

ラテックス改質速硬コンクリート (LMFC) の基礎物性と耐久性

太平洋マテリアル(株) 正会員 博士 (工学) ○郭 度連
 中日本高速道路(株) 博士 (工学) 森山 守
 宮崎大学 正会員 博士 (工学) 李 春鶴
 太平洋マテリアル(株) 正会員 工修 山中俊幸

1. はじめに

道路橋ストックの現状を考えると、2m以上の道路橋は全国約70万橋あり、その7割以上となる約50万橋が市町村の管理下にある。その老朽化も著しく進んでおり、建設後50年を経過した橋梁の割合は、2023年には43%に増加することになる¹⁾。限られた財源や適切な管理点検が行える技術者の不足等が予想されており、より汎用性やコストパフォーマンスが高く、簡単に施工できる道路橋の補修補強技術および材料が時代的に要求されていると考えられる。その要求に応えられる材料の一つとして筆者らはラテックス改質速硬コンクリートを検討している。ラテックス改質速硬コンクリートは、劣化因子をほとんど透さない緻密さや曲げ強度・付着強度が高い、収縮が少ない、材料的な耐久性に優れる等の特性とともに、床版コンクリートと同質の材料であること、防水層を必要としないこと、床版の補修と同時に舗装まで一体化して打設でき、床版増厚の効果も期待できるなど、橋面舗装材料として用いた場合はほぼメンテナンスフリーの材料としてLCCの面からも適していると考えられる。

一方、高速道路3社では、老朽化の進展並びに厳しい使用環境により著しい変状の発生が顕在化しており、従来の修繕のみでは致命的な損傷に進展し、通行止め等が発生する恐れがあることから、床版の大規模更新が計画されている。その主な対策としてはプレキャストPC床版への取替が考えられており、その総延長は230kmにも達している²⁾。そのプレキャストPC床版の間詰コンクリートには速硬性が求められているが、現状ではその要求性能は強度のみに止まっている。本来なら少なくともプレキャストPC床版同等以上の物質透過性や耐久性能が必要であり、ラテックス改質速硬コンクリートはその要求性能を十分満足できるものと考えられる。

本研究紹介ではラテックス改質速硬コンクリートの橋面舗装材料やプレキャストPC床版の間詰コンクリートとしての可能性を検討するために、ラテックスおよび速硬性混和材によるラテックス改質速硬コンクリートのフレッシュ性状、硬化特性、耐久性等の基礎的な物性を実験的に検討し、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

表-1に使用材料を示す。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

表-1 コンクリートの使用材料

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	オキソカルボン酸系粉体
ラテックス	L	SBR系	固形分45%、平均粒子径0.2μm

し、結合材の 30%程度になるようベースコンクリートに添加する。その速硬性は、エトリンガ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）の添加量によってコントロールされる³⁾。

ラテックスはポリマーディスパージョンの中で 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、既往の研究からも最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⁴⁾。

2.2 試験水準およびコンクリートの配合

表-2 に試験水準および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（以下 PL）は、水セメント比 52%，単位水量 174kg/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（以下 FC），ベースコンクリートの単位水量の 120 kg/m³をラテックスに置換したラテックス改質コンクリート（以下 LMC），ベースコンクリートにラテックスを 120kg/m³置換し速硬化したラテックス改質速硬コンクリート（以下 LMFC）をそれぞれの試験水準とした。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⁵⁾。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℃の環境温度で可使時間が 90 分以上になるようにセッター量を設定しており、本研究紹介では結合材の 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。

表-3 には本研究紹介で行った試験項目および試験方法の概要を示している。

3. 実験結果

3.1 コンクリートのフレッシュ性状

コンクリートの練り上がり直後のフレッシュ性状を表-2 に示す。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、スランブ 18±2.5cm 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±2.5cm を目標にし、目標スランブを満足している。LMC はスランブフロー64cm 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

表-2 試験水準および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)			フレッシュ性状			
			W	L	C	S	G	AE減水剤	AE助剤	Facet	水	セッター	スランブ (フロー) (cm)	空気量 (%)	
PL	51.9	—	174	—	335	830	926	C×0.7%	適量	—	—	—	17.5	4.7	
LMC	35.8	16.1	54	120				—	—	—	—	—	—	24.5 (64×64)	2.3
FC	51.9 (36.4)	—	174	—				C×0.7%	適量	143	10	3.35	21.0	1.2	
LMFC	35.8 (25.1)	16.1 (11.3)	54	120				—	—	143	—	3.35	20.0	1.9	

表-3 試験項目および概要

試験項目	概要
フレッシュ性状	スランブ、空気量、コンクリート温度、スランブの経時変化
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
曲げ強度	JIS A 1106に準拠、10×10×40cmの角柱試験体
付着試験	付着面積φ 100mm、深さ100mmの直接一軸引張試験
乾燥収縮	JIS A 1129-2に準拠し、収縮および質量変化率測定
透水試験	JIS A 6909に準じ、口径75mmの漏斗による透水量試験
塩分浸透試験	JSCE-G572-2007に準拠し、浸漬4、13、26週で硝酸銀噴霧法で浸透深さ測定

らすことが可能である。FC に用いた速硬性混和材はアジテータトラックでの練混ぜを想定し、混合攪拌性の向上を図るために、ポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤が内添されている。したがって、ベースコンクリートよりスランブは増加する傾向にあり、本研究でも FC は PL より約 3.5cm のスランブが増加している。LMFC では目標範囲内の 20cm のスランブが得られた。

一方、空気量は PL 以外は $2\pm 1\%$ の範囲である。速硬性混和材およびラテックスは現場のアジテータトラック添加も想定されており、エントラップトエアのコントロールの面から消泡剤が内添されている。その影響によりベースコンクリートの空気量は減少する傾向にある。

3.2 コンクリートの強度特性

図-1 に圧縮強度の試験結果を示す。FC は、4 時間から圧縮強度が発現しており、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-2 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、6h で目標交通開放曲げ強度 3.5N/mm^2 を満足している⁹⁾。図-1 に示した 24h および 28 日の 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 LMFC が FC より大幅に大きくなっており、顕著な差が生じている。PL と LMC の関係からも同様の傾向であり、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。

付着強度を確認するために、PL を用いて $50\times 50\times 10\text{cm}$ の底板コンクリートを打設し、翌日ワイヤブラシによる目荒らし、3 か月経過後に $50\times 50\times 10\text{cm}$ の LMFC を PL の上面に打設した。4 週間後に $\phi 10\text{cm}$ のコアドリルを用いて底板の PL コンクリートとの縁が切れるように深さ 12cm まで削孔した。付着面積 $\phi 10\text{cm}$ 、深さ 10cm の直接一軸引張試験の 6 ヶ所の平均値は 2.98N/mm^2 である。写真-1 に示すように、6 本中の 5 本が底板コンクリート破壊であり、その破壊深さは 2~3cm 程度である。すなわち、既設床版を模擬した底盤コンクリートの引張強度を上回る付着強度が想定でき、ばらつきもなく、非常に高い付着強度が確認できた。これはラテックスによる下地コンクリートとの投錨効果に起因すると考えられる。一方、試験体を 1 分間水浸した直後および 10 分間乾燥した後の状況が写真-2 である。水分を吸水する底板の PL コンクリートに比べ、LMFC コンクリートは 10 分後にはほぼ乾燥している。LMFC は水分を吸水せず、表面の濡れのみにとまっていると推測され、物質透過に対する抵抗性の高さが間接的に確認できる。

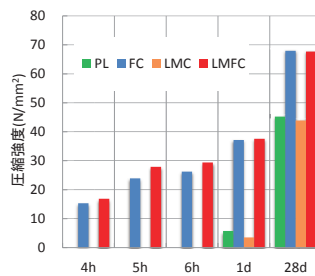


図-1 圧縮強度

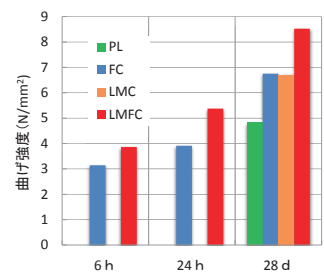


図-2 曲げ強度



写真-1 付着試験体の破壊形状



写真-2 水浸試験体の乾燥状況

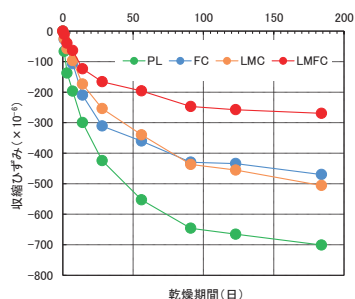


図-3 乾燥収縮

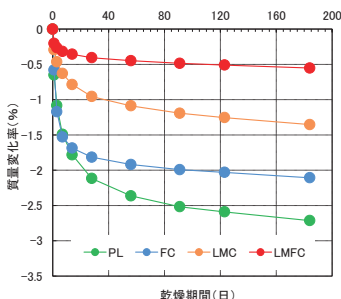


図-4 水分逸散量

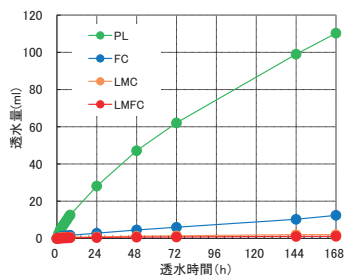


図-5 透水量試験

3.3 コンクリートの耐久性

図-3にコンクリートの収縮ひずみを、図-4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も200 μ 程度少なくなっており、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。この傾向は質量変化率の結果からも同様であり、ラテックスを混和したLMC、LMFCの水分の逸散量は大幅に低減されている。これはラテックスの混和により物質透過の経路である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ていることに起因すると推察される。

図-5に透水試験の結果を示す。直径75mmの漏斗を用いた材齢7日の透水量の3ヶ所の平均値である。PL以外の透水量は非常に少なく、表層品質は優れており、物質透過に対する抵抗性が高いことが予想される。特にLMCおよびLMFCはほとんど透水せず、ラテックスによる効果が十分発揮されていると推察される。

図-6に浸漬材齢による塩分浸透深さの経時変化を示す。透水試験同様にPLに比べてFC、LMC、LMFCで大幅に低減されている。特にLMFCではPLの浸透深さの1/4程度に止まっており、塩分浸透に対する抵抗性の高さが認められる。

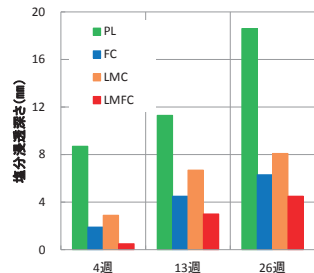


図-6 塩分浸透の経時変化

4. おわりに

ラテックス改質速硬コンクリートの基礎物性および耐久性能を実験的に検討した結果、劣化因子をほぼ透過させない物質浸透抵抗性の高さや附着強度の高さから、床版コンクリートを保護し、一体化して挙動する橋面舗装材料やプレキャストPC床版の間詰コンクリートに適していると考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省：平成25年度国土交通白書，pp.28，2014
- 2) 東・中・西日本高速道路株式会社：東・中・西日本高速道路株式会社が管理する高速道路における大規模更新・大規模修繕計画（概略）について，平成26年1月22日プレスリリース
- 3) 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，13巻，pp.305-308，2013
- 4) FHWA：Styrene-Butadiene Latex Modifiers for Bridge Deck Overlay Concrete (FHWA-RD-78-35)，1978
- 5) ACI：Standard Specification for Latex-Modified Concrete (LMC) Overlays (ACI 548.4-93)，1998
- 6) 日本道路協会：セメント・コンクリート舗装要綱，1984年2月