—	0.225
FA	18.0	4.5	34.5	44.0	153	—	377	66	758	976	—	0.85	0.008	—
FALX					153	—	377	66	758	976	—	0.75	0.008	0.225

表－3 実験要因と水準

記号	N3d	N7d	NLX3d	FA3d	FA7d	FALX3d
コンクリート配合	N配合		N配合+ラテックス	FA配合		FA配合+ラテックス
初期養生期間	3日	7日	3日	3日	7日	3日

## 2. 実験概要

### 2. 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－2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12cm±2.5cm、FA配合で18cm±2.5cm、空気量はN配合およびFA配合ともに4.5%±1.5%となるようにAE減水剤およびAE剤を適宜調整した。ラテックスは2種類の配合に対してポリマーセメント比で0.225%分のラテックスを添加した水準と無添加の水準を用意した。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。コンクリートの製造は20℃、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℃環境下で静置した。実験水準を表－3に示す。初期養生期間を試験要因として、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、本検討ではコンクリート配合と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。初期養生後は脱型し試験材齢になるまで20℃、RH60%で気中養生とした。なお、以降の水準の示し方は表－3の記号欄に示すとおりとする。

### 2. 2 測定概要

本検討で行った試験とその概要を表－4に示す。表－4には、試験方法、評価した材齢、供試体寸法、試験ごとの供試体（測定）数および適用したコンクリート配合種類を示している。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、表面透気係数、透水量および電気泳動による塩化物イオンの浸透深さを評価した。電気泳動の方法は文献3)を参考に、

表-4 測定項目一覧

測定項目	試験方法	材齢(日)	寸法(mm)	試験毎の供試体(測定)数	適用配合
圧縮強度	JIS A 1108	3, 7, 28, 91	φ100×200	3	N配合, FA配合
ヤング係数	JIS A 1149	3, 7, 28, 91	φ100×200	3	N配合, FA配合
長さ変化	JIS A 1129-3	脱型後6ヶ月まで	100×100×400	3	FA配合
透水量	JIS A 6909 B法	91	100×100×400	4	N配合, FA配合
塩化物イオン浸透深さ	電気泳動法	28	φ100×50	2	N配合
表面透気係数	トレント法	91	100×100×400	4	N配合, FA配合
細孔径分布	水銀圧入法	91	表面から深さ10	2	FA配合

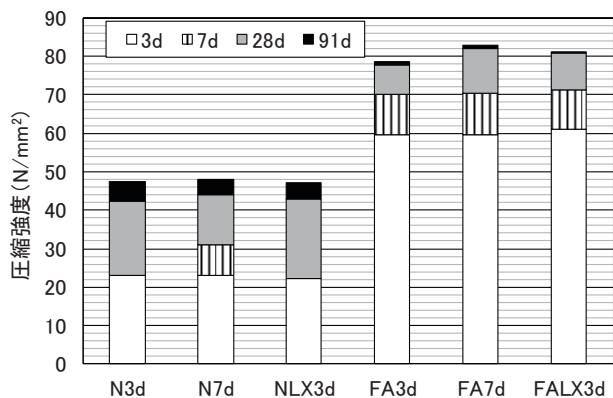


図-1 圧縮強度

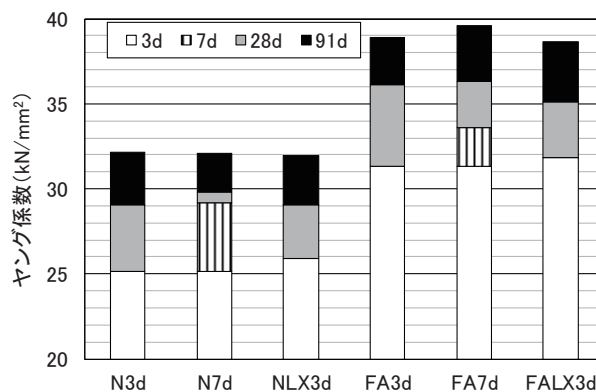


図-2 ヤング係数

円柱供試体の両端をセルで接合し、陰極側をNaCl溶液、陽極側を0.3N NaOH溶液とし、直流電源装置を用いて12Vで72時間印加した。通電後の供試体は割裂して割裂面に0.1N硝酸銀水溶液を噴霧して白色に変色した箇所から深さを測定した。表面透気係数の測定では、測定箇所から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。また、ラテックスによる各結果への効果を検証するため、表層部である表面からの深さ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. 実験結果

#### 3.1 圧縮強度

圧縮強度の結果を図-1に示す。N配合では、初期養生期間やラテックスの添加の有無に関わらず各材齢において同程度の値を示した。FA配合では、材齢28日および91日においてFA7d>FALX3d>FA3dの順であった。したがって、ラテックスの添加によって、N配合では大きな影響はないものの、FA配合では初期養生期間が3日間の水準に対して養生効果の可能性が示唆される結果であった。

#### 3.2 ヤング係数

ヤング係数の結果を図-2に示す。N配合では、初期養生期間やラテックスの有無に関わらず材齢91日において同程度であった。また、FA配合では、FA3dおよびFA7dで材齢91日において高くなり、ラテックスを添加した場合に初期養生期間が同じFA3dと比較して若干低下する結果であったが、値としては概ね同程度の範囲であると判断できる。

#### 3.3 長さ変化

図-3に長さ変化の結果(供試体3個の平均値)を示す。乾燥直後はすべての水準において同様な収縮の挙動を示した。乾燥材齢約42日以降からは、FA3dにおいて長さ変化が約 $20 \times 10^{-6}$ 大きくなる傾向

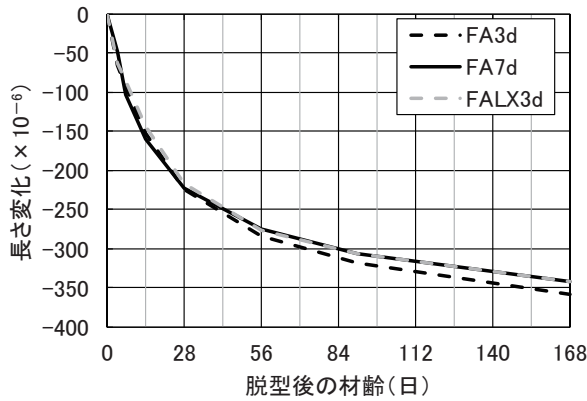


図-3 長さ変化

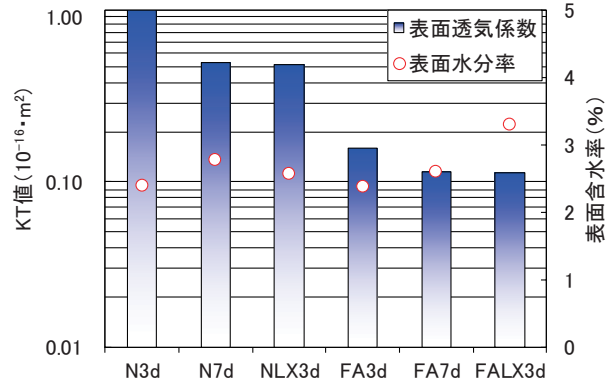


図-4 表面透気係数

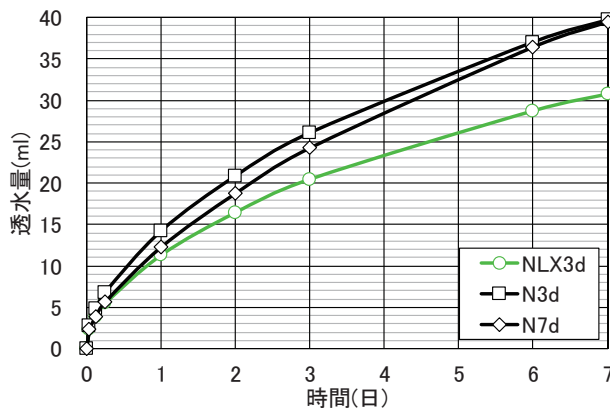


図-5 N配合の透水量

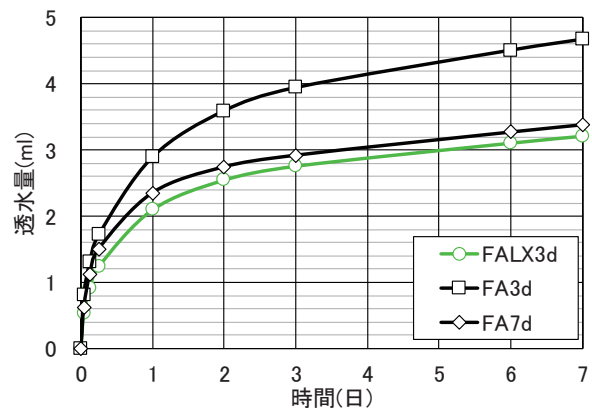


図-6 FA配合の透水量

を示し、ラテックスを添加した場合、FA7dと同程度となった。

### 3. 4 表面透気係数

図-4に表面透気計数の結果を示す。表面透気係数の測定の直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。表面透気係数の結果から、N配合およびFA配合ともに、N3dおよびFA3dに対して、初期養生期間を7日間とした場合やラテックスを添加した場合に表面透気係数が小さく、初期養生期間が7日間の水準とラテックス水準は同程度であった。したがって、表面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。

### 3. 5 透水量

透水量の結果をN配合の結果を図-5に、FA配合の結果を図-6に示す。図-5の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、ラテックスの影響としてNLX3dは値が小さくなる結果であった。次に、図-6の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、図-5の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、ラテックスの影響としてNLX3dはFA7dよりも若干小さくなる結果であった。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。

### 3. 6 電気泳動による塩化物イオン浸透深さ

図-7に電気泳動による塩化物イオン浸透深さおよび印加中における供試体厚さ50mm間を流れる電

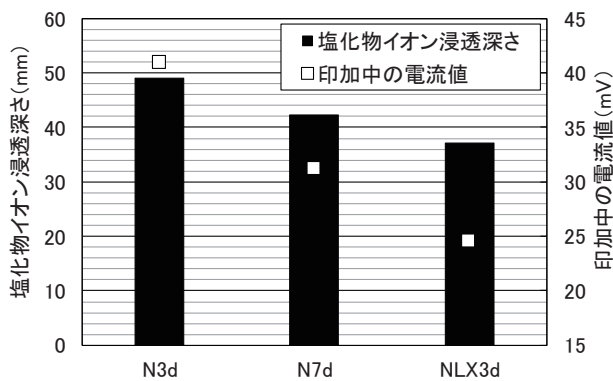


図-7 電気泳動による塩化物イオン浸透深さ

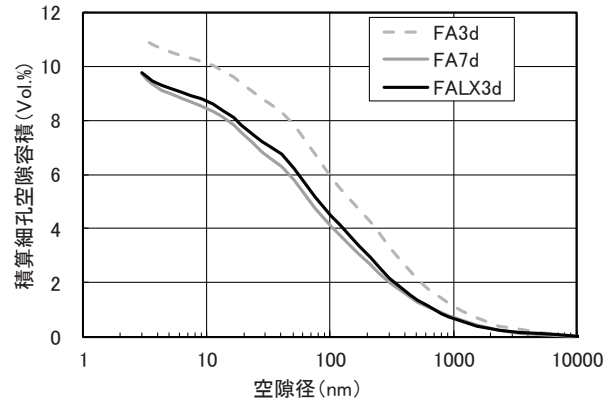


図-8 積算細孔空隙容積

流値（印加後1h時点）の結果を示す。塩化物イオン浸透深さの結果から、初期養生期間の影響としてN3dに対してN7dが小さくなり、ラテックスの影響としてNLX3dはN3dおよびN7dよりも小さくなる結果であった。印加中の電流値の結果からも塩化物イオン浸透深さの結果と同様な傾向を示し、供試体の陽極陰極間の抵抗がラテックス水準の方が高く、塩化物イオンの浸透抵抗性の改善に繋がったものと考えられる。したがって、塩化物イオンの浸透抵抗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や初期養生期間を7日間から3日間へ短縮した場合でも改善することを確認した。

### 3. 7 細孔径分布

図-8にFA配合における供試体表層部の細孔径分布の結果について、積算細孔空隙容積として示す。結果から、積算細孔空隙容積はFA3dが一番大きく、FA7dおよびFALX3dが同程度でFA3dよりも小さくなった。また、FA3dは毛細管空隙に相当する範囲（約10nm～1000nm）で、比較的粗大な径約100nm～1000nmにおいて細孔空隙容積が大きくなった。一方で、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概ね同程度であった。今回の測定は供試体の表層部10mm深さの範囲で行ったため、初期養生期間3日間の場合、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日間実施することで、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。

## 4. 結果の考察

3章における結果として、ラテックスの添加によって、N配合とFA配合において若干の差異があるものの、圧縮強度およびヤング係数は配合種類に関わらず概ね同程度、長さ変化は初期養生期間3日間よりも小さく7日間と同程度、表面透気係数、透水量および塩化物イオンの浸透深さなどの耐久性に関する評価は初期養生期間3日間や7日間よりも優位であった。また、積算細孔空隙容積は初期養生期間3日間よりも小さく7日間と同程度であった。したがって、検討した範囲では、初期養生期間が3日間の場合や初期養生期間を7日間から3日間へ短縮した場合であっても、ラテックスを少量添加することによって、圧縮強度や耐久性に関連する評価では同程度かそれ以上の効果を有する結果を得られた。

3章で得られた各種結果を踏まえて、ラテックスの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。ラテックスディスパーションは乾燥に伴い液体状から被膜状に変質するが、コンクリートが硬化し初期の湿潤養生が終了し、養生材の撤去や脱型によってコンクリート表層部より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、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、長さ変化が初期養生期間7日間と同様な収縮の挙動を示したこと、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、透水性、塩化物イオン浸透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、耐久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。

圧縮強度についてはラテックスによる養生効果など優位な傾向は確認されず同程度であった。これは、蒸気養生を行い、脱型材齢を1日とした100×100mmの角柱モルタル供試体について、供試体表面(表層から深さ5mm)および断面中央部の試料における細孔径分布の計測検討から、表層部は細孔空隙容積が大きくなるのに対して、断面中央部では細孔空隙容積が標準養生を行った場合に近づく結果<sup>4)</sup>であったことを踏まえると、表層部ではラテックスの養生効果が影響したとしても、圧縮強度試験で評価した供試体条件(寸法や養生期間)では供試体内部はすべての水準で湿潤環境下であり、ラテックスによる養生効果の影響が圧縮強度値として現れなかった可能性が高いと考えられる。しかしながらこのことは、今回検討した範囲のラテックス量では圧縮強度へ与える影響は小さいとも考えられる。

## 5. 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%と少量としたときの初期養生効果、耐久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、圧縮強度やヤング係数に及ぼす影響は小さい。
- (2) 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面透気係数、透水性、電気泳動による塩化物イオン浸透抵抗性が同程度かそれ以上に改善する。
- (3) 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含むSBR混入ポリマーセメントコンクリートの強度性状, コンクリート工学論文集, Vol. 12, No. 1, pp. 55-61, 2001
- 2) 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
- 3) 渡辺 豊, 河野広隆, 渡辺博志: コンクリートの急速塩分浸透性試験による塩化物イオン拡散係数の算定について, コンクリート工学年次論文集, Vol. 24, No. 1, pp. 663-668, 2002
- 4) 東 洋輔, 森 寛晃, 多田克彦: 蒸気養生モルタルの強度, 耐久性および細孔構造に及ぼす追加養生の影響, セメント・コンクリート論文集, Vol. 70, No. 1, pp. 405-412, 2016