

論文

ラテックス改質速硬コンクリートの基礎物性に関する実験的検討

郭度連*, 森山守**, 石川裕一***, 李春鶴****

*博士 (工学), 太平洋マテリアル(株), 開発研究所 (〒285-0802 千葉県佐倉市大作 2-4-2)

** 博士 (工学), 中日本高速道路(株), 金沢支社 (〒920-0365 石川県金沢市神野町東 170)

*** 博士 (工学), 中日本ハウェイ・エンジニアリング 名古屋(株), 金沢支店 (〒920-0025 石川県金沢市駅西本町 3-7-1)

**** 博士 (工学), 宮崎大学, 社会環境システム工学科 (〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西 1-1)

JIS 生コンクリートに速硬性混和材を添加することで速硬コンクリートが製造できるシステムが開発されており, 道路橋床板の補修補強に使用されている. この速硬化技術とラテックス技術の融合により速硬性を阻害することなく, さらに高性能・高耐久の補修補強用の材料が得られる. 本研究は, ラテックスおよび速硬性混和材によるコンクリート性能の改質効果を評価するため, フレッシュ性状および硬化特性, 体積変化を実験的に検討し, ラテックス改質速硬コンクリートの基礎物性を報告するものである.

キーワード: ラテックス改質, 速硬コンクリート, 速硬性混和材

1. はじめに

道路橋床版の補修・補強には速硬性を要する材料が使われており, 製造面, 品質面の制約から主にプレミックス化されたもの, あるいは専用の特装車が必要であった. そこで筆者らは JIS 生コンに現場で速硬性混和材を添加することで速硬コンクリートが簡便に製造できるシステムを開発し, 報告している¹⁾. 一方, 補修補強材料に求められる要求性能は非常に高く, 速硬性以外に, 曲げ強度・付着強度が高い, 収縮が少ない, 材料的耐久性等が求められており, その要求性能を満足するための材料としてポリマーは有効である.

ポリマーは主にプレミックス化されたポリマーセメントモルタルの形で, ポピュラーな建設材料として普及しているが, ポリマーセメントコンクリートについては, その性能と経済性のバランスからほとんど使用されていない状況である. 一方, 海外では 1950 年代にすでにアメリカから LMC (Latex Modified Concrete) の形で道路橋床板の橋面舗装材料として研究を始めており, 50 年以上の実績がある²⁾. 国内でも超速硬セメントとポリマーの組合せによる超速硬ポリマーセメントコンクリートに関する研究がなされているが³⁾, 実用化までには至っていない.

既報の JIS 生コンクリートを用いた速硬化技術は, 低コストで効率よく速硬コンクリートが製造できる技術であり, 本研究ではこの速硬化技術とラテックスを融合することで, 補修補強材料としてのラテックス改質速硬コンクリートの可能性を検討した. 一般的に速硬系のコ

ンクリートは初期材齢の圧縮強度の発現性には優れているものの, 圧縮/曲げ強度比から考えると, 圧縮強度ほどの曲げ強度の発現は期待できない面もある. 一方, 補修・補強材料としては耐久性面からは, ラテックス改質コンクリートによる塩分, 二酸化炭素, 水分等の劣化因子の不透過化は非常に有効であると考えられる. また, 道路橋床板の補修・補強材料に求められる性能の中, 最も重要と思われる付着特性についてもポリマーセメントコンクリートは優れる. したがって, 速硬性コンクリートとポリマーとの融合は相乗効果が期待できる有効な技術になり得ると考えられる. 本研究では, ラテックスおよび速硬性混和材の混和によるコンクリート性能の改質効果を評価するため, フレッシュ性状および硬化特性, 体積変化を実験的に検討し, 報告するものである.

2. 実験概要

2.1 コンクリートの使用材料および配合

表-1 に本研究で使用した材料を示す. 速硬性混和材は, 特殊カルシウムアルミネートと特殊硫酸塩を主成分とし, 結合材の 30%程度になるよう添加する. その速硬性 (初期強度発現性) は, エトリンサイト等に代表されるカルシウムアルミネート系水和物の早期生成によって得られ, 硬化時間の調整は所定量のオキシカルボン酸系の硬化調整剤 (セッター) を溶解させた水溶液を混合することで行われる⁴⁾. ラテックスはポリマーディスページョンの中で SBR (スチレン・ブタジエンゴム) ラテックスを用いた. SBR ラテックスは最も多く生産, 使用

されているセメント混和用ポリマーであり、海外を含めた使用実績、既往の研究からももっともコンクリート用ポリマー混和材として適していると考えられる。

2.2 コンクリートの配合

表-2 に使用コンクリートの配合を示す。基準のベースコンクリート (PL) は、水セメント比 52%、単位水量 174 kg/m³を用いている。ベースコンクリートに速硬性混和材を外割添加し、速硬化した速硬コンクリート (FC)、ベースコンクリートにラテックスを 120 kg/m³混和したラテックス改質コンクリート (LMC)、ベースコンクリートにラテックスを同量混和し、速硬化したラテックス改質速硬コンクリート (LMFC) をそれぞれ試験水準とした。ラテックスのコンクリートでの混和量については既往の研究や海外の事例を参考に 120 kg/m³にした²⁾。混和量については国内の実績はほとんどなく、適正の混和量および混和量の変化によるコンクリート物性の変化等については今後検討の余地があると考えられる。

速硬性コンクリートである FC および LMFC は、20°C の環境温度で可使用時間が 90 分以上になるようにセッター量を設定しており、本研究では結合材の 0.7%を使用した。

ラテックス改質コンクリートである LMC および LMFC は、ラテックスの効果により十分なフレッシュ性状が得られることから、混和剤は一切使用していない。

2.3 試験方法

表-3 に試験項目および試験方法の概要を示す。コンクリートのフレッシュ性状および硬化性状を把握するために、速硬性コンクリートは経時に伴うスランプの測定およびプロクター貫入による凝結試験を行った。コンクリートの力学的特性は、圧縮強度、曲げ強度および静弾性係数測定を行った。コンクリートの体積変化については、乾燥収縮試験により収縮ひずみおよび質量変化率を測定した。

3. 実験結果

3.1 コンクリートのフレッシュおよび硬化性状

表-4 にコンクリートの練り上がり直後のフレッシュ性状を示す。本研究の最終目標である LMFC は、ワーカビリティを確保するため、スランプ 18±2.5 cm を目標にした。そのためのベースコンクリートである PL も 18±2.5 cm を目標にし、目標スランプを満足している。LMC はスランプフロー 64 cm の柔らかいコンクリートが得られた。ポリマー粒子のボールベアリング作用と界面活性剤の分散効果のため、ワーカビリティが良好になり、所定のコンシステンシーを得るのに必要な単位水量は大幅に減らすことが可能である⁵⁾。FC に用いた速硬性混和材はアジ車での練混ぜを想定し、ポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤が内添されており、ベースコンクリ

表-1 使用材料

材料名	記号	種類	備考
セメント	C	普通ポルトランドセメント	密度: 3.16g/cm ³
水	W	水道水	佐倉市
細骨材	S	砕砂	掛川産、表乾密度: 2.61g/cm ³
粗骨材	G	碎石	桜川産、表乾密度: 2.64g/cm ³
減水剤	Ad	AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物とポリオールの複合体
速硬性混和材	F	速硬性混和材	密度: 2.93g/cm ³
セッター	Re	硬化調整剤	オキシカルボン酸系粉体
ラテックス	L	SBR系	固形分45%、平均粒子径0.2μm

表-2 コンクリートの配合

	W/C (W/B)	P/C (P/B)	単位量 (kg/m ³)						外割添加 (kg/m ³)				
			W	L	C	S	G (2013)	G (1305)	AE減水剤	AE助剤	Facet	水	セッター
PL	51.9	—	174	—	335	830	463	463	C×0.7%	適量	—	—	—
LMC	35.8	16.1	54	120					—	—	—	—	—
FC	51.9 (36.4)	—	174	—					C×0.7%	適量	143	10	3.35
LMFC	35.8 (25.1)	16.1 (11.3)	54	120					—	—	143	—	3.35

表-3 試験概要

試験項目	概要
フレッシュ性状	スランプ、空気量、コンクリート温度、スランプの経時変化
凝結試験	JIS A 1147に準拠し、油圧式の貫入針抵抗試験
圧縮強度	JIS A 1108に準拠、24hまでの試験はアンボンドキャッピング
静弾性係数	JIS A 1149に準拠、材齢1日、7日、28日測定
曲げ強度	JIS A 1106に準拠、10×10×40cmの角柱試験体
乾燥収縮	JIS A 1129-2に準拠し、収縮および質量変化率測定

表-4 コンクリートのフレッシュ性状

	スランプ (フロー) (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度(°C)
PL	17.5	4.7	21.0
LMC	24.5(64×64)	2.3	20
FC	21.0	1.2	22.0
LMFC	20.0	1.9	22.0

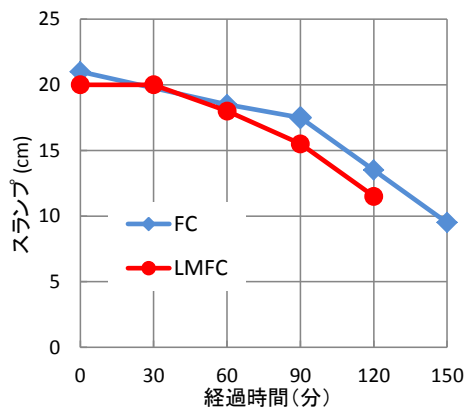


図-1 コンクリートの可成時間

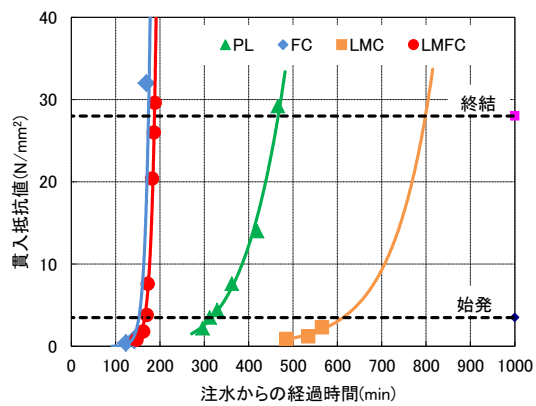


図-2 コンクリートの凝結

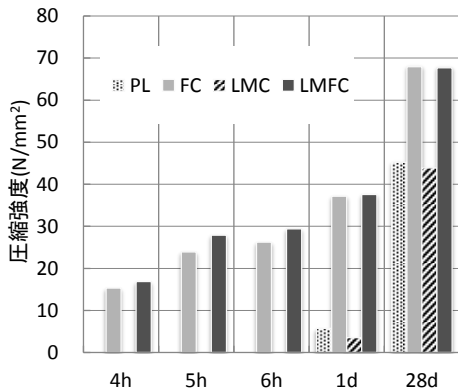


図-3 圧縮強度

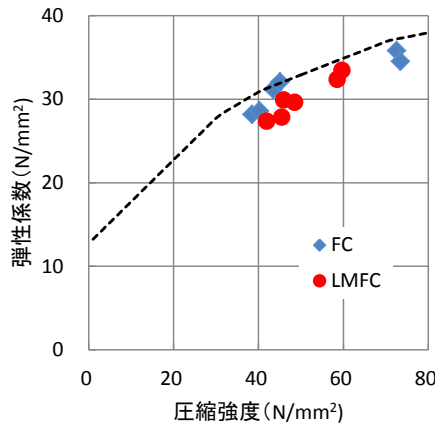


図-4 圧縮強度と弾性係数

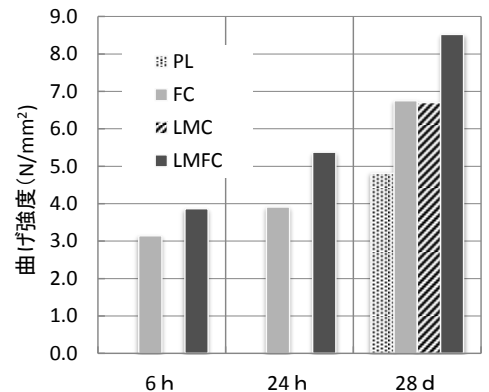


図-5 曲げ強度

ートよりスランプは増加する傾向にある。本研究でもFCはPLより約3.5cmのスランプが増加している。LMFCでは目標範囲内の20cmのスランプが得られた。

一方、空気量はラテックスおよび速硬性混和材内添の消泡剤により減少する傾向にあり、PL以外は $2\pm 1\%$ の範囲である。

図-1に速硬系コンクリートのスランプの経時変化を示す。FCの可成時間は温度によるセッターの添加量でコントロールされており⁴⁾、本研究では 20°C 環境下の可成時間90分設定のセッター量を使用している。90分後のスランプでも15cm以上を保持していることから、90分以上の作業時間は確保できることがわかる。また、LMFCでもほぼ同等の結果が得られており、ラテックス混和が可成時間及ぼす影響はほとんどないといえる。

図-2に凝結試験結果を示す。既往の研究から使用するポリマーディスページョンの種類によって異なるが、凝結は遅れることが知られており⁶⁾、本研究でもPLとLMCの比較からラテックスを混和することで凝結の始発は5時間以上大幅に遅れることがわかる。その反面、速硬系コンクリートであるFCおよびLMFCはほぼ同等の始発・終結になっており、速硬系コンクリートではラテックスの混和が凝結に及ぼす影響は認められない。

3.2 コンクリートの力学的特性

図-3に圧縮強度の試験結果を示す。FCおよびLMFC

は時間材齢も合わせて示している。FCは凝結の試験結果からもわかるように、4時間から圧縮強度は発現しており、6時間では 24N/mm^2 以上になっている。LMFCはFCよりも圧縮強度の発現が若干早くなっており、5時間で 24N/mm^2 以上になっている。このことからLMFCのラテックスは速硬性混和材の水和を阻害することなく、むしろラテックスによる単位水量の低減効果が時間材齢の圧縮強度の早期発現に寄与していると考えられる。一方、LMCは凝結の大幅な遅れにもかかわらず、材齢28日の圧縮強度はPL同等であり、前述のように水和を阻害することはないようである。

図-4にコンクリートの圧縮強度と弾性係数の関係を示す。図中の点線は土木学会コンクリート標準示方書で材料の設計値として示されている値である⁷⁾。FCおよびLMFCともに設計値よりは若干低い傾向を示している。ラテックスを混和したLMFCではFCよりも低い傾向を示しており、ラテックスによる弾性係数の低減効果が認められるが、本実験の範囲ではそれほど大きい低減までは至っていない。コンクリートの弾性係数は骨材の種類と品質の程度によって、また産地によって大きく変動することから、使用ラテックスの性質によっても変動することから、ラテックス混和による弾性係数の低減を図る場合はさらなる検討が必要であると考えられる。

図-5に曲げ強度の試験結果を示す。圧縮強度の試験結果同様にLMFCはFCより初期強度の発現は若干早く、

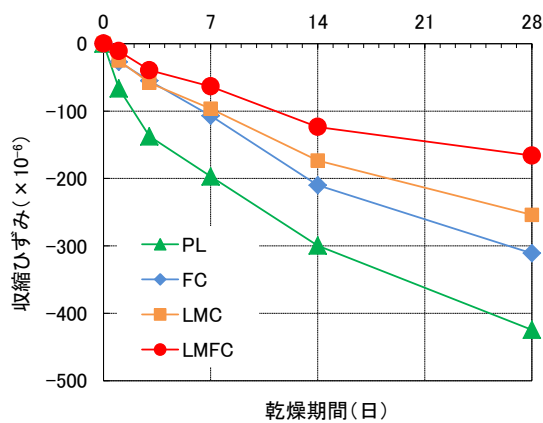


図-6 収縮ひずみ

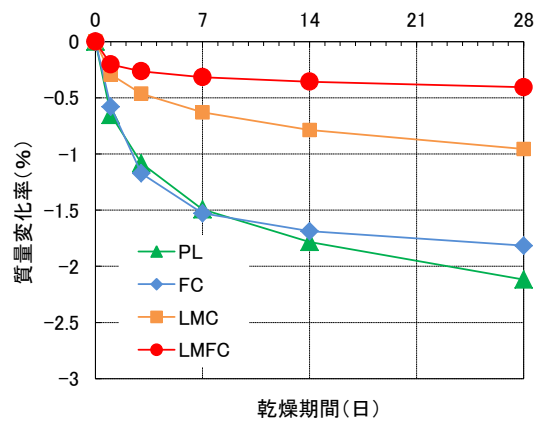


図-7 質量変化率

6h で目標交通開放曲げ強度 3.5N/mm^2 を満足している^{8),9)}。24h および 28 日で FC と LMFC の圧縮強度はほぼ同等の値であるが、曲げ強度では顕著な差が生じている。PL と LMC の関係からも同様であり、ラテックスの混和による大幅な曲げ強度の増進効果が確認できる。

3.3 コンクリートの収縮特性

図-6 に材齢 28 日までのコンクリートの収縮ひずみを、図-7 に質量変化率を示す。PL に比べて FC の乾燥収縮は大幅に低減されている。LMC はさらに少なくなっており、ラテックス混和による効果が認められる。一方、LMFC は最も収縮量が少なくなっており、その量も FC および LMC による低減量を重ね合わせた量に等しい。すなわち、FC および LMC による乾燥収縮の低減効果が阻害されることなく、発揮しているといえる。質量変化率からはラテックスの混和により、水分の逸散量は大幅に低減されており、ラテックスの混和により空隙構造が緻密化している、あるいはラテックスによるフィルム膜の形成により空隙構造の連続性が寸断されると推察される。したがって、塩化物イオン、炭酸ガス、水等の劣化因子の進入も大幅に低減できると考えられる。このことは今後の耐久性評価試験から明らかにする必要がある。

4. まとめ

本研究ではラテックス改質速硬コンクリートの基礎物性を実験的に検討した。得られた結果を以下に示す。

- 1) ラテックス改質速硬コンクリートは単位水量の一部を置換することによって、通常速硬コンクリートの性能を阻害することなく、同様のフレッシュ性状、可使用時間、凝結、初期圧縮強度が得られる。
- 2) ラテックス改質速硬コンクリートの曲げ強度は大幅な増進が認められる。弾性係数は、速硬コンクリートの弾性係数より低くなる傾向にある。
- 3) ラテックス混和による水分逸散の抑制および乾燥収縮の大幅な低減効果が認められ、ラテックス改質速硬コ

ンクリートのひび割れ抵抗性、劣化因子の抑制に優れていると推測できる。

本研究では基礎的な物性の確認を行っており、今後の課題としては耐久性の評価試験、ひび割れ抵抗性の確認試験、ラテックス混和量による物性の変化等を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 郭度連, 長塩靖祐, 浜中昭徳, 高橋洋昭: 速硬性混和材を用いた速硬コンクリートの製造および基礎物性, プレストレストコンクリート工学会第 21 回シンポジウム論文集, pp.545-548, 2012
- 2) ACI: Standard Specification for Latex-Modified Concrete (LMC) Overlays (ACI 548.4-93), 1998
- 3) 大塩明, 岡田光芳, 関野一男: ポリマー超速硬セメントコンクリートの諸特性とその利用, 小野田研究報告, Vol.39, No.2, 第 117 号, pp.78-92, 1987
- 4) 郭度連, 松田信, 森山守, 西岡幹雄: 速硬性混和材を用いた速硬コンクリートの温度依存性に関する実験的検討, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 13 巻, pp.305-308, 2013
- 5) よくわかる「ポリマーセメントコンクリート/ポリマーコンクリート」の基本と応用, 大濱嘉彦監修, pp.17, 2007
- 6) 大濱嘉彦, 三宅豊久, 西村正: まだ固まらないポリマーセメントコンクリートの性状に及ぼすポリマーセメント比の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.239-240, 1980
- 7) 土木学会: 2012 年制定コンクリート標準示方書設計編, pp.39, 2013
- 8) 社団法人セメント協会: 舗装技術専門委員会報告 R-27, 2010.3
- 9) 日本道路協会: セメント・コンクリート舗装要綱, 1984 年 2 月