



製造施工部門 優秀賞

コンクリート舗装の寒冷期施工における硬化促進剤の施工性改善効果

大成ロテック(株) 建設事業本部 技術部

// //

// 北信越支社 新潟工事事務所

(株)フローリック 技術本部 技術部

// 技術本部 東日本技術センター

越川 喜孝

五島 泰宏

小原 賢司

上本 洋

飯島 友貴

1 はじめに

コンクリート舗装の表面仕上げは、フィニッシュによる荒仕上げ、縦型仕上げ機による平坦仕上げおよび粗面仕上げの順で行うのが一般的である。最終手順となる粗面仕上げは、平坦仕上げ後に人力にて行う作業であり、表面の水光りが消えた後、ホウキなどを用いて横断方向に比較的浅い溝を設け、粗面を構築するものである¹⁾。しかしながら、冬期施工のような外気温の低い状況下には水光りの消失が遅く、作業開始のタイミングなどが適正に確保できにくいなどの理由により、良好な粗面を得ることが困難となる事例が経験的に多い。

本文は、冬期施工における粗面仕上げの施工性を改善するために硬化促進剤の応用に着目し実施した、室内実験による硬化促進剤の施工性改善効果(粗面仕上げ作業時期の短縮および粗面仕上げの状況など)に関する検討結果、およびその結果を基に実施した新潟県柏崎市内の道路舗装工事での検証結果を取りまとめたものである。

2 コンクリート舗装の寒冷期施工の課題と解決案

コンクリート舗装の寒冷期施工では、低温が原因となるコンクリートの凝結遅延に伴う不具合事例が多く見られる。凝結遅延により表面のブリーディングが収束しない状況下で水光りが消失する前に粗面仕上げ作業を行うと、粗面を形成するホウキ目の凸部が潰れて丸くなるなどの仕上げ不良が生じてしまい、コンクリート舗装の路面機能が低下する。空港エプロン舗装工事などの施工時間に制限のある工事では、路面機能の確保に重要となる良好な粗面を仕上げるために、凝結による水光りの消失に要する時間を加味し、日施工量を減らして粗面作業を行う。また、時間的な制約のない工事では、日施工量を減らすことなく水光りが消失するまで待機し粗面作業を行う。前者は日施工量減少に伴う施工日数の増加、後者は施工時間の長時間化による長時間労働などの課題が生ずる。

それら課題を解決する対策案の一つとして、コンクリート舗装において特に水和反応による硬化促進が必要な場合に使用することがある硬化促進剤の応用による施工性改善効果(作業開始時期の

早期化、粗面性状の改善)を検討することとした。

なお、本検討に使用した硬化促進剤は、(株)フローリック社製の「フローリック AFP-2」、主成分は亜硝酸化合物で減水性を有していない。通常、フローリック AFP-2は、低温下における硬化促進作用による初期凍害防止、養生方法の簡素化による作業効率の向上を実現する混和剤で、標準使用量はセメント100kg当たり2～5Lである。

3 作業開始時期の早期化に関する検討²⁾

3-1 実験概要

本実験では、作業開始時期の定量的な評価指標として、打設したコンクリートのブリーディング量を用いた。評価は寒冷期施工を想定した5℃環境下で硬化促進剤を使用したコンクリートと、通常期として設定した20℃環境下の通常配合のコンクリートの経過時間に伴うブリーディング量の変化を測定し行った。ブリーディング量の測定は、ブリーディング試験(JIS A 1123)に準拠した。なお、各配合のスランブの経時変化も測定した。

3-2 コンクリートの配合

表-1に示すとおり、20℃環境下では、硬化促進剤を使用しないNo.①の配合とし、5℃環境下ではセメント100kg当たり0、2、4Lの硬化促進剤を使用するNo.②～④の配合とした。ブリーディング量の測定では、20℃環境下のNo.①を基準とし、各配合のブリーディング量の経時変化により、粗面仕上げの作業開始時期を比較し評価した。

表-1 実験配合

配合No.	硬化促進剤(L)*	単位量 (kg/m ³)					実験環境
		水 W	セメント C	細骨材		粗骨材 G	
				S1	S2		
①	0	150	333	79	711	1046	20℃
②		147	327	80	716	1053	
③	2	147	327	80	716	1053	5℃
④	4						

* 硬化促進剤は、セメント100kg当たりの容量

【備考】

- ・練落し時の目標値：スランブ=25±1.0cm、空気量=4.5±1.5%
- ・水セメント比：45% (一定)
- ・細骨材率：43.5% (一定)

3-3 実験結果

(1) コンシステンシー

コンシステンシー測定結果を図-1に示す。図より、全配合ともに練落し時のスランブは目標値を満足するものであった。また、全配合のスランブが時間の経過とともに小さくなり、硬化促進剤の添加量が多いほどスランブの減少が大きい傾向を示した(No.②>③>④)。

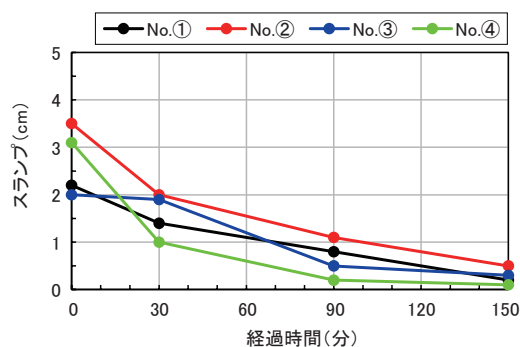


図-1 コンシステンシー測定結果

(2) ブリーディング量

ブリーディング試験結果を図-2に示す。図より、基準となる20℃環境下のNo.①(硬化促進剤なし)は、ブリーディングが収束した最終のブリーディング量が0.10 cm³/cm²であった。これに対して、5℃環境下におけるブリーディング量は、硬化促進剤を使用していないNo.②が0.14 cm³/cm²、No.③(硬化促進剤2L)が0.03 cm³/cm²、No.④(硬化促進剤4L)が0.01 cm³/cm²であった。

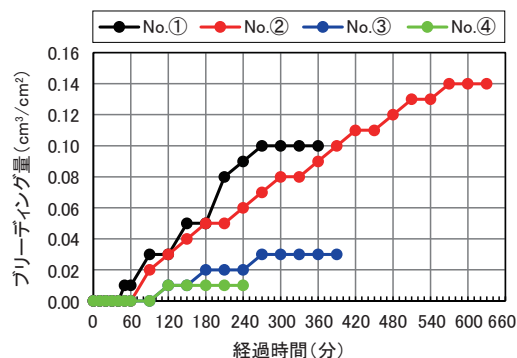


図-2 ブリーディング試験結果

環境温度が低く、硬化促進剤を使用していないNo.②は単位水量が3 kg/m³少ないにもかかわらず、No.①と比較してブリーディングの収束が遅く、

最終的にはブリーディング量が1.4倍となった。また、硬化促進剤を添加したNo.③および④のブリーディング量はNo.①の30%以下であった。

ブリーディング測定状況を写真-1に示す。



写真-1 ブリーディング測定状況

(3) 硬化促進剤の添加量の決定

前述(2)の試験結果によると、硬化促進剤の標準使用量を参考に設定した添加量、セメント100kg当たり2L、もしくは4Lでは、顕著な硬化促進によりブリーディング量が極端に少ない傾向が見られた。そのため、低温時施工を想定した5℃環境下で20℃環境下と同程度のブリーディング量となる硬化促進剤の添加量を、図-3に示す硬化促進剤の添加量とブリーディング量の関係より決定した。20℃環境下と同程度のブリーディング量となる硬化促進剤添加量は、セメント100kg当たり0.45L前後と推定した。

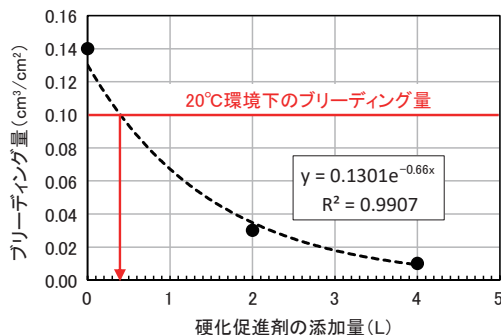


図-3 硬化促進剤添加量とブリーディング量の関係

3-4 作業開始時期の早期化に関する検討のまとめ
粗面仕上げ作業の早期化に関する検討において、以下の知見を得た。

- 寒冷期の低温時施工を模した5℃環境下において、硬化促進剤を使用しない場合、20℃環境下と比較してブリーディング量が収束するまで2倍以上の時間を要し、かつブリーディング量が1.4倍になった。
- 5℃環境下において硬化促進剤を使用した場合、通常の使用方法に準拠した使用量では、ブリーディングの収束、すなわち作業時間の早期化の可能性は見い出せたが、ブリーディング量が極端に少なくなった。
- 硬化促進剤による施工性改善効果を得るためには、5℃環境下のブリーディング量が20℃環境下と同程度になる硬化促進剤の添加量が適正と考え、セメント100kg当たり0.5L前後が妥当であると推定した。

4 適正な粗面の構築時間に関する検討

4-1 実験概要

コンクリートに硬化促進剤を添加することで、ブリーディングの収束時間や量を抑制する効果が期待できることを前述の実験結果で示した。本実験では、前述の実験で推定した硬化促進剤の添加量(セメント100kg当たり0.5L)の妥当性を検証するため、適切な粗面を構築できるまでの時間についての確認を行った。確認では、コンシステンシー測定(テーブルフロー試験、空気量測定)およびF型ゴム硬度計を用いた表面モルタル硬さの測定結果により、平坦仕上げから粗面仕上げまでの時間を測定し、硬化促進剤による仕上げ作業開始までの時間短縮効果を検討した。

また、検討には表-1に示すコンクリートの配合から粗骨材を抜いたセメントモルタルを用いた。本実験にセメントモルタルを適用した理由は、粗面の状態は表面モルタル厚さに影響を受けるため、実験では表面モルタル厚さを一定にする必要があるが、コンクリートでは、表面モルタルの厚さを一定にすることが困難であると考えたためである。

4-2 セメントモルタルの配合

各配合を表-2に示す。20℃環境下で硬化促進剤を使用しない配合をNo.⑤とし、5℃環境下で硬化促進剤を使用しない配合No.⑥とセメント100kg当たり0.5Lの硬化促進剤を使用した配合No.⑦の3水準の配合で実験を行った。セメントモルタルの適正な粗面構築時間は20℃環境下のNo.⑤を基準とし、各配合の粗面構築時間を表面モルタル硬さと目視で評価した。

表-2 セメントモルタルの配合

配合No.	硬化促進剤(L)*	単位量 (kg/m ³)					実験環境
		水 W	セメント C	細骨材		粗骨材 G	
				S1	S2		
⑤	0.0	273	607	141	1257	-	20℃
⑥							5℃
⑦	0.5						

* 硬化促進剤は、セメント100kg当たりの容量

【備考】

・水セメント比：45%（一定）

4-3 実験手順

実験は、各環境温度下で練落し直後のセメントモルタルのコンシステンシーを測定後、型枠(180×90×3cm)に打設し行った。

コンシステンシーの測定では、5℃環境下でセメント100kg当たり0.5Lの硬化促進剤を使用したNo.⑦と20℃環境下の通常配合No.⑤のフロー値の経時変化を比較すること、5℃環境下での硬化促進剤の有無によるフロー値の相違を確認することを目的に行った。測定間隔は、練落し2時間後から1時間間隔で行った。

一般的に粗面仕上げの指標は、熟練した作業員の作業経験と目視などによるもので、まだ固まらないコンクリートの数値指標はない。粗面仕上げは表面モルタルの硬さが溝の深さなどの出来映えに影響するため、スポンジやフェルトなどの硬さを測るF型ゴム硬度計を用いた表面モルタル硬さを適正な作業開始時期を評価する数値指標とした。粗面仕上げもコンシステンシーの測定と同様に、練落し2時間後から1時間間隔で位置を変えながら実施した。

4-4 実験結果

(1) コンシステンシーの測定

テーブルフロー試験結果を図-4に、試験状況を写真-2に示す。図より、15打フロー値はすべての配合において時間の経過とともに小さくなる傾向を示した。15打フロー値では、環境温度や硬化促進剤の添加量による差は見られなかった。また、空気量はすべての配合で2%以下であった。これはエントラップトエアと考えられるため、本実験に用いたセメントモルタルは、ほぼ空気量0%と考える。

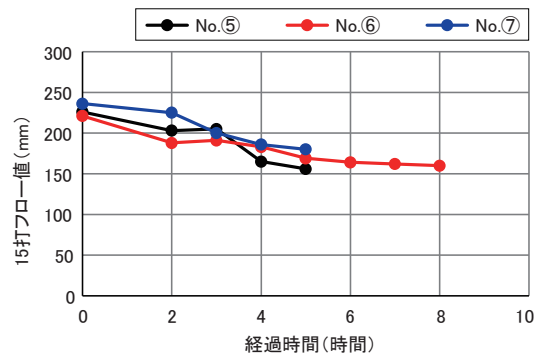


図-4 テーブルフロー試験結果



写真-2 テーブルフロー試験状況

(2) 粗面仕上げの作業性

F型ゴム硬度計を用いた仕上げ面の表面モルタル硬さ測定結果を図-5に、測定状況を写真-3に示す。図に示す緑色のハッチは、粗面仕上げの作業性が良好であった表面モルタルの硬さ範囲を示しており、50～60の範囲で良好な粗面仕上げ面となった。表面モルタル硬さがこの範囲よりも低い場合は粗面の凸部が潰れて丸くなり、高い場合は粗面のホウキ目の凹凸部が浅くなった。

良好な粗面仕上げ状態が得られる時間、すなわち、表面モルタル硬さが50～60の範囲となる

時間は、20℃環境下での通常配合 No.⑤は練落し4時間前後であり、5℃環境下で硬化促進剤を使用しない No.⑥は6.5時間前後、5℃環境下で硬化促進剤をセメント100 kg当たり0.5 L添加した No.⑦は4時間前後となり、20℃環境下の通常配合と同程度であった。

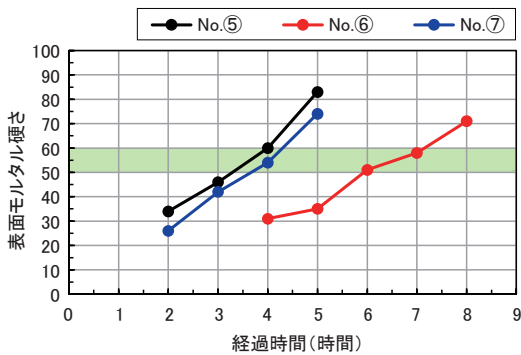


図-5 仕上げ面の表面モルタル硬さ測定結果



写真-3 表面モルタル硬さ測定状況

4-5 適正な粗面の構築時間に関する検討のまとめ
 適正な粗面の構築時間に関する検討において、以下の知見を得た。

- 15打フロー値では、環境温度や硬化促進剤の添加量による差は見られなかった。
- F型ゴム硬度計による最適な粗面仕上げ時期の選定は可能であり、表面モルタル硬さが50～60の範囲で良好な粗面仕上げ面を得ることができた。
- 寒冷期の低温時施工において硬化促進剤をセメント100 kg当たり0.5 L添加することで、粗面仕上げの開始時間は温度が通常期の通常配合と同程度となり、硬化促進剤を使用しない場合と比較して2.5時間前後短縮できる。

5 実路での効果検証

室内実験で得られた結果の実装での効果を確認するため、冬期施工を予定していた国土交通省 北陸地方整備局 長岡国道事務所発注の「国道8号柏崎トンネル舗装その1工事」において、硬化促進剤を使用した舗装コンクリートの施工性改善効果を確認した。表-3に工事概要を示す。

表-3 工事概要

工事名称	国道8号柏崎トンネル舗装その1工事
工事場所	柏崎市剣野町地先～柏崎市米山西地先
工期	令和3年5月10日～令和4年3月18日
規模	コンクリート舗装 (775m、5,800㎡、t=280mm) 山岳トンネル：555m、開削トンネル：220m

5-1 検証の概要

実装による効果の検証は、対象工事における寒冷期の施工となる打設完了1日前および完了日(2021年12月22日および23日)の2日間で実施した。なお、1日目は硬化促進剤添加の有無による施工性改善効果を確認するため、予定打設量の半分程度の生コンに硬化促進剤をセメント100 kg当たり0.5 L添加した。2日目は打設する生コンすべてに硬化促進剤をセメント100 kg当たり0.5 L添加した。

確認項目は、①硬化促進剤を使用することによるコンシステンシーの変動を確認するための現着生コンの性状確認(スランプ、空気量、温度)、②硬化促進剤の有無によるブリーディング量の確認、③硬化促進剤の有無による表面モルタル硬さの経時変化と粗面仕上げ時期の確認、④硬化促進剤の強度への影響確認の4項目とした。

5-2 生コンの配合

硬化促進剤を使用しないベース配合および硬化促進剤を添加した検証用の配合(以下、検証配合)を表-4に示す。検証配合は、ベース配合に硬化促進剤をセメント100 kg当たり0.5 L添加したものである。検証配合の生コンに添加する硬化促進剤は、生コンがミキサから積込みホッパーに放出されると同時に所定量をホッパー内に投入し、アジテータトラック運搬中(30分程度)に攪拌混合

するとともに、現場での排出時にさらに高速攪拌することで十分な混合を行った。

表-4 配合 (W/C=41%、s/a=39%)

配合名称	硬化促進剤添加量 (L)*	単位量 (kg/m ³)						軟化促進剤 (L)
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G		AE減水剤 C×%	
					2505	4020		
ベース配合	0	137	334	726	826	354	1.0	0
検証配合	0.5	137	334	726	826	354	1.0	1.67

5-3 検証結果

(1) コンシステンシーの変動確認

コンシステンシーの測定結果を表-5に示す。硬化促進剤の有無に関わらず、全測定値は規格値を満足し、硬化促進剤を使用することによる変動も認められなかった。

表-5 コンシステンシー測定結果

項目	12月22日		12月23日		備考
	AM	PM	AM	PM	
硬化促進剤	添加	無添加	添加		0.5L/C=100kg
スランプ (cm)	4.0	4.5	4.0	3.0	4.0 ± 1.5cm
空気量 (%)	3.7	3.8	3.5	3.6	4.5 ± 1.5%
Co温度 (℃)	13	14	12	13	5 ~ 35℃
外気温 (℃)	5	10	4	9	-

(2) ブリーディング量の確認

ブリーディング量の試験結果を図-6に示す。図に示すように、検証配合はブリーディング水が発生せず、ベース配合はブリーディング水が生じた。実現場ではコンクリート表面の状況に対する風の影響などにより、ブリーディング発生量や水

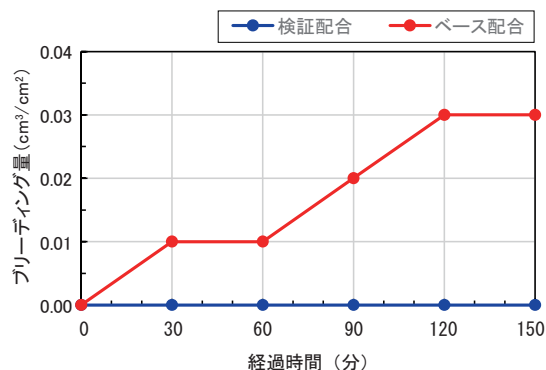


図-6 ブリーディング量試験結果

光りの状況には差異があるものの、硬化促進剤を使用することでコンクリート表面の水光りが消えるまでの時間の短縮が期待でき、粗面仕上げ作業へ移行する時間の短縮が可能であると考え。写真-4に硬化促進剤の有無による施工中のブリーディング水の状態を示す。

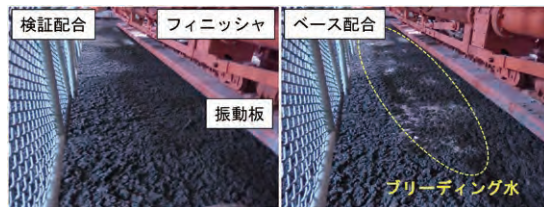


写真-4 施工中のブリーディング水の状態

(3) 表面モルタル硬さの経時変化と粗面仕上げ時期

F型ゴム硬度計を用いた表面モルタル硬さの経時変化と粗面仕上げ時期の検証結果を表-6に、検証配合の粗面状態を写真-5に示す。表に示すように、敷きならし~粗面仕上げまでの経過時間が同程度の場合(155~160分)、硬化促進剤の有無によって、表面モルタル硬さが異なり、検証配合は敷きならし後、155分程度で表面モルタル硬さが50程度となり、良好な粗面を構築することができ、ベース配合は敷きならし後、160分が経過した時点でモルタル硬さが35程度であり、粗面を形成するホウキ目の凸部が潰れて丸くなった。ベース配合は、検証配合よりも85分遅い240分経過後にモルタル硬さが54となり、適正な粗面を構築することができた。

表-6 粗面仕上げ時期の検証結果

作業工程		検証配合				ベース配合			
機械など	作業項目	時刻	経過時間 (分)	表面モルタル硬さ	粗面状態	時刻	経過時間 (分)	表面モルタル硬さ	粗面状態
スプレッダ	敷きならし	10:00	0	-	-	13:00	0	-	-
	締固め	10:50	50	-	-	14:15	75	-	-
フィニッシャ	荒仕上げ	11:30	90	-	-	14:25	85	-	-
	平担仕上げ	11:45	105	40	-	15:00	120	25	-
人力フロート	表面仕上げ	12:00	120	45	-	15:10	130	30	-
人力ホウキ目	粗面仕上げ	12:35	155	50	最適	15:40	160	35	粗面潰れ
		-	-	-	-	17:00	240	54	最適

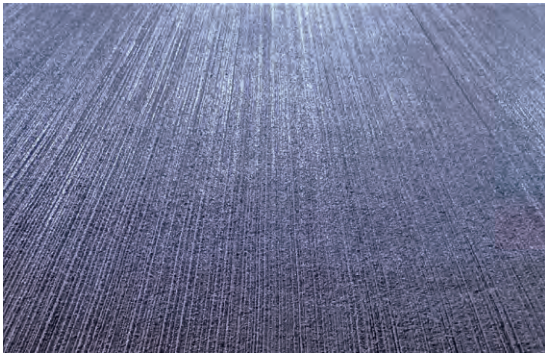


写真-5 検証配合の粗面の状態

(5) 硬化促進剤の強度への影響

硬化促進剤の強度への影響を確認するため、材齢28日の曲げ強度試験を実施した。結果を表-7に示す。表より、検証配合とベース配合の強度に差異はなく、硬化促進剤を使用することによる強度への影響は見られないことが分かる。また、各配合とも設計強度を満足した。

表-7 曲げ強度試験結果

打設日	配合	曲げ強度 σ_{28} (N/mm ²)				備考
		1	2	3	平均	
12月22日	AM 検証	5.38	5.80	5.68	5.62	$\sigma_{28} \geq 4.5$
	PM ベース	5.92	5.92	6.39	6.08	
12月23日	AM 検証	5.80	5.72	5.74	5.75	
	PM	6.19	6.27	6.18	6.21	

5-4 実路における検証結果のまとめ

室内実験の結果に基づき、施工性改善を目的に硬化促進剤を添加した舗装コンクリートを舗装工事にて実装し、効果の検証を実施した結果、以下の知見が得られた。

- コンシステンシーは、硬化促進剤の有無による違いは見られなかった。
- 室内実験結果に基づき、硬化促進剤をセメント100kg当たり0.5L添加することで、外気温が低い(4~10℃)寒冷期であってもブリーディングによる水光りが抑制され、生コン打設から

粗面仕上げ作業への移行時間が90分程度短縮でき、作業効率が向上した。

- 硬化促進剤を使用することによる強度への影響はない。

5-5 課題

寒冷期の低温時施工において硬化促進剤の有効性は確認できたが、課題として生コンへの添加方法(製造方法)が挙げられる。当該工事では、生コンの運搬方法をダンプトラックからアジテータトラックに変更することができ、運搬中および排出時に硬化促進剤の攪拌混合が可能であったが、ダンプトラックでの運搬の場合には、生コン工場においてミキサ内へ硬化促進剤を投入する必要がある。しかしながら、生コン工場での特殊な添加剤の使用は基本的に難しいことが多い。

6 おわりに

寒冷期の低温時施工におけるコンクリート舗装の施工性改善を目的に硬化促進剤の適用について室内実験を行い、その結果を基に実工事における検証を行った。その結果、硬化促進剤をセメント100kg当たり0.5L添加することで、粗面仕上げ作業が通常期と同程度の時間で遅滞することなく良好な粗面構築ができ、今回の検証では90分程度の時間短縮による施工性改善効果が得られた。

コンクリート舗装において、粗面仕上げ作業の開始時期を早期化することが、仕上げ作業およびその後の後期養生作業など、作業員の長時間労働の抑制による現場での働き方改革の一助となれば幸いである。

【参考文献】

- 1) 舗装施工便覧：(公社)日本道路協会：平成18年2月
- 2) 越川他：冬期施工におけるコンクリート舗装の施工性改善に関する一考察、土木学会第77回年次学術講演会 V-88、2022年9月