

## 報告

## ラテックス改質速硬コンクリートの橋面舗装への適用と供用性評価

兵頭彦次\*, 市川裕規\*\*, 七尾舞\*\*, 梶尾聡\*, 長塩靖祐\*\*\*, 中田和秀\*\*\*\*

\*博士(工学), 太平洋セメント(株)中央研究所 (〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2)

\*\*修士(工学), 太平洋セメント(株)中央研究所 (〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2)

\*\*\*博士(工学), 太平洋マテリアル(株)開発研究所 (〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2)

\*\*\*\*修士(工学), 太平洋マテリアル(株)開発研究所 (〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2)

ラテックス改質速硬コンクリート用いた橋面舗装の有効性を評価することを目的とし、既設の鉄筋コンクリート床版において試験施工を実施した。本報告は、試験施工の概要および供用半年経過後に実施した橋面舗装の調査結果について示すものである。現地でのコンクリート製造は、フレキシブルコンテナパックを用いた材料貯蔵・計量方法と移動式ミキサを組み合わせで行った。施工時、供用後を通じて、ひび割れ等の欠陥は認められなかった。室内試験および実橋での破壊・非破壊試験により、良好な強度特性、舗装と床版の一体性、物質浸透抵抗性が確認された。

キーワード：ラテックス改質速硬コンクリート、橋面舗装、鉄筋コンクリート床版、供用性

## 1. はじめに

わが国の道路インフラは高度成長期に集中的に整備されたことから、今後、急速に老朽化することが懸念されている。特に、車両の輪荷重を直接受ける鉄筋コンクリート(RC)床版の劣化損傷が課題となっている。これまで、RC床版は車両による繰返し変動荷重が作用することによって損傷が進行する疲労問題として捉えられてきた。しかしながら、近年、凍結防止剤の散布にともなって、塩害、ASR、スケーリング等のコンクリートの材料劣化と交通繰返し荷重が組み合わさった複合作用によって劣化する新たな問題が顕在化してきている<sup>1)</sup>。そのため、RC床版を長寿命化するためには、力学的な性能を改善しつつ、水や凍結防止剤等の劣化因子の侵入を併せて防止することが重要となる。

このような問題に対し、米国では床版上の舗装材料としてラテックス改質コンクリート(以下、LMC)が採用されている。LMCとは、合成ゴムのひとつであるスチレン・ブタジエンゴムの共重合体を水中で分散させたラテックスを、コンクリートの練混ぜ時に混和したものである。通常のコンクリートに比べて、硬化後の寸法安定性、付着性、物質浸透抵抗性が高く、既設床版との一体性や凍結防止剤に対する抵抗性に優れる。米国では、長期的な調査に基づき、床版を保護する効果が報告されている<sup>2)</sup>。しかしながら、国内では適用事例の報告がなく、必ずしもその有効性は明らかになっていない。

本報告では、材齢6時間で交通開放強度を発現する速

硬性のLMCを用いて、既設RC床版で実施した試験施工(2017年11月12日、19日)の概要を示す。また、供用半年経過後に実施した橋面舗装の調査(2018年6月17日～18日)結果についても併せて示す。

## 2. 試験施工の概要

## 2.1 対象橋梁

試験施工の対象とした橋梁は、北海道北斗市街地から峯朗鉦山をつなぐ市道添山29号線にある宗山川3号橋である。表-1に宗山川3号橋の橋梁諸元を、写真-1に試験施工前の概観を示す。橋梁は、場所打ちRC床版と鋼桁の複合構造である。点検による判定区分は「I」であり、構造物の機能に支障は生じていなかった。一方、橋面上のアスファルト舗装は、ひび割れ等の劣化が生じ

表-1 宗山川3号橋の諸元

橋梁名(路線名)	宗山川3号橋(添山29号線:北海道北斗市)
供用開始	1993年
上部構造形式	鋼溶接橋 I桁(非合成)
床版種類	場所打床版
活荷重・等級	TL-20
適用示方書	平成2年
橋長	29.3m
総径間数	1
有効幅員	7.5m
橋面積	220m <sup>2</sup>



写真-1 宗山川3号橋の概観

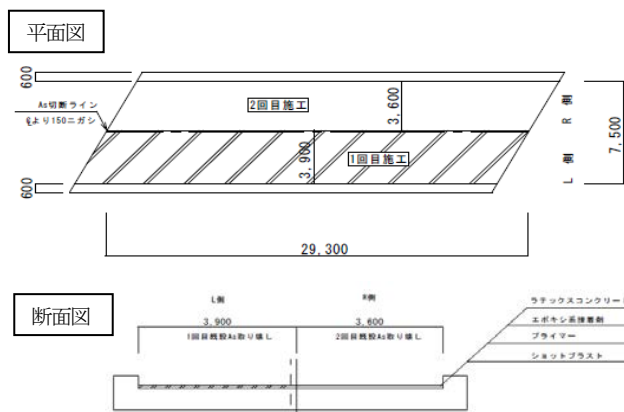


図-1 施工一般図

ており、複数の補修の痕跡も確認された。橋梁が受ける作用で特徴的なものは、鉸山で製造される骨材を運搬するための大型車両が比較的頻繁に往来すること、置かれる環境が積雪寒冷地ということである。

## 2.2 施工計画

図-1に、施工一般図を示す。LMCの製造・施工方法や交通車両の制約から、片側交通規制しながら2回(2017年11月12日:L側, 2017年11月19日:R側)に分けて各110m<sup>2</sup>ずつ施工を行うこととした。舗装厚さは、コア抜き調査より5~9cm程度であることが確認されたため、平均設計厚さ7cmとして計画を立案した。LMCの物質浸透抵抗性を活かし、舗装と床版を一体化させることとした。一体化にあたっては、床版上面増厚工法で用いられる手法を参考に、下地処理として床版上面にスチールショットブラスト(投射密度:150kg/m<sup>2</sup>)を行うこととした。また、L側の車線では、素地調整として浸透性プライマおよびエポキシ系接着剤を全面に塗布した。R側の車線では、直接LMCを打込み、接着剤の有無の影響について比較検討することとした。

## 2.3 LMCの概要

### (1) 使用材料・配合

表-2に、LMCの使用材料を示す。表-3に、LMCの配合を、表-4に、フレッシュコンクリートの目標値と試験施工時の実測値を示す。施工時の外気温が、L側施工時よりもR側施工時において低下したことにより、目標強度(材齢6時間における圧縮強度24N/mm<sup>2</sup>)を満足させるため、硬化時間調整剤(Re)の使用量を減じた。フレッシュコンクリートの性状は、いずれの施工日においても目標値を満足した。表-5に、施工時に用いたLMC以外の材料を示す。LMCの仕上げ時の作業性向上や打込み表面からの急激な水分逸散を抑制するため、パラフィン系の仕上げ補助剤を使用した。素地調整用のプライマおよび接着剤は、エポキシ系のものを用いた。

表-2 LMCの使用材料

材料	種類・銘柄	記号	備考
水	工業用水	W	—
セメント	普通ポルトランドセメント	C	密度:3.16g/cm <sup>3</sup>
混和材	速硬性混和材	F	特殊アルバート系, 密度:2.93g/cm <sup>3</sup>
細骨材	砕砂	S	表乾密度:2.72g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	砕石	G	表乾密度:2.73g/cm <sup>3</sup>
混和剤	ラテックス混和液	L	スフレプタジエンゴムラテックス乳液
	AE減水剤標準形	Ad	リグニンスルホン酸系
	硬化時間調整剤	Re	オキカルボン酸系

表-3 LMCの配合

施工区画	W+L/ C+F (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )							
			W	L	C	F	S	G	Ad	Re
L側	33.6	45.0	63	120	378	167	799	980	1.9	0.654
R側										0.545

表-4 フレッシュコンクリートの目標値と性状

項目	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度(°C)
目標値	16.0~22.0	2.0±1.5	—
L側	19.0	2.5	11
R側	22.0	3.2	4.5

表-5 LMC以外の材料

材料	備考
仕上げ補助剤	パラフィンエマルジョン
プライマ	浸透性エポキシ樹脂接着剤
接着剤	2液型エポキシ樹脂系接着剤

### (2) LMCの製造方法

LMCは、ラテックスを使用するため、一般のレディーミクストコンクリート工場で製造することが難しい。今回の試験施工では、コンクリート製造時の制約条件や運搬ルート、施工面積等を勘案し、フレキシブルコンテナパックを用いた材料貯蔵・計量方法(写真-2)と、公称容量0.5m<sup>3</sup>のバッチ式強制二軸練りミキサを搭載する車両(写真-3)を組み合わせたシステムを採用し、現場でコンクリートの製造を行った。なお、フレキシブルコンテナパックには、あらかじめ計量されたセメント・混和材といった粉体と、表面水を管理した細・粗骨材が、それぞれ独立して封入されている。



写真-2 フレキシブルコンテナパックを用いた材料の貯蔵・計量方法



写真-3 移動式ミキサと組み合わせた現場でのコンクリート製造

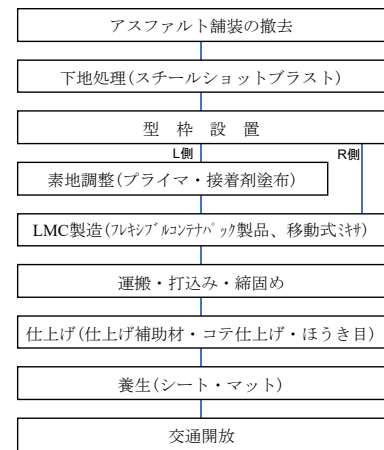


図-2 施工フローチャート

表-6 製造・施工概要

施工区画	練混ぜ数(バッチ)	練混ぜ量(m <sup>3</sup> )	作業時刻 <sup>1)</sup>	外気温(°C)
L側	15	6.75	9:07~13:05	6.4~8.0
R側	15	6.75	(10:30~13:07) <sup>2)</sup>	-2.9~1.6

1)プライマ塗布~箒目仕上げ、2)練混ぜ開始~完了

### (3)寒中対策

試験施工時期が11月中旬であることから、LMCの寒中対策の必要性について検討した。3次元FEM温度解析を実施し、初期凍害を受けることなく、目標とする初期強度の発現性を得るうえで必要となる温度上昇が見込めるかどうかを確認した。外気温は、北斗市の過去5年間の11月の気象庁データに基づいた。その結果、過去5年間で最も気温が低く、既設床版が0°C程度である場合においても、LMCは温度上昇開始2時間半後に8°C程度のピークを迎えることを確認し、特段の寒中対策を取ることなく目標とする初期強度が得られると判断した。

## 2.4 施工状況

図-2に、施工フローを示す。事前に、アスファルト舗装の撤去、スチールショットブラストによる下地処理、型枠設置までを行い、LMC打込み当日、L側ではプライマ・接着剤による素地調整を行った。製造したLMCは、ショベルローダによって床版まで運搬し、棒状バイブレータで締固めを行った。仕上げ補助剤を使用しながらコテによる左官仕上げを行った後、ほうき目仕上げを行った。交通開放は、施工翌日であったため、それまでシートおよびマットで養生を行った。練混ぜ時間は、ミキサ内のLMCの流動状況を確認し、3分間とした。ドライミックス製品をミキサに移動・投入し、LMCを排出するまでの時間間隔は、おおむね10分であった。床版上に接着剤を塗布してからLMC表面のほうき目仕上げが完了するまでの時間間隔は、30~40分であった。表-6に、製造・施工の概要を示す。施工開始からおよそ4時間で



写真-4 供用後の宗山川3号橋

最終バッチのLMCのほうき目仕上げが完了した。施工中および交通開放直前の目視確認によれば、LMCには、施工時のプラスチックひび割れや硬化後の収縮・温度ひび割れ等の欠陥は認められなかった。写真-4に、供用後の状況を示す。

## 3. 評価・調査試験

### 3.1 概要

室内試験および実橋での破壊・非破壊試験により、LMCによる橋面舗装の強度特性、付着性、物質浸透抵抗性、舗装性能を評価した。表-7に、評価試験・調査項目を示す。強度特性として、JIS A 1108に準じて供試体(寸法φ100×200mm)による圧縮強度の測定を行った。また、供用半年経過後の舗装面の反発度を、リバウンドハンマを用いて測定し(JIS A 1155)、強度を推定した。舗装と床版の一体性を確認するため、円柱供試体を用いた直接引張付着試験および、実橋における引張付着試験を行った。実橋の舗装の物質浸透抵抗性を評価するため、表面透気試験<sup>4)</sup>および表面吸水試験<sup>5)</sup>を実施した。なお、表面吸水試験は、施工継目についても計測した。舗装性能の評価として、舗装調査・試験法便覧に基づき、平坦性、わだち掘れ、きめ深さ、すべり抵抗性を測定した。

表-7 評価試験・調査項目の一覧

調査項目		調査方法	試験場所
強度特性	圧縮強度	JIS A 1108	室内試験
	強度推定	JIS A 1155	実橋
付着性	引張付着試験	直接引張	室内試験
		建研式	実橋
物質浸透抵抗性	表面透気係数	トレント法	実橋
	表面吸水速度	SWAT	実橋
舗装性能	きめ深さ	舗装調査・試験法便覧	実橋
	すべり抵抗		実橋
	平坦性		実橋
	わだち掘れ		実橋

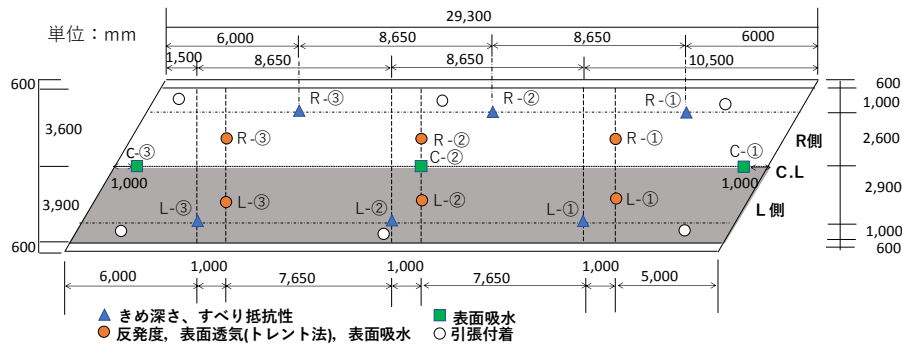


図-3 実橋における評価試験の計測位置

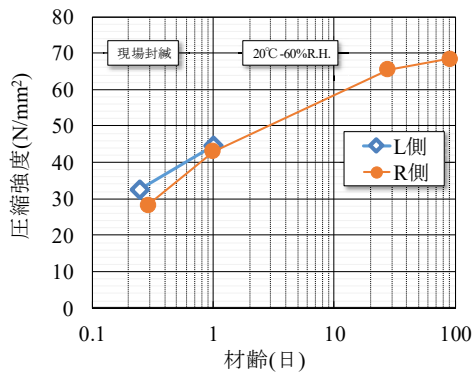


図-4 圧縮強度発現性



写真-5 直接引張付着試験

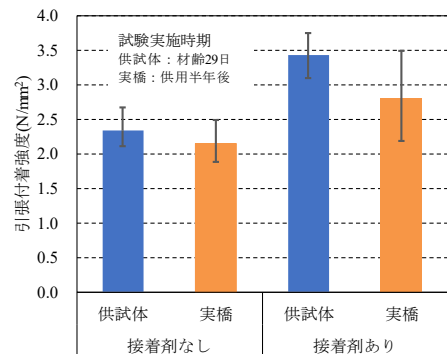


図-5 引張付着強度

表-8 リバウンドハンマによる反発度からの強度推定値

測定箇所	R-①	R-②	R-③	L-①	L-②	L-③
反発度	49.7	50.3	49.0	51.7	50.3	51.7
強度推定値 (N/mm <sup>2</sup> )	65.7	66.6	64.8	68.4	66.6	68.4

実橋における各試験の計測位置を、図-3に示す。

### 3.2 評価・調査試験結果

#### (1) 強度特性

図-4に、LMCの圧縮強度と材齢の関係を示す。なお、材齢1日までは現場封緘養生、それ以降は試験室で20°C-60%R.H.気中養生した結果である。R側では、試験のトラブルにより測定材齢が7時間になったものの、交通開放の目安として目標とした24N/mm<sup>2</sup>の圧縮強度を満足した。材齢1日の強度は、L側、R側ともに45N/mm<sup>2</sup>

程度でほぼ一致した。気中養生においても強度発現は継続し、材齢91日で70N/mm<sup>2</sup>程度であった。

表-8に、供用半年経過後のリバウンドハンマによる強度推定値を示す。なお、強度の推定には、高強度コンクリートも適用できるとされる下式を用いた。

$$F=0.15+1.32 \times R \quad (1)$$

ここに、 $F$ : 推定強度(N/mm<sup>2</sup>)、 $R$ : 反発度、である。推定強度は、65~68N/mm<sup>2</sup>であり、試験室で測定した供試体の長期強度とほぼ一致した。L側、R側で推定強度の偏りは認められなかった。

表-9 表面透気試験・表面吸水試験結果

測定箇所	R側			施工目地			L側		
	R-①	R-②	R-③	C-①	C-②	C-③	L-①	L-②	L-③
$p_{600}(\text{ml}/\text{m}^2/\text{s})$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$kT(\times 10^{-16}\text{m}^2)$	0.002	0.002	<0.001				<0.001	<0.001	<0.001

$p_{600}$  : 注水完了から 600 秒のときの表面吸水速度,  $kT$  : 透気係数

表-10a) 表面透気試験の判定基準<sup>4)</sup>

判定	優	良	一般	劣	極劣
透気性グレード	1	2	3	4	5
$kT$	0.001~0.01	0.01~0.1	0.1~1	1~10	10~100

表-10b) 表面吸水試験の判定基準<sup>5)</sup>

判定	良	一般	劣
$p_{600}(\text{ml}/\text{m}^2/\text{s})$	0.25 以下	0.25~0.5	0.5 以上

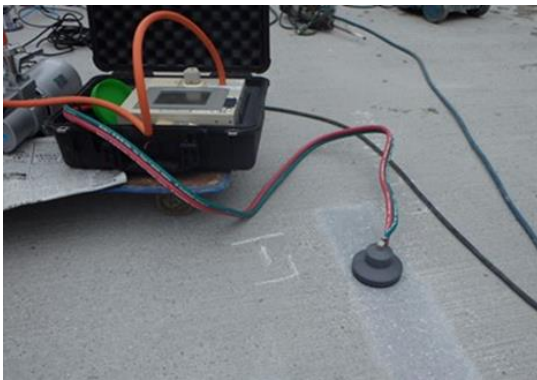


写真-6 表面透気試験



写真-7 表面吸水試験

## (2) 付着性

写真-5に、LMCと基盤コンクリートとの直接引張付着試験の状況を示す。基盤コンクリート(W/C50%)は試験室内で作製し、打継目に遅延剤を塗布することにより粗面処理を行ったものである。試験時は、円柱供試体(φ100×200mm)の両端部にユニバーサルジョイントを有する治具を接着し、インストロン式万能試験機によって直接引張荷重を行った。図-5に打継面に接着剤を塗布した場合と無塗布の場合の強度試験結果(材齢29日、20°C-60%気中養生)を示す。引張付着強度は、接着剤を塗布しない場合には2N/mm<sup>2</sup>以上、接着剤を塗布した場合が3.5N/mm<sup>2</sup>程度となり、一般的に求められる1.0N/mm<sup>2</sup>を大きく上回った。

供用半年経過後に実橋で実施した引張付着試験の結果を図-5に併記する。なお、引張付着試験は、舗装上面から床版のかぶり10mm程度の深さまで、L側、R側それぞれ3箇所ずつ削孔(直径100mm)し、建研式接着力試験機を用いて行った。上述した室内試験の試験結果に比べるとやや強度が低いものの、接着剤の使用の有無にかかわらずおおよそ2.0N/mm<sup>2</sup>を上回った。削孔箇所によらず、接着剤を塗布したL側の破壊面は床版コンクリートで、接着剤を塗布していないR側の破壊面は打継界面であった。

ハンマを用いて舗装表面の打音検査を行い、既設床版の剥離の有無について調査した。測定者による打撃音の判定からは、剥離の存在は認められなかった。また、センサ付ハンマを用いて、およそ1×2mピッチで舗装表面を90箇所測定し、打撃力波形より分析<sup>6)</sup>した結果においても、剥離判定される箇所はなかった。

## (3) 物質浸透抵抗性

表-9に、供用半年経過後に実橋で測定した表面透気試験(写真-6)および表面吸水試験(写真-7)の結果を示す。また、結果の判定基準を表-10に示す。表面透気係数は、トレント法により求めた。表面吸水試験結果は、判定基準となる注水600秒後の表面吸水速度を示した。表面透気係数は、測点6箇所中4箇所が測定限界以下であり、緻密性が確認された。測定できた箇所についても、5段階の評価グレードの中で最も高い「優」(表面透気係数:0.001~0.01×10<sup>-16</sup>m<sup>2</sup>)であった。表面吸水試験結果によれば、走行部だけでなく施工継目部においても吸水は認められなかった。これらの結果から、供用半年後においてもLMCの物質浸透抵抗性はきわめて大きく、表層品質に優れていることを確認した。

## (4) 舗装性能

図-6に縦断方向、図-7に横断方向の路面高さの一例を示す。供用前および半年経過後において縦横断方向

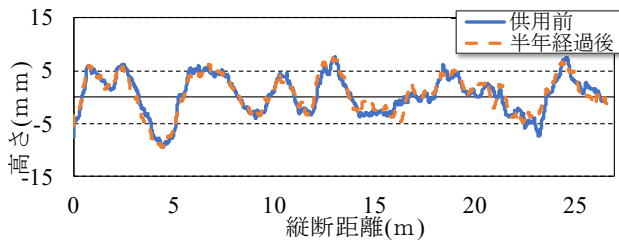


図-6 路面高さ(縦断方向:L側)

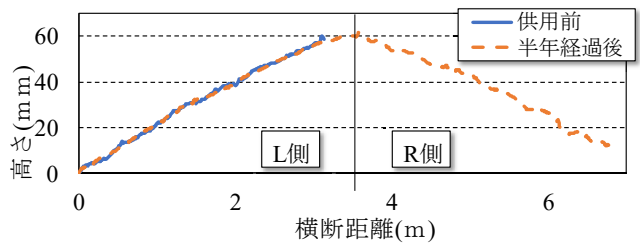


図-7 路面高さ(横断方向:L-③, R-③)

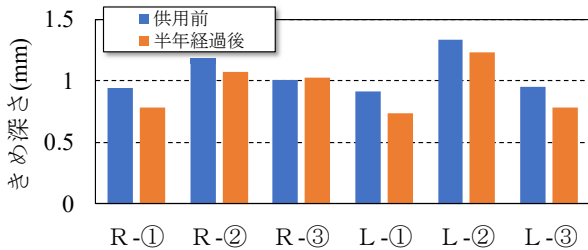


図-8 きめ深さ

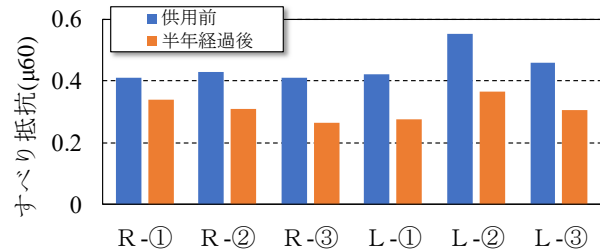


図-9 動的摩擦係数

の路面高さに明確な変化は認められなかった。路面高さより算定された平坦性、わだち掘れ量についてもほぼ一定であった。図-8にCTメータにより測定したきめ深さを、図-9にDFテストにより測定した60km/hにおける動的摩擦係数を示す。供用半年経過後のきめ深さは、供用前と比べると0.1~0.2mm程度浅くなっていた。動的摩擦係数は、供用半年後においても道路維持修繕要綱で示されている維持管理の目標値である動的摩擦係数0.25を満足していたものの、供用前よりも0.1~0.2程度低下する傾向が認められた。これらについては、経年変化について継続評価する必要がある。

#### 4. まとめ

ラテックス改質速硬コンクリート用いた橋面舗装の有効性を評価することを目的とし、既設のRC床版において試験施工を実施した。また、供用半年経過後に橋面舗装の調査を実施した。本検討で得られた知見を下記する。

- (1) フレキシブルコンテナパックを用いた材料貯蔵・計量方法と、バッチ式強制二軸練りミキサーを搭載する車両を組み合わせ、現場でコンクリートの製造を行った。
- (2) 施工時のプラスチックひび割れや硬化後の収縮・温度ひび割れは認められなかった。
- (3) 交通開放の目安として目標とした圧縮強度 $24\text{N/mm}^2$ を材齢6時間で満足した。
- (4) 実橋における舗装と床版の引張付着強度は、接着剤の使用の有無にかかわらず、 $2.0\text{N/mm}^2$ を上回った。
- (5) 表面透気試験、表面吸水試験より、物質浸透抵抗性はきわめて高く、橋面舗装の表層品質が優れていることを確認した。

- (6) 供用前と比べ、供用半年経過後の橋面舗装のきめ深さ、すべり抵抗性の低下が確認された。

#### 謝辞

本試験施工では、北海道北斗市から試験フィールドを提供いただいた。コンクリート製造には井上商事(株)、施工については澤田建設(株)から多大なる協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：鉄筋コンクリート構造の疲労破壊-破壊機構と性能評価の将来像を探る-, コンクリート技術シリーズ109, 2015.9
- 2) Sprinkel, M.M.: Twenty-year performance of latex-modified concrete overlays, Transportation research record 1335, Transportation research board, pp.27-35, 1992.
- 3) 濱尚史, 添田政司, 徳光卓, 大和竹史: 反発硬度法による高強度・高流動コンクリートの強度推定に関する実験, 土木学会第56次学術講演会講演概要集, 第5部, pp.858-859, 2001.
- 4) Torrent, R.J.: A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of the permeability to air of the concrete cover on site, Materials and structures, V.25, No.6, pp.358-365, 1992.7
- 5) 林和彦, 細田暁: 表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価方法に関する基礎的研究, 土木学会論文集E2, Vol.69, No.1, pp.82-97, 2013.
- 6) 金田重夫, 久保元, 境友昭, 極壇邦夫: 機械インピーダンスによるトンネルの剥離・強度の推定, 日本非破壊検査協会シンポジウム コンクリート構造物への非破壊検査の展開, Vol.2, pp.523-526, 2006.8

(2018年7月20日受付)